

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

Ecole national supérieur de technologie

Département : Génie Logistique Et Transport

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état

-Filière-

Ingénierie des Transports

Spécialité -

Ingénierie des Transports

- Thème -

**Planification des TC sous TransCAD pour les zones
urbaines en développement : Cas de la wilaya de
Tizi-Ouzou**

Réalisé par

ZEROUROU Amine et ALEM Salim Yanis

Les membres de Jury :

Mr BOUZID Mouaouia Cherif	Président
Mr TALBI Tayeb	Promoteur
Mr BENAÏSSA Mohamed Lazher	Co-Promoteur
Mr AGGUINI Chafik	Examineur
Mme TABTI-TALAMALI Amina	Examineur

Alger, le 04/07/2023

Année Universitaire : 2022 - 2023

Dédicace 1 :



Je souhaite dédier ce travail à :

Mes parents bien-aimés, qui ont toujours été présents à mes côtés, me soutenant et m'encourageant tout au long de mon parcours.

À mes sœurs Amina et Sadia et à toute ma famille,

À tous mes amis proches,

Et à vous, chers lecteurs,

Je vous offre ce travail avec mes plus sincères vœux de bonheur, de santé et de réussite.



Amine

Dédicace 2 :



Je souhaite dédier ce travail à :

Ma très chère mère, qui a été un soutien inconditionnel et une source d'encouragement tout au long de ce parcours.

À mes oncles, tantes, cousins et cousines.

À tous mes amis.

Que Dieu vous accorde une bonne santé et une prospérité épanouissante.



Yanis

Remerciements :

Au terme de ce travail, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers nos encadrants, M. TALBI Tayeb et M. BENAÏSSA Mohamed Lazher, pour leur précieuse contribution et leur soutien inestimable tout au long de ce projet. Leur expertise, patience et guidance ont joué un rôle essentiel dans notre réussite. Leur passion pour l'enseignement, dévouement et disponibilité ont été une source constante d'inspiration. Leurs conseils éclairés et encouragements constants ont conduit à des résultats dont nous sommes fiers. Nous leur exprimons notre respect et reconnaissance les plus sincères pour avoir été nos guides et mentors.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers les fonctionnaires de la Direction de Transport de la Wilaya de Tizi Ouzou ainsi que la Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaire pour leur aimable contribution en nous fournissant des données précieuses.

De plus, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers les autres enseignants du département de Génie Logistique et Transport. Leur engagement continu envers notre éducation et leur soutien constant ont été d'une importance cruciale dans notre parcours académique.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement les membres du jury pour leur évaluation minutieuse et leurs précieux commentaires.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce projet de fin d'études. Votre apport a été précieux et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Table des matières

Introduction Générale :	5
Chapitre 1 : La Modélisation en Transport	7
<i>Introduction :</i>	8
<i>I.1 Historique de la modélisation des transports :</i>	8
<i>I.2 L'offre et la demande :</i>	8
I.2.1 Spécificités de la demande de transport :	10
I.2.2 Spécificités de l'offre de transport :	10
<i>I.3 Les approches principales à la modélisation des transports :</i>	11
I.3.1 Démarche à quatre étapes (Four Steps Models « FSM ») :	11
I.3.2 L'approche basé sur l'activité (Activity Based Approach « ABA ») :	12
I.3.2.1 Lacunes de l'approche par FSM :	12
I.3.2.2 Caractéristiques des modèles ABA :	12
I.3.3 L'approche LUTI (Land-Use Transport Interaction) :	13
I.3.3.1 Classification des modèles LUTI :	13
I.3.3.2 Domaine d'utilisation des modèles LUTI :	14
<i>Conclusion :</i>	15
Chapitre 2 : Les Modèles à Quatre Etapes	16
<i>Introduction :</i>	17
<i>II.1 Zone d'étude et collecte de données :</i>	17
II.1.1 Zone d'étude :	17
II.1.2 Collecte de données :	17
<i>II.2 L'étape de génération :</i>	19
II.2.1 Emission et attraction :	19
II.2.2 Motifs de déplacements :	19
II.2.3 Familles de méthodes utilisées :	20
II.2.3.1 Modèles Normatifs :	21
II.2.3.2 Modèles Régressifs :	22
II.2.3.3 Modèles Catégorielles :	23
II.2.4 Equilibrage des émissions / attractions :	24
<i>II.3 L'étape de distribution :</i>	24
II.3.1 Matrice O-D :	24
II.3.2 Familles de méthodes utilisées :	25
II.3.2.1 Modèles à facteurs de croissance :	25
II.3.2.2 Modèles gravitaires :	26
<i>II.4 L'étape de répartition modale :</i>	28
II.4.1 Les facteurs influant le choix modal :	28
II.4.1.1 Caractéristiques relatives à l'individu :	28

II.4.1.2	Caractéristiques relatives au déplacement :	29
II.4.1.3	Caractéristiques relatives au mode de transport :	29
II.4.2	Familles de méthodes utilisées :	29
II.4.2.1	Modèle logit binaire :	30
II.4.2.2	Modèle logit multinomiale :	30
II.4.2.3	Modèle logit multinomiale emboîté :	31
II.5	<i>L'étape d'affectation sur le réseau :</i>	32
II.5.1	Conversion véhiculaire :	32
II.5.2	Passage à l'heure (ou période) de pointe :	33
II.5.3	Familles de méthodes utilisées :	33
II.5.3.1	Affectation User Equilibrium :	33
II.5.3.2	Affectation System Optimum :	34
II.5.3.3	Autres méthodes :	35
	<i>Conclusion :</i>	35
Chapitre 3 : Cas d'étude – Wilaya de Tizi Ouzou		36
	<i>Introduction :</i>	37
III.1	<i>Repère historique :</i>	37
III.2	<i>Présentation de la wilaya :</i>	37
III.3	<i>Air d'influence des villes de la wilaya de Tizi-Ouzou :</i>	39
III.3.1	Le couloir de développement Ouest – Est :	40
III.3.1.1	Aire d'influence de la ville de Tizi-Ouzou :	40
III.3.1.2	Aire d'influence de la ville de Draa Ben Khedda :	41
III.3.1.3	Aire d'influence de la ville d'Azzazga :	42
III.3.2	La dépression de Draa El Mizan :	42
III.3.3	Les pôles de Larbaa Nath Irathen et Ain El Hammam :	42
III.3.4	Le littoral :	43
III.4	<i>Les infrastructures de transport de la wilaya de Tizi-Ouzou :</i>	43
III.4.1	Le réseau routier :	43
III.4.2	Le réseau ferroviaire :	44
III.4.3	Infrastructure portuaire :	45
III.5	<i>Les enjeux et les perspectives :</i>	45
	<i>Conclusion :</i>	46
Chapitre 4 : Application du processus de planification en utilisant TransCAD		47
IV.1	<i>Introduction de TransCAD :</i>	48
IV.1.1	Pourquoi utiliser TransCAD :	48
IV.1.2	Composantes de TransCAD :	48
IV.1.3	Maps, Dataviews, Matrices et Figures :	48
IV.2	<i>Zonage et réseau :</i>	49
IV.2.1	Zonage :	49
IV.2.2	Réseau :	50
IV.2.2.1	Qu'est-ce qu'est OSM :	50

IV.2.2.2	Classification des routes selon OSM :	50
IV.2.2.3	Préparation du réseau :	50
<i>IV.3</i>	<i>Enquête Réalisée :</i>	<i>51</i>
IV.3.1	Pourquoi une enquête :	51
IV.3.2	Résultats principaux de l'enquête :	52
IV.3.2.1	Résultats concernant le nombre de déplacements :	52
IV.3.2.2	Résultats concernant les destinations fréquentes :	52
IV.3.2.3	Résultats concernant les choix de modes de déplacements :	53
<i>IV.4</i>	<i>Application de l'approche à quatre étapes :</i>	<i>54</i>
IV.4.1	Génération des déplacements :	54
IV.4.1.1	Génération des émissions :	54
IV.4.1.2	Génération des attractions :	55
IV.4.2	Distribution et matrice O-D :	57
IV.4.2.1	Centroïdes et Connecteurs :	57
IV.4.2.2	Calcul de la matrice d'impédance :	59
IV.4.2.3	Application du modèle gravitaire :	60
IV.4.3	Choix modal :	61
IV.4.3.1	Matrices d'utilités :	61
IV.4.3.2	Application du modèle logit emboîté :	62
IV.4.4	Affectation du trafic :	63
IV.4.4.1	Passage à l'heure de pointe et la conversion véhiculaire :	63
IV.4.4.2	Méthodes d'affectation du trafic :	65
IV.4.4.3	Observations et analyses :	67
<i>IV.5</i>	<i>Conclusion et Proposition :</i>	<i>69</i>
IV.5.1	Qu'est-ce qu'un système de BRT :	69
IV.5.2	Pourquoi considérer l'usage du BRT :	69
IV.5.2.1	Station Terminus coté EST :	71
IV.5.2.2	Stations Intermédiaires :	71
IV.5.2.3	Station Terminus coté OUEST :	73
	Conclusion Générale :	74
	Liste de références et bibliographie.....	76
	Annexes	

Table des figures

Figure 1.1 : Equilibre offre-demande	9
Figure 1.2 : Interaction entre l'utilisation des terres et le transport.....	13
Figure 1.3 : Développement chronologique des modèles LUTI	14
Figure 2.1 : Schématisation de la génération des déplacements.....	19
Figure 2.2 : Schématisation des émissions-attractions pour le motif Travail	20
Figure 2.3 : Page extraite du manuel de génération de déplacements	21
Figure 2.4 : Illustration du choix entre un modèle de régression unique ou un modèle catégoriel	23
Figure 2.5 : Schématisation de la distribution des déplacements	24
Figure 2.6 : Schématisation du choix modale.....	28
Figure 2.7 : Schématisation du problème bus-bleu/bus-rouge par un modèle emboité	31
Figure 2.8 : Schématisation de l'affectation	32
Figure 3.1 : Carte démontrant le découpage administratif de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	39
Figure 3.2 : Carte démontrant les zones d'influences de la Wilaya	40
Figure 3.3 : Consistance du réseau routier	43
Figure 3.4 : Armature de la Wilaya	45
Figure 4.1 : Zonage par découpage administratif	49
Figure 4.2 : Réseau avant et après simplification	51
Figure 4.3 : Résultats de l'enquête – nombre de déplacements par jour.....	52
Figure 4.4 : Résultat de l'enquête – choix des destinations	53
Figure 4.5 : Résultat de l'enquête – choix des modes de déplacements.....	53
Figure 4.6 : extrait des résultats de l'étape de génération sous TransCAD.....	56
Figure 4.7 : Connection des centroïdes sur TransCAD.....	58
Figure 4.8 : Dataview node	58

Figure 4.9 : Centroïdes et connecteurs	59
Figure 4.10 : Commande TransCAD Multiple Shortest Path	60
Figure 4.11 : Extrait de la matrice d'impédance	60
Figure 4.12 : Commande TransCAD – Gravity Calibration	61
Figure 4.13 : Extrait de la matrice O-D résultante	61
Figure 4.14 : Commande TransCAD – Nested Logit Model Application.....	63
Figure 4.15 : Commande TransCAD – Time of Day Analysis	64
Figure 4.16 : Commande TransCAD – Traffic Assignment.....	65
Figure 4.17 : Congestion des routes selon la méthode incrémentale	66
Figure 4.18 : Congestion des routes selon la méthode User Equilibrium.....	66
Figure 4.19 : Congestion des routes selon la méthode Stochastic User Equilibrium	67
Figure 4.20 : Segments de routes enregistrant les plus grands flux de circulation selon les méthodes Incrémentale et Stochastic UE	67
Figure 4.21 : Stations de BRT proposées	70
Figure 2.22 : Terminus coté EST	71
Figure 2.23 : Stations Intermédiaires.....	73
Figure 4.24 : Terminus coté OUEST	73

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales enquêtes utilisées en France	18
Tableau 2 : Nombre de déplacements attirés selon les types d'emplois et le nombre de ménages par zone	21
Tableau 3 : Exemple de modèle catégoriel – Déplacements de personne par ménages.....	23
Tableau 4 : Matrice origine-destination.....	25
Tableau 5 : Exemple de grille de part modale pour les transports en communs pour le motif domicile travail réalisé par le Centre d'Etude des Transport Urbain	29
Tableau 6 : Répartition des Daïra	38
Tableau 7 : Modèle Catégoriel utilisé	56
Tableau 8 : Vitesse à vide par type de routes.....	59
Tableau 9 : Partage horaire des déplacements.....	63
Tableau 10 : Capacités Théoriques par type de route.....	65

Liste des abréviations

ABA: Activity Based Approach

AVL: Automatic Vehicle Location

BRT: Bus Rapid Transit

CC: Chemin Communal

CW: Chemin de Wilaya

DPSB : Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires

FSM: Four Steps Models

HBO: Home Based Other

HBW: Home Based Work

IIA: Independence of Irrelevant Alternatives

ITE: Institute of Transportation Engineers

LUTI: Land-Use Transport Interaction

NHB: Non Home Based

O-D: Origin – Destination

OSM: OpenStreetMap

RN: Route National

SO: System Optimum

STI: Système de Transport Intelligent

TAZ : Traffic Analysis Zones

TC : Transports en Commun

UE : User Equilibrium

UVP : Unité de Véhicule Particulier

VP : Véhicule Personnel

Introduction Générale :

Le transport joue un rôle central dans la société moderne, et les solutions aux problèmes de transport peuvent avoir un impact majeur sur la vie des gens. Pour répondre aux besoins de développement et d'évaluation des propositions routières, un domaine professionnel spécialisé appelé l'ingénierie des transports a été développé. L'ingénierie des transports applique des principes technologiques et scientifiques à la planification, à la conception, à l'exploitation et à la gestion des infrastructures de transport afin de permettre des déplacements sûrs, rapides, confortables, pratiques, économiques et respectueux de l'environnement. (O'Flaherty, 1997).

Ce mémoire porte sur la modélisation du transport, qui est une branche de l'ingénierie des transports. La problématique traitée peut être résumée en deux questions principales : comment évaluer la situation de demande de transport, et comment présenter un fondement scientifique pour traiter des problèmes tels que l'élaboration de plans de transports, la régulation et l'orientation de la demande de déplacements, la programmation et la réalisation d'infrastructures...etc.

Ce travail s'inscrit dans une démarche scientifique visant à étudier de manière méthodique la demande de transport dans la Wilaya de Tizi-Ouzou, et évaluer la capacité du réseau d'infrastructure existant à répondre à cette demande. À cet égard, plusieurs hypothèses seront formulées afin de mieux appréhender les comportements des voyageurs, les interactions entre les différents modes de transport, ainsi que les facteurs influençant leurs choix.

L'une des hypothèses de cette étude est que la modélisation de la demande de transport, en utilisant des méthodes quantitatives et des techniques de prévision, permet de mieux comprendre les tendances de déplacement, de projeter les futurs flux de circulation et d'évaluer les besoins en capacité du réseau.

Une autre hypothèse centrale de cette recherche est que la croissance démographique et économique de la Wilaya de Tizi-Ouzou entraîne une augmentation significative de la demande de transport. Il est supposé que cette demande est influencée par des facteurs tels que la densité de population, les caractéristiques socio-économiques des résidents, les activités commerciales et industrielles, ainsi que les infrastructures de transport existantes. Une conséquence directe de cette hypothèse est que le couloir de développement Ouest-Est, structuré par les daïras de Draa Ben Khedda, Tizi-Ouzou et Azazga, le long de la route nationale 12 (RN12), connaîtra une demande de trafic extrêmement élevée.

Les résultats de cette étude permettront d'identifier les lieux de dépassements de la capacité offertes par le réseau d'infrastructure existant, d'anticiper les besoins futurs et de proposer des recommandations pour une gestion efficace et durable des déplacements dans la Wilaya de Tizi-Ouzou.

Il est important de noter que ce travail portera exclusivement sur les déplacements inter-communaux et ne considèrera pas donc, les trafics d'échanges et de transit. Afin de simplifier notre démarche, nous ne tiendront pas compte également des effets de saisonnalité de la demande de transport.

Dans un premier temps, nous commencerons par parler des particularités de l'offre et de la demande de transport, suivit des principales approches à la modélisation du transport.

Le deuxième chapitre sera consacré exclusivement à la présentation de l'approche qui a été choisi pour l'élaboration de ce mémoire, à savoir, l'approche à quatre étapes.

Dans le troisième chapitre, nous introduirons le cas d'étude de notre démarche, la wilaya de Tizi-Ouzou, en nous référant principalement aux plans d'aménagement qui nous ont été remis par la Direction de Programmation et du Suivit Budgétaire de la wilaya.

Le quatrième et dernier chapitre portera sur l'usage du logiciel de planification du transport « TransCAD » pour l'application de l'approche à quatre étapes sur le cas d'étude, ainsi que l'analyse des résultats observés.

Chapitre 1 : La Modélisation en Transport

Introduction :

La modélisation est un élément essentiel de la plupart des processus décisionnels. Elle implique une représentation simplifiée d'un système réel ou d'un phénomène complexe à l'aide de modèles mathématiques, logiques ou conceptuels. Ces modèles nous aident à mieux comprendre, prévoir et optimiser le fonctionnement des systèmes de transport

Dans ce chapitre, nous aborderons brièvement l'historique de la modélisation en transport, ainsi que les concepts fondamentaux de l'offre et de la demande dans ce contexte. Nous présenterons également une sélection des approches les plus couramment utilisées en matière de modélisation en transport. Il convient de noter que cette présentation sera de nature descriptive et générale, sans entrer dans les détails spécifiques de chaque approche.

I.1 Historique de la modélisation des transports :

Les fondements de la modélisation des transports ont été développés aux États-Unis dans les années 1950, lors d'études pionnières menées à Detroit et à Chicago. Ces techniques ont ensuite été introduites au Royaume-Uni au début des années 1960, principalement pour la région métropolitaine de Londres. Au cours des deux décennies suivantes, d'importants développements théoriques ont été réalisés des deux côtés de l'Atlantique.

Selon Hensher & Button (2007), bien que le développement des techniques traditionnelles ait été évolutif plutôt que révolutionnaire, d'importants changements ont néanmoins eu lieu. Cela s'explique en grande partie par les travaux réalisés dans les années 1970, qui ont fourni un cadre unificateur compatible avec les théories économiques contemporaines. Ces travaux ont également justifié et clarifié les méthodes initialement proposées pour des raisons essentiellement pratiques.

Parallèlement, l'accent mis dans la modélisation des transports a connu d'importants changements. Les premières études étaient principalement axées sur la fourniture de capacités pour répondre à la demande croissante liée à l'utilisation de la voiture. Plus de 50 ans plus tard, les préoccupations environnementales liées au transport routier ont suscité un vif intérêt, et les efforts visant à contrôler la croissance future, notamment par l'utilisation de mesures tarifaires, sont désormais au cœur de la plupart des évaluations des transports. Les exigences législatives de la loi américaine sur la qualité de l'air pur (Clean Air Act) ont également stimulé un regain d'intérêt majeur pour les techniques de modélisation, en particulier dans le cadre du programme d'amélioration des modèles de transport. (Hensher & Button, 2007)

I.2 L'offre et la demande :

Les notions de demande et d'offre sont fondamentales en économie, et il est naturel pour les économistes de les appliquer à des contextes spécifiques. Bien que ces termes soient vaguement utilisés dans le domaine de l'économie des transports, il existe certains aspects propres aux transports qui nécessitent une définition plus précise que celle généralement adoptée dans la théorie économique plus large. Par exemple, nous devons toujours nous rappeler que les déplacements sont une demande "dérivée" : les déplacements ne sont pas demandés en soi, mais en tant que conséquence du désir de participer à des activités dans différents endroits.

En économie classique, il est courant de traiter à la fois l'offre et la demande comme des fonctions du coût (prix), mais d'inverser le graphique habituel en plaçant le coût sur l'axe vertical, comme dans la Figure 1.1.

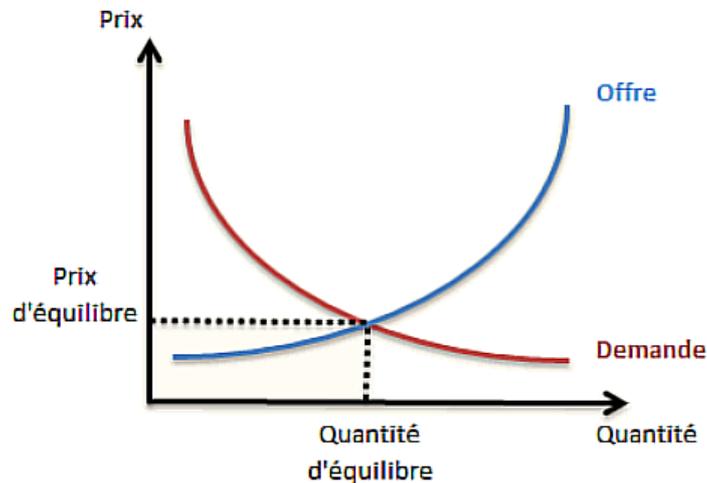


Figure 1.1 : Equilibre offre-demande

Source : (Ngo et al., 2020)

Étant donné que, en plus de coûter de l'argent, se déplacer entre différents endroits implique inévitablement une dépense de temps, il est courant en économie des transports de traiter le "coût généralisé", qui reconnaît explicitement ces deux types de dépenses. Dans sa forme la plus simple, le coût généralisé est une combinaison linéaire du coût et du temps, ce dernier étant converti en unités monétaires. Cependant, dans des formulations plus larges, il peut être représenté par un vecteur multidimensionnel contenant toute variable susceptible d'influer sur les décisions de déplacement dans le sens le plus large à l'image de l'utilité indirecte en microéconomie (Hensher & Button, 2007).

La notion selon laquelle la demande de déplacements D est une fonction du coût C ne pose pas de difficultés. Cependant, si la demande de déplacements prévue se réalisait réellement, le coût généralisé pourrait ne pas rester constant. C'est là que le modèle "d'offre" entre en jeu. L'approche classique définit la courbe d'offre comme donnant la quantité Q qui serait produite, compte tenu d'un prix de marché C . Cependant, bien que certains aspects de la fonction d'offre se rapportent bien sûr au coût de fourniture des services, l'accent mis sur les relations d'offre dans les transports a très souvent porté sur les éléments non monétaires, et en particulier sur le temps. Cela est dû au fait que bon nombre des problèmes de demande auxquels les analystes des transports s'intéressent ont une incidence sur le fonctionnement du système de transport plutôt que sur les coûts monétaires. Il est donc plus facile de concevoir la relation inverse, où C est le coût généralisé unitaire associé à la satisfaction d'une demande D , étant donné que c'est généralement ce qui est requis pour le problème des transports. Hensher & Button (2007) note une certaine "directionnalité" des deux fonctions : pour la demande, la direction va du coût à la quantité, tandis que pour l'offre, la direction va de la quantité au coût. Le modèle d'offre reflète donc la réponse du système de transport à un niveau de demande donné.

Étant donné que les courbes de demande et d'offre relient le volume des déplacements au coût généralisé, le volume réel des déplacements doit se situer à l'intersection des deux courbes, comme dans la Figure 1.1 - on parle alors de "point d'équilibre". Un modèle ayant la propriété que la demande de déplacements soit cohérente avec les performances du réseau et les autres effets d'offre dans la satisfaction de ce niveau de demande est souvent appelé un "modèle d'équilibre".

Un autre élément important à considérer en parlant de la demande de transport est la séparation spatiale. La majorité des modèles visent à reconnaître la distribution spatiale des déplacements, au moyen d'un système approprié de zones. La modélisation de la "demande" implique alors une procédure visant à prédire les décisions de déplacements que les gens souhaiteraient prendre, compte tenu du coût généralisé à travers un ensemble de zones. Ces décisions incluent le choix de l'heure de déplacement, de l'itinéraire, du mode de transport, de la destination et de la fréquence (Hensher & Button, 2007).

I.2.1 Spécificités de la demande de transport :

En économie des transports, l'offre et la demande ont des spécificités qui les distinguent des autres secteurs économiques, Ortúzar et Willumsen (2011) notent :

- La demande de transport est dérivée : les déplacements ne sont pas une fin en soi, mais sont effectués pour satisfaire des besoins tels que le travail, les loisirs ou la santé.
- La demande de services de transport est hautement qualitative et différenciée. Elle varie en fonction du moment de la journée, du jour de la semaine, du but du voyage, de la fréquence, etc.
- La demande de transport se déroule dans l'espace. La répartition spatiale des activités crée la demande de transport.

I.2.2 Spécificités de l'offre de transport :

Parmi les spécificités de l'offre citée par Ortúzar et Willumsen (2011), on trouve :

- Service plutôt qu'un bien : l'offre est non stockable et nécessitant une consommation immédiate.
- Combinaison d'actifs fixes (infrastructures) et d'unités mobiles (véhicules) pour permettre les déplacements.
- Complexités liées aux interactions entre les autorités gouvernementales, les entreprises, les opérateurs de transport, les voyageurs et le grand public.
- Investissements importants et longs pour la construction d'infrastructures majeures.
- Complexités économiques liées à la tarification des services de transport et à la perception des coûts totaux par les utilisateurs.
- Externalités non internalisées telles que les accidents, la pollution et la dégradation de l'environnement.
- Congestion due à l'approche de la capacité des infrastructures, entraînant des retards et des effets externes pour les utilisateurs.

Ces spécificités de l'offre et de la demande en économie des transports nécessitent une analyse particulière pour comprendre les mécanismes de fonctionnement du marché du transport, les politiques de régulation et les implications économiques et environnementales.

I.3 Les approches principales à la modélisation des transports :

La modélisation de la demande de transport englobe diverses méthodes, chacune présentant ses propres caractéristiques et implications au sein de la littérature scientifique. Comme mentionné précédemment, ce chapitre est nécessairement sélectif, et ne présentera, dans les grandes lignes, que les approches les plus utilisées et les plus étudiées, à savoir :

- La démarche à quatre étapes (le modèle utilisé dans le cas d'étude de ce mémoire)
- L'approche basés sur l'activité (Activity Based Models)
- L'approche LUTI (Land-Use Transport Interaction)

I.3.1 Démarche à quatre étapes (Four Steps Models « FSM ») :

L'histoire de la modélisation de la demande de déplacements personnels a été dominée par l'approche qui est devenue connue sous le nom Four Steps Models (FSM) : Modèles à quatre étapes. Les déplacements, toujours considérés en théorie comme dérivés de la demande de participation à des activités, ont été modélisés en pratique avec des méthodes basées sur les déplacements eux-mêmes (Trip-Based) plutôt que sur les activités (cas de l'approche Activity Based), l'application de cette approche de modélisation est donc quasi universelle.

Les étapes dont il est question quand on parle du FSM sont :

- i. L'étape de Génération : L'étape de génération, vise, dans les grandes lignes, à déterminer le nombre de déplacements réalisés par les résidents du secteur d'étude.
- ii. L'étape de Distribution : La deuxième étape de l'approche FSM est l'étape de distribution, elle a pour objectif principal de calculer la matrice Origine-Destination (O-D) à partir des résultats de l'étape de génération, c'est-à-dire, les émissions et attractions de chaque zone.
- iii. L'étape de Répartition Modale : La troisième étape, l'étape de répartition modale prend à son tour, les sorties de l'étape qui la précède, à savoir les matrices O-D par motif de déplacement, et génère autant de matrices O-D qu'il y a de mode de transport disponible dans le terrain d'étude.
- iv. L'étape d'Affectation sur le Réseau : L'affectation sur le réseau est la dernière étape de l'approche FSM. Son objectif est d'attribuer les déplacements entre une origine et une destination par un mode particulier à une route (ou un itinéraire) spécifique.

✚ **NB** : Malgré leur dénomination de modèle à quatre étapes, il y a en fait souvent d'autres étapes qui peuvent s'ajoutent à celles-ci. Les principales sont (Bonnell, 2002) :

- La conversion véhiculaire : Elle permet de passer pour le mode voiture d'une matrice de déplacements d'individus à une matrice de déplacements de véhicules avant la phase d'affectation. La conversion correspond simplement à la prise en compte du taux d'occupation des véhicules. Cette phase prend place entre la répartition modale et l'affectation.
- Le passage à la pointe : L'estimation de la demande est souvent faite pour la journée. Pourtant, ce sont les données de la période de pointe qui servent au dimensionnement des infrastructures. Dans ce cas, une phase de passage à la pointe peut être définie. Elle prend place le plus souvent après la distribution ou la répartition modale.

- L'estimation du trafic d'échange et de transit : Le plus souvent les quatre étapes présentées ci-dessus sont réalisées à l'intérieur d'un périmètre d'étude. Toutefois, ce périmètre ne peut constituer un isolat complet. Il entretient des échanges avec les zones externes ou il peut être simplement traversé par des flux de déplacements (transit).

I.3.2 L'approche basé sur l'activité (Activity Based Approach « ABA ») :

Une approche alternative aux modèles en quatre étapes est celle des modèles basés sur les activités (ABA). Les modèles basés sur les activités tentent de résoudre certaines des lacunes inhérentes aux modèles en quatre étapes et proposent une estimation de la demande de transport sur la base d'une approche désagrégée (contrairement aux FSM).

I.3.2.1 Lacunes de l'approche par FSM :

Les limitations et les lacunes du processus en quatre étapes sont depuis longtemps reconnues, notamment par Recker et al. (1986), et peuvent être résumées comme suit :

- Ils ne reconnaissent pas explicitement que les déplacements découlent des schémas d'activité des individus, et se concentrent sur les déplacements individuels plutôt que de refléter les comportements et les interactions au sein des ménages particuliers.
- Ils présentent le comportement de déplacement comme le résultat d'un processus de choix simple, plutôt que d'être défini par une gamme de contraintes complexes telles que les dynamiques des ménages et les structures sociales.
- Les modèles en quatre étapes spécifient de manière insuffisante les interrelations entre les déplacements et les activités entre les individus, ainsi que la planification des activités dans le temps et l'espace.

I.3.2.2 Caractéristiques des modèles ABA :

La motivation de l'approche basée sur l'activité est que les décisions de déplacement sont basées sur l'activité, et que toute compréhension du comportement de déplacement est subordonnée à une compréhension fondamentale du comportement des activités. L'approche basée sur l'activité reconnaît et aborde explicitement l'incapacité des modèles basés sur les déplacements à refléter les comportements sous-jacents, et donc l'incapacité de ces modèles à être réceptifs aux politiques en évolution visant à la gestion plutôt qu'à l'expansion des infrastructures de transport et des services (McNally et Rindt, 2008).

Plusieurs thèmes interdépendants caractérisent les approches basées sur l'activité (ABA), et les méthodes/modèles reflètent généralement un ou plusieurs de ces thèmes :

- Les déplacements découlent de la demande de participation aux activités.
- Les séquences ou les schémas de comportement, et non les déplacements individuels, sont l'unité d'analyse pertinente.
- Les structures familiales et sociales influencent le comportement de déplacement et d'activité.
- Les interdépendances spatiales, temporelles, de transport et interpersonnelles limitent à la fois le comportement des activités et des déplacements.
- Les approches basées sur l'activité tiennent compte de la planification des activités dans le temps et l'espace.

Une autre caractéristique des modèles ABA est le besoin de ressources de calcul qui dépassent largement celles utilisées pour les modèles FSM. Les modèles basés sur l'activité sont également développés, en règle générale dans un environnement open source car les codes d'exécution n'ont pas encore été mis en œuvre sous une forme standard permettant une utilisation généralisée. Il est aussi important de noter que les modèles basés sur l'activité sont plus courants aux États-Unis que dans le reste du monde. Cependant, même aux États-Unis, ils en sont encore aux stades de développement et ne sont pas encore une pratique courante.

I.3.3 L'approche LUTI (Land-Use Transport Interaction) :

La relation interdépendante entre l'utilisation du territoire et les transports est largement reconnue tant dans le domaine théorique que par l'expérience appliquée. La configuration des systèmes de transport, constitués de réseaux et de flux, est fortement influencée par la distribution et les caractéristiques de l'utilisation des terres, qu'il s'agisse de zones résidentielles, commerciales ou autres. L'ensemble du système urbain (qu'il s'agisse d'une petite ville, d'une grande ville ou même d'une région urbaine) peut être compris grâce à une modélisation simplifiée de l'interaction entre l'utilisation des terres et les transports (Cordera et al., 2017).

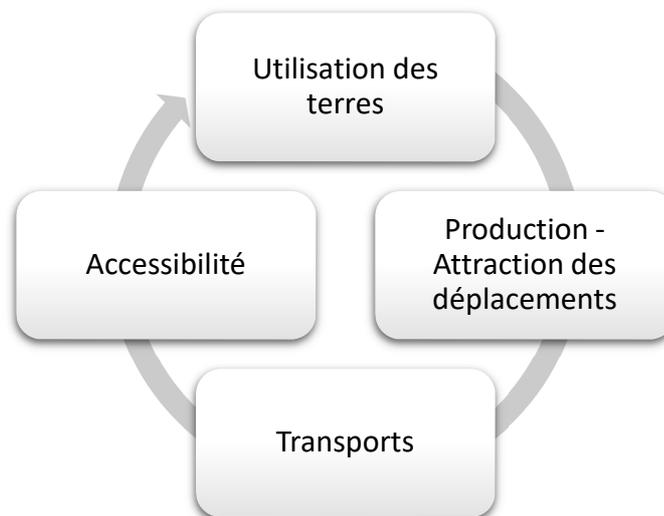


Figure 1.2 : Interaction entre l'utilisation des terres et le transport

Source : (Cordera et al., 2017)

I.3.3.1 Classification des modèles LUTI :

Il existe plusieurs manières de classifier les modèles LUTI, Cordera et al. (2017) propose une classification en fonction de leur noyau théorique de base et de la génération à laquelle ils appartiennent lors de leur développement. Trois générations de modèles et cinq types de base ont été différenciés (Figure 1.3) :

- i. Les modèles de première génération : Ce sont les modèles qui sont apparus les plus tôt dans les années 1960 et 1970. On peut les diviser davantage en trois types de base selon la fondation théorique qu'ils ont utilisée pour simuler le fonctionnement du système urbain :

- a) Modèles d'interaction spatiale ou modèles de gravité : Ces modèles sont basés sur la théorie de l'interaction spatiale.
 - b) Modèles de programmation mathématique : Modèles basés sur des techniques d'optimisation. Ce type de modèle repose sur une simulation du comportement des agents par le biais de la minimisation ou de la maximisation d'un certain objectif.
 - c) Modèles basés sur les matrices INPUT/OUTPUT : Ce type de modèle simule l'économie urbaine ou régionale grâce à la technique des matrices d'input-output développée à partir des travaux de Leontief (1966).
- ii. Les modèles de deuxième génération : Ces modèles sont apparus dans les années 1980 et 1990 et sont basés sur la théorie de l'utilité aléatoire développée à partir des travaux de McFadden (1974).
 - iii. Les modèles de troisième génération : Ces modèles sont apparus plus récemment, vers la seconde moitié des années 1990. Ce sont des modèles très désagrégés, Ils ont un caractère dynamique, c'est-à-dire qu'ils n'atteignent pas un équilibre complet du marché comme solution pour les simulations.

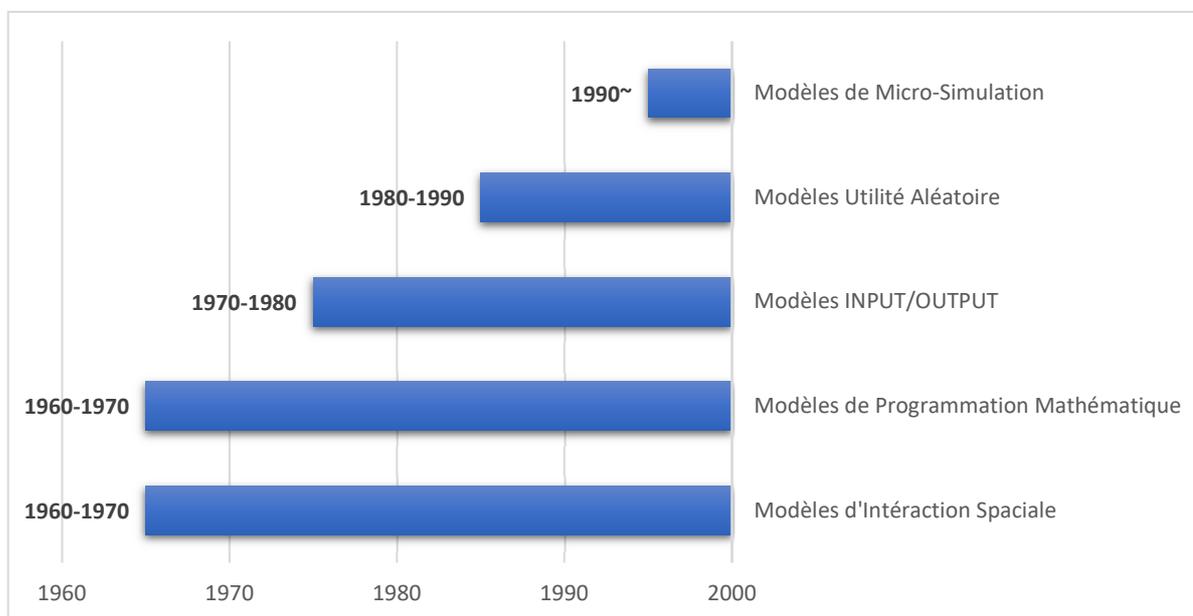


Figure 1.3 : Développement chronologique des modèles LUTI

Source : (Cordera et al., 2017)

I.3.3.2 Domaine d'utilisation des modèles LUTI :

Par rapport aux autres modèles, les modèles LUTI se caractérisent par leur capacité à relier spatialement le transport à l'utilisation des terres, ce qui les rend particulièrement adaptés pour aborder des questions telles que les suivantes (Cordera et al., 2017) :

- Où se produira le développement urbain futur dans une zone d'étude ?
- Quel impact auront les nouvelles infrastructures de transport sur les futurs emplacements de la population, des activités et des schémas de déplacement ?
- Jusqu'à quel point l'emplacement des agents urbains est-il influencé par les conditions d'accessibilité des lieux ?

- Les nouvelles infrastructures de transport génèrent-elles une croissance démographique et économique ?
- Quels effets le nouveau développement urbain aura-t-il sur le transport ?
- Quel sera le meilleur emplacement pour une installation et comment cela affectera-t-il le reste de la zone urbaine ?
- Comment la décentralisation de l'emploi affectera-t-elle une zone urbaine ?
- Les profits générés par une accessibilité accrue aux opportunités sont-ils valorisés par les propriétaires immobiliers ? Dans quelle mesure ?

Conclusion :

En conclusion, nous souhaitons avoir souligné l'importance et la complexité de la discipline de l'ingénierie des transports, plus précisément de la modélisation de la demande de transport. Nous avons exploré différentes approches de modélisation, en abordant brièvement leur histoire et leur position dans la littérature scientifique. Bien que succinct, notre discussion a été suffisamment détaillée pour les besoins de ce mémoire.

Dans le prochain chapitre, nous approfondirons la modélisation à quatre étapes, qui est l'approche adoptée dans ce travail.

Chapitre 2 : Les Modèles à Quatre Etapes

Introduction :

Une des approches à la modélisation des transports qui a été discutée lors du chapitre précédent est l'approche des modèles à quatre étapes. Cette approche a dominé le domaine pour des raisons diverses :

- La logique de la répartition en quatre étapes est relativement facile à comprendre sur le plan conceptuel.
- La possibilité de mettre en œuvre ces modèles à l'aide de logiciels propriétaires prêts à l'emploi, sans avoir besoin de connaissances en langages de programmation complexes.
- La capacité de ces modèles à fournir des réponses aux questions posées par les décideurs politiques aux ingénieurs de transport, notamment en ce qui concerne les performances du réseau.

Ce chapitre se portera exclusivement sur cette approche, ou l'on proposera une présentation de celle-ci, qui sera plus extensive que ce qui a été fait précédemment. On parlera notamment du zonage de l'aire d'étude, des techniques de collecte de données pratiquées, et des différentes méthodes utilisées dans chaque étape.

II.1 Zone d'étude et collecte de données :

Avant d'entamer une présentation des étapes des modèles FSM, il est important de parler d'abord des zones d'études et des données nécessaires au travail de modélisation.

II.1.1 Zone d'étude :

Une question clé à résoudre lors du développement des modèles de transport est le système de zonage des transports. La zone d'étude est souvent divisée en plusieurs zones internes. Ces zones sont généralement appelées « zones d'analyse du trafic » TAZ (pour Traffic Analysis Zones). Leur nombre dépend d'un compromis entre différents critères et l'envergure de l'étude, car le système des TAZ doit être compatible avec d'autres systèmes de divisions administratives (en particulier avec les zones de recensement). Les TAZ doivent également être homogènes, autant que possible, en termes d'utilisation des terres (par exemple, uniquement résidentielle, industrielle ou commerciale, ou des parkings) et de composition de la population (niveau de revenu, âge, etc.). De plus, elles devraient bénéficier d'un accès raisonnablement homogène aux systèmes de transport modélisés. (*Travel Demand Modelling*, 2019) (Karoń, 2013).

II.1.2 Collecte de données :

Les recensements nationaux. Les modèles de prévision ont besoin d'une alimentation en données réelles pour plusieurs raisons fondamentales d'un point de vue académique :

- i. Validation empirique : Les données réelles sont essentielles pour valider et évaluer l'exactitude et la performance des modèles de prévision. Les modèles sont généralement développés en utilisant des théories et des hypothèses académiques, mais leur validation se fait en les confrontant aux données réelles. Cela permet de déterminer si les prédictions du modèle correspondent à la réalité observée.
- ii. Identification des schémas et des tendances : Les données réelles fournissent des informations sur les schémas et les tendances qui se produisent dans le monde réel. En analysant ces données, les chercheurs peuvent identifier des relations causales, des

- corrélations et des modèles qui peuvent être utilisés pour améliorer les modèles de prévision.
- iii. Adaptation au contexte : Les modèles de prévision doivent s'adapter au contexte spécifique dans lequel ils sont utilisés. Les données réelles reflètent les conditions réelles dans lesquelles les prédictions doivent être faites, ce qui permet aux modèles de tenir compte des facteurs pertinents qui peuvent influencer les résultats.
 - iv. Gestion de l'incertitude : Les données réelles aident à quantifier l'incertitude associée aux prévisions. Les modèles académiques peuvent souvent être basés sur des hypothèses simplificatrices qui ne capturent pas pleinement la complexité du monde réel. En utilisant des données réelles, il est possible de prendre en compte des facteurs imprévisibles et d'estimer l'incertitude associée aux prédictions.

Les sources de données principales quand on parle de modélisation en transport sont les enquêtes. Il existe plusieurs différents types d'enquêtes qui peuvent être utilisés en transport, on peut citer :

- Les enquêtes ménages déplacement.
- Les enquêtes O-D (Origine-Destination).
- Les enquêtes cordon et bord de route.
- Les comptages routiers.

Tableau 1 : Principales enquêtes utilisées en France

Source : (Bonnell, 2002)

Domaine	Nom de la source	Principales données produites
Données générales	Enquêtes ménages déplacements	Ensemble des déplacements sur une journée des personnes de 5 ans et plus de ménages résidant dans l'agglomération
Réseau routier	Enquêtes cordon ou bord de route	Déplacements routiers (véhicules) en sortie d'agglomération traversant un cordon entourant l'agglomération, ou passant en un point donné de la voirie.
	Comptages	Nombre de véhicules passant en un point donné de la voirie
Réseau transport collectif	Enquêtes O - D ou montée - descente	Déplacements ou voyages sur le réseau de transports collectifs
	Oblitérations	Montées avec ticket sur une ligne donnée ou données billettique
	Ventes de titres Billettique	Indication globale de fréquentation du réseau
Domicile travail	Recensement INSEE	Localisation du domicile et du travail, et mode habituel pour se rendre au travail depuis le recensement de 1999

II.2 L'étape de génération :

Comme indiqué dans le chapitre précédent, la première étape des modèles FSM est l'étape de génération, L'étape de génération vise à construire les marges de la matrice origines-destinations qui sera produite par l'étape suivante, appelée distribution.

Bonnel (2002) décrit l'étape comme suit : « *La génération constitue la première étape des modèles à 4 étapes. Elle vise à déterminer le nombre de déplacements réalisés par les résidents du secteur d'étude. Dans la séquence des choix de l'individu relatif à la réalisation et à la détermination des caractéristiques d'un déplacement, cette étape correspond au choix de se déplacer ou non de l'individu... Dans son principe, cette étape est très simple. Elle consiste à déterminer le nombre de déplacements émis et reçus par chacune des zones du terrain d'étude en fonction d'un certain nombre de caractéristiques de la zone. La mise en œuvre l'est parfois un peu moins selon les objectifs recherchés et les données disponibles.* » (p.165)

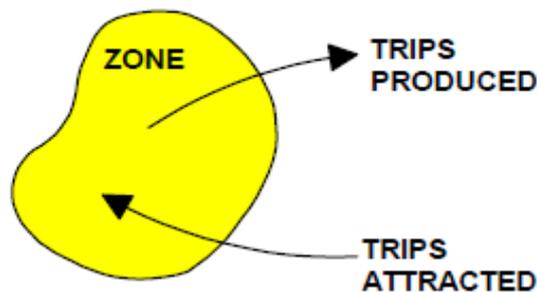


Figure 2.1 : Schématisation de la génération des déplacements

Source : (Horowitz, 1999)

II.2.1 Emission et attraction :

L'objectif de l'étape de génération étant de fournir des informations sur les émissions et les attractions par zone. Il est donc important de bien définir ces termes :

- i. Les émissions font référence à l'ensemble des déplacements émis par une zone donnée. Cela inclut tous les déplacements dont l'origine se situe dans cette zone (Figure 2.2). Parfois, on utilise également le terme "productions" pour décrire les émissions (traduction du terme anglais "trip production" qui signifie "déplacements produits").
- ii. Les attractions quant à eux correspondent à l'ensemble des déplacements reçus par une zone donnée. Cela comprend tous les déplacements dont la destination se situe dans cette zone (Figure 2.2).

II.2.2 Motifs de déplacements :

Dans le but d'améliorer l'aspect explicatif des modèles de génération, les déplacements sont souvent segmentés en fonction de leurs motifs. Cette segmentation facilite l'association entre

les caractéristiques des individus ou des zones et le nombre de déplacements pour chaque motif spécifique (Bonnell, 2002). On travaille donc généralement avec :

- Les déplacements domicile-travail
- Les déplacements domicile-achats
- Les déplacements domicile-éducation
- Les déplacements domicile-loisirs
- Les autres déplacements domicile
- Les déplacements non liés au domicile (déplacements qui ne commencent ni ne se terminent à domicile)

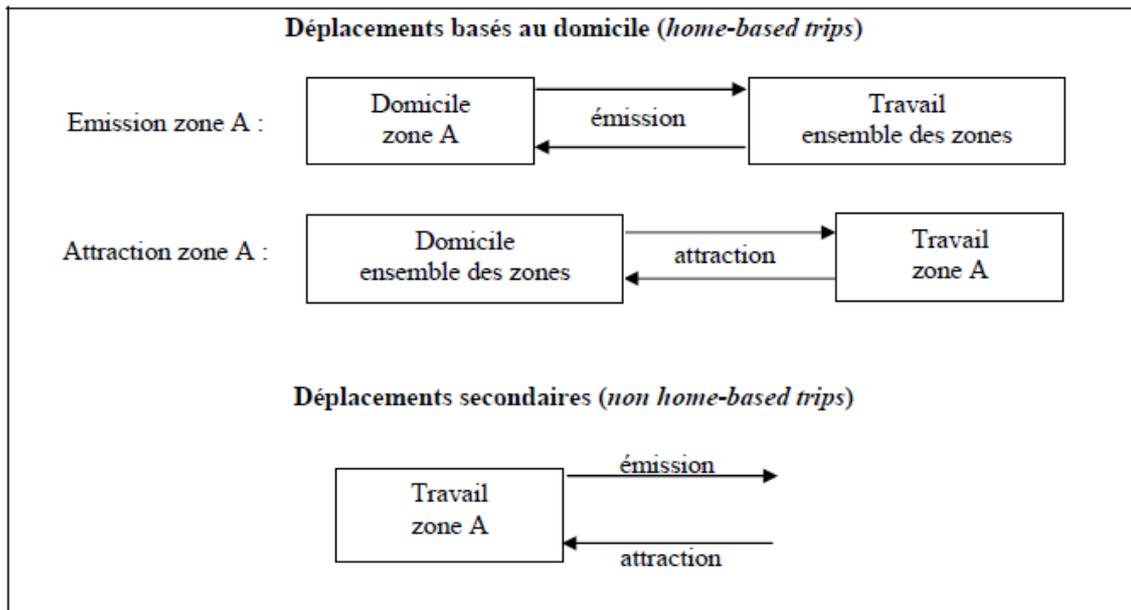


Figure 2.2 : Schématisation des émissions-attractions pour le motif Travail

Source : (Bonnell, 2002)

Cette segmentation permet d'obtenir une compréhension plus approfondie des déplacements en les regroupant selon leurs motifs spécifiques, ce qui facilite l'analyse et la corrélation avec les caractéristiques individuelles ou géographiques. En général, pour les déplacements liés au domicile, les productions de déplacements dépendent des caractéristiques de la population d'une zone, tandis que les attractions de déplacements sont liées aux paramètres d'emploi, aux places scolaires, à l'espace commercial, aux services de santé, etc. Dans certains projets, il est important de prendre en compte des prévisions d'utilisation alternative des terres, par exemple pour évaluer les implications de propositions alternatives de forme urbaine sur les réseaux de transport, ou pour considérer la robustesse des performances de certains projets face aux incertitudes liées aux futurs modèles d'utilisation des terres (*Travel Demand Modelling*, 2019).

II.2.3 Familles de méthodes utilisées :

Il existe une multitude de techniques utilisées pour la génération des déplacements, il n'est pas question de les nommer toutes, ni de les expliquer dans le plus grand des détails. Cette partie du chapitre vise uniquement à introduire les principales familles de modèles de génération qui sont les plus redondantes dans la littérature scientifique et la pratique.

II.2.3.1 Modèles Normatifs :

Les premiers modèles de génération développés aux États-Unis parfois utilisé des normes de génération des déplacements afin de combler les lacunes de données disponibles dans certaines agglomérations (Bonnell, 2002). Un exemple serait le logiciel QRS2 développé par Horowitz aux États-Unis, qui propose des normes de génération pour des agglomérations de taille comprise entre 50 et 100 000 habitants en 1993 (voir Figure 2.4). Ces normes sont basées sur la mise à jour d'un rapport commandé par la Federal Highway Administration, qui propose une série de normes en fonction de différents paramètres, notamment la taille de l'agglomération (Sossiau et al., 1978).

Tableau 2 : Nombre de déplacements attirés selon les types d'emplois et le nombre de ménages par zone

Source : (Horowitz, 1993)

Nombre de déplacements attirés par ...	Emploi commercial	Emploi non commercial	Ménage
Domicile-Travail	1.7	1.7	0
Domicile-Autre	10	0.5	1
Secondaire	2	2.5	0.5

Une autre pratique courante aux États-Unis en termes de modèles normatifs est l'utilisation du manuel de génération de déplacements de l'ITE « Institute of Transportation Engineers's Trip Generation Manual ».

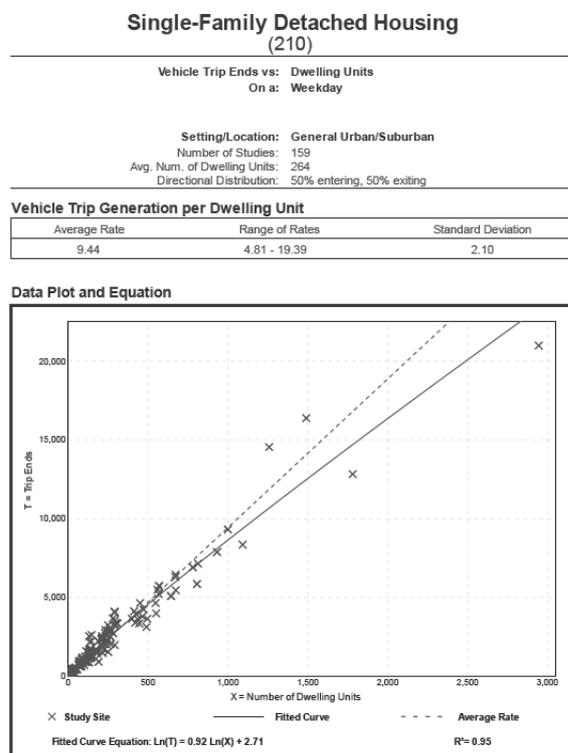


Figure 2.3 : Page extraite du manuel de génération de déplacements

Source : (Trip Generation Manual 10th Edition)

II.2.3.2 Modèles Régressifs :

Une des familles de modèles les plus utilisés dans l'étape de génération, en raison de sa nature simple et facile à interpréter, est la famille des modèles de régression linéaire.

La régression linéaire est une technique d'analyse de données qui prédit la valeur de données inconnues en utilisant une autre valeur de données apparentée et connue. Il modélise mathématiquement la variable inconnue ou dépendante et la variable connue ou indépendante sous forme d'équation linéaire (*Qu'est-ce que la régression linéaire ? – La régression linéaire expliquée – AWS*, s. d.). Deux types de modèles de régression linéaire sont généralement utilisés :

- i. La régression linéaire simple : La régression linéaire simple est définie par la fonction linéaire :

$$Y = \beta_0 \times X + \beta_1 + \varepsilon$$

β_0 et β_1 sont deux constantes inconnues représentant la pente de régression, tandis que ε (epsilon) est le terme d'erreur.

- ii. La régression linéaire multiple : Dans l'analyse de régression linéaire multiple, le jeu de données contient une variable dépendante et plusieurs variables indépendantes. La fonction de la droite de régression linéaire change pour inclure davantage de facteurs comme suit :

$$Y = \beta_0 \times X_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_b \times X_b + \varepsilon$$

À mesure que le nombre de variables prédictives augmente, les constantes β augmentent également en conséquence.

En transport, cela revient à modéliser le nombre de déplacements des émissions et attractions (variable dépendante) et une ou plusieurs variables indépendantes (appelé aussi explicatives). Ces variables indépendantes peuvent inclure :

- Des données démographiques détaillées (population résidente par tranche d'âge, nombre de ménages...etc.)
- Des données sur l'utilisation du territoire (utilisation des terres par type d'industrie, proportion de terres commerciales occupées, effectifs actuels et projetés des écoles par niveau...etc.)
- Données sur l'activité économique (taux d'occupation par secteur, nombre d'emplois et croissance anticipée...etc.)

Les modèles de régression doivent répondre à un certain nombre d'hypothèses avant d'être validés :

- La linéarité : Une relation linéaire doit exister entre les variables indépendantes et dépendantes.
- L'homoscédasticité : L'homoscédasticité suppose que les valeurs résiduelles ont une variance constante ou un écart type par rapport à la moyenne pour chaque valeur des variables indépendantes. Une valeur résiduelle est la différence entre les données observées et la valeur prédite.
- La multicolinéarité : Cette hypothèse est propre aux modèles de régression multiple. La multicolinéarité désigne la corrélation entre les variables explicatives. Plus il est difficile de dissocier les effets des deux variables, plus l'estimation des coefficients de la régression relatifs aux variables corrélées sera peu fiable. (Bonnell, 2002)

II.2.3.3 Modèles Catégorielles :

Bonnel (2002) décrit le principe de cette famille de modèles comme suit : « *Le principe du modèle catégoriel consiste à définir des classes d'individus ou de ménages et à déterminer un modèle explicatif spécifique par régression pour chacune des classes. Ce modèle trouve sa justification dans la variabilité des comportements des individus ou des ménages d'une part et dans la possibilité de réduire cette variabilité par une classification adéquate des individus ou des ménages. Dans ce cas, si l'on dispose de suffisamment de données, il est possible d'estimer avec davantage de précision une droite de régression pour chacune des classes.* » (p.182)

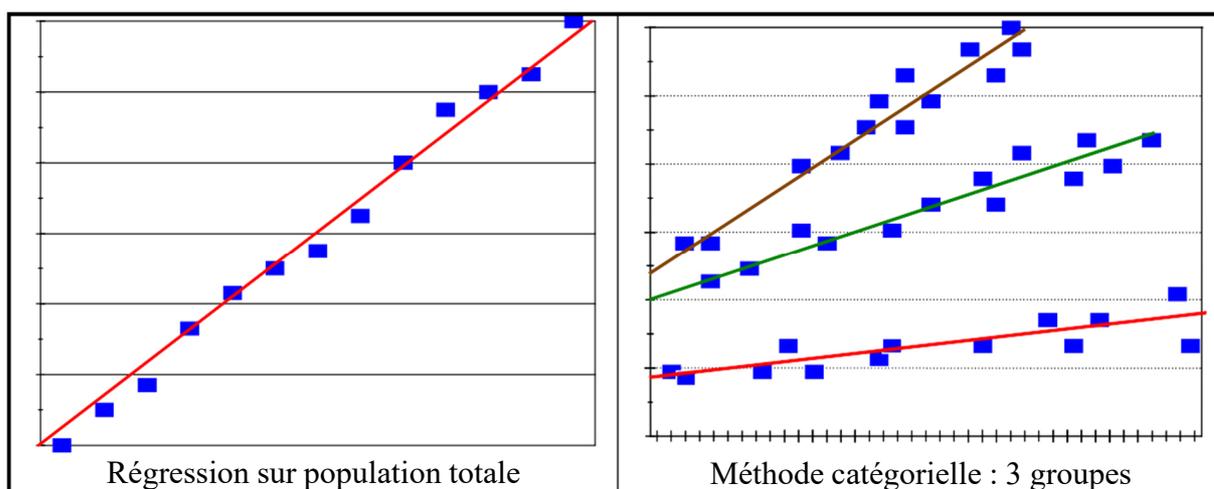


Figure 2.4 : Illustration du choix entre un modèle de régression unique ou un modèle catégoriel

Source : (Bonnel, 2002)

Un exemple de modèle catégorielle qui apparait fréquemment dans la littérature et la pratique est le modèle qui estime les déplacements des ménages en fonction du revenu et de la possession de véhicule :

Tableau 3 : Exemple de modèle catégoriel – Déplacements de personne par ménages

Source : (Martin & McGuckin, 1998)

Auto par Ménages	Revenu Ménages	HBW	HBO	NHB	Total
Auto = 0	<i>Bas Revenu</i>	0.5	2.0	0.9	3.4
	<i>Moyen Revenu</i>	1.1	3.0	1.2	5.3
	<i>Haut Revenu</i>	1.4	3.9	1.8	7.1
Auto = 1	<i>Bas Revenu</i>	0.8	3.2	1.3	5.3
	<i>Moyen Revenu</i>	1.5	3.9	1.6	7.0
	<i>Haut Revenu</i>	1.8	4.9	2.2	8.9
Auto = 2	<i>Bas Revenu</i>	1.4	5.2	2.1	8.7
	<i>Moyen Revenu</i>	2.1	5.7	2.3	10.1
	<i>Haut Revenu</i>	2.5	6.6	3.1	12.4

II.2.4 Equilibrage des émissions / attractions :

Lorsque l'on accède à une zone, on finit toujours par en sortir, cela signifie qu'en théorie, la quantité totale de déplacements attractions doit systématiquement être égale à celle des productions. Or, dans la plupart des cas, les résultats obtenus à partir des modèles de génération que nous venons de voir ne garantissent pas cette égalité. On passe alors à l'équilibrage des attractions / émission.

Le calcul des émissions est généralement considéré comme plus fiable, car il repose sur des données socio-économiques des ménages dont l'évolution est mieux contrôlée que celle des données d'activités par zone. Par conséquent, le résultat de l'attraction est ajusté en fonction d'un facteur identique pour chaque zone, qui est le rapport entre les émissions et les attractions (Bonnel, 2002) :

$$A_{jpondéré} = A_j \times \frac{\sum E_i}{\sum A_j}$$

II.3 L'étape de distribution :

La distribution représente la deuxième étape des modèles à quatre étapes, elle a pour objectif de relier les sorties de l'étape de génération, à savoir les émissions et attractions de chaque zone, pour produire la matrice origine – destination des déplacements sur l'aire d'étude.

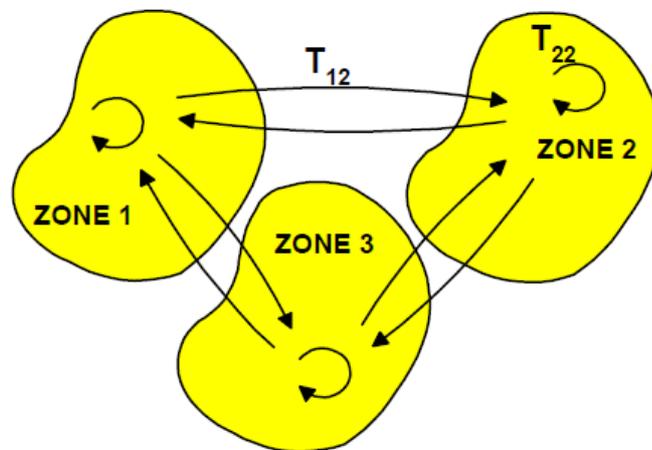


Figure 2.5 : Schématisation de la distribution des déplacements

Source (Horowitz, 1999)

II.3.1 Matrice O-D :

Le tableau ci-dessous (Figure 2.8) est une représentation hypothétique d'une matrice O-D à trois zones.

T_{ij} correspond au nombre de déplacements entre la zone i et la zone j

$T_{i.}$ correspond aux émissions de la zone i : E_i

$T_{.j}$ correspond aux attractions de la zone j : A_j

T ou T.. correspond à la somme des émissions ou à la somme des attractions, soit l'ensemble des déplacements réalisés par la population cible, internes à la zone d'étude.

Tableau 4 : Matrice origine-destination

Source : (Bonnell 2002)

		destination			Emissions : $\sum_j T_{ij}$
	Zone	1	2	3	Total
origine	1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	$T_{1.} \approx E_1$
	2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	$T_{2.} \approx E_2$
	3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	$T_{3.} \approx E_3$
Attractions : $\sum_i T_{ij}$	Total	$T_{.1} \approx A_1$	$T_{.2} \approx A_2$	$T_{.3} \approx A_3$	T ou T.. = $\sum_{i,j} T_{ij}$

La somme des déplacements sortant de la zone i vers chacune des zones j doit être égale à l'émission de la zone i, et la somme des déplacements entrant dans la zone j à partir de chacune des zones i doit être égale à l'attraction de la zone j. Cette condition est appelée la contrainte aux marges :

$$\sum_j T_{ij} \approx E_i$$

$$\sum_i T_{ij} \approx A_j$$

II.3.2 Familles de méthodes utilisées :

Tout comme pour l'étape de génération, il existe pas mal de méthodes pouvant être utilisées dans l'étape de distribution. Nous allons toutefois nous limiter à la présentation des deux familles de méthodes les plus répandus dans la pratique, à savoir les modèles à facteurs de croissance et les modèles gravitaires.

II.3.2.1 Modèles à facteurs de croissance :

Le modèle à facteurs de croissance repose sur un principe fondamental et intuitif. Il se base sur une matrice de référence comme point de départ, puis la transforme progressivement pour obtenir la matrice horizon tout en maintenant la contrainte des marges.

Bonnell (2002) explique : « *Le point de départ est donc constitué par la matrice de référence. Les marges de cette matrice correspondent aux émissions et attractions en situation de référence. Le modèle de génération permet de calculer les nouvelles marges de la matrice horizon, soit les émissions et attractions à l'horizon d'étude. La matrice de référence ne respecte évidemment pas ces nouvelles contraintes. Le principe du modèle est*

donc de déformer progressivement cette matrice afin de satisfaire à ces nouvelles contraintes...Les méthodes utilisées par les modèles à facteurs de croissance se distinguent principalement par l'algorithme de déformation de la matrice origine. » (p.195)

La méthode à facteur de croissance la plus élémentaire est la méthode à facteur uniforme. Après l'étape de génération, on doit nécessairement être en possession des données sur les marges de la matrice O-D. On pourra donc s'en servir pour déduire le facteur de croissance en ligne et en colonne comme suit :

- En ligne : $F_i = \frac{E_i \text{ Horizon}}{e_i \text{ Référence}}$
- E colonne : $F_j = \frac{A_j \text{ Horizon}}{a_j \text{ Référence}}$

On procède finalement au calcul des cases de la matrice. La méthode la plus simple est la suivante :

$$T_{ij} = \frac{1}{2}(F_i + F_j) \times t_{ij}$$

L'opération doit être renouveler autant de fois que nécessaire avant d'obtenir une différence acceptable entre les émissions et attractions à l'horizon d'étude (contrainte au marges).

Il est évident que cette méthode n'est pas très réaliste et s'applique principalement à des situations où l'agglomération connaît peu de changements et évolue de manière uniforme à court terme. Les méthodes à facteurs de croissance sont simples à calculer et faciles à comprendre. Cependant, ces méthodes ont des limites. La qualité de la matrice horizon dépend de la qualité de la matrice de référence, qui peut être peu précise. Par conséquent, les modèles gravitaires ont depuis longtemps été préférés aux méthodes à facteurs de croissance.

II.3.2.2 Modèles gravitaires :

La modélisation gravitaire est un type de modélisation spatiale qui permet de déterminer l'intensité d'une relation entre unités géographiques en tenant compte de leur potentiel (poids démographique, PIB, par exemple) et de leur distance. Plus généralement, elle permet d'évaluer les interactions spatiales, les phénomènes d'attractivité, de diffusion. La répartition des interactions dans un ensemble de lieux dépend de leur configuration, c'est-à-dire de la force d'attraction de chacun et de la difficulté des communications entre eux.

Le modèle a été formulé d'abord par William J. Reilly (1931), par analogie avec la loi de la gravitation universelle de Newton : deux corps s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse de la distance qui les sépare (École normale supérieure de Lyon, s. d.) :

$$F_{ij} = G \times \frac{M_i + M_j}{d_{ij}^2}$$

L'analogie est facile à comprendre. L'attraction entre deux zones, dépend à la fois de l'importance de chaque zone et de la distance qui les sépare. Plus les zones ont un poids important, plus l'attraction sera forte, mais cette attraction est réduite par la distance qui les sépare. Une des premières applications exprime cette attraction en fonction de la population, du revenu et du coût généralisé (notion qui a été introduit dans le chapitre précédent) des déplacements entre les zones (Bonnell, 2002) :

$$T_{ij} = \frac{K \times (P_i + P_j)^\alpha \times (R_i + R_j)^\beta}{Cg_{ij}^\gamma}$$

Où P_i et P_j sont les populations des villes i et j

R_i et R_j les revenus des villes i et j

Cg_{ij} le coût généralisé du déplacement entre i et j

K est une constante de proportionnalité

α, β, γ , des élasticités à la population, au revenu et au coût généralisé

Cette approche date du XIXe siècle, et a été principalement utilisé pour la planification du trafic interurbain. Une autre application, qui remplace la population et les revenus par les émissions et les attractions, a été développé pour être plus compatible dans un contexte urbain :

$$T_{ij} = aE_iA_jf(Cg_{ij})$$

Où « a » est un coefficient de proportionnalité, E_i l'émission de la zone i , A_j l'attraction de la zone j . Le facteur résistant est toujours exprimé par une fonction de couts généralisé généralement appelée fonction de résistance, de dissuasion, d'impédance, ou de détérrence. Elle prend le plus souvent des cas l'une des trois formes suivantes :

- Fonction puissance (ou inverse) : $f(Cg_{ij}) = Cg_{ij}^{-a}$
- Fonction exponentielle : $f(Cg_{ij}) = e^{-bCg_{ij}}$
- Fonction combiné (ou gamma) : $f(Cg_{ij}) = -aCg_{ij} + e^{-bCg_{ij}}$

La reformulation de cette application du modèle gravitaire prend généralement une de ces deux formes, en fonction de l'approche adoptée pour assurer le respect de la contrainte aux marges (Mathew & Rao, 2007) :

- i. Modèle gravitaire doublement contraint : $T_{ij} = \alpha_i\beta_jE_iA_jf(Cg_{ij})$

Où α_i et β_j sont des coefficients d'équilibrage tel que :

$$\alpha_i = \frac{1}{\sum_j \beta_j A_j f(Cg_{ij})}$$

$$\beta_j = \frac{1}{\sum_i \alpha_i E_i f(Cg_{ij})}$$

✚ **NB** : Les coefficients α_i et β_j étant interdépendants, le calcul des T_{ij} nécessite donc une procédure itérative.

- ii. Modèle gravitaire simplement contraint : les modèles simplement contraint prennent la même forme que ceux doublement contraint, sauf que l'un des coefficients d'équilibrage est égal à 1 :

Ou bien :

$$T_{ij} = \alpha_i E_i A_j f(Cg_{ij})$$

$$T_{ij} = \beta_j E_i A_j f(Cg_{ij})$$

II.4 L'étape de répartition modale :

Bonnel (2002) indique « *La répartition modale constitue généralement la troisième étape des modèles à quatre étapes. Elle prend place après la distribution dont elle utilise les sorties : les matrices origines-destinations. La répartition modale correspond au choix du mode de déplacement dans la séquence des choix de l'individu. Mathématiquement, elle permet d'éclater la(les) matrice(s) origines-destinations en autant de matrices origines-destinations par mode qu'il y a de modes pris en compte.* » (p.219)

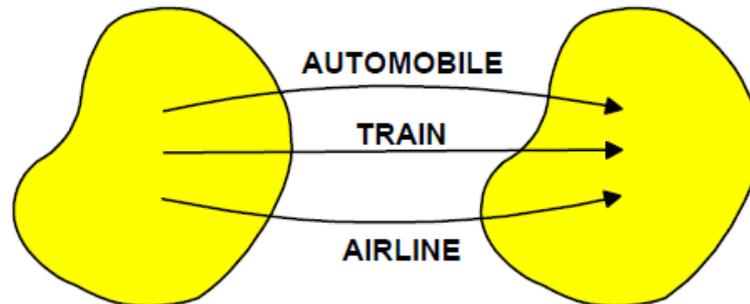


Figure 2.6 : Schématisation du choix modale

Source : (Horowitz, 1999)

La modélisation du choix du mode de transport est probablement un des aspects les plus importants en matière de planification des transports. Cela est dû au rôle clé joué par les transports publics dans la prise de décision politique. Les modes de transport public utilisent l'espace routier de manière plus efficace que les transports privés. De plus, ils offrent des avantages sociaux, tels que la réduction de la congestion routière et des accidents. Ils permettent aussi de voyager à moindre coût et d'optimiser la consommation des carburants.

D'une autre part, les transports privés sont très flexibles. Ils offrent des déplacements plus confortables et pratiques, ainsi qu'une meilleure accessibilité. Il est donc important de développer et d'utiliser des modèles qui sont sensibles aux attributs de déplacement qui influencent les choix individuels en matière de mode de transport.

II.4.1 Les facteurs influant le choix modal :

Les facteurs ayant une certaine influence sur le comportement des individus quand on parle du choix du mode déplacement sont multiples, mais font généralement partie d'une de ces 3 catégories :

II.4.1.1 Caractéristiques relatives à l'individu :

On peut citer :

- Disponibilité et/ou possession de véhicule personnel
- Possession d'un permis de conduire
- Structure du ménage
- Revenu
- Etc...

II.4.1.2 Caractéristiques relatives au déplacement :

Le choix du mode de transport est fortement influencé par :

- Les motifs de déplacements : par exemple, les trajets pour se rendre au travail peuvent être plus faciles à effectuer en transports en commun que d'autres trajets en raison de leurs régularités.
 - L'heure à laquelle le trajet est effectué : Les trajets tardifs sont plus difficiles à accommoder en transports en commun.
- Etc...

II.4.1.3 Caractéristiques relatives au mode de transport :

Il existe deux types de facteurs relatifs au mode lui-même. L'un est quantitatif :

- Le temps de déplacement : temps passé dans le véhicule, temps d'attente et temps de marche (temps d'accès)
- Les coûts monétaires (tarifs, carburant ou autres)
- La disponibilité et le coût du stationnement.

L'autre est qualitatif :

- Le confort et la commodité
- La fiabilité et la régularité
- La protection et la sécurité

Un bon choix de mode de transport devrait prendre en compte les facteurs les plus importants parmi ceux-ci.

II.4.2 Familles de méthodes utilisées :

Il existe plusieurs approches à la modélisation du comportement des individus vis-à-vis du choix du mode de transport. On peut par exemple revenir à la famille des modèles normatifs qu'on a vu précédemment dans l'étape de génération, où l'on définit cette fois, une norme de répartition modale (voir Figure 2.10). Ces modèles ont cependant vite été délaissés au profit des modèles de régression logistique (ou modèles logit) en raison de leur qualité prévisionnelle supérieure. Cette partie du chapitre portera donc exclusivement sur la famille des modèles logit et leur application dans l'étape de répartition modale.

Tableau 5 : Exemple de grille de part modale pour les transports en communs pour le motif domicile travail réalisé par le Centre d'Etude des Transport Urbain

Source : (Bonnell, 2002)

Type de destination	Mode principal	Bus sur site propre	Bus sur voie réservée	Bus sur voie normale
destinations centrales	trajet direct	80% ± 10%	60% ± 10%	40% ± 10%
à fortes contraintes de stationnement	trajet avec correspondance(s)	60% ± 10%	40% ± 10%	20% ± 10%
destinations centrales	trajet direct	50% ± 10%	30% ± 10%	10% ± 5%
à faibles contraintes de stationnement	trajet avec correspondance(s)	30% ± 10%	10% ± 5%	5% ± 5%

II.4.2.1 Modèle logit binaire :

Les modèles logit binaires représentent la forme la plus simple des modèles de régression logistique. Ils sont généralement utilisés pour comprendre comment les personnes prennent des décisions entre deux options. Ils fonctionnent en utilisant des fonctions d'utilité pour calculer les probabilités de choix entre les deux options.

L'utilité de chaque option est une combinaison linéaire des variables explicatives pondérées par des coefficients. Ces coefficients représentent l'importance relative de chaque variable dans la prise de décision. Ils sont généralement estimés en utilisant les données sur les choix passés des personnes et les variables explicatives (méthode de maximisation de la vraisemblance ou « Maximum Likelihood Estimation »).

Lorsqu'une personne prend une décision, elle choisira l'option qui lui offre la plus grande utilité perçue. Les probabilités de choix dans le modèle logit binaire sont déterminées en utilisant la fonction logistique, qui transforme les différences d'utilité en probabilités.

En transport, on a tendance à travailler plutôt avec des désutilités, qui sont généralement des fonctions du coût généralisé à l'image de la fonction d'impédance $u = f(Cg_{ij})$.

Les déplacements d'une zone i vers une zone j par un mode k sont calculés en multipliant les déplacements totaux de i vers j par la fonction de probabilité logistique (Oo, 2015) :

$$T_{ij}^{k_1} = T_{ij} \times P^{k_1}_{ij} = T_{ij} \times \frac{e^{-u_{k_1}}}{e^{-u_{k_1}} + e^{-u_{k_2}}}$$

II.4.2.2 Modèle logit multinomiale :

Les modèles logit multinomiales sont les modèles utilisés pour modéliser le choix des individus entre plusieurs alternatives (plus de 2). L'expression de la probabilité du déplacement d'une zone i vers une zone j en utilisant un mode k devient alors :

$$P^{k_1}_{ij} = \frac{e^{-u_{k_1}}}{\sum e^{-u_k}}$$

Le modèle logit possède une caractéristique intéressante appelée indépendance des alternatives non pertinentes (IIA pour « independence of irrelevant alternatives »), décrite par McFadden (1974) et Ben-Akiva & Lerman (1985). Cette propriété signifie que le rapport de probabilité entre deux alternatives n'est pas influencé par les autres alternatives disponibles. Cette particularité est une force du modèle logit, car elle permet d'ajouter facilement une nouvelle option sans avoir à reconfigurer entièrement le modèle. Cependant, cette propriété constitue également une faiblesse, comme le démontre le paradoxe généralement référé comme le « blue-bus/red-bus problem ». (Combarous, 1999)

Supposons une situation où les seuls choix de mode de transport sont le bus et le véhicule personnel. Soit :

$$\begin{aligned} U_{bus} &= 0.5 \\ U_{auto} &= 0.5 \end{aligned}$$

Cela implique que les probabilités des choix sont les suivantes :

$$P_{bus} = \frac{e^{-U_{bus}}}{e^{-U_{bus}} + e^{U_{auto}}} = \frac{1}{2}$$

$$P_{auto} = \frac{e^{-U_{auto}}}{e^{-U_{bus}} + e^{U_{auto}}} = \frac{1}{2}$$

Supposant maintenant que la moitié de ces bus ont été peints en bleu, et l'autre moitié en rouge. Nous avons donc deux types de bus à utilité identique, et les probabilités des choix deviennent :

$$P_{busB} = \frac{e^{-U_{busB}}}{e^{-U_{busB}} + e^{-U_{busR}} + e^{U_{auto}}} = \frac{1}{3}$$

$$P_{busR} = \frac{e^{-U_{busR}}}{e^{-U_{busB}} + e^{-U_{busR}} + e^{U_{auto}}} = \frac{1}{3}$$

$$P_{auto} = \frac{e^{-U_{auto}}}{e^{-U_{busB}} + e^{-U_{busR}} + e^{U_{auto}}} = \frac{1}{3}$$

On remarque qu'on a augmenté la part de marché des bus au détriment des autos, de 50% à 66%, sans pour autant avoir amélioré leurs utilités. Cela n'est évidemment pas réaliste car l'individu considèrera très probablement que les deux alternatives bus-rouge et bus-bleu sont identiques. Ben-Akiva et Lerman (1985) expliquent que cette problématique vient du non-respect du « choix axiome » de la propriété IIA qui stipule que les alternatives proposées ne soient pas corrélées entre elles. Dans ce cas spécifique, les deux modes de transport en bus présentent des caractéristiques identiques (utilité identique), à l'exception de la couleur, qui n'est pas considérée comme un attribut pertinent dans la fonction d'utilité et ne devrait donc pas influencer le choix du mode de transport. On est donc forcé de travailler avec un modèle logit emboîté (Nested Logit Model).

II.4.2.3 Modèle logit multinomiale emboîté :

Il arrive souvent que les modes collectifs violent l'hypothèse forte de l'IIA concernant la non-corrélation des alternatives. Un modèle plus pratique a donc été élaboré pour relâcher partiellement cette contrainte. Il s'agit du modèle logit multinomial emboîté.

Ce modèle se distingue par sa structure qui regroupe les différentes alternatives en sous-groupes. La variance peut varier entre ces sous-groupes, mais l'hypothèse d'IIA est conservée à l'intérieur de chaque sous-groupe (Combarous, 1999). On peut considérer ce modèle comme un problème de choix à plusieurs niveaux, comprenant au moins deux niveaux (voir Figure 2.11).

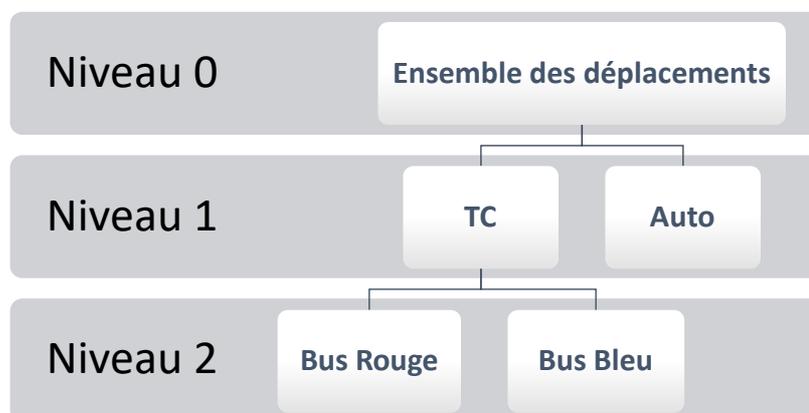


Figure 2.7 : Schématisation du problème bus-bleu/bus-rouge par un modèle emboîté

Source : réalisation de l'étudiant

En utilisant le modèle logit emboîté, il est maintenant possible de résoudre le paradoxe des bus-bleu/bus-rouge. En effet, grâce à cette approche hiérarchique, on aperçoit que la part du marché des bus est identique au sein des modes de transport collectif TC (Figure 2.11). C'est-à-dire :

$$P_{busB} = P_{busR} = \frac{1}{2} \times P_{TC} = \frac{1}{4}$$

$$P_{TC} = \frac{1}{2}$$

$$P_{auto} = \frac{1}{2}$$

II.5 L'étape d'affectation sur le réseau :

Après avoir déterminé les matrices origines-destinations des déplacements pour chaque mode, l'étape d'affectation consiste à assigner la demande de déplacements aux réseaux de transport. Cette étape correspond à la finalité de la démarche de planification, c'est-à-dire au choix de l'itinéraire permettant de se rendre d'une origine à une destination spécifique, en utilisant un mode de transport donné. Dans la plupart des cas pratiques, l'affectation est faite en supposant que le trajet se déroule à travers le parcours qui minimise le coût généralisé (plus court chemin). Le coût d'un itinéraire spécifique est composé des coûts associés à chaque lien de l'itinéraire permettant de passer du centroïde d'origine i au centroïde de destination j .

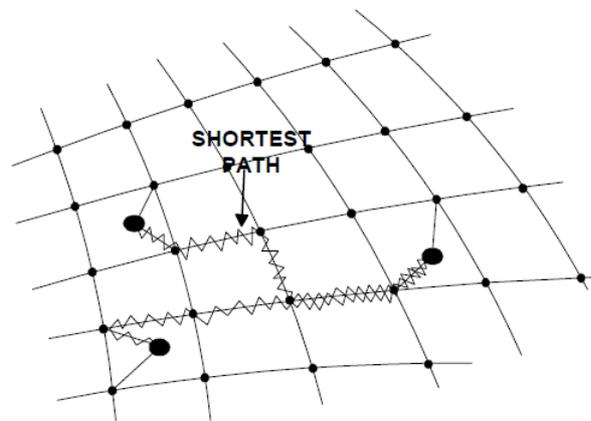


Figure 2.8 : Schématisation de l'affectation

Source : (Horowitz, 1999)

II.5.1 Conversion véhiculaire :

Après l'étape de répartition modale, des matrices origines-destinations de déplacements individuels sont obtenues. Cependant, les modèles d'affectation routière nécessitent des matrices de déplacements de véhicules en entrée. Par conséquent, il est nécessaire de convertir les matrices de déplacements individuels en matrices de déplacements de véhicules. Cette conversion est appelée "conversion véhiculaire". Elle est généralement réalisée en utilisant le taux d'occupation des véhicules.

Après cette « étape », il est également possible d'effectuer une standardisation des véhicules en les convertissant en unités de véhicule particulier (UVP). La conversion en UVP est effectuée dans le but de représenter les différents types de véhicules de manière standardisée. Cela permet de simplifier les calculs et les analyses ultérieures, en traitant toutes les catégories de véhicules de manière équivalente. Il devient également plus facile de manipuler les données et de réaliser des études ou des modélisations sur le trafic plus complètes.

II.5.2 Passage à l'heure (ou période) de pointe :

« Les étapes de génération et de distribution portent généralement sur une période de 24 heures correspondant le plus souvent à une journée de semaine. L'offre de transport est pourtant fortement différenciée selon la période de la journée ... De ce fait, on distingue généralement l'affectation relative à la période de pointe du matin et du soir de celle relative à la ou les périodes creuses. La distinction de ces périodes est également assez fréquente pour l'étape de choix du mode de transport. » Bonnel (2002, p.328).

La distinction entre les heures de pointe et les heures creuses permet au planificateur des transports de comprendre les variations de capacité du réseau routier en fonction du volume de trafic. Cela lui permet de prendre des décisions éclairées pour améliorer l'efficacité du système de transport, en gérant les flux de trafic de manière optimale et en adaptant les infrastructures aux besoins en condition de demande maximale.

II.5.3 Familles de méthodes utilisées :

Les modèles d'affectation du trafic comprennent : l'affectation tout ou rien (All or Nothing), l'affectation incrémentale, l'affectation équilibre utilisateur (User Equilibrium : UE), l'affectation équilibre utilisateur stochastique (SUE), l'affectation à l'optimum du système (System Optimum : SO), et d'autres...

Les modèles fréquemment utilisés (UE et SO) seront discutés en détail ci-dessous :

II.5.3.1 Affectation User Equilibrium :

L'affectation par la méthode UE est basée sur le premier principe de Wardrop, qui stipule qu'aucun conducteur ne peut réduire unilatéralement ses coûts de déplacement en passant à une autre route, c'est-à-dire, dans un réseau congestionné, toutes les routes utilisées pour une même origine et destination ont un coût minimal et équivalent, tandis que toutes les autres routes disponibles mais non utilisées ont un coût supérieur. Si cette condition n'est pas respectée, cela signifie qu'au moins un conducteur aurait intérêt à changer d'itinéraire afin de trouver une option plus courte en termes de coût. En revanche, dans une affectation à l'équilibre, aucun conducteur ne serait incité à changer d'itinéraire, car cela entraînerait un coût égal ou supérieur à celui de l'itinéraire actuel. (Mathew & Rao, 2007)

La solution aux conditions d'équilibre ci-dessus peut être donnée par la résolution du programme d'optimisation mathématique non linéaire élaboré par Beckman et al. (1956) :

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x_a) dx, \\ \text{S.C : } \sum_k f_k^{ij} &= q_{ij} : \forall i, j \end{aligned}$$

$$x_a = \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{a,k}^{ij} f_k^{ij} : \forall a$$

$$f_k^{ij} \geq 0 : \forall k, i, j$$

$$x_a \geq 0 : a \in A$$

Où k représente l'itinéraire

x_a représente les débits d'équilibre sur le lien a

t_a représente le temps de trajet sur le lien a (qui est fonction de x_a)

f_k^{ij} représente le débit sur le chemin k reliant la paire O-D ij

q_{ij} représente le taux de déplacements entre i et j

et $\delta_{a,k}^{ij}$ est une contrainte de définition donnée par :

$$\delta_{a,k}^{ij} = 1 \text{ si le lien } a \text{ appartient à l'itinéraire } k$$

$$\delta_{a,k}^{ij} = 0 \text{ sinon}$$

II.5.3.2 Affectation System Optimum :

L'affectation à l'optimum du système SO est basée sur le deuxième principe de Wardrop, qui stipule que les conducteurs coopèrent les uns avec les autres afin de minimiser le temps total de déplacement du système. Cette affectation peut être considérée comme un modèle dans lequel la congestion est minimisée lorsque les conducteurs sont informés des itinéraires à utiliser. De toute évidence, il ne s'agit pas d'un modèle comportementalement réaliste, mais il peut être utile aux planificateurs et ingénieurs des transports qui cherchent à gérer le trafic afin de minimiser les coûts de déplacement et ainsi atteindre un équilibre collectif optimal.

Le même programme d'optimisation de Beckman et al. (1956) peut être utilisé dans ce cas de figure en remplaçant uniquement la fonction objectif :

$$\text{Min } Z = \sum_a x_a t_a(x_a) dx,$$

$$\text{S.C : } \sum_k f_k^{ij} = q_{ij} : \forall i, j$$

$$x_a = \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{a,k}^{ij} f_k^{ij} : \forall a$$

$$f_k^{ij} \geq 0 : \forall k, i, j$$

$$x_a \geq 0 : a \in A$$

✚ **NB :** La méthode la plus courante pour solutionner les problèmes d'optimisation cité ci-dessus, est par l'utilisation de l'algorithme de Frank-Wolfe. On recommande aux lecteurs intéressés de consulter le livre « Modeling Transport » de Ortúzar et Willumsen (2011) pour plus de détails.

II.5.3.3 Autres méthodes :

Parmi les autres modèles d'affectation qui existe, nous avons déjà cité :

- i. Le modèle tout ou rien : Dans cette méthode, les déplacements de n'importe quelle zone d'origine vers n'importe quelle zone de destination sont chargés sur un seul chemin de coût minimum entre eux. Ce modèle est irréaliste car un seul chemin entre chaque paire O-D est utilisé même s'il existe un autre chemin avec le même coût de déplacement ou presque. De plus, le trafic sur les liens est attribué sans tenir compte de la congestion, et le temps de trajet est une donnée fixe qui ne varie pas en fonction du trafic sur un lien.
- ii. Le modèle incrémental : L'affectation incrémentale (ou progressive) est un processus dans lequel des fractions des volumes de trafic sont attribuées par étapes. À chaque étape, une proportion fixe de la demande totale est attribuée, sur la base de l'affectation tout-ou-rien. Après chaque étape, les temps de trajet des liens sont recalculés en fonction des volumes de trafic.
- iii. L'équilibre utilisateur stochastique : ou stochastic user equilibrium, tient compte de l'incertitude dans les décisions des utilisateurs. Il suppose que les utilisateurs optimisent leurs itinéraires non seulement en tenant compte des conditions de trafic actuelles, mais également en tenant compte de la variabilité des conditions de trafic futures. Les utilisateurs prennent des décisions qui minimisent leur coût moyen anticipé sur plusieurs réalisations possibles des conditions de trafic. L'équilibre utilisateur stochastique permet de modéliser les comportements des utilisateurs face à l'incertitude et de prendre en compte les fluctuations aléatoires des conditions de trafic. La principale différence entre l'équilibre utilisateur déterministe (user equilibrium) et l'équilibre utilisateur stochastique (stochastic user equilibrium) réside dans la prise en compte de l'incertitude et des variations aléatoires des conditions de trafic dans les décisions des utilisateurs.

Conclusion :

En conclusion, l'approche en quatre étapes de la modélisation de la demande de transport offre une méthodologie robuste et structurée pour comprendre et prédire les choix de déplacement des individus. En combinant les étapes de génération, distribution, choix modal et répartition spatiale, cette approche permet de capturer les nuances et les interdépendances complexes entre les facteurs socio-économiques, les caractéristiques du système de transport et les préférences individuelles.

Nous espérons avoir rédigé dans ce chapitre une présentation claire et compréhensive des principales méthodes qui ont été utilisées dans la partie pratique de notre travail. Cependant, pour les lecteurs intéressés par une exploration plus approfondie de ces méthodes, nous recommandons de se référer au livre "Modelling Transport" de Ortúzar & Willumsen (2011). Cette ressource incontournable offre une analyse détaillée des techniques, des études de cas et des développements récents dans le domaine de la modélisation de la demande de transport. En explorant cet ouvrage, les lecteurs pourront approfondir leurs connaissances et obtenir des perspectives supplémentaires qui compléteront notre présentation.

Chapitre 3 : Cas d'étude – Wilaya de Tizi Ouzou

Introduction :

Ce chapitre vise à fournir une présentation détaillée de la région étudiée, qui est la Wilaya de Tizi Ouzou. La Wilaya de Tizi Ouzou est caractérisée par une diversité naturelle remarquable, allant des montagnes majestueuses aux vallées verdoyantes, en passant par des plaines fertiles. Elle abrite une population dynamique et diversifiée, avec des centres urbains en expansion et des zones rurales traditionnelles. L'objectif de cette présentation est de fournir une vision globale de la région, en mettant l'accent sur les aspects pertinents pour notre étude de la demande de transport.

Il convient de noter que la majeure partie des informations présentées dans ce chapitre a été obtenue à partir de plans d'aménagement et d'autres documents fournis par la Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaire (DPSB). Ces ressources sont des références essentielles pour comprendre les enjeux, les priorités et les projets d'aménagement de la région.

III.1 Repère historique :

C'est sur SIDI-BELLOUA, ce point culminant de la ville de Tizi-Ouzou que se trouvent aujourd'hui encore quelques arbrisseaux de cette plante épineuse à fleurs jaunes appelée : « genêt », qui a d'ailleurs donné son nom à Tizi-Ouzou (Tizi = Col, Ouzou = Genêts).

En fait, ce col est connu depuis l'antiquité comme lieu de passage et de fixation militaires ; il donne accès au massif du Djurdjura et domine la vallée du Sébaou.

La Kabylie en général, et la région de Tizi-Ouzou en particulier, sont principalement connues pour leur histoire récente, marquée par la résistance et les chefs de guerre qui ont laissé leur empreinte dans la révolution, tels que Lalla Fatma N'Soumeur et Amirouche.

Face aux nombreuses invasions qu'a connues cette région au fil de son histoire, la population, préoccupée par sa survie, a trouvé refuge aux pieds des montagnes en construisant des villages isolés et dispersés. C'est ainsi que le terme "Kabylie" est devenu associé à ce style architectural spécifique.

BORDJ-SEBAOU est un témoin parlant du passage Turc en Kabylie. En effet, il aurait servi comme siège administratif pour le prélèvement d'impôts sur les revenus des récoltes d'olives et figues que cultivait principalement la population à l'époque. Ce point stratégique garde son importance en donnant naissance à un pôle commercial « Souk Sebt » et constitue pour les français un point de départ pour l'installation des colons faisant fuir la population vers les montagnes.

La wilaya de Tizi-Ouzou constitua un haut lieu de la guerre de libération nationale (1954-1962) et la prestigieuse Wilaya III fût le théâtre des célèbres opérations « jumelle » et « oiseau bleu » menées par l'armée coloniale française.

III.2 Présentation de la wilaya :

La wilaya de Tizi-Ouzou est une wilaya côtière, elle se situe dans la partie nord centre de l'Algérie. Le chef-lieu de la wilaya (la ville de Tizi-Ouzou) se trouve à une centaine de Kilomètres à l'Est d'Alger, la capitale. Schématiquement, cette région est un vaste bastion

constitué d'une succession de chaîne de montagnes toute d'orientation général Est Ouest et qui emprisonnent des plaines alluviales étroites. Elle est comprise entre les coordonnées angulaires suivantes :

- 36° 28' latitude Nord
- 36° 55' latitude Nord Est
- 03° 45' longitude Est
- 04° 31' longitude Est

Les limites naturelles de la wilaya de Tizi-Ouzou se présentent ainsi :

- Au nord : la mer méditerranée
- Au sud : la chaîne cristalline du Djurdjura
- A l'est : le massif de l'Akdafou
- A l'Ouest : des collines et des vallées.

Pour ce qui est des limites administratives, la wilaya de Tizi-Ouzou est délimitée par :

- Au nord la mer méditerranée,
- A l'est, la wilaya de Bejaia,
- A l'ouest, la wilaya de Boumerdes,
- Au sud, la wilaya de Bouira.

Selon le dernier découpage administratif réalisé en 1984, la wilaya de Tizi Ouzou est divisée en 67 Communes et 21 Daïras. Le chef-lieu de la Wilaya est la Ville de Tizi-Ouzou, peuplée d'environ 1 341 147 habitants.

Tableau 6 : Répartition des Daïra

Source : DPSB

DAIRA	NOMBRE DE COMMUNE	SUPERFICIE	
		KM2	%
TIZI OUZOU	1	102,36	3,46%
A. EL HAMMAM	4	144,89	4,90%
AZAZGA	5	360,27	12,18%
AZEFFOUN	4	319,01	10,78%
BENI DOUALA	4	102,35	3,46%
BENI YENNI	3	82,74	2,80%
BOGHNI	4	122,13	4,13%
BOUZEGUENE	4	209,97	7,10%
D.BEN KHEDDA	4	172,23	5,82%
D. EL. MIZAN	4	239,21	8,09%
L.N.IRATHEN	3	86,73	2,93%
IFERHOUNEN	3	84,47	2,86%
MAATKAS	2	66,15	2,24%
MAKOUDA	2	92,37	3,12%
MEKLA	3	129,25	4,37%
OUACIFS	3	74,99	2,54%

OUADHIAS	4	139,54	4,72%
OUAGUENOUN	3	141,21	4,77%
TIGZIRT	3	166,38	5,62%
TIZI GHENIFF	2	76,91	2,60%
TIZI RACHED	2	44,79	1,51%
TOTAL WILAYA	67	2 957,94	100

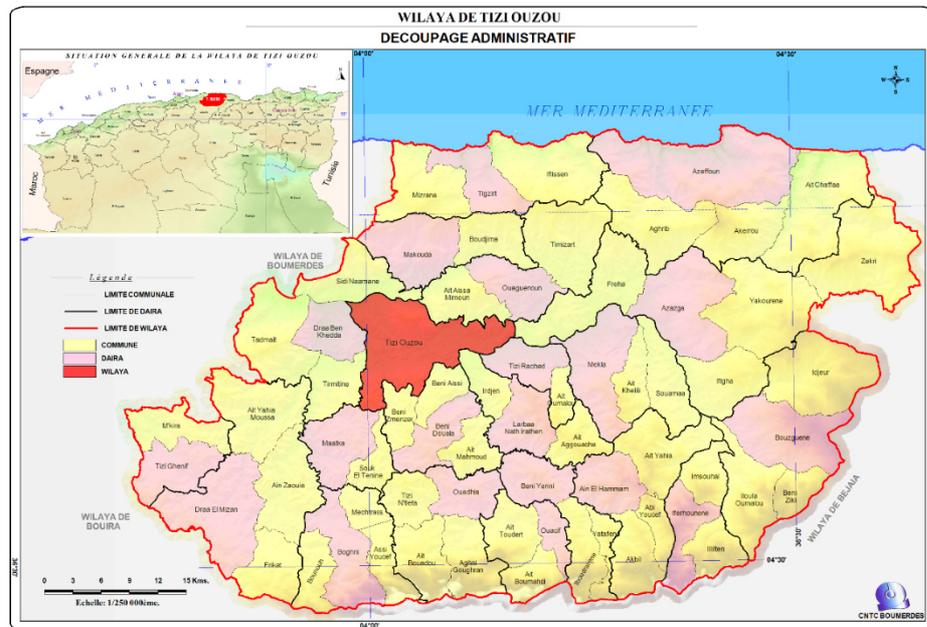


Figure 3.1 : Carte démontrant le découpage administratif de la wilaya de Tizi-Ouzou

Source : DPSB

III.3 Air d'influence des villes de la wilaya de Tizi-Ouzou :

La wilaya de Tizi-Ouzou abrite un ensemble de villes qui jouent un rôle crucial dans leur région respective. La Direction de la Planification et de la Statistique de la Wilaya (DPSB), a identifié quatre aires d'influence distinctes dans la région. Il est donc essentiel d'explorer l'étendue de l'influence de ces régions et de mettre en évidence les fonctions et les équipements clés qu'elles offrent.

En les analysant, nous pourrions appréhender l'impact significatif qu'elles exercent sur les régions environnantes. Chacune de ces villes présente des caractéristiques et des dynamiques spécifiques qui contribuent à façonner leur influence territoriale. Leur importance économique, sociale et culturelle se manifeste à travers diverses activités et infrastructures.

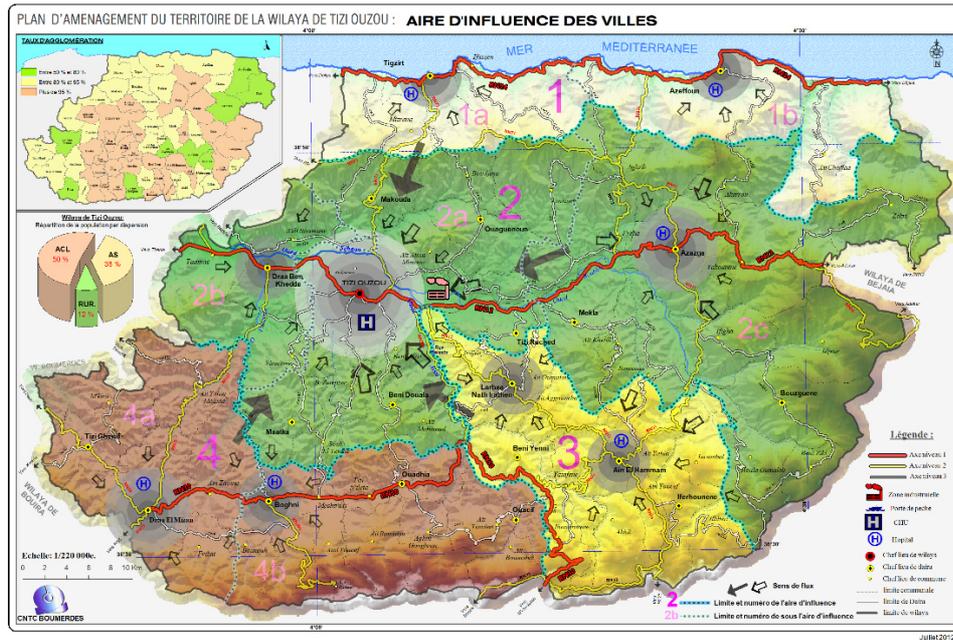


Figure 3.2 : Carte démontrant les zones d'influences de la Wilaya

Source : DPSB

III.3.1 Le couloir de développement Ouest – Est :

La vallée du Sébaou en Algérie abrite un couloir de développement Ouest-Est structuré par les communes urbaines de Tadmait, Draa Ben Khedda, Tizi-Ouzou et Azazga, le long de la route nationale 12 (RN12). Cet axe connaît une croissance urbaine et démographique importante, concentrant ainsi les activités industrielles, les équipements et les services. Cependant, malgré sa dépendance vis-à-vis de l'aire métropolitaine d'Alger et des villes de l'Ouest telles que Boumerdès, Réghaia, Rouiba et Alger, il présente une articulation fonctionnelle limitée vers l'Est, notamment vers Bejaia.

Cette région est actuellement confrontée à d'énormes pressions, étant le principal bassin d'emploi de la wilaya. De plus, elle abrite les terres agricoles les plus fertiles, menacées par l'urbanisation incontrôlée, entraînant une saturation des principales villes de la vallée du Sébaou.

III.3.1.1 Aire d'influence de la ville de Tizi-Ouzou :

La ville de Tizi-Ouzou occupe une position prépondérante en tant que ville de commandement, étant le chef-lieu de la wilaya, de la daïra et de la commune. Depuis l'indépendance, elle abrite les sièges administratifs, financiers et sociaux importants, tels que ceux des institutions gouvernementales, des banques, des compagnies d'assurances et des douanes. De plus, elle est le siège social de grandes entreprises telles que l'ENIEM et DJEZZY GSM. Cette concentration de fonctions administratives et économiques renforce la position de Tizi-Ouzou en tant que centre de commandement régional.

En tant que ville universitaire, Tizi-Ouzou est le 4ème centre universitaire du pays, avec une université accueillant environ 55 921 étudiants. Cette présence universitaire offre de nombreux avantages à la ville, tels que l'accès à une main-d'œuvre qualifiée pour l'administration et les secteurs socio-économiques, la recherche scientifique bénéficiant aux entreprises locales, ainsi que la diffusion du savoir qui favorise l'évolution des mentalités de la population locale et des régions avoisinantes. De plus, ces dernières années, on peut constater le développement d'écoles privées spécialisées dans les domaines de l'informatique, du marketing, du commerce et de l'hôtellerie, contribuant ainsi davantage à l'offre éducative de la ville.

En tant que ville commerciale, Tizi-Ouzou conserve son héritage en tant que souk traditionnel et constitue un important centre commercial. Elle compte près de 33% des commerçants recensés dans la wilaya et environ 54% des grossistes distributeurs de la région. Cette concentration de commerces renforce l'activité économique de la ville et son influence dans le domaine commercial. La ville de Tizi-Ouzou est également un pôle de santé majeur de la région. Le centre hospitalo-universitaire de Tizi-Ouzou, qui dessert une population théorique de 3,2 millions d'habitants, englobant les wilayas voisines. Ce centre offre des services médicaux spécialisés dans des domaines tels que la cardiologie, l'oncologie et la sérologie, attirant des patients en provenance de plusieurs autres wilayas du pays. En outre, la ville compte 12 des 15 cliniques privées de la wilaya, offrant une capacité totale de 180 lits. Certaines de ces cliniques bénéficient d'une renommée qui dépasse les limites de la wilaya et accueillent des patients des wilayas environnantes.

Tizi-Ouzou se distingue également par sa richesse culturelle, ses activités de loisirs et ses installations sportives. Elle possède un complexe omnisport, un stade de football, une piscine olympique, la maison de la culture "Mouloud Mammeri" avec une salle de spectacle de 1000 places, le théâtre "Kateb Yacine" et plusieurs maisons de jeunes. Elle accueille chaque été un Festival international de Chant et de Danse populaire, un festival Panarab, ainsi que le festival du film Amazigh depuis 2009. Ces événements culturels et artistiques renforcent la renommée de la ville et attirent un public régional et national.

En résumé, l'aire d'influence de la ville de Tizi-Ouzou dépasse largement les limites de sa wilaya, grâce à ses fonctions de ville de commandement, universitaire, commerciale, de santé, culturelle, de loisirs et de sports. Sa concentration d'institutions administratives, d'établissements d'enseignement supérieur, d'entreprises, de centres médicaux et d'infrastructures culturelles en fait un centre régional dynamique et attractif.

III.3.1.2 Aire d'influence de la ville de Draa Ben Khedda :

Draa Ben Khedda, en tant que deuxième plus grande agglomération urbaine avec 81128 habitants, constitue un prolongement naturel de la ville de Tizi-Ouzou en raison de sa proximité géographique. Son aire d'influence se limite aux communes administrativement rattachées à sa daïra, à savoir Tadmait, Sidi Naaman et Tirmatine. Bien qu'elle abrite des zones d'activités avec plusieurs unités, elle ne génère qu'un nombre limité d'emplois. Draa Ben Khedda a établi deux centres médicaux de dimension régionale, spécialisés en cardiologie pédiatrique et en oncologie, ce qui élargira ainsi son aire d'influence et réduira sa dépendance vis-à-vis de Tizi-Ouzou.

III.3.1.3 Aire d'influence de la ville d'Azzazga :

La ville d'Azazga, occupe une position stratégique à l'extrême EST de la vallée du Sebaou et forme avec Draa Ben Khedda et Tizi-Ouzou l'axe structurant de la wilaya. Bien qu'elle ne dispose pas d'équipements structurants majeurs, Azazga abrite une zone d'activité et un hôpital, ainsi qu'un important centre commercial aménagé dans les anciennes galeries algériennes. Son influence s'étend au-delà des limites de sa daïra et englobe les communes de Bouzeguene, Azzefoune et Mekla.

L'agglomération urbaine de Maatka, en revanche, ne dispose pas d'équipements structurants significatifs, à l'exception de certains centres de soins de proximité et d'établissements éducatifs. Son influence se limite à l'encadrement administratif des communes de sa daïra. La taille de cette agglomération résulte de la fusion, en 1998, de plusieurs agglomérations secondaires.

III.3.2 La dépression de Draa El Mizan :

La dépression de Draa El Mizan, située dans la partie Sud-Ouest de la wilaya, offre de nombreuses opportunités dans les secteurs agricoles, notamment grâce au périmètre irrigué de DEM, ainsi que dans le domaine du tourisme grâce au site touristique de Thala Guilef. Cette zone est structurée par la RN 30, elle est polarisée par deux agglomérations urbaines principales, à savoir Draa El Mizan et Boghni, qui disposent d'infrastructures telles qu'un hôpital et des zones d'activités.

L'une des principales problématiques de cette région concerne la préservation des terres agricoles, qui subissent une forte pression en raison de l'urbanisation croissante. Une autre problématique concerne la valorisation des sites touristiques afin de diversifier les opportunités d'emploi, en particulier dans les communes du sud qui manquent d'infrastructures, et ainsi réduire les déplacements fréquents entre la plaine et la montagne.

III.3.3 Les pôles de Larbaa Nath Irathen et Ain El Hammam :

Les pôles de Larbaa Nath Irathen et Ain El Hammam sont situés au cœur du massif central, à la limite du Djurdjura. Ils sont articulés par la RN 15, qui relie la ville de Tizi-Ouzou à la wilaya de Bouira en passant par le col de Tirourda. Ces deux agglomérations exercent une influence sur les communes environnantes, telles que Iboudraren, Béni Yenni, Ait Oumalou, Ait Agouacha, Ait Yahia, Imsouhal, Ifarhounen, Illilten, Abi Youcef, Akbil, Yatafen, et une partie de Irdjen, grâce à leurs activités commerciales et de services.

Cette région montagneuse et densément peuplée connaît actuellement des transformations socio-économiques profondes. Malgré sa nature majoritairement rurale, l'agriculture ne joue qu'un rôle limité dans son économie, ce qui crée un paradoxe.

Un autre changement notable concerne la transformation des villages, qui connaissent une forme d'urbanisation fragmentée. Cela entraîne des phénomènes de conurbation et la création d'entités urbaines peu cohérentes, ce qui complique la gestion de la région. De plus, le réseau routier est peu performant en raison du relief difficile, ce qui limite la mobilité et la connectivité avec les pôles économiques de la wilaya ainsi qu'avec les wilayas voisines (Bejaia et Bouira).

III.3.4 Le littoral :

La bande littorale de cette région est caractérisée par la présence de deux principaux pôles urbains : Tizirt et Azeffoun. Cependant, ces deux villes sont peu connectées entre elles en raison du faible développement urbain et de l'état de la route nationale 24 qui les relie.

On peut distinguer deux sous-zones le long de la bande littorale, qui présentent un niveau d'équipement similaire. L'influence du pôle urbain de Tizirt se limite aux communes d'Iflissen et de Mizrana, tandis que l'influence du pôle d'Azeffoun se limite à la commune d'Ait Chaffa.

La problématique de cette région est qu'elle est considérée comme la moins peuplée de la wilaya. Toutefois, elle possède des potentialités naturelles importantes telles que le tourisme et les produits de la mer, qui sont actuellement peu exploités. Afin de promouvoir un développement harmonieux de cet espace, il est nécessaire de prendre en compte les ressources naturelles disponibles, tout en respectant les lois régissant l'aménagement du littoral.

III.4 Les infrastructures de transport de la wilaya de Tizi-Ouzou :

La wilaya de Tizi-Ouzou est dotée d'un réseau de transport qui comprend des infrastructures routières, ferroviaires et portuaires. Cependant, malgré certaines améliorations, ces infrastructures restent limitées et nécessitent des investissements supplémentaires pour répondre aux besoins de mobilité croissants de la population et favoriser le développement économique de la région.

III.4.1 Le réseau routier :

Le réseau routier de la wilaya de Tizi-Ouzou est composé de routes nationales, de chemins de wilaya et de chemins communaux. Avec un linéaire total de 4 809,126 km, il assure la connexion de la wilaya au réseau routier national. Les routes nationales s'étendent sur 621,213 km, les chemins de wilaya sur 639,913 km et les chemins communaux sur 3 548,000 km.

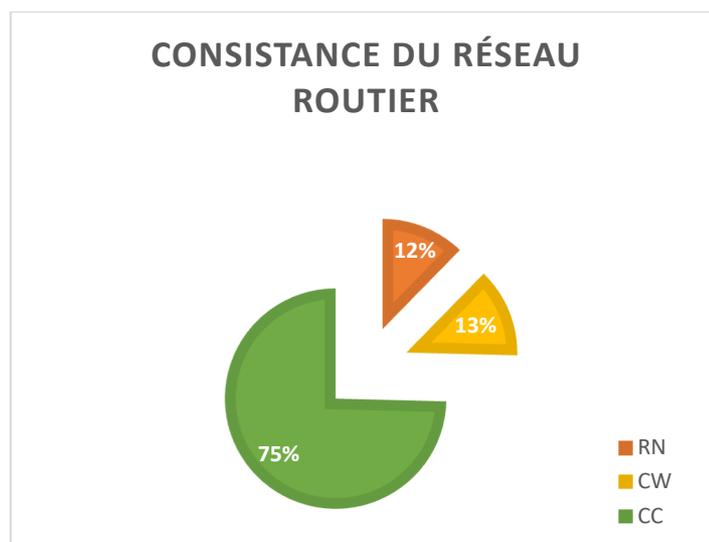


Figure 3.3 : Consistance du réseau routier

Source : DPSB

Les chemins communaux représentent 75% du réseau global, ils se trouvent à la base du réseau routier et raccordent toutes les agglomérations isolées aux axes principaux assurant ainsi la liaison avec les lieux centraux.

Le réseau routier de la wilaya présente des problèmes importants. Les pentes dans les chemins communaux dépassent souvent 12%, ce qui rend la circulation difficile. De plus, le manque d'entretien entraîne des dégradations importantes.

En raison de la topographie, du climat et de la densité du trafic, le réseau routier de la wilaya subit d'importantes détériorations tant au niveau de ses routes principales qu'au niveau des routes communales. Selon la direction des travaux publics, certaines routes nationales (RN) et chemins de wilaya (CW), même avec un revêtement, ne répondent pas aux normes de sécurité et de confort en termes de caractéristiques (fortes pentes, sinuosité, chaussées étroites, etc.). Les responsables affirment que certaines sections de routes ont atteint leur capacité maximale et nécessitent des travaux d'élargissement et de modernisation. Cela concerne notamment les routes nationales suivantes :

- RN12 (axe Tizi-Ouzou - Azazga)
- RN72 reliant le chef-lieu de wilaya à Tizirt au nord
- RN30 reliant Draa el Mizane à Beni Yenni
- RN15 reliant Oued Aissi (carrefour RN12) au col de Tirourda au sud, en passant par les communes de Larbaa Nait Irathen et Ain El Hammam

Le réseau routier de la wilaya de Tizi-Ouzou s'articule autour de :

- L'axe central : la RN 12
- La RN 30 au Sud
- La RN 24 au Nord

L'axe central constitue une voie d'accès vers les wilayas limitrophes : Boumerdes et Béjaia, il permet aussi de relier les pôles les plus importants de la wilaya dans le couloir de Sébaou qui est considéré comme le principal couloir d'urbanisation de la wilaya et où se concentrent les principales activités socio-économiques (DBK, Tizi-Ouzou et Azazga). La RN 12 enregistre le plus grand trafic routier de la wilaya et dessert une population urbaine de 174 000 (RGPH 2008) habitants, représentant près de 35% de la population urbaine totale de la wilaya.

La RN 12 est le lieu d'aboutissement des autres routes nationales.

- La RN 72 qui relie la ville de Tizi-Ouzou à la RN 24 et l'agglomération urbaine de Tizirt sur le littoral
- La RN 15 qui relie la ville de Tizi-Ouzou aux agglomérations urbaines de Larbaa Nath Irathen et Ain El Hammam
- La RN 30A qui relie la ville de Tizi-Ouzou à la principale agglomération urbaine de la dépression de Draa El Mizan via la RN 30
- La RN 25 qui relie la ville de Draa Ben Khedda à l'agglomération urbaine de Draa El Mizane

III.4.2 Le réseau ferroviaire :

Malgré les avantages qu'il offre en termes de capacité de transport, le réseau ferroviaire de la wilaya de Tizi-Ouzou est pratiquement inexistant. Il se résume à une seule ligne de 34 km reliant

les agglomérations de Tizi-Ouzou, Drâa-Ben-Khedda et Tadmaït à la ville de Thenia, dans la wilaya de Boumerdes. Cette ligne, bien qu'elle soit située sur l'axe Tizi-Ouzou-Alger et bénéficie d'une forte demande de transport de voyageurs, ne propose qu'une seule rotation quotidienne entre Tizi-Ouzou et Alger.

III.4.3 Infrastructure portuaire :

Bien que disposant d'une importante façade maritime, la wilaya de Tizi-Ouzou ne possède que deux installations portuaires : le port mixte de pêche et de commerce d'Azeffoun, ainsi que le port mixte de pêche et de plaisance de Tigzirt. Toutefois, il convient de souligner que ces deux ports n'ont pas une influence significative sur l'accessibilité et la mobilité de la wilaya, étant donné qu'ils ne proposent pas de services de transport pour les voyageurs.

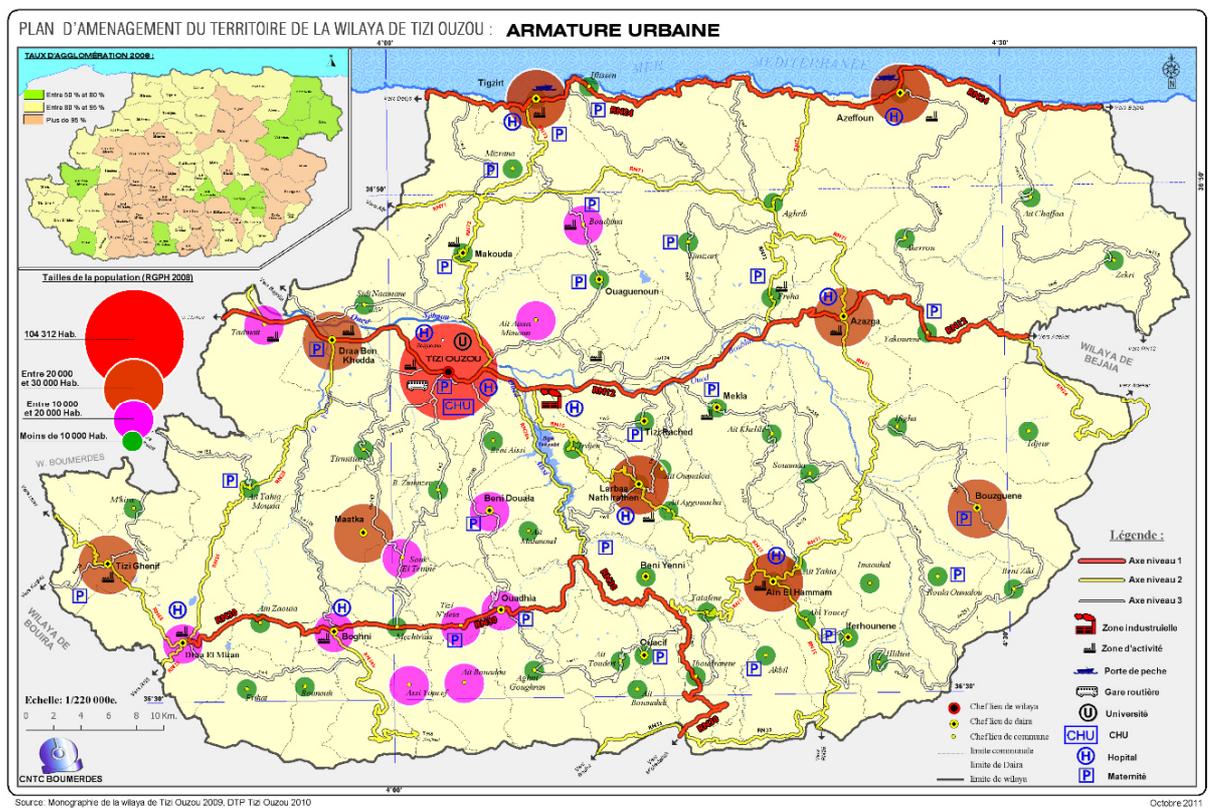


Figure 3.4 : Armature de la Wilaya

Source : DPSB

III.5 Les enjeux et les perspectives :

La wilaya de Tizi-Ouzou fait face à plusieurs défis en matière d'infrastructures de transport. La principale préoccupation concerne l'amélioration et l'entretien du réseau routier, en particulier des chemins communaux qui représentent une part importante du maillage routier. Il est

essentiel d'investir dans la réhabilitation et la modernisation de ces routes pour assurer une meilleure connectivité et faciliter les déplacements des habitants.

En ce qui concerne le réseau ferroviaire, il est nécessaire de développer des initiatives visant à étendre et à moderniser les infrastructures existantes.

Pour ce qui est des infrastructures portuaires, il est crucial de développer des installations capables de répondre aux besoins de transport de marchandises et de passagers. Des investissements dans les ports existants ainsi que la construction de nouveaux ports pourraient contribuer à dynamiser l'économie locale et à faciliter les échanges commerciaux.

Le développement des infrastructures de transport dans la wilaya de Tizi-Ouzou ne se limite pas seulement à la construction de routes, à l'expansion du réseau ferroviaire et à l'amélioration des ports. Il est également important de prendre en compte d'autres modes de transport durables tels que les transports en commun. L'amélioration des réseaux de transports en commun, tels que les bus et les minibus, peut contribuer à réduire la congestion routière et à promouvoir des déplacements plus respectueux de l'environnement.

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a offert un aperçu succinct de la Wilaya de Tizi Ouzou, mettant en lumière ses caractéristiques démographiques, ses principales aires d'influences et ses enjeux de transport. Les informations recueillies dans ce chapitre serviront de fondement solide pour la compréhension et l'analyse des résultats du travail de modélisation et de planification qui seront détaillés dans le dernier chapitre.

Chapitre 4 : Application du processus de planification en utilisant TransCAD

IV.1 Introduction de TransCAD :

Le logiciel TransCAD, développé par la société américaine Caliper Corporation, est un système de gestion et d'analyse de données de transport. Il intègre diverses procédures et outils de modélisation pour répondre aux exigences de prévision du trafic. Il comprend un système d'information géographique intégré pour le transport (SIG-T) et une base de données relationnelle capable de traiter de grandes quantités de données. TransCAD, l'un des premiers logiciels de système d'information géographique pour la planification du trafic, propose une large gamme d'outils, tels que des cartes numériques, la gestion des données géographiques, les coordonnées géographiques et des applications complexes de planification du trafic utilisant des modèles de recherche opérationnelle ou statistiques (Timmermans, 1996).

IV.1.1 Pourquoi utiliser TransCAD :

En pratique, TransCAD simplifie l'application de la méthode en quatre étapes en gérant les calculs de prévision, permettant aux prévisionnistes de se concentrer sur la compréhension des modèles de prévision, la réalisation d'enquêtes sur le réseau routier et le calcul des données attributaires. Cette approche réduit l'analyse manuelle et les calculs lourds traditionnellement nécessaires pour la prévision du trafic.

En utilisant TransCAD, les planificateurs de trafic peuvent efficacement relever les défis posés par la prévision du trafic dans des zones à grande échelle avec des réseaux routiers complexes et de multiples interférences. Le logiciel fournit une représentation visuelle des résultats de prévision sous forme de tableaux et de cartes thématiques, facilitant l'édition, la vérification et offrant une forte visualisation, une intuitivité et une efficacité élevées.

IV.1.2 Composantes de TransCAD :

TransCAD regroupe de nombreuses composantes en un seul package (Caliper Corporation, 2002) :

- Un système d'information géographique (SIG) complet qui permet d'analyser et de cartographier des systèmes de transport à l'échelle du quartier, de la ville, de l'État, du pays ou du monde entier.
- Une gamme de fonctionnalités pour afficher, éditer et analyser vos propres données.
- Un puissant gestionnaire de base de données relationnelle intégré avec des méthodes pour lier les données incluses à vos propres données.
- Un ensemble d'outils pour analyser, interpréter et créer des graphiques et des présentations de transport efficaces à l'aide de cartes.
- Une suite d'applications complète pour la planification des transports, l'acheminement des véhicules et la logistique de distribution.

IV.1.3 Maps, Dataviews, Matrices et Figures :

TransCAD affiche des informations sur l'écran d'ordinateur dans quatre types de fenêtres : Map (cartes), Dataview (vues de données), Matrix (matrices) et Figure (figures). Chacune est affichée dans une fenêtre séparée, et chacune peut être enregistrée pour une utilisation ultérieure dans des fichiers séparés.

- i. Les cartes montrent des caractéristiques géographiques et leurs attributs dans une version électronique d'une carte papier.
- ii. Les vues de données affichent des informations provenant de fichiers géographiques, de bases de données ou de feuilles de calcul sous forme de tableau. Il est également possible d'utiliser les vues de données pour relier des données personnelles à des éléments sur une carte.
- iii. Les matrices sont généralement utilisées pour afficher des données de transport (plus courts chemins, matrices O-D...etc) et autres données stockées dans des matrices.
- iv. Les figures montrent des données tabulaires sous forme de prismes, de cartes 3D et de graphiques, des diagrammes à barres...etc.

IV.2 Zonage et réseau :

IV.2.1 Zonage :

Le zonage utilisé dans le cadre de cette étude est basé sur le découpage administratif de la wilaya de Tizi Ouzou en Algérie. Chaque TAZ correspond à une commune.

Nous sommes contraints d'utiliser ce système de zonage car il s'agit du seul découpage qui nous permet d'attribuer correctement les données socioéconomiques à chaque zone.

En utilisant le découpage administratif, nous garantissons une correspondance directe entre les données socioéconomiques disponibles et les zones analysées. Cela nous permet d'obtenir une vision détaillée et fidèle des réalités spécifiques à chaque commune.

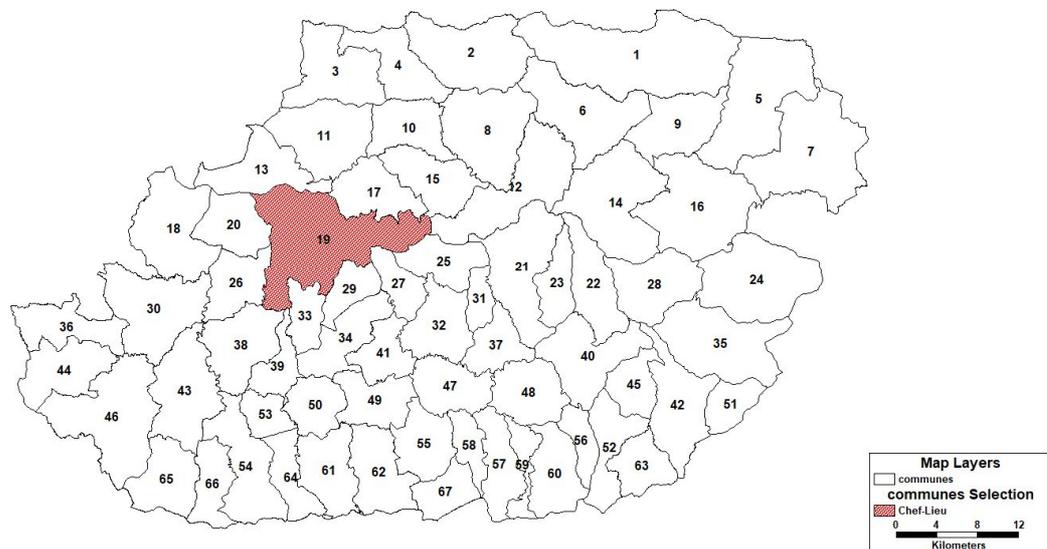


Figure 4.1 : Zonage par découpage administratif

Source : Réalisation de l'étudiant

 **NB** : Voir l'annexe pour reconnaître les identifiant des zones (communes)

IV.2.2 Réseau :

Le réseau routier utilisé dans cette étude a été extrait à partir des bases de données de OpenStreetMap (OSM) grâce à l'outil <https://extract.bbbike.org>.

IV.2.2.1 Qu'est-ce qu'est OSM :

OpenStreetMap est une base de données géographique gratuite et ouverte, mise à jour et entretenue par une communauté de bénévoles. Les contributeurs collectent des données à partir d'enquêtes, tracés d'images aériennes et d'autres sources de données géographiques sous licence libre. OSM utilise sa propre topologie pour stocker les éléments géographiques, qui peuvent ensuite être exportés dans d'autres formats de fichiers SIG. Le site web d'OpenStreetMap lui-même est une carte en ligne, un moteur de recherche géodonnées et un éditeur.

IV.2.2.2 Classification des routes selon OSM :

La clé principale "highway" est utilisée pour identifier tout type de route, rue ou chemin. La valeur de la clé permet d'indiquer l'importance de la route au sein du réseau routier dans son ensemble. Ci-dessous est une liste ordonnée par ordre d'importance, des classification des routes utilisées par OSM (*OpenStreetMap Wiki*, s. d.) :

- Motorway : Une autoroute à accès restreint majeure, généralement avec 2 voies de circulation ou plus ainsi qu'une bande d'arrêt d'urgence. Équivalent à une autoroute, une Autobahn, etc...
- Trunk : Les routes les plus importantes dans le système routier d'un pays qui ne sont pas des autoroutes (N'ont pas nécessairement besoin d'être des voies séparées)
- Primary : Les routes suivantes les plus importantes dans le système routier d'un pays. Relient souvent de grandes villes
- Secondary : Les routes suivantes les plus importantes dans le système routier d'un pays. Relient souvent des villes modestes.
- Tertiary : Les prochaines routes les plus importantes dans le système routier d'un pays. Relient souvent des villages.
- Residential et Unclassified : Les routes les moins importantes dans le système routier d'un pays. Elles relient souvent des villages et des hameaux (Unclassified) et servent d'accès aux logements (Residential).

IV.2.2.3 Préparation du réseau :

En entend par préparation du réseau la correction des problèmes de connectivité des couches linéaires sur TransCAD (Line Layer Connectivity). Ce problème fait référence au défi d'établir une connectivité appropriée entre les entités linéaires (les routes) au sein d'un ensemble de données de réseau de transport.

La connectivité est essentielle pour une analyse et une modélisation précise du réseau dans TransCAD. Elle garantit que le réseau de transport se comporte comme prévu, permettant un routage correct, des calculs de temps de trajet et une analyse spatiale adéquate. Des incohérences ou des lacunes dans la connectivité peuvent entraîner des résultats inexacts et entraver l'efficacité de la planification et de l'analyse des transports.

Le problème de connectivité des couches linéaires se pose généralement en raison de problèmes tels que des segments linéaires manquants ou déconnectés, des entités incorrectement digitalisées ou des erreurs de compilation des données. Ces problèmes peuvent survenir lors du processus de création des données ou lors de l'intégration de données provenant de différentes sources (ce qui est le cas de notre démarche). Pour les résoudre, il est essentiel de revoir et de valider soigneusement les données de la couche linéaire.

On a dû donc simplifier le réseau extrait, en ne gardant que les routes les plus importantes (Motorway, Trunk, Primary et Secondary) pour pouvoir réalister adresser ce problème.

Motorway et Trunk représentant les routes nationales

Primary les chemins de wilaya ainsi que certains segments des routes nationales

Secondary pour les chemins communaux

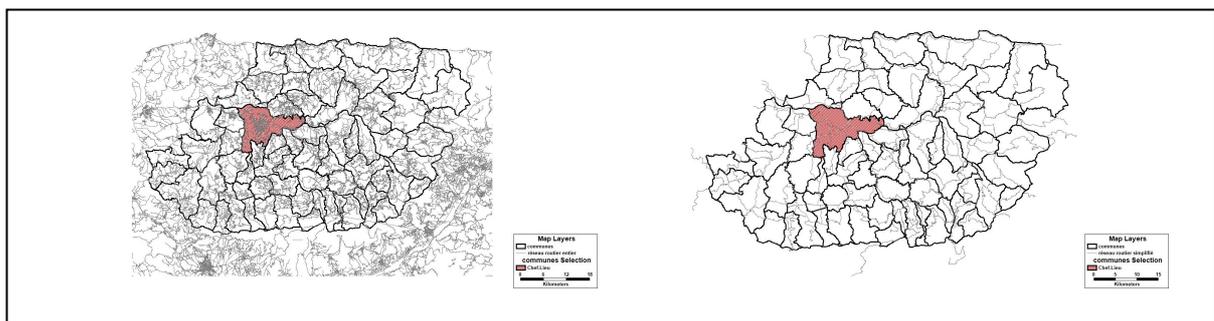


Figure 4.2 : Réseau avant et après simplification

Source : Réalisation de l'étudiant

🚦 **NB** : Cette simplification nous a permis de réduire les nœuds à problèmes de 25 000~26 000 à seulement 1000~2000.

IV.3 Enquête Réalisée :

IV.3.1 Pourquoi une enquête :

La démarche à quatre étapes nécessite généralement l'usage de modèles qui dépendent de données appropriées. Ces données proviennent habituellement d'enquêtes de transports réalisées dans la zone d'étude (voir Chapitre 2 – Tableau 1). Malheureusement, aucune enquête de ce type n'a été menée dans la région de Tizi-Ouzou. En effet, le premier et le dernier plan de transport de la wilaya datent de 2008 et ne contiennent malheureusement pas de données exploitables, telles que les flux entrants-sortants des communes ou les matrices O-D, par exemple.

Étant donné l'importance d'obtenir des informations actualisées pour notre analyse, il a été nécessaire de mener une enquête restreinte à l'aide d'un questionnaire en ligne (voir dans l'annexe). Il était impératif de recueillir des données récentes directement auprès des utilisateurs du système de transport, compte tenu de nos ressources limitées qui ne permettaient pas de réaliser une enquête de transports complète.

Cependant, grâce à ce questionnaire en ligne, nous avons pu collecter des données pertinentes sur les déplacements, les préférences et les besoins des usagers, afin de pallier les lacunes du

plan de transport obsolète. Cette enquête nous a fourni une source précieuse d'informations actualisées pour enrichir notre étude et prendre des décisions plus éclairées.

IV.3.2 Résultats principaux de l'enquête :

L'enquête réalisée était axée autour de trois questions principales : le nombre moyen de déplacements effectués par jour, les destinations fréquentées et les moyens de transport utilisés. En analysant ces données, nous avons pu obtenir une vision précise des habitudes de déplacement des utilisateurs, les destinations privilégiées ainsi que les modes de transport prédominants. Ces résultats nous auront servis de référentiel tout le long de notre travail de planification.

IV.3.2.1 Résultats concernant le nombre de déplacements :

L'enquête montre que les déplacements par personne et par jour tournent autour d'une moyenne de 2.2 déplacements.

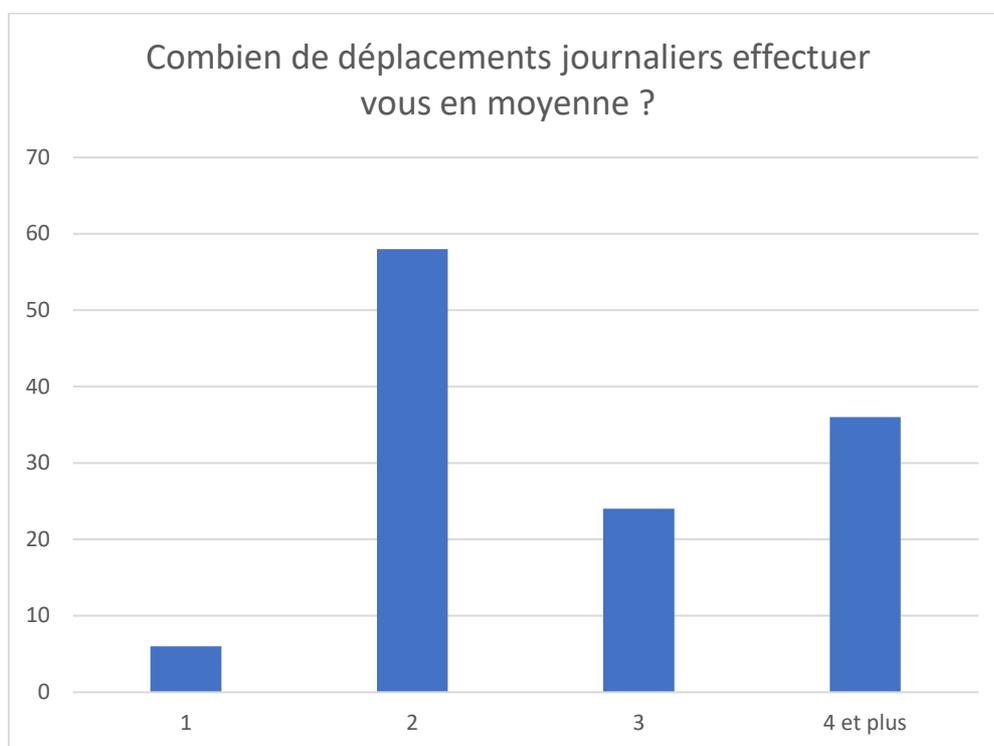


Figure 4.3 : Résultats de l'enquête – nombre de déplacements par jour

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.3.2.2 Résultats concernant les destinations fréquentes :

La destination préférée par une large majorité est indiscutablement Tizi-Ouzou. Cette observation n'est pas vraiment surprenante étant donné que la commune de Tizi-Ouzou occupe le statut de chef-lieu de la wilaya et concentre une part considérable des opportunités d'emploi de la région.

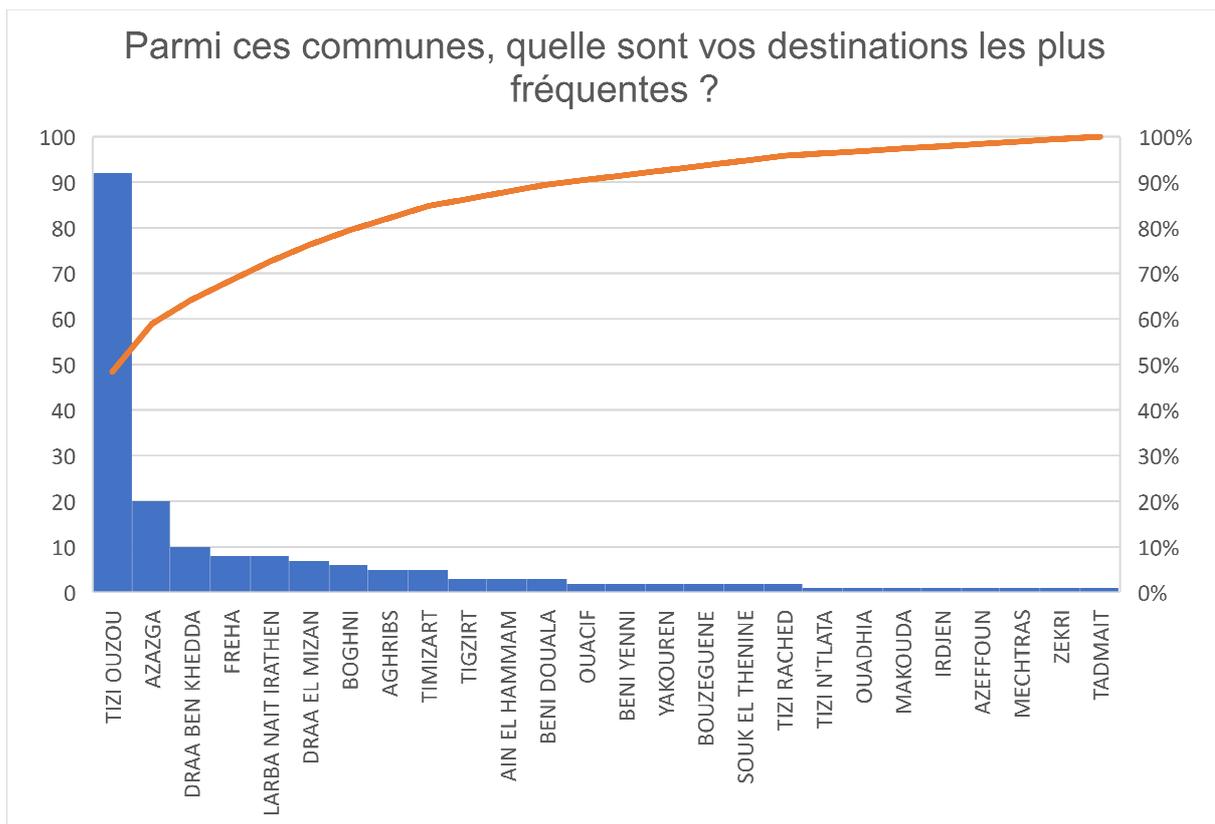


Figure 4.4 : Résultat de l'enquête – choix des destinations

Source : réalisation de l'étudiant

IV.3.2.3 Résultats concernant les choix de modes de déplacements :

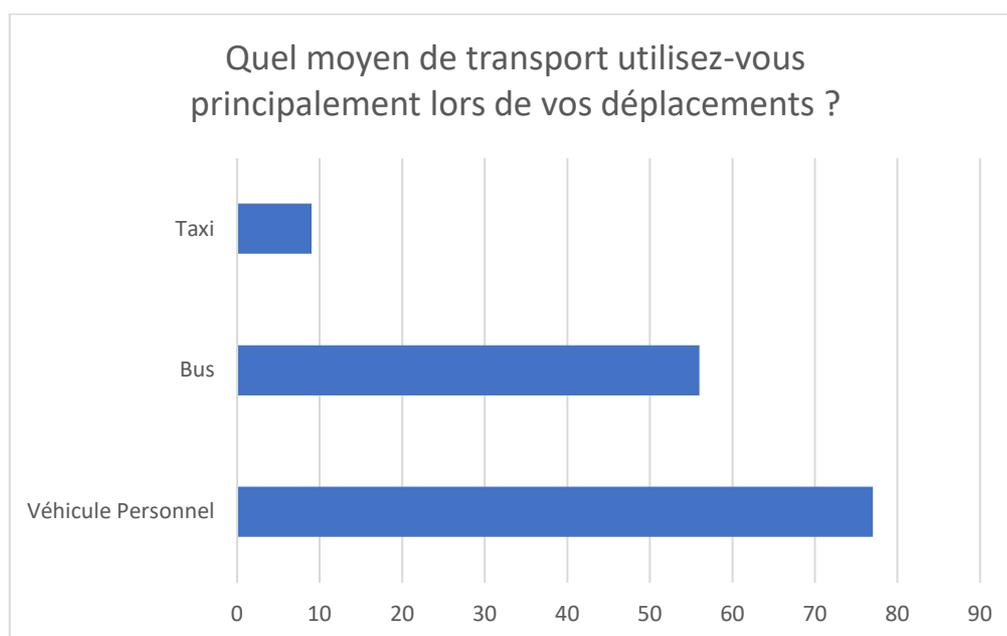


Figure 4.5 : Résultat de l'enquête – choix des modes de déplacements

Source : Réalisation de l'étudiant

L'observation qui se dégage de manière évidente à la lumière des résultats de l'enquête concernant les préférences en matière de modes de déplacement est la faible utilisation des taxis. En revanche, les bus et les véhicules personnels quant à eux, sont très utilisés avec une légère préférence pour les VP.

- ✚ **NB** : Une autre constatation importante est que seulement 5% des répondants ayant déclaré posséder un véhicule personnel ont mentionné le bus comme mode de déplacement. Cette constatation pourrait indiquer une performance limitée des systèmes de transport collectif présents dans la wilaya.

IV.4 Application de l'approche à quatre étapes :

IV.4.1 Génération des déplacements :

Pour la génération des déplacements, deux méthodes ont été utilisées. Les modèles de régression multiples pour les émissions, et un modèle catégoriel pour les attractions. Les motifs de déplacements présentés dans ce travail sont les suivants :

- **HBW** : Home Based Work, inclut les déplacements domicile-travail et domicile-éducation
- **HBO** : Home Based Other, inclut tous les déplacements, autre que les déplacements HBW, ayant comme extrémité le domicile
- **NHB** : Non Home Based, inclut tous les déplacements non liés au domicile

IV.4.1.1 Génération des émissions :

Les fonctions de régression établies sont les suivantes :

- a) $HBW_P = 0.1 * [\text{Nombre d'écopiers}] + 0.1 * [\text{Nombre de collégiens}] + 0.3 * [\text{Nombre de lycéens}] + 1.1 * [\text{Population Active}]$

Le choix de cette formule a été basé sur les éléments suivants :

- **Prise en compte des motifs de déplacement domicile-travail** : Cette formule spécifiquement axée sur le motif de déplacement domicile-travail (Home-Based Work) intègre les effectifs des écoliers, des collégiens, des lycéens et de la population active. Ces groupes démographiques sont particulièrement pertinents car ils représentent les acteurs clés des déplacements quotidiens pour aller au travail ou à l'école
- **Poids attribué à chaque groupe démographique** : Les coefficients appliqués à chaque groupe démographique dans la formule reflètent leur contribution relative aux émissions de déplacement domicile-travail. Par exemple, les écoliers et les collégiens sont pondérés à 0.1, ce qui tient compte de leur impact potentiellement moindre par rapport à d'autres groupes tels que la population active, qui est pondérée à 1.1

- b) $HBO_P = 0.5 * [\text{Population de 16 à 60 ans}] + 0.1 * [\text{Population de plus de 61 ans}] - 2 * [\text{Densité de Population}] + 0.1 * [\text{Offre transport (capacité)}]$

Le choix de cette formule a été basé sur les éléments suivants :

- Considération des motifs de déplacement domicile-autres : Cette formule se concentre sur les motifs de déplacement domicile-autres (Home-Based Other) en prenant en compte la structure d'âge de la population de 16 à 60 ans et de plus de 61 ans. Ces groupes d'âge sont essentiels pour comprendre les déplacements vers des destinations autres que le travail, comme les courses, les activités de loisirs, etc...
- Effet de la densité de population et de l'offre de transport : La formule intègre la densité de population et l'offre de transport pour estimer les émissions de déplacement domicile-autres. La densité de population est prise en compte avec un coefficient négatif, reconnaissant que des densités plus élevées peuvent réduire les besoins de déplacement (potentiellement en raison de la facilité d'accès aux biens et services). L'offre de transport est également incluse avec un coefficient de 0.1, reflétant l'effet de l'accessibilité et de la disponibilité des infrastructures de transport

c) $NHB_P = 0.2 * [Population\ de\ 16\ à\ 60\ ans] + 0.1 * [Population\ de\ plus\ de\ 61\ ans]$

Le choix de cette formule a été basé sur les éléments suivants :

- Considération de l'âge de la population : Cette formule se concentre sur la population âgée de 16 à 60 ans et de plus de 61 ans dans le calcul des émissions de déplacement non liées au travail (Non-Home-Based). Elle reconnaît que ces groupes d'âge peuvent contribuer différemment aux déplacements non liés au travail
- Pondération adaptée : Les coefficients attribués à chaque groupe démographique dans la formule sont choisis pour représenter leur contribution relative aux émissions de déplacement non liées au travail. Par exemple, les individus âgés de 16 à 60 ans sont pondérés à 0.2, ce qui reflète une contribution potentiellement plus élevée par rapport aux personnes âgées de plus de 61 ans pondérées à 0.1

IV.4.1.2 Génération des attractions :

En ce qui concerne les attractions, nous avons choisi d'adopter un modèle catégoriel en nous appuyant sur l'exemple présenté au Chapitre 2 - Tableau 3. Ce modèle sera composé de trois catégories déterminées en fonction d'un indice de richesse calculé par nos soins. Toutefois, il convient de noter que ce modèle ne prendra pas en compte la possession de véhicules en raison de l'absence de données disponibles à cet égard.

Les valeurs des indices de richesses « Wealth Factor » ont été calculé de la manière suivante :

- $Wealth\ Factor = ([\text{écart nombre de lieux de soins}] + [\text{écart capacité de desserte}] + [\text{écart zone d'activité}] + 2 * [\text{écart établissement scolaire privé}] + [\text{écart établissement scolaire public}] + (-2) * [\text{écart taux d'occupation du logement}] + 5 * [\text{écart taux d'activité}] + [\text{écart densité population}]) / 10$

- Sachant que : $\text{écart } X = \frac{\text{valeur } X \text{ de la commune}}{\text{Moyenne des valeurs de } X} \times 100$

L'idée derrière cette formule composite est de combiner différents paramètres pour fournir une mesure globale du niveau de richesse d'une zone donnée, en prenant en compte des aspects tels que les infrastructures de soins, les transports, l'éducation, le logement, l'activité économique et la densité de population.

- ✚ **NB** : On remarque après tri, que les communes les plus riches selon nos indexes sont les communes phares des aires d'influences de la wilaya qui ont été discuté dans le Chapitre 3.

Une fois l'index de richesse est calculé pour chaque commune, on passe à la catégorisation.

- Communes Riches : Les communes ayant un indexe > 100
- Communes Moyennes : Les communes ayant un indexe < 100 et > 50
- Communes Pauvre : Les communes ayant un indexe < 50

Les ménages de chaque catégorie de communes seront répartis en 3 : ménages à haut revenu, ménages à moyen revenu et ménages à bas revenu.

Cette répartition s'appuiera sur les indices de richesse, c'est à dire qu'à mesure que l'indice de richesse augmente, la proportion de ménages bénéficiant d'un niveau de revenu plus élevé sera plus importante.

Tableau 7 : Modèle Catégoriel utilisé

Source : réalisation de l'étudiant

Ctégorie	Nombre de ménages ayant :	HBW	HBO	NHB
Communes Riches	<i>Un Bas Revenu</i>	0.6	0.7	0.3
	<i>Un Moyen Revenu</i>	1.1	1.4	0.6
	<i>Un Haut Revenu</i>	2.2	2.8	1.2
Communes Moyennes	<i>Un Bas Revenu</i>	0.6	0.7	0.3
	<i>Un Moyen Revenu</i>	1.1	1.4	0.6
	<i>Un Haut Revenu</i>	2.2	2.8	1.2
Communes Pauvres	<i>Un Bas Revenu</i>	0.6	0.7	0.3
	<i>Un Moyen Revenu</i>	1.1	1.4	0.6
	<i>Un Haut Revenu</i>	2.2	2.8	1.2

ID Communes	Code Communes	Communes	[wealth factor]	[wealth status]	HBW_P	HBW_A	HBO_P	HBO_A	NHB_P	NHB_A
1	1537	AZEFFOUN	145.67	Riches	5483.56	6935.76	7879.70	8917.24	3225.40	3962.89
2	1554	IFLISSEN	63.83	Moyen	4054.82	3100.75	5793.70	3986.60	2454.00	1771.68
3	1562	MIZRANA	50.96	Moyen	2760.82	2411.64	4274.90	3100.62	1801.50	1377.94
4	1538	TIGZIRT	121.45	Riches	6290.42	7592.58	7652.60	9761.70	3428.20	4338.18
5	1513	AIT CHAFAA	48.35	Pauvre	803.92	892.51	1953.80	1147.49	745.90	509.95
6	1553	AGHRIBS	54.98	Moyen	3141.61	2333.21	4745.40	2999.79	2030.50	1333.13
7	1523	ZEKRI	32.32	Pauvre	696.66	579.84	1808.80	745.50	696.00	331.30
8	1508	TIMIZART	110.70	Riches	7644.41	8372.04	11364.90	10763.85	4926.40	4783.54
9	1544	AKERROU	28.92	Pauvre	1010.78	530.50	2143.60	682.06	877.60	303.11
10	1555	BOUDJIMA	103.80	Riches	4281.83	4483.55	5585.00	5764.45	2542.60	2561.77
11	1509	MAKOUDA	116.77	Riches	7783.62	8797.51	10019.20	11310.87	4388.20	5026.64
12	1504	FREHA	174.06	Riches	7779.70	8606.97	10732.30	11065.90	4396.10	4917.77
13	1559	SIDI NAAMANE	52.53	Moyen	3268.95	3728.56	4496.70	4793.77	1982.30	2130.39
14	1518	AZAZGA	286.04	Riches	11819.72	14861.04	14572.30	19106.69	6035.60	8491.16
15	1524	OUGUENOUN	80.59	Moyen	6686.14	5874.51	8275.40	7552.80	3733.40	3356.52
16	1520	YAKOUREN	59.10	Moyen	3859.70	2996.89	5079.90	3853.07	2115.30	1712.34
17	1539	AIT AISSA MIMOUNE	71.48	Moyen	6121.01	5345.20	7757.70	6872.27	3613.60	3054.09
18	1564	TADMAIT	108.81	Riches	7204.02	6181.67	8889.60	7947.71	3833.50	3532.03
19	1501	TIZI OUZOU	1512.26	Riches	64126.79	79231.51	72544.90	101867.15	29777.40	45270.56
20	1547	DRAA BEN KHEDDA	268.15	Riches	25071.39	21360.35	25439.80	27462.78	12128.70	12204.68
21	1550	MEKLA	124.46	Riches	7156.32	7117.04	9048.10	9150.30	3868.90	4066.47
22	1505	SOUAMAA	53.04	Moyen	2711.03	2452.63	3981.10	3153.32	1778.90	1401.36
23	1558	AIT KHELLILI	52.41	Moyen	2753.41	2170.50	3871.10	2790.59	1844.90	1240.16
24	1549	IDJEUR	48.24	Pauvre	2375.21	2535.90	4133.00	3260.38	1690.80	1448.94
25	1522	TIZI RACHED	75.97	Moyen	5591.27	4161.89	6119.30	5350.90	2907.90	2377.98

Figure 4.6 : extrait des résultats de l'étape de génération sous TransCAD

Source : Réalisation de l'étudiant

✚ **NB** : Les résultats de l'étape de génération des déplacements ont été validés en comparant les données obtenues avec celles de l'enquête (Figure 4.3).

Il est encourageant de constater que les résultats obtenus lors de cette comparaison se rapprochent étroitement des données recueillies lors de l'enquête, qui indiquaient en moyenne environ deux déplacements par jour par personne. Cette concordance entre les résultats générés et les données empiriques renforce la crédibilité et la fiabilité de notre modèle dans la représentation des schémas de déplacement réels.

IV.4.2 Distribution et matrice O-D :

Le modèle choisi pour l'étape de distribution est le modèle gravitaire. Cependant, afin de préparer adéquatement son application, une série de travaux préliminaire s'imposent.

IV.4.2.1 Centroïdes et Connecteurs :

Les matrices origine-destination (O-D) sont construites selon un système de zones, où chaque zone est considérée comme une origine et une destination distincte. Cependant, l'utilisation de logiciels de planification des transports tels que TransCAD nécessite que tous les trajets aient un point de départ et un point d'arrivée distincts sur le réseau pour modéliser efficacement les flux de trafic. Afin de résoudre cette problématique, il est courant de recourir à l'utilisation de centroïdes et de connecteurs centroïdes :

- Un centroïde est le centre géographique d'une zone.
- Un connecteur est un arc fictif permettant de relier un centroïde au réseau.

Pour créer les centroïdes dans l'environnement de TransCAD, la première étape consiste à activer la couche des zones, puis à accéder à la commande « Tools – Export » et activer l'option "Export as Centroid Points".

En ce qui concerne la connexion des centroïdes au réseau, TransCAD propose deux options : créer un arc reliant le centroïde au nœud le plus proche, ou créer un arc vers le segment le plus proche, générant ainsi un nouveau nœud. Dans les deux cas, les étapes suivantes sont entreprises :

- i. Accéder au menu Dataview de la couche des nœuds et ajouter deux champs, "NewID" et "Centroïde".
- ii. Accéder au menu Dataview de la couche des liens du réseau routier et ajouter le champ "Connecteur".
- iii. Activer ensuite la couche des centroïdes et se diriger vers "Tools - Map editing - Connect".

C'est à cette étape que la méthode de connexion est choisie. Dans notre cas, la première option a été sélectionnée.

- iv. Dans l'onglet "Setting" de la boîte de dialogue, dans la section "Connect to", sélectionner le nombre maximal de connexions à établir (dans notre cas, 3).
- v. Dans l'onglet "Fill" de la boîte de dialogue, dans la section "Fields to fill", ajouter "Centroïde" dans le champ "Node field" et "Connecteur" dans le champ "Line field".

- vi. Dans la section "Fill with", choisir la valeur 1 dans l'option "Single value", puis valider les modifications.

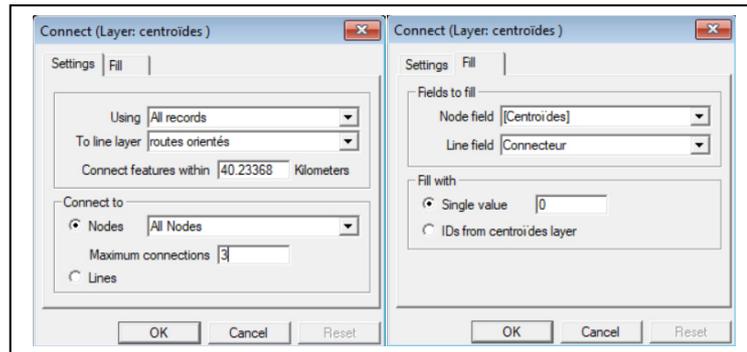


Figure 4.7 : Connection des centroïdes sur TransCAD

Source : Réalisation de l'étudiant

La dernière étape est la suivante : On ouvre d'abord le Dataview node, puis on accède à la fenêtre de la colonne NewID en utilisant le bouton droit. Ensuite, on sélectionne l'option "Fill" suivie de "Tag". On choisit la couche des centroïdes dans la section "Using layer" et on attribue le tag "ID" dans la section "Tag with". Par la suite, on active l'option "Aggregate" et dans la section "Layer", on sélectionne à nouveau la couche des centroïdes. On définit la taille de la bande à 1 mètre dans la section "Band size". Dans les paramètres d'agrégation, on choisit "Total - ID" puis on valide le résultat.

Ensuite, on sélectionne les nœuds autres que les centroïdes et en utilisant le champ NewID, on le remplit comme suit : le départ est fixé à 10000 et le pas à 1.

On aura ainsi modifié les données de la couche des nœuds de manière à faire correspondre les ID des centroïdes aux ID des zones (communes). On pourra désormais exporter les nouvelles données de la couches node avec comme identifiant le champs NewID qu'on a créé.

Les ID allant de 1 à 67 correspondent aux centroïdes

Les ID autres que ceux-ci correspondent aux nœuds du réseau

ID	Longitude	Latitude	[ID: 1]	[Centroïdes]
1	4400137	36870447	964	1
2	4219153	36872498	963	1
3	4070577	36856220	961	1
4	4139062	36861629	962	1
5	4533298	36831436	965	1
6	4340622	36821006	996	1
7	4589954	36784901	966	1
8	4237219	36803562	995	1
9	4444900	36809142	997	1
10	4151228	36806169	994	1
11	4059046	36799306	960	1
12	4267179	36753615	1014	1
13	3990616	36769014	959	1
14	4377298	36740259	998	1
15	4177114	36760915	1015	1
16	4466888	36736497	967	1
17	4113008	36749365	993	1
18	3894049	36717013	958	1
19	4058174	36707089	992	1
20	3960000	36720439	991	1
21	4275623	36682918	1016	1
22	4352954	36667498	1017	1
23	4313231	36668582	1018	1
24	4531343	36671514	968	1
25	4189321	36688123	1013	1
26	3962683	36668426	990	1
27	4140652	36667713	1012	1
28	4419837	36667326	999	1
29	4087005	36662668	1011	1
30	3872931	36645721	957	1
55	4167813	36527223	1005	1
56	4393998	36529392	1002	1
57	4249972	36508576	976	1
58	4217452	36525495	977	1
59	4275534	36508422	975	1
60	4310451	36500833	974	1
61	4064112	36503656	980	1
62	4118859	36501798	979	1
63	4405603	36507749	972	1
64	4022926	36497420	981	1
65	3886294	36495548	984	1
66	3936783	36491263	983	1
67	4191680	36484671	978	1
10000	3893366	36751650	1	--
10001	3891535	36752106	2	--
10002	3898672	36746097	3	--
10003	3892438	36744961	4	--
10004	3901015	36743184	5	--
10005	3900227	36746293	6	--
10006	3913366	36721949	7	--
10007	3903447	36743293	8	--
10008	3931223	36750084	9	--
10009	3931150	36749795	10	--
10010	3898847	36750160	11	--
10011	3899328	36749790	12	--
10012	3966955	36737297	13	--
10013	3965336	36738672	14	--
10014	3945782	36737901	15	--
10015	3945511	36738260	16	--
10016	3943839	36739181	17	--

Figure 4.8 : Dataview node

Source : réalisation de l'étudiant

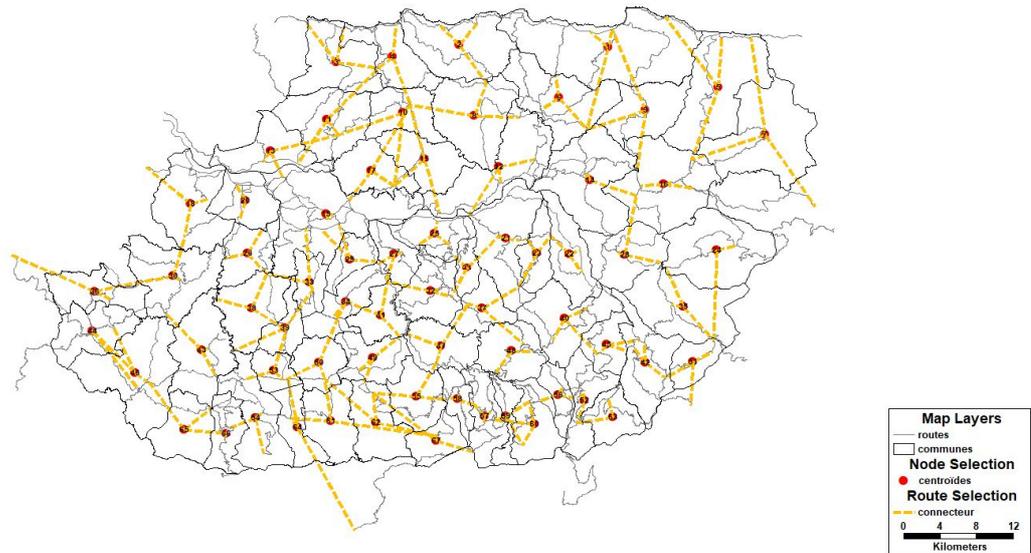


Figure 4.9 : Centroïdes et connecteurs

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.4.2.2 Calcule de la matrice d'impédance :

La création de la matrice d'impédance repose sur le calcul des itinéraires les plus courts en fonction des temps de parcours à vide. La procédure de calcul de cette matrice est réalisée de manière pratique en utilisant TransCAD.

Pour commencer, on ajoute un champ "MaxSpeed" dans le Dataview du réseau afin d'intégrer la vitesse à vide pour chaque segment de route. Ensuite, on ajoute un champ supplémentaire nommé "TempsAVide" et on le remplit en utilisant la formule suivante :

$$\text{TempsAVide} = 60 \times \frac{\text{MaxSpeed}}{\text{Length}}$$

Tableau 8 : Vitesse à vide par type de routes

Source : Réalisation de l'étudiant

Type de route	Motorway (RN)	Trunk (RN)	Primary (CW)	Secondary (CC)
MaxSpeed (Km/h)	120	120	100	60

La phase suivante de la procédure implique la création d'un fichier réseau (.net) qui synthétise les caractéristiques du réseau, grâce à l'utilisation de la commande « Networks/Paths – Create ». Pour calculer la matrice d'impédance, nous faisons appel à la commande « Networks/Paths - Multiple Paths », en prenant soin d'activer préalablement la couche des nœuds.

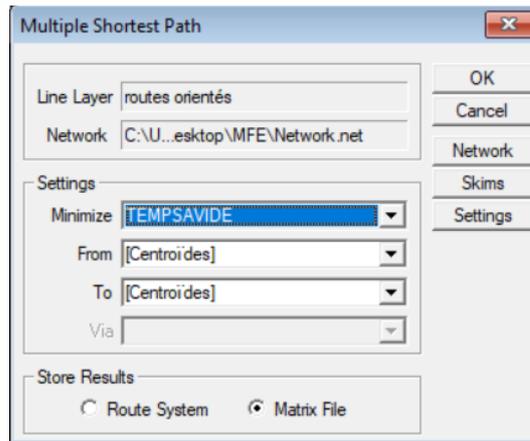


Figure 4.10 : Commande TransCAD Multiple Shortest Path

Source : Réalisation de l'étudiant

Cette approche vise à minimiser le temps de trajet entre les nœuds centroïdes en sélectionnant l'option "Centroïdes". Une fois la validation effectuée, TransCAD lance le calcul et ouvre une vue sur la matrice obtenue.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	15.69	28.48	23.70	16.42	10.81	24.62	19.46	11.52	35.57
2	15.69	0.00	15.79	11.02	28.96	12.50	37.17	8.84	21.40	22.89
3	28.48	15.79	0.00	6.58	41.75	30.46	49.95	20.18	36.84	14.36
4	23.70	11.02	6.58	0.00	36.98	25.69	45.18	12.56	32.07	6.74
5	16.42	28.96	41.75	36.98	0.00	24.08	16.84	32.73	23.55	48.85
6	10.81	12.50	30.46	25.69	24.08	0.00	29.10	11.06	11.16	35.32
7	24.62	37.17	49.95	45.18	16.84	29.10	0.00	37.19	23.60	49.61
8	19.46	8.84	20.18	12.56	32.73	11.06	37.19	0.00	19.25	8.22
9	11.52	21.40	36.84	32.07	23.55	11.16	23.60	19.25	0.00	37.79
10	35.57	22.89	14.36	6.74	48.85	35.32	49.61	8.22	37.79	0.00

Figure 4.11 : Extrait de la matrice d'impédance

Source Réalisation de l'étudiant

IV.4.2.3 Application du modèle gravitaire :

Maintenant que nous avons généré la matrice d'impédance, l'application du modèle gravitaire ce fait par la commande « Planning – Trip Distribution – Gravity Application ».

Dans l'onglet General, on insère les champs où se trouvent nos résultats de l'étape de génération, et l'on choisit le type de contrainte qui sera utilisé.

Dans l'onglet Friction Factors, on choisit le type de fonction de friction à utiliser (Gamma, Exponentiel où Inverse, revoir Chapitre 2, page 24).

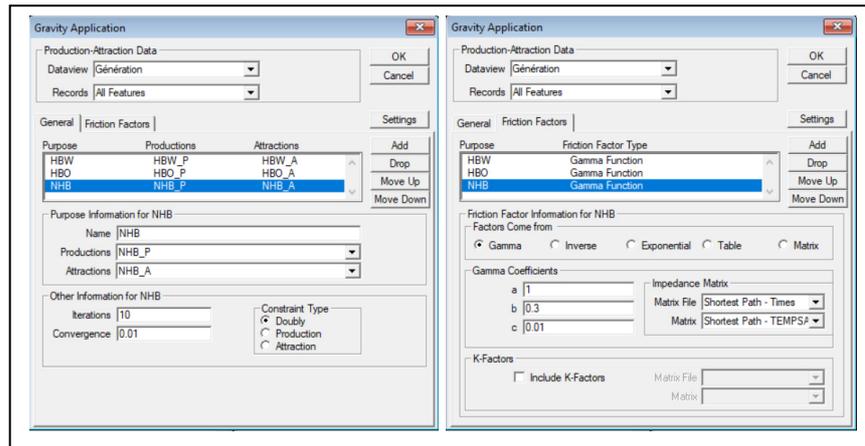


Figure 4.12 : Commande TransCAD – Gravity Calibration

Source : Réalisation de l'étudiant

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sum
1	950	278	146	471	96	224	50	584	53	227	16589
2	461	328	157	530	50	155	27	640	28	228	12303
3	221	142	174	458	25	67	14	303	13	181	8837
4	443	301	285	979	50	134	28	671	26	429	17371
5	159	49	28	88	36	38	16	107	9	43	3504
6	399	166	78	253	41	161	24	418	29	153	9918
7	117	38	22	68	23	31	21	90	9	37	3201
8	693	458	239	845	76	279	46	1389	51	548	23936
9	169	54	28	89	18	52	12	137	17	53	4032
10	258	156	136	518	30	98	18	525	19	345	12409
Sum	19816	8859	6890	21692	2550	6666	1657	23919	1516	12809	1041360

Figure 4.13 : Extrait de la matrice O-D résultante

Source : Réalisation de l'étudiant

NB : Les résultats obtenus sont largement conformes à nos attentes, mettant en évidence une corrélation significative avec les données issues de l'enquête réalisée (Figure 4.4). Les flux de déplacements montrent une concentration importante de mouvements vers Tizi-Ouzou, chef-lieu de la wilaya, ce qui correspond à nos prévisions. De plus, les communes affichant les indices de richesse les plus élevés, tels qu'établis par nos calculs, présentent des volumes de déplacements conséquents.

IV.4.3 Choix modal :

IV.4.3.1 Matrices d'utilités :

Pour l'étape de répartition modale, le modèle utilisé est le modèle logit emboîté. Pour son implémentation sous TransCAD, nous avons commencé par créer 3 matrices doubles (67×67) pour représenter les éléments qui serviront à modéliser les utilités de chaque mode de transport, à savoir les coûts monétaires et les coûts de temps.

- Les coûts monétaires : Pour les coûts monétaires relatifs aux bus et aux taxis, nous avons simplement utilisé les données fournies par la Direction des Transports de la Wilaya (voir l'annexe).

Pour les véhicules personnels, nous avons remplis notre matrice en fonction de la matrice des taxis selon l'hypothèse suivante :

- Plus les déplacements en VP sont de courte distance, plus les coûts ressentis seront élevés par rapport aux coûts des taxis. Plus les déplacements sont de longue distance, moins les coûts ressentis seront élevés par rapport aux coûts des taxis

🚩 **NB** : Ce travail a été fait grâce au logiciel R en utilisant l'algorithme suivant :

```
library(openxlsx)

#On importe le fichier Excel qui représente les plus courts chemins par distances :

matrix_data <- read.xlsx("ShortestPathLengths.xlsx", sheet = 1, startRow = 1)

modified_matrix <- matrix_data

#On multiplie la distance par 9DA qui représente le coûts kilométrique des taxis et par un facteur de correction :

modified_matrix[matrix_data == 100] <- matrix_data[matrix_data == 100] * 9 * 0.5
modified_matrix[matrix_data > 40 & matrix_data < 100] <- matrix_data[matrix_data > 40 & matrix_data < 100] * 9 * 0.7
modified_matrix[matrix_data < 40] <- matrix_data[matrix_data < 40] * 9 * 1.2
modified_matrix[matrix_data > 100] <- matrix_data[matrix_data > 100] * 9 * 0.5

#On exporte la matrice résultante :

write.csv(modified_matrix, file = "modified_matrix.csv")
write.xlsx(modified_matrix, file = "auto_costs.xlsx", sheetName = "auto costs", rowNames = FALSE)

print("Modified matrix exported to CSV and Excel successfully!")
```

b) Les coûts de temps : Les coûts de temps pour les taxis et véhicules personnels sont les temps de la matrice d'impédance tels quels.

Pour les bus, par contre, une modification a été apporté à ces temps en prenant compte de l'hypothèse suivante :

- La croissance de la distance parcourue en bus est positivement associée à l'augmentation du temps de déplacement, en raison de la probabilité accrue d'utiliser plusieurs lignes de bus, ce qui engendre des temps d'attente et d'accès plus longs.

🚩 **NB** : Ce travail a également été fait grâce au logiciel R, en utilisant une modification de l'algorithme précédent.

IV.4.3.2 Application du modèle logit emboité :

L'application du modèle logit emboité sous TransCAD se fait par la commande « Planning – Mode Split – Nested Logit Model Application ».

Dans l'onglet Application, on désigne la matrice contenant les résultats de la distribution.

Dans l'onglet Model, on précise le modèle hiérarchique utilisé, ainsi que les fonctions d'utilités associées à chaque mode (en utilisant les matrices créées précédemment).

Dans l'onglet Options, on active l'option "Apply Probabilities to Total Matrix" et on désigne la matrice à laquelle on veut appliquer les probabilités calculés (la matrice O-D).

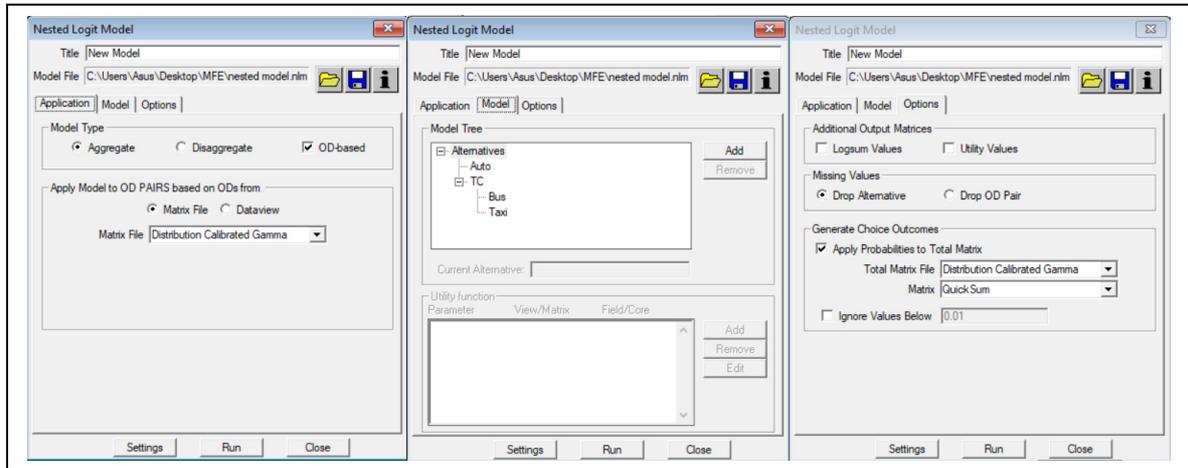


Figure 4.14 : Commande TransCAD – Nested Logit Model Application

Source : Réalisation de l'étudiant

NB : Les résultats de l'étape de répartition modale se rapprochent, eux aussi, des attentes initiales et reflètent de manière cohérente les données recueillies lors de l'enquête (Figure 4.5). On observe une préférence marquée pour les bus et en particulier pour les véhicules personnels, tandis que l'utilisation des taxis reste relativement limitée.

IV.4.4 Affectation du trafic :

IV.4.4.1 Passage à l'heure de pointe et la conversion véhiculaire :

L'évaluation des heures de pointe et la conversion véhiculaire constituent une étape essentielle pour comprendre l'état du trafic dans des conditions d'utilisation maximale. Malheureusement, aucune enquête spécifique axée sur ces aspects n'a été réalisée dans la région de Tizi Ouzou. Ce manque de données nous a donc contraints à formuler un ensemble d'hypothèses non vérifiées afin de conclure notre travail de planification.

Ces hypothèses sont les suivantes :

- Le taux moyen d'occupation des véhicules personnels est de 1.5
- Le taux moyen d'occupation des taxis est de 3.5
- Le taux moyen d'occupation des bus est de 12 (équivalent de 75% de la capacité offerte)
- Le partage horaire des déplacements suit le format suivant :

Tableau 9 : Partage horaire des déplacements

Source : réalisation des étudiants

HOUR	HBW	HBO	NHB
0	0.00	0.05	0.00
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.10	0.00
3	0.10	0.10	0.60
4	0.40	0.15	1.00
5	2.10	1.40	2.00
6	10.20	3.50	3.20
7	20.20	7.10	6.60
8	8.20	6.10	4.00
9	3.00	4.30	3.60
10	0.70	4.40	5.60
11	1.40	4.90	6.30
12	2.40	6.00	10.20
13	2.60	5.80	7.20
14	6.80	7.00	6.90
15	11.30	7.60	8.00
16	14.00	10.10	9.00
17	9.30	12.60	6.20
18	4.50	7.60	5.60
19	1.20	4.10	6.30
20	1.00	3.10	5.80
21	0.30	2.30	1.40
22	0.20	1.40	0.40
23	0.10	0.30	0.10
	100.00	100.00	100.00

Sur TransCAD, le passage à l'heure de pointe et la conversion véhiculaire se font en même temps en utilisant la commande « Planning – Time of Day Analysis »
On choisit le tableau du partage horaire des déplacements dans "Lookup Dataview" et on désigne le taux moyen d'occupation de chaque mode dans "Average Occpancy"

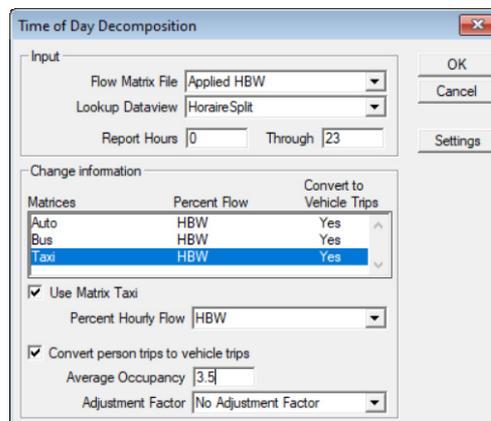


Figure 4.15 : Commande TransCAD – Time of Day Analysis

Source : Réalisation de l'étudiant

Ce travail nous permet de générer des matrices de déplacements de véhicule par heure et par motif. Nous choisirons de travailler avec l'heure de pointe, c'est-à-dire l'heure avec le plus de déplacements effectués. Dans notre cas, l'heure de point remarqué ce situe entre 7h et 8h du matin.

Avant de passer à l'affectation du trafic, nous avons d'abord sommé l'ensemble des matrices HBW, HBO et NHB de l'heure de pointe en une seul matrice tout effectuant un travail de standardisation par l'usage des facteur UVP (Unité Véhicule Particulier) suivant :

- Véhicule Personnel et Taxi : 1 UVP
- Bus : 2 UVP

NB : La conversion vers une matrice en (UVP) avant l'affectation du trafic est importante car elle permet de normaliser les valeurs de demande de transport, facilite la comparaison des flux de trafic et permet une évaluation plus précise des différences de qualité de service.

IV.4.4.2 Méthodes d'affectation du trafic :

Afin de pouvoir appliquer les différents modèles d'affectation du trafic, on a dû compléter le Dataview du réseau afin d'intégrer les capacités en (UVP/h) de chaque segment de route.

Tableau 10 : Capacités Théoriques par type de route

Source : Réalisation de l'étudiant

Type de route	2 × 3 voies	2 × 2 voies	2 voies
Capacité (UVP/h/sens)	2250	1500	750

L'affectation sous TransCAD se fait grâce à la commande « Planning – Traffic Assignment ». Dans "Method" on spécifie la méthode à utiliser et dans "Matrix File" la matrice contenant les déplacements de véhicules en UVP.

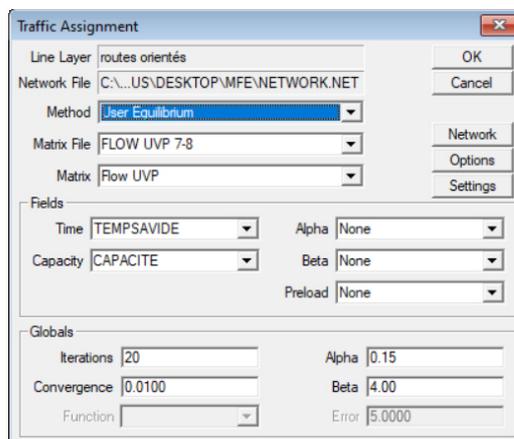


Figure 4.16 : Commande TransCAD – Traffic Assignment

Source : Réalisation de l'étudiant

Afin d'approfondir l'analyse du trafic dans la région de Tizi-Ouzou, diverses méthodes d'affectation du trafic ont été employées. Ces approches englobent l'approche incrémentale, l'équilibre utilisateur (user equilibrium) et l'équilibre utilisateur stochastique (stochastic user equilibrium). Par une comparaison des résultats obtenus grâce à ces différentes méthodes d'affectation du trafic, une vision holistique de la situation du trafic dans la région de Tizi-Ouzou a été obtenue.

i. Méthode incrémentale :

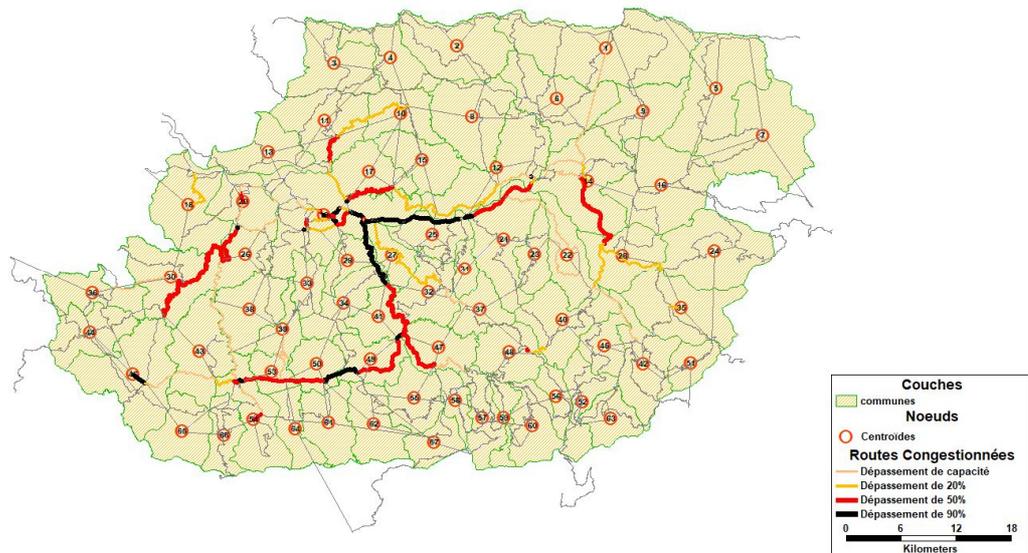


Figure 4.17 : Congestion des routes selon la méthode incrémentale

Source : Réalisation de l'étudiant

ii. Méthode User Equilibrium :



Figure 4.18 : Congestion des routes selon la méthode User Equilibrium

Source : Réalisation de l'étudiant

iii. Méthode Stochastic User Equilibrium :



Figure 4.19 : Congestion des routes selon la méthode Stochastic User Equilibrium

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.4.4.3 Observations et analyses :

- i. Une observation évidente, issue de la comparaison des résultats obtenus à partir des différentes méthodes d'affectation, réside dans le fait que, dans tous les cas examinés, l'axe central desservi principalement par la route nationale RN12 se trouve être le plus congestionné. On remarque même que, sur certains segments, le flux prévus atteignent près de 2 à 3 fois la capacité théorique supposé.

ID	NAME	REF	TYPE	CAPACITE	AB_Flow	BA_Flow	TOT_Flow
324	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	6280.6217	7261.2321	13541.8538
965		RN 12	motorway	2250	6035.1784	6648.2493	12683.4277
249	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	6035.1784	6648.2493	12683.4277
219	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	6035.1784	6648.2493	12683.4277
620			motorway	2250	4975.2637	4899.9245	9875.1882
402			motorway	2250	4975.2637	4899.9245	9875.1882
69	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	4434.1895	5150.9385	9585.1280
939			motorway	2250	4840.8253	4740.8018	9581.6271
701			motorway	2250	4740.8018	4840.8253	9581.6271
399		RN 12	motorway	2250	4740.8018	4840.8253	9581.6271
250			motorway	2250	4740.8018	4840.8253	9581.6271
940			motorway	2250	4901.5167	4666.2565	9567.7733
556			motorway	2250	4666.2565	4901.5167	9567.7733

ID	NAME	REF	TYPE	CAPACITE	AB_Flow	BA_Flow	TOT_Flow
324	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	5583.7353	6327.2277	11910.963
965		RN 12	motorway	2250	5066.6233	5557.5845	10624.207
249	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	5066.6233	5557.5845	10624.207
219	Autoroute Tizi Ouzou - Azazga	RN 12	motorway	2250	5066.6233	5557.5845	10624.207
620			motorway	2250	4485.6347	4473.9143	8959.549
402			motorway	2250	4485.6347	4473.9143	8959.549
939			motorway	2250	4102.2742	4022.2863	8124.560
701			motorway	2250	4022.2863	4102.2742	8124.560
399		RN 12	motorway	2250	4022.2863	4102.2742	8124.560
250			motorway	2250	4022.2863	4102.2742	8124.560
940			motorway	2250	4161.5691	3875.9912	8037.560

Figure 4.20 : Segments de routes enregistrant les plus grands flux de circulation selon les méthodes Incrémentale et Stochastic UE

Source : réalisation de l'étudiant

Cette constatation est parfaitement cohérente, conformément aux indications présentées dans le Chapitre 3, où il est mentionné que le corridor de développement Ouest-Est connaît une croissance urbaine et démographique significative. Ce corridor concentre également la majorité des activités industrielles, des infrastructures et des services, ce qui fait de la région le principal bassin d'emploi de la wilaya.

ii. Une constatation supplémentaire d'importance, réside dans la congestion notable des principales routes nationales qui alimentent la RN 12. Ces routes incluent :

- La RN 72, qui relie la ville de Tizi-Ouzou à la RN 24 et à l'agglomération urbaine de Tizirt sur la côte.
- La RN 15, qui relie la ville de Tizi-Ouzou aux agglomérations urbaines de Larbaa Nath Irathen et Ain El Hammam.
- La RN 30A, qui relie la ville de Tizi-Ouzou à la principale agglomération urbaine de la dépression de Draa El Mizan.
- La RN 25, qui relie la ville de Draa Ben Khedda à l'agglomération urbaine de Draa El Mizane.

Ces routes connectées à la RN12, font face à des affluences de moyenne à forte intensité, ce qui souligne leur importance en tant que points de convergence pour le trafic dans la région.

iii. D'autre part, il est plutôt intrigant de constater que l'axe routier situé au Nord, desservi par la RN 24 et reliant principalement les communes côtières de la wilaya (d'Azeffoune à Tizirt), ne présente aucun signe de congestion, contrairement à son homologue situé au Sud, desservi par la RN 30, qui lui, est sujet à de fortes pressions. C'est le cas en particulier des segments alimentés par la RN 30A et qui traversent les communes de Ain El Hammam, Tizi n'Tlata et Mechtras en direction de Draa El Mizan.

✚ **NB** : Il est important de souligner que plusieurs types d'erreurs peuvent être commises à chacune des étapes de la modélisation (Bonnel, 2002) :

- Erreurs relatives à la construction théorique : elles découlent notamment des hypothèses faites sur les comportements individuels
- Erreurs relatives à la production des données
- Erreurs relatives à la spécification des relations : le choix des fonctions mathématiques ne reflète pas toujours parfaitement la réalité des choses
- Erreurs de calage : l'estimation des coefficients inconnus s'effectue à l'aide de procédures statistiques
- Erreurs de prévision des variables d'entrée du modèle

✚ Notre travail en particulier, présente une susceptibilité accrue à l'occurrence d'erreurs, car les modèles que nous avons utilisés ont été validés sans passer par une étape de calage approprié.

✚ Les étapes de calage et de validation du modèle sont entreprises afin de confronter la structure théorique aux données disponibles. L'objectif est de garantir que le modèle soit capable de reproduire, dans une certaine mesure, la réalité correspondante aux données d'enquêtes. Or, notre travail a dû se faire dans l'absence de données du terrain.

IV.5 Conclusion et Proposition :

Pour conclure ce chapitre nous proposerons une solution au problème de congestion de l'axe centrale (RN 12) observé au terme de notre processus de planification.

Il est important de faire preuve de prudence quant à l'orientation immédiate de nos réflexions vers l'augmentation des capacités du système d'infrastructure de la région, car cela ne tiendrait pas compte adéquatement du phénomène de la demande induite.

L'effet de "demande induite" est un effet de rétroaction négative qui accompagne souvent les politiques de transport, selon lequel les augmentations de capacité routière attirent de nouveaux flux de trafic, ce qui peut aller à l'encontre de l'objectif initial de l'augmentation de capacité, ou du moins, entraîner une surpopulation inattendue des nouvelles infrastructures (cela est conforme à l'observation courante en économie générale qui dit que la quantité demandée d'un bien augmente lorsque son prix diminue). Plusieurs chercheurs suggèrent même que cette "demande induite" est un phénomène si puissant qu'il compense presque complètement l'effet de réduction de congestion d'une amélioration de la capacité (Hymel et al., 2010).

Aussi, dans notre cas de figure, l'augmentation de la capacité du réseau existant ne permet pas de réduire de manière significative la congestion actuelle, que ce soit par la création de voies d'évitement ou par l'élargissement des voies.

Plutôt que d'agir sur les infrastructures elles-mêmes, une approche plus judicieuse à cette problématique est d'orienter les habitudes des utilisateurs du système de transport vers un abandon des véhicules personnels au profit des modes alternatifs (en particulier les transports en communs). C'est ce qu'on appelle le transfert (ou report) modal.

Cette approche est d'autant plus pertinente dans notre cas car, selon les résultats de notre enquête, seulement 5% des répondants ayant déclaré posséder un véhicule personnel ont mentionné le bus comme mode de déplacement.

Les réflexions axées sur le transfert modale nous ont mené vers la considération de la proposition suivante : le BRT (ou BHNS)

IV.5.1 Qu'est-ce qu'un système de BRT :

Le BRT, Bus Rapid Transit (ou BHNS, Bus à Haut Niveau de Service dans le monde francophone), est un système de transport en commun par bus qui vise à offrir des caractéristiques similaires à celles d'un tramway ou d'un métro, mais à un coût moindre. Les BHNS sont conçus pour améliorer l'efficacité, la rapidité et le confort des déplacements en bus, tout en offrant une alternative attrayante à la voiture individuelle.

✚ **NB :** Pour plus de détails concernant les BRT, consulter l'annexe.

IV.5.2 Pourquoi considérer l'usage du BRT :

Le BRT est particulièrement adapté dans les grandes zones urbaines où les flux de passagers en période de pointe et tout au long de la journée justifient un service fréquent et où il existe une présence suffisante de bus pour justifier des voies de circulation dédiées. Les systèmes de BRT devraient aussi se concentrer sur au moins un grand centre d'activité, de préférence avec un

stationnement limité et/ou coûteux. Le BRT peut également être introduit dans certaines zones avec de grands centres d'activité suburbains existants ou en développement afin d'attirer les déplacements en voiture vers les transports en commun. Les systèmes seraient développés par étapes à mesure que la fréquentation du BRT augmente au fil du temps. Dans tous les cas, le potentiel de fréquentation devrait être suffisant pour soutenir un service fréquent toute la journée et en période de pointe (Transit Cooperative Research Program, 2007).

Tout cela fait du corridor routier centrale de Tizi Ouzou, desservi par la RN 12, un axe idéal pour l'implémentation d'un système de BRT. En effet, la RN 12 est déjà fréquenté par un grand nombre de lignes de bus, et représente le chemin d'accès principale au chef-lieu de la wilaya. La commune d'Azazga à l'Est et celle de Tizi Ouzou à l'Ouest représente deux centres d'activité majeurs dans la région et le corridor les reliant passe par le campus universitaire de Tamda ainsi que la zone industrielle de Oued Aissi, deux des plus grands générateurs de trafic de la wilaya.

Nous proposons la mise en place des stations suivantes (Figure 4.22). Les deux stations aux extrémités de la ligne d'Azazga et Tizi Ouzou, se chargerons d'accueillir les flux émis par les communes à l'Est et à l'Ouest respectivement.

Les stations intermédiaires (Freha – Tamda – Oued Aissi) serviront principalement à capturer les flux des communes avoisinantes comme Mekla, Tizi Rached, Irdjen et Timizart...etc.

Le système imaginé est un système de correspondance, c'est-à-dire, un système qui permet aux passagers de changer d'un moyen de transport à un autre de manière fluide et efficace, afin de poursuivre leur trajet vers leur destination finale. L'objectif étant de diriger tous les flux de voyageurs passant par la RN 12 (en direction de Tizi Ouzou ou d'Azazga) vers le BRT.

BRT system



Figure 4.21 : Stations de BRT proposées

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.5.2.1 Station Terminus coté EST :

La station terminus Est du BRT sera située à Azazga. L'emplacement choisi se trouve à l'entrée de la ville par la voie d'évitement (afin d'éviter le passage par les routes du centre-ville). Cette localisation présente plusieurs avantages : elle facilite l'accès à la station sans nécessiter d'investissements importants pour des voies dédiées, elle assure une circulation fluide et encourage l'utilisation du BRT pour les personnes se rendant à l'hôpital d'Azazga.

Terminus coté EST

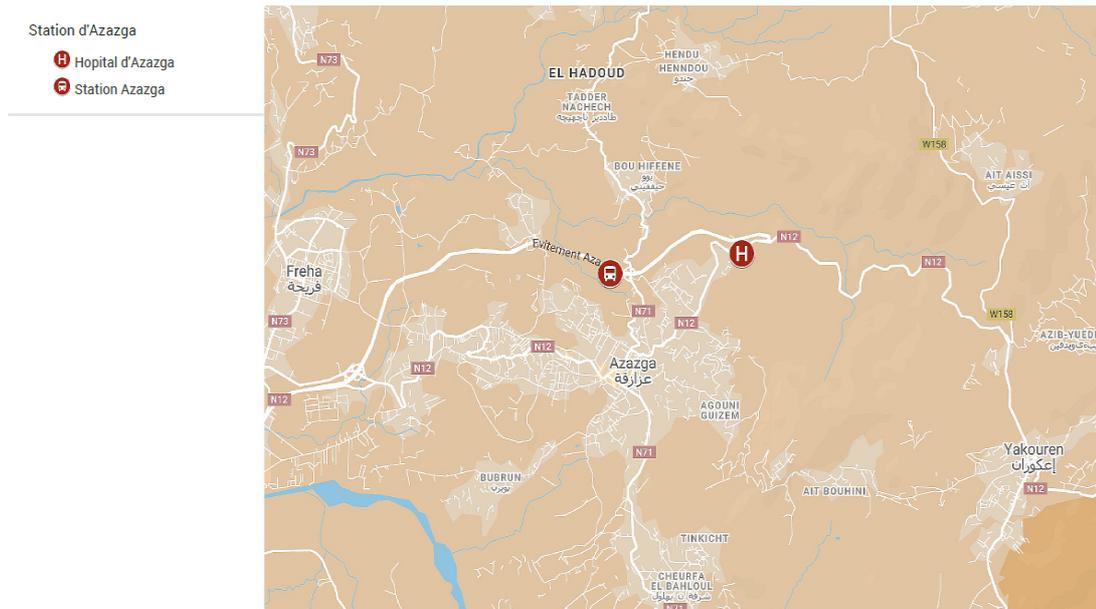


Figure 2.22 : Terminus coté EST

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.5.2.2 Stations Intermédiaires :

- Station de Freha : Cette Station sera positionnée à la sortie de la ville de Freha. Celle-ci (Freha) étant une zone urbaine émergente et est de ce fait susceptible de connaître une croissance démographique importante. Elle permettra de faire la correspondance avec les communes de Timizart et d'Aghribs.
- Station Tamda : Cette station sera positionnée à l'entrée de la ville par le pont du CW 174. Elle permettra de faire la correspondance avec les communes au sud du Sebaou tel que Tizi Rached et Tala Amara.
- Station de Oued Aissi : Cette station sera positionnée à proximité du terminus de la ligne ferroviaire Oued Aissi-Thenia. Elle permettra le transfert modal Train-BRT et servira à desservir la zone industrielle de Oued Aissi.

✚ NB : Voir Figure 2.24.

Station intermédiaire de Freha

- Station de Freha
-  Station Freha



Station Intermédiaire de Tamda

- Station de Tamda
-  Campus Universitaire de Tamda
-  Station Tamda



Station Intermédiaire de Oued Aissi

- Station de Oued Aissi
-  Terminus de la ligne ferroviaire Oued Aissi - Thenia
-  Station Oued Aissi

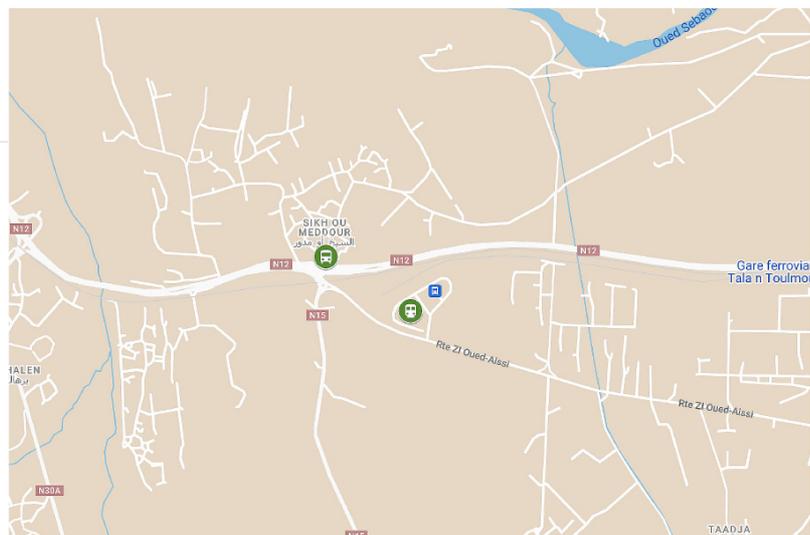


Figure 2.23 : Stations Intermédiares

Source : Réalisation de l'étudiant

IV.5.2.3 Station Terminus côté OUEST :

La station de Tizi Ouzou sera la terminus côté OUEST du système. Sa position exacte sera dans la zone urbaine de Mdouha, à proximité de la station de téléphérique. Cela va permettre le transfert modal Téléphérique-BRT et faciliter l'accès à la gare multimodale de Tizi Ouzou. Il est important de noter qu'en vue de l'état de la voie d'accès envisagé (voie étroite et dégradé), la mise en place de cette station nécessitera très probablement des investissements plus importants en termes d'aménagement.

Terminus coté OUEST

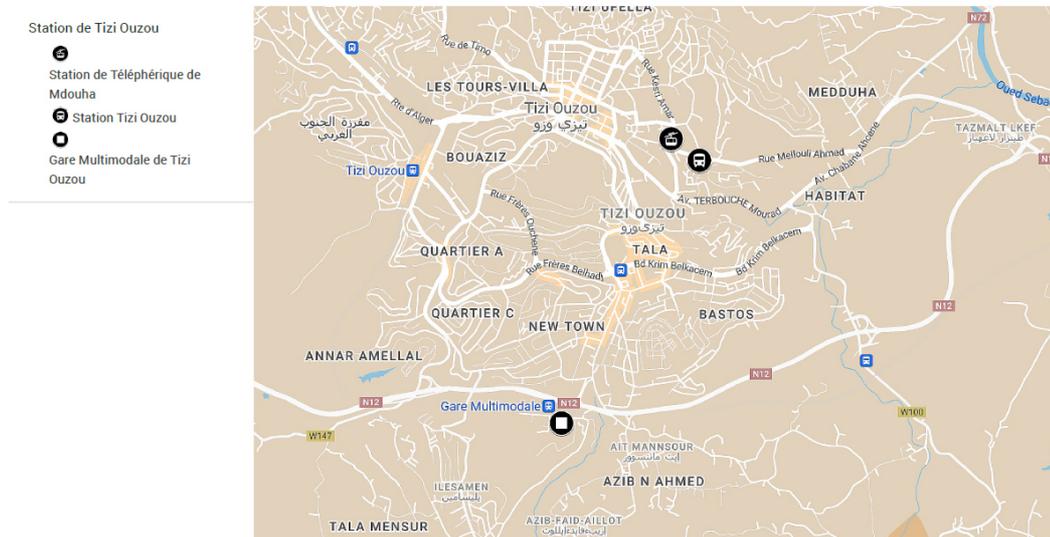


Figure 4.24 : Terminus coté OUEST

Source : Réalisation de l'étudiant

NB : La mise en œuvre du système de BRT proposé exigera des modifications substantielles, notamment la restructuration d'une grande partie des lignes de transport existantes. Par conséquent, une analyse approfondie de la faisabilité de ce projet est impérative afin d'évaluer correctement les coûts, les avantages et les effets potentiels sur le reste du réseau.

Conclusion Générale :

La problématique qui a été présentée dans ce mémoire a porté principalement sur l'application de l'approche à quatre étapes pour évaluer la situation de demande de transport dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

La démarche à quatre étapes étant une approche très étudiée dans le domaine de la modélisation du transport, l'objectif de ce travail était de présenter un fondement scientifique et réfléchis pour traiter des problèmes tel que :

- L'élaboration de schémas/plans de transports
- La programmation et la réalisation d'infrastructures
- La gestion des infrastructures routières ainsi que des entreprises de transports en commun
- La régulation et l'orientation de la demande de déplacements, tant à court terme qu'à plus long terme.
- La gestion des interactions entre l'aménagement urbain et les déplacements.

Le processus de planification a commencé par la réalisation d'une petite enquête par questionnaire en ligne, grâce à laquelle nous avons pu collecter des données pertinentes sur les déplacements, les tendances et les préférences individuelles. Cette enquête nous a servis de référence essentielle tout au long de la mise en œuvre de l'approche en quatre étapes, compte tenu du manque de données relatif au transport.

La prochaine étape consistait en l'extraction et le traitement de la couche du réseau routier qui sera utilisé sous TransCAD.

Nous avons ensuite entamé la première phase de la modélisation, qui est l'étape de génération. Dans cette étape nous avons utilisé un modèle de régression multiple, avec comme variables explicative un ensemble de données démographiques, pour générer les émissions de déplacements de chaque zone d'analyse du trafic (par motifs), et un modèle catégorielle basé sur un indice de richesse élaborée par nos soins, pour générer les attractions.

Ces émissions et attractions générées nous ont servis de bases pour calculer les matrices Origines-Destinations en utilisant le modèle gravitaire. C'était la deuxième étape : l'étape de distribution.

La troisième étape, l'étape de répartition modale, consistait en l'usage d'un modèle logistique multinomiale emboîté pour simuler le choix des individus en termes de mode de déplacement. Nous aurons ainsi, jusqu'à présent, généré des matrices O-D de déplacements de personnes, par mode de déplacements et par motifs.

La quatrième et dernière étape avait pour objectif de prendre ces matrices de déplacement des individus, les convertir en matrices de déplacements de véhicules (en UVP), et affecter ces volumes de trafic sur le réseau routier de la wilaya.

L'analyse des résultats met en évidence plusieurs observations essentielles sur la congestion du trafic dans la région étudiée. L'axe central desservi par la RN 12 se révèle être le plus encombré. On remarque des dépassements allant jusqu'à 300% des capacités théoriques supposées. Les principales routes nationales qui l'alimentent connaissent également une affluence assez intense. Une autre constatation intéressante est le déséquilibre en termes de flux de trafic prévus entre l'axe routier au Sud (RN 30) et celui du Nord (RN 24). Ce dernier étant remarquablement sous utilisé en comparaison.

Pour résoudre les problèmes de congestion constatés, nous avons proposé l'implémentation d'un système de BRT sur l'axe routier desservi par la RN 12 entre les deux commune de Tizi Ouzou et d'Azazga.

En conclusion, nous tenons à indiquer certaines perspectives qui pourrait améliorer le travail présenter dans ce mémoire :

- L'approche la plus directe consisterait à recourir à des données empiriques provenant d'enquêtes de transport sur le terrain. Cela permettrait d'améliorer la qualité des analyses et de renforcer de manière considérable la validité des résultats obtenus.
- Il serait aussi intéressant d'effectuer une étude approfondie de la faisabilité d'un système de BRT sur le corridor Ouest-Est de la wilaya, incluant une évaluation des gains envisagés en termes de temps et de réduction de la congestion, ainsi qu'une analyse des externalités potentiels (négatives et positives) associées au projet.

Liste de références et bibliographie

- Ahmed, B. M. (2012). The Traditional Four Steps Transportation Modeling Using a Simplified Transport Network : A Case Study of Dhaka City, Bangladesh. *Ijaster*. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1418961/>
- Al-Duhaidahawi, Z. S., Almuhan, R. R. A., Abdabas, A. Y., & Al-Jameel, H. A. (2020). Traffic Assignment of Al-Kufa City Using TransCAD. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, 978(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/978/1/012016>
- Almasri, E. H., & Al-Jazzar, M. (2013). TransCAD and GIS Technique for Estimating Traffic Demand and Its Application in Gaza City. *Open Journal of Civil Engineering*, 03(04), 242-250. <https://doi.org/10.4236/ojce.2013.34029>
- Beckman, M., McGuire, C. B., Winsten, C. B., & Koopmans, T. C. (1956). Studies in the Economics of Transportation. *Yale University Press, New Haven.*, 7(4), 146. <https://doi.org/10.2307/3007560>
- Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press.
- Bonnel, P. (2002). *Prévision de la demande de transport*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00268919>
- Caliper Corporation. (2002). *TransCAD User Manual 4.5*. <https://dokumen.tips/documents/transcad-user-manual-45.html>
- Combarous, F. (1999). La mise en oeuvre du modèle logistique multinomial emboîté dans l'analyse de la participation au marché du travail. *Centre d'économie du développement Université Montesquieu-Bordeaux IV - France*. <https://shorturl.at/hKMSZ>
- Cordera, R., Ibeas, Á., dell'Olio, L., & Alonso, B. (2017). *Land Use–Transport Interaction Models*. CRC Press.
- De Dios Ortúzar, J. (1983). Nested logit models for mixed-mode travel in urban corridors. *Transportation Research Part A : General*, 17(4), 283-299. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(83\)90092-4](https://doi.org/10.1016/0191-2607(83)90092-4)
- Deaton, A., & Muellbauer, J. (1980). An Almost Ideal Demand System. *The American Economic Review*, 70(03), 312-326. <http://www.jstor.org/stable/1805222>
- École normale supérieure de Lyon. (s. d.). *Gravitaire (modèle) — Géoconfluences*. 2002 Géoconfluences ENS de Lyon. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/gravitaire-modele>
- Hensher, D. A., & Button, K. J. (2007). *Handbook of Transport Modelling*. Elsevier Science Limited.
- Hong-Wei, Y. (2005). Application of TransCAD software on forecasting the traffic volume of freeway. *Journal of Shenyang Electric Power Institute*. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-SYDL200504019.htm

- Horowitz, A. J. (1999). Guidebook on Statewide Travel Forecasting. Dans *Transportation Research Record* (FHWA-HEP-99-007). Federal Highway Administration. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/42945>
- Horowitz, A.J. (1993). Reference Manual : Quick Reference System II for windows. *Centre for transportation studies, University of Wisconsin, Milwaukee*, p.207.
- Hymel, K. P., Small, K. A., & Van Dender, K. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport. *Transportation Research Part B-methodological*, 44(10), 1220-1241. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2010.02.007>
- Institute for Transportation and Development Policy. (2017). *BRT Planning Guide*. ITDP. <https://brtguide.itdp.org/branch/master/guide/pdf/the-brt-planning-guide.pdf>
- Karlaftis, M. G. (2001). Handbook of Transport Modelling. *Journal of transportation engineering*, 127(6), 546. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(2001\)127:6\(546\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(2001)127:6(546))
- Karoń, G. (2013). Travel Demand and Transportation Supply Modelling for Agglomeration without Transportation Model. Dans *Communications in computer and information science*. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41647-7_35
- LingXia, C., & Yong, Q. (2012). *Traffic volume prediction based on TransCAD : Take highway engineering planning from GongHe to JieGu in QingHai province as an example*. <https://doi.org/10.1109/csip.2012.6309049>
- Martin, W., & McGuckin, N. (1998). *Travel estimation techniques for urban planning*. https://openlibrary.org/books/OL1131585M/Travel_estimation_techniques_for_urban_planning
- Mathew, & Rao, K. V. (2007). NPTEL Introduction to Transportation Planning. *Karlsruhe Institute of Technology*. https://www.academia.edu/15029943/NPTEL_Introduction_to_Transportation_Planning
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in Econometrics - New York*, 105-142. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10007461386>
- McNally, M. G. (2007). The Four-Step Model. Dans *Emerald Group Publishing Limited eBooks* (p. 35-53). <https://doi.org/10.1108/9780857245670-003>
- McNally, M. G., & Rindt, C. R. (2008). The Activity-Based Approach. Dans *Handbooks in transport* (p. 55-73). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9780857245670-004>
- Ngo, R. (2020). Loi de l'Offre et de la Demande : comprendre le marché et l'équilibre des prix. *JeRetiens*. <https://jeretiens.net/loi-de-loffre-et-de-la-demande-comprendre-le-marche-et-lequilibre-des-prix/>
- O'Flaherty, C., & Bell, M. G. H. (1997). *Transport Planning and Traffic Engineering*. Elsevier.
- OpenStreetMap Wiki*. (s. d.). <https://wiki.openstreetmap.org>
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons.
- Qasim, Z. I., Ziboon, A. R. T., & Falih, K. T. (2018). TransCad analysis and GIS techniques to evaluate transportation network in Nasiriyah city. *MATEC web of conferences*, 162, 03029. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816203029>

- Qu'est-ce que la régression linéaire ? – La régression linéaire expliquée – AWS.* (s. d.). Amazon Web Services, Inc. <https://rb.gy/ddclf>
- Racehorse, V. J., Zhang, G., Sussman, A., Jian, A., & Parker, T. H. (2015). Bus rapid transit system deployment for high quality and cost-effective transit service : a comprehensive review and comparative analysis. *Iet Intelligent Transport Systems*, 9(2), 175-183. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2013.0176>
- Recker, W. W., McNally, M. G., & Root, G. S. (1986). A model of complex travel behavior : Part I—Theoretical development. *Transportation Research Part A : General*, 20(4), 307-318. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(86\)90089-0](https://doi.org/10.1016/0191-2607(86)90089-0)
- Sosslau, A. B., Hassan, B., Carter, M., & Wickström, G. (1978). TRAVEL ESTIMATION PROCEDURES FOR QUICK RESPONSE TO URBAN POLICY ISSUES. *NCHRP Report, 186*. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=43913>
- Timmermans, H. (1996). TRANSPORTATION PLANNING AND THE USE OF TRANSCAD. *Transportes*, 4(1). <https://doi.org/10.14295/transportes.v4i1.290>
- Transit Cooperative Research Program. (2007). *Bus Rapid Transit Practitioner's Guide*. Transportation Research Board. https://nacto.org/docs/usdg/tcrp118brt_practitioners_kittleson.pdf
- Travel Demand Modelling*. (2019, 15 octobre). Australian Transport Assessment and Planning. <https://www.atap.gov.au/tools-techniques/travel-demand-modelling/index>
- Zhang, Y., & Yuan, Z. (2014). Study on Transfer Traffic Volume Forecast of Weihai North Bus Station Based on TransCAD. *Advanced Materials Research*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1030-1032.2126>

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire

Questionnaire sur les déplacements dans la wilaya de Tizi-Ouzou

4. Quel est votre genre ? *

Homme
Femme

2. Quel est votre âge ? *

16-24 ans
25-50 ans
51-60 ans 61 ans et +

3. Etes-vous en possession d'un ou plusieurs véhicules ? *

Oui
Non

Déplacements :

4. Quelle est votre commune de résidence ? *

Choix des communes

...

5. Combien de déplacements journaliers effectuer vous en moyenne ? *

1
2
3
4 et plus

6. Parmi ces communes, quelle-est votre destination la plus fréquente ? *

*Vous pouvez choisir votre commune de résidence en cas de déplacement intra-communale (Dans la même commune)

Choix des communes

...

7. Voulez-vous ajouter une autre destination fréquente ?

Choix des communes

...

8. Quel moyen de transport utilisez-vous principalement lors de vos déplacements

Bus

Taxi

Véhicule Personnel

Annexe 2 : Résultat de la génération

ID Communes	Communes	HBW_P	HBW_A	HBO_P	HBO_A	NHB_P	NHB_A
1	AZEFFOUN	5 484	6 936	7 880	8 917	3 225	3 963
2	IFLISSEN	4 055	3 101	5 794	3 987	2 454	1 772
3	MIZRANA	2 761	2 412	4 275	3 101	1 802	1 378
4	TIGZIRT	6 290	7 593	7 653	9 762	3 428	4 338
5	AIT CHAFAA	804	893	1 954	1 147	746	510
6	AGHRIBS	3 142	2 333	4 745	3 000	2 031	1 333
7	ZEKRI	697	580	1 809	745	696	331
8	TIMIZART	7 644	8 372	11 365	10 764	4 926	4 784
9	AKERROU	1 011	530	2 144	682	878	303
10	BOUDJIMA	4 282	4 484	5 585	5 764	2 543	2 562
11	MAKOUDA	7 784	8 797	10 019	11 311	4 388	5 027
12	FREHA	7 780	8 607	10 732	11 066	4 396	4 918
13	SIDI NAAMANE	3 269	3 729	4 497	4 794	1 982	2 130
14	AZAZGA	11 820	14 861	14 572	19 107	6 036	8 491
15	OUAGUENOUN	6 686	5 874	8 275	7 553	3 733	3 357
16	YAKOUREN	3 860	2 997	5 080	3 853	2 115	1 712
17	AIT AISSA MIMOUNE	6 121	5 345	7 758	6 872	3 614	3 054
18	TADMAIT	7 204	6 182	8 890	7 948	3 834	3 532
19	TIZI OUZOU	64 127	79 231	72 545	101 867	29 777	45 271
20	DRAA BEN KHEDDA	25 071	21 360	25 440	27 463	12 129	12 205
21	MEKLA	7 156	7 117	9 048	9 150	3 869	4 066
22	SOUAMAA	2 711	2 453	3 981	3 153	1 779	1 401
23	AIT KHELLILI	2 753	2 170	3 871	2 791	1 845	1 240
24	IDJEUR	2 375	2 536	4 133	3 260	1 691	1 449
25	TIZI RACHED	5 591	4 162	6 119	5 351	2 908	2 378
26	TIRMITINE	4 837	5 011	6 549	6 442	3 055	2 863
27	IRDJEN	4 080	3 959	4 479	5 090	2 357	2 262
28	IFIGHA	2 354	3 926	3 652	5 047	1 601	2 243
29	BENI AISSI	1 986	1 886	2 932	2 425	1 464	1 078
30	AIT YAHIA MOUSSA	5 049	4 332	7 401	5 569	3 165	2 475
31	AIT OUMALOU	2 559	2 654	2 635	3 412	1 572	1 516
32	LARBA NAIT IRATHEN	9 635	10 246	10 774	13 173	4 972	5 854
33	BENI ZMENZER	3 117	2 758	3 935	3 546	1 987	1 576
34	BENI DOUALA	6 026	5 721	7 165	7 355	3 328	3 269
35	BOUZEGUENE	8 209	7 146	10 298	9 187	4 466	4 083
36	M'KIRA	4 599	3 665	6 182	4 712	2 888	2 094
37	AIT AGGOUACHA	1 059	677	1 960	871	859	387
38	MAATKA	7 236	8 628	10 441	11 093	4 732	4 930
39	SOUK EL THENINE	3 601	3 193	4 602	4 106	2 382	1 825
40	AIT YAHIA	3 288	2 835	5 004	3 644	2 188	1 620
41	AIT MAHMOUD	1 781	1 820	2 651	2 339	1 246	1 040
42	ILOULA OUMALOU	3 054	2 482	4 844	3 192	2 047	1 418

43	AIN ZAOUIA	5 364	2 866	7 954	3 684	3 510	1 637
44	TIZI GHENIF	6 885	8 684	9 128	11 165	4 162	4 962
45	IMSOUHAL	1 318	1 667	2 357	2 143	1 045	952
46	DRAA EL MIZAN	12 461	12 638	16 220	16 248	6 948	7 221
47	BENI YENNI	1 759	1 177	2 318	1 513	1 015	673
48	AIN EL HAMMAM	5 719	5 177	7 232	6 657	3 170	2 958
49	OUADHIA	5 655	5 022	6 829	6 457	3 166	2 870
50	TIZI N'TLATA	4 670	3 084	5 839	3 965	2 903	1 762
51	BENI ZIKKI	895	649	1 748	835	759	371
52	IFERHOUNENE	2 866	2 909	4 200	3 740	1 907	1 662
53	MECHTRAS	3 317	2 740	3 799	3 522	2 082	1 565
54	BOGHNI	8 847	11 160	11 941	14 348	5 128	6 377
55	AIT TOUDDERT	2 479	1 844	3 212	2 371	1 441	1 054
56	ABI YUCEF	1 837	1 561	2 632	2 007	1 343	892
57	IBOUDRAREN	1 207	664	2 148	854	917	379
58	OUACIF	2 653	1 874	3 252	2 409	1 738	1 071
59	YATAFENE	1 009	704	1 622	905	762	402
60	AKBIL	1 937	962	3 174	1 237	1 372	550
61	AIT BOUADDOU	3 666	2 612	5 221	3 359	2 384	1 493
62	AGNI GOUGHRAN	2 273	1 518	3 499	1 952	1 557	868
63	ILLILTEN	2 745	1 566	3 972	2 013	1 881	895
64	ASSI YUCEF	4 083	4 602	5 590	5 916	2 785	2 629
65	FRIKAT	3 494	2 547	5 149	3 275	2 360	1 455
66	BOUNOUH	2 479	1 763	3 543	2 267	1 660	1 008
67	AIT BOUMEHDI	1 921	903	2 373	1 161	1 129	516

Annexe 3 : Réajustement tarifaire 30/12/2017

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 وزارة الأشغال العمومية والنقل
 MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES TRANSPORTS
 ولاية تيزي وزو
 مديرية النقل
 Tizi-Ouzou le, 17 JAN 2018

Avis

Objet : A/S Réajustement tarifaires.
Réf. : Envoi N° 945/DGT/DTU/2017 du 30 Décembre 2017, émanant de Monsieur le Ministre des Travaux Publics et des Transports -DGT/DTTU

Suite à l'envoi ci-dessus référencé, j'ai l'honneur de porter à la connaissance des propriétaires et usagers des moyens de transport public de voyageurs, que le réajustement tarifaire pour le transport public de voyageurs est arrêté come suit :

1. transport collectif de voyageurs :

Distance (Km)	Tarif à appliquer (DA)
00 - 05 Km	20 DA
05 - 10 Km	25 DA
10 - 20 Km	35 DA
20 - 30 Km	45 DA

2. transport public de voyageurs plus de 30 Km

Distance (Km)	Tarifs à appliquer (DA/Km)
30 - 100	1,55
100 - 200	1,90
200 - 600	1,85
600 - 900	1,75
900 et plus	1,70

3. transport par taxis :

Type	Indicateur	Tarifs applicables (DA)
Taxis individuels	Tarifs plafond/Km	23 DA
	Prise en charge en course	20 DA
	Stationnement pour attente (15 mn)	20 DA
	Transport de bagage (supérieur à 15 Kg)	10 DA
Taxis collectifs	Inter communal et inter wilaya (Km./place)	05 DA
	Urbain (Km/place)	Augmentation de 05 DA par

مديرة النقل

Annexe 4 : A propos du BRT

Composantes principales d'un système de BRT :

Racehorse et al. (2015) distingue plusieurs composantes clés des systèmes de BRT :

- a) **Le matériel roulant :** Les véhicules utilisés dans les systèmes BRT sont des véhicules sur pneus et sont conçus pour permettre une montée et une descente à plusieurs portes. Ils sont également adaptés et sécurisés pour accueillir des fauteuils roulants. De plus, ces véhicules offrent la possibilité d'afficher des logos d'entreprises, ce qui génère des revenus supplémentaires pour l'entretien du système. Les véhicules du BRT utilisant des carburants propres ou des sources d'énergie alternatives produisent moins d'émissions, ce qui contribue à préserver l'environnement de la ville ainsi que les écosystèmes environnants.
- b) **Les stations :** Les stations BRT sont des structures dont le but est d'assurer la sécurité des passagers ainsi que de les abriter des éléments extérieurs, et elles fournissent toutes les informations pertinentes dont le passager aurait besoin. Les stations BRT sont conçues en tenant compte des personnes handicapées afin de réduire le temps d'exploitation des véhicules BRT dans les stations. Cela est mis en œuvre en faisant en sorte que la hauteur du quai des stations soit équivalente à la hauteur des portes des bus, permettant une montée et une descente de plain-pied et assurant un accès plus rapide au bus. Les paiements sont également effectués avant d'entrer dans la station, à l'instar d'un métro, ce qui permet d'assurer un service plus rapide et de gagner du temps.
- c) **Développement du plan de service :** Les systèmes BRT ont généralement un service continu de 5h00 à 23h00 en semaine, avec des horaires spéciaux pour les week-ends et les jours fériés. En général, lorsqu'une ville envisage de créer un système BRT, des activités des enquêtes sont menées pour recueillir les avis du public afin de déterminer les jours et les heures les plus appropriés pour la mise en œuvre du système. Des données sont également collectées à partir des itinéraires de bus existants pour déterminer les moments précis auxquels les bus doivent être en service maximal afin de répondre à l'affluence maximale des passagers ainsi qu'aux heures de fréquentation opposées.
- d) **Itinéraire et utilisation des voies :** Une caractéristique essentielle plutôt unique des déplacements en BRT, tout comme pour le tramway, est que la majeure partie de l'itinéraire comporte des voies dédiées. Ces voies ont pour objectif de maximiser la vitesse en évitant les conflits liés au partage de la route avec la circulation régulière des voitures. Ces conflits peuvent inclure des accidents de véhicules et des embouteillages en attendant les feux de circulation pendant les heures de pointe et autres.
- e) **Applications des systèmes de transport intelligents (STI) :** Les BRT peuvent être conçus de manière à intégrer l'application des technologies STI telles que le TSP (Traffic Signal Priority), les systèmes AVL (Automatic Vehicle Location), les systèmes de sécurité avancés et les systèmes d'information client...etc. Cela à pour but de d'améliorer la sécurité routière, réduire les embouteillages et augmenter l'efficacité du système.

Avantages de l'usage des systèmes de BRT :

Dans le rapport 118 « Bus Rapid Transit Practitioner's Guide », le Transit Cooperative Research Program distingue plusieurs avantages des systèmes de BRT :

- Le BRT peut être mis en œuvre rapidement et de manière progressive.
- Le BRT peut être le mode de transport en commun rapide le plus flexible pour desservir de manière rentable une grande variété d'environnements urbains et suburbains.
- Le BRT peut fonctionner sur les artères principales, dans les médianes des autoroutes et à côté des autoroutes, ainsi que dans les tunnels.
- Le BRT peut accueillir des services express et locaux sur une même infrastructure.
- Le BRT peut être moins coûteux à mettre en place qu'une ligne de transport ferroviaire tout en offrant des avantages similaires.
- Le BRT a peu de coûts supplémentaires de mise en œuvre par rapport au service de bus local lorsqu'il circule sur les rues et les autoroutes.
- Le BRT peut être intégré efficacement dans l'environnement environnant et peut générer d'importants avantages en termes de développement urbain.

Estimation des coûts d'implémentation du BRT :

Les coûts d'implémentation d'un système de BRT peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs déterminant l'aspect finale du système (Transit Cooperative Research Program, 2007).

a) Coûts des voies :

Les coûts des voies d'un système BRT dépendent de la situation actuelle du corridor concerné et de la nature précise de ce qui doit être mis en œuvre. Si la voie de bus proposée doit être prise à partir d'une voie de circulation générale existante ou d'une voie de stationnement, les coûts initiaux et continus devraient être minimes. Cependant, si l'ajout d'une voie de bus implique l'acquisition de nouvelles emprises et de nouvelles constructions, les coûts initiaux pourraient être importants, tandis que les coûts d'exploitation et de maintenance pour la nouvelle infrastructure de transport dédiée seront modestes.

b) Coûts des Stations :

Les stations sont un élément essentiel du BRT. Pour une rentabilité maximale, elles doivent être coordonnées avec le développement adjacent, espacées de manière adéquate en fonction des utilisations des terrains environnants, et conçues de manière économique tout en offrant les services et les commodités nécessaires aux passagers. La conception de la station tend à favoriser la fréquentation et stimuler le développement du territoire.

c) Coûts du matériel roulant

Le coût des véhicules utilisé dans un système de BRT dépend de plusieurs facteurs : leurs dimensions, leurs options de style, leur type de plancher (bas ou surélevé), le type de carburant utilisé, l'usage des systèmes AVL ou autres STI...etc.

d) Coûts du plan de service :

Ces coûts sont liés aux autres coûts mentionnés et incluent principalement les coûts nécessaires pour le maintien du niveau de service ainsi que les coûts d'exploitation et de maintenance.

Coûts d'implémentation de système BRT dans les pays à économie émergente

Pays	Ville	Projet	Longueur (km)	Cout/Km (2013 USD/km)	Qualité (BRT Classification)
Brazil	Belo Horizonte	Cristiano Machado	7	\$4,040,571	Gold
Brazil	Curitiba	BRT "Linha Verde"	33.8	\$7,146,213	Gold
Brazil	Rio de Janeiro	TransCarioca	39	\$14,716,462	Gold
China	Guangzhou	Guangzhou BRT	22.9	\$7,672,668	Gold
China	Yichang	Yichang BRT	22.9	\$6,812,169	Gold
Colombia	Bogotá	TransMilenio Phase 1	41	\$18,574,652	Gold
Colombia	Bogotá	TransMilenio Phase 2	42	\$33,036,852	Gold
Colombia	Bogotá	TransMilenio Phase 3	37	\$24,582,229	Gold
Colombia	Medellín	Metroplus	13	\$30,230,724	Gold
				\$16,312,504	Gold Average
Brazil	Belo Horizonte	Antônio Carlos-Pedro 1	15	\$24,124,667	Silver
Brazil	Rio de Janeiro	TransOeste	55	\$15,268,816	Silver
China	Lanzhou	Lanzhou BRT	9	\$7,805,467	Silver
Colombia	Barranquilla	Transmetro	14	\$19,295,428	Silver
Colombia	Cali	Mio	49	\$17,046,807	Silver
Colombia	Pereira	Megabús	27	\$5,326,363	Silver
India	Ahmedabad	Janmarg BRT Phase 1 + 2	88	\$3,003,560	Silver/Bronze
Mexico	Chihuahua	Vivebús	20	\$3,856,908	[likely Silver]
Mexico	León	Optibús Etapa 1	25	\$2,678,309	[likely Silver]
Mexico	Estado de Mexico	Mexibus Línea 1 - Cd Azteca - Tecamac	16	\$7,861,951	Silver
Mexico	Estado de Mexico	Mexibus Línea 3 Chimalhuacán - Pantitlán	15	\$8,934,935	Silver
Mexico	Mexico City	Metrobús Líneas 1-4	93	\$6,216,923	Silver
Mexico	Mexico City	Metrobús Línea 5	10	\$6,352,388	Silver
Mexico	Monterrey	Ecovía Line 1	30	\$4,274,341	Silver
South Africa	Johannesburg	Rea Vaya 1a	30	\$10,387,801	Silver
				\$9,495,644	Silver Average
China	Beijing	BRT Line 1	79	\$1,064,030	Bronze
India	Indore	Indore iBus BRT	11	\$4,920,486	[likely Bronze]
India	Pimpri Chinchwad	Primpri Chinchwad BRTS	45	\$5,482,658	Bronze
India	Surat	Surat BRTS	11	\$12,461,951	Bronze
Mexico	Puebla	RUTA, Line 1	19	\$6,526,254	Bronze
South Africa	Cape Town	MyCiTi Phase IA as of 2010	17	\$23,794,946	Bronze
South Africa	Johannesburg	Rea Vaya Phase 1b	18	\$13,040,278	Bronze
				\$9,612,943	Bronze Average

India	Delhi	Delhi High Capacity Bus System (HCBS) Pilot	6	\$3,909,769	Basic BRT
Indonesia	Jakarta	Transjakarta - Line 2 & 3	14	\$5,812,720	Basic BRT
Indonesia	Jakarta	Transjakarta - Line 11	11	\$3,366,204	Basic BRT
Indonesia	Jakarta	Transjakarta - Line 12	24	\$1,429,598	Basic BRT
Brazil	Fortaleza	Avenida Alberto Craveiro	3	\$5,041,467	Rating pending
Colombia	Cartagena	Transcribe	13	\$42,452,618	Silver pending
Colombia	Bucaramanga	Metrolínea	50	\$6,917,539	Rating pending
Mexico	Puebla	RUTA, Line 2	20	\$12,433,272	Rating pending
South Africa	Tshwane	A Re Yeng Phase IA	7	\$13,834,400	Rating pending
				<i>\$10,577,510</i>	<i>Other Average</i>

✚ **NB** : A titre de comparaison, les coûts des projets de métro léger (Tramway) réalisés à Constantine et Oran sont de 50 et 20 millions de dollars (2013) par km respectivement.

Annexe 5 : Réseau, Matrices et Tableaux

Les données démographiques et socioéconomiques de la wilaya, ainsi que l'ensemble des données de transCAD (couches SIG, Dataviews, et Matrices) seront remis avec un exemplaire de ce mémoire, sous format électronique à la Bibliothèque de l'ENST.

ملخص:

تعد نمذجة النقل فرعًا أساسيًا من فروع هندسة النقل. عادة ما تشمل استخدام نماذج رياضية لتخطيط حركة المسافرين وتوقع سلوكهم. النهج التصميمي المعتمد في هذه الأطروحة هو النهج المتكون من أربع خطوات، وتشمل هذه الخطوات توليد الرحلات، وتوزيعها، واختيار وسيلة النقل، وتوزيع حركة المرور. الهدف من العمل المنجز هو اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن قدرات الطرق وخدمات النقل وسياسات استخدام الأراضي. تم استخدام أداة البرمجيات "TransCAD" لتسهيل تطبيق النماذج المستخدمة في عملية التخطيط في ولاية تيزي وزو في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: نمذجة النقل، تخطيط الطلب على النقل، نماذج الأربع خطوات، TransCAD.

Résumé :

La modélisation du transport est une branche essentielle de l'ingénierie des transports. Elle implique généralement l'usage de modèles mathématiques pour planifier les déplacements des voyageurs et prédire leur comportement. L'approche de modélisation abordé dans ce mémoire est l'approche en quatre étapes, ces étapes sont : la génération des déplacements, la distribution, la répartition modale et l'affectation du trafic. L'objectif du travail réalisé est de prendre des décisions éclairées sur les capacités routières, les services de transport et les politiques d'utilisation du territoire. L'outil informatique "TransCAD" a été utilisé pour faciliter l'application des modèles utilisés dans ce processus de planification dans la Wilaya de Tizi-Ouzou en Algérie.

Mots clés : modélisation du transport, planification de la demande de transport, modèles à quatre étapes, TransCAD.

Abstract :

Transport modeling is an essential branch of transportation engineering. It typically involves the use of mathematical models to plan traveler movements and predict their behavior. The modeling approach discussed in this thesis is the four-step approach, which includes trip generation, trip distribution, mode choice, and traffic assignment. The objective of the research is to make informed decisions on road capacities, transportation services, and land use policies. The software tool "TransCAD" was used to facilitate the application of the models in the planning process in the Tizi-Ouzou province in Algeria.

Keywords: transport modeling, transportation demand planning, four-step models, TransCAD.