

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Technologie
Département Génie des Transports



N° d'ordre:.....

N° de série :.....

THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de
DOCTORAT TROISIEME CYCLE –LMD-
DOMAINE : SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE DES TRANSPORTS
SPECIALITE : INGENIERIE DES TRANSPORTS

PAR
Abdelaziz KAHLOUCHE

Pour une insertion performante et durable dans le système global de mobilité, étude de cas : Tramway de Constantine

Soutenu le : 20/01/2019

Devant le jury :

Pr. BELAOUAR Ahmed	Université Frères Mentouri, Constantine 1	Président
Pr. CHAIB Rachid	Université Frères Mentouri, Constantine 1	Rapporteur
MCA. BOUZERARA Ramdane	Université Frères Mentouri, Constantine 1	Examineur
Pr. BENRETEM Abdelwahab	Université Badji Mokhtar, Annaba	Examineur
Pr. BOUZAOUIT Azzeddine	Université 20 Août 1955, Skikda	Examineur

Remerciements

Un moment émouvant pour le doctorant est le jour où il entreprend d'écrire ses remerciements.

Par ailleurs, cela permet de remercier toutes les personnes qui ont supporté nos humeurs dépressives au cours des années de thèse. Je tiens à saluer ici les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail de thèse de doctorat.

Je remercie par avance ceux dont le nom n'apparaît pas dans ces remerciements et qui m'ont aidée d'une manière ou d'une autre. Ils se reconnaîtront.

Je remercie très sincèrement les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Je suis très honorée d'être lue par ces personnalités dont je mesure la valeur scientifique.

J'adresse mes sincères remerciements à mon directeur de thèse Monsieur le professeur **Rachid CHAIB** qui a mis à ma disposition son entière disponibilité, son expérience, ses compétences, son apport scientifique et surtout sa patience notamment dans les moments les plus difficiles de ma thèse.

Je tiens à adresser tous mes remerciements à Monsieur le professeur **Ahmed BELAOUAR**, Chef de département de Génie des Transports, pour leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire.

J'exprime ma profonde gratitude à Madame le professeur **Irina Yatskiv (Jackiva)**, de l'institut du transport et de télécommunication, en Lettonie, pour m'avoir accueilli dans son laboratoire de recherche. Merci Madame pour votre grande bienveillance et vos précieux conseils.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur. **Rafik AYED**, directeur d'exploitation à la société d'exploitation des tramways SETRAM, pour sa précieuse collaboration et son soutien permanent qu'il m'a apporté.

Je remercie également, tous les employés de la société ALSTOM Transport Algérie, SETRAM Spa et CITAL Spa qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Je remercie ceux dont le nom n'apparaît pas dans ces remerciements et qui m'ont aidée d'une manière ou d'une autre. Ils se reconnaîtront.

Résumé

L'implantation d'un nouveau système de transport urbain est devenue aujourd'hui un enjeu important pour les collectivités locales, en effet, la prise en compte des actions en faveur de développement durable reste incontournable pour améliorer le tissu urbain des villes tout en respectant les contraintes environnementales. La construction d'une ligne de tramway est généralement l'occasion d'une restructuration et d'une requalification urbaine, effectivement, ce tramway doit être considéré comme un projet urbain, et non seulement comme un moyen de déplacement, donc si l'enjeu majeur du nouveau tramway est de concevoir un vecteur de mobilité durable avec les stratégies publiques pour répondre aux problématiques du développement durable et enjeux spécifiques des aménagements territoriaux, nous pouvons à travers ce travail de recherche de demander de quelle manière l'émergence du nouveau tramway contribue à des déplacements durables dans une stratégie politique globale, et quels critères sont pris en considération comme outil de la durabilité pour cette insertion. En suite, nous allons à travers de ce travail d'évaluer la première ligne du tramway de Constantine afin de vérifier si le projet répond vraiment aux exigences du développement durable, sinon proposer des recommandations nécessaire pour améliorer l'exploitation et la sécurité de ce système récemment implanté en Algérie.

Mots-clés : Mobilité urbaine durable ; Tramway de Constantine ; Plan de déplacement urbain ; Exploitation ferroviaire ; Sécurité ferroviaire.

Abstract

The implantation of a new urban transport system has become an important issue for local authorities today, since taking into account actions in favor of sustainable development remains essential to improve the urban structure of cities while respecting environmental constraints. The construction of a tramway line is generally an opportunity for restructuring and urban renewal, indeed, this tramway should be considered as an urban project, and not only as a means of transport, so if the stake major new tramway is to design a vector for sustainable mobility with public strategies to address the issues of sustainable development and specific issues of territorial development, we can through this research work to ask how the emergence of the new tramway contributes sustainable mobility in an overall political strategy, and what criteria are taken into account as a tool of sustainability for this insertion. Next, we are going through this work to evaluate the first line of the Constantine tramway to check if the project really meets the requirements of sustainable development, otherwise offer recommendations necessary to improve the operation and safety of this system recently implanted in Algeria.

Keywords: Sustainable urban mobility; Tramway of Constantine; Urban transport plan; Railway operation; Railway safety.

ملخص

يعتبر إنشاء نظام نقل حضري جديد الآن قضية مهمة للسلطات المحلية، في الواقع، لا يزال إدراج التدابير من أجل التنمية المستدامة ضروري لتحسين المدن الحضرية مع احترام القيود البيئية. في هذا الصدد يعتبر إنشاء خط الترامواي فرصة مهمة لإعادة الهيكلة وتجديد النسيج الحضري للمدينة ، في الواقع ، يجب اعتبار هذا الترامواي مشروعًا حضريًا، وليس فقط كوسيلة نقل ، لذلك إذا كان الهدف من إنشاء خط ترامواي جديد هو تشجيع التنقل المستدام داخل المدن مع الاستراتيجيات العامة لمواجهة تحديات التنمية المستدامة وقضايا محددة من التحسينات الحضرية، يمكننا من خلال هذا البحث أن نسأل كيف يساهم ظهور خط ترامواي جديد في ضمان تنقل حضري مستديم ضمن إستراتيجية سياسية شاملة ، وما هي المعايير التي تؤخذ بعين الاعتبار كأداة لتحقيق الاستدامة لهذا الإدراج. بعد ذلك ، نحن نسعى من خلال هذه الأطروحة لتقييم الخط الأول من ترامواي قسنطينة على المستوى البيئي و الاجتماعي و الاقتصادي للتحقق مما إذا كان المشروع يستوفي متطلبات التنمية المستدامة ، وإلا نقدم التوصيات اللازمة لتحسين تشغيل وسلامة هذا النظام الجديد الذي انطلق استغلاله مؤخرا في الجزائر.

كلمات مفتاحية : التنقل الحضري المستديم ; ترامواي قسنطينة ; مخطط النقل الحضري ; إستغلال السكك الحديدية
سلامة السكك الحديدية

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : La mobilité au cœur du développement durable du concept à la réalité	
INTRODUCTION.....	5
I.1 CONCEPTS ET ÉTAT DES CONNAISSANCE.....	6
I.1.1 Concept du développement durable.....	6
I.1.1.1 Les piliers du développement durable.....	7
I.1.1.1.1 Le pilier économique.....	8
I.1.1.1.2 Le pilier social.....	10
I.1.1.1.3 Le pilier environnemental.....	11
I.1.1.1.4 La relation entre les trois piliers du développement durable.....	12
I.1.2 Concept de mobilité.....	13
I.1.2.1 Définition.....	13
I.1.2.2 La mobilité personnelle face au choix du mode transport.....	14
I.1.2.3 La mobilité spatiale.....	15
I.1.2.4 La mobilité urbaine.....	16
I.1.2.4.1 Définition.....	16
I.1.2.4.2 Système de mobilité urbaine.....	16
I.1.2.4.3 Les problèmes du système de mobilité urbaine.....	17
I.1.2.4.4 Les objectifs du système de mobilité urbaine.....	18
I.2 LA MOBILITÉ URBAINE DURABLE.....	19
I.2.1 La stratégie globale pour une mobilité urbaine durable.....	20
I.2.1.1 Le rôle du transport public.....	20
I.2.1.2 Le rôle de la nouvelle technologie.....	21
I.2.1.3 Le rôle de l'attitude du public envers les politiques de la mobilité urbaine durable.....	22
I.2.1.4 Le rôle de l'aménagement du territoire.....	22
I.2.2 Les enjeux de la mobilité urbaine durable.....	24
I.2.2.1 L'accessibilité.....	24
I.2.2.2 L'efficacité des systèmes de transport public.....	28
I.2.2.3 La sécurité.....	30
I.2.2.4 L'occupation du sol.....	31
I.2.2.5 La pollution.....	32
I.2.3 Les indicateurs de la mobilité urbaine durable.....	34
CONCLUSION.....	38
Chapitre II : L'insertion durable des systèmes de transport en milieu urbain cas du système de tramway	
INTRODUCTION.....	39
II.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SYSTÈME DE TRANSPORT EN SITE PROPRE : TCSP.....	40

II.1.1 Les composants du TCSP.....	41
II.1.2 Les intérêts du TCSP.....	42
II.1.3 Les phases de construction d'un TCSP.....	43
II.2 DESCRIPTION DU SYSTÈME TRAMWAY.....	47
II.2.1 Concept et explication générale.....	47
II.2.2 Aspect technique.....	49
II.2.2.1 La voie du tramway.....	49
II.2.2.2 Le matériel roulant.....	55
II.2.2.3 L'alimentation électrique.....	56
II.2.3 Aspect urbanistique.....	59
II.2.3.1 Les types d'insertion du tramway.....	59
II.2.3.2 L'aménagement des stations.....	62
II.2.4 Aspect économique.....	63
II.2.4.1 Coût d'investissement.....	63
II.2.4.2 Les coûts d'exploitation.....	63
II.2.4.3 Les modes de financement du tramway.....	64
CONCLUSION.....	64
Chapitre III : Évaluation socio-économique du tramway de Constantine	
INTRODUCTION.....	66
III.1 LA MOBILITE URBAINE A LA VILLE DE CONSTANTINE.....	67
III.1.1 Présentation de la ville de Constantine.....	68
III.1.2 Le transport en commun à Constantine.....	68
III.1.2.1 Le périmètre de transport urbain.....	69
III.1.2.2Le transport urbain par bus.....	69
III.1.2.3Le transport urbain par taxi.....	71
III.1.2.4Les télécabines.....	73
III.2 PRESENTATION DU SYSTEME DE TRAMWAY DE CONSTANTINE.....	74
III.3 L'IMPACT DU TRAMWAY DE CONSTANTINE SUR L'ENVIRONNEMENT DU CORRIDOR.....	76
III.3.1 La compatibilité électromagnétique.....	76
III.3.2 Les performances acoustiques du tramway de Constantine.....	82
III.3.3 Les performances vibratoires du tramway de Constantine.....	89
III.4 L'EVALUATION SOCIO-ECONOMIQUE DU TRAMWAY DE CONSTANTINE.....	94
III.4.1Effet du tramway de Constantine sur la mobilité de l'agglomération.....	95
III.4.2 Analyse de la qualité de service.....	97
III.4.2.1L'offre de transport.....	98
III.4.2.2Optimisation de l'exploitation ferroviaire de la ligne de Constantine.....	100
III.4.2.3Analyse de la mobilité par le tramway de Constantine.....	103
III.5 RECOMMANDATIONS POUR LA FUTURE EXTENSION DU TRAMWAY DE CONSTANTINE.....	106
III.5.1Présentation de l'extension du tramway.....	106

III.5.2 Amélioration des performances du tramway de Constantine.....	107
III.5.2.1 L'intermodalité.....	107
III.5.2.2 Les parcs relais.....	108
CONCLUSION.....	109
Chapitre IV : Évaluation de la sécurité du tramway de Constantine	
INTRODUCTION.....	111
IV.1 CONCEPT DE LA SÉCURITÉ.....	112
IV.1.1 L'interaction entre la sécurité et la sûreté.....	113
IV.1.2 Le système de management de sécurité: SMS.....	114
IV.1.2.1 Le plan stratégique.....	114
IV.1.2.2 Le plan tactique.....	114
IV.1.2.3 Les facteurs qui influent le SMS.....	115
IV.2 CONCEPT DE RISQUE.....	116
IV.2.1 Classification des risques.....	117
IV.2.2 Processus de management des risques.....	117
IV.2.3 Système de management des accidents.....	119
IV.3 CONCEPT DE LA SECURITE FERROVIAIRE.....	119
IV.3.1 Cadre normatif de la sécurité ferroviaire.....	120
IV.3.2 Processus des risques ferroviaires.....	122
IV.3.3 Maitrise des risques d'un système ferroviaire.....	123
IV.3.3.1 La matrice des risques ferroviaires.....	123
IV.4 ÉVALUATION DE LA SECURITE DU TRAMWAY DE CONSTANTINE.....	125
IV.4.1 Analyse des incidents.....	125
IV.4.2 Analyse des accidents liés à l'exploitation du tramway.....	126
IV.4.3 L'influence du kilométrage parcouru.....	127
IV.4.4 Répartition des accidents par catégorie.....	128
IV.4.5 L'influence du facteur humain sur la sécurité du tramway.....	128
IV.4.5.1 Place du facteur humain dans les systèmes de transport guidé.....	129
IV.4.5.2 Les risques liés à l'erreur humaine : le conducteur.....	130
IV.5 RECOMMANDATIONS.....	131
IV.5.1 Recommandations générales.....	131
IV.5.2 Recommandations pour la l'extension de la ligne.....	132
CONCLUSION.....	132
Conclusion générale et perspectives.....	134
Références bibliographiques.....	135
Références webographiques.....	145

Liste des figures

Figure I. 1 Modélisation du développement durable.....	7
Figure I. 2 Les piliers de l'économie circulaire.....	9
Figure I. 3 La relation entre les trois piliers.....	12
Figure I. 4 Représentation schématique des systèmes de mobilité.....	14
Figure I. 5 La base des besoins de la vie.....	14
Figure I. 6 Efficience et processus de production.....	19
Figure I. 7 Le rôle des indicateurs de développement durable.....	35
Figure I. 8 Rôle des indicateurs dans le processus de planification de la mobilité.....	36
Figure II. 1 Représentation des différentes étapes d'un projet de TCSP.....	43
Figure II. 2 Coupe d'une voie de tramway avec éléments modulaires.....	50
Figure II. 3 Coupe d'un rail type Vignole.....	51
Figure II. 4 Coupe d'un rail à gorge.....	51
Figure II. 5 Traverse de type bi-bloc.....	51
Figure II. 6 Support d'une pose discontinue type selle.....	52
Figure II. 7 Pose avec rail noyé.....	52
Figure II. 8 Attache type Nabla.....	52
Figure II. 9 Attache type Vossloh.....	52
Figure II. 10 Taquet d'arrêt d'un tramway.....	53
Figure II. 11 Joint isolant type collé.....	53
Figure II. 12. Appareil de dilatation type baïonnette.....	53
Figure II. 13 Appareil de dilatation type aiguillage.....	53
Figure II. 14 Branchement simple.....	54
Figure II. 15 Schéma d'une traversée oblique ordinaire.....	54
Figure II. 16 Schéma démonstratif d'une Citadis 402 d'Alstom.....	55
Figure II. 17 La chaîne de traction dans le tramway.....	56
Figure II. 18 Support bilatéral avec suspension sous transversal.....	58
Figure II. 19 Poteau unilatéral avec suspension sous console double voie.....	58
Figure II. 20 Poteau central avec suspension sous consoles simple voie.....	58
Figure II. 21 Alimentation par sol.....	58
Figure II. 22 Insertion bilatérale du tramway.....	60

Figure II. 23 L'implantation axiale d'une plateforme de tramway.....	61
Figure II. 24 L'implantation latérale d'une plateforme de tramway.....	61
Figure II. 25 Exemple d'une station type d'un tramway.....	62
Figure III. 1. Carte des communes de la wilaya de Constantine.....	68
Figure III. 2 Les communes constituées le périmètre de transport urbain.....	69
Figure III. 3 Répartition du par roulant par le propriétaire.....	70
Figure III. 4 Le réseau urbain principal des bus en commun à Constantine.....	71
Figure III. 5 Les zones desservies par la télécabine de Constantine.....	74
Figure III. 6 Vue générale du tramway de Constantine.....	75
Figure III. 7 L'influence du tramway de Constantine	76
Figure III. 8 Le processus de la CEM pour un système ferroviaire.....	78
Figure III. 9 Répartition des tests CEM.....	79
Figure III. 10 Mesure ambiante hors le matériel roulant.....	80
Figure III. 11 Mesure lors le passage du tramway.....	80
Figure III. 12 Mesure ambiante pour la sous-station.....	81
Figure III. 13 Mesure lors du passage du tramway.....	81
Figure III. 14 Vue de coté de la rame Citadis 402.....	83
Figure III. 15 Exemple de cartographie acoustique réalisée sur un tramway à 40 km/h.....	84
Figure III. 16 Niveaux vibratoires mesurés sur le rail, au passage d'une rame.....	90
Figure III. 17 Exemple d'une mesure des vibrations sur une dalle flottante.....	92
Figure III. 18 Schéma d'instrumentation - Tests de Performance Système.....	93
Figure III. 19 Offre journalier existaient par bus.....	95
Figure III. 20 Distribution de la demande estimée par heure.....	96
Figure III. 21 Comparaison entre les prévisions et la fréquentation réelle.....	97
Figure III. 22 Le kilométrage annuel prévu et réalisé.....	98
Figure III. 23 Comparaison entre l'offre et la demande de transport.....	99
Figure III. 24 La demande maximale du transport pour la ligne.....	101
Figure III. 25 Taux de remplissage moyen en mode normal.....	102
Figure III. 26 Taux d'utilisation des titres de transport.....	104
Figure III. 27 Taux de déplacement des abonnées par catégorie.....	105
Figure III. 28 Nombre de BRV délivré par les contrôleurs.....	106
Figure III. 29 Schéma représentatif de l'extension Ali-Mendjli.....	107

Figure III. 30 Schéma descriptif d'un pôle d'échanges tramway/bus.....	108
Figure IV. 1 La pyramide de Maslow: les facteurs de qualité dans les transports en commun.....	113
Figure IV. 2 Processus de management des risques.....	117
Figure IV. 3 Le système ergatic pour la sécurité ferroviaire.....	120
Figure IV. 4 L'IEC 61508 et ses normes sectorielles.....	121
Figure IV. 5 Classification des différents accidents dans le système ferroviaire.....	122
Figure IV. 6 Statistiques des incidents (Avril 2016 - Mars 2017).....	126
Figure IV. 7 Répartition du nombre d'accidents par an.....	127
Figure IV. 8 le rapport (Nombre d'accident / Kilométrage).....	127
Figure IV. 9 Répartition des accidents par catégorie.....	128
Figure IV. 10 Facteur humain dans le système de sécurité ferroviaire.....	129
Figure IV. 11 Accident de tramway à Constantine dû à une erreur humaine.....	130
Figure IV. 12 Rapport de franchissement de signale par les conducteur.....	130

Liste des tableaux

Tableau II.1. Coûts d'investissement des différents systèmes de TCSP.....	63
Tableau III.1 Répartition des stations de bus dans la commune de Constantine.....	70
Tableau III.2 Répartition de la flotte des bus De / Vers Ali-Mendjli.....	71
Tableau III.3 Les niveaux d'émissions de bruit à l'intérieur de la Citadis 402.....	83
Tableau III.4 Les niveaux sonores maximums admis dans la réglementation 1999.....	86
Tableau III.5 Niveaux sonores mesurés aux différents sites du tramway de Constantine.....	88
Tableau III.6 Résultats des mesures vibratoires de performance de voie.....	92
Tableau III.7 Résultats des tests de performance système au pied des bâtiments.....	94
Tableau III.8 Temps de trajet général.....	102
Tableau III.9 Le nombre optimum de tramways / périodes.....	103
Tableau IV.1 Classification des risques ferroviaires par l'échelle de gravité.....	124
Tableau IV.2 Echelles de fréquence d'occurrence selon la norme NF EN 50126.....	124
Tableau IV.3 Matrice des risques selon la norme NF EN 50126.....	125

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le transport joue un rôle vital dans le développement économique et commercial des pays et par conséquent, dans le bien-être de leurs populations. Le système de transport doit être durable, tant sur le plan économique et social que sur le plan environnemental, pour répondre à la demande d'élargissement et de développement durable, mais actuellement, le mode de transport routier est de plus en plus critiqué en raison de son impact négatif majeur sur l'environnement et la santé publique. Par conséquent, dans l'optique du développement durable, l'attraction pour le transport ferroviaire a été augmentée au fil du temps.

Le tramway, qui concilie l'haute technologie et la mobilité urbaine durable, est en plein essor à travers le monde. Il répond à un besoin capacitaire, apporte une image de modernité, et permet une mobilité harmonieuse en ville. Ainsi, la mission d'un système de transport guidé consiste à assurer le déplacement de passagers d'un lieu donné à un autre, selon un temps de parcours établi et selon des conditions de sécurité optimales. Ce mode de transport perçu comme un outil d'amélioration des déplacements et déménagement urbain devant les autres modes de transport.

En Algérie, l'un des pays en développement d'Afrique du Nord, le retour au transport ferroviaire urbain dans les grandes villes était une obligation pour les autorités, en raison de l'incapacité de l'infrastructure du transport routier et de la mauvaise qualité du service (congestion, temps de trajet élevé, inconfort, etc.) face à la forte demande de transport dans ces villes. Aujourd'hui, l'État algérien a investi plus de 40 milliards de dollars pour la réalisation des projets de transport en Algérie, y compris la réalisation des tramways dans les grandes villes. L'exploitation de ce moyen de transport a été confiée au partenaire français [RATP Dev] afin de mieux transférer l'expérience européenne en matière d'exploitation de ce nouveau mode de transport en Algérie.

Ce système vu aux technologies avancées et aux fonctionnalités nouvelles, mise en exploitation pour la première fois en Algérie doit être analysé pour justifier que leur impact sur les trois axes du développement durable est qualifié pour une insertion performante et durable dans le système global de la mobilité au niveau de Constantine, notre champ d'étude, ainsi que leur niveau de sécurité est suffisant vis-à-vis des critères sévères d'acceptation du risque fixés par les directives nationales. Si ce niveau est démontré comme insuffisant, des moyens réduisant les différents risques qui pénalisent la sécurité, doivent être mis en œuvre. C'est pourquoi, nous essayons dans ce travail de recherche d'examiner, par une analyse technico-organisationnelle des situations, la manière dont le concept d'exploitation a envisagé les problèmes de fiabilité organisationnelle (optimisation des dépenses humaines et financières), et notamment ceux liés à

l'exploitation et à la sécurité dans cet environnement de travail depuis sa mise en exploitation en Juillet 2013, puis essayer de mettre en relief les réalités et perspectives en matière de sécurité et exploitation ferroviaire afin de proposer un plan d'action et des recommandations pour un système de transport qui répond aux mesures de la mobilité urbaine durable pour la ville de Constantine. Ce travail est une première analyse technico-organisationnelle d'un nouveau mode de transport guidé mis en service en Algérie qui est le tramway.

Nous proposons à travers cette étude exploratoire de comprendre les enjeux liés à l'exploitation et à la sécurité impliqués dans ce mode de transport. L'implantation de cette nouvelle ligne de tramway, dans la ville de Constantine peut-elle contribuer à la création d'un nouveau système de mobilité dans une perspective de développement urbain durable ? Comment optimiser le trafic de ce mode de transport ? Quelles sont les exigences que nous devons prendre a priori et a posteriori afin que l'insertion du tramway de Constantine achève les orientations de la mobilité urbaine durable ? Comment évaluer ce système sur le plan socio-économique et environnemental ? Comment construire une culture sécuritaire pour ce nouveau mode de transport ? Quels sont les facteurs de risques ? Sous quelle forme la sécurité dans un tel environnement apparaît-elle ? Les facteurs de risque présents durant l'exploitation du tramway ont été établis ainsi que les dispositifs mis en œuvre grâce à une compréhension globale de l'organisation du trafic et ses spécificités à travers les différentes tâches effectuées.

Problématiques et objectifs

L'implantation d'un nouveau système de transport urbain est devenue aujourd'hui un enjeu important pour les collectivités locales, en effet, la prise en compte des actions en faveur de développement durable reste incontournable pour améliorer le tissu urbain des villes tout en respectant les contraintes environnementales. Aujourd'hui le tramway constitue également un axe majeur du développement visant à soutenir durablement le développement du réseau de transport urbain. C'est pourquoi, de nombreux prolongements et ouvertures de lignes sont prévus en Algérie. Ce qui demande un échange permanent de savoir-faire et d'expériences entre ses différents axes, qui donne à l'exploitant la capacité d'intervenir dans tous types de contextes techniques, économiques, culturels et environnementaux.

Ce travail est mené dans le cadre d'une problématique soulevée par la commission intersectorielle Architecture, Habitat, Urbanisme et Construction « Atelier Transport du 20Mai 2015 », où, on a insisté sur l'opportunité d'une plus grande implication des partenaires socio-économiques notamment au travers de nouveaux mécanismes qui permettent de développer des projets sectoriels.

C'est pourquoi, cette recherche est une opportunité pour enclencher une démarche globale de gouvernance au niveau de ce nouveau mode de transport. Ce champ de recherche a pour le moment été peu exploré. Mais, dans le cadre de ce travail de doctorat, nous avons pu rassembler une documentation sur la première ligne du tramway de Constantine. Et nous pouvons éclairer cette documentation par des données réelles et des statistiques fiables, notamment sur l'exploitation de ce nouveau mode de transport. Nous essaierons donc de définir une méthodologie applicable à cette ligne de tramway et d'esquisser quelques réponses qui devront être validées par des études ultérieures sur ce champ de recherche.

Les effets urbains effectivement recensés du tramway moderne se manifestent dans des domaines extrêmement variés : effets sur la demande de transport, sur le service de transport offert aux usagers, sur leur impact social ; mais aussi sur la sécurité, et encore sur les performances acoustiques, les performances vibratoires, et la consommation d'énergie. Ces effets relèvent donc des domaines scientifiques de l'ingénierie des transports, mais aussi de ceux de l'économie, de l'urbanisme, et de la sociologie. La multiplicité de ces domaines nécessite une méthode pluridisciplinaire pour les étudier : c'est pourquoi nous ferons appel à une étude technique plus détaillée qui permet de raisonner sur plusieurs domaines disciplinaires à la fois, dans un même cadre théorique de référence.

Pour conclure, nous pouvons mentionner que dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous intéressons aux déplacements de voyageurs en zone urbaine. L'objectif est de contribuer à l'amélioration de l'offre de transport en faveur d'une mobilité durable. Dans cette optique notre réflexion concilie l'exploitation et la sécurité d'un nouveau mode de transport en Algérie, ' le Tramway ' afin de mettre en place une étude globale sur ces deux axes qui représentent les deux grands piliers de l'optimisation de ce système de transport.

Notre thèse est structurée en quatre chapitres et une conclusion générale.

Le premier chapitre, présente une synthèse récapitulative des différents concepts liés au cadre de ce travail et explore les approches jugées intéressantes, dans ce chapitre nous présentons le contexte et l'état de l'art de notre recherche, dont nous exposons les divers concepts liés au développement durable, à la mobilité, et à la mobilité urbain durable. Ce premier chapitre a ainsi pour objectif de concevoir un cadre conceptuel normalisant la conjonction entre eux.

Le deuxième chapitre, introduit les perspectives et les outils, que nous devons mettre en place lors de la construction d'un nouveau système de transport en milieu urbain, afin d'atteindre les objectifs globales de la mobilité urbaine durable, nous pouvons à travers ce chapitre de demander de quelle manière l'émergence du nouveau tramway contribue à des déplacements durables dans une stratégie politique globale, et quels critères sont pris en considération comme

outil de la durabilité pour cette insertion, nous allons voir donc de quelle manière a été abordé du transport urbain à l'éco-mobilité.

Le troisième chapitre, présente les objectifs de notre travail ainsi que notre contribution au problème posé par cette thèse, À cet effet, nous allons à travers de ce chapitre d'évaluer la première ligne du tramway de Constantine afin de vérifier si le projet répond vraiment aux exigences du développement durable, ainsi que proposer des recommandations nécessaire pour améliorer l'exploitation de ce système récemment mis en service en Algérie. Ce chapitre s'organise en quatre parties : nous présentons dans le premier paragraphe le système de transport urbain au niveau de la Wilaya de Constantine d'une façon générale, ensuite nous nous focalisons dans la deuxième partie sur la description de la première ligne du tramway de Constantine dont nous présentons les caractéristiques de la ligne, ce qui nous mène à mettre l'accent aux troisième et quatrième parties sur l'évaluation socio-économique du tramway de Constantine.

Le dernier chapitre, est consacré à l'analyse de la sécurité du système de transport tramway de Constantine, nous présentons dans ce chapitre les méthodes, techniques et outils destinés à faciliter et à améliorer l'analyse et l'évaluation des fonctions de sécurité de ce système de transport guidé. Ensuite nous, décrivons l'état actuelle de la sécurité ferroviaire au niveau de la ligne par des statistiques des accidents survenus depuis sa mise en service, et la contribution du facteur humain sur ces accidents, afin de proposer des solutions pour maîtriser les risques de ce système ferroviaire urbain récemment installé dans la ville de Constantine.

Enfin nous terminons cette recherche par une conclusion générale qui récapitule les travaux réalisés et propose quelques recommandation en perspective, notamment pour la première extension de la ligne vers la nouvelle ville Ali-Mendjli, qui va être opérationnelle bientôt.

CHAPITRE

I

LA MOBILITÉ AU COEUR DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DU CONCEPT À LA RÉALITÉ

Introduction

Les systèmes de mobilité et de transport sont fondamentaux au développement social et économique des pays. Une infrastructure de transport efficace est vitale pour la production économique, le commerce et la circulation des marchandises d'une manière sûre et économiquement rentable.

Aujourd'hui, le transport représente un facteur important dans le contexte du développement durable en raison de la pression qu'il exerce sur l'environnement, de ses impacts économiques et sociaux et de ses liens avec d'autres secteurs. Le secteur a connu une croissance continue au cours des dernières années et surtout avec la croissance rapide, anarchique et désordonnée des villes qui compromet sérieusement les systèmes de transport existants et renforce considérablement le défi de créer de nouveaux systèmes de transport durable qu'il doit être soumis aux exigences actuelles de la rationalité environnementale et de la nouvelle logique des paradigmes de durabilité. De ce point de vue, un système de transport efficace et flexible qui offre des modèles de mobilité intelligents et durables est essentiel pour la santé de notre économie et notre niveau de vie.

La mobilité apporte une variété d'avantages. Cependant, des moyens de transport abordables et sûrs doivent être disponibles à moindre coût social, environnemental et économique. Améliorer la mobilité des passagers en utilisant des moyens durables, sûrs et de haute qualité est essentiel pour réduire la congestion dans les zones urbaines et métropolitaines. Dans le cas de la mobilité urbaine, qui implique la prise en compte d'un certain nombre de facteurs comme la structure urbaine, les modes de déplacements et le système de transport ; la condition préalable pour une durabilité urbaine est la mise en place de réseaux d'infrastructures et d'aménagement du territoire appropriés, intégrant l'environnement de manière transversale et prenant en compte tous les coûts externes et sociaux, sans oublier le fléau des accidents. En tout état de cause, les villes ont besoin de modèles de systèmes de transport durable basés sur la mobilité intelligente pour stimuler l'efficacité économique, la santé environnementale et le bien-être de leurs habitants [W01].

Dans ce premier chapitre il nous a été impératif d'exposer les divers concepts liés au développement durable, à la mobilité, et au transport urbain. Ce premier chapitre a ainsi pour objectif de concevoir un cadre conceptuel normalisant la conjonction entre eux. Nous aborderons donc ici, l'état de l'art de notre recherche.

I.1 CONCEPTS ET ÉTAT DES CONNAISSANCES

I.1.1 Concept du développement durable

La définition la plus courante du développement durable, aussi appelée définition de Brundtland, trouvé dans le rapport Brundtland le nom communément donné à une publication, officiellement intitulée : Notre Avenir à Tous (Our Common Future), rédigée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'organisation des nations unies, est : Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

Tout d'abord, notez que le concept de développement durable est normatif. Il nous dit comment nous devons nous comporter dans nos interactions avec les autres, nos contemporains mais aussi envers les générations futures. La façon dont nous devons nous comporter n'est pas une question scientifique, bien que la connaissance scientifique soit importante pour déterminer quelles actions ont des conséquences par rapport à nos objectifs normatifs. Par exemple, la science nous aide à déterminer l'impact d'une augmentation de la température moyenne de surface de la planète. Mais si nous ne considérons pas avoir l'obligation morale de nous préoccuper des générations futures, les impacts spécifiques du changement climatique à plus long terme perdent de leur pertinence.

Le développement durable est apparu comme un compromis entre les mouvements environnementaux et de développement. Le mouvement de développement s'est concentré sur la pauvreté parmi ceux d'entre nous vivant aujourd'hui, tandis que le mouvement environnemental s'est concentré sur les considérations environnementales pour gérer les ressources naturelles limitées et maintenir les écosystèmes naturels afin que les générations futures puissent se prendre en charge et maintenir leur bien-être. Depuis le rapport Brundtland, le concept de développement durable et son interprétation ont été vivement débattus. Certains ont mis l'accent sur le développement écologiquement durable et les obligations envers la nature, tandis que d'autres ont mis l'accent sur les besoins humains et le développement économique **[01]**.

La mise en œuvre du développement durable ne peut que s'inscrire dans une perspective à long terme. Cependant, son application ne saurait se faire en fonction d'une planification réactive, mais plutôt selon les principes d'une planification et d'une gestion proactive et stratégique. Il est donc indispensable de se doter, à tous les niveaux de participation et de décision, de principes clairs assortis d'objectifs et de mesures précis qui s'inscrivent dans une démarche stratégique à long terme.

I.1.1.1 Les piliers du développement durable

Le développement durable est à l'articulation entre les différents niveaux d'échelle, notamment entre le local et le global. Le développement durable repose donc sur le principe de subsidiarité et se réalise au niveau le plus proche de la base à l'intersection entre les impératifs écologiques sociaux et environnementaux, c'est pourquoi cette notion a été modélisée sous la forme de trois piliers: celle de l'économique, du social, et environnemental [02].



Figure I. 1 Modélisation du développement durable [02]

Ces trois aspects doivent pouvoir répondre à l'objectif de construire le développement durable aussi bien pour les collectivités que pour les entreprises. Autrement dit, ce schéma devrait répondre aux caractéristiques suivantes :

- **Le développement durable** : l'être humain est au centre des préoccupations économiques, sociales et environnementales. lui seul est capable d'agir sur ces tenants et permettre ainsi la pérennité de notre planète.
- **Le développement viable** : il s'agit de prendre en compte les facteurs environnementaux et sociaux, c'est-à-dire d'assurer un cadre de vie acceptable. Cela revient notamment à l'idée de réduire les inégalités entre les pays du Nord et du Sud.
- **Le développement équitable** : cela signifie que les facteurs économiques et environnementaux doivent être pris en compte ensemble, c'est à dire permettre à long terme et de façon autosuffisante une croissance économique basée sur les ressources renouvelables.

- **Le développement équitable** : l'objectif est d'allier la croissance économique tout en respectant les droits de l'homme, de parvenir à une plus grande équité notamment dans le commerce mondial.

Le défi de la mise en œuvre du développement durable consiste donc à faire en sorte que nous visions l'atteinte simultanée et équilibrée de ces trois objectifs fondamentaux dans nos comportements, nos actions, nos politiques, nos programmes, nos lois, nos règlements et dans toutes autres de nos interventions. La mise en œuvre de ces trois objectifs s'appuie sur un certain nombre de ce qui nous aident à mieux comprendre l'ampleur du défi qu'ils représentent [W02].

Par autre voie, le développement durable doit être à la fois économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable. Le social doit être un objectif, l'économie un moyen et l'environnement une condition. Donc le concept de développement durable repose sur ces trois piliers, qui représentent trois objectifs fondamentaux :

- Continuer à produire des richesses afin de satisfaire les besoins de la population mondiale (pilier économique)
- Viser à réduire les inégalités entre les peuples du monde (pilier social)
- Éviter de dégrader l'environnement dont hériteront les générations futures (pilier environnemental).

I.1.1.1.1 Le pilier économique

L'économie est un pilier qui occupe une place prééminente dans notre société de consommation. Il s'agit de concilier la viabilité d'un projet, d'une organisation (performance économique) avec des principes éthiques, tels que la protection de l'environnement et la préservation du lien social. Selon ce système, le prix des biens et services doit refléter le coût environnemental et social de l'ensemble de leur cycle de vie, c'est-à-dire de l'extraction des ressources à la valorisation, en tenant compte de la fabrication, de la distribution et de l'utilisation.

Le développement économique s'agit aussi de produire en limitant l'utilisation des ressources naturelles non renouvelables et les besoins en énergie, en promouvant le recyclage et en développant des techniques moins polluantes ou économes en énergie, prise en compte des problèmes de mobilité, transports... Le développement durable implique la modification des modes de production et de consommation en introduisant des actions pour que la croissance économique ne se fasse pas au détriment de l'environnement et du social [W03].

L'économie circulaire : L'économie circulaire désigne un concept économique qui s'inscrit dans le cadre du développement durable, selon l'ADEME [03], l'économie circulaire est définie comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus. Dans un contexte de mutation économique dans un monde en métamorphose, l'économie circulaire apparaît dans la continuité de la notion de développement durable. L'économie circulaire constitue désormais les fondements d'orientations politiques en faveur de nouveaux modèles économiques partenariaux et sobres en ressources. Ainsi, cette économie s'oppose au modèle classique en s'appuyant sur un principe de circularité de nos modes de fonctionnement, dès le stade de conception.

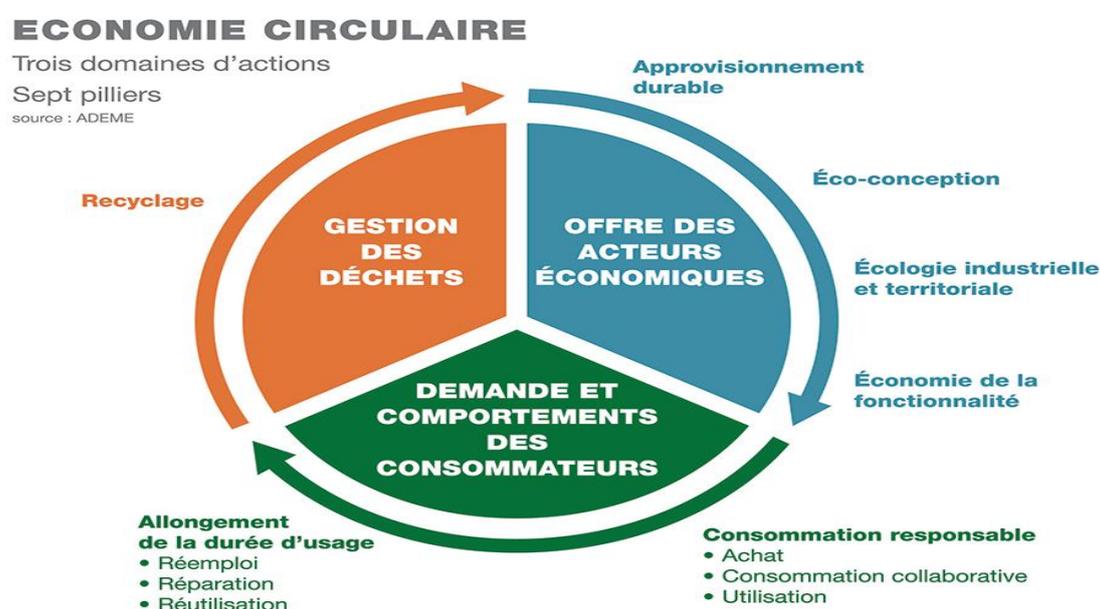


Figure I. 2 Les piliers de l'économie circulaire [03]

Le concept d'économie circulaire n'est pas actuellement totalement stabilisé. Bien que certains assimilent encore l'économie circulaire au seul recyclage, la plupart des recherches convergent vers une notion de l'économie circulaire s'articulant autour d'une prise en compte large de trois champs sur l'ensemble des ressources :

- **Production et offre de biens et services :** approvisionnement durable en ressources - qu'elles soient renouvelables ou non renouvelables -, éco-conception des biens et services, développement de l'écologie industrielle et territoriale et mise en œuvre de l'économie de la fonctionnalité (recours à un service plutôt que la possession d'un bien) ;

- **Consommation - demande et comportement** : achat responsable, bonne utilisation des produits, recours au réemploi et à la réparation ;
- **Gestion des déchets** : bien que la production et la consommation responsable soient de nature à limiter la production des déchets dans le cadre de la politique de prévention, la gestion des déchets restants doit favoriser le recyclage et, si besoin, la valorisation énergétique. L'énergie fatale non consommée est aussi à considérer.

I.1.1.1.2 Le pilier social

Alors que le concept de développement durable fait généralement référence à l'équilibre entre les piliers environnemental, économique et social de la durabilité, le sens et les objectifs associés du pilier social restent vagues. En effet, il a été décrit comme le pilier le plus conceptuellement insaisissable dans le discours sur le développement durable. De plus, les dimensions sociales de la durabilité n'ont pas reçu le même traitement que les deux autres piliers et il existe différentes interprétations quant aux questions à traiter [04].

La durabilité sociale repose sur des décisions et des projets qui favorisent l'amélioration générale de la société. En général, l'aspect social de la durabilité soutient le concept de justice intra générationnelle, ce qui signifie que les générations futures ont droit à la même qualité de vie à celle des générations actuelles. Ce concept englobe également de nombreuses autres questions sociales comme le droit environnemental, les droits humains et du travail, l'équité en santé, le développement communautaire par l'implication et la participation du public, le capital social, le soutien à la justice et aux responsabilités. La dimension sociale de la durabilité est tout aussi importante que les deux autres piliers. Si elle n'est pas sérieusement prise en considération, elle peut entraîner l'effondrement de tout le processus de durabilité ainsi que de la société elle-même [05].

Généralement, nous distinguons les dimensions suivantes pour la durabilité sociale:

- **Équité** : la communauté offre des opportunités et des résultats équitables pour tous ses membres, en particulier les membres les plus pauvres et les plus vulnérables de la communauté
- **Diversité** : la communauté favorise et encourage la diversité
- **Cohésions interconnectées / sociales** : la communauté fournit des processus, des systèmes et des structures qui favorisent la connectivité à l'intérieur et à l'extérieur de la communauté au niveau formel, informel et institutionnel

- **Qualité de vie :** la communauté s'assure que les besoins fondamentaux sont satisfaits et favorise une bonne qualité de vie pour tous les membres au niveau individuel, collectif et communautaire (par exemple, santé, logement, éducation, emploi, sécurité)
- **Maturité :** l'individu accepte la responsabilité d'une croissance et d'une amélioration constantes à travers des avantages sociaux plus larges.

En dépit du fait que la dimension sociale du développement durable occupe une place prépondérante, on pourrait considérer que la réalisation de cette dimension dépend de certaines composantes supplémentaires du pilier social, qui sont inextricablement liées entre elles et dont le dénominateur commun est le rôle actif de la société. La cohésion sociale, par exemple, a été caractérisée comme un indice social majeur avec des significations diverses et un rôle dominant dans la politique de développement durable, alors qu'elle est également liée à la nécessité d'améliorer la participation des individus et des groupes aux procédures de prise de décision pour la réalisation des objectifs environnementaux. De plus, la réalisation de la justice sociale et du développement durable nécessite d'informer et de sensibiliser le public sur les questions de durabilité, en soutenant toutes les organisations compétentes, afin que les citoyens, les entreprises et les États s'orientent vers des formes alternatives et durables de consommation.

En conclusion, il est observé que le pilier social du développement durable est en interaction constante avec les deux autres piliers, le pilier environnemental et le pilier économique, alors que chacun d'entre eux est soutenu par la nécessité de veiller à ce que le développement intergénérationnel.

I.1.1.1.3 Le pilier environnemental

Le développement durable est indissociable de l'environnement. Puisque les humains ont un besoin direct de l'environnement pour toutes leurs activités, sa protection et sa gestion adéquate sont les sujets les plus importants qui occupent l'agenda de la communauté internationale. Désormais, il est devenu évident qu'au-delà de la grande croissance des sociétés humaines, une grande destruction de la planète s'est également produite. Pendant la majeure partie de l'histoire humaine la Terre a été considérée comme ayant des ressources naturelles inépuisables, capables de satisfaire les besoins des gens pour toujours.

La viabilité de l'environnement concerne l'environnement (artificiel et naturel) en tant qu'écosystème. L'écosystème est un système qui inclut les facteurs biotiques et abiotiques d'une région, ainsi que les interactions qui existent entre les uns et les autres. Par conséquent, la résistance de l'écosystème aux changements et son adaptabilité sont étudiées. Selon les résultats de chaque étude, le plan de gestion approprié pour l'écosystème est sélectionné.

L'allocation des ressources devrait être faite en fonction de leur disponibilité mais aussi en fonction des besoins de ses membres. L'attention devrait être accordée non seulement au processus de production, mais aussi à l'utilisation de diverses sources d'énergie et de ressources naturelles. Tout aussi importants sont les résultats de consommation et le gaspillage de chaque processus. Le rythme de ces deux processus inter reliés constitue un facteur important pour le bon fonctionnement de chaque écosystème.

Outre l'intérêt pour l'utilisation correcte de l'environnement afin de couvrir les besoins humains, le développement durable est également concerné par la protection de l'environnement dans le but de le laisser dans de bonnes conditions pour les générations futures. La Terre est considérée comme un système fermé, c'est-à-dire qu'elle a un certain nombre de ressources à utiliser, donc les besoins de ses habitants doivent être couverts avec précaution sans gaspillage afin que les futures générations soient aussi capables de couvrir leurs besoins.

I.1.1.1.4 La relation entre les trois piliers du développement durable

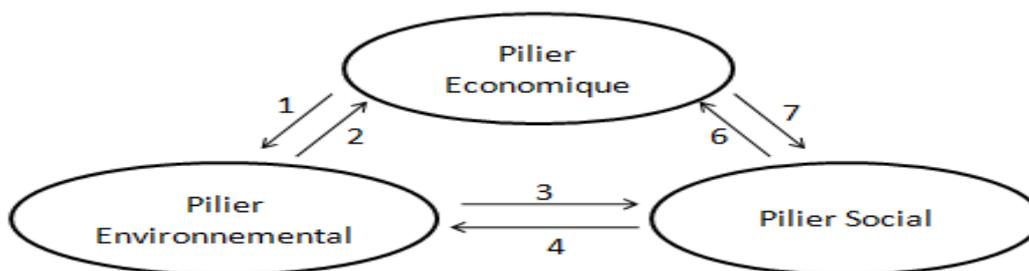


Figure I. 3 La relation entre les trois piliers [06]

1. Effets de l'activité économique sur l'environnement (Utilisation des ressources, rejets de polluants, déchets)
2. Effets environnementaux à l'économie (Ressources naturelles, fonctions de puits, contributions à l'efficacité économique et à l'emploi)
3. Effets environnementaux à la société (Accès aux ressources et aux commodités, contributions à la santé, conditions de vie et de travail)
4. Effets des variables sociales sur l'environnement (Changements démographiques, modèles de consommation, éducation et information environnementales, cadres institutionnels et juridiques)
5. Effets des variables sociales sur l'économie (Population active, structure de la population et des ménages, éducation et formation, niveaux de consommation, cadres institutionnels et juridiques)
6. Effets de l'activité économique sur la société (Niveaux de revenu, équité, emploi)

I.1.2 Concept de mobilité

I.1.2.1 Définition

Dans sa définition la plus large, la mobilité correspond au « changement de localisation ou de statut des agents socio-économiques au cours du temps » [7]. La mobilité est un concept central dans la recherche sur les transports, représentant généralement la nécessité de se déplacer dans l'espace [08]. Par conséquent, la mobilité inclut tous les concepts de transport et de trafic, mais fait également référence à toute forme de mouvement, généralement, la mobilité peut être de trois ordres : physique, sociale ou spatiale. La mobilité physique correspond à la faculté de se mouvoir. La mobilité sociale, quant à elle, concerne les changements de position sociale et intéresse notamment les sociologues [09]. Pour notre recherche, nous nous intéressons aux déplacements des individus à travers des moyens de transport dont la mobilité est spatiale et correspond aux changements de lieux dans l'espace qui apparaît dès lors comme une construction sociale [10].

Cette mobilité spatiale peut être décomposée en trois catégories : la mobilité quotidienne, la mobilité résidentielle, et les migrations [11]. Dans le cadre de cette recherche, notre étude porte sur la mobilité quotidienne dans les milieux urbains, ou bien la mobilité urbaine, celle qui est nécessaire à la réalisation des activités journalières comme le travail ou les études, les achats, les loisirs ou les visites, l'accompagnement, etc. [12].

La mobilité est un enjeu commun à toutes les époques de l'humanité. Ce sont plutôt les connaissances et les technologies qui changent, influençant par le fait même les moyens de transport, les besoins eux-mêmes, les façons de les combler et les lieux à atteindre. L'avancement des connaissances a effectivement révolutionné les moyens de transport. Par exemple, leur vitesse croissante permet d'atteindre plus rapidement des lieux plus éloignés. L'individu se crée donc de nouvelles attentes, désirs ou besoins en fonction des nouveaux moyens de transport et des nouvelles destinations qui lui sont offerts. Un autre exemple est l'utilisation d'Internet pour réaliser des achats, qui substitue des déplacements individuels par le transport de marchandises. Ajoutons que, puisque les comportements de mobilité changent, les impacts de ces comportements varient également [13].

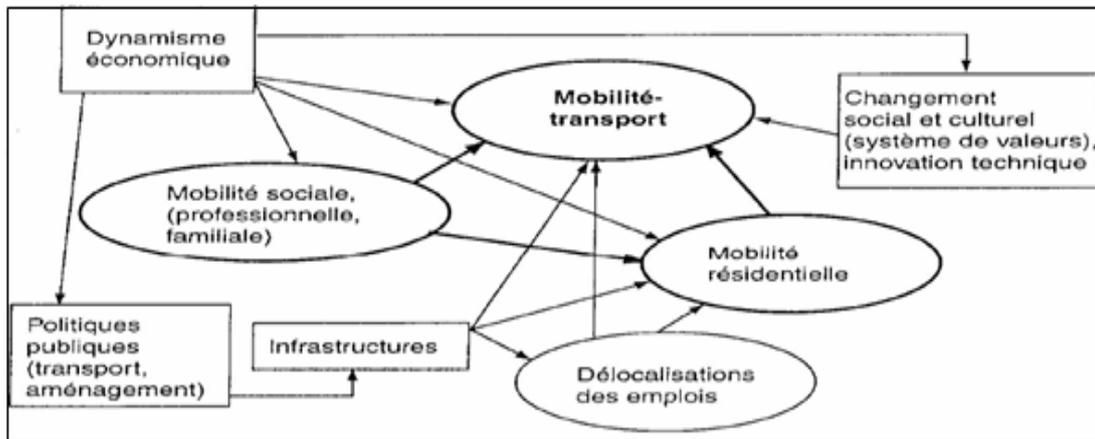


Figure I. 4 Représentation schématique des systèmes de mobilité [14]

I.1.2.2 La mobilité personnelle face au choix du mode transport

Les différentes mobilités produisent et reproduisent la vie sociale et les formes culturelles et c'est dans ces mobilités que les schémas et les identités culturelles sont façonnés et remodelés [15]. De même, dans l'analyse de la mobilité, il devient essentiel de l'analyser non seulement comme mouvement réel, mais aussi de peser sur le potentiel de mouvement, un potentiel qui traite de la mobilité de l'individu dans un domaine de mobilité spécifique [16]. D'un autre point de vue, la mobilité joue un rôle crucial pour l'individu, car elle représente le lien principal entre les besoins essentiels de logement, de travail, de santé, d'alimentation, d'éducation à la communication et de loisirs. Malgré le débat sur la définition de la mobilité comme un besoin vital de base, il est reconnu qu'elle joue un rôle important en tant que facilitateur pour répondre à d'autres besoins vitaux comme le travail, ou les soins de santé par transport.

En ce qui concerne le transport, on distingue d'une part les modes de transport (air, route, eau, etc.) et d'autre part les trajets longue distance et courte distance. Les voyages de longue distance sont principalement associés à l'aviation, à la route, au transport maritime ou ferroviaire et aux voyages simples, tandis que les voyages de courte distance ont tendance à être réguliers.

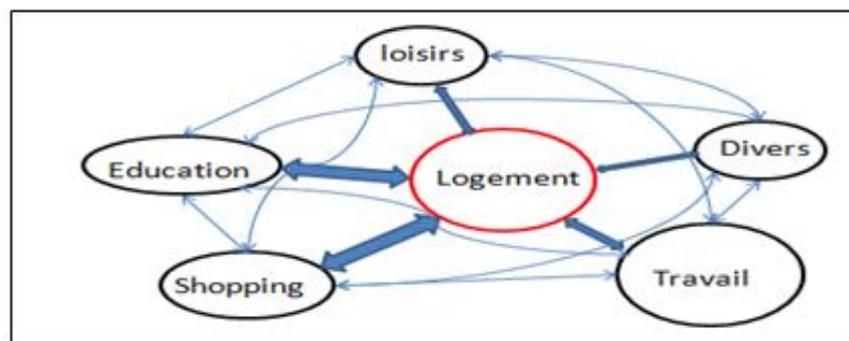


Figure I. 5 La base des besoins de la vie

Tous ces besoins, (figure I.5) expliquent l'importance de la mobilité dans la société et pour l'être humain. La mobilité doit constamment s'adapter et s'intégrer aux nouvelles visions de l'avenir. Cela justifie donc la nécessité de soumettre la mobilité aux conceptions sociales, en vigueur ou en devenir. Et, actuellement, ces conceptions sociales s'articulent autour du développement durable.

I.1.2.3 La mobilité spatiale

La mobilité spatiale est une composante essentielle de l'organisation des espaces par les sociétés. Elle fait l'objet de nombreuses définitions qui renvoient à des registres différents d'observation et de conceptualisation. Dans son acception la plus fréquente, la mobilité est un déplacement, un transfert, d'un lieu à un autre. Ce déplacement peut concerner des personnes, des biens matériels et immatériels, des informations. Son unité de mesure, dépendante de ce qui transite, s'évalue par exemple en nombre de passagers et de touristes, en nombre de véhicules, en tonnes de marchandises [W04].

Il existe de nombreuses tentatives pour classer les différents types de mobilité spatiale de manière assez détaillée [17]. Ici, nous distinguons deux types principaux de mobilité spatiale [18]:

- **Mobilité circulaire**

(a) la mobilité de la vie quotidienne sur le lieu de vie (p. ex. faire l'épicerie, voir un médecin ou amener les enfants à un jardin d'enfants)

(b) les trajets quotidiens à courte et à longue distance (p. ex. trajet domicile-travail quotidien ou trajet domicile-travail pour voir un partenaire vivant dans un ménage séparé)

- **Mobilité non-circulaire**

(a) la mobilité résidentielle (c'est-à-dire une petite distance) qui ne conduit pas à un changement radical de l'environnement social dans lequel on vit (par exemple, une réinstallation intra-urbaine ou un déplacement dans les zones suburbaines)

(b) la migration (c'est-à-dire un déplacement à longue distance) qui entraîne un changement considérable de l'environnement social et perturbe les liens fondamentaux avec la collectivité locale et empêche les déplacements au moins à un coût raisonnable [19].

I.1.2.4 La mobilité urbaine

I.1.2.4.1 Définition

Généralement, la mobilité urbaine intéresse l'ensemble des déplacements effectués de manière quotidienne par les individus en milieu urbain. Alors que le concept urbain soit ordinairement utilisé comme synonyme de " ville ", qui implique une série de dimensions inter-reliées, par l'organisation spatiale, économique et sociale ; nous pouvons définir une zone urbaine comme un établissement humain à forte densité de population comportant une infrastructure d'environnement bâti. La mobilité urbaine exclut par conséquent les déplacements exceptionnels comme les déplacements professionnels de longue distance ou les déplacements pour la migration. Elle concerne au contraire la mobilité spatiale circulaire. Elle considère la pratique de déplacements des individus appréhendée dans un contexte spatial propre à l'urbain et limitée, en termes de temps, à leur cadre de vie habituel [W05].

I.1.2.4.2 Système de mobilité urbaine

À mesure que les villes se développent et que les demandes de consommation deviennent plus complexes, la mobilité devient aussi un levier essentiel pour entreprendre d'autres activités économiques et sociales, affectant ainsi la société dans son ensemble et conduisant à considérer la mobilité comme un service public.

Actuellement, la fourniture de transports publics dans les agglomérations urbaines reste insuffisante face à l'augmentation rapide de la population dans le milieu urbain, la nécessité de mettre un système de mobilité urbaine (SMU) reste incontournable, ce système doit impliquer tous les services, infrastructures et gestion de la circulation qui permettent aux citoyens de satisfaire leurs besoins de mobilité.

La complexité et la diversité des dimensions de l'agglomération et des agents impliqués dans un SMU impliquent de focaliser l'analyse de sa performance sur la relation symbiotique entre ses composantes principales. Les facteurs de qualité et les processus devraient être mis en place dans un cadre organisationnel cohérent, fournissant des mécanismes d'interaction adéquats pour les autorités locales.

Les performances globales d'un système de mobilité urbaine à l'échelle des villes sont mesurées à travers les critères suivants [20] :

- **Robustesse** : ce qui signifie stabilité à long terme et durabilité.
- **Adaptabilité** : la capacité à adapter les services aux demandes évolutives ou aux nouvelles opportunités technologiques, souvent résultant de changements exogènes, généralement

initiés dans les sous-systèmes où les besoins de mobilité urbaine sont générés, donc non contrôlés par le système de mobilité.

- **L'efficience** : la productivité élevée, dans la capacité à transformer les ressources de base en résultats de service, et ce, en unités de consommation, en fournissant les meilleurs résultats au coût le plus bas possible.
- **Diversité** : la capacité à répondre aux différentes demandes des différents segments de marché dans une adéquation dynamique entre l'offre et la demande de mobilité urbaine.
- **Sécurité** : L'aptitude à exploiter le système de transport que ce soit son mode en maîtrisant à un niveau acceptable les risques pour les personnes, les biens, et l'environnement.

I.1.2.4.3 Les problèmes du système de mobilité urbaine

L'évolution de la société au cours des dernières décennies a entraîné de profonds changements dans les conditions de vie en milieu urbain, avec une dispersion résidentielle croissante, des distances domicile-travail plus longues et des schémas de mobilité plus complexes. Parallèlement, la disponibilité croissante du transport motorisé privé est une tendance commune dans les villes du monde. Cependant, comme l'espace urbain est une ressource limitée, plus les voitures privées circulent à l'intérieur des villes, plus le niveau global d'accessibilité (mesuré en temps de déplacement) est faible pour toute la population utilisant l'espace routier. Par conséquent, la qualité assurée par l'exploitation du transport public en termes de temps de trajet et la fréquence de transport public peut offrir une amélioration directe du niveau global d'accessibilité dans la zone urbaine.

En Algérie comme les autres pays en développement, et avec la croissance rapide, anarchique et désordonnée des villes dans ces pays, ils sont nés trois problèmes critiques, qui sont des causes majeures de préoccupation dans la politique de transport urbain des autorités locales et peuvent être considérés comme le talon d'Achille du système de mobilité urbaine dans ce pays :

- Des problèmes de congestion élevés dans les zones urbaines.
- Les niveaux élevés de fonds publics impliqués dans l'exploitation des transports publics urbains.
- Les entreprises de transport public ont une mauvaise réputation chez les usagers et accumulent des déficits, souvent justifiés par le caractère et la qualité de service public fourni.

La combinaison de ces facteurs a clairement contribué à changer l'environnement dans lequel se développe le transport urbain. D'une part, le grand public et les autorités ont acquis une perception différente de l'importance de la mobilité urbaine, considérée aujourd'hui comme l'un des besoins fondamentaux des citoyens et, par conséquent, comme une priorité publique. D'autre part, une prise de conscience croissante s'est développée au fil des années, selon laquelle l'un des facteurs clés pour résoudre les problèmes susmentionnés est de déplacer une partie de la mobilité par la voiture privée vers les modes collectifs, ce qu'il va libérer les villes de la congestion tout en augmentant les recettes des transports publics, ce qui rend la mobilité moins tributaire des subventions de l'état. Cependant, il apparaît de plus en plus clairement que cette évolution ne peut être réalisée qu'en rendant le transport collectif plus attractif et adapté aux besoins des citoyens

I.1.2.4.4 Les objectifs du système de mobilité urbaine

Les objectifs du système de mobilité urbain sont définis à partir d'une fonction du niveau stratégique du système. Un objectif stratégique consensuel est de réaliser une configuration pour le système de mobilité capable de répondre aux préoccupations aux dimensions suivantes :

- **Dimension du transport :** un équilibre adéquat entre les modes et les moyens de transport, avec l'assurance maximale de sécurité, et maîtrise des risques liés à l'exploitation des systèmes de transport, afin que tous ceux qui abandonnent l'usage de la voiture particulière aient des alternatives de bonne qualité, sans discrimination sociale, géographique ou sectorielle.
- **Dimension environnementale :** la configuration du système de mobilité urbaine devrait entraîner une somme totale de pollution inférieure au niveau d'endurance.
- **Dimension économique :** le système devrait offrir un bon rapport qualité / prix, induire un comportement adaptatif de la part des utilisateurs et être capable de créer de nouvelles ressources financières pour soutenir l'investissement.
- **Dimension sociale :** le système devrait garantir que les citoyens disposent d'un système de transport adapté à leurs besoins et qu'aucune exclusion par le biais du prix ou de tout autre critère ne soit imposée sur la base d'objectifs économiques ou financiers.

Dans ce contexte un nouveau terme récemment apparu dans le domaine de transport qui est : **la mobilité urbaine durable**. Nous allons définir dans la sous-section suivante de ce chapitre d'une façon étayée cette notion, ses objectifs, et ses enjeux.

I.2 La mobilité urbaine durable

Le transport est l'une des plus grandes sources de pollution de l'environnement dans le monde, en effet, ce secteur est responsable d'environ un quart des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale [21]. Avec de nombreux secteurs (logement, énergie, industrie) introduisant des stratégies efficaces d'atténuation du changement climatique, l'impact du secteur des transports pourrait encore progresser en chiffres relatifs et absolus. Malgré les nombreuses améliorations en matière de réglementation et de technologie (telles que la réduction des émissions de CO₂ par kilomètre), les émissions globales de gaz à effet de serre (GES) provenant des transports ont considérablement augmenté depuis 1990. Cependant, sont générés par plusieurs facteurs du système [22] :

- Plus de déplacements (augmentation de la mobilité globale, portée à l'échelle mondiale par la croissance démographique et l'interaction économique)
- Motorisation plus élevée (plus d'accès aux voitures, motos, autobus et avions)
- Plus de trafic automobile (associé à une réduction de la part de la marche, du vélo et des transports publics au niveau mondial)

Dans nos sociétés, la mobilité urbaine est contrainte par de multiples facteurs la localisation des lieux de domicile, de travail, d'achats et de loisirs, temps et l'offre de transport à disposition, les caractéristiques socio-économiques des individus. L'évolution récente de ces contraintes a favorisé la mobilité réalisée par la voiture individuelle, dont les externalités négatives (pollution, bruit, consommation d'espace, accidents, congestion) concourent à dégrader le cadre de vie de la ville. Pourtant, ce n'est pas la mobilité en elle-même qui s'oppose à l'objectif de durabilité, mais bien plutôt sa réalisation par des moyens de transports peu durables (voiture privée). Par conséquent, les besoins de déplacements motorisés doivent aujourd'hui être limités pour s'articuler avec les ambitions durables des territoires et lutter contre ces nuisances [24].

La durabilité devrait avoir une définition des objectifs dans les dimensions économique, sociale et environnementale, qui doit refléter les actions à court terme pour atteindre les objectifs à long terme. Par conséquent, la mobilité peut être qualifiée de durable lorsque sa réalisation respecte l'intégrité de l'environnement, permet d'assurer les besoins matériels de la vie et garantit l'équité entre les individus. Cette mobilité n'est réalisable que si le système de transport est lui-même durable [24], à savoir, s'il respecté dans son fonctionnement les limites écologiques, tout en assurant l'efficience des déplacements du point de vue économique, ainsi que l'équité sociale.

I.2.1 La stratégie globale pour une mobilité urbaine durable

Les objectifs globaux en matière de la mobilité urbaine durable visent à définir une stratégie de mobilité qui tienne compte des principes du développement durable tout en garantissant l'accessibilité des usagers en milieu urbain. Pour ce faire, ces objectifs en matière de transport urbain et en matière de mobilité ont été définis de manière telle que leur atteinte permettra de répondre aux différents défis déclinés et notamment aux défis environnementaux liés à la mobilité. Généralement nous distinguons quatre voies principales qui jouent des rôles dominants dans la stratégie globale pour atteindre la mobilité durable :

I.2.1.1 Le rôle du transport public

Aujourd'hui, dans les zones urbaines, il existe un conflit manifeste entre les besoins de mobilité par les individus et les contraintes issues du développement durable. En effet, les individus tendent à privilégier la réalisation des besoins de mobilité actuels et leur intérêt individuel à court terme par des véhicules privés, au détriment des conséquences à long terme de leurs actions pour les générations futures. Les changements de comportement de mobilité restent incontournables et représentent un défi pour les autorités publiques, en effet ces autorités sont soumises et doivent s'efforcer de concilier des demandes contradictoires : elles doivent, d'une part, permettre et assurer aux individus et un degré de mobilité et d'échange élevé, d'autre part, limiter les impacts négatifs des déplacements sur l'environnement et les cadres de vie [24]. Par contre, le transport public est présenté comme un acteur clé pour résoudre ce problème de mobilité. En effet, le rôle hypothétique de transport public dans la stratégie globale pour la réalisation d'une mobilité urbaine durable est multiple :

Premièrement, un système de transport public amélioré est supposé accroître l'accessibilité pour toute la zone urbaine. En outre, un système de transport public amélioré pourrait avoir des effets de changement en termes de confort et de sécurité, et de la qualité du service, ce qui signifie simplement que les personnes qui voyagent habituellement en voiture personnelles trouveront plus attrayant d'utiliser les transports public.

Deuxièmement, l'utilisation accrue des transports publics articulés sur l'énergie renouvelable (métro, tramway, trolleybus...etc.) est censée à réduire la pollution engendrée par les modes de transport traditionnels. Cependant, cette hypothèse repose fortement sur l'augmentation de l'utilisation des transports publics et, en outre, sur l'augmentation du volume total du transport de passagers [24].

I.2.1.2 Le rôle de la nouvelle technologie

La technologie a été fondamentale pour la mobilité tout au long de l'histoire humaine, mais les progrès rapides récents dans la technologie de l'information promettent de transformer la gestion de la mobilité d'une manière qui aurait été inconcevable jusqu'à récemment. Tout comme les technologies de l'information et de la communication sont cruciales pour le développement durable, leur utilisation peut accélérer l'écologisation des systèmes de transports.

L'utilisation de nouvelles technologies nécessite trois actions. Premièrement, la technologie doit être développée, vraisemblablement à la suite de programmes d'innovation privés et publics, et de programmes de démonstration à grande échelle. Deuxièmement, il doit être mis à la disposition des utilisateurs, soit en faisant appliquer la loi, soit en appliquant des mesures incitatives (un mélange de trousseaux d'information, et de campagnes de sensibilisation). Troisièmement, il doit être adapté par les utilisateurs, soit parce qu'ils sont forcés de le faire, soit parce qu'ils le trouvent plus attrayant [24].

En effet, les problèmes qui se posent lorsque la nouvelle technologie doit être mise à la disposition des utilisateurs et ensuite adaptés par les utilisateurs sont importants. Cependant, l'accent principal est mis sur le développement de nouvelles technologies. Il est certain que la nouvelle technologie doit satisfaire aux exigences de mobilité urbaine durable avant d'être mise en œuvre. Effectivement cette technologie vise à améliorer le système de mobilité dans ses différentes dimensions, elle permet de [25] :

- Rendre plus confortable l'expérience du voyageur qui bénéficie d'information en temps réel, lui permettant d'évaluer ses options, de valider et/ou de payer avec une billettique sans contact, le tout sur des supports numériques et mobiles.
- Rendre plus accessibles, plus fiables et plus attractifs les moyens de transport, et donc les territoires qu'ils traversent, en optimisant la gestion des réseaux et des flottes de transport public, en réduisant les nuisances dues aux interruptions de service.
- Réduire les risques liés à la mobilité, grâce aux systèmes de communication embarqués, aux aides à la conduite et aux méthodes de prévention et de dissuasion.
- Réduire l'impact de la mobilité sur l'environnement en accompagnant le déploiement du véhicule propre, en réduisant la congestion et la pollution, en développant l'inter-modalité et en facilitant l'accès aux modes doux.
- Créer de nouveaux modèles économiques et usages grâce à de nouveaux partages des rôles entre collectivités publiques locales et opérateurs privés et à l'économie collaborative.

I.2.1.3 Le rôle de l'attitude du public envers les politiques de la mobilité urbaine durable

L'attitude du public est considérée comme un élément essentiel dans la mise en œuvre de la politique de la mobilité urbaine durable. En effet, la participation du public contribue au succès ou à l'échec de l'élaboration de ces politiques [26]. Aujourd'hui, il est recommandé de renforcer les valeurs et les attitudes individuelles qui soutiennent la consommation durable, en général: Les gouvernements et les organisations du secteur privé devraient promouvoir des attitudes plus positives pour une consommation durable par l'éducation, les programmes de sensibilisation du public et d'autres moyens.

En effet, quelle que soit la voie privilégiée pour parvenir à une mobilité urbaine durable, il est impensable de procéder sans une forme de participation volontaire des individus. Même dans les cas où des politiques orientées vers la réglementation ont été mises en œuvre, il reste presque toujours un certain degré de liberté à l'individu. Par conséquent, parvenir à une consommation durable dépend en fin de compte des choix individuels: il faut intégrer de nouvelles technologies plus efficaces, choisir librement des modes de mobilité plus durables et réduire volontairement le volume des transports polluant. Ainsi, les individus développant des valeurs positives et des attitudes envers le développement durable sont nécessaires pour parvenir à une mobilité urbaine durable [24].

I.2.1.4 Le rôle de l'aménagement du territoire

Les changements importants intervenus récemment dans les caractéristiques urbaines ont fortement modifié la quantité et la qualité du système de mobilité: l'extension continue des résidences et des activités a accru la durée des voyages et l'utilisation des transports privés; les habitudes de mobilité habituelles ont été modifiées par des comportements plus complexes [27].

Aujourd'hui, les préoccupations concernant la durabilité des pratiques actuelles d'utilisation de sol et de mobilité posent de plus en plus de problèmes de politique dans la plupart des pays du monde. Il y a un appel pour une meilleure coordination entre l'utilisation de sol et la mobilité. Un certain nombre de facteurs motivent une telle attention [28]. Premièrement, la croissance de la possession et de l'usage de voitures privées ne montre aucun signe de ralentissement. Deuxièmement, la nouvelle technologie semble incapable de résoudre entièrement les problèmes environnementaux et autres liés au transport motorisé. Troisièmement, les coûts de construction des nouvelles infrastructures ont augmenté, tandis que les avantages procurés par ces infrastructures sont de plus en plus remis en questions [29]. Dans

les cas où une nouvelle infrastructure routière est fournie principalement pour soulager la congestion, ces routes ont tendance à ne fournir au mieux qu'un soulagement temporaire [30]. De cet effet, il est communément admis que la manière dont nous formons la planification de l'utilisation de sol a des conséquences sur les schémas et les demandes de transport des individus. D'une part, l'aménagement du territoire peut faciliter un système de transport public amélioré, ce qui accroît l'accessibilité pour les groupes à faible mobilité et, de plus, encourage les changements de mode en dehors de l'utilisation de la voiture privée. D'autre part, la planification de l'utilisation de sol peut réduire la demande de transport, ce qui réduit la consommation d'énergie pour le transport [24].

Quoi qu'il en soit, l'aménagement du territoire est un moyen potentiellement important de parvenir à une mobilité urbaine durable, en effet, le défi principal de l'aménagement du territoire consiste à décliner un processus de planification à l'échelle territoriale en veillant à la cohérence des options entre les niveaux national et communal et en articulant le développement territorial avec celui des réseaux de transports à travers une approche intégrée et cohérente. L'aménagement du territoire doit proposer des planifications de nature à réduire la mobilité contrainte (domicile-travail) et la place de véhicule privé dans les déplacements quotidiens, ces planifications facilitent le déplacement des personnes et leur accès aux lieux où elles doivent se rendre, car cela réduit les distances entre les personnes et les services. En outre, ce développement jette également les bases d'un meilleur système de transport public conjointement avec le développement dense et mixte des villes.

La stratégie globale pour atteindre une mobilité urbaine durable en matière de l'aménagement du territoire peut être résumée dans les points suivants [31] :

- Assurer un développement territorial cohérent, intégratif et durable par la définition de nouvelles stratégies de localisation des entreprises et des ménages plus proches des lignes de transports publics selon le concept « développer au bon endroit », et des pôles urbains, c'est-à-dire un urbanisme dense et mixte.
- Assurer la mise en œuvre du principe de « déconcentration concentrée » qui vise la création ou bien le développement privilégié de pôles territoriaux régionaux fonctionnels, pour une meilleure répartition des activités humaines sur le territoire et rapprocher ainsi les fonctions habiter et travailler, favorisant la mobilité douce comme mode de déplacement privilégié.
- Assurer un urbanisme compact, dense et mixte en vue de la création d'une masse critique pour les transports publics, à savoir une quantité adéquate d'habitations suffisamment

rapprochées pour que les habitants génèrent une demande suffisante en transports en commun.

- Assurer la mise en place d'un système restrictif de gestion du stationnement.

I.2.2 Les enjeux de la mobilité urbaine durable

Les enjeux de la mobilité durable englobent toutes les problématiques liées au développement durable que la mobilité influence. Cette section énonce, sans catégorisation, une multitude d'effets de la mobilité et des systèmes de transport sur l'environnement, la société et l'économie.

I.2.2.1 L'accessibilité

La notion d'accessibilité apparaît en premier lieu en 1959 où elle a été définie comme étant le potentiel de possibilité d'interaction [32]. De nombreuses définitions se sont ajoutées, la plus couramment utilisée dans la littérature est que l'accessibilité est la facilité avec laquelle on accède à une activité à partir d'un lieu et d'un mode de transport [33]. En d'autres termes, l'accessibilité peut être définie comme la mesure qui rend compte du fait que l'occupation du sol et les systèmes de mobilité permettent aux individus d'atteindre les activités ou les destinations par le biais d'une combinaison de modes de transport. Certains auteurs proposent que l'accessibilité soit définie comme une mesure de la performance d'un réseau de transport au travers de la variation de surplus qu'elle génère pour les différents types d'utilisateurs [34].

L'accessibilité est une fonction de la mobilité de l'individu, de la localisation spatiale des opportunités par rapport au point de départ de l'individu, des moments où l'individu est capable de participer à l'activité et des temps à dont l'activité est disponible. Ainsi, l'accessibilité ne concerne pas le comportement, mais l'opportunité ou le potentiel fourni par le système de mobilité et d'occupation de sol pour que différents types de personnes puissent s'engager dans des différentes activités. De cet effet l'accessibilité est considérée comme un élément clé de la mobilité durable, car elle est l'expression directe de la mobilité, que ce soit en termes de personnes, de fret ou d'information. Cette mobilité est un choix des utilisateurs et constitue donc un moyen d'évaluer l'impact des investissements en infrastructures et des politiques de mobilité associées sur le développement du pays. Des systèmes de transport bien développés et efficaces offrent des niveaux d'accessibilité élevés, tandis que les systèmes moins développés ont des niveaux d'accessibilité inférieurs. Ainsi, l'accessibilité est liée à un éventail d'opportunités économiques et sociales pour la société.

Les avantages d'inclure le concept d'accessibilité dans la mobilité et la planification de l'utilisation de sol sont multiples. Premièrement, ils permettent de reconnaître l'interdépendance des transports et de l'utilisation de sol. Ainsi, d'une part, elle permet de tenir compte de l'effet dissuasif des déplacements sur la participation à des activités et, d'autre part, elle permet de traiter les déplacements comme une demande dérivée; c'est-à-dire qu'il reconnaît qu'en général, les gens déplacent pour atteindre des activités plutôt que de vouloir déplacer pour eux-mêmes. Deuxièmement, il permet de prendre en compte les variations dans les types de personnes, par exemple, leur capacité à utiliser différents modes de déplacement, leurs besoins ou leurs désirs de participer à différentes activités et les contraintes de temps.

Généralement, la littérature divise l'accessibilité en trois champs principaux :

- **L'accessibilité spatiale** : qui renvoie à l'accès aux fonctions urbaines grâce à l'utilisation des systèmes de mobilité.
- **L'accessibilité sociale** : qui intègre l'inégalité individuelle et géogra-physique dans l'accès aux fonctions urbaines.
- **L'accessibilité physique** : qui s'attache à favoriser l'accès des personnes à mobilité réduite aux fonctions urbaines, et ce fait par l'amélioration de la conception des aménagements urbains et des systèmes de transport afin que les personnes handicapées puissent participer à la vie économique et sociale dans le territoire.

Par analogie avec les multiples formes que prend ce concept de l'accessibilité, il nous a été impératif d'effectuer un cadrage théorique pour préciser notre thématique de recherche. Nous cherchons donc à étudier plus précisément l'accessibilité spatiale des personnes à travers le concept jugé englobant de mobilité.

1.2.2.1.1 Les dimensions de l'accessibilité

L'accessibilité peut être sensible à une gamme de dimensions ou d'aspects différents qui caractérisent la fonctionnalité et la capacité des outils pour mesurer l'accessibilité. Cette section présente plusieurs dimensions de la modélisation de l'accessibilité issues des revues scientifiques couvrant les deux dernières décennies. Ces dimensions sont :

- **Dimension spatiale** : L'accessibilité du territoire correspond davantage à un potentiel spatial qui détermine la capacité de différentes ressources à être accessible en fonction de leur position dans l'espace et de la plus ou moins bonne maîtrise des distances. C'est donc ici la

structure spatio-temporelle de l'offre de transport qui détermine le potentiel spatial de l'accessibilité [35].

- **Dimension technique** : Cette dimension fait référence à la performance du système de transport, elle incluse le facteur de séparation spatiale qui représente par un ou plusieurs attributs des liens entre les zones qui séparent les personnes et les opportunités. Il peut s'agir de la distance, du temps de parcours, du coût du trajet, de la fiabilité, de l'information, de la commodité, de la sécurité ou de tout autre obstacle à l'accès.
- **Dimension temporelle** : est fortement rattachée à la précédente dans la mesure où le transport génère un cout temporel. La contrainte temporelle se matérialise également dans les emplois du temps des individus: au-delà d'une contrainte temporelle immuable identique pour tous les individus, la présence d'activités contraintes réduit le temps disponible pour d'autres activités.
- **Dimension individuelle** : Cette dernière réfère aux caractéristiques des individus qui influencent leurs capacités de déplacement, par exemple le niveau de revenu, le sexe ou encore l'âge, qui influencent la capacité à utiliser certains modes ou certains services de transport, le degré de discrimination vis-à-vis de la pratique de certaines activités ou encore les systèmes de contraintes individuels. Cette dimension est sous-jacente aux trois dimensions précédentes. Il convient toutefois de lui accorder une place à part entière dans la mesure où, du niveau d'accessibilité, dépend directement le niveau d'utilité de l'individu.

1.2.2.1.2 Les instruments de mesure de l'accessibilité

Le concept d'accessibilité concerne le mouvement et, en particulier, la facilité de déplacement d'un endroit à l'autre. Nous pouvons classer les différentes dérivations de l'accessibilité en deux grandes familles. La première se concentre sur la mobilité ou la capacité de voyager et est dérivée de la théorie classique de la localisation qui émet l'hypothèse d'une corrélation directe de système (coûts de transport, par exemple) et durée du trajet [36]. Cette conception a retenu l'attention des chercheurs en transports intéressés par la géographie des flux et les schémas de circulation entre les origines et les destinations, en notant les vitesses moyennes et en prévoyant les coûts directs des déplacements.

De cette conceptualisation est née une autre dérivation de l'accessibilité qui se concentre davantage sur la facilité d'atteindre, un certain nombre d'activités quotidiennes sur différentes destinations. Cette conceptualisation s'intéresse donc à la capacité des groupes sociaux à atteindre des destinations où ils peuvent mener une activité donnée ainsi que le réseau de transport. Cette conceptualisation de l'efficacité avec laquelle la distribution spatiale des services

et des installations est connectée à l'infrastructure de transport crée un nouveau défi pour les développeurs d'outils et les gestionnaires urbains.

Il est important de comprendre les définitions précédentes pour comprendre les instruments d'accessibilité. Cette section examine donc des travaux publiés antérieurement pour identifier et comparer l'utilisation des composants d'accessibilité et leur intégration dans la mesure de l'accessibilité. Selon Martin [33] la modélisation de l'accessibilité comporte trois composantes tout aussi importantes. Ce sont les préférences et les groupes de choix des personnes, les opportunités existantes et le degré ou l'intensité du service de transport. Sur la base de l'auteur ci-dessus, trois éléments clés ont été généralement considérés dans la littérature scientifique pour caractériser les mesures d'accessibilité: premièrement un lieu géographique ou une catégorie d'individus ou de fret déterminé pour l'accessibilité, deuxièmement un ensemble de destinations pertinentes pouvant être pondérées par la taille ou la qualité des opportunités associées et troisièmement une mesure de la séparation physique entre le premier et le deuxième, généralement exprimée en termes de temps, de distance ou de coût généralisé.

Certains instruments d'accessibilité se concentrent sur les origines ou les personnes, certains sur les opportunités et d'autres sur la connexion. Les instruments et modèles d'accessibilité ont été classés de différentes manières. À cet égard, trois grandes catégories ont été présentées comme suit [37]:

- **Catégorie 1 :** Instruments d'accessibilité analysant les temps de marche vers les services de transport en commun ou vers les installations locales. Dans ces instruments, les systèmes de transport public sont classés selon les types de destination, la fréquence, le mode et l'heure souhaités, tandis que les installations locales sont classées selon une fonction associée.
- **Catégorie 2 :** Instruments d'accessibilité analysant les temps de parcours en utilisant les systèmes de transport public et les véhicules motorisés à travers le réseau autoroutier. Dans ces instruments, les réseaux de transport public sont décrits en termes de techniques de planification de parcours et les destinations sont exprimées sous forme d'opportunités, d'activités ou de lieux.
- **Catégorie 3 :** Instruments ou modèles qui ne sont pas spécifiquement conçus pour mesurer l'accessibilité mais qui impliquent toutefois le processus de modélisation de l'accessibilité. Celles-ci intègrent: des modèles d'utilisation des sols qui décrivent l'interaction spatiale en termes d'accessibilité; des modèles de demande qui mesurent le changement d'accessibilité pour la participation à une évaluation économique; et des modèles basés sur l'activité qui estiment le comportement en fonction de l'accessibilité aux opportunités.

I.2.2.2 L'efficacité des systèmes de transport public

La mobilité devient un levier essentiel pour entreprendre d'autres activités économiques et sociales, affectant ainsi la société en général et conduisant à considérer la mobilité comme un service public. Traditionnellement, les interventions de l'État dans les transports publics étaient en partie justifiées par des considérations d'équité, à savoir garantir que le réseau de transport était accessible à tous les citoyens et que personne ne devrait être privé de ses services par des considérations de prix. L'interprétation de cet objectif, qui reste en soi toujours valable dans le concept implicite de service public, a conduit les autorités à accroître le financement des transports publics en utilisant des tarifs préférentiels et des subventions pour couvrir les déficits des entreprises. Les principaux facteurs ayant conduit à cette attitude essentiellement sociale étaient de compenser l'insuffisance des recettes engendrée par une perte de favoritisme en faveur des voitures particulières, ainsi que créer un meilleur environnement urbain en maximisant l'utilisation des infrastructures et des services de transport public [20].

Malgré ces avantages cités, mais le subventionnement des transports publics peut entraîner un risque moral, effectivement, les subventions de l'État étant considérées comme une assurance contre les pratiques inefficaces. Une telle inefficacité augmente le coût de l'exploitation des systèmes de transport et détourne des ressources rares d'utilisations plus efficaces. Par exemple, les sociétés d'exploitation peuvent sur-employer et exploiter trop de matériels roulants en service, et ceci est incompatible avec les objectifs de la durabilité de point de vue économique, et pour cela l'augmentation de l'efficacité du transport public reste un enjeu très important pour atteindre la mobilité urbaine durable.

L'efficacité se définit par la capacité d'obtenir les meilleurs résultats qui soient en mettant en œuvre aussi peu de ressources que possible. Pour mesurer l'efficacité, les inputs peuvent être rapportés directement à la consommation finale. C'est ce qui est fait dans la plupart des secteurs. Toutefois, dans les services de transport public, la décomposition de la chaîne input-offre-consommation en deux critères d'efficacité (voir figure I.6), efficacité productive et efficacité commerciale, peut sensiblement enrichir les mesures. La décomposition de l'efficacité permet globalement de mieux identifier les liens de causalité. L'efficacité productive représente la productivité sous son aspect le plus technologique : liaison input-offre. L'efficacité commerciale met l'accent sur l'usage de cette offre (mesurée le plus souvent par le taux d'utilisation, défini comme le nombre de voyages par véhicule.km) [58].

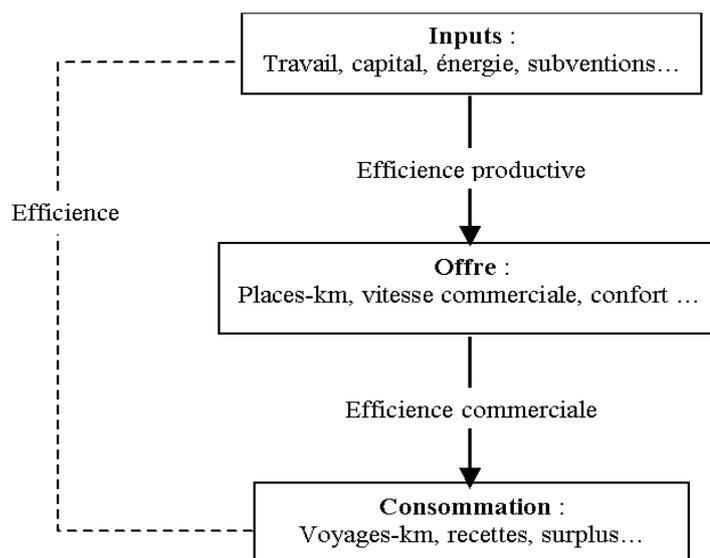


Figure I. 6 Efficience et processus de production [58]

L'amélioration de l'efficacité du transport public permet à l'Etat de développer massivement l'offre de transport et la qualité du service sans qu'il doive en même temps accroître sensiblement ses prestations financières. Cette amélioration peut être concrétisée par la mise en place des actions sur l'efficacité commerciale et productive, nous proposons les actions suivantes :

- L'adaptation de l'offre au volume de la demande, tout en gardant une meilleure cohérence entre l'obligation du service public et l'optimisation de l'offre de transport.
- La généralisation d'utilisation du transport public, par la création des pôles d'échanges dans toutes les zones urbaines, cela va augmenter le volume des usagers, et par conséquent l'augmentation de recettes.
- L'amélioration de l'attractivité du transport en commun, par la mise en place des infrastructures de transport de haute qualité de service, en placent le mode de transport le plus adapté à la demande, avec un coût de construction raisonnable. Ce mode doit être facile à utiliser, flexible et confortable, avec des coûts perçus faibles, offrant une bonne relation entre qualité et prix.
- L'augmentation des recettes par d'autres sources de revenu financier non-opérationnel comme les publicités, les locations des espaces commerciaux...etc. notant que la distinction entre les revenus opérationnels et non-opérationnels est extrêmement importante pour des raisons de transparence et d'évaluation correcte de l'efficacité, en particulier lorsque des subventions pour le service public sont également appliquées.

I.2.2.3 La sécurité

Le transport terrestre, en tant que segment d'un système de transport global, représente un facteur substantiel d'événement social et de développement de la société contemporaine, et constitue certainement le moyen de transport de masse et individuel le plus représenté. Le transport lui-même n'est pas un problème, mais le problème provient des événements, des relations et des activités de la société humaine. Ce qui met en lumière le problème de la sécurité des transports est l'augmentation du nombre de véhicules à moteur mais l'augmentation relativement faible du réseau routier moderne, ainsi que le fait que les accidents de la circulation entraînent beaucoup plus de décès que pour d'autres raisons. Les indicateurs de base de la sécurité du transport terrestre dans une zone donnée sont les accidents de la route, de la voie ferrée et les victimes d'accidents, selon l'Organisation mondiale de la santé [W06], environ 1,5 million de personnes meurent chaque année des suites d'accidents de la circulation.

L'amélioration de la sécurité du transport terrestre, que ce soit son mode : routier ou ferroviaire, est une préoccupation mondiale et devient de plus en plus une priorité pour les sociétés. Les objectifs de la mobilité durable à l'échelle mondiale, visent à réduire de 50% le nombre de morts et de blessés routiers d'ici 2020. Cette amélioration se fait par un système de management de sécurité, ce système vise à améliorer les performances des réseaux du transport en matière de sécurité en combinant politique de prévention, moyens et personnel dans une démarche d'amélioration continue.

I.2.2.3.1 Le système de management de sécurité

Le système de management de sécurité est un processus neutre, conceptuellement et pratiquement applicable aux exploitants de différents secteurs du transport, quel que soit le mode ou le service fourni. En effet, pendant les opérations nécessaires à la prestation des services et quel que soit le mode, les sociétés d'exploitation de transport sont confrontées à des dangers qu'elles doivent identifier et analyser. L'exploitant doit évaluer le risque de sécurité des conséquences potentielles des dangers, afin de pouvoir hiérarchiser l'allocation des ressources aux activités d'atténuation des risques pour la sécurité. Les organisations L'exploitant doit surveiller l'efficacité des mesures d'atténuation des risques pour la sécurité, grâce à la surveillance des performances de sécurité. Enfin, L'exploitant doit gérer les changements opérationnels et veiller à ce que les activités de système de management de sécurité soient réalisées de manière efficace et efficiente.

Les particularités de la nature des risques, en particulier les risques techniques peuvent introduire des particularités dans leur caractérisation selon les différents modes de transport, mais les trois types de dangers proposés par la gestion de la sécurité (risques techniques, environnementaux et météorologiques) sont pertinents pour tout mode de transport dans leur conceptualisation. Les outils d'identification des risques peuvent également être différents selon les modes de transport, mais les activités (identification et analyse des risques), leurs mécanismes et leurs fondements conceptuels sont universellement applicables. L'évaluation des risques pour la sécurité est un processus neutre, indépendant du secteur, et elle peut être appliquée «à coup sûr» à tous les modes de transport [38].

I.2.2.4 L'occupation du sol

Des changements importants intervenus récemment dans les caractéristiques urbaines ont fortement modifié la quantité et la qualité du système de mobilité: l'extension continue des résidences et des activités a accru la durée des voyages et l'utilisation des transports privés; les habitudes de mobilité ont été modifiées par des comportements plus complexes. Le véhicule privé est souvent considéré comme le seul mode de transport dans la culture des citoyens, avec de fortes répercussions sur l'environnement et la durabilité. La mobilité urbaine durable nécessite des actions pour réduire le besoin de voyager, promouvoir le transfert modal, réduire la durée des voyages et accroître l'efficacité du système de transport [39]. Les transports publics pourraient jouer un rôle important pour résoudre une partie des besoins précédemment signalés, mais l'intégration des politiques d'occupation de sol a souvent été approuvée comme une contribution potentielle à des modèles de mobilité plus durables. En effet, les différentes occupations du sol et la séparation spatiale des activités humaines créent le besoin de déplacer. D'autre part, le système de transport détermine l'accessibilité aux lieux, les rendant plus ou moins attrayants pour la localisation des entreprises, des loisirs, des magasins, des logements, des services, etc. Ainsi, les politiques intégrées d'occupation de sol et de transport sont nécessaires pour [40]:

- Réduire le besoin de voyager tout en maintenant l'intégration spatiale et l'accès aux services et aux opportunités.
- Réduire la dépendance à la voiture et le transport individuel motorisé.
- Réduire le développement des terrains vierges.
- Réduire les disparités en matière de coûts de la vie, de déplacement et de prestation de services publics, sans entraver la croissance des économies urbaines et régionales.

- Réduire les coûts indirects susceptibles d'entraver les transactions sur un certain nombre de marchés urbains (par exemple, en facilitant l'accessibilité à un éventail plus large d'emplois.

Finalement, l'occupation du sol est un enjeu important pour atteindre une mobilité urbaine durable, l'objectif est de limiter et à valoriser son usage. En milieu urbain, cela équivaut à favoriser la densité de résidences, de commerces et de parcs. La superficie qu'occupent les infrastructures de transport, particulièrement les stationnements et les routes, est non négligeable et pourrait être réservée à un usage plus valorisé et diversifié, tout en garantissant un réseau de transport public efficace et accessible.

I.2.2.5 La pollution

I.2.2.5.1 La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence de produits chimiques ou de composés toxiques dans l'air, à des niveaux présentant un risque pour la santé. Au sens le plus large, la pollution atmosphérique désigne la présence dans l'air de produits chimiques ou de composés qui ne sont généralement pas présents et qui nuisent à la qualité de l'air ou entraînent des modifications néfastes de la qualité de la vie provoquant le réchauffement climatique.

L'impact de la pollution atmosphérique sur la planète est non seulement un problème global, mais est devenu désormais une préoccupation individuelle et quotidienne. Ses retombées sont multiples et présentent plusieurs enjeux sociétaux forts. Les conséquences de la pollution, que l'on retrouve aux niveaux climatique et sanitaire, sont loin d'être négligeables et entraînent une pression politique en matière d'amélioration de la qualité de l'air, notamment en zones urbaines [41].

Aujourd'hui le transport est responsable de près d'un quart du CO₂ mondial lié à l'énergie. Son impact sur la qualité de la vie urbaine, notamment sur les effets de sa pollution sur la santé et les bâtiments suscite également des préoccupations croissantes. Il existe un consensus croissant sur la nécessité de modèles de transport plus durables. Cela nécessite un changement fondamental dans les schémas d'investissement, fondé sur le principe consistant à éviter ou à réduire les déplacements grâce à une planification intégrée de l'utilisation des sols et des transports. En outre, il est nécessaire de passer à des modes de transport plus respectueux de l'environnement et d'améliorer les véhicules et les carburants, par introduire les nouvelles technologies, ce qui est considéré comme une priorité pour réduire la pollution atmosphérique urbaine et les émissions de gaz à effet de serre. Afin de réduire les volumes de trafic et les

émissions polluantes, L'investissement dans d'autres modes de transport, y compris les transports publics, le cyclisme et la marche, la création d'une culture environnementale, et l'amélioration de l'attitude des citoyens sera nécessaire pour encourager les individus à sortir de leurs véhicules privés.

I.2.2.5.2 La pollution sonore

L'augmentation de la demande de déplacements au cours des dernières décennies a entraîné toute une série de problèmes importants liés aux transports. Les principales d'entre elles sont les externalités environnementales produites par les systèmes de transport. Dans ce contexte, le bruit est l'un des problèmes environnementaux les plus pressants liés au transport. En effet, la pollution sonore due au transport est devenue un véritable problème qui affecte gravement la santé humaine. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'impact du bruit sur la santé vient en deuxième position après la pollution atmosphérique. Effectivement ce phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante. L'excès de bruit a des effets sur les organes de l'audition (dimension physiologique), mais peut aussi perturber l'organisme en général, et notamment le sommeil, le comportement (dimension psychologique). Cela pose des défis majeurs pour atteindre une mobilité durable, notamment en ce qui concerne la manière dont le bruit des sources de transport devraient être évalué, contrôlé et réduit à l'avenir.

Face à ce constat, il est nécessaire de dynamiser une politique basée à la fois sur la prévention, le traitement des bruits à la source et la résorption des situations les plus critiques que sont les points noirs du bruit et l'a dotée de moyens sensiblement accrus pour les réseaux du transport :

- Il faut mettre davantage l'accent sur la politique en matière de bruit. Le bruit de déplacements doit être considéré principalement comme un problème de santé publique plutôt que comme un simple sujet de normes réglementaires.
- La prise en compte, en amont, des nuisances sonores lors de la construction d'un système de transport: Des obligations précises en matière de protection contre le bruit s'imposent à tous les maîtres d'ouvrage d'infrastructures de transports terrestres. Elles portent sur le contenu des études d'impact, sur les objectifs de protection à viser, ainsi que sur les moyens de protection à employer pour les atteindre.

- La prise en compte des niveaux de bruit émis par les grandes infrastructures de transport lors de la construction d'un nouveau bâtiment : La répartition du réseau de transports terrestres en plusieurs catégories sonores et la délimitation géographique en secteurs dits « affectés par le bruit » constituent un dispositif réglementaire préventif qui permet de fixer les performances acoustiques minimales que les futurs bâtiments sensibles devront respecter.

I.2.3 Les indicateurs de la mobilité urbaine durable

I.2.3.1 Définition d'un indicateur

Un indicateur est un index d'un phénomène complexe. Il est créé grâce à la collecte et à l'organisation des données brutes, c'est un outil d'évaluation et d'aide à la décision. L'indicateur lui-même est un phénomène ou un concept qu'un chercheur s'intéresse à mesurer. Cependant, aucun phénomène ne nous est immédiatement et directement accessible sans la médiation des instruments de mesure. L'élaboration d'indicateurs nécessite des décisions sur deux composantes distinctes: le phénomène à mesurer et les ensembles de données brutes qui constitueront la mesure [42].

Un indicateur efficace doit répondre à plusieurs critères :

- **Robuste, fiable, précis et donc spécifique** : l'interprétation doit être stable et cohérente dans le temps.
- **Sensible** : il doit refléter effectivement les variations de ce qu'il est censé synthétiser ou mesurer.
- **Compréhensible** : simple et utilisable par tous les acteurs.
- **Pertinent** : par rapport à l'objectif concerné.
- **Coût acceptable** : par rapport au service qu'il rend.
- **Utile**: le fait de le considérer doit ajouter de l'information à la prise de décision.

I.2.3.2 Systèmes d'indicateurs de mobilité urbaine durable

De nombreuses initiatives visant à caractériser la durabilité des systèmes de transports sont apparues ces dix dernières années reflétant ainsi l'importance donnée à ce secteur dans la problématique du développement durable. Ces initiatives se différencient aussi bien par leur nature, administrative ou experte voire académique que par les objectifs poursuivis : évaluation de politique publique, outils d'aide à la décision, information du public, mise en place de processus participatifs. Néanmoins, dans leur grande majorité, elles s'accordent sur le fait que dans le même temps les systèmes de transport fournissent un service vital et produisent des

impacts environnementaux, mais aussi sociaux et économiques, négatifs et insuffisamment pris en compte. La problématique de la mobilité durable désigne en raccourci tout ce qui est en jeu dans les tentatives que l'on fait de nos jours pour rééquilibrer les coûts et les avantages dans le secteur des transports.

Un consensus ressort pour affirmer que le traitement de cette problématique passe par la mise en place de stratégies capables d'intégrer dans les politiques de transports traditionnelles des questions d'urbanisme, d'évolutions technologiques, de changements comportementaux et de politiques tarifaires. Ces stratégies doivent s'appuyer sur des politiques publiques transversales : la problématique des transports ne peut plus se résumer à question technique d'adéquation entre une offre d'infrastructure et une demande de mobilité. En outre, l'élaboration de ces politiques doit davantage s'ouvrir à une participation publique.

La mise en place d'indicateurs de mobilité durable s'inscrit comme une étape favorisant l'émergence des stratégies. La construction de tels indicateurs répond à la volonté de rendre opérationnel le concept de durabilité dans les systèmes de mobilité [43].

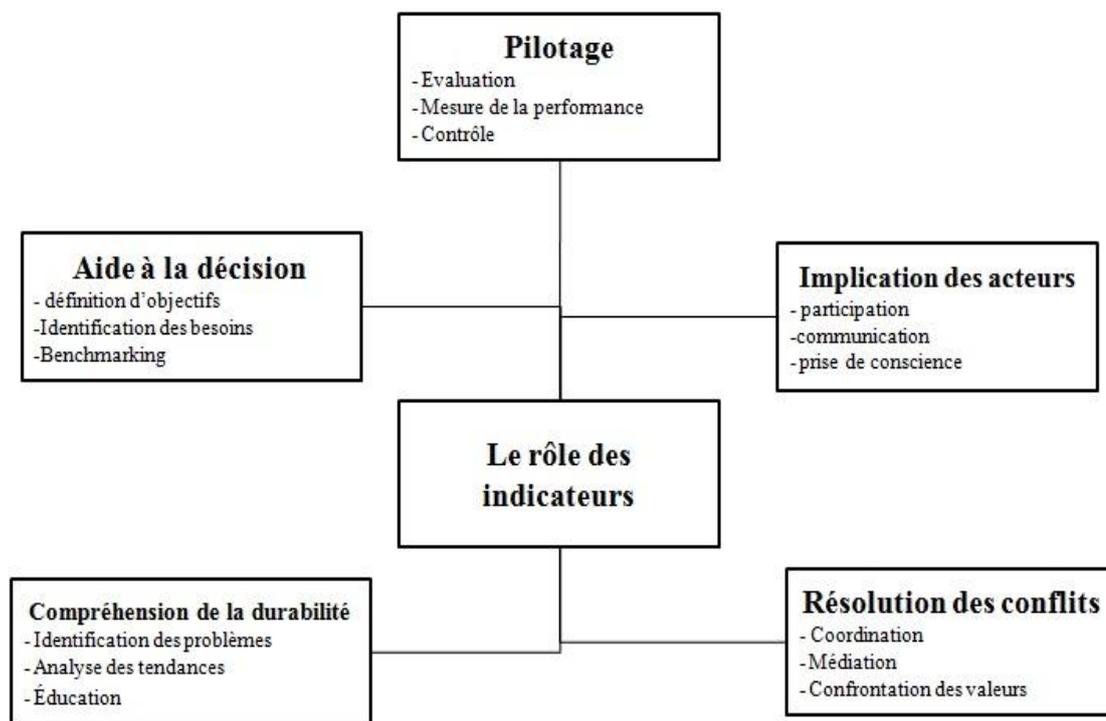


Figure I. 7 Le rôle des indicateurs de développement durable [43]

Les indicateurs dans le domaine de la mobilité sont liés à la planification du transport basée sur la performance; ils constituent en effet un élément essentiel de cette planification. Dans une telle approche de planification, les indicateurs sont étroitement liés aux critères d'évaluation

des projets (figure I.8), étant donné que les indicateurs visent à refléter ce qui est considéré comme important. Les indicateurs appropriés pour le transport varieront selon l'ampleur de l'analyse et les objectifs ultimes, bien que des indicateurs communs puissent souvent s'appliquer à plusieurs objectifs et / ou échelles d'analyse.

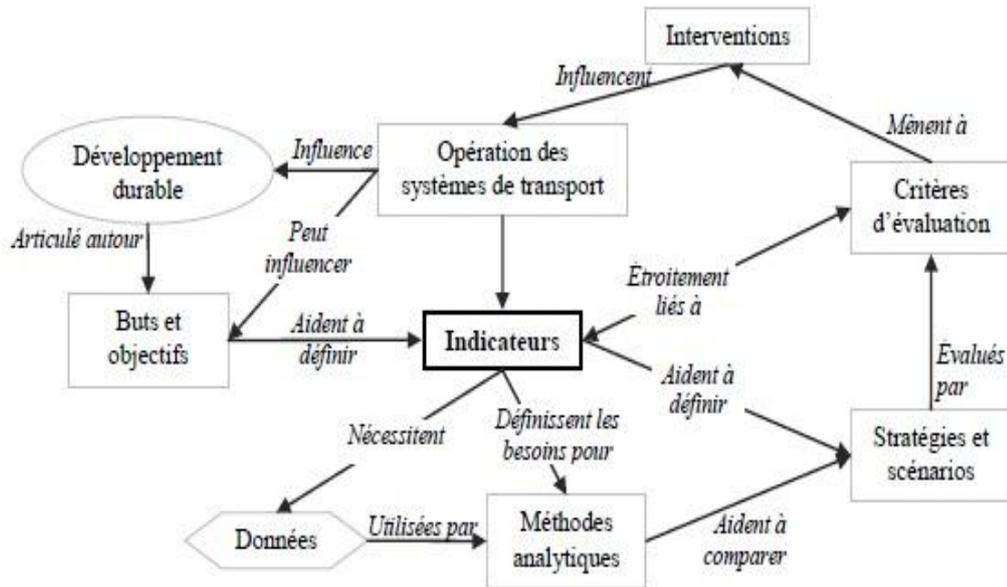


Figure I. 8 Rôle des indicateurs dans le processus de planification de la mobilité [43]

I.2.3.3 Les types des indicateurs de la mobilité urbaine durable

Des indicateurs sont nécessaires pour évaluer la mobilité et le développement des transports, mais nécessitent une utilisation différenciée et, dans de nombreux cas, une interprétation supplémentaire. Ils servent à indiquer les États, illustrent les progrès (et éventuellement la stagnation et les reculs) et indiquent les qualités et les déficits sur la voie du développement durable. Ils ne remplacent toutefois pas la formulation d'objectifs de qualité. Les indicateurs de la mobilité urbaine durable peuvent être classés en trois types, qui sont expliqués plus en détail ci-dessous:

- Indicateurs quantifiables axés sur les mesures,
- des indicateurs quantifiables axés sur l'impact,
- Indicateurs orientés vers l'action et axés sur les projets qui ne peuvent être quantifiés.

Les trois types d'indicateurs sont également importants par rapport à l'objectif général de la "mobilité urbaine durable": les indicateurs relatifs aux infrastructures de transport et au "climat des transports" sont axés sur les mesures prises pour assurer la mobilité urbaine durable et le développement des transports.

I.2.3.3.1 Indicateurs quantifiables axés sur les mesures

Ces indicateurs concernent des objectifs d'infrastructure à atteindre en mettant en œuvre des mesures de planification du transport dans les domaines du transport des piétons et des cyclistes, des transports publics et du transport individuel motorisé. La quantification est exprimée en pourcentage d'un paramètre de référence spécifié ou d'un paramètre cible défini par les planificateurs et les responsables politiques locaux. Les normes requises peuvent être vues à partir des directives de planification de transport spécifiques à la ville. Dans le même temps, les indicateurs de ce type sont des outils utiles pour l'assurance qualité dans la planification en cours, car ils illustrent les progrès réalisés dans la mise en œuvre des programmes de mesures individuels. La discussion et l'interprétation sont facilitées en cartographiant les progrès de la mise en œuvre enregistrés. Le cadre de référence spatial montre des zones où il existe des déficits. Les cartes fournissent également à l'administration de planification une base utile pour la planification de mesures supplémentaires et pour des discussions avec les politiciens locaux et les membres du public en ce qui concerne les problèmes de transport qui touchent certaines parties des villes ou des rues. Les indicateurs individuels donnent des chiffres utiles indiquant dans quelle mesure les incidences des concepts sur le transport dans le domaine de l'urbanisme (réaménagement urbain) sont bien prises en compte. L'indicateur «résidents desservis», par exemple, montre si le potentiel de population nécessaire à l'exploitation économique existe dans la zone de desserte des lignes et des arrêts de transport public. Pour cette raison, des indicateurs spécifiques sont définis pour les villes desservies par des lignes de banlieue, des chemins de fer légers ou des tramways afin de permettre de représenter leur importance particulière pour le développement des transports [44].

I.2.3.3.2 Indicateurs quantifiables orientés sur l'impact

Celles-ci concernent la pollution, les parties concernées, les utilisateurs ou les composants opérationnels du système de transport. Ils décrivent les situations qui surviennent lors de la mise en œuvre des concepts et des mesures de planification du développement des transports, que ces situations soient intentionnelles et souhaitables, ou indésirables et incompatibles avec les objectifs fixés. La santé par exemple est un indicateur pour les résidents affectés de manière permanente par le bruit de la circulation en relation avec des valeurs seuils pour les risques sanitaires, les problèmes de communication et les troubles du sommeil. Le paramètre de référence est le nombre de résidents. Les valeurs de seuil sont basées sur des découvertes scientifiques sur les relations de cause à effet. L'évaluation des progrès vers les objectifs se fait au moyen de comparaisons dans le temps ou de comparaisons avec les chiffres

cibles. Ici aussi, la cartographie spatiale est utile et dans une certaine mesure essentielle pour la discussion et l'interprétation des résultats.

I.2.3.3.3 Indicateurs orientés vers l'action et le projet

Ces indicateurs sont largement utilisés à des fins de documentation et d'évaluation verbale des activités des autorités locales pour améliorer le système de transport. L'accent est mis ici sur les moyens de transport appartenant au réseau environnemental (piétons, cyclistes, transports en commun). Par exemple, il ne semble pas utile de définir un indicateur qui utilise les pourcentages pour montrer l'état d'avancement des projets individuels, tels que l'installation d'un système de contrôle des piétons dans le centre-ville. La mesure est soit terminée ou pas terminée. Ces projets de phare ou de phare sont néanmoins importants car ils témoignent d'une orientation ciblée de qualité dans la planification municipale et, même lorsque les ressources financières sont limitées, ils représentent des jalons sur la voie de la mobilité urbaine durable et du développement des transports.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse récapitulative des différents concepts liés au cadre de ce travail et exploré les approches jugées intéressantes, effectivement, nous avons présenté le contexte et l'état des connaissances de notre recherche, pour la première partie, dont nous avons exposé le concept lié au développement durable, nous pouvons mentionner que le développement durable repose sur trois piliers essentiels, ainsi qu'il doit être à la fois économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable. En suite, nous avons défini le concept de la mobilité, et présenté ses différentes formes, afin de clarifier les stratégies globales de la mobilité urbaine. Enfin, nous finalisé ce chapitre par la présentation de la mobilité urbaines durables, ses enjeux et les indicateurs utilisés pour évaluer la mobilité et le système de transport, ces indicateurs seront utilisés dans notre étude de cas dans le suivant de travail.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les perspectives et les outils, que nous devons mettre en place lors de la construction d'un nouveau système de transport en milieu urbain, afin d'atteindre les objectifs globales de la mobilité urbaine durable déjà présentés dans ce chapitre.

CHAPITRE II

L'INSERTION DURABLE DES SYSTÈMES DE TRANSPORT EN MILIEU URBAIN CAS DU SYSTÈME DE TRAMWAY

Introduction

L'implantation d'un nouveau système de transport urbain est devenue aujourd'hui un enjeu important pour les collectivités locales, en effet, la prise en compte des actions en faveur de développement durable reste incontournable pour améliorer le tissu urbain des villes tout en respectant les contraintes environnementales. De cette réflexion ce chapitre vise à démontrer les perspectives et les outils, que nous devons mettre en place lors de la construction d'un nouveau système de transport en milieu urbain, afin d'atteindre les objectifs globales de la mobilité urbaine durable, car cette mobilité n'est réalisable que si le système de transport est lui-même durable [23].

Sans doute, le tramway est devenu l'un des transports en commun en site propre (TCSP) le plus adapté pour les villes du monde, en effet, il représente la meilleure solution pour desservir les secteurs à population moyen et les grands axes urbains. Il constitue un moyen flexible et fiable pour améliorer la qualité et l'efficacité du transport collectif. De cette façon, la valorisation et la mise en place d'un système de tramway efficace est identifiée comme étant une avenue incontournable afin de mener à la durabilité urbaine.

La construction d'une ligne de tramway est généralement l'occasion d'une restructuration et d'une requalification urbaine, effectivement, ce tramway doit être considéré comme un projet urbain, et non seulement comme un moyen de déplacement, donc si l'enjeu majeur du nouveau tramway est de concevoir un vecteur de mobilité durable avec les stratégies publiques pour répondre aux problématiques du développement durable et enjeux spécifiques des aménagements territoriaux, nous pouvons à travers ce chapitre de demander de quelle manière l'émergence du nouveau tramway contribue à des déplacements durables dans une stratégie politique globale, et quels critères sont pris en considération comme un outil de la durabilité pour cette insertion, nous allons voir donc de quelle manière a été abordé du transport urbain à l'éco-mobilité [45].

Notre choix de prendre le système tramway comme une étude de cas est justifiée pour des raisons de disponibilité d'informations et de vérification des sources, nous avons principalement circonscrit notre recherche à ce système de transport urbain guidé ayant un retour d'expérience suffisant, et permettant de prendre en compte différents aspects mis en exergue par les acteurs et les experts concernés. Ce système est actuellement exploité en Algérie pour lequel nous avons pu obtenir des données.

II.1 Description générale du système de transport en site propre : TCSP

Le transport public est un moyen de transport qui assure les déplacements des gens de manière collective pour que chacun puisse réaliser ses objectifs en termes d'actions économiques

et sociales. Il est nécessaire d'avoir une organisation efficiente et efficace pour leur permettre de bien fonctionner. Le Transport collectif en Site Propre a fait leur apparition avec le renouveau du tramway, à la fin des années soixante-dix. Ce terme désigne un système de transport qui utilise un site exclusivement réservé aux transports collectifs (BHNS, tramway, métro), qui les isole du reste de la circulation. Ce type de partage de la voirie constitue un moyen de lutte efficace contre la pollution et la congestion urbaine.

Le développement des réseaux de transports collectifs urbains et périurbains constitue une priorité pour l'État afin de répondre notamment aux objectifs de développement durable et de désenclavement des quartiers prioritaires de la politique de la ville. Il permet à la fois de réduire la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre, à travers des chaînes de traction sur la base de l'énergie renouvelable, et de lutter contre la congestion urbaine, en aidant au report modal de la voiture particulière vers les modes de transport collectifs. On distingue trois familles de TCSP [46] :

- Le métro est un TCSP guidé de manière permanente et caractérisé par un site propre intégral (pas de carrefour, plate-forme inaccessible). Il est généralement en sous-terrain ou en viaduc. Il est exploité à voie libre à l'aide d'un système de cantonnement. Il peut être automatique.
- Le tramway est un TCSP guidé de manière permanente et caractérisé par un véhicule ferroviaire (roulement fer sur fer) qui circule majoritairement sur la voirie urbaine et est exploité en conduite à vue. On intègre dans cette catégorie le « tramway sur pneus », système guidé sur pneus qui présente la particularité d'avoir un guidage matériel permanent par rail et donc de se soustraire au code de la route, notamment en ce qui concerne la longueur des rames.
- Le Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) est un TCSP caractérisé par un véhicule routier répondant au code de la route (limité à 24,50 m en longueur). Par une approche globale (matériel roulant, infrastructure, exploitation), le BHNS assure un niveau de service continu supérieur aux lignes de bus conventionnelles (fréquence, vitesse, régularité, confort, accessibilité) et s'approche des performances des tramways. Le bus est ici considéré dans sa conception la plus large. Il peut être guidé (guidage matériel ou immatériel) ou non guidé, à motorisation thermique, électrique ou hybride.

Le transport collectif en site propre est une sous-division du transport public, qui, tout en gardant les avantages du système de masse, offrent le niveau et la qualité de service nettement meilleurs grâce à leur emprise spécifique par rapport aux modes routiers sans voies dédiées. Autrement dit, il s'agit d'un système de transport public de voyageurs, utilisant une voie ou un

espace affecté à sa seule exploitation, bénéficiant généralement de plusieurs avantages par rapport au mode de transport traditionnel [47].

II.1.1 Les composants du TCSP

Le transport collectif en site propre est un système de transport public utilisant majoritairement des emprises affectées à son exploitation. L'approche « système » d'un TCSP repose sur 3 composantes essentielles [48] :

- **l'infrastructure** : c'est l'ensemble des installations fixes qu'il est nécessaire d'aménager pour permettre la circulation des véhicules et le fonctionnement de système de transport. Elle est généralement spécifique d'un mode de transport, et est conçue pour permettre la circulation de certains types de véhicules.
- **le matériel roulant** : c'est composé de l'ensemble des véhicules, moteurs ou remorqués, conçus pour se déplacer sur une voie spécifique.
- **le système d'exploitation** : c'est l'ensemble des procédures d'exploitation et de sécurité qui permettent le bon fonctionnement d'un système de transport. (modalités de circulation, systèmes d'aide à l'exploitation, information voyageurs, etc.).

Une ligne de TCSP se compose donc d'une partie mobile : le mode de transport, grâce auquel le voyage peut se faire et d'une partie fixe : l'espace géographique au sein duquel le mode de transport circule. Un transport en commun en site propre est donc un système de transport qui emprunte une voie ou un espace qui lui est réservé. Plus précisément, c'est un ensemble de réseaux de transport ou un ensemble de lignes d'infrastructures reliant plusieurs points de la ville, des matériels roulants associés et des systèmes liés à la condition d'opération, notamment, l'aide à l'exploitation permettant d'informer les usagers et de faciliter la conduite. Un transport en commun n'est pas nécessairement en site propre sur toute la longueur de la ligne, mais peut l'être seulement sur des portions pour améliorer son fonctionnement.

II.1.2 Les intérêts du TCSP

L'objectif de la réalisation d'un projet de système de transport est normalement de répondre à la demande des usagers en établissant un réseau de transport en commun doté de lignes rapides, fréquentes (respect des horaires) et confortables, cette présence de transports publics de qualité permet aux villes de prospérer et de réaliser leurs ambitions sur les plans économique, environnemental et social.. Pourtant la largeur de la voirie ne permet pas toujours la réalisation de couloirs réservés au transport en commun. De plus, ces couloirs sont peu respectés par les utilisateurs. La seule solution efficace est le site propre. Les transports en site propre se distinguent donc des aménagements ponctuels de carrefours ou de voirie destinés à apporter une

amélioration locale avec un objectif principal, en général, d'accroître la vitesse commerciale. Un bon système de transport en commun en site propre constitue un facteur de succès critique pour les zones urbaines, en effet, le TCSP est important vecteur d'inclusion sociale, de par l'accès abordable qu'ils donnent aux opportunités offertes par la ville. Aucun autre mode de transport ne peut offrir une mobilité urbaine durable à un aussi grand nombre de personnes avec un degré de sécurité et d'efficacité comparable à celui de TCSP. Finalement, La mise en place d'une offre de transport en commun en site propre se traduit par plusieurs effets positifs en termes de transport, par exemple :

- Une hausse de la fréquentation des réseaux, le nombre de voyages par habitant s'accroît,
- Une croissance de la distance parcourue par les transports en commun,
- Une part moindre de la voiture dans le partage modal et une part plus importante des transports collectifs.

Outre les effets de construction de l'infrastructure du TCSP, nous distinguons généralement deux grands types d'effets sur le tissu urbain :

- les effets directs liés à l'amélioration de l'accessibilité territoriale, conduisant à des changements dans les pratiques de mobilité des individus (réduction du coût généralisé de déplacement).
- les effets indirects, concernant les interactions entre transport et développement territorial, qu'il s'agisse de nouvelles localisations résidentielles et d'activités, et par la création des nouvelles zones urbaine.

Néanmoins, le site propre a un inconvénient essentiellement lié au financement : voie séparée avec déplacement des réseaux souterrains, ouvrage d'art, réaménagement urbain éventuel, nécessité d'un dépôt-atelier à proximité, peuvent engendrer des coûts importants pour la réalisation du TCSP.

II.1.3 Les phases de construction d'un TCSP

L'implantation d'un nouveau système de transport en commun en site propre implique de passer par des différentes phases incontournables, ces phases réglementaires jalonnent le déroulement d'un projet de transport, depuis l'étude préliminaire d'une ligne de transport jusqu'à sa mise en service et son bilan. Si certaines phases se déroulent généralement uniquement en bureau d'études, d'autres nécessitent un contact direct avec l'agglomération urbaine. Le déroulement d'un projet de TSCP est représenté par la figure II.1 [49].

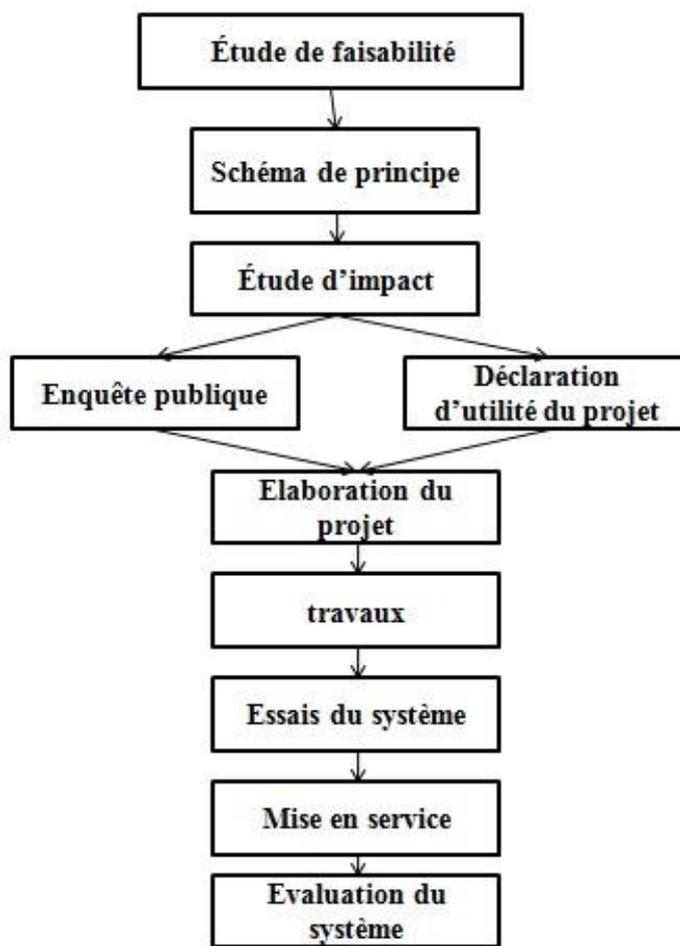


Figure II. 1 Représentation des différentes étapes d'un projet de TCSP

L'étude de faisabilité : cette étude a pour objet d'évaluer techniquement et économiquement l'opportunité ainsi que les conditions de réalisation d'un TCSP, Elles comportent une vision stratégique du projet non seulement en termes de structure globale du réseau, de choix de mode de transport et d'usage de la plateforme du site propre mais aussi en termes de coût et de phasage possible de réalisation. Elles comportent également un volet technique dans lequel le projet de transport est défini.

Le schéma de principe : est une étape nécessaire à tout projet d'investissement pour la réalisation d'un TCSP, il contient un dossier de faisabilité socio-économique. Il précise les objectifs de desserte à satisfaire compte tenu de la situation de référence, définit et compare les solutions possibles pour y répondre et propose une solution, en conclusion de cette comparaison. Celui-ci comporte obligatoirement une estimation sommaire du coût du projet, une évaluation de sa rentabilité financière et une évaluation socio-économique. Les observations recueillies lors de la concertation préalable, ainsi que lors des débats publics sont prises en considération dans l'élaboration du schéma de principe. Le schéma de principe permet aussi de confirmer

l'opportunité du projet, le choix du mode, de préciser le tracé et les modalités d'insertion du projet. Le schéma de principe doit contenir les éléments suivants [50]

- l'historique du projet ;
- la description du secteur concerné par les études ;
- la définition des objectifs et du programme ;
- la description du projet : insertion du tracé et ses variantes dans l'environnement urbain, en précisant le positionnement des pôles et des stations ;
- Justification du mode et modalités d'exploitation et de réorganisation du réseau de transport ;
- Impacts du projet au regard de la situation initiale ;
- Management et calendrier du projet ;
- Economie du projet : estimation des coûts de l'infrastructure, du matériel roulant et de l'exploitation;
- Intérêt socio-économique du projet : prévision de trafic et report modal.

L'étude d'impact : Les projets d'implantation de TCSP sont soumis à une étude d'impact qui évalue leurs effets directs et indirects, temporaires et permanents sur l'environnement et sert de support au débat public. Cette étude va permettre d'apprécier les conséquences sur l'environnement des réalisations d'aménagements et d'ouvrages qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur le milieu naturel, peuvent porter atteinte à ce dernier, afin de déterminer, dans l'aire d'étude, des zones plus ou moins sensibles à l'implantation du projet et d'orienter la définition de la solution de moindre impact proposée. Or l'étude d'impact se situe très en aval et ne permet pas toujours de débattre de manière satisfaisante sur l'opportunité du projet et sur les grandes orientations qui ont présidé à sa décision. Pour que ce débat soit engagé le plus en amont possible, dans le souci de projets acceptables au plan de l'environnement et compatibles avec un développement durable, il est nécessaire de procéder en amont à une évaluation environnementale des plans et programmes de transport [51]. L'étude d'impact doit notamment permettre, dans le cas d'un projet de transport :

- la définition d'un état initial du périmètre susceptible d'être affecté par le projet de transport ;
- l'identification des effets de ce projet sur l'environnement ;
- la présentation des adaptations du projet pour prendre en compte ces effets. Ces adaptations doivent viser, en fonction des possibilités du maître d'ouvrage, à :
- supprimer les effets négatifs notables du projet sur l'environnement qui peuvent être évités ;
- réduire les effets n'ayant pu être évités ;
- compenser les effets qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits.

Le dispositif d'étude d'impact n'est donc pas limité à la seule phase de définition du projet mais doit accompagner, sur les aspects environnementaux, la démarche d'évaluation du projet de transport en commun en site propre. Dans le cas où de tels dispositifs de suivi existent, ils doivent alimenter la partie environnementale du bilan [52].

L'enquête publique : a pour objectif d'informer le public sur le projet et de recueillir ses appréciations, suggestions et contre-propositions afin de permettre aux décideurs de disposer de tous les éléments nécessaires à la réalisation du meilleur projet possible. Cette enquête doit définir la consistance et les impacts détaillés de l'opération de la façon la plus claire et accessible. Le dossier d'enquête publique vise [50]:

- la déclaration d'utilité publique du projet du TCSP.
- la mise en conformité des documents d'urbanisme des communes concernées.

Le dossier porte sur :

- l'objet et la justification de l'opération : présentation, objectifs, intérêt, enjeux, analyse des dysfonctionnements et définition des besoins, effets positifs et réponses aux dysfonctionnements et besoins ;
- les résultats des études et procédures préalables : historique, bilan de la concertation préalable, comparaison des variantes envisagées, justification de la variante retenue ;
- la présentation du projet soumis à l'enquête : description du projet, caractéristiques techniques, choix du mode retenu.

Le dossier d'enquête publique sera réalisé en fonction du type d'enquête qui sera nécessaire à mettre en place :

- Enquête publique type simple : le tracé ne justifie pas d'expropriation mais, compte tenu des impacts potentiels du projet, il nécessite la soumission au public.
- Enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique si des expropriations sont nécessaires. Dans cette hypothèse, il s'agit de bien définir le planning de cette étape pour le lancement de l'enquête publique ainsi que le tribunal administratif pour la nomination de la commission d'enquête puis la déclaration d'utilité publique.

A ce stade du projet, il est encore tôt pour savoir le type d'enquête qui sera menée, néanmoins, le dossier devra comporter:

- La présentation de la procédure administrative : présentation des objectifs de l'opération, l'objet de l'enquête, le cadre législatif de l'enquête publique ;
- Le plan de situation ;

- Une note explicative ;
- Le plan général des travaux ;
- Les caractéristiques principales des ouvrages les plus importants ;
- Les mises en compatibilité des documents d'urbanisme ;
- L'étude d'impact ;
- L'appréciation sommaire des dépenses ;
- L'évaluation socio-économique et énergétique.

Les modalités d'organisation de l'enquête publique seront précisées puis soumises aux collectivités locales et aux financeurs avant d'être validées par la commission d'enquête. Elle comprend au minimum :

- une publicité préalable dans la presse ou par voie d'affichage pour informer le public de l'objet de la concertation et des modalités de son déroulement,
- la présence, sur les lieux d'exposition, de registres à disposition du public pour que le public puisse y consigner ses observations ou suggestions,
- une ou plusieurs expositions d'information générale sur le projet, présentant des panneaux d'information,
- l'éventuelle mise à disposition, sur place, d'un dépliant d'information sur le projet,
- la tenue éventuelle de réunions publiques dont les modalités et leurs tenues effectives sera à valider par la commission d'enquête.

La déclaration d'utilité publique : est un arbitrage entre l'intérêt collectif et le droit privé en ce qui concerne la propriété. Il s'agit, pour la puissance publique, d'apprécier si l'intérêt collectif du projet justifie de mettre en œuvre une procédure d'expropriation pour gagner des terrains et construire le projet [49].

L'élaboration du projet : permet de détailler les études, dans tous les corps de métier afin d'obtenir les plans et autres documents techniques nécessaires à la réalisation des travaux. Génie civil, électricité, revêtements... sont étudiés afin de garantir le bon déroulement des travaux.

Les travaux : constituent la phase la plus sensible pour le projet. Cette phase passe par plusieurs tâches dans un ordre chronologique. Le projet sort de terre. Une bonne organisation et gestion du chantier est indispensable pour respecter les délais de livraison.

Les essais du système : cette phase a pour objectif de vérifier la compatibilité du système avec les exigences de l'intégration de ce nouveau système, elle permettra de vérifier et d'ajuster le fonctionnement de l'ensemble du système sur les plans sécuritaires et techniques, et résoudre les problèmes constatés afin que l'exploitation se déroule dans les meilleures conditions.

La mise en service : c'est l'exploitation commerciale de ce nouveau système, les citoyens peuvent l'utiliser pour la première fois. Afin d'assurer cette mise en service des moyens logistiques et humaines doivent être en place par l'opérateur chargé de l'exploitation de ce système de TCSP. Rappelant que cette mise en service du TCSP a généralement des conséquences importantes sur l'organisation globale du réseau de transports publics

Evaluation du système : le bilan des résultats économiques et sociaux permet d'apprécier les résultats obtenus par rapport à ceux escomptés dans le schéma de principe. Il doit permettre aux décideurs de tirer les conséquences d'éventuels écarts constatés soit pour mener des actions correctrices, soit pour servir d'expériences pour les projets futurs.

II.2 Description du système tramway

II.2.1 Concept et explication générale

L'origine du tramway se situe aux États-Unis vers 1830 dans les villes en pleine expansion. Il occupait une place importante dans le développement des transports collectifs et de l'urbanisation au début du XXe siècle, mais cette place est bientôt prise par l'automobile qui pousse de plus en plus à la disparition des tramways et au déclin des transports en commun. Selon Larousse le tramway c'est un chemin de fer électrique destiné au transport urbain et suburbain de voyageurs et implanté en totalité ou en partie sur la chaussée des rues empruntées. Le terme tramway désigne tous les composants du système ferré par contre le terme tram désigne seulement le matériel roulant. En fait, sous le mot tramway, se cachent trois grands types de véhicules, qui cachent eux-mêmes nombre de variantes [15] :

- le tramway sur rails : il s'agit pour l'instant de la grande majorité des tramways circulant en France. Néanmoins, la technologie de ce type de tramway a largement évolué depuis une trentaine d'année : modularité (qui permet une très grande variété dans le design, avec de grandes baies vitrées par exemple), planchers bas, système de captation électrique par le sol ou batteries embarquées afin de s'affranchir des lignes aériennes lors de la traversée des centres historiques.
- le tramway sur pneus : cette technologie est relativement récente, et a été confrontée à des problèmes de mise au point. Le véhicule dispose bien d'un rail central, mais ce dernier ne sert qu'au guidage du véhicule. Théoriquement moins cher que le tramway sur rail, cette technologie permettrait de grimper des pentes plus raides.
- le tram-train : Inventé outre-Rhin à Karlsruhe en 1992, il permet à la fois de circuler sur le réseau de rails urbain et sur le réseau interurbain. Il permet ainsi de desservir rapidement le centre-ville pour des communes éloignées. Cette idée simple ne doit pas cacher une mise en

pratique parfois trop complexe: sécurité, interconnexions (tarifications, voire rivalités de territoires et de responsabilités.

Dans ce travail de recherche, nous nous intéresserons uniquement au tramway sur rails. C'est en effet le plus répandu, et le seul type de tramway sur lequel il existe en Algérie et que nous disposons d'informations plus ou moins détaillées.

Le tramway est donc l'un des types du transport en commun en site propre. Ce système utilise une technologie simple et efficace, qui se modernisée progressivement, cette technologie permet aux responsables des collectivités confrontés au problème du nécessaire développement du transport collectif à imposer des solutions fiable pour la gestion des flux et la demande de transport qui ne cesse pas à accroître dans les villes métropoles, en plus l'association entre le site propre et le tramway s'est révélée efficace en termes d'attractivité des transports collectifs urbains dans des agglomérations de taille généralement moyenne. Mais cette association a toujours été enrichie de nombreuses dispositions concomitantes (information en temps réel, confort dans les stations, fréquences de passage, requalification de l'espace public), qui ont beaucoup contribué à l'effet du tramway sur le tissu urbain [47].

En générale, le tramway peut être conçu comme un outil d'aménagement urbain de la ville, en effet la construction d'une ligne de tramway est généralement l'occasion d'une restructuration et d'une requalification urbaine permettant la recomposition des usages de l'espace public et la prise en compte des différents modes de déplacements urbains, cette implantation offre de nombreux avantages [47] :

- Du point de vue financier, les coûts de construction et d'exploitation d'une ligne de tramway est raisonnable par rapport aux autres moyens de transport similaires comme le métro par exemple, ainsi que, les coûts de matériel et d'entretien à l'égard des autres systèmes lourds.
- Du point de vue des usagers, la liaison rapide et sûre entre le centre-ville et les nœuds de transport est réalisée grâce à l'utilisation du site propre.
- Dans une perspective de compatibilité des moyens de transport et de développement du réseau à long terme, construire un tramway permet une meilleure intégration dans le réseau.
- Une connexion, la combinaison du tramway avec d'autre moyen de transport est réalisable sans trop de difficulté et sans complication au moindre coût.
- La création d'une ligne de tramway implique en effet de prendre de l'espace au trafic individuel, notamment le véhicule privé et de faciliter un réel transfert modal de la route vers les transports publics.
- Accompagnée d'aménagements favorisant les piétons, la construction d'une ligne de tramway est de nature à améliorer significativement la qualité de vie sur les axes desservis.

Le tramway offre une desserte des quartiers beaucoup plus fine que les autres systèmes de transport et permet ainsi de mieux répondre aux besoins des citoyens.

II.2.2 Aspect technique

Le tramway, et à l'instar d'autres systèmes de transport collectif en site propre exige une infrastructure et un mode d'exploitation spéciale, cette section présente l'aspect technique du système tramway, et les principaux éléments qui interviennent lors de la construction d'un nouveau tramway.

II.2.2.1 La voie du tramway

La fonction essentielle de la voie est d'assurer la continuité mécanique du chemin de roulement qui supporte le matériel roulant et en assure le guidage dans les conditions de sécurité maximale, et de confort acceptable [47]. La voie du tramway fer comporte deux sous-ensembles : la plate-forme en béton et les rails reliés à un support. Sur la plate-forme sont disposés des matériaux de remplissage couverts d'un revêtement soit en gazon, en pavés, en grave bitume, ou en enrobé...)[54]. La voie est identifiée par son système de pose, et la variation de la liaison rail support permet d'obtenir différents types de pose, ainsi que le principal facteur qui influe sur la structure de la voie est son niveau d'atténuation vibratoire. Pour la voie de tramway, il existe trois niveaux d'atténuation :

- Niveau 0 : pas d'atténuation.
- Niveau 1 : atténuation moyenne.
- Niveau 2 : atténuation haute.

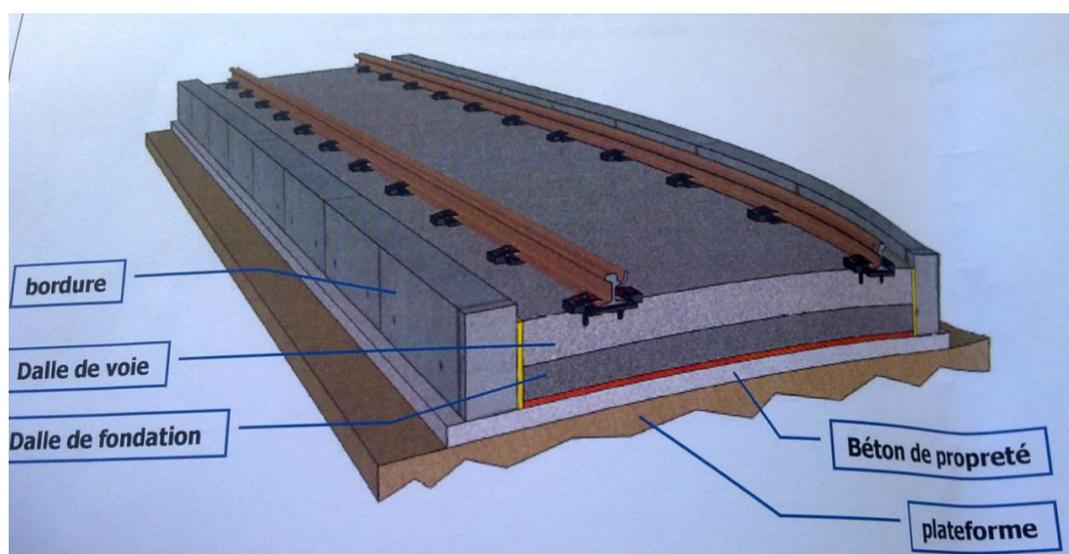


Figure II. 2 Coupe d'une voie de tramway avec éléments modulaires

II.2.2.1.1 Les qualités techniques d'une voie de tramway fer

Pour avoir une meilleure qualité de service en termes d'exploitation du tramway et afin de maintenir un niveau de performance technique élevé, la voie d'un tramway doit [6] :

- répondre aux exigences du matériel roulant, en lui assurant les meilleures conditions de roulement de confort et de sécurité.
- s'adapter aux exigences de l'insertion des modes de transports en commun dans leur milieu et leur environnement.
- permettre la création de paysages urbains de qualité et une requalification des espaces.
- répondre aux contraintes économiques de l'exploitation : entretien minimum, maintenance et changement de rails ne nécessitant qu'un minimum d'arrêt du service.

II.2.2.1.2 Les composants de la voie

Le rail : Le rail est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie. Il se charge de transmettre et de répartir les forces du véhicule sur le système en dessous, ainsi que le support et le guidage du matériel roulant et le transport des courants de retour de traction vers la sous-station. Les rails des voies ferrées ont un écartement standard de 1435mm et sont en acier. Il y a différents types de rails avec différentes caractéristiques :

Rail Vignole : il est utilisé lorsque la voie ne nécessite pas la pose de revêtement. Principalement dans les centres de maintenance ou les voies de remisage.

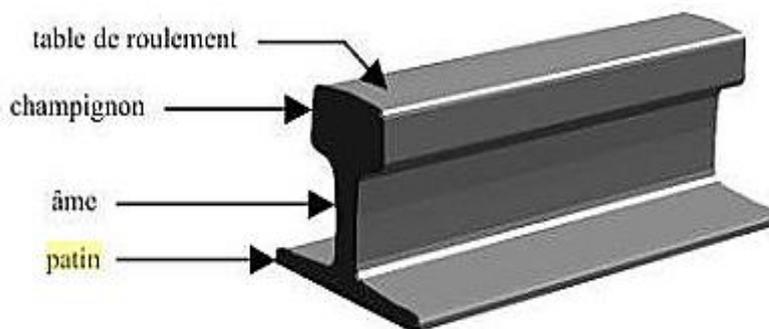


Figure II. 3 Coupe d'un rail type Vignole [W10]

Rail à gorge : il est utilisé dans le cadre de nécessitant la mise en place d'un revêtement. La gorge permet le passage du boudin de la roue.



Figure II. 4 Coupe d'un rail à gorge [W10]

Les rails sont laminés en barres d'une longueur moyenne de 18 m. Ils sont soudés ou éclissés bout à bout. Ils sont donc caractérisés par une bonne soudabilité et sont soumis aux caractéristiques thermiques permettant d'augmenter leur résistance aux frottements et de réduire les crissements engendrés par le contact rail/roue, notamment dans les courbes de faible rayon.

Support de voie : Quel que soit le système de pose utilisé, son rôle sera de maintenir la géométrie de la voie ainsi que transmettre au sol les charges exercées sur les rails par le matériel roulant. Il existe plusieurs types du support selon le système de pose choisi, soit une pose continue, ou discontinue.

Les traverses : la traverse est le support de pose privilégié dans les voie du tramway il est bien souvent de type bi-bloc.



Figure II. 5 Traverse de type bi-bloc

Les selles : Les selles sont ancrées dans le béton de la dalle de voie, fabriquées dans un matériau plastique, elles supportent chaque fil de rail de manière indépendante.



Figure II. 6 Support d'une pose discontinue type selle

Pose avec rail noyé : Dans le cadre de la pose noyée, aucun système d'attache n'est mis en place, le rail est maintenu dans sa position horizontalement et verticalement par un matériau coulé dans la gorge aménagée dans la dalle de la voie.

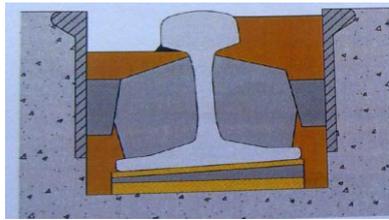


Figure II. 7 Pose avec rail noyé

Le système de fixation : Le système d'attache doit permettre de maintenir le rail en position sur le support de pose quel qu'il soit : selle ou traverse. Il existe deux principaux types d'attache, Dans le système de fixation de rails de Vossloh, l'attache maintient le rail sur la traverse en béton à l'aide de l'ensemble vis-cheville. Ce dernier constitue l'élément principal et assure durablement une fixation stable et fiable. Par contre dans le cadre d'une fixation avec le système d'attache Nabla, La traverse est assurée par une pièce métallique plus ou moins plane fixée au ressort et appuyant sur le patin du rail.

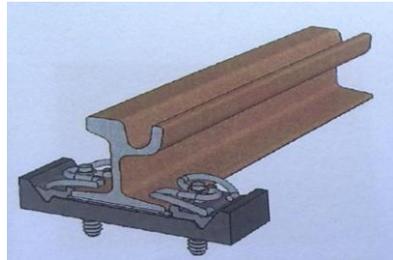


Figure II. 8 Attache type Vossloh

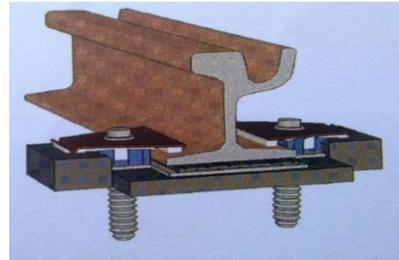


Figure II. 9 Attache type Nabla

Le taquet d'arrêt : Les taquets d'arrêt sont des dispositifs implantés à l'extrémité des voies de terminus, de stockage ou de remisage. Ils bloquent la roue d'une rame stationnée qui partirait à la dérive. Ces taquets assurent une protection efficace contre les accidents occasionnés par des erreurs de manœuvre.



Figure II. 10 Taquet d'arrêt d'un tramway

Le joint d'isolation : Le rôle d'un joint isolant est d'assurer l'isolement électrique longitudinal des fils de rail dans un but de sectionnement électrique, pour des besoins de signalisation par exemple.



Figure II. 11 Joint isolant type collé

L'appareil de dilatation : L'appareil de dilatation est un appareil de voie autorisant le mouvement longitudinal relatif de deux rails adjacents tout en assurant un guidage et un support correct. On rencontre de tels mouvements longitudinaux du rail en extrémité des ouvrages d'art. Il existe deux types d'appareil de dilatation :

Type baïonnette : pour ce type on a une interruption de file directrice de roulement.

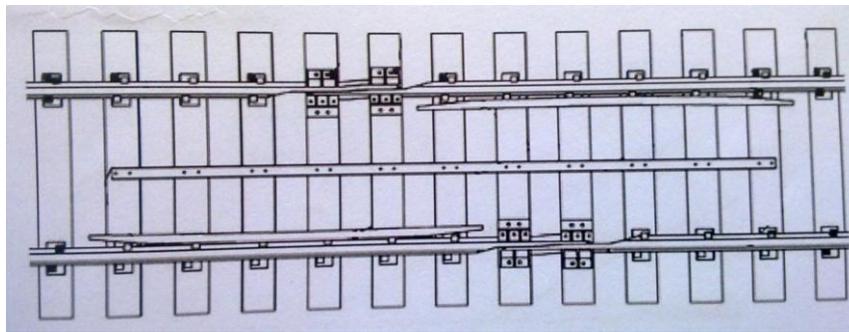


Figure II. 12. Appareil de dilatation type baïonnette

Type aiguillage : il n'y a pas d'interruption de la file de roulement.

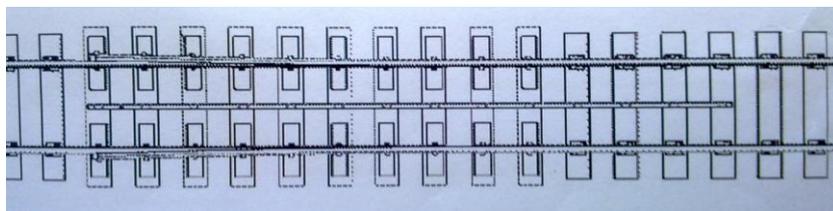


Figure II. 13 Appareil de dilatation type aiguillage

L'appareil de voie : Pour permettre au matériel roulant de changer de voie ou pour permettre une bonne organisation du stockage dans le dépôt, il est nécessaire de mettre en place des liaisons et des intersections entre les voies. Ces dispositifs sont plus communément appelés appareils de voie. Tous les appareils de voie sont réalisés par la combinaison des éléments de bases suivant :

Les branchements simples :

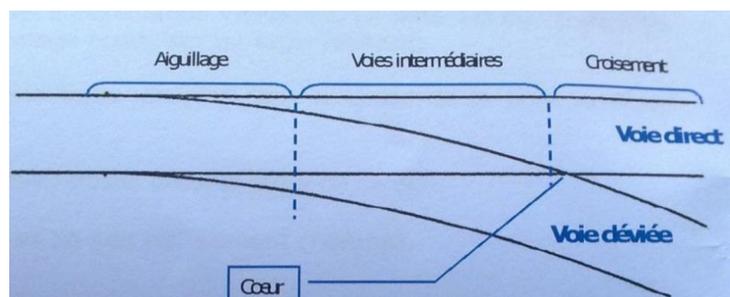


Figure II. 14 Branchement simple

Les traversées obliques ordinaires :

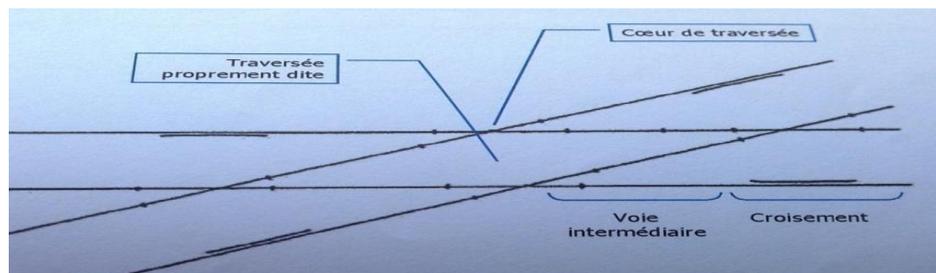


Figure II. 15 Schéma d'une traversée oblique ordinaire

Les types des appareils de voie :

- Appareil de voie non motorisé : Un appareil de voie non motorisé se manœuvre manuellement à pied d'œuvre.
- Appareil de voie motorisé : Un appareil de voie est dit motorisé lorsque la commande est électrique. Il peut également être manœuvré manuellement.
- Appareil de voie talonnable non renversable : Un appareil de voie est dit talonnable non renversable lorsque, abordé par le talon, les aiguilles reviennent dans la position initiale après le passage de chaque essieu du tramway.
- Appareil de voie talonnable renversable : Un appareil de voie est dit talonnable renversable lorsque, abordé par le talon, les aiguilles se disposent au passage du premier essieu dans la position de l'itinéraire et restent dans cette position.

II.2.2.2 Le matériel roulant

Il existe plusieurs types de tramways dont la capacité et le design sont très variés, en Algérie un seul constructeur est actuellement présent dans les villes algériennes dotées d'une ligne de tramway, cette compagnie est Alstom, le leader de construction des tramways en France. Dans cette sous-section nous allons démontrer les caractéristiques techniques de la gamme Citadis 402, fabriquée par Alstom depuis l'année 2000.

II.2.2.2.1 Les caractéristiques de la Citadis

Les véhicules Citadis 402 à plancher bas intégral. Ils sont de type bidirectionnel. Leur exploitation est en unité simple. Les véhicules sont climatisés et comportent de chaque côté 6 portes d'accès doubles et 2 portes simples. Toutes les portes sont équipées d'un seuil fixe débordant muni d'une partie ajustable afin de limiter la lacune horizontale nominale au droit des portes pour favoriser l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite. La longueur des véhicules est d'environ 45 m et sa capacité passagère est de 302 personnes en charge normale. La Citadis 402 comporte deux cabines de conduite, deux cabines motrices, trois caisses suspendues, une nacelle porteuse et une nacelle motorisée. (Figure II.16)

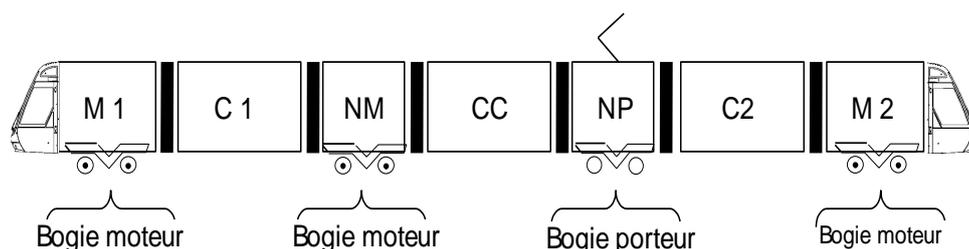


Figure II. 16 Schéma démonstratif d'une Citadis 402 d'Alstom

II.2.2.2.2 La chaîne de traction

L'électricité passe par l'étage d'entrée, son rôle est de fournir une source de tension et le niveau de tension pour les onduleurs. L'onduleur transforme la source continue en une source alternative afin de d'alimenter le moteur de traction de type asynchrone situé au niveau des bogies moteurs.

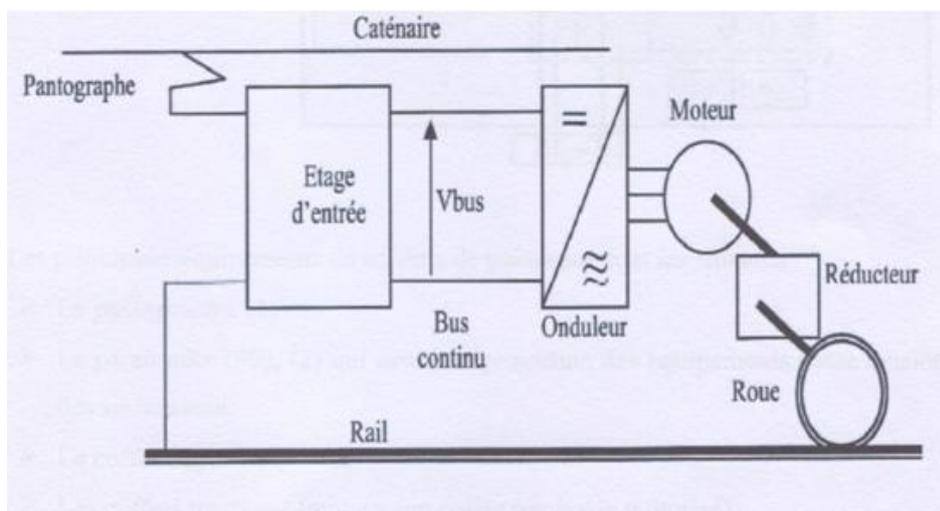


Figure II. 17 La chaîne de traction dans le tramway

Les bogies du tramway sont équipés d'un système de freinage fiable et efficace, en effet la sécurité des personnes et des véhicules sont des priorités pour la gestion utile du tramway, généralement, il existe trois types de freinage : Le freinage électrique, Le freinage mécanique, et Le freinage électromagnétique. Ces types de freinage sont déclenchés selon le mode de freinage effectué, que se soit un freinage normal de service ou bien un freinage d'urgence.

II.2.2.3 L'alimentation électrique

Le tramway est alimenté généralement en courant continu, sous une tension de 750 V. L'alimentation se fait par une ligne aérienne constituée de fils de cuivre de section suffisante pour permettre des appels de puissance importants. La structure de la ligne est renforcée par un feeder souterrain mis en parallèle avec la ligne aérienne et raccordé à celle-ci au niveau de chaque station. La captation du courant sur la ligne aérienne est assurée par un pantographe à commande électrique avec des semelles d'archet en carbone. Chaque rame est équipée de bogies moteurs d'une puissance totale généralement comprise entre 200 et 300 kW [47].

II.2.2.3.1 Les sous-stations

Les sous-stations transforment et convertissent la tension triphasée primaire : courant alternatif en une tension de traction : courant continu. La puissance de traction sera fournie à la ligne aérienne de contact (LAC) par l'intermédiaire des câbles d'alimentation positifs. Les câbles d'alimentation de retour négatifs seront directement reliés aux rails. Le véhicule collectera le courant du fil de contact à l'aide des pantographes et renverra le courant à la sous-station par l'intermédiaire des rails.

Le dimensionnement des sous-stations du réseau de distribution doit être fait de façon à ce que la défaillance d'un poste n'altère pas la marche des tramways. Une fiabilité maximale peut être apportée au réseau d'alimentation haute tension des sous-stations à partir du doublement des postes source. Ainsi que les sous-stations sont réparties le long des lignes en fonction des exigences de l'exploitant. Ces exigences sont dictées par les performances souhaitées pour la gestion de son exploitation (adéquation entre les grilles horaires et les puissances à installer), mais aussi par les contraintes d'implantation dans la ville. En effet, les emplacements susceptibles d'accueillir les sous-stations dans une ville sont assez restreints. La distance entre les sous-stations se révèle être un facteur à mettre en adéquation avec la structure utilisée pour le transport et la distribution du courant continu [55]. L'énergie est gérée à partir du poste de commande centralisée, ce qui permet une action rapide sur tout événement ayant une incidence sur l'exploitation. L'alimentation basse tension (courant faible) des équipements auxiliaires nécessaires au fonctionnement des équipements au sol du tramway, aussi bien au niveau des

sous-stations de la distribution d'énergie qu'au niveau des stations, est réalisée à partir de transformateurs de tension placés dans les sous-stations [47].

II.2.2.3.2 La ligne aérienne de contact

La Ligne Aérienne de Contact est le sous-système permettant l'acheminement de l'énergie électrique depuis les postes redresseurs situés dans les sous-stations jusqu'aux rames du matériel roulant. La ligne aérienne est divisée en sections, ce qui permet d'isoler une portion du réseau en cas de défaut, et d'assurer des services provisoires d'exploitation [55]. Une Ligne Aérienne de Contact est constituée de :

- Fils de Contact.
- Câbles d'alimentation et connexions électriques.
- Supports.
- Equipements/Armements (Isolateurs, Consoles, Transversaux, Suspensions, Rappels,
- Parafoudres, Feux de Présence Tension...).
- Protections (Mise à la terre, Parafoudres...).

L'insertion dépend des différents modes de la capacité des lignes aériennes de contact conduisant aux choix d'un type d'insertion spécifique pour un site considéré. Les différents types standards d'insertion sont les suivants :

- Supports bilatéraux avec suspension sous transversal.



Figure II. 18 Support bilatéral avec suspension sous transversal

- Poteaux unilatéraux avec suspension sous console double voie.



Figure II. 19 Poteau unilatéral avec suspension sous console double voie

- Poteaux centraux avec suspension sous consoles simple voie.



Figure II. 20 Poteau central avec suspension sous consoles simple voie

II.2.2.3.3 Alimentation par sol

L'alimentation par sol APS est un système d'alimentation extrêmement fiable qui réduit l'empreinte des lignes de rail du tramway et préserve l'esthétique des environnements urbains. Initialement introduite en 1994 Cette alimentation se fait à l'aide d'un troisième rail, situé entre deux rails de roulement et en l'utilisation de frotteurs conducteurs sous le tramway. Le rail d'alimentation est segmenté en tronçons qui sont alimentés uniquement lorsqu'ils sont entièrement recouverts par le tramway [W07].

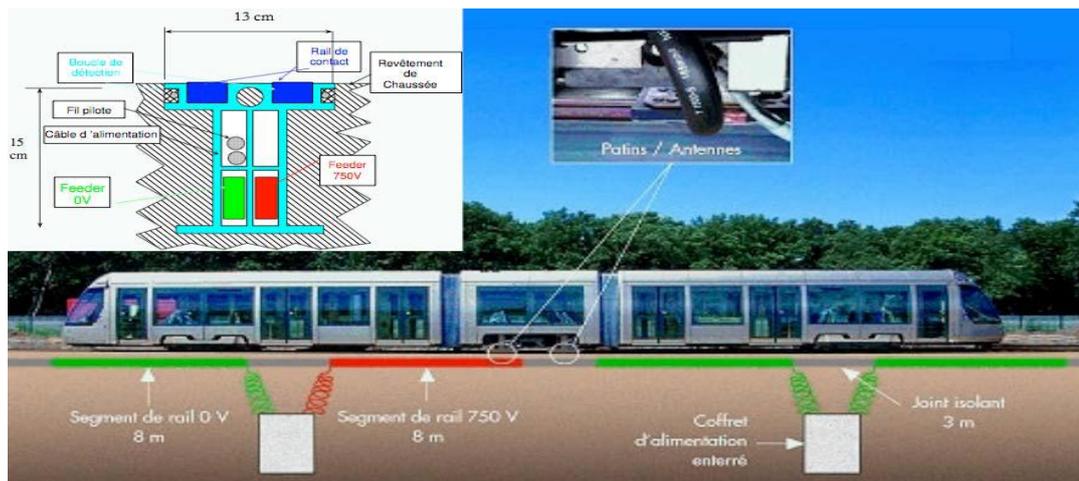


Figure II. 21 Alimentation par sol [47]

II.2.2.3.4 Alimentation par batterie

Il s'agit d'une nouvelle technologie développée par Alstom couplant une recharge statique par le sol à un stockage d'énergie embarqué. Des petites unités de distribution, alimentées par des réseaux reliés aux sous-stations, sont installées à chaque arrêt. L'électricité est apportée via un dispositif conducteur inséré dans la chaussée ou la surface de la voie à la station de tramway. Quand le véhicule est stationnaire au-dessus du dispositif, un frotteur de prise de courant se pose automatiquement dessus et fait contact pour recharger la batterie. Ces batteries, de type nickel-métal-hydrure, permettent d'éviter les lignes aériennes de contact sur une partie de la ligne notamment en centre-ville permettant au tramway de traverser plusieurs centaines de mètres avec suffisamment d'énergie.

II.2.3 Aspect urbanistique

Le tramway qualifié par ses nombreuses vertus positives est cependant un mode de transport ferroviaire disposant de caractéristiques d'insertion urbaine spécifiques. En effet, le tramway dispose d'aménagements et de réglementations qui lui sont propres. L'insertion d'un nouveau tramway au sein des agglomérations urbaines devient ainsi un symbole puissant de la modernité dépassant la seule fonction de transport et s'accompagnant d'une restructuration de l'espace public. En effet, au-delà de son rôle d'instrument des politiques de transport, le tramway devient un outil de projet urbain permettant une requalification urbaine clairement affichée et planifiée dans les politiques publiques locales [56]. Par conséquent, lorsque s'implante un système général de l'envergure d'un tramway, il est obligatoire de prêter spécialement attention aux mécanismes de la génération d'images qui configurent le futur tissu urbain. Pour cela des objectifs doivent être réalisables en termes de l'insertion urbaine du tramway et notamment :

- Concevoir l'insertion appropriée considérant la meilleure offre de l'espace public pour tous les usagers.
- Garantir l'accessibilité à l'espace public aux personnes à mobilité réduite ainsi que la continuité des itinéraires accessibles, tout en améliorant la situation d'origine des accès riverains affectés.
- Créer un corridor vert tout au long du tracé.
- Établir une conception qui assure la sécurité des usagers du tramway et du transport routier.

II.2.3.1 Les types d'insertion du tramway

Pour insérer une plateforme de tramway, il est important de trouver des aménagements permettant à tous les usagers de l'espace public de pouvoir se déplacer. En effet, l'insertion d'une nouvelle ligne de tramway ne doit pas paralyser l'espace public. L'insertion de la plateforme dépend alors des activités urbaines qui entourent cette ligne.

L'insertion du tramway peut se faire de différentes façons à l'intérieur de l'emprise publique, les insertions les plus rencontrées sur les projets de tramway sont l'insertion bilatérale, l'insertion latérale et l'insertion axiale. Le choix de chaque insertion se fait en fonction du contexte local du projet, et selon les particularités rencontrées dans les secteurs traversés [49].

Insertion bilatérale : À l'instar des voies réservées pour d'autres TCSP, les voies du tramway peuvent être localisées de part et d'autre des voies de circulation (figure II.22). Le principal intérêt de cette solution est la facilité d'intégrer les stations aux trottoirs qui servent de quai dans chaque direction. Elle présente également l'avantage d'élargir l'espace piéton, la plate-forme du tramway étant largement disponible dans le temps pour les piétons, qui de plus se sentent en

sécurité le long du véhicule du fait de son guidage. Cependant, cette disposition présente de nombreux inconvénients, le principal inconvénient réside dans les interactions avec les autres flux de circulation. En effet, à chaque carrefour, à chaque entrée de propriété, le site propre doit pouvoir être traversé. Sous exploitation, cela peut entraîner une baisse de la vitesse commerciale de la ligne de transport [57]. De plus cette insertion gêne maximale pour les accès riverains et les accès aux rues perpendiculaires; suppression des stationnements le long des trottoirs, trop contraignants, en termes de manœuvre sur le site propre.

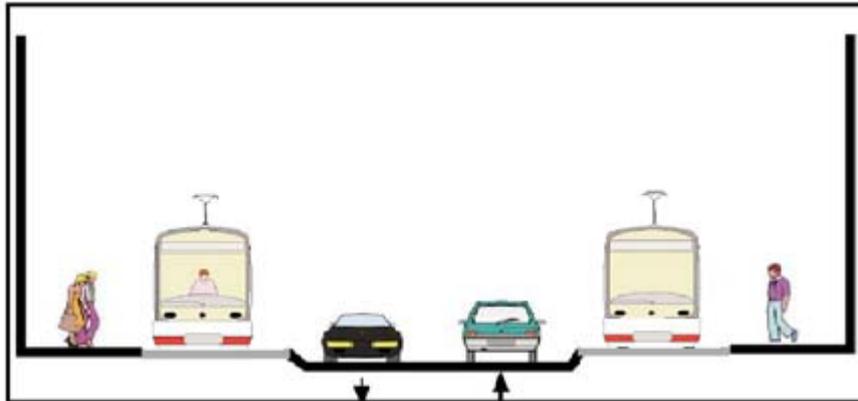


Figure II. 22 Insertion bilatérale du tramway [57]

Insertion axiale : Afin d'éviter de gêner les accès riverains et les accès aux rues perpendiculaires, il est possible de positionner le tramway au centre de la chaussée. Cette insertion est la plus favorable pour le transport en commun, puisque toutes les interactions avec les flux tournant à droite sont éliminées. En effet, cette position permet un sens de circulation de part et d'autre de la plate-forme, chaque voie circulant dans le même sens que le tramway [57]. Elle favorise la bonne marche de ce dernier, facilite la circulation et la desserte des riverains en ce qui concerne les accès aux propriétés. Néanmoins cet aménagement présente des inconvénients en termes d'insertion urbaine puisqu'il crée une coupure au centre de l'espace urbain. Son traitement paysager doit faire l'objet d'une attention particulière lors de l'insertion du tramway.

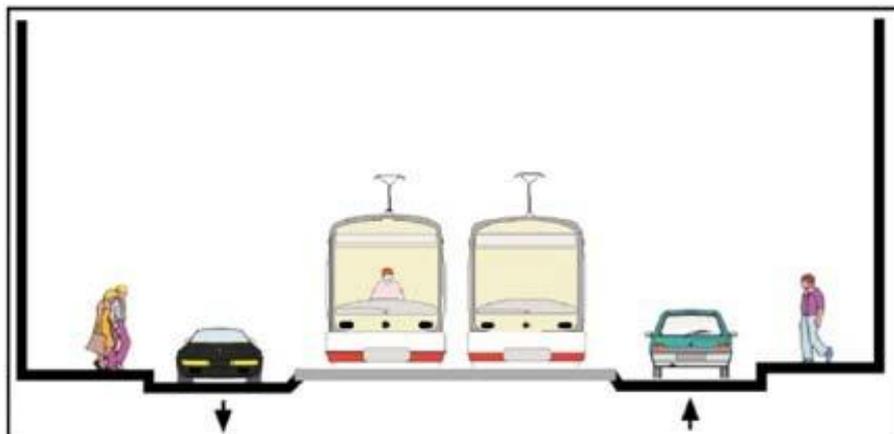


Figure II. 23 L'implantation axiale d'une plateforme de tramway [57]

Insertion latérale : Cette insertion permet de rendre l'espace public lisible par tous les usagers puisqu'il est composé d'un espace réservé au tramway juxtaposé à un espace réservé à la circulation générale [49]. Elle est utilisée dans les secteurs où les accès riverains et les rues perpendiculaires sont limités. Cette position permet une bonne desserte des équipements situés du côté où le tramway est inséré. Le tramway croise la circulation sur la droite de la voie de circulation longeant la plate forme, et ce, quel que soit le côté d'insertion du tramway. Ainsi, il convient de prévoir un terre-plein entre le tramway et les voies de circulation. La mise en place de cette insertion peut engendrer des accidents si les riverains ne sont pas habitués à ce type d'aménagement. De plus, pour accéder à un des arrêts, la traversée du site propre est obligatoire et le quai est au contact avec les voies de circulation générale [57].

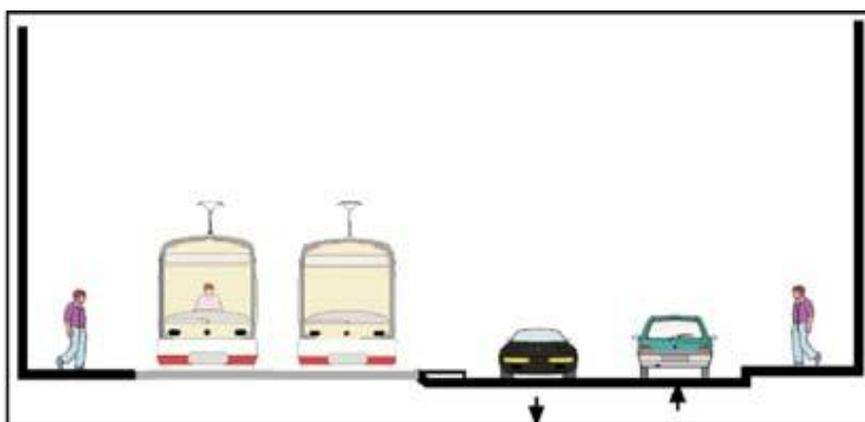


Figure II. 24 L'implantation latérale d'une plateforme de tramway [57]

II.2.3.2 L'aménagement des stations

Une station de tramway est composée de deux quais positionnés latéralement de chaque côté de la plate-forme tramway ; exceptionnellement, le quai est placé entre les deux voies, en position centrale. Pour faciliter l'accessibilité des personnes à mobilités réduites de plain-pied

dans les rames, la hauteur des quais est relevée jusqu'à celle du plancher de la rame du matériel roulant. En outre, afin d'assurer une accessibilité totale aux quais, l'espace entre le seuil de la porte et le nez de quai sera réduit à quelques centimètres. Lorsqu'un quai est aménagé sur le trottoir, les niveaux des trottoirs et de voirie sont adaptés pour permettre une continuité entre le quai et le trottoir et donc des circulations piétonnières le long de la ligne. Les cheminements des piétons de part et d'autre des stations sont sécurisés.

L'insertion des stations pour une nouvelle ligne du tramway met en valeur l'importance de ces actions ponctuelles. Les accès aux stations deviennent un clair référent de la future image de la ville. La conception des abris présente un aspect symbolique important. Elle reflète généralement la tradition des villes par sa structure innovatrice, elle est en même temps un icône de modernité, et apporte une solution très cohérente entre ses différents éléments structuraux et sa solution constructive. Dans l'ensemble, elle lui donne une présence formelle, attractive et très reconnaissable pour le tissu urbain. L'éclairage est conçu aussi comme une part intégrale du concept spatiale de la station, tenant compte, non seulement sa finalité fonctionnelle, mais aussi sa configuration esthétique et signalétique.



Figure II. 25 Exemple d'une station type d'un tramway

II.2.4 Aspect économique

II.2.4.1 Coût d'investissement

Réaliser une ligne de tramway dans une agglomération urbaine constitue un investissement important pour les autorités locales. En effet, Les coûts d'investissement recouvrent plusieurs charges, généralement comme suivant :

- l'investissement initial permettant la mise en service de l'infrastructure : il concerne à la fois l'investissement principal et les investissements liés au projet.
- les coûts des investissements complémentaires.

Ces coûts recouvrent notamment les coûts associés au projet (y compris ceux nécessaires au respect de la réglementation en matière d'environnement) et les coûts indirects obligatoires non liés strictement à la réalisation de l'infrastructure elle-même mais nécessaires au développement et au fonctionnement du service du tramway qu'elle permet (matériel roulant, équipements d'exploitation, centre d'exploitation et d'entretien, aménagement urbaine, parking relais, dépôt de service, etc.). Le coût d'investissement recouvre ainsi les dépenses en matière d'études, d'acquisitions foncières et de travaux de réalisation [W08].

Le coût d'investissement d'un projet de tramway est véritablement incertain en raison de contextes locaux différents. Mais, généralement, le coût d'investissement d'infrastructure d'un tramway se situe, en général, entre 13 et 22 M€/km [52]. Le (tableau II.1) montre la différence entre le coût d'investissement moyen pour un projet de tramway et les autres transports collectifs en site propre TCSP, cette comparaison représente un élément clé pour choisir le moyen de transport le plus adapté pour la ville en long terme du point de vue économique.

Systeme	BHNS	Tramway	Metro léger	Metro lourd
Coût d'investissement par Km	2-10 M€/km	13-22 M€/km	60-80 M€/km	90-120 M€/km
Coût d'un véhicule	300-900 k€	1.8-3 M€	3-4 M€	5-9 M€
Durée de vie des matériels	10-15 ans	30-40 ans	30-40 ans	30-40 ans

Tableau II.1. Coûts d'investissement des différents systèmes de TCSP [5]

II.2.4.2 Les coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation concernent les dépenses à réaliser après la mise en service de ligne du tramway. Ils intègrent, outre les coûts liés à l'exploitation des services de transports concernés par le projet (personnels, sécurité, sûreté,...). Les coûts d'exploitation ne concernent pas les coûts d'aménagement complémentaires ultérieurs et régénération de la ligne qui sont traités dans les coûts d'investissement [W09].

Les coûts d'exploitation consentis directement par le service offert par le tramway. L'estimation des coûts d'exploitation est à relier à la performance globale de la ligne. En particulier, la définition du niveau de service rendu à l'utilisateur fait en général partie des objectifs

stratégiques de tout projet de transport. L'estimation des coûts d'exploitation suppose en général la définition de la politique d'exploitation. Généralement, le coût d'exploitation d'une première ligne de tramway est situé entre 6-10 €/km [52].

L'efficacité commerciale du tramway consiste à minimiser les coûts d'exploitation tout en gardant une offre de qualité (fréquence, rapidité, confort), et cela est traduit par l'adaptation de l'offre à la demande et l'optimisation du trafic.

II.2.4.3 Les modes de financement du tramway

Pour un projet de tramway, il existe essentiellement deux domaines principaux de dépenses nécessitant un financement. Il s'agit du coût d'exploitation continu du système et les investissements spécifiques envisageant la construction, l'extension ou le renouvellement de la ligne du tramway. Pour la majorité des pays du monde, le tramway est subventionné par l'État, en effet ce système de transport est inclus dans le plan stratégique du développement et d'amélioration de la qualité de vie dans le milieu urbain qui nécessite également un soutien public comme les autres secteurs publics (santé, éducation, logement, etc.).

Par contre, la pression pour réduire la contribution de cette source de financement a augmenté récemment, en effet il est nécessaire de trouver d'autres sources de financement pour maintenir le système de tramway des niveaux de qualité acceptables, sans omettre le principe d'équité sociale. En outre, il ne faut pas oublier que le prix influe sur la qualité perçue des services par l'effet d'attente, sous l'idée que, en général, la qualité est associée à des prix élevés. Cette relation impose la contrainte que les changements de prix impliquent des difficultés pour les usagers pour utiliser le tramway, donc il est nécessaire de s'orienter vers d'autres sources financières.

Conclusion

À la fin de chapitre, nous pouvons dire que les transports en commun en site propre dont le rôle essentiel est d'accompagner l'activité de la ville constituent l'une des composantes essentielles du fonctionnement d'une ville doivent impérativement s'inscrire au pas de course des sociétés modernes toujours en perpétuelles mutations. Ce chapitre nous a permis de comprendre les étapes nécessaires pour réaliser un système de transport collectif en site propre, et notamment la construction d'une ligne de tramway, qui est généralement l'occasion d'une restructuration et d'une requalification urbaine, nous avons constaté que le tramway doit être considéré comme un projet urbain, et non seulement comme un moyen de déplacement, donc l'enjeu majeur d'une nouvelle ligne de tramway est de concevoir un vecteur de mobilité durable avec les stratégies publiques pour répondre aux problématiques du développement durable.

Pour conclure, nous disons que nous avons présenté le système tramway qui s'inscrit dans une logique davantage, exigeante, contraignante, située au cœur des sociétés urbaines actuelles en perpétuelles mutations. Nous avons pu aussi comprendre les différents aspects d'un système de tramway, cette connaissance est très importante dans le cadre de l'évaluation d'une ligne de tramway récemment implantée en Algérie.

**CHAPITRE
III**

**ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE DU
TRAMWAY DE CONSTANTINE**

Introduction

Dans les grandes villes, le transport en commun (tramway, métro, etc.), lorsqu'il est bien conçu, peut offrir une alternative intéressante à l'automobile. Donc, l'offre de transport proposée doit être en adéquation avec la demande de mobilité, en répondant aux attentes des citoyens et en minimisant les coûts liés à l'exploitation, tout en contribuant au développement d'un système de transport plus respectueux à l'environnement. Il s'agit donc de chercher à concilier la protection de l'environnement avec l'épanouissement de la mobilité. C'est précisément en ce qui trait au lien entre l'intérêt individuel procuré par l'usage des modes de transport et les conséquences de leur utilisation que se situe un enjeu majeur actuel [59].

En Algérie, l'État a progressivement pris conscience de la nécessité de prendre en compte les aspects écologiques et d'introduire la dimension environnementale à la stratégie du développement du pays [60]. En effet, la libéralisation des transports urbains vers la fin des années 1980 a amené une augmentation du parc de transport urbain, qui a provoqué une dégradation en termes de l'exigence environnementale avec une croissance remarquable des émissions de la pollution atmosphérique, en parallèle cette libération a causé une forte désorganisation du service et un déséquilibre entre l'offre et la demande. Afin de rétablir l'équilibre et de développer une mobilité urbaine durable, l'Etat a marqué son retour à partir de 2005 avec la création des établissements de transport urbain par bus dans les différentes wilayas, comme il a opté pour le déploiement des modes capacitaires tels que le métro pour la capitale Alger et le tramway pour les grandes villes [61]. En effet le secteur de transport connaît une véritable mutation, dans le cadre d'une politique visant à rendre ce secteur plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement durable du pays.

La meilleure utilisation de ces nouveaux moyens de transport en Algérie représente un défi pour les autorités locales, dont l'objectif est de ne piquer que dans un plan opérationnel à court terme mais à un plan stratégique à long terme. En effet l'assurance de la continuité de service à un niveau de qualité élevé pour cette génération et les générations à venir dans une démarches globales du développement durable par ses différents piliers consiste à exploiter ces moyens rationnellement, tout en utilisant les moyens et les outils nécessaires pour optimiser l'exploitation de ces systèmes, objectif de notre recherche.

Parmi ces différents outils, nous trouvons l'évaluation d'un système de tramway, que ce soit à priori comme à posteriori, sur les plans sociaux, économiques et environnementaux. Cette évaluation vise à mieux comprendre les évolutions de la ville autour du tramway, à mieux

connaître son impact sur l'environnement et les déplacements de l'agglomération et à mesurer son intérêt pour la collectivité.

À cet effet, nous allons à travers de ce chapitre d'évaluer la première ligne du tramway de Constantine afin de vérifier si le projet répond vraiment aux exigences du développement durable, sinon proposer des recommandations nécessaire pour améliorer l'exploitation de ce système récemment mis en service en Algérie.

Ce chapitre s'organise en quatre parties : nous présentons dans le prochain paragraphe le système de transport urbain au niveau de la Wilaya de Constantine d'une façon générale, ensuite nous nous focalisons dans la deuxième partie sur la description de la première ligne du tramway de Constantine dont nous présentons les caractéristiques de la ligne, ce qui nous mène à mettre l'accent aux troisième et quatrième parties sur l'évaluation socio-économique du tramway de Constantine. En rappelant que notre choix pour les indicateurs de l'évaluation s'est fait en fonction de leur pertinence et leur importance par rapport au développement de la mobilité urbaine durable, par contre et vue leur effet majeur sur la crédibilité du système, nous allons dédier un autre chapitre pour évaluer la sécurité lié à l'exploitation tramway de Constantine.

III.1 La mobilité urbaine à la ville de Constantine

Au vu de l'accroissement démographique et géographique de la ville de Constantine, et pour le bénéfice de ses habitants et de son économie, Constantine a besoin de transports qui allient simplicité, efficacité et enjeux du développement durable. Les autorités locales commencent à réfléchir sérieusement sur le futur de la mobilité urbaine de la ville. Malgré quelques améliorations, cette réflexion reste insuffisante en l'absence d'un cadre institutionnel adapté et favorisant la mise œuvre d'une véritable gestion de la mobilité urbaine. En plus, il faut remarquer qu'aucune réelle stratégie de déplacements urbains n'a encore vu le jour, à part la réalisation du projet du tramway qui conscient de sa transcendance. Ce dernier élément structurant capable non seulement de transformer physiquement la cité, ses moyens de mobilité et de transport, mais aussi de jouer sur l'esprit de la ville en provoquant une dynamique de futur. Cependant globalement, il s'avère aujourd'hui que la ville de Constantine n'est pas dotée d'une planification intégrée dans le secteur de la mobilité, ou bien ne dispose pas de planifications répondant à une stratégie urbaine plus globale ou qui ne répondent pas de manière satisfaisante aux besoins de déplacement actuels. En effet, les autres moyens de transports collectifs connaissent une faiblesse généralisée en matière de qualité, dans le sens où elles ne remplissent pas les conditions de transport satisfaisantes en termes de confort, de régularité de service et de sécurité offertes aux usagers, ce qui explique en partie leur image négative. En parallèle, la ville

souffre d'un manque de planification urbaine qui doit être revue pour prendre en compte une intégration harmonieuse et efficace des différents modes de transport urbain : Parcs relais, sites propres, pistes cyclables, et pour organiser le développement urbain autour des axes forts de transport public. Ces réflexions méritent notre attention dans ce paragraphe.

III.1.1 Présentation de la ville de Constantine

Constantine est une métropole du nord-est de l'Algérie, chef lieu de département. Elle est également la capitale régionale de l'Est. Par ses potentialités économiques et sociales, la wilaya de Constantine se place parmi les wilayas les plus importantes du pays. Elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 2297,20 Km² avec presque d'un million d'habitants. La wilaya de Constantine est composée de six daïras (circonscriptions administratives), chacune comprenant plusieurs communes, pour un total de douze communes (Figure III.1). Le Grand Constantine s'étale sur un rayon d'une quinzaine de kilomètres sous forme d'une agglomération comprenant une ville mère et une série de satellites, en effet le chef-lieu de la wilaya de Constantine, Comptant plus de 448 000 habitants, cette métropole est la troisième ville la plus peuplée du pays [W11].

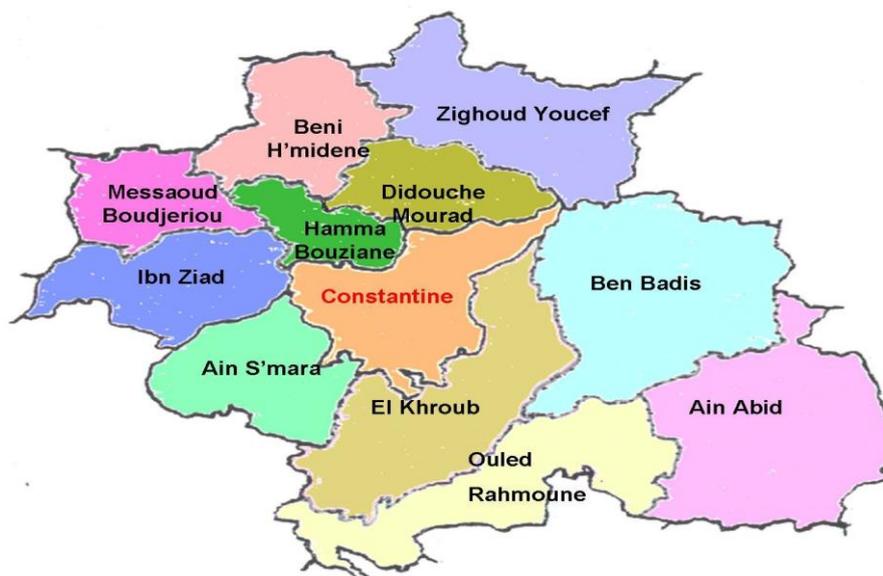


Figure III. 1. Carte des communes de la wilaya de Constantine

III.1.2 Le transport en commun à Constantine

Le transport en commun à Constantine a connu une évolution notable depuis leur création. Ce fut aussi bien le territoire desservi, que leur organisation, que leur mode de gestion qui a subi des mutations parfois radicales [62]. Aujourd'hui le transport en commun au niveau de la ville de Constantine est essentiellement dominé par le secteur privé constitué par des micros entreprises dont les bus et les taxis sont les moyens de transport les plus utilisés pour effectuer les déplacements des citoyens.

Les réseaux du transport urbain sont plus denses au cœur de la ville à cause de l'infrastructure routière étroite qui dépende de la topographie de la ville basée sur une géographie urbaine très complexes. En effet, cette contrainte géographique a éliminé la construction de beaucoup de modes de transport collectif en site propre notamment comme le métro léger à titre d'exemple.

III.1.2.1 Le périmètre de transport urbain

Le périmètre de transport urbain est la zone où le transport public est considéré comme urbain, au niveau de la Wilaya de Constantine. Le Wali a organisé le périmètre de transport urbain par une décision N° 1695/12 du 07/11/2012 [63]. Ce périmètre comprend cinq communes principales : Constantine, El-Khroub, Ain-Smara, El-Hamma Bouziane, Didouche Mourad (Figure III.2).

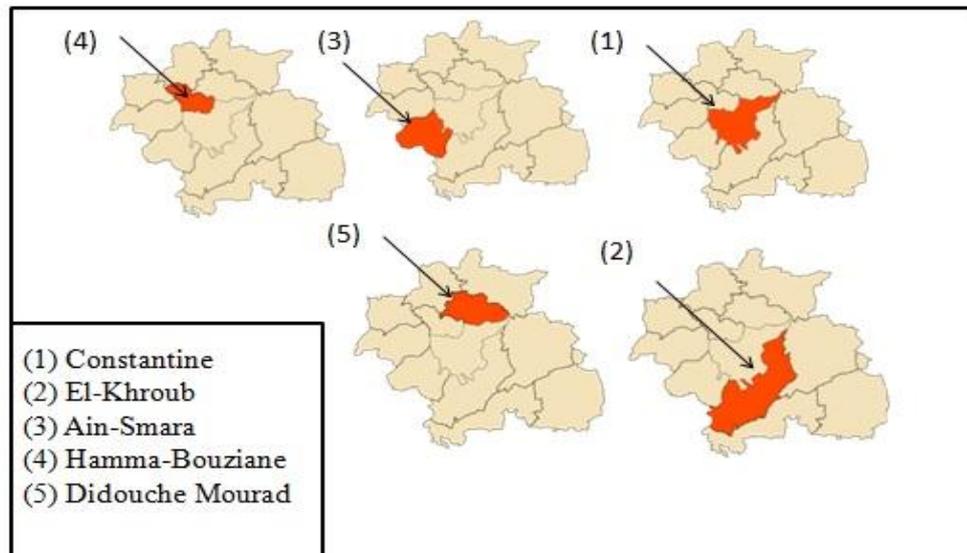


Figure III. 2 Les communes constituées le périmètre de transport urbain

III.1.2.2 Le transport urbain par bus

Selon la direction des transports de la Wilaya de Constantine, le périmètre de transport urbain compte 62 lignes urbaines exploitées par une flotte de 1152 bus dont 54 bus sont de la propriété de l'État représenté par sa Société de Transport Urbain et Suburbain de Constantine (ETUSC). Cette société a été créée en 2004 dans le chef lieu de la Wilaya sous le nom : Entreprise de Transport de Constantine (ETC) [64]. Malgré ce retour de l'État pour exploiter ce secteur très important dans le développement des villes, ça reste une initiative très timide depuis plus de décennie de sa première apparition (figure III.3), ce que explique l'anarchisme de l'exploitation des bus urbains dans la Wilaya à cause de la concurrence déloyale entre les opérateurs privés impliquée par des dégradations totales de la qualité service offert aux usagers face à l'intérêt d'augmentation des bénéfices.

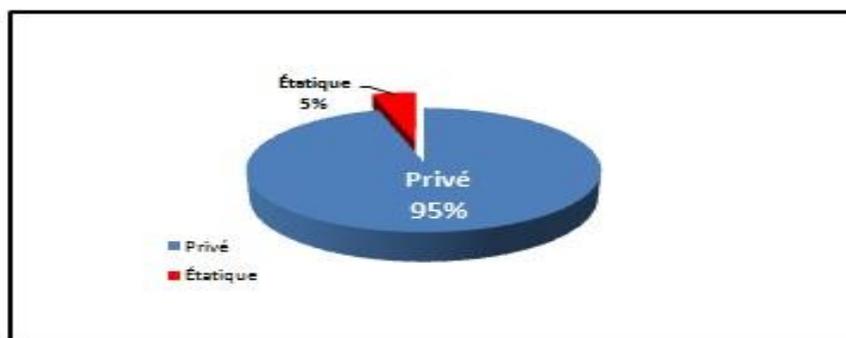


Figure III. 3 Répartition du par roulant par le propriétaire

III.1.2.2.1 Réparation des stations de bus dans la ville de Constantine

Nous nous intéressons dans cette partie aux stations de bus de la commune de Constantine seulement. Le (tableau III.1) montre les stations existents ainsi que la capacité de chaque station (nombre des lignes, la flotte, places offerts).

Station / Arrêt	Nombre de lignes		Parc roulant		Places offerts
	Privé	Étatique	Privé	Étatique	
Khmisti	15	5	139	21	11468
Boussouf	5	1	257	3	12924
K-Boumedouce	3	1	13	3	871
Kitouni	4	-	33	-	1223
Zaamouche	22	4	274	13	13279
Djebel el wahch	5	-	420	-	17250
Centre ville	-	5	-	14	1200

Tableau III.1 Répartition des stations de bus dans la commune de Constantine

D'après ce tableau, nous pouvons voir que les points de départ des bus urbain dans l'agglomération de Constantine sont répartis en deux catégories :

- **Les grandes stations** : celles de la station Khmisti et Zaamouche au centre ville, la station Boussouf à l'Ouest et la station Djebel el wahch à l'Est de la ville. Ces stations reliées le centre ville avec les grandes communes notamment dans le périmètre urbain (figure III.4).
- **Les petites stations** : celles de K.boumedouce, Kitouni Abdelamalek et quelques stations au plein du centre ville. Ces points de départ sont aménagés sous forme d'un arrêt. Ils relient les quartiers périphériques de faible densité de population avec le centre ville de Constantine. De plus, avec la création de la nouvelle ville Ali Mendjli, le réseau urbain principal des bus a pris la forme suivante, (figure III.4).

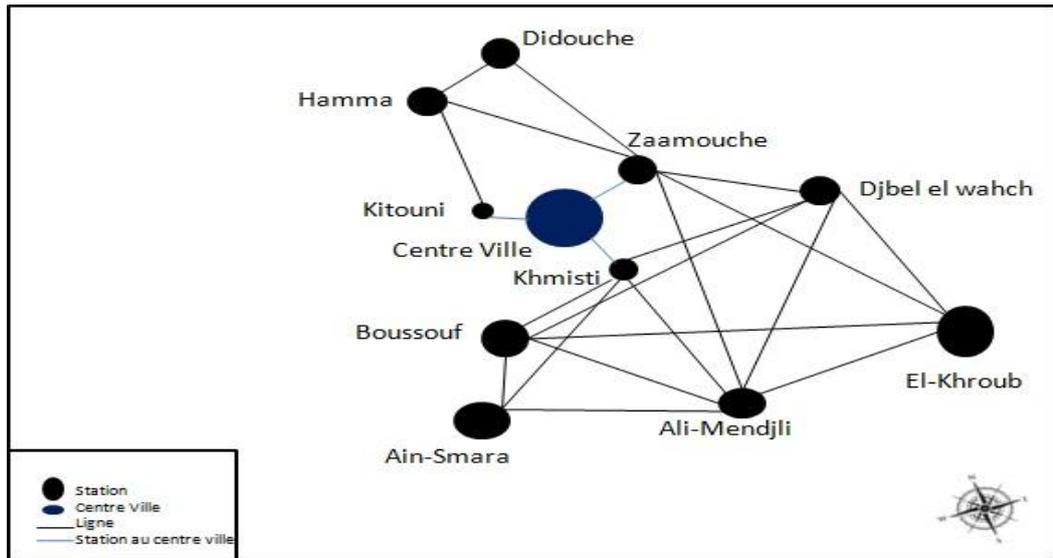


Figure III. 4 Le réseau urbain principal des bus en commun à Constantine

La figure montre qu’une grande mobilité urbaine est orientée vers la nouvelle ville Ali-Mendjli, notre champ de recherche dans les parties suivantes. Ce réseau compte 6 lignes avec une flotte de 310 bus distribués selon le tableau suivant :

De /Vers	Khmisti		Boussouf		Djbel El wahch		Zaamouche		El Khroub		Ain Smara	
Ali-Mendjli	25		87		123		6		47		22	
Privé / Étatique	14	11	84	3	123	-	-	6	47	-	22	-

Tableau III.2 Répartition de la flotte des bus De / Vers Ali-Mendjli

Nous pouvons remarquer que la ligne Djbel Elwahch- Ali Mendjli possède un nombre très implorant de trafic des bus. Ces informations seront utiles pour étudier l’insertion d’une ligne de tramway dans l’agglomération d’Ali-Mendjli. Cette insertion sera détaillée dans les prochaines sections.

III.1.2.3 Le transport urbain par taxi

Les taxis sont considérés comme un complément du transport en commun, en effet ce moyen de transport particulier contrairement aux autres modes de transport de masse qui transportent les usagers entre deux points prédéterminés, les taxis assurent une accessibilité plus grandes selon la nécessité de l’individu. Ces taxis doivent être entretenus en bon état de marche et respecter les bonnes conditions d'hygiène. Ils doivent permettre le transport assis des voyageurs et être équipés du matériel de secours (notamment un extincteur) et de signalisation nécessaire [65].

Au niveau du périmètre urbain de la ville de Constantine, la loi organise les taxis urbains. L'autorisation d'exploitation des taxis est délivrée de la part du directeur des transports de la Wilaya selon des conditions prédéfinies. La ville de Constantine compte 2929 licences de taxi urbain attribuées et en exploitation. Ces licences sont réparties en trois types principaux ou chaque type doit avoir des indices spéciaux et des fonctions de transport des individus dans un espace bien précisés [66] :

- **Taxi urbain collectif** : le véhicule utilisé pour l'exploitation de ce type de taxi doit être en couleur jaune et comporter 5 places au maximum, et porter un dispositif lumineux mentionnant « Taxi collectif urbain » ainsi que le nom de la wilaya en lettres et le numéro d'ordre chronologique attribué au véhicule en chiffres. Le nombre de ce type de taxi dans la ville de Constantine est de 628 taxis distribués sur 41 stations du périmètre urbain dont chaque station dessert un lieu prédéfini par la direction de transport en coordination avec la commune concernée.
- **Taxi individuel** : au contraire du précédent type, ce taxi n'a pas une couleur spécifique ou toutes les couleurs sont autorisées sauf le jaune. De plus, ce type de taxi individuel doit avoir un compteur pour la tarification et un dispositif lumineux mentionnant taxi. Le dispositif doit être allumé lorsque le compteur est sur la position libre, éteint lorsqu'il est sur la position occupée et couvert par une gaine opaque lorsqu'il est hors service. Les voyants répéteurs rouges et blancs faisant partie des dispositifs lumineux et doivent être maintenus en état de fonctionnement pour indiquer le tarif pratiqué. Le taxi individuel doit être, en outre, équipé d'un taximètre, qui doit être installé à l'intérieur du véhicule d'une manière à permettre au conducteur de le manipuler de son siège et à l'usager d'en contrôler distinctement les indications de jour comme de nuit. Le nombre de ce type de taxi circule dans le périmètre urbain de Constantine est de 2301 véhicules. Il représente 79 % de l'ensemble des licences attribuées.
- **Les sociétés de taxis** : la loi algérienne a autorisé la création des sociétés de taxis en 2001 avec une flotte de 30 véhicules au minimum. Cependant, la première société implantée à Constantine c'était en 2008 quand l'État a réduit le nombre des véhicules à 15 seulement. Les véhicules des sociétés de taxis, sont assujettis aux mêmes prescriptions relatives aux signes distinctifs que celles prévues pour les véhicules des services taxis individuels. Les véhicules doivent, en outre, comporter au niveau des portières arrière des inscriptions portant sur la dénomination, le logo de la société et le numéro de téléphone. De plus, le véhicule doit être équipé des moyens de communication en relation avec l'activité. Aujourd'hui, la ville de Constantine compte 58 sociétés de taxis avec un parc roulant de 798 véhicules.

III.1.2.3.1 Diagnostic de la situation actuelle

C'est frappant, aucune application réelle de la réglementation sur le terrain n'est appliquée. Cette réglementation n'existe que sur le plan administratif malgré que la loi algérienne existe pour l'organisation du transport urbain par taxi. En effet, les taxieurs imposent leur logique dans l'exploitation de ce moyen de transport d'une façon anarchiste, le non respect des horaires de travail ainsi que les destinations desservis. Ce comportement a permis aux transporteurs sans autorisation (clandestins) d'être des alternants et même des concurrents directs pour les taxieurs notamment dans la nuit. Malgré qu'il n'y a pas un chiffre réel du nombre des clandestins au niveau de la ville de Constantine, mais ils occupent des axes très importantes en matière de la mobilité urbaine de la ville. Si nous divisons le service offert par le taxi (calculé à la base des places offerts : nombre de véhicule * 4 places) donc 14908 places sur la population desservie (448000 habitant) soit plus de 3% donc un ratio d'un taxi pour 120 habitants. Cela représente un chiffre très important en matière de la disponibilité de service. De ce fait, premièrement l'intervention de l'État reste incontournable et les autorités locales doivent renforcer le contrôle des exploitants par l'augmentation du nombre des inspections effectuées et l'assurance de la disponibilité du service même aux heures tardives, sur un plan opérationnel à court terme et deuxièmement, l'orientation de l'exploitation du transport urbain par taxi vers un seul opérateur sous forme d'une grande société avec un cahier de charges spécifique qui assure la bonne gestion et ça ce fait sur un plan organisationnel à long terme.

III.1.2.4 Les télécabines

Une télécabine est un système de transport par câble, comprenant plusieurs petites cabines, dont la capacité varie de 2 à 16 places, disposées sur un câble unique à la fois porteur et tracteur, qui forme une boucle à mouvement généralement unidirectionnel. La télécabine de Constantine est un appareil de transport en commun qui traverse les gorges de l'oued Rhummel pour relier la partie Est de la ville, au niveau de la place Tatache Belkacem (ex-rue Thiers), à la partie Ouest au niveau de la cité Emir Abdelkader, en passant par l'hôpital CHU Ben Badis. Compte-tenu du dénivelé et du survol de la gorge de l'oued Rhummel, (figure III.5). L'option du transport par câble était la meilleure solution économique, étant donné le côté pittoresque de la région et le panorama magnifique dont on bénéficie du téléporté, la ligne attire également les touristes [67].

Cet appareil a été construit entre 2007 et 2008, par l'entreprise suisse Garaventa. C'est l'un des trois téléportés similaires qui ont été installés dans ce pays à la même période. Comme pour les autres appareils du même type en Algérie, la télécabine de Constantine dispose d'une

gare intermédiaire qui permet à la ligne de changer de direction. Depuis sa mise en service en 2008, cette télécabine constitue une nouvelle solution de transport efficace et rentable pour une grande partie des 100 000 personnes qui vivent dans le nord de Constantine.

Au bout de quatre ans d'exploitation, le constat est que l'installation remporte un vif succès auprès du public. En effet, cette télécabine conçue initialement pour transporter 500 personnes à l'heure, le nombre réel est stabilisé à deux millions usagers par an avec une moyenne de 10000 passages par jours, et un record d'affluence établie à 16000 voyageurs [W12].

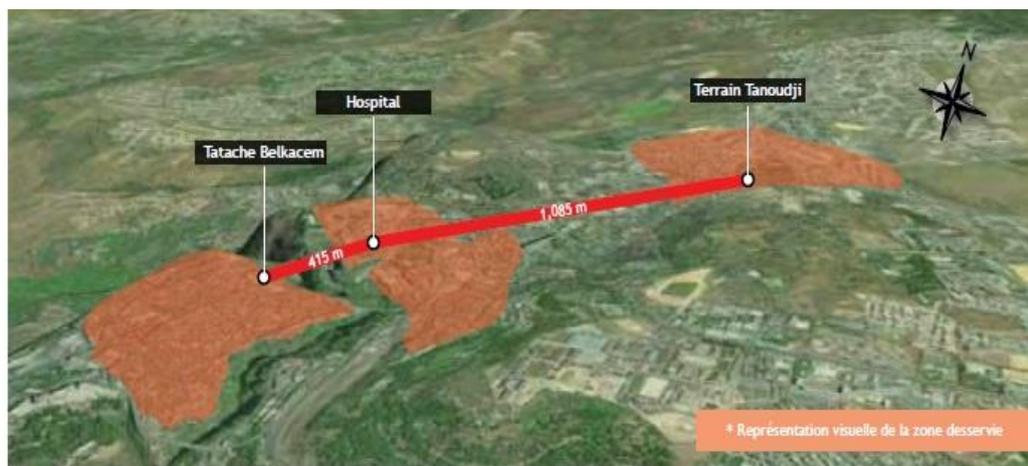


Figure III. 5 Les zones desservies par la télécabine de Constantine

Malgré sa contribution pour l'amélioration de la mobilité urbaine à Constantine et vu que ce moyen est très sensible en matière de sécurité, il a connu beaucoup de pannes qui nécessitent des arrêts périodiques pour les réparer. Cela a diminué la fiabilité de ce système et pour ce fait le nouvel exploitant de ce mode en Algérie (ETAC) Etablissement du Transport Aérien par Câble a décidé de lancer une grande opération de la maintenance pour une durée de deux ans. Il s'agit donc d'une révision générale de tout le système électronique, y compris les stations et le contrôle de l'ensemble des équipements dont les piliers et les télécabines et également l'itinéraire selon les normes internationales. A noter que de nouvelles méthodes de gestion et de maintenance en matière d'expertise et de maîtrise technique du système de fonctionnement seront données pour assurer la sécurité et la fiabilité à cet équipement.

III.2 Présentation du système de tramway de Constantine

L'histoire du tramway de Constantine a été commencée lorsque le ministère des transports à travers l'Entreprise de Métro d'Alger (EMA) a décidé de doter les grandes villes en Algérie par ce moyen moderne de transport. La phase d'études a été attribuée aux bureaux d'études français, il s'agit d'Ingerop et Egis-rail alors que les travaux ont été lancés en 2008 par

le sous groupement italien PIZZAROTTI qu'était en charge de l'ingénierie générale ainsi que le génie civil. Cependant, le sous groupement français ALSTOM Transport était en charge de fournir le système d'exploitation (voies, équipements d'énergie, caténares, signalisation ferroviaire, télécommunications, billettique), les équipements de l'atelier-garage de Zouaghi ainsi que le matériel roulant.

Le tramway de Constantine inauguré officiellement le 04 juillet 2013, est exploité par la société d'exploitation des tramways en Algérie (SETRAM Spa) dont la société française RATP Dev est actionnaire à 49 %, aux côtés de l'ETUSA à 36 % et de l'Entreprise Métro d'Alger (EMA) à 15 %. La maintenance du parc roulant ainsi que l'infrastructure est dédiée à la compagnie industrielle des transports algériens (CITAL).

Le système de transport du Tramway de Constantine comprend une ligne à double voie d'une longueur d'environ 8 km et comporte 10 stations. Cette ligne est empruntée par une flotte de rames Citadis 402 d'Alstom alimentées électriquement par les lignes aériennes de contact. Les pôles d'échanges bus ainsi que les pôles culturels sont pris en compte dans la conception du système. Le profil en long présent de fortes pentes sur l'ensemble du tracé, les pentes maximales constatées sont de 8,2 % sur une longueur de 36m et de 8% sur une longueur de 123m. La ligne de tramway de Constantine dessert des zones urbaines, périurbaines, et en voie d'urbanisation. Le système devra donc satisfaire aux exigences liées à une insertion et une circulation dans un milieu urbain dense [68].

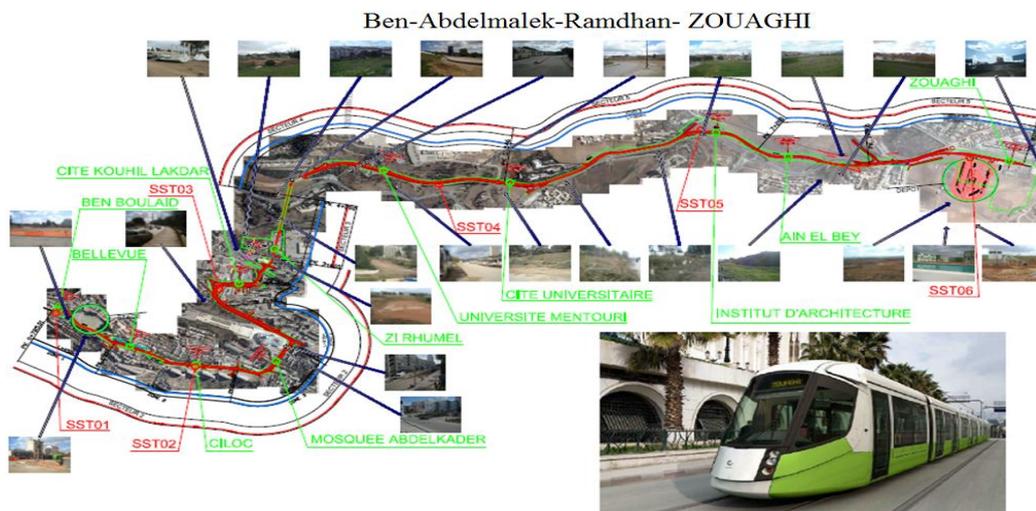


Figure III. 6 Vue générale du tramway de Constantine

L'objectif du projet tramway de Constantine est l'amélioration de l'offre de transport en commun dans la ville de Constantine. Cette ligne augmente l'accessibilité des usagers des zones d'influences directes aux zones desservies par la ligne. Elle favorise la décongestion du centre

ville en permettant une mobilité plus aisée. En d'autres termes, un ensemble d'externalités négatives dues à l'activité transport sera diminué par l'effet tramway.

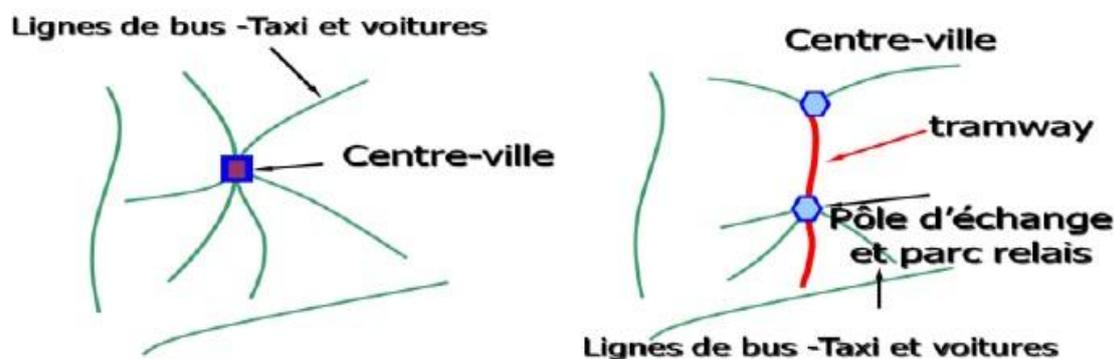


Figure III. 7 L'influence du tramway de Constantine

III.3 L'impact du tramway de Constantine sur l'environnement du corridor

L'insertion d'une nouvelle ligne de tramway dans une zone urbaine est accompagnée toujours par des effets directs et indirects sur l'environnement desservi. Désormais, le tramway est considéré comme un moyen du transport durable. Leur impact sur l'environnement doit répondre aux exigences prédéfinies par des spécialistes dans des différents domaines. Les indicateurs utilisés pour cette étude sont des indicateurs quantifiables orientés sur l'impact, déjà présentés dans le premier chapitre.

Pour aboutir à nos objectifs, nous avons choisi dans ce travail trois indicateurs les plus pertinents pour notre recherche que nous allons les analyser et vérifier leur conformité avec l'implantation du tramway de Constantine.

III.3.1 La compatibilité électromagnétique

La compatibilité électromagnétique (CEM) est la capacité d'un ou de plusieurs équipements électriques ou électroniques à fonctionner sans causer de perturbations électromagnétiques intolérables à quoi que ce soit dans cet environnement. Un système est compatible électro magnétiquement avec son environnement s'il répond à trois critères:

1. Il ne provoque pas d'interférences avec d'autres systèmes ;
2. Il n'est pas susceptible d'émissions provenant d'autres systèmes ;
3. Il ne provoque pas d'interférence avec lui-même.

L'objectif de la compatibilité électromagnétique est de faire fonctionner correctement, dans le même environnement électromagnétique, différents équipements qui utilisent des phénomènes électromagnétiques et d'éviter tout effet d'interférence [69]. La CEM comporte également deux aspects:

- **Émissions:** capacité d'un système électrique ou électronique à ne pas générer de niveaux excessifs de perturbations électromagnétiques ;
- **Immunité:** capacité d'un système électrique ou électronique à être suffisamment immunisé contre les perturbations électromagnétiques externes.

III.3.1.1 La compatibilité électromagnétique ferroviaire

Une voie ferrée est un système d'ingénierie complexe. Par conséquent, la construction d'une nouvelle infrastructure ferroviaire ou la modernisation d'une infrastructure ferroviaire existante nécessite une vue d'ensemble des systèmes. La théorie électromagnétique constitue donc un fondement important du système ferroviaire moderne. Cependant, le fonctionnement sûr et fiable des systèmes électriques / électroniques ferroviaires est une préoccupation majeure. Par exemple, les interférences électromagnétiques (IEM) avec les systèmes de signalisation ou de contrôle des trains peuvent avoir des conséquences fatales [70]. Le chemin de fer est un système hautement intégré de haut niveau et il peut y avoir des interactions entre plusieurs de ses composants. C'est pourquoi, lors de l'insertion d'un nouveau système ferroviaire, le processus de gestion de la compatibilité électromagnétique est mis en œuvre, au niveau du système, afin de garantir la conformité de l'ensemble du projet avec les exigences en matière de compatibilité électromagnétique applicables et de garantir son haut niveau de performance et de fiabilité. Dans le secteur ferroviaire, les sous-systèmes concernés par le processus CEM sont les suivants:

- Matériel roulant.
- Système de signalisation ferroviaire.
- Le système de télécommunication.
- Le système d'alimentation de traction.

Chaque sous-système doit être conforme aux exigences de CEM afin de ne pas présenter d'anomalie fonctionnelle lors de son fonctionnement en ce qui concerne:

- Son propre environnement CEM interne ainsi que la proximité électrique des autres sous-systèmes (intra-système) ;
- Environnement électromagnétique externe du site d'exploitation (inter-système).

III.3.1.2 Références normatives pour la CEM ferroviaire

La norme CEM EN 50121 [71] est utilisée pour caractériser l'environnement électromagnétique dans les systèmes ferroviaires. Il vise notamment à limiter les niveaux d'IEM des infrastructures ferroviaires à l'environnement extérieur. Cette norme EN 50121 décrit les

méthodologies et les limites à appliquer, relatives aux rayonnements électromagnétiques et à l'immunité des équipements, ainsi qu'aux véhicules et infrastructures ferroviaires [72]:

- Partie 1: Informations générales.
- Partie 2: Émission du système ferroviaire dans son ensemble vers le monde extérieur.
- Partie 3-1: Matériel roulant - Trains et véhicules complets.
- Partie 3-2: Matériel roulant – Appareils.
- Partie 4: Emission et immunité des appareils de signalisation et de télécommunication.
- Partie 5: Émission et immunité des installations d'alimentation électrique fixes et des équipements associés.

III.3.1.3 Le processus de gestion de la CEM d'un nouveau système ferroviaire

La compatibilité électromagnétique d'un nouveau système ferroviaire est établie à travers les différentes étapes suivantes:

- Analyses de compatibilité électromagnétique et études d'interfaces et de systèmes ou d'implémentations particulières ;
- Guides de conception et règles d'installation, contraintes sur le câblage électrique ;
- Essais de compatibilité électromagnétique en usine, sur des équipements et / ou des sous-systèmes (normes ferroviaires et / ou industrielles pour les mesures d'émission et d'immunité) ;
- Essais de compatibilité électromagnétique sur site du système ferroviaire intégré.

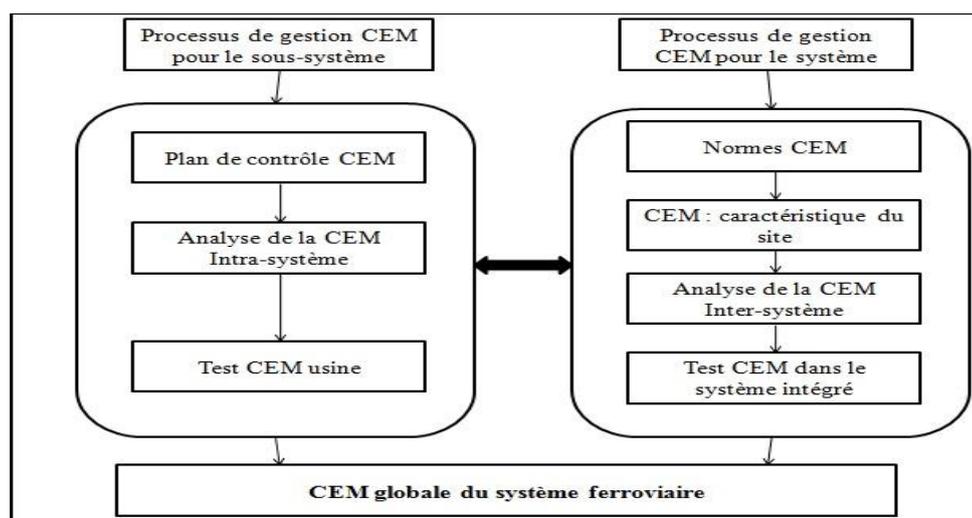


Figure III. 8 Le processus de la CEM pour un système ferroviaire

III.3.1.4 Les essais de la de compatibilité électromagnétique

Afin d'atteindre une CEM, deux aspects peuvent être identifiés, les émissions d'interférences et de l'immunité aux interférences. Pour qu'une évaluation CEM soit complète, les deux aspects doivent être pris en compte. D'un point de vue des essais pratiques, ceux-ci peuvent également être décomposés en éléments conduits et en éléments rayonnés [73]. Cette composition est illustrée à la figure III.9.

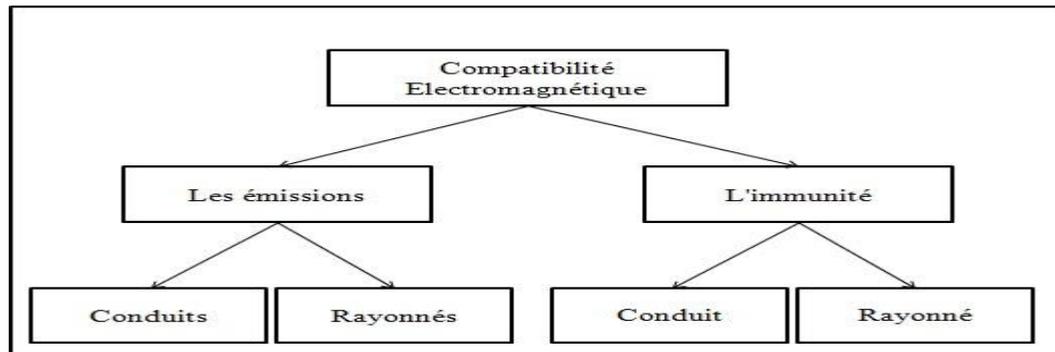


Figure III. 9 Répartition des tests CEM

III.3.1.5 Procédure de mesure de la CEM pour le tramway de Constantine

Le plan de test d'intégration CEM présente les tests à effectuer sur site pour vérifier les performances du système de transport ferroviaire en termes de perturbations électromagnétiques. Les tests présentés portent sur la conformité du système principalement par rapport aux exigences de la norme EN 50121-2 [74]. Ces méthodes d'intégration consistent en différentes séquences de tests:

- Émissions de l'ensemble du système ferroviaire ;
- Émissions des sous-stations de traction.

III.3.1.5.1 Mesure sur l'ensemble du système

La première campagne de mesure a été réalisée à l'extérieur du tram, en un point situé à 10 mètres du centre ferroviaire. L'équipement de mesure a été ajusté à une hauteur d'environ 1,5 mètre au-dessus du sol. Le protocole de mesure et les limites sont spécifiés pour les fréquences comprises entre 9 kHz et 1 GHz. La figure III.10 montre le champ magnétique ambiant local à 10 mètres du centre du rail (le tramway n'est pas visible), tandis que la figure III.11 montre les mesures prises au même endroit lorsque le tramway passe devant l'antenne de test. La courbe verte correspond à la température ambiante tandis que la courbe rouge définit la mesure du champ magnétique du système ferroviaire (l'unité de mesure est de microampère par mètre).

Lors de l'analyse du spectre à deux mesures, nous notons que le champ magnétique produit par le tram est conforme à la norme européenne.

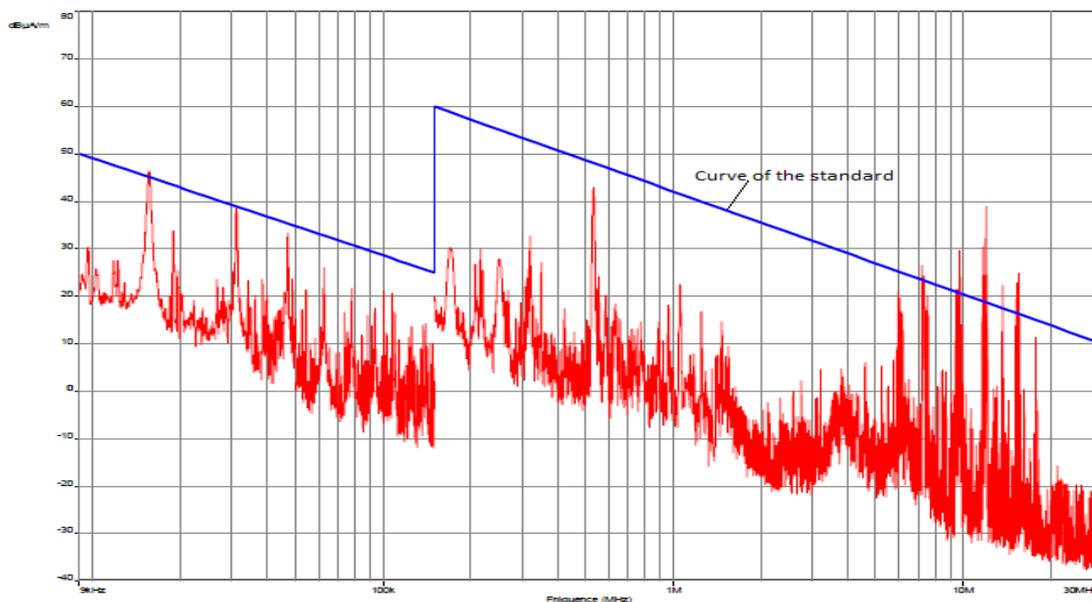


Figure III. 10 Mesure ambiante hors le matériel roulant

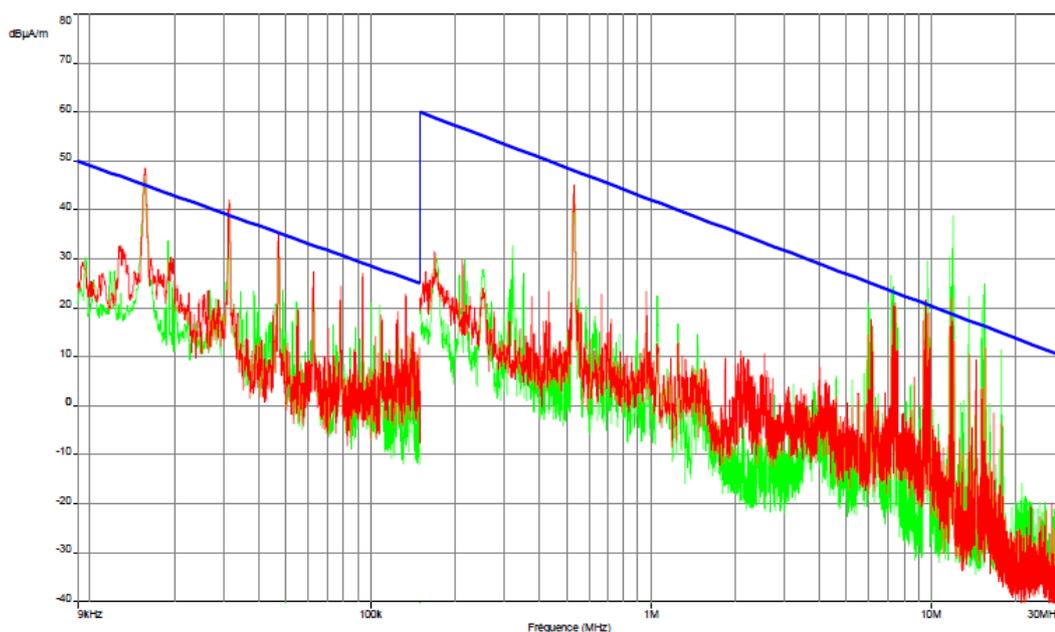


Figure III. 11 Mesure avec un passage du tramway

III.3.1.5.2 Mesure dans la sous-station électrique

La deuxième campagne de mesure a été réalisée en dehors de la sous-station, en un point situé à 3 mètres de la clôture extérieure et au moins à 10 mètres du centre de la voie ferrée. Le protocole de mesure et les limites sont spécifiés pour les fréquences comprises entre 9 kHz et 1 GHz. Les résultats du test sont présentés aux figures III.12 et III.13. Les mesures obtenues sont inférieures à la limite de la norme.

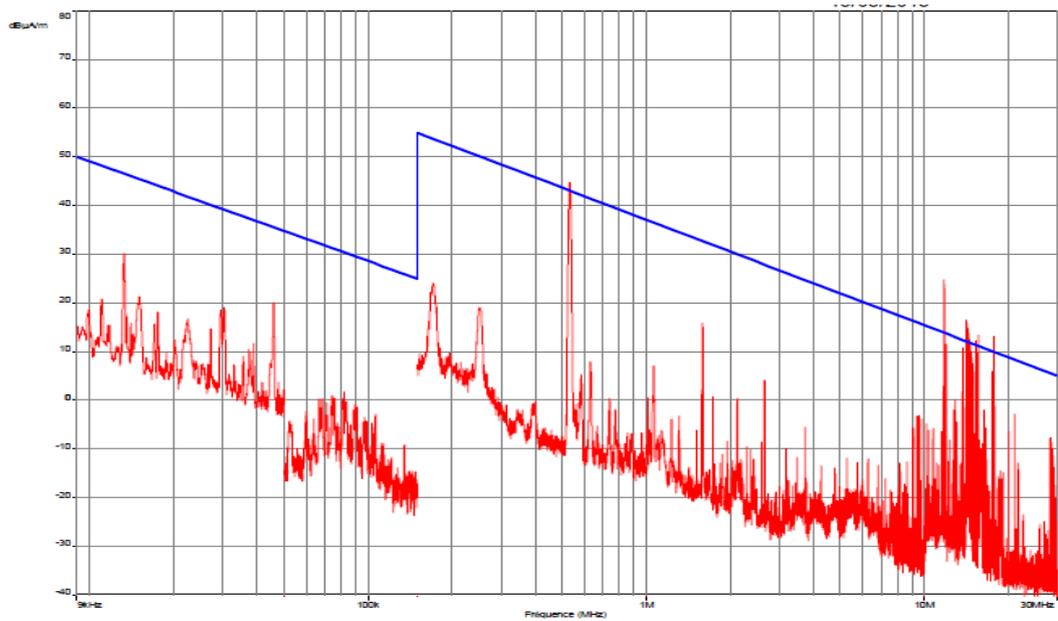


Figure III. 12 Mesure ambiante pour la sous-station

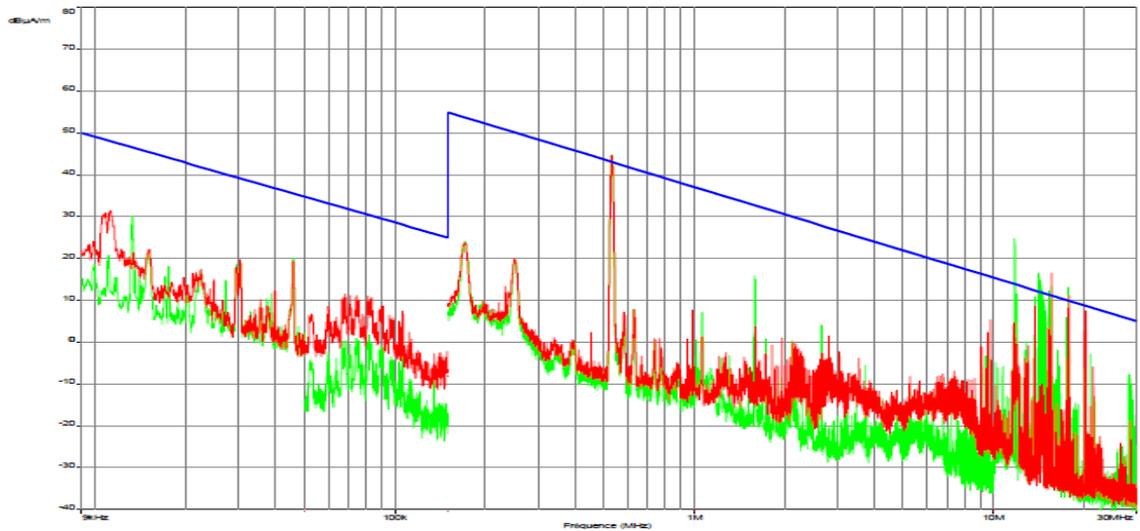


Figure III. 13 Mesure lors du passage du tramway

III.3.1.6 Synthèse et remarques

La gestion de la CEM dans un environnement ferroviaire est une tâche importante qui nécessite une approche système et une bonne compréhension des normes et des exigences internationales respectives en matière d'environnement [75]. Cette partie fournit un bref aperçu de l'analyse de la gestion de la compatibilité électromagnétique et présente un résumé des processus nécessaires pour garantir la conformité du nouveau système ferroviaire aux exigences de compatibilité électromagnétique applicables, ainsi que pour son haut niveau de performance et de fiabilité. Pour conclure, nous pouvons dire que les émissions électromagnétiques de la ligne du tramway de Constantine ont été maintenues avec succès dans le respect des normes internationales de la CEM.

III.3.2 Les performances acoustiques du tramway de Constantine

Le bruit est devenu une nuisance importante en zone urbaine au point que selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 40% de la population des grandes villes dans le monde sont exposées à des niveaux de bruit excessifs, principalement dû aux transports terrestres [76]. Il devient donc nécessaire de trouver de nouveaux moyens de lutter contre le bruit en zone urbaine. Effectivement afin d'éviter l'impact négatif du transport public dans les zones urbaines, il est nécessaire de mettre en place des moyen de transport plus durable, le tramway représente l'un de ces moyens, mais comme c'est un mode de transport ferroviaire le contact roue-rail fait l'apparence de quelques sources de bruit dû aux plusieurs causes notamment celles qui sont considérés comme des défauts. De ce fait, il est nécessaire d'analyser les performances du tramway de Constantine vis-à-vis à la réglementation existante et les normes spécialisés, afin de vérifier l'impact de l'introduction de cette ligne de tramway sur l'environnement qui peut créer des situations particulièrement gênantes. Ainsi, arriver à mieux prendre en compte la perception et les effets du bruit dans les projets futurs et aussi d'explorer la réglementation adaptée au cas du bruit des tramways.

III.3.2.1 Classification des sources de bruit du tramway

Dans cette partie nous allons traiter la modélisation des différentes sources d'émission acoustique de ce type de véhicule ferroviaire. Généralement, l'émission acoustique des tramways est appréhendée à deux échelles. La première échelle est intrinsèque et dûe au fonctionnement de quelques composants du tramway dont les sources sont exclusivement liées au matériel roulant. Par contre la deuxième échelle d'émission est due au contact des roues de bogies avec le rail nommé bruit de roulement dont les émissions résultent de l'interaction du véhicule avec l'infrastructure.

III.3.2.1.1 L'émission de bruit intrinsèque du tramway

La figure III.14 montre les principales sources de bruit intrinsèque sur un tramway, ces émissions ont généralement une influence sur le confort des usagers à l'intérieure de la rame notamment dans la toiture. La figure illustre la rame Citadis 402 d'Alstom exploitée pour la ligne du tramway de Constantine.



Figure III. 14 Vue de côté de la rame Citadis 402 avec positionnement des principales sources acoustiques intrinsèques

- les unités de ventilation et d'air conditionné (notées UVAC1 et UVAC2) ;
- les convertisseurs, ou hacheurs, pour les moteurs de traction (notés CMT) ;
- les équipements auxiliaires (notés EAD).

Le concepteur de la gamme Citadis 402, Alstom fait conscient de l'importance croissante du confort acoustique dans le transport urbain, il a mis en œuvre, lors du développement des véhicules, un important programme de traitement de l'acoustique pour ce qui concerne le bruit, tant intérieur qu'extérieur.

Lorsque le tramway est en mouvement, le bruit des appareils en toiture sont négligeables devant le bruit de roulement et bloc de traction. Les équipements les plus bruyants sont les blocs de ventilation et d'air conditionné, celui du conducteur étant légèrement plus faible. Lorsque le tramway est à l'arrêt, des mesures réalisées avec et sans climatisation font apparaître des écarts de 8 à 10 dB(A), noté que ces émissions ne sont cependant significatives qu'aux faibles vitesses et sur des sites où le bruit de roulement est peu important [53].

Localisation / vitesse		0 km/h	50 km/h
Intérieur cabine (en mode ventilation confort)		61 dB(A)	72 dB(A)
Intérieur salle à 1,20 au dessus planché	au niveau des groupes de climatisation en mode ventilation	64 dB(A)	72 dB(A)
	dans les autres zones	62 dB(A)	

Tableau III.3 Les niveaux d'émissions de bruit à l'intérieur de la Citadis 402

D'après les résultats du tableau précédent, nous pouvons remarquer que les émissions acoustiques à l'intérieur du véhicule augmentent lorsque la rame est en mouvement ainsi que la plus grande valeur enregistrée est de 72 décibels avec la pondération A : dB(A), sachant que l'organisation mondiale du santé (OMS) recommande une limite maximale permissible d'exposition au bruit de 85 dB(A).

III.3.2.1.2 le bruit de roulement

Le bruit de roulement est la principale source du bruit pour les véhicules ferroviaires en mouvement au-delà de 20 Km/h. En effet, ce bruit est la composante prépondérante du bruit au passage d'un tramway et c'est le nombre total de roues de la rame conduisant à renforcer sa participation au bruit total [77]. Le bruit de roulement est produit par les vibrations suivies du rayonnement acoustique du matériel roulant et de la voie provoqués par une excitation au niveau du contact entre la roue et le rail. Le phénomène excitateur est le déplacement imposé à la roue et au rail par les défauts de surface présents sur les bandes de roulement (la rugosité). La puissance acoustique rayonnée dans l'environnement est la somme des contributions issues de chaque composant émissif, à savoir les roues du véhicule ainsi que le rail et les traverses de la voie.

Nous distinguons plusieurs types de bruit liés à l'interaction roue/rail : le bruit de roulement, le bruit d'impact et le bruit de crissement [78].

- **Bruit de roulement:** Les bruits de roulement sont générés par le roulement des roues sur le rail et sont causés par des forces dynamiques agissant en raison de la rugosité de la surface, certaines pertes de contact peuvent se produire localement dans la surface de contact mais le problème est généralement linéaire.

- **Bruit d'impact:** Un bruit d'impact survient lorsqu'une roue de tramway rencontre des discontinuités telles que des joints de rail provoquant ainsi des pertes de contact importantes.

- **Bruit de crissement:** le crissement est un bruit acéré en raison du frottement entre la roue et la voie pendant que le tramway contourne une courbe avec de petits rayons.

D'une façon générale, les sources de bruit de roulement se concentrent au passage des roues des bogies, notamment les bogies moteurs, sous la forme de bruit large bande. S'y ajoutent parfois des raies fréquentielles au voisinage des roues, dont la fréquence varie avec la vitesse, probablement dues à des contributions moteurs ou équipements électriques voisins [53].

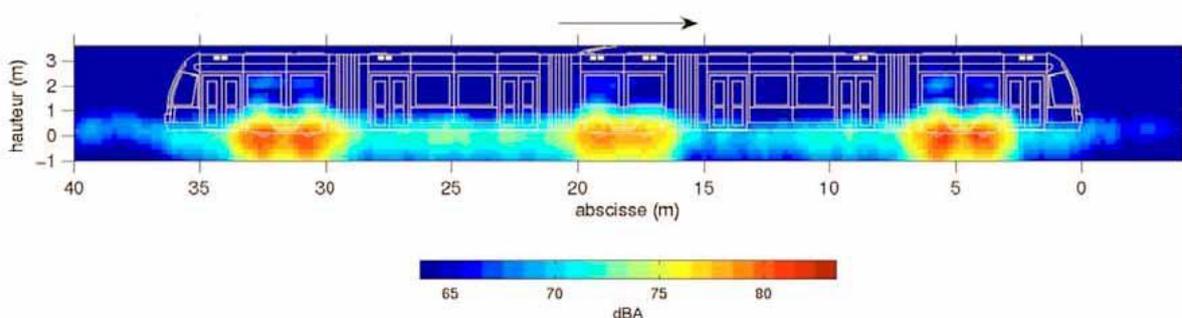


Figure III. 15 Exemple de cartographie acoustique réalisée sur un tramway à 40 km/h [53]

Afin d'absorber ces émissions acoustiques, les rames du tramway de Constantine sont équipées de plusieurs éléments protectifs, notamment dans les bogies, les principales optimisations apportées par le concepteur sont :

- l'amélioration isolation caisson polyester au-dessus des bogies ;
- l'isolation sous-châssis au droit des bogies dans le couloir ;
- l'utilisation des panneaux acoustique au droit des bogies ;
- le renforcement acoustique des jupes de bogie (bruit extérieur) par mise en place d'absorbant ;
- le renforcement acoustique des soufflets d'articulation (plis arrondis et toile renforcée) ;
- l'évolution de la fréquence de flexion de la bielle d'entraînement (vibratoire) ;
- l'introduction d'une vitesse de soufflage confort en cabine pour améliorer le confort conducteur ;
- le renforcement isolation vibratoire du groupe de refroidissement moteur en toiture ;
- le renforcement acoustique de la cellule polyester de cabine.

III.3.2.2 Cadre réglementaire des performances acoustiques

En l'absence d'un cadre réglementaire en Algérie qui détermine les seuils admissibles de bruit pour une nouvelle ligne du tramway, nous nous articulons sur la réglementation française dans ce domaine [53].

- **La loi cadre du 31 décembre 1992** : relative à la lutte contre le bruit prévoit la prise en compte des nuisances sonores aux abords des infrastructures de transports terrestres et introduit la notion de secteurs affectés par le bruit de part et d'autre des infrastructures de transports terrestres. Elle introduit également l'obligation faite aux constructeurs de bâtiments dans ces secteurs de prendre toutes dispositions techniques pour réduire les nuisances sonores auxquelles sont exposés les bâtiments.

- **Les décrets d'application de la loi du 31 décembre 1992** : constituent aujourd'hui le cadre de référence du dispositif national de prévention des nuisances sonores des populations.

- **Le décret 95-22 du 9 janvier 1995** : précise en particulier les conditions de limitation du bruit des infrastructures dans le cadre de travaux d'aménagement ou d'extension du réseau ferroviaire. Ce décret a complété le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pour préciser, en son article 8-1, le contenu des études d'impact relatives au bruit. Ce dispositif réglementaire a par ailleurs été complété par l'arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires, qui précise notamment les indicateurs, les exigences acoustiques à respecter et les spécifications d'évaluation applicables au bruit ferroviaire.

La méthodologie introduite consiste tout d'abord à classer les différentes zones étudiées selon leur ambiance sonore existant avant travaux. Nous distinguons alors les zones dites d'ambiance sonore modérée, pour lesquelles le niveau de bruit équivalent est inférieur à 65 dB(A) le jour (6h00 - 22h00) et à 60 dB(A) la nuit (22h00 - 6h00), et les autres zones pour lesquelles ces conditions ne sont pas vérifiées.

Ces textes précisent les indicateurs utilisés et les niveaux sonores qui devront être respectés par le projet. Ces niveaux sonores admissibles dépendent de la nature des locaux exposés, du type de travaux réalisés et du niveau sonore ambiant préexistant. Pour ce qui concerne la mise en place d'une nouvelle ligne de tramways, et dans le cas où une zone respecte le critère d'ambiance sonore modérée seulement pour la période nocturne. C'est le niveau de 55 dB(A) qui s'applique pour cette période. Dans le cas d'établissements de santé, de soins et d'action sociale, les valeurs basses (60 dB(A) et 55 dB(A)) s'appliquent en toutes circonstances. Pour les salles de soins et les salles réservées au séjour des malades, le niveau de 60 dB(A) est abaissé à 57 dB(A) (voir Tableau III.4).

Usage et nature des locaux	If _{6h-22h} [FER]	If _{22h-6h} [FER]
Etablissements de santé, de soins et d'action sociale	60dB(A)	55dB(A)
Etablissements d'enseignement (hors ateliers bruyants et locaux sportifs)	60dB(A)	-
Logements en zones d'ambiance sonore préexistante modérée	60dB(A)	55dB(A)
Autres logements	65dB(A)	60dB(A)
Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	65dB(A)	-

Tableau III.4 Les niveaux sonores maximums admis dans la réglementation 1999

L'indice ferroviaire (If) : c'est le niveau de bruit de l'infrastructure tramway, il est obtenu par la soustraction de 3 dB (A) de L_{Aeq} ou niveau sonore équivalent : C'est la donnée qui caractérise le mieux un bruit fluctuant dans le temps, pondéré A.

III.3.2.3 Les normes

Les normes suivantes constituent les références méthodologiques à suivre pour appliquer les prescriptions réglementaires en vigueur [53]:

- la norme NF S 31-110 « Acoustique - Caractérisation et mesurage des bruits dans l'environnement – Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation » de novembre 2005,
- la norme NF S 31-088 « Acoustique - mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation » d'octobre 1996, qui constitue la méthode de mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire : l'application de cette norme est exigée par l'article 5 de l'arrêté du 8 novembre 1999 pour le contrôle in situ des contributions sonores de long terme en façade,
- la norme NF S 31-085 « Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage » de novembre 2002,
- la norme NF S 31-010 « Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dans l'environnement - Méthodes particulières de mesurage » de décembre 1996,
- la norme NF S 31-133 « Acoustique - Bruit des infrastructures de transports terrestres Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques » de février 2007, qui constitue la méthode nationale de référence pour la prévision des niveaux sonores en milieu extérieur : cette méthode est conforme aux spécifications exigées par l'article 6 de l'arrêté du 8 novembre 1999,
- la norme NF EN ISO 100521 (classement français NF S 31-077), « Acoustique – Mesurage de l'isolement dû aux bruits aériens et de la transmission des bruits de choc ainsi que du bruit des équipements – Méthode de contrôle », de septembre 2005, complétée par la norme NF EN ISO 717-1 d'août 1997 (classement français NF S 31-032-1), qui constituent les références pour la mesure et l'évaluation de l'isolement acoustique standardisé pondéré A des bâtiments,
- la norme NF EN ISO 3095. « Applications ferroviaires. Acoustique. Mesure du bruit émis par les véhicules circulant sur rail. » de novembre 2005. Cette norme européenne spécifie les conditions requises pour obtenir des résultats de mesure reproductibles et comparables des niveaux et des spectres du bruit émis par tous les types de véhicules circulant sur rails ou tous autres véhicules à déplacement guidé, excepté les véhicules de maintenance de la voie en fonctionnement.

III.3.2.4 Mesures de bruit émis par le tramway de Constantine

L'implantation de la ligne du tramway de Constantine est soumise à la réglementation relative au bruit des infrastructures ferroviaires. Elle s'appuie sur le L_{Aeq} de long terme pour donner des valeurs limites admissibles. Les niveaux de bruit sont mesurés selon la norme EN ISO 3095 : Applications ferroviaires. Acoustique. Mesure du bruit émis par les véhicules

circulant sur rail. Ainsi que par rapport à l'arrêté du 8 Novembre 1999, relatif au bruit des infrastructures ferroviaires. Les points de mesures ont été choisis en fonction de la sensibilité des immeubles et de la nature de leurs occupations (école, salle de soin), et également de la distance les séparant de la voie de tramway, notamment dans la zone urbaine. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

N° site	Description	Période diurne 6h-22h If (dB(A))	Période nocturne 22h-6h If (dB(A))
01	Logements en zones d'ambiance sonore	52.5	39.5
02	Logements en zones d'ambiance sonore	58.8	45.8
03	Etablissements de santé	62.1	49.1
04	Etablissements d'enseignement	57.1	44.0
05	Locaux à usage de bureaux	57.5	44.5
06	Locaux à usage de bureaux	59.4	46.4
07	Logements en zones d'ambiance sonore	60.6	47.6
08	Locaux à usage de bureaux	57.1	44.1
09	Champ libre	55.3	42.3
10	Champ libre	53.8	40.8

Tableau III.5 Niveaux sonores mesurés aux différents sites du tramway de Constantine

Pour chacune des deux périodes diurne (6h00-22h00) et nocturne (22h00-6h00). Un code de couleur permet de visualiser la situation de chaque site vis-à-vis de la réglementation (arrêté du 8 novembre 1999 relatif au bruit des infrastructures ferroviaires). Conformément à ce texte, c'est l'indicateur ferroviaire (If) qui doit être comparé aux seuils diurne et nocturne spécifiés dans la réglementation. En effet, les niveaux enregistrés sur les 8 sites sur 10 sont inférieurs au niveau réglementaire minimal et sur les deux sites restant (site 3 et site 7) les niveaux enregistrés sont respectivement 62.1dB(A) et 60.6dB(A) en période diurne donc légèrement supérieurs au niveau limite. Cependant, il s'avère que pour ces deux sites, le niveau mesuré en courant d'après-midi lors de la campagne de mesure avant le projet, est supérieur à 65dB(A) (respectivement 67.5 et 73.5dB(A)) et ces sites ont été considérés comme des sites à ambiance sonore de jour et non modérée. Partant ces conclusions émises en 2008, les niveaux de bruit mesurés sur les sites 3 et 7 en période diurne peuvent être considérés comme conformes. D'où l'ensemble des sites mesurés le long du tramway de Constantine sont conformes aux exigences en termes d'insertion durable [84].

III.3.2.5 Remarques et recommandations

A la fin de cette partie, nous pouvons distinguer que la réduction de l'émission de bruit émis au passage d'un tramway doit avant tout reposer sur une réduction du bruit de roulement. Ceci doit être pris en compte dès la conception d'une ligne lors du choix de la pose de voie et de la plate-forme, mais également pendant l'exploitation de ligne par la maintenance de la voie périodiquement. Malgré que la construction de la ligne du tramway de Constantine soit conforme aux exigences réglementaires en termes de performances acoustiques, mais une autre campagne de mesures doit être réalisée durant la phase d'exploitation afin d'identifier les points infectés par la rugosité du rail et qui provoquent un bruit de roulement élevé, dont l'entretien de la voie et des roues est primordial, de façon à garantir un état de surface de roulement de bonne qualité.

III.3.3 Les performances vibratoires du tramway de Constantine

Les vibrations générées dans le sol par les transports guidés urbains peuvent conduire à des nuisances importantes pour les populations riveraines, en particulier dans le cas de rues étroites. La propagation de ces vibrations, de la voie aux bâtiments, puis la régénération de ces vibrations à l'intérieur des bâtiments peut être la source d'un bruit de grondement audible dans la bande de fréquence 30-200 Hz. Des vibrations sensibles par l'homme dans la gamme 5-80 Hz peuvent également être présentes [79]. Ces ondes vibratoires peuvent constituer des nuisances pour les riverains ; des précautions doivent donc être prises au niveau de la voie pour éliminer ces nuisances. Pour ce faire, nous atténuons les vibrations à la source à l'aide de poses de voie antivibratoires, effectivement, si le revêtement de la voie tramway fait partie de la requalification de l'espace urbain, le traitement anti vibratile de la plateforme est également un élément primordial car c'est lui qui conditionne le niveau de vibrations injecté dans le sol et par conséquent, le niveau de vibrations chez les riverains eux-mêmes [80]. .

En effet ces vibrations créées spécialement par un tramway circulant sur rail ont pour origine l'interaction entre la roue et le rail, elles dépendent directement de la nature de ces deux éléments ainsi que de leur état d'usure. Les vibrations générées au niveau du rail se propagent via la plate-forme voie et le sol jusqu'aux bâtiments riverains.

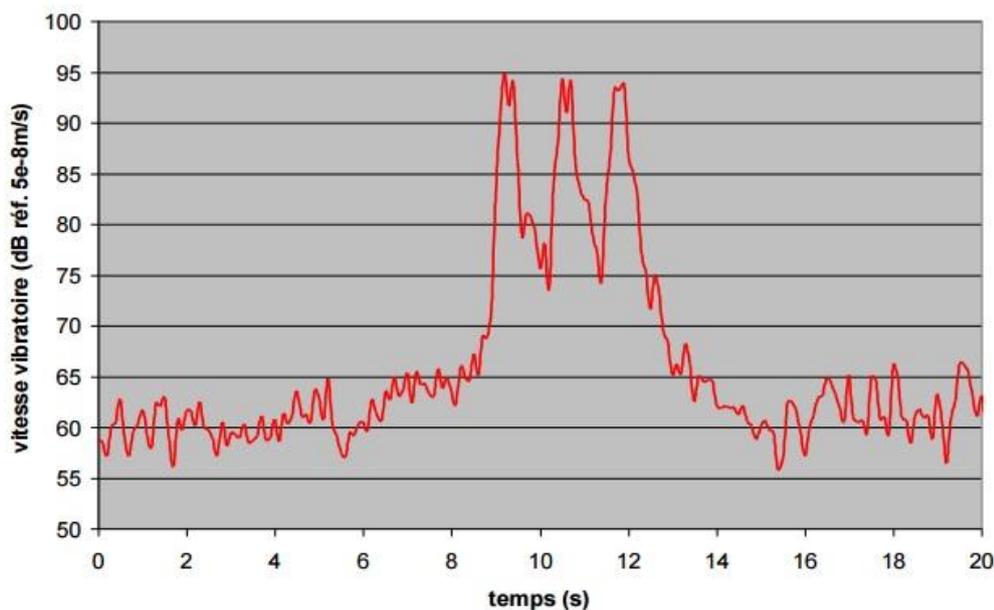


Figure III. 16 Niveaux vibratoires mesurés sur le rail, au passage d'une rame

III.3.3.1 Cadre normatif des performances vibratoires d'un tramway

À l'heure actuelle, il n'existe pas de réglementation spécifique concernant les vibrations générées par le trafic ferroviaire qui sont transmises durant l'exploitation. Ce manque de référentiels techniques tels que des critères vibratoires ou des méthodes de prévision peut s'avérer très pénalisant, en particulier lors de la construction d'une nouvelle ligne de tramway. Pour le tramway de Constantine, le choix du type de pose de voie est effectué à partir de règles très simplifiées dont la justification n'est pas toujours évidente.

Néanmoins, il est possible de s'appuyer sur quelques normes et textes législatifs qui définissent une méthode de mesurage ainsi que des valeurs seuils dans le domaine vibratoire. En référence, la norme ISO 2631-2 (202), est applicable à l'exposition des individus à des vibrations globales du corps et à des chocs dans les bâtiments, du point de vue du confort et de la gêne. Elle spécifie une méthode de mesure et d'évaluation, comprenant la détermination de la direction de mesurage et l'emplacement de mesurage.

En terme de confort vibratoire, il existe également la norme ISO 2631 - 12 qui fixe les seuils de perception et de confort pour des vibrations pouvant entrer dans le corps selon différentes positions de l'individu (debout, assis, couché). Ces seuils sont donnés en termes d'accélération qui doit être pondérée selon la position dans laquelle se trouve le corps humain [81].

Le seuil de perception des vibrations, exprimé en vitesse efficace par tiers d'octave, pour ce qui concerne la direction verticale, est de 0.1 mm/s, soit 66 dBv.

III.3.3.2 Vibrations et structure de la voie du tramway

Le principal facteur qui influe sur la structure de la voie est son niveau d'atténuation vibratoire.

Pour la voie de tramway, il existe trois niveaux d'atténuation :

- **Niveau 0 pas d'atténuation** : dans les zones non sensibles : les bâtiments sont distants d'au moins 12m. Dans ce cas, la pose classique est généralement utilisée (sans atténuation vibratoire).

- **Niveau 1 atténuation moyenne** : dans les zones à sensibilité modérée : la distance bâtiment/voie est comprise entre 7m et 12m. Il est alors nécessaire de poser une solution antivibratoire de -10dB (type double étage élastique par exemple).

- **Niveau 2 atténuation haute** : la distance bâtiment/voie est inférieure à 7m. Une solution antivibratoire de dalle flottante assurant une atténuation de -20 dBv est choisie dans ce cas.

III.3.3.3 Mesures de vibrations émis par le tramway de Constantine

Afin de confirmer que le tramway de Constantine est conforme aux exigences environnementales en termes des émissions vibratoires, une vérification des performances des solutions antivibratoires a été effectuée à travers des tests de mesures avant l'exploitation commerciale, afin de vérifier que le niveau de 66dBv dans le tiers d'octave de 63Hz est bien atteint conformément aux normes. Le choix des sites de mesures communs pour les vibrations et le bruit a donc été effectué de façon à couvrir le maximum de types de voies posées, ainsi que les immeubles sensibles aux vibrations.

III.3.3.3.1 Tests de performance : voie ferrée

Ces essais concernent la caractérisation de l'environnement (sols, éventuellement plateformes et voies ferrée) de façon à préciser les caractéristiques physiques et mécaniques des milieux concernés. Les tests ont été réalisés conformément à la norme. Ces tests permettent de vérifier l'amortissement vibratoire des poses de voie anti-vibratiles déployées (pose souple, flottante, classique). Le matériel utilisé pour réaliser ces essais de performance de la voie est un marteau d'impact avec capteur de force, à l'aide d'accéléromètres fichés dans le sol ou collés sur le rail.

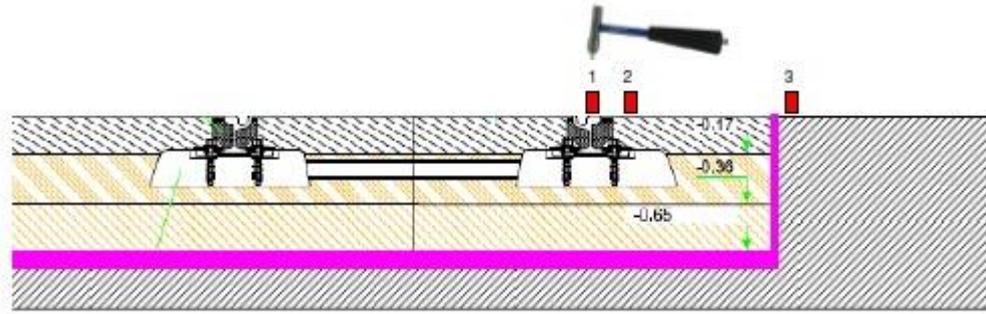


Figure III. 17 Exemple d'une mesure des vibrations sur une dalle flottante

Les résultats de ces mesures par marteau sur les différents types de voie du tramway de Constantine sont représentés dans le tableau au-dessous, rappelant que les critères de validation des tests de performance voies pour une pose souple : Atténuation entre Acc1 et Acc2 supérieur ou égale à 10dBv à 63Hz. Et pour une dalle flottante : Atténuation entre Acc2 et Acc3 supérieur ou égale à 20dBv à 63Hz:

N° de site	Localisation	Voie testée	PK	Type de pose	Atténuation Vibratoire (dBv) @63Hz	Conformité
1	6 rue Kaddour Boumeddous	Voie 1	0+950	Dalle Flottante	4.7	NON
2	Bâtiment Sonacat à côté du Stade Ben Abdel Malek	Voie 2	1+150	Pose Souple	26.9	OUI
3	Centre Santé CNASAT	Voie 1	1+282	Pose Souple	31.5	OUI
4	Point 1 - Mur entre CNASAT et l'inspection des Banques	Voie 1	1+430	Dalle Flottante	3.8	NON
5	Point 2 - Mur entre CNASAT et l'inspection des Banques	Voie 1	1+475	Pose Souple	28	OUI
6	Inspection des Banques	Voie 1	1+582	Pose Souple	18.2	OUI
7	Ecole Régionale Algérie Telecom	Voie 2	1+855	Dalle Flottante	1.6	NON
8	Parc PTT	Voie 2	1+990	Pose Souple	26.5	OUI

Tableau III.6 Résultats des mesures vibratoires de performance de voie

L'atténuation vibratoire obtenue sur l'ensemble des sites avec pose souple (site 2, site 3, site 5, site 6 et site 8) est supérieur à 10dBv à 63Hz. Ainsi, la pose souple est bien conforme au critère de validation. Cependant, les atténuations obtenues sur les différents sites (site 1, site 4 et site 7) avec dalle flottante sont très loin des résultats escomptés. Cela est dû à la mauvaise installation du tapis latéral. En effet, il a été observé sur ces différents sites, que les remontées latérales sont complètement recouvertes de béton, ce qui crée un pont vibratoire et annule le découplage entre la voie et l'extérieur de la dalle flottante. Ceci explique donc la faible atténuation mesurée entre l'accéléromètre 2 et l'accéléromètre 3 sur ces différents sites [84].

III.3.3.3.2 Mesures de performance système

Simultanément à la campagne de mesures de vibrations induites sur le rail et sur le sol, une série d'enregistrements réalisés par Alstom a permis de recueillir des informations sur les efforts dynamiques transmis par le tramway. Les tests de performance système permettent de vérifier la performance du couple Tram/Voie ferrée en termes de confort vibratoire des riverains. Le niveau seuil est fixé en accord avec la norme internationale ISO 2631-2 soit aucun niveau supérieur à 66dBv (réf. 5.10-8 m/s) dans le 1/3 d'octave centré sur 63Hz au seuil des bâtiments ne doit être enregistré. Ce test consiste à installer un accéléromètre au pied de l'immeuble à protéger (Acc3). Cet accéléromètre mesure en priorité la composante verticale de la vibration générée au passage du tramway. Un second accéléromètre est installé à 3m de la voie (Acc2) et un troisième accéléromètre à 0,6m de la voie (Acc1) voir Figure III.18.

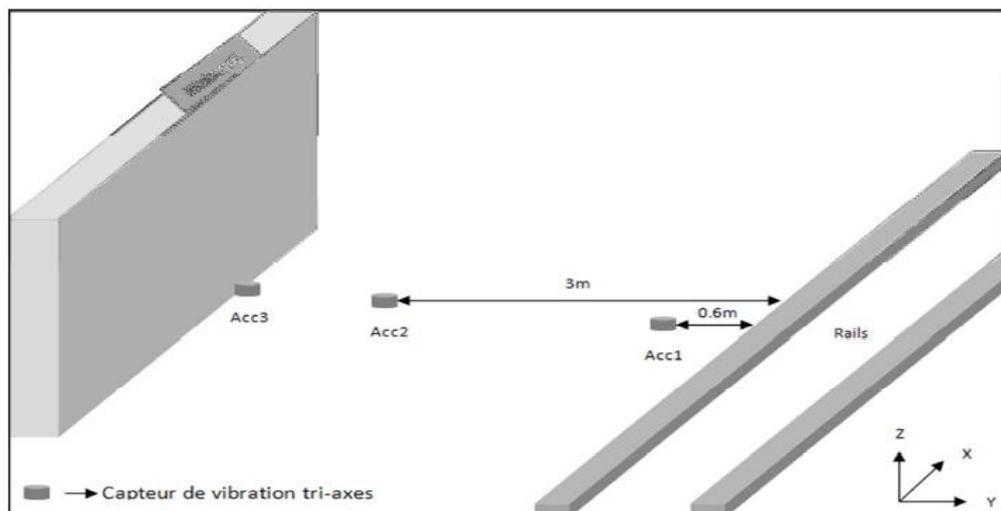


Figure III. 18 Schéma d'instrumentation - Tests de Performance Système

Les tests de performance système ont été effectués sur 7 sites énumérés dans le Tableau III.7. Afin de faciliter l'exploitation des multiples résultats obtenus, les indicateurs suivant ont été utilisés :

- L90 : niveau vibratoire dépassé dans 90% des mesures ;
- L50 : niveau vibratoire dépassé dans 50% des mesures ;
- L10 : niveau vibratoire dépassé dans 10% des mesures.

De manière plus simple, nous pouvons considérer que l'indicateur L90 représente peu ou prou le niveau le plus bas mesuré et l'indicateur L10, le niveau le plus élevé. Cette approche a été utilisée tant pour les niveaux moyens que pour les niveaux maximums.

N° de site	Localisation	PK	Vitesses moyennes (km/h)	Niveau Moyen sur le passage (L _{veq})			Niveau Maximum (L _{vmax Slow})		
				L90	L50	L10	L90	L50	L10
1	6 rue Kaddour Boumeddous	0+950	16	41.0	42.5	43.5	44.0	47.0	48.5
2	Bâtiment Sonacat à côté du Stade Ben Abdel Malek	1+150	26	27.5	29.0	30.0	29.5	31.5	34.5
3	Centre Santé CNASAT	1+282	30	53.0	53.5	55.0	54.5	56.5	57.5
6	Inspection des Banques	1+582	31	39.0	41.0	43.5	42.0	44.0	45.0
7	Ecole Régionale Algérie Telecom	1+855	43	52.5	53.5	54.5	53.0	55.0	57.0
8	Parc PTT	1+990	44	47.0	48.5	49.0	49.5	50.5	53.5
9	Laboratoire Pharmaceutique	3+555	24	47.0	48.5	50.5	48.0	52.0	54.0

Tableau III.7 Résultats des tests de performance système au pied des bâtiments

Dans le Tableau III.7 est présenté le niveau moyen sur le passage du tiers d'octave le plus énergétique de la gamme de fréquence [10-80Hz] ainsi que le niveau maximum (L_{vmax} - Slow) calculé sur 1s dans cette même bande de tiers d'octave. Il en ressort que tous les points mesurés sont conformes à l'exigence de la norme. C'est à-dire qu'en chacun des sites mesurés (Tableau 8), les niveaux de vibration générés au seuil des bâtiments riverains par le passage de tramways à vitesse commerciale sont inférieurs à 66dBv quelle que soit la bande de tiers d'octave comprise entre 10 et 80Hz.

III.3.3.4 Synthèse et remarques

Pour les tests de performance voies, réalisées à l'aide d'un marteau d'impact: Tous les sites mesurés avec une pose souple sont conformes aux critères de la norme, et l'ensemble des sites mesurés avec une pose de type dalle flottante sont non conformes aux critères de la norme. En outre, les tests de performance système ont permis de constater que les niveaux de vibration générés au seuil des bâtiments riverains par le passage de tramways à la vitesse commerciale est conforme aux exigences environnementaux. Ce résultat indique que les riverains ne seront pas gênés par les vibrations induites par le passage du tramway malgré une mauvaise installation de la dalle flottante. Par conséquent, la performance vibratoire du système de tramway de Constantine est validée et est considéré comme conforme aux exigences [84].

III.4 L'évaluation socio-économique du tramway de Constantine

L'évaluation socio-économique de la première ligne du tramway de Constantine est une analyse des avantages et inconvénients de cette réalisation sur le système globale de la mobilité de la ville depuis la mise en service de ce système. Elle permet de comprendre les enjeux liés au projet ainsi que son intérêt social et économique. L'évaluation socio-économique de ce nouveau

projet en Algérie en posteriori nous permet de porter plusieurs éclairages sur les effets de cette insertion dans le temps, d'en appréhender la complexité de manière organisée et la plus rigoureuse possible. L'évaluation socio-économique permet également d'optimiser le projet car elle est un outil de comparaison entre variantes : l'adéquation offre/ demande, la qualité de service...etc.

III.4.1 Effet du tramway de Constantine sur la mobilité de l'agglomération

Nous nous intéressons ici à la façon dont le tramway de Constantine s'intègre dans le système global de la mobilité de l'agglomération, en effet, l'objectif est d'évaluer leur impact sur les comportements de mobilité de façon générale. La comparaison se fait principalement entre les situations avant et après la mise en service de ce système sur le tronçon Ben Abdelmalek Ramdan et Zouaghi Slimen, et entre les prévisions de la demande de transport et la demande réelle après cinq ans d'exploitation.

III.4.1.1 L'offre de transport en commun avant la mise en service

Généralement, le déplacement entre le centre ville et le champ urbain de Zouaghi Slimen se faisait par des bus d'une grande capacité « Autobus » avec une charge de 100 personnes/bus, cette ligne supportait 28 bus dont 3 sont des bus étatiques L'exploitation était pendant la période de 7h du matin et 18h du soir répartie comme le graphe suivant :

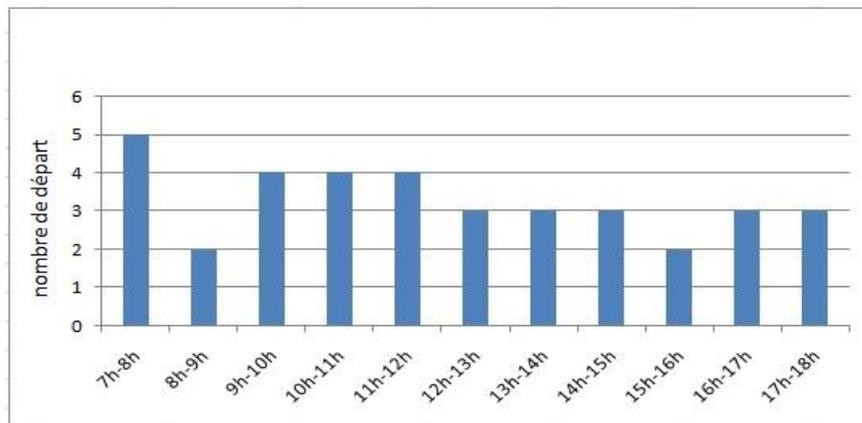


Figure III. 19 Offre journalier existaient par bus

Selon la direction de transport de la Wilaya de Constantine, cette ligne existe toujours sur le plan administratif, mais tous les exploitants ont abandonné car cette ligne n'est plus rentable après la mise en service du tramway.

III.4.1.2 Prédiction de la demande du transport par le tramway

La demande de transport estimée avant la mise en service du tramway est de 6000 passagers par heure et par destination en heure de pointe et 3200 passagers en heure creuses.

Cette demande est répartie sur la grille horaire entre 5h du matin et 22h du soir pour les jours ouvrables selon le graphe suivant :



Figure III. 20 Distribution de la demande estimée par heure

Afin de répondre à cette demande, le plan d'exploitation élaboré par le constructeur a pris en considération les contraintes liées à l'exploitation ainsi que le confort et la ponctualité afin d'obtenir le succès commercial, il a mis un offre de 70000 passagers par jour.

III.4.1.3 La situation actuelle de la demande

Les résultats obtenus après cinq ans de la mise en service du tramway de Constantine sont loin des prévisions posées durant les études de faisabilité de la ligne. Le tramway transporte moins de 50% de sa capacité totale au maximum, pour quelques jours spécifique notamment durant la rentrée sociale. L'Étude de faisabilité a proposé une restructuration du transport collectif afin de permettre les déplacements au sein de la ville tout en favorisant les échanges avec la ligne de tramway. Ainsi, en matière de transport collectif par bus, mais jusqu'à maintenant l'exécution de cette solution afin d'augmenter l'attractivité de la ligne n'est pas encore réalisable. Le graphe suivant montre la fréquentation constatée durant ces quatre dernières années, sachant que pour l'année 2013 l'exploitation a commencé en juillet. Ces statistiques sont obtenues de l'exploitant SETRAM de Constantine:

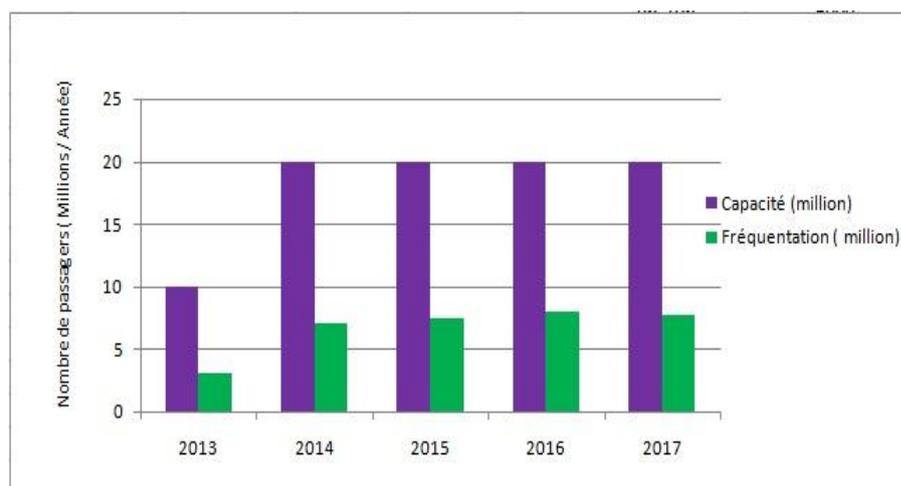


Figure III. 21 Comparaison entre les prévisions et la fréquentation réelle

Nous pouvons remarquer que la fréquentation est stable pour toute la période de l'exploitation, avec une légère différence entre les années, mais ces chiffres sont loin des prévisions estimées avant le projet, ce que explique la nécessité de mettre un nouveau plan de déplacement urbain pour la ville de Constantine en favorisant l'utilisation du tramway par le rabattement de ce mode avec les autres moyen de transport comme les bus urbains. En fin, nous pouvons dire que le tramway de Constantine n'a pas encore atteint son plein potentiel sur le système global de la mobilité de la ville, sa contribution sera plus efficace si les autorités locales mettent en activité les pôles d'échanges pour les bus et les parcs relais pour les voitures distribués sur le long de la ligne du tramway, notamment pour réduire l'utilisation de véhicules personnels dans le centre ville.

III.4.2 Analyse de la qualité de service

L'objectif ici est d'évaluer l'exploitation du tramway de Constantine par rapport à ses caractéristiques en termes d'offre et d'usage afin d'analyser le service rendu par l'opération et à le comparer aux objectifs d'offre et de fréquentation prévus dans l'étude de faisabilité de projet [82]. Afin d'évaluer le service de transport apporté par le tramway, il importe de reprendre les indicateurs suivants :

- le nombre de kilomètres commerciaux offerts par an ;
- le temps de parcours ;
- le nombre de Places* kilomètres offertes (PKO) ;
- l'amplitude journalière la fréquence du tramway, établie pour deux périodes (heure de pointe, heure creuse) et pour différents types de jour (jour ouvré, vendredi, samedi, jours de vacances scolaires longues...) ;
- les types de tarification utilisés ;

- Les types d'abonnement disponibles ;
- La répartition des ventes par année et par catégorie.

III.4.2.1 L'offre de transport

Avant la mise en service de la ligne du tramway de Constantine l'Etat à travers l'entreprise de métro d'Alger EMA a signé un contrat avec l'exploitant SETRAM pour mettre en place 18 rames en circulation en heures de pointe et 14 rames en heures creuses, pour les jours ouvrables hors la période de ramadan. Le kilométrage moyen annuel estimé est de 1343808 km/an, réparti sur 27 rames soit 49770 km / an / rame. Jusqu'à présent, ce nombre a été réduit à 14 rames pour les heures de pointes à cause de l'impossibilité de mettre en place un tableau de marche avec 18 rames en service, beaucoup de problèmes sont constatés notamment le rattrapage des tramways dans le terminus et les retards engendrés par cette planification. Le graphe suivant montre le kilométrage prévu et réalisé au cours de cinq ans d'exploitation :

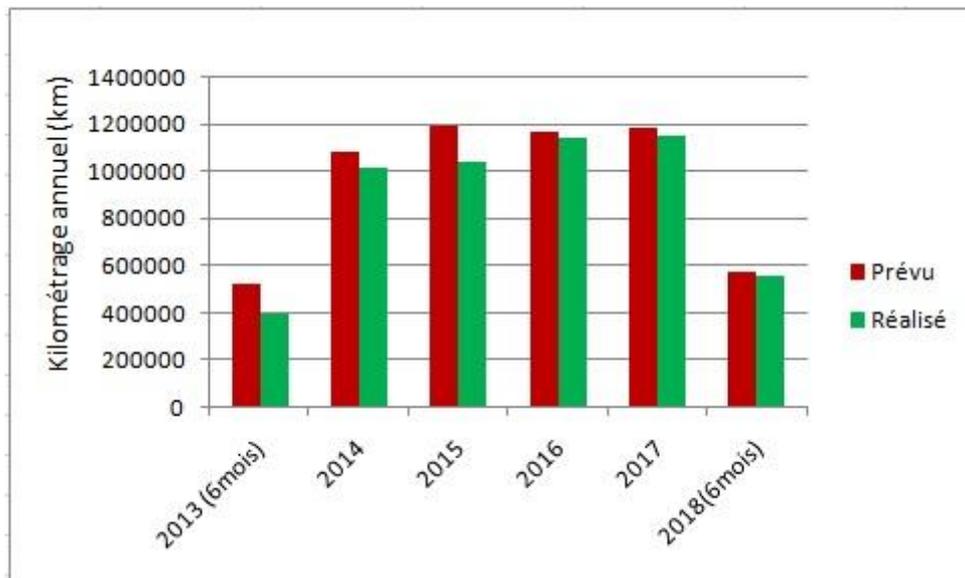


Figure III. 22 Le kilométrage annuel prévu et réalisé

Le kilométrage présenté dans le graphe précédent représente le kilométrage commercial sans compter les déplacements de la rame vide, haut - le - pied (HLP), notamment dans le dépôt et les zones de maintenance. Nous pouvons remarquer qu'il y a une légère différence entre le kilométrage réalisé et les objectifs fixés en amont, cet écart a été réduit au cours de ces deux dernières années, il est causé généralement par les interruptions de trafic d'ordre technique comme la coupure d'électricité, les accidents et les franchissements de signal, ou bien d'ordre social comme les grèves et les événements sportifs.

III.4.2.1.1 Le nombre des places offerts

À partir du kilométrage réalisé, nous pouvons distinguer la capacité du transport de tramway de Constantine pour chaque année d'exploitation depuis sa mise en service, par la division de ce kilométrage sur la longueur totale de la ligne (17.8 km). Ce résultat représente le nombre des tours réalisés par les rames, la multiplication de ce chiffre par la capacité du tramway (302 passagers en charge normal 4 personnes/ m²) donne le produit qu'exprime le nombre total des places offerts par le tramway de Constantine (figure III.23).

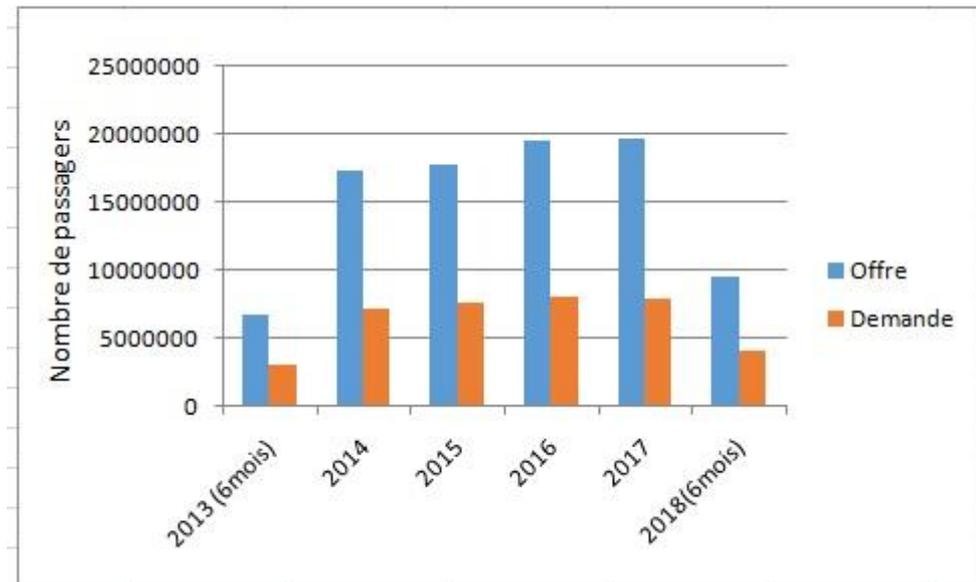


Figure III. 23 Comparaison entre l'offre et la demande de transport

Les opérations ferroviaires sont planifiées, exécutées et gérées sous quatre grandes hiérarchies : stratégique, tactique, le contrôle opérationnel et le contrôle en temps réel [85]. Lorsque la capacité de transport de la ligne de chemin de fer urbaine ne peut pas satisfaire la demande de trafic, les opérateurs doivent réduire les intervalles de départ et utiliser des tramways supplémentaires pour compléter la capacité de transport [86]. Mais le problème constaté par nous d'après le graphe précédent pour le tramway de Constantine et que l'exploitant utilise un nombre élevé de tramways par rapport à la demande de transport, ce qui implique des effets négatifs sur le plan économique (surcoûts) et manque de l'efficacité économique. C'est l'une des principes fondamentaux de la mobilité durable ou sociale (fatigue des employés), et par conséquent un manque de performance par le temps.

La partie suivante établit un modèle mathématique qui vise à estimer les besoins en transport afin de minimiser le temps d'attente moyen et d'estimer le meilleur nombre de tramways en service, sous les contraintes de l'organisation du transport.

III.4.2.2 Optimisation de l'exploitation ferroviaire de la ligne de Constantine

La fréquence d'une ligne urbaine est le nombre de tramways desservant cette ligne dans un intervalle de temps déterminé (par exemple, en une heure). Le problème de l'optimisation des lignes consiste à choisir un ensemble de lignes en exploitation et ses fréquences pour répondre à la demande des voyageurs et optimiser un objectif donné [83]. La méthode mathématique décrite dans cette partie repose sur le calcul du nombre de tramways à utiliser dans une ligne urbaine afin de répondre à la demande de transport avec un temps d'attente minimal dans les gares et de minimiser les coûts d'exploitation. D'autre part, en tenant compte des contraintes de capacité des tramways et du temps de trajet général.

III.4.2.2.1 Les étapes de planification de la circulation des tramways

III.4.2.2.1.1 L'intervalle moyen entre les rames

La méthode repose tout d'abord sur le calcul de l'intervalle de temps entre les tramways (I) en fonction du nombre de passagers en temps réel (P(t) généralement dans l'heure: 3600 secondes) et de la capacité du tramway (C). Compte tenu du confort et de la sécurité des passagers. Tout d'abord, nous calculons le nombre de départs nécessaires pour répondre aux besoins de transport (D), il est calculé en divisant le nombre de passagers dans une période donnée par la capacité du tramway. Ensuite, la période est divisée par le résultat obtenu, c'est-à-dire l'intervalle de temps (I).

$$D = \frac{P(t)}{C} \quad (1)$$

$$I = \frac{t}{D} \quad (2)$$

III.4.2.2.1.2 La durée de tour réelle

Deuxièmement, nous calculons le temps de trajet général (T) en ajoutant le temps de trajet sur les voies 1 et 2 (Tv) et le temps de retour dans les terminaux (Tr), y compris l'heure de changement de conducteur de tramway et le temps d'embarquement du passager dans la station (Ti), où i est le nombre de stations, $i = (1 \dots n)$.

$$T = \sum (Tv, Tr) + \sum_{i=1}^n Ti \quad (3)$$

III.4.2.2.1.3 Le volume total du trafic des tramways

Enfin, après le calcul des deux paramètres précédents, le nombre total de tramways en service, exprimé en N, peut être calculé en divisant le temps de parcours général en un intervalle moyen. L'expression mathématique peut être présentée comme suit:

$$N = \frac{T}{I} \quad (4)$$

A partir de la formule précédente, nous pouvons extraire la formule finale qui représente N:

$$N = \frac{T \times P(t)}{t \times C} \quad (5)$$

III.4.2.2.2 Détermination de la demande de transport dans la ligne de Constantine

Afin de planifier les services de transport ferroviaire urbain, il est nécessaire de disposer d'informations fiables sur le nombre de passagers voyageant depuis chaque station de la ligne au cours d'un intervalle de temps spécifique. La Figure III.24 indique le nombre maximal de passagers sur la ligne de tramway de Constantine en mode de fonctionnement normal (week-ends et jours fériés exclus).

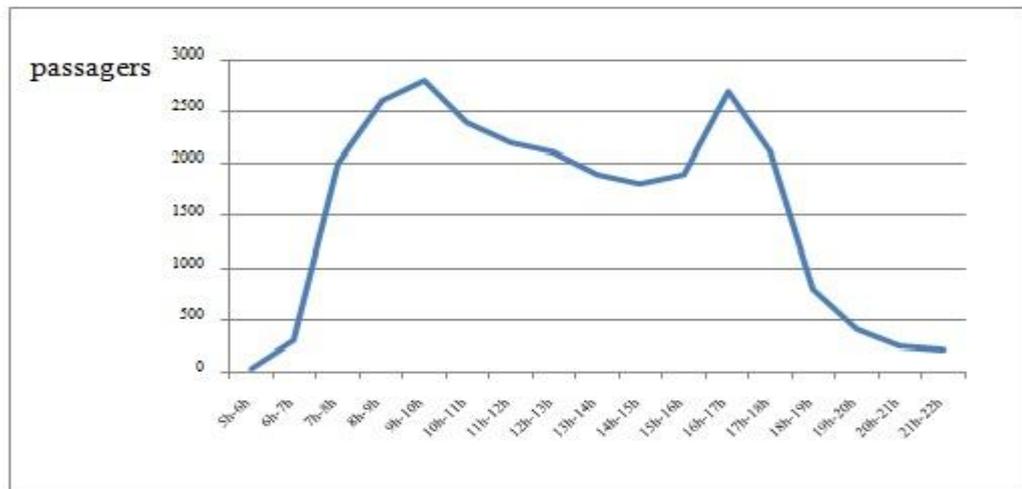


Figure III. 24 La demande maximale du transport pour la ligne

Selon le graphique précédent, les heures d'exploitation peuvent être divisées en deux parties: les heures de pointe enregistrant le plus grand nombre de passagers [7h-12h, 16h-18h] et les heures creuses avec le plus petit nombre de passagers [5h-7h), 12h-16h, 18h-22h]. Afin de donner plus de souplesse à notre calcul, nous prenons pour chaque période le nombre maximum de passagers / heure, pour une période de 5 heures à 6 heures du matin, nous remarquons qu'il y a très peu d'utilisateurs (> 25) qui utilisent le tramway au cours de cette période, les employés sont fatigués par le manque de sommeil, ce qui entraîne un manque de vigilance et une perte de performance, en conséquence des accidents peuvent être surviés [87]. Nous proposons donc que l'opération commence à 6 heures du matin. La figure suivante montre le taux de remplissage moyen constaté dans la situation actuelle par rapport au tableau de marche réalisé par l'exploitant pour les jours ouvrables :

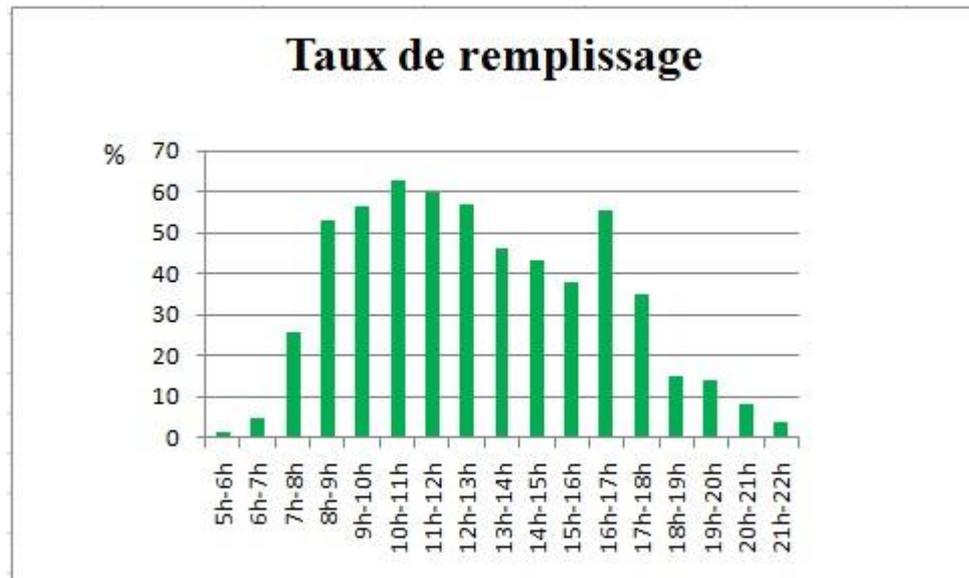


Figure III. 25 Taux de remplissage moyen en mode normal

III.4.2.2.3 Les contraintes d’exploitation

Capacité du tramway C : Les calculs de capacité de tramway sont effectués en charge normale avec 4 passagers / m², soit 302 passagers / tramway.

Temps de trajet général T : Le temps de trajet général dans le tramway de Constantine dépend de la vitesse commerciale et de la longueur du trajet; le temps d'arrêt dans les stations correspond au temps nécessaire pour monter et débarquer des passagers dans des conditions de sécurité et de confort élevés; il est estimé à 30 secondes dans chaque station. Le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous sachant que cette durée peut diminuer dans certaines périodes.

temps Voie	Temps de parcours sans tout (Seconde)	Temps de retournement (Seconde)	Temps d'embarquement des passagers (Seconde)	Totale
Voie 1	1020	240	300	1560
Voie 2	900	360	300	1560
Totale	1920	600	600	3120

Tableau III.8 Temps de trajet général

III.4.2.2.4 Détermination du nombre optimal de tramways

Actuellement, en mode normal, l'opérateur utilise 14 tramways pour les heures de pointe et 8 tramways pour les heures creuses, nous allons calculer dans cette section le nombre optimal de tramways pour cette demande de transport en utilisant la méthode décrite dans la partie précédente. Objectifs possibles de ce résultat est la minimisation du coût total d'exploitation du tramway de Constantine et la maximisation du confort des passagers répondant à certaines réglementations [83]. Ainsi, pour établir un lien entre le l'offre et la demande et pour obtenir un

niveau de qualité de service élevé, nous supposons que le temps d'attente maximal dans les stations est de 10 minutes. Le résultat est indiqué dans le tableau ci-dessous:

Période de temps	Nombre de passagers V/heure	Temps de trajet général T (seconde)	Le nombre théorique de trams N ^t	Le nombre réel N ^r	L'intervalle moyen I (minute)
5am-6am	25	/	/	/	/
6am-7am	350	3000	1	5	10
7am-12pm	2800	3120	8.03	9	5.77
12pm-4pm	1900	3120	5.45	6	8.66
4pm-6pm	2700	3120	7.74	8	6.5
6pm-10pm	800	3000	2.29	5	10

Tableau III.9 Le nombre optimum de tramways / périodes

La méthode mathématique présentée dans cette section utilise une représentation simple mais réaliste du fonctionnement des lignes de chemin de fer urbaines. Cette partie construit un modèle de répartition des flux de passagers en temps réel avec deux objectifs qui sont le minimum du temps d'attente moyen et le bon volume de transport pour les tramways. Les résultats obtenus sur le cas du tramway de Constantine indiquent qu'il existe des coûts supplémentaires dans le plan d'exploitation actuel utilisé par l'opérateur. Enfin, les objectifs possibles de ce résultat sont l'augmentation de l'efficacité commerciale par la minimisation du coût total de l'exploitation du tramway de Constantine et le maintien d'un haut niveau de qualité de service [89].

III.4.2.3 Analyse de la mobilité par le tramway de Constantine

III.4.2.3.1 Répartition des déplacements par titre de transport utilisé

Le système tarifaire pour les transports publics en Algérie est subventionnés et fixés par une loi étatique, afin d'assurer l'équité, en mettent en place une tarification sociale, en effet, les politiques de tarification doivent prendre en compte des différentes catégories d'usagers et l'acceptabilité du prix du billet. Le système tarifaire pour le tramway de Constantine comprend deux catégories de titre de transport :

- **Ticket de transport** : cette catégorie rassemble deux types de ticket, le premier type est le ticket unique en plein tarif (40 DA) il est valable pour un seul voyage à bord du tramway, nous supposons que ce type de ticket est utilisé par des passagers voyagent de manière irrégulière ou occasionnelle, le deuxième type est de ticket à tarif réduit (32 DA) sous forme d'un lot de dix tickets, nous supposons que ce type est utilisé par des passagers voyagent à bord du tramway de façon régulière mais non fréquente.

• **Abonnement de transport** : cette catégorie rassemble plusieurs types d'abonnement mensuel selon le statut des usagers, cet abonnement nominatif assure le déplacement illimité à bord du tramway, il est généralement utilisé par des passagers voyagent de façon régulière et fréquente.

Le graphe suivant montre la répartition des déplacements sur la ligne du tramway de Constantine depuis sa mise en service, par rapport au titre de transport utilisé, cet indicateur nous permet bien de comprendre la fidélité des usagers face à l'offre de transport effectué.

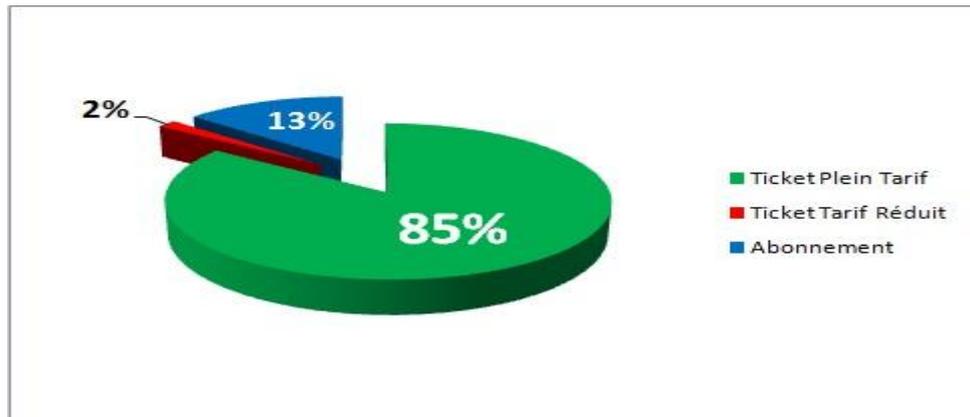


Figure III. 26 Taux d'utilisation des titres de transport

Nous pouvons remarquer que la majorité des déplacements s'effectue par l'utilisation des tickets à plein tarif, face à la part de voyages effectués avec un abonnement qui reste très faible. Ce qui explique que la plupart des usagers utilise le tramway de façon irrégulière et occasionnelle, malgré que le tramway de Constantine soit opérationnel depuis cinq ans. Cependant, la distance microscopique de la ligne et les zones desservis par le tracé et le non-rabattement du tramway avec d'autres moyens de transport sur une base régulière, justifient ce résultat.

III.4.2.3.2 Répartition des usagers par type d'abonnement

La connaissance client est un atout majeur dans les actions de fidélisation client aujourd'hui. En effet, la collecte de données sur les usagers constitue aujourd'hui l'un des principaux leviers utilisés par les entreprises de transports collectifs pour améliorer leurs services et leur exploitation. Depuis la commercialisation des titres d'abonnement mensuels en Janvier 2014, le tramway de Constantine possède plusieurs types d'abonnement mensuel qui permet de voyager en illimité durant 30 jours consécutifs sur toute la ligne du tramway. Cet abonnement est orienté vers les usagers par catégorie comme suivant :

- **Abonnement Classique** : premier abonnement commercialisé par l’exploitant pour 1200 Da/ mois ;
- **Abonnement Unique** : pour l’utilisation de tramway et le bus Étatique pour 1500 Da/mois ;
- **Abonnement Junior** : pour les usagers qui ont moins de 25 ans. 990 Da/mois ;
- **Abonnement Sénior** : pour les usagers qui ont plus de 60 ans. 830 Da/mois ;
- **Abonnement Écolier** : à 300 Da/mois ou bien 3000 Da/an ;
- **Abonnement Étudiant** : à 600 Da/mois ou bien 6000 Da/an ;
- **Abonnement Solidarité** : pour l’usager à mobilité réduite le déplacement est gratuit à bord du tramway.

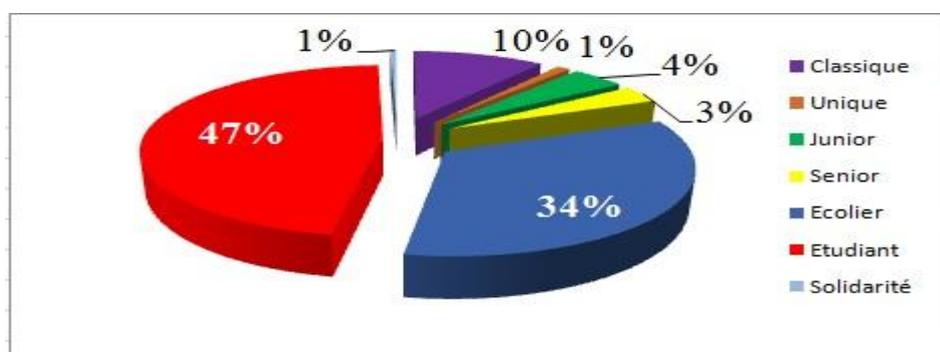


Figure III. 27 Taux de déplacement des abonnées par catégorie

D’après le graphe précédent, nous pouvons remarquer que les jeunes, y compris les étudiants, sont les principaux usagers de la ligne du tramway de Constantine, avec un taux de 47 % des déplacements totales des abonnées. Ce résultat est justifié par l’existence de plusieurs universités générateurs de trafic sur le long de la ligne, mais si nous comparons les tickets vendus aux étudiants par rapport aux abonnés nous constatons que les étudiants ne se basent pas sur le tramway d’une façon total pour leur mobilité, ce qui implique que l’offre n’est encore attractive au vu de la concurrence du transport des étudiants par sa gratuité. Le deuxième point remarqué de ce résultat est l’absence d’une offre spéciale pour les enseignants de l’enseignement supérieur et de l’éducation nationale, et le personnel administratif des établissements d’enseignement, l’inclusion de cette catégorie n’est pas destinée pour l’augmentation de la fréquentation de la ligne seulement mais à faire en sorte que la majorité d’entre eux abandonne leurs véhicules privés et s’appuient sur le tramway afin d’atteindre leur poste de travail.

Enfin, nous pouvons dire que la fréquentation de ligne du tramway est inférieure aux prévisions estimées. La fréquentation diminue d’une façon élevée dans le week-end par rapport à la semaine, surtout le vendredi. Ainsi si la fréquentation en jour ouvrable de base est d’environ

26000 voyages/jour elle est de 13000 voyages le samedi (-50%) et de 9000 voyages le vendredi (-65%). L'usage est différent entre les journées de semaine et le vendredi et samedi : en semaine, le motif dominant est le déplacement étude-travail, alors que le week-end, il s'agit du déplacement pour motif loisirs-achats [91]. Afin d'améliorer l'attractivité de la ligne du tramway de Constantine, plusieurs recommandations seront proposées par la suite de ce travail.

III.4.2.3.3 Analyse de la fraude sur l'ensemble de la ligne

La fraude dans les transports en commun constitue une nuisance à la qualité du service public et une atteinte à l'image des opérateurs de transport qui entraîne une perte de recettes importante. Ainsi, afin d'agir avec plus d'efficacité et de fermeté contre la fraude dans le tramway de Constantine, l'exploitant a mis en place un plan antifraude composé d'un staff de contrôleurs bien formé et le lancement des campagnes de sensibilisation par des affichages à l'extérieur et à bord du tramway. Le graphe suivant montre le nombre des billets de régulation de voyage enregistrés depuis la mise en service.

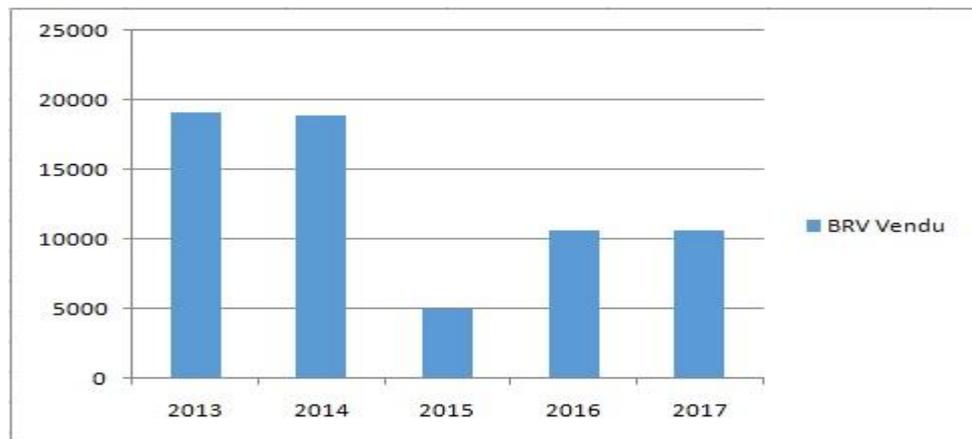


Figure III. 28 Nombre de BRV délivré par les contrôleurs

III.5 Recommandations pour la future extension du tramway de Constantine

III.5.1 Présentation de l'extension du tramway

La première ligne est une référence sur lequel le réseau de transport existant de la ville de Constantine doit continuer aujourd'hui à évoluer, pour le relier avec l'urbanisation à venir, et de desservir des zones à forte densité, et pour permettre également le déplacement d'un grand nombre d'usagers aux principaux pôles de l'agglomération en réduisant l'usage de voitures et en favorisant ainsi leur confort. L'extension du tramway vers Ali Mendjeli est constituée de 10,4 km et de 11 stations voyageurs, dont 3 pôles d'échanges avec les autres modes de transport, elle passe par-dessus l'Autoroute Est-Ouest, et se dirige vers la Cité Universitaire qu'elle longe sur sa marge Est. Elle continue en bordant la zone industrielle du Z.A.M., puis le Centre de Sécurité

Nationale, avant d'emprunter l'entrée principale d'Ali Mendjeli, parcourir le Boulevard Principal et rejoindre le Boulevard de l'Université où elle prend fin, en passant par le Boulevard secondaire. L'environnement dans lequel se développe l'extension de la 1ère Ligne de Tramway de Constantine a deux natures clairement distinctes. D'un côté le tronçon périurbain qui unit Zouaghi à la Ville Universitaire, la Zone d'Activités Multiples puis l'accès à Ali Mendjeli. D'un autre la Nouvelle Ville d'Ali Mendjeli, proprement dite. Celle-ci est une ville de nouvelle création, dont le tissu urbain ne pose pas de grandes contraintes pour l'insertion du tramway. Ce projet ne sera initialement reçu que pour l'entrée de la nouvelle ville d'Ali Mendjeli sur une distance de 6 kilomètres, puis les travaux de construction se poursuivront au cœur de la ville.

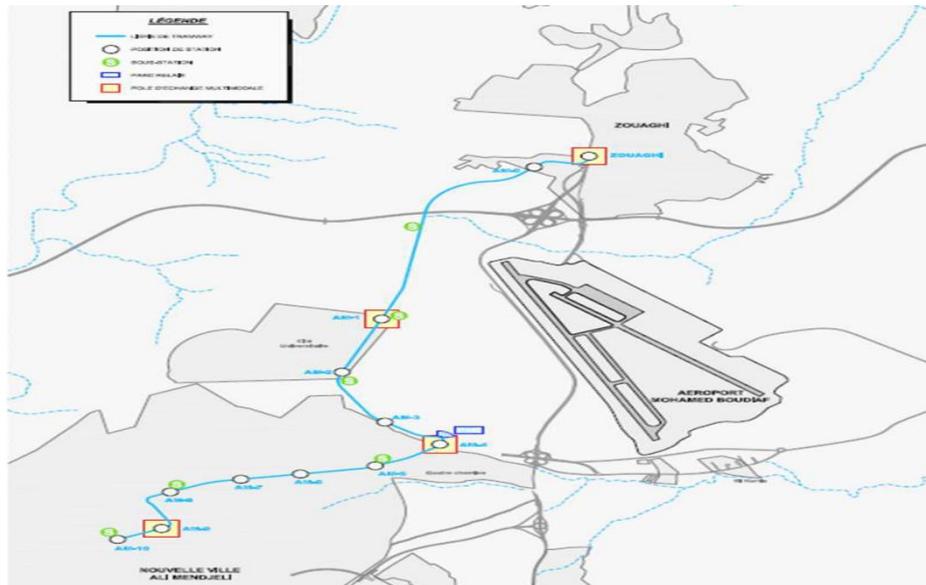


Figure III. 29 Schéma représentatif de l'extension Ali-Mendjli

III.5.2 Amélioration des performances du tramway de Constantine

III.5.2.1 L'intermodalité

L'intermodalité est définie comme une pratique de mobilité caractérisée par l'usage combiné de plusieurs modes de transports au cours d'un même déplacement tandis que le pôle d'échange apparaît comme un aménagement, qui vise à faciliter ces pratiques intermodales. En effet, l'intermodalité renforce la performance du système de déplacement et améliore l'efficacité économique de ces lignes. Elle représente la clé de succès des politiques de transport de voyageurs [90]. Effectivement, la prise en compte du système de mobilité durable dans un contexte de contrainte économique nécessite une attention accrue sur les services qui accompagnent les offres de transports. Or, l'intermodalité est une forme de service à la mobilité.

L'appartenance de la première ligne du tramway de Constantine sur le plan global de la mobilité de la ville peut être appréciée par l'importance des connexions qu'elle permet avec les autres modes de transport, notamment les bus. Bien que la première tranche de la ligne du

tramway de Constantine n'ait pas largement répondu aux attentes en termes de fréquentation, ceci est dû à la nouveauté de ce système et à la faible distance qu'il comporte. Outre les difficultés rencontrées pour l'insertion du tramway dans un plan de transport totalement dominé par le secteur privé, mais avec l'inauguration de la deuxième tranche vers la nouvelle ville Ali-Mendjli, le rabattement du tramway avec des bus de transport urbain Étatique, en assurant la même qualité du service offerte par le tramway de point de vue du confort, de la sécurité et de la disponibilité, deviendra une nécessité. Cette solution représente une étape très importante, afin d'atteindre une mobilité urbaine plus durable pour la ville de Constantine.

La liaison du tramway avec l'agglomération urbaine de Djebel el Wahch, est l'une des clés à main pour augmenter de la fréquentation de la ligne, en effet d'après les résultats précédents concernant la mobilité en cette zone et la nouvelle ville Ali-Mendjli, nous pouvons remarquer le nombre élevé des bus urbain : 123 bus, aussi vers le centre ville : 35 bus. Nous proposons de créer un trafic de bus Étatique entre cette zone et le pôle d'échange Palma au milieu de la ligne du tramway, le même cas pour la cité Boussouf qui enregistre un trafic important vers la nouvelle ville : 87 bus urbain. Afin de réussir l'insertion des pôles d'échanges, il est indispensable de mettre en place des systèmes de billettique et de tarification uniques, par l'adaptation d'une politique tarifaire basée sur la promotion et la vente, en encourageant l'intermodalité par des tarifs intéressants, des abonnements adaptés et une forte information auprès des clients, ainsi que la prise en compte de la rupture de charge en minimisant l'attente de l'utilisateur et en facilitant le passage du tramway à un bus (figure III.30).



Figure III. 30 Schéma descriptif d'un pôle d'échanges tramway/bus

III.5.2.2 Les parcs relais

Conçus pour encourager les automobilistes à utiliser les transports publics, plutôt que de réaliser l'intégralité du trajet en voiture, les Parcs relais sont des parcs de stationnement situés à proximité d'une ligne de transport public comme le tramway, afin de limiter la concurrence de l'automobile, en agissant sur le stationnement. Généralement ces parcs sont réservés uniquement pour les usagers du transport en commun.

Pour le cas du tramway de Constantine, l'implantation de ce service représente un élément major en termes de la durabilité de la ville. En effet, les parcs relais contribuent à une réduction de l'usage exclusif de la voiture individuelle et permettent d'en limiter les nuisances sociales et environnementales.

L'espace devant la station des voyageurs Cité Khaznadar est qualifié pour devenir un parc relais par excellence. Effectivement, cet espace aménagé lors de la construction de la première tranche est abandonné jusqu'à maintenant, dont il est en état critique.

L'implantation d'un système de contrôle d'un parc relais avec barrières d'entrée et caisses automatiques au niveau de cet espace permet aux usagers du tramway de Constantine de stationner leurs véhicules personnels dans des conditions de sécurité optimales et bénéficient d'une tarification spéciale et moins coûteuse qui sera combinée avec l'utilisation du tramway. Cette politique est incluse dans les démarches globales pour atteindre une mobilité urbaine intelligente et durable pour la ville de Constantine.

Conclusion

En guise de conclusion, ce chapitre nous a permis de bien présenter les objectifs de notre travail en terme d'exploitation du tramway ainsi que notre contribution au problème posé par cette thèse, effectivement, nous avons évalué à travers ce chapitre d'une façon socio-économique, la première ligne du tramway de Constantine, dont nous avons choisi les indicateurs les plus pertinents par rapport aux exigences du développement durable.

- **Sur le plan environnemental :** nous avons présenté l'impact du tramway de Constantine sur l'environnement du corridor, par l'analyse de trois indicateurs les plus pertinents pour notre recherche, celles de la compatibilité électromagnétique, le bruit et les vibrations, dont nous avons vérifié leur conformité par rapport aux exigences réglementaires en termes de ces performances.

- **Sur le plan socio-économique :** dans cette partie nous avons présenté l'impact de l'insertion du tramway de Constantine sur le plan global de la mobilité urbaine de la ville, en premier lieu, nous avons mis le point sur la situation actuelle du transport en commun dans le

périmètre urbain, en suite nous avons évalué l'intégration du tramway de Constantine, tout d'abord, nous avons agi sur l'offre par l'optimisation du trafic dans une perspective de l'adéquation offre / demande, afin d'assurer une meilleure efficacité économique du tramway. En suite, nous avons agi sur la demande par une analyse des déplacements des usagers, afin de proposer des recommandations pour augmenter la fréquentation de la ligne.

Pour conclure, nous pouvons dire que le succès du tramway de Constantine s'articule sur l'intermodalité de déplacement des Constantinois par le rabattement de la ligne avec les autres modes de transport en commun à travers la mise en service des pôles d'échange. Cette solution va assurer une bonne intégration du tramway dans la mobilité de toute l'agglomération urbaine et non seulement pour les riverains de la ligne. Aussi, l'exploitation de ce nouveau mode de transport rationnellement assure la continuité de service à un niveau de qualité élevé pour cette génération et les générations à venir dans une démarche globale du développement durable par ses différents piliers.

CHAPITRE IV

ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DU TRAMWAY DE CONSTANTINE

Introduction

Actuellement, le mode de transport routier est de plus en plus critiqué en raison de son impact négatif majeur sur l'environnement et la santé publique. Dont les accidents de la route ont été et continuent d'être un facteur majeur de coûts humains et économiques [92]. Par conséquent, dans l'optique du développement durable, l'attraction pour le transport ferroviaire a augmenté ces dernières années. En effet, le chemin de fer en tant que moyen de transport très ancien, il s'est développé de plus en plus rapidement, où, il est devenu le moyen de transport le plus efficace pour toutes les distances grâce au développement qu'il a connu [93]. Le principal développement de la voie ferrée, s'articule sur la sécurité ferroviaire, effectivement, ce mode de transport a été considérée comme l'un des modes de transport les plus sûrs au monde. Les comparaisons de risques montrent que les transports ferroviaires et aériens sont les modes de transport les plus sûrs par kilomètre-voyageur [94].

Par conséquent, ses performances en matière de sécurité sont toujours la principale préoccupation du public et doivent être améliorées par les exigences économiques et politiques [95]. En règle générale, les accidents de transport ferroviaire urbain sont des accidents matériels ne causant pas souvent de dommages humains importants, mais ayant une incidence directe sur la fiabilité du système de transport. Non seulement les perturbations sur les principaux corridors de transport dégradent les utilisateurs du réseau, mais elles ont aussi un impact négatif sur les activités professionnelles et personnelles qui reposent sur une programmation fiable [96].

Il faut signaler que l'efficacité de la sécurité des opérations ferroviaires dépendent de nombreux facteurs, notamment les règles de circulation, la fiabilité des équipements, le management général et de la sécurité et le facteur humain. En ce qui concerne ce dernier, nous pouvons ajouter qu'il est un élément crucial dans le système ferroviaire, comme dans le cas de tout autre système complexe [97].

Aujourd'hui, et avec l'investissement de l'État Algérienne pour la réalisation des projets de transport en Algérie, y compris la réalisation des tramways dans les grandes villes. L'exploitation de ce moyen de transport a été confiée au partenaire français [RATP Dev] afin de mieux transférer l'expérience européenne en matière d'exploitation de ce nouveau mode de transport en Algérie. Bien que le système de management de sécurité adopté par la société d'exploitation soit relativement strict en ce qui concerne ces procédures de sécurité, la différence de comportement entre le citoyen européen et le citoyen algérien aboutit également au manque de culture de la sécurité [98]. Sans aucune culture sécuritaire de notre citoyen face aux risques liés à l'exploitation de ce mode de transport, de nombreux accidents et incidents ont eu lieu. Dans

ce contexte, l'objectif principal de ce chapitre est de faire un survol sur le système de management de sécurité dans le tramway à Constantine. Tout d'abord, nous analysons les accidents et les incidents par type ainsi que la contribution du facteur humain à ces accidents, et enfin nous proposons des recommandations générales que nous jugeons nécessaires pour améliorer la sécurité de ce mode de transport ferroviaire urbain récemment mis en place dans la ville de Constantine, afin d'assurer que les niveaux souhaitables de sécurité, et de durabilité de la ligne du tramway potentiellement plus élevée.

Le contenu de ce chapitre est organisé comme suit: dans la première section, une discussion sur le concept de la sécurité et la gestion des risques est donnée; la deuxième partie est orientée vers la sécurité ferroviaire et son système de management, la troisième partie donne un aperçu de l'analyse des risques liés à l'exploitation ferroviaire; la section quatre décrit la zone d'étude de notre cas et les accidents survenus sur la ligne du tramway d'une façon détaillée ; la section cinq présente l'influence du facteur humain sur la sécurité ferroviaire; une conclusion avec des recommandations pour cette ligne et pour l'extension sera donnée dans la section finale.

IV.1 Concept de la sécurité

La sécurité est le synonyme d'absence de dommages inacceptables pour les personnes et est une propriété hautement souhaitable des produits, systèmes, processus et services. Cependant, compte tenu de la complexité croissante, de la rapidité des développements et des changements, la sécurité est souvent difficile, voire impossible, à prédire, gérer et garantir entièrement. Dans le même temps, la prise de conscience croissante de la société et les exigences légales plus strictes exigent presque partout des performances de sécurité plus élevées des produits, processus, systèmes, services et responsables [99].

Les problèmes de sécurité sont caractérisés par des incidents et des accidents non intentionnels mais préjudiciables qui mis à part des actes de nature, sont principalement imputables à nos défauts de conception, de développement, de déploiement ou de maintenance de produits, systèmes et services. La sécurité est fortement réglementée et la santé, la sécurité et le bien-être des personnes sont sous protection juridique dans la plupart des pays développés et de plus en plus dans les pays en développement. Selon la norme EN50126 [100] la sécurité est définie comme étant l'absence de risque inacceptable, de blessure ou d'atteinte à la santé des personnes, directement ou indirectement résultant d'un dommage au matériel ou à l'environnement, pendant le déroulement d'une activité.

IV.1.1 L'interaction entre la sécurité et la sûreté

La sûreté est le synonyme d'absence de dommages inacceptables pour les personnes, et de dommages aux activités commerciales, aux biens ou à l'habitat. Contrairement à la sécurité, les problèmes de sûreté sont souvent caractérisés par une intention malveillante (menace) qui, associée à des vulnérabilités intrinsèques, qui génère des incidents et des accidents susceptibles de causer des dommages, voire des pertes humaines.

Par d'autre voie, le champ de la sûreté est associé à des risques, tandis que la sécurité est associée à des incertitudes ou à des types de risques très différents. Les risques pour la sécurité proviennent de défaillances, d'erreurs ou de malchances involontaires, tandis que les risques pour la sûreté résultent de tentatives délibérées ou malveillantes de perturbation, de désactivation ou de destruction [101].

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous intéressons seulement à la sécurité liée à l'exploitation du transport en commun et notamment le tramway, tandis que ces deux concepts, avec la fiabilité représentent la base des facteurs de qualité selon la pyramide de Maslow pour les transports en commun. La partie inférieure de cette pyramide montre les composants qui doivent être suffisants sans aucun doute. Les passagers seront insatisfaits, dans le cas contraire, et ne déplacent plus pas en utilisant le transport public. Les deux parties supérieures (confort et expérience) montrent les composants qui sont des aspects de qualité supplémentaires.



Figure IV. 1 La pyramide de Maslow: les facteurs de qualité dans les transports en commun

Le terme sûreté vise à prévenir toute ingérence illégale dans les passagers et les infrastructures de transport et doit donner confiance aux usagers dans l'utilisation des transports, tandis que le terme sécurité fait référence aux méthodes et mesures destinées à protéger les

personnes contre les risques directement liés aux activités et résultant des activités de transport [102].

IV.1.2 Le système de management de sécurité: SMS

Un système de management de la sécurité (SMS) est un modèle de gestion qui regroupe des fonctions, des responsabilités, des pratiques, des procédures et des processus de prévention des risques. L'application réelle et efficace d'un SMS permet de se conformer à un cadre juridique étendu, comprenant des garanties de protection effective des personnes et d'amélioration continue des conditions de santé et de sécurité [103].

Comme dans toute discipline de management, le système de management de la sécurité peut être classé en deux domaines: le plan stratégique et le plan tactique [104].

IV.1.2.1 Le plan stratégique

La stratégie de management de la sécurité définit les ressources, l'organisation, la mesure et la surveillance en matière de sécurité et de santé. La production de la politique de sécurité et du plan de sécurité est un élément clé pour garantir la mise en œuvre des stratégies et des procédures à tous les niveaux. La stratégie de haut niveau doit intégrer la mise en œuvre d'un examen régulier. Le système de management de la sécurité ne fonctionnera que s'il peut réagir de manière proactive à l'environnement qu'il s'efforce de contrôler. La planification et le management de la sécurité au sein de toute organisation sont essentiels à sa viabilité à long terme. Les thématiques suivantes relèvent de la stratégie de management de la sécurité: planification de la sécurité, développement de politique, design organisationnel, identification des dangers, gestion des compétences, gestion des risques, établissement de normes, évaluation de la culture de sécurité, fiabilité, disponibilité et maintenabilité.

IV.1.2.2 Le plan tactique

Le plan stratégique doit faciliter la tâche quotidienne de maintenir la sécurité des systèmes en toute sécurité, mais cela dépend de la réactivité de la ligne de front des organisations. Le management de la sécurité et des risques des aspects tactiques peut aider les entreprises à protéger le personnel et à optimiser les performances opérationnelles. Les problèmes suivants peuvent être considérés comme faisant partie du volet tactique du management de la sécurité: examen des accidents / incidents, contrôle des déplacements, planification des mesures d'urgence.

Le management de la sécurité des processus nécessite un ensemble de systèmes de management visant à prévenir les accidents majeurs impliquant des matières dangereuses. L'objectif de ces systèmes de management est:

- **Technologie:** informations sur la sécurité des processus, analyse des risques liés aux processus, procédures d'exploitation, pratiques de travail sûres et gestion du changement.
- **Installations:** examen de l'intégrité mécanique et de la sécurité avant le démarrage.
- **Personnel:** participation des employés, formation, entrepreneurs, enquêtes en cas d'incident, planification et interventions en cas d'urgence et audit.

IV.1.2.3 Les facteurs qui influent le SMS

Selon les chercheurs et l'industrie, il existe de nombreux facteurs de motivation à investir dans la mise au point de systèmes de management de sécurité d'entreprise robustes et pratiques. Parmi celles-ci, maintenir l'existence de la société, conserver la confiance des clients, réduire les risques et les coûts d'exploitation et les accidents majeurs, ainsi que les risques perçus par la communauté des investisseurs. Autres avantages liés à la productivité tels que l'augmentation de la productivité annuelle.

L'une des clés de succès afin d'implanter un système de management de sécurité réussie pour l'exploitation du transport public, est d'établir la vision de la culture de sécurité qui est peut-être l'étape la plus importante du processus. En commençant par la société d'exploitation elle-même, la communication de cette vision par le biais de messages continus et de campagne de sensibilisation, ainsi que de comportements des agents d'exploitation du transport public démontrés vont déterminer le sérieux avec lequel les usagers soutiendront la vision. L'engagement de la société, la responsabilisation du personnel et la gérance sont des éléments importants pour obtenir le soutien des passagers et leur engagement en faveur d'une vision de la culture de la sécurité partagée.

Un autre point à citer pour l'efficacité du système de management de sécurité, sont les normes, en effet, un SMS efficace pour un système de transport requiert des normes clairement définies, sans ambiguïté, pour orienter les comportements des usagers. Les normes doivent être faciles à suivre, pratiques et applicables, et doivent également être exécutables non seulement pour les usagers du transport public mais pour le personnel aussi. La prise en compte de l'aspect de la sécurité lors de la construction d'un nouveau système de transport public implique de baser sur les normes spécialisées pour chaque domaine, ensuite et dans la phase d'exploitation, elles définissent la base sur laquelle les unités fonctionnelles de l'entreprise feront l'objet d'un audit de

conformité. En conséquence, tous les travailleurs doivent être pleinement conscients de ce qui doit être livré conformément aux normes [105].

Finalement, comprendre ces facteurs clés qui influent sur les performances globales en matière de sécurité d'un système de transport public par ces services, et ces infrastructures, conduira à l'élaboration d'initiatives visant à promouvoir des solutions plus sûres, et plus rentables au niveau de l'exploitant et du secteur en générale [99]. Il simplifiera également la réglementation tout en assurant le transfert de connaissances et l'expertise des domaines et nous amènerons à des états plus performants vers ceux qui ont évolué à un rythme plus lent. Avec l'avènement du transport ferroviaire urbain en Algérie, le secteur a besoin de plus hauts niveaux de confiance et d'assurance dans les systèmes et services avancés déployés pour éviter des impacts négatifs générés par les accidents, non seulement sur les coûts directs mais sur l'image portée par les citoyens de ce nouveau mode qui va être influencée par ces accidents., en effet, le manque de fiabilité rend les voyages pénibles et engendre du stress. Le sentiment de se déplacer sans pouvoir maîtriser son temps place le voyageur dans une situation d'impuissance qui, comme toute expérience désagréable, reste en mémoire. À cette fin, un cadre systématique d'identification, d'évaluation, et de management des risques fondé sur la théorie des systèmes est requis.

IV.2 Concept de risque

Selon (ISO 31000) [106], le risque est défini comme «l'effet de l'incertitude sur les objectifs». La probabilité d'occurrence d'un accident potentiel et la gravité des dommages causés par ce type d'accident sont les deux éléments qui identifient le concept de risque. Par conséquent, pour définir le niveau de probabilité d'un accident potentiel, la CEI 61508 [100] propose un ensemble de catégories, chacune d'elles étant associée à une plage de fréquences. Compte tenu de la difficulté d'estimer ces fréquences, cette association quantitative / qualitative est favorable. De même, la CEI 61508 [100] définit le niveau de gravité en associant les quantifications aux conséquences générées par l'accident potentiel. En effet, le niveau d'acceptabilité des risques est identifié et évalué à l'aide de la matrice Occurrence / Gravité.

IV.2.1 Classification des risques

De nombreuses classifications de risques ont été proposées dans la littérature et la pratique industrielle. Les plus importants d'entre eux sont incluses dans la classification suivante :

- Les risques sont classés en fonction des effets résultant de l'événement.

- Les risques classés en fonction du critère de la nature ou de l'origine de l'événement potentiellement défavorable.
- Risques statiques et risques dynamiques.
- Risques classés en fonction du type ou de la nature du résultat économique résultant de l'événement.
- risques liés aux biens: ils concernent la destruction, les dommages, la disparition du bien avec les coûts qui en résultent et le manque à gagner.
- risques personnels: événements comportant des risques physiques pour les personnes.

IV.2.2 Processus de management des risques

La management des risques est le processus d'identification, d'évaluation et de hiérarchisation des risques liés aux activités d'une organisation, quelle que soit leur nature ou leur origine, afin de les traiter méthodiquement, de manière coordonnée et économique, afin de réduire et de maîtriser la probabilité d'événements redoutés et de réduire l'impact éventuel de ces événements. Selon la norme (ISO 31000) [106], le management des risques fait référence à un ensemble coordonné d'activités et de méthodes utilisées pour diriger une organisation et contrôler les nombreux risques pouvant affecter sa capacité à atteindre ses objectifs. La figure IV.2 Yatskiv [107] explique le processus de management des risques, qui doit être mis en œuvre de manière systématique.

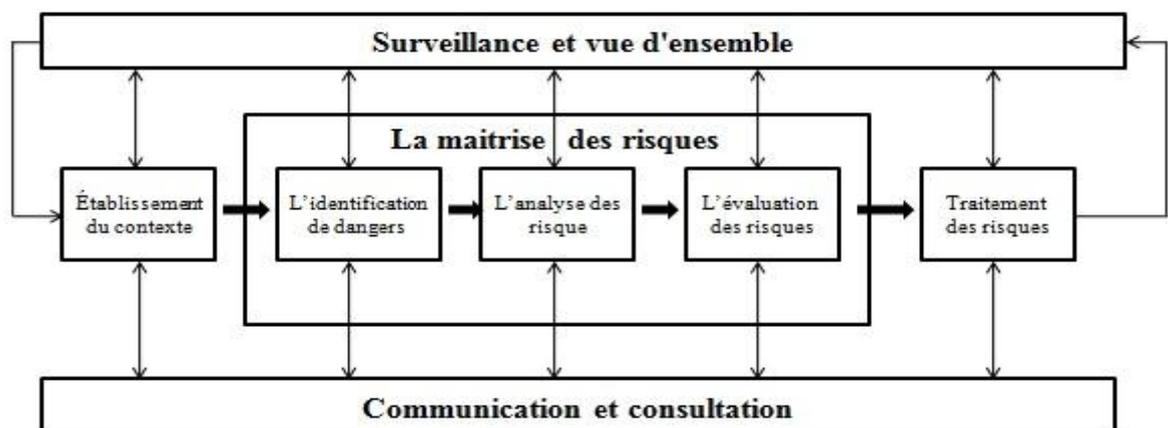


Figure IV. 2 Processus de management des risques

Un cadre de management des risques pour un système de transport public devrait, de manière inhérente, traiter dans toutes les phases de système, en commençant par la phase d'études avant projet, à la phase de construction et durant l'exploitation et l'intégration de ce système dans son environnement, ce cadre comprend :

- Définition et caractérisation du système en cause et de son environnement.

- identification des dangers, fautes et défaillances fondamentales durant le début de l'exploitation
- prévision de l'apparition des situations dangereuses résultant de dangers, de défauts et de défaillances, que ce soit pour le système de transport ou bien pour les usagers.
- évaluation de la transformation éventuelle des situations dangereuses en scénarios d'accident / de conséquences
- Couverture des scénarios, actions et processus de récupération post-accidentels de l'exploitation en mode normal du système de transport.

IV.2.2.1 La maîtrise des risques

Cet élément essentiel du cadre de management des risques, illustré à la figure IV.2 est proposé en tant que colonne vertébrale de l'identification, de la spécification, de l'évaluation et de l'analyse des événements indésirables ou des propriétés affectant négativement la fonctionnalité technique du système, le coût, la fiabilité, la sécurité, et la qualité, etc. Le processus d'évaluation des risques [108] comprend différents aspects systémiques, tels que: Identification des dangers; Analyse causale; Analyse des conséquences; Analyse d'impact...etc. ces principes de la maîtrise des risques sont généraux et s'appliquent également aux approches qualitatives et quantitatives de cette discipline. Ils constituent un cadre systématique dans lequel peuvent être identifiés, analysés et évalués un large éventail de situations dangereuses pour la santé et la sécurité des personnes et nuisant à l'environnement [99].

Le processus de maîtrise qualitative des risques repose largement sur le jugement d'experts et l'expérience empirique, parfois dans le cadre d'un processus quantitatif subjectif et grossier. Il convient de noter que la simple utilisation de la quantification et des chiffres ne qualifie pas nécessairement une évaluation comme quantitative. Celles-ci sont toutefois principalement le reflet d'un jugement et manquent d'objectivité et de précision pour générer une mesure détaillée et fiable des risques.

Le processus quantitatif de maîtrise, de l'enregistrement et de la gestion des risques s'efforce de générer un cadre systématique pour la prise de décision et la démonstration de l'obligation de diligence légale et professionnelle. Contrairement à l'approche qualitative et à l'esprit du régime du dossier de sécurité de CENELEC [109] et de la réglementation, l'approche et les méthodologies du processus quantitatif sont plus strictes et tiennent donc compte de la nature des risques importants.

IV.2.3 Système de management des accidents

Un système de management des accidents est un système ou une méthode conçu pour aider les entreprises sur :

- Rapport d'accident : un moyen d'enregistrer tous les événements (accidents et incidents).
- Évaluation du risque et de ses conséquences : permet de classer chaque événement en fonction des risques.
- Enquêtes sur les incidents et analyse des causes : facilite les enquêtes sur les accidents et les analyses des causes profondes.
- Recommandations et actions correctives : facilitent la capacité à définir des recommandations, des actions correctives de la part des dirigeants et à assurer le suivi des progrès de chaque action assignée.
- Historique des événements: base de données historique sur les événements pouvant survenir dans cette organisation.

Un système de management des accidents SMA peut aller d'un simple tableur pour la collecte d'informations liées aux accidents sur le lieu de travail, au classement des risques (ou à l'analyse des conséquences potentielles), aux enquêtes et aux actions de suivi pour la petite entreprise jusqu'à un système automatisé bien développé à plusieurs facettes pour de nombreuses applications. L'objectif est de capturer les informations pertinentes relatives aux accidents afin de réduire de manière proactive les accidents sur le lieu de travail.

IV.3 Concept de la sécurité ferroviaire

La sécurité ferroviaire est un ensemble de moyens humains et techniques permettant d'éviter les accidents ferroviaires et d'en diminuer les conséquences, par le biais de la réglementation, de la gestion et du développement technologique de toutes les formes de transport ferroviaire. Le système ferroviaire est un système affecté par diverses influences stochastiques. Ce sont, par exemple, des erreurs humaines, des défaillances imprévues et différentes combinaisons de situations défavorables qui peuvent avoir une incidence négative sur la sécurité de divers éléments, voire de l'ensemble du système ferroviaire.

La sécurité ferroviaire dans le milieu urbain et notamment le tramway est la préoccupation moyenne d'exploitants du transport public ferroviaire. Elle est de la responsabilité d'exploitant prenant en charge l'exploitation des tramways et la gestion de l'infrastructure. Aujourd'hui, la séparation de l'exploitation et de la gestion de l'infrastructure a engendré d'autres éléments qu'il faut prendre en considération. En effet, il est primordial de maîtriser les risques

internes, mais il faut aussi intégrer les risques partagés avec d'autres acteurs dans le milieu urbain.

La sécurité d'un système ferroviaire dépend de l'équilibre des trois éléments suivants: «homme - machine - environnement». Négliger l'un des éléments peut entraîner un déséquilibre du système résultant d'une externalité négative et donc interrompre l'exécution de l'opération. L'optimisation des systèmes ergatic (homme-machine-environnement) vise à assurer le bien-être des personnes et à prévenir les blessures causées par des accidents [110].

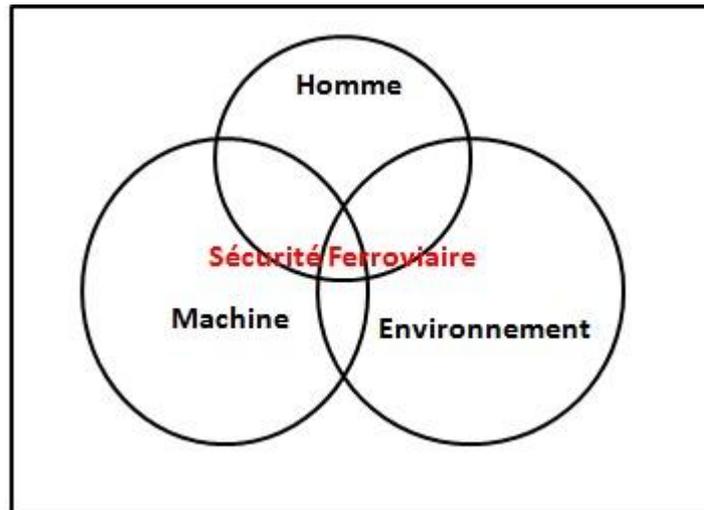


Figure IV. 3 Le système ergatic pour la sécurité ferroviaire

IV.3.1 Cadre normatif de la sécurité ferroviaire

Dans les systèmes de transport ferroviaire, la sécurité est assurée par l'utilisation de divers systèmes qui ont été testés et prouvés de manière efficace depuis plusieurs années et qui sont considérés comme des garants de la sécurité du système de transport dans son ensemble. La mise en œuvre d'un système dans le domaine du transport ferroviaire, urbain ou non urbain, est liée à la mise en œuvre du système de référence (EN 50126, EN 50128 et EN 50129), dont l'objectif principal est d'améliorer la santé et la sécurité et les performances des systèmes ferroviaires en matière de sécurité et facilitent ainsi la réduction des risques pour les voyageurs et la préservation des infrastructures.

Ces normes sont dérivées de la norme IEC 61508 qui traite de la sûreté de fonctionnement des systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables (comme l'électronique numérique et les logiciels) pour l'industrie globale. Les normes EN 5012x sont basée sur le cycle de vie système et ont été écrites afin d'adapter les exigences de la norme générique IEC 61508 aux contraintes de ce secteur. Le respect des prescriptions des normes EN

5012x suffit à assurer la conformité à la norme IEC 61508 sans qu'une évaluation complémentaire soit nécessaire.

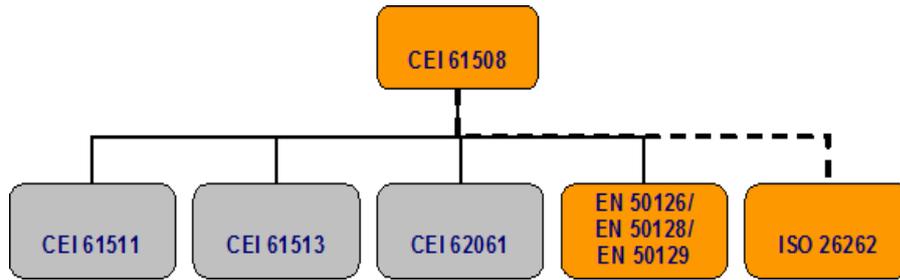


Figure IV. 4 L'IEC 61508 et ses normes sectorielles [W13]

- **La norme EN 50126 :** Cette norme définit la FDMS en termes de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de sécurité et leurs interactions, en définissant un mode de management de la sûreté de fonctionnement fondé sur le cycle de vie du système, cette norme permet de contrôler et de maîtriser les conflits entre les composantes de la FDMS ; et définit un processus systématique pour spécifier les exigences de FDMS et pour démontrer que ces exigences sont satisfaites par rapport aux spécificités du domaine ferroviaire, en effet, La présente norme européenne est applicable à la spécification et à la démonstration des exigences de FDMS pour toute application ferroviaire et à tout niveau d'une telle application, d'une ligne complète aux grands systèmes de cette ligne jusqu'aux sous-systèmes et aux équipements y compris ceux qui comportent des logiciels, durant toutes les phases concernées du cycle de vie d'un système de transport ferroviaire [W14].
- **La norme EN 50128 :** La présente norme européenne spécifie les procédures et les exigences techniques applicables au développement des systèmes électroniques programmables utilisés dans les applications de commande et de protection ferroviaires. Elle est destinée à être utilisée dans tout domaine comportant des implications de sécurité. Ces applications sont susceptibles d'aller du très critique tel que la signalisation de sécurité au non critique comme les systèmes de gestion de l'information. Il est permis de mettre en œuvre ces systèmes à l'aide de microprocesseurs dédiés, de contrôleurs logiques programmables, de systèmes multiprocesseurs distribués, de grands systèmes dotés d'un calculateur central ou à l'aide d'autres architectures [W14].
- **La norme EN 50129 :** La présente norme est applicable à tous les systèmes/sous-systèmes/équipements de signalisations ferroviaires relatives à la sécurité. Cependant, dans tous les cas les processus d'analyse des situations dangereuses et d'évaluation des risques, définis dans la EN 50126, sont nécessaires, de manière à identifier les exigences de sécurité pour chaque situation particulière. Ceci comprend les cas où l'analyse et l'évaluation révèlent

qu'il n'existe aucune exigence de sécurité; cependant, une fois que l'on a abouti à cette conclusion (c'est à dire. que la situation n'est pas relative à la sécurité), et sous réserve que la conclusion ne sera pas remise en cause suite à des évolutions ultérieures, la présente norme cesse d'être applicable [W14].

IV.3.2 Processus des risques ferroviaires

Les risques existant dans le système ferroviaire peuvent concerner un individu unique (risque individuel), plusieurs personnes (risque collectif), le système (matériel roulant et infrastructures) ou l'environnement. De manière générale, on distingue trois catégories d'accidents: l'utilisateur accident, le système accidents et l'utilisateur / système accidents. Cette classification peut être complétée avec la catégorie environnement / système d'accident [111]. La figure IV.5 détaille les différents accidents du système ferroviaire, classés selon les catégories ci-dessus.

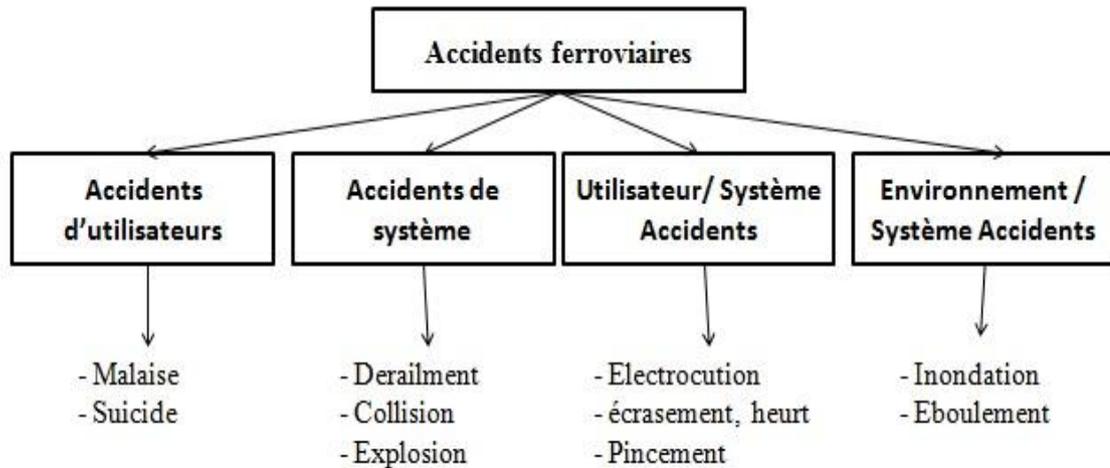


Figure IV. 5 Classification des différents accidents dans le système ferroviaire

Les quatre catégories de la figure 2 sont décrites comme suit [112]:

Accidents d'utilisateur: ils sont associés aux dommages causés à un ou plusieurs utilisateurs situés dans le système lorsqu'aucun problème de fonctionnement du système n'est survenu et qu'aucune action de cet utilisateur ou de ces utilisateurs n'a été détectée.

Accidents Système: ils sont associés à des dommages subis par le système, ainsi que par les utilisateurs ou le personnel, lors d'un accident provoqué par le système lui-même.

Accidents Utilisateur / Système: ils sont associés aux dommages causés à une ou plusieurs personnes au sein du système, au cours d'une action effectuée par l'utilisateur ou les utilisateurs au cours du fonctionnement normal du système.

Accidents Environnement / Système: Ils sont associés à des dommages causés au système et à ses utilisateurs lors de conditions environnementales appelées catastrophes naturelles.

IV.3.3 Maitrise des risques d'un système ferroviaire

La maîtrise des risques est une étape cruciale de la démarche de prévention des risques ferroviaires. Cela implique l'utilisation de différentes méthodes pour réduire le risque afin qu'il soit acceptable [113]. L'évaluation des risques dans le système ferroviaire est basée sur les étapes suivantes:

- Identification des dangers.
- Analyse des causes / conséquences.
- Estimation de fréquence / gravité.
- Intégration des mesures de prévention et de protection.
- Vérification de l'acceptabilité du niveau de risque.

IV.3.3.1 La matrice des risques ferroviaires

Une matrice de risques est une matrice utilisée lors de l'évaluation des risques pour définir le niveau de risque en considérant la catégorie de probabilité d'occurrence par rapport à la catégorie de gravité des conséquences. Il s'agit d'un mécanisme simple permettant d'accroître la visibilité des risques et d'aider les décideurs à prendre des décisions. Effectivement, le risque est une combinaison de la gravité et de la fréquence des accidents. La fréquence des accidents peut être calculée en fonction de la fréquence des dangers et de la probabilité qu'un danger se transforme en accident.

Il est bien connu que l'acceptation des risques est un sujet complexe, l'analyse des risques dans le système ferroviaire peut être assez chronophage et fastidieuse, en particulier quand ils sont effectués quantitativement, pour cela, la norme EN 50126 classifie les risques liés à l'exploitation d'un système de transport guidé en fonction de leur niveau de gravité et de fréquence imposé par cette norme, afin de répartir ces risques dans une matrice dédiée pour la sécurité ferroviaire.

IV.3.3.1.1 La gravité

Le tableau suivant décrit le niveau de gravité des conséquences possibles sur les dangers, tel qu'introduit dans la norme ferroviaire EN50126. Cette échelle de gravité couvre aussi bien les dommages sur l'homme et le système, que les nuisances portées à l'environnement.

Niveau de gravité	Conséquence pour la personne	Signe proposé
Catastrophique	Décès et / ou multiples blessures graves et / ou dommages importants à l'environnement	1
Critique	Un Décès et / ou un blessé grave et /ou dommages importants à l'environnement	2
Marginal	Blessure mineure et / ou menace importante pour l'environnement	3
Insignifiant	Possible blessure mineure	4

Tableau IV.1 Classification des risques ferroviaires par l'échelle de gravité

IV.3.3.1.1 La fréquence d'occurrence

Le tableau suivant contient les catégories et les descriptions de la fréquence d'apparition de l'événement dangereux pour le système ferroviaire, issu de l'EN 50126, cette fréquence est la mesure du nombre moyen d'occurrences attendues dans des conditions connues, estimée sur une période de temps donnée (année, jour heure etc.).

Catégorie	Niveau de fréquence	Signe proposé
Fréquent	Susceptible de se produire fréquemment. La situation dangereuse est continuellement présente.	A
Probable	Peut survenir à plusieurs reprises.	B
Occasionnel	Susceptible de survenir à plusieurs reprises.	C
Rare	Susceptible de se produire à un moment donné du cycle de vie du système.	D
Improbable	Peu susceptible de se produire mais possible.	E
Invraisemblable	Extrêmement improbable.	F

Tableau IV.2 Echelles de fréquence d'occurrence selon la norme NF EN 50126

Pour estimer un niveau de risques liés à l'exploitation ferroviaire, la matrice des risques suivante est utilisée. Elle est introduite dans la norme EN 50126 et représente un exemple typique d'évaluation des risques incluant un critère d'acceptation.

		Gravité			
		Catastrophique (1)	Critique (2)	Marginal (3)	Insignifiant (4)
Fréquence	Fréquent (A)	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
	Probable (B)	Acceptable	Indésirable	Inacceptable	Inacceptable
	Occasionnel (C)	Acceptable	Indésirable	Indésirable	Inacceptable
	Rare (D)	Négligeable	Acceptable	Indésirable	Indésirable
	Improbable (E)	Négligeable	Négligeable	Acceptable	Acceptable
	Invraisemblable (F)	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable

Tableau IV.3 Matrice des risques selon la norme NF EN 50126

IV.4 Évaluation de la sécurité du tramway de Constantine

IV.4.1 Analyse des incidents

Les enquêtes sur les incidents et ceux évités de justesse sont souvent plus importantes que les enquêtes sur les accidents, bien qu'il y ait rarement utilisées par les services de sécurité ferroviaire de l'exploitant. Pour ce fait, nous avons essayé de recenser les statistiques des incidents survenus sur la ligne pour une période de temps donnée. Cette analyse des incidents enregistrés lors de l'exploitation du tramway est un élément fondamental de la compréhension des éléments de causalité et de leur maîtrise ultérieure. Effectivement, l'amélioration de la qualité de l'analyse des incidents permet de détecter les points de fragilité afin de prévenir les accidents. Afin de mieux évaluer le niveau de sécurité du tramway de Constantine, la figure IV.6 indique le nombre d'incidents survenus au cours de la période (Avril 2016 - Mars 2017) qui ont été évités soit par un frein de secours actionné par le conducteur du tramway, soit par le système de secours. Soit par le bouton d'arrêt d'urgence déclenché par un superviseur du trafic.

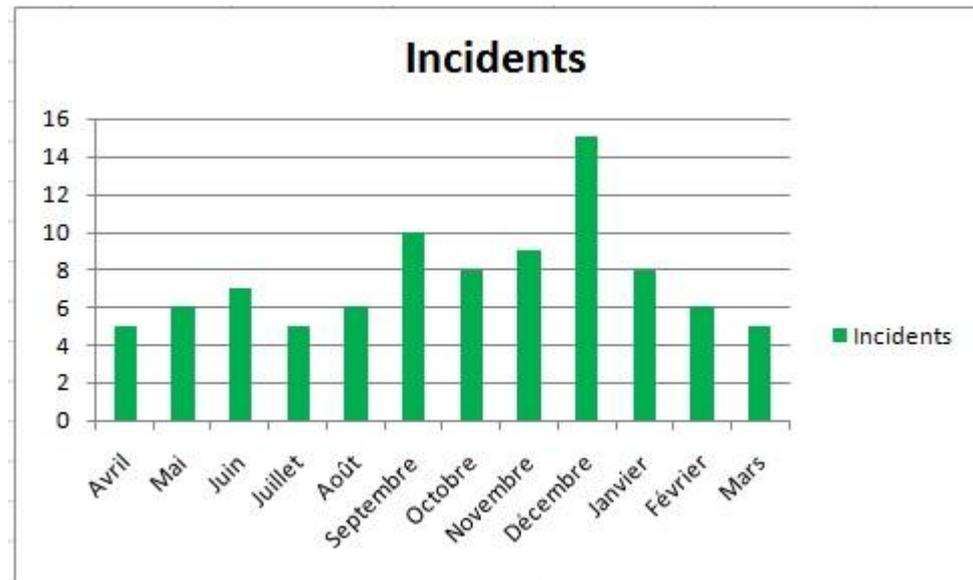


Figure IV. 6 Statistiques des incidents (Avril 2016 - Mars 2017)

L'analyse des incidents en fonction de périodes spécifiques prend en compte l'influence de la variable de temps sur les accidents de tramway. Le graphe ci-dessus montre qu'il y a une faible proportion d'incidents survenus pendant l'été, car le réseau routier urbain enregistrait au cours de ces mois les plus faibles volumes de circulation de voitures particulières et de piétons. Les mois d'automne ont généralement enregistré des volumes de trafic plus importants en raison de la réinsertion sociale (étudiants, élèves et travailleurs) dans la ville et, par conséquent, de la plus forte proportion d'incidents. Cela montre que des mesures de sécurité supplémentaires doivent être mises en œuvre afin de réduire ces situations au cours de cette période.

IV.4.2 Analyse des accidents liés à l'exploitation du tramway

Selon une analyse qualitative et quantitative des accidents de tramway dont la source principale est la société SETRAM, chargée de l'exploitation de la ligne de tramway; différents scénarios ont été enregistrés. Rappelez-vous que les accidents de tram se produisent malgré les mesures de sécurité prises par l'opérateur et que certains accidents impliquant des véhicules légers et des piétons ont des conséquences graves [114]. Depuis son insertion en juillet 2013 jusqu'en décembre 2016, son exploitation a été préjudiciable à la ville de Constantine, des accidents de tramway avec usagers de la route continuent de se produire et plusieurs collisions de gravité différente ont été enregistrées.

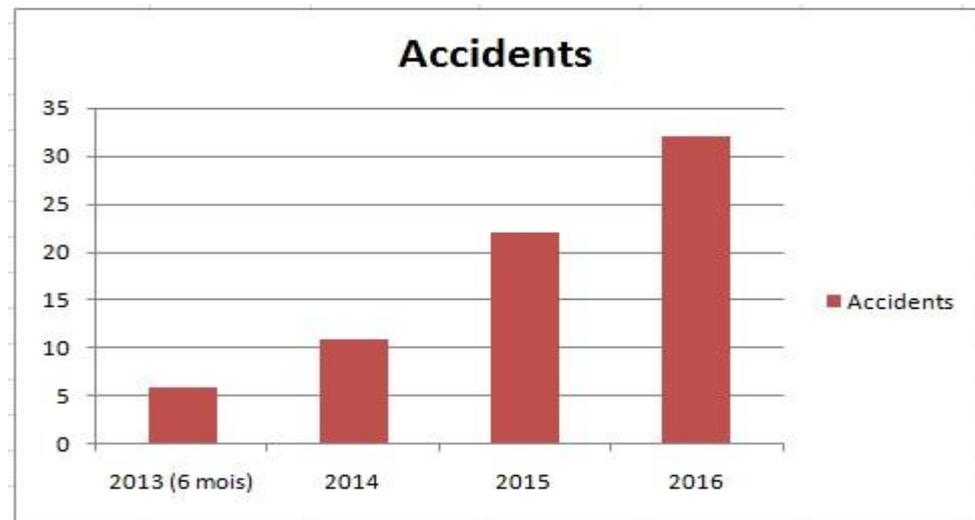


Figure IV. 7 Répartition du nombre d'accidents par an

En observant le nombre absolu d'accidents de tramway pour la période 2013-2016, on constate une augmentation significative du nombre d'accidents chaque année, malgré les campagnes de sensibilisation et les actions entreprises par l'opérateur pour sensibiliser les citoyens aux risques du tramway, ce qui sous-entend l'existence d'autres causes ayant une incidence sur la sécurité du tramway, et qui sera présenté dans ce chapitre.

IV.4.3 L'influence du kilométrage parcouru

Afin de vérifier l'influence du kilométrage parcouru par les rames du tramway de Constantine, sur l'accidentalité générale, nous avons essayé de calculer le rapport (Nombre d'accident / Kilométrage) pour chaque année * 10^4 . Les résultats sont présentés dans la figure suivante :

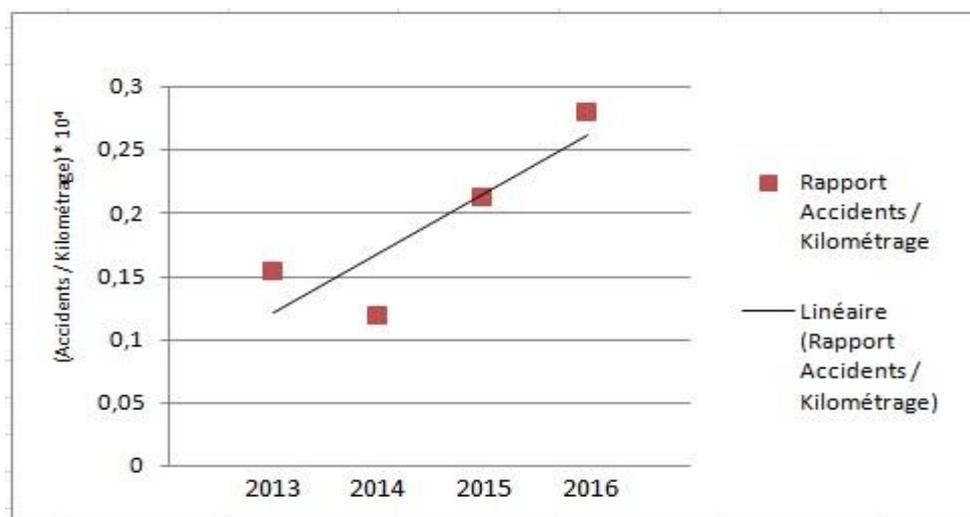


Figure IV. 8 le rapport (Nombre d'accident / Kilométrage)

La courbe de tendance indique que les accidents ont augmenté sur la période de 4 ans par rapport au kilométrage parcouru pour chaque année d'une façon irrégulière, donc nous pouvons dire que le kilométrage n'a pas une grande influence sur l'accidentologie du tramway de Constantine.

Pour l'ensemble de la ligne, la fréquence moyenne des accidents par kilomètre parcouru est de un accident pour 50000 km sachant que le kilométrage journalier moyen est de 3000 km/jour, soit une moyenne d'un accident chaque 17 jours.

IV.4.4 Répartition des accidents par catégorie

La figure IV.9 montre la répartition des accidents de tramway de Constantine par catégorie. Nous pouvons voir que la plupart des accidents sont du type utilisateur / système, ce qui signifie que tous les événements provoquant des accidents se produisent avec l'interaction du facteur humain et du système. Il est donc essentiel de définir un plan d'action prenant en compte le facteur humain dans ces systèmes automatisés afin d'atteindre un niveau de sécurité élevé.

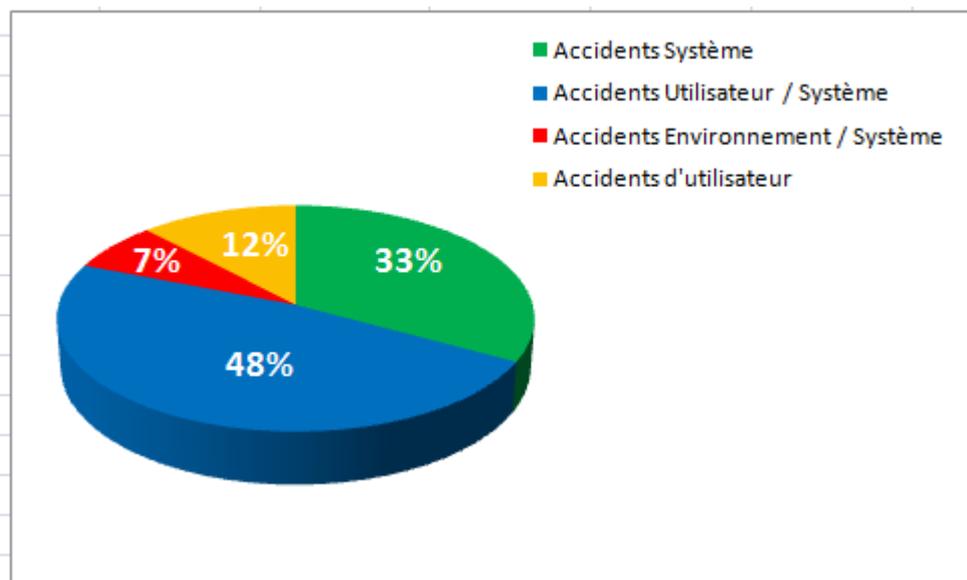


Figure IV. 9 Répartition des accidents par catégorie

IV.4.5 L'influence du facteur humain sur la sécurité du tramway

Avec l'amélioration de la fiabilité technique, la tendance actuelle est d'attribuer les dysfonctionnements des systèmes, générateurs d'accidents, à une erreur de l'opérateur humain. L'opérateur est considéré comme un point faible du système et une limite de performance et de sécurité. Ainsi, l'erreur humaine est un facteur causal majeur dans l'apparition d'accidents dans plusieurs secteurs de la sécurité, y compris le transport ferroviaire [115]. Au fil des années, un grand nombre d'accidents ferroviaires ont entraîné de nombreux décès et un coût économique

élevé en raison de problèmes liés aux facteurs humains dans la conception et l'exploitation des systèmes ferroviaires autour du monde [116].

IV.4.5.1 Place du facteur humain dans les systèmes de transport guidé

Dans les nouveaux systèmes ferroviaires l'automatisation signifie le remplacement d'une fonction humaine, qu'elle soit manuelle ou cognitive, par une fonction automatique dont le rôle est d'aider l'opérateur humain à faire son travail d'une façon optimale. Il faut donc étudier la collaboration entre l'homme et le système à un stade très précoce de la mise au point du dispositif pour assurer l'efficacité et la sécurité du système de transport [117].

Le système de Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité (FDMS) apparaît dans la norme ferroviaire EN- 50126 implique l'intégration du facteur humain sur toutes les phases d'un système ferroviaire, le schéma de ces phases est représenté dans la figure ci-dessous [118].

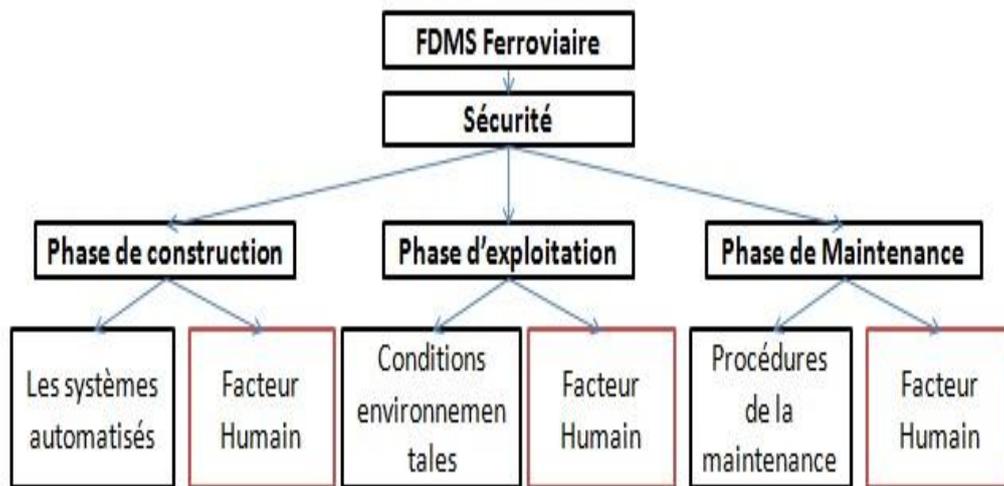


Figure IV. 10 Facteur humain dans le système de sécurité ferroviaire.

Dans le système ferroviaire, les risques liés à la sécurité sont façonnés par le concepteur et l'exploitant. Si les évaluations de la sécurité dans la phase de conception tiennent compte des facteurs humains, par la mise en place d'une sécurité intrinsèque, afin de minimiser l'erreur humaine dans ce système automatisé, malheureusement ces évaluations sont toujours limitées vue que chaque personne à son propre équation. De ce fait, le concepteur ne tient pas compte des divergences sur la perception du risque de l'utilisateur au moment de l'exploitation, ni prend en compte sa propre erreur. Cependant, les erreurs systématiques doivent être contrôlées par des exigences déterminées par les niveaux d'intégrité de la sécurité et les nouveaux systèmes de gestion de la sécurité. Le concepteur a une perspective externe et stable pour évaluer le risque

pour un système humain-machine, bien que l'opérateur ait un point de vue très flexible pour son contrôle des risques par rapport aux conditions environnementales [119].

IV.4.5.2 Les risques liés à l'erreur humaine : le conducteur

La figure IV.11 représente un accident de système survenu dans le tramway de Constantine le 16 août 2016 en raison d'une erreur de conduite.



Figure IV. 11 Accident de tramway à Constantine dû à une erreur humaine [W15]

Les conducteurs sont la cause principale de beaucoup d'incidents qui interrompe l'exploitation du tramway. En outre, les transports urbains sont des systèmes technico-sociaux, qui deviennent de plus en plus complexes avec les exigences sociales modernes. C'est pourquoi la sécurité en exploitation de tous leurs composants présente aujourd'hui des défis et des challenges importants.

La figure IV.12 montre le nombre de franchissements de signal par les conducteurs depuis la mise en service du tramway en 2013.

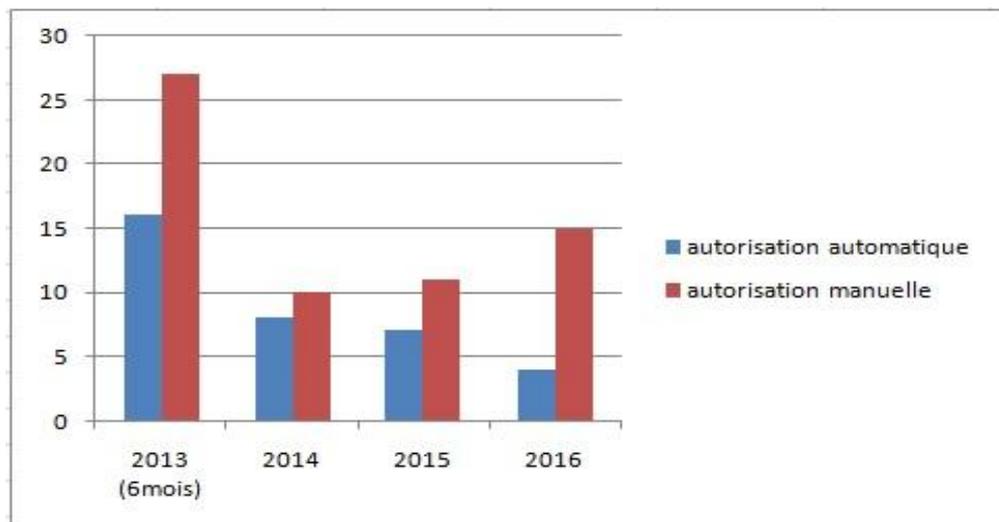


Figure IV. 12 Rapport de franchissement de signale par les conducteur

À l'exception de 2013, période de maîtrise de ce nouveau mode de transport. Nous signalons qu'il y a une augmentation du nombre de passages de signaux manuels qui implique que les conducteurs du tramway de Constantine ont été soumis à une forte fatigue en raison de l'hypovigilance [120] en raison des horaires de conduite (7 heures) et au mauvais comportement des citoyens dans les gares ou aux intersections.

En effet, la conduite est une tâche complexe dans l'exploitation du tramway, qui exige des connaissances, de l'expérience et de l'attention du conducteur. Le conducteur est tenu de conduire en toute sécurité conformément aux règles et conditions de la circulation [121], mais il peut être sujet à des erreurs telles que le non-respect des signaux affichés, le dépassement de la vitesse autorisée ou le non-respect de la procédure, le dépassement de la vitesse autorisée ou le non-respect de la procédure, etc. Toutes ces erreurs sont le symptôme d'une organisation du travail médiocre, d'une formation insuffisante ou inadéquate des conducteurs, etc., et peuvent nuire au fonctionnement de ce système dans des conditions de sécurité optimales. Afin d'améliorer la fiabilité humaine et de réduire les erreurs, nous suggérons que:

- L'exploitant devraient réduire la charge de travail des conducteurs de tramway de Constantine; organiser un horaire de travail / de repos approprié [122].
- Améliorer l'environnement de travail physique des conducteurs.
- Planification de séances de test de vigilance psychomotrice pour les conducteurs.
- Examen médical spécialisé et périodique.

IV.5 Recommandations

IV.5.1 Recommandations générales

- **Systèmes de contrôle de la circulation urbaine :** Le comportement des conducteurs aux intersections traversées par le tramway est non seulement influencé par les règles de priorité du tramway, mais également par les caractéristiques de la route qui influent sur le bon ou le mauvais comportement du conducteur [123]. La plupart des intersections avec la plate-forme de tram sont gérées par des systèmes de feux de signalisation standard permettant de donner la priorité au tramway, mais depuis son implantation en avril 2015, certains signaux ne fonctionnent pas correctement, par exemple: Le feu reste rouge, mais aucun tramway existe dans l'intersection ou le signal donne l'autorisation aux usagers de la route avec un tramway à l'intersection. **Améliorations possibles:** En utilisant la méthode de priorité active ou de priorité dynamique, cette méthode consiste à modifier les signaux d'intersection pour

autoriser le passage du tramway qui a été détecté. L'avantage de cette méthode est qu'elle n'est pas contrainte par un cycle fixe de feux de circulation [124].

- **Les campagnes de sensibilisation :** Des campagnes de sensibilisation efficaces sont un élément essentiel de l'amélioration de la sécurité dans le système ferroviaire, afin de sensibiliser les passagers aux consignes de sécurité qu'ils doivent suivre dedans le tramway et sur les quais. pour le tramway de Constantine, les campagnes de sensibilisation lancées par la société d'exploitation sont insuffisantes, le processus n'étant limité qu'au début de l'opération, il est essentiel de poursuivre les campagnes de sensibilisation pour renforcer la culture de la sécurité pour les citoyens, en effet, d'après un enquête effectué sur les passagers, nous avons constaté qu'un nombre important des usagers du tramway habitent hors de la ville de Constantine, et qui utilisent ce système pour la première fois. La sensibilisation audiovisuelle est très importante au niveau des stations afin de sensibiliser les passagers sur les procédures de sécurité nécessaires [125].

IV.5.2 Recommandations pour la l'extension de la ligne

L'un des principaux moyens de rendre cette ligne aussi sûre que possible est de bien concevoir son insertion urbaine, en tenant compte de trois aspects principaux: la visibilité entre le tramway et les autres usagers du corridor (véhicules routiers, piétons), la perception du système (et l'information aux autres usagers du corridor) et la protection du tramway dans ses interactions avec eux [126]. Aussi, la présence d'un espace public fréquenté en extrémité de voie constitue un risque à prendre en compte, par conséquent, afin d'éviter d'autres événements de dépassement de la voie , le constructeur doit mettre en place un dispositif de fin de voie hors le taquet d'arrêt qui n'est pas considéré comme un dispositif fiable de fin de voie (efficacité limitée à des vitesses très faibles < 5km/h).

Conclusion

Dans ce chapitre, une analyse de la sécurité du tramway de Constantine a été réalisée. L'objectif était de contribuer à l'amélioration de la sécurité ferroviaire d'un nouveau mode de transport urbain en Algérie, dont les perspectives proposées peuvent être appliquées comme un retour d'expérience non seulement pour le tramway de Constantine, mais aussi pour les autres lignes du tramway en toute l'Algérie. Nous pouvons dire que les accidents dépendent non seulement de l'environnement du tramway, mais également du système de management de la sécurité mis en place par la société exploitante, qui doit être révisé en tenant compte de la cohérence entre ce système automatisé et le facteur humain. Les résultats de cette étude

pourraient être utilisés pour suggérer un système de gestion de la sécurité centré non seulement sur les parties techniques mais également sur les facteurs humains sous-jacents. Enfin, on peut dire que nous devons maintenant vivre en harmonie avec le tramway en service. À cette fin, il est nécessaire de lancer des activités éducatives et préventives ainsi que des activités promotionnelles, qui informeraient, formeraient et encourageraient les comportements souhaitables des citoyens afin de: atteindre un niveau élevé de la culture sécuritaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

L'insertion d'une nouvelle ligne de tramway dans une zone urbaine s'accompagne toujours par une restructuration et d'une requalification urbaine, effectivement, cette ligne de tramway doit être considérée comme un projet urbain et non seulement comme un moyen de déplacement, la prise en compte des actions en faveur d'une mobilité urbaine durable reste incontournable. En effet, ce système de transport doit être durable, tant sur le plan économique et social que sur le plan environnemental.

C'est dans le cadre de cette problématique que notre travail de recherche s'est effectué. Après avoir présenté cette problématique et les verrous sous-tendus, cette thèse a décrit nos recommandations. Celle-ci a consisté en l'évaluation de la première ligne du tramway de Constantine système en priori et en posteriori, sur les plans socio-économiques, environnementaux, et sécuritaires afin d'optimiser l'exploitation de cette ligne et contribuer à l'amélioration du système global de la mobilité des Constantinois. Cette évaluation nous a permis de mieux comprendre les évolutions de la ville autour du tramway, de mieux connaître son impact sur l'environnement et les déplacements de l'agglomération. En effet, cette évaluation a placé une analyse des avantages et inconvénients de cette réalisation sur le système global de la mobilité de la ville depuis la mise en service de cette ligne. Elle nous a permis de déterminer les enjeux liés au projet ainsi que son intérêt social et économique.

De ce fait, l'objectif principal de cette thèse étant de rendre la première ligne du tramway de Constantine plus durable et plus performante dans sa contribution dans le développement de la mobilité quotidienne mais aussi sur le développement urbain de la ville. Nous nous sommes arrêtés dans cette recherche sur les lacunes enregistrées au niveau du tramway de Constantine, qui entravent l'exploitation optimale de ce moyen durable. Nous avons choisi les indicateurs les plus pertinents notamment l'efficacité économique par l'adéquation de l'offre/ demande et l'analyse de la sécurité vu l'importance de la pérennité du projet. Donc, la principale contribution de ce travail consiste en la proposition d'un nouveau plan de déplacement urbain qui s'articule autour de l'utilisation de tramway à travers l'intermodalité bus/ tramway par l'utilisation des pôles d'échanges sur le long de la ligne, afin d'augmenter les habitants desservis par le tramway et par conséquent l'augmentation de fréquentation générale de la ligne. D'autre part ce que nous avons valorisé dans ce travail, est la sécurité de la circulation ferroviaire du tramway dans le milieu urbain et notamment avec la nouveauté de ce système en Algérie dont les citoyens n'ont pas encore une culture sécuritaire face à l'exploitation de ce mode de transport in situ, ainsi que pour l'exploitant qui se retrouve dans une situation actuelle assez différente par rapport aux autres pays expérimentés dans ce domaine.

Références Bibliographiques

- [1] Fredrik Hedenus, Martin Persson & Frances Sprei (2016) Sustainable Development History, Definition & the Role of the Engineer. Gothenburg, Janvier 2016.
- [2] Caroline Leininger-Frézal (2009) Le développement durable et ses enjeux éducatifs. Acteurs, savoirs et stratégies territoriales. Education. Université Lumière - Lyon II, 2009. Français. <tel-00449803>
- [3] Alain Geldron (2013) Economie circulaire : notions, ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, fiche technique.
- [4] Murphy, Kevin (2014) "The Social Pillar of Sustainable Development: A literature review and framework for policy analysis," The ITB Journal: Vol. 15: Iss. 1, Article 4.
- [5] Giorgos Goniadis (2015) Introduction to Sustainable Development. Copyright © 2015 International Hellenic University.
- [6] Candice Stevens (2005) Measuring Sustainable Development. Organization for Economic Co-operation and Development, Editions OECD. September 2005 No. 10
- [7] Bavoux, J.-J., & Chapelon, L. (2014). Dictionnaire d'analyse spatiale. Armand Colin.
- [8] Flexible Ridesharing, Volker Handke, Helga Jonuschat (2013) New Opportunities and Service Concepts for Sustainable Mobility. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. ISBN 978-3-642-11344-4 DOI 10.1007/978-3-642-11345-1
- [9] Bourdin, A. (2005). Les mobilités et le programme de la sociologie. Cahiers internationaux de sociologie, 118, pp. 5–21.
- [10] Di Méo, G., & Buléon, P. (2005). L'espace social : Lecture géographique des sociétés. Armand Colin.
- [11] Kaufmann, V. (2005). Mobilité et modes de vie : entre aspirations et contraintes.
- [12] Rébecca Dargirolle (2014) Les exclus de la mobilité : de l'observation à la décision. Thèse de doctorat, Université De Bourgogne UFR Sciences Humaines.
- [13] Louiselle Sioui (2014) Pour Une Approche Pragmatique Et Opérationnelle De La Mobilité Durable : Concept, Méthodes Et Outils. Thèse de doctorat, département des génies civil, géologique et des mines école polytechnique de Montréal.
- [14] Cléo Lossouarn (2007) Mobilité et Développement Urbain. Journée d'Etude. 7 Septembre 2007 Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. AdP c/o ISTED-Villes en développement – Grande Arche 92055 LA DEFENSE Cedex.
- [15] Lassen, C. et Jensen, O.B. (2006), «Mobility Research Working», Nordic Social Geographic Magazine 41/42, 11-34.

- [16] Malene Freudendal, Pedersen (2009) *Mobility in Daily Life between Freedom and Unfreedom*. Ashgate Publishing Limited. ISBN 978-0-7546-7490-0.
- [17] Limmer, R., & Schneider, N. F. (2008). Studying job-related spatial mobility in Europe. In N. F. Schneider & G. Meil (Eds.), *Relevance and diversity of job-related spatial mobility in six European countries (mobile living across Europe, Vol. I)* (pp. 13–45). Opladen: Barbara Budrich.
- [18] Can M. Aybek, Johannes Huinink, Raya Muttarak (2015) *Spatial Mobility, Migration, and Living Arrangements*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. ISBN 978-3-319-10020-3 DOI 10.1007/978-3-319-10021-0
- [19] Clark, W. A. V. (1986). *Human migration*. Beverly Hills: Sage.
- [20] Rosário Macário (2011) *Gestion des systèmes de mobilité urbaine*, British Library, ISBN: 978-0-8572-611-0
- [21] ITF (2010) *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions*, Trends&Data 2010. <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>
- [22] Gebhard Wulfhorst, Stefan Klug (2016) *Sustainable Mobility in Metropolitan Regions Insights from Interdisciplinary Research for Practice Application*. Springer Fachmedien Wiesbaden 2016. ISBN 978-3-658-14427-2 DOI 10.1007/978-3-658-14428-9
- [23] Da Cunha, Antonio (2005) *Enjeux du développement urbain durable : transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance*. Presses polytechniques et universitaires romandes. ISBN 2-88074-652-3
- [24] Erling Holden (2007) *Achieving Sustainable Mobility Everyday and Leisure-time Travel in the EU*. Ashgate Publishing Limited. ISBN-13: 978-0-7546-4941-0
- [25] ATEC ITS France (2016) *Mobilité 3.0 Ensemble pour la mobilité intelligente*. Livre vert France.
- [26] Qiyang Liu, Shafiq Liddawi, Yini han (2015) *Key Factors of Public Attitude towards Sustainable Transport Policies: A Case Study in Four Cities in Sweden*. Master's Degree Thesis. Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden
- [27] Stefano Gori, Marialisa Nigro, Marco Petrelli (2012). The impact of land use characteristics for sustainable mobility: the case study of Rome. *Eur. Transp. Res. Rev.* 4:153–166 DOI 10.1007/s12544-012-0077-6
- [28] Gorham, R. (1998), *Land-Use Planning and Sustainable Urban Travel*. European Conference of the Ministers of Transport. Paris. OECD-ECMT workshop on Land-Use for Sustainable Urban Transport: Implementing Change 23-24 September 1998 Linz, Austria
- [29] Cervero, R and K. Kockelman (1997), *Travel demand and the 3 dís: density, diversity and design*. *Transportation Research 2d*: 199-219

- [30] Henk Meurs (2003) Land Use and Sustainable Mobility. EJTIR, 3, no. 2, pp. 109-117
- [31] MoDu (2012) Stratégie globale pour une mobilité durable. Ministère du Développement durable et des Infrastructures Département de l'aménagement du territoire 4, place de l'Europe L-1499 Luxembourg www.dat.public.lu
- [32] Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. 25: 73-76.
- [33] Dalvi, M. Q. and K.M. Martin (1976). "The measurement of accessibility: Some preliminary results." Transportation 5(1): 17-42.
- [34] Audrey Godin (2012) l'accessibilité en transport : méthodes et indicateurs. Thèse de doctorat, université de Montréal
- [35] Cyprien Richer, Patrick Palmier (2013) Mesurer l'accessibilité territoriale par les transports collectifs. Proposition méthodologique appliquée aux pôles d'excellence de Lille Métropole. Cahiers de géographie du Québec, Département de géographie de l'Université Laval, 2012, 56 (158), pp.31.
- [36] David Banister (2002) Transport Policy and the Environment. Publisher: E. & F. N. ISBN 978-0419231400
- [37] Saleem Karou, Angela Hull (2012) Accessibility Measures and Instruments, in Angela Hull, Cecília Silva and Luca Bertolini (Eds.) Accessibility Instruments for Planning Practice. COST Office, pp. 1-19.
- [38] Daniel Maurino (2017) Why SMS: An introduction and overview of safety management systems. OECD/ITF International Transport forum.
- [39] cecília silva, paulo pinho (2006) A methodology to assess the contribution of the land use and transport systems to sustainable urban mobility. Association for European Transport and contributors.
- [40] European Commission, Community Research (2003) Achieving sustainable transport and land use with integrated policies. www.transplus.net
- [41] Lucie Polo Rehn (2013) Caractérisation et impacts des émissions de polluants du transport routier : Apports méthodologiques et cas d'études en Rhône Alpes. Sciences de la Terre. Université de Grenoble.
- [42] Christopher Hall (2014) An Evaluation of the Sustainability of the Tramlink in Croydon. Published by ProQuest LLC
- [43] Damien Verry, Jean-Pierre Nicolas (2005) Indicateurs de mobilité durable : de l'état de l'art à la définition des indicateurs dans le projet Simbad. Rapport intermédiaire n°2. Rapport de recherche.

- [44] Karl Heinz Schäfer (2005) Quality Targets and Indicators for Sustainable Mobility: User Guide. Published by: Umweltbundesamt Dessau
- [45] Cécile Nangeroni, « l'insertion urbaine des TCSP » in « Railet Transports pp.35-39, N° 362, le 19 Janvier 2005
- [46] Didier Rouchaud (2016) Transports collectifs en site propre Quel impact des investissements sur la fréquentation. Service de l'évaluation, de l'économie et de l'intégration du développement durable. France
- [47] Jeong-Hwa An (2011) Le choix d'un système de transport durable : analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface. Economies et finances. Université Paris-Est.
- [48] Certu (2009) Tramway et Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en France : domaines de pertinence en zone urbaine. Revue Transport/Environnement/Circulation (TEC) n° 203 de septembre 2009, numéro spécial "Transports publics et territoires"
- [49] Sophie Labbouz (2008). Le choix du tracé d'une ligne de transport en commun en site propre et de la position de sa plateforme en milieu urbain : l'utilisation des outils mathématiques au service de la concertation. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est.
- [50] Sophi Mougad (2011) Convention relative aux études et modalités de concertation du DOCP à l'enquête publique dans le cadre de la mise en place du TCSP. Paris France
- [51] Patrick Michel, Thierry Monier (2001) l'évaluation environnementale des plans et programmes de transport. [http://www. environnement.gouv.fr](http://www.environnement.gouv.fr)
- [52] Cerema (2015) Évaluation a posteriori des transports collectifs en site propre. Direction technique Territoires et ville 2, rue Antoine Charial – CS 33297 – 69426 Lyon cedex 03
ISBN : 978-2-37180-055-7
- [53] Francis GOLAY(2008) Bibliographie sur l'émission acoustique des tramways. Modélisation des véhicules étendus par des sources sonores ponctuelles. certu. ISSN 1263-2570
- [54] Nicaise Simplicie Boussougou (2009) Evaluation of the efficiency of the urban public transportation in bus lane, elaboration of a mathematical model of optimization of the hourly flow. thèse de doctorat. Université Des Sciences et Technologies De Lille.
- [55] ric Morin (2005) Modélisation d'un réseau électrique de tramway : du composant au système. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I.
- [56] Elisa Maitre (2016) L'ambivalence de l'insertion du tramway dans les espaces publics des villes françaises. URBIA - Les Cahiers du développement urbain durable, 2016, pp.127-143.
- [57] Roche Delluc (2003) Le TRAMWAY de Québec Pour une nouvelle vision de la mobilité urbaine. RTC.Canada.

- [58] Baumstark L., Ménard C., Roy W., Yvrande-Billon A., 2005, Modes de gestion et efficience des opérateurs dans le secteur des transports urbains de personnes, Rapport PREDIT n° 03MT24, 154 p.
- [59] Tarik Zaidane (2012) Évaluation Du Comportement Du Système De Transport Flexible DAS (DEMAND ADAPTATIVE SYSTEM). Université Du Québec À Montréal.
- [60] RIBOUH Bachir, BENSAKHRIA Karima (2011) Vers un transport urbain durable (CAS DU TRAMWAY DE LA VILLE DE CONSTANTINE) Sciences & Technologie D – N°33, Juin (2011), pp. 63-70
- [61] Farès Boubakour (2008) Les transports urbains en Algérie face aux défis du développement durable : sur les problèmes rencontrés et les solutions proposées. Codatu XIII. Vietnam.
- [62] CHERRAD Salah Eddine, BENMACHICHE Meriem (2017) LE TRANSPORT PUBLIC A CONSTANTINE : MODES ET ACTEURS. Cahiers Géographiques de l'Ouest, n°XX, 2017.
- [63] DTW Constantine (2012) Définition du périmètre urbain. Décision du Wali de Constantine. N° 1695/12.
- [64] DTW Constantine (2018) Rapport de nombre des bus urbains. Service des bus urbain et inetr-urbain.
- [65] DTW Constantine (2018) Rapport de nombre des taxis urbains. Service des taxi.
- [66] JORADP (2016) Arrêté du 14 aout 2016 définissant les modèles-types des documents relatifs à l'exercice de l'activité de transport par taxi. Journal officiel de la république algérienne n° 58.
- [67] STL (2011) Le transport par câble: Société de transport de Laval – Laval (Québec) Creative Urban Projects. Canada.
- [68] EMA (2008) Description générale du tramway de Constantine. Entreprise du Métro d'Alger. Document technique.
- [69] L M McCormack & P W Hooper (2011). Railway electrical systems integration and electromagnetic compatibility (EMC), Railway Electrification Infrastructure and Systems (REIS 2011), 5th IET Professional Development Course on, ISBN: 978-1-84919-512-6, pp 219-231
- [70] Ade Ogunsola, Andrea Mariscotti (2013) Electromagnetic Compatibility in Railways Analysis and Management, Springer, ISBN 978-3-642-30280-0
- [71] European Standards EN 50121: 2006 Railway applications – Electromagnetic Compatibility
- [72] S.Baranowski, H.Ouaddi, L.Kone, N.Idir (2012). EMC analysis of railway power substation modeling and measurements aspects, Perpinya X. Infrastructure design, signalling and security in railway, InTech, Chapter 13, 333-352, 2012, ISBN 978-953-51-0448-3

- [73] L M McCormack, C A Marshman, A C Marvin, T Konefal D A J Pearce (2002) . Potential Electromagnetic Interference to Radio Services From Railways, proceedings EMC Europe 2002, Sorrento, Italy, pp1195
- [74] EMA (2013) EMC System Integration Test Report.
- [75] K.W.Cheng, L.K.Siif, T.K.Ho (2000) Railway EMC environment and measurement, Computers in Railways VII, WIT Press, ISBN 1-85312-826-0, pp 323-331
- [76] Alexandre Jolibois (2013). Etude de la performance acoustique des écrans antibruit de faible hauteur pour le tramway : optimisation numérique par méthode de gradient et approches expérimentales. Acoustics [physics.class-ph]. Université Paris Est.
- [77] Marie-Agnès Pallas, Chrystèle Philipps-Bertin, Marc Maldonado (2009) Bruit et vibrations dus aux tramways : émission et perception. Rapport INRETS n° 279.
- [78] Eva Panulinová, Slávka Harabinová, Lubica Argalášová (2016) Tram Squealing Noise and Its Impact on Human Health. Noise Health. 2016 Nov-Dec; 18(85): 329–337. doi: [10.4103/1463-1741.195799]
- [79] Marc Maldonado (2008) Vibrations dues au passage d'un tramway : mesures expérimentales et simulations numériques. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Centrale de Nantes (ECN).
- [80] SerdB (2011). Spécialiste bruit & vibrations des transports collectifs. C.I.D.B -Les rencontres Acoustique & Techniques.
- [81] François ETOURNAY (2011) Etude d'impact vibratoire du prolongement du tramway T1 de Noisy-le-Sec à Val de Fontenay. RAPPORT D'ETUDE n°DG IDD 2 0 1 1 -5 0 4 0. RATP France.
- [82] Asma Melki (2008). SYSTEME D'AIDE A LA REGULATION ET EVALUATION DES TRANSPORTS MULTIMODAUX INTEGRANT LES CYBERCARS. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Centrale de Lille.
- [83] M.R. Bussieck, T. Winter, U.T. Zimmermann (1997) Discrete optimization in public rail transport: Mathematical Programming 79 (1997) 415-444
- [84] EMA (2013). Rapport des essais des performances acoustiques et vibratoires du tramway de Constantine.
- [85] Sundaravalli Narayanaswami, Narayan Rangaraj (2012) Scheduling and Rescheduling of Railway Operations: A Review and Expository Analysis. Technology Operation Management 2(2), 102–122
- [86] Jie Yang, Yongshi Xu, Ruihua Xu (2011) optimization method of urban rail transit train running scheme, Proceedings of IEEE CCIS DOI: 10.1109/CCIS.2011.6045140

- [87] Liuxing Tsao, Jing Chang, Liang Ma (2017). Fatigue of Chinese railway employees and its influential factors: Structural equation modelling, *Applied Ergonomics*, 62 132-141.
- [89] Kahlouche Abdelaziz, Rachid Chaib (2018) Contribution to the Optimization of the Operation of an Urban Railway Line. Case Study: Constantine Tramway. *Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. January 2018 RelStat 2017. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 36. Springer, ISBN: 978-3-319-74453-7; DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4_8.
- [90] Cyprien Richer, Joël Meissonnier, Mathieu Rabaud (2016). Quelle(s) intermodalité(s) dans les mobilités quotidiennes. ISTE Editions. *Transports et intermodalité*, ISTE Editions, pp.261-288, Collection Sciences, société et nouvelles technologie.
- [91] Aurba (2008) Bilan LOTI du tramway de l'agglomération bordelaise. Communauté urbaine de Bordeaux.
- [92] Soltani, A., Askari, S. (2014) Analysis of intra-urban traffic accidents using spatiotemporal visualization techniques. *Transport and Telecommunication*, 15(3), 227–232. DOI 10.2478/tjt-2014-0020
- [93] José A. Lozano, Jesús Félez, Juan de Dios Sanz and José M. Mera (2012) Railway Traction. Reliability and Safety In Railway. InTech. ISBN 978-953-51-0451-3
- [94] Silla, A., Kallberg, V. (2012) The development of railway safety in Finland, *Accident Analysis and Prevention*, 45, 737– 744.
- [95] An, M., Lin, W., Stirling, A. (2006) Fuzzy reasoning-based approach to qualitative railway risk assessment. *Proc. IMechE, Part F: J. Rail and Rapid Transit*, 220 153-167.
- [96] OECD (2010) Improving reliability on surface transport networks, Editions OECD. ISBN 978-92-82-10241-1
- [97] Dhillon, B.S. (2007) *Human Reliability and Error in Transportation Systems*, Springer-Verlag London. DOI: 10.1007/978-1-84628-812-8
- [98] Chaib, R., Verzea, I., Benidir, M., Taleb, M. (2012) Promoting a culture of health and safety at work: safety – a permanent priority, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 44, 405-413, doi:10.2495/RISK120341
- [99] A.G. Hessami (2012) A Systems Approach to Assurance of Safety, Security and Sustainability in Railways. *Railway Traction. Reliability and Safety In Railway*. InTech. ISBN 978-953-51-0451-3
- [100] IEC 61505. (1999) Electrotechnical Commission, functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
- [101] Ranger, L. (2010) In search of innovative policies in the transport sector. OECD.

- [102] Vaira Gromulea, Irina Yatskiv (Jackiva), Juris Pēpulisab (2017) Safety and Security of Passenger Terminal: the Case Study of Riga International Coach Terminal. *Procedia Engineering* 178 (2017) 147 – 154. doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.080
- [103] Granerud, R.L., Rocha, R.S. (2011) Organisational learning and continuous improvement of health and safety in certified manufacturers. *Saf. Sci.* 49(7), 1030 1039. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.009>
- [104] Hossam A. Gabbar, Kazuhiko Suzuki (2004) *The Design of a Practical Enterprise Safety Management System*. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-2948-9
- [105] Chitram Lutchman, Rohanie Maharaj, Waddah Ghanem CRC (2012) *SAFETY MANAGEMENT A COMPREHENSIVE APPROACH TO DEVELOPING A SUSTAINABLE SYSTEM*. Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-4398-6262-9
- [106] ISO 31000. (2009) Risk management, Principles and guidelines.
- [107] Yatskiv (Jackiva), I., Gromule, V. (2016) Holistic Approach to Passenger Terminal Risk Estimation. *IEEE*, 643-649, DOI 10.1109/SMRLO.2016.114
- [108] Railtrack PLC (2000) *Fundamentals and Guidance*. Engineering Safety Management Issue 3 (Yellow Book III), Volumes 1 & 2. ISBN 0 9537595 0 4.
- [109] CENELEC (2003) European Standard EN50129 Railway Applications – Communications, Signalling and Processing Systems – Safety Related Electronic Systems for Signalling
- [110] Silvia Čičmancová (2013) *SAFETY OF RAILWAY SYSTEM*. UPCE, Number 2, Volume VIII
- [111] Hadj-Mabrouk, H., Stuparu A. and Bied-Charreton D. (1998) Example of a typology of accidents in the field of guided transport. *General Review of Railways*. 17-55.
- [112] J. Beugin (2006) *Contribution à l'évaluation de la sécurité des systèmes complexes de transport guidé*. Thèse de doctorat, LAMIH, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis
- [113] Arena, M., Foiadelli, F., Acquaro, G. (2015) Functional safety of railway systems, AEIT International Annual Conference (AEIT), DOI: 10.1109/AEIT.2015.7415248
- [114] Kahlouche, A., Chaib, R. (2017) Analysis of tram safety: Case study of Algeria. *Procedia Engineering*, 178, 401-408. DOI.org/10.1016/j.proeng.2017.01.076
- [115] Hadj- Mabrouk, H. (2010) Introduction to safety and the analysis of technological and human risks, 3rd International Symposium on Maintenance and Risk Management, Apr 2010, Rabat, Morocco.
- [116] Dhillon, B.S. (2007) *Human Reliability and Error in Transportation Systems*, Springer Verlag London. DOI: 10.1007/978-1-84628-812-8

- [117] Habib hadj mabrouk (2003) Approche d'intégration de l'erreur humaine dans le retour d'expérience, synthèses INRETS n° 43
- [118] Malte Hammerl, Frédéric Vanderhaegen (2012) human factors in the railway system safety analysis process: 3rd international rail human factors conference.
- [119] Kahlouche Abdelaziz et Chaib Rachid ; Le facteur humain et la sécurité ferroviaire : le conducteur au cœur de la sécurité ferroviaire ; 4eme conférence internationale sur la maintenance et la sécurité industrielle CIMSI2017 ; Université 20 aout 1955, Skikda 20-21 novembre 2017. ISBN 978-9931-9447-0-6
- [120] Hadj-Mabrouk, H. (2016) Contribution of chronobiology vigilance in public transport safety, International Journal of Multidisciplinary Research and Development, 3(9), 214-221. ISSN: 2349- 4182
- [121] Naweed, A., Rose, J. (2015) "It's a frightful scenario": A study of tram collisions on a mixed traffic environment in an Australian metropolitan setting: 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics; Procedia Manufacturing 3 2706-2713.
- [122] Tsao, L., Chang, J., Ma, I. (2017) Fatigue of Chinese railway employees and its influential factors: Structural equation modelling, Applied Ergonomics, 62 132-141. DOI.org/10.1016/j.apergo. 2017.02.021
- [123] Moutchou, F., Cherkaoui, A., El Koursi, E. (2014) Factors Influencing Driver's Behavior at Intersections Crossed By the Tram. 3rd International Conference on Road and Rail Infrastructure; Road and Rail Infrastructure III, 785-792.
- [124] Bhouri, N., Mayorano, F., Lotito, P., Haj-Salem, H., Lebacque, J. (2015) Public Transport Priority for Multimodal Urban Traffic Control. Cybernetics And Information Technologies, 15(5) 17-36, ISSN: 1314-4081
- [125] Kahlouche Abdelaziz, Rachid Chaib (2018) Contribution to the Optimization of the Operation of an Urban Railway Line. Case Study: Constantine Tramway. Reliability and Statistics in Transportation and Communication. January 2018 RelStat 2017. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 36. Springer, ISBN: 978-3-319-74453-7; DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4_8.
- [126] Fontaine, L., Novales, M., Bertrand, D., Teixeira, M. (2016) Safety and operation of tramways in interaction with public space: 6th Transport Research Arena; Transportation Research Procedia 14 1114-1123.

Références Webographiques

- [W01] http://www.fgcsic.es/lychnos/en_en/articles/transport_and_mobility : consulté le 03/04/2018
- [W02] <http://www.blog.saeed.com/2010/03/enjeux-et-objectifs-du-developpement-durable/> : consulté le 10/04/2018
- [W03] <https://www.greenmaterials.fr/environnement-social-et-economique-les-3-piliers-du-developpement-durable/> : consulté le 10/04/2018
- [W04] <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article517> : consulté le 07/05/2018
- [W05] http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2000.petiot_r&part=29377 : consulté le 13/06/2018
- [W06] https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/fr/ : consulté le 20/06/2018
- [W07] <https://basesbrevets.inpi.fr/fr/document/FR2696985.html?s=1511138992829&p=6&cHash=8fef8536ab65116161756fbdc834b72c> : consulté le 09/07/2018
- [W08] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/III.3.pdf> : consulté le 05/08/2018
- [W09] <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/III.4.pdf> : consulté le 02/09/2018
- [W10] <http://www.planete-tp.com/le-rail-a-gorge-a656.html> : consulté le 15/09/2018
- [W11] <https://www.populationdata.net/pays/algerie/> : consulté le 03/10/2018
- [W12] <https://www.remontees-mecaniques.net/bdd/reportage-tcd15-constantine-garaventa> : consulté le 17/10/2018
- [W13] <https://www.clearsy.com/wp-content/uploads/2008/11/cei1.png> : consulté le 19/10/2018
- [W14] <https://www.boutique.afnor.org/normes> : consulté le 25/10/2018
- [W15] <https://www.liberte-algerie.com/actualite/constantine-le-deraillement-du-tramway-a-fait-deux-blesses-253164> : consulté le 30/10/2018