



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et Environnement

Présenté par :

M. DAHAR Housseem Eddin et M. BEKARA Youcef

Thème

**Etude de l'extension de la ligne de tramway
d'Oran**

Soutenu publiquement, le 28 / 09 / 2020, devant le jury composé de :

M. MERAD. L	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
Mme. SEBBAGH. H	MCB	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme. CHEKROUN. S	MCA	UAB. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
M. MEGNAFI. H	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur1
Mme. BOUSMAHA. I	MCB	ESSA. Tlemcen	Examineur 2
M. ABDELLAOUI. G	MCB	ESSA. Tlemcen	Invité

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

Á l'intention d'Allah, mon Créateur et mon Maître, mon grand maître et messenger, Mohammed (paix et bénédictions d'Allah soient sur lui), qui nous a enseigné le but de la vie.

Á mes parents les plus chers, Mohamed et Chafika, á qui je ne pourrai jamais exprimer ma gratitude et mon appréciation, pour n'avoir jamais cessé de se donner d'innombrables façons, pour avoir fait de moi la personne que je suis aujourd'hui.

Á mes grands-parents, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi et de m'encourager.

Que Dieu les garde et protège.

Á ma petite sœur, á mes oncles, á mes tantes, á mes cousins et cousines et á mes nombreux amis.

Á mes plus proches amis, Abdelkrim, Youcef, Hichem, Chakib, Rafik, Imen, Oumie, Sihem et Islem. Et bien sûr je ne peux pas ne pas mentionner mon meilleur ami, mon grand frère et mon bras droit Fayçal d'avoir été toujours á mes côtés et á m'encourager.

Á mon binôme Youcef, dont je suis extrêmement fier et reconnaissant, et tous mes collègues avec qui j'ai partagé les trois dernières années.

Vous avez travaillé dur pour moi, sans compter le prix á payer, en reconnaissance de tous les sacrifices consentis par chacun d'entre vous pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.

Avec un grand bonheur et un grand plaisir que je vous dédie cette thèse.

Housseem Eddin DAHAR,

Dédicace

Á l'intention d'Allah, mon Créateur et mon Maître, mon grand maître et messenger, Mohammed (paix et bénédictions d'Allah soient sur lui), qui nous a enseigné le but de la vie.

Á mes parents les plus chers, Lahcen et Nacera, qui n'ont jamais cessé de prier pour moi et de m'encourager, et á qui je ne pourrai jamais exprimer ma gratitude et mon appréciation.

Que Dieu les garde et protège.

Á mes frères, mes oncles, mes tantes, ma chère grand-mère Hakima et mes grandsparents Allah yerhamhom, et mes cousins et cousines.

Á mes vrais amis, Younes, Aziz, Ryad, Slimane, Yasser, Taha, Omar, Othmane ,Mohamed, Lilya et á tous mes nombreux amis qui ont toujours été lá pour moi pour m'encourager et me donner de la force.

Á mon binôme Housseem, dont je suis extrêmement fier et reconnaissant de travailler avec lui, et tous mes collègues avec qui j'ai partagé les trois dernières années.

Vous avez travaillé dur pour moi, sans compter le prix á payer, en reconnaissance de tous les sacrifices consentis par chacun d'entre vous pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.

Ce travail est dédié pour vous.

Youcef BEKARA,

Remerciment

La recherche, l'exécution et la compilation de ce rapport ont été pour nous une expérience très stimulante et enrichissante. Nous avons acquis une grande richesse de connaissances et une expérience précieuse grâce à notre travail de thèse. Bien que ce travail soit présenté comme le nôtre, nous n'aurions pas pu le mener à bien sans l'aide de Dieu. Ainsi, tout d'abord et avant tout, nous louons notre Dieu et Seigneur, le Tout-Puissant, qui nous a donné toute la force, le courage et la réussite tout au long de notre parcours éducatif et surtout pendant cette période difficile.

Merci, mon Dieu, de nous avoir permis de terminer notre voyage et de nous avoir donné la possibilité d'écrire cette thèse.

Outre les efforts que nous avons déployés, le succès de cette thèse dépend en grande partie des encouragements et des directives de beaucoup d'autres personnes.

Nous saisissons cette occasion pour exprimer notre gratitude aux personnes qui ont contribué à la réussite de cette thèse.

Nous voudrions exprimer notre plus profonde gratitude à nos mères, nos mentors de vie, des femmes fortes qui ont traversé beaucoup de choses et pourtant sont restées immobiles, nous encourageant toujours, nous soutenant et nous conduisant sur le chemin du succès grâce à leurs précieux conseils, leur patience, leur temps précieux et le travail acharné qu'elles ont accompli en notre faveur.

Nous sommes profondément redevables à nos pères, qui nous ont toujours fait confiance à chaque étape, qui ne nous ont jamais abandonnés, qui ont travaillé dur pour nous et nous ont fait don de leur amour éternel.

Nous remercions sincèrement nos superviseurs, Mme Sihem CHEKROUN et Mme Hafidha SEBBAGH, de nous avoir donné l'occasion de travailler avec eux.

Nous admirons leurs conseils, leurs compétences décisionnelles, leur orientation et bien sur la confiance qu'elles nous ont accordée tout au long du processus de travail.

Notre gratitude va aussi aux membres du jury, M. Lotfi MERAD, M. Hichem MEGNAFI et Mme Imen BOUSMAHA d'avoir accepté d'être nos examinateur et de juger notre travail.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à M. Houari MESMECHE pour son soutien, ses conseils, et toutes les informations et tous les documents qui nous a fournis et qui nous ont bien aidés à la rédaction de cette thèse.

Ce voyage n'aurait pas été possible sans nos professeurs et chargés de cours, notre école, l'école supérieure de sciences appliquées et son matériel académique ; des camarades de classe avec lesquels nous avons passé 3 ans remplis de beaux souvenirs, des moments amusants remplis de rires et de joie, et dont nous avons tiré de nombreuses leçons. Merci pour vous tous et chacun d'entre vous.

Enfin, un merci tout particulier à tout le personnel enseignant et de recherche qui a pris le temps de discuter et d'enrichir notre travail.

Résumé

Depuis des années, le marché du transport urbain bénéficie principalement du mode routier. Cependant, le mode ferroviaire s'impose aujourd'hui face aux besoins croissants des tramways.

Le tramway fait partie d'une grande attention en faveur du développement durable, de l'amélioration de la qualité de vie, de l'environnement et des facilités de déplacements pour les habitants.

C'est un transport urbain devenu incontournable dans les grandes villes, il facilite les voyages, les déplacements professionnels, les courses, les enfants pour aller à l'école ou même pour une simple sortie en famille.

Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et l'une des plus importantes villes du Maghreb, mais les habitants de cette ville souffrent toujours du manque des moyens de transport urbain. Donc suite à cette situation, nous avons fait l'étude d'extension de la ligne du tramway d'Oran.

Entre l'alimentation par les lignes aériennes de contact (LAC) et l'alimentation par le sol, nous avons essayé d'adopter le plus fiable mode d'alimentation pour les deux nouveaux tracés.

Mots-clés : Tramways, déplacement, Oran, extension, alimentation, lignes aériennes de contact, alimentation par le sol.

Abstract

For years, the urban transport market has mainly benefited from road transport. However, the rail mode is nowadays the most important mode to meet the growing needs of trams.

Tramways are part of a strong focus on sustainable development, improving the quality of life, the environment and the ease of travel for the inhabitants.

It is an urban transport system that has become a must in big cities. It facilitates travel, business trips, shopping, children to go to school or even for a simple family outing.

Oran is the second largest city in Algeria and one of the most important cities in the Maghreb, but the inhabitants of this city still suffer from the lack of urban transport. Therefore, following this situation, we made a study for the extension of the tramway line in Oran.

Between overhead contact lines (OCS) and ground power supply we tried to adopt the most reliable mode of power supply for the two new routes.

Keywords : Tramway, travel, Oran, extension, power supply, overhead contact lines, ground power supply.

المخلص

لسنوات عديدة، استفاد سوق النقل الحضري بشكل أساسي من وضع الطرق. ومع ذلك، فإن وضع السكك الحديدية ضروري اليوم في مواجهة الاحتياجات المتزايدة لقطارات الترامواي.

يعتبر الترامواي جزءاً مهم لصالح التنمية المستدامة وتحسين نوعية الحياة والبيئة وسهولة الحركة للمقيمين. فهو وسيلة نقل حضرية أصبحت ضرورية في المدن الكبيرة، فهي تسهل السفر ورحلات العمل والتسوق والأطفال للذهاب إلى المدرسة أو حتى لنزهة عائلية بسيطة.

وهران هي ثاني أكبر مدينة في الجزائر وواحدة من أهم مدن المغرب العربي، لكن سكان هذه المدينة ما زالوا يعانون من نقص وسائل النقل الحضري. بعد هذا الموقف، قمنا بتنفيذ الدراسة التوسعية لخط ترام وهران.

بين تغذية خط التلامس العلوي والتغذية الأرضية، حاولنا اعتماد وضع التغذية الأكثر موثوقية للتخطيطين الجديدين.

الكلمات المفتاحية: الترامواي, الحركة, وهران, الدراسة التوسعية, التغذية, تغذية خط التلامس العلوي, التغذية الأرضية.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

Résumé	vi
Abstract	vi
Résumé en arabe	vii
Table des figures	xi
Liste des tableaux	xiv
Liste d'abreviations	xv
Introduction générale	1
1 Une vision générale sur le tramway	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique	3
1.3 Source d'électricité	4
1.4 Les sous-stations	4
1.5 Alimentations électriques	6
1.5.1 Ligne aérienne de contact (LAC)	7
1.5.2 Alimentation par le sol (APS)	12
1.5.3 Stockage d'énergie électrique	16
1.6 Matériel roulant	18
1.6.1 Bogie	18
1.6.2 Traction	19
1.6.3 Freinage	19
1.6.4 Retour des courants de traction (courants vagabonds)	20
1.7 Conclusion	21
2 Le Tramway d'Oran	22
2.1 Introduction	22
2.2 Organisation du tramway d'Oran	22

2.2.1	Maître d'ouvrage	22
2.2.2	Le réalisateur	23
2.2.3	Exploitation et maintenance	23
2.3	Le réseau actuel	24
2.4	Matériel Roulant	25
2.4.1	La rame Citadis 302	25
2.4.2	Les bogies moteurs	27
2.4.3	Les différents modes de freinage	28
2.4.4	Les équipements en toiture	29
2.5	Système d'énergie	34
2.6	Le poste haute tension	35
2.6.1	Arrivées ligne 60 kV	35
2.6.2	Jeux de barre de couplage	37
2.6.3	Départ transformateur	38
2.6.4	Tableau 30 kV	40
2.7	Les sous-station de traction (SST)	40
2.7.1	Le tableau 30 kV d'une sous-station en ligne	41
2.7.2	Le tableau 30 kV d'une sous-station dépôt	42
2.7.3	Transformateur de traction TRT	43
2.7.4	Redresseur RED	43
2.7.5	Sectionneur d'isolement automatique SIA	44
2.8	Ensemble distribution de l'énergie de traction	45
2.8.1	Tableau de protection traction TPT	45
2.8.2	Disjoncteur ultra rapide (DUR)	45
2.8.3	Tableau de distribution traction TDT	46
2.9	Equipements en ligne	47
2.9.1	Interrupteur de secours télécommandé IST	47
2.9.2	Interrupteur en ligne INT	47
2.10	Les heures de travail	49
2.11	Conclusion	49
3	Etude de l'extension du tramway d'Oran	50
3.1	Introduction	50
3.2	Les conditions climatiques et géographiques	50
3.3	Les extensions proposées	51
3.4	Les caractéristiques techniques des nouvelles lignes proposées	52
3.4.1	Les raisons de la réalisation de la ligne	52
3.4.2	Le dépôt	53
3.4.3	Poste haute tension	55

3.4.4	Nombre des Sous-stations	57
3.4.5	Les stations du tramway	61
3.4.6	Le nombre de rames	63
3.5	Les modes d'alimentation	63
3.5.1	Mode d'alimentation APS	63
3.5.2	Mode d'alimentation LAC	69
3.5.3	Choix de mode d'alimentation pour les lignes proposées	73
3.6	L'insertion du tramway	79
3.6.1	Positions de la plate-forme	79
3.6.2	Aménagement et fonctionnement de la voirie	79
3.6.3	Insertion du tramway sur la ligne stade olympique vers l'USTO	79
3.6.4	Insertion du tramway sur la ligne d'extension vers l'aéroport d'Es-Senia	82
3.7	Insertion des lignes aériennes de contact	84
3.7.1	Insertion du LAC pour la ligne de Belgaid-USTO	84
3.7.2	Insertion du LAC au niveau de la ligne d'extension vers l'aéroport	87
3.8	Insertion de l'APS	87
3.9	Conclusion	89
	Conclusion générale	91
	References	93

Table des figures

1.1	Arrivée de l'énergie en AC du réseau public et sortie en DC de la sous-station.	5
1.2	Schéma de principe d'un groupe redresseur traction.	6
1.3	Le circuit électrique d'une ligne aérienne de contact.	8
1.4	Support, hauban, la console et l'isolateur.	9
1.5	L'antibalançant et le rappel d'antibalançant.	9
1.6	Pendule.	10
1.7	Fil de contact.	10
1.8	Les appareils tendeurs.	11
1.9	Le pantographe.	12
1.10	Principe du fonctionnement de l'APS.	13
1.11	Principe d'alimentation électrique d'un véhicule recevant de l'énergie.	14
1.12	Architecture simplifiée de l'alimentation APS.	15
1.13	volant d'inertie d'Alstom.	18
1.14	: Phénomène des courants vagabonds.	21
2.1	Organisation du tramway d'Oran.	24
2.2	Plan de la ligne du tramway d'Oran.	25
2.3	Rame Alstom Citadis 302.	26
2.4	diagramme des rails citadis 302.	26
2.5	Bogie Porteur à gauche et Bogie Moteur à droite.	28
2.6	Schéma d'implantation du coffre équipement électrique basse tension.	30
2.7	Schéma d'implantation du groupe de refroidissement moteur.	30
2.8	Schéma d'implantation du Coffre disjoncteur.	31
2.9	Schéma d'implantation du Pantographe.	31
2.10	un parafoudre.	32
2.11	Schéma d'implantation du groupe de climatisation salle.	32
2.12	Schéma d'implantation du rhéostat de freinage.	33
2.13	Schéma d'implantation de Coffre batterie.	33
2.14	Schéma d'implantation du convertisseur statique CVS.	34
2.15	Plan des sous-stations de traction.	35

2.16 Schéma unifilaire des travées 60 kV Hassi-Ameur / Petit Lac.	36
2.17 Travées 60 kV Hassi-Ameur / Petit-Lac.	37
2.18 Schéma unifilaire de couplage des deux jeux de barres.	38
2.19 Jeux de barre de couplage.	38
2.20 Schéma unifilaire des travées départ transformateurs 60/30 kV.	39
2.21 Transformateur 60/30 kV.	39
2.22 Schéma unifilaire du tableau 30 kV du PHT.	40
2.23 Schéma unifilaire d'un tableau 30 kV d'une SST en ligne.	42
2.24 Schéma unifilaire du tableau 30 kV de la sous-station dépôt.	43
2.25 Redresseur dodécaphasé.	44
2.26 Groupe redresseur de courant en traction.	44
2.27 Tableau de distribution traction des différents types de SST.	46
2.28 Disjoncteur ultra rapide.	47
3.1 Nouvelle ligne de tramway stade olympique-USTO	51
3.2 L'extension de la ligne de tramway vers l'aéroport.	52
3.3 Le dépôt de Sidi Maarouf.	53
3.4 Le garage d'Es-Senia.	54
3.5 Nouveau dépôt stade olympique.	54
3.6 PHT au dépôt Sidi Maarouf.	55
3.7 La localisation du poste haute tension au dépôt stade olympique.	56
3.8 Le raccordement avec les postes sources.	56
3.9 Les sous-stations de la ligne stade olympique-USTO.	59
3.10 Schéma de raccordement des sous-station de la nouvelle ligne.	60
3.11 Les sous-stations de l'extension vers l'aéroport.	60
3.12 Schéma de raccordement des sous-station de la nouvelle ligne.	61
3.13 Illustration des stations de la nouvelle ligne.	62
3.14 Illustration des stations de l'extension de la ligne vers l'aéroport.	62
3.15 Illustration du boîtier d'alimentation APS.	64
3.16 Sabot collecteur avec sections d'antenne.	66
3.17 Poste de controle du mode de fonctionnement LAC/APS.	67
3.18 Arrangement des sections électrique de l'APS.	68
3.19 Armoire APS en SST et injection.	69
3.20 Point d'injection à la LAC à-côté d'une sous station	70
3.21 injection feeder d'alimentation du multitubulaire au LAC	70
3.22 La pose de multitubulaire	71
3.23 Les modes d'insertion de la LAC.	72
3.24 Ancrage simple et ancrage avec platine.	73
3.25 Localisation des unités militaires	76

3.26 Le tronçon APS sur la ligne d'extension vers l'aéroport	76
3.27 Changement de mode d'alimentation au niveau d'une station	77
3.28 Informations disponibles sur l'écran dans la cabine du conducteur . . .	77
3.29 Les sous-stations alimentant le tronçon APS	78
3.30 Insertion du tramway du stade olympique à l'université de Belgaid. . .	80
3.31 Insertion du tramway position latérale droite.	80
3.32 Insertion du tramway de résidence universitaire jusqu'à l'USTO-bifurcation.	81
3.33 Trémie palais d'or	82
3.34 Viaduc du rond point pépinière	82
3.35 Viaduc du rond point canastel	83
3.36 Insertion de tramway position axiale.	83
3.37 Viaduc du passage à niveau d'Es-Senia	84
3.38 L'insertion d'un poteau axial.	85
3.39 Insertion d'un poteau latéral	85
3.40 Insertion du poteau bilatéral.	86
3.41 Insertion d'une transition entre poteau axial et poteau latéral.	86
3.42 Positionnement des poteaux LAC au niveau des intersections.	87
3.43 Section typique de l'APS au niveau du sol	88
3.44 Section typique de l'APS sur le viaduc	88
3.45 Composants du rail APS	89

Liste des tableaux

2.1	Tableau des caractéristiques principales de la CITADIS 302.	27
2.2	Les heures de travail du tramway d'Oran	49

Liste d'abréviations

AC : Alternative Courant.
DC : Direct Courant.
LAC : Ligne Aérienne de Contact.
APS : Alimentation Par le Sol.
HTA : Haute Tension de niveau A.
BTA : Basse Tension de niveau A.
BTB : Basse Tension de niveau B.
SST : Sous Station de Traction.
CEM : Compatibilité Electromagnétique.
ASI : Alimentations Sans Interruption.
IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor.
PB : Power Box(Boitier d'alimentation).
SNTF : la Société Nationale des Transports Ferroviaires.
EMA : Entreprise Métro d'Alger.
PHT : Poste Haute Tension.
CVS : ConVertisseur Statique.
TRT : TRansformateur de Traction.
SIA : Sectionneur d'Isolément Automatique.
DUR : Disjoncteur Ultra Rapide.
IST : Interrupteur de Secours Télécommandé.
TPT : Tableau de Protection Traction.
TDT : Tableau de Distribution Traction.
PCC : Poste de Commande Centralisé.
PCL : Poste de Commande Local.
USTO : Université de Sciences et de Technologies d'Oran.
AAPS : Armoire APS.
CCP : Cabine de Commutation Principale.
OCC : Centre d'Opération et de Contrôle.

Introduction générale

Les transports en commun représentent une solution pour limiter la consommation énergétique et les dépenses liées aux transports. Les transports algériens ont consenti un effort extraordinaire au cours de la dernière décennie pour développer de grands projets d'infrastructures et d'équipements publics, notamment dans le domaine ferroviaire, et tout particulièrement les tramways, le mode de transport collectif urbain le plus répandu dans le monde. C'est un moyen de transport écologique qui offre une alternative intéressante notamment pour désengorger les centres-villes.

L'architecture d'un réseau de transport collectif urbain est influencée par de nombreux facteurs d'ordre politique, historique, économique, géographique ou technique. Dans tous les cas de figure, la recherche de la fiabilité et de la disponibilité d'un réseau de transport collectif nécessite de cerner et de maîtriser son fonctionnement à tout instant.

Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et l'une des plus importantes villes du Maghreb, a bien su profiter de l'aisance financière qu'à connu l'Algérie, elle s'impose désormais comme une métropole méditerranéenne incontournable et devient attractive comme destination touristique et d'affaire.

Oran est dotée de plusieurs moyens de transport public comme le tramway ou des sociétés de taxi et bus, mais les usagers souffrent souvent d'un bas niveau de qualité ainsi d'un réseau pas assez dense pour le tramway oranais. Le présent Projet est une étude d'extension de la ligne de tramway d'Oran.

Les tramways sont alimentés par un réseau électrique continu. Pour se circuler, ils captent leur énergie au travers d'une ligne aérienne électrique ou bien un câble sous-terrains raccordés au réseau de distribution. La distribution s'effectue en courant continu sous 750 V. Ce mode d'alimentation introduit des contraintes qui impacteront sur le fonctionnement du réseau de tramways.

Dans le premier chapitre de ce projet, nous allons faire un bref aperçu sur le tramway en général, ainsi que la présentation de l'infrastructure d'alimentation du tramway et les principaux types d'alimentation.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la première ligne de tramway d'Oran en décrivant le projet dans sa globalité et les spécifications de chaque sous système.

Dans le troisième et le dernier chapitre, on va faire l'étude de l'extension de deux lignes, une qui reliera l'aéroport avec Es-senia, et l'autre reliera la présente ligne avec Belgaid.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une synthèse du travail qui résume tout le travail réalisé dans ce projet et les améliorations qui peuvent être envisagées.

Une vision générale sur le tramway

1.1 Introduction

Les transports publics sont un remède pour restreindre l'utilisation d'énergie et les dépenses associées au transport. C'est tout précisément le cas du tramway qui est devenu une solution que plusieurs villes adoptent aujourd'hui.

Dans ce premier chapitre, on va présenter les appareils disponibles sur les lignes de tramways et leur alimentation.

1.2 Historique

Les premiers tramways se sont montrés aux Etats Unis durant la première moitié du 19^{ième} siècle, ils étaient tractés par des animaux, généralement des canassons. Ils se baladent en 1832 sur la ligne de New York à Harlem et en 1834 à La Nouvelle-Orléans. Le premier tramway de France est mis en service dès 1838.

Le tramway a été conçu dans de multiples villes de la communauté européenne. Plus rapides et confortables que les omnibus (circulant sur les voies carrossables), les tramways avaient un prix d'utilisation haut en raison de la traction animale.

La traction mécanique a été promptement conçue à vapeur dès 1873, à air comprimé (système Mékarski) et à eau surchauffée (système France) dès 1878, ensuite les tramways électriques dès 1881 (présentation de la traction électrique par Siemens à l'exposition mondiale d'Électricité de Future).

L'évolution de l'alimentation électrique, complexifiée par la condamnation des lignes aériennes dans plusieurs grandes villes, ne prend une incontestable ampleur qu'à partir de 1895 en Ile-de-France et en banlieue de Paris.

La modernité technique que montre le courant et notamment les faibles nuisances engendrées par cette dernière favorisent son adoption rapide, dès que les problèmes associés à la fabrication et au transport de l'électricité furent résolus.

Le premier tramway électrique a été mis en exploitation à Sarajevo (Empire austro-hongrois) en 1885, alors qu'en Suisse, la première ligne, a été ouverte en 1888. En Algérie le premier tramway a été inauguré le 8 mai 2011 à Alger exploité par la Setram (Société d'exploitation des tramways Algériens), un groupement franco-algérois la dirigé. Puis en 2013 la mise en exploitation du tramway d'Oran et de Constantine par la même société. Le 26 Juillet 2017 la société Setram a mis en service le tramway de Sidi-Belabess, alors que dernièrement en 2018 les deux tramways d'Ouargla et de Sétif ont été mis en service. [1]

Prochainement, l'Algérie aura de nouvelles lignes de tramway tels que le tramway de Mostaganem, Annaba et Batna qui sont en phase de construction. Comme il y'a des études de faisabilités qui ont été lancées pour la réalisation de tramways pour les villes de Béchar, Béjaïa, Biskra, Blida, Chlef, Djelfa, Jijel, Mascara, M'Sila, Relizane, Skikda, Souk-Ahras, Tébessa, Tiaret et Tlemcen.

1.3 Source d'électricité

Le tramway peut être alimenté via différentes source d'électricité mais en général il est alimenté par des sous-stations (extension du réseau). Comme il y'a des générateurs de secours (batteries) pour assurer le fonctionnement en cas de coupure d'électricité.

Généralement et majoritairement les tramways sont alimentés par une tension de 750 V DC (Etas unis, Europe, Asie, Afrique). Comme il y'a des tramways alimentés par 1500 V DC (Kyoto, Monterrey et Bursa), et d'autre alimentés par 600 V DC (en Allemagne, Suisse, Russie et dans les pays de l'Est). [2]

1.4 Les sous-stations

Une sous-station de traction est l'interface entre le réseau HTA local et le réseau continu à 750 V DC. La quantité d'arrivées HTA peut changer d'après les réseaux de tramways, les sous-stations sont distribués le long des lignes en fonction des demandes de l'exploitant (figure 1.1).

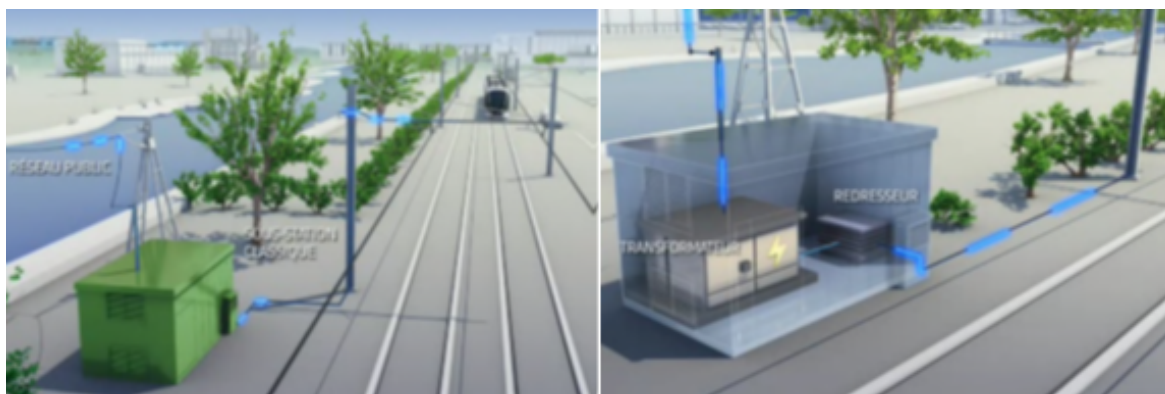


FIGURE 1.1: Arrivée de l'énergie en AC du réseau public et sortie en DC de la sous-station.

Généralement la puissance d'une station est de 900 kW , qui fournit 750 V DC et 1200 A . Avant d'arriver aux sous-stations il y'a un poste de transformation qui fait abaisser la tension transportée par Sonelgaz de 60 kV à 30 kV et la raccorder aux sous stations. [3]

Les sous-stations électriques permettent l'alimentation d'une section de ligne ferroviaire et sont raccordée au réseau HT (30 k). Son rôle est de convertir la tension triphasée primaire AC en une tension de traction DC.

Chaque sous-station comprend un groupe redresseur de traction (figure 1.2). Ce groupe redresseur de traction est composé d'un redresseur à pont de diode qui va redresser la tension alternative en tension continue. [4] Avant le groupe redresseur il existe un transformateur Dy $30 \text{ kV}/10 \text{ kV}$, et à la sortie du groupe redresseur il y'a un disjoncteur DC très rapide qui à une durée d'ouverture inférieure à 20 ms .

Chaque sous-station est dotée par des éléments de comptage. Comme elle peut être équipée par deux groupes redresseurs connectés soit en série ou en parallèle, ils seront connectés au réseau AC amont à travers un transformateur si les besoins en puissance le nécessitent.

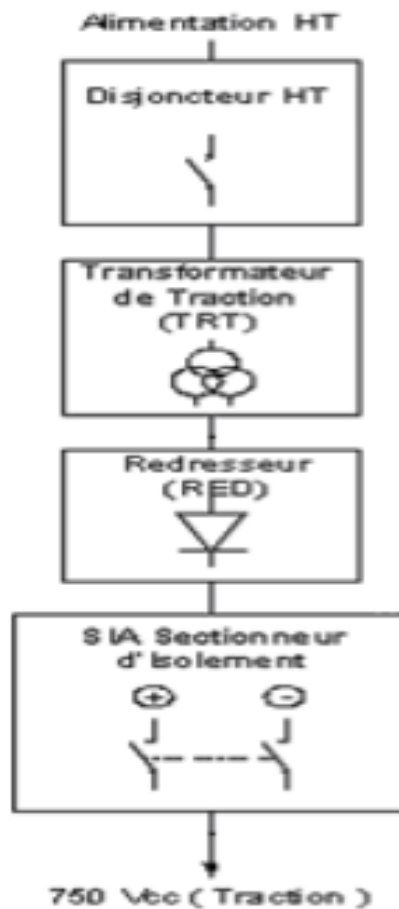


FIGURE 1.2: Schéma de principe d'un groupe redresseur traction.

La gestion des sous-stations se fait par un automate programmable qui communique les données avec le PCC (poste de commande centralisé).

En effet, les places susceptibles de recevoir les sous-stations dans une localité sont assez restreintes. La distance entre les sous-stations se dévoile être un facteur à mettre en rapport avec l'organisation employée pour le transport et la distribution du courant continu. Les tensions de lignes minimales possibles en gestion normale et affaibli (disjonction d'une sous-station par exemple) sont primordiales. En exploitation normale, par exemple, la tension minimale habituellement acceptable sur une ligne de tram est de 500 V DC. [5]

1.5 Alimentations électriques

Les engins de traction captent une tension électrique entre les rails et un conducteur isolé électriquement qui fait partie d'un dispositif appelé «ligne de contact». Une seconde distinction entre les différents types d'électrification est liée à la nature de

la ligne de contact.

Il existe deux grandes catégories de lignes de contact : ligne aériennes et au sol.

1.5.1 Ligne aérienne de contact (LAC)

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du tram est injectée par la sous-station dans la ligne aérienne de contact (LAC). Elle est ensuite transportée, à travers la LAC, jusqu'à la rame qui en a besoin. Le courant entre dans la rame par le pantographe dont l'archet est en contact électrique avec la LAC, et il alimente les moteurs électriques et tous les autres dispositifs électriques de la rame. Le même courant ressort de la rame, dépourvue d'énergie électrique car il a cédé son énergie au tram. Il ressort par les roues et retourne à travers les rails à la sous-station électrique.

Le pôle positif de la sous-station est au potentiel $+750\text{ V}$ et est connecté à la LAC ; le pôle négatif, au potentiel 0 V car mis à la terre, est connecté aux rails. Les rails sont isolés par une jaquette qui sert d'isolation électrique pour éviter des courants « vagabonds » dans le sol (figure1.3).

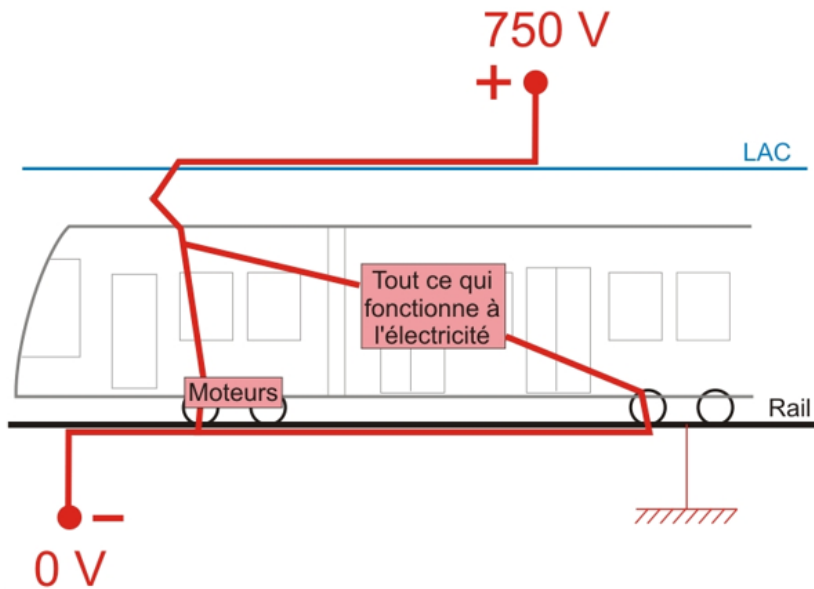


FIGURE 1.3: Le circuit électrique d'une ligne aérienne de contact.

• **Sous-système caténaire :**

Le système caténaire est un ensemble de câbles permet de répartir le courant fourni par les sous-stations et de l'acheminer jusqu'à la motrice. Il se compose de :

1. **Le support :**

Le support permet de garder :

- Les conducteurs dans une position exacte par rapport à l'axe de la voie ou du pantographe.
- Les consoles pour le fil porteur.
- Les bras de rappel pour les fils de contact.

2. **Le hauban et la console :**

- Le hauban permet d'ajuster l'inclinaison de la console.
- La console supporte le fil porteur principal et les fils de contact.

3. **Les isolateurs :**

Les isolateurs évitent que le support soit au potentiel électrique.

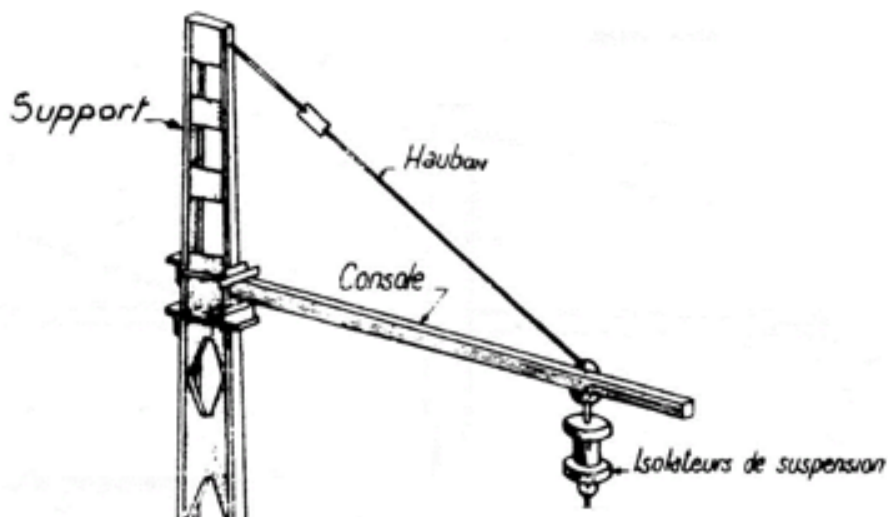


FIGURE 1.4: Support, hauban, la console et l'isolateur.

4. L'antibalançant :

L'antibalançant permet d'ajuster la position du fil porteur auxiliaire, notamment son désaxement par rapport à la voie et évite le balancement de la ligne sous l'effet du vent.

5. Le rappel d'antibalançant :

Il règle la position du fil de contact dans les courbes, dans les lignes droites, aux points de changement de direction, de façon à exploiter toute la largeur de l'archet et utiliser de manière uniforme les bandes d'usure. Les rappels d'antibalançant sont conçus de telle sorte qu'ils travaillent toujours en tension et non en compression. [6]

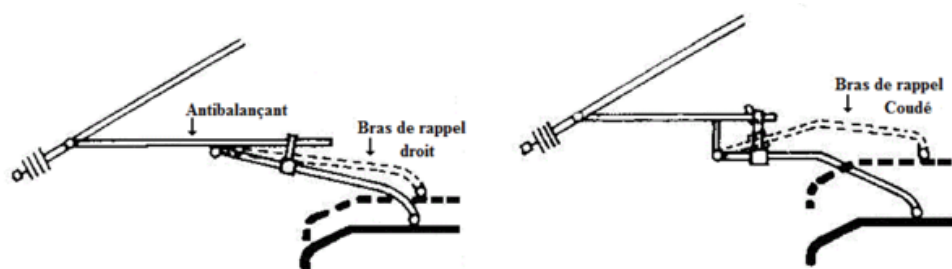


FIGURE 1.5: L'antibalançant et le rappel d'antibalançant.

6. Les pendules :

Ils s'encastrent entre le fil porteur et le fil de contact et permettent de le régulariser, pour cela les pendules (ronds) sont de longueur variable et glissante.

Des pendules additionnels posés entre le fil porteur auxiliaire et les fils de contact (plats) permettent de supporter les fils de contact alternativement et de les régulariser.

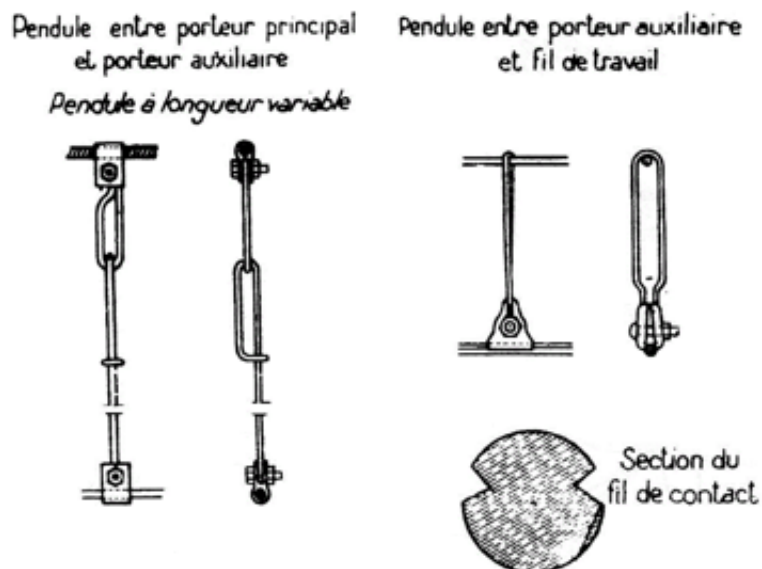


FIGURE 1.6: Pendule.

7. Le fil de contact :

Les fils de contact sont les éléments qui permettent de distribuer le courant aux engins moteurs. Ils sont en contact avec le pantographe de la locomotive.

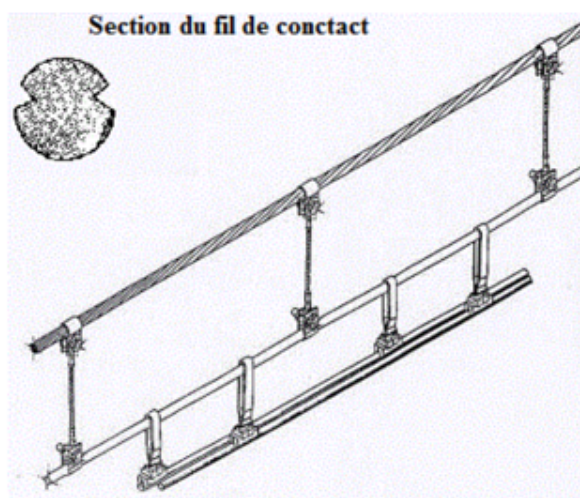


FIGURE 1.7: Fil de contact.

8. **Les appareils tendeurs** : Sous l'effet de la température les conducteurs se dilatent, leurs longueurs s'amplifient et leurs tensions mécaniques diminuent. La caténaire présente une flèche plus ou moins importante qui est nocive pour une bonne captation du courant. [6]

Pour lutter contre ses phénomènes il est essentiel d'appliquer une tension mécanique sur ces conducteurs. Cela est effectué au moyen d'appareils tendeurs (AT).

Les conducteurs sont tendus à l'aide de dispositifs à contrepoids situés à une ou aux deux extrémités du canton de pose.

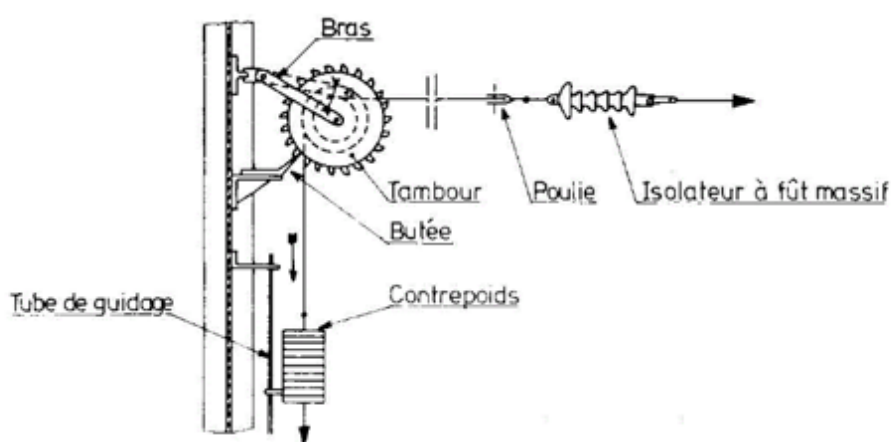


FIGURE 1.8: Les appareils tendeurs.

• **Pantographe :**

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

Sur l'archet sont fixées des bandes de carbone « carbone à haute intensité » et de cuivre (en général deux et peuvent aller jusqu'à huit sur certains modèles adaptés au 1500 V continu) qui font office de frotteurs sur la ligne aérienne de contact (ou caténaire) et permettent de capter l'énergie électrique. Ces bandes peuvent être montées de façon rigide sur l'archet ou être indépendantes et montées sur ressorts.

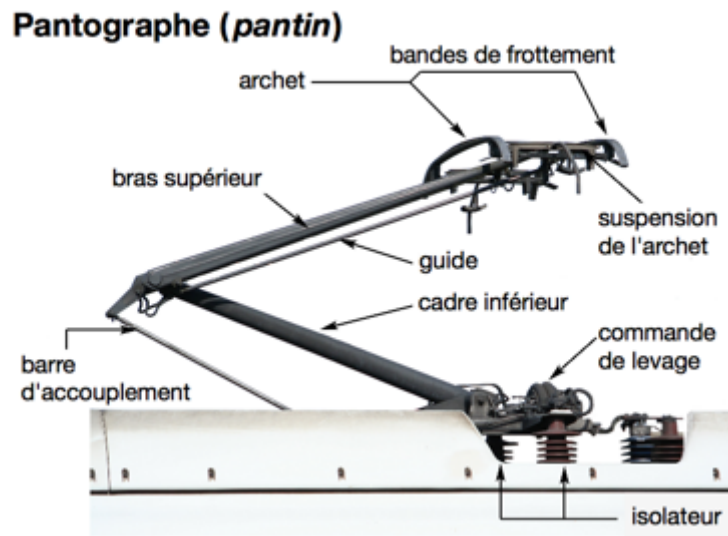


FIGURE 1.9: Le pantographe.

Afin de maintenir la pression (la plus constante possible) des bandes de carbone sur la caténaire, on implante un système d'amortissement sur le pantographe. généralement des ressorts mécaniques, un moteur électrique ou des systèmes pneumatiques de type vérins sont utilisés pour cet amortissement.

Dans le cas d'un pantographe pneumatique, le déploiement du bras est assuré par un vérin pneumatique, qui permet d'assurer une certaine pression sur la caténaire. Lorsque la pression d'air est annulée le pantographe se replie par gravité.

Dans le cas d'un pantographe électrique, un moteur électrique annexe assure les mouvements de montée et de descente.

1.5.2 Alimentation par le sol (APS)

• Description du système APS :

Le système d'alimentation électrique esthétique (APS) vise à remplacer le système de contact aérien (LAC) pour les systèmes de transport urbain électrifiés par des rails APS segmentés qui sont entièrement intégrés dans la plate-forme de la voie.

Le principe de l'APS consiste à fournir une tension uniquement aux rails APS qui sont physiquement enfermés dans la zone occupée par le véhicule. Lorsqu'ils sont accessibles, les rails APS ne sont jamais alimentés et ne présentent aucun danger pour les personnes ou l'équipement [7].

Le système APS permet des performances identiques à celles de LAC telles que le démarrage d'un véhicule sur n'importe quel point de la ligne, la possibilité de faire demi-tour, la compatibilité avec toutes les lignes de tramway existantes, y compris

les passages à niveau et les branchements. Le système APS peut être combiné avec tous les équipements d'alimentation LAC (standard et rigide).

• **Principes généraux de l'APS :**

Le rail APS est formé d'une séquence de segments conducteurs et de zones neutres comme indiqué dans la figure ci-dessous :

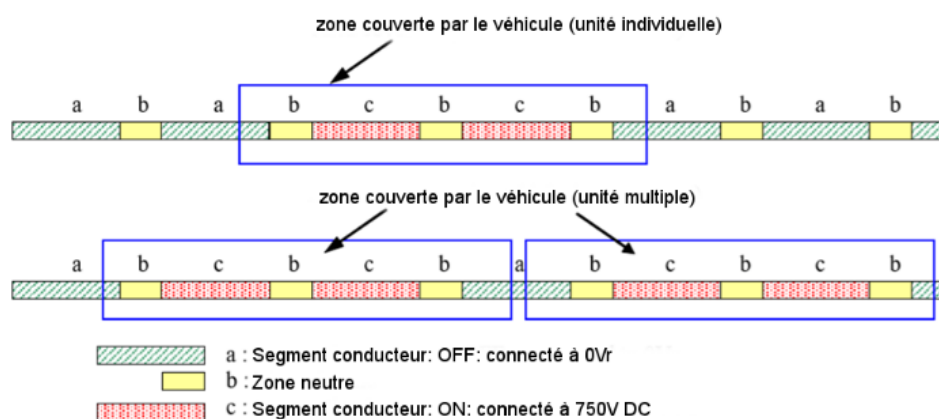


FIGURE 1.10: Principe du fonctionnement de l'APS.

En alignement droit, le rail APS est situé au centre de la voie entre les deux rails de roulement. En section courbe, le rail APS est décalé latéralement et sa position est déterminée par la trajectoire des sabots de collecteur APS situés sous le véhicule.

Le véhicule indique sa présence en envoyant un signal codé au sol. Ce signal est généré par un appareil électronique embarqué et transmis via une antenne intégrée au sabot collecteur. Ce signal codé est détecté en continu et en toute sécurité au-dessus d'un segment afin d'autoriser et de maintenir l'alimentation de ce segment [7] [9].

Sur la base de ce principe, seuls les segments conducteurs entièrement situés dans la zone couverte par le véhicule peuvent être mis sous tension. Ainsi, toutes les surfaces motorisées au sol sont entièrement protégées par le véhicule et ne sont pas accessibles.

Le véhicule recueille le courant à travers des sabots collecteurs situés sous le véhicule. La distance entre ces sabots collecteurs est supérieure à la longueur de la zone neutre, donc au moins un sabot collecteur est toujours en contact avec un segment conducteur alimenté. Le retour du courant de traction est assuré par les roues et la piste [9].

Le principe d'alimentation électrique d'un véhicule recevant de l'énergie est illustré par la figure ci-dessous :

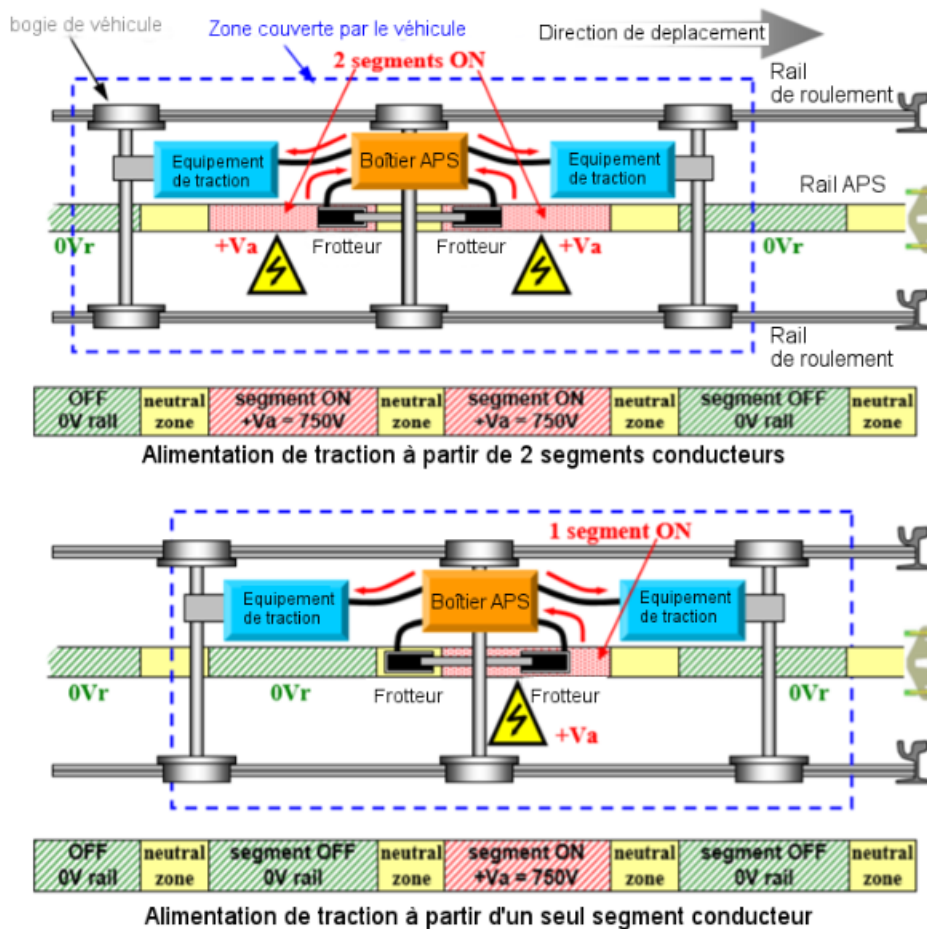


FIGURE 1.11: Principe d'alimentation électrique d'un véhicule recevant de l'énergie.

L'ensemble de l'infrastructure APS est encastré dans le sol et ne présente donc aucune structure apparente en dehors de la surface de la route. Il permet ainsi de réduire l'impact du système d'alimentation des trains sur l'espace public, en supprimant tous les obstacles aériens le long de la ligne de tramway [10].

De plus, l'avantage du système APS est de ne présenter aucune pièce conductrice sous tension dans un volume d'espace public ouvert.

• **Architecture simplifiée :**

L'installation du système APS dans l'infrastructure comprend les éléments suivants :

- Succession de rails APS situés entre les rails de roulement de chaque voie.
- Regards APS, tous les 22 m environ, situés entre les voies en configuration double voie et voie extérieure en configuration voie unique.
- Banc de gaines APS situé entre les voies en configuration double voie et ex-

- térieur voie en configuration à voie unique, reliant tous les regards APS ensemble.
- Tuyaux flexibles reliant les regards APS aux rails APS associés via les boîtiers de raccordement (BR).

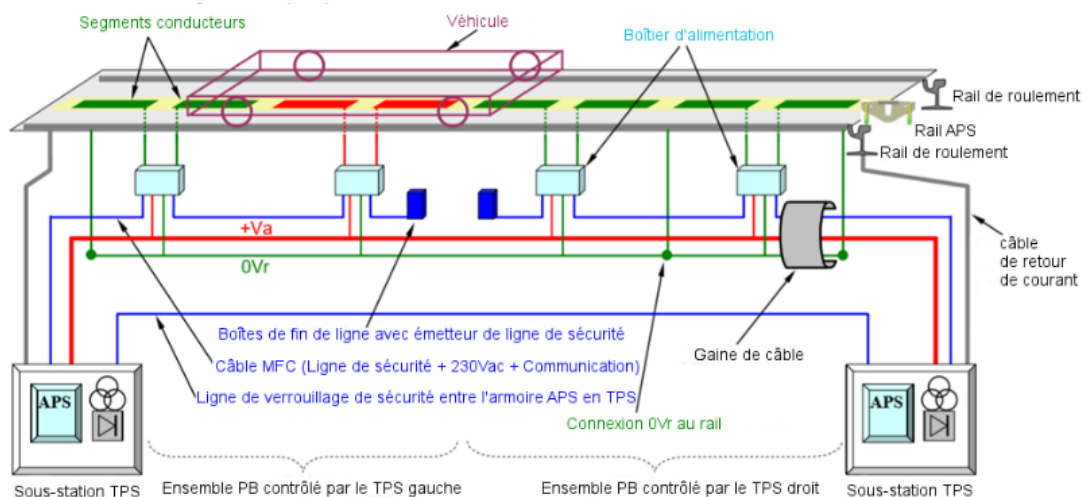


FIGURE 1.12: Architecture simplifiée de l'alimentation APS.

Lorsque c'est possible, les boîtiers d'alimentation (PB) connectent les segments conducteurs APS au 750 V CC ($+V_a$) alimenté par la sous-station de puissance de traction (SST).

Le retour du courant de traction est assuré par les rails de roulement et les connexions équipotentielles de voie, comme pour les systèmes standard.

Le câble $0V_r$ est connecté au rail le plus proche à intervalles réguliers (tous les 200 m au maximum), à proximité d'une connexion équipotentielle entre rails et entre voies. Il permet de fournir à la Power Box une référence de tension égale à la tension locale du rail. En aucun cas, ce câble $0V_r$ n'est utilisé pour assurer le retour du courant de traction.

Les segments conducteurs APS situés en dehors de la zone couverte par le véhicule sont obligatoirement et à tout moment connectés à ce câble $0V_r$ par le boîtier d'alimentation.

Un circuit de commande, appelé "Safety Line" (SL), permet à tout moment l'état de sécurité du circuit APS même avec un défaut affectant la sécurité détectée. Dans un tel cas, le SL est ouvert de sorte que l'état de sécurité est conservé jusqu'à ce que le défaut soit effacé ou isolé. Cela permet de réagir avant que ce défaut ne crée une situation dangereuse. Cette SL est réalisée via un émetteur de fin de ligne (EOL) et surveillée par l'armoire APS associée dans la SST [10].

La situation de sécurité pour un segment est définie comme suit :

- soit un tramway est détecté au-dessus d'un segment conducteur .
- soit ce segment est connecté au câble $0V_r$. Ce n'est que lorsque le circuit APS est dans un état sûr que le système permet l'isolation d'un PB défectueux. Une fois isolé, le fonctionnement du système APS peut reprendre sans attendre son remplacement et sans être impacté :
 - * Si la zone non alimentée est courte (22m par exemple), le train traverse la section en roue libre. Dès que le train détecte que l'alimentation est de retour, la traction reprend et le train revient en « mode normal » [11].
 - * Si la zone non alimentée ne peut pas être traversée en roue libre (ex : zone non alimentée trop longue, dans une rampe pendant le train à basse vitesse, en gare, etc.), le train s'arrête et le conducteur doit commuter manuellement le mode de traction sur l'APS batterie embarquée pour un temps limité seulement. La traction des rails APS reprend immédiatement dès qu'une zone alimentée par l'APS est à nouveau détectée [11].

1.5.3 Stockage d'énergie électrique

Pour diminuer la consommation énergétique, des solutions très prometteuses pour la gestion énergétique commencent à être testées et installées massivement sur les véhicules terrestres à traction électrique. Il s'agit des moyens de stockage.

Plusieurs technologies peuvent être utilisées, selon différentes stratégies. A titre d'exemple, des batteries NiMH sont embarquées sur le toit du tramway de Nice pour traverser sans LAC deux des places principales, alors qu'un volant d'inertie est installé en station du métro de Rennes.

• Les différents rôles du stockage :

Le stockage embarqué peut avoir différents apports pour la traction électrique, que l'on peut directement relier à l'autonomie désirée. L'utilisation et le coût affecteront directement le choix technologique.

1. L'autonomie locale :

Dans ce cas, le tramway doit être apte de se déplacer sur ses propres réserves de courtes distances. Cette solution ciblée à se dispenser des lignes aériennes peu esthétiques dans les centres villes historiques. Comme elle peut aussi être utilisée pour réduire les travaux de BTP pour la traversée d'un carrefour ou d'un tunnel.

2. L'autonomie inter-station :

Dans ce cas là, le but est de se passer de caténaire sur tout l'itinéraire, avec une autonomie qui doit garantir de rejoindre chaque sous-station. Une fois en station, la recharge doit être effectuée en un temps très court.

• **Les différents moyens de stockage :**

L'objectif n'est pas de rentrer dans les précisions de chaque technologie, mais de les montrer et de faire comprendre les moyens qui permettent de choisir la stratégie du stockage la mieux correspondante à l'emploi visé. Au regard des puissances et des sources mises en jeu, les sources usuellement retenues sont : les accumulateurs, les volants d'inertie et les super condensateurs.

1. Les batteries :

Les accumulateurs sont sans conteste les éléments de stockage les plus matures et les plus utilisés dans les applications quotidiennes. Depuis quelques années, elles sont embarquées sur plusieurs lignes de tramway comme par exemple, le tram de la capitale azurienne produit par Alstom. Avec ses 68 accumulateurs embarqués de type nickel-métal-hydrure NiMH représentant 1.5 tonnes, il peut traverser les emplacements Masséna et Garibaldi, longues d'un demi kilomètre chacune. Ce dispositif permet de conduire en autonomie sans que le tramway ne se raccorde à la ligne de contact.

Ils existent des différentes technologies de batteries avec des coûts et des énergies massiques variantes. Elles sont caractérisées par une densité d'énergie élevée avec une puissance suffisante, ce qui permet d'assurer une autonomie locale.

2. Les volants d'inertie :

Un volant d'inertie emmagasine de l'énergie cinétique en tournant. Cette énergie cinétique emmagasinée par lors du freinage est récupérée par un générateur électrique à la chaîne de traction lors de l'accélération suivante. Le dispositif se charge à chaque freinage ou par un système de recharge rapide complémentaire lors de chaque arrêt en station. La consommation électrique peut être réduite considérablement par l'utilisation de l'énergie stockée à bord avec une durée de vie du système égale à celle du tramway.

Alstom a encore une fois été pionnier avec le tramway de Rotterdam. Les volants d'inertie de la société CCM ont été pour la première fois embarqués à bord des véhicules.

Le volant d'inertie donne donc un bon rapport énergie/puissance pour l'application tramway. Grâce à sa réversibilité et son temps de réponse, il agit comme une source tampon et assure en même temps l'autonomie locale.



FIGURE 1.13: volant d'inertie d'Alstom.

3. Les super condensateurs :

Les super condensateurs ont les mêmes propriétés que les condensateurs.

Contrairement aux batteries qui sont chargées et déchargées via une réaction chimique, l'énergie est stockée sous forme de charge ou concentration d'électrons aux bornes des armatures du super condensateur. Les super condensateurs constituent le pont entre les condensateurs conventionnels et les batteries. Ils stockent 10 à 100 fois plus d'énergie qu'un simple condensateur et peuvent délivrer 10 fois plus rapidement de la puissance que la plupart des batteries [12].

1.6 Matériel roulant

Le matériel roulant ferroviaire est l'ensemble des véhicules moteurs ou remorqués, élaborés pour se déplacer sur une voie ferrée et qui évolue toujours avec le temps. Afin de répondre aux attentes des usagers et des exploitants des réseaux de tramway.

1.6.1 Bogie

L'élément principal de l'ensemble du matériel roulant est le bogie qui est un chariot situé sous un véhicule ferroviaire sur lequel sont fixés les essieux (les roues). Il est mobile par rapport au châssis du véhicule (locomotive par exemple) et destiné à s'orienter convenablement dans les courbes. Outre son rôle de liaison entre les

essieux et la caisse, le bogie assure les rôles de freinage, d'interface entre la signalisation sur voie et la caisse, de suspension de l'ensemble du tramway. On distingue donc deux grandes familles de bogies [13] :

1. Les bogies moteurs : avec moteurs dans le cas d'une traction directe ou avec les pignons dans le cas d'une traction indirecte.
2. Les bogies porteurs : pas de moteur, généralement dédiés au freinage et assurant la répartition des charges et le guidage.

1.6.2 Traction

L'équipement de traction comprend le pantographe, le parafoudre, le disjoncteur ultrarapide, un coffre onduleur Onix 800 pour chaque bogie moteur (2 pour les 202 et 302, 3 pour les 402 et 403) ainsi que 4 ou 6 moteurs de traction. Chaque coffre Onix 800 comprend, outre les filtres HF (limitation des courants HF produits par les équipements de puissance) et BF (limitation des harmoniques et lissage du courant de ligne), un onduleur à IGBT alimentant les deux moteurs asynchrones d'un même bogie, un hacheur de freinage à IGBT et un rhéostat de freinage. Les moteurs de traction sont refroidis par eau [3].

Un convertisseur statique, alimenté par la tension de ligne, délivre du courant triphasé 400 V pour les blocs de climatisation et du 24 V pour la signalisation lumineuse, l'éclairage, la phonie, etc. Les fonctions de contrôle et de commande, d'aide à la conduite, de gestion des défauts, du système d'aide à l'exploitation, etc. sont gérées par une unité centrale à microprocesseur du système informatique embarqué Agate. Par prudence, les fonctions de la boucle de sécurité et du frein de secours sont assurées par une logique câblée.

1.6.3 Freinage

Les rames de tramway sont équipées de différents systèmes de freinage :

- un système de freinage mécanique sécuritaire « conventionnel » (généralement de type freins à disques).
- un système de freinage sécuritaire complémentaire qui permet la réduction des distances d'arrêt, en cas de freinage d'urgence. Ce système est généralement basé sur la technologie des patins magnétiques embarqués.
- un système de freinage électrique. Lors des freinages ou décélérations, les moteurs sont utilisés en générateur d'énergie électrique, ce qui exerce un effort de freinage.

Pour le matériel roulant de conception récente, on utilise généralement le système de freinage électrique. Il permet de réduire l'utilisation et donc l'érosion du système de freinage mécanique conventionnel. Pour cela la totalité ou une partie de la chaîne de traction embarquée est réversible. Lors des freinages ou décélérations, les moteurs sont utilisés en générateur d'énergie électrique, ce qui exerce un effort de freinage. La réversibilité de la chaîne de traction embarquée est systématiquement proposée par les constructeurs de matériel roulant. Elle permet de réduire l'utilisation et donc l'érosion du système de freinage mécanique. L'énergie électrique générée peut être :

*Dissipée dans les rhéostats embarqués sur le matériel roulant. Cette solution est proposée par de nombreux constructeurs car elle permet de limiter l'utilisation du freinage mécanique.

*Réinjectée sur la ligne aérienne de contact (afin d'être absorbée par un consommateur potentiel se trouvant à proximité).

Une régulation de la réinjection est faite à bord de la rame pour diminuer l'élévation de la tension LAC. Cette fonction de régulation devra être optimisée. Lorsque la LAC n'est pas suffisamment « réceptive » par rapport à la puissance de freinage réinjectée, le système de régulation embarqué intervient pour limiter la puissance réinjectée sur la LAC et dissiper le surplus de puissance dans les rhéostats embarqués stockée à bord du matériel roulant, si la rame est équipée d'un tel système de stockage. [3] En complément, pour améliorer la réceptivité de la LAC, les solutions technologiques disponibles sont :

- La réduction de la résistance linéique de la LAC.
- La récupération d'énergie dans les sous-stations de traction.

1.6.4 Retour des courants de traction (courants vagabonds)

Le terme « courant vagabond » signifie les courants électriques qui circulent dans le sol et se produisent soit de réseaux de traction électrique à courant continu (chemins de fer, tramway, etc.), soit d'installations électriques individuelles fixes ou mobiles (usine de raffinage électrolytique, de galvanoplastie, postes à soudure, etc.), soit des courants telluriques. Ces courants sont la plupart du temps variables dans leur intensité, leur direction et le trajet qu'ils traversent. C'est pour cette raison qu'on les appelle « courants vagabonds » [14].

Les groupes redresseurs assurent l'alimentation des rames de tramways en injectant un courant dans la LAC et qui revient aux postes de redressement par les rails de roulement. Ce retour des courants de traction vers les postes de redressement peut engendrer des courants vagabonds. La figure ci-dessous illustre le phénomène.

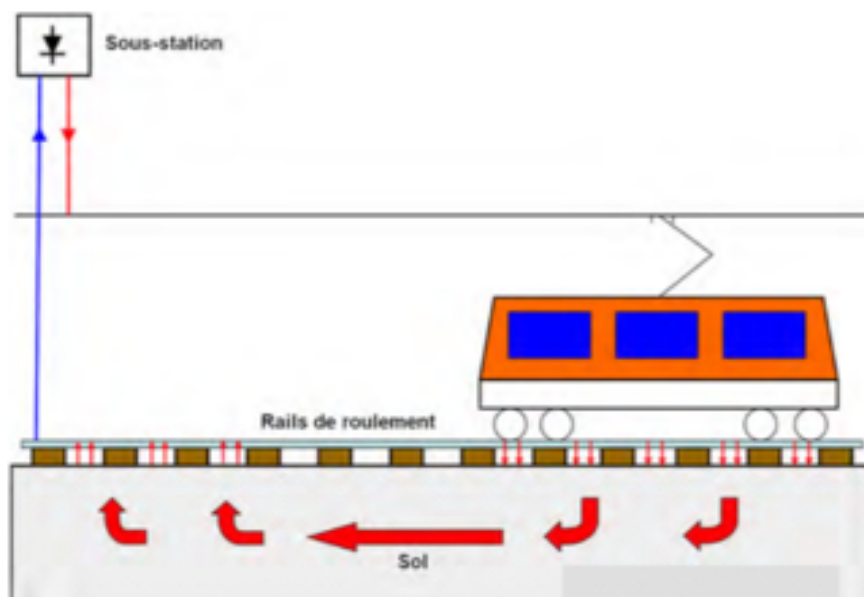


FIGURE 1.14: : Phénomène des courants vagabonds.

Ce phénomène est issu du caractère non parfaitement isolé des rails de roulement. La localisation et l'intensité des courants vagabonds dépendent de plusieurs facteurs, dont :

- L'isolation entre les rails et le sol.
- La résistance longitudinale de la voie ferrée.
- L'intensité du courant de retour traction.
- La position de la rame.

Donc il vaut mieux prendre des précautions pour limiter la délivrance des courants vagabonds lors de la construction d'une ligne de transport avec traction électrique en courant continu.

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté l'infrastructure d'alimentation ainsi que les sous-stations de traction ferroviaire et le matériel roulant et plus particulièrement les différents types d'alimentation des tramways.

Le Tramway d'Oran

2.1 Introduction

Le tramway d'Oran est un système de transport en commun en site propre desservant l'agglomération d'Oran (la Deuxième ville d'Algérie).

Depuis sa mise en service commercial au mois de mai 2013, le tramway d'Oran fait la joie et la fierté des habitants de la ville. Le projet a permis la création de plus de 1000 emplois directs et indirects dont plus de 750 employés à la SETRAM d'Oran.

Dans ce chapitre on va présenter la première ligne de tramway d'Oran en décrivant le projet dans sa globalité et les spécifications de chaque sous système.

2.2 Organisation du tramway d'Oran

Le tramway d'Oran est un réseau qui dessert l'agglomération d'Oran, deuxième ville d'Algérie. Un premier tronçon de 18,7 km et 32 stations, reliant Sidi Maârouf à Es Senia, est en service depuis le 2 mai 2013.

2.2.1 Maître d'ouvrage

Le maître d'oeuvre du projet Tramway d'Oran est l'entreprise EMA (Entreprise Métro d'Alger) créée en 1984, en qualité de maître d'ouvrage délégué du Ministère des transports, réalise pour le compte de l'état Algérien des projets dans le domaine des transports urbains [15].

L'Entreprise assure les études, la réalisation et l'exploitation de projets des transports de voyageurs urbains, notamment les métros, les tramways et les transports par câbles dans plusieurs agglomérations du pays [15].

2.2.2 Le réalisateur

Le réalisateur de ce projet est l'entreprise Alstom. C'est une société basée en France, spécialisée dans les secteurs des transports, principalement ferroviaires (trains, tramways et métros).

Pionnier des solutions de mobilité plus durables et plus intelligentes, Alstom développe et commercialise des systèmes intégrés permettant de jeter les bases d'un futur modèle de transport. Alstom propose une gamme complète de solutions, des trains à grande vitesse, métros, tramways et e-bus aux systèmes intégrés, services personnalisés et solutions d'infrastructure, de mobilité digitale et de signalisation . elle se trouve en excellente position pour dessiner la mobilité du futur : efficace, durable et connectée. [16]

2.2.3 Exploitation et maintenance

SETRAM est la société chargée de l'exploitation et de la maintenance des tramways algériens (Alger, Oran, Constantine, Sétif, Ouargla et Sidi Bel Abbès) pour une période de 10 ans. La direction générale se trouve dans la capitale Alger.

SETRAM a été créée à partir d'un accord entre l'entreprise du métro d'Alger (EMA) et le groupe RATP (Régie autonome des transports parisiens). C'est une société de droit algérien qui a pour objectifs :

- Porter l'Algérie vers un nouveau mode de transport urbain accessible à tous.
- Offrir un service de transport de haute qualité où la sécurité, le confort, la régularité et la propreté sont maîtres à bord.
- Accompagner les algériens dans la phase d'adaptation à ce nouveau moyen de transport et l'ancrer dans leurs habitudes de déplacement.
- Assurer le transfert du savoir-faire des experts du groupe RATP vers l'ensemble des salariés de la SETRAM par l'apprentissage et la formation.
- Se positionner comme référence en Afrique et dans le monde.

Cital acronyme de compagnie industrielle des transports algériens, est une coentreprise d'Alstom, ferroviaire, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) et l'Entreprise Métro d'Alger (EMA) dans le but de soutenir l'industrialisation du pays, Cital a deux activités principales : la maintenance de rames de tramway et l'assemblage à partir de « kits » de tramways de type Alstom Citadis et de rames automotrices de type Alstom Coradia Polyvalent pour le marché algérien.

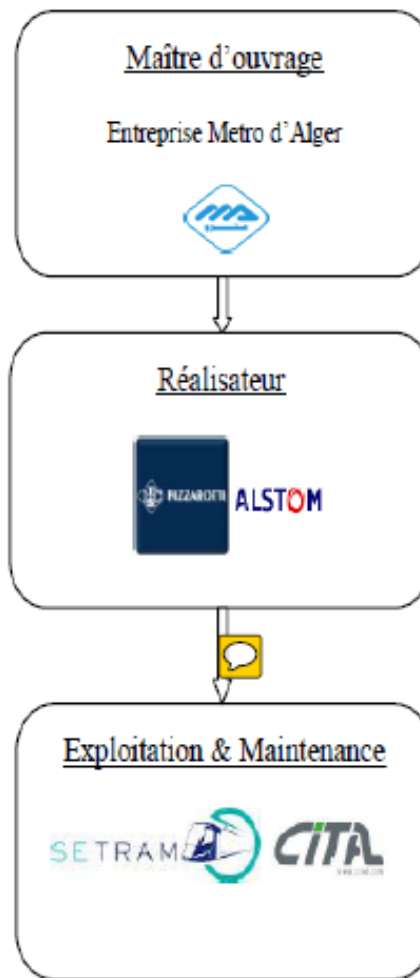


FIGURE 2.1: Organisation du tramway d'Oran.

2.3 Le réseau actuel

La mise en service commerciale d'un premier tronçon, retardée à plusieurs reprises, est intervenue le 2 mai 2013 après une inauguration officielle le 1er mai 2013 par le Ministre des transports algérien, Amar Tou, et le Wali d'Oran, Abdelmalek Boudiaf. Depuis 2018, le tramway d'Oran comprend une seule ligne de 18.7 *KM* et de 32 stations. Cette ligne (figure 2.1) dessert notamment : Sidi Maarouf, Hai Sabah, le campus de l'université des sciences et de la technologie (USTO), le carrefour des 3 cliniques, le palais de justice, Dar EL Beida, le quartier plateau Saint-Michel, le centre-ville d'Oran (place du 1er novembre), M'dina El Djadida, Boulanger et Es Sennia.



FIGURE 2.2: Plan de la ligne du tramway d'Oran.

Cette ligne est empruntée par une flotte de rames alimentées électriquement par une Lignes Aériennes de Contact (LAC).

2.4 Matériel Roulant

Le tramway d'Oran est équipé de 30 rames du type Citadis 302 (figure 2.3) construites par Alstom dans son usine en Espagne. La livraison des rames a été finalisée à l'automne 2011. Les rames d'une capacité de 257 places (56 places assises et 201 debout) sont dotées d'une climatisation et de vitre teintées ainsi que d'un système d'information voyageur en arabe et en français. Le plancher bas intégral assure la pleine accessibilité aux personnes à mobilité réduite. [17] Ces voitures sont de types bidirectionnels composés de 5 modules, 66% motorisés, climatisés, avec 3 bogies, exploitables en unité multiple.

2.4.1 La rame Citadis 302

Les rames citadis 302 sont composées de 5 modules articulés reposants sur 3 bogies dont 2 moteurs. Les bogies moteurs sont placés sous les cabines d'extrémité, dites motrices 1 et 2 ($M1$ et $M2$). Le bogie porteur est implanté sous la cabine centrale dite nacelle porteuse (NP). Enfin, entre chaque motrice et la nacelle porteuse s'intercalent des cabines suspendues. $C1$ du côté $M1$ et $C2$ du Côté $M2$. La dissociation d'une rame n'est possible qu'en atelier, pour des opérations de maintenance très exceptionnelles (réparation lourde suite à un accident grave, par exemple). Les

rames sont équipées à leurs deux extrémités de systèmes permettant d'installer une barre de remorquage. Ces systèmes ne sont utilisés que pour des secours ou des déplacements en atelier, assurés par un engin rail-route ou une autre rame.

Toutes les caisses de la rame sont reliées entre elles par des soufflets étanches permettant d'obtenir une intercirculation intégrale de grande largeur et sans obstacle sur toute la longueur de la rame.



FIGURE 2.3: Rame Alstom Citadis 302.

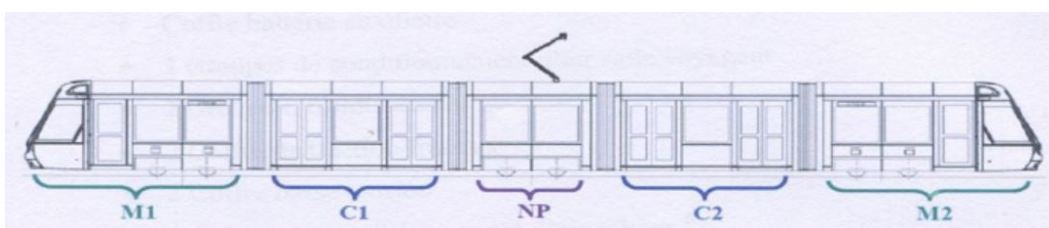


FIGURE 2.4: diagramme des rails citadis 302.

TABLE 2.1: Tableau des caractéristiques principales de la CITADIS 302.

Caractéristiques	mesures
Longueur	32416 <i>mm</i>
Largeur de caisse	2400 <i>mm</i>
Hauteur maxi au dessus du rail	3270 <i>mm</i>
Hauteur du plancher au dessus du rail	350 <i>mm</i>
Distance entre pivots des bogies	11142 <i>mm</i>
Empattement des bogies	1600 <i>mm</i>
Masse à vide en ordre de marche	38.41 <i>t</i>
Masse en charge normale	52.48 <i>t</i>
Nombre de bogies moteurs	2
Nombre de bogies porteurs	1
Nombre de places assises	56
Charge normale (norme de 4 passagers par mètre-carré)	201
Charge maximale (norme de 6 passagers par mètre-carré)	272
Vitesse maximale	70 <i>km/h</i>
Puissance maximale à la jante (traction)	688 <i>kW</i>
Tension d'alimentation	750 <i>V CC</i>
Accélération moyenne en charge normale en palier	1.10 <i>m/s</i> de 0 à 40 <i>km/h</i>
Rayon de courbure minimal	25 <i>m</i>

2.4.2 Les bogies moteurs

Les trois bogies moteurs sont équipés chacun de 2 moteurs asynchrones triphasés à refroidissement par eau d'une masse de 335 kg et d'une puissance de 175 *kW*. Leur vitesse de rotation maximale est de 4550 *tr/min*. La transmission de l'effort de traction est assurée par des engrenages et un pont moteur formant un essieu coudé virtuel.

La lutte contre les phénomènes de patinage est assurée par des sablières qui disposent de tuyaux éjecteurs face à chaque roue du côté de l'extrémité du bogie. Seuls les éjecteurs à l'avant dans le sens de la marche sont actifs, nous donnons ci-dessous les photos des 02 bogies moteur et porteur [18].

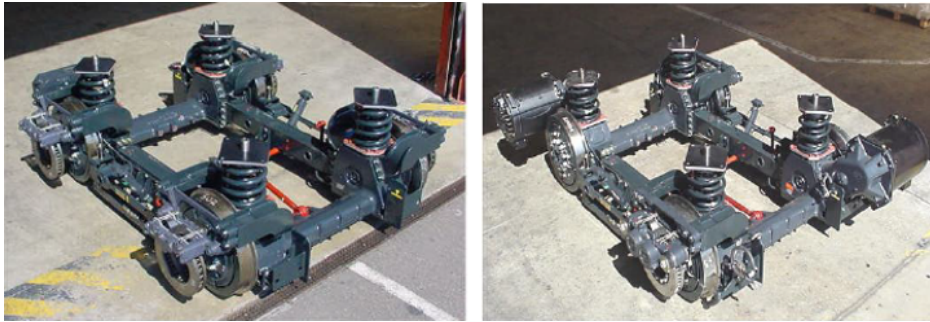


FIGURE 2.5: Bogie Porteur à gauche et Bogie Moteur à droite.

L'alimentation de la rame en 750 V DC est assurée par un unique pantographe Favelay installé en toiture de la nacelle porteuse. L'équipement de puissance est composé d'un onduleur de tension de technologie IGBT Onyx refroidis par ventilation forcée pour chaque bogie moteur. La commande est assurée par un circuit de commande électronique basse tension AGATE control relié à un manipulateur de traction-freinage disposé sur chacun des pupitres de conduite [19].

Les auxiliaires de la rame sont alimentés en 400 V alternatif 50 Hz triphasé par un convertisseur statique principal à IGBT d'une puissance de 15 kVA . La charge des batteries et l'alimentation du réseau basse tension sont assurées par un convertisseur auxiliaire d'une puissance de 13 kW produisant du 24 volts continu à partir du 750 V de la ligne aérienne. Chaque rame dispose d'un bloc batterie au cadmium-nickel [19].

Les rames sont aussi équipées d'un système de transmission informatique embarqué de type MVB, ce qui permet de gérer les commandes de traction et de freinage de service et assure la transmission de données pour le contrôle-commande d'organes secondaires, la sonorisation et l'interphonie, le repérage des défaillances, et l'aide à la maintenance avec l'enregistrement de l'historique des dysfonctionnements. Pour cela lui sont reliés les équipements de traction et freinage, les convertisseurs d'alimentation des auxiliaires, les modules de commandes des portes, la centrale tachymétrique, et les systèmes de commande des unités de chauffage et climatisation. Les freinages de sécurité et d'urgence sont, eux, pilotés par un câblage traditionnel [17].

2.4.3 Les différents modes de freinage

Le freinage est assuré par plusieurs dispositifs. Tout d'abord, on trouve sur les bogies moteurs le freinage électrodynamique à récupération et rhéostatique qui assure un effort de retenue de 3675 daN par bogie. Le freinage rhéostatique se substitue automatiquement à la récupération en cas d'absence de tension dans la ca-

ténaire. Ensuite, chaque essieu est équipé d'un disque de freinage en fonte ventilée de 400 mm de diamètre et de 60 mm d'épaisseur sur lequel viennent appuyer des plaquettes en matériaux composites. Les plaquettes sont montées sur des étriers assurant le serrage des freins par ressort [20].

En service, le desserrage est assuré par pression grâce à un circuit hydraulique. Ce freinage par friction assure un effort de retenu maximum de 3410 daN sur les bogies moteurs et de 4980 daN sur le bogie porteur. Enfin, chaque bogie est équipé de 2 patins électromagnétiques pouvant venir s'appliquer sur les rails. En freinage de service, sont sollicités, à l'aide du manipulateur traction-freinage, les systèmes électrodynamique et mécanique avec une régulation des efforts en continu en fonction de la charge par un anti-enrayeur [20].

En freinage d'urgence, déclenché, soit par le passage du cran spécial du manipulateur, soit par la rupture de la boucle d'urgence, les trois systèmes de frein sont sollicités avec un réglage des efforts en continu.

En freinage de sécurité, commandé, soit par le coup-de-poing, soit par l'ouverture de la boucle de sécurité, le courant est coupé aux moteurs de traction empêchant tout freinage électrodynamique. Dans ce cas, le freinage mécanique et les patins électromagnétiques sont sollicités à leur maximum de puissance, sans régulation. Il existe indépendamment des autres systèmes, pour le stationnement de longue durée, un frein de parking à ressort sur les essieux moteurs de la rame [20].

Les trois premiers modes sont à la disposition de l'agent de conduite, les deux derniers sont automatiques.

2.4.4 Les équipements en toiture

Les équipements en toiture d'un élément du tramway sont :

1. En motrices *M1* et *M2* :

- Un coffre équipement traction/freinage.
- Un coffre d'équipements électriques basse tension : La batterie BT contient 19 cellules identiques placés en série afin d'avoir une tension continue de 24 V.

Ce coffre peut être isolé de deux façons :

- Action sur le commutateur motorisé d'isolement batterie.
- Action sur le commutateur d'isolement batterie depuis la toiture (dans le coffre batterie).

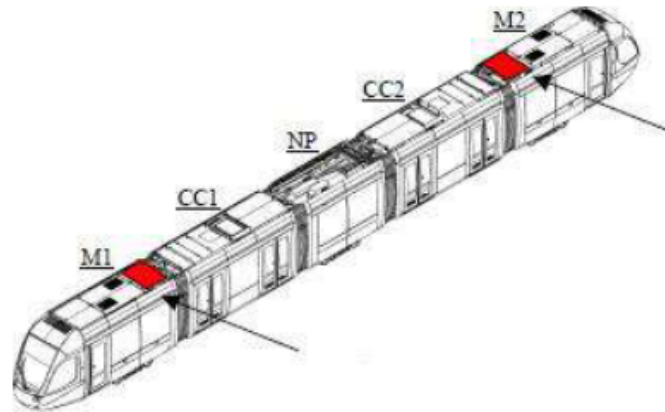


FIGURE 2.6: Schéma d'implantation du coffre équipement électrique basse tension.

- Un groupe de refroidissement moteur : Garantit le refroidissement des moteurs de traction d'un même bogie.

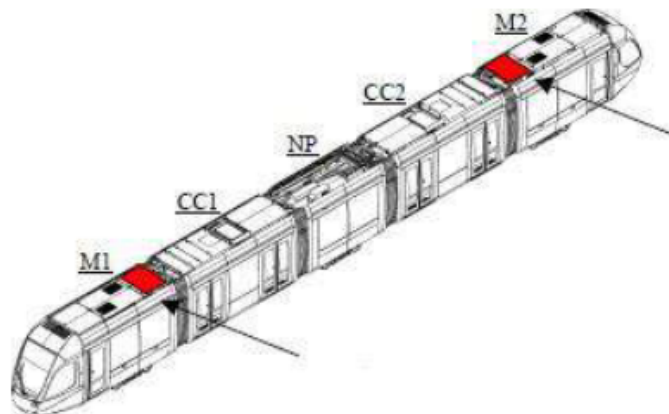


FIGURE 2.7: Schéma d'implantation du groupe de refroidissement moteur.

- Un groupe de climatisation : Le groupe de climatisation cabine permet de maintenir et de garantir à l'intérieur de chaque cabine de conduite, la température constante souhaitée et elle peut être modifiée par l'agent de conduite.

2. En nacelle porteuse NP :

- Un coffre disjoncteur : Situé en toiture de la nacelle porteuse NP est l'équipement qui assure la continuité électrique contre :

- Les équipements fournissant de la haute tension HT (pantographe, batterie HT).
- Les équipements nécessitant la tension HT avec principalement les coffres de traction-freinage et les convertisseurs statique.

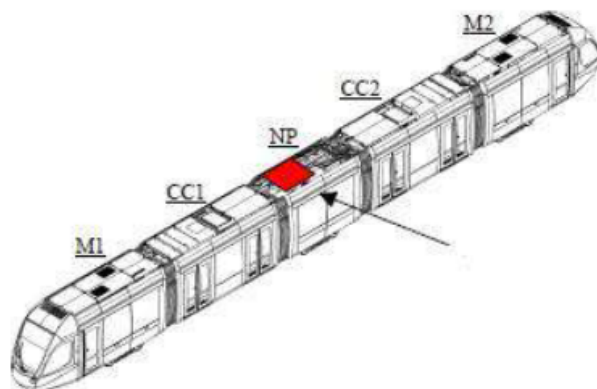


FIGURE 2.8: Schéma d'implantation du Coffre disjoncteur.

- Un pantographe : Le pantographe est un ensemble mécanique articulé, situé au-dessus du véhicule dépliable permet de capter le courant sur la caténaire et l'achemine jusqu'à la ligne de conduite. Les organes de commandes permettent la montée ou la descente du pantographe.

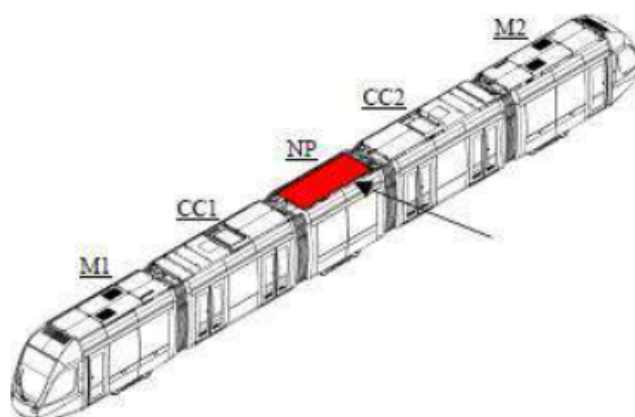


FIGURE 2.9: Schéma d'implantation du Pantographe.

- Un parafoudre : Le parafoudre assure la protection de la rame contre les surtensions du matériel alimenté sous une tension nominale de 750 V en DC en cas d'orage.



FIGURE 2.10: un parafoudre.

3. En caisse suspendue :

- Un groupe de climatisation salle : Le groupe de climatisation salle voyageurs permet de maintenir la température souhaitée à l'intérieur des salles des voyageurs.

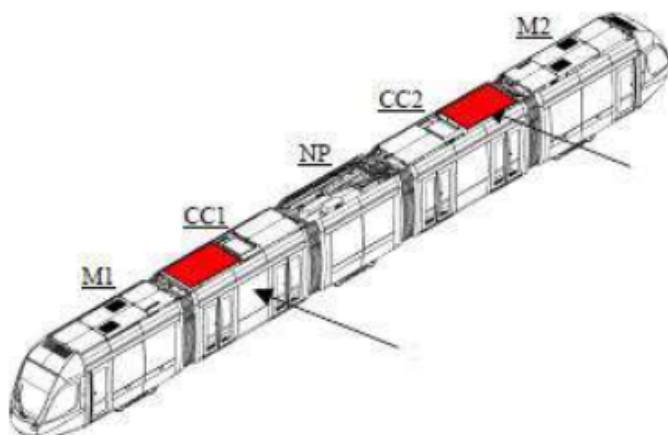


FIGURE 2.11: Schéma d'implantation du groupe de climatisation salle.

- Un rhéostat de freinage : Le rhéostat de freinage permet de dissiper l'énergie fournie par les moteurs, car en phase de freinage les moteurs auront le même comportement que les générateurs et injectent de l'énergie sur la caténaire mais lorsque celle-ci n'est plus réceptive, le flux d'énergie est dissipé à travers les rhéostats.

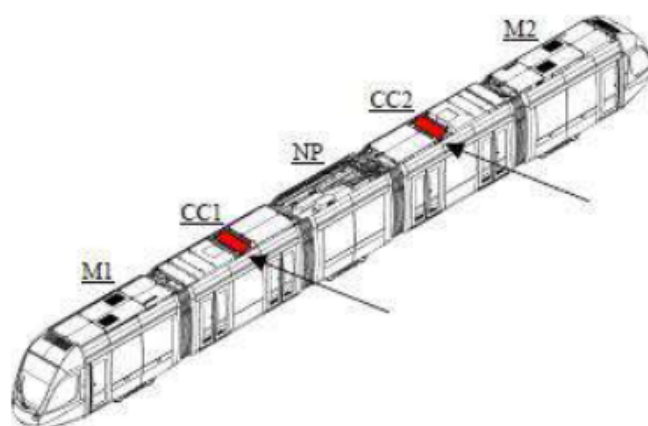


FIGURE 2.12: Schéma d'implantation du rhéostat de freinage.

- Un coffre batterie (dans *C1*) : Ce réseau est utilisé principalement pour alimenter les fonctions qui doivent rester disponibles. (par exemple : feux de garage (fanaux)). C'est la raison pour laquelle il est continuellement alimenté par la batterie tant que cette dernière n'est pas déchargée (ou par le convertisseur statique lorsqu'il fonctionne).

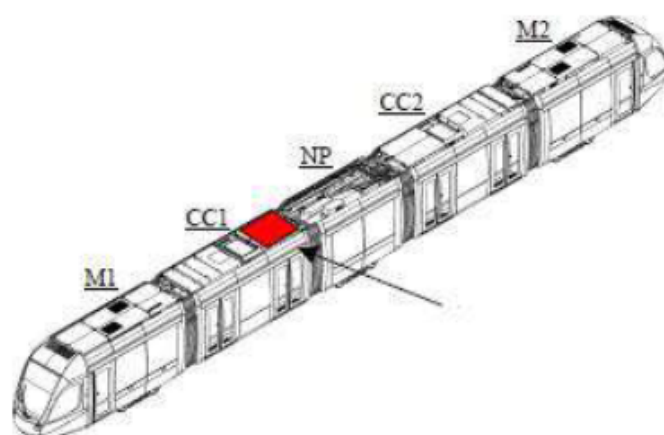


FIGURE 2.13: Schéma d'implantation de Coffre batterie.

- Un convertisseur statique (CVS) (dans *C2*) : La fourniture d'énergie auxiliaire est assurée par un convertisseur statique CVS. A partir de la haute tension 750 VDC fournie par le pantographe, le convertisseur statique délivre, à partir de différents modules électriques, l'énergie moyenne et basse tension utilisée sur la rame. Le CVS contient également une élec-

tronique de commande qui assure le contrôle et la commande des différents modules.

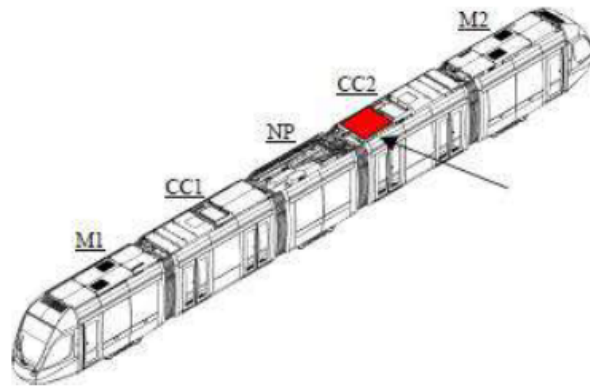


FIGURE 2.14: Schéma d'implantation du convertisseur statique CVS.

2.5 Système d'énergie

La fonction principale du système d'alimentation électrique de traction est de fournir l'énergie nécessaire aux tramways circulant sur la ligne et dans la zone dépôt à partir des sous-station de transformation et de conversion de courant (haute tension en basse tension alternative puis en courant continu).

Ce système d'alimentation est composé :

- D'un poste haute tension 60/30 kV (PHT).
- D'un câble en boucle alimentant les sous-stations électriques.
- De onze sous-stations (SST) localisées le long de la ligne, Senia garage et dépôt.

• Description du principe de fonctionnement :

Le poste haute tension est alimenté par le réseau Sonelgaz 60 kV triphasé 50 Hz, raccordé en coupure d'artère sur la ligne 60 kV Hassi-Ameur/Petit Lac, à l'issues de deux postes sources différents :

- Petit Lac.
- Hassi-Ameur.

Le PHT assure la transformation de la tension de 60 kV à 30 kV . Un tableau de distribution 30 kV alimente deux départs pour former un anneau le long de la ligne qui alimente en coupure d'artère les différentes sous-stations de traction de la ligne du tramway d'Oran. Chaque sous-station de traction (SST) est alimentée par une boucle 30 kV triphasé 50 Hz issue du poste source HTB/HTA $60\text{ kV}/30\text{ kV}$.

Les sous-stations (0 à 10) fournissent par l'intermédiaire de la ligne aérienne de contact (LAC) l'énergie de traction en 750 V DC nécessaire aux véhicules.

La SST dépôt alimente en outre le dépôt de maintenance des véhicules.

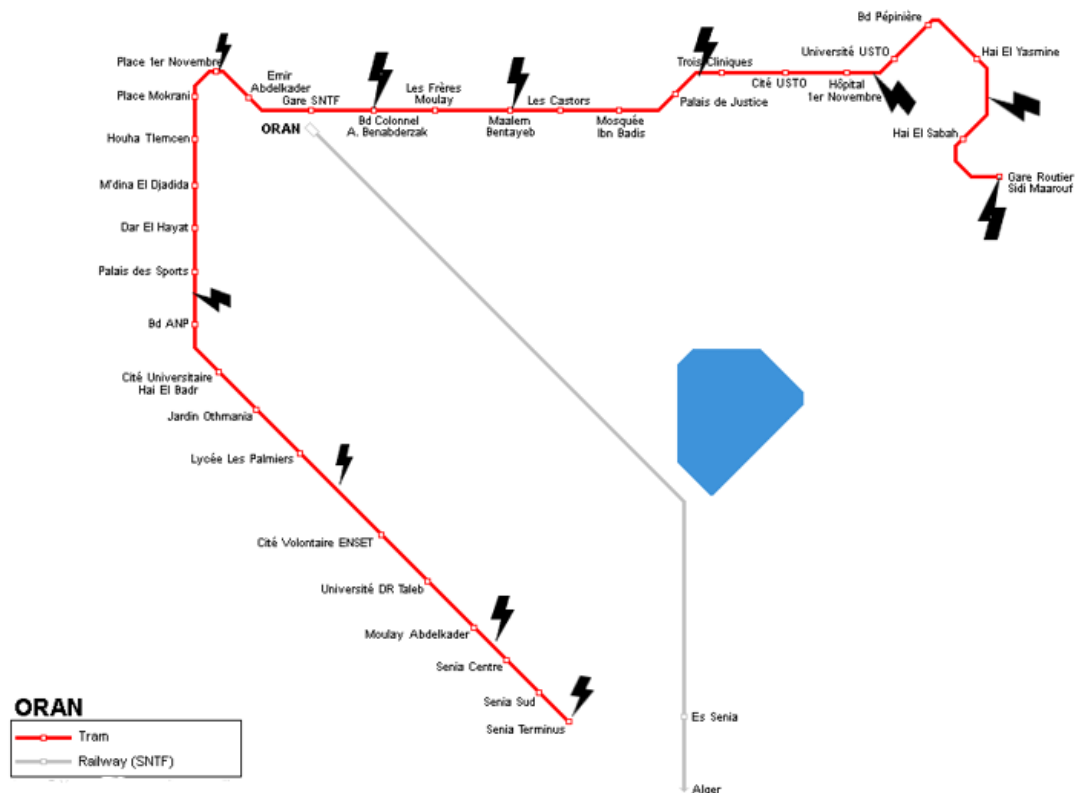


FIGURE 2.15: Plan des sous-stations de traction.

2.6 Le poste haute tension

2.6.1 Arrivées ligne 60 kV

Le PHT dispose de deux travées "arrivées ligne 60 kV ".

- La première depuis le poste source 60 kV de Hassi-Ameur.
- La deuxième depuis le poste source 60 kV de Petit Lac.

Sur chacun des deux arrivées, on trouve :

- Trois parafoudres.
- Un circuit bouchon.
- Trois transformateurs de tension, pour protection ($TT1$ et $TT2$).
- Un sectionneur d'entrée manuel, triphasé, avec la mise à la terre côté ligne ($QS1 - 1$ et $QS2 - 1$).
- Trois transformateurs de courant pour protection et contrôle ($TC1$ et $TC2$).
- Un disjoncteur ($QD1 - 1$ et $QD2 - 1$).
- Deux sectionneurs motorisés, triphasés ($QS3 - 1$ et $QS3 - 2$ pour une travée, $QS4 - 1$ et $QS4 - 2$ pour l'autre travée), pour l'aiguillage de chaque arrivée sur chacun des jeux de barres 60 kV du PHT.

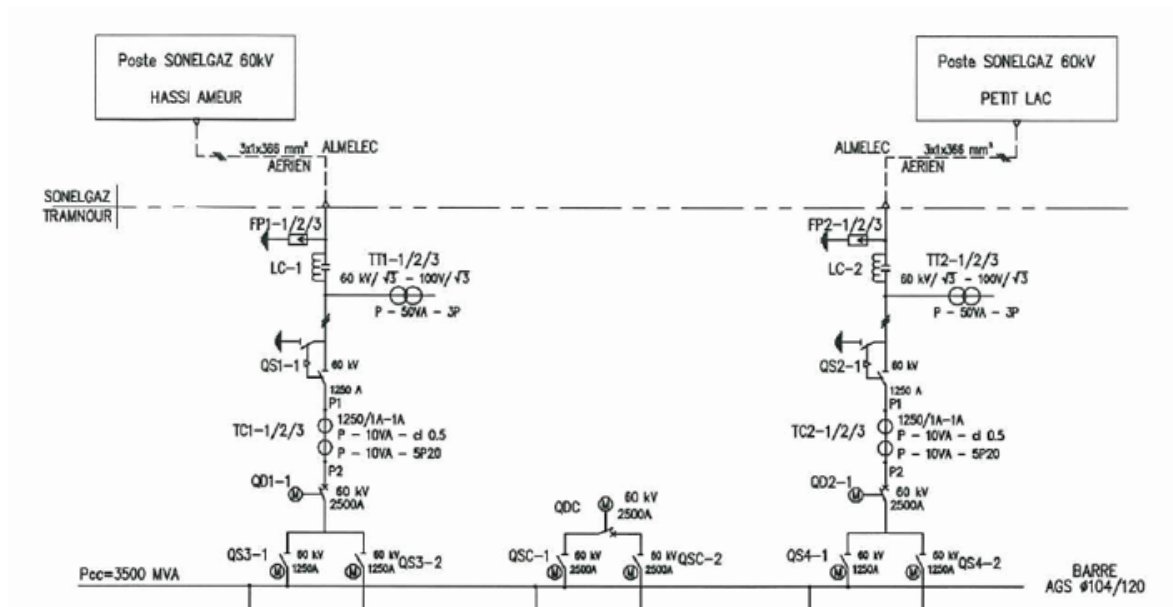


FIGURE 2.16: Schéma unifilaire des travées 60 kV Hassi-Ameur / Petit Lac.



FIGURE 2.17: Travées 60 *kV* Hassi-Ameur / Petit-Lac.

2.6.2 Jeux de barre de couplage

Les arrivées ligne peuvent être aiguillées sur n'importe lequel des deux jeux de barres.

Les départs transformateurs peuvent être aiguillés sur n'importe lequel des deux jeux de barres.

En extrémité de chacun des deux jeux de barres, on trouve trois transformateurs de tension pour le comptage d'énergie.

Le PHT dispose de deux jeux de barres réunis par une travée "couplage 60 *kV*" composé de :

- Un disjoncteur motorisé (QDC).
- Deux sectionneurs triphasés, motorisés, qui encadrent le disjoncteur ($QSC - 1$ et $QSC - 2$).

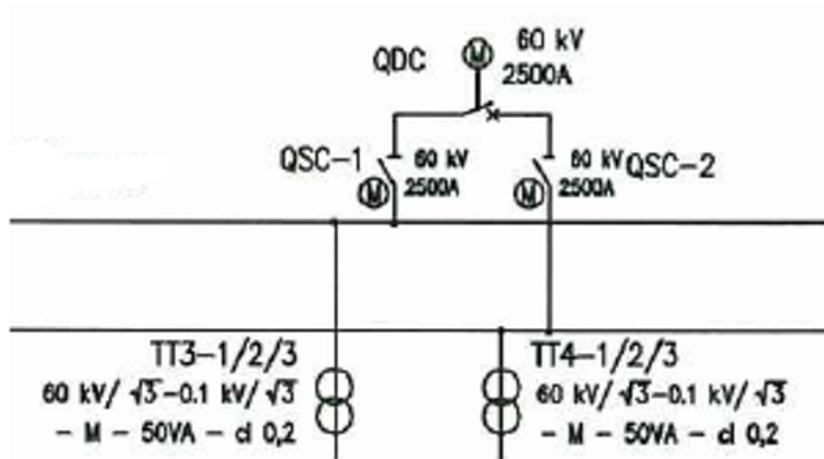


FIGURE 2.18: Schéma unifilaire de couplage des deux jeux de barres.



FIGURE 2.19: Jeux de barres de couplage.

2.6.3 Départ transformateur

Pour alimenter le réseau 30 kV du tramway d'Oran, le PHT dispose de deux travées "départ transformateur 60 kV". Sur chacune des deux travées, on trouve :

- Deux sectionneurs motorisés, triphasés ($QS5 - 1$ et $QS5 - 2$ pour une travée, $QS6 - 1$ et $QS6 - 2$ pour l'autre travée), pour l'aiguillage de chaque départ sur chacun des deux jeux de barres 60 kV du PHT.
- Un disjoncteur ($QD3 - 1$ et $QD4 - 1$).
- Trois transformateurs de courant pour protection de comptage ($TC3$ et $TC4$).
- Trois parafoudres ($FP3$ et $FP4$).
- Un transformateur de puissance 60/30 kV, avec régulateur en charge ($T1$ et $T2$).

Sur chacun des deux transformateurs, côté 60 kV, il est installé un sectionneur unipolaire manuel ($QS7 - 1$ et $QS8 - 1$) entre le point neutre de l'enroulement 60 kV (connexion étoile) et la terre.

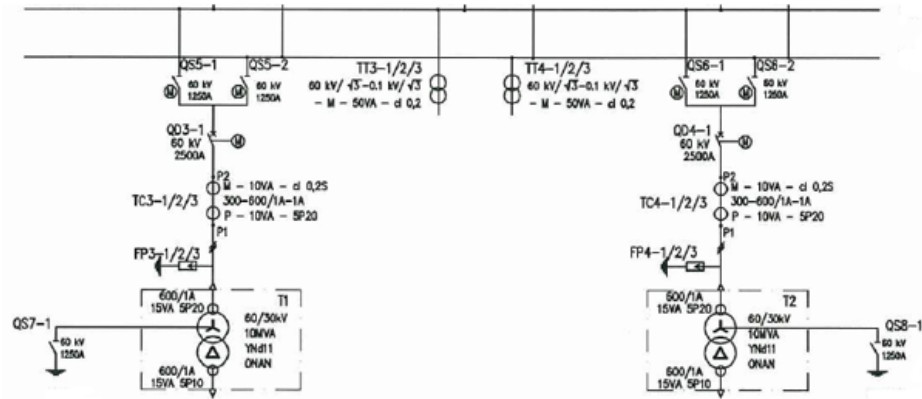


FIGURE 2.20: Schéma unifilaire des travées départ transformateurs 60/30 kV.



FIGURE 2.21: Transformateur 60/30 kV.

2.6.4 Tableau 30 kV

Le secondaire des transformateurs alimente un tableau 30 kV depuis lequel est alimenté l'anneau 30 kV du tramway d'Oran.

Le tableau 30 kV du PHT est composé des éléments suivants :

- Deux cellules type "arrivée" avec disjoncteurs motorisés (*DHTA-A1* et *DHTA-A2*) sur lesquelles sont connectés les câbles de raccordement à chacun des deux transformateurs de puissance.
- Deux cellules de mesure pour le comptage interne et contrôle avec trois TP (transformateur de puissance) et TC (transformateur de courant) (*CM1* et *CM2*).
- Deux cellules départ anneau 30 kV avec interrupteur motorisé et sectionneur de mise à la terre (*ID1* et *ID2*).
- Une cellule contacteur de couplage barre (*CU*).

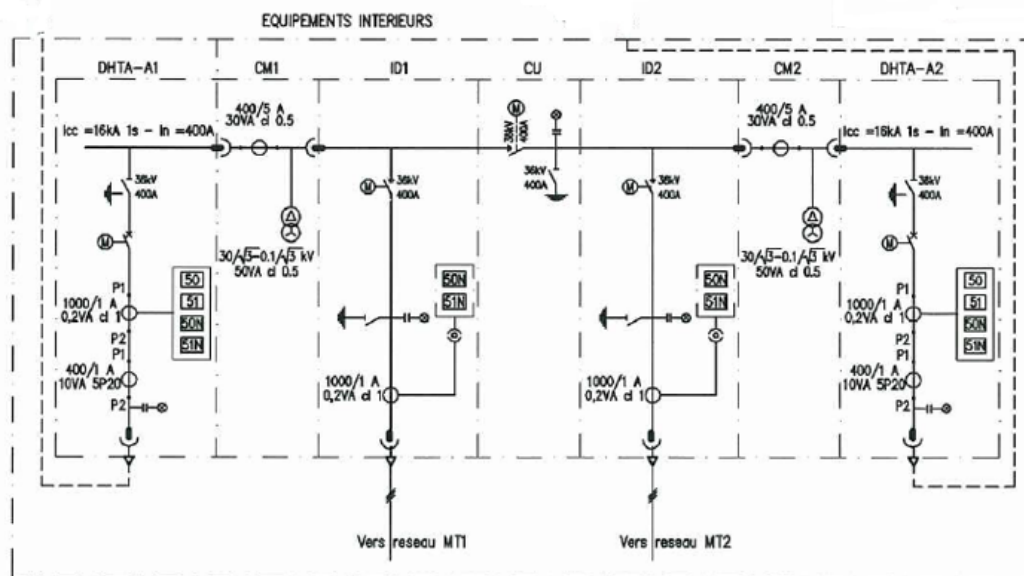


FIGURE 2.22: Schéma unifilaire du tableau 30 kV du PHT.

2.7 Les sous-station de traction (SST)

Les sous-stations électriques assurent :

- A partir de l'énergie alternative, la transformation et la production de l'énergie continue dans une quantité adaptée.

- La distribution de l'énergie continue, en ligne et dans la zone dépôt.

Les sous-stations au nombre de onze sont situées le long de la ligne depuis Sénia garage jusqu'au dépôt Sidi Maarouf.

Les sous-stations de traction sont alimentées en 30 kV par une boucle HT via un tableau HT. La boucle est constituée des différentes sous-stations en série et reliée aux deux extrémités au poste haute tension $60/30\text{ kV}$.

Les sous-stations SST (0 à 9) fournissent par l'intermédiaire de la ligne aérienne de contact (LAC) l'énergie de traction en 750 V DC nécessaire aux véhicules. La SST dépôt alimente en outre le dépôt de maintenance des véhicules.

Chaque sous-station possède deux transformateurs : un transformateur de traction qui assure l'obtention de 750 V DC dans la LAC et un transformateur auxiliaire pour l'équipement de basse tension (l'afficheur dans les arrêts du tram, les plaques signalétiques, la radio...etc.).

Pour assurer la continuité du service en cas d'une panne au niveau de la boucle du réseau (des sous-stations), Alstom a utilisé une technique telle qu'une phase du PHT alimente tous les sous-stations paires et une autre phase alimente les sous-stations impaires.

2.7.1 Le tableau 30 kV d'une sous-station en ligne

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

- IA et ID : Deux cellules type "arrivée" avec interrupteurs motorisés sur lesquelles sont raccordés les deux tronçons de la boucle 30 kV . Ces cellules sont équipées d'un dispositif de contrôle tension sur chaque câble d'arrivée. Les cellules IA sont en outre équipées d'un TC tore et d'un détecteur de défaut de courant pour câbles souterrains.
- CU : Une cellule contacteur d'union barres motorisé (CU), avec sectionneur mise à la terre coté "traction", pour unir les arrivées à la partie "traction" du tableau.
- DHTA-R : Une cellule disjoncteur départ transformateur du poste redresseur traction.
- ITRA : Une cellule interrupteur-fusible combinée départ transformateur auxiliaires.

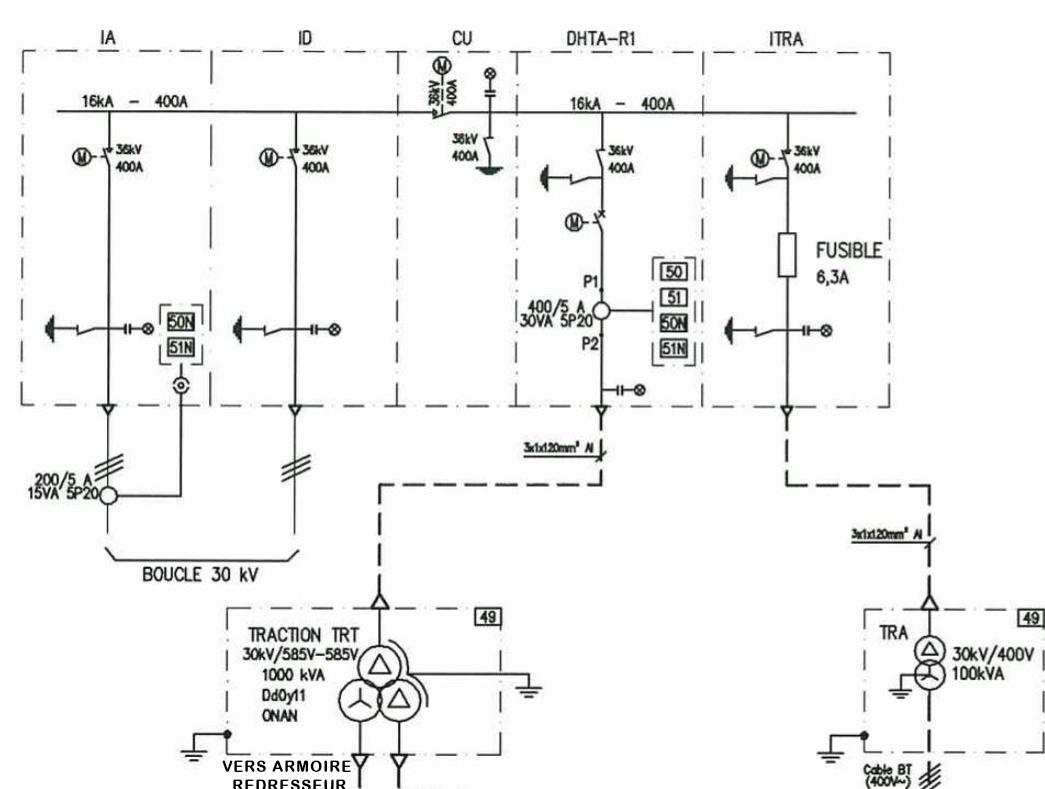


FIGURE 2.23: Schéma unifilaire d'un tableau 30 kV d'une SST en ligne.

2.7.2 Le tableau 30 kV d'une sous-station dépôt

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

- IA et ID : Deux cellules type "arrivée" avec interrupteurs motorisés sur lesquelles sont raccordés les deux tronçons de la boucle 30 kV. Ces cellules sont équipées d'un dispositif de contrôle tension sur chaque câble d'arrivée. Les cellules IA sont en outre équipées d'un TC tore et d'un détecteur de défaut de courant pour câbles souterrains.
- CU : Une cellule contacteur d'union barres motorisé (CU), avec sectionneur mise à la terre côté "traction", pour unir les arrivées à la partie "traction" du tableau.
- DHTA-R1 et DHTA-R2 : Deux cellules disjoncteur départ transformateur du poste redresseur traction ligne et dépôt.
- DHTA-D : Une cellule disjoncteur départ transformateur des équipements de dépôt.
- ITRA : Une cellule interrupteur-fusible combinée départ transformateur auxiliaires.

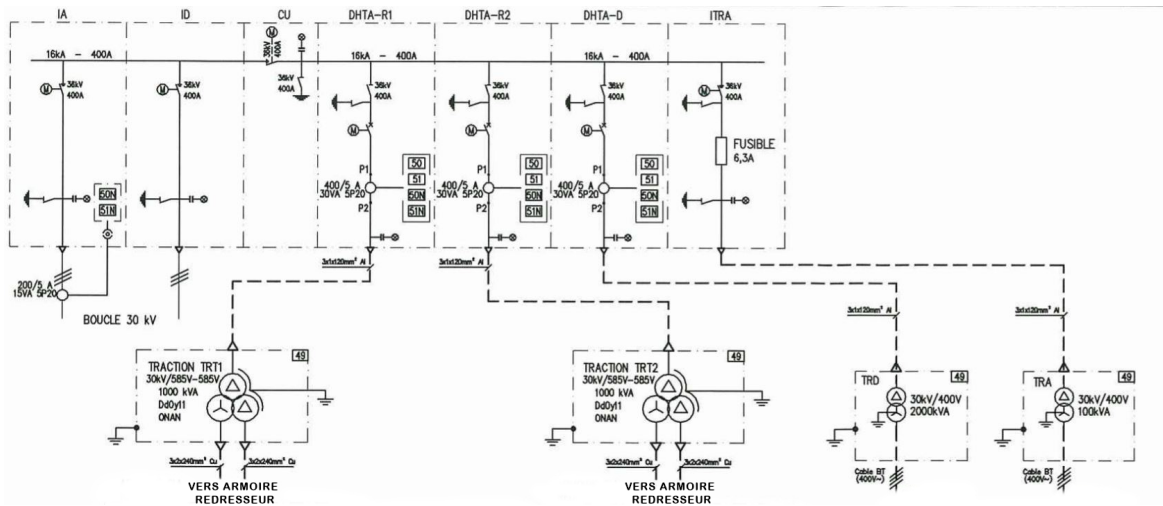


FIGURE 2.24: Schéma unifilaire du tableau 30 kV de la sous-station dépôt.

2.7.3 Transformateur de traction TRT

Le transformateur de traction permet d'abaisser la haute tension 30 kV alternative issue du DHTA-R en une tension alternative basse tension $2 \times 585 V$ qui alimente le groupe redresseur qui est constitué du redresseur (RED) et des sectionneurs d'isolement automatique (SIA). Ce transformateur est de type sec enrobé (un transformateur pour réseaux souterrains permet de transformer le niveau de tension HTA du réseau de distribution en basse tension et d'offrir un niveau de sécurité au feu accru tout en assurant une fiabilité totale en service).

2.7.4 Redresseur RED

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

Le redresseur utilisé dans les sous-stations à Oran est de type dodécaphasé (12 impulsions) afin de limiter les harmoniques générées.

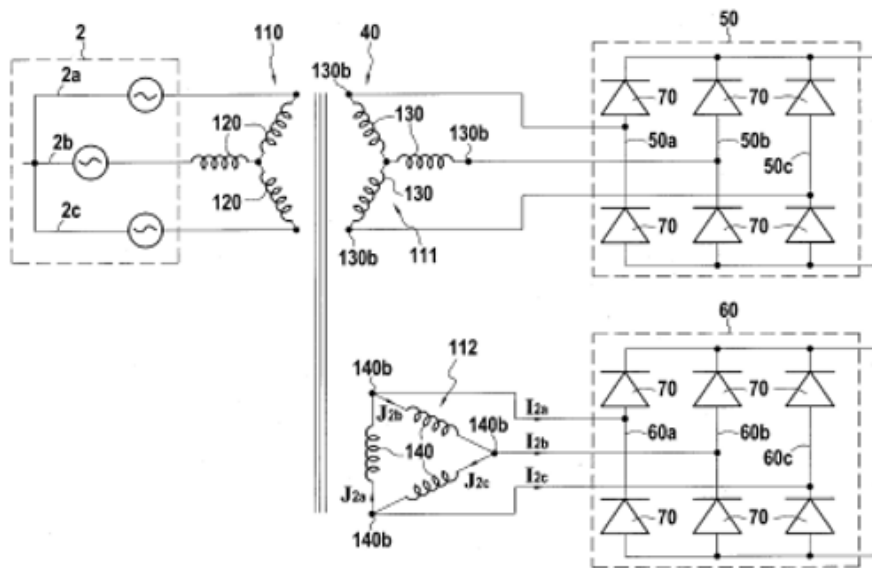


FIGURE 2.25: Redresseur dodécaphasé.

2.7.5 Sectionneur 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.



FIGURE 2.26: Groupe redresseur de courant en traction.

2.8 Ensemble distribution de l'énergie de traction

L'énergie produite par le groupe redresseur traction doit être acheminée jusqu'aux rames détractions. Cette énergie transite donc depuis la sortie du groupe redresseur traction via :

- Un tableau de protection traction (TPT).
- Un tableau de distribution traction (TDT).
- Les équipements traction en ligne de la section en ligne concernée.

L'énergie de traction produite par les sous-stations doit donc être transmise aux tramways circulant sur l'ensemble de ligne via la LAC.

On dispose en parallèle de la LAC d'un feeder tout le long de la ligne permettant d'optimiser la circulation du courant. Ce feeder relie toutes les sous-stations et il est régulièrement relié à la LAC par les coffrets d'injection feeder.

La LAC présente tout du long du parcours est divisée en sections électriques. Chaque section est isolée électriquement l'une de l'autre par des isolateurs de section (IST) montés directement sur la LAC.

La ligne est donc divisée en 10 sections numérotées : 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 et 100.

Il existe deux types de sous-stations électriques : "T" et "TT".

- Le type "T" possède un seul départ ligne et un feeder.
- Le type "TT" possède deux départs ligne et un feeder permettant ainsi d'alimenter deux sections électriques différentes.

2.8.1 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 cela, il comprend suivant le type de la sous-station électrique, un ou deux disjoncteurs ultra rapides (DUR) dimensionnés et configurés pour pouvoir interrompre l'alimentation traction dans tous les cas de défauts. En plus, un DUR de by-pass permet de faire face à l'éventuelle défaillance d'un des deux DUR principaux.

2.8.2 Disjoncteur ultra rapide (DUR)

- Les disjoncteurs permettent de protéger et d'isoler la section de ligne aérienne de contact (LAC) contre les défauts et les éventuelles surcharges.
- Ils sont manoeuvrables en mode local ou distance.

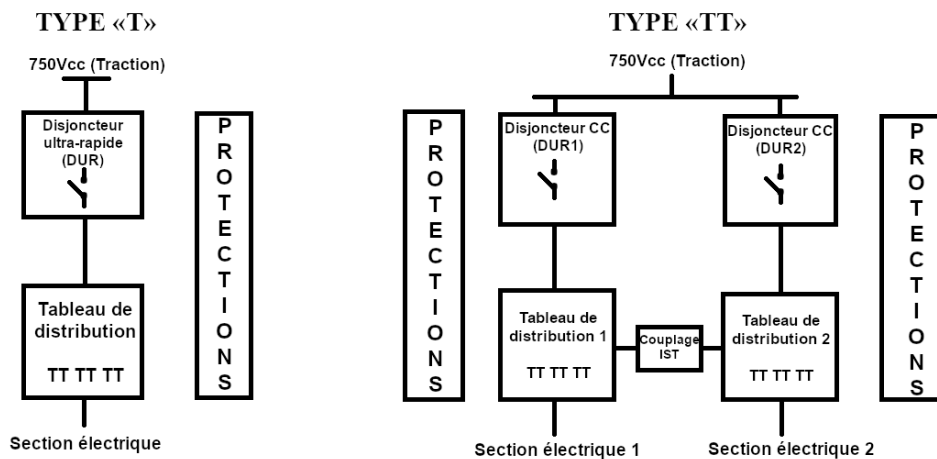


FIGURE 2.27: Tableau de distribution traction des différents types de SST.

- Ils permettent la séparation effective des parties production et distribution.
- Ils sont sécurisés par verrouillage mécanique afin de permettre une éventuelle action de maintenance sur la section électrique en toute sécurité.
- Ils peuvent communiquer avec les disjoncteurs des sous-stations adjacentes.

2.8.3 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 "T" :

- Deux sectionneurs sont manoeuvrables seulement hors charge : Un sectionneur de ligne (SL) qui permet de déconnecter l'alimentation à la LAC, et d'un sectionneur de feeder parallèle (SF) permet de déconnecter l'alimentation feeder parallèle de la ligne.
- Barrette déconnectable.

Il est constitué pour la distribution en "TT" :

- De deux ensembles SL + SF.
- Barrette déconnectable.
- D'un interrupteur de secours télécommandé (IST).



FIGURE 2.28: Disjoncteur ultra rapide.

2.9 Equipements en ligne

2.9.1 Interrupteur de secours télécommandé IST

Dans le cas d'une distribution en "TT", l'interrupteur de secours télécommandé « IST » permet de connecter deux sections électriques. Le transfert de l'énergie de traction est assuré lorsque la sous-station est hors service.

L'IST peut être manoeuvré selon les trois modes suivants :

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

2.9.2 Interrupteur en ligne INT

- Permet de relier ou d'isoler deux sous-stations électriques.

- Transfert si nécessaire la ligne pilote.
- Est en position fermé en exploitation normale.

2.10 Les heures de travail

TABLE 2.2: Les heures de travail du tramway d'Oran

/	Jour de semaine	Vendredi	Samedi
Premier départ de SIDI MAAROUF	5h00	5h00	5h00
Premier départ de ESSENIA	5h00	5h00	5h00
Dernier départ de SIDI MAAROUF	22h00	22h00	22h00
Dernier départ de ESSENIA	22h00	22h00	22h00
Le temps d'attente 05h30 à 09h00	5 min	3 min	5 min
Le temps d'attente 09h00 à 21h10	10 min	4 min	10 min
Le temps d'attente 21h10 à 22h00	7 min	3 min	7 min

2.11 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons élaboré brièvement les caractéristiques du projet de tramway d'Oran avant d'exposer d'une façon plus détaillée le type des rames adoptées pour le projet, ainsi que le mode de distribution de l'énergie adopté et comment le réseau électrique est acheminé des sous-stations jusqu'aux voitures ferroviaires.

Etude de l'extension du tramway d'Oran

3.1 Introduction

Oran est une ville portuaire de la mer Méditerranée, elle est la deuxième plus grande ville d'Algérie et l'une des plus importantes villes du Maghreb. Suite à l'agglomération oranaise après les années 90, les moyens de transport urbain ne couvraient pas suffisamment les zones suburbaines. Cette situation a évolué avec la mise en oeuvre du tramway d'Oran, mais cela restait insuffisant au regard du nombre d'usagers, surtout les habitants du nord-est d'Oran.

Dans ce chapitre on va faire une étude d'extension de la ligne du tramway d'Oran, en proposant deux types d'alimentation, l'alimentation par LAC et l'alimentation par le sol, et faire une comparaison entre les deux pour adopter la plus fiable.

3.2 Les conditions climatiques et géographiques

Généralement les conditions environnementales et atmosphériques prises en considération pour la conception des équipements d'énergie sont :

- Tenir compte des réglementations parasismiques algérienne en vigueur.
- Une altitude maximale qui ne dépasse pas les 1100 *m*.
- Limite des températures ambiantes : $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Limite des températures ambiantes à l'intérieur des sous-stations : $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en fonctionnement et entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hors fonctionnement.

3.3 Les extensions proposées

La première ligne qu'on va étudier est une extension qui va relier la ligne actuelle de tramway d'Oran avec le nouveau stade olympique d'Oran en passant par Canastel, Belgaid et le pôle universitaire de Belgaid. Le pôle d'échange avec la ligne principale actuelle va être à l'USTO-bifurcation.



FIGURE 3.1: Nouvelle ligne de tramway stade olympique-USTO

La deuxième étude va être sur l'extension de la ligne actuelle existante vers l'aéroport d'ES-SENIA.



FIGURE 3.2: L'extension de la ligne de tramway vers l'aéroport.

3.4 Les caractéristiques techniques des nouvelles lignes proposées

3.4.1 Les raisons de la réalisation de la ligne

Ligne stade olympique-USTO : Suite à la grande expansion urbaine et l'augmentation de la population dans les régions nord-est d'Oran, les moyens de transport n'ont pas suffi les habitants de ces régions, et beaucoup plus les étudiants de l'université de Belgaid. Le tramway actuel passe par la majorité des pôles universitaires comme USTO, ES SENIA, INESM et même les écoles supérieures, donc suite au nombre intéressant des étudiants et du personnel à cette université, le tramway va leur faciliter le déplacement.

Cette ligne va démarrer du nouveau complexe olympique d'Oran, passant par le pôle universitaire, Belgaid, Canastel, Akid Lotfi et communique avec la ligne actuelle dans un pôle d'échange à l'USTO. La longueur totale de cette ligne est de 10.9 km (calculée par une voiture).

L'extension de la ligne vers l'aéroport : L'aéroport d'Oran est un aéroport international, c'est le deuxième aéroport d'Algérie après l'aéroport d'Alger, et le nouvel aéroport ouvre en 2021 mais malheureusement il n'y a pas de moyens de transport hors les taxis pour y aller, alors que dans les autres pays le tramway accède aux aéroports (terminal) des aéroports. Donc une ligne va être proposée pour faciliter le déplacement à l'aéroport pour les voyageurs et même pour les fonctionnaires.

Cette ligne sera une extension de la principale ligne, on va ajouter un tronçon de 4.05 km (calculé par une voiture) qui reliera Es-Senia garage avec l'aéroport.

3.4.2 Le dépôt

Au niveau du dépôt s'effectue la maintenance des véhicules et tout type de vérification, et contient aussi un garage pour faire rentrer les rames.

Les ateliers de maintenance comprennent les agents de nettoyage, les agents d'entretien des installations fixes, les agents d'entretien du matériel roulant, ainsi que le personnel d'encadrement.

L'extension de la ligne vers l'aéroport : Pour cette ligne, puisqu'on va la considérer comme un tronçon de la ligne existante donc elle exploitera le dépôt actuel de Sidi Maarouf et le garage d'Es-Senia.



FIGURE 3.3: Le dépôt de Sidi Maarouf.



FIGURE 3.4: Le garage d'Es-Senia.

Ligne stade olympique-USTO : Cette nouvelle ligne nécessite un nouveau dépôt coté stade olympique vu la disponibilité d'un grand terrain en face du stade, et pour le côté USTO il est possible d'exploiter le dépôt de Sidi Maarouf.

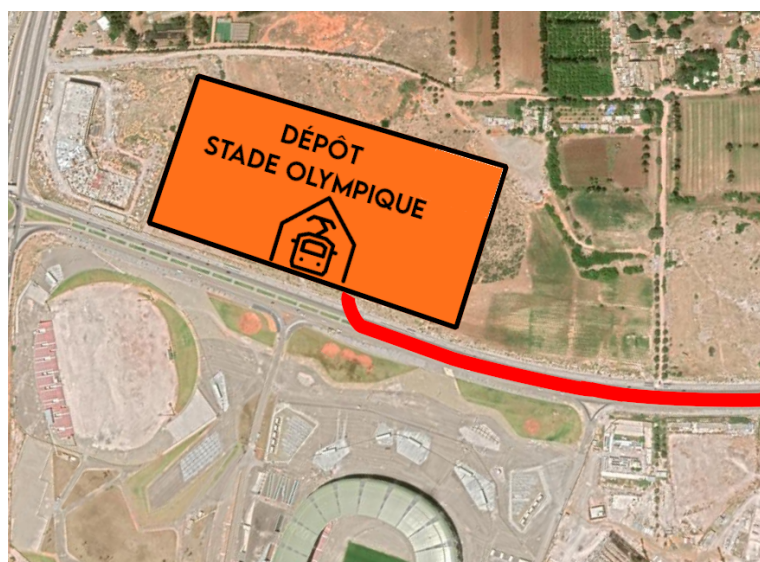


FIGURE 3.5: Nouveau dépôt stade olympique.

3.4.3 Poste haute tension

Le poste HT assure la transformation de la tension d'arrivée de SONELGAZ 60 kV à 30 kV pour alimenter le réseau 30 kV du tramway. Comme on avait vu dans le chapitre précédent le PHT dispose de deux travées "départ transformateur 60 kV ". Sur chacune des deux travées, on trouve deux sectionneurs motorisés pour l'aiguillage de chaque départ. Après avoir abaissé la tension à 30 kV , les deux lignes alimentent les sous-stations.

L'extension de la ligne vers l'aéroport : Pour cette ligne, les sous-stations seront alimentés par la boucle 30 kV du PHT existant de la ligne actuelle située au dépôt de Sidi Maarouf.



FIGURE 3.6: PHT au dépôt Sidi Maarouf.

Ligne stade olympique-USTO : Cette ligne nécessite un raccordement en haute tension de 60 kV avec le réseau de SONELGAZ, donc cela nécessite l'implantation d'un nouveau PHT de livraison au niveau du dépôt stade olympique.

Les postes de livraison et de transformation des clients alimentés en haute tension sont réalisés dans le respect des normes techniques les plus strictes et sont équipés de dispositifs de sécurité et de comptage [24].

La société de tramway fournira le terrain nécessaire pour le poste et elle reste le propriétaire. Le poste sera implanté à la limite de la propriété et de façon à permettre un accès facile et permanent aux agents de du gestionnaire de réseau [24].

Le client est alimenté en haute tension par au moins une ligne, selon le proces-

sus du client, donc le poste sera raccordé par deux lignes avec les postes sources de SONELGAZ d'El Yasmine et Oran-Est.

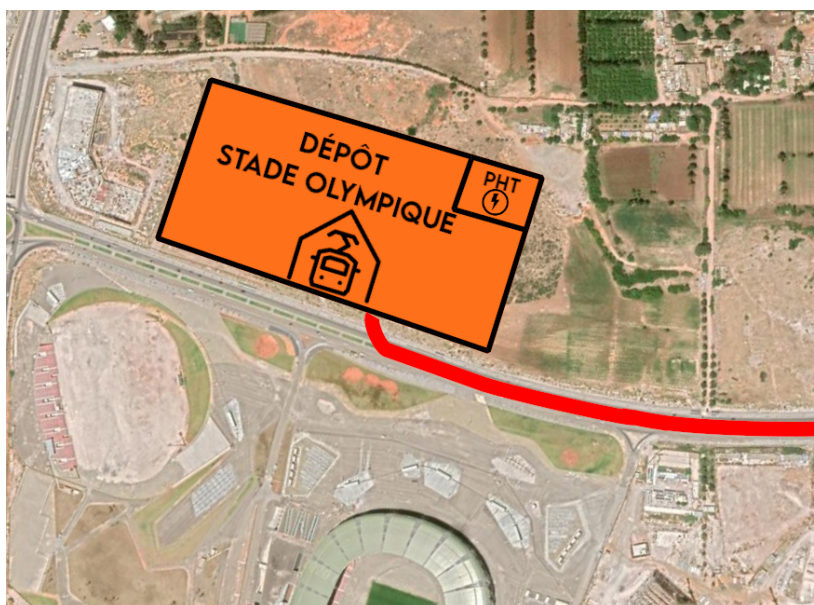


FIGURE 3.7: La localisation du poste haute tension au dépôt stade olympique.

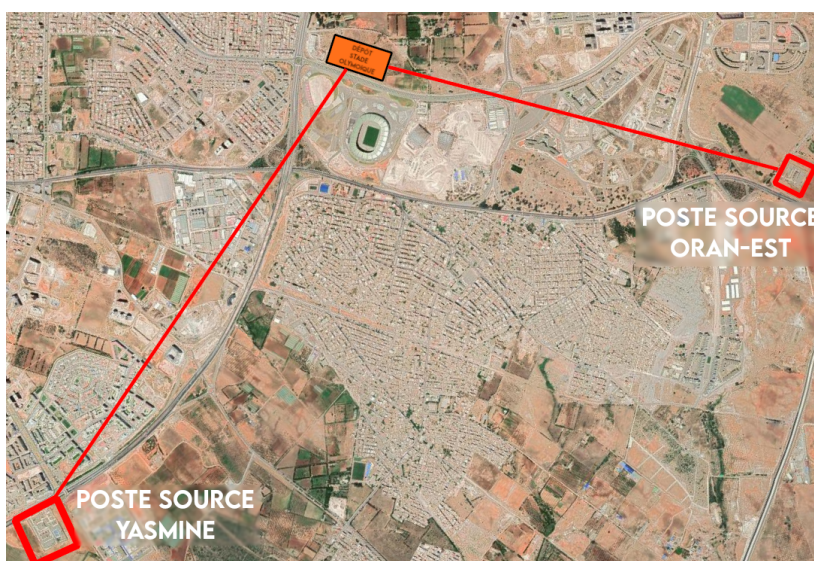


FIGURE 3.8: Le raccordement avec les postes sources.

3.4.4 Nombre des Sous-stations

Le rôle des sous-stations est de convertir la tension alternative 30 kV en tension continue 750 V DC . L'énergie fournie par les sous-stations c'est l'énergie de traction que nécessitent les rames.

La puissance des sous stations est de 900 kW , elle génère 750 V DC et 1200 A .

Chaque sous-station doit être connectée à une autre sous-station pour garder la continuité en cas de panne, tel que la première travée du PHT alimente les sous-stations paires et la deuxième travée alimente les sous-stations impaires.

Cette partie a pour but de quantifier le nombre de sous-stations de traction nécessaires pour alimenter le matériel roulant en énergie de traction.

En faisant des simulations de traction, nous pourrons identifier :

- le nombre de sous-stations traction, et leurs répartition le long du tracé tramway.
- les principales caractéristiques des sous-stations (nombre et puissance nominale des groupes redresseurs).
- les sections des conducteurs de la ligne aérienne de contact.

Les simulations sont effectuées à l'aide des logiciels spéciaux comme SIMALIM DC.

SIMALIM est un logiciel de simulation électrique de traction développé et utilisé par Egis Rail. Ce logiciel permet la modélisation des équipements fixes de traction électrique (en CC pour SIMALIM DC, et en AC pour SIMALIM AC) pour différents types de réseaux : urbains, péri-urbains et ferroviaires. [25] [26]

Les données d'entrée sont classées en quatre catégories :

- Le tracé : courbes, pentes, nombre de voies, positions des stations, etc.
- Le matériel roulant : accélération, décélération, masses, résistance au roulement, courbe effort/vitesse, tension maximale, tension minimale, courant maximal, etc.
- Le matériel de traction : sous-stations, LAC, feeders, etc.
- Les instructions d'exploitation : horaires et/ou intervalles, les limitations de vitesse, etc.

Le nombre de sous-stations de traction peut aussi être estimé en se basant sur des projets similaires avec des caractéristiques et données similaires [27].

Donc on va estimer le nombre des sous-stations en se basant sur la ligne existante du tramway d'oran, les données utilisées pour notre cas sont résumées ci-dessous :

- Matériel roulant de 32 mètres de long.
- 10900 *m* de ligne pour la ligne stade olympique-USTO et 4050 *m* de ligne pour l'extension de la ligne actuelle vers l'aéroport d'ES-SENIA, électrifiée avec des caténares ou troisième rail APS.
- Tension de 750 *V DC*.
- Redresseur de 900 *kW* et transformateur de 1000 *kVA*.
- Caténaire en fil de cuivre de 150 *mm*².
- 1000 *mm*² de câble d'alimentation.
- Charge (avec passagers) : 57 *t*.
- Vitesse commerciale de 20 *km*.

Résultat :

La distance entre deux sous-stations de traction peut être comprise entre 1.3 et 2 *km* selon le profil, l'exploitation du tramWAY et la disponibilité des terrains pour les réalisées.

Ligne stade olympique-USTO : Pour cette ligne, le nombre de sous-stations de traction est d'environ 7 (SST0-USTO / SST1-AKID / SST2-KHEMISTI / SST3-CANASTEL / SST4-BELGAID / SST5-PÔLE BELGAID / SST6-DÉPÔT STADE OLYMPIQUE).

Comme la ligne principale, cette ligne contient aussi une seule sous-station dépôt. Cette dernière en plus du transformateur de traction ligne et du transformateur de départ auxiliaire contient un transformateur pour traction dépôt (pour que les rames peuvent circuler dans le dépôt pour la maintenance) et un transformateur 30 *kV*/ 400 *V* pour alimenter les équipements du dépôt.



FIGURE 3.9: Les sous-stations de la ligne stade olympique-USTO.

Ligne d'extension vers l'aéroport : Le nombre de sous-stations de traction sur cette extension est d'environ 3 (SST0-SENIA UNIVERSITÉ / SST1A-HIPPODROME / SST2A-AÉROPORT).

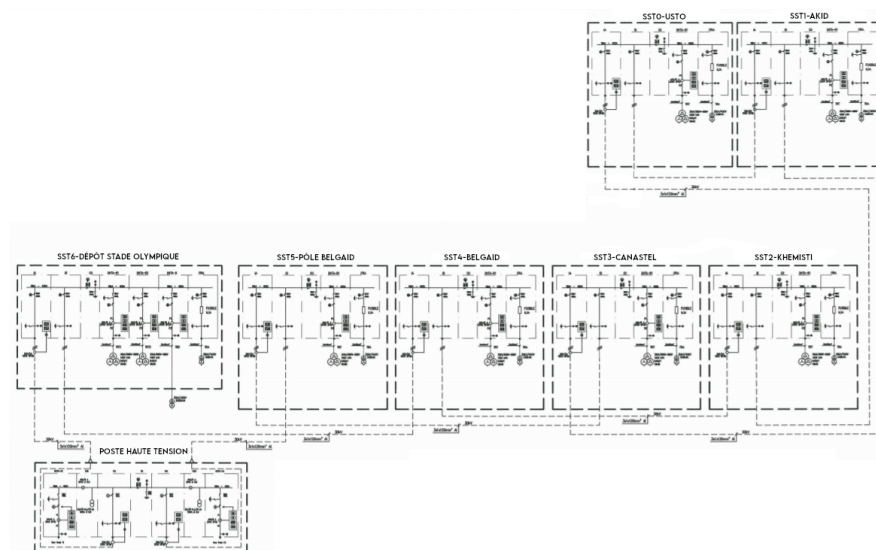


FIGURE 3.10: Schéma de raccordement des sous-station de la nouvelle ligne.



FIGURE 3.11: Les sous-stations de l'extension vers l'aéroport.

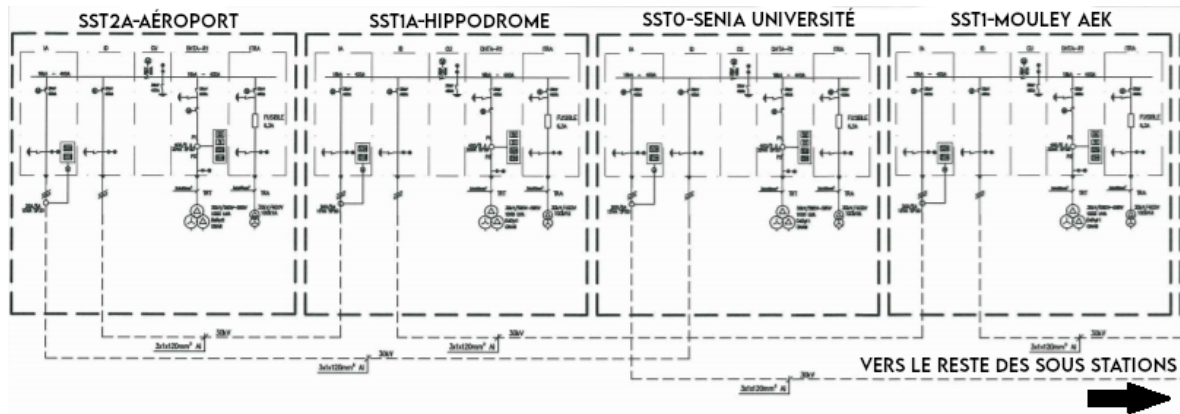


FIGURE 3.12: Schéma de raccordement des sous-station de la nouvelle ligne.

3.4.5 Les stations du tramway

Pour le choix des stations sur une ligne de tramway, Il y'a deux normes qu'il faut les respecter :

- La pente entre deux stations de passagers dans chaque section ne doit pas dépasser 6%.
- Au démarrage du tramway, La pente maximale (en station) est de 2%.

Les choix et l'étude de l'itinéraire sont fait par l'Entreprise Métro d'Alger (EMA) [15].

Ligne stade olympique-USTO : Dans cette nouvelle ligne il y aura 15 stations allant du stade olympique vers l'USTO-bifurcation en passant par le pôle universitaire de Belgaid, cité universitaire de Belgaid, village olympique, ouest Belgaid, El fadjr, cité 20 août, rond-point Canastel, hôpital pédiatrique, Khemisti, centre de congrès, hai Akid Lotfi, El moustekbel et Bvd pépinière.

Un pôle d'échange au niveau de l'USTO-bifurcation a pour but de faciliter l'échange entre divers modes de transport de façon permanentes, avec des niveaux acceptables de confort pour l'attente des usagers et de faciliter le déplacement des différents modes. C'est-à-dire la station ou les passagers peuvent changer de ligne, par exemple pour un passager qui veut aller de Canastel au centre-ville il change de tram au niveau de cette station.



FIGURE 3.13: Illustration des stations de la nouvelle ligne.

Ligne d'extension vers l'aéroport : Pour l'extension vers l'aéroport, quatre nouvelles stations seront mises en disposition, il s'agit de la station université d'Es-Senia, hippodrome, rond-point des trois hôtels et enfin l'aéroport d'Es-Senia.



FIGURE 3.14: Illustration des stations de l'extension de la ligne vers l'aéroport.

3.4.6 Le nombre de rames

Afin de déterminer le nombre de rames nécessaire dans la ligne pour assurer une durée d'attente optimale de l'arrivée d'une rame dans une station au heures de pointes, on a besoin des données suivantes :

- Longueur de la ligne "L" en Km.
- Vitesse commerciale moyenne " V_m " en Km/h.
- Fréquence (Intervalle entre deux rames) " F_r " en Minute

Le nombre de rame n se calcule par la relation ci-dessous [8] :

$$n = \frac{\frac{2 \times L}{V_m} \times 60}{F_r}$$

La Vitesse commerciale moyenne est de 20 km/h, avec une fréquence de 4 minutes.

Ligne stade olympique-USTO :

La longueur de cette nouvelle ligne est de 10.9 km , donc le nombre de rames est :

$$n = \frac{\frac{2 \times 10.9}{20} \times 60}{4}$$

$$n = 16.35$$

Donc on aura 17 rames.

Ligne actuelle avec extension vers l'aéroport :

Avec l'extension vers l'aéroport, cette ligne va avoir 4.05km de longueur de plus qui fait un total de

$$L = 18.7 + 4.05 = 22.75 \text{ km}$$

Donc le nombre de rame sera :

$$n = \frac{\frac{2 \times 22.75}{20} \times 60}{4}$$

$$n = 34.125$$

Donc on aura 35 rames , qui fait 5 rames de plus avec les 30 existantes.

3.5 Les modes d'alimentation

3.5.1 Mode d'alimentation APS

Le but du système APS est de supprimer la LAC. L'APS sert à libérer la voie publique de tous les obstacles aériens. Les éléments de puissance comprennent

les équipements au sol et les équipements du véhicule. Le rail d'alimentation se trouve au centre de la voie de roulement. Le système peut également être combiné avec des équipements d'alimentation conventionnels de la LAC.

Le principe de fonctionnement de ce mode a été établi dans le premier chapitre.

1- Les équipements APS :

A- Boîtiers d'alimentation APS :

Les boîtiers d'alimentation APS sont installés à l'intérieur des regards APS qui se trouvent sur le long de la voie du tramway. Ces boîtiers sont disposés et connectés aux câbles d'alimentation de la sous station ($+V_a=750V$) qui passent à travers une canalisation APS, reliant chaque regard APS.

Chaque boîtier d'alimentation peut fournir de l'énergie à deux (02) Segments APS.

La conception du boîtier est à sécurité intégrée : Toute panne ou défaut n'a pas d'impact sur le niveau de sécurité du système APS qui reste sécurisé à tout moment en raison de l'absence d'énergie. De plus, les équipements en attente sont sécurisés et seuls les circuits actifs peuvent fournir une tension aux segments.

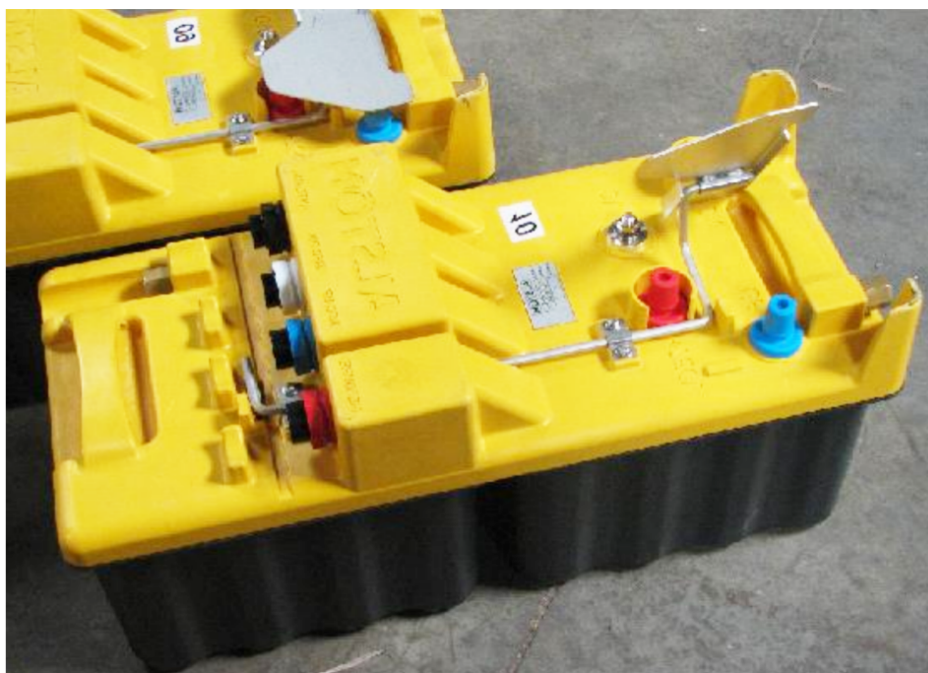


FIGURE 3.15: Illustration du boîtier d'alimentation APS.

Chaque boîtier d'alimentation est composé des éléments suivants :

- * Un contacteur de puissance (C_o) par segment : utilisé pour connecter le segment APS au $+V_a$.
- * Un contacteur (C_m) par segment : utilisé pour connecter le segment APS au $0 V_r$ (V référence).
- * Un interrupteur d'isolement (IS) : utilisé pour mettre le boîtier d'alimentation à l'état "hors service".
- * Une unité de communication.
- * Une unité électronique : utilisée pour gérer les commandes et le contrôle des composants du boîtier.

B- Les câbles électriques APS :

Le système APS contient les câbles d'alimentation suivants :

- * Alimentation positive fournissant du courant (" $+V_a$ ").
- * Câble de protection assurant la connexion au rail de roulement $0 V_r$.
- * Câbles de connexion entre " $+V_a$ " et le boîtier d'alimentation.
- * Câbles de connexion entre $0 V_r$ et le boîtier d'alimentation (" $0 V_r$ ").
- * Câbles de connexion entre le boîtier d'alimentation et le segment conducteur ("segment $+V_a$ ").
- * Câble multifonction (MFC) relie l'armoire APS à tous les boîtiers d'alimentation connectés pour les contrôler et surveiller.

C- Alimentation électrique 230 V AC :

Tous les boîtiers d'alimentation sont alimentés par l'armoire APS associé via deux circuits 230 V AC dans le câble MFC :

- * Une paire de 230V AC pour les composants électroniques du boîtier d'alimentation.
- * Une paire de 230V AC pour les contacteurs. Le neutre de ce circuit est commun avec le contrôle d'isolement neutre).

2- Les équipements embarqués de l'APS :

L'équipement embarqué de l'APS se compose de :

a- Équipement de toit :

- * Une cabine de commutation principale contenant l'interface du sabot collecteur.
- * Une cabine de batterie contenant un chargeur et une batterie de traction.

b- Équipement du châssis :

- * Deux Sabots collecteur.
- * Deux Antennes d'émission.

c- Équipement du conducteur :

- * Boutons et voyants sur le tableau de bord.

Le sabot collecteur :

Le véhicule est équipé de deux (02) sabots collecteurs pour collecter le courant de traction. Les sabots collecteurs sont des contacts glissants sans contrainte de direction.

La distance entre deux sabots collecteurs dépasse la longueur de 3 m de la zone neutre séparant chaque segment APS.

La boîte du sabot collecteur comprend le sabot (bande de frottement), la boucle pour l'émission et la réception et d'autres composants périphériques divers qui sont protégés par le boîtier de protection.

Le véhicule indique sa présence en émettant un signal codé au sol par une (01) antenne pour chaque sabot collecteur.

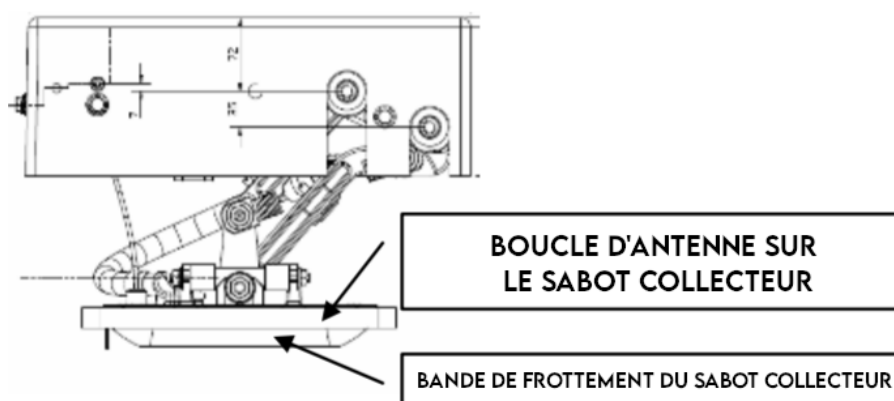


FIGURE 3.16: Sabot collecteur avec sections d'antenne.

Cabine de commutation principale CCP :

La cabine de commutation principale est l'élément central de l'équipement embarqué de l'APS. Elle contrôle et commande les modes de fonctionnement. La CCP est installée sur la nacelle non motorisée, elle contient un circuit d'alimentation permettant de sélectionner la source pour passer de l'APS / LAC / autonomie à bord (la sélection est contrôlée depuis la cabine du conducteur).

3- Les équipement APS dans la SST :

Armoire APS (AAPS) :



FIGURE 3.17: Poste de controle du mode de fonctionnement LAC/APS.

Les armoires APS (AAPS) sont situées dans les sous-stations d'énergie de traction, il y a une AAPS pour une configuration T ou deux AAPS pour une configuration TT, et une section électrique APS peut être constituée d'un ou plusieurs groupes de boîtiers d'alimentation selon l'architecture [9].

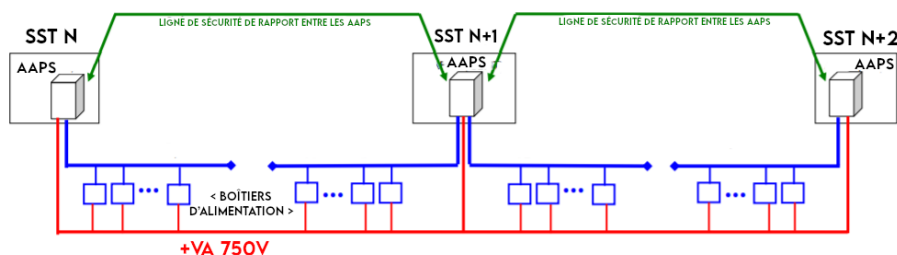


FIGURE 3.18: Arrangement des sections électrique de l'APS.

Chaque armoire de l'APS contient :

- Un récepteur de ligne de sécurité.
- Un système de gestion de l'armoire.
- Un système de communication de l'armoire, relié au centre d'opération et de contrôle (OCC) par les systèmes de transport du réseau de communication.
- Un système de communication avec les boîtiers d'alimentation contrôlé par l'AAPS.
- Un système d'automatisation local, basé sur un ordinateur de supervision dédié, qui permettra le contrôle total de la demi-section (y compris les boîtiers d'alimentation et l'armoire APS) pour les personnes chargées de l'entretien uniquement. Cela est particulièrement utile en cas de perte de communication entre l'OCC et la SST.

Cette armoire APS assure les fonctions suivantes :

- Contrôle et surveillance d'un ensemble de boîtiers d'alimentation.
- Décodage à sécurité intégrée du signal de la ligne de sécurité.
- La commande d'ouverture des disjoncteurs de ligne par une commande d'autorisation de fermeture.
- Court-circuit entre les sorties +Va et 0 Vr.
- La ligne de verrouillage de sécurité avec l'armoire APS dans la SST adjacente alimente la même section électrique pour la commande de court-circuit.
- Gestion et alimentation 230 VAC des boîtiers d'alimentation.
- Gérer les fonctions de communication entre le boîtier d'alimentation et l'OCC.

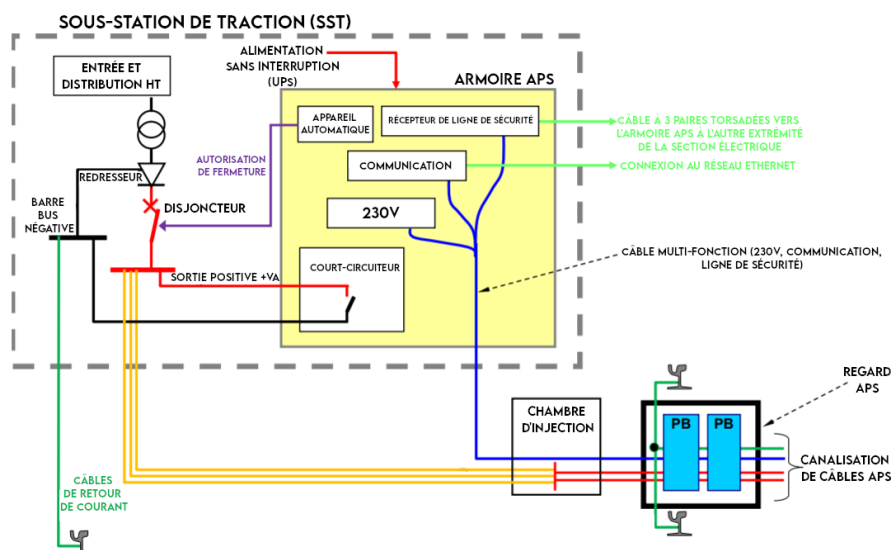


FIGURE 3.19: Armoire APS en SST et injection.

Le court-circuit permet d'assurer une tension de 0 Vr au niveau de l'alimentation +Va lorsque les disjoncteurs sont ouverts.

Les armoires APS de la même section électrique (750 V) sont reliées entre elles pour transférer la demande de court-circuit. Ces lignes de verrouillage de sécurité provoquent également l'interruption de l'autorisation de fermeture et donc le déclenchement du disjoncteur associé.

Une alimentation électrique ininterrompue (UPS) est nécessaire dans chaque SST (fabriqué par d'autres) pour assurer une autonomie de quatre (04) heures pour le 230 V AC des armoires APS.

Ceci est particulièrement important en cas de perte totale de puissance dans le SST. Dans ce cas, l'énergie de traction sera fournie par les SST adjacents, mais la surveillance des boîtiers d'alimentation reste obligatoire et, à ce titre, ne doit pas être interrompue.

3.5.2 Mode d'alimentation LAC

La solution avec Ligne aérienne de contact (LAC) existe depuis plusieurs dizaines d'années, le système de référence pour l'alimentation en énergie de traction des tramways.

Comme ça été établi dans le premier chapitre, les lignes aériennes de contact permettent de transporter le courant sur lesquelles frotte le pantographe du tramway, pour lui fournir de l'électricité nécessaire pour son déplacement.

L'alimentation électrique de la ligne de tramway en 750V est assurée à partir des groupes redresseurs de 750VCC de la sous-station à travers des câbles qui passent

dans le multitubulaire enterré sous-sol vers les points d'injection de la LAC et par un feeder +VA 750V aussi enterrée le long de la voie de tramway en parallèle avec la LAC qui est régulièrement connecté à la LAC.



FIGURE 3.20: Point d'injection à la LAC à-côté d'une sous station



FIGURE 3.21: injection feeder d'alimentation du multitubulaire au LAC

Le retour du courant de traction se fait par le rail de roulement via les roues du tramway. Le rail est relié à la sous-station par des câbles circulant dans le même multitubulaire que les câbles d'alimentation +VA 750V du LAC.



FIGURE 3.22: La pose de multitubulaire

L'insertion de la ligne aérienne de contact (LAC) consiste à déterminer les différents modes possibles pour supporter les câbles, et trouver le mode le mieux adapté au site traversé.

Il existe différents types d'insertion possible pour la LAC, il s'agit de :

- Supports (poteau ou ancrage en façade) bilatéraux avec suspension sous transversal.
- Poteaux latéraux avec suspension sous consoles couvrant 1 ou 2 voies tramway.
- Poteaux axiaux (entre les 2 voies tramway), avec suspension sous 2 consoles couvrant chacune 1 voie.
- Fixations sous ouvrage.

Les figures ci-dessous illustrent les différents types d'insertion de la LAC.



FIGURE 3.23: Les modes d'insertion de la LAC.

En ce qui concerne les secteurs où c'est impossible d'implanter des poteaux, par exemple dans des rues trop étroites, offrant peu de place pour implanter des poteaux d'un diamètre de base de 30 à 50 *cm*, il est conseillé d'utiliser des ancrages en façades pour soutenir les LAC [22].

Ces ancrages en façades peuvent aussi être utilisés dans les secteurs où la gêne visuelle occasionnée par des poteaux serait trop importante.

Les ancrages en façade sont en effet plus légers, plus discrets et plus esthétiques que les poteaux, ils s'intégreront mieux dans les quartiers à haute valeur patrimoniale.

En ce qui concerne les dimensions des poteaux LAC, Le fil de contact doit être maintenu à une altitude relativement constante. Il est soutenu tous les 20 *m* environ par des poteaux ou bien des ancrages (l'espacement est fonction de la géométrie en plan, de la présence d'autres lignes de contact et de particularités locales) [21].



FIGURE 3.24: Ancrage simple et ancrage avec platine.

La hauteur minimale du fil de contact est de $5,50\text{ m}$ sauf dérogation, ce fil est en cuivre avec une section de 150 mm^2 .

3.5.3 Choix de mode d'alimentation pour les lignes proposées

Le tableau ci-dessous présente, sous forme d'un résumé, une analyse qualitative des modes d'alimentation selon trois niveaux : adapté (vert), peu adapté (orange) et non adapté (rouge) [28].

Table 3.1 : Comparaison entre APS et LAC

Mode d'alimentation	LAC	APS
Maturité du Système	Solution de référence (utilisée depuis plusieurs décennies)	Correcte (en exploitation depuis plus de 10 ans)
Fiabilité/disponibilité	Solution de référence	Correcte si rame avec autonomie embarquée
Autonomie	Aucune	Nécessaire (~ 30 – 50 m) pour s'affranchir de la panne de boîtier(s)
Durée de vie	> 30 ans	Similaire à la LAC
Coupe en travers de la plateforme	Hauteur pour la LAC Sur largeur pour les poteaux LAC	Profondeur sous plateforme pour boîtiers
Profil en long de la plateforme	Adapté, y compris les zones en pente	Adapté, y compris les zones en pente
Pont	Adapté	Insertion des boîtiers à étudier
Eau (présence temporaire d'eau sur la plateforme)	Adapté	Performances à vérifier
Neige : fonctionnement	Système compatible	Système non utilisé dans un environnement similaire.
Neige : déneigement plateforme	Les poteaux axiaux peuvent interférer avec les opérations de déneigement.	Très fortes exigences en matière de déneigement des voies (le rail d'alimentation doit rester dégagé à tout moment)
Givre/glace	Mesures préventives et curatives à prendre	Non utilisé dans un environnement similaire. Mesures préventives et curatives à prendre
Fondant	Adapté (Mise en place d'une protection contre la corrosion pour les pieds des poteaux en LAC)	Sur les lignes existantes avec l'APS, cela nécessite l'utilisation d'un fondant spécifique.
Amplitude thermique	Adapté	Non utilisé à ce jour dans un environnement similaire
Consommation électrique	Solution de référence	Identique à la solution de référence
Coût d'investissement	Solution de référence	1,5 à 3 fois celui de la LAC
Coût d'exploitation	Solution de référence	Similaire à la solution LAC
Coût de maintenance	Solution de référence	3 à 5 celui de la LAC

Durée de vie : La durée de vie de l'APS est censée être comparable à celle d'une LAC si la maintenance de ses composants est effectuée selon le plan de maintenance recommandé.

Le système est en service sur le tramway de Bordeaux depuis décembre 2003.

Mise en oeuvre : L'APS nécessite une certaine précision durant la pose du rail

au niveau de la chaussée, aussi au drainage des regards dans lesquels sont placés les boîtiers d'alimentation.

Estimation de la complexité du projet : le système APS impose l'installation de nombreux composants sur le sol que l'on ne trouve pas dans le cas d'un système classique composé d'un tramway et d'une ligne aérienne.

Il faut aussi noter que ces éléments sont très souvent sollicités (à chaque passage de véhicule).

Performances dynamiques : L'APS réalise des performances (accélération, freinage) proches à la solution traditionnelle LAC. De plus, l'APS est également compatible avec une utilisation sur des sites mixtes ou des carrefours à fort trafic.

Maintenance : Le grand nombre de composants électroniques et électrotechniques au sol (boîtiers) et la fréquence élevée à laquelle ils sont utilisés devraient, en principe, résulter en un niveau élevé de maintenance et donc des coûts plus élevés que celui du système de référence LAC.

Conclusion et recommandation pour les lignes proposées :

Ligne stade olympique-USTO : Cette ligne est située à l'est de la ville d'Oran qui est de construction récente, elle ne contient donc aucun bâtiment antique ou des sites historiques touristiques qui pourraient être obstrués ou déformés par le LAC et donc pas d'obstacles aériens sur la voie publique, et en analysant le tableau précédent, il apparaît clairement que le système LAC est la solution la plus appropriée.

L'extension de la ligne vers l'aéroport : Sur cette ligne il était préférable aussi de la faire en LAC puisque c'est une zone non urbaine, mais sur une section de cette ligne sont implantées deux unités militaires de l'armée nationale avec trois entrées des véhicules et engins qui trouveront la LAC comme un obstacle de leur manœuvre (entrée et sortie au unités).



FIGURE 3.25: Localisation des unités militaires

La solution proposée sur ce tronçon pour résoudre le problème des entrées/sorties aux unités est de l'alimenter en mode APS comme ci-dessous :

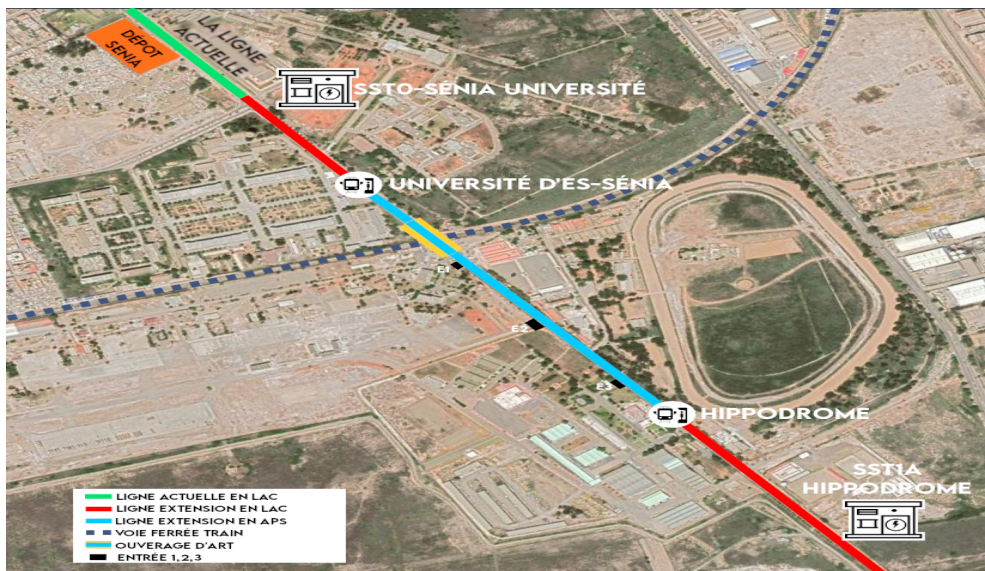


FIGURE 3.26: Le tronçon APS sur la ligne d'extension vers l'aéroport

Cette solution est basée sur le changement de mode de captation du courant sur les rames (passer du pantographe au sabots collecteurs ou vice versa) par le conducteur à l'arrêt au niveau des stations université d'Es-Senia et L'hippodrome [29].



FIGURE 3.27: Changement de mode d'alimentation au niveau d'une station

Le conducteur peut voir des informations de l'état et position du pantographe et les sabots collecteurs sur un écran dans la cabine du conducteur [9].

Le temps nécessaire pour le changement de mode est inférieur au temps d'attente dans la station donc cette solution n'affectera pas la fréquence des tramways sur les stations.

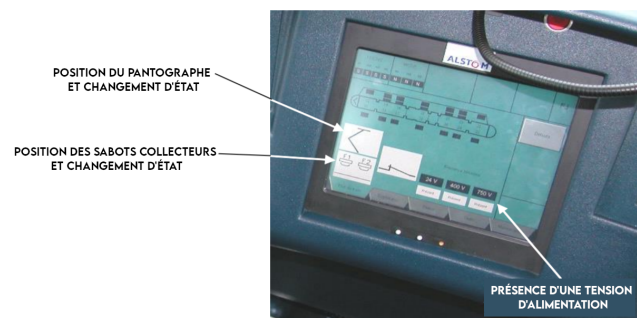


FIGURE 3.28: Informations disponibles sur l'écran dans la cabine du conducteur

Sous-stations pour le tronçon APS :

Les deux sous-stations qui vont alimenter ce tronçon APS sont : SST0-SENIA UNIVERSITE et SST1A-HIPPODROME qui seront dotés d'une armoire APS chacun qui assurent le contrôle et la surveillance et l'alimentation nécessaire pour l'ensemble de boîtiers d'alimentation le long de la voie APS.

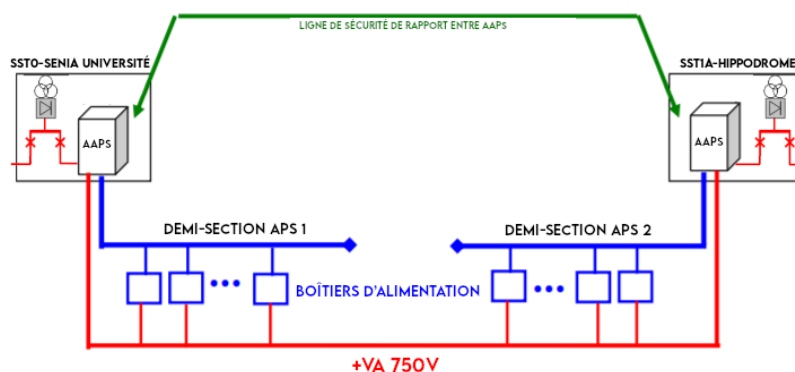


FIGURE 3.29: Les sous-stations alimentant le tronçon APS

La garantie de la sécurité de l'APS :

A- **Section sécurisée** : Une section est dans un état de sécurité sous les conditions suivantes :

- Dans les SST de la section, toutes les sorties positives " $+V_a$ " alimentant la section sont court-circuitées vers les jeux de barres négatives $0 V_r$ correspondants.
- Dans le même temps, l'autorisation de fermer le disjoncteur de ligne de SST est retirée, pour forcer l'ouverture du disjoncteur avant le court-circuit. Cependant, l'ouverture du disjoncteur de ligne n'est pas une opération à sécurité intégrée, c'est pourquoi l'utilisation des court-circuiteurs est nécessaire.

Le court-circuit est assuré par les court-circuiteurs situés dans les armoires APS de la SST. L'état non excité correspond à l'état de sécurité (courts-circuits fermés).

B- **Installation en fonctionnement** : L'installation est prête pour l'exploitation du tram lorsque le signal de la ligne de sécurité est reçu par le récepteur de la ligne de sécurité. Le système est alors placé dans la configuration suivante :

- Les sorties " $+V_a$ " et " $0 V_r$ " ne sont pas court-circuitées.

- Autorisation de fermeture des disjoncteurs donnée par le récepteur de ligne de sécurité.

3.6 L'insertion du tramway

L'insertion du tramway peut se concevoir en considérant plusieurs principes d'organisation dans le choix de la position de la plate-forme et de l'aménagement.

3.6.1 Positions de la plate-forme

- Axiale : La plate-forme du tramway sera située au milieu de la route entre les deux voix de circulation automobile.
- Latérale : La plate-forme du tramway se situera dans l'un des côtés de la voirie.
- Bilatérale : La plate-forme du tramway sera séparée où chaque voie sera située dans un côté de la route.

3.6.2 Aménagement et fonctionnement de la voirie

La circulation automobile est mise soit en double sens soit en sens unique avec une seule voie circulation et une file de stationnement ou pas. Il est possible d'envisager de dissocier les deux voies du tramway, un sens s'effectuant dans une rue, l'autre sens s'effectuant dans une autre rue ou d'envisager un fonctionnement en site mixte avec les voitures mais avec une priorité au tramway. [23]

3.6.3 Insertion du tramway sur la ligne stade olympique vers l'USTO

A- Tronçon stade olympique vers le pôle universitaire de Belgaid

Pour cet axe, on a proposé la position latérale gauche. A la sortie du dépôt le tramway ne traversera pas la route, il restera sur sa plate-forme pour ne pas gêner la circulation des véhicules. En plus de ça le terrain est vide, alors on ne va pas réaliser des travaux sur la route juste les trottoirs.

Au niveau du rond-point, le tramway va le traverser au milieu et la position s'inverse de latérale gauche à la latérale droite.

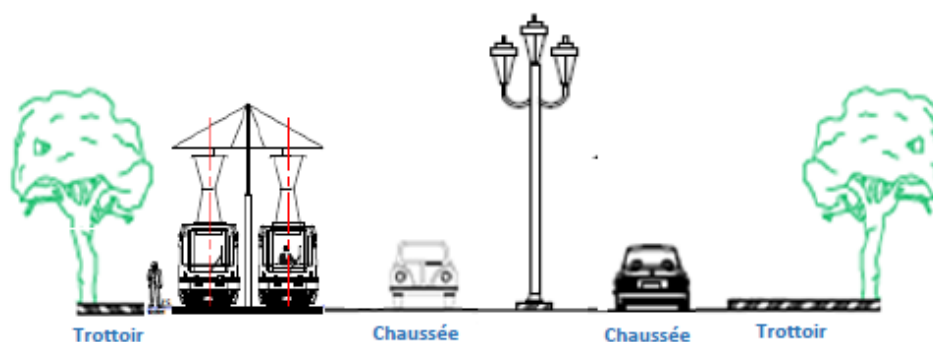


FIGURE 3.30: Insertion du tramway du stade olympique à l'université de Belgaid.

B- Tronçon pôle universitaire de Belgaid vers la résidence universitaire de Belgaid

Pour cet axe on a proposé la position latérale droite, le tramway croise la circulation "à l'anglaise", c'est à dire sur la droite de la file de circulation longeant la plate-forme.

Avec cette solution, les trottoirs sont relativement confortables, d'autant plus que la plate-forme du tramway reste une zone largement utilisable par les piétons. D'ailleurs il est possible de conserver le stationnement ou bien envisager des plantations des arbres.

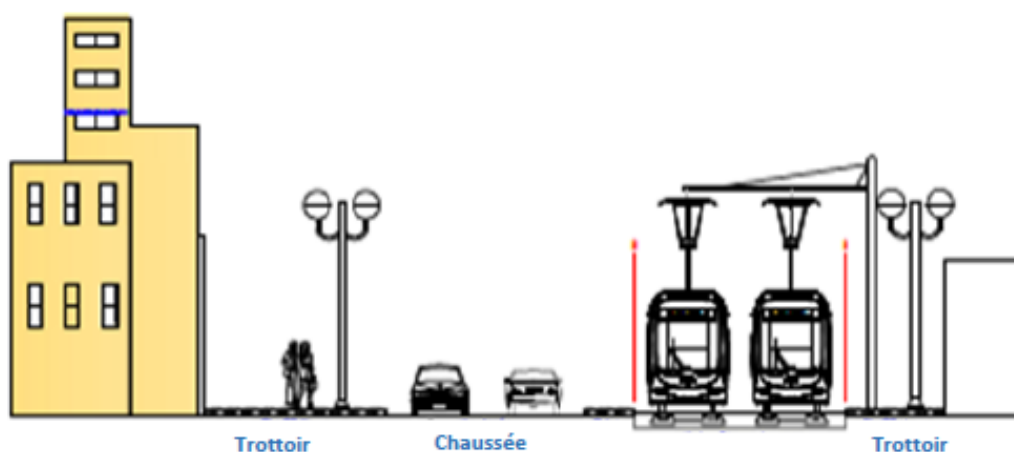


FIGURE 3.31: Insertion du tramway position latérale droite.

C- Tronçon résidence universitaire de Belgaid jusqu'à USTO-bifurcation

Pour cet axe on a proposé la position axiale, cette position fonctionne bien avec un sens de circulation automobile de part et d'autre de la plate-forme,

chaque voie circulant dans le même sens que le tramway.

Cette option favorise la vitesse du tramway, facilite la circulation et la desserte des riverains en ce qui concerne les accès aux propriétés. Mais elle présente certains inconvénients :

- Pas de possibilité de stationnement pour une voirie inférieure à 20 m.
- Trottoirs bordés directement par la circulation automobile.
- Difficulté éventuelle d'implantation des stations.

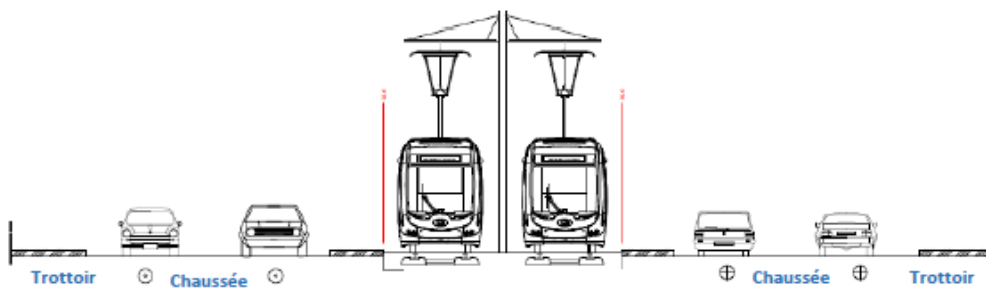


FIGURE 3.32: Insertion du tramway de résidence universitaire jusqu'à l'USTO-bifurcation.

D- Ouvrages d'arts sur cette ligne

Sur cette ligne, il y aura deux types d'ouvrages d'arts, deux viaducs et une trémie.

1- Trémie : Une zone où une voie de circulation se retrouve sous terre en pénétrant dans le sol (et non à travers) une montagne.
La trémie va être réalisée au niveau du rond point palais d'or.

2- Viaduc : Un viaduc est une structure routière ou ferroviaire qui traverse une rivière, un bras de mer ou tout autre obstacle et qui a une hauteur ou une longueur et même parfois les deux.

Sur cette ligne on doit réaliser deux viaducs , le premier se trouve au niveau du rond point pépinière.

Le deuxième sera réaliser au niveau du rond point canastel comme ci-dessous :

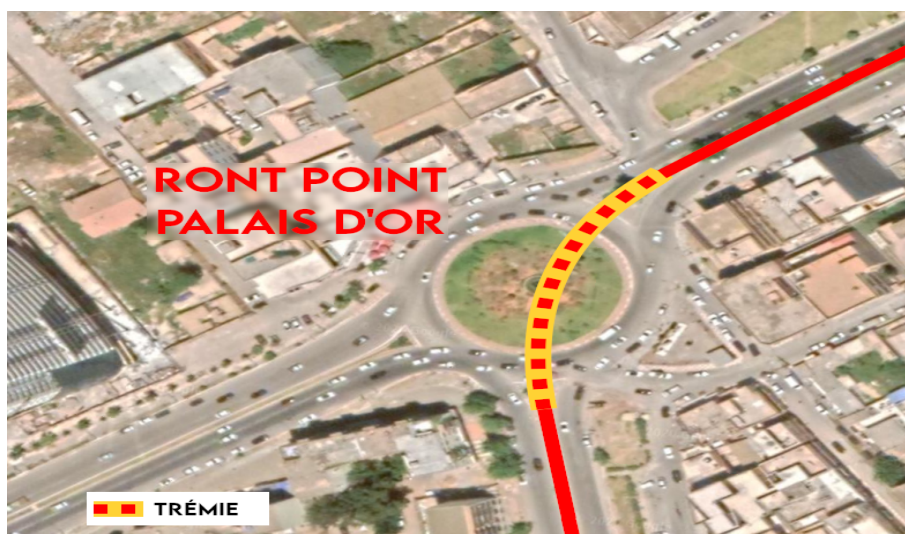


FIGURE 3.33: Trémie palais d'or



FIGURE 3.34: Viaduc du rond point pépinière

3.6.4 Insertion du tramway sur la ligne d'extension vers l'aéroport d'Es-Senia

A- Tronçon Terminus la ligne actuelle vers le rond point des trois hôtels

On a proposé aussi la position axiale, car c'est le meilleur choix et elle ne gêne pas la circulation des véhicules.

B- Tronçon rond point des trois hôtels vers l'aéroport

Sur ce tronçon le tramway va être inséré sur la latérale droite vu la disponibilité de l'espace à côté de la route et donc les travaux n'affecteront pas l'état de circulation à l'entrée de l'aéroport.

C- Ouvrage d'art

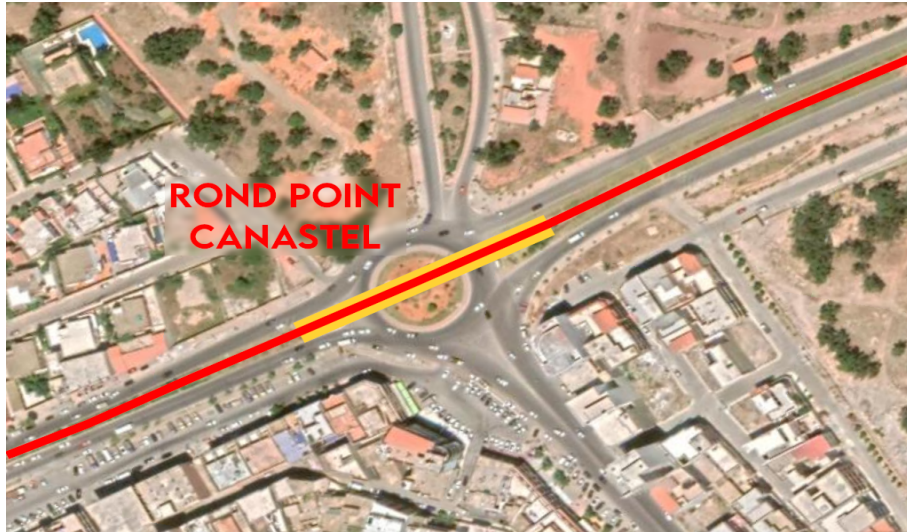


FIGURE 3.35: Viaduc du rond point canastel

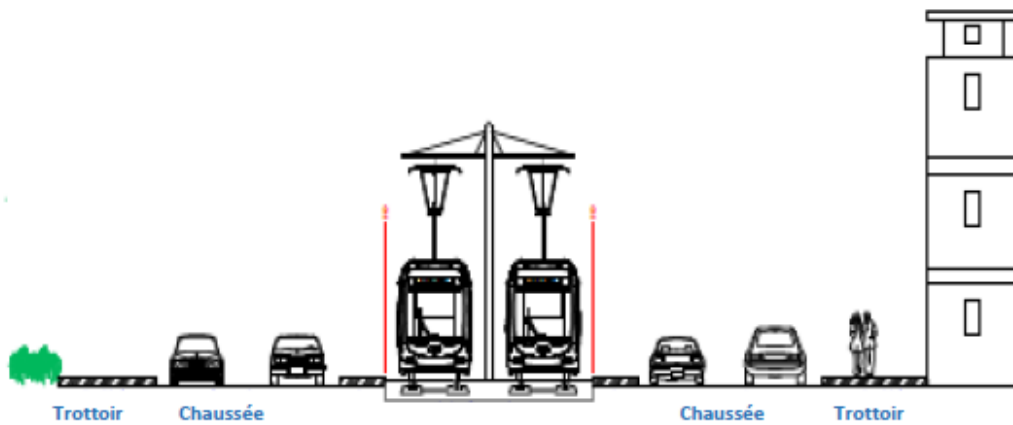


FIGURE 3.36: Insertion de tramway position axiale.

Cette ligne d'extension passe par un passage à niveau du chemin de fer du train, cela nécessite un viaduc passant au-dessus de cet obstacle pour assurer le passage du tramway et du train sans interruption.

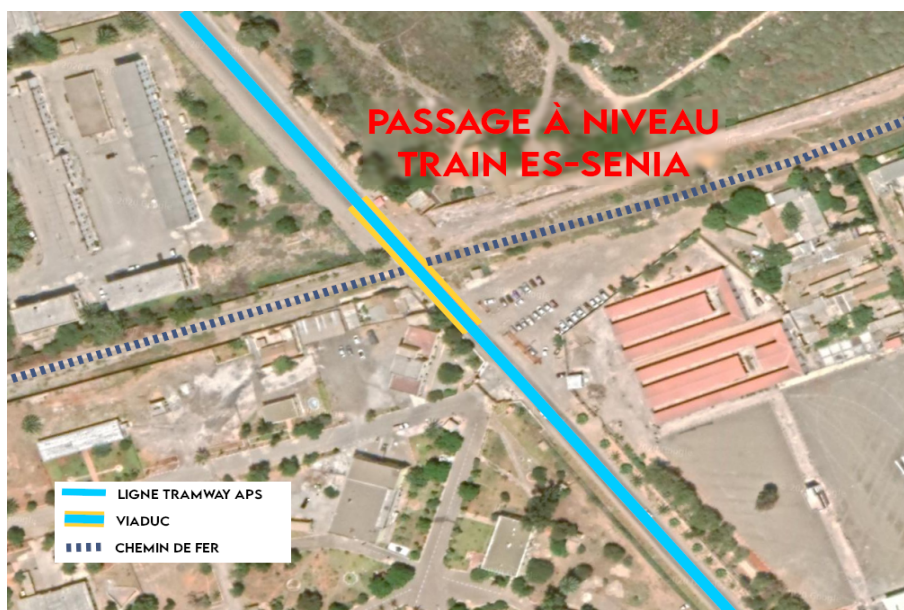


FIGURE 3.37: Viaduc du passage à niveau d'Es-Senia

3.7 Insertion des lignes aériennes de contact

Afin d'obtenir la meilleur insertion de la LAC dans la ligne de tramway, différents types d'insertion sont adoptés. L'insertion des lignes aériennes de contact est également en fonction de la position d'insertion de la plateforme du tramway.

3.7.1 Insertion du LAC pour la ligne de Belgaid-USTO

Les types principaux d'insertion préconisés pour le tracé stade olympique-USTO sont les suivants :

Stade olympique vers le pôle universitaire de Belgaid : Poteau axial avec deux consoles couvrant chacune une voie de tramway, car il y'aura de l'espace entre les deux voies de tramway.



FIGURE 3.38: L'insertion d'un poteau axial.

Pôle universitaire de Belgaid jusqu'à la cité universitaire : Poteau latéral avec consoles couvrants les deux voies du tramway, parceque vue que la plate-forme sera située au niveau du trottoir, on n'installera q'un seul poteau pour bien gagner de l'espace.



FIGURE 3.39: Insertion d'un poteau latéral

Cité universitaire de Belgaid jusqu'à Belgaid : Poteau bilatéral avec suspension sous transversal. Cette insertion a été choisit car on va installer au niveau de ces poteaux des LED pour l'éclairage de la voirie des vehicules et même du tram.



FIGURE 3.40: Insertion du poteau bilatéral.

Belgaid jusqu'à El Fadjr : Des transitions entre poteau axial avec deux consoles et poteau latéral avec console. Car pour franchir les courbes, on doit adopter une transition de poteau axial vers poteau latéral.



FIGURE 3.41: Insertion d'une transition entre poteau axial et poteau latéral.

Cette technique peut aussi être aussi adoptée par une transition entre deux poteaux latéraux mais opposés.

El Fadjr jusqu'au Rond-point Canastel : Poteau axial avec deux consoles couvrant chacune une voie du tramway, puisqu'il y a assez d'espace dans la plateforme.

Rond-point Canastel vers Hôpital pédiatrique : Poteau latéral avec consoles couvrants les deux voies du tramway. Car la voirie est un peu étroite pour avoir des poteaux axiaux ou bien bilatéraux.

Hôpital pédiatrique au Centre des congrès : Poteau axial avec deux consoles couvrant chacune une voie du tramway.

Centre des congrès jusqu'à USTO : Dans ce tronçon y'aura aussi des transitions entre des poteaux axiaux avec deux consoles et des poteaux latéraux avec une console suite au nombre important des courbes.

Toute cette insertion de la LAC est adaptée pour franchir les courbes et l'intersection routière.

Le positionnement des poteaux LAC aux intersections l'illustre la figure suivante :

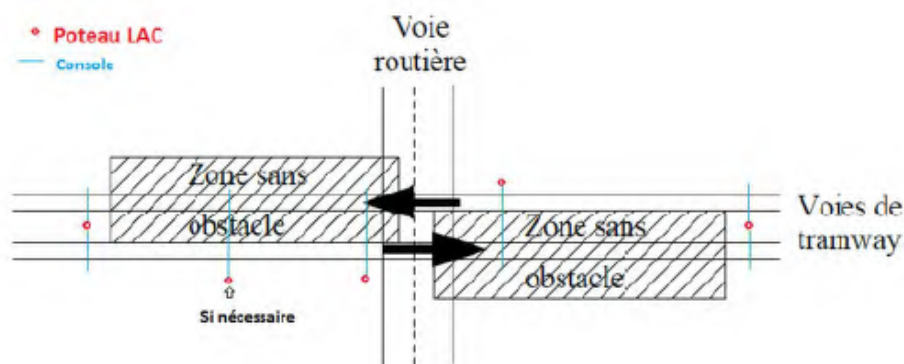


FIGURE 3.42: Positionnement des poteaux LAC au niveau des intersections.

3.7.2 Insertion du LAC au niveau de la ligne d'extension vers l'aéroport

Les principaux types d'insertion préconisés pour cette ligne sont les suivants :

Terminus de la ligne actuelle à l'université d'Es-Senia : Ce tronçon sera alimenté par des poteaux axiaux avec deux consoles couvrant chacune une voie du tramway.

L'hippodrome jusqu'à l'aéroport : Dans ce tronçon on adoptera des transitions entre les poteaux axiaux et les poteaux latéraux.

3.8 Insertion de l'APS

Le seul tronçon APS dans les nouvelles lignes proposées est le tronçon entre la station de l'université d'Es-Senia et la station hippodrome sur l'extension de la ligne actuelle vers l'aéroport.

Les rails APS sont composés de segments conducteurs et de zones neutres, posés sur un cadre de support isolé, ils sont encastrés dans une poutre en béton (renforcée si nécessaire). Cette poutre en béton est soit posée sur la dalle de la voie, soit ancrée sur une poutre en béton de deuxième étage.

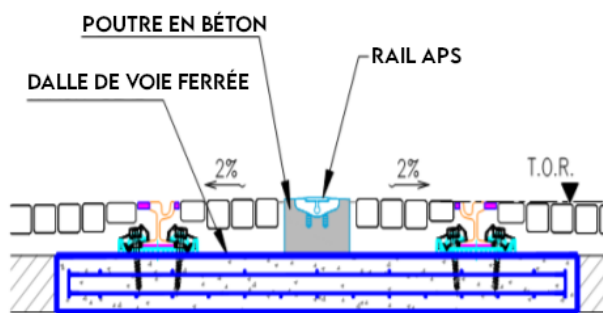


FIGURE 3.43: Section typique de l'APS au niveau du sol

Pour la partie sur le viaduc , la pose sera comme suite :

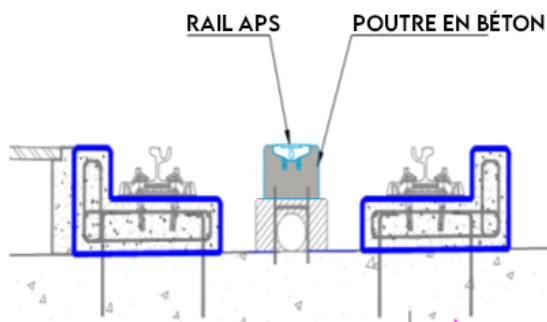


FIGURE 3.44: Section typique de l'APS sur le viaduc

La longueur nominale du segment conducteur est de $8m$ mais peut être réduite jusqu'à $4m$ afin de tenir compte des contraintes d'insertion urbaine (traversée de routes, points bas...) ou d'autres contraintes. La longueur de la zone neutre est de $3m$.

Une boucle de détection connectée aux boîtiers d'alimentation est intégrée dans le cadre support du rail APS, pour recevoir le signal codé envoyé par le tram.

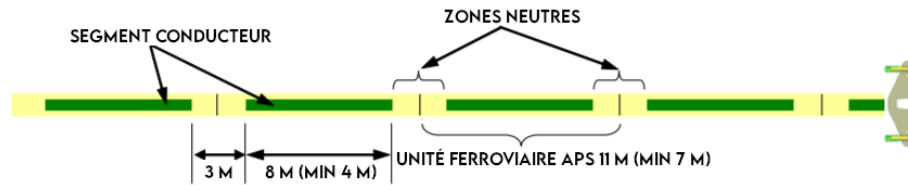


FIGURE 3.45: Composants du rail APS

Dans les zones de changement de mode d'alimentation dans les stations, des rails inertes APS sont installés à l'extrémité du rail APS afin d'assurer un chevauchement adéquat entre l'APS et la LAC.

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a bien élaboré le système d'alimentation par le sol et réussi à faire une comparaison entre ce mode d'alimentation, et l'alimentation par LAC puis s'en sortir avec le meilleur mode d'alimentation pour les deux nouvelles lignes du tramway d'Oran.

Conclusion générale

Le tramway a connu plusieurs étapes d'évolution. Il constitue le meilleur moyen de transport urbain, on est passé des tramways à cheval aux tramways électriques.

L'Algérie aussi a reconnue une évolution dans le domaine des tramways, y'avait aucun tramway en service jusqu'à 2011 où le premier tramway a été réalisé à Alger. A l'heure présent six villes profitent de ce moyen de transport, et dans trois autres villes ils sont en phase de construction.

Ce travail présente l'étude des différentes méthodes d'alimentation d'un tramway, plus précisément l'étude d'extension de la ligne de tramway d'Oran. Tout d'abord on a commencé par présenter l'infrastructure d'alimentation et le système de traction, les sous-stations de traction ferroviaire, le matériel roulant et plus particulièrement les différents types d'alimentation des tramways.

Ensuite, on a élaboré les caractéristiques du projet de tramway d'Oran et exposé d'une façon détaillée le type des rames adopté pour le projet et le mode de distribution de l'énergie adopté, ainsi que l'acheminement du réseau des sous-stations vers les rames.

Enfin, on a réussi à faire une étude comparative entre les deux types d'alimentation du tramway, l'alimentation par LAC, et l'alimentation par le sol, et réussi à adopter le type le plus fiable pour une extension de la ligne du tramway d'Oran.

Cependant, il ya encore de nombreux problèmes à résoudre, comme le problème de récupération de l'énergie de freinage qui peut aider à réduire la demande d'énergie.

D'ailleurs, ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances utiles pour la suite de notre vie professionnelle.

Bibliographie

- [1] Liste des tramways en Algerie, EMA, <https://metroalger-dz.com/fr/activities.php>.
- [2] E. MORIN. Modélisation d'un réseau électrique de tramway : du composant au système. Thèse de Doctorat, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2005.
- [3] A. ARAB et M. R. FAKIH. Etude du système d'alimentation du tram de Sidi Bel Abbes, Mémoire de Master, Université Djillali Liabes Sidi Bel Abbes, 2015.
- [4] W. BENHASSANI. La commande de tramway Cas de tramway de constantine, Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'Hidi-Oum El Bouaghi.
- [5] Installation pour la traction électrique, Directives techniques pour TRAM, Mai 2016.
- [6] Les installations fixes électriques, <https://lesiteferroviaire.pagesperso-orange.fr/>.
- [7] SINTROFER, Innovative technologies for light rail and tram, Briefing Paper 2 Ground-Level Power Supply - Alimentation par le Sol, September 2015.
- [8] Etude d'avant projet de Setif, Entreprise Metro d'Alger (EMA).
- [9] APS Subsystem Overview Specification, Engineer employer's representative, ALSTOM.
- [10] Tramway : Alimentation par le sol, baccalaureat général session 2007 Série S Sciences de l'ingénieur.
- [11] T.FORT et O. CHANTAL, Evaluation sous trafic lourd des systèmes d'Alimentation Par le Sol (APS) des tramways, Alstom transport.
- [12] F. BELHACHEMI, Modélisation et caractérisation des supercondensateurs à couche double électrique utilisés en électronique de puissance,

Thèse de Doctorat, l'Institut d'Electronique et d'Electrotechnique de Sidi Bel Abbes, 19 Décembre 2001.

- [13] G. ULLER, Traction ferroviaire : les tramways, Caractéristiques des matériels roulants, Techniques de l'ingénieur.
- [14] P. CHOVIN, E. DESSEAUX. Livrable 1.3, Mode d'alimentation du système.
- [15] Entreprise Metro d'Alger, <http://www.metroalger-dz.com/fr/>
- [16] Alstom, <https://www.alstom.com/>.
- [17] Tramway Citadis 302, Cital-assemblage et maintenance des matériels roulants, <https://www.cital-dz.com/produits-services/citadis>.
- [18] Les rames CITADIS 302, <http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/88-040Les-Rames-Citadis-TGA-302>.
- [19] Entreprise de réalisation d'exploitation du chemin de fer urbain pour l'agglomération d'Alger. Description technique du matériel roulant 2008.
- [20] Entreprise de réalisation d'exploitation du chemin de fer urbain pour l'agglomération d'Alger. Spécification fonctionnelle traction.
- [21] Installation pour la traction électrique , Directives techniques pour TRAM, Transports publics Genevois.
- [22] L'alimentation du tramway, Les ancrages en facade, Tramway Grand Besancon.
- [23] A. F. BENHALIMA, Etude de faisabilité d'un projet d'insertion d'une ligne de Tramway, Juin 2013
- [24] Décret exécutif numéro 10-95 fixant les règles économiques pour les droits de raccordement aux réseaux et autres actions nécessaires pour satisfaire les demandes d'alimentation des clients en électricité et gaz, <http://www.creg.gov.dz/>.
- [25] Appendix 2 to Egis 2014 press kit, <https://www.egis-group.com>.
- [26] Mode d'alimentation du système hypothèses pour le prédimensionnement traction, Étude de faisabilité technique Projet du tramway de Québec et de Lévis.
- [27] Preliminary power supply description for LRT system, Tramway of Aalborg.
- [28] Mode d'alimentation du système rapport d'étape , Étude de faisabilité technique Projet du tramway de Québec et de Lévis.
- [29] traction power supply infrastructure and light rail vehicle interface, Sydney light rail.

Résumé

Depuis des années, le marché du transport urbain bénéficie principalement du mode routier. Cependant, le mode ferroviaire s'impose aujourd'hui face aux besoins croissants des tramways.

Le tramway fait partie d'une grande attention en faveur du développement durable, de l'amélioration de la qualité de vie, de l'environnement et des facilités de déplacements pour les habitants.

C'est un transport urbain devenu incontournable dans les grandes villes, il facilite les voyages, les déplacements professionnels, les courses, les enfants pour aller à l'école ou même pour une simple sortie en famille.

Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et l'une des plus importantes villes du Maghreb, mais les habitants de cette ville souffrent toujours du manque des moyens de transport urbain. Donc suite à cette situation, nous avons fait l'étude d'extension de la ligne du tramway d'Oran.

Entre l'alimentation par les lignes aériennes de contact (LAC) et l'alimentation par le sol, nous avons essayé d'adopter le plus fiable mode d'alimentation pour les deux nouveaux tracés.

Mots-clés : Tramways, déplacement, Oran, extension, alimentation, lignes aériennes de contact, alimentation par le sol.

Abstract

For years, the urban transport market has mainly benefited from road transport. However, the rail mode is nowadays the most important mode to meet the growing needs of trams.

Tramways are part of a strong focus on sustainable development, improving the quality of life, the environment and the ease of travel for the inhabitants.

It is an urban transport system that has become a must in big cities. It facilitates travel, business trips, shopping, children to go to school or even for a simple family outing.

Oran is the second largest city in Algeria and one of the most important cities in the Maghreb, but the inhabitants of this city still suffer from the lack of urban transport. Therefore, following this situation, we made a study for the extension of the tramway line in Oran.

Between overhead contact lines (OCS) and ground power supply we tried to adopt the most reliable mode of power supply for the two new routes.

Keywords : Tramway, travel, Oran, extension, power supply, overhead contact lines, ground power supply.

المخلص

لسنوات عديدة، استفاد سوق النقل الحضري بشكل أساسي من وضع الطرق. ومع ذلك، فإن وضع السكك الحديدية ضروري اليوم في مواجهة الاحتياجات المتزايدة لقطارات الترامواي.

يعتبر الترامواي جزءاً مهماً لصالح التنمية المستدامة وتحسين نوعية الحياة والبيئة وسهولة الحركة للمقيمين. فهو وسيلة نقل حضرية أصبحت ضرورية في المدن الكبيرة، فهي تسهل السفر ورحلات العمل والتسوق والأطفال للذهاب إلى المدرسة أو حتى لنزهة عائلية بسيطة.

وهران هي ثاني أكبر مدينة في الجزائر وواحدة من أهم مدن المغرب العربي، لكن سكان هذه المدينة ما زالوا يعانون من نقص وسائل النقل الحضري. بعد هذا الموقف، قمنا بتنفيذ الدراسة التوسعية لخط ترام وهران.

بين تغذية خط التلامس العلوي والتغذية الأرضية، حاولنا اعتماد وضع التغذية الأكثر موثوقية للتخطيطين الجديدين.

الكلمات المفتاحية: الترامواي, الحركة, وهران, الدراسة التوسعية, التغذية, تغذية خط التلامس العلوي, التغذية الأرضية.