



**Master Recherche Opérationnelle et Statistique-
Structures Discrètes (ROSSD)**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques (MST)**

**Méthodologie de la Mise en Place d'un Plan de
Déplacement d'Entreprise (PDE) en
Complémentarité avec le Tramway de Rabat-
Salé**

Stage effectué à la Société de Tramway Rabat-Salé

Par : Mr. Badreddine EL GOUMI

Encadré par :

**Pr. Mohammed ELKHOMSSI
ELIDRISSI**

Mme. Houda

Soutenu Le 18 Juin 2014 devant le jury composé de:

**Pr. Ahmed EL HILALI ALAOUI
Pr. Fatima EZZAKI
Pr. Mohamed BEKKALI
Pr. Abdelmajid HILALI**

Année Universitaire 2013 / 2014

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

BP 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0)5 35 61 686 – Fax : (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Dédicace

A mes chers parents
pour l'éducation et le grand amour
dont ils m'ont entouré depuis ma naissance

A mes chers frères et ma chère sœur

A toute ma famille proche soit-elle ou lointaine

A tous mes amis particulièrement à mes amis dans la FST

A tous ceux qui m'ont aidé afin de réaliser ce travail

A tous ceux-ci je dédie ce travail

Badreddine

Remerciements

*Je ne pourrai commencer ce rapport sans présenter mes remerciements les plus sincères à Monsieur **Mohammed ELKHOMSSI** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, mon encadrant dans mon PFE, qui n'a épargné aucun effort pour le bon déroulement de ce travail. Ses remarques et ses consignes ont été pour moi d'un grand apport. Et il n'a cessé de me guider dans ce chemin avec attention et bonne grâce et de me faire bénéficier de son grand savoir, pour le temps aussi qu'il m'a consacré tout au long de cette période, je le remerciais du fond du cœur.*

Ma profonde gratitude s'adresse également à Mr. Ahmed EL HILALI ALAOUI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, et Responsable de notre Master Recherche Opérationnelle et Statistiques, je le remercie d'assister à ma soutenance et pour la formation et l'expérience enrichissantes qu'il m'a fait vivre durant les deux années du Master, et je profite de l'occasion pour le féliciter de ses excellentes qualités humaines, pédagogiques et scientifiques.

Que Mme Fatima EZZAKI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et directrice du Laboratoire Modélisation et Calcul Scientifique trouve ici mes remerciements les plus sincères, d'assister à ma soutenance et de n'avoir préconisé aucun effort pour nous fournir une formation solide et d'excellente qualité durant les deux années du master ROSSD.

Je remercie Mr Mohamed BEKKALI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, d'assister à ma soutenance et qui fait partie des enseignants qui ont marqué mon cursus universitaire par sa compétence pédagogique, de m'avoir fait le privilège d'être parmi l'ensemble du jury.

Je remercie également Mr Abdelmajid HILALI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour m'avoir fait l'honneur d'assister à ma

soutenance. Et je profite de l'occasion pour le féliciter pour ses qualités de professeur exceptionnelles.

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, grâce à qui, j'ai acquis une solide formation.

Je tiens à remercier également Madame Houda EL IDRISSE, ingénieur et chef de projets de la Société du Tramway de Rabat-Salé, mon tuteur, pour l'expérience enrichissante qu'elle m'a fait vivre durant ces quatre mois au sein de la Société du Tramway de Rabat-Salé, pour m'avoir intégré rapidement dans l'entreprise et m'avoir accordé toute sa confiance, sachant répondre à toutes mes interrogations ; sans oublier sa participation au déroulement de ce travail.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble du personnel de la Société du Tramway de Rabat-Salé pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long de ces quatre moi.

Table des Matières

Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	8
INTRODUCTION	1
Présentation de l'entreprise	2
CHAPITRE I - ANALYSE DU PROJET DU PLAN DE DEPLACEMENT D'ENTREPRISE (PDE)	6
1- Plan de déplacement d'entreprise (PDE)	7
1-1- Qu'est ce qu'un plan de déplacement d'entreprise (PDE)	7
1-2- Pourquoi réaliser un PDE ?	10
1-3- Les bénéfices pour l'entreprise (ministère).....	11
1-4- Les bénéfices pour les salariés et la collectivité	13
1-4-1- Des avantages pour les salariés	14
1-4-2- Des avantages pour la collectivité :	14
2- Méthode SWOT	15
2-1- Définition et explication de la méthode SWOT	15
2-1-1- Pourquoi utiliser cette méthode en évaluation.....	15
2-1-2- Comment identifier et étudier les 4 facteurs ?.....	15
2-2- Application de la méthode SWOT sur le projet du Tramway :	16
3- Méthode du cadre logique	17
3-1- Qu'est ce que qu'un cadre logique ?.....	17
3-2- Les limites du cadre logique	17
3-3- L'approche du cadre logique du PDE.....	19
3-3-1- Analyse des parties prenantes d'un PDE	19
3-3-2- Analyse des objectifs du PDE	22
CHAPITRE II - ANALYSE DE DONNEES PROPOSEES PAR LA STRS	29
1- Présentation des données :	30
2- Analyse du tableau de transport spécial à l'ONHYM	31
3- Analyse statistique des données	34
4- Analyse comparative des coûts	37

5- Stratégies et analyse par cartes des itinéraires des bus :	40
5-1- Stratégies étudiées	41
5-1-1- Stratégie de raccordement par bus (moyen et court terme).....	41
5-1-2- Stratégie du projet d'extension des deux lignes (moyen terme).....	42
5-2- Analyse des cartes du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement	42
CHAPITRE III - ANALYSE MULTICRITERE DU SYSTEME DE TRANSPORT EN COMMUN A RABAT-SALE	55
1- Méthodes de choix multicritères	55
1-1- Méthodes basiques (élémentaires).....	55
1-1-1- Méthode catégorique (Timmermans 1986)	55
1-1-2- Méthode de la somme pondérée (Timmermans 1986)	56
1-1-3- Méthode du « Maxmin » (Guitouni et Martel 1998)	57
1-2- Méthodes d'Optimisation mathématique multicritère.....	57
1-2-1- Goal programming.....	58
1-2-2- Méthode ϵ -Contrainte (Festa, Grandinetti et al. 2010)	60
1-2-3- Programmation mathématique à objectifs multiples (Zopounidis et Pardalos 2010).....	60
1-3- Méthode d'Analyse Multicritère :	61
1-3-1- Les méthodes d'aide à la décision multicritère	61
1-3-2- Méthode d'agrégation complète : approche du critère unique de synthèse	64
1-3-2-1- TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution (Hwang et Yoon 1981).....	64
1-3-2-2- SMART : Simple Multi-Attribute Rating technique (Edwards 1971).....	65
2- Choix des critères du système de transport en commun à Rabat-Salé.....	66
2-1- Critères liés aux performances et aux services rendus	67
2-1-1- Capacité	67
2-1-2- Fréquence	68
2-1-3- Vitesse commerciale.....	69
2-1-4- Ponctualité (on-time performance).....	70
2-1-5- Fiabilité.....	71
2-2- Critères liés aux coûts :.....	72
➤ Coûts d'investissement	72
2-3- Critères liés aux impacts environnementaux	72

2-2-1- Émission du gaz à effet de serre	72
2-2-2- Critères urbanistique : image de l'insertion	75
3- L'application de la méthode de la somme pondérée et étude des scénarii	78
3-1- Etude du scénario 1 : Poids de références	78
3-2- Etude du scénario 2 : Poids1 favorisant le critère de la performance	83
3-3- Etude du scénario 3 : Poids2 favorisant le critère du coût d'investissement	85
3-4- Etude du scénario 4 : Poids3 favorisant le critère d'environnement.....	86
CONCLUSION	89
BIBLIOGRAPHIES	91

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de l'Aménagement de la Vallée du Bouregreg.....	3
Figure 2: Tramway de Rabat-Salé	4
Figure 3: calendrier des travaux de la STRS	5
Figure 4: Organisation de la STRS	6
Figure 5: Dessin représentant le PDE	8
Figure 7 : Stationnement abrités pour les vélos.....	9
Figure 6: Système de transport en commun.....	9
Figure 8: Le covoiturage entre collègues.....	10
Figure 9: Réussite d'un projet.....	18
Figure 10: Réussite d'un PDE.....	19
Figure 11: Schéma d'analyse des objectifs.....	23
Figure 12: Graphe des poids de places des lignes.....	33
Figure 13: Graphe des coûts/poids de places des lignes.....	34
Figure 14: interface d'Excel de la statistique descriptive	35
Figure 15: Graphe de régression linéaire	37
Figure 16: graphe des coûts des ministères.....	39
Figure 17: Les coûts du Tramway et les ministères.....	40
Figure 18: Carte du trajet de la ligne 1	43
Figure 19 : Carte du trajet de la ligne 2	44
Figure 20: Carte du trajet de la ligne 3	45
Figure 21: Carte du trajet de la ligne 4	46
Figure 22: Carte du trajet de la ligne 6	47
Figure 23: Carte du trajet de la ligne 7	48
Figure 24: Carte du trajet de la ligne 8	49
Figure 25: Carte du trajet de la ligne 9	50
Figure 26: Carte du trajet de la ligne 10	51
Figure 27: Carte du trajet de la ligne 11	52
Figure 28: Carte du trajet de la ligne 12	53
Figure 29: Interface du logiciel FGE CARBONE.....	74
Figure 30: Image de l'insertion du Tramway	76

Liste des tableaux

Tableau 1: Définition du SWOT	15
Tableau 2: Méthode SWOT sur Tramway.....	17
Tableau 3: Analyse des parties prenantes.....	22
Tableau 4: Données de transport de l'ONHYM	31
Tableau 5: Poids de places/coûts des lignes	32
Tableau 6: Résultat des données via l'Excel	36
Tableau 7: Coût mensuel des ministère et le Tramway d'un employé	38
Tableau 8: Récapitulatif des stratégies	54
Tableau 9: Capacité d'un véhicule.....	68
Tableau 10: Fréquence de véhicule.....	69
Tableau 11: Vitesse commerciale des différents systèmes de transport.....	70
Tableau 12: Ponctualité.....	71
Tableau 13: Emission GES.....	73
Tableau 14: Mesures du secteur du transport.....	75
Tableau 15: Pondération des poids.....	78
Tableau 16: Les valeurs des poids de références	80
Tableau 17: La matrice des décisions.....	80
Tableau 18: La matrice des décisions après la transformation.....	81
Tableau 19: La matrice des décisions normalisées	81
Tableau 20: Les valeurs des poids normalisées.....	82
Tableau 21: classement des systèmes de transport à Rabat	82
Tableau 22: Les valeurs des poids1	83
Tableau 23 : Les valeurs des poids1 normalisées.....	84
Tableau 24: classement des systèmes de transport à Rabat-Salé	84
Tableau 25: Les valeurs des poids2	85
Tableau 26 : Les valeurs des poids2 normalisées.....	86
Tableau 27: classement des systèmes de transport à Rabat-Salé.....	86
Tableau 28: Les valeurs des poids3	87
Tableau 29 : Les valeurs des poids1 normalisées.....	87
Tableau 30: classement des systèmes de transport à Rabat-Salé.....	88

INTRODUCTION

Dans ces dernières années, le Maroc a connu un développement capital dans le domaine des infrastructures et du transport. Parmi les projets révolutionnaires de l'offre en transport, le projet tramway Rabat-Salé vient s'inscrire dans le cadre d'une politique urbaine de transport fortement renouvelée visant à trouver une réponse appropriée à la problématique de l'augmentation de la demande en matière de transport.

Aujourd'hui, et depuis près de quatre ans de la mise en service du tramway, STRS (filiale de L'Agence pour l'Aménagement de la Vallée du Bouregreg) créée en Mai 2009 (se substituant au département Tramway de l'AAVB) pendant une phase d'activité accrue, met en place une organisation générale de ses services, et notamment des projets de futur développement urbain du secteur de transport. Elle s'oriente également, vers de nouveaux projets, et particulièrement vers une réflexion sur d'éventuelles extensions des lignes de tramway pour répondre à la demande des zones non desservies par le tramway et vers la pensée des enjeux de transport dans le cadre de développement durable. Mon stage vient donc s'articuler sur ces volets et plus précisément sur la mise en place d'un plan de déplacement d'entreprise des établissements publics de l'ensemble de l'agglomération de Rabat-Salé en intégrant le Tramway.

Problématique : l'intérêt du projet

La mobilité est un facteur essentiel de la vie économique et source de coûts potentiellement importants pour l'entreprise, les employés et la collectivité. Dans ce sens le plan de déplacements d'entreprise (PDE) consiste, pour un employeur (entreprise, collectivité, administration...), à s'intéresser aux déplacements de ses salariés, pour mettre en place des solutions visant à réduire l'usage de la voiture

individuelle. Donc il s'agit en quelque sorte d'un mini plan de développement durable urbain à l'échelle d'un établissement. Le PDE devient un enjeu important dans la mesure où il répond aux problèmes actuels liés aux enjeux économiques comme la réduction du budget transports et stationnement, aux enjeux sociaux pour les salariés pour améliorer l'accessibilité et la sécurité des déplacements, aux enjeux environnementaux à savoir la réduction de la consommation d'énergie fossile liée à la pollution atmosphérique et l'émission des gaz à effet de serre et aux enjeux concernant tout simplement la contribution de tous les citoyens à la lutte contre le réchauffement climatique.

Dans ce contexte qui favorise de plus en plus le plan de déplacement d'entreprise qui devient un enjeu essentiel à la résolution des problèmes de transport de l'ensemble de l'agglomération de Rabat-Salé. D'où l'intérêt de la démarche de la mise en place du projet du plan de déplacement d'entreprise en fonction des objectifs et des contraintes que ce projet va poser.

Contenu du projet :

Le rapport définit le contexte général du stage tout en précisant notre méthodologie de travail vis-à-vis du sujet traité, à savoir les méthodologies de la mise en place d'un plan de déplacement d'entreprise en complémentarité avec le tramway.

Ce projet s'orientera autour de trois axes principales, le premier axe consiste à donner une vision générale sur l'analyse et la faisabilité de la mise en œuvre du projet du plan de déplacement d'entreprise (PDE), cette partie rappelle des notions. Et quelques outils d'analyse du projet. Le deuxième axe vise à établir une analyse statistique et opérationnelle de données proposées par la STRS. Le dernier axe s'articule autour des méthodes mathématiques d'analyses multicritère, particulièrement l'application de la méthode de la somme pondérée dans l'analyse multicritères des systèmes de transport de l'ensemble de l'agglomération de Rabat-Salé.

Présentation de l'entreprise

La société du Tramway de Rabat-Salé (STRS) est une filiale de l'Agence pour l'Aménagement de la Vallée du Bouregreg, établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle de l'Etat. Elle est maître d'ouvrage de tous les projets qu'elle entreprend. Le texte de loi citant sa création a été approuvé par les deux Chambres du Parlement Marocain et publié au bulletin officiel.

En 2005, L'Agence pour l'Aménagement de la Vallée du Bouregreg a été mandatée par les communes de Rabat et Salé pour la conception, la réalisation et la mise en exploitation d'un moyen de transport public de type « tramway ». En Mai 2009, la Société du Tramway de Rabat Salé dont le capital social est détenu par l'Etat, les Communes Urbaines de Rabat et de Salé et l'AAVB, a été créée afin de se substituer à l'AAVB dans sa mission concernant le Tramway de Rabat-Salé.



Figure 1 : Exemple de l'Aménagement de la Vallée du Bouregreg

L'opportunité de mettre en place un système de Tramway s'est confirmée à l'issue d'une étude de faisabilité d'un système de transport en commun en site propre réalisé en 200, prolongeant ainsi les études antérieures de 1976 et 1982.

Des analyses liées à la problématique du transport ont été menées et basées en particulier sur des enquêtes. Elles ont montrées qu'environ 650.000 personnes, transportées par 150.000 véhicules, traversent chaque jour l'Oued du Bouregreg via les trois ponts, à savoir Moulay Al Hassan, El Fida et Mohamed V. Ceci montre que les

itinéraires de franchissement actuels portés par les ponts en service sont fortement sollicités. Ces analyses montrent aussi que les ponts vont progressivement se saturer aux heures de pointe. A cela s'ajoute le développement de l'agglomération de Rabat-Salé-Témara.

Ceci signifie un très grand besoin en déplacement et constituerait pour les futures générations un handicap pour le maintien de la qualité de vie, de l'environnement et de l'activité économique.

Sur le plan technologique, il était très important d'optimiser le confort des trajets pour les usagers, en améliorant la vitesse et la fréquence, tout en limitant les nuisances liées à la pollution de l'air, au bruit et aux encombrements.

Ainsi, au cœur du grand projet d'aménagement et de développement de la vallée du Bouregreg, le Tramway représente une solution de transport en commun adaptée, qui vient répondre à la demande en déplacements, en offrant une vraie alternative à l'usage de la voiture. Et une capacité de transport adaptée à la demande de tous les secteurs d'activité.



Figure 2: Tramway de Rabat-Salé

Dans la figure ci-dessous, nous allons présenter le calendrier des travaux réalisés par la STRS au cours du temps :

Calendrier des travaux

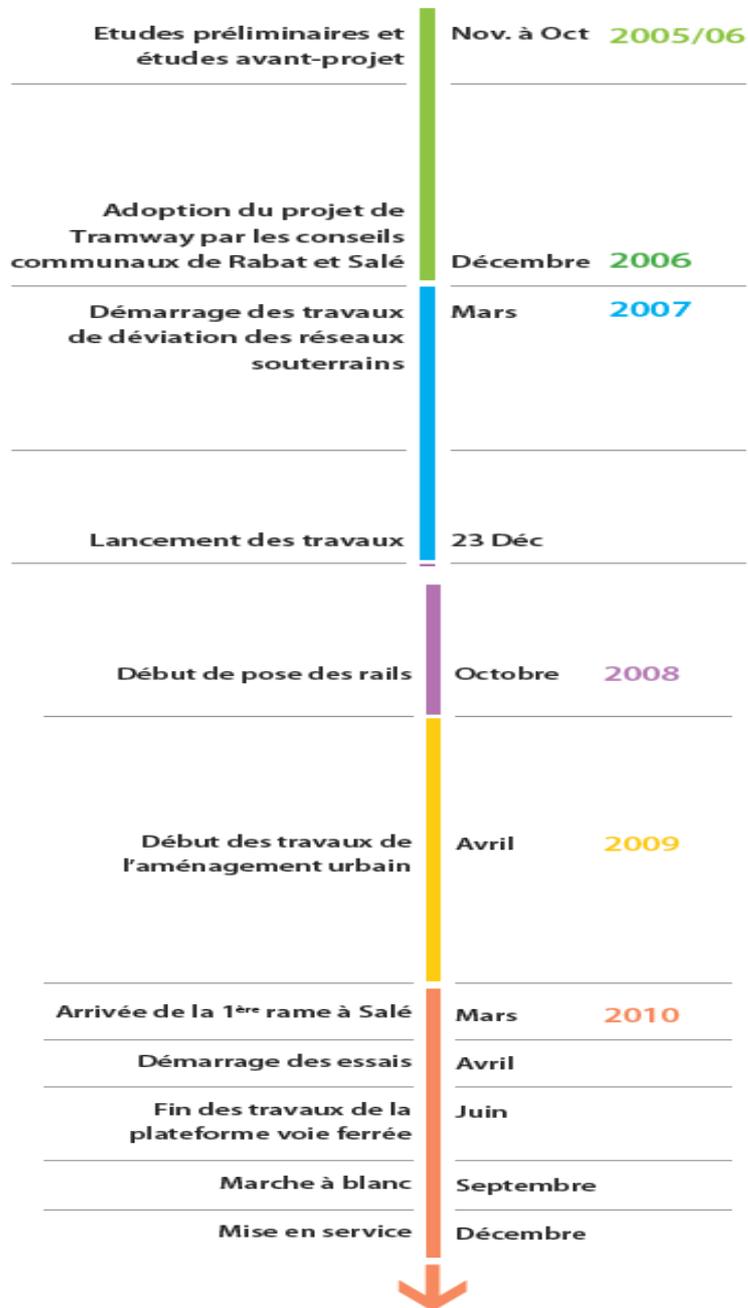


Figure 3: calendrier des travaux de la STRS

La STRS compte à ce jour 55 employés et s'organise de la manière suivante :

- Organisation de la STRS :

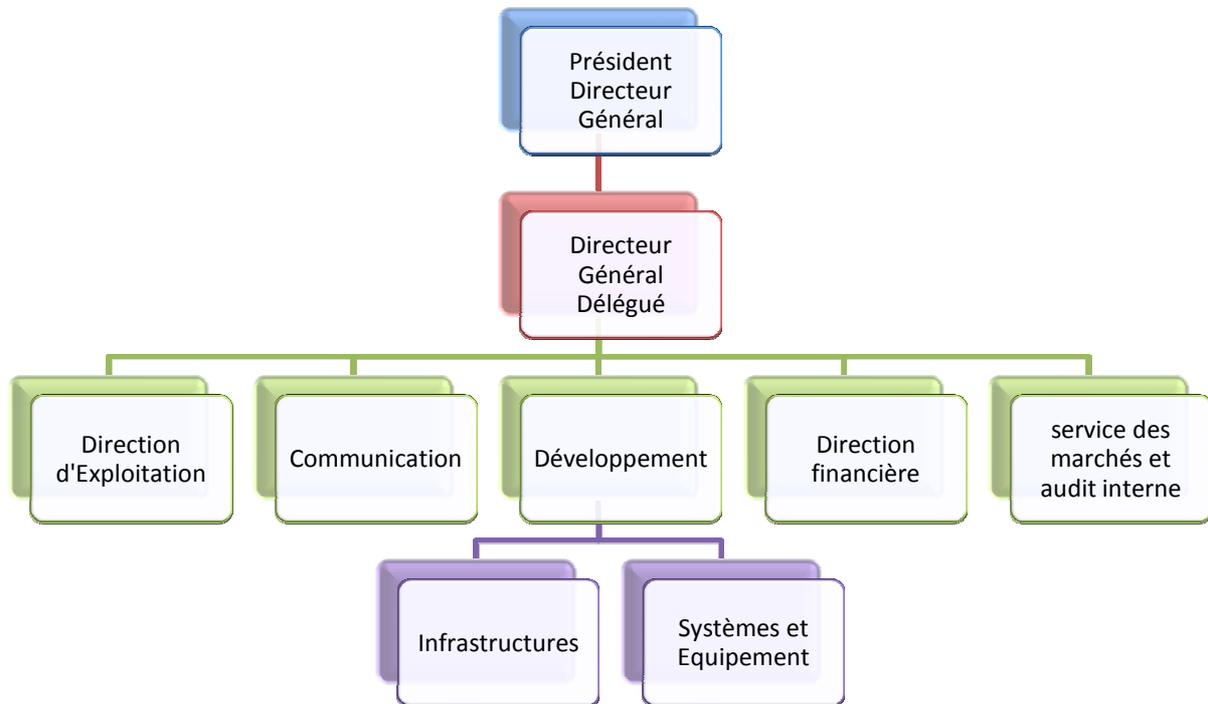


Figure 4: Organisation de la STRS

CHAPITRE I -

ANALYSE DU PROJET DU PLAN DE DEPLACEMENT D'ENTREPRISE (PDE)

Ce chapitre permet de situer le contexte général de la mise en place d'un plan de déplacement d'entreprise (PDE). Nous allons présenter dans un premier temps, le PDE, puis nous allons introduire la méthode d'analyse SWOT, vers la fin de ce chapitre, nous donnerons une idée globale sur le cadre logique du projet du PDE.

1- Plan de déplacement d'entreprise (PDE)

1-1- Qu'est ce qu'un plan de déplacement d'entreprise (PDE)

Le PDE est une démarche d'analyse globale de tous les déplacements d'une entreprise. Il aboutit à la mise en place d'un plan de mobilité. Sont ainsi privilégiées toutes les solutions de transport capables de limiter l'utilisation de la voiture individuelle :

- la marche à pied,
- le vélo,
- les transports en commun,
- le covoiturage,
- les véhicules propres,

Le PDE s'intéresse aux déplacements des salariés, des fournisseurs, des clients et des visiteurs de l'entreprise. Mais il est possible de commencer par les déplacements des salariés et d'étendre ensuite la démarche aux autres intéressés pour procéder par étapes. Le PDE est une démarche avant tout pragmatique qui concilie les enjeux environnementaux, les besoins des entreprises et ceux des salariés.

Le Plan de déplacements entreprise résulte d'une démarche visant à aborder de manière globale et à intégrer la problématique de tous les déplacements liés à une entreprise, en prenant un ensemble de mesures concrètes pour rationaliser les déplacements quotidiens des usagers du site d'emploi ou d'activités et développer des modes de déplacement plus respectueux de l'environnement.

Le PDE s'intéresse aux déplacements des salariés et des autres usagers du site (clients visiteurs, livreurs, stagiaires). Il englobe :

- les déplacements domicile/travail des salariés,
- les déplacements professionnels des salariés (vers d'autres sites ou d'autres entreprises),
- les déplacements des clients, visiteurs, livreurs,
- les déplacements domicile/étude/travail des stagiaires.

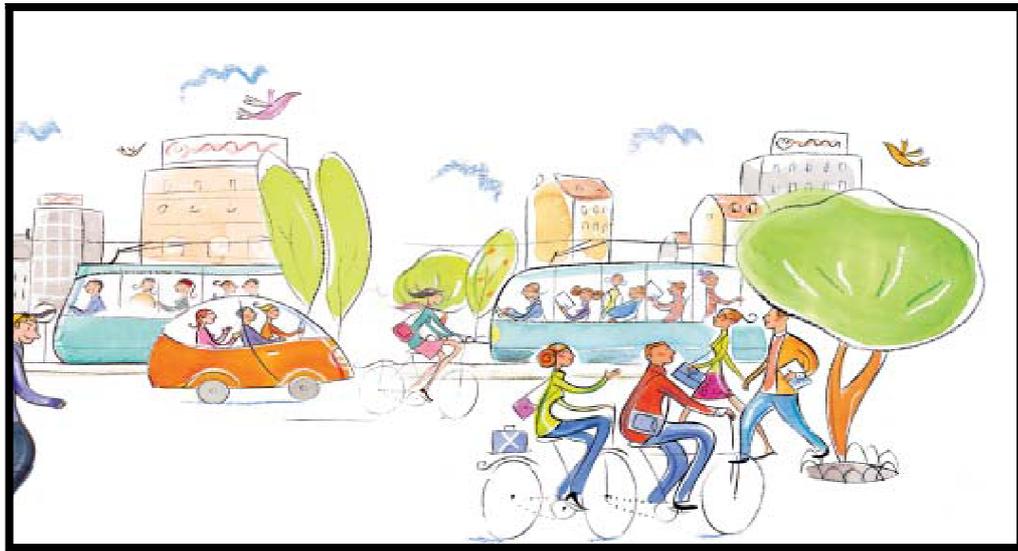


Figure 5: Dessin représentant le PDE

Le PDE peut, dans un premier temps, ne s'intéresser qu'aux déplacements des salariés, et n'envisager qu'ultérieurement un élargissement des mesures aux autres usagers dans le cadre d'une démarche globale de fonctionnement du site. C'est par exemple le cas de la gestion des livraisons qui nécessite une approche particulière.

Concrètement, un Plan de déplacements d'entreprise se traduit par la mise en place de mesures favorisant :

- L'utilisation des transports en commun (prise en charge par l'employeur de la totalité ou d'une partie du coût de l'abonnement, élaboration et diffusion d'une information personnalisée aux salariés, opération d'essai des transports en commun...)



Figure 6: Système de transport en commun

- L'utilisation du vélo (aménagement de parcs de stationnement sécurisés et abrités sur le lieu de travail, mise en place de douches et vestiaires adaptés, mise à disposition de vélos et de services achetés ou loués par l'entreprise...)



Figure 7 : Stationnement abrités pour les vélos

- Le covoiturage (emplacements réservés, mise en relation et appariement des candidats au covoiturage...);



Figure 8: Le covoiturage entre collègues

- la marche à pied (création de chemins piétonniers sécurisés, aménagement des entrées et sorties du site...).

1-2- Pourquoi réaliser un PDE ?

La mobilité est un facteur essentiel de la vie économique et une source de coûts potentiellement importants pour l'entreprise, les employés et la collectivité. Les objectifs d'un PDE sont d'améliorer le confort du personnel dans ses

déplacements, tout en réduisant les coûts financiers et environnementaux, afin de répondre à différents enjeux :

- ✚ **des enjeux sociaux** : améliorer les conditions de déplacement accroît la qualité de vie au travail du personnel en réduisant le stress, la fatigue et les risques d'accidents lors de déplacements professionnels et domicile-travail,
- ✚ **des enjeux économiques** : minimiser les coûts liés au transport comme l'achat et l'entretien de véhicules de société, optimiser les déplacements, les infrastructures, réduire les retards, fiabiliser les flux, mais aussi anticiper une réglementation de plus en plus contraignante et coûteuse sur les déplacements,

✚ **des enjeux environnementaux** : réaménager les déplacements permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, d'autres polluants dégradant la qualité de l'air, ou encore de nuisances sonores,

✚ **Des enjeux de la santé :**

- amélioration de la sécurité des trajets
- meilleures conditions physiques et de concentration des employés : la pratique régulière du vélo ou de la marche à pied réduit les risques de maladie chez les employés (maladies cardiovasculaires et infections d'origine microbiennes)
- diminution du stress et de la fatigue des employés
- réduction du nombre des arrêts maladies
- réduction du nombre d'accidents sur les trajets professionnels : l'optimisation de l'accessibilité ainsi que la réduction du trafic engendrent moins d'accidents professionnels lors des déplacements.

✚ **des enjeux de communication** et d'image par la valorisation de l'engagement dans une démarche citoyenne et responsable et le développement de la culture d'entreprise.

Enfin, la réponse de ces différents enjeux témoigne de l'engagement de l'agglomération à travers son PDE, elle démontre que ses préoccupations sont tournées vers la qualité des conditions de travail du personnel et du service rendu aux citoyens.

1-3- Les bénéfices pour l'entreprise (ministère)

Au-delà d'un engagement citoyen de la part des employeurs et de leurs salariés, les PDE vont montrer que de nombreux bénéfices peuvent être retirés de cette démarche : diminution des coûts, gains de place, amélioration du climat social, bénéfice d'image, meilleur accueil des visiteurs, etc.

Réduire les coûts liés au stationnement

Inciter à utiliser un mode alternatif à la voiture, c'est réduire l'espace réservé au stationnement et réduire par conséquent les coûts qui y sont liés.

Réduire les coûts liés à la sécurité des déplacements domicile/travail

Chaque entreprise a un taux spécifique de cotisation pour les accidents de travail en fonction de son activité, cotisation à laquelle s'ajoute une majoration en cas d'accidents de trajet. L'application de mesures s'inscrivant dans une politique de prévention des risques peut permettre à l'employeur d'obtenir de sa caisse régionale d'assurance maladie une réduction sur sa majoration.

Réduire les coûts liés aux déplacements professionnels

L'adoption par les salariés de modes de transport, autres que la voiture individuelle, pour les déplacements professionnels, favorise la réalisation d'économies. Par exemple, l'entreprise peut mettre en place une navette de transports collectifs intersites ou organiser le covoiturage. Ces solutions permettent de réduire :

- Le nombre de déplacements ;
- Les frais liés au remboursement des indemnités kilométriques ;
- La flotte de véhicules professionnels.

Améliorer le climat social

Le Plan de déplacements favorise la concertation entre employeurs et salariés et entretient le dialogue social autour d'un projet novateur et dynamique. A partir d'un diagnostic partagé sur les besoins de chacun, la démarche permet d'envisager de véritables solutions "gagnant/gagnant" :

- Réduction du stress et de la fatigue liés aux déplacements quotidiens ;
- Participation à un projet fédérateur et implication dans une démarche commune en faveur de l'environnement et du développement durable ;
- Réalisation d'économies sur le budget déplacement de l'entreprise comme sur celui des salariés ;
- Amélioration de la santé par une pratique régulière de la marche ou du vélo.

Améliorer l'accueil du public

A terme, le Plan de déplacements permet de réduire l'espace réservé au stationnement des salariés. Cette place peut être récupérée pour mieux recevoir les autres usagers du site ; une motivation à laquelle peuvent être sensibles tous les établissements qui accueillent un public nombreux (ministères, caisses

d'allocations familiales, hôpitaux, caisses primaires d'assurance maladie, centres commerciaux, etc.).

Intégrer le PDE à une démarche de management environnemental

Dans le cas d'une démarche de management environnemental, les objectifs retenus sont fixés par les entreprises, en fonction d'indicateurs environnementaux significatifs identifiés au moment du diagnostic. La prise en compte des déplacements domicile/travail et des déplacements professionnels n'est pas une obligation mais elle peut se révéler un atout non négligeable : selon l'activité de l'entreprise, les déplacements quotidiens des salariés représentent une part de la consommation énergétique d'un site.

1-4- Les bénéfices pour les salariés et la collectivité

La démarche du Plan de déplacements entreprise s'inscrit dans une logique de développement durable. Les salariés comme la collectivité dans son ensemble en tirent les bénéfices. Chacun y trouve son compte dans cette réflexion partagée.

1-4-1- Des avantages pour les salariés

- Réduire les frais occasionnés par les déplacements domicile – travail.
- Diminuer le stress et la perte de temps par un plus grand confort de déplacements.
- Avoir un choix plus large et sans contraintes de son mode de déplacement.
- Accéder à son lieu de travail sans être tributaire des restrictions de circulation ou de difficultés d'approvisionnement en carburant.
- Participer à un projet fédérateur et convivial dans l'entreprise et s'y sentir mieux intégré.
- Se maintenir en meilleure forme physiquement.
- Valoriser son temps de déplacement.
- Participer individuellement à une action citoyenne destinée à relever le défi du développement durable et se sentir ainsi citoyen du monde.

1-4-2- Des avantages pour la collectivité :

La collectivité territoriale va, elle aussi, largement bénéficier des effets du PDE. Elle va pouvoir :

- Mieux intégrer les entreprises dans les politiques des collectivités.
- Soutenir l'économie locale.
- Réduire la congestion du trafic urbain et ses nuisances (y compris le bruit).
- Participer à l'amélioration de la sécurité routière et donc à la réduction des accidents de la route.
- Récupérer des espaces publics, notamment en diminuant le stationnement sur la voie publique.
- Rendre la ville plus agréable et améliorer sa qualité de vie en limitant la pollution atmosphérique et les pics de pollution locaux.

- Réduire la dépendance énergétique, en limitant la consommation des combustibles fossiles.
- Limiter les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre le changement climatique.
- Mieux répondre aux préoccupations quotidiennes de ses citoyens.

2- Méthode SWOT

2-1- Définition et explication de la méthode SWOT

2-1-1- Pourquoi utiliser cette méthode en évaluation

L'analyse SWOT (Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats) ou AFOM (Atouts – Faiblesses – Opportunités – Menaces) est un outil d'analyse stratégique. Il combine l'étude des forces et des faiblesses d'une organisation,

avec celle des opportunités et des menaces de son environnement, afin d'aider à la définition d'une stratégie de développement.

	Positif	Négatif
Interne	Forces	Faiblesses
Externe	Opportunités	Menaces

Tableau 1: Définition du SWOT

Le but de l'analyse est de prendre en compte dans la stratégie, à la fois les facteurs internes et externes, en maximisant les potentiels des forces et des opportunités et en minimisant les effets des faiblesses et des menaces.

2-1-2- Comment identifier et étudier les 4 facteurs ?

L'ordre et la manière d'identifier et d'étudier les 4 facteurs (forces, faiblesses, opportunités, menaces) peuvent différer considérablement.

➤ Etude des forces

Les forces sont les aspects positifs internes que contrôle l'organisation ou le pays, et sur lesquels on peut construire dans le futur.

➤ **Etude des faiblesses**

Par opposition aux forces, les faiblesses sont les aspects négatifs internes mais qui sont également contrôlés par l'organisation, et pour lesquels des marges d'amélioration importantes existent.

➤ **Etude des opportunités**

Les opportunités sont les possibilités extérieures positives dont on peut éventuellement tirer parti, dans le contexte des forces et des faiblesses actuelles. Elles se développent hors du champ d'influence du pays ou à la marge

➤ **Etude des menaces**

Les menaces sont les problèmes, obstacles ou limitations extérieures, qui peuvent empêcher ou limiter le développement du pays ou d'un secteur.

2-2- Application de la méthode SWOT sur le projet du Tramway :

Origine	Positif	Négatif
Interne	<p><u>Forces</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Le Tramway répond aux besoins de 80% de la population qui se déplace à pied ✓ Le tramway est un projet créateur d'emploi environ 4000 emplois directs et indirects ✓ Desservir les grands équipements de l'agglomération ✓ Le Tramway est un projet non polluant, silencieux, confortable et régulier ✓ Réorganisation des transports urbains ✓ Le Tramway est prioritaire aux carrefours 	<p><u>Faiblesses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Répondre aux attentes des usagers dans les autres quartiers de Rabat-Salé-Témara ❖ Intégrer les usagers de l'ensemble de l'agglomération de Témara et Bouknadel ... ❖ Saturation dans les heures de pointes ❖ Absence de l'intermodalité avec les autres systèmes de transport en commun

Externe	<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réduire les coûts liés à la sécurité des déplacements domicile/travail ✓ Réduire les coûts liés aux déplacements professionnels ✓ Réduire les temps de déplacement ✓ Maîtriser les temps de trajet ✓ Améliorer le climat social ✓ Réduire l'espace réservé au stationnement des salariés. ✓ Réduire les coûts liés au stationnement 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ concurrence des petits et grands taxis ❖ Pannes et grèves ❖ Les conditions climatiques peu favorables aux modes alternatifs ❖ Les sensibilités culturelles

Tableau 2: Méthode SWOT sur Tramway

3- Méthode du cadre logique

3-1- Qu'est ce que qu'un cadre logique ?

Le cadre logique est un outil qui a été développé dans les années 1970 et utilisé par plusieurs organismes.

Cette méthode implique la mise en forme des résultats d'une analyse de manière à présenter de façon systématique et logique les objectifs d'un projet / programme. La mise en forme doit refléter les liens de causalité entre les différents niveaux d'objectifs, indiquer comment on peut vérifier si les objectifs ont été réalisés et définir quelles sont les hypothèses, échappant au contrôle du projet / programme, susceptibles d'influencer sa réussite.

Les résultats principaux de ce processus sont résumés dans une matrice du cadre logique qui décrit les aspects les plus importants d'un projet / programme.

3-2- Les limites du cadre logique

Le cadre logique a été utile pour les personnes chargées de la préparation et de la mise en œuvre du PDE. Il leur permet de mieux structurer et formuler leur réflexion et de

l'exprimer d'une façon claire. Si les politiques sont mal conçues, ou si la logique ne tient pas, le cadre logique devrait en révéler les contradictions, bien qu'il ne soit pas en mesure, à lui seul, de concevoir de meilleures politiques.

Le cadre logique n'est donc qu'un outil pour améliorer la planification et la mise en œuvre. Mais c'est un outil qui ne peut pas, à lui seul, garantir des résultats positifs. La réussite d'un projet / programme dépend de nombreux autres facteurs, tels que la capacité organisationnelle de l'équipe ou des organismes responsables de la mise en œuvre.

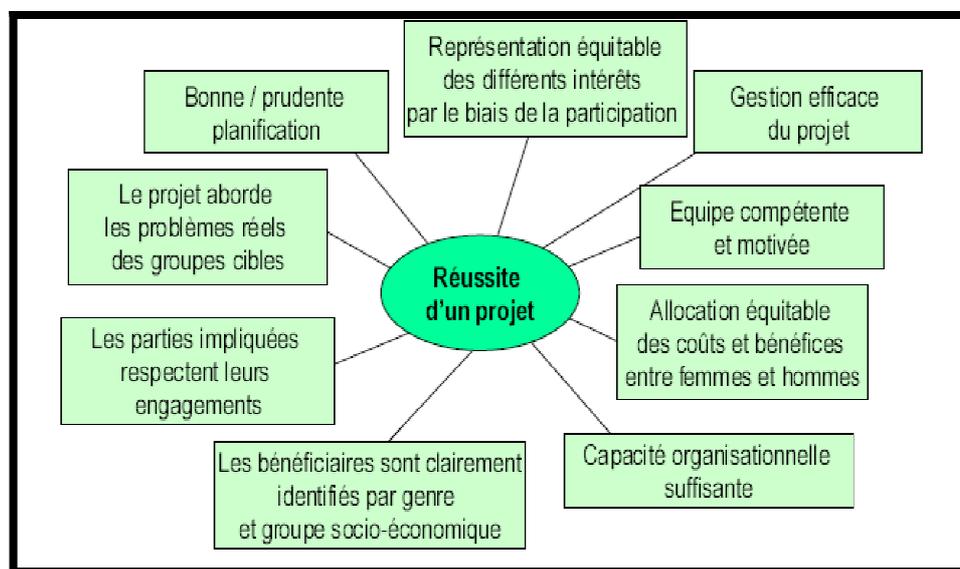


Figure 9: Réussite d'un projet

Comme tous les grands projets la réussite et la mise en place d'un plan de déplacement d'entreprise (PDE) est liée à l'efficacité et l'achèvement des facteurs et des objectifs dessinés, le schéma ci-après représente les facteurs qui participe à la réussite d'un PDE

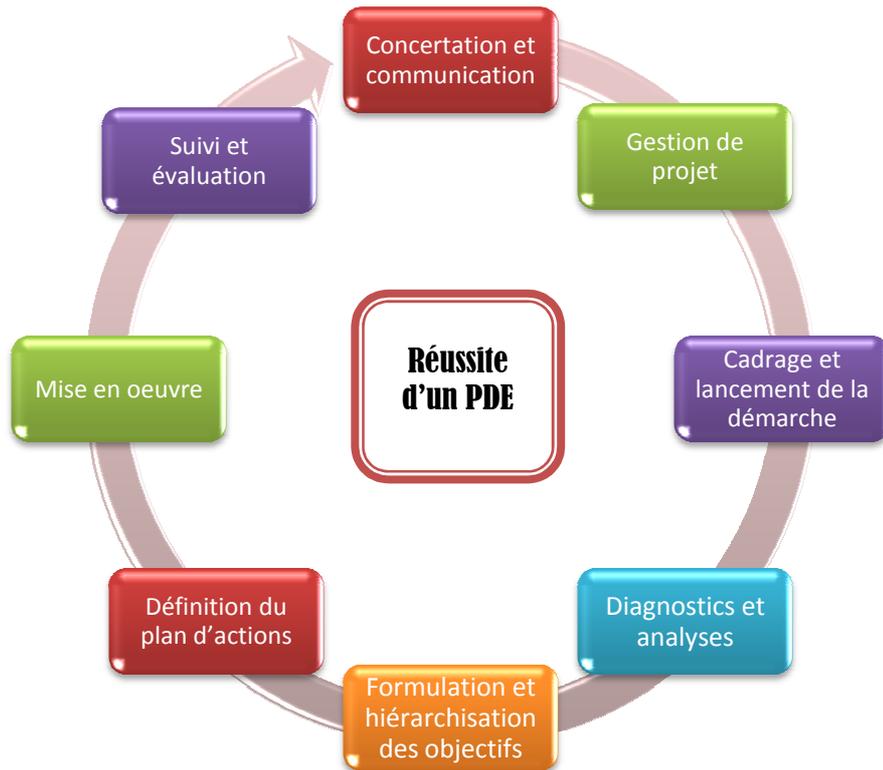


Figure 10: Réussite d'un PDE

Le cadre logique est donc un outil qu'il faut réviser au cours de la mise en œuvre du PDE en fonction de l'évolution de la situation.

3-3- L'approche du cadre logique du PDE

L'élaboration d'un cadre logique comporte une analyse durant laquelle la situation existante est analysée pour développer une vision de la situation souhaitée et sélectionner les stratégies à utiliser, résoudre des problèmes rencontrés et répondre aux besoins et intérêts.

Il existe quatre types d'analyse à effectuer :

- l'analyse des parties prenantes
- l'analyse des problèmes
- l'analyse des objectifs
- l'analyse des stratégies

3-3-1- Analyse des parties prenantes d'un PDE

On indique par partie prenante tout individu, groupe de personnes, institution ou entreprise capable d'avoir un lien avec le PDE. Afin d'optimiser tous les bénéfices du plan de déplacement d'entreprises (PDE).

Le schéma ci-après illustre l'analyse des parties prenantes du PDE

Projet de plan de déplacement d'entreprise (PDE): Analyse des parties prenantes

Parties prenantes	Rôles et Intérêts	Composition
Chef de projet	<ul style="list-style-type: none"> <> La concertation avec les différents acteurs externes et internes concernés <> La mise en place du comité de pilotage et de la sélection de ses membres <> L'organisation et l'animation des réunions <> La mobilisation et la sensibilisation des cibles concernées : personnels, visiteurs grand public et visiteurs professionnels <> La réalisation des diagnostics <> La coordination et l'évaluation des actions à mener. 	<ul style="list-style-type: none"> <> Une personne motivée et disposant de compétences ou d'expériences en matière de concertation.
Le comité de pilotage	<ul style="list-style-type: none"> <> Faire la coordination du projet en fonction du degré de concertation retenu. <> Définir les modalités de l'élaboration du PDE. <> Valider la méthodologie du diagnostic. <> Etablir un programme prévisionnel et définir des objectifs. <> Suivre la mise en œuvre et assurer un rôle décisionnel. <> Valider le PDE et la programmation financière correspondante 	<ul style="list-style-type: none"> <> Un représentant de la direction de l'établissement. <> Un chef de projet. <> Des membres de l'équipe chargée d'assister le chef de projet <> Des élus dans le cas d'une collectivité. <> Des directeurs et référents des différents services de l'environnement, de l'urbanisme, des ressources humaines, de la communication, financiers et juridiques. <> Représentants des employés, des syndicats, des Visiteurs du site... <> Des transporteurs locaux

Le comité technique

- <> Proposer un projet de cahier des charges.
- <> Proposer une méthodologie pour le diagnostic.
- <> Définir un programme prévisionnel ou un calendrier intégrant les étapes pour chaque phase du PDE.
- <> Elaborer et proposer au comité de pilotage des objectifs adaptés aux résultats des diagnostics.
- <> Proposer plusieurs scénarii de PDE et la programmation financière correspondante

- <> Les membres du comité de pilotage.
- <> Des partenaires ou des experts externes à l'administration et au comité de pilotage.

Les groupes de travail

- <> Lors de la phase de diagnostics : les groupes peuvent affiner les résultats d'une enquête, recueillir le point de vue et les attentes d'amélioration.
- <> Lors de la phase de proposition du PDE : peuvent valider des pistes d'actions proposées par le comité technique ou de dégager des suggestions d'actions émanant directement des membres du personnel ou des visiteurs.
- <> Lors de la phase de programmation et de mise en œuvre du plan d'actions : les groupes opérationnels peuvent être constitués pour étudier la faisabilité, proposer une programmation, mettre en place le PDE .
- <> Lors de la phase de suivi du PDE : les groupes de suivi peuvent permettre au chef de projet de collecter régulièrement les informations nécessaires au suivi et à l'évaluation de la démarche du PDE.

- <> Les membres du personnel, en tant qu'employés lors des étapes de diagnostics et de définition des objectifs du PDE.
- <> Les membres du personnel, en tant que personnes ressources du PDE notamment pour les groupes opérationnels et de suivi.
- <> Les partenaires techniques et/ou financiers, pour tous les groupes.
- <> Plus rarement les visiteurs ou fournisseurs pour des groupes

Autorisations organisatrices de transport	<ul style="list-style-type: none"> <> mettre en place l'offre de transport et la politique <> Les ressources financières proviennent des usagers, des employeurs et des collectivités locales. <> Prendre la responsabilité des transports et des déplacements urbains : réseaux de transport en commun (bus, tramway), stationnements, voies piétonnes, pistes cyclables... 	<ul style="list-style-type: none"> <> Les usagers, les entreprises et les employeurs. <> Service de conseil en mobilité. <> Le conseil général et régional.
Parties prenantes externe	<ul style="list-style-type: none"> <> Diminuer et optimiser l'ensemble des coûts imputés aux transports pour les entreprises. <> Valorisation d'une image d'entreprise citoyenne. <> Diminution des frais de déplacement pour les salariés et des pertes de temps tout en améliorant le confort et les possibilités de déplacement. <> Amélioration de la sécurité routière pour la collectivité et réduction de la congestion du trafic urbain et des nuisances induites. 	<ul style="list-style-type: none"> <> Entreprises <> Salariés <> Collectivité

Tableau 3: Analyse des parties prenantes

3-3-2- Analyse des objectifs du PDE

L'analyse des objectifs est une démarche méthodologique permettant :

- de décrire la situation future qui prévaudra lorsque les problèmes auront été résolus, avec la participation des parties prenantes
- de vérifier la hiérarchie des objectifs
- de visualiser les relations moyens-fins dans un diagramme.

Les états positifs sont des objectifs, et sont présentés dans un diagramme des objectifs, où la hiérarchie « moyens-fins » est bien vue. Ce diagramme donne un aperçu clair d'une situation future recherchée.

Un tel diagramme montre parfois que certains objectifs ne peuvent pas être réalisés par le projet PDE. Dans ce cas, il faudra soit trouver d'autres solutions, ou renoncer à une tentative.

Cette analyse offre un panorama d'actions pouvant être fixées comme objectifs des plans de déplacements d'entreprises. Tous les exemples d'actions présentés par la suite sont adaptés aux objectifs (généraux, spécifiques et opérationnels) définis en cohérence avec les observations contextuelles.

Exemple d'analyse des objectifs, à partir d'objectif final jusqu'aux objectifs spécifiques

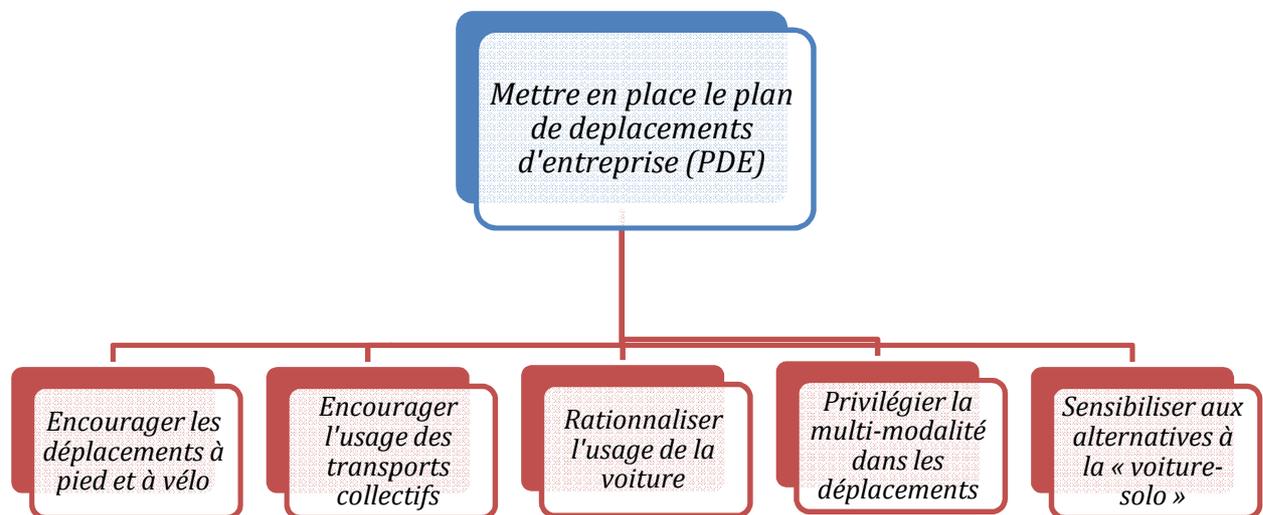


Figure 11: Schéma d'analyse des objectifs

N.B : Au dessous de la figure 11, nous allons introduire la suite de la hiérarchie des objectifs.

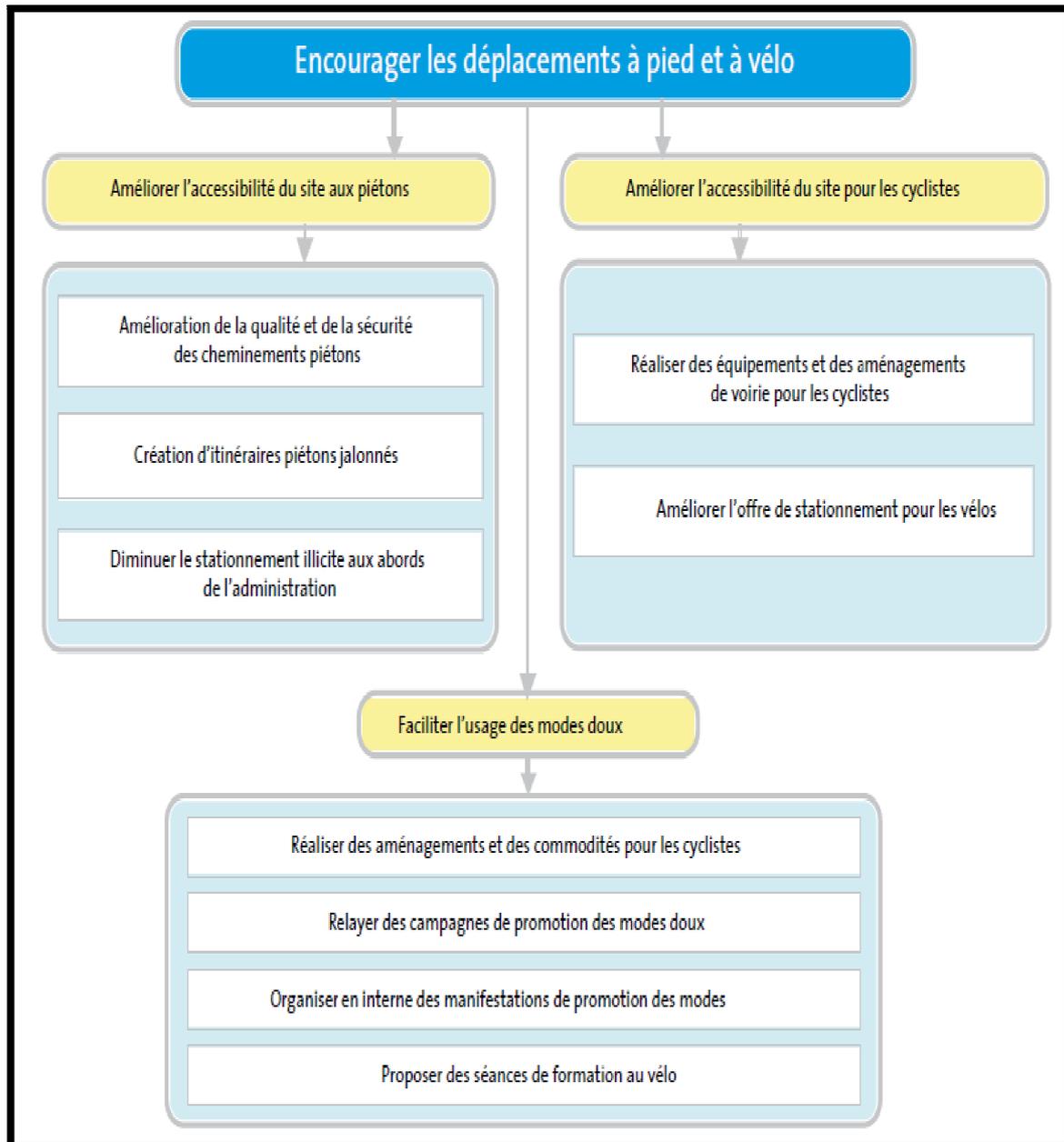
 ***Encourager les déplacements avec les modes doux***

La marche à pied et le vélo, en tant que modes de déplacement doux, présentent des bénéfices écologiques, sportifs, sanitaires ou tout simplement pratiques : sur de courtes distances en ville, ils sont souvent aussi rapides que la voiture dont la vitesse moyenne est peu élevée en milieu urbain. Cependant, ces modes non motorisés sont parfois négligés alors que beaucoup de potentiels existent pour augmenter leur part modale dans les déplacements quotidiens notamment vers les lieux de travail.

Pour encourager la pratique des modes doux, il convient de fixer des objectifs opérationnels liés à l'accès du site, à la qualité d'usage ou encore à l'information comme la sensibilisation des cibles concernées.

- améliorer l'accessibilité du site à pied et à vélo
- faciliter l'usage de la marche et du vélo

Schéma représentant la hiérarchie des objectifs



✚ *Encourager l'usage des transports collectifs*

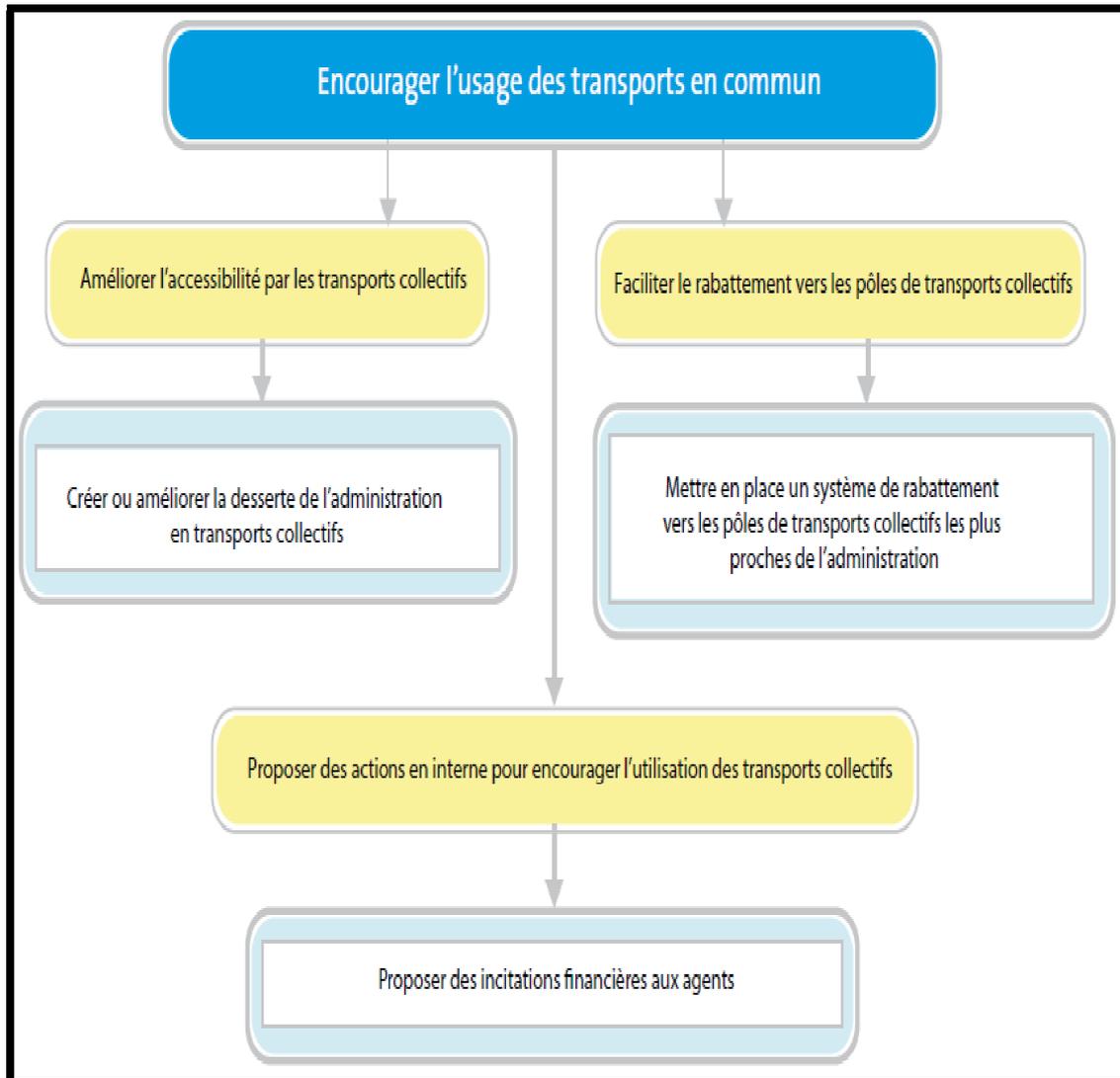
Les transports en commun (bus, tramway, train...) sont beaucoup utilisés

A Rabat-Salé pour les déplacements pendulaires (domicile-travail). Mais, tous les domiciles et établissements publics et privés ne sont pas directement accessibles par le bus ou le tram. Les problèmes de desserte et du trop grand nombre de changements pour un même trajet depuis le domicile rencontrent les agents ou les visiteurs qui se déplacent en voiture pour se rendre dans les entreprises : l'accessibilité d'une entreprise ou de toute autre structure se mesure par la qualité de la desserte ou

de service des transports en commun (fréquence et confort des lignes, efficacité des interconnexions ...).

Pour palier ces difficultés, le PDE peut entreprendre, avec l'aide de partenaires publics et privés, plusieurs actions valorisant et favorisant l'utilisation des transports collectifs.

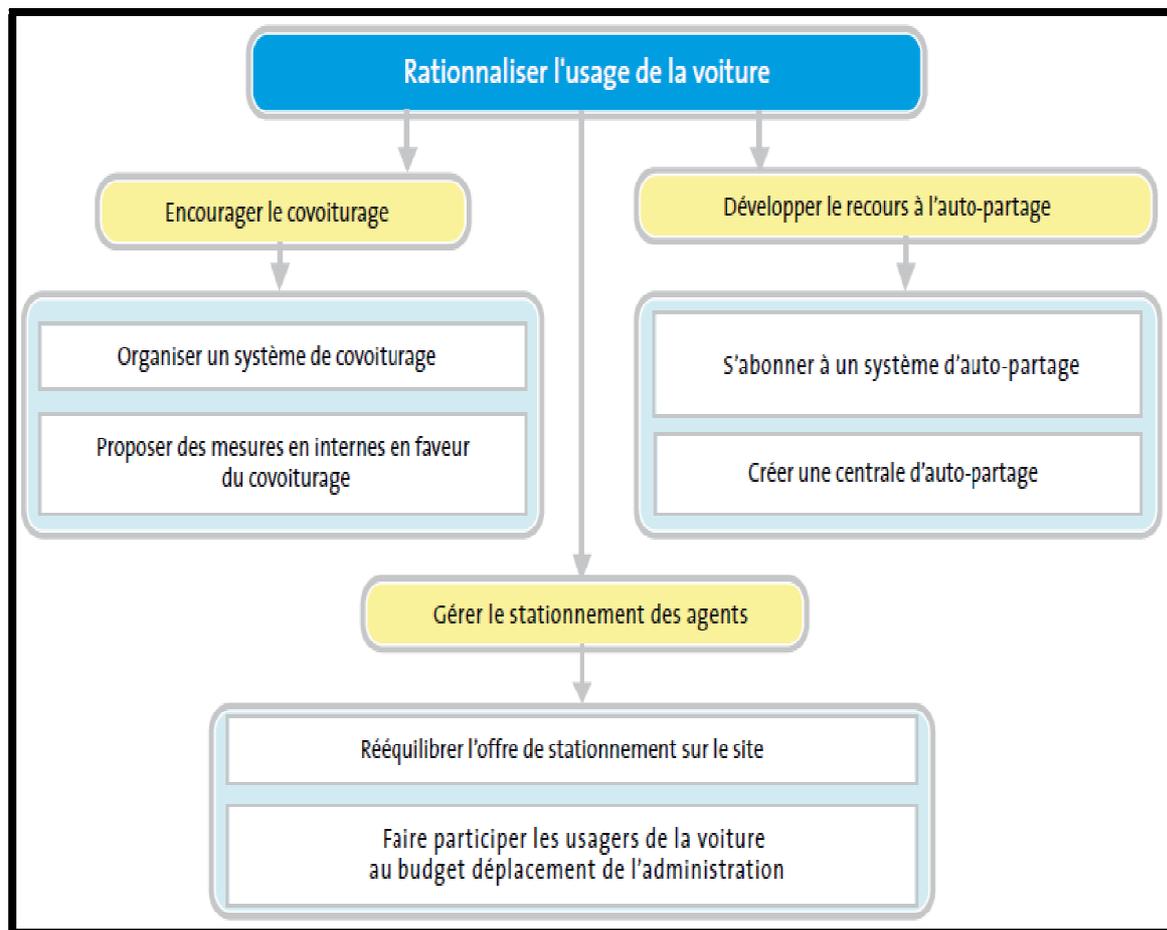
Schéma représentant la hiérarchie des objectifs



Rationaliser l'usage de la voiture

Pour les personnels des établissements publics et privés, l'usage de la voiture reste indispensable pour plusieurs raisons, les plus souvent étant l'éloignement du domicile par rapport au lieu de travail, l'absence de desserte des transports en commun et la dépose des enfants à l'école. Covoiturage et auto-partage sont deux systèmes possibles permettant, chacun à leur façon, de rationaliser l'usage de la voiture personnelle.

Schéma représentant la hiérarchie des objectifs

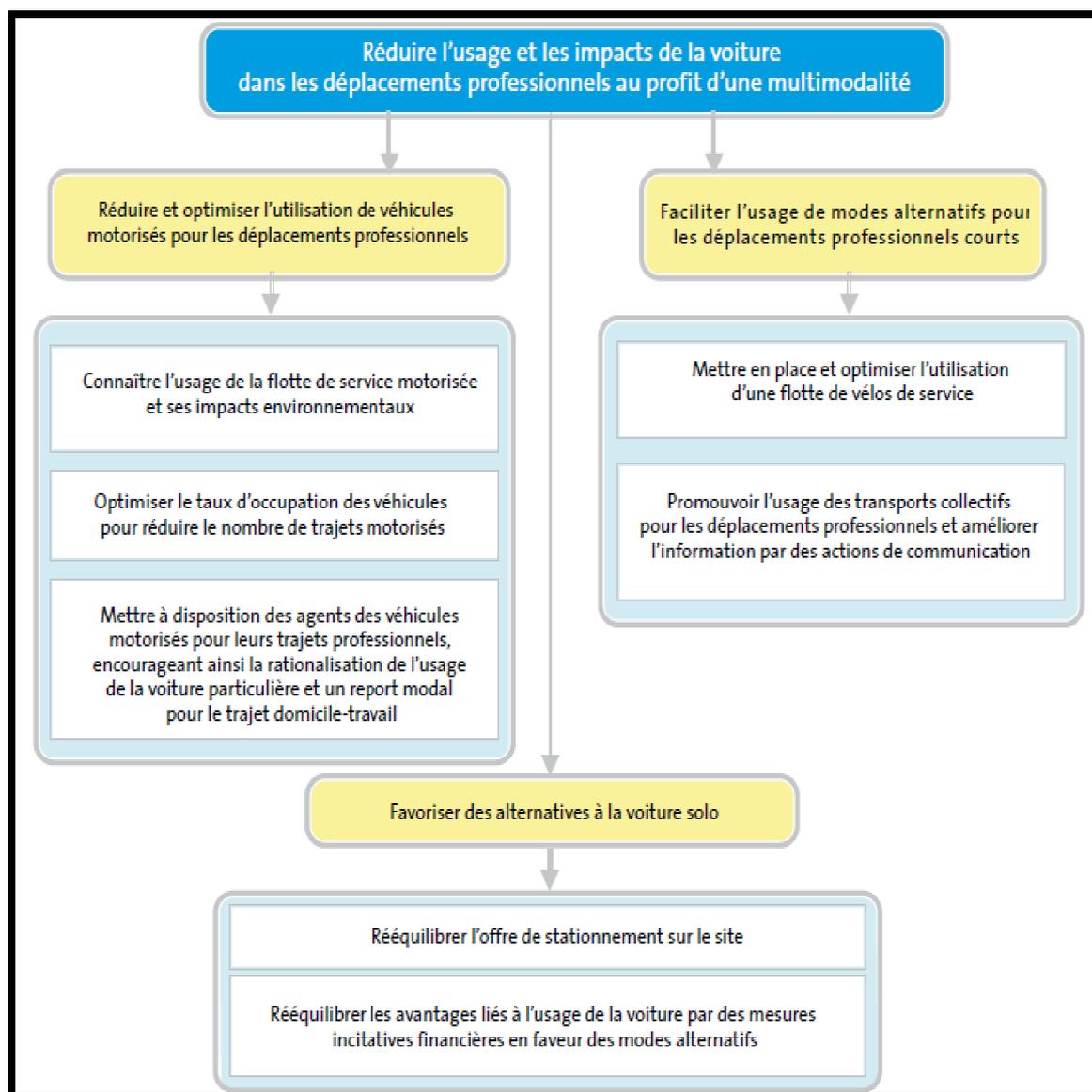


Réduire l'usage et les impacts de la voiture dans les déplacements professionnels

Lorsque les employés souhaitent effectuer des déplacements, la voiture est souvent le mode choisi pour des raisons de distance ou d'horaires, de gain de temps, ou encore de transport de matériel... Dans le cadre du PDE, réduire la part des déplacements motorisés pour les trajets professionnels est un objectif fréquent. Il porte en premier lieu sur l'utilisation de la voiture individuelle des employés mais aussi sur des véhicules de service.

Pour tous les déplacements professionnels, courts ou longs, il est possible de minimiser l'impact de l'utilisation de véhicules motorisés soit en optimisant l'usage de flottes de service, motorisées ou non, soit en mettant en place d'autres solutions alternatives.

Schéma représentant la hiérarchie des objectifs



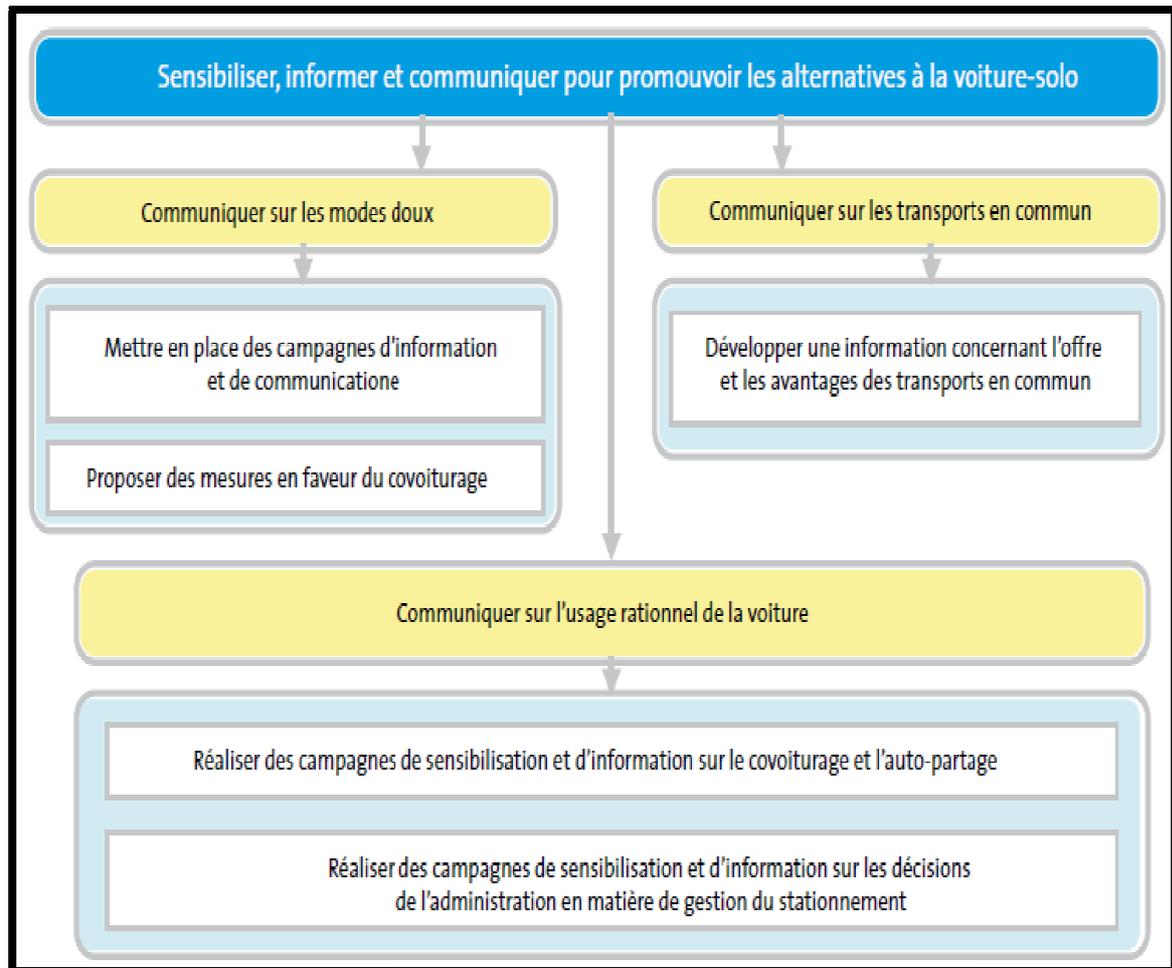
✚ *Sensibiliser aux alternatives à la « voiture-solo »*

De manière générale, la mise en place d'une action ne sera pleinement efficace que si elle est accompagnée par la communication et la sensibilisation.

La sensibilisation vise à préparer, interpeller, mobiliser et responsabiliser les agents aux changements et à leur faire progressivement accepter des mesures parfois contraignantes. Il leur sera expliqué les enjeux et les bénéfices qu'ils peuvent tirer de la nouvelle situation en intégrant le PDE.

Cet objectif décrit des objectifs spécifiques à l'information et à la sensibilisation sur les modes alternatifs et à l'utilisation de la voiture-solo.

Schéma représentant la hiérarchie des objectifs



CHAPITRE II -

ANALYSE DE DONNEES PROPOSEES PAR LA STRS

Dans ce chapitre, nous allons effectuer une analyse de données que la société de Tramway Rabat-Salé nous a fourni, cette dernière comporte dans un premier temps l'analyse du tableau de transport spécial à l'ONHYM et ensuite une étude statistique des résultats des données de la STRS puis une analyse comparative des coûts de tous les ministères par rapport au coût du Tramway, vers la fin du chapitre nous allons définir des stratégies pour pouvoir l'appliquer sur l'analyse par cartes des itinéraires des bus.

1- Présentation des données :

Les données proposées par la STRS sont des résultats obtenus dans le travail du terrain qui représentent les informations du service du transport des organismes suivants :

-  Ministère de la modernisation des secteurs publics
-  Administration de la défense nationale
-  SG du Gouvernement : Direction de l'imprimerie officielle
-  Ministère de l'équipement et du transport
-  Ministère de la justice
-  Ministère des finances et de la privation
-  Ministère de l'agriculture, du développement rural et des pêches maritimes
-  Ministère de l'aménagement du Territoire, de l'eau et de l'environnement
-  ONHYM

Dans ce chapitre nous baserons l'analyse sur l'étude du cas de Ministère de l'aménagement du Territoire, de l'eau et de l'environnement, les informations obtenues sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau n° 27: Données du service de transport spécial de l'ONHYM								
Bus/ itinéraire n°	Places	Occupation (%)	Mise en circulation (année)	Âge moyen (ans)	Consommation annuelle (Dh)	Frais de maintenance par an (Dh)	Frais du personnel par an (Dh)	Itinéraire
1	56	80		5	87.300	38.500	13000	Kamra - Hay Salam
2	90	67		12	82.800	39.000	17000	Kamra - Sala Al Jadida
3	56	63		6	88.700	3.000	12000	Kamra - Souissi - Tabriket - Hay Errahma
4	56	98		7	76.200	31.000	54000	Kamra - Ocean - Bettana - Tabrikt
5	25	100		3	75.300	28.000	5100	Kamra - Bab Bouhaja - Bab Sebta - Hay Chemaou
6	56	100		8	78.000	42.000	20000	Kamra - Hay Salam - Hay Chemaou
7	56	100		8	57.000	53.000	12000	Kamra - Takaddoum - Sala Aljadida
8	25	48		6	85.000	33.000	17000	Kamra - Takaddoum - Sala Aljadida
9	56	59		3	79.000	43.000	4000	Kamra - Ocean - Hay El Fath
10	25	64		8	79.000	12.100	33000	Kamra - Souissi - Temara
11	56	80		6	85.000	45.000	3800	Kamra - G5 - Hay El Fath
12	12	100		1	79.000	13.000	2400	Kamra - Agdal - Bab L had
13	90	62		8	70.000	34.000	18000	Kamra - Temara
14	56	89		13	95.000	42.000	14000	Kamra - Hay Riad - Temara
15	56	89		7	71.000	9.500	76000	Kamra - Oudayas - Temara
15	771	80		6,70	1.188.300	466.100	301300	
Frais totales : 1.955.700,00								

Tableau 4: Données de transport de l'ONHYM

Le choix de ce ministère n'est jamais pris au hasard mais il est basé sur le grand nombre des salariés et des frais de transport, et également les itinéraires des bus représentant un facteur important dans ce choix parce qu'il touche la plupart des quartiers vis-à-vis de l'agglomération Rabat-Salé.

Dans la suite de ce chapitre et à partir du tableau ci-dessus, on va essayer de dégager le maximum de données pour les analyser.

2- Analyse du tableau de transport spécial à l'ONHYM

A partir du tableau de transport de l'ONHYM nous allons faire une analyse selon les coûts et les poids des places de chaque ligne, pour ceci nous dégageons les données suivantes :

	Places	Coût/2000	Coût des lignes (DH)
ligne 2	90	69,400	138800
ligne 13	90	61,000	122000
ligne 3	56	51,850	103700
ligne 4	56	80,600	161200

ligne 6	56	70,000	140000
ligne 7	56	61,000	122000
ligne 9	56	63,000	126000
ligne 11	56	66,900	133800
ligne 14	56	75,500	151000
ligne 15	56	78,250	156500
ligne 1	56	69,400	138800
ligne 5	25	54,200	108400
ligne 8	25	67,500	135000
ligne 10	25	62,050	124100
ligne 12	12	47,200	94400
Total	771		1955700

Tableau 5: Poids de places/coûts des lignes

Le tableau ci-dessus représente les poids au niveau des places et les coûts associés à chaque ligne, nous avons effectué un classement croissant des lignes vis-à-vis de l'importance des poids des places. Pour faciliter l'analyse coût/place, nous avons divisé les coûts sur 2000 pour les rendre adéquats avec celles des places, donc grâce aux données coût/place dans le tableau nous trouverons les graphes suivants :

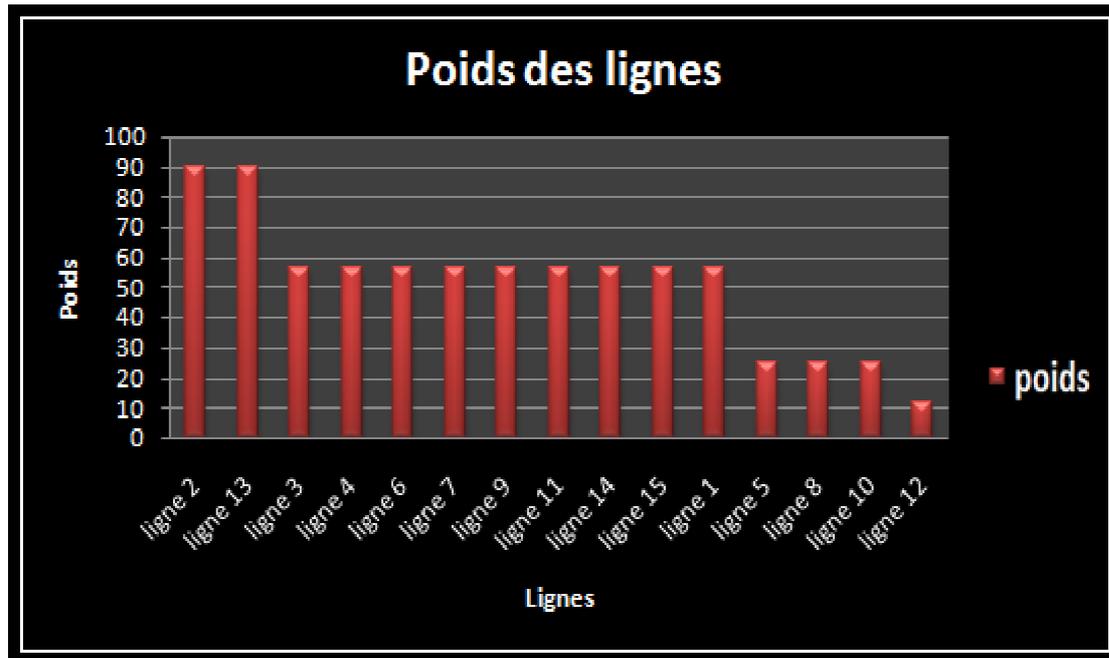


Figure 12: Graphe des poids de places des lignes

D'après le graphe des poids de places des lignes, nous observons que les lignes 2 et 13 sont les plus lourdes au niveau du poids de places parce qu'ils ont 90 places. Par contre la ligne 12, et qui a 12 places représente la ligne la plus faible et les lignes 5, 8 et 10 restent aussi insuffisantes car ils ont un nombre de 25 places. Mais les autres lignes prennent la valeur 56 vis-à-vis des nombres de places et représentent les lignes moyennes dans le graphe.

Dans la suite, nous allons introduire les coûts des lignes du ministère de l'ONYHM dans le graphe, et nous ferons notamment une analyse coût/place.

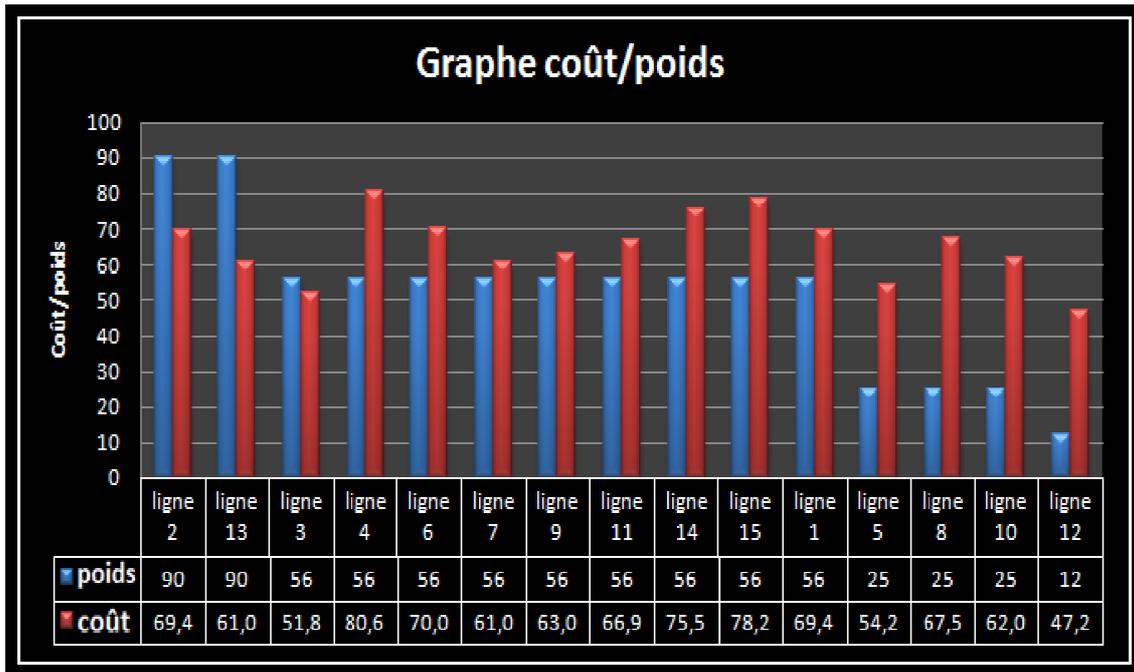


Figure 13: Graphe des coûts/poids de places des lignes

Sur le graphe ci-dessus, nous remarquons qu'il existe des lignes qui sont trop coûteuses vu le nombre minimum du poids des places, tel est le cas pour les lignes 5, 8, 10 et surtout 12. Et même pour les autres lignes, il n'y a que les deux lignes 2, 3 et 13 pour lesquelles le poids des places est supérieur au coût, mais pour les autres, le poids des places reste inférieur au coût. C'est donc le caractère dominant pour la majorité des lignes, et pour lesquelles le coût est bien supérieur par rapport au profit des poids pour le ministère.

C'est pour cette raison qu'on a pensé à proposer un Plan de Déplacement d'Entreprise (PDE) pour maîtriser les coûts de ces déplacements, afin de minimiser les dépenses de transport et maximiser le profit.

3- Analyse statistique des données

La statistique a pour but de résumer l'information contenue dans les données de façon à en dégager les caractéristiques essentielles sous une forme simple et intelligible.

3-1- Statistique descriptive des données

Les représentations graphiques présentées dans la section précédente ne permettent qu'une analyse visuelle des données. Pour des variables quantitatives, il est intéressant de donner des indicateurs numériques permettant de caractériser au mieux ces données.

La statistique descriptive correspond à la moyenne, minimum, maximum, écart-type, somme, etc. Il est possible de les obtenir à l'aide des fonctions Excel MOYENNE, ECARTYPE, MIN, MAX, SOMME. Il est toutefois plus facile et rapide d'utiliser *l'utilitaire d'analyse* via l'Excel qui permet d'afficher un rapport détaillé des résultats de la statistique descriptive.

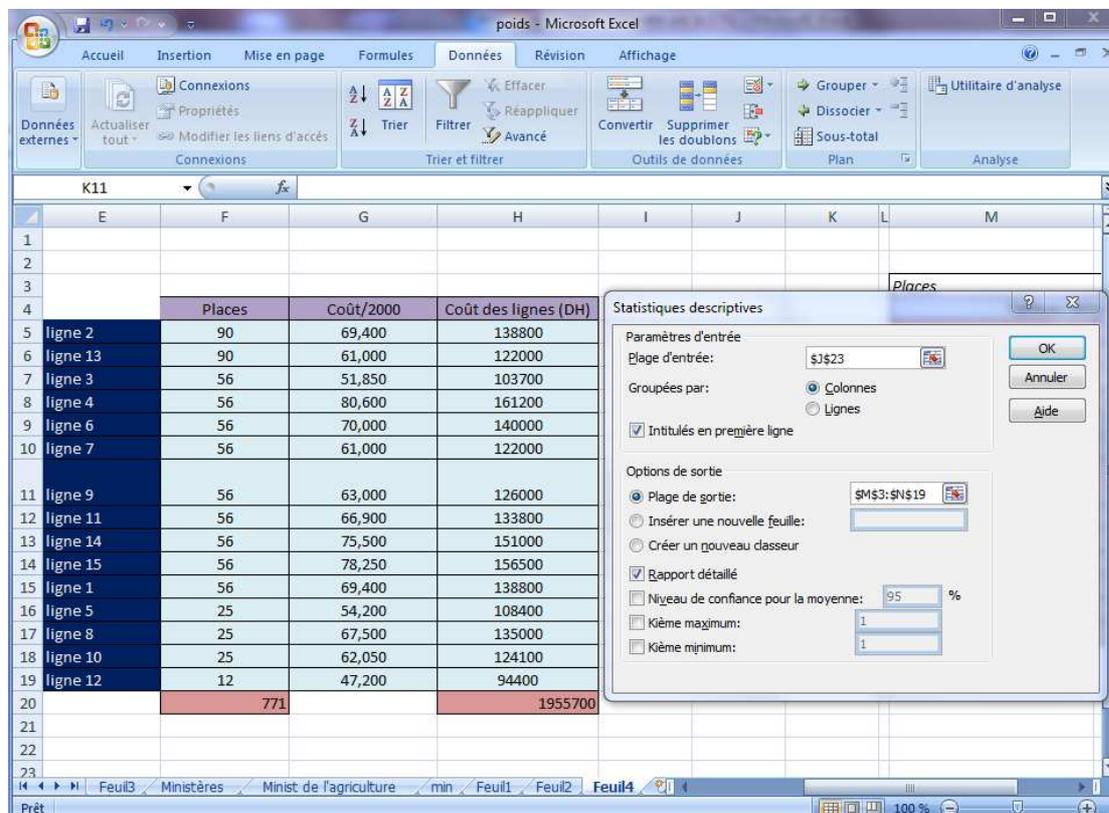


Figure 14: interface d'Excel de la statistique descriptive

Rapport détaillé des places des lignes	
Moyenne	51,4

Erreur-type	5,696113964	Rapport détaillé des coûts des lignes	
Médiane	56	Moyenne	130380
Mode	56	Erreur-type	4885,968247
Écart-type	22,06095452	Médiane	133800
Variance de l'échantillon	486,6857143	Mode	138800
Coefficient d'aplatissement	0,086604638	Écart-type	18923,27365
Coefficient d'asymétrie	0,003540883	Variance de l'échantillon	358090285,7
Plage	78	Coefficient d'aplatissement	-0,345153933
Minimum	12	Coefficient d'asymétrie	-0,238531968
Maximum	90	Plage	66800
Somme	771	Minimum	94400
Nombre d'échantillons	15	Maximum	161200
		Somme	1955700
		Nombre d'échantillons	15

Tableau 6: Résultat des données via l'Excel

3-2- La notion d'association sur des variables

✓ La corrélation linéaire

Elle mesure la covariation qui existe entre deux variables X et Y . Le coefficient de corrélation indique si deux variables évoluent dans le même sens ou en sens contraire. Il est compris entre -1 (corrélacion négative) et +1 (corrélacion positive). Lorsqu'il est nul on dit que les variables ne sont pas corrélées. Et lorsqu'il s'approche de 1 on dit que les variables sont bien corrélées.

Le coefficient de corrélation :

$$R = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Avec :

$$cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

Et la formule de la moyenne est :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

✓ Régression linéaire

La régression permet d'analyser la manière dont une variable (dite expliquée) est affectée par les valeurs d'une ou plusieurs autres variables (dites explicatives).

Exemple : $Y = aX + b$

La méthode des MCO (Moindres Carrés Ordinaires), par exemple, permet de calculer les paramètres a et b en fonction des observations X_i et Y_i :

$$a = \frac{\text{cov}(X, Y)}{V(X)} \text{ et } b = \bar{Y} - a\bar{X}$$

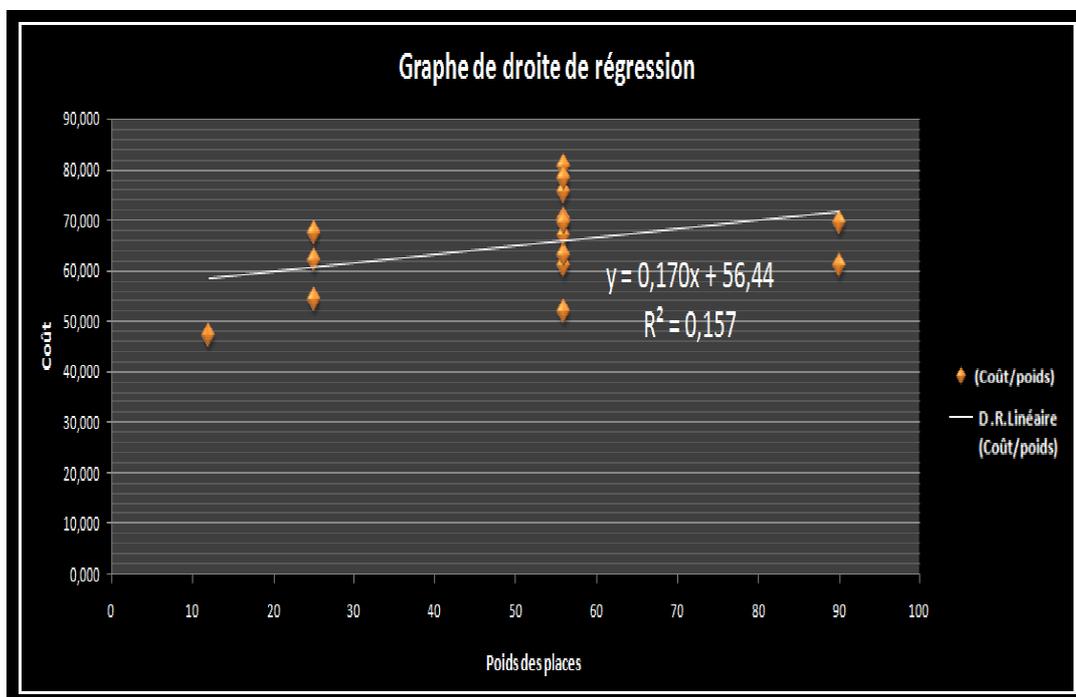


Figure 15: Graphe de régression linéaire

D'après cette figure, et qui représente le nuage des points des Poids des places/coûts et la droite de régression, on observe l'absence d'une relation linéaire entre ces deux facteurs parce que la plupart des points ne sont pas condensés sur la droite de régression, on remarque d'après le coefficient de corrélation qui est trop faible et converge vers 0 qu'il n'y a pas de relation entre

les deux variables. Ceci reflète vraiment l'idée précédente qui confirme que les coûts et les poids des places ne sont pas liés même linéairement.

4- Analyse comparative des coûts

La partie suivante représente l'analyse comparative des coûts de transport mensuel d'un salarié de chaque ministère et le coût de transport mensuel de ce même salarié en intégrant le Tramway.

Organisme	Coût de transport mensuel d'un employé en (DH)	Coût de transport mensuel d'un employé en intégrant le Tramway (DH)
Ministère des finances et de la privatisation	201,6	250
Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'eau et de l'environnement	2135,13*	250
Ministère de l'Agriculture, du développement Rural et des Pêches maritime	287,87	250
Ministère de la modernisation des secteurs publics	543,47	250
Ministère de la Justice	530,15	250
L'ONHYM	211,38	250
Administration de la défense nationale	186,15	250
Coût moyen	585,1071429	250

Tableau 7: Coût mensuel des ministères et le Tramway d'un employé

(* Pour ce cas il s'agit soit d'une erreur fournie par le ministère à la STRS ou effectivement, les dépenses de ce ministère sont trop élevées en ce qui concerne le transport)

A partir de ce tableau ci-dessus, nous remarquons que dans la majorité des cas, la solution proposée par le Tramway s'avère plus économique. Et ceci se révèle plus

encore dans le coût moyen qui est bien élevé par rapport à celui de la solution proposée par le Tramway.

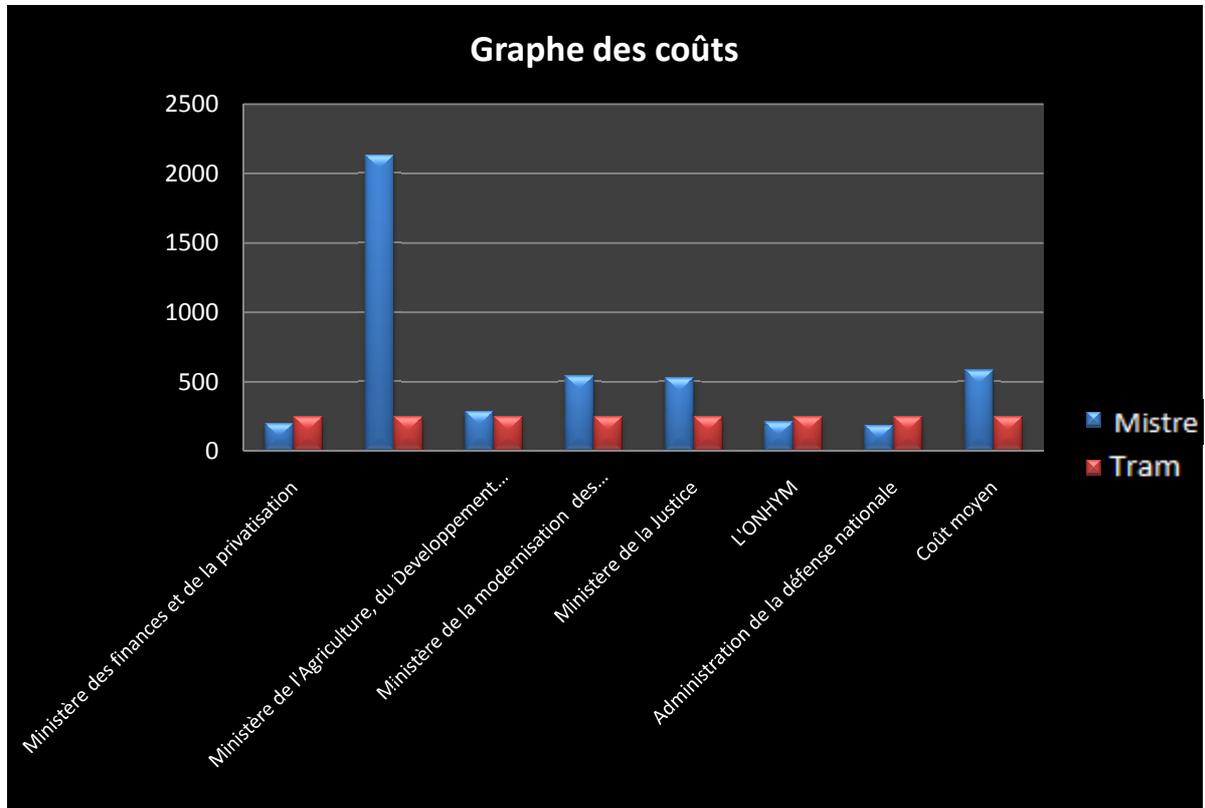


Figure 16: graphe des coûts des ministères

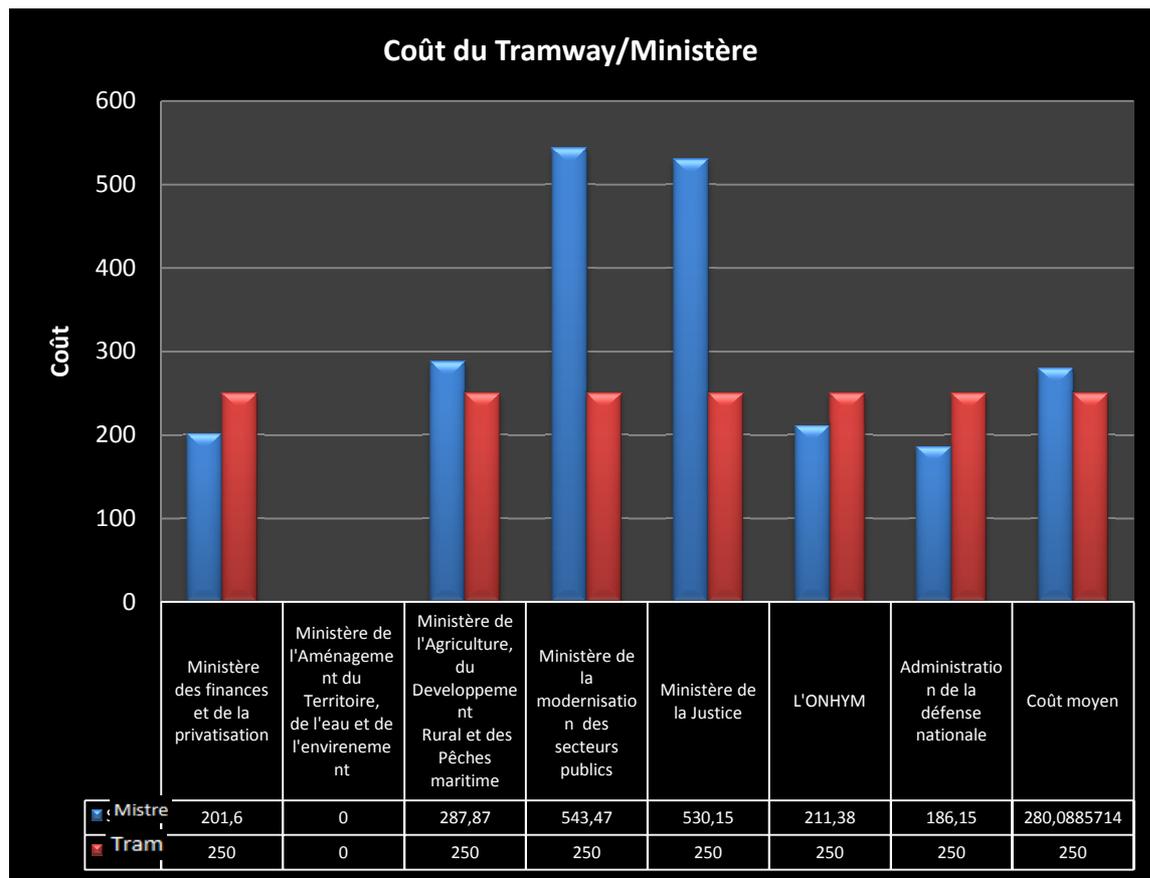


Figure 17: Les coûts du Tramway et les ministères

Ce graphe ci-dessus, reprend la comparaison coût des dépenses du ministère et la solution du Tramway, on peut relever la même remarque précédente, et qui va dans le sens du choix de la solution Tramway, qui pourrait être encore plus économique lorsqu'on effectue un abonnement de la part des ministères et qui pourrait réduire le coût de transport mensuel du Tramway jusqu'aux environs de 200DH.

La mise en place donc du Plan de Déplacement d'Entreprises (PDE) aura un grand impact économiquement positif pour le profit des ministères.

5- Stratégies et analyse par cartes des itinéraires des bus :

Dans cette partie, nous allons dessiner les cartes des itinéraires des bus du ministère de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement. Le choix de ce

ministère n'est pas aléatoire mais il provient du fait de l'importance des itinéraires au niveau de l'affectation des bus dans les quartiers de l'ensemble de l'agglomération de Rabat-Salé, ensuite nous allons effectuer une analyse comparative du trajet du Tramway et celui du bus du ministère, pour faire la prise de décision de la rentabilité et les bénéfices pour le Tramway de l'itinéraire du bus traité, tout en basant notre étude sur des stratégies qu' on va préciser dans la suite.

5-1- Stratégies étudiées

Le tramway est considéré comme l'un des projets les plus réussis à Rabat. Avec près de 100.000 voyageurs transportés par jour, ce mode de transport a énormément contribué à soulager les tensions dans toute l'agglomération. Cependant, la problématique du transport reste encore sérieusement posée notamment pour les populations des quartiers éloignés du réseau du tramway. Pour remédier à cette situation qui représente une véritable problématique au développement futur de l'agglomération, nous allons définir les deux stratégies suivantes :

- Stratégie de raccordement par des bus
- Stratégie de projet d'extension des deux lignes

Nous allons travailler à la lumière de ces deux stratégies, qui vont être explicitées par la suite, afin de les exploiter comme des futures solutions dans l'analyse des cartes des itinéraires des bus.

5-1-1-Stratégie de raccordement par bus (moyen et court terme)

La stratégie de raccordement par des bus adopte une vision de développement futur de l'agglomération pour essayer de résoudre une véritable problématique

rencontrée par les populations des quartiers éloignés du réseau du tramway.

Seule l'intégration d'un autre système de transport, tel le bus, permettra la résolution de cette problématique. Cette intégration s'impose pour plusieurs considérations, particulièrement pour l'objectif de mutualiser les moyens de transport pour assurer un système de transport de qualité au profit des usagers.

En effet, le Tramway et le bus ne devraient pas fonctionner dans une logique de concurrence mais plutôt dans une vision de complémentarité pour satisfaire les besoins

de transport pour les citoyens. Dans le cadre de cette complémentarité entre le réseau du tramway et celui des bus et pour réussir le projet de cette stratégie, il sera nécessaire d'intégrer un ticket unique et commun entre le Tram et les bus pour les usagers.

5-1-2-Stratégie du projet d'extension des deux lignes (moyen terme)

La stratégie du projet d'extension des deux lignes est un projet de développement futur de l'agglomération de Rabat-Salé, parce qu'il va résoudre une véritable problématique rencontrée par les populations des quartiers éloignés du réseau du tramway. C'est pour cela que la société du tramway de Rabat-Salé (STRS) envisage de lancer la mise en place du projet pour l'extension de son réseau à d'autres quartiers de toute l'agglomération Rabat-Salé.

Grâce à cette extension, il sera possible de desservir une population importante au niveau du développement du transport urbain, la création de nouvelle ligne est une stratégie qui permettra d'augmenter la rentabilité et le bénéfice du Tramway tout en améliorant le service public à l'aide du réseau de ce dernier, qui sera capable de répondre à la demande des autres déplacements après la réalisation du projet de l'extension, parce qu'il permettra également d'atteindre des quartiers non desservis qui ont besoin d'un transport avec des critères de coût et de performance bien précis.

5-2- Analyse des cartes du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement

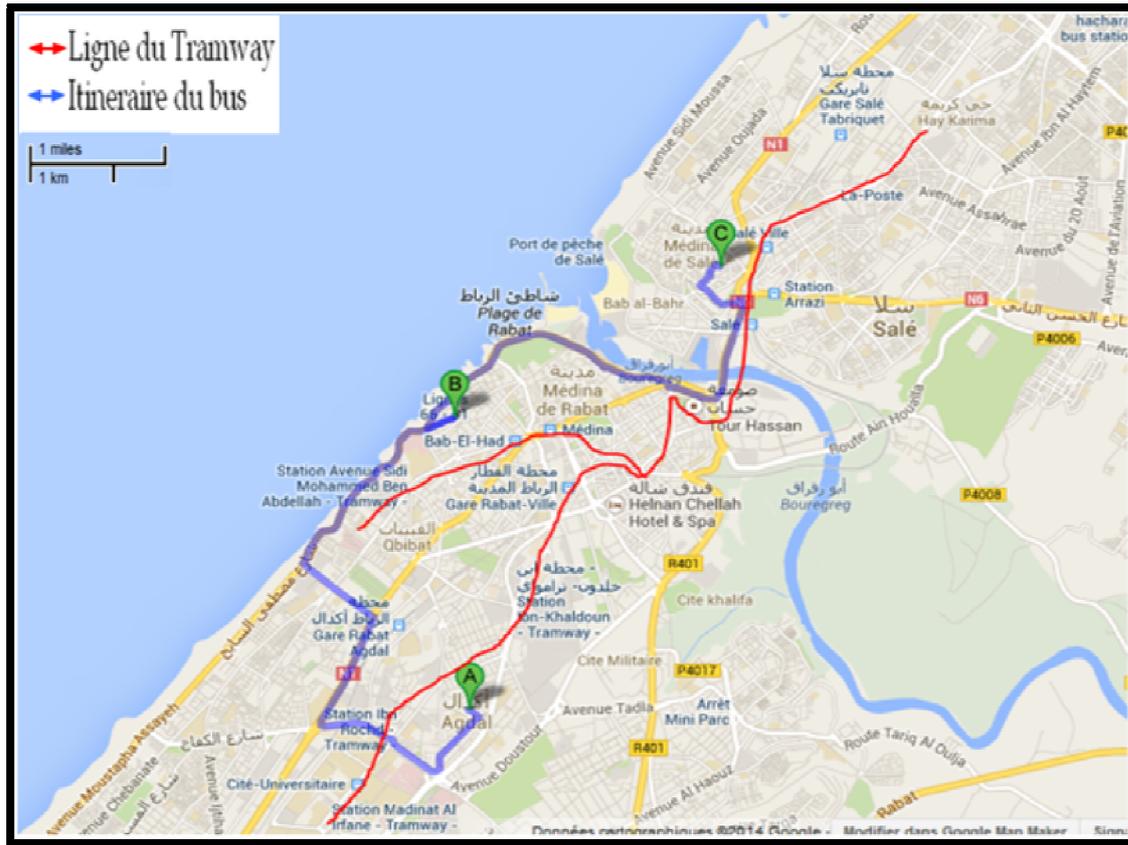


Figure 18: Carte du trajet de la ligne 1

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 1 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, dans ce cas, toutes les stations A, B et C peuvent être remplacées facilement par la solution du Tramway vue la petite distance qui sépare les stations au réseau du Tramway, et qui ne dépasse pas une centaine de mètres.

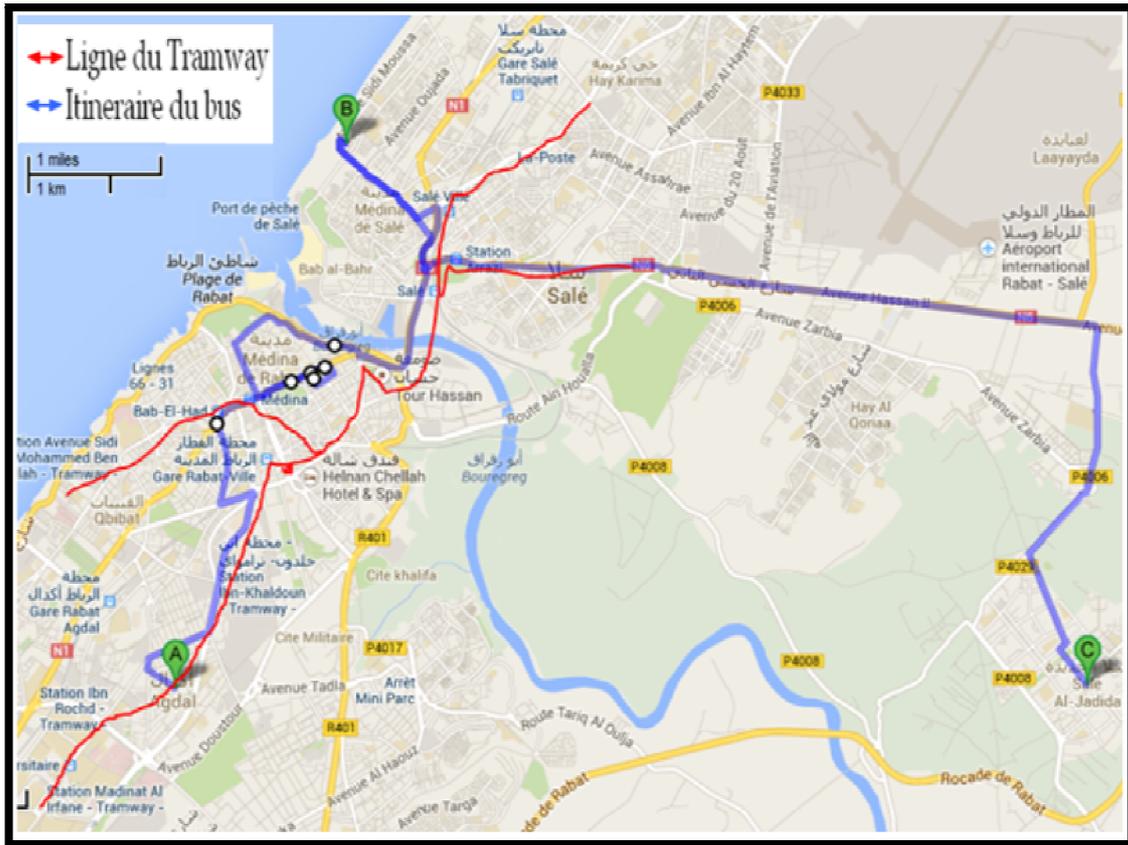


Figure 19 : Carte du trajet de la ligne 2

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle de l'itinéraire du bus accordé au trajet 2 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Pour ce cas, c'est uniquement la station A qui serait desservie par la solution du Tramway, tandis que pour les deux stations B et surtout C, on est obligé de faire appel au moins aux deux stratégies : stratégie de raccordement par bus, et stratégie d'extension des la deuxième ligne.

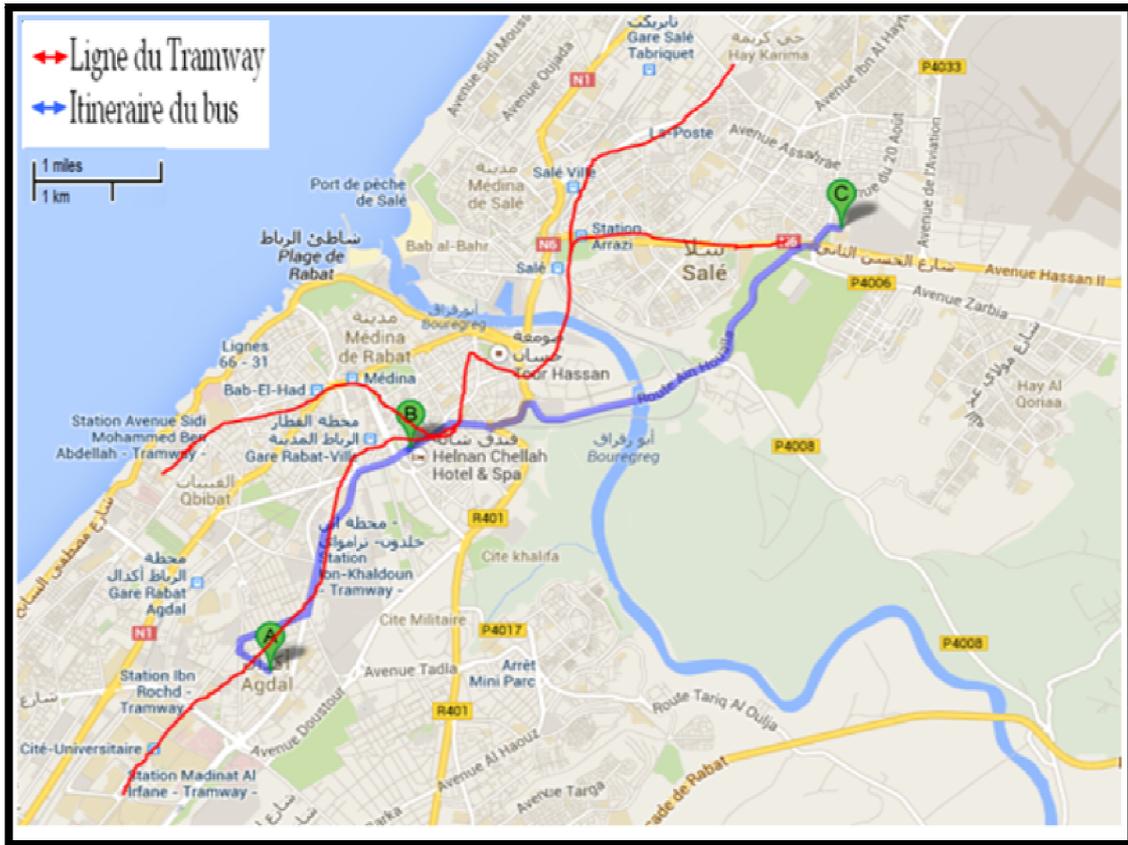


Figure 20: Carte du trajet de la ligne 3

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 3 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Ce cas s'avère totalement desservi par la solution du Tramway, que ce soit pour les stations A, B ou C, et qui sont toutes très proches des deux lignes du Tramway existantes. Il suffit de se déplacer à pieds pour quelques mètres.



Figure 22: Carte du trajet de la ligne 6

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 6 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. On remarque que la station A est l'unique à pouvoir être desservie par la ligne 1 du réseau du Tramway, mais les deux autres stations B et C éprouvent une nécessité à utiliser la stratégie de raccordement par des bus proposée auparavant.

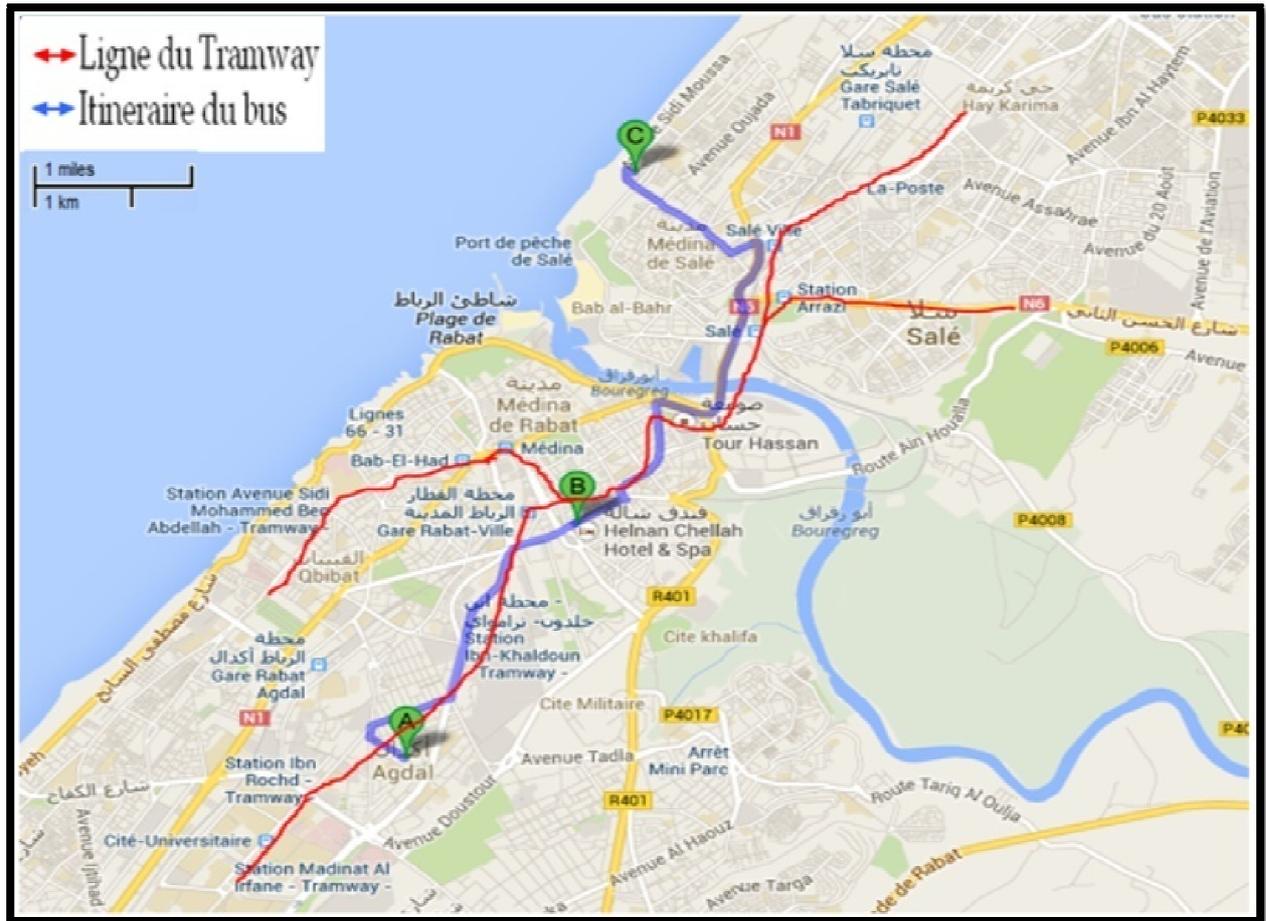


Figure 23: Carte du trajet de la ligne 7

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 7 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, nous observons que le tramway peut gagner les place du quartier A et B facilement, mais il va perdre C, dans ce cas nous somme obligés de faire appel à la stratégie de raccordement par bus pour bénéficier des places du quartier C.

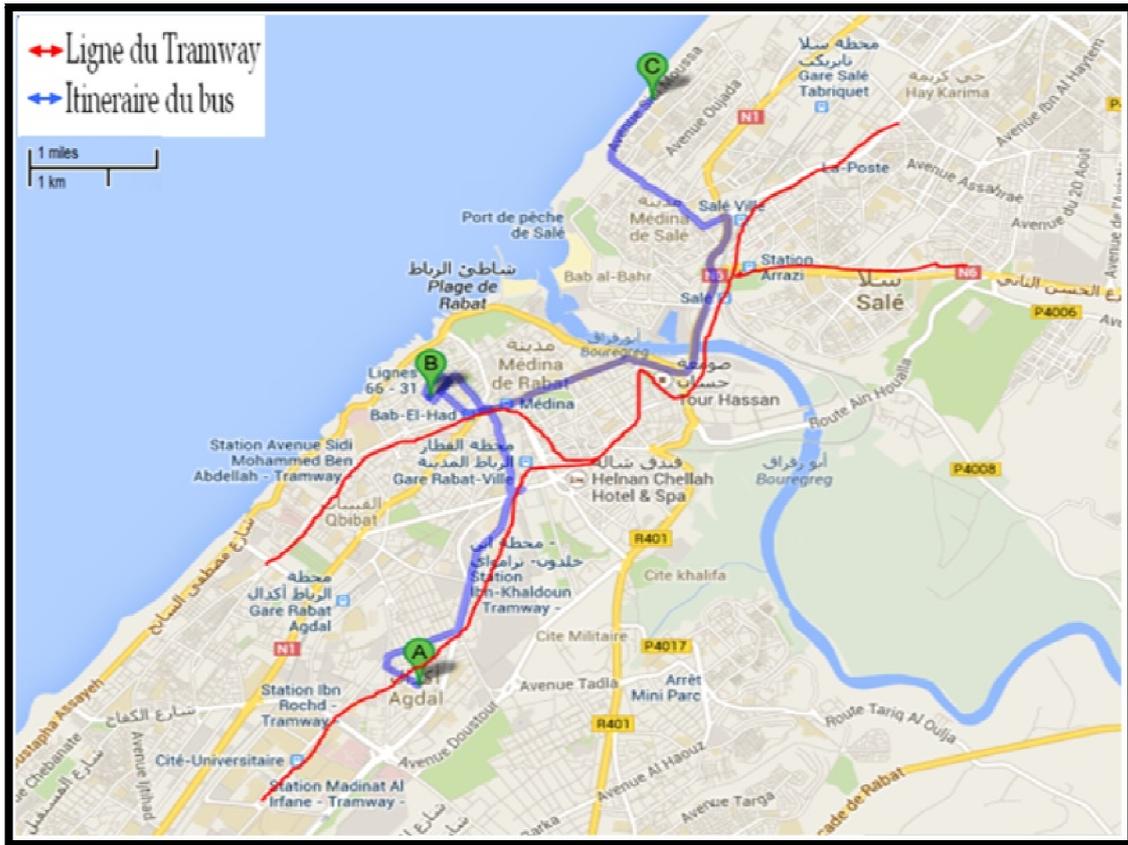


Figure 24: Carte du trajet de la ligne 8

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 8 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, les deux stations A et B ne sont pas trop éloignées du réseau du Tramway pour être desservi, il suffit de marcher à pieds pour une dizaine de mètres. La station C éprouve cependant une difficulté, mais qui peut être résolu via la stratégie de raccordement.

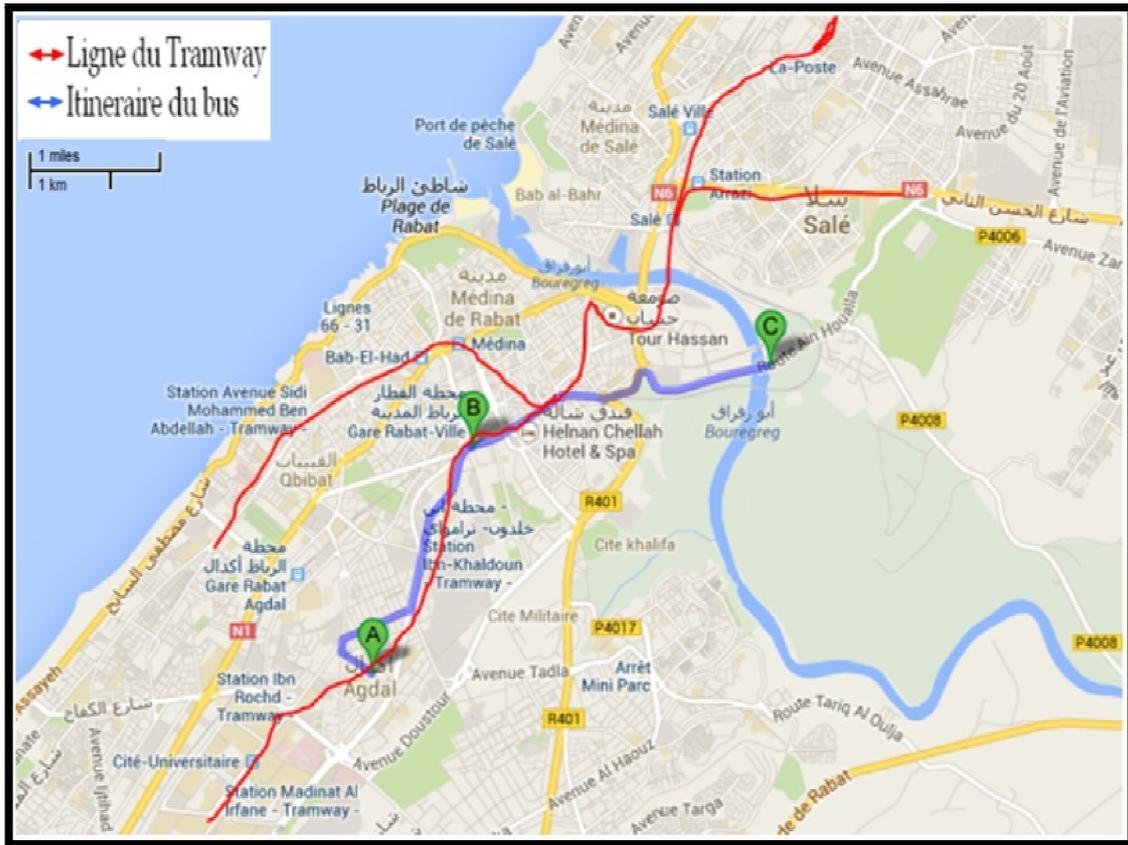


Figure 25: Carte du trajet de la ligne 9

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 9 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Les stations A et B sont trop proches au trajet du Tramway, il n'existe aucun problème dans ce cas, mais pour la station C, une des stratégies précédemment définies s'impose fortement.



Figure 26: Carte du trajet de la ligne 10

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 10 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. On peut facilement penser à associer les stations A et B au réseau du Tramway et qui est proche, mais pour la station C on est obligé de faire appel aux stratégies déjà définies.

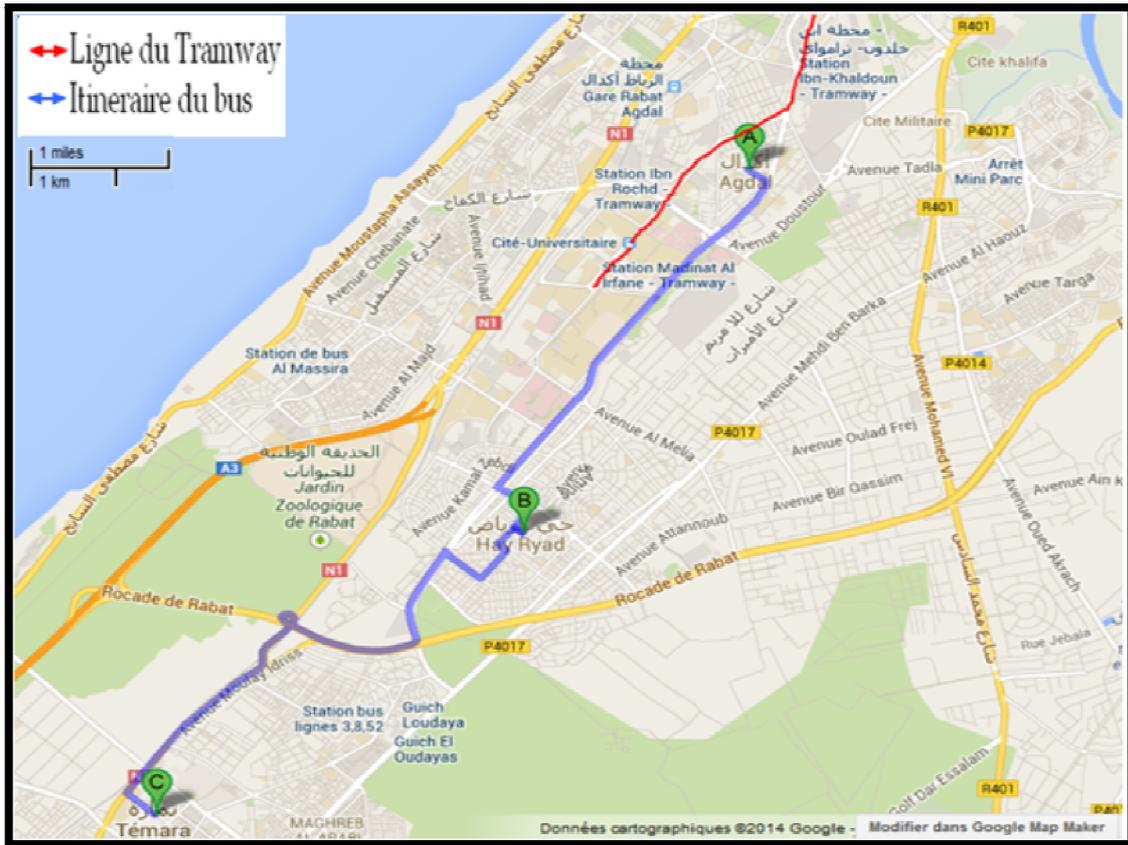


Figure 27: Carte du trajet de la ligne 11

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 11 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, et qui va jusqu'à la ville de Témara pour la station C, et B qui se trouve au quartier Ryad, pour lesquelles la stratégie d'extension est indispensable, par opposition à la station A et qui est desservable facilement par le réseau du Tramway.

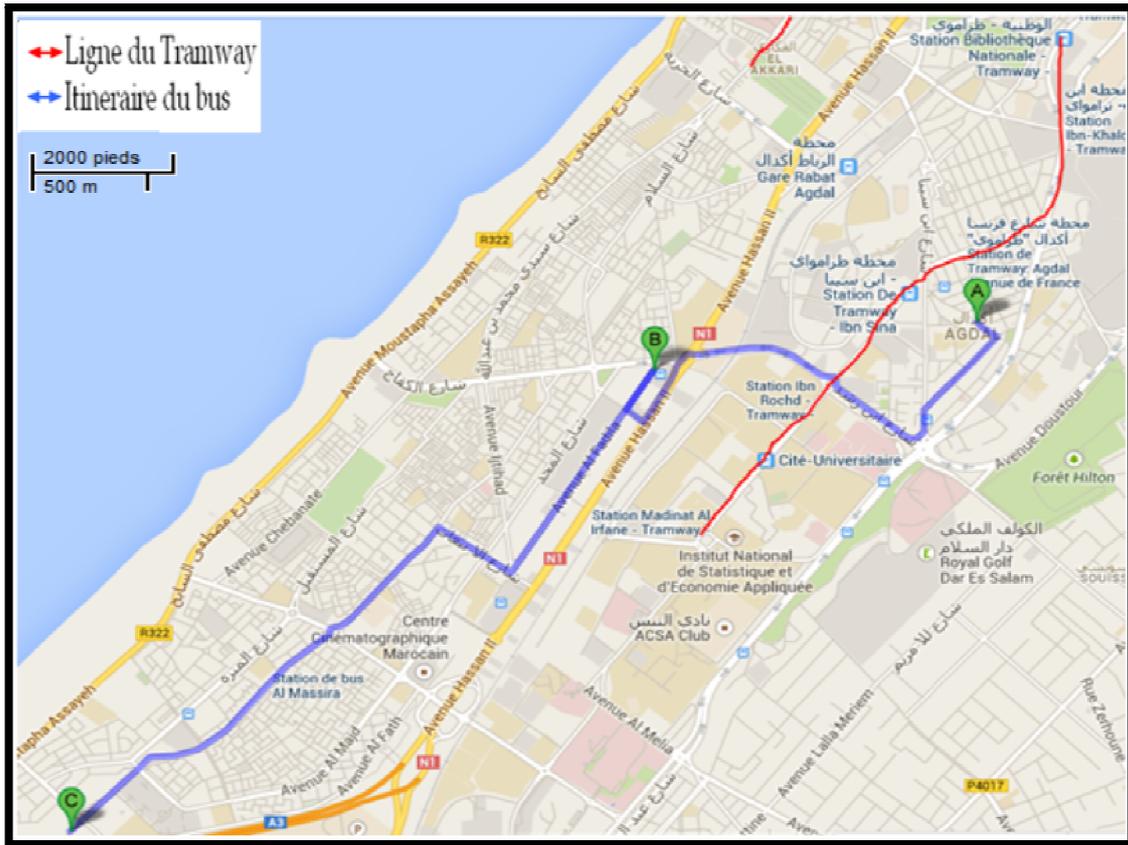


Figure 28: Carte du trajet de la ligne 12

La carte ci-dessus représente la différence au niveau de la distance entre la ligne du tramway et celle d'itinéraire du bus accordé au trajet 12 du Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, la station A ne s'éloigne que d'environ 300 mètres de la ligne du Tramway, et pour laquelle il suffit de marcher à pieds pour utiliser le Tramway, pour ce qui est des stations B et C, on est obligé d'utiliser l'une des stratégies, soit du raccordement par bus, ou l'extension des deux lignes.

Récapitulatif des stratégies

Stratégie

Les cartes des lignes

Stratégie de raccordement par des bus (A)	<ul style="list-style-type: none"> – ligne 2 – ligne 4 – ligne 6 – ligne 7 – ligne 8 – ligne 9 – ligne 10 – ligne 12
Stratégie d'extension du réseau du Tramway (B)	<ul style="list-style-type: none"> – ligne 2 – ligne 4 – ligne 10 – ligne 11 – ligne 12
Les deux stratégie (A)et (B)	<ul style="list-style-type: none"> – ligne 2 – ligne 4 – ligne 10 – ligne 12
Aucune stratégie	<ul style="list-style-type: none"> – ligne 1 – ligne 3

Tableau 8: Récapitulatif des stratégies

D'après le tableau ci-dessus, nous remarquons que la stratégie de raccordement par des bus est la plus utilisée pour desservir les quartiers éloignés du réseau du Tramway vue le nombre des lignes intégrées vis-à-vis de cette stratégie, sans oublier notamment l'importance de la stratégie d'extension du réseau du tramway. Cependant, seules les lignes 1et 3 qui n'utilisent aucune des stratégies et qui seront donc complètement desservis par la solution du Tramway.

CHAPITRE III -

ANALYSE MULTICRITERE DU SYSTEME DE TRANSPORT EN COMMUN A RABAT-SALE

Qu'est-ce que l'analyse multicritère ?

L'Analyse multicritère est la science technique vouée à l'éclaircissement de la compréhension d'un problème de décision et à sa résolution. Elle devient multicritère lorsque le problème comporte plusieurs objectifs, souvent contradictoires. Une analyse qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision.

D'après cette définition, nous présentons, dans ce chapitre, d'abord, un panorama des méthodes de sélection, y compris l'analyse multicritère, les plus utilisées pour la sélection d'une action ou d'une alternative dans un problème.

Les méthodes de sélection sont classées en trois catégories :

- Les méthodes basiques.
- Les méthodes d'optimisation mathématique.
- Les méthodes d'aide à la décision multicritère :

1- Méthodes de choix multicritères

1-1- Méthodes basiques (élémentaires)

1-1-1- Méthode catégorique (Timmermans 1986)

La méthode catégorique consiste à faire une évaluation des performances de chaque action par rapport à chaque critère, et ce en affectant un « grade » : un terme catégorique simple, par exemple « bon », « insatisfaisant », « neutre ». On effectue dans une deuxième étape la somme des évaluations de chaque action pour obtenir un score global par action.

La méthode catégorique est l'une des méthodes les plus simples pour traiter un problème de sélection. Elle est facile à mettre en œuvre. Toutefois, elle fait appel à des jugements basés sur la mémoire et l'expérience du décideur. Par conséquent, les évaluations des actions par rapport aux critères ne sont pas précises.

La méthode catégorique permet la classification des actions les unes par rapport aux autres. La méthode catégorique utilise le même ordre d'importance pour tous les critères.

1-1-2- Méthode de la somme pondérée (Timmermans 1986)

Cette méthode consiste à se fixer un ensemble de critères et à les classer en affectant à chacun d'eux un poids. La méthode de la somme pondérée se présente comme suit :

- ✓ Étape 1 : Identifier les critères pertinents à la problématique, C_i
- ✓ Étape 2 : Affecter des poids aux critères listés, traduisant l'importance relative des critères, P_i
- ✓ Étape 3 : Évaluer chaque action sur chacun des critères
- ✓ Étape 4 : Calculer le score global (weighted ratings) pour chaque action

Critère	C_1	C_i	C_n	Somme pondérée	Score
Poids	P_1	P_i	P_n		
Action A_1					
Action A_2					

Action A_3					
--------------	--	--	--	--	--

$$S(A_i) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i$$

La méthode de la somme pondérée est l'une de méthodes les plus utilisées. Elle a l'avantage d'être facile à comprendre et à mettre en œuvre. Toutefois, sa difficulté réside dans la définition de procédures de conversion des évaluations qualitatives en des évaluations quantitatives.

1-1-3- Méthode du « Maxmin » (Guitouni et Martel 1998)

La méthode « Maxmin » est utilisée pour choisir une action considérée comme la meilleure action parmi un ensemble d'actions.

Le terme « maxmin » indique que la procédure cherche à sélectionner le maximum (selon les actions) des évaluations minimums (selon les critères). Ainsi, la performance globale d'une action est déterminée par sa pire performance. Cette procédure est appropriée dans le cas où le décideur a une attitude pessimiste.

La procédure maxmin exige que les critères d'évaluation des actions soient commensurables. Une façon de faire est la normalisation.

1-2- Méthodes d'Optimisation mathématique multicritère

Les méthodes d'optimisation mathématique sont les plus utilisées, dans le domaine de la recherche scientifique, pour traiter le problème de sélection. Le problème est souvent formalisé sous la forme d'une ou de plusieurs fonctions objectifs et d'un ensemble de contraintes à respecter.

Les modèles obtenus peuvent être linéaires ou non linéaires en fonction du problème à formaliser. Les méthodes d'optimisation mathématique sont souvent exploitées en deux étapes.

- Étape de modélisation : elle consiste à formaliser le problème étudié en un modèle d'optimisation
- Étape de résolution : elle consiste à résoudre le modèle proposé.

Le problème de sélection est multicritère dans le sens où l'évaluation d'une action se fait souvent en considérant plusieurs critères à la fois. Dans ce chapitre, on se limite à la présentation de méthodes d'optimisation mathématique permettant l'intégration de plusieurs critères. Cette intégration se fait de trois façons différentes :

- ✓ L'agrégation des critères en une seule fonction objective (*Compromise Programming, Goal Programming, méthode du critère global ...*).
- ✓ L'optimisation d'un critère dans la fonction objectif et l'intégration des autres critères dans les contraintes du modèle (*ϵ -Constraint Method*)
- ✓ La formulation du problème en un programme mathématique à objectifs multiples.

1-2-1-Goal programming

L'essence du goal programming (*GP*) réside dans le concept de satisfaction d'objectifs ; on se fixe un but à atteindre pour chacun des critères, et on résout ce problème selon les variantes choisies du *GP* :

- Variante 1 (*Standard Goal Programming*): il s'agit de minimiser la somme des valeurs absolues des écarts par rapport aux buts (*Charnes and Cooper 1961*).
- Variante 2 (*MinMax Goal Programming*): il s'agit de minimiser l'écart maximum par rapport aux buts (*Flavell 1976*).
- Variante 3 (*Lexicographic Goal Programming*) : il s'agit de minimiser la somme des écarts par rapport aux buts d'une manière lexicographique (*Ijiri 1965*). Pour ce faire, on procède comme suit :
 - Étape 1 : Classer les critères par ordre d'importance.
 - Étape 2 : Sélectionner les actions qui minimisent l'écart par rapport au premier critère seulement, appelons ce sous-ensemble d'actions *A1*.
 - Étape 3 : Parmi les actions de *A1*, sélectionner celles qui minimisent la somme des écarts (ou bien la somme pondérée des écarts) par rapport aux 2 premiers critères (les 2 critères ayant la plus grande importance), le sous-ensemble obtenu est *A2*.
 - Étape 4 : Procéder de la même manière pour obtenir un sous ensemble *A3* à partir des actions de *A2*.
 - Étape 5 : Continuer la procédure de proche en proche et arrêter lorsque la condition d'arrêt est satisfaite.

D'autres variantes du *GP* ont aussi vu le jour. On cite : le *GP* flou (*Fuzzy GP*), le *GP* non linéaire (*Non linear GP*), le *GP* stochastique (*Stochastic GP*).

Le Goal Programming a l'avantage d'aborder les problèmes sous l'angle de satisfaction d'objectif. Par ailleurs, le *GP* s'avère utile pour modéliser des problèmes qui n'ont pas de solution optimale, par exemple à cause de la non satisfaction d'une contrainte. Pour

ce faire, on demande au décideur d'explicitier ses souhaits, puis on propose un modèle *GP* qui permet de choisir l'action qui se rapproche le plus de ces souhaits.

La formulation d'un problème sous un modèle de *GP* n'a rien d'exceptionnel par rapport à un modèle mathématique. La différence entre les deux approches de modélisation est surtout philosophique : dans un modèle mathématique, on cherche une solution optimale (philosophie d'optimisation), alors que dans un modèle *GP*, on cherche à satisfaire des objectifs (philosophie de satisfaction).

Le *GP* dans sa forme standard peut générer des solutions non« performantes» dans le cas où les objectifs sur les critères sont fixés de façon pessimiste.

1-2-2- Méthode ε -Contrainte (Festa, Grandinetti et al. 2010)

La méthode du ε -Contrainte consiste à transformer un programme d'optimisation multi objectifs en un problème d'optimisation mono objectif comportant des contraintes supplémentaires.

La méthode du ε -Contrainte est facile à mettre en place. Elle exige de fixer un seuil de performance sur $n-1$ critères. Le principal inconvénient de cette méthode est le fait qu'elle soit gourmande en temps de calcul s'il y a trop de contraintes.

1-2-3-Programmation mathématique à objectifs multiples (Zopounidis et Pardalos 2010)

Un programme mathématique à objectifs multiples (PMOM) est un programme qui prend en compte plusieurs fonctions, chacune jouant le rôle d'un critère (on parle aussi de fonction critère). Chacune de ces fonctions possède un optimum, qui ne sera en général pas celui des autres fonctions. Ainsi, une solution optimale n'existe pas; car ce qui est optimal selon un critère ne l'est pas selon les autres critères. Il va donc falloir choisir une solution de compromis : solution jugée satisfaisante.

Dans un (*PMOM*), on s'intéresse essentiellement à la détermination de l'ensemble des solutions efficaces.

La démarche classique pour résoudre un problème de (*PMOM*) suit les 2 étapes suivantes :

- Étape 1 : Appliquer le principe de dominance pour réduire l'ensemble A à l'ensemble des actions efficaces noté S .
- Étape 2 : Introduire les préférences du décideur pour réduire S à un ensemble plus restreint et, éventuellement, à une seule solution.

La programmation mathématique à objectifs multiples exige une articulation a posteriori des préférences. Dans une première étape, on détermine l'ensemble des solutions efficaces; dans une deuxième étape, on utilise les préférences du décideur pour explorer cet ensemble et déterminer la (les) meilleure(s) solution(s).

Comme il est énoncé, le traitement d'un programme mathématique à objectifs multiples peut, à tort, paraître aisé. En effet, l'étape 1 qui consiste à déterminer

l'ensemble des solutions non dominées est très difficile à traiter car, hormis les cas où le modèle est linéaire (l'ensemble des solutions réalisables est convexe), peu de méthodes sont proposées pour déterminer les solutions optimales au sens de Pareto pour les cas où le modèle est linéaire mixte, ou non linéaire par exemple. C'est là un axe de recherche très porteur du domaine de la recherche opérationnelle et de l'analyse de la décision.

1-3- Méthode d'Analyse Multicritère :

1-3-1- Les méthodes d'aide à la décision multicritère

Les méthodes de programmation mathématique permettent de traiter un problème de sélection avec contraintes, en d'autres termes, un problème de sélection où les solutions ne sont pas connues a priori. En revanche, les méthodes d'aide à la décision multicritère que nous présentons dans la suite supposent que les solutions sont connues a priori. La méthode de choix de la meilleure solution est conditionnée par la façon avec laquelle le décideur exprime ses préférences : par exemple, le décideur peut être indifférent vis à vis de deux solutions si la différence de leur coût est faible (une solution qui coûte 1 5000 DH et une solution qui coûte 1 4800 DH). Dans la théorie de la décision, cette étape du traitement du problème est appelée étape de modélisation des préférences. Nous la considérons comme un des points clés qui distingue les méthodes d'agrégation élémentaires et d'optimisation mathématique multi objectif des méthodes d'aide à la décision multicritère.

Nous présentons dans cette section les concepts fondamentaux liés à la théorie de la décision multicritère afin d'explicitier sa pertinence pour le traitement d'un problème de transport. Ensuite, nous étudions les méthodes d'agrégation multicritère les plus utilisées.

Le processus d'aide multicritères à la décision peut généralement être vu comme un processus récursif (itératif), non linéaire, composé de 4 étapes principales (Guitouni 1998) :

- La définition des problématiques et la structuration de la situation (problème) de décision.
- La modélisation des préférences au niveau de chaque point de vue (modélisation des préférences locales).
- L'agrégation de ces préférences locales en vue d'établir un ou plusieurs systèmes relationnels de préférences globaux.
- La recommandation après avoir exploité l'agrégation

Comme précisé auparavant, nous supposons que face à une situation décisionnelle, le décideur (la personne ayant connaissance des actions, des critères, ...) sera aidé par un homme d'étude (expert, personne sensée maîtriser le processus d'aide à la décision). Nous détaillons ci-dessous, chacune des étapes du processus d'aide à la décision multicritères.

La définition des problématiques et la structuration de la situation consiste à :

- Déterminer le type de problématique à résoudre : problématique de choix, problématique de tri, problématique de rangement ou problématique de description.
- Déterminer l'ensemble des actions à étudier.
- Recenser les critères selon lesquels les actions seront évaluées.
- Déterminer les évaluations de chacune des actions sur chacun des critères.

L'articulation et la modélisation des préférences consiste à :

- Définir les types de critères : vrai critère, pseudo critère, quasi critère, critère gaussien, etc. Ce travail de définition peut être élargi aux acteurs impliqués dans le projet à différents titre.
- Définir l'ordre d'importance des critères ainsi que leur poids.
- Définir, et ce selon la méthode d'agrégation retenue, les fonctions d'utilité partielle, les fonctions de valeur, les comparaisons par paires d'actions.

L'agrégation des préférences locales consiste à exploiter les évaluations partielles des actions sur les différents critères afin de générer une évaluation globale.

L'exploitation consiste à exploiter les résultats obtenus à l'étape d'agrégation des préférences locales pour choisir, ranger ou trier les actions. Selon Roy (Roy 1985), dans certains contextes décisionnels, une modélisation élaborée des préférences du

décideur est requise. Selon la manière d'agrégation des préférences du décideur, il est possible de distinguer différentes approches :

- l'approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité. Ces approches sont exploitées dans le cas où le décideur est capable de juger toute paire d'actions (a, b) et cela selon un des cas suivant : soit a est préférée à b, soit b est préférée à a, soit le choix est indifférent entre a et b. Il n'y a donc pas d'incomparabilité entre deux actions.
- l'approche du surclassement de synthèse. Ces approches permettent l'incomparabilité entre actions. Certaines sont caractérisées par des structures de préférence forte, faible, d'indifférence, ou d'incomparabilité.
- l'approche du jugement local interactif. Ces approches sont caractérisées par une interaction continue entre l'homme d'étude et le décideur tout au long du processus d'aide à la décision.

1-3-2- Méthode d'agrégation complète : approche du critère unique de synthèse

1-3-2-1- TOPSIS : Technique for Order by Similarity to Ideal Solution (Hwang et Yoon 1981)

L'idée fondamentale de cette méthode consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner le plus possible de la pire solution (qui dégrade tous les critères).

- Étape 1 : Normaliser les performances selon une formule prédéfinie (E')
- Étape 2 : Calculer le produit des performances normalisées par les coefficients d'importance relative des attributs (e''_{ij})
- Étape 3 : Déterminer les profils idéal (a^*) et anti-idéal (\bar{a})
- Étape 4 : Calculer la distance euclidienne par rapport aux profils a^* et \bar{a} (D_i et D_i^*)

- Étape 5 : Calculer un coefficient de mesure du rapprochement au profil idéal (C_i^*)
- Étape 6 : Ranger les actions en fonction des valeurs décroissantes de C_i^*

La méthode TOPSIS permet d'ordonner les actions. Son grand apport est l'introduction des notions d'idéal et d'anti-idéal. Elle est facile à appliquer. En outre, elle est sensible à la volonté du décideur. Toutefois, certaines limites caractérisent cette méthode : les attributs doivent être de nature cardinale, les préférences sont fixées a priori. Par ailleurs, si toutes les actions sont mauvaises, la méthode propose la meilleure action parmi les mauvaises.

1-3-2-2- SMART : Simple Multi-Attribute Rating technique (Edwards 1971)

La méthode *SMART* consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Cette approche a été justifiée par le fait que dans certains cas (peu ou pas d'interactions entre les actions envisagées) on obtient d'aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes.

La méthode *SMART* se présente comme suit :

- Étape 1 : Mettre les critères selon l'ordre décroissant d'importance.
- Étape 2 : Déterminer le poids de chaque critère.
- Étape 3 : Normaliser les coefficients d'importance relative entre 0 et 1 : faire la somme des coefficients d'importance et diviser chaque poids par cette somme.
- Étape 4 : Mesurer la localisation de chaque action sur chaque critère $u_j(a_i)$.
Les évaluations des actions se font sur une échelle variant de 0 (minimum plausible) à 100 (maximum plausible).

- Étape 5 : Déterminer la valeur de chaque action selon la somme pondérée suivante :

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^n \pi_j u_j(a_i), \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

- Étape 6 : Classer les actions selon l'ordre décroissant de $U(a_i)$.

La méthode SMART est facile à exploiter. Elle exige une articulation a priori des préférences, et une évaluation des actions sur une échelle unique (échelle cardinale).

La méthode SMART utilise la forme additive.

2- Choix des critères du système de transport en commun à Rabat-Salé

Pour le choix des critères ou caractéristiques possibles pour évaluer les systèmes de transport en site propre entre eux, il est très important de tenir compte des occupations majeures dans le domaine du transport public: la fiabilité, la disponibilité et la sécurité.

Le choix des critères est un enjeu majeur pour mieux apprécier plus ou moins objectivement les possibilités des systèmes dans le contexte urbain actuel.

Nous utilisons les critères suivants pour connaître les possibilités et les différences d'un système de transport à l'autre :

➤ Critères liés aux performances et aux services rendus :

- Capacité,
- Fréquence
- Vitesse commerciale,
- Ponctualité,
- Fiabilité,
- Accessibilité,

➤ Critères liés aux coûts :

- Coût d'investissement,
- Coût d'exploitation.

➤ Critères liés aux aspects « environnementaux » :

- Gaz à Effet de Serre (GES),
- Image de l'insertion.

2-1- Critères liés aux performances et aux services rendus

La performance des systèmes de transport est une mesure composée en général de la capacité, la fréquence, la vitesse commerciale, la fiabilité et la productivité. Aussi les éléments jugés nécessaires pour assurer un bon fonctionnement des systèmes de transport sont souvent liés à la qualité de services rendus aux usagers, la ponctualité et l'accessibilité.

2-1-1- Capacité

La capacité est une valeur qui représente la prestation de transport maximale d'un moyen de transport. il y a deux catégories de capacité :

- Capacité en place qui représente la capacité qui a un avantage axé sur le nombre de personnes qui peuvent être transporté dans un temps donné.
- capacité en nombre de véhicules qui détermine le nombre maximal de véhicules qui peuvent être mis en service dans un temps donné est souvent une première étape nécessaire pour déterminer le nombre maximum de personnes qui peuvent être transportées.

La capacité peut être déterminée simplement par le type de véhicule utilisé si la fréquence de la ligne, la vitesse commerciale, la longueur de ligne sont données. On peut calculer la capacité par la méthode suivante :

$$C = \frac{Ll}{Vc} \times \frac{60}{f},$$

$$Cp = C \times Cv$$

Où,

C : Capacité des véhicules (*nombre de véhicules*),

Ll : Longueur de ligne (*km total*),

Vc : Vitesse commerciale (*km/h*),

f : Fréquence (*nombre de véhicule/h*),

Cp : Capacité en passagers (*nombre de personnes*)

Cv : capacité d'un véhicule (*nombre de personnes/véhicule, 4p/m²*).

Le tableau suivant montre la capacité d'un véhicule de chaque système de transport en site propre :

Véhicule	Capacité d'un véhicule (nombre de passagers)
Tramway	560
Autobus (stareo)	175

Tableau 9: Capacité d'un véhicule

2-1-2- Fréquence

La fréquence est le nombre de véhicules circulant sur un itinéraire selon un horaire régulier par unité de temps. En pratique, on utilise ce terme de la manière suivante : le temps observé entre les véhicules qui passent régulièrement et successivement dans un endroit donné.

En règle générale, on emploie la fréquence pour mesurer le niveau de service et la qualité de service d'une ligne de transport. Elle influence aussi sur la capacité d'une ligne ainsi que sur la capacité unitaire des rames choisies.

Ainsi, la fréquence en pratique, ne doit pas être longue à l'heure de pointe car plus elle devient grande plus les utilisateurs attendent pour prendre un véhicule, ce qui défavorise le niveau de service et en même temps, la qualité de service.

Véhicule	Fréquence moyenne (min)
Tramway	9 min
Autobus	20 min

Tableau 10: Fréquence de véhicule

2-1-3- Vitesse commerciale

La vitesse commerciale est une vitesse moyenne utile à l'utilisateur. Elle peut être obtenue par un calcul, longueur de la ligne divisée par le temps de trajet.

$$v_c = \frac{l}{T_t}$$

où :

V_c : vitesse commerciale,

l : longueur de ligne,

T_t : temps total de trajet.

La vitesse commerciale est nécessaire d'une part, pour savoir l'efficacité d'une ligne de transport et la qualité de service, et d'autre part, pour déterminer le nombre de rames nécessaires et utilisées sur une ligne ce qui a une influence importante sur le

coût d'exploitation. Elle est donc souvent considérée comme l'un des indicateurs importants pour le service du transport public.

La vitesse commerciale moyenne de chaque système est donnée par le tableau suivant :

Système de transport	Vitesse commerciale (km/h)
Tramway (ligne 1)	19,5
Tramway (ligne 2)	17,4
Autobus	12

Tableau 11: Vitesse commerciale des différents systèmes de transport

2-1-4- Ponctualité (on-time performance)

La ponctualité est une caractéristique de ce qui est conforme à l'horaire d'exploitation prédéfinie. Elle est liée à la qualité de service car elle influence le temps d'attente à l'arrêt pour les usagers.

La vie dans les grandes villes comme Rabat est stressante, et notre société attend pour le transport public la régularité ou plus exactement, la ponctualité. Les retards dans le trafic ne sont pas acceptables par les voyageurs sauf dans des rares cas. Il y a des modes de transport qui sont plus ponctuels comme le mode sur rails, et il y en a d'autres qui sont très touchable par les perturbations en milieu urbain comme le mode basé sur la technologie routière.

En règle générale, plus on réalise de site propre avec la priorité aux feux, ce qui est vrai dans la plupart des cas de système sur rails, plus la ponctualité est respectée. La ponctualité, donc, peut être un des critères nécessaires qui agit sur le niveau et la qualité de service liés au choix des usagers.

La ponctualité peut donc se traduire en fonction du pourcentage de site propre qui est utilisée comme l'un des critères importants. Pour faciliter le calcul, nous allons

accorder un pourcentage pour chaque système en tenant compte de l'existence du guidage ou non et de l'intégralité ou pas de ce site propre. De plus, nous supposons que les modes ferroviaires sont légèrement plus performants du point de vue de la ponctualité par rapport aux modes routiers en raison de la présence du rail et la priorité respecté par les automobilistes.

Système de transport	Guidage	Ponctualité (%)
Tramway	Oui	97
Autobus	Non	70

Tableau 12: Ponctualité

2-1-5- Fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'un système ou d'un matériel, fonctionnant sans incidents pendant un temps donné.

En ce qui concerne le système de transport, cela signifie qu'un système de transport doit effectuer sa mission, transporter des gens de l'origine à la destination sans avoir de difficultés sauf un incident imprévu ou un accident inévitable. Ce critère comprend d'une part le matériel roulant et d'autre part le service de transport. Donc si on suppose que le matériel roulant est fiable, le service de transport est aussi bon. Le critère de la fiabilité d'un système de transport repose beaucoup sur sa durée d'exploitation ou de l'utilisation.

La fiabilité et la sécurité sont les deux points principaux du domaine ferroviaire. Or aujourd'hui les autres systèmes de transport viennent du monde routier et essayent d'assurer le même niveau du transport public ferroviaire. Il est donc important de compter la fiabilité comme un des critères pour comparer les systèmes de transport public.

2-2- Critères liés aux coûts :

Les éléments financiers sont très présents dans les décisions et les choix des systèmes de transport, donc Le coût global lié à un projet d'un système de transport public est un élément essentiel qui influence le choix d'un projet. Ce coût se décompose généralement en 2 parties : le coût d'investissement et le coût d'exploitation.

➤ *Coûts d'investissement*

✚ Le coût d'investissement global du projet autobus STAREO qui doit mobiliser à **2 Milliards DHS TTC** en 15 ans.

✚ Le coût d'investissement global du projet tramway est établi à Mai 2013 à **3 814 MDHS TTC** (Hors révision des prix).

Ce coût intègre :

- marchés d'études et de travaux Tramway
- la quote part du tablier tramway dans le nouveau pont Hassan II
- frais de pré-exploitation ;
- frais financiers (avant démarrage exploitation)

Le coût d'investissement représente un coût prévisionnel d'atterrissage des marchés avenants. Il a été optimisé par rapport au programme initial de financement.

2-3- Critères liés aux impacts environnementaux

2-2-1- Émission du gaz à effet de serre

Un gaz à effet de serre (*GES*) est tout simplement un gaz qui influence le changement climatique. C'est un gaz qui se présente dans l'atmosphère terrestre et qui arrête le passage les infrarouges émis par la surface terrestre. Il y a deux types de gaz à effet de serre: les gaz naturels et les gaz industriels.

Les gaz naturels responsables de l'effet de serre depuis la naissance de la terre sont : CO₂, H₂O, CH₄, N₂O et O₃.

A côté des gaz existant naturellement, il y en d'autres, que nous pouvons fabriquer artificiellement : il s'agit de gaz industriels qui sont présents dans l'atmosphère à cause de l'homme. Les principaux gaz « industriels » à effet de serre sont les halocarbures (C_xH_yHal_z où Hal représente un ou plusieurs halogènes) .

Les transports individuels sont responsables de plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des transports. Il est très important de réduire l'impact de nos déplacements sur le climat sans attendre de nouvelles technologies pour agir. Le premier pas consiste évidemment à savoir éviter la voiture. Privilégiez la marche, le vélo, les rollers, etc. qui ne rejettent pas de CO₂ et sont souvent les modes de déplacement les plus efficaces en ville. Favorisez aussi les transports en commun (train, bus, tramway, métro).

Le tableau représentant les émissions de gaz d'effet de serre :

Véhicule	Emission CO ₂ (gCO ₂ /véhicule·km)	Émission total (tCO ₂ /véhicule/an)	Coût total (DH/an)
Tramway	0	0	0
Autobus	480	781	4266660

Tableau 13: Emission GES

On pourra obtenir ses données facilement grâce au logiciel *Calcullette eco-deplacement* ou *FGE CARBONE* gratuitement sur le WEB :

CALCULETTE Eco-déplacements

Calculez l'impact de vos déplacements quotidiens sur l'environnement et sur vos dépenses !

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

DISTANCE DOMICILE-TRAVAIL
Saisissez la distance entre votre domicile et votre travail : **J'habite à 10 km de mon travail.**
La calculatrice n'accepte que les chiffres ronds de 1 à 99.

MODES DE TRANSPORTS
Choisissez les 2 modes à comparer.

RÉSULTATS SUR 1 AN

Je choisis	COÛT	EFFET DE SERRE	ÉNERGIE
LE BUS	2070,00 €	1296,20 kg éq. CO ₂	506,50 l éq. pétrole
LE TRAIN			
LA VOITURE			
LE COVOITURAGE			
LE VÉLO	74,50 €	0,00 kg éq. CO ₂	0,00 l éq. pétrole
LA MARCHÉ			
LE 2 ROUES MOTORISÉ			
LE TRAMWAY			
LE MÉTRO			
	Je dépense 1995,50 € en plus par an.	J'émet 1296,20 kg éq. CO₂ en plus par an.	Je consomme 506,50 litres éq. pétrole en plus par an.

Informations complémentaires

FGE CARBONE
MAITRISEZ VOS EMISSIONS DE CARBONE

Calcul du 22/04/2014

7 / 13 - Transport : Transports en commun

Temps moyen passé en transports urbains électriques : minute(s) / semaine
Transports urbains propulsés à l'électricité : métro, RER, certains bus.

Temps moyen passé dans d'autres transports urbains : minute(s) / semaine
Transport urbain non-propulsés à l'électricité : bus (diesel, biodiesel, GNV).

Temps moyen passé dans un train : minute(s) / semaine

Type de train majoritairement utilisé :
 TGV TER Transilien autre

Consommation pour ce sous-poste : 0,70 T eq CO₂

↑ Précédent Suivant ↓

Figure 29: Interface du logiciel FGE CARBONE

Après avoir étudié le tableau, on a donc retenu que l'émission de GES pour le tramway est zéro et celle de l'autobus est 480 g CO₂/véhicule·km. Cela signifie que le chiffre du tramway qui utilise l'électricité est beaucoup mieux au niveau de la pollution que le chiffre de l'autobus qui utilise le carburant en tant qu'énergie.

En ce qui concerne le prix de CO₂, nous suivons la recommandation du rapport Boiteux II : 100 €/tonne de carbone. Ce qui donne le prix de la tonne de CO₂ de 27,3 €, puisque le poids de carbone dans les CO₂ est 1244.

Et d'après l'extrait du message de sa Majesté le Roi Mohammed VI aux

participants à la 15^{ème} Conférence des Parties à la CCNUCC en décembre 2009, plus précisément dans le chapitre d'Atténuation *des émissions des GES*.

Ces mesures dans le secteur du transport concernent trois niveaux: Les modes de transport, leur gestion et leur carburant.

On va introduire 2 mesures qui nous intéressent dans notre étude :

Mesures	Échéances	Potentiel d'atténuation KteCO ₂ /an
Mise en service du Tramway de Rabat	2010	119
Mise en œuvre de Plans de déplacement urbains et interurbains, en veillant à la cohérence avec les plans d'aménagements communaux	En cours	77

Tableau 14: Mesures du secteur du transport

2-2-2- Critères urbanistique : image de l'insertion

Le choix de ce critère urbanistique est un regard sur l'insertion urbaine qui favorise l'obtention d'une image positive ou d'une qualité de vie meilleure pour une ville où le projet de plan de déplacement d'entreprise va se réaliser.

Ce critère est sujet des attentes du décideur. Ainsi, il est intéressant et même nécessaire de l'introduire dans notre recherche pour distinguer chaque système de transport selon son impact sur l'aménagement de la ville.

Un bon aménagement est avant tout celui qui assure la diversité sociale, fonctionnelle, culturelle de la ville, ainsi que sa capacité à évoluer et à se renouveler. Et un bon système de transport est essentiel pour accomplir ce bon aménagement.



Figure 30: Image de l'insertion du Tramway

Par exemple, d'après la réalisation de 2 lignes de tramway à Rabat-Salé, les deux villes ont perçu l'insertion comme suit:

L'insertion urbaine consiste à positionner la plateforme ferrée dans la voirie actuelle. D'une largeur d'environ 7 m, elle implique des élargissements sur certains tronçons afin de maintenir la circulation piétonne et automobile, le stationnement et les plantations.

Selon la configuration retenue, l'insertion se fera de manière latérale ou axiale; le choix du site axial sur 70% du réseau de Rabat-Salé provient du fait de son passage par les grands axes de la ville ; dans le reste du réseau le site latéral permet de minimiser les travaux et les impacts sur la circulation.

Une attention particulière a été donnée pour la circulation piétonne, les personnes à mobilité réduite, les accès riverains et les croisements.

Par sécurité, des barrières ont été dressées au niveau des passages piéton et dans les carrefours.

2-4- Pondération des poids

Dans cette partie, comme il n'y a pas de méthode de référence, on va essayer premièrement de choisir les poids de référence pour chaque critère donné, on fixe ces poids et puis on les fait varier avec bon sens pour vérifier si cette allocation est valable.

On a déjà choisi les critères selon trois catégories : Performance, Coûts et Environnement. Donc on va fixer le choix du score total à une valeur par exemple 300. Ensuite, il est naturel de penser à affecter le poids pour classer l'une des catégories par rapport aux deux autres. Cependant, il existe, dans la pratique, des critères jugés plus importants que les autres par exemple la capacité et le coût d'investissement. La méthode qu'on va suivre est de donner plus de poids sur les critères les plus importants, les autres critères étant définis de manière complémentaire pour atteindre le score fixé. Cela implique que le poids des coûts et de la capacité sont toujours plus grands que les autres pour le poids de référence.

Ainsi, on va accorder des poids qui semblent être différent du poids de référence et chaque poids valorise l'un des critères soit la performance ou le coût ou l'environnement, et dans le tableau au dessous, on va essayer d'allouer des poids pour chaque critère :

Critères		Poids de référence	Poids 1	Poids 2	Poids 3
Performance	Capacité	50	60	40	40
	Fréquence	20	30	10	15
	Vitesse commerciale	30	40	20	25
	Ponctualité	30	40	20	25
	Fiabilité	20	30	10	15
	sous-total	150	200	100	120
Coûts	Coût d'investissement	50	30	80	45
	Coût d'exploitation	50	40	80	45
	sous-total	100	70	160	80
Environnement	GES	50	30	40	90
	Total	300	300	300	300

Tableau 15: Pondération des poids

3- L'application de la méthode de la somme pondérée et étude des scénarii

Nous avons adopté la méthode de la somme pondérée parce qu'elle est l'une de méthodes les plus utilisées. Elle a l'avantage d'être facile à comprendre et à mettre en œuvre, et elle est connue par son accessibilité mathématique.

3-1- Etude du scénario 1 : Poids de références

➤ **Formulation mathématique**

$$S(A_j) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \quad \forall j \in [1,2]$$

Avec ;

$(P_i)_i$ Vecteur des poids $i \in [1,8]$

A_j Les actions (tramway et autobus)

C_{ij} Les critères

➤ **Transformation des données**

1. Normalisation de tous les critères C_{ij} , $\forall i$
2. Normalisation de tous les C_{ij} , $\forall j$, afin de conserver la proportionnalité entre les valeurs.
3. Normalisation des poids (la somme des poids = 1).
4. Mise en œuvre de la méthode Somme pondérée.

➤ **Objet de la décision : Le système de transport le plus optimal**

On considère les 8 critères suivants :

C1 : Capacité : Ce critère est à *maximiser*

C2 : Fréquence : Ce critère est à *minimiser*

C3 : Vitesse commerciale : Ce critère est à *maximiser*

C4 : Ponctualité : Ce critère est à *maximiser*

C5 : Fiabilité : Ce critère est à *maximiser*

C6 : Coût d'investissement : Ce critère est à *minimiser*

C7 : Coût d'exploitation : Ce critère est à *minimiser*

C8 : GES : Ce critère est à *minimiser*

Les valeurs des poids de références sont données dans le tableau ci-dessous (notre choix)

Critère	Description	Poids de références
1	Capacité	50
2	Fréquence	20
3	Vitesse commerciale	30
4	Ponctualité	30
5	Coût d'investissement	50
6	GES	50

Tableau 16: Les valeurs des poids de références

La matrice des décisions (tableau des performances) est comme suite :

Système de Transport	Capacité	Fréquence	Vitesse commerciale	Ponctualité	Coût d'investissement	GES
Tramway	560	9 min	18.25 km/h	97%	3.814 MDH	0
Autobus	175	20 min	12 km/h	70%	2MDH	480 gCO2

Tableau 17: La matrice des décisions

Afin d'avoir une somme pondérée cohérente, il est nécessaire de ne considérer que des critères à maximiser. Toutefois, des critères à minimiser existent. Une transformation de ces données s'impose alors afin d'obtenir que des critères à maximiser. La transformation adéquate est la suivante :

$$C'_{ij} = \max_i (C_{ij}) - C_{ij} \quad \forall j,$$

Cette transformation maintient les écarts et permet de conserver un zéro véritable, et échange l'ordre afin de considérer alors un critère à maximiser.

La matrice des décisions ou de performance sur laquelle la méthode Somme pondérée peut alors s'appliquer :

Système de Transport	Capacité	Fréquence	Vitesse commerciale	Ponctualité	Coût d'investissement	GES
Tramway	560	11 min	18.25 km/h	97%	0 MDH	480 gCO2
Autobus	175	0 min	12 km/h	70%	1.814 MDH	0

Tableau 18: La matrice des décisions après la transformation

- On applique alors la méthode des Sommes pondérées tout en passant par les procédures de normalisation
 - Normalisation des $C_{ij} \quad \forall i$:

On choisit comme procédure de normalisation la relation suivante :

$$v_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_j C_{ij}} \quad \forall i \in [1,8]$$

Après le calcul nous aurons les résultats suivant :

Système de Transport	Capacité	Fréquence	Vitesse commerciale	Ponctualité	Coût d'investissement	GES
Tramway	0.76	1	0.603	0.58	0	1
Autobus	0.238	0	0.396	0.419	1	0

Tableau 19: La matrice des décisions normalisées

- Normalisation des poids

Critère	Description	Poids de Références
1	Capacité	0.217

2	Fréquence	0.087
3	Vitesse commerciale	0.130
4	Ponctualité	0.130
5	Coût d'investissement	0.217
6	GES	0.217

Tableau 20: Les valeurs des poids normalisées

- Mise en œuvre de la méthode Somme pondérée

On effectue finalement l'opération pour chaque système de transport soit le tramway soit l'autobus suivante :

$$S(A_j) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \quad \forall j \in [1,2]$$

Une fois ce calcul est réalisé, l'interprétation des résultats s'impose. On trie alors les sommes pondérées résultantes dans l'ordre croissant, ce qui permet la réalisation d'un classement des systèmes de transport.

Voici le classement des systèmes de transport à Rabat via la méthode de somme pondérée :

Préférences	Sys. Transport	Somme pondérée
1°	Tramway	0.623
2°	Autobus	0.374

Tableau 21: classement des systèmes de transport à Rabat

N.B : Le classement obtenu dépend des poids et de la procédure de normalisation.

Il est important de noter que la pondération a été fournie par notre décision. D'autres pondérations donneraient des résultats tout à fait différents.

En effet, d'après le résultat de la méthode de somme pondérée selon les poids de références, nous trouvons le tramway au premier rang, l'autobus au deuxième rang, donc il est évident que l'on choisit d'abord le tramway qui est jugé plus performants et adéquats au moment de la décision d'un système de transport à Rabat, et après l'autobus en tant que deuxième solution de transport.

3-2- Etude du scénario 2 : Poids1 favorisant le critère de la performance

Dans la suite, nous allons introduire les poids1 qui valorisent les critères de performances, ensuite nous ferons la procédure précédente de la transformation des données.

Les poids1 des critères avant la normalisation :

Critère	Description	Poids1
1	Capacité	60
2	Fréquence	30
3	Vitesse commerciale	40
4	Ponctualité	40
5	Coût d'investissement	30
6	GES	30

Tableau 22: Les valeurs des poids1

- Normalisation des poids1

Critère	Description	Poids de Références
1	Capacité	0.26
2	Fréquence	0.130
3	Vitesse commerciale	0.174

4	Ponctualité	0.174
5	Coût d'investissement	0.130
6	GES	0.130

Tableau 23 : Les valeurs des poids1 normalisées

- Mise en œuvre de la méthode Somme pondérée

On effectue l'opération pour chaque système de transport soit le tramway ou l'autobus suivante :

$$S(A_j) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \quad \forall j \in [1,2]$$

Voici le classement des systèmes de transport à Rabat via la méthode de somme pondérée selon les poids1 qui favorisent les critères de performance pour les mêmes valeurs C_{ij} des critères :

Préférences	Sys. Transport	Somme pondérée
1°	Tramway	0.663
2°	Autobus	0.333

Tableau 24:classement des systèmes de transport à Rabat-Salé

D'après le résultat de la méthode de somme pondérée selon les poids1 qui favorisent le critère de performance, nous remarquons que le tramway occupe toujours la tête du classement, donc il est évident que l'on choisit d'abord le tramway qui est jugé plus

performants au moment de la décision d'un système de transport à Rabat-Salé, et après l'autobus en tant que deuxième solution de transport.

3-3- Etude du scénario 3 : Poids2 favorisant le critère du coût d'investissement

Maintenant, nous allons introduire les poids2 qui valorisent le critère de coût d'investissement, ensuite nous ferons la procédure précédente de la transformation des données :

Les poids2 des critères avant la normalisation :

Critère	Description	Poids2
1	Capacité	40
2	Fréquence	15
3	Vitesse commerciale	25
4	Ponctualité	25
5	Coût d'investissement	90
6	GES	35

Tableau 25: Les valeurs des poids2

- Normalisation des poids2

Critère	Description	Poids2
1	Capacité	0.174
2	Fréquence	0.065
3	Vitesse commerciale	0.109
4	Ponctualité	0.109

5	Coût d'investissement	0.301
6	GES	0.152

Tableau 26 : Les valeurs des poids2 normalisées

- Mise en œuvre de la méthode Somme pondérée

On effectue l'opération pour chaque système de transport soit le tramway ou l'autobus suivante :

$$S(A_j) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \quad \forall j \in [1,2]$$

Voici le classement des systèmes de transport à Rabat via la méthode de somme pondérée selon les poids1 qui favorisent le critère de coût d'investissement pour les mêmes valeurs C_{ij} des critères :

Préférences	Sys. Transport	Somme pondérée
1°	Autobus	0.478
2°	Tramway	0.521

Tableau 27: classement des systèmes de transport à Rabat-Salé

D'après le résultat de la méthode de somme pondérée selon les poids2 qui favorisent le critère de coût d'investissement, nous remarquons que l'autobus occupe la tête du classement avec une petite différence par rapport au tramway, ceci revient donc du fait que le Tramway a dépensé trop d'argent dans ses investissements.

3-4- Etude du scénario 4 : Poids3 favorisant le critère d'environnement

Dans la suite, nous allons introduire les poids¹ qui valorisent les critères de performances, ensuite nous ferons la procédure précédente de la transformation des données.

Les poids¹ des critères avant la normalisation :

Critère	Description	Poids 3
1	Capacité	40
2	Fréquence	15
3	Vitesse commerciale	25
4	Ponctualité	25
5	Coût d'investissement	35
6	GES	90

Tableau 28: Les valeurs des poids³

- Normalisation des poids¹

Critère	Description	Poids 3
1	Capacité	0.174
2	Fréquence	0.065
3	Vitesse commerciale	0.109
4	Ponctualité	0.109
5	Coût d'investissement	0.152
6	GES	0.391

Tableau 29 : Les valeurs des poids¹ normalisées

- Mise en œuvre de la méthode Somme pondérée

On effectue l'opération pour chaque système de transport soit le tramway ou l'autobus suivante :

$$S(A_j) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \quad \forall j \in [1,2]$$

Voici le classement des systèmes de transport à Rabat via la méthode de somme pondérée selon les poids³ qui favorisent le critère d'environnement pour les mêmes valeurs C_{ij} des critères :

Préférences	Sys. Transport	Somme pondérée
1°	Tramway	0.717
2°	Autobus	0.282

Tableau 30: classement des systèmes de transport à Rabat-Salé

D'après le résultat de la méthode de somme pondérée selon les poids 3 qui favorisent le critère d'environnement, nous observons la dominance du tramway qui occupe la tête du classement avec un scores incroyable, donc il est évident que le tramway n'est pas polluant et respect l'environnement au niveau des émission des gaz à effet de serre, c'est pour cette raison que l'on choisit d'abord au moment de la décision d'un système de transport à Rabat-Salé, et après l'autobus en tant que deuxième solution de transport.

On conclut enfin que cette analyse multicritères comparative des systèmes de transport de Rabat-Salé effectuée selon les critères et l'affectation de différents poids, nous a permis de constater que nous devons notamment penser d'abord au tramway et après aux autres systèmes de transport parce qu'il montre la dominance dans la méthode de somme pondérée par rapport à l'autobus. Cependant de nombreuses limites existent

vis-à-vis de cette méthode, notamment due à l'interprétation des poids qui prennent en compte l'importance relative des critères et l'influence de la normalisation.

CONCLUSION

L'expérience que j'ai vécu dans mon stage à la Société du Tramway de Rabat-Salé dans le cadre du Département du développement, a été très enrichissante au cours de ces quatre mois. J'ai eu le privilège de faire partie d'un projet important au niveau national dans le domaine de développement du secteur de transport urbain, particulièrement mon stage de fin d'étude consiste à mettre en place d'un plan de déplacement d'entreprise (PDE) des établissements publics en complémentarité avec le Tramway.

Les objectifs du projet s'étalent sur 3 volets, celui des méthodologies d'analyse du projet de la mise en place d'un PDE, celui d'analyse des données proposées par la société du Tramway et finalement la mise en œuvre d'une analyse multicritères des systèmes de transport en commun de Rabat-Salé.

La démarche adoptée pour la conduite de ce projet se base sur la mise en place des méthodologie d'analyse, tel que le cadre logique du projet PDE et la méthode SWOT pour réussir le projet du plan de déplacement d'entreprise (PDE), qui devient un enjeu important en répondant aux problèmes actuels liés aux enjeux économiques, des enjeux sociaux pour améliorer l'accessibilité et la sécurité des déplacements et des enjeux environnementaux à s'avoir la réduction de la consommation d'énergie fossile.

Nous avons abordé ensuite la phase de l'analyse des données proposées par la STRS en basant notre étude sur les coûts et les poids des lignes des ministères afin de trancher sur le caractère dominant pour la majorité des

lignes pour lesquelles le coût est bien supérieur par rapport au profit des poids pour les ministères. C'est pour cela que nous avons observé l'absence d'une relation linéaire entre les places/coûts dans le nuage des points et dans la droite de régression. D'après l'analyse comparative des couts des ministères avec le cout du Tramway, nous remarquons que la solution proposée par le Tramway s'avère plus économique.

C'est pour ces raisons qu'on a pensé à proposer un Plan de Déplacement d'Entreprise (PDE) pour maîtriser les coûts de ces déplacement, afin de minimiser les dépenses de transport et maximiser le profit.

Comme toutes les grandes villes au Maroc la problématique du transport reste encore sérieusement posée à Rabat-Salé notamment pour les populations des quartiers éloignés du réseau du tramway. Pour remédier à cette situation, nous avons adopté la Stratégie de raccordement par des bus et la Stratégie de projet d'extension des deux lignes du réseau du Tramway, afin de les exploiter comme des futures solutions du développement de transport urbain.

Nous constatons enfin, d'après l'analyse multicritères comparative des systèmes de transport de Rabat-Salé effectuée selon les critères et l'affectation de différents poids, que nous devons notamment penser d'abord à la solution du Tramway et après aux autres systèmes de transport à savoir l'autobus, parce que le Tram montre la dominance par rapport au bus dans l'application de la méthode de somme pondérée dans la majorité des scénarii étudiés.

Finalement, La mise en place du Plan de Déplacement d'Entreprises (PDE) représente une nécessité remarquable et aura un grand impact positif économiquement, écologiquement et sociologiquement pour le profit des ministères et pour toute la population de l'agglomération de Rabat-Salé, tout en maitrisant leurs déplacements en intégrant le système de transport convenable, à savoir le Tramway qui s'avère le plus efficace vis-à-vis notre étude d'analyse multicritère.

BIBLIOGRAPHIES

Société Tramway Rabat-Salé (2007), « Schéma directeur du transport et de la circulation de l'agglomération de Rabat-Salé-Témara », Rabat, 54-70, avril 2007.

Fikri. M et El khomssi. M et Saoud. S (2007), « Algorithme de construction & calcul d'un benchmark pour contrôle de k critères », FST-Fes, 2007.

Jeong-hwa. N (2011), « Le choix d'un système de transport durable : analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface », Thèse de doctorat, l'Université Paris-Est, avril 2011.

CERTU (2002), « Évaluation des transports en commun en site propre: Recommandations pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP », Collection Références, Certu, 2002.

CERTU (1999), « Nouveaux systèmes de transports guidés urbains », Certu, 1999.

ADEME (2005), « Plan de déplacements entreprise : un nouveau défi pour l'entreprise », Collection Connaître pour agir, Juin 2005.

ADEME (2002), « Réaliser un plan de déplacement entreprise », Guide PDE, 2002.

Essakal. E et Boutaleb. L (2009), « Projet d'aménagement et de mise en valeur de la Vallée du BOUREGREG », AAVB, Décembre 2009.

Gilet. J(2008), « Les Plans de Déplacements d'Entreprise :Quelques exemples pour comprendre les enjeux et initier une démarche », EpE, Avril 2008.

Lehoux. N et Vallée. P (2004), « Analyse multicritère », Novembre 2004.

(2009), « Atténuation des émissions des GES », Extrait du message de Sa Majesté le Roi Mohammed VI Aux participants à la 15ème Conférence des Parties à la CCNUCC, Décembre 2009

.

SF Développement (2006), « Cadre logique », Formation des cadres provinciaux en charge de l'évaluation de projets INDH, Marrakech, mai 2006

Joumard. R et Nicolas. J (2007), « Méthodologie d'évaluation de projet de transport dans le cadre du développement durable », Evaluation environnementale et transport : concepts, outils et méthodes, Genève, Suisse, juin 2007.

BAC, « GUIDE PRATIQUE - Comment élaborer un cadre logique? », Bureau Association Conseil.

(2013), « Journées Nationales sur le Transport Urbain Durable », Synthèse, Rabat, septembre 2013.

Société Tramway Rabat-Salé (2010), « Dossier de présentation », STRS, Rabat, 2010.

Commission européenne et EuropeAid (2001), « Manuel Gestion du Cycle de Projet », COMMISSION EUROPÉENNE, Mars 2001.

ARENE (2007), « Plan de Déplacements d'Administration », Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies, Ile-de-France, 2007.

Soudou. A(2012), « La Mobilité Urbaine Durable », The Role of a Sustainable Energy Policy in Urban Development: the City of Salé's Experience, septembre 2012.

VANDERPOOTEN. D (2008), « Aide multicritère à la décision Concepts, méthodes et perspectives », LAMSADE, Université Paris Dauphine, septembre 2008.