

République du Sénégal



ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

GC.0181

PROJET
DE
FIN D'ETUDES

TITRE: Modélisation pour une planification
de la circulation urbaine à Dakar

AUTEUR: Boubou NDiaye

DIRECTEUR: _____

CO-DIRECTEUR: _____

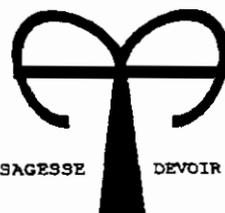
GENIE: Civil

DATE: 1991

REPUBLIQUE DU SENEGAL

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



3022

PROJET DE FIN D'ETUDES
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

TITRE :

MODELISATION POUR UNE PLANIFICATION
DE LA CIRCULATION URBAINE A DAKAR

AUTEUR : BOUBOU NDIAYE
DIRECTEUR : MASSAMBA DIENE , Ing. Ph.D
Professeur à l'E.P.T

CO-DIRECTEURS :

- MOUNTAGA DIOP
Conseiller en informatique
Commune de DAKAR
- MAMADOU SOW
Bureau de Circulation
Ministère de l'Equipement

DATE: Juillet 1991

A ma famille,
A mon oncle dont j'éprouve
une grande fierté à porter
le prénom,
A mes amis.

REMERCIEMENTS

Je voudrais d'abord témoigner toute ma gratitude et ma profonde reconnaissance à l'endroit de mes directeurs de projet. Il s'agit de :

_ M. Massamba DIENE, Ing. Ph.D, professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès (E.P.T).

_ M. Mountaga DIOP, Ing. informaticien, conseiller technique , responsable de la cellule informatique de la commune de Dakar.

_ M. Mamadou SOW, M.Sc en Transport, en service au Bureau de Circulation (Ministère de l'Equipement).

Au cours des différentes phases du présent travail, ces messieurs ont su m'orienter de façon positive à travers conseils, critiques et suggestions; je leur en suis beaucoup redevable.

A ces remerciements, j'associe M. Babacar NDIAYE, chargé de cours à l'Université C. Anta DIOP, vacataire pour le cours de " Recherche opérationnelle " à l'E.P.T. Je tiens de même à adresser mes sincères remerciements à M. Balla GUEYE, élève-ingénieur en 2e année, pour sa précieuse collaboration.

Ce travail n'aurait pu trouver cette heureuse issue sans l'apport décisif de M. Samba DIALLO, Ing. M Sc A, vacataire pour le cours de Transport en Mai et Juin 1991. C'est un honneur pour moi de pouvoir lui exprimer ici, toute ma gratitude .

La réalisation de la présente étude a été rendue possible grâce à un financement de l'Institut Africain de Gestion Urbaine (I.A.G.U). Je tiens à cette occasion, à adresser mes sincères remerciements à son Secrétaire Exécutif, en l'occurrence le Dr Ousseynou Eddje DIOP. Sa contribution efficace et ses conseils pertinents m'ont été d'un apport précieux.

Je rends hommage à M. Mamadou DIOP, maire de Dakar. La diligence qu'il a bien voulu apporter à notre sollicitation est un gage supplémentaire de l'intérêt particulier qu'il ne cesse d'accorder à toute action de développement destinée à la ville de Dakar. A travers lui, j'aimerais témoigner toute ma reconnaissance à son staff technique en particulier à M. Oumar DIEYE, directeur des Services Techniques de la Communauté urbaine de Dakar, ainsi qu'à son adjoint M. Adama GUEYE.

Enfin, j'adresse des remerciements à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont eu à m'apporter leur concours dans la réalisation du présent travail.

SOMMAIRE

La présente étude se propose de faire une analyse de la circulation urbaine sur un réseau circonscrit dans le périmètre de la région de Dakar. L'optique visé est l'ajustement d'un modèle d'affectation pouvant approcher de manière satisfaisante les caractéristiques et mécanismes auxquels répondent les besoins de déplacement des populations. Mais l'atteinte de cet objectif devra passer par une étude du trafic à travers des enquêtes et un recueil de données effectués sur certains liens du réseau. Cette étape sera un prélude à une importante phase de calibration de fonctions d'offre pour ces liens. Enfin, à l'échelle du réseau, il sera abordé le problème de l'affectation.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
Remerciements.....	i
Sommaire	iii
Table des matières.....	iv
Chapitre I INTRODUCTION	1
Chapitre II CARACTERISATION DU RESEAU	3
<u>II.1</u> Théorie des Graphes.....	3
<u>II.2</u> Limites du réseau.....	6
Chapitre III ETUDE DU TRAFIC	16
<u>III.1</u> Type de comptage.....	17
<u>III.1.1</u> Comptages continus.....	17
<u>III.1.2</u> Comptages périodiques.....	17
<u>III.2</u> Détermination du temps de parcours moyen.....	18
<u>III.3</u> Présentation des résultats.....	19
<u>III.3.1</u> Volume de trafic Q.....	22
<u>III.3.2</u> Temps de parcours	24
Chapitre IV ANALYSE DE L'OFFRE	25
<u>IV.1</u> Théorie et notions de base.....	25
<u>IV.1.1</u> Capacité.....	25
<u>IV.1.1.1</u> Capacité limite.....	26
<u>IV.1.1.2</u> Capacité réelle.....	28
<u>IV.1.1.3</u> Capacité pratique.....	31
<u>IV.1.2</u> Niveau de service.....	32
<u>IV.1.3</u> Théorie de l'offre.....	36
<u>IV.2</u> Calibration des fonctions d'offre.....	43

	<u>IV.2.1</u>	Temps de parcours à débit nul.....	44
	<u>IV.2.2</u>	Capacité réelle Cs.....	48
	<u>IV.2.3</u>	Calibration des paramètres α et β	51
Chapitre V		PROGRAMMATION.	61
	<u>V.1</u>	Problématique de la demande.....	61
	<u>V.2</u>	Affectation de trafic.....	63
	<u>V.2.1</u>	Le tout ou rien.....	66
	<u>V.2.2</u>	Tout ou rien avec contrainte de capacité.....	66
	<u>V.3</u>	Algorithme et commentaires.....	70
	<u>V.3.1</u>	Hypothèses de base	70
	<u>V.3.2</u>	Algorithme.....	69
	<u>V.4</u>	Illustration par un exemple.....	74
	<u>V.5</u>	Discussions	79
Chapitre VI		CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	82
		BIBLIOGRAPHIE.....	84
		ANNEXES	85
	Annexe A :	Plans P1 et P2.....	86
	Annexe B :	Tableaux récapitulatifs des comptages et temps de parcours.....	89
	Annexe C :	Table des valeurs du coefficient d'ajustement T_c pour les poids lourds.....	101
	Annexe D :	Illustration de la recherche de l'équilibre offre / demande.....	103
	Annexe E :	Théorie de la méthode du Q-semi anneau et matrices associées à un graphe.....	105
	Annexe F :	Valeurs de base pour l'établissement des courbes de calibration.....	110
	Annexe G :	Listing du programme.....	113
	Annexe H :	Matrices O/D pour u.v.p., T.C et autres modes (données 1980).....	139
	Annexe I :	Matrices D, C, et V relatives à l'exemple d'illustration.....	143

INTRODUCTION

Comme la plupart des métropoles urbaines des pays en développement, la ville de Dakar se trouve confrontée à de difficiles problèmes de transport et de circulation. Outre le handicap d'une concentration démographique excessive (environ 1.830.000 habitants en 1983 pour une superficie de 550km²), le chef-lieu de la région du cap-vert souffre en effet de maux qui ont pour noms :

- _ une mauvaise configuration géographique
- _ la rigidité du réseau de voirie composé essentiellement de cinq grands axes routiers convergeant vers le Plateau: la route de Rufisque, l'autoroute, le bd Général De Gaulle, la route de la Corniche Ouest et l'avenue Blaise Diagne prolongée par l'avenue Cheikh Anta Diop
- _ une répartition spatiale déséquilibrée des activités économiques et sociales; le cas du Plateau qui à lui seul concentrait en 1980, 27% des emplois alors qu'il n'abrite que 3% de la population totale de l'agglomération dakaroise, est un exemple éloquent
- _ un exode rural massif qui s'accroît avec les années

_ la faiblesse des moyens en matière de transport de masse.

Ces divers aspects sont autant de facteurs qui interpellent les autorités face à la nécessité d'une adaptation permanente par rapport aux mutations et exigences de la demande. Cependant, la rareté des ressources financières eu égard à l'ampleur des besoins rend cette mission de service public suffisamment délicate pour les autorités compétentes. Elles ont ainsi besoin dans leurs politiques d'investissement en matière de transport routier, d'être appuyées par une planification plus outillée reposant sur des études cohérentes.

Les études menées à partir de 1980 par la D.E.P (Direction des Etudes et de la Programmation - Ministère de l'Equipement) en collaboration avec le groupe SONED-AFRIQUE/SCET-INTERNATIONAL (études dont le rapport final a été présenté en 1986), ont fait un grand pas dans ce sens.

Par ailleurs, le travail faisant l'objet du présent rapport, loin d'avoir quelque prétention que ce soit, se veut également une modeste contribution dans la même mouvance. Plus précisément, notre investigation sur le réseau de voirie à Dakar se fixe comme premier objectif la calibration de modèles d'offre pour certains éléments de cette voirie en vue d'en maîtriser les caractéristiques d'évolution du niveau de service offert en fonction de l'achalandage (volume de trafic). Dans une seconde phase, on se propose de mettre au point un outil informatique dans l'optique du calage d'un modèle d'affectation (le tout ou rien avec contraintes de capacité) aux mécanismes et comportements des populations dans leurs déplacements.

CARACTERISATION DU RESEAU

Ce chapitre est une présentation du réseau avec les différents éléments identifiés qui le composent. Mais en amont de cette présentation, sera abordé un rappel de certains éléments de base liés à la théorie des graphes.

II.1 Théorie des graphes

Dans le souci de permettre une bonne compréhension de la terminologie ainsi que des notions essentielles dont il sera question dans les développements ultérieurs, il sera exposé dans cette partie, certains concepts et aspects théoriques qui sont à la base de notre étude.

II.1.1 ' Graphe d'ordre n

Soit un ensemble dénombrable $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ et une application multivoque Γ de X dans X .

Le couple $G = (X, \Gamma)$ constitue un graphe d'ordre n .

Autrement dit un graphe est constitué d'une suite X d'éléments

x_1, x_2, \dots, x_n et d'une suite L formée de paires d'éléments x_i, x_j de X .

- A chaque élément de X , on fait correspondre un point sur le papier que l'on appelle "sommet" ou "noeud" du graphe qui est repéré comme l'élément de X auquel il correspond.

- Deux sommets x_i et x_j sont liés par une flèche de x_i vers x_j si $x_j \in \Gamma x_i$. Cette flèche matérialise ce qu'on appelle un "arc" du graphe. Un arc peut être orienté ou non suivant que le déplacement se fait uniquement dans un sens ou dans les deux. Pour ce dernier cas, on parlera plutôt de "lien". Mais dans les développements qui vont suivre on utilisera le terme de "tronçon" x_i, x_j .

II.1.2 Extrémité

Soit un arc $v = (x_i, x_j)$, alors x_i est appelé "extrémité initiale" et x_j "extrémité terminale".

II.1.3 Chemin

Un chemin est une séquence (u_1, u_2, \dots, u_n) d'arcs telle que l'extrémité terminale de chaque arc coïncide avec l'extrémité initiale du suivant.

II.1.5 Matrice associée à un graphe.

Soit $G = (X, V)$ un graphe d'ordre n dont les noeuds sont x_1, x_2, \dots, x_n .

On désigne par m_{ij} le nombre d'arcs de V qui vont de x_i à x_j . La matrice carrée formée avec les m_{ij} est appelée matrice associée au

II.1.6 Réseau

Un réseau est un graphe dont les arcs et/ou les noeuds ont certaines caractéristiques quantitatives. Celles-ci peuvent être la dimension (capacité) C_{ij} ou le flot (i.e flux) J_{ij} d'un arc (x_i, x_j) , les deux étant supposés être des nombres entiers non négatifs :

$$C_{ij} \geq 0 \quad x_i, x_j \in X$$

$$J_{ij} \geq 0 \quad x_i, x_j \in X$$

Une autre restriction est que le flux ne peut dépasser la capacité d'un arc:

$$J_{ij} \leq C_{ij}$$

Une définition complète du réseau appelle cependant la prise en compte de deux nouveaux concepts à savoir le noeud origine O appelé aussi "entrée" et le noeud D appelé "destination" ou "sortie" (cf figure 2.1). Tous les autres noeuds sont des noeuds intermédiaires.

II.1.7 Flux dans les réseaux

On appelle flux une quantité donnée par unité de temps (personnes, véhicules, marchandises, etc.) se déplaçant le long des différents arcs de l'origine O à la sortie D .

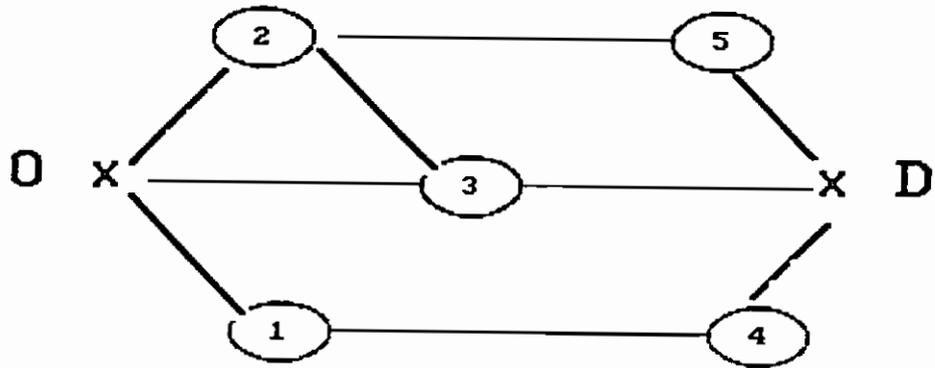


FIG 2.1 : Exemple de graphe avec arcs non orientés

Plus précisément, on définit le flux comme une suite de nombres réels non négatifs satisfaisant les conditions suivantes :

$$\sum_{(i,j) \in X} X_{ij} - \sum_{(j,k) \in X} X_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{si } j = "0" \text{ ou } "D", j \in X \\ -x & \text{si } j = "0" \\ x & \text{si } j = "D" \end{cases}$$

avec x réel positif

II.2 Limites du Réseau

Le périmètre qui fait l'objet de notre étude est un regroupement des zones définies dans le cadre du découpage

zonal (en treize (13) zones) adopté par le Bureau de Circulation (Ministère de l'équipement) pour la région de Dakar. Les treize

zonal (en treize (13) zones) adopté par le Bureau de Circulation (Ministère de l'équipement) pour la région de Dakar. Les treize composantes de ce découpage se résument comme suit :

ZONE	DESIGNATION
1	PLATEAU
2	MEDINA
3	H.L.M
4	ZONE INDUSTRIELLE ET HANN
5	HANN ET POINT E
6	GRAND DAKAR
7	YOFF ET OUAKAM
8	SICAP
9	GRAND YOFF
10	MBAO ET THIAROYE/MER
11	PIKINE
12	GUEDIAWAYE
13	THIAROYE - YEUMBEUL

Ces différentes zones sont inter-reliées par une voirie composée de grands axes ainsi que des rocales. Ces éléments de voirie

s'intersectent en des points constituant les noeuds ou sommets du réseau tels que définis au paragraphe précédent. A chaque noeud il est affecté une valeur numérique correspondant à son indice.

Puisque les sommets constituent les extrémités des tronçons, ces derniers seront alors désignés par des couples de valeurs. Ainsi, le tronçon joignant les noeuds x_i et x_j sera noté $[x_i - x_j]$.

Les plans P_1 et P_2 qui sont présentés en annexe A donnent une bonne idée de la configuration du réseau. Ces plans définissent respectivement deux grandes zones Z1 et Z2. En pratique, c'est dans les limites du périmètre défini par la zone Z1 que se sont effectivement déroulées nos enquêtes. Le périmètre défini par la zone Z2 a été considéré pour des raisons liées à l'objectif visé dans la seconde partie de cette étude.

En ce qui concerne le plan P_1 , il se subdivise en deux secteurs à l'intérieur desquels on a choisi les liens à étudier :

- SECTEUR I ; s'étend du Plateau à l'avenue Malick SY
- SECTEUR II ; de l'avenue Makick SY à la sortie de l'autoroute
(voir plans présentés aux pages suivantes)

Le Bureau de Circulation dans son rapport intitulé "Plan d'Actions Prioritaires - pour la Réalisation du Plan de Circulation de Dakar ", effectue un classement des tronçons pour chacun des secteurs I et II.

Suivant la valeur prise par l'indice F, on définit un ensemble de six classes, chaque classe étant caractéristique d'un niveau d'utilisation des routes.

Un échantillonnage reposant sur cette classification, à défaut d'être parfait, permet de recouper l'ensemble des conditions d'utilisation des artères du périmètre d'étude. Nous avons ainsi choisi pour chaque classe, un tronçon représentant sur lequel ont été menés les enquêtes et comptages.

A l'échelle des deux secteurs, nous aurons alors un total de douze liens qui vont faire l'objet de nos investigations. Ces douze liens sont désignés comme suit:

SECTEUR I:

- classe 1 : lien [2-9] Avenue Emile BADIANE
- classe 2 : lien [1-2] Avenue Georges POMPIDOU
- classe 3 : lien [2-7] Avenue Lamine GUEYE (1)
- classe 4 : lien [7-13] Avenue Lamine GUEYE (2)
- classe 5 : lien [9-17] Avenue Blaise DIAGNE (1)
- classe 6 : lien [15-16] Avenue Malick SY

NB: l'indice (1) indique que le tronçon concerné est le ième tronçon investigué sur l'axe en question. Exemple:
Avenue Lamine GUEYE (1).

SECTEUR II :

- classe 1 : lien [16-24] Boulevard GL de GAULLE
- classe 2 : lien [17-19] Avenue Blaise DIAGNE (2)
- classe 3 : lien [20-21] Avenue Blaise DIAGNE (3)
- classe 4 : lien [14-26] Route de Rufisque
- classe 5 : lien [14-23] Avenue Félix EBOUE
- classe 6 : lien [23-26] Route des Grands Moulins

Suivant la nature de la zone (urbaine, suburbaine, rurale, etc), les niveaux de service offerts pour une classe donnée varient. Comme on le verra au chapitre IV, les différents niveaux de service d'une zone à l'autre, ne peuvent être reliés directement les uns aux autres parce qu'ils sont en général mesurés par rapport à des échelles différentes. Ainsi, le niveau de service offert par un élément de la classe 1 dans le secteur I (exemple: Avenue Emile Badiane) ne sera pas le même que le niveau de service offert par un élément de la même classe considéré dans le secteur II (par exemple le Bd GL de Gaulle). En effet le secteur I, circonscrit autour du centre ville (Dakar Plateau), présente des niveaux de service relativement plus bas (par rapport à ceux du secteur II), ceci compte tenu des configurations de trafic plus denses résultant du niveau de sollicitation des voies. Pour mieux apprécier cette différence, nous allons caractériser qualitativement les divers tronçons représentatifs dans les deux secteurs, en fonction de leurs particularités.

L'avenue Emile BADIANE (lien [2-9]), élément de la classe 1 pour le secteur I, est une voie à sens unique qui traverse le marché Sandaga, avec un encombrement latéral sur les deux côtés. En général, les vitesses moyennes y sont très faibles et les temps de parcours élevés. Pour la même classe au niveau du secteur II, il y a le Bd GL de GAULLE. C'est une route à 3 voies, très sollicitée surtout aux heures de pointe. Elle constitue une voie de liaison entre le centre ville et les zones telles que HLM, GRAND DAKAR, la MEDINA, les SICAP, etc.

Concernant la classe 2, il y a l'avenue Georges POMPIDOU pour le secteur I. Même si elle n'est pas aussi encombrée que l'avenue Emile BADIANE, elle demeure une voie très sollicitée. En effet, ce tronçon constitue avec les allées Robert DELMAS (lien [1-4]) et l'avenue ROUME (cf plan du secteur I), l'une des principales voies de sortie ou d'accès vers le domaine de la place de l'indépendance, qui polarise une part importante des emplois. Les niveaux de service y sont relativement bas d'autant plus que le noeud n°2 (entrée du lien [2-9] Avenue Emile BADIANE) constitue un véritable goulot d'étranglement aux heures de pointe. Par ailleurs, dans le secteur II, l'élément représentatif de la classe 2 (i.e le lien [17-19] Avenue Blaise DIAGNE 2) se caractérise par une faiblesse des niveaux de service accentuée par la présence du marché Tilène où le taux élevé de "cars rapides" au sein du trafic constitue une gêne considérable.

Concernant la classe 3, l'élément 2-7 (Avenue Lamine GUEYE 1) pour

le secteur I, est caractérisé par la proximité du marché Sandaga. C'est un élément à 2 voies sur lequel l'encombrement est effectif sur les deux côtés (étalages de marchands, piétons, voitures en stationnement, etc). Les niveaux de service y sont relativement bas, particulièrement aux heures de pointe. Pour la même classe au niveau du secteur II, il y a le lien [20-21] (i.e l'avenue Blaise DIAGNE 3 _ cf plan du secteur II) sur lequel la circulation est assez fluide, sauf au voisinage de l'hôpital Fann où la présence de la tête de ligne des "cars rapides" (Terminus Pikine - Fann) crée très souvent des blocages.

L'élément [7-13] (Avenue Lamine GUEYE 2) de la classe 4 pour le secteur I, est une route à deux voies. Il présente des niveaux de service généralement acceptables mais aux heures de pointe il est très sollicité parce que constituant une voie d'accès vers le centre ville, à partir de l'autoroute et la Route de Rufisque. Parallèlement, au niveau du secteur II, on a le tronçon de la Route de Rufisque (lien [14-26]). C'est un élément à 2 voies qui n'est pas encombré sur les côtés. Il y a cependant un pourcentage important de "cars rapides" qui transitent par là et au voisinage du noeud 14, ces véhicules ont un arrêt qui constitue souvent une gêne pour la circulation.

L'élément [9-17] Avenue Blaise DIAGNE (1) est un tronçon à 2 voies. Le niveau de gêne latérale n'est pas très sensible (les étalages de marchands se tiennent sur les trottoirs prévus à cet effet). Cependant le pourcentage de bus et de "cars rapides" (voir

résultats de comptage au chapitre II) est considérable, créant ainsi une sérieuse entrave à la fluidité du trafic. D'autre part, il y a que le noeud n°9 (où déversent les tronçons [8-9], [2-9] et [17-9]) crée souvent un bouchon pour la circulation notamment aux heures de pointe, compte tenu du taux élevé de trafic qui le sollicite. Pour la même classe, au niveau du secteur II, le tronçon [14-23] Avenue Félix EBOUE présente des niveaux de service acceptables. Cependant au voisinage des extrémités, on note souvent des problèmes liés au niveau de gêne (l'entrée du Môle 10 , quai de la pêche _ voisinage du noeud n°14) ou à l'encombrement des carrefours.

En ce qui concerne la classe 6, l'avenue Malick SY représente un élément sur lequel le niveau de service est relativement bon. C'est un élément à 3 voies. Le tronçon [23-26] (Route des Grands Moulins) pour le secteur II, est caractérisé par une circulation assez fluide en général, mais au voisinage du noeud n°23, le stationnement de véhicules gros porteurs sur un côté de la voie (domaine de l'usine des Grands Moulins), constitue une gêne à l'écoulement du trafic.

ETUDE DU TRAFIC

Les données constituent une information fondamentale pour une étude de circulation. En effet, la fiabilité des résultats d'étude en dépend dans une très large mesure.

Généralement, en ce qui concerne les sources de données il existe deux possibilités, soient :

- le recueil de données existantes.
- les enquêtes et comptages à effectuer sur le terrain en vue de dresser des inventaires.

Pour les besoins de notre étude, nous avons plutôt fait une combinaison des deux. Les données disponibles à la Direction des Etudes et de la Programmation (DEP) du Ministère de l'Equipement, étant associées aux résultats des enquêtes et comptages menés sur certains liens du réseau. Ces étapes ont consisté essentiellement à la détermination de volumes de trafic moyen ainsi que des temps de parcours moyen sur certains liens. Avant d'aborder la présentation des résultats, nous donnons ci-dessous quelques procédés généralement utilisés pour le recueil des données.

III.1 Les Types de Comptages

Les comptages de la circulation sur une section de voie peuvent être continus ou périodiques.

III.1.1 Comptages Continus

Ces comptages sont effectués au moyen d'appareils automatiques qui ne donnent que le nombre d'essieux passant dans une période de temps donnée. Le type le plus utilisé est le compteur pneumatique.

On distingue par ailleurs d'autres types d'appareils appelés détecteurs, comme par exemple, le détecteur radar, le détecteur magnétique et le détecteur capacitif. Ce dernier type est constitué de deux fils transversaux parallèles, noyés dans la chaussée. Le premier est branché sur un émetteur, le second sur un récepteur recevant un signal continu que fait varier le passage d'un pneu.

III.1.2 Comptages Périodiques

Les comptages continus ne donnent que le nombre total de véhicules passant dans une période donnée. Le recours à un comptage qui permette d'obtenir une discrimination type par catégorie de véhicule est nécessaire. Ce comptage est généralement effectué par des personnes physiques. Il s'agit d'un comptage périodique classé. Il implique une classification des véhicules en groupes :

- ayant des besoins semblables d'espace routier,

- offrant sensiblement le même empêchement à l'écoulement du trafic.

En général, on affecte à chaque type un coefficient d'équivalence afin de faire la conversion en véhicule équivalent c'est à dire l'unité de voiture particulière (u.v.p.). On choisit le degré de discrimination selon les besoins de l'étude en question.

III.2 La détermination du temps de parcours moyen

Plusieurs méthodes sont utilisées, entre autres :

- la télédétection: l'exploitation de la photographie aérienne ou le recours aux procédés de la photogramétrie pour déterminer la vitesse moyenne de parcours, les temps de parcours sur un tronçon, etc.

- la méthode du "véhicule flottant": elle consiste à faire des aller-retour à l'intérieur d'un véhicule, sur l'axe dont on veut déterminer les caractéristiques de circulation; pour chaque parcours, il faut noter le nombre de véhicules croisés, le nombre de véhicules dépassés et le nombre de véhicules dépassant le "véhicule flottant"; en même temps, à l'aide d'un chronomètre, on note les temps de parcours aller et retour; enfin, par le biais de formules appropriées, on parvient à évaluer le volume de trafic Q , le temps moyen t et la vitesse moyenne v . Toutefois, cette méthode comporte beaucoup d'approximations.

- le cheminement avec marquage du temps: ce procédé consiste à

faire déplacer un certain nombre de fois le véhicule à l'intérieur du flot sur le tronçon à étudier, en notant avec un chronomètre le temps de parcours. Le temps de parcours moyen sera la moyenne des temps de parcours successivement notés. Connaissant la longueur du tronçon, on peut ainsi évaluer la vitesse moyenne sur ce dernier. Cette méthode donne des résultats assez précis quand le flot sur le trafic est dense.

III.3 Présentation des Résultats

Au chapitre précédent, nous avons énoncé une classification des tronçons suivant un indice débit/vitesse pour deux secteurs donnés. A l'intérieur de chaque secteur, on distinguait un ensemble de six (6) classes. A défaut de pouvoir traiter tous les liens, le classement effectué va nous guider dans le choix d'un tronçon représentatif pour chaque classe, sur lequel vont s'effectuer les mesures d'indicateur de circulation (volume de trafic Q , temps de parcours moyen T).

Par ailleurs en ce qui concerne la détermination des volumes de trafic, nous avons procédé à des comptages périodiques par tranches de 30 minutes comprises dans l'intervalle de temps allant de 8h à 21h.

Tableau 3.1 : RESULTATS DE COMPTAGE

(Durée : 30 mn)

TRONCON : 9 - 17 / Av. Blaise DIAGNE (1)

(Sens aller : de 9 vers 17)

Type vehicule	C.E. (*)	PERIODE HORAIRE									
		8h à 9h	9h à 10h30	10h30 à 12h	12h à 13h	13h à 14h30	14h30 à 15h30	15h30 à 17h	17h à 18h	18h à 19h30	19h30 à 21h
Type 1 : Auto, Taxi, Camionette	1	167	237	227	338	72	175	186	190	245	125
Type 2 : Car Rapide Autocar	1.5	75	78	82	170	65	78	87	54	156	54
Type 3 : Bus , Camion	2	21	20	27	19	3	10	9	42	21	12
Type 4 : Deux Roues	0.33	6	5	50	57	0	8	21	36	60	30
Type 5 : Semi Remorque	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Brut / 30 mn		269	340	386	584	140	271	303	322	482	221
Total en uvp / 30mn		323	396	421	650	176	315	341	367	541	240
Total en uvp / heure		647	791	841	1300	351	629	683	734	1082	480

(*) C.E. : coefficient d'équivalence

Tableau 3.2 : RESULTATS DE COMPTAGE

(Durée : 30 mn)

TRONCON : 9 - 17 / Av. Blaise DIAGNE (1)

Sens retour : de 17 vers 9

Type vehicule	C.E. (*)	PERIODE HORAIRE									
		8h à 9h	9h à 10h30	10h30 à 12h	12h à 13h	13h à 14h30	14h30 à 15h30	15h30 à 17h	17h à 18h	18h à 19h30	19h30 à 21h
Type 1 : Auto, Taxi, Camionette	1	288	190	178	100	66	222	202	188	128	108
Type 2 : Car Rapide Autocar	1.5	147	102	88	51	31	138	84	60	75	78
Type 3 : Bus , Camion	2	54	30	30	6	6	9	4	30	12	24
Type 4 : Deux Roues	0.33	30	12	30	57	6	5	21	6	18	3
Type 5 : Semi Remorque	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Brut / 30 mn		519	334	326	214	109	374	311	284	233	213
Total en uvp / 30mn		626	407	380	207	126	449	343	340	270	274
Total en uvp / heure		1253	814	760	415	253	897	686	680	541	548

(*) C.E. : coefficient d'équivalence

Simultanément à ces comptages, des cheminements avec marquage de temps ont été effectués (i.e dans les mêmes intervalles de temps), afin de déterminer le temps de parcours moyen pour la période horaire concernée. Pour ce faire, il a été nécessaire d'avoir le concours des quatre aide-opérateurs en vue du comptage périodique.

III.3.1 Volume de trafic Q

Durant une tranche de 30 minutes au cours de la période horaire en question, quatre opérateurs se positionnent aux extrémités du tronçon sur lequel doit se faire le comptage. Les deux premiers notent les débits (volume de trafic) entrant et sortant à une extrémité, les deux autres font de même à l'autre extrémité.

A la fin de la tranche de comptage (30 minutes), on effectue la moyenne du débit entrant en amont avec le débit sortant en aval pour avoir les valeurs moyennes du débit de trafic dans un sens. La procédure reste la même pour évaluer le volume moyen dans l'autre sens (i.e débit sortant en amont et débit entrant en aval à considérer). La valeur moyenne obtenue dans un sens est un débit sur 30 minutes; pour évaluer le débit horaire on multiplie cette valeur moyenne par deux.

Tableau 3.3 : RECAPITILATIF DES TEMPS DE PARCOURS ET DEBITS PAR VOIE

TRONCON : 9 - 17 / Av. Blaise DIAGNE (1)

SENS DE PARCOURS	Para-mètres	PERIODE HORAIRE									
		8h à 9h	9h à 10h30	10h30 à 12h	12h à 13h	13h à 14h30	14h30 à 15h30	15h30 à 17h	17h à 18h	18h à 19h30	19h30 à 21h
SENS 1 : de 9 vers 17	Tm (s)	127	160	158	375	90	122	135	148	318	95
	Tm(mn)	2.12	2.67	2.63	6.25	1.50	2.03	2.25	2.47	5.30	1.58
	Vm(Km/h)	22	18	18	8	32	23	21	19	9	30
	Qm: (uvp/h)	647	1025	901	1300	351	629	683	734	893	480
SENS 2 : de 17 vers 9	Tm (s)	328	175	152	100	85	165	155	158	112	120
	Tm(mn)	5.47	2.92	2.53	1.67	1.42	2.75	2.58	2.63	1.87	2.00
	Vm(Km/h)	9	16	19	28	33	17	18	18	25	24
	Qm: (uvp/h)	1253	1133	899	498	394	719	706	770	541	548

Tm (s) : temps de parcours moyen exprimé en secondes
 Tm (mn) : temps de parcours moyen exprimé en minutes
 Vm (km/h) : vitesse moyenne exprimée en Km / h
 Qm (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

Par ailleurs, en ce qui concerne les coefficients d'équivalence, on a adopté les valeurs suivantes, recueillies à la D.E.P. :

- pour les véhicules de type 1 (exemples : auto, taxi, camionnette, etc), le coefficient sera pris égal à 1

- type 2 (car rapide, autocar, etc); coefficient 1.5

- type 3 (bus, camion, etc); coefficient 2

- type 4 (deux roues); coefficient 0.33

- type 5 (semi-remorque); coefficient 2.5 .

Les tableaux 3.1 et 3.2 présentent les résultats des comptages sur le tronçon [9-17] respectivement dans le sens 9 vers 17 et dans le sens contraire. Les types de véhicules y sont mentionnés ainsi que les totaux des véhicules convertis en unités de voitures particulières (u.v.p) sur 30 minutes et sur une heure.

III.3.2 Temps Moyen de Parcours

Plusieurs cheminements aller et retour sont effectués sur le tronçon au cours d'une tranche de comptage donnée en vue de déterminer le temps de parcours moyen pour la période horaire. Le tableau 3.3 présente les valeurs obtenues sur le tronçon [9-17] dans les deux sens. Le temps est exprimé en secondes puis en minutes. Connaissant la longueur du tronçon, on en déduit la vitesse moyenne de parcours. Il est également reporté sur le tableau le débit Q_m (en uvp/h) pour chaque période horaire.

ANALYSE DE L'OFFRE

Dans le présent chapitre, il sera d'abord question d'une présentation de certains concepts sur lesquels repose l'étude des fonctions d'offre. Ensuite, le choix d'un modèle approprié, à travers une investigation sur les différentes études élaborées jusqu'ici, va conduire à une étape de calibration. Cette étape permettra donc de trouver, pour les liens du réseau étudiés, les paramètres caractéristiques du modèle d'offre.

IV.1 THEORIE ET NOTIONS DE BASE.

L'offre d'une route détermine le niveau de service qu'elle propose, lorsqu'elle est soumise à un volume de trafic donné. Avant d'aborder les considérations d'ordre théorique liées à la fonction d'offre, il sera développé, dans ce qui suit, certaines notions fondamentales relatives à ce concept.

IV.1.1 Capacité

La capacité désigne le nombre maximum de véhicules par unité de temps pouvant être traités par un élément de voie sous des

conditions données de géométrie et de trafic.

On définit plusieurs types de capacités :

IV.1.1.1 Capacité limite

C'est le nombre maximum de véhicules pouvant circuler sur une route de caractéristiques parfaites (accotements sans obstacles, visibilité excellente, etc) pendant un temps donné, lorsque la circulation a les caractéristiques optimales (flot continu, libre de toute interférence ou gêne par d'autres véhicules, piétons...).

Il est important de noter que même si ces conditions idéales de géométrie et de trafic produisent les plus grands débits pour un niveau de service donné, le volume maximum possible au bord de la capacité sera toujours insatisfaisant voire limité. On définit ainsi une capacité limite pour différents types de routes sous des conditions idéales:

- pour une route à voies multiples, mais ayant une seule direction (sens unique), la capacité est considérée égale à 2.000 unités de voitures particulières (u.v.p.) par heure et par voie.

- pour une route à deux voies et deux sens, les manoeuvres de croisement et de dépassement s'effectuent sur la voie normalement utilisée par le trafic inverse. Sur les deux sens de parcours, les voitures les plus lentes occasionnent des vides entre les véhicules et ces vides peuvent être remplis par des manoeuvres de dépassement. De tels vides, s'ils sont suffisamment longs, créent des facilités pour le trafic opposé. La circulation, sous des conditions de trafic

denses, varie ainsi entre la formation de queues avec des poches de vide, et le remplissage partiel de ces vides par des manoeuvres.

Des études ont montré qu'avec un trafic également distribué par direction, les manoeuvres sont suffisamment restreintes pour limiter le flux à 1.000 u.v.p/heure dans chaque direction. A l'autre extrême, si tous les véhicules sont dirigés dans un sens, la deuxième voie peut être remplie par les manoeuvres de dépassement. La capacité, sous ces conditions, est limitée au nombre de véhicules qui peuvent se regrouper sur une voie, car l'autre voie doit toujours être réservée au trafic opposé. La capacité d'une route à deux voies et deux sens, sous des conditions idéales, sera alors 2.000 u.v.p/h toutes directions (i.e sens) confondues.

- pour une route à trois voies et deux sens, la situation est à peu près similaire au cas de la route à deux voies-deux sens; à part qu'un voie supplémentaire est disponible ici, permettant d'effectuer les manoeuvres de dépassement dans un sens ou dans l'autre. Avec un trafic également distribué par direction, la capacité, sous des conditions idéales, peut atteindre 2.000 uvp/h dans chaque direction, car la ligne centrale servirait à effectuer les manoeuvres pour remplir les longs vides entre les véhicules. La capacité limite pour une route à trois voies-deux sens, est dans ce cas, 4.000 uvp/h toutes directions confondues.

A partir de trois voies, il faut noter que toute voie supplémentaire accroîtrait la capacité limite d'une route de 2.000 uvp/h. Ainsi, pour une route à quatre voies, la capacité

limite est estimée à 6.000 uvp/h.

IV.1.1.2 Capacité réelle

La marche en procession de la capacité limite, telle que définie dans ce qui précède, est un cas idéal, presque irréalisable sauf sur de courtes distances. En effet, les incidences de l'hétérogénéité du trafic, les points singuliers de la route, créent des perturbations qui font qu'on n'atteindra jamais les conditions parfaites de circulation et de géométrie. Dès lors, on ne parlera plus de capacité limite mais d'une capacité réelle qui tient compte d'un certain nombre de paramètres quantitatifs et qualitatifs. Ces paramètres se résument comme suit:

1°/ paramètres liés à la route

- largeur de la route et dégagement latéral : facteur lié à la géométrie et à l'encombrement de la voie par des éléments de natures diverses (véhicules en stationnement, piétons...)
- des accotements adéquats
- les voies auxiliaires
- l'état de surface de la route
- l'alignement et le profil de la route.

2°/ paramètres liés au trafic

- les poids lourds (bus, camions, etc) : Ils affectent la capacité d'une route en terme d'u.v.p. transportées par heure. En effet, comme on l'a vu au chapitre précédent, chaque poids lourd remplace sur la voie un certain nombre de véhicules exprimé en terme

de "véhicule équivalent" ou "unité de voiture particulière" (uvp). La présence de poids lourds dans le trafic est, de ce fait, prise en compte dans la détermination de la capacité réelle par un certain facteur d'ajustement.

- les interruptions de trafic : elles se divisent en deux catégories, à savoir les interruptions aux carrefours et les autres types d'interruptions. La première catégorie constitue le type le plus commun et le plus difficile à éliminer car il implique le partage d'un même domaine de voie par deux ou plusieurs flux de trafic entièrement différents. Son influence sur la capacité et les volumes de service est relativement importante et, dans la plupart des cas, au lieu de considérer un facteur d'ajustement pour la correction, on procède plutôt à un calcul de dimensionnement du carrefour pour en déterminer la capacité. Toutefois, dans le cadre de notre étude, les différents temps de parcours recueillis sur les tronçons ayant intégré les temps d'attente aux carrefours, nous avons fait l'hypothèse de ne pas prendre en compte ce dimensionnement dans les procédures de calcul de la capacité réelle. Cette hypothèse sera justifiée plus loin dans la théorie sur les fonctions d'offre. La deuxième catégorie inclut les interruptions de natures variées: passage à niveau, pont, etc.

En fin de compte, ces différents aspects quantitatifs et qualitatifs conduisent à déterminer une capacité réelle qui tient compte des conditions de service.

Le " Highway Capacity Manual" (cf références bibliographiques) propose des formules de détermination de cette capacité:

- pour une route à voies multiples dans une seule direction, on a la formulation suivante :

$$C = 2\ 000\ N\ W\ T_c \quad (4-1)$$

où

C = capacité (en u.v.p./h, total dans une direction)

N = nombre de voies (dans une direction)

W = facteur d'ajustement tenant compte de la largeur de la voie, du dégagement latéral, des accotements, etc.

T_c = facteur d'ajustement tenant compte de la présence de poids lourds.

Les facteurs **T_c** et **W** sont donnés par des tables. En ce qui concerne **T_c**, ces tables donnent la valeur en fonction du pourcentage de poids lourds sur le trafic et du coefficient d'équivalence défini précédemment;

- pour une route à deux voies-deux sens, la formulation est :

$$C = 2.000\ W\ T_c \quad (4-2)$$

Les différents coefficients ont été définis ci-haut (éq 4-1)

- pour une route à trois voies-deux sens, la formule et les procédures d'ajustement établies dans le cas d'une route à deux voies-deux sens s'appliquent.

Dans les développements qui vont suivre, c'est la notion de capacité réelle qui sera effectivement prise en compte pour les calculs.

IV.1.1.3 Capacité pratique

C'est le nombre maximum de véhicules pouvant franchir un repère quelconque d'une voie pendant une heure dans des conditions données de géométrie et de trafic, telles qu'un conducteur puisse circuler sans gêne, hasard ou restreint. Les méthodes développées pour le calcul de la capacité pratique sont plutôt confuses, en ce sens qu'elles ne mènent pas toujours à une valeur unique de cette capacité pour une voie donnée. La confusion relève du fait que les paramètres d'une fonction qui implique la capacité pratique vont dépendre du niveau de service auquel la capacité est mesurée. Il est ainsi important, dans toute comparaison des paramètres de telles fonctions pour différents réseaux, de traiter un même niveau de service. A cause de cette nature très subjective du concept de la capacité pratique, cette dernière est rarement utilisée dans la formulation des fonctions d'offre, la notion de capacité réelle étant presque exclusivement utilisée.

IV.1.2 Niveau de Service

Le niveau de service d'une route est un indice qualitatif qui

dépend en principe d'un grand nombre de facteurs, y compris :

- la vitesse de marche et la durée du trajet
- les interruptions ou contrainte de circulation:
arrêts, retards, sautes de vitesse dans l'écoulement
- la liberté de manoeuvre pour conserver la vitesse que l'on désire
- la sécurité: taux d'accidents constatés mais aussi "dangers potentiels"
- le confort et l'aisance de conduite: effort demandé au conducteur
- l'économie: frais d'exploitation du véhicule.

En pratique, les niveaux de service choisis seront définis par les valeurs limites de certains de ces facteurs.

Une voie peut fournir une variété de niveaux de service. Ces différentes valeurs, pour une voie spécifique, sont fonction du volume, de la composition du trafic et des vitesses enregistrées.

Une route conçue pour un certain niveau de service, à une capacité spécifique, va opérer à différents niveaux de service en fonction de la variation du flux dans un intervalle d'une heure, par heure de la journée, par jour de la semaine, par mois, et par année avec l'accroissement du trafic.

Tab 4.1 : Niveaux de service pour des artères urbaines et suburbaines

- adapté du Highway Capacity Manual -

NIVEAU DE SERVICE	CONDITIONS DE TRAFIC (Les limites et critères ne sont pas spécifiquement rigides)	
	Description	Vitesse moyenne Globale (Km / h)
A	Flux libre	≥ 50
B	Flux stable (délais faibles)	≥ 40
C	Flux stable (délais acceptables)	≥ 35
D	Voisinage de la zone instable (délais encore tolérables)	≥ 25
E	Flux instable (congestion , délais intolérables	≈ 25
F	Flux forcé	< 25

D'autre part, les différents types de route (à savoir les voies urbaines et suburbaines, les autoroutes, etc) produisent presque toujours des niveaux de service qui ne peuvent être directement reliés les uns aux autres parce que chacun étant mesuré par rapport à une échelle différente. La figure 4.1 présente, de façon qualitative, ces diverses caractéristiques.

Tab 4.2 Niveaux de service pour des rues urbaines

- adopté du Highway Capacity Manual -

Niveau de service	Description	Vitesse moyenne Globale (Km / h)
A	Flux libre (relativement ; des arrêts peuvent se produire)	≥ 40
B	Flux stable (délais faibles)	≥ 35
C	Flux stable (délais signifiants, mais acceptables)	≥ 25
D	Voisinage de la zone instable (délais encore tolérables)	≥ 15
E	Flux instable(congestion)	En dessous de 15 mais toujours en mouvement
F	Flux forcé	Marche - arrêt par intermittence

Par ailleurs, aux tableaux 4.1 et 4.2, on présente les limites quantitatives (par rapport à la vitesse moyenne globale) des différents niveaux de service, respectivement pour des artères urbaines, suburbaines, et pour des rues urbaines.

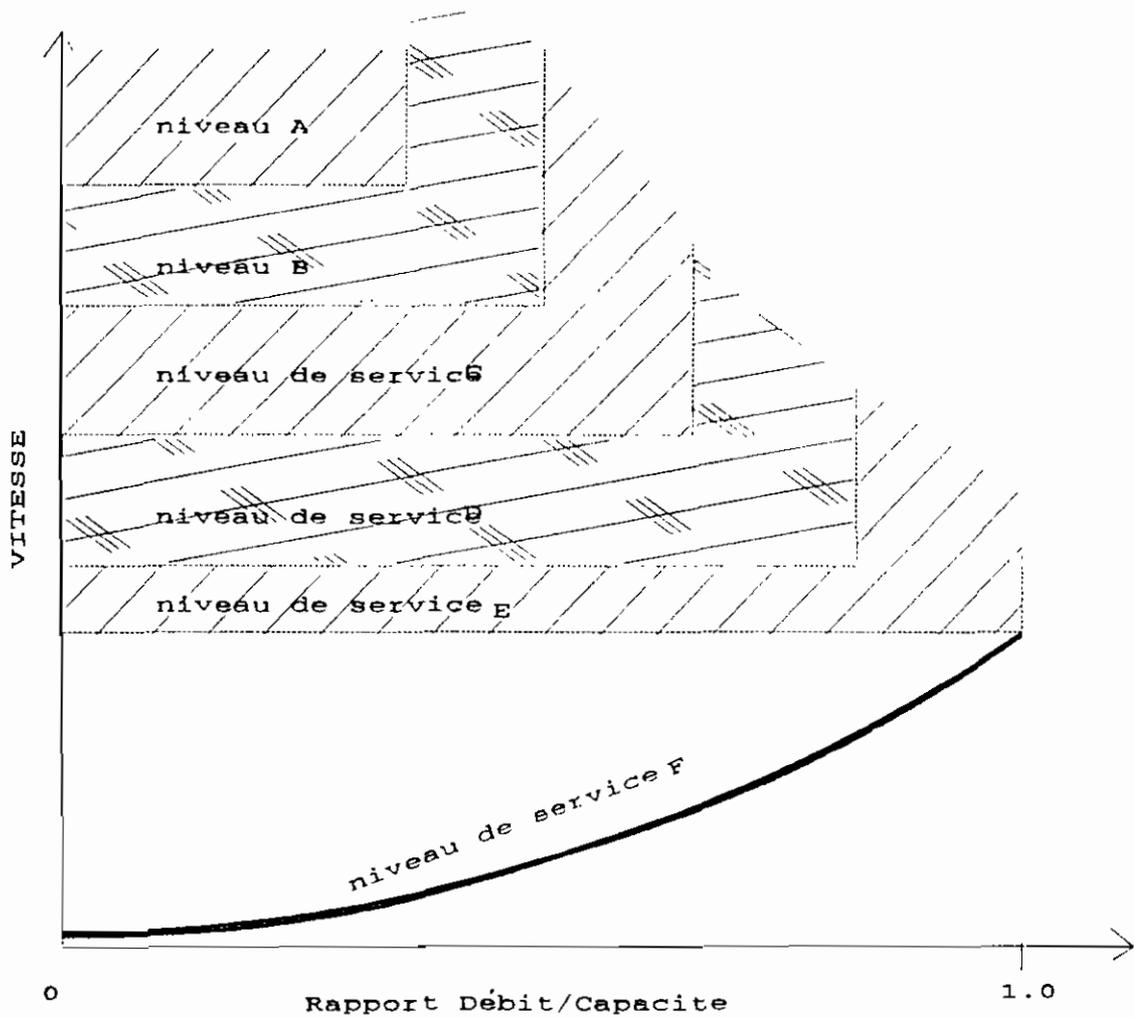


Fig. 4.1: Concept général de la relation
 Niveau de service-Vitesse-Débit (sans échelle)
 - adapté du "Highway Capacity Manual" -

IV.1.3 Théorie de l'Offre

Dans cette section, on passe en revue certaines fonctions d'offre qui ont été suggérées. Dans l'étude de ce type de fonctions, on distingue deux approches essentielles. Dans la première approche, des fonctions mathématiques, ayant des propriétés conçues par rapport aux données observées, ont été proposées. Dans la seconde, des méthodes semi-théoriques sont utilisées en vue de dériver des techniques, pour estimer des temps de parcours journaliers à différents débits ou pour trouver des fonctions reliant le temps au débit.

L'approche théorique présente l'inconvénient de ne pas mener nécessairement à une relation fonctionnelle simple entre la vitesse et le flux. D'autre part, elle requiert plus d'informations sur les caractéristiques du réseau (l'espacement des signaux aux carrefours, la largeur des voies, etc) que l'approche mathématique. Dans cette dernière approche, de telles informations seraient implicitement prises en compte dans les paramètres de la fonction mathématique. Par sa nature même, l'approche mathématique garantit toujours une relation fonctionnelle simple entre la vitesse et le flux. Pour ces raisons elle est la mieux utilisée pour la détermination des fonctions d'offre.

L'une des premières fonctions d'offre utilisées dans une procédure d'affectation fut le modèle proposé par Irwin, Dodd et Von Cube en 1961 (cf "Transportation Research" _ Bibliographie). Elle

consiste en deux segments de ligne droite

$$T = T_A + \alpha (Q' - C'p) \quad \text{pour } Q' < C'p \quad (4-3)$$

$$T = T + \beta (Q' - C'p) \quad \text{pour } Q' \geq C'p$$

où

$$T = T_0 + \alpha C'p$$

avec

Q' = volume de trafic par voie sur un lien

T = temps de parcours par unité de distance sous un volume de trafic Q'

T_0 = temps de parcours par unité de distance sous un volume de trafic nul ($Q'=0$)

$C'p$ = la capacité pratique par voie sur le lien

α , β = paramètres de la fonction, à estimer à partir des données.

La capacité $C'p$ se définissait comme le flux à partir duquel le temps de parcours commençait à croître rapidement avec l'accroissement du trafic. On notait alors la présence de deux zones intéressantes limitées par la capacité réelle C_s (cf figure 4.2):

- une zone praticable;
- une zone saturée.

Des relations linéaires telles que les équations 4-3 et sont relativement simples et d'une application facile dans la plupart des procédures mathématiques d'affectation. Cependant la localisation de la discontinuité à la capacité pratique, soit à partir des données, ou particulièrement lorsque des données ne sont pas disponibles, peut être très difficile comme on l'a mentionné précédemment. Ceci conduit à des difficultés supplémentaires notamment pour relier les paramètres de la relation linéaire aux caractéristiques du lien.

Dès lors, la définition de nouvelles fonctions d'offre curvilignes, sans discontinuité à la capacité pratique, était devenue nécessaire.

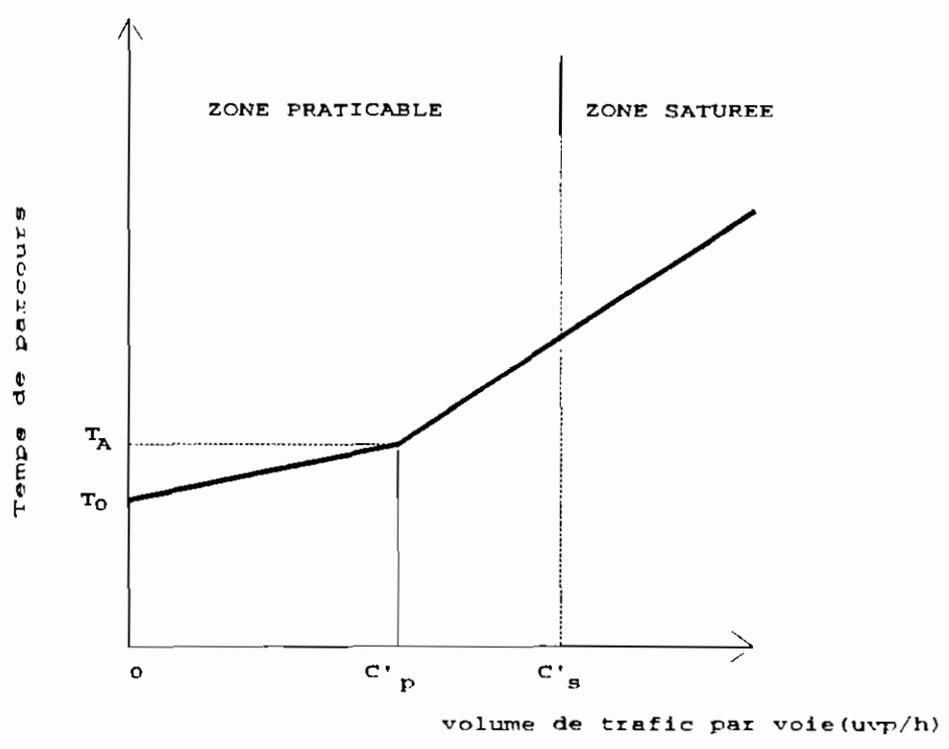


FIG.4.2 Fonction d'offre de Irwin (reseau de Toronto_1961)
version de deux segments de droite

- adapté de "Transportation Research"- vol.10 (of Bibliographie)

Une des premières fonctions d'offre curvilignes fut la courbe

exponentielle proposée par **Smock** (1962), et utilisée pour l'étude de la région de Détroit (USA). La forme de la fonction est donnée par:

$$T = T_0 e^{(Q/Cs)} \quad (4-4)$$

où

Q : volume de trafic **Q** sur le lien

Cs : capacité réelle du lien

Les algorithmes qui permettent de mener des procédures d'affectation de trafic, en utilisant des techniques mathématiques d'optimisation, nécessitent que l'expression de la fonction d'offre soit facilement intégrable. Or, l'intégrale des fonctions de la forme de l'équation 4-4 n'est déterminée aisément que par des méthodes numériques qui, pour de grands réseaux, peuvent être très dispendieuses en temps de calcul. C'est pour ces raisons, que la nécessité s'est faite sentir de trouver des expressions plus appropriées.

En 1963, **Mosler** suggéra deux modèles pour l'expression de la fonction d'offre: une fonction logarithmique et une fonction hyperbolique. Le choix de **Mosler** se justifia par le fait que pour ces fonctions, la variation du temps avec l'accroissement du volume de trafic est lente pour les faibles débits, mais rapide quand la capacité est approchée.

La forme générale de l'expression logarithmique est:

$$T = T_0 + \ln(\alpha) - \ln(\alpha - Q) \quad (4-5)$$

où

$$Q \leq \alpha$$

Pour la forme hyperbolique on a :

$$T = \beta - (\alpha (T_0 - \beta) / (Q - \alpha)) \quad (4-6)$$

où

$$Q \leq \alpha$$

Dans la formulation originale de ces fonctions, Mosler définit le paramètre α comme le débit de saturation du lien. Ainsi, à travers cette définition, le temps de parcours devenait infini à la saturation ($Q = \alpha$) dans les expressions 4-5 et 4-6. Cependant, pour un réseau de liens réels, il est évident que les temps de parcours seront finis à moins qu'un arrêt total et définitif du système ne se produise. Ainsi la valeur de la capacité réelle C_s , devra toujours être inférieure à α .

Toutefois, même avec cette restriction (i.e $C_s < \alpha$), l'utilisation des expressions 4-5 et 4-6 suscite toujours des problèmes liés notamment au calcul d'ordinateur. En effet, dans la plupart des procédures d'affectation, il est tout à fait possible que les débits, assignés dans les premières étapes des calculs, soient supérieurs à C_s et α pour certains liens. Les temps de parcours, prédits pour ces liens, seraient alors infinis.

Cependant, quoiqu'ils puissent prendre des valeurs grandes, les temps de parcours ne peuvent être infinis car, dans ce cas, ils ne pourront être traités par l'ordinateur. Ainsi, telles que formulées dans les expressions 4-5 et 4-6, les fonctions d'offre de Mosler ne sont pas d'usage approprié pour les procédures d'affectation.

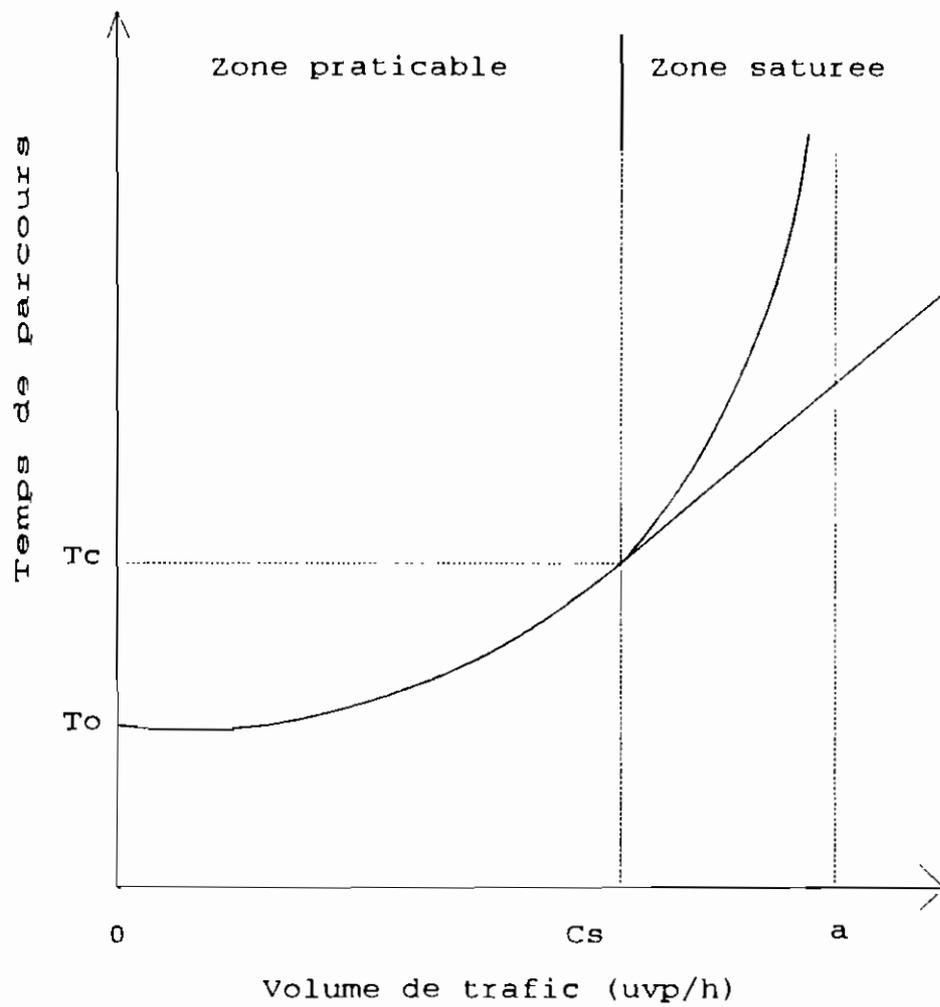


FIG.4.3: Fonction d'offre typique proposee par Steenbrink

-adopte de "Transportation Research" - vol.10
(of bibliographie)

Ainsi, elles ont été réadaptées en limitant l'application des expressions 4-5 et 4-6 à des débits compris dans la zone dite praticable (i.e pour des débits Q tels que $0 \leq Q \leq C_s$).

Une fonction différente, générant des temps de parcours élevés, mais pas infinis, a été ensuite prévue pour la zone saturée (cf fig.4.3).

Parmi les fonctions d'offre qui ont été développées à nos jours, l'une des plus connues mais aussi la plus largement utilisée est sans doute l'expression souvent appelée la fonction BPR (Bureau of Public Roads) établie en 1964. Dans sa formulation la plus générale, la fonction BPR s'écrit:

$$T = T_0 [1 + \alpha (Q/C_p)^b] \quad (4-7)$$

Steenbrink, en 1974, suggéra un modèle du même type que l'expression (4-7), la seule différence étant que la capacité pratique C_p est ici remplacée par la capacité réelle C_s . La formulation devient alors:

$$T = T_0 [1 + \alpha (Q/C_s)^b] \quad (4-8)$$

Par rapport à la formulation initiale de la fonction BPR, le modèle proposé par **Steenbrink** présente l'avantage qu'une seule et unique valeur mesurable est maintenant utilisée en ce concerne la capacité.

D'autres modèles ont été proposés, mais dans ce qui va suivre, nous avons adopté la formulation proposée par **Steenbrink**. C'est un modèle d'offre assez exhaustif et couramment utilisé dans les études de circulation; nous nous sommes donc intéressés à le calibrer avec les données recueillies sur les liens ayant fait l'objet de nos investigations.

IV.2 CALIBRATION DES FONCTIONS D'OFFRE

Les données obtenues au chapitre III seront exploitées dans la présente section en vue de la calibration du modèle d'offre proposé par le BPR.

Au chapitre IV, les données de comptage ainsi que le temps de parcours mesurés étaient relatifs à chaque sens de la circulation sur le lien étudié. Pour déterminer les fonctions d'offre, les paramètres T (temps de parcours moyen) et Q (débit en u.v.p./h) à prendre en compte seront considérés comme suit pour chaque lien:

1°/ le débit Q : il sera pris égal à la somme des débits dans les deux sens (dans le cas d'un lien à sens unique, ce sera le débit unique pris dans le sens en question).

Tableau 4.3 : TEMPS PONDERES TOTAUX & DEBITS TOTAUX

TRONCON : 14 - 26 / Route de RUFISQUE

PARAMETRES	PERIODE HORAIRE									
	8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
	à 9h	à 10h30	à 12h	à 13h	à 14h30	à 15h30	à 17h	à 18h	à 19h30	à 21h
Temps pondere total (secondes)	248	278	246	191	142	237	225	213	142	106
Debit total (2 sens) (uvp/h)	1771	2245	1689	1503	888	1540	1663	1512	1057	703

2°/ **le temps de parcours moyen T** : ce sera la somme des temps de parcours par sens, mais pondérés chacun par le rapport du débit dans le sens considéré, sur le débit total.

Cette démarche se justifie du fait que, dans la formulation des fonctions d'offre, le temps T et le débit considéré sont relatifs au lien sans distinction de sens. D'autre part, la capacité, dans l'expression du modèle, est une valeur globale établie pour les deux sens d'une voie à double sens.

Ainsi, en utilisant les données de comptage et de temps de parcours par sens présentés au chapitre III, nous avons calculé pour chacun des liens étudiés, le débit total ainsi que le temps pondéré total, suivant les périodes horaires. le tableau 4.3 présente les données obtenues sur le lien [14-26].

D'après l'expression du modèle de **Steenbrink**, que nous avons ci-dessous :

$$T = T_0 [1 + \alpha (Q/Cs)^\beta]$$

deux constantes sont à déterminer avant de procéder à la calibration des paramètres α et β . Il s'agit des temps de parcours moyen à débit nul T_0 et de la capacité réelle Cs du lien étudié.

IV.2.1 Temps de parcours à débit nul

Sur un graphique $T = f(Q)$, on a matérialisé les différents points représentés par des couples de données (Q, T) obtenues ci-haut.

Avec les distributions observées, on essayé d'estimer la meilleure tendance suivie dans l'évolution du temps de parcours avec le débit, ceci dans le but de pouvoir évaluer le temps T_0 à débit nul. Pour ce faire, on a eu recours à la méthode de régression. Les principaux modèles proposés par cette méthode sont:

- la régression linéaire : $y = a + bx$

où

a , b paramètres

x , variable indépendante

y , variable dépendant de **x**

- la régression exponentielle : $y = a e^{bx}$

- la régression puissance : $y = ax^b$

- la régression logarithmique : $y = a + b \log x$

On peut remarquer que les deux derniers types peuvent d'emblée être écartés. En effet, le premier (régression puissance) donne un temps de parcours nul à débit $Q = 0$, et le second tend vers une valeur infiniment négative lorsque le débit tend vers 0. Il reste alors les deux premiers modèles.

Soient :

N : le nombre total de données disponibles

x : la variable indépendante

y : la variable dépendant de **x**

Les équations suivantes permettent de déterminer les coefficients **a**

et **b** des équations de régression:

$$\begin{cases} A N + b \Sigma(X_i) = \Sigma(Y_i) \\ A \Sigma(X_i) + b \Sigma(X_i \cdot Y_i) = \Sigma(X_i \cdot Y_i) \end{cases} \quad (4-9)$$

où le coefficient **A** et les variables **x** et **y** sont données par :

Régression	A	X _i	Y _i
Linéaire	a	X _i	Y _i
Exponentielle	log a	X _i	log Y _i

la force de liaison entre les deux variables **x** et **y** est donnée par le coefficient de corrélation **R_c** qui est la racine carrée d'un autre coefficient appelé coefficient de détermination **R_d** et donné par l'expression suivante :

$$R_d = \frac{[(A \Sigma Y_i + b \Sigma X_i Y_i) - (1/N (\Sigma X_i Y_i)^2)]}{(\Sigma Y_i)^2 - 1/N (\Sigma Y_i)^2} \quad (4.10)$$

On choisira donc la régression qui donne le plus grand coefficient de corrélation.

Dans le cas des liens étudiés, on a calculé pour chacun le coefficient **R_c** suivant les deux types de régression. Pour tous les cas, on a trouvé que **R_c** était supérieur suivant la régression exponentielle.

En trouvant les coefficients **a** et **b** du système d'équations (4-9), on obtient alors l'équation de la courbe de régression.

TRONCON 14-26 / Rte de RUFISQUE
 REGRESSION EXPONENTIELLE $T = f(Q)$
 Equation de la regression $T = 75.3584 e^{(0.00055175 \cdot Q)}$

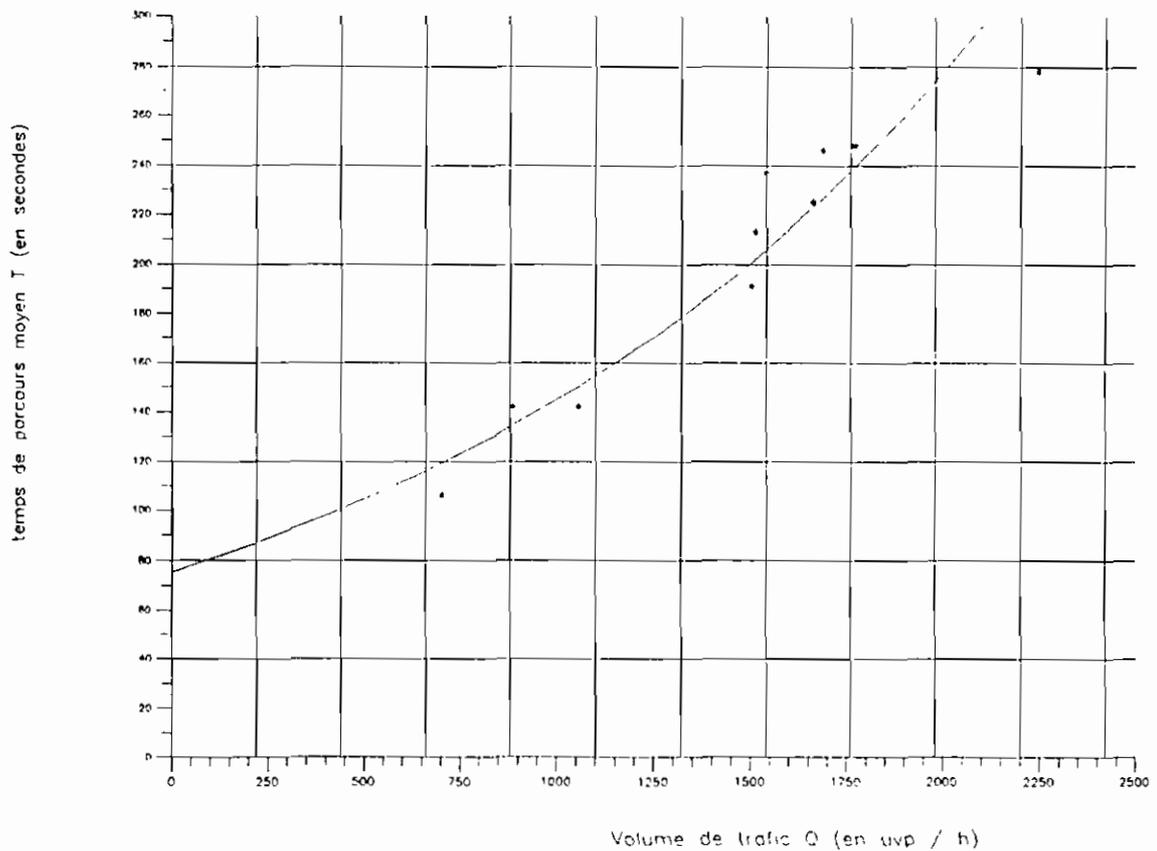


Fig. 4.4 Détermination du temps à vide T_0 par la méthode de regression exponentielle

La figure 4.4 donne une représentation graphique de cette courbe sur le lien 14-26.

l'ordonnée à l'origine, donnera une estimation de la valeur du temps de parcours T_0 à débit nul. En rapportant ce temps à la longueur du lien, on trouve le temps de parcours moyen à débit nul

par unité de distance. On désignera ce temps par t_0 et les autres temps T (correspondant à des débits $Q = 0$) rapportés à la longueur du lien seront désignés par t . On a essayé de voir quelle allure devrait avoir la distribution des points (t, Q) en les matérialisant sur un graphique $t = f(Q)$. Mais la dispersion des points n'aura pas permis de tirer la conclusion souhaitée, à savoir, disposer d'un temps à vide t_0 (exprimée par unité de distance) sur l'ensemble du réseau. Finalement, nous avons choisi d'estimer ce paramètre t_0 pour les tronçons non parcourus à partir des données sur les vitesses ou temps de parcours disponibles à la D.E.P.

IV.2.2 Capacité réelle C_s

Les expressions de la capacité établie au paragraphe III.1 vont être la base de la détermination de la capacité réelle. En général, les liens étudiés comportaient entre une et trois voies, ce qui revient à utiliser l'expression 4-1 avec $N = 1$ ou l'expression 3-2. Dans les deux cas, on retrouve la formulation suivante, pour la capacité :

$$C = 2\ 000\ W\ T_c$$

Pour trouver le coefficient T_c , le "Highway Capacity Manual" propose des tables (cf. annexe C), sur lesquelles on peut obtenir la valeur en fonction du pourcentage de poids lourds (Bus, Camions, Cars Rapides, etc.), et des coefficients C.E. correspondants. A cet effet, nous avons déterminé sur chaque lien, le pourcentage moyen de

véhicules type 2 (cars rapides, autocars) et type 3 (bus, camions) par période horaire, soit pmp ainsi que la valeur moyenne journalière, soit pmj.

Tableau 4.4

POURCENTAGE JOURNALIER MOYEN DE
VEHICULES TYPE 2 & TYPE3

TRONCON CONCERNE : 9 - 17 / Av. Blaise DIAGNE (1)

Type vehicule	%	PERIODE HORAIRE									
		8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
		à 9h	à 10h30	à 12h	à 13h	à 14h30	à 15h30	à 17h	à 18h	à 19h30	à 21h
Type 2 : Car Rapide Autocar	Pm/p	35	34	32	39	48	42	37	24	43	39
	Pmj	37									
Type 3 : Bus , Camion	Pm/p	16	12	14	6	6	5	4	20	8	14
	Pmj	11									

Pm/p : pourcentage moyen par période horaire
Pmj : pourcentage moyen journalier

Le tableau 4.4 présente ces valeurs de pourcentage pour le lien (9-17) / Ave. Blaise DIAGNE. Le tableau 4.5 ci-dessous donne les pourcentages pour les autres liens.

Tab. 4.5 : Valeurs des coefficients T_c et des capacités pour les liens étudiés

TRONCON	Nb Voies	% Vehicule Type 2	T_c pour Veh. type 2	% Vehicule Type 3	T_c pour Veh. Type 3	W	Capacité (uvp/h)
1. Av. Pompidou	2	3	0.99	11	0.9	0.65	1200
2.Route de Rufisque	2	36	0.8	2	0.98	/	1600
3.Av. Emile Bediane	1	6	0.96	17	0.86	0.42	700
4. Bd G.de GAULLE	3	3	0.99	5	0.95	/	1900
5.Grands Moulins	2	6	0.96	6	0.94	0.6	1100
6.Lamine GUEYE 1	2	4	0.98	7	0.93	0.60	1100
7.Lamine GUEYE 2	2	7	0.95	5	0.95	/	1800
8. Malick SY	3	5	0.97	5	0.95	/	1900
9.Blaise DIAGNE 2	2	39	0.75	10	0.91	0.7	1000
10.Blaise DIAGNE 3	2	40	0.73	3	0.97	/	1400
11.F.E.B	2	3	0.99	9	0.92	/	1800
12.Blaise DIAGNE 1	2	37	0.79	11	0.9	/	1500

Par ailleurs, concernant le coefficient W , le "Highway Capacity Manual" propose des valeurs en fonction de la largeur de la voie et suivant qu'elle est encombrée d'un côté ou sur les deux côtés.

Les valeurs W obtenues pour tous les liens, ainsi que les coefficients T_c suivant les types de véhicules, sont présentés au tableau 4.5 . Le tableau donne par ailleurs le nombre de voies par lien ainsi que la capacité réelle calculée.

IV.2.3 Calibration des paramètres α et β

Pour déterminer les valeurs de α et β , nous allons partir de l'expression de la fonction d'offre, soit :

$$T = [1 + \alpha (Q/C)^\beta]$$

Cette expression peut être transformée successivement de la façon suivante :

$$T/T_0 = 1 + \alpha (Q/C)^\beta$$

$$\Leftrightarrow T/T_0 - 1 = \alpha (Q/C)^\beta$$

$$\Leftrightarrow (T - T_0)/T_0 = \alpha (Q/C)^\beta$$

En appliquant la fonction logarithmique aux deux termes de l'expression ci-dessus, on parvient à le linéariser, autrement dit on aura :

$$\ln (T - T_0)/ T_0 = \ln \alpha + \beta \ln (Q/C) \quad (4-10)$$

L'expression 4-10 est de la forme $y = ax + b$
avec

$$\begin{array}{ll} y = \ln (T - T_0)/T_0 & , \quad a = \beta \\ x = \ln (Q/C) & , \quad b = \ln \alpha \end{array}$$

TRONCON 14 - 23 / Av FELIX EBOUE
 Equation de la droite moyenne : $\ln (T-T_0)/T_0 = 0.130 + 3.010 \ln (Q/C)$

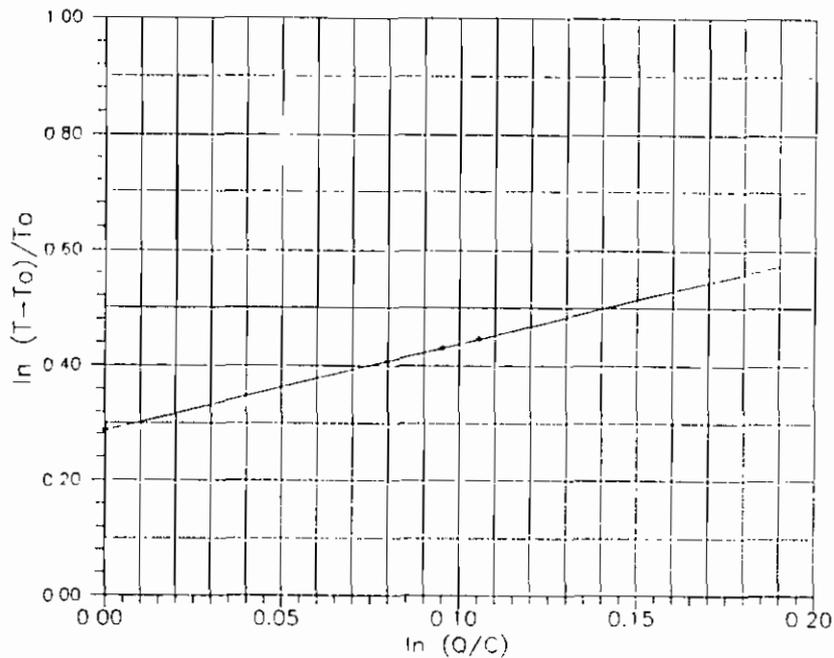


Fig. 4.5 Exemple de droite pour la calibration du modèle d'offre sur un lien

En donnant des valeurs à Q , on a pu générer des valeurs de T par l'expression de la régression $T = f(Q)$ et ainsi, trouver les termes $\ln (T - T_0) / T_0$.

En traçant la courbe représentative, on obtient une droite. Encore une fois, afin d'avoir la meilleure droite possible, on utilise la méthode de régression qui sera ici linéaire, pour trouver l'équation de la droite.

L'ordonnée à l'origine de la droite (obtenue pour $\ln (Q/C) = 0$) sera $\ln \alpha$, et β sera la pente. Pour obtenir la valeur de α on passera alors à la fonction exponentielle.

Cette méthodologie est appliquée à tous les liens étudiés; la figure 4.5 montre un exemple de courbe de calibration pour le lien 14-23 / Av. Félix Eboué.

Tableau 4.6

PARAMETRES DE CALIBRATION DU MODELE D'OFFRE POUR LES LIENS ETUDIES

INDICE du lien	DESIGNATION	PARAMETRES	
		alpha ()	Beta ()
1 - 2	Av G. POMPIDOU	3.00	4.90
2 - 9	Av EMILE BADIANE	9.37	3.56
2 - 7	Av LAMINE GUEYE (1)	5.57	2.88
7 - 13	Av LAMINE GUEYE (2)	2.18	3.06
9 - 17	Av Blaise DIAGNE (1)	1.36	2.45
17 - 21	Av Blaise DIAGNE (2)	1.02	2.30
31 - 38	Av Blaise DIAGNE (3)	3.06	3.70
15 - 16	Av Malick SY	1.35	2.07
16 - 24	Bd GI de GAULLE	6.62	2.38
14 - 26	Rte de RUFISQUE	1.57	2.98
14 - 23	Av Felix EBOUE	1.14	2.80
26 - 23	Rte des GRANDS MOULINS	1.32	3.50

$$\text{Equation de la courbe : } T = 27 \left[1 + 3 \left(\frac{Q}{1200} \right)^{1.9} \right]$$

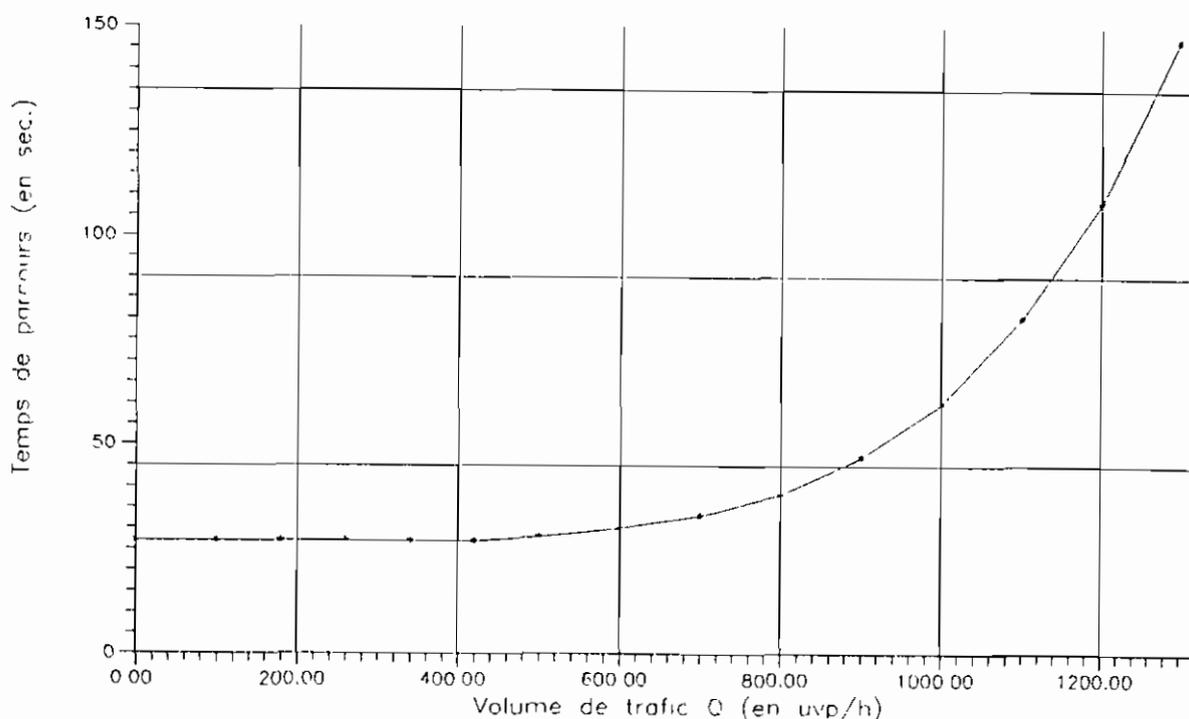


Fig. 4.6 Illustration graphique de la fonction d'offre sur le tronçon 1-2 Avenue G. POMPIDOU

Il est donné en annexe F, les tableaux qui présentent les valeurs ayant permis de tracer les droites pour les autres liens. Par ailleurs le tableau 4-6 présente la liste des valeurs de α et β trouvées pour les liens étudiés.

Avec ces valeurs, on a désormais tous les intrants pour tracer les courbes d'offre sur les liens. Les figures 4.6 et 4.7 donnent un aperçu de ces courbes pour quelques liens.

Equation de la courbe : $T = 75 [1 + 1.57(Q/1600)^{2.98}]$

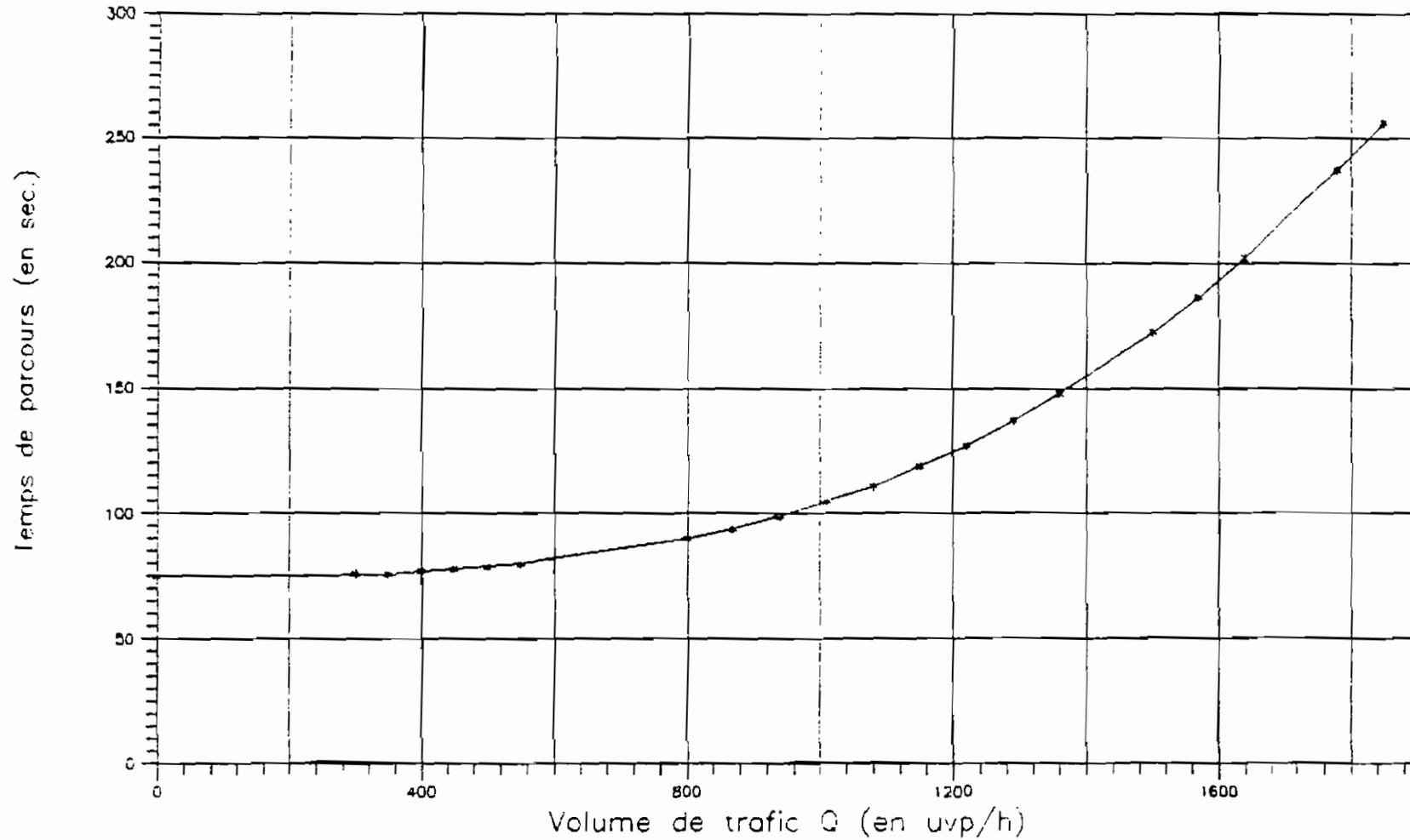


Fig. 4.6 Illustration graphique de la fonction d'offre sur le tronçon 14-26 Route de RUFISQUE

Suite à cette phase de calibration, nous allons à présent, dans un souci d'homogénéité mais aussi pour les besoins des étapes qui vont suivre, chercher à uniformiser les paramètres α et β à l'échelle du réseau. C'est une pratique assez courante dans l'étude des fonctions d'offre, en particulier dans les réseaux où les niveaux de service sont plus ou moins homogènes à travers les différents tronçons. Dans le cas de notre réseau, on admet que les caractéristiques des liens ne sont pas homogènes. Toutefois dans l'échantillonnage effectué au départ, à part quelques trois liens (liens [2-9], [2-7] et [16-24]), les paramètres de calibration trouvés ne s'éloignent pas de façon sensible, les uns des autres (cf tableau 4.6).

Par ailleurs, on peut remarquer que la démarche qui consisterait à calibrer les paramètres α et β pour tous liens du réseau est envisageable. Toutefois son application demande une investigation systématique comme il a été fait pour les douze liens tests, donc une logistique et un temps que les résultats escomptés ne justifieraient sans doute pas. En effet comme on le voit sur le tableau 4.6, l'écart entre les paramètres de calibration peut être relativement faible.

Ces considérations nous ont amenés à cibler au cours de notre étude, un certain nombre de liens suffisamment représentatifs à l'échelle du réseau, sur lesquels on a appliqué la méthodologie permettant de trouver les paramètres de calibration de la

fonction d'offre.

Pour arriver à déterminer les valeurs moyennes à l'échelle du réseau, nous avons examiné les deux alternatives suivantes:

1) nous avons calculé la moyenne des valeurs de α trouvées sur tous les liens ainsi que leur écart type σ . Les valeurs obtenues sont respectivement 3.13 et 2.55. En comparant pour chaque lien, l'écart de la valeur α par rapport à cette moyenne, à l'écart type σ , on identifie certains points singuliers qui s'écartent manifestement de la tendance moyenne. Ces valeurs correspondent respectivement aux liens 2-9 / Av. Emile BADIANE, 2-7 / Av. Lamine GUEYE (1), 16-24 / Bd G1 De GAULLE (cf Tab.4.7).

Par rapport à ces trois liens nous ferons les observations suivantes:

_ dans les diverses applications des fonctions d'offre, les paramètres de calibration admis jusqu'ici n'ont jamais excédé la valeur 3 pour α et 5 pour β .

_ les incertitudes inhérentes aux opérations de recueil de données sur le terrain représentent un élément pratiquement incontournable

_ la nature spécifique de ces liens en terme de niveau de service (cf chapitre II pour les caractéristiques de ces liens).

Ces divers aspects sont autant de facteurs qui nous font dire que ces valeurs ne sont pas représentatives à l'échelle du réseau. Dans l'estimation de la valeur moyenne des coefficients α et β on choisira d'écarter les liens correspondants.

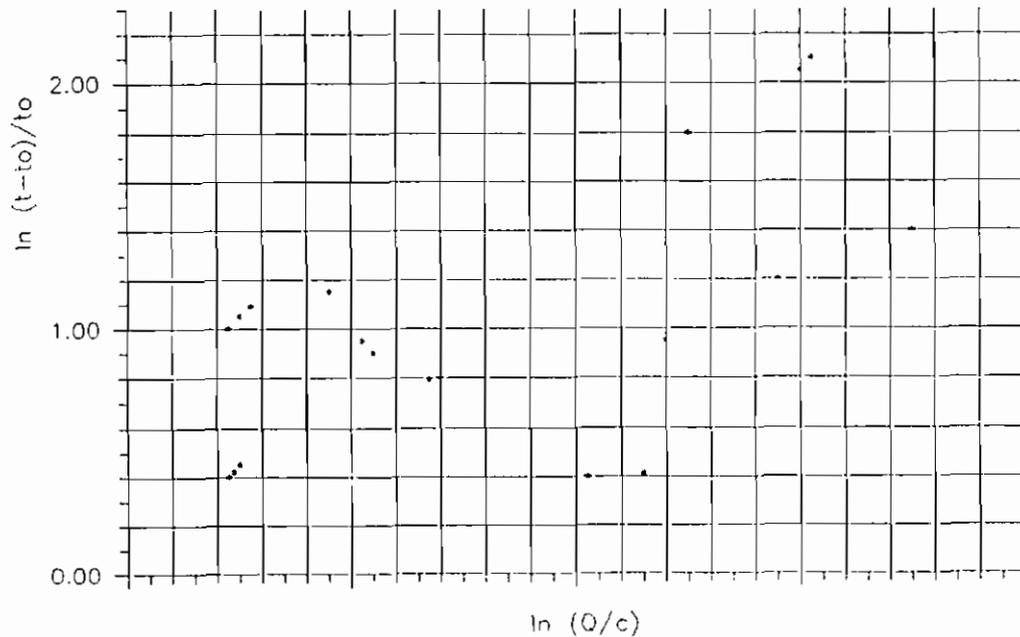


Fig. 4.8 Illustration graphique de la 2nd alternative

Ainsi la moyenne des valeurs sur le reste des tronçons conduit à:

$$\alpha_{\text{moy}} = 1.78$$

$$\beta^{\text{moy}} = 3.08$$

2) à partir des données obtenues à l'étape de calibration (valeur de $\ln(t-t_0)/t_0$, $\ln(Q/c)$), on fait une représentation globale sur un même graphique en considérant les valeurs de tous les liens. En fait, l'objectif visé est d'obtenir une droite de

calibration à l'échelle du réseau. Mais la distribution de points observée ne nous permet pas de prédire une tendance linéaire fiable (cf fig 4.8).

En fin de compte la deuxième alternative est à écarter compte tenu de la trop grande dispersion des points.

La dernière composante qu'il reste à déterminer est la capacité à donner aux autres liens du réseau. A défaut d'avoir effectué des comptages sur ces derniers, l'affectation des coefficients T_c et W ne peut être aussi systématique que pour les liens investigués. Ici, nous ferons appel à la connaissance que nous avons du réseau, mais aussi au rapprochement avec les liens pour lesquels nous avons déjà déterminé cette composante de capacité. A titre d'exemple, prenons le cas du lien (38-39) sur l'avenue Cheickh Anta DIOP. Par rapport au lien (31-38) sur la même avenue, il devrait présenter un pourcentage de bus moins important car la majeure partie de ces bus prennent le virage sur l'avenue BOURGUIBA à partir du noeud n° 38. Il n'y a que la ligne 7 (bus SOTRAC) qui continue.

Ainsi on peut choisir un coefficient pour les bus $T_c = 0,99$ (supérieur à 0,97 trouvé pour le lien 31-38). En ce qui concerne les véhicules de type 2 (cars rapides en général), l'essentiel de ceux qui passent par le tronçon (20-21) passent aussi par le tronçon 21-22 pour continuer vers OUKAM et YOFF. Il y a cependant une partie (les cars qui font le trajet PIKINE-FANN) qui prennent

le virage sur l'avenue BOURGUIBA. Ainsi on choisit un coefficient plus grand pour tenir compte de cette différence soit 0,80 (contre 0,73 pour le lien 31-38). Enfin, pour ce qui est de W , les caractéristiques géométriques (largeur de voie, encombrement latéral, etc) ne requièrent pas l'application d'un coefficient (idem pour le lien 31-38). Finalement, en appliquant les différents coefficients trouvés dans l'expression de la capacité, à savoir :

$$C = 2.000 W Tc$$

On a :

$$C = 2.000 \times 0,99 \times 0,80 \approx 1\ 600 \text{ u.v.p/h}$$

Par une analyse similaire à celle menée ci-haut, on fera l'estimation des valeurs de capacité pour les autres liens du réseau.

PROGRAMMATION

Suite aux étapes de détermination des fonctions d'offre sur les éléments du réseau, nous nous proposons ici de faire l'analyse de la demande à travers une étape fondamentale du processus de planification, à savoir l'affectation de trafic .

V.1 Problématique de la demande

Une étude complète des transports comporte en plus des comptages et enquêtes de circulation (étapes effectuées précédemment), des enquêtes auprès des ménages afin d'élaborer des modèles de demande qui aideront à la prévision des déplacements de tous les modes de transport.

Il est impossible de planifier les routes et les systèmes de transport nécessaires pour l'avenir sans prévision de la demande future. Cependant cette prévision se heurte à beaucoup de difficultés. Trop d'incertitudes pèsent en effet, sur les paramètres de comportement des citoyens, pris en compte dans le modèle du trafic, sur la technologie des moyens de transport, pour

que l'on puisse véritablement dire avec certitude ce qui va se passer. Mais à défaut de pouvoir prévoir, il faut être prévoyant, c'est à dire réserver suffisamment de possibilités pour avoir, le moment venu, de bonnes chances de pouvoir faire face à la plupart des situations qui risquent d'apparaître . Dans cet esprit, les hypothèses d'urbanisation ou de génération de trafic à long terme, ne sont plus des certitudes, mais des situations non invraisemblables auxquelles on veut être à même de répondre .

Les études de planification des transports présentent quatre caractéristiques essentielles . Les flux du trafic sont estimés au cours d'une série d'étapes successives relativement indépendantes, généralement désignées par les termes de :

- _ génération
- _ distribution
- _ répartition modale
- _ affectation de trafic

La figure 5.1 montre un schéma de principe d'un tel modèle à quatre étapes .

Du fait de leur relative indépendance, les différentes étapes se prêtent bien à l'analyse . Toutefois, la confrontation offre _demande ne se fait qu'à l'issue de l'étape d'affectation en ce qui concerne les infrastructures de transport . A ce stade de l'étude, il peut apparaître des divergences entre la demande calculée et l'offre proposée . Il convient alors de trouver des

solutions à travers des modifications notamment dans le réseau de transport . Il faut noter par ailleurs, qu'à l'issue de la troisième étape du processus de planification décrit ci-dessus (i.e la répartition modale), il est générée une matrice des déplacements entre zones appelée matrice origine-destination (matrice O/D). Cette matrice fait une évaluation quantitative des déplacements émis et attirés entre les différentes zones . Ces déplacements peuvent être exprimés en nombre de personnes par mode de transport ou par unité de voiture particulière, dans ce cas on parle de matrice O/D globale (en u.v.p) .

Comme il a été mentionné préalablement, notre étude s'intéresse plutôt à la dernière phase du processus de planification . A partir de l'étude d'une matrice O/D de base (matrice O/D établie en 1980 pour 13 zones) nous avons ainsi cherché à reconstituer le trafic par une analyse à travers les différentes étapes du processus itératif d'un modèle d'affectation.

V.2 AFFECTATION DE TRAFIC.

L'affectation consiste à prévoir la répartition des usagers sur les différents itinéraires d'un réseau de voirie ou sur les différentes liaisons d'un réseau de transport collectif. Il s'agit en fait de confronter l'offre et la demande.

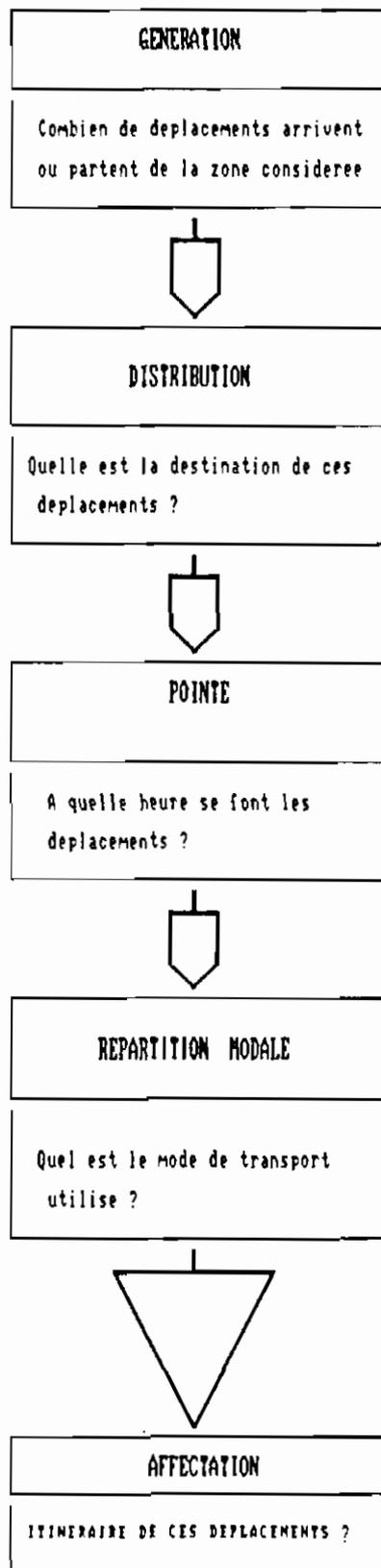


Fig. 5.1 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UN MODELE A QUATRE TEMPS

Les techniques d'affectation utilisées sont relativement simples dans le cas des lignes de transport collectif, par suite du nombre limité de liaisons concurrentes. Les déplacements liés à ces modes de transport font l'objet d'une matrice O/D séparée qui peut être affectée sur des itinéraires fixés à l'avance. Par contre dans le cas de réseaux de voirie finement maillés, l'affectation devient énormément complexe. C'est précisément ce type d'affectation que nous nous proposons d'examiner.

Une fois les déplacements connus à l'issue des étapes de distribution et répartition modale, il s'agira, en ce qui concerne l'affectation sur le réseau de voirie, de convertir l'ensemble de la demande en unités de voitures particulières (u.v.p). Les déplacements peuvent ainsi être cumulés pour constituer une seule matrice O/D exprimée en u.v.p à l'heure de pointe considérée. A l'annexe H, on présente les matrices O/D séparées (en u.v.p, transport en commun, autres modes).

Les usagers désirant relier une origine O à une destination D se répartissent sur les différents itinéraires concurrents en fonction de nombreux critères tels que :

- le temps de parcours
- le coût monétaire des déplacements
- l'agrément de l'itinéraire
- l'absence d'aléas de parcours
- etc.

De ces facteurs, le temps de trajet apparaît le plus important. En général, on s'accorde à admettre qu'il explique suffisamment le comportement des gens dans leurs choix de déplacement.

Des modèles ont été développés en ce qui concerne l'affectation de trafic. Nous retiendrons ici, les deux qui sont les plus connus et aussi les plus couramment utilisés.

V.2.1 Le tout ou Rien.

Il consiste à affecter le volume total de chaque liaison sur l'itinéraire le plus court (plus rapide). Il faut noter que cette méthode est peu valable pour un réseau de voirie en raison de la multiplicité des itinéraires concurrents. Aussi, ne tient-il pas compte de la contrainte de capacité sur les tronçons du réseau. Ainsi, pour pallier cette faiblesse, il a été amélioré.

V.2.2 Le tout ou Rien avec contrainte de capacité

C'est le modèle le plus largement utilisé en matière d'affectation de trafic par tranches. Il a été proposé par le U.S DOT (département américain des transports).

Le modèle part de l'expression de la fonction d'offre dont les paramètres ont été calibrés au chapitre IV. Il définit ensuite un ensemble d'itérations dont les principales étapes sont résumées dans ce qui suit.

Soient les équations:

$$t_{n+1} = t_0 [1 + \alpha(Q/c)^\beta] \quad (5.1)$$

où α , β , c , t_0 , Q ont été définies précédemment

$$t_{n+2} = \Omega \times t_n + (1-\Omega) \times t_{n+1} \quad (5.2)$$

où Ω est un paramètre de calibration (inférieur à 1).

le paramètre Ω traduit le fait qu'à une itération donnée, tous les usagers devant emprunter un itinéraire optimal ne sont pas affectés sur cet itinéraire en même temps. Ceci tient au fait que l'itinéraire est progressivement chargé lorsqu'il est sollicité, offrant ainsi un niveau de service qui fait désister un certain nombre d'usagers. On convient d'affecter une partie qui est une combinaison de deux fractions de débits Q_n et Q_{n+1} (correspondant aux temps t_n et t_{n+1}) assorties respectivement des coefficients de pondération Ω et $(1-\Omega)$. C'est dans ce contexte que le paramètre Ω trouve toute sa signification d'autant plus qu'il peut être changé à dessein, de façon à rencontrer la meilleure valeur qui reproduise de façon satisfaisante les comportements observés. Le U.S DOT propose la valeur 0.75, toutefois elle n'est pas rigide car suivant la spécificité du réseau et aussi compte tenu de la flexibilité de l'algorithme d'affectation, on peut être amené à essayer différentes valeurs.

Partant des formules de base (5.1) et (5.2), on définit le processus itératif suivant:

* **étape (0)** : poser $n = 0$

* **étape (1)** : avec t_n (t_0 pour $n=0$), appliquer la méthode du Tout ou du Rien aux chemins les plus courts. Ici on détermine au préalable l'arbre des chemins les plus courts. Sur chaque branche (i,j) de chemin optimal (i.e chemin le plus court) on affecte le volume correspondant au coefficient (i,j) de la matrice des déplacements. A la fin de l'affectation sur toutes les branches, on dispose d'une nouvelle configuration de trafic (matrice des $q(i,j)$) sur le réseau) . Ces valeurs $q(i,j)$ seront utilisées pour calculer le coefficient t à l'étape ci dessous:

* **étape (2)** : calculer t_{n+1} avec l'équation (5.1)

* **étape (3)** : avec l'équation (5.2) évaluer t_{n+2} .

cette étape permet de trouver la fraction effective du trafic que l'on affecte à chaque itération, car en considérant le temps t_{n+2} _ cf formule (5.2)_ dans une relation de type (5.1), on peut déduire le volume de trafic Q correspondant.

- fin de l'étape 3 -

* **étape (4)** : faire $n=n+2$ et retourner à (1); ici on incrémente la valeur de n et on reprend le processus à partir de l'étape (1) où on remplace t_n ($n=0$) par t_{n+2} .

En fonction de ce nouveau temps, on détermine de nouveaux

itinéraires optimaux qui seront nécessairement différents de ceux trouvés à la première tranche d'affectation compte tenu de la saturation progressive des itinéraires les plus chargés.

On suit ainsi la même démarche et encore à l'étape (3), le temps qui sera calculé par l'expression (5.2) permettra de sortir un second débit Q qui sera comparé au premier débit trouvé. Ensuite on continue le processus en suivant les mêmes étapes. Deux situations peuvent se présenter alors:

1°/ pas de convergence des valeurs de débit trouvées à l'étape (3); dans ce cas ,la méthode recommande d'arrêter au bout de quatre itérations ($n=4$) et de faire la moyenne des valeurs de Q obtenues.

2°/ il y a convergence; c'est-à-dire que la variation de Q par tranche n d'affectation tend très vite vers zéro, alors on considère la valeur limite.

Ce sont les valeurs observées à l'issue de l'un ou l'autre de ces deux cas de figure qui représenteront la configuration de trafic sur le réseau à l'heure de pointe considérée. En disposant des données de trafic sur les mêmes tronçons à la même période horaire, on peut ainsi faire une comparaison et à partir de l'écart observé, il sera possible d'apprécier à quel point le modèle décrit les mécanismes auxquels répondent les déplacements des usagers à l'intérieur du réseau. Si à peu de choses près on reproduit les mêmes débits que les débits réels observés sur le réseau on aura à

ce moment bien calibré notre modèle d'affectation. Le modèle ainsi obtenu, sera caractéristique du réseau et pourra être projeté à d'autres horizons en vue d'en prédire les configurations de trafic.

V.3 ALGORITHME ET COMMENTAIRES.

V.3.1 HYPOTHESES DE BASE

Dans la méthodologie suivie, nous avons fait un certain nombre d'hypothèses à savoir :

1 - la matrice O/D qui va être considérée dans les calculs, est une matrice qui inclut les modes de transport collectifs . Les coefficients de la matrice établis pour les transports en commun (T.C) seront ainsi multipliés par un certain coefficient CE (coef. d'équivalence), puis ajoutés à ceux de la matrice O/D en uvp afin d'obtenir une matrice O/D globale. Nous justifions cette hypothèse par deux raisons essentielles :

a/ nous n'avions pu obtenir les itinéraires spécifiques pour les TC en vue de l'affectation .

b/ les données de comptage disponibles pour l'ensemble du réseau ne font aucune distinction entre les modes. Elles sont exprimées en uvp/h .

2 - On suppose que les origines et les extrémités des déplacements sont localisées en un certain nombre de noeuds de chaque zone parmi les treize . Ces noeuds seront les centroïdes de

sous-zones (dans une autre subdivision de chacune des 13 zones) auxquelles seront attribués des facteurs de pondération. Ces facteurs seront caractéristiques du potentiel d'attractivité ou d'émission de chaque sous-zone; ils dépendront entre autres du peuplement relatif de la sous-zone, de l'importance relative de ses activités socio-économiques etc. Du point de vue de l'attraction ces facteurs traduisent la part qui est affectée à un noeud centroïde de sous-zone, dans la masse total de déplacements attirés par une zone destination. Du point de vue de l'émission, ils traduisent plutôt la part qu'il faut attribuer à un noeud centroïde de sous-zone, sur la masse globale de déplacements émis à partir d'une zone donnée.

3 - Suite à l'hypothèse 2, on ne retiendra qu'un certain nombre de noeuds pour l'affectation du trafic sur le réseau. Ce nombre sera inférieure au nombre total de noeuds considéré jusque là .

V.3.2 ALGORITHME

Le schéma de l'algorithme général est basé sur le procédé itératif du modèle d'affectation décrit précédemment. Toutefois au niveau de l'étape de recherche de l'arbre des chemins les plus courts, il y'a une procédure fondamentale qui a été introduite. Cette procédure repose sur l'algorithme de Warshall généralisé dont la theorie est expliquée en détail à l'annexe E.

Les étapes essentielles du processus sont les suivantes :

1 - On entre dans le programme principal avec comme données de départ: le nombre de noeuds, les poids à vide des tronçons (i.e les temps de parcours à débit nul, t_0), la capacité C de chaque tronçon, les paramètres α et β communs à tous les tronçons, la matrice O/D qui établit quantitativement les déplacements d'un noeud (centroïde de sous-zone) à l'autre; on désigne par W cette dernière matrice.

2 - Appel de la procédure Warshall; cette procédure fournit l'arbre des chemins les plus courts entre tous les noeuds. Pour son exécution, le programme doit fournir des données de poids (i.e des temps t_{ij}) pour chaque arc (i,j) avec $i,j=1,2,\dots,n$ où n est le nombre de noeuds du réseau. Si la liaison directe entre un noeud i et un noeud j n'existe pas le programme génère automatiquement un coefficient très grand (soit $t_{ij} = 10^9$ pour que la machine ne tienne pas compte de la liaison).

Pour la première itération (ordre $k=0$) la procédure utilise les poids t_0 pour faire les calculs. Il génère alors l'arbre des chemins les plus courts sur l'ensemble du réseau.

Pour chaque itinéraire (i,j) de cet arbre des chemins optimaux, le programme détecte tous les arcs qui le composent et affecte sur chacun la valeur du coefficient d'indice (i,j) de la matrice

W (i.e W_{ij}). Quand toutes les affectations seront faites, on aura une nouvelle configuration de trafic de matrice V , dont

les coefficients seront différents de zéro.

REMARQUE : la matrice V est réinitialisée par le programme à chaque fois qu'on entre dans l'étape 2; à la fin de l'étape 2, elle reprend une nouvelle configuration suite à l'affectation qu'on a faite.

(fin de la procédure Warshall)

3 - Avec la matrice V trouvée à l'étape 2, le programme calcule de nouveaux poids $t(i,j)$ pour la matrice des poids T à l'aide de la formule 5.1 vue précédemment. Ensuite l'expression 5.2 permet de tirer une autre matrice de poids T' dont le coefficient $t(i,j)$ est une combinaison du temps $t(i,j)$ trouvé au début de l'étape 3, et celui avec lequel on est entré dans la procédure Warshall de l'étape 2 (le second temps sera affecté de $\Omega=75\%$ et le premier de $(1-\Omega)$). Le coefficient $t(i,j)$ de la matrice T' aura un volume correspondant $v'(i,j)$ dans une matrice V' par une simple transformation de la formule 5.1. La matrice V' obtenue sera la configuration du trafic sur le réseau à l'ordre d'itération $k=1$.

(fin de l'étape 3)

4 - On retourne à l'étape 2 où les coefficients $t_0(i,j)$ seront simplement remplacés par les coefficients de la fin de l'étape 3 (i.e les $t'(i,j)$).

En adoptant une démarche identique, on aboutit à l'ordre d'itération $k=2$ (fin de l'étape 3), à une nouvelle matrice V' (à $k=2$) avec de nouveaux poids $t'(i,j)$.

En continuant la procédure, on peut se rendre à l'ordre k désiré en notant toutefois la variation sur les $V'(i,j)$. L'annexe G présente un listing du programme .

Sur la base d'un exemple d'application sur un réseau composé de neuf sommets, nous allons illustrer le fonctionnement du programme.

V.4 ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE

Soit le périmètre d'étude illustré à la figure 5.2 . Il comprend les zones I, II, et III avec un réseau circonscrit comportant 9 sommets (i.e noeuds). Les paramètres de calibration α , β , et w seront considérés comme suit:

$$\alpha = 1.15 \qquad \beta = 3.5 \qquad w = 0.75$$

Pour l'année de base, la matrice O/D résultant des études effectuées sur le réseau est donnée par:

$$M = \begin{bmatrix} 300 & 1500 & 600 \\ 5000 & 150 & 1600 \\ 3500 & 2000 & 200 \end{bmatrix}$$

La matrice M est une matrice O/D entre zones, elle établit donc le nombre total de déplacements émis par une zone et attirés par une autre. Pour avoir la matrice W qui établit les déplacements entre noeuds centroïdes des sous-zones comprises à l'intérieur des zones, il faut appliquer aux éléments de M les facteurs de

pondération définis à la section V.3.1 .

On appelle T_0 et C les matrices suivantes:

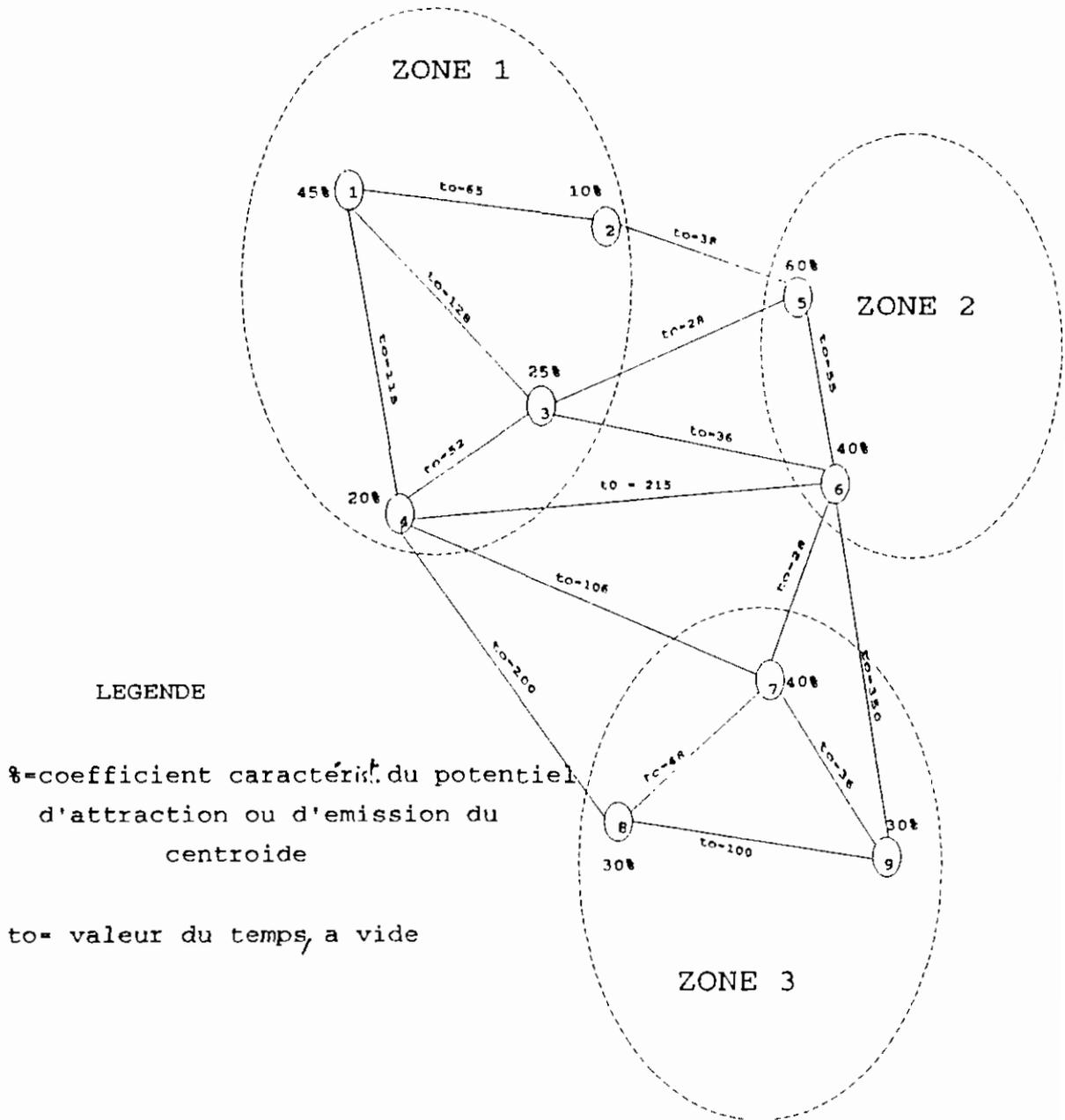
- T_0 , la matrice des valeurs de temps de parcours à vide pour les différents tronçons (i,j) ;

- C , la matrice des valeurs de capacité sur les divers arcs.

Les éléments de ces matrices sont les intrants qui permettront au programme, à travers des itérations successives, de procéder à une série d'affectations de trafic sur les tronçons du réseau. A chaque itération, on notera alors une configuration de trafic donnée. Il est présenté dans ce qui suit, les matrices V donnant les volumes de trafic à l'issue de la quatrième étape d'affectation. L'annexe I présente les matrices V obtenues aux étapes d'ordre 1, 2, et 3. Nous nous sommes arrêtés à l'ordre d'itération $k = 4$ et on peut remarquer que les débits convergent pratiquement à cette étape. Par ailleurs il faut souligner la possibilité qu'offre le programme, de continuer les itérations jusqu'à l'ordre voulu.

Les valeurs ainsi obtenues sont les volumes de trafic sur les différents tronçons du réseau. Elles permettront de faire des comparaisons avec les volumes de trafic observés sur le réseau à l'année de base, en vue d'apprécier la nature des écarts. Ces écarts vont renseigner sur le degré d'ajustement du modèle d'affectation par rapport au réseau.

fig. 5.2 SCHEMA DU RESEAU EXEMPLE



LEGENDE

k = coefficient caractéristique du potentiel d'attraction ou d'émission du centroïde

to = valeur du temps, à vide

MATRICE W OBTENUE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	24	62	49	405	270	270	202	202
2	15	0	8	7	90	60	24	18	18
3	45	10	0	20	225	150	60	45	45
4	34	8	19	0	180	120	48	36	36
5	1350	300	750	600	0	90	384	288	288
6	900	400	500	400	60	0	256	192	192
7	630	140	350	280	480	320	0	40	40
8	473	105	263	210	360	240	20	0	20
9	473	105	263	210	360	240	20	20	0

Matrice V obtenue à la 4^{ème} itération

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	157	246	670	0	0	0	0	0
2	231	0	0	0	580	0	0	0	0
3	77	0	0	70	984	745	0	0	0
4	233	0	195	0	0	0	739	0	0
5	0	3697	0	0	0	572	0	0	0
6	0	0	0	0	565	0	0	0	0
7	0	0	0	4311	0	0	0	287	287
8	0	0	0	0	0	0	144	0	0
9	0	0	0	0	0	0	144	0	0

LES SOUS_BRANCHES DE LA VOIX 1 <--> 9

t:162.172
1 *----->* 4

t:198.291
4 *----->* 7

t:50.437
7 *----->* 9

Remarque:

Après chaque tranche d'affectation, le programme garde en mémoire la matrice donnant l'arbre des itinéraires optimaux (i.e les moins coûteux en temps) entre les différents noeuds. Elle est notée **D** (voir annexe J). Ainsi, à l'ordre d'itération final qui décrit la configuration de trafic retenue, la matrice **D** peut fournir les différentes branches de chaque itinéraire optimal qui relie deux noeuds quelconques du réseau. Ceci est un autre aspect important du programme car ce dernier peut guider dans le choix des itinéraires les moins coûteux (en terme de temps de parcours) entre noeuds, compte tenu d'une configuration de trafic donnée (exemple:la pointe du midi). Le programme mentionne par ailleurs

les valeurs des temps de parcours moyen sur les branches. On a visualisé dans ce qui précède, les différentes branches de l'itinéraire optimal menant de 1 à 9. Les temps de parcours inscrits sur les branches sont ceux correspondant à la configuration de trafic de l'ordre d'itération $k = 4$.

V.5 DISCUSSIONS

En ce qui concerne les valeurs des paramètres de calibration, il convient de souligner que leur détermination doit être assortie d'une phase supplémentaire de test sur le terrain en vue d'éventuels ajustements.

Pour ce qui est du programme, la difficulté essentielle a résidé dans le fait que la capacité de notre machine ne pouvait pas accommoder la taille des matrices qu'implique le réseau. On a dû procéder à des artifices divers en vue d'arriver à contourner cette difficulté fondamentale.

En pratique, il marche convenablement. Son avantage est qu'il est à présent apte à travailler pour un réseau d'environ 80 noeuds sur un PC 640 K.

Nous déplorons toutefois le fait que les contraintes de temps ne nous aient pas permis d'exploiter le programme à l'échelle du réseau en vue d'en comparer les valeurs obtenues à la dernière phase des itérations avec les données de trafic enregistrées à la

même période d'étude (données disponibles à la D.E.P). A défaut d'être parvenus à cette ultime étape de l'étude, nous estimons en avoir balisé le chenal d'accès, de manière satisfaisante notamment à travers l'élaboration du programme.

De toute évidence, à cette dernière étape, on peut s'attendre à observer des écarts qui sont tout à fait prévisibles, dès lors que les multiples approximations auxquelles il a fallu se livrer (simplification du réseau, pourcentages affectés aux noeuds, incertitudes sur les valeurs des paramètres, etc) ne peuvent permettre de s'attendre à aboutir rigoureusement à une précision convenable. D'autre part comme on l'a souligné précédemment, en ce qui concerne le paramètre de calibration Ω vu dans l'équation 5.2, il est possible d'essayer des valeurs autres que 0.75 (ce qui est prévu dans le programme), de façon à rencontrer la combinaison qui se rapprocherait le mieux de la réalité. En définitive, il conviendra de revoir les différentes étapes de la méthodologie adoptée jusqu'ici, d'en réviser certains aspects et d'observer les éventuels incidences. C'est un processus qui requiert un temps qui dépasse le crédit horaire alloué à ce mémoire, surtout dans le cas du périmètre d'étude en question.

Toutefois la richesse de la seconde phase de l'étude résidait également dans l'acquisition d'un outil pratique basée sur une analyse scientifique bien élaborée, outil pouvant constituer un support viable pour une planification à long terme. De ce point de vue les enseignements ont été multiples notamment en ce qui

concerne les différentes étapes de la mise au point du module d'affectation de trafic.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au terme de l'investigation que nous venons de mener sur le réseau de voirie à Dakar, nous pensons que les orientations initialement définies ont été atteintes dans une mesure satisfaisante. En effet, par rapport au premier objectif de l'étude, l'approche mathématique adoptée nous a permis de trouver les paramètres caractéristiques de la fonction d'offre pour les tronçons échantillons choisis dans le périmètre de la ville de Dakar. On peut toutefois noter que, pour obtenir une meilleure précision sur les valeurs des paramètres caractéristiques, il serait utile de procéder à des tests supplémentaires sur le terrain (i.e les tronçons en question) en vue d'éventuels ajustements. Par ailleurs, concernant la seconde orientation, nous estimons qu'à défaut d'avoir accédé à la phase où l'opportunité nous serait donnée de nous prononcer sur la valeur des résultats, il a été développé à travers une méthodologie bien élaborée, un outil pouvant être utilisé ultérieurement pour fins de calibration du modèle d'affectation sur le réseau.

En pratique, il pourra être utilisé pour prédire la configuration de trafic sur le réseau à un horizon lointain à partir de la

matrice O/D projetée pour cet horizon. En ce moment, on pourra dire si la voirie, compte tenu de sa fonction d'offre que nous avons étudiée à présent, peut accommoder les volumes de trafic prédits. On dispose dès lors, d'un outil d'aide à la décision car ce modèle pourra guider dans les choix et orientations à adopter au plan des investissements en matière de voirie.

Tout au long du parcours nous avons eu cependant à faire face à un grand nombre de difficultés liées entre autres, à l'acquisition d'un financement, au recueil et au dépouillement des données, etc.

Cette conjonction de facteurs alliés à la taille même du réseau qu'il a fallu prendre en compte dans les procédés de calcul, constituent autant de raisons qui nous ont fait continuellement reculer devant les échéances. C'est ainsi que pour l'étape de la programmation, nous n'avons eu l'occasion de procéder à l'étude de quelques variantes, notamment l'affectation de trafic à un horizon lointain (2001) à partir de la matrice O/D projetée. Il a été développé néanmoins, un module informatique intéressant, très souple parce que paramétrable, qui se prête bien à des modifications. C'est la partie la plus intéressante de l'étude et il est dommage également qu'elle en fût la dernière. C'est ainsi que nous recommandons vivement que ce travail soit poursuivi dans le cadre d'un projet ultérieur car à présent, les jalons auront été posés dans une large mesure.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 _ Highway Capacity Manual (1965) _ Special Report 87.
Highway Research Board _ Washington DC 422p.
- 2 _ Les systèmes de transport : Planification & Décentralisation
Michel FRYBOURG _ Editions EYROLLES (1974), 222p.
- 3 _ Projet d'assistance technique pour la réhabilitation et la
gestion urbaines
Module No 3: Politique des transports _ Proposition technique
. Ministère du Plan et de la Coopération du Sénégal (Mai 84)
- 4 _ Transportation Research , vol.10, No4, pp 223_236 :
Link Capacity functions : a review
David BRANSTON . Université de Montréal, Canada
Editions PERGAMON PRESS (1976)
- 5 _ Plan d'actions prioritaires - pour la réalisation du plan de
circulation de Dakar.
Rapport présenté par le bureau de circulation en mai 1986.
- 6 _ Plan de transport et de circulation de Dakar _ Cap-vert.
Module PREVISION DE LA DEMANDE
Groupement SONED _ AFRIQUE - SCET INTERNATIONAL (Sept.81)
- 7 _ Etude du plan directeur d'urbanisme de Dakar : LIVRE BLANC
Ministère de l'Urbanisme, de l'habitat et de l'environnement
Etude SONED_AFRIQUE - BCEOM . Octobre 82

A N N E X E S

annexe A

Plans P1 & P2

annexe B

TABLEAUX RECAPITULATIFS DES COMPTAGES
ET TEMPS DE PARCOURS

TRONÇON

: 1 - 2 / Av. G. POMPIDOU

SENS DE PARCOURS	Para- mètres	PERIODE HORAIRE									
		8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
		a 9h	a 10h30	a 12h	a 13h	a 14h30	a 15h30	a 17h	a 18h	a 19h30	a 21h
SENS 1 : de 1 vers 2	T _m (s)	70	190	200	290	49	188	58	190	120	60
	T _m (en)	1.17	3.17	3.33	4.83	0.82	3.13	0.97	3.17	2.00	1.00
	V _m (km/h)	28	10	10	7	40	10	34	10	16	32
	Q _m (uvp/h)	411	572	616	781	200	460	346	580	422	390
SENS 2 : de 2 vers 1	T _m (s)	180	185	175	160	48	60	195	188	175	55
	T _m (en)	3.00	3.08	2.92	2.67	0.80	1.00	3.25	3.13	2.92	0.92
	V _m (km/h)	11	11	11	12	41	32	10	10	11	35
	Q _m (uvp/h)	514	548	495	444	132	291	635	574	461	215

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes

T_m (en) : temps de parcours moyen en minutes

V_m (km/h) : vitesse moyenne en km / h

Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON

: 26 - 23 / Route des Grands Moulins

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
	T _a (s)	118	102	95	82	65	110	85	85	78	60
SENS 1 : de 26 vers 23	T _a (mn)	1.97	1.70	1.58	1.37	1.08	1.83	1.42	1.42	1.30	1.00
	V _m (Km/h)	23	27	29	33	42	25	32	32	35	46
	Q _m (uvp/h)	409	335	303	221	170	364	290	258	186	93
	T _a (s)	105	88	100	110	63	84	95	85	80	70
SENS 2 : de 23 vers 26	T _a (mn)	1.75	1.47	1.67	1.83	1.05	1.40	1.58	1.42	1.33	1.17
	V _m (Km/h)	26	31	27	25	43	33	29	32	34	39
	Q _m (uvp/h)	347	286	313	350	134	236	307	250	223	127
	T _a (s)	105	88	100	110	63	84	95	85	80	70

T_a (s) : temps de parcours moyen en secondesT_a (mn) : temps de parcours moyen en minutesV_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / hQ_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON:

2-9 / Av Emile Badiane

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
	T _m (s)	100	88	145	406	70	78	90	198	520	125
SENS UNIQUE: de 2 vers 9	T _m (mn)	1.75	1.25	1.37	6.77	1.17	1.83	1.33	2.08	8.67	8.17
	V _m (km/h)	17	24	22	5	26	17	23	15	4	4
	Q _m (uyp/h)	440	459	574	645	252	339	496	617	703	544

T_m(s): temps de parcours moyen en secondesT_m(mn): temps de parcours moyen en minutesV_m(km/h): vitesse moyenne en km/hQ_m(uyp/h): volume moyen de trafic sur le tronçon(en uyp/h)

TRONCON CONCERNE : 16 - 24 / Rd GL de GAULLE

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
SENS 1 : de 16 vers 24	T _m (s)	98	118	120	165	108	125	132	112	140	110
	T _m (mn)	1.63	1.97	2.00	2.75	1.80	2.08	2.20	1.87	2.33	1.83
	V _m (Km/h)	47	39	38	28	42	37	35	41	33	42
	Q _m (uvp/h)	278	545	447	772	281	427	499	428	624	340
SENS 2 : de 24 vers 16	T _m (s)	152	125	118	115	87	147	128	118	112	101
	T _m (mn)	2.53	2.08	1.97	1.92	1.45	2.45	2.13	1.97	1.87	1.68
	V _m (Km/h)	30	37	39	40	53	31	36	39	41	45
	Q _m (uvp/h)	657	449	383	388	253	512	448	420	410	319

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes
 T_m (mn) : temps de parcours moyen en minutes
 V_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / h
 Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON CONCERNE : 14 - 26 / Rte de RUFISQUE

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
SENS 1 : de 14 vers 26	T _m (s)	175	135	145	210	105	170	190	250	160	110
	T _m (mn)	2.92	2.25	2.42	3.50	1.75	2.83	3.17	4.17	2.67	1.83
	V _m (Km/h)	31	40	37	26	51	32	28	22	34	49
	Q _m (uvp/h)	693	582	605	804	338	551	723	831	598	441
SENS 2 : de 26 vers 14	T _m (s)	295	328	302	170	165	275	252	168	118	98
	T _m (mn)	4.92	5.47	5.03	2.83	2.75	4.58	4.20	2.80	1.97	1.63
	V _m (Km/h)	18	16	18	32	33	20	21	32	46	55
	Q _m (uvp/h)	1078	1663	1084	699	550	989	940	681	459	262

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes
T_m (s) : temps de parcours moyen en minutes
V_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / h
Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON

: 20 - 21 / Av. Blaise DIAGNE (3)

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
		a 9h	a 10h30	a 12h	a 13h	a 14h30	a 15h30	a 17h	a 18h	a 19h30	a 21h
SENS 1 : de 31 vers 38	T _m (s)	130	160	136	185	95	120	110	108	140	102
	T _m (mn)	2.17	2.67	2.27	3.08	1.58	2.00	1.83	1.80	2.33	1.70
	V _m (Km/h)	41	33	39	29	56	44	48	49	38	52
	Q _m (uvp/h)	251	384	342	494	139	235	254	280	338	176
SENS 2 : de 38 vers 31	T _m (s)	178	155	112	108	82	130	115	122	100	95
	T _m (mn)	2.97	2.58	1.87	1.80	1.37	2.17	1.92	2.03	1.67	1.58
	V _m (Km/h)	30	34	47	49	65	41	46	43	53	56
	Q _m (uvp/h)	456	417	282	170	137	325	257	260	204	174

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes
 T_m (mn) : temps de parcours moyen en minutes
 V_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / h
 Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONÇON CONCERNE : 14 - 23 / Av. Felix EBOUE

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
SENS 1 : de 14 vers 25	T _a (s)	130	112	118	138	94	142	113	115	110	85
	T _a (mn)	2.17	1.87	1.97	2.30	1.57	2.37	1.88	1.92	1.83	1.42
	V _a (km/h)	36	42	40	34	50	33	41	41	43	55
	Q _a (uvp/h)	850	686	795	856	412	905	720	779	653	239
SENS 2 : de 25 vers 14	T _a (s)	102	115	147	228	90	117	140	118	142	88
	T _a (mn)	1.70	1.92	2.45	3.80	1.50	1.95	2.33	1.97	2.37	1.47
	V _a (km/h)	46	41	32	21	52	40	33	40	33	53
	Q _a (uvp/h)	612	719	897	1085	351	682	850	728	872	326

T_a (s) : temps de parcours moyen en secondes
T_a (mn) : temps de parcours moyen en minutes
V_a (km/h) : vitesse moyenne en km / h
Q_a (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON

:2-7/ Avenue Lamine GUEYE 1

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
		9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30	21h
SENS 1 : de 2 vers 7	Ta (s)	105	300	390	475	160	155	182	189	300	92
	Ta (mn)	1.75	5.00	6.50	7.92	2.67	2.58	3.03	3.15	5.00	1.53
	Va (Km/h)	24	8	7	5	16	16	14	13	8	28
	Qa (uvp/h)										
SENS 2 : de 7 vers 2	Ta (s)	175	140	150	144	88	158	90	100	124	88
	Ta (mn)	2.92	2.33	2.50	2.40	1.47	2.63	1.50	1.67	2.07	1.47
	Va (Km/h)	15	18	17	18	29	16	28	25	20	29
	Qa (uvp/h)										

Ta (s) : temps de parcours moyen en secondes

Ta (mn) : temps de parcours moyen en minutes

Va (km/h) : vitesse moyenne en Km / h

Qa (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON

: 7 - 13 / Av. Lamine GUEYE 2

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
SENS 1 : de 7 vers 13	T _m (s)	40	58	65	75	45	48	55	57	58	40
	T _m (mn)	0.67	0.97	1.08	1.25	0.75	0.80	0.92	0.95	0.97	0.67
	V _m (Km/h)	45	31	28	24	40	38	33	32	31	45
	Q _m (uvp/h)	410	690	744	912	508	486	604	664	702	384
SENS 2 : de 13 vers 7	T _m (s)	60	50	53	50	36	52	35	45	48	38
	T _m (mn)	1.00	0.83	0.88	0.83	0.60	0.87	0.58	0.75	0.80	0.63
	V _m (Km/h)	30	36	34	36	50	35	51	40	38	47
	Q _m (uvp/h)	648	470	493	473	285	540	281	400	447	237

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondesT_m (s) : temps de parcours moyen en minutesV_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / hQ_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON

r 15 - 16 / Av. Malick SY

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h	9h	10h30	12h	13h	14h30	15h30	17h	18h	19h30
		a 9h	a 10h30	a 12h	a 13h	a 14h30	a 15h30	a 17h	a 18h	a 19h30	a 21h
SENS 1 : de 15 vers 16	T _m (s)	38	50	48	55	25	30	35	25	29	29
	T _m (mn)	0.63	0.83	0.80	0.92	0.42	0.50	0.58	0.42	0.48	0.48
	V _m (Km/h)	43	33	34	30	66	55	47	66	56	56
	Q _m (uvp/h)	924	1106	1001	1562	311	698	753	448	647	535
SENS 2 : de 16 vers 15	T _m (s)	30	38	35	49	28	32	42	36	40	45
	T _m (mn)	0.50	0.63	0.58	0.82	0.47	0.53	0.70	0.60	0.67	0.75
	V _m (Km/h)	55	43	47	33	59	51	39	46	41	36
	Q _m (uvp/h)	512	762	857	1271	389	634	960	752	854	937

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes
 T_m (s) : temps de parcours moyen en minutes
 V_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / h
 Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

TRONCON CONCERNE : 17 - 19 / Av. Blaise DIAÛNE (2)

SENS DE PARCOURS	Para- metres	PERIODE HORAIRE									
		8h a 9h	9h a 10h30	10h30 a 12h	12h a 13h	13h a 14h30	14h30 a 15h30	15h30 a 17h	17h a 18h	18h a 19h30	19h30 a 21h
SENS 1 : de 17 vers 19	T _m (s)	180	195	190	230	129	135	140	170	218	130
	T _m (mn)	3.00	3.25	3.17	3.83	2.15	2.25	2.33	2.83	3.63	2.17
	V _m (Km/h)	24	22	23	19	33	32	31	25	20	33
	Q _m (uvp/h)	404	559	554	804	218	387	425	454	635	294
SENS 2 : de 19 vers 17	T _m (s)	198	154	140	125	118	160	145	152	128	135
	T _m (mn)	3.30	2.57	2.33	2.08	1.97	2.67	2.42	2.53	2.13	2.25
	V _m (Km/h)	22	28	31	34	36	27	30	28	33	32
	Q _m (uvp/h)	528	375	304	210	169	479	301	325	229	231

T_m (s) : temps de parcours moyen en secondes
T_m (mn) : temps de parcours moyen en minutes
V_m (km/h) : vitesse moyenne en Km / h
Q_m (uvp/h) : volume moyen de trafic sur le tronçon (en uvp/h)

annexe C

FACTEURS D'AJUSTEMENT T_c POUR LES POIDS LOURDS SUR les sections de voie

(en fonction du pourcentage de poids lourds et du coef. d'équivalence)
ADOPTÉ DU HIGHWAY CAPACITY MANUAL

PASSENGER CAR EQUIVALENT, E_T OR E_P^*	TRUCK ADJUSTMENT FACTOR T_c OR T_L (B_c OR B_L FOR BUSES) ¹															
	PERCENTAGE OF TRUCKS, P_T (OR OF BUSES, P_B) OF:															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	
5	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	
12	0.90	0.82	0.75	0.69	0.65	0.60	0.57	0.53	0.50	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	
13	0.89	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	
15	0.88	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26	
16	0.87	0.77	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	
18	0.85	0.75	0.66	0.60	0.54	0.49	0.46	0.42	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22	
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	
22	0.83	0.70	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18	
26	0.80	0.67	0.57	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	
28	0.79	0.65	0.55	0.48	0.43	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	
30	0.78	0.63	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	
35	0.75	0.60	0.49	0.42	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20	0.17	0.16	0.14	0.13	
40	0.72	0.56	0.46	0.39	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	
45	0.69	0.53	0.43	0.36	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	
50	0.67	0.51	0.40	0.34	0.29	0.25	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	
55	0.65	0.48	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	
60	0.63	0.46	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	
65	0.61	0.44	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	
70	0.59	0.42	0.33	0.27	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.07	
75	0.57	0.40	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	
80	0.56	0.39	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	
90	0.53	0.36	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	
100	0.50	0.34	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	

¹ Computed by $100/(100 - P_T + E_T P_T)$, or $100/(100 - P_B + E_P P_B)$, as presented in Chapter Five. Use this formula for larger percentages.
² Used to convert equivalent passenger car volumes to actual mixed traffic, use reciprocal of these values to convert mixed traffic to equivalent passenger cars.
³ From Table 10-10 or Table 10-11.
⁴ Trucks and buses should not be combined in entering this table where separate consideration of buses has been established as required, because passenger car equivalents differ.

annexe D

ILLUSTRATION DE LA RECHERCHE DE L'EQUILIBRE
OFFRE / DEMANDE

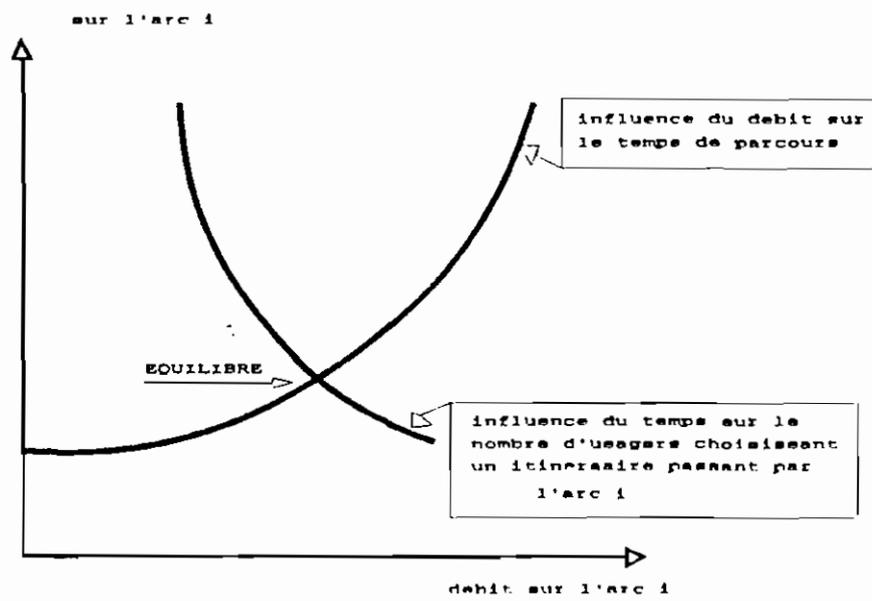


Fig 4.3 : Recherche de l'équilibre dans une affectation à contrainte de capacité

annexe E

**THEORIE ET APPLICATION DE LA METHODE DU Q-SEMI ANNEAU ET
MATRICES ASSOCIEES A UN GRAPHE**

Nous utiliserons, pour trouver le trajet optimal entre deux noeuds, la méthode du Q-semi anneau et matrices associées à un graphe. Cette théorie élaborée par P. ROBERT et J. FERLANT, contitue une généralisation de la théorie des graphes sur une structure algébrique. Elle permet d'uniformiser les calculs sue les graphes.

1 / Définitions

- Q-semi anneau : c'est un triplet $(Q, \oplus, *)$

où Q est un ensemble non vide,

\oplus et $*$: des opérations binaires telles que

$\forall (a, b) \in Q, \quad a \oplus b \in Q \quad \text{et} \quad a * b \in Q$

- $*$ est distributive par rapport à

- Il existe un élément neutre :

e pour $*$

Z pour \oplus

- Matrice associée : Pour un graphe donné, à chaque arc, on associe un poids x_{ij} . La matrice associée est la matrice des coefficients x_{ij} définis par :

x_{ij} = poids associé à l'arc (i,j) si l'arc existe

x_{ij} = Z (élément neutre de \oplus) sinon

- Chemin optimal : soit un chemin de longueur d défini par :

$$(X_{k_0}, X_{k_1}), (X_{k_1}, X_{k_2}), \dots, (X_{k_{d-1}}, X_{k_d})$$

Le poids du chemin est donné par :

$$w = a_{k_0 k_1} * a_{k_1 k_2} * \dots * a_{k_{d-1} k_d}$$

où

$$a_{k_p k_q} \text{ est le poids de l'arc } (X_{k_p}, X_{k_q})$$

on définit une relation d'ordre $>$, sur Q-semi anneau, telle que:

$$a > b \text{ ssi } a \oplus b = a$$

on suppose la relation d'ordre total.

- Un chemin qui va de X_{k_0} à X_{k_d} de poids w est optimal par rapport un autre chemin de X_{k_0} à X_{k_d} de poids w' , si $w > w'$.

2 / Algorithme de Warshall généralisé

Etant donné un graphe associé à A , une matrice d'ordre n , on peut associer une suite $A^{(k)}$ de matrices ($k=0, \dots, n$ avec $A^{(0)} = A$) dont les éléments $a_{ij}^{(k)}$ sont définis par :

$$a_{ij}^{(k)} = a_{ij}^{(k-1)} \oplus (a_{ik}^{(k-1)} * a_{kj}^{(k-1)}) \quad [1]$$

Les $a_{ij}^{(n)}$ de la matrice $A^{(n)}$ sont égaux au poids d'un chemin optimal de X_i à X_j .

On définira une autre suite de matrices $(D^{(k)})$ comme suit :

- $D^{(0)}$, matrice dont les éléments $d_{ij}^{(0)}$ sont tels que,

$$d_{ij}^{(0)} = j \quad \text{si l'élément correspondant } a_{ij}^{(0)} = z$$

$$d_{ij}^{(0)} = 0 \quad \text{sinon}$$

- $D^{(k)}$, matrice dont les éléments $d_{ij}^{(k)}$ sont tels que:

$$d_{ij}^{(k)} = d_{ij}^{(k-1)} \quad \text{si } a_{ij}^{(k)} = a_{ij}^{(k-1)}$$

$$d^{(k)}_{ij} = d^{(k-1)}_{ik} \quad \text{si} \quad a^{(k)}_{ij} = a^{(k-1)}_{ij}$$

Les $d^{(k)}_{ij}$ ont pour valeur l'indice du premier sommet intermédiaire sur un chemin optimal de X_i à X_j

$d^{(n)}_{ij} = i'$, indice du 1er sommet intermédiaire du chemin optimal de X_i à X_j

$d^{(n)}_{ij} = i''$, indice du 2^{ème} sommet intermédiaire du chemin optimal de X_i à X_j

Nb: La matrice $D^{(n)}$ obtenue à l'ordre n sera la matrice qui permettra de trouver pour chaque itinéraire optimal, les différentes branches qui le constituent.

3/ Application à la recherche du chemin le plus court.

Dans ce cas, $Q = R^+$ et les opérations binaires seront définies telles que :

+ : recherche du minimum

(élément neutre : $+\infty$)

* : l'addition classique

On affectera à chaque arc (i,j) du graphe, le poids entre les noeuds X_i et X_j si l'arc existe, sinon on met $+\infty$. On définit ainsi une matrice $A^{(0)}$ initiale dont les coefficients seront les $a^{(0)}_{ij}$ ou a_{ij} . A partir de là, en utilisant la formule [1] et en appliquant la procédure ci-dessous, on parvient à déterminer les coefficients $a^{(k)}_{ij}$ de la matrice $A^{(k)}$ ($k = 1, 2, \dots, n$) à l'ordre k .

Soit la formule [1] :

$$a^k_{ij} = \underbrace{a^{(k-1)}_{ij}}_1 + \underbrace{[a^{(k-1)}_{ik} * a^{(k-1)}_{kj}]}_2$$

que l'on subdivise en deux termes 1 et 2 .

ordre k = 1 :

étape 1 : prendre la valeur du minimum entre les termes $a^{(k-1)}_{ik}$ et $a^{(k-1)}_{kj}$ (ici on aura $a^{(0)}_{i1}$ et $a^{(0)}_{1j}$ avec $i, j = 1, 2, \dots, n$). Cette valeur va constituer le terme 2 .

étape 2 : comparer 2 à l'élément 1 , c'est à dire $a^{(k-1)}_{ij}$ (ici $a^{(0)}_{ij}$ où $i, j = 1, 2, \dots, n$) et choisir le plus grand. Ce sera l'élément a_{ij} de la matrice $A^{(1)}$ à l'ordre $k = 1$.

NB: Ces étapes sont effectuées pour tous les coefficients a_{ij} .

ordre k = 2 :

On reprend les mêmes étapes qu'à l'ordre $k=1$ précédent où les coefficients $a^{(0)}_{ij}$ vont être remplacés par les $a^{(1)}_{ij}$ de la matrice $A(1)$ à l'ordre $k=1$. On retrouve alors une matrice $A^{(2)}$ où les coefficients seront $a^{(2)}_{ij}$ avec $i, j = 1, 2, \dots, n$.

NB: Le processus continue de manière identique jusqu'à l'ordre $k = n$. La matrice ainsi obtenue (i.e $A^{(n)}$) sera la matrice optimale - c'est à dire la matrice des poids de tous les itinéraires optimaux ij ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

La matrice $D^{(n)}$ dont il a été question précédemment, va donner les branches composant chaque itinéraire optimal.

annexe F

DONNEES DE BASE POUR L'ETABLISSEMENT
DES COURBES DE CALIBRATION

TRONCON: Av. G. POMPIDOU

To = 27 secondes

Capacite C = 1200 uyp/h

$\ln(T-T_0)/T_0$	D/C	$\ln (D/C)$
0.6446	0.6000	-0.5108
0.9044	0.7000	-0.3567
1.1460	0.8000	-0.2231
1.5924	1.0000	0.0000
2.0070	1.2000	0.1823
2.4019	1.4000	0.3365
2.7842	1.6000	0.4700
3.1580	1.8000	0.5878
3.5261	2.0000	0.6931

TRONCON Av Malick SY

To = 22 secondes

Capacite C= 1900 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	Q/C	$\ln(Q/C)$
0.3886	-0.9453	0.5263	-0.6419
0.4349	-0.8327	0.5789	-0.5465
0.5834	-0.5389	0.7368	-0.3054
0.8658	-0.1441	1.0000	0.0000
0.9281	-0.0746	1.0526	0.0513
1.1986	0.1812	1.2632	0.2336
1.5071	0.4102	1.4737	0.3878
1.5486	0.4374	1.5000	0.4055
1.5908	0.4642	1.5263	0.4229
1.6337	0.4908	1.5526	0.4400

TRONCON Rte de RUFISQUE

To = 75 secondes

Capacite C= 1600 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.4785	-0.7370	0.3750	-0.9808
0.6844	-0.3792	0.5000	-0.6931
0.7978	-0.2259	0.5625	-0.5754
1.0481	0.0470	0.6875	-0.3747
1.3333	0.2876	0.8125	-0.2076
1.6581	0.5057	0.9375	-0.0645
1.8371	0.6082	1.0000	0.0000
2.2322	0.8030	1.1250	0.1178
2.6345	0.9687	1.2375	0.2131
2.6822	0.9866	1.2500	0.2231

TRONCON Bd GL de GAULLE

$t_0 = 78$ secondes

Capacite C= 1900 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.8987	-0.1069	0.3158	-1.1527
1.3511	0.3009	0.4211	-0.8650
1.6162	0.4801	0.4737	-0.7472
2.2396	0.8063	0.5789	-0.5465
3.0115	1.1024	0.6842	-0.3795
3.9673	1.3781	0.7895	-0.2364
5.8445	1.7655	0.9474	-0.0541
6.6164	1.8895	1.0000	0.0000
7.2961	1.9873	1.0421	0.0412
7.4753	2.0116	1.0526	0.0513

TRONCON : Rte des GRANDS MOULINS

$T_0 = 50$ secondes

Capacite C= 1100 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.9271	-0.0757	0.5455	-0.6061
1.3981	0.3351	0.7273	-0.3185
1.6752	0.5159	0.8182	-0.2007
2.3290	0.8455	1.0000	0.0000
3.1427	1.1451	1.1818	0.1671
4.1553	1.4244	1.3636	0.3102
6.1566	1.8175	1.6364	0.4925
7.4320	2.0058	1.7727	0.5725
7.7131	2.0429	1.8000	0.5878
7.9058	2.0676	1.8182	0.5978

TRONCON Av. LAMINE GUEYE (1)

$t_n = 29$ secondes

Capacite C= 1100 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
1.8613	0.6213	0.5455	-0.6061
3.0620	1.1191	0.7273	-0.3185
3.8399	1.3454	0.8182	-0.2007
5.8710	1.7700	1.0000	0.0000
8.7545	2.1696	1.1818	0.1671
12.8481	2.5532	1.3636	0.3102
22.4244	3.1102	1.6364	0.4925
26.9101	3.2925	1.7273	0.5725
31.1097	3.4375	1.8000	0.5878
32.2548	3.4737	1.8182	0.5978

TRONCON : Av. LAMINE GUEYE (2)

To = 25 secondes

Capacite C= 1800 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.5057	-0.6818	0.3333	-1.0986
0.7258	-0.3205	0.4444	-0.8109
0.8477	-0.1653	0.5000	-0.6931
1.1177	0.1113	0.6111	-0.4925
1.4273	0.3558	0.7222	-0.3254
1.7821	0.5778	0.8333	-0.1823
2.4138	0.8812	1.0000	0.0000
2.7816	1.0230	1.0833	0.0800
2.8598	1.0508	1.1000	0.0953
2.9128	1.0691	1.1111	0.1054

TRONCON Av. Blaise DIAGNE (3)

To = 63 secondes

Capacite C= 1400 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
1.0890	0.0852	0.4286	-0.8473
1.3619	0.3089	0.5000	-0.6931
1.6704	0.5131	0.5714	-0.5596
2.4137	0.8812	0.7143	-0.3365
3.3638	1.2131	0.8571	-0.1542
4.5784	1.5214	1.0000	0.0000
6.1311	1.8134	1.1429	0.1335
7.0627	1.9548	1.2143	0.1942
8.1159	2.0938	1.2857	0.2513
10.6532	2.3659	1.4286	0.3567

TRONCON : Av. EMILE BADIANE

To = 20 secondes

Capacite C= 700 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
3.4483	1.2379	0.6667	-0.4055
5.8778	1.7712	0.8333	-0.1823
9.6341	2.2653	1.0000	0.0000
24.4218	3.1955	1.3333	0.2877
59.7731	4.0906	1.6667	0.5108

TRONCON : Av. BLAISE DIAGNE (1)

To = 62 secondes

Capacité C= 1500 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	D/C	$\ln (D/C)$
0.4783	-0.7375	0.4000	-0.9163
0.6841	-0.3797	0.5333	-0.6286
0.7974	-0.2264	0.6000	-0.5108
1.0476	0.0465	0.7333	-0.3102
1.3326	0.2871	0.8667	-0.1431
1.6572	0.5051	1.0000	0.0000
2.4483	0.8954	1.2667	0.2364
2.5625	0.9410	1.3000	0.2624
2.6328	0.9680	1.3200	0.2776
2.6804	0.9860	1.3333	0.2877

TRONCON Av. FELIX EBOUE

To = 63 secondes

Capacite C= 1800 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.3260	-1.1208	0.3333	-1.0986
0.4568	-0.7835	0.4444	-0.8109
0.5270	-0.6406	0.5000	-0.6931
0.6776	-0.3893	0.6111	-0.4925
0.8430	-0.1708	0.7222	-0.3254
1.1223	0.1154	0.8889	-0.1178
1.3316	0.2864	1.0000	0.0000
1.5020	0.4068	1.0933	0.0800
1.5376	0.4302	1.1000	0.0953
1.5615	0.4457	1.1111	0.1054

TRONCON Av. Blaise DIAGNE(2)

To = 87 secondes

Capacite C= 1000 uvp / h

$(T-T_0)/T_0$	$\ln(T-T_0)/T_0$	θ/C	$\ln(\theta/C)$
0.6148	-0.4864	0.6000	-0.5108
0.7491	-0.2889	0.7000	-0.3567
0.8945	-0.1115	0.8000	-0.2231
1.2226	0.2010	1.0000	0.0000
1.6076	0.4747	1.2000	0.1823
2.0592	0.7223	1.4000	0.3365
2.5891	0.9513	1.6000	0.4700
2.8875	1.0604	1.7000	0.5306
3.2108	1.1665	1.8000	0.5878
3.9401	1.3712	2.0000	0.6931

annexe G

LISTING DU PROGRAMME

"AFFECT"

Procédure PAGE4;

Begin

```
window(1,1,80,25);font(0,15);clrscr;  
fenetre(10,6,65,20,0,7);  
font(0,blue);clrscr;font(15,0);
```

```
writeln;  
writeln('                ( SAUVEGARDE )                ');  
writeln;  
writeln('    La sauvegarde de données constituant des ');  
writeln(' matrices de grande taille nécessite beaucoup');  
writeln(' d'espace sur disque (34.85 k pour les ');  
writeln(' résultats et 26.14 K pour les données ). ');  
writeln(' La sauvegarde des données vous permet d''éviter');  
writeln(' de les réintroduire au clavier ce qui pourrait');  
writeln(' être dispendieux pour un très grand réseau. ');  
writeln(' Sauvegardez alors dans de bonnes disquettes ');  
writeln(' non infectées surtout.                ');
```

```
    window(1,1,80,25);  
    gotoxy(32,4);write(' AIDE ');  
    gotoxy(13,22);write(' Appuyer <ESC> ou <ENTER> Pour AUTRE AIDE
```

');

```
    repeat reponse:=readkey until reponse in [#27,#13];  
    font(15,0);clrscr; If reponse=#13 then Page5;
```

End;

Procédure PAGE3;

Begin

```
window(1,1,80,25);font(0,15);clrscr;  
fenetre(10,6,65,24,0,7);  
font(0,blue);clrscr;font(15,0);
```

```
writeln;  
writeln('                ( AFFICHAGE )                ');  
writeln;  
writeln('    L'affichage a lieu pour les tableaux de ');  
writeln(' données To (temps à débit nul),C (capacité) et');  
writeln(' V (volume) ou de résultats (matrice optimale).');  
writeln(' Il faut toujours définir au préalable votre ');  
writeln(' réseau i.e par un ENREGISTREMENT ou par un ');  
writeln(' RAPPEL de données ou de résultats stockés dans');  
writeln(' fichier.                ');  
writeln('                ');  
writeln('NB: Les touches "B", "H", "G", "D" (comme Bas,');  
writeln(' Haut,Gauche,Droite) déplacent l''affichage');  
writeln(' dans la direction correspondante.                ');  
writeln(' La touche "F" permet d''en finir.                ');  
writeln(' * Pour IMPRIMER Appuyez ImprEcran du clavier');
```

```
    window(1,1,80,25);  
    gotoxy(32,4);write(' AIDE ');  
    gotoxy(13,25);write(' Appuyer <ESC> ou <ENTER> Pour AUTRE AIDE
```

');

```
    repeat reponse:=readkey until reponse in [#27,#13];  
    font(15,0);clrscr; If reponse=#13 then Page4;
```

End;

Procedure PAGE2;

```
Begin
  window(1,1,80,25);font(0,15);clrscr;
  fenetre(10,8,65,24,0,7);
  font(0,blue);clrscr;font(15,0);

  writeln;
  writeln('          (   ENREGISTREMENT   )          ');
  writeln;
  writeln('      L''enregistrement des données consiste à ');
  writeln(' rentrer le nombre de noeuds du réseau défi_ ');
  writeln(' nissant ainsi sa taille et à spécifier les ');
  writeln(' les différents liens (i-->j) entre noeuds qui');
  writeln(' existent. Il est aussi possible de modifier ');
  writeln(' les données par une simple redéfinition des ');
  writeln(' des liens concernés. ');
  writeln('      Les données à entrer sont : ');
  writeln('          - To (temps de parcours à débit nul)');
  writeln('          - W  (débit affecté à l''itinéraire)');
  writeln('          - c  (capacité de l''arc i --> j) ');
  window(1,1,80,25);
  gotoxy(32,6);write('  AIDE  ');
  gotoxy(13,25);write(' Appuyer <ESC> ou <ENTER> pour AUTRE AIDE
');
  repeat reponse:=readkey until reponse in [#27,#13];
  font(15,0);clrscr; If reponse=#13 then Page3;
End;
```

```

BEGIN
CASE Niveau OF
  0: (c'est le début programme i.e l'accueil )

  BEGIN
    window(1,1,80,25);
    font(0,15);clrscr;

    fenetre(4,5,76,24,0,7); font(0,blue); clrscr; font(15,blue);

    writeln; font(red,yellow);
    writeln('          ** PRESENTATION **
');
    font(15,0); writeln;
    writeln('          Le programme AFFECT est un module
d''affectation de ');
    writeln(' de trafic sur des réseaux pouvant aller jusqu''à 66
noeuds . ');
    writeln(' Il est basé sur le modèle suivant: ');
    writeln; font(cyan,green);
    writeln('          Tout ou Rien avec contraintes de capacité
');
    writeln; font(15,0);
    writeln(' Ce modèle a été proposé par le U.S. DOT (US
Department Of ');
    writeln(' Transportation), et procède à l''affectation du
trafic, par ');
    writeln(' tranches successives sur tout le réseau suivant les
chemins ');
    writeln(' moins coûteux. D''une tranche d''affectation à
l''autre les');
    writeln(' itinéraires les moins couteux différent compte tenu
de la ');
    writeln(' saturation progressive des itinéraires les plus
chargés. ');
    writeln('          Le procédé utilisé pour la recherche des
itinéraires ');
    writeln(' optimaux est basé sur l''algorithme de WARSHALL.
');
    window(1,1,80,25);
    gotoxy(22,2); font(2,15);
    write('ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES '); gotoxy(26,3);
    write('PROJET DE FIN D''ETUDES ');
    gotoxy(3,25);font(red+16,cyan);
    write(' POUR PLUS D''INFORMATIONS APPUYER " H " SINON
<ENTER> POUR CONTINUER ');
    repeat reponse:=upcase(readkey);
      if not ( reponse in [#13,#27,'H']) then write(#7);
    until reponse in [#13,'H',#27];
    If reponse ='H' then Page2;
  END;
  2:Page2; 3:Page3;
  4:Page4; 5:Page5;
END; (case);
END;

```

```

FUNCTION Max(X,Y:real):real;
begin If x>Y then Max:=X else Max:=Y end;

FUNCTION Min(X,Y:real):real;
begin If x<Y then Min:=X else Min:=Y end;

PROCEDURE ReadString(Cx,Lx:byte;Var mot:string;ext:String; var
quit:boolean);
var car:char;
Begin
quit:=false;
gotoxy(1,lx);font(0,15);clreol;
gotoxy(cx,lx);font(0,15); write('Nom du fichier : ');
if length(mot)<>0 then
begin
font(15,0); gotoxy(Cx+17,lx); write(mot);
gotoxy(cx+17,lx);
car:=readkey;
if car=#13 then begin delay(1000); exit; end;
if car=#27 then begin write(#7,#7); quit:=true; exit end;

End;
repeat
gotoxy(cx+17,lx); clreol; gotoxy(cx+17,lx); font(15,0);
readln(mot);
until length(mot)>0;
if pos('.',mot)<> 0 then
begin
mot:=Copy(mot,1,pos('.',mot))+ext;
gotoxy(cx+17,lx); font(0,15); clreol; gotoxy(cx+17,lx);
font(15+16,0);
write(mot); delay(1300);
end
else
begin
mot:=mot+'.'+ext;
gotoxy(cx+17,lx); font(0,15); clreol; gotoxy(cx+17,lx);
font(15+16,0);
write(mot); delay(1300);
end

End;

PROCEDURE ReadsInt(col,raw:byte;Var entier:integer;Var
sortir:boolean);
var car:char;
BEGIN sortir:=false;
Repeat
gotoxy(col,raw);
If (entier<>0) and (entier<>maxint) then
begin gotoxy(col,raw);write(entier); end;
gotoxy(col,raw);

```

```

repeat car:=upcase(readkey);until car in ['Z','0'..'9','.',#13,#27];
  If car='Z' then
    begin font(15,0); clrscr; write('Le lien (',i,'<-->',j,')');
      W[i,j]:=0; c[i,j]:=z; cap[i,j]:=0; T0[i,j]:=MaxInt;
      gotoxy(3,4); write(' Est annulé ');
      gotoxy(3,5);write('Tapez une touche ');
      repeat until keypressed; sortir:=true; Exit;
    end;
  if car=#13 then exit; sortir:=car=#27;
  if car<>#27 then
    begin
      font(0+16,15);gotoxy(col,row);write(' ');
      gotoxy(col,row);{ $I- } read(entier);{ $I+ }
      gotoxy(col,row);font(15,0);write(entier);
    end else EXIT;
  until (ioresult=0) or (car=#13) or (car=#27);
END;{.....}

```

```

PROCEDURE ReadsReal(col,row:byte;Var Reel:real;var
sortir:boolean);
  var car:char;
  BEGIN sortir:=false;
  Repeat
    gotoxy(col,row);
    If (reel<>0) and (reel<>z) then begin
gotoxy(col,row);write(reel:3:2); end;
    gotoxy(col,row);
    repeat car:=upcase(readkey);until car in
['Z','0'..'9','.',#13,#27];
    If car='Z' then
      begin font(15,0); clrscr; write('Le lien (',i,'<-->',j,')');
        W[i,j]:=0; c[i,j]:=z; cap[i,j]:=0; T0[i,j]:=MaxInt;
        gotoxy(3,4); write(' Est annulé ');
        gotoxy(3,5);write('Tapez une touche ');
        repeat until keypressed; sortir:=true; Exit;
      end;
    if car=#13 then exit; sortir:=car=#27;
    if car<>#27 then
      begin font(0+16,15);gotoxy(col,row);write(' ');
        gotoxy(col,row);{ $I- } read(reel);{ $I+ }
        gotoxy(col,row);font(15,0);write(reel:3:3);
      end else exit;
    until (ioresult=0) or (car=#13) or (car=#27);
  END;{.....}

```



```

        gotoxy(2,3);font(15,0); write('insuffisant pour garder ces
matrices');
        gotoxy(2,5);font(0+16,15);write('          Appuyez <ESC>
');font(15,0);
        repeat until readkey=#27;
        DiskSpaceSuf:=false;
        end
        else DiskSpaceSuf:=true;
        {$I-} chdir(currentdir);{$I+}

END;{..... vérifier l'espace du disque c'est
suffisant.....}

PROCEDURE SaveData ;
var DonneesToW:donnees;
    DataFile:file of donnees;

BEGIN
    IF (ToCharge) THEN
    BEGIN
        If Not DiskSpaceSuf(DataFileName,27000) then exit;
        WITH DonneesToW DO

            for i:=1 to nbreNoeuds do
                for j:=1 to nbreNoeuds do
                    begin
                        NbreN:=nbreNoeuds;
                        matTo[i,j]:=T0[i,j];
                        matW[i,j]:=W[i,j];
                        matCap[i,j]:=cap[i,j];
                    end;

Assign(Datafile,DataFileName);
{$I-} reset(DataFile); {$I+}
if ioreult<>0 then begin {$I-} rewrite(DataFile); {$I+} end;
If IOResult=0 then
begin
{$I-} seek(DataFile,FileSize(DataFile)); {$I+}
if ioreult =0 then
begin clrscr; gotoxy(2,2);font(Red+16,15);
write('SAUVEGARDE EN COURS'); font(15,0);
{$I-} write(DataFile,DonneesToW); {$I+}
IF ioreult<>0 then Succes:=false
else begin succes:=true; EndSaveToW:=true;
end;
                {$I-} close(Datafile);{$I+}
            end;
        end;
        vide:=false;
    END else vide:=true;
END; {..... save data .....}

```

```

PROCEDURE SaveResult;
  var Resultats:ResultatRec;
      FileResult:file of ResultatRec;
BEGIN
  IF (D_Existe) THEN
  BEGIN
    If Not DiskSpaceSuf(ResFileName,35500) then exit;
    WITH Resultats DO
      for i:=1 to nbreNoeuds do
        for j:=1 to nbreNoeuds do
          begin
            NbreN:=NbreNoeuds;
            matD[i,j]:=D[i,j];
            matC[i,j]:=C[i,j];
          end;
        Assign(FileResult,ResFileName);
        ($I-) reset(FileResult); ($I+)
        if ioresult<>0 then begin ($I-) rewrite(FileResult); ($I+)
end;
        If IOResult=0 then
          begin
            ($I-) seek(FileResult,FileSize(FileResult)); ($I+)
            if ioresult =0 then
              begin clrscr; gotoxy(2,2);font(Red+16,15);
                write('SAUVEGARDE EN COURS'); font(15,0);
                ($I-) write(FileResult,Resultats); ($I+)
                IF ioresult<>0 then Succes:=false
                else begin succes:=true; EndSaved:=true; end;
                ($I-) close(fileResult);($I+)
              end;
            end;
            vide:=false;
          END else vide:=true;
        END;      {..... save Result .....}
  BEGIN
    REPEAT
      Repeat
        ASCENCEUR(20,7,1,0,15 7,19,1,5,Savemenu,3,reponse,true,ind);
        until (reponse=#13);
        IF (reponse=#13) and (ind<>5) and (ind<>1) and (ind<>4) THEN
        BEGIN
          fenetre(15,7,65,17,0,15); font(0,15);
          gotoxy(15,3);write('SAUVEGARDE');
          if ind=2 then begin FileName:=DataFileName;
            readstring(15,6,FileName,'DON',sortie);
            if sortie then exit;
            DataFileName:=FileName;
          end;
          if ind=3 then begin FileName:=ResFileName;
            readstring(15,6,FileName,'RES',sortie);
            if sortie then exit;
            ResFileName:=FileName;
          end;
        END;
      END;
  END;

```


PROCEDURE WARSHALL(Var D:matrice); (..... début))

```
VAR L:integer;
    col,lig,NbrIter:byte;
    relais:liste;
    cheminPossible,Arret:boolean;
    exposant,facteur:real;
    V:matrice;
    tn:array[1..NbrMaxNoeuds,1..NbrMaxNoeuds] of real;
    (..... début Procédure intérieure )
```

```
function minInt(X,Y:integer):integer;
begin if X<Y then minInt:=X else minInt:=Y end;
```

```
PROCEDURE Calcul_de_Ak_Dk;
Var
    k,i,j:integer;
    Aik,Akj:array[1..NbrMaxNoeuds] of real;
    Dik:liste;
    Cij:real;
    ( les tampons Ta,Td representent resp Ak et Dk)
```

BEGIN

```
FOR k:=1 TO NbreNoeuds DO
BEGIN
    For i:=1 to nbreNoeuds do
        (mettre la k ième ligne de C dans une
variable Akj )
        (mettre la k ième colne de C dans une
variable Aik )
        begin Aik[i]:=c[i,k]; ( i.e des tampon pour l'ordre k-1 )
            Akj[i]:=c[k,i];
            Dik[i]:=D[i,k];
        end;

    FOR i:=1 To nbreNoeuds DO
    FOR j:=1 To nbreNoeuds DO
    begin
        Cij:=C[i,j];
        c[i,j]:=Min(c[i,j],(Aik[i]+Akj[j]));
        If (c[i,j]<>Cij ) and (Dik[i]<>0) and (i<>j) then
d[i,j]:=Dik[i];
        D_Existe:=true; C_Charge:=true;
        If i=j then D[i,j]:=0;
    end;
END;(k=n)
    ( PROCEDURE INTERIEURE de Warshall )
END; (##### FIN #####)
```

```

BEGIN                                     ( Corps de la  procédure warshall  )

fenetre(15,10,65,15,0,15);
if alpha=0 then
  begin gotoxy(2,2); write('Donnez  $\alpha$  : ');
  repeat ReadsReal(13,2,alpha,sortie); if sortie then exit;
  until (alpha>0) and (alpha<10) or (sortie);
  clrscr;
  end;
if beta=0 then
  begin gotoxy(2,2); write('Donnez  $\beta$  : ');
  repeat ReadsReal(13,2,beta,sortie);if sortie then exit;
  until (beta>0) and (beta<10) or (sortie);
  clrscr;
  end;
if omega=0 then
  begin gotoxy(2,2); write('Donnez  $\omega$  : ');
  repeat ReadsReal(13,2,omega,sortie); if sortie then exit;
  until (omega>0) and (omega<=1) or (sortie);
  clrscr;
  end;

  gotoxy(2,2);write('Détermination de la matrice optimale');
  gotoxy(2,3);write('Méthode Warshall  Veuillez patienter');
  delay(3000);

  For i:=1 to nbreNoeuds Do
    for j:=1 to nbreNoeuds Do
      begin
        c[i,j]:=t0[i,j];
        IF (cap[i,j]=0)  then begin D[i,j]:=0; c[i,j]:=z end
        Else if i<>j then D[i,j]:=j
      end;
    NbrIter:=1;
  REPEAT    ( itérations en général <=4 )

    for i:=1 to nbreNoeuds do
      for j:=1 to nbreNoeuds do
        begin

          tn[i,j]:=c[i,j];    {mettre t dans tn pour avoir
tn+2=f(tn,tn+1) }
          V[i,j]:=0; {initialisation des Vij à 0 }
        end;

        Calcul_de_Ak_Dk ;
        For i:=1 to nbrenoeuds Do    {calcul des Vij et chemins
optimaux}
          For j:=1 to nbrenoeuds Do
            IF i<>j Then
              begin
                C H E M I N _ O P T I M A L
                (i,j,nbrenoeuds,D,relais,CheminPossible);

```

```

IF cheminPossible then
Begin
  L:=1;
  repeat
    IF relais[L]<>0 then
      begin
V[relais[L],relais[L+1]]:=V[relais[L],relais[L+1]] +
      W[relais[L],relais[L+1]];
        end;
        inc(L);
      until relais[L]=j;
    end;
  end;          (fin du calcul des Vij )

For i:=1 to nbrenoeuds Do      (calcul des Cij :
cij=tij=to(1+alpha(v/c)B) )
  For j:=1 to nbrenoeuds Do
    If (cap[i,j]<>0) and (V[i,j]<>0) then
      begin
        exposant:=beta*ln(V[i,j]/cap[i,j]);
        facteur:=alpha*exp(exposant);
        c[i,j]:=T0[i,j]*(1+facteur);

        ( calcul tn+2=f(tn,tn+1) )
        c[i,j]:=Omega*tn[i,j] + (1-Omega)*c[i,j];
        facteur:=abs(c[i,j]-T0[i,j])/(alpha*T0[i,j]);
        exposant:=ln(facteur)/beta;
        V[i,j]:=Round(cap[i,j]*exp(exposant));
      end
    else c[i,j]:=z;

{AFFICHAGE DE V }
window(1,1,80,25); font(15,0);clrscr;
gotoxy(2,1);write(NbrIter,'e ITERATON : MATRICE V OBTENUE ');
for col:=1 to minInt(9,nbreNoeuds) Do
begin gotoxy(9+(col-1)*8,2); font(0,15); write(' ',col,'
');
      gotoxy(1,col+3);write(col); font(15,0);
end;
  col:=9; Lig:=4;
  for i:=1 to minInt(20,nbreNoeuds) do
  begin
  for j:=1 to minInt(9,nbreNoeuds) do
  begin gotoxy(col,lig); write(V[i,j]); inc(col,8); end;
  inc(lig); col:=9;
end;

  font(blue+16,Cyan);

gotoxy(5,25);
write('POUR ARRET DES ITERATIONS tapez <ESC> Sinon <ENTER>');

```



```

Assign(Datafile,DataFileName);
($I-) reset(DataFile); {$I+}
IF IOResult=0 then
  BEGIN
    if filesize(Datafile)=0 then
      begin clrscr;gotoxy(2,2);
        font(15,0);write('FICHER VIDE
');font(0+16,15);
          gotoxy(2,3);write('Appuyez <ESC> ');
            font(15,0); repeat until readkey=#27;
              clrscr; Exit;
        end;
      if filesize(Datafile)>1 then
        begin
          clrscr;gotoxy(2,2);write(DataFileName,' contient
',filesize(Datafile),
          ' enregistrements');gotoxy(12,3);write('lequel rappeler
?');
          repeat gotoxy(30,3);read(NumEnreg); until (NumEnreg>0)
            and (NumEnreg<=filesize(DataFile));
          end else numEnreg:=1;

          {$I-} seek(DataFile,NumEnreg-1); {$I+}
          if ioreult =0 then
            begin
              fenetre(10,5,60,10,0,15);
              gotoxy(2,2);font(Red+16,Cyan);
              write(' RECUPERATION EN COURS ');font(15,0);
              {$I-} Read(DataFile,DonneesToW); {$I+}
              IF ioreult<>0 then Succes:=false
                else succes:=true;
              {$I-} close(Datafile);{$I+}
            end;

          If succes Then
            WITH DonneesToW DO
              for i:=1 to NbreN do
                for j:=1 to NbreN do
                  begin
                    nbreNoeuds:=NbreN;
                    TO[i,j]:=matTo[i,j];
                    W[i,j]:=matW[i,j];
                    WCharge:=True;ToCharge:=true;
                  EndSaveToW:=false;
                    cap[i,j]:=matCap[i,j];
                  end;
                END;
              END;
              {..... call data .....}

```

```

PROCEDURE CallResult ;
var Resultats:resultatRec;
    FileResult:file of resultatRec;

BEGIN
IF (D_Existe) and (not EndSaved) THEN
begin
fenetre(10,5,60,10,0,15); write(#7,#7,#7);
gotoxy(2,2);write('Sauver les données actuelles O/N ? ');
repeat reponse:=upcase(readkey) until reponse in ['O','N',#27];
if reponse='O' then Sauvegarde(D);
if reponse=#27 then exit;
fenetre(10,5,60,10,0,15);
end;

succes:=false;
Assign(FileResult,ResFileName);
{$I-} reset(FileResult); {$I+}
IF IOResult=0 then
Begin
if filesize(FileResult)=0 then
begin clrscr; gotoxy(2,2); font(15,0);
write('FICHER VIDE '); font(0+16,15);
gotoxy(2,3);write('Appuyez <ESC> ');
repeat until readkey=#27;
font(15,0);clrscr; Exit;
end;
if filesize(FileResult)>1 then
begin
clrscr;gotoxy(2,2);write(ResFileName,' contient
',filesize(FileResult),
' enregistrements');gotoxy(12,3);write('lequel rappeler
?');
repeat gotoxy(30,3);read(NumEnreg); until (NumEnreg>0)
and
(NumEnreg<=filesize(FileResult));
End else numEnreg:=1;

{$I-} seek(FileResult,NumEnreg-1); {$I+}
if ioreult =0 then
begin
fenetre(10,5,60,10,0,15);
gotoxy(2,2);font(Red+16,Cyan);
write(' RECUPERATION EN COURS ');font(15,0);
{$I-} Read(FileResult,Resultats); {$I+}
IF ioreult<>0 then Succes:=false else
succes:=true;

{$I-} close(FileResult);{$I+}

end;

```

```

If succes Then
  WITH Resultats DO
    for i:=1 to NbreN do
      for j:=1 to NbreN do
        begin
          NbreNoeuds:=NbreN;
          D[i,j]:=matD[i,j];   D_Existe:=true; EndSaved:=false;
          c[i,j]:=matC[i,j];
        end;
      end;
    end;
  END;
END;   {..... CallResult .....}
BEGIN

  REPEAT

    Repeat
      FinRappel:=false;
      ASCENCEUR(20,7,1,0,15,7,16,1,4,Rapmenu,3,reponse,true,ind);
      until (reponse=#13);

      if ind=4 then begin FinRappel:=true; exit end;

    IF (ind=1) or (ind=2) THEN
      BEGIN
        fenetre(15,7,65,17,0,15); font(0,15);
        gotoxy(15,3);write('RECUPERATION');
        if ind=1 then begin FileName:=DataFileName;
                       readstring(15,6,FileName,'DON',sortie);
                       if sortie then exit;
                       DataFileName:=FileName;
                       end;
        if ind=2 then begin FileName:=ResFileName;
                       readstring(15,6,FileName,'RES',sortie);
                       if sortie then exit;
                       ResFileName:=FileName;
                       end;
      END;
    IF ((EXISTENCE(FileName)) and (ind<>3)) or (ind=3) THEN
      BEGIN
        case ind of
          1:CallData;
          2:CallResult;
          3:dir;
          4:Exit;
        end;
      IF (not succes) and (ind<>3) then
        begin
          write(#7,#7,#7);
          gotoxy(2,2);write('IL N' 'A PAS ETE POSSIBLE DE LIRE ');
          gotoxy(12,3);font(0+16,15);write('APPUYEZ <ESC> ');
          repeat until readkey=#27;
        end ;
      END

```

```

ELSE IF ind<>3 then
  Begin
    Clrscr;gotoxy(2,2); font(Red,Cyan);
    write('Le fichier ',FileName,' n''existe pas');
    gotoxy(2,3);write(' Appuyez <ESC> ');
    repeat until readkey=#27;
  End;

  UNTIL (ind=4) or (FinRappel);
END;

```

PROCEDURE ENREGISTRER;

```

( les to , $\alpha$ , $\beta$ ,c(capacité))
var TamponTo,TamponW,TamponCap:integer;
identite:boolean;
BEGIN

IF Not ToCharge then AIDE(2);
font(15,0);clrscr;
fenetre(12,6,67,17,0,15);
IF not ToCharge Then
  Begin
    Repeat clrscr;

    gotoxy(2,2);write('DONNEZ LE NOMBRES DE NOEUDS :');
    ReadsInt(32,2,NbreNoeuds,sortie); if sortie then Exit;
    until NbreNoeuds in [3..65];

    gotoxy(2,4);write('Donnez les paramètres de calibration:');
    gotoxy(25,7); write(' B : ');
    gotoxy(7,8); write(' Omega  $\Omega$  : ');
    gotoxy(7,6); write('  $\alpha$  : ');
    repeat ReadsReal(12,6,alpha,sortie);
      if sortie then Exit;
    until (alpha >0) and (alpha<10) or (sortie);
    gotoxy(25,7); write(' B : ');
    repeat ReadsReal(29,7,beta,sortie);
      if sortie then Exit;
    until (beta>0) and (beta<10) or (sortie);
    gotoxy(7,8); write(' Omega  $\Omega$  : ');
    repeat ReadsReal(18,8,omega,sortie);
      if sortie then Exit;
    until (omega>0) and (omega<=1) or (sortie);
    clrscr;
  End;

```

```

REPEAT i:=0; j:=0;
  clrscr; tamponcap:=0;
  gotoxy(2,2);write('DONNEZ POUR LE LIEN (i-->j) ');
  gotoxy(4,3); write(' i: ');
  gotoxy(20,3); write(' j: ');

  gotoxy(15,5); write(' To : (temps à débit nul)');
  gotoxy(15,6); write(' W : (débit) ');
  gotoxy(15,7); write(' c : (capacité) ');

  repeat gotoxy(8,3); if readkey=#27 then exit;
    {$I-} read(i);{$I+}
  until (i>0) and (i<=NbreNoeuds) and (ioresult=0);
  repeat gotoxy(23,3); if readkey=#27 then exit;
    {$I-} read(j); {$I+}
  until (j>0) and (j<>i) and (j<=NbreNoeuds) and (ioresult=0);
  TamponW:=W[i,j]; TamponTo:=T0[i,j]; TamponCap:=cap[i,j];
  gotoxy(3,8);write('Pour annuler ce lien taper " Z " ');
  ReadsInt(21,5,TamponTo,sortie); if sortie then Exit;
  ReadsInt(21,6,TamponW,sortie);
  if sortie then Exit;
  ReadsInt(21,7,Tamponcap,sortie); if sortie then Exit;
  W[i,j]:=tamponW; T0[i,j]:=TamponTo; Cap[i,j]:=TamponCap;

  gotoxy(2,9); font(red,yellow);
  write(' Taper "F" pour Finir Sinon <ENTER> '); font(15,0);
  repeat reponse:=upcase(readkey) until reponse in [#13,'F'];
  UNTIL reponse='F';
  If warshallUtilise then W_ToModifie:=true;
  ToCharge:=true; WCharge:=true; CapCharge:=true;
EndSaveToW:=false;
END;

```

```

{ PROCEDURE AUTONOME }
{##### FIN #####}

```

```

PROCEDURE RECHERCHE_CHEMIN_OPTIMAL(Var D: matrice);
Var voix:liste; lignes:byte; s,N1,N2:integer; phrase:string;
    CheminPossible:boolean;

BEGIN
    IF not D_Existe then AIDE(5);
if ((ToCharge) or (WCharge)) and (not D_Existe) then Warshall(D)
    else
        if (not ToCharge) and (not WCharge) and (not D_Existe) then
            begin fenetre(15,7,65,17,0,15);
                phrase:='Retour au menu pour entrer les matrices To & W';

                gotoxy(2,2);write('La matrice optimale n'est pas encore
déterminée. ');
                gotoxy(2,3);write(phrase);
                gotoxy(2,4);write('ou pour tirer matrice D d'un fichier
éventuel');
                gotoxy(2,7);font(0+16,15); write(' Appuyer <ESC> ');
font(15,0);
                repeat until readkey=#27;
                    EXIT;
                end;

        IF (W_ToModifie) then Warshall(D);

        IF (D_Existe) THEN
            BEGIN
                REPEAT
                    N1:=0; N2:=0;
                    window(1,1,80,25); font(15,0); clrscr; font(0,15);
                    gotoxy(20,5);write(' CHEMIN OPTIMAL ');
                    fenetre(15,7,65,17,0,15); font(15,0);
                    gotoxy(2,2);write('Donnez les 2 noeuds en question ');
                    gotoxy(2,6);write('2e Noeud :'); font(0+16,15);
                    gotoxy(2,4);write('1er Noeud :');
                    repeat readsInt(14,4,N1,sortie); if sortie then Exit;
                    until (N1 in [1..NbreNoeuds]) or sortie;
                    repeat readsInt(14,6,N2,sortie); if sortie then Exit;
                    until ((N2 in [1..NbreNoeuds]) and (N2<>N1)) or sortie ;

                    Chemin_Optimal(N1,N2,NbreNoeuds,D,voix,CheminPossible);
                    IF CheminPossible then
                        begin
                            window(1,1,80,25); font(15,0); clrscr;
                            continuer(20,2); clrscr;
                            gotoxy(10,1);font(15+16,0);
                            write('LES SOUS_BRANCHES DE LA VOIX ');
                            font(0+16,15);write(N1,' <--> ',N2) ;
                            font(15,0);
                        end;
            END;
    END;

```

```

Var D:matrice;
PROCEDURE AFFICHER (initial:char);
var col,Lig:byte;
    i1,i2,J1,J2:integer;

function minInt(X,Y:integer):integer;
begin if X<Y then minInt:=X else minInt:=Y;end;
procedure Affiche (initial:char;i1,J1,i2,j2:integer;var
caract:char);
var i,j:integer;
BEGIN
    case upcase(initial) of
        'W','T','C': IF (Not ToCharge) and (not Wcharge) THEN
            Begin Clrscr; font(0+16,15);
            writeln('La matrice ',initial,' n'est pas
                encore chargé');
            writeln('Appuyez <ESC>');
            repeat until readkey=#27;
            End;
        'D':IF Not D_Existe THEN
            Begin Clrscr; font(0+16,15);
            writeln('La matrice ',initial,' n'est pas
                encore chargé');
            writeln('Appuyez <ESC>');
            repeat until readkey=#27;
            End;

    end;
(AFFICHAGE )
window(1,1,80,25); font(15,0);clrscr;
gotoxy(2,1);
if initial='T' then write(' MATRICE To OBTENUE ') else
write(' MATRICE ',initial,' OBTENUE ');
for j:=1 to minInt(9,j2-j1+1) Do
begin gotoxy(9+(j-1)*8,2); font(0,15); write(' ',j1+j-1,' ');end;
for i:= 1 to minInt(20,i2-i1+1) Do
begin
font(0,15);
gotoxy(1,i+3);write(i1+i-1); font(15,0);
end;
col:=9; Lig:=4;
for i:=i1 to i2 {inInt(i1+20-1,nbreNoeuds)} do
begin
for j:=j1 to j2 {minInt(j1+9,nbreNoeuds)} do
begin
gotoxy(col,lig);
case upcase(initial) of
    'W':write(W[i,j]);
    'T':begin if T0[i,j]= maxInt then write(#236) else
write(T0[i,j]);end;
    'C':write(cap[i,j]);
    'D':write(D[i,j]);
end;
inc(col,8); end;
inc(lig); col:=9;
end;
end;

```

```

gotoxy(15,25); font(0,15);
write('Se déplacer vers: "G" "D" "H" "B" <ESC>:Fin ');

repeat
  caract:=upcase(readkey);
  if not (caract in [#27,'G','H','B','D']) then write(#7);
until caract in [#27,'G','H','B','D'];

End;
BEGIN

i1:=1;J1:=1;i2:=minInt(20,NbreNoeuds);j2:=minInt(9,NbreNoeuds);
  Repeat
    Affiche(initial,i1,J1,i2,j2,reponse);
    case upcase(reponse) of
      'G': IF j2<=NbreNoeuds then
          begin j2:=j1-1; j1:=j2-8;
                if J2<9 then
                  begin J2:=minInt(9,NbreNoeuds); j1:=1; end;
                end;
      'D': IF j2 < NbreNoeuds then begin
j1:=j2+1;inc(J2,minInt(NbreNoeuds-J2,9)); end;
      'H': IF i2>20 then
          begin
            i2:=i1-1; i1:=i2-19;
            if i2 <20 then begin i2:=minint(20,NbreNoeuds);
i1:=1 end;
          end;
      'B': IF i2 < NbreNoeuds then begin
i1:=i2+1;inc(i2,minInt(NbreNoeuds-i2,20)); end;
    END;
    Until reponse=#27;
  END;  {.....}

BEGIN

  initialisation;
  REPEAT
    repeat

Ascenceur(25,5,1,0,15,5,23,1,10,choixPrinc,2,reponse,true,ind);
  until reponse=#13;

CASE ind OF
  1:AiDE(0);
  2:Enregistrer;

  4:rappeler(D);
  5:sauvegarde(D);

```

```

3:Begin fenetre(10,10,70,15,0,15);
  repeat
    clrscr;
    font(15,0);gotoxy(2,2);
    write('DONNER LE NOMBRES DE NOEUDS:');
    ReadsInt(32,2,NbreNoeuds,sortie);
    If not sortie then
      begin
        WarshallUtilise:=false; D_Existe:=false;
      end;
    until NbreNoeuds in [3..65];
  End;

6:
  BEGIN
    REPEAT

      clrscr;
      fenetre(10,5,60,20,0,15);
      gotoxy(3,2);write('1:Afficher matrice optimale D ');
      gotoxy(3,3);write ('2:Afficher matrice W ');
      gotoxy(3,4);write ('3:Afficher matrice To ');
      gotoxy(3,5);write( '4:Afficher matrice capacité ');
      gotoxy(3,7); font(0,15);write(' Q Fin Affichage');
      gotoxy(12,9);write('**A ou H AIDE **');
      gotoxy(15,11);font(0+16,15);write('Votre Choix: ');
      repeat reponse:=upcase(readkey) until reponse in
['A','1'..'4','Q','H'];

      Case upcase(reponse) of
        '1':afficher('D');
        '2':afficher('W');
        '3':afficher('T');
        '4':afficher('c');
        'H','A':AIDE(3);
        'Q':;
      end

      UNTIL reponse='Q';
    END;

7:RECHERCHE_CHEMIN_OPTIMAL(D);
8: Begin fenetre(15,15,65,19,0,15);
  IF Not EndSaved then
    begin clrscr;
      gotoxy(2,1); write('Les données ne sont pas sauvées');
      gotoxy(2,2); write('Voulez-vous les sauver O/N ?');
      repeat reponse:=upcase(readkey); until
reponse in ['O','N'];
      if reponse='N' then read(reponse);
    end;
  end;

```

```

IF Not EndSaveToW then
  begin clrscr;
    gotoxy(2,1);
    write('La matrice optimale n''est pas sauvée');
    gotoxy(2,2); write('Voulez-vous la sauver O/N ?');
  repeat reponse:=upcase(readkey); until reponse in ['O','N'];
    if reponse='N' then read(reponse);
    end;
  clrscr;
  gotoxy(2,1);
  write('Etes-vous sûr de vouloir Réinitialiser O/N ? ');
  repeat reponse:=upcase(readkey); until reponse in ['O','N'];
    if reponse='O' then Initialisation;
  End;
9: Horloge(35,7,true);

10: Begin
  fenetre(5,10,65,17,0,15);
  font(15,0);
  IF not EndSaveToW then
  begin
    gotoxy(2,2); write(' Les données ne sont pas encore
sauvées');
  end;
  IF not EndSaved then
  begin
    gotoxy(2,3); write(' Les résultats ne sont pas encore
sauvés');
  end;
  IF (not EndSaved) or (EndSaveToW) then
  begin
gotoxy(2,5);font(15+16,green);write(' Les sauvegarder O/N ? ');
  repeat reponse:=upcase(readkey) until reponse in ['O','N'] ;
    IF reponse='O' then sauvegarde(D);
    end;
    fenetre(5,10,65,17,0,15);
    font(15,0); gotoxy(5,3);
    write('ETES-VOUS SUR DE VOULOIR QUITTER O/N ? ');
  repeat reponse:=upcase(readkey) until reponse in ['O','N'] ;
    IF reponse='O' then
      begin font(0,15);clrscr; font(15+16,0);gotoxy(5,3);
        write(' MERCI ET A BIENTOT '); write(#7,#7,#7);
        delay(2500);
        halt(0);
      end;
  End;
  End;
  UNTIL ind=20;
END;

```

```
BEGIN alpha:=0.15; beta:=4; omega:=0.6;

    window(1,1,80,25);
    gotoxy(3,25);font(red+16,cyan);
    write(' POUR PLUS D'INFORMATIONS APPUYER " H " SINON
<ENTER> POUR CONTINUER ');

    repeat reponse:=upcase(readkey);
        if not ( reponse in [#13,#27,'H']) then write(#7);
    until reponse in [#13,'H',#27];
    If reponse ='H' then Aide(2);
    menuprincipal;

END.
```

annexe H

MATRICES ORIGINE/DESTINATION POUR
UUP , TRANSPORT EN COMMUN , AUTRES MODES
- ANNEE DE BASE : 1980 -

IMPRESSION DE LA MATRICE DEPLACEMENTS VP 1980

13 ZONES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
34326	10501	6915	6741	4117	3511	1955	14059	4375	708	2753	1421	1655
10501	5677	2323	2870	2408	1618	769	3711	1767	170	454	304	763
6915	2383	1401	2583	1654	1270	819	2608	735	22	250	235	117
6741	2870	2523	1452	385	1473	1289	3205	2633	74	1620	1011	352
4117	2408	1654	885	3329	2113	470	3433	903	124	1090	503	496
3511	1618	1290	1473	2413	1102	321	2591	1031	52	207	154	232
1955	769	819	1329	170	81	1724	2412	992	112	968	571	627
14059	3711	2608	4245	3633	2591	2412	5066	1470	469	969	452	467
4375	1767	735	2638	702	1031	992	1470	520	151	434	88	27
708	170	22	74	124	52	112	469	353	29	277	187	433
2753	484	270	1630	1090	267	958	969	434	277	1314	332	329
1421	304	235	1011	503	154	571	452	88	167	332	1213	320
1655	763	117	362	496	232	627	467	27	435	329	320	200

ZONE	SOMME LIGNE	SOMME COLONNE
1	93037.	93037.
2	33426.	33426.
3	21041.	21041.
4	27502.	27502.
5	22797.	22797.
6	16762.	16762.
7	13590.	13590.
8	43752.	43752.
9	15393.	15393.
10	3018.	3018.
11	11747.	11747.
12	6791.	6791.
13	6108.	6108.

IMPRESSON DE LA MATRICE DEPLACEMENTS TC 1980

13 ZONES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	8508	20782	8623	2567	6227	7972	3345	12292	8440	278	10320	9329	7186
2	20782	8792	5552	3537	3672	1453	2760	7990	3191	200	4403	3228	2944
	8623	5552	3284	2332	2536	1969	373	4519	2438	243	3153	1653	2083
	2567	3537	2338	2352	677	1389	505	3745	1142	327	3396	2490	3571
	6207	3670	2626	877	1503	1136	1660	8309	3213	62	1707	1439	1220
	7478	4063	1959	1389	1136	1709	705	4646	1000	210	2276	1343	1113
	3346	2761	373	545	1862	705	1021	1368	1599	82	991	739	697
	12292	7900	4519	3745	8309	4646	1348	4541	3083	138	3125	2603	1854
	6434	3191	2430	1142	3213	1800	1599	3063	1841	162	2544	2085	1414
10	278	200	243	327	62	210	82	138	152	142	1381	763	1221
11	10320	4403	3153	3396	1707	2276	991	3125	2544	1381	6206	3879	4700
12	9329	3228	1653	2490	1439	1343	739	2603	2075	753	3879	2080	2670
13	7186	2944	2083	3371	1220	1113	697	1854	1414	1221	4700	2670	3670

ZONE	SUMME LIGNE	SUMME COLONNE
1	101374.	101374.
2	71483.	71483.
3	38913.	38913.
4	28082.	28082.
5	31987.	31987.
6	30236.	30236.
7	16934.	16934.
8	58158.	58158.
9	30955.	30955.
10	5249.	5249.
11	43170.	43170.
12	34300.	34300.
13	34143.	34143.

IMPRESSIION DE LA MATRICE DEPLACEMENTS AUTRES

1980

13 ZONES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10435	7128	2621	1312	648	1454	112	3030	973	65	2504	1375	1131
7128	5581	1452	1992	1387	507	406	1486	213	211	625	361	202
2621	1452	1295	930	794	1450	1075	729	101	178	148	522	198
1312	1992	830	697	828	746	79	1462	1045	104	856	640	382
648	1387	794	828	553	865	75	945	87	10	61	41	36
1454	507	1459	746	865	1085	465	1324	187	31	164	81	138
112	406	1075	79	75	465	114	121	83	11	107	362	72
3030	1486	729	1462	945	1324	121	2504	466	33	634	32	493
973	213	101	1045	87	187	83	464	302	16	196	69	275
65	211	178	104	10	31	11	33	16	101	254	247	279
2504	625	148	856	61	164	107	634	196	234	4775	4300	2873
1375	361	522	640	41	81	362	32	69	247	4300	2622	1688
1131	202	198	382	36	138	72	493	275	279	2873	1688	2956

ZONE	SOMME LIGNE	SUMME COLONNE
1	33269.	33269.
2	21592.	21592.
3	11401.	11401.
4	10974.	10974.
5	6328.	6328.
6	8945.	8945.
7	3080.	3080.
8	13262.	13262.
9	4012.	4012.
10	1521.	1521.
11	17557.	17557.
12	12341.	12341.
13	10722.	10722.

annexe I

MATRICES D , C , et V
RELATIVES A L'EXEMPLE D'ILLUSTRATION

MATRICE D OBTENUE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2	3	4	2	2	4	4	4	4
1	0	1	1	5	5	1	1	1	1
1	1	0	4	5	6	4	4	4	4
1	1	3	0	3	3	7	7	7	7
2	2	2	2	0	6	2	2	2	2
5	5	5	5	5	0	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	0	8	9	9
7	7	7	7	7	7	7	0	7	7
7	7	7	7	7	7	7	7	7	0

Se déplacer vers: "G" "D" "H" "B" <ESC>:Fin

MATRICE 6 OBTENUE

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	800	850	900	0	0	0	0	0
800	0	0	0	900	0	0	0	0
850	0	0	600	700	600	0	0	0
900	0	900	0	0	900	800	700	0
0	700	700	0	0	700	0	0	0
0	0	800	900	1000	0	500	0	800
0	0	0	800	0	500	0	600	700
0	0	0	700	0	0	600	0	900
0	0	0	0	0	800	700	900	0

Se dplacer vers: "G" "D" "H" "B" <ESC>:Fin

1e ITERATON : MATRICE V OBTENUE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	97	42	33	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	727	0	0	0	0	0
30	0	0	40	606	505	0	0	0	0
23	0	51	0	0	0	97	0	0	0
0	2423	4038	0	0	727	0	0	0	0
0	0	0	0	646	0	2756	0	0	0
0	0	0	754	0	3230	0	215	215	215
0	0	0	0	0	0	108	0	0	0
0	0	0	0	0	0	108	0	0	0

POUR ARRET DES ITERATIONS tapez <ESC> Sinon <ENTER>

2e ITERATON : MATRICE V OBTENUE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	125	209	528	0	0	0	0	0	0
183	0	0	0	671	0	0	0	0	0
62	0	0	58	824	666	0	0	0	0
183	0	154	0	0	0	582	0	0	0
0	3135	0	0	0	670	0	0	0	0
0	0	0	0	614	0	0	0	0	0
0	0	0	3395	0	0	0	0	253	253
0	0	0	0	0	0	126	0	0	0
0	0	0	0	0	0	126	0	0	0

POUR ARRET DES ITERATIONS tapez <ESC> Sinon <ENTER>

3e ITERATON : MATRICE V OBTENUE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	139	245	619	0	0	0	0	0
214	0	0	0	0	621	0	0	0	0
72	0	0	65	924	743	0	0	0	0
215	0	180	0	0	0	682	0	0	0
0	3483	0	0	0	618	0	0	0	0
0	0	0	0	587	0	0	0	0	0
0	0	0	3982	0	0	0	0	274	274
0	0	0	0	0	0	0	137	0	0
0	0	0	0	0	0	0	137	0	0

POUR ARRET DES ITERATIONS tapez <ESC> Sinon <ENTER>