

REPUBLIQUE DU SENEGAL
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL



PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception)

Titre

**PROGRAMME DE PLANIFICATION ET
D'OPTIMISATION DU RESEAU D'EXPLOITATION DES
LIGNES STRUCTURANTES DE LA VILLE DE DAKAR**

- **Auteur: Ahmadou Moustapha DIALLO**
- **Directeur interne: Babacar NDIAYE**
- **Directeur externe: Ibou DIOUF**
- **Examineur: Cheikh DIOP**

• **J uillet 1999**

SOMMAIRE

Cette présente étude se propose de mettre au point un outil d'optimisation et de planification du réseau d'exploitation des lignes structurantes de la ville de Dakar. Ce projet comporte cinq chapitres intitulés ainsi :

- ❖ Chapitre1 : Hypothèses Générales ; où l'on élabore le cadre théorique de l'étude ainsi que les hypothèses de base.
- ❖ Chapitre2 : Recherche Opérationnelle ; l'optimisation de l'exploitation du réseau est examinée à travers des outils de la recherche opérationnelle.
- ❖ Chapitre3 : Description du réseau ; les raisons de la mise en place du nouveau réseau sont énumérées ainsi que les attentes.
- ❖ Chapitre4 : Prévion de la demande ; on essaie, pour chaque ligne, d'établir les niveaux et caractéristiques de la demande des usagers.
- ❖ Chapire5 : Exploitation du réseau ; c'est la partie où les paramètres d'exploitation sont évalués ainsi que les performances du réseau.

REMERCIEMENTS

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

☞ Monsieur Babacar NDIAYE, professeur à l'Ecole Supérieure Polytechnique, Centre de Thiès.

☞ Monsieur Ibou DIOUF, ingénieur expert au CETUD, vacataire à l'Ecole Supérieure Polytechnique, Centre de Thiès.

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

A ces remerciements, j'associe Monsieur Thiam, directeur de l'exploitation de la SOTRAC ainsi que tout son staff pour leur entière collaboration.

Ce travail n'aurait pu trouver cette heureuse issue sans l'apport décisif du CETUD (Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar). Je tiens à cette occasion à adresser mes sincères remerciements à son Président, Monsieur Ousmane THIAM.

A travers lui, je rends hommage à tout le personnel du CETUD pour leur chaleureux accueil et leur disponibilité durant mon stage.

Enfin, j'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce projet.

INTRODUCTION

Le Sénégal connaît une urbanisation rapide essentiellement concentrée sur la capitale, Dakar, qui accueille 28% de la population sur 0.28% du territoire. S'étendant sur 550 Km², la presqu'île du Cap-Vert concentre plus de 63% des activités économiques du Sénégal.

La population de l'agglomération est passée de 1.488 millions d'habitants au dernier recensement de 1988 à 1.729 millions en 1992. En 1998, elle est estimée à 2.176 millions et les prévisions démographiques tablent sur 3.2 millions en 2010.

Devant cette perspective urbaine, l'organisation des transports apparaît primordiale dans la mesure où l'on assigne aux transports urbains le rôle d'assurer toutes les fonctions d'échanges dans l'espace urbain.

L'agglomération de Dakar est desservie par des modes de transport de natures différentes (ferroviaire, routier...) de capacités différentes et de statuts différents (autorisés ou informels).

Malheureusement, les performances de l'offre de transport ont continuellement chuté ces dernières années. Ainsi, le décalage sans cesse croissant entre la demande de transport due au développement urbain et la modicité des ressources impose des choix, détermine des priorités.

L'étude de la restructuration globale des transports en commun de la ville de Dakar a abouti à la mise en place du réseau des lignes structurantes afin d'améliorer les conditions de déplacement dans l'espace urbain.

Pour l'entreprise de transport, en charge de l'exploitation du réseau, la recherche de la qualité de service ainsi que la productivité interne constituent des enjeux fondamentaux pour l'équilibre économique des lignes.

Dans le processus général d'exploitation d'un système de transport, la mise en place d'un programme de planification est déterminante.

Ainsi, le projet vise à mettre en place un outil de planification de l'exploitation des lignes structurantes d'autobus dans une optique de rationalisation des moyens tant humains que matériels mais garantissant l'enlèvement du trafic durant les différentes périodes de la journée.

Un volet important de l'étude va également concerner l'optimisation du réseau d'exploitation des lignes structurantes dans le but d'accroître les performances du système.

En outre, une base de données sera conçue pour faciliter un suivi journalier de l'exploitation pour une évaluation rapide des performances.

On a choisi de présenter le projet sous forme de programme informatique pour le rendre modifiable, flexible, évolutif, adaptatif : critères indispensables dans la définition d'une planification.

Les programmes seront écrits en code Visual Basic Applications pour tenir compte de la large diffusion de MS Office. Ceci devrait éviter des difficultés relatives à la disponibilité de logiciel.

Les résultats du rapport de synthèse intitulé «**Etude sur la restructuration globale des transports en commun, l'identification du réseau à concéder et la capacité à payer** » menée par le SYSTRA de Novembre 1998, constituent la base de notre étude.

De même, des enquêtes ont été menées auprès des différents acteurs des transports urbains (SOTRAC, CETUD, Travaux Publics, etc.) afin d'être plus au fait de l'administration d'un système de transport.

CHAPITRE 1

HYPOTHESES GENERALES

Dans cette perspective, une étape fondamentale consiste à formaliser les situations problématiques réelles en un ensemble de symboles mathématiques et de relations qui reproduit leur comportement. Pour exprimer les propriétés fondamentales du phénomène, on a recours aux modèles ; c'est à dire représenter de manière schématique une réalité complexe en vue de mieux comprendre sa structure et son fonctionnement.

Les modèles mathématiques peuvent être divisés en deux grandes classes :

- modèles déterministes
- modèles probabilistes

Dans le cas des modèles déterministes, l'incertitude est négligeable ou totalement absente ; on peut prévoir avec certitude les résultats du phénomène. On peut par exemple évaluer précisément le coût d'un déplacement, la disponibilité de la flotte à un dépôt ou à une tête de ligne, le kilométrage entre deux zones sur une ligne, etc.

Par contre, les modèles probabilistes considèrent l'élément incertitude comme un facteur incontournable du phénomène étudié. Ainsi, il est peu probable qu'on connaît avec certitude le taux d'arrivée des usagers à un terminus durant les heures de pointe. De même, des phénomènes comme la répartition de la demande, le temps d'attente à un arrêt d'un usager, la fréquence des accidents suivent des lois plus facilement identifiables par l'observation de phénomènes pratiques que par le recours à des modèles théoriques.

Pour ce projet, on ne cherchera pas étudier des modèles probabilistes car la connaissance de la forme de distribution des valeurs d'exploitation autour

de la tendance centrale par exemple supposerait l'appréciation de situations pratiques de gestion.

Le programme élaboré s'intitule « structurantes » et présente quelques modules :

- Optimisation du réseau
- Prévision de la demande
- Programmation de l'offre
- Elaboration des horaires
- Habillage des horaires

La méthodologie adoptée dans l'étude des chapitres suivants est d'abord d'exposer théoriquement les paramètres d'exploitation du réseau des lignes structurantes avant de procéder à une description sommaire des fonctionnalités du programme « structurantes ». Il faut préciser que l'exécution du programme, avec les boîtes de dialogue incorporées, fournit l'essentiel des informations relatives à une bonne compréhension du programme « structurantes ».

Dans le rapport, on ne tiendra pas compte du report modal des déplacements d'une durée supérieure à 2 heures faute de données disponibles sur ce type de marche à pied.

D'ailleurs, il faut dire que ce type de déplacement dont le pourcentage de report modal est de 5% est plutôt économique car il est surtout motivé par des raisons économiques.

CHAPITRE2

RECHERCHE OPERATIONNELLE

L'élaboration de programme informatique de recherche opérationnelle permettant l'optimisation du système d'exploitation du réseau des lignes structurantes constitue le but de ce chapitre.

Rappelons que l'objectif de la recherche opérationnelle est la résolution de problèmes de gestion par l'application systématique de techniques mathématiques.

Il existe un certain nombre de logiciels de Recherche Opérationnelle sur le marché destinés à l'entreprise mais à notre connaissance il n'en existe aucun au Sénégal, spécialisé dans les systèmes de transport.

Certes, des modèles de prévision de la demande ou d'exploitation des capacités de l'offre de transport existent mais il se pose des problèmes de disponibilité ou d'adaptabilité par rapport au contexte de la ville de Dakar.

Le programme que l'on se propose de concevoir offre l'avantage de fournir beaucoup d'outils d'optimisation du réseau d'exploitation des lignes structurantes dans les domaines suivant :

- optimisation des chemins
- optimisation des temps de service
- affectation optimale de ressources
- affectation optimale des effectifs

Cependant, comme le réseau des lignes structurantes n'est pas encore en place, nous ne procéderons pas à des simulations sur des valeurs réelles d'exploitation faute de données.

Nous soulevons ici quelques problèmes d'exploitation qui pourraient être résolues par les programmes d'optimisation.

2.1 Problèmes d'exploitation

L'objectif de l'entreprise est de minimiser les paramètres d'exploitation suivants :

- les temps de parcours à vide des autobus (temps haut le pied pour rallier un terminus pour la prise de service, ou un dépôt en fin de journée)
- les coûts d'exploitation qui sont fonction du kilométrage effectué

Parallèlement, l'entreprise cherchera à maximiser :

- les recettes d'exploitation
- la satisfaction de la demande

Le problème de transport permet d'affecter des bus suivant des disponibilités et des demandes à satisfaire dans le réseau d'exploitation. Connaissant la localisation des autobus sur les différentes bases à un temps $(t-1, N_k^{t-1})$, le problème de transport permet de déterminer les transferts d'autobus entre têtes de ligne, de telle sorte que les besoins (t, N_k^t) soient satisfaits, en minimisant la somme des temps haut le pied.

Aussi, le problème de transport permet de répartir des bus entre différents itinéraires lorsque les demandes des localités sont bien spécifiées et les disponibilités au niveau des terminus connues. Un programme linéaire intégrant une fonction objective à optimiser suivant des contraintes constitue la modélisation du problème.

Un cas particulier du problème de transport est posé lorsque les disponibilités et les demandes sont toutes égales à 1: il s'agit alors d'un problème d'affectation de ressources. La méthode Hongroise permet de répartir les autobus entre les différents terminus.

Toujours dans l'optique de rationaliser les ressources, on peut modéliser la formation d'équipes de travail du personnel roulant (conducteur et

- receveur) par un problème d'affectation. L'affinité de chaque conducteur par rapport à chaque receveur pourrait être mesurée afin de servir de valeurs pour le problème d'affectation.

Pour la résolution des problèmes de transport et d'affectation, le Solver d'excel a été utilisé. Lorsqu'il s'agit de traiter de problèmes linéaires, les solutions du Solver convergent indépendamment des valeurs de départ des variables du problème.

2.2 ENONCE DES ALGORITHMES

Tous les algorithmes ont été écrits en code Visual Basic Applications dans le but de profiter des possibilités des feuilles de calcul du tableur.

L'intérêt pour l'entreprise de transport est de disposer d'outils efficaces pour conjuguer harmonieusement les ressources sur les plans financier, productif et du personnel pour parvenir à l'élaboration de décisions rationnelles.

Dans les applications de la programmation linéaire déjà étudiées, les variables de décision représentent souvent des hommes ou des véhicules et il est évident que, dans un cas comme dans l'autre, ces variables sont discrètes. Il faudra alors poser des contraintes d'intégrité sur les variables.

Pour la recherche de chemins optimaux, on utilise les algorithmes suivant : algorithme de Ford, algorithme de Bellman, méthode matricielle, algorithme de Bellman-Kalaba...

2.1.1 Algorithme de Ford

- cas d'une minimisation

(i) Initialisations

Affecter à x_0 un « poids » $\lambda_0=0$, et numéroter les autres sommets dans un ordre quelconque en leur affectant un « poids » $\lambda_i= +\infty$.

- (ii) Examen de l'ensemble des sommets x_0, x_1, \dots, x_{n-1} dans cet ordre ; pour chaque sommet x_i examiné, parcourir l'ensemble des arcs (x_i, x_j) issus du sommet x_i en remplaçant λ_j par $\lambda_i + a_{ij}$ si $\lambda_j > \lambda_i + a_{ij}$.
- (iii) Test d'arrêt
Itérer (ii) tant qu'un λ_j aura été modifié dans (ii)

- cas d'une maximisation

C'est le même algorithme sauf que pour ce cas on initialise λ_i par :

$$\lambda_i = -\infty$$

2.1.2 Algorithme de Bellman

- cas d'une minimisation

- (i) Numéroté les sommets du graphe selon une fonction ordinaire ; poser :
- $$\lambda_0 := 0, \quad j := 1$$
- (ii) Poser : $\lambda_j = \min_{(i, j) \in U} (\lambda_i + v_{ij})$
- (iii) Poser : $j := j+1$ et revenir en (ii) tant que j est strictement plus petit que n .

Rappel :

Une fonction ordinaire est une numérotation des sommets d'un graphe qui est telle que pour tout arc (x_i, x_j) , i est plus petit que j . Une telle fonction n'existe que pour les graphes sans circuit. Son intérêt est qu'il s'agit d'une « bonne » numérotation en ce sens qu'elle évite les retours en arrière de l'algorithme de Ford dans la recherche des chemins optimaux.

2.1.3 Méthode matricielle

- (i) Soit $v = (v_{ij})$ la matrice des valuations des arcs de G ($v_{ij} = +\infty$ si $(i, j) \notin U$) ;
Poser $v_{ij}^{(0)} = v_{ij}$.
- (ii) Pour $k = 1$ à n ; pour $i = 1$ à n ; pour $j = 1$ à n , faire :

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DU RESEAU

3-1 DIAGNOSTICS DU RESEAU EXISTANT

3.1.1 LA VOIRIE

Le réseau routier offre la configuration suivante :

- le réseau principal constitué des pénétrantes (Route de Rufisque, autoroute, VDN) et des rocade (Fann - Bel Air, Malick Sy, etc.) est de bonne qualité avec des revêtements résistants.

- les voiries secondaires sont souvent bitumées, mais leur entretien reste laborieux et les périodes de pluie entraînent des dégradations souvent importantes.

- les voiries tertiaires, qui assurent la desserte interne des quartiers sont souvent des pistes ou des chemins de terre non assainis. Elles deviennent impraticables durant l'hivernage.

Ces inégalités du réseau se traduisent par la concentration du trafic sur les voiries primaires, les voiries secondaires étant faiblement utilisées par les transports, les voiries tertiaires restant le domaine des piétons, des charrettes, et des taxis clandestins « clandos ».

3.1.2 Circulation générale

Elle se caractérise par une congestion aux heures de pointe sur les principales voies d'accès : conséquence de la densité de trafic sur ces axes, de la faible capacité de ces voiries d'une part, de l'inégale répartition des emplois dans l'agglomération d'autre part.

Certaines voies ont un usage en partie réservé aux transports collectifs : bus, cars rapides, Ndiaga Ndiaye, et taxis : une section de l'avenue Blaise Diagne, une section de l'avenue Lamine Guèye, une section de l'avenue Pompidou, une section de l'avenue Faidherbe etc.

Cependant, non seulement elles ne représentent qu'un linéaire limité et sans continuité, mais aussi leur capacité est vite dépassée par la densité du trafic de transport collectif.

En outre, faute d'aires de stationnement suffisantes, les véhicules et surtout les poids lourds stationnent le long de la route, parfois sur la chaussée.

3.1.3 SITUATION DE LA SOTRAC

C'est un secteur qui connaît de nombreuses difficultés et il est surtout caractérisé par la faiblesse de ses moyens.

Au début des années 90, la Société des Transports en Commun du Cap-Vert exploitait un réseau qui s'étendait sur la quasi totalité de la région de Dakar (du Centre Ville jusqu'à Bargny et Keur Massar). Toutefois, depuis 1992, l'offre est en baisse vertigineuse : conséquence d'un faible taux de disponibilité et d'un taux de panne assez élevé.

Quelques chiffres résument la situation : en fin 1998, la SOTRAC dispose d'un parc de 310 autobus urbains et de 42 autocars mais seulement entre 120 et 150 autobus sont réellement disponibles.

Le contrecoup de cet état particulièrement grave de l'entreprise a été la désaffectation des usagers : sa place dans le marché des déplacements est devenue négligeable. A nombre de bus en service inférieur de 20% à celui de 1995, le nombre moyen de voyageurs par bus reste à moins de la moitié de 1995.

Aujourd'hui, la SOTRAC, en instance de liquidation, n'assure plus qu'un service minimum et dessert seulement 6 lignes (contre 23 en 1993) qui sont : 4, 8, 9, 10, 18-20 et 23.

A côté de ce secteur structuré, évolue dans un cadre semi-informel un réseau de transport en commun composé des cars rapides et Ndiaga Ndiaye.

3.2 OBJECTIFS DU RESEAU DES LIGNES STRUCTURANTES

Les lignes structurantes constituent le réseau principal : routes et artères principales de l'agglomération. Elles correspondent aux axes majeurs de déplacement, sur lesquels la demande est la plus forte. En concentrant davantage les moyens disponibles sur un faisceau de lignes réduit, on essaie de mettre en place un dispositif cohérent avec les besoins des usagers.

L'exploitation du réseau est assurée par des bus standards ou articulés dont la capacité, associée à des fréquences soutenues, permet de permettre à de fortes demandes.

L'efficacité de l'exploitation et la qualité de service requièrent entre autres :

- Une bonne régularité des passages et une continuité du service
- Une adaptation de l'offre tant en heures de pointe qu'en heures creuses
- A l'obtention d'une vitesse commerciale performante

▪ A la sécurité des véhicules et des usagers

De même, les exigences d'une entreprise professionnelle devraient pousser à l'adaptation des effectifs aux besoins de l'exploitation, à la modernisation des méthodes de travail, à la mise en place d'un système de maintenance performant du parc d'autobus afin de prolonger sa durée de vie.

Malgré les innombrables difficultés qu'elle a connues, la SOTRAC dispose toujours de bonnes compétences techniques et il serait dommage que la nouvelle entreprise à mettre en place ne puisse pas bénéficier de toute son expérience.

CHAPITRE 4

PREVISION DE LA DEMANDE

Les lignes structurantes assurent la plus grande partie des déplacements urbains. Compte tenu de leur rôle social et économique, il importe qu'elles assurent au mieux leurs services. Cette fonction ne peut être réussie que par la prise de mesure de productivité interne ou externe du réseau :

- ◆ Productivité externe
 - mesures de circulation favorables aux autobus
 - adaptation de l'offre de transport à la demande
 - amélioration de la structure tarifaire
- ◆ Productivité interne
 - réduction des coûts de fonctionnement
 - amélioration des caractéristiques du parc

Le but de ce chapitre est d'évaluer la demande de transport sur chaque ligne durant les différentes périodes de la journée. Avec le développement rapide de l'urbanisation, l'offre de transport ne suit pas toujours l'évolution urbaine. Il faut donc, pour ajuster au mieux la capacité de transport disponible à la demande potentielle, d'une part bien connaître la clientèle au niveau des déplacements (heure, origine, destination...), d'autre part suivre régulièrement le développement urbain afin de mettre en service en temps utile l'offre qui s'avère indispensable.

- suivre régulièrement le développement urbain afin de mettre en service en
- temps utile l'offre qui s'avère indispensable.

4.1- TRAITEMENT DE L'ENQUETE O/D

Les premières données à considérer sont celles relatives à une enquête origine-destination, réalisée du 13 au 20 janvier 1998, contenue dans le rapport d'étape du SYSTRA et s'intitulant : **Etude sur la restructuration globale des transports en commun**. Cette étude a été effectuée pour le compte du CETUD.

Dans le document, la matrice O/D tous modes de secteur à secteur se trouve à la page 68. Cette répartition des flux tous modes représente un total journalier de 4.087.555 déplacements.

Pour les besoins de l'enquête, l'agglomération de Dakar, composée des départements de Dakar, Pikine et Rufisque ; a été découpée en 19 secteurs qui sont :

1-Plateau	7-Mbao	13-Front de terre
2-Colobane	8-Rufisque	14-Cambérène
3-Hann	9-Bargny	15-Guédièwaye
4-Hann-Montagne	10-Dakar-Ouest	16-Malika
5-Pikine	11-Thiaroye Mer	17-Keur-Massar
6-Thiaroye-Gare	12-Médina-Grand Dakar	18-Sangalkam
19-Sébikotane		

Cependant, cette répartition modale plutôt globale n'est pas assez exhaustive de la part réelle de chaque mode de transport. De plus, il existe une disparité de la demande suivant les heures de la journée (heures de pointe et creuses).

On aura remarqué qu'à l'heure de pointe du soir, c'est surtout le flux des déplacements vers les secteur-destinations qui importe. C'est une conséquence du retour des populations du cœur de la ville, où s'exercent les activités, vers les zone-dortoirs.

L'analyse prévisionnelle de la demande suppose la connaissance de la répartition de la demande dans tout l'espace urbain desservi par le réseau des lignes structurantes.

Ainsi, on cherche pour chaque ligne le nombre de déplacements de secteur à secteur ainsi que le cycle de mutation. La matrice origine-destination va servir de base à la détermination des déplacements de secteur à secteur par le mode : lignes structurantes durant toutes les périodes de la journée.

Les secteurs de découpage de l'agglomération de Dakar ont été numérotés de 1 à 19

Soit d_{ij} un déplacement d'origine i et de destination j

$i = 1, \dots, 19$ et $j = 1, \dots, 19$

La matrice O/D est alors la suivante où $n = 19$:

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1j} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \dots & d_{2j} & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{i1} & d_{i2} & d_{i3} & \dots & d_{ij} & \dots & d_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & d_{n3} & \dots & d_{nj} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

- Le total du flux de déplacements issu d'un secteur I donné est :

$$D_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{19} d_{ij}$$

Le total du flux de déplacements de destination d'un secteur J donné est :

$$D_{\cdot j} = \sum_{i=1}^{19} d_{ij}$$

La matrice O/D renseigne sur le niveau des flux tous modes de secteur à secteur sur toute une journée. (Voir Tableau 4.1)

Tableau 4.1: Matrice O/D tous modes de secteur à secteur

Origine	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	72428	25311	9676	10739	35793	44455	7949	33045	1980	43480	16069	85926	16103	20201	36386	9927	8724	1289	1530	51	481063
2	26153	4357	3675	4035	18075	17523	5214	11213	1241	10023	2696	25844	6569	8520	11223	6881	3373	1791	2293	0	170701
3	9373	3457	14277	2608	10567	8464	2143	4092	317	5140	672	6889	4468	1193	6311	825	2616	52	270	0	83737
4	11112	4355	2226	3091	6046	3681	1023	3327	0	2607	0	7233	2413	3914	2195	2397	708	0	186	0	56518
5	33462	17215	9720	4581	75064	88356	16046	11094	2410	8387	1368	33459	11377	16924	26753	11029	4758	15157	1347	257	388769
6	49388	16408	10266	5077	89881	45582	4609	17494	659	8938	0	27323	6322	4138	16040	18372	10481	3520	1576	319	336399
7	9018	5588	2434	1110	16648	5378	10156	45516	7153	2195	3744	2975	2202	877	772	333	1761	836	2788	1316	122807
8	32727	10170	3730	3806	14097	16837	43401	78445	7689	6261	3548	18505	7495	5036	4731	737	16150	3244	7774	958	285349
9	2137	476	516	0	1493	589	7066	7809	22029	11214	0	962	158	114	0	0	0	42	4785	90	59489
10	43608	10245	3666	2822	12205	8557	2146	6874	9830	92727	493	98633	22104	10018	29586	1999	3642	1411	1809	0	362385
11	16069	1353	672	0	1368	0	3744	3423	0	493	3408	4682	0	0	0	0	0	0	0	0	35223
12	82073	24828	6376	7244	29284	27591	1658	15614	940	98798	4010	196225	37382	22693	31479	2433	6020	468	360	49	595537
13	15649	5220	5062	1648	17093	6430	2441	8996	158	22132	4	36979	19066	35245	11131	837	2276	50	625	0	191055
14	19017	7491	1045	3267	9185	3988	693	5608	114	9517	0	22935	43197	72337	16198	1398	1303	367	676	0	218350
15	39870	13834	4890	2195	27688	16326	873	3506	0	32101	0	30816	10896	14313	123605	1643	2876	204	786	0	326437
16	10462	6288	2824	2670	9658	16488	333	525	107	2697	0	3050	837	1185	1409	117700	6960	2334	0	0	185543
17	8888	4095	1917	687	4835	10451	1936	16753	0	3518	0	5273	1091	1551	3260	5325	9374	3271	349	0	82591
18	1794	1935	52	0	15183	3091	706	2747	42	1777	0	624	42	417	564	2280	3532	4329	312	0	39445
19	1829	2573	195	186	1332	1576	2978	6965	4603	1606	0	497	458	486	683	0	349	478	29471	3252	59536
20	4	0	0	0	137	319	1316	1004	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3242	707	6839
Total	485062	165201	83222	55770	395637	325688	116438	284058	59371	363021	36023	608842	192193	219176	322341	184132	84920	38861	60198	7019	408773

Source: Etude sur la restructuration globale des transports en commun
page68

Enquête O/D du 13 au 20 janvier 1998 SYSTRA

Notre objectif est d'établir la matrice O/D à la pointe du matin par le mode des lignes structurantes.

Ainsi, il faudra tenir compte du pourcentage de déplacements vers chaque secteur-destination du total de flux issu d'un secteur donné.

Le pourcentage P_{ij} de chaque secteur-destination j dans le total du flux de déplacements issu d'un secteur I donné est :

$$P_{ij} (\%) = 100 * d_{ij} / D_{ij}$$

La répartition du pourcentage de déplacements de chaque secteur origine vers ses secteurs destinations est alors :

$$P = (P_{ij}) \quad i = 1 \text{ à } 19, \quad j = 1 \text{ à } 19$$

Le tableau de répartition du pourcentage de déplacements des secteurs d'origine vers les secteurs de destinations : (Voir Tableau 4.2)

Tableau4.2: Pourcentage de déplacements des secteur-origines vers les secteur-destinations

Origine	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	15	5	2	2	7	9	2	7	0	9	3	18	3	4	8	2	2	0	0	0	100
2	15	3	2	2	11	10	3	7	1	6	2	15	4	5	7	4	2	1	1	0	100
3	11	4	17	3	13	10	3	5	0	6	1	8	5	1	8	1	3	0	0	0	100
4	20	8	4	5	11	7	2	6	0	5	0	13	4	7	4	4	1	0	0	0	100
5	9	4	3	1	19	23	4	3	1	2	0	9	3	4	7	3	1	4	0	0	100
6	15	5	3	2	27	14	1	5	0	3	0	8	2	1	5	5	3	1	0	0	100
7	7	5	2	1	14	4	8	37	6	2	3	2	2	1	1	0	1	1	2	1	100
8	11	4	1	1	5	6	15	27	3	2	1	6	3	2	2	0	6	1	3	0	100
9	4	1	1	0	3	1	12	13	37	19	0	2	0	0	0	0	0	0	8	0	100
10	12	3	1	1	3	2	1	2	3	26	0	27	6	3	8	1	1	0	0	0	100
11	46	4	2	0	4	0	11	10	0	1	10	13	0	0	0	0	0	0	0	0	100
12	14	4	1	1	5	5	0	3	0	17	1	33	6	4	5	0	1	0	0	0	100
13	8	3	3	1	9	3	1	5	0	12	0	19	10	18	6	0	1	0	0	0	100
14	9	3	0	1	4	2	0	3	0	4	0	11	20	33	7	1	1	0	0	0	100
15	12	4	1	1	8	5	0	1	0	10	0	9	3	4	38	1	1	0	0	0	100
16	6	3	2	1	5	9	0	0	0	1	0	2	0	1	1	63	4	1	0	0	100
17	11	5	2	1	6	13	2	20	0	4	0	6	1	2	4	6	11	4	0	0	100
18	5	5	0	0	39	8	2	7	0	5	0	2	0	1	1	6	9	11	1	0	100
19	3	4	0	0	2	3	5	12	8	3	0	1	1	1	1	0	1	1	50	5	100
20	0	0	0	0	2	5	19	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	10	100

Pour l'heure de pointe du matin, toujours dans le rapport d'étape du SYSTRA s'intitulant : « **Etude sur la restructuration globale des transports en commun** », on va utiliser le tableau suivant situé aux annexes du chapitre 2.

Ce dernier contient la part de chaque mode dans le total des déplacements motorisés.

Tableau 4.3: Mode de transport utilisé à partir du secteur d'origine entre 7h et 8h

Secteurs origine	Taxi	Taxi collectif	Taxi clando	Car rapide	Nd. Ndiaye	Véh. partic.	2Roues	SOTRAC	Bus ramassage	PTB	Charrette	Autre	Total
Plateau	166	39	397	4539	3249	926	0	5314	313	807	0	88	15838
Colobane	0	0	97	8990	8398	305	240	2482	31	778	0	0	21321
Hann	0	21	485	10556	558	374	62	1290	52	52	281	0	13731
Hann Montagne	519	0	687	3315	2355	413	0	4029	313	632	107	0	12370
Pikine	1094	611	3654	16550	10703	3744	0	6109	1338	2008	5666	36	51513
Thiaroye Gare	319	313	3395	44191	15586	3537	326	9193	993	2721	892	0	81466
Mbao	814	0	1662	23104	11027	588	0	5954	10209	0	2910	0	56268
Rufisque	715	271	1830	10876	13026	945	101	7080	769	1048	0	0	36661
Bargny	0	93	249	394	11165	162	0	287	107	0	184	0	12641
Dakar Ouest	1687	167	11410	32333	14390	9026	54	20345	7853	0	0	167	97432
Thiaroye Mer	0	0	4349	1356	6449	0	0	1607	0	0	0	0	13761
Médina-Grd Dkr	1844	65	343	29208	2327	6496	193	12587	1036	99	52	109	54359
Front de Terre	674	61	159	36342	1274	1021	4	5134	14	0	0	0	44683
Cambérène	805	90	2628	10724	9202	1507	37	5694	13320	0	302	0	44309
Guédiawaye	805	671	2967	24885	12085	2958	204	9222	1894	0	0	0	55691
Malika	0	0	1140	16090	2142	3095	2230	896	0	0	0	0	25593
Keur-Massar	163	0	2119	8854	4971	1254	465	526	229	0	163	0	18744
Sangalkam	50	82	0	3468	1149	417	50	134	671	0	0	0	6021
Sébikotane	0	0	622	1378	11174	0	0	0	28	0	0	0	13202
Hors zone	0	0	0	0	109	0	0	0	0	0	0	0	109
Total	9655	2484	38193	287153	141339	36768	3966	97883	39170	8145	10557	400	675713

Source : Etude sur la restructuration globale des transports en commun

Enquête O/D du 13 au 20 janvier 1998, SYSTRA

NB : Le tableau 4 fournit pour les 19 secteurs :

$$D_{Ij} = \sum_{j=1}^{19} d_{Ij} \quad \text{avec } I = 1 \text{ à } 19$$

Le tableau 4 va servir à répartir les flux dont on connaît l'origine vers les différents secteur-destinations.

Ainsi, on reproduit une matrice O/D identique au premier mais par le seul mode des lignes structurantes. (Voir Tableau 4.4)

Tableau 4.4: Matrice O/D modes des lignes structurantes à l'heure de pointe du matin

	Destination																				
Origin e	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
1	800	280	107	119	395	491	88	365	22	480	178	949	178	223	402	110	96	14	17	1	5315
2	127	63	53	59	263	255	76	163	18	146	39	188	96	124	163	100	49	26	33	0	2041
3	144	13	220	40	163	130	33	63	5	79	10	106	69	18	97	13	40	1	4	0	1248
4	792	310	159	220	431	262	73	237	0	186	0	516	86	279	156	171	50	0	13	0	3941
5	526	271	153	36	1180	1388	252	174	38	132	21	526	179	266	420	173	75	238	21	4	6073
6	1350	448	281	139	2456	1246	126	478	18	244	0	747	173	113	438	502	286	96	43	9	9193
7	437	271	118	54	807	261	492	2207	347	106	182	144	107	43	37	16	85	41	135	64	5954
8	812	252	93	94	350	418	1077	1946	191	155	88	459	186	125	117	18	401	80	193	24	7079
9	10	2	2	0	7	3	34	38	106	54	0	5	1	1	0	0	0	0	23	0	286
10	2448	575	206	158	685	480	120	386	552	5206	28	1846	1241	562	1661	112	204	79	102	0	16651
11	733	62	31	0	62	0	171	156	0	22	156	214	0	0	0	0	0	0	0	0	1607
12	289	525	135	153	619	583	35	330	20	2088	85	4147	790	480	665	51	127	10	8	1	11141
13	421	140	45	44	459	173	66	242	4	595	0	994	512	947	299	22	61	1	17	0	5042
14	496	195	27	85	240	104	18	146	3	124	0	598	1127	1886	422	36	34	10	18	0	5569
15	1126	391	138	62	782	461	25	99	0	907	0	871	308	404	3492	46	81	6	22	0	9221
16	51	30	14	13	47	80	2	3	1	13	0	15	4	6	7	568	34	11	0	0	899
17	57	26	12	4	31	67	12	107	0	22	0	34	7	10	21	34	60	21	2	0	527
18	6	7	0	0	52	11	2	9	0	6	0	2	0	1	2	8	12	15	1	0	134
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	10625	3861	1794	1280	9029	6413	2702	7149	1325	10565	787	12361	5064	5488	8399	1980	1695	649	652	103	91921

Pour chaque ligne, on a relevé les différents secteurs desservis (Voir Tableau 4.5).

ITINERAIRES DES LIGNES

Tableau 4.5 : Secteurs desservis par les lignes

N° DES LIGNES	ITINERAIRES DES LIGNES	SECTEURS DESSERVIS
1	Bargny – Gare de Petersen	Bargny-Rufisque-Mbao-Thiaroye Mer-Pikine-Hann Montagne-Front de terre-Hann-Colobane-Médina Grand Dakar-Plateau
2	Malika – Gare de Petersen	Malika-Thiaroye Gare-Pikine-Hann Montagne-Front de terre-Hann- Colobane-Plateau
3	Guédiéwaye – Ambassade du Japon	Guédiéwaye-Cambérène-Pikine- Front de terre-Hann-Colobane- Plateau
4	Cambérène – Lat Dior	Cambérène-Dakar Ouest-Médina Grand Dakar-Plateau
5	Parcelles Assainies – Ambassade du Japon	Cambérène-Front de terre-Médina Grand Dakar-Plateau
6	Parcelles – Yoff – Gare de Petersen	Cambérène-Dakar Ouest-Médina Grand Dakar-Plateau
7	Ouakam terme Sud – Palais de Justice	Dakar Ouest-Médina Grand Dakar- Plateau
8	Abattoirs de Hann – Place Leclerc	Hann Montagne-Hann-Colobane- Plateau
9	Lat Dior - Fann Bel Air	Plateau-Clobane-Médina Grand Dakar
10	Ouakam(ex aéroport) – Hann Fleuristes	Dakar Ouest-Front de terre-Hann
A	Lamine Guèye – Palais de Justice	Plateau-Plateau
B	Ambassade du Japon – Place Leclerc	Plateau-Plateau

Lorsqu'une liaison entre 2 secteurs est desservie par plusieurs lignes, le volume de déplacements est réparti équitablement entre les différentes lignes. En fait, on suppose ainsi que l'utilisateur a une chance égale d'emprunter chacune des lignes :

Soit : une liaison (i , j) entre les 2 secteurs i et j

N_L : nombre de lignes qui dessert (i , j)

N : nombre d'utilisateurs en attente en i pour se rendre en j

La répartition des usagers suivant les différentes lignes est :

$$V_L = N / N_L$$

Dans le réseau des lignes structurantes, il existe quelques liaisons de secteur à secteur assurées par plus d'une ligne. Les liaisons sont relevées dans le tableau suivant :

Tableau4.6 : Liaisons desservies par plusieurs lignes

Liaisons	Lignes
Pikine – Hann Montagne	Lignes 1, 2
Hann Montagne – Front de terre	Lignes 1,2
Front de terre – Hann	Lignes 1,2,3
Hann – Colobane	Lignes 1,2,3,8
Colobane – Plateau	Lignes 1,2,3,8
Médina – Plateau	Lignes 1,2,3,5,6,9
Dakar Ouest – Médina	Lignes 4,6,7
Cambérène – Dakar Ouest	Lignes 4,6
Colobane – Médina	Lignes 5,9

La matrice O/D des lignes structurantes sera donc corrigée en tenant compte de la répartition des usagers empruntant une même liaison sur les différentes lignes.

4.2 CYCLES DE MUTATION

A partir d'un terminus et tenant compte des déplacements de secteur à secteur par autobus, il est alors possible d'estimer le volume des déplacements sur chaque ligne ainsi que le cycle de mutation. L'origine et la destination des usagers constituent en fait des montées et descentes dans le cycle.

Dans le programme « structurantes », le seul paramètre d'entrée est le numéro de la ligne et on obtient sous forme de tableau les déplacements de secteur à secteur sur l'itinéraire de la ligne aux différentes périodes de la journée (heures de pointe, heures creuses..).

Soit l'itinéraire (i, j) à desservir par une ligne k

Soient $i_1, i_2, \dots, j_1, j_2, \dots, j_n$ les secteurs desservies par la ligne durant le parcours de (i, j)

On a $i \in i_1$ et $j \in j_n$ car chaque terminus est rattaché au secteur géographique dans lequel il se trouve.

Le cycle de mutation a été établi en tenant compte du fait que :

- la descente au terminus d'origine i_1 est nulle
- la montée au terminus de destination j_n est nulle
- la descente au terminus de destination n'est pas prise en compte car résultant uniquement des variations de charge sur l'itinéraire (i_1, j_n)

Ainsi le cycle évalué sur (i_1, j_{n-1}) se présente ainsi :

$$C_{ij} = (\text{Montée } i_1 - 0) + (\text{Montée } i_2 - \text{Descente } i_2) + (\text{Montée } i_3 - \text{Descente } i_3) \\ + \dots + (\text{Montée } j_{n-1} - \text{Descente } j_{n-1})$$

$$C_{ij} = \sum_{K=i_1}^{K=j_{n-1}} (\text{Montée } K) - \sum_{K=i_2}^{K=j_{n-1}} (\text{Descente } K)$$

Le nombre total de voyageurs sur la ligne est :

$$V_{ij} = \sum_{K=i_1}^{K=j_{n-1}} (\text{Montée } K) = \sum_{K=i_2}^{K=j_n} (\text{Descente } K)$$

Cependant, on évalue le nombre d'autobus nécessaire à partir du cycle de mutation.

A une période P donnée, le niveau d'offre à programmer est tel que :

$$N_{ij}^P = (1/T_{ij}^P) \left[\sum_{K=i_1}^{K=j_{n-1}} (\text{Montée}^P K) - \sum_{K=i_2}^{K=j_{n-1}} (\text{Descente}^P K) \right]$$

T_{ij}^P = taux d'occupation des autobus à la période P

On voit donc que la détermination du nombre d'autobus nécessaire pour satisfaire convenablement la demande, passe par la connaissance du taux d'occupation des bus durant les différentes périodes de la journée.

4.3 TAUX D'OCCUPATION

D'autre part, le cabinet Tractebel Consult a réalisé pour le compte du CETUD, une « **Etude sur l'analyse des coûts de dysfonctionnement des transports en commun dans l'agglomération de Dakar** ».

A la page 17 du Rapport Provisoire, élaboré par Tractebel Consult, est présenté un tableau d'occupation standard des véhicules aux différentes périodes de la journée.

Tableau4.7 : Occupation standard des véhicules aux différentes périodes de la journée.

	Pointe matin	Pointe soir	Creux jour
Véhicules Particuliers	2	2	1
SOTRAC	40	30	25
bus de ramassage	40	30	25
Ndiaga Ndiaye	42	40	30
Car rapide	25	25	20
Taxi	2	2	1
Taxi clando	5	5	3
Taxi collectif	5	5	3

Pour la SOTRAC, bien que l'offre ait sérieusement chuté à la suite de la décision de liquidation de l'entreprise, les taux d'occupation observés nous semblent faibles.

Essayons de comparer ces dernières valeurs avec les taux d'occupation observés au niveau des écrans de Malick Sy et la route des Niayes. Ces comptages ont été faits dans le cadre d'une «**Etude d'identification des mesures permettant l'analyse des performances**», réalisée par le GIC en avril 1998.

Le comptage du trafic de véhicules et de personnes aux deux (2) écrans à l'heure de pointe du matin donne les résultats suivants :

Tableau4.8 : Estimation du taux d'occupation suivant les modes

ECRAN1 : Malick Sy

	Total Passagers	Total véhicules	Taux d'occupation
Taxi	1314	987	1.33
Car rapide	1763	179	9.85
Ndiaga Ndiaye	2772	98	28.29
VP	5889	2795	2.11
SOTRAC	1601	24	66.71

ECRAN 2 : Route des Niayes

	Total Passagers	Total véhicules	Taux d'occupation
Taxi	1118	733	1.53
Car rapide	15310	822	18.63
Ndiaga Ndiaye	17592	531	33.13
VP	3470	1473	2.36
SOTRAC	1721	31	55.52

Rappelons que seuls quatre mois séparent les 2 enquêtes.

Les taux d'occupation obtenus par comptage au niveau des lignes-écrans nous semblent mieux refléter les réelles occupations des bus de la SOTRAC.

Cependant, nous choisissons d'utiliser les premiers résultats de Etractebel Consult dans la mesure où ils offrent la possibilité d'exploiter les taux d'occupation aux différentes périodes de la journée (pointe matin, pointe soir, heures creuses).

Néanmoins, ces chiffres devront être corrigés en tenant compte du report modal pour mieux traduire les taux d'occupation des lignes structurantes.

4.4 REPORT MODAL

Rappelons que la matrice des flux sur laquelle s'organisent les lignes structurantes d'autobus a été constituée par report total ou partiel de trois matrices, celle des déplacements assurés par SOTRAC, celle des cars rapides et Ndiaga Ndiaye et celle de la marche à pied.

La totalité de la matrice des flux a été reportée pour la SOTRAC, 10% pour les cars rapides et Ndiaga Ndiaye, 20% pour la marche à pied dans sa composante > 30 minutes.

Tableau4.9 : Total de déplacements après report modal

Modes	Déplacements pointe matin	Report modal
SOTRAC	97883	97883
Cars rapides et N. Ndiaye	428492	42849
Marche à pied (> 30 mn)	911600	68370
TOTAL		209102

NB : les valeurs de report modal sont celles spécifiées dans le rapport : **Etude sur la restructuration globale des transports en commun, l'identification du réseau à concéder et la capacité à payer.**

A la pointe du matin, le taux d'occupation est :

$$T_{\text{occup}} = (T_{\text{dépl.}} * t_{\text{occup}}) / \text{Dépl}_{\text{SOTRAC}}$$

Avec

T_{occup} : taux d'occupation des lignes structurantes à la pointe considérée

$T_{\text{dépl.}}$: total de déplacements des lignes structurantes par suite du report modal

t_{occup} : taux d'occupation de la SOTRAC évalués par comptage aux lignes-écrans

$\text{Dépl}_{\text{SOTRAC}}$: total de déplacements des lignes de la SOTRAC à la pointe du matin

Après calcul, on trouve les taux d'occupation suivant pour les pointes du matin, du soir, et aux heures creuses.

Tableau 4.10

Périodes de la journée	Taux d'occupation
Pointe matin	85
Pointe soir	64
Heures creuses	53

Ces résultats sont valables pour un bus standard. Cependant, dans le cas où des bus articulés sont utilisés sur une ligne, il faudra multiplier ces taux d'occupation par 2.

Ainsi, il devient aisé de déterminer le nombre d'autobus nécessaire pour satisfaire convenablement la demande.

4.5 RAPPORT D'OFFRE

Dans le programme « structurantes », il faut entrer le numéro de la ligne et spécifier le sens considéré, et on obtient les informations suivantes :

- ☞ la répartition de la demande sur les secteurs desservis par la ligne
- ☞ les cycles de mutation sur la ligne
- ☞ le nombre de bus nécessaires pour satisfaire la demande

Ce dernier paramètre considéré successivement pour les deux sens de parcours permet de trouver le rapport d'offre dans les 2 sens de la ligne : c'est à dire le rapport du nombre de bus dans les 2 sens.

Il faut préciser que dans le trajet des véhicules, il faut considérer deux sens de parcours ; sens1 : de la banlieue vers le centre ville et sens2 : du centre ville vers la banlieue.

Pour les différentes lignes, on présente dans le tableau suivant les sens considérés :

Tableau 4.11 : Sens des lignes structurantes

	Sens 1	Sens 2
1	Bargny-Gare de Petersen	Gare de Petersen-Bargny
2	Malika – Gare de Petersen	Gare de Petersen – Malika
3	Guédiéwaye – Ambassade du Japon	Ambassade du Japon – Guédiéwaye
4	Cambérène – Lat Dior	Lat Dior – Cambérène
5	Parcelles Assainies – Ambassade du Japon	Ambassade du Japon – Parcelles Assainies
6	Parcelles – Yoff – Gare de Petersen	Gare de Petersen – Yoff – Parcelles
7	Ouakam terme Sud – Palais de Justice	Palais de Justice – Ouakam terme Sud
8	Abattoirs de Hann – Place Leclerc	Place Leclerc – Abattoirs de Hann
9	Fann Bel Air – Lat Dior	Lat Dior - Fann Bel Air
10	Ouakam(ex aéroport) – Hann Fleuristes	Hann Fleuristes – Ouakam(ex aéroport)
A	Lamine Guèye – Palais de Justice	Palais de Justice – Lamine Guèye
B	Ambassade du Japon – Place Leclerc	Place Leclerc – Ambassade du Japon

4.6 Estimation de la demande aux autres périodes

Il faut connaître les motifs de déplacements des usagers afin d'estimer les niveaux de trafic aux autres périodes de la journée. En principe, il existe très peu d'écart entre le total de déplacements de la pointe du matin et celle du soir. Néanmoins, le rapport du niveau de mobilité entre les deux périodes peut être déterminé à partir de la répartition modale des déplacements en fonction du motif.

On isole dans le tableau suivant les déplacements dus aux modes intervenant dans le report modal aux lignes structurantes : SOTRAC, Cars rapides et Ndiaga Ndiaye, marche à pied.

Tableau4.12 : Répartition modale des déplacements en fonction du motif

	Marche à pied	SOTRAC	Cars rapides et Ndiaga Ndiaye
Ecole/Université	29.0	27.9	16.4
Travail	9.8	14.2	21.7
Marché	3.2	1.0	4.2
Culte	1.1	0	0.3
Hôpital	0.3	2.1	0.7
Autres	9.5	10.1	9.9
Domicile	47.1	44.7	46.8

Nous cherchons à affecter les motifs de déplacement aux différentes périodes de la journée. A cette fin, on fait les suppositions suivantes :

D'abord, on considérera que les motifs école/université travail et hôpital correspondent impérativement à des déplacements à l'heure de pointe du matin

tandis que des déplacements vers le domicile ou au marché seront affectés à l'heure de pointe du soir.

Ensuite, on pose l'hypothèse que la répartition des déplacements en fonction du motif sur une journée suit la même tendance qu'à la pointe du matin.

On rappelle les reports modaux déjà utilisés : 10% cars rapides et Ndiaga Ndiaye, 100% SOTRAC, 20% pour les déplacements > à 30 mn.

Tableau4.13 : Répartition modale des déplacements en fonction du motif

	Marche à pied	SOTRAC	Cars rapides et Ndiaga Ndiaye
Ecole/Université	29	27.9	16.4
Travail	9.8	14.2	21.7
Marché	3.2	1	4.2
Culte	1.1	0	0.3
Hôpital	0.3	2.1	0.7
Autres	9.5	10.1	9.9
Domicile	47.1	44.7	46.8

NB : Le tableau ne prend en compte que les modes intervenant dans le report modal sur les lignes structurantes.

Tableau 4.14 : Total de déplacements des lignes structurantes par suite du report modal

4.6.1 Pointe du matin

	MAP	SOTRAC	Cars rapides		Total
Ecole et Université	52873	32213	25626		110711
Travail	17867	16395	33907		68170
Hôpital	547	2425	1094		4065
Total	71287	51032	60627		182946

4.6.2 Pointe du soir

	MAP	SOTRAC	Cars rapides		Total
Marché	5834	1155	6563		13551
Domicile	85873	51610	73127		210609
Total	91707	52764	79690		224161

Le rapport de niveau de déplacements entre la pointe du soir et celle du matin est :

$$\text{Pointe}_{\text{soir/matin}} = (\text{Pointe}_{\text{soir}} / \text{Pointe}_{\text{matin}})$$

$$= (224161 / 182946)$$

$$= 1.22$$

Ce rapport permet de déterminer la matrice O/D de secteur à secteur des déplacements par le mode des lignes structurantes à la pointe du soir. (Voir 4.14)

Tableau 4.14: Matrice O/D modes des lignes structurantes à l'heure du soir

Origine	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	800	127	144	792	526	1350	437	812	10	2448	733	289	421	496	1126	51	57	6	0	0	10625
2	280	63	13	310	271	448	271	252	2	575	62	525	140	195	391	30	26	7	0	0	3861
3	107	53	220	159	153	281	118	93	2	206	31	135	45	27	138	14	12	0	0	0	1794
4	119	59	40	220	36	139	54	94	0	158	0	153	44	85	62	13	4	0	0	0	1280
5	395	263	163	431	1180	2456	807	350	7	685	62	619	459	240	782	47	31	52	0	0	9029
6	491	255	130	262	1388	1246	261	418	3	480	0	583	173	104	461	80	67	11	0	0	6413
7	88	76	33	73	252	126	492	1077	34	120	171	35	66	18	25	2	12	2	0	0	2702
8	365	163	63	237	174	478	2207	1946	38	386	156	330	242	146	99	3	107	9	0	0	7149
9	22	18	5	0	38	18	347	191	106	552	0	20	4	3	0	1	0	0	0	0	1325
10	480	146	79	186	132	244	106	155	54	5206	22	2088	595	124	907	13	22	6	0	0	10565
11	178	39	10	0	21	0	182	88	0	28	156	85	0	0	0	0	0	0	0	0	787
12	949	188	106	516	526	747	144	459	5	1846	214	4147	994	598	871	15	34	2	0	0	12361
13	178	96	69	86	179	173	107	186	1	1241	0	790	512	1127	308	4	7	0	0	0	5064
14	223	124	18	279	266	113	43	125	1	562	0	480	947	1886	404	6	10	1	0	0	5488
15	402	163	97	156	420	438	37	117	0	1661	0	665	299	422	3492	7	21	2	0	0	8399
16	110	100	13	171	173	502	16	18	0	112	0	51	22	36	46	568	34	8	0	0	1980
17	96	49	40	50	75	286	85	401	0	204	0	127	61	34	81	34	60	12	0	0	1695
18	14	26	1	0	238	96	41	80	0	79	0	10	1	10	6	11	21	15	0	0	649
19	17	33	4	13	21	43	135	193	23	102	0	8	17	18	22	0	2	1	0	0	652
20	1	0	0	0	4	9	64	24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	103
Total	5315	2041	1248	3941	6073	9193	5954	7079	286	16651	1607	11141	5042	5569	9221	899	527	134	0	0	91921

4.6.3 - Pointe de midi

A midi, avec la journée continue en vigueur dans l'administration publique et beaucoup d'entreprises publiques, les déplacements dont le motif est le travail deviennent négligeables.

La journée continue n'étant appliquée que dans quelques écoles privées, les déplacements de motif Ecole / Université deviennent alors très importants. Néanmoins, les déplacements du même motif de la pointe du matin restent supérieurs puisque certaines écoles ou alors certains élèves pratiquent la journée continue.

	MAP	SOTRAC	Cars rapides		Total
Ecole	52873	32213	25626		110711
Culte	2006	0	469		2474
Total	54878	32213	26094		113186

Le rapport du niveau de déplacements entre la pointe de midi et celle du matin est :

$$\text{Pointe}_{\text{midi/matin}} = (\text{Pointe}_{\text{midi}} / \text{Pointe}_{\text{matin}})$$

$$= (113186 / 182946)$$

$$= 0.62$$

De la même manière qu'à la pointe du soir, on établit la matrice O/D de secteur à secteur des déplacements par le mode des lignes structurantes à la pointe de midi. (Voir Tableau4.15)

Tableau 4.15: Matrice O/D de secteur à secteur à la pointe de midi

Origine	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	528	84	95	523	347	891	289	536	7	1616	484	191	278	327	743	33	37	4	0	0	7013
2	185	42	9	205	179	296	179	167	2	380	41	346	93	129	258	20	17	4	0	0	2549
3	71	35	145	105	101	185	78	61	2	136	20	89	30	18	91	9	8	0	0	0	1184
4	78	39	27	145	24	92	36	62	0	105	0	101	29	56	41	9	3	0	0	0	846
5	261	173	107	284	779	1621	533	231	5	452	41	409	303	158	516	31	20	34	0	0	5959
6	324	168	86	173	916	822	172	276	2	317	0	385	114	69	304	53	44	7	0	0	4232
7	58	50	22	48	166	83	325	711	23	80	113	23	43	12	16	1	8	2	0	0	1783
8	241	108	42	157	115	316	1457	1285	25	255	103	218	160	97	65	2	70	6	0	0	4719
9	14	12	3	0	25	12	229	126	70	364	0	13	3	2	0	0	0	0	0	0	874
10	317	96	52	123	87	161	70	103	36	3436	15	1378	393	82	599	9	15	4	0	0	6974
11	117	26	7	0	14	0	120	58	0	18	103	56	0	0	0	0	0	0	0	0	519
12	626	124	70	340	347	493	95	303	3	1218	141	2737	656	395	575	10	22	1	0	0	8157
13	117	63	45	57	118	114	70	123	1	819	0	521	338	744	203	3	5	0	0	0	3341
14	147	82	12	184	176	75	28	82	0	371	0	317	625	1245	267	4	7	1	0	0	3622
15	265	108	64	103	277	289	25	77	0	1096	0	439	197	279	2305	4	14	1	0	0	5545
16	72	66	8	113	114	331	11	12	0	74	0	34	15	24	31	375	22	5	0	0	1308
17	64	32	27	33	49	189	56	264	0	135	0	84	40	22	54	22	39	8	0	0	1120
18	9	17	1	0	157	63	27	53	0	52	0	7	1	6	4	7	14	10	0	0	429
19	11	22	3	9	14	28	89	127	15	67	0	5	11	12	15	0	1	1	0	0	430
20	0	0	0	0	3	6	42	16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	68
Total	3507	1347	825	2602	4008	6067	3930	4673	189	10991	1061	7353	3329	3676	6087	591	347	88	0	0	60672

Toutefois, il faut tenir compte du fait que les destinations durant la pointe du matin deviennent les origines à la pointe du soir et de midi : conséquence du retour « au domicile » des zones où s'exercent les activités vers les zone-dortoirs. Cette inversion du flux des déplacements se traduit par une transposition de la matrice O/D.

$$\text{Soit } A = (A_{ij}) \quad i = 1, \dots, 19 \quad j = 1, \dots, 19$$

A est la matrice O/D de secteur à secteur durant la pointe du matin

La matrice O/D de secteur à secteur à la pointe du soir est :

$$B_{ij} = \text{Rapport} * (A_{ij})^T$$

Avec

$(A_{ij})^T$: transposé de la matrice O/D de la pointe considérée

Rapport = rapport du niveau de déplacements entre la pointe considérée et la pointe du matin.

Rapport = $\text{Pointe}_{\text{midi/matin}}$ pour la pointe de midi

Rapport = $\text{Pointe}_{\text{soir/matin}}$ pour la pointe du soir

De la même manière dont on est parvenu à trouver les paramètres de demande et d'offre à l'heure de pointe du matin, on peut prévoir le niveau de trafic à la pointe du soir.

D'ailleurs, c'est une option intégrée dans le programme « structurantes ».

4.6.4 Heures creuses

Les niveaux de demande à cette période sont évalués en retranchant les matrices O/D des différentes pointes (matin, soir, midi) à la matrice O/D journalière. Cette dernière représente cependant les déplacements de secteur à secteur par le mode des lignes structurantes.

Ainsi donc, essayons d'estimer le pourcentage des déplacements des lignes structurantes dans la totalité des déplacements tous modes.

Tableau4.16 : Répartition modale des 4.3 millions de déplacements

Mode	Cars rapide et Ndiaga Ndiaye	Véhicules Particuliers	Taxi	SOTRAC	PTB	Marche à pied <30mn	Marche à pied >30mn
Pourcentage (%)	36.2	6.3	5.4	2.7	1.0	22.9	21.2
Nombre de déplacements	1556600	270900	232200	116100	43000	984700	911600

Après report modal, les lignes structurantes totalisent :

$$\text{Total} = (116100 * 1) + (1556600 * .1) + (911600 * .2)$$

$$\text{Total} = 116100 + 155660 + 182320$$

$$\text{Total} = 454080$$

Le pourcentage cherché est alors :

$$\begin{aligned} \text{Mode}_{\text{lignes structurantes/tous modes}} &= (454080 / 4.3 \cdot 10^6) \\ &= 0.106 \end{aligned}$$

Les lignes structurantes représentent 10.6% des déplacements tous modes.

Alors, la matrice O/D par le seul mode des lignes structurantes est obtenu par :

$$\text{OD}_{\text{lignes structurantes}} = 0.106 * \text{OD}_{\text{journalier/tous modes}}$$

où $\text{OD}_{\text{journalier/modes}}$ est la matrice O/D de secteur à secteur pour toute une journée par tous les modes.

Tableau 4.17 : Matrice O/D de secteur à secteur par les lignes structurantes

	Destination																				
Origine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
1	7677	2683	1026	1138	3794	4712	843	3503	210	4609	1703	9108	1707	2141	3857	1052	925	137	162	5	50993
2	2772	462	390	428	1916	1857	553	1189	132	1062	286	2739	696	903	1190	729	358	190	243	0	18094
3	994	366	1513	276	1120	897	227	434	34	545	71	730	474	126	669	87	277	6	29	0	8876
4	1178	462	236	328	641	390	108	353	0	276	0	767	256	415	233	254	75	0	20	0	5990
5	3547	1825	1030	486	7957	9366	1701	1176	255	889	145	3547	1206	1794	2836	1169	504	1607	143	27	41209
6	5235	1739	1088	538	9527	4832	489	1854	70	947	0	2896	670	439	1700	1947	1111	373	167	34	35658
7	956	592	258	118	1765	570	1077	4825	758	233	397	315	233	93	82	35	187	89	296	139	13017
8	3469	1078	395	403	1494	1785	4601	8315	815	664	376	1962	794	534	501	78	1712	344	824	102	30246
9	227	50	55	0	158	62	749	828	2335	1189	0	102	17	12	0	0	0	4	507	10	6305
10	4622	1086	389	299	1294	907	227	729	1042	9829	52	10455	2343	1062	3136	212	386	150	192	0	38412
11	1703	143	71	0	145	0	397	363	0	52	361	496	0	0	0	0	0	0	0	0	3732
12	8700	2632	676	768	3104	2925	176	1655	100	10473	425	20800	3962	2405	3337	258	638	50	38	5	63126
13	1659	553	537	175	1812	682	259	954	17	2346	0	3920	2021	3736	1180	89	241	5	66	0	20250
14	2016	794	111	346	974	423	73	594	12	1009	0	2431	4579	7668	1717	148	138	39	72	0	23144
15	4226	1466	518	233	2935	1731	93	372	0	3403	0	3266	1155	1517	13102	174	305	22	83	0	34601
16	1109	667	299	283	1024	1748	35	56	11	286	0	323	89	126	149	12476	738	247	0	0	19666
17	942	434	203	73	513	1108	205	1776	0	373	0	559	116	164	346	564	994	347	37	0	8753
18	190	205	6	0	1609	328	75	291	4	188	0	66	4	44	60	242	374	459	33	0	4179
19	194	273	21	20	141	167	316	738	488	170	0	53	49	52	72	0	37	51	3124	345	6309
20	0	0	0	0	15	34	139	106	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344	75	723
Total	51416	17511	8821	5911	41937	34522	12342	30109	6292	38543	3817	64536	20371	23231	34167	19516	9000	4117	6379	742	433282

En fin de compte, la matrice O/D de secteur à secteur aux heures creuses s'obtient par :

$$OD_{\text{heures creuses}} = OD_{\text{journalier}} - (OD_{\text{matin}} + OD_{\text{midi}} + OD_{\text{soir}})$$

Avec

$OD_{\text{journalier}}$: la matrice O/D de secteur à secteur pour toute une journée

OD_{matin} : la matrice O/D de secteur à secteur pour à la pointe du matin

OD_{midi} : la matrice O/D de secteur à secteur à la pointe de midi

OD_{soir} : la matrice O/D de secteur à secteur à la pointe du soir

Tableau 4.18: Matrice O/D de secteur à secteur aux heures creuses

Origin e	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	5549	2192	679	0	2526	1980	29	1790	171	65	308	7679	830	1095	1585	858	734	113	145	4	28335
2	2181	294	315	0	1203	858	27	607	110	0	144	1680	368	455	378	579	265	153	210	0	9827
3	672	265	928	0	703	301	0	217	25	124	10	400	330	63	343	51	217	4	25	0	4679
4	189	54	10	0	150	0	0	0	0	0	0	0	97	0	0	62	18	0	7	0	586
5	2365	1117	607	0	4818	3901	109	421	206	0	21	1993	265	1130	1118	918	378	1283	122	23	20794
6	3070	868	591	0	4767	1518	0	683	47	0	0	1181	210	153	497	1313	714	259	124	25	16020
7	373	195	85	0	539	100	0	830	355	0	0	113	17	20	4	16	82	44	161	75	3009
8	2051	555	198	0	855	573	0	3139	561	0	29	955	207	166	220	55	1133	249	631	78	11656
9	180	19	44	0	88	30	139	473	2053	218	0	64	9	6	0	0	0	4	484	10	3821
10	1377	269	51	0	390	22	0	85	400	0	0	5143	114	294	0	78	145	61	90	0	8520
11	675	17	23	0	48	0	0	61	0	0	0	141	0	0	0	0	0	0	0	0	965
12	6835	1795	365	0	1612	1102	0	563	72	5320	0	9769	1523	933	1226	182	455	36	30	4	31821
13	942	254	377	0	1056	222	15	403	11	0	0	1614	659	918	370	60	169	4	49	0	7125
14	1150	393	54	0	292	131	0	241	8	0	0	1037	1880	2651	624	102	88	27	54	0	8730
15	2433	805	219	0	1455	542	6	78	0	0	0	1291	351	412	3813	117	189	12	61	0	11786
16	876	470	264	0	689	834	7	23	10	87	0	223	48	60	66	10965	647	223	0	0	15492
17	726	327	125	0	357	566	52	1003	0	12	0	314	7	98	190	474	834	306	35	0	5425
18	161	155	4	0	1162	157	5	149	4	51	0	48	3	27	48	215	328	419	32	0	2968
19	166	218	14	0	106	96	91	418	450	1	0	40	20	22	36	0	34	49	3124	345	5228
20	0	0	0	0	8	19	33	67	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344	75	555
Total	31970	10262	4954	0	22827	12951	514	11249	4492	5879	513	33686	6936	8503	10517	16047	6431	3246	5727	639	197343

Cette dernière matrice représente la totalité des flux au cours des différentes périodes d'heures creuses de la journée :

- 1^{ère} période : entre 9h et 13h
- 2^{ème} période : entre 15h et 16h
- 3^{ème} période : entre 19h et 21h

La matrice globale des déplacements durant les heures creuses sera répartie au prorata de la durée de chaque période qui sont respectivement de 4h, 1h et 2h.

A la 1^{ère} période d'heures creuses (entre 9h et 13h), la matrice O/D est la suivante :

⋮

Tableau 4.19: Matrice O/D de secteur à secteur à une période d'heures creuses

Origin	Destination																				Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1850	731	226	0	842	660	10	597	57	22	103	2560	277	365	528	286	245	38	48	1	9445
2	727	98	105	0	401	286	9	202	37	0	48	560	123	152	126	193	88	51	70	0	3276
3	224	88	309	0	234	100	0	72	8	41	3	133	110	21	114	17	72	1	8	0	1560
4	63	18	3	0	50	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	21	6	0	2	0	195
5	788	372	202	0	1606	1300	36	140	69	0	7	664	88	377	373	306	126	428	41	8	6931
6	1023	289	197	0	1589	506	0	228	16	0	0	394	70	51	166	438	238	86	41	8	5340
7	124	65	28	0	180	33	0	277	118	0	0	38	6	7	1	5	27	15	54	25	1003
8	684	185	66	0	285	191	0	1046	187	0	10	318	69	55	73	18	378	83	210	26	3885
9	60	6	15	0	29	10	46	158	684	73	0	21	3	2	0	0	0	1	161	3	1274
10	459	90	17	0	130	7	0	28	133	0	0	1714	38	98	0	26	48	20	30	0	2840
11	225	6	8	0	16	0	0	20	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	322
12	2278	598	122	0	537	367	0	188	24	1773	0	3256	508	311	409	61	152	12	10	1	10607
13	314	85	126	0	352	74	5	134	4	0	0	538	220	306	123	20	56	1	16	0	2375
14	383	131	18	0	97	44	0	80	3	0	0	346	627	884	208	34	29	9	18	0	2910
15	811	268	73	0	485	181	2	26	0	0	0	430	117	137	1271	39	63	4	20	0	3929
16	292	157	88	0	230	278	2	8	3	29	0	74	16	20	22	3655	216	74	0	0	5164
17	242	109	42	0	119	189	17	334	0	4	0	105	2	33	63	158	278	102	12	0	1808
18	54	52	1	0	387	52	2	50	1	17	0	16	1	9	16	72	109	140	11	0	989
19	55	73	5	0	35	32	30	139	150	0	0	13	7	7	12	0	11	16	1041	115	1743
20	0	0	0	0	3	6	11	22	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115	25	185
Total	10657	3421	1651	0	7609	4317	171	3750	1497	1960	171	11229	2312	2834	3506	5349	2144	1082	1909	213	65781

CHAPITRE 5

EXPLOITATION DU RESEAU

L'étude de la restructuration globale des transports en commun de la ville de Dakar a abouti à la mise en place du réseau des lignes structurantes. Ces dernières constituent le réseau principal et correspondent aux corridors majeurs de déplacement, sur lesquels la demande est la plus forte. Le réseau en question, composé de 12 lignes, qui circulent sur les routes et artères principales de l'agglomération, présente la configuration suivante : un réseau de ville formé des lignes N° 4, 6, 7, 9, 10, A, B et le réseau de substitution au petit train bleu (PTB) avec les lignes N° 1, 2, 3, 5, 8.

Une des caractéristiques fondamentales de l'offre de transport est la qualité de service. Cette dernière se mesure à travers trois paramètres : la disponibilité de l'offre, la qualité de la chaîne de transport et la qualité de l'exécution du transport.

Ainsi, le présent chapitre fournit des éléments d'explication sur la méthodologie adoptée pour l'adéquation de l'offre à la demande.

5.1 PLANIFICATION DE L'EXPLOITATION

La planification de l'exploitation repose sur la succession des opérations suivantes :

- élaboration des horaires
- élaboration des tableaux de marche et graphiques de ligne
- habillage des horaires
- établissement des tableaux de roulement
- gestion globale des effectifs

5.1.1 ELABORATION DES HORAIRES

Au chapitre précédent, les estimations de la demande aux différentes périodes de la journée ont permis de choisir le niveau de service à programmer sur chaque ligne. Cependant, pour mieux assurer l'adéquation de la demande à l'offre, il faut définir pour chaque ligne la fréquence de l'offre durant toutes les périodes de la journée ; c'est à dire l'intervalle de temps entre deux départs successifs de bus.

En effet, le respect de cette fréquence, permet la disponibilité de l'offre qui garantit la régularité de service.

Soit une tête de ligne i , avec un nombre d'autobus N_i^k programmé pour la période k .

$$k = 1, \dots, 6$$

avec

- 1 : pointe matin (entre 7h - 8h)
- 2 : heures creuses (entre 9h - 13h)
- 3 : pointe midi (entre 13h - 14h30)
- 4 : heures creuses (entre 14h30 - 16h)
- 5 : pointe soir (entre 16h - 19h)
- 6 : heures creuses (entre 19h - 21h)

Soit t_k la durée de la période k . La fréquence de l'offre à la période k pour la tête de ligne i est :

$$F_i^k = (N_i^k / t_k)$$

La méthodologie utilisée pour l'élaboration du programme « structurantes » est de présenter certains paramètres d'exploitation comme des variables à entrer au cours de l'exécution du programme.

Ainsi, l'intervalle de temps entre 2 départs successifs de véhicules est un paramètre d'entrée dans le programme « structurantes » afin de procéder à l'élaboration des horaires.

D'autre part, les temps haut-le-pied (à vide) sont pris en compte pour rallier les terminus d'affectation à partir des dépôts de Ouakam et de Thiaroye.

De même, l'heure de prise de service, les temps de battement, les temps de parcours, etc.

5.1.2 TABLEAU DE MARCHE DES VEHICULES

La démarche consiste porter sur un tableau l'ensemble des courses réalisées par chaque bus entre son départ du dépôt (Ouakam ou Thiaroye) et le retour à ce dernier.

La première étape vise l'adéquation de l'offre à la demande et elle passe par un suivi de la demande journalière sur les différentes lignes du réseau. Cela suppose une bonne connaissance de la variation de la demande dans l'espace (points critiques de charge, de décharge, points d'afflux ponctuels...) et dans le temps (heures de pointe et heures creuses).

Les matrices O/D élaborées pour les différentes périodes de la journée fournissent une indication assez satisfaisante sur le niveau des flux observés durant toute une journée à l'intérieur du réseau des lignes structurantes. À l'aide des cycles de mutation, on avait pu programmer les niveaux de service sur chaque ligne.

L'élaboration des tableaux de marche des autobus pour chaque ligne constitue la deuxième étape. Elle permet de connaître pour le parc de chaque ligne les lieux de passage et horaires théoriques. La marche d'un bus sur une journée est parfaitement spécifiée dès lors que l'on connaît pour l'ensemble des lignes qu'il dessert :

- les heures de sorties et de rentrées au dépôt, de garage et de dégarage en ligne

- les heures de départ des terminus, les temps de parcours, les temps de battement en fin de course.

La détermination des tableaux de marche des bus aboutit à la détermination du niveau de service réel offert sur une ligne au cours des différentes périodes de la journée, c'est à dire le nombre de véhicules en circulation à un instant t .

Les courses obtenues à partir des tableaux de marche sont découpées en tronçons élémentaires. Ces derniers représentent les temps élémentaires du tableau de marche qui comprendront la présence du personnel roulant à bord d'un autobus pendant une période de temps continu.

Les services agents sont construits par assemblage des différents tronçons

Dans le programme « Structurantes », l'exploitation de chaque ligne est ramenée à 2 volets dépendant du sens de parcours : dans le sens Banlieue vers Centre-ville et Centre ville vers Banlieue comme déjà dit plus haut.

Sur la feuille de calcul, il faut saisir les paramètres d'exploitation suivant :

- les heures de départ des bus du dépôt (Ouakam et Thiaroye)
- intervalle de temps entre 2 départs successifs d'autobus durant les différentes périodes de la journée
- l'heure du premier départ de bus au terminus considéré $t_1^{(k)}$

NB : les symboles utilisés seront explicités plus loin dans ce chapitre

Ces paramètres ont été isolés car ce sont tout d'abord des éléments de configuration de l'offre de la ligne considérée et qui appartiennent au champ décisionnel de l'exploitant de la ligne.

Les variables suivantes sont par contre demandées dans le programme :

- le temps de rotation de la ligne
- le rapport de la ligne dans les 2 sens de parcours

- le nombre de véhicules dans chaque sens durant les différentes périodes de la journée (Pointes du matin, de midi, du soir, heures creuses)

Soulignons que tous ces paramètres ont déjà été calculés dans le chapitre précédent à partir de l'étude prévisionnelle de la demande.

5.1.3 Méthodologie de calcul

Soit la ligne L qui relie les terminus I et J

Soit V_i , $i = 1$ à n les bus localisés à la tête de ligne I

Soit V_j , $j = 1$ à m les bus localisés à la tête de ligne J

Soit $\Delta T^{(k)}$: l'intervalle de temps entre 2 départs successifs sur la ligne à la période k considérée

$k = 1, \dots, 6$

avec

1 : pointe matin (entre 7h - 8h)

2 : heures creuses (entre 9h – 13h)

3 : pointe midi (entre 13h – 14h30)

4 : heures creuses (entre 14h30 – 16h)

5 : pointe soir (entre 16h – 19h)

6 : heures creuses (entre 19h – 21h)

Soit $t_i^{(k)}$, $i = 1$ à n l'heure de départ du bus localisé à la tête de ligne I durant la période k

Soit $t_j^{(k)}$, $j = 1$ à m l'heure de départ du bus localisé à la tête de ligne J durant la période k

On a en connaissant $t_1^{(k)}$ pour les 2 terminus I et J:

Les heures de départ des bus affectés à chaque terminus sont les suivantes :

$$V_{2I}: t_2^{(k)} = t_1^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

$$V_{2J}: t_2^{(k)} = t_1^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

$$V_{3I}: t_3^{(k)} = t_2^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

$$V_{3J}: t_3^{(k)} = t_2^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

.

.

.

.

.

.

$$V_{iI}: t_i^{(k)} = t_{i-1}^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

$$V_{jJ}: t_j^{(k)} = t_{j-1}^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

.

.

.

.

.

.

$$V_{nI}: t_n^{(k)} = t_{n-1}^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

$$V_{mJ}: t_m^{(k)} = t_{m-1}^{(k)} + \Delta T^{(k)}$$

(k)

Si $t_1^{(1)}$: 1^{er} départ de bus à la pointe du matin, ne pose pas de problème (puisque donné par l'utilisateur), il n'en est pas de même des autres premiers départs de bus aux autres périodes : $t_1^{(k)}$ avec $k = 2, \dots, 6$.

La contrainte supplémentaire de régularité de service vient s'ajouter. Ainsi, à une période donnée k , il faudrait que le premier bus qui arrive au terminus J en provenance de I ne reprenne le départ qu'après que tous les véhicules localisés en J soient partis.

De ce fait, les heures de départ d'un terminus du premier bus deviennent :

$$J : \quad t_{IJ}^{(k)} = \sup (t_{IJ}^{(k-1)} + \theta_{ij}^{(k-1)} + \Delta T_J^{(k)}, t_{mJ}^{(k-1)})$$

Avec

$t_{IJ}^{(k)}$: premier départ de bus en provenance de J à la période considérée (k)

$t_{II}^{(k-1)}$: premier départ de bus en provenance de I à la période considérée (k-1)

$\theta_{ij}^{(k-1)}$: temps de parcours sur la ligne à la période (k-1)

$\Delta T_J^{(k)}$: intervalle de temps entre 2 départs successifs de bus localisés en J à la période (k)

$t_{mJ}^{(k-1)}$: dernier départ de bus en provenance de J à la période (k-1)

et pour le terminus I :

$$I : \quad t_{II}^{(k)} = \sup (t_{IJ}^{(k-1)} + \theta_{ij}^{(k-1)} + \Delta T_I^{(k)}, t_{mI}^{(k-1)})$$

Ainsi, le programme « structurantes » fournit pour chaque ligne et chaque sens les heures de départ des dépôts, les heures de départ des têtes de ligne, les heures d'arrivée aux terminus, les temps de battement, les heures de retour aux dépôts,

...

NB : la prévision de la demande permet de choisir le nombre de véhicules N à affecter à chaque terminus. Ces derniers sont numérotés de 1 à N et tous les résultats d'exploitation sont présentés relativement à chaque autobus.

5.2 POSITION THEORIQUE DES VEHICULES

Sur une tête de ligne, il est important de suivre le parcours des autobus afin de connaître leur position à tout instant.

Avec les vitesses commerciales des lignes structurantes, on est aussi en mesure de connaître les positions théoriques de chaque véhicule à une période donnée. Le kilométrage effectué par chaque bus à un instant donné a été évalué en tenant compte des kilométrages omnibus et express.

5.2.1 DESCRIPTION DU RESEAU

Dans le réseau des lignes structurantes, les lignes radiales N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 circulent de façon omnibus sur une partie des trajets et en express sur l'autoroute.

Les lignes de rocade N° 9 et 10 complètent le maillage du réseau.

Les lignes A et B, purement urbaines, proposent en cœur de ville une alternative à l'utilisation des voitures particulières.

Lignes radiales

Les bus des lignes n° 1, 2, 3 circulent de façon omnibus durant tout leur parcours à l'exception de l'autoroute où ils roulent en express. Les vitesses commerciales au niveau de ces tronçons étant différentes, il faut décomposer l'itinéraire des autobus en parcours omnibus et express afin de tenir compte des vitesses commerciales omnibus et express.

A un instant donné, la distance théorique parcourue par un bus est donnée par :

$$X = V_1 * t_1 + V_2 * t_2$$

où :

V_1 : Vitesse commerciale urbaine

t_1 : temps de parcours urbain

V_2 : Vitesse commerciale express

t_2 : temps de parcours express

Autres lignes

L'itinéraire des autres lignes ne passe pas par l'autoroute alors la vitesse commerciale de ligne correspond à la vitesse commerciale urbaine.

Il s'agit des lignes n° 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, et B.

A un instant donné, la distance théorique parcourue par un bus est donnée par :

$$X = V * t$$

où :

V : Vitesse commerciale de la ligne

t : temps de parcours

5.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE

Les deux éléments fondamentaux de la programmation de l'offre sont : le nombre d'autobus et la fréquence de départs de ces véhicules durant les différentes périodes de la journée. Dans l'exploitation, chacun de ces paramètres est directement déduit de la connaissance de l'autre.

- 1^{ère} cas

Si à une période donnée, le nombre de véhicules est N^P alors la fréquence I^P , c'est à dire l'intervalle de temps entre deux départs successifs, est :

$$I^P = T^P / N^P$$

où T^P est la durée de la période P considérée

- 2^{ème} cas

Par contre, si l'intervalle de la période I^P est le paramètre connu alors le nombre de véhicules N^P est :

$$N^P = T^P / I^P$$

où T^P est la durée de la période P considérée.

Ces deux cas seront considérés pour étudier deux méthodes différentes de programmation de l'offre.

Pour la programmation des horaires, nous allons étudier trois scénarios d'exploitation. Nous allons d'abord élaborer les horaires pour la programmation issue de notre analyse de la demande, ensuite l'offre tirée d'hypothèses sur les intervalles des périodes et enfin l'offre déterminée par l'étude du SYSTRA.

5.3.1 Programmation de l'offre issue de la prévision de la demande

L'exécution du programme « Structurantes » a fourni les résultats suivants concernant l'offre d'autobus et les fréquences observées.

Tableau 5.1 : Tableau de programmation pour le cas1

Lignes	Offre autobus						Intervalle			
	Sens de parcours	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses	Total	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses
1	Sens 1									
	Sens 2									
2	Sens 1									
	Sens 2									
3	Sens 1									
	Sens 2									
4	Sens 1									
	Sens 2									
5	Sens 1									
	Sens 2									
6	Sens 1									
	Sens 2									
7	Sens 1									
	Sens 2									
8	Sens 1									
	Sens 2									
9	Sens 1									
	Sens 2									
10	Sens 1									
	Sens 2									
A	Sens 1									
	Sens 2									
B	Sens 1									
	Sens 2									

5.3.2 Hypothèses sur les intervalles

Comme dit plus haut, les intervalles sont fixés pour chacune des lignes durant chaque période de la journée.

Tableau 5.2 : Tableau de programmation pour le cas2

		Intervalle				Offre d'autobus				
Lignes	Sens de parcours	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses	Total
1	Sens 1									
	Sens 2									
2	Sens 1									
	Sens 2									
3	Sens 1									
	Sens 2									
4	Sens 1									
	Sens 2									
5	Sens 1									
	Sens 2									
6	Sens 1									
	Sens 2									
7	Sens 1									
	Sens 2									
8	Sens 1									
	Sens 2									
9	Sens 1									
	Sens 2									
10	Sens 1									
	Sens 2									
A	Sens 1									
	Sens 2									
B	Sens 1									
	Sens 2									

5.3.3 Valeurs d'exploitation fournies par le SYSTRA

Elles sont tirées de l'étude : « Etude sur la restructuration des transports en commun, l'identification du réseau à concéder et la capacité à payer » du SYSTRA.

Ces valeurs ont été utilisées pour les comparer avec les deux niveaux d'exploitation trouvés déjà trouvés.

Tableau 5.3 : Tableau de programmation pour le cas3

Lignes	Offre autobus						Intervalle			
	Sens de parcours	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses	Total	Pointe matin	Pointe midi	Pointe soir	Heures creuses
1	Sens 1									
	Sens 2									
2	Sens 1									
	Sens 2									
3	Sens 1									
	Sens 2									
4	Sens 1									
	Sens 2									
5	Sens 1									
	Sens 2									
6	Sens 1									
	Sens 2									
7	Sens 1									
	Sens 2									
8	Sens 1									
	Sens 2									
9	Sens 1									
	Sens 2									
10	Sens 1									
	Sens 2									
A	Sens 1									
	Sens 2									
B	Sens 1									
	Sens 2									

5.4 SERVICES AGENTS

A partir du tableau de marche, on essaie de découper toutes les courses en tronçons.

Un tronçon représente le temps élémentaire du tableau de marche qui comprendra la présence du personnel roulant à bord du bus pendant une période de temps continu.

L'assemblage des différents tronçons aboutit à la construction des services agents.

Nous avons considéré que chaque autobus était affecté à une équipe de personnel roulant à la prise de service du matin au dépôt.

Cette affectation « bijective » fait que les tronçons correspondent aux services agents. Le type de service adopté pour l'exploitation des lignes structurantes est le service en amplitude.

Services dits en amplitude : type de service constitué d'au moins deux tronçons, mais consistant de plus à sortir un véhicule du dépôt le matin et à rentrer un véhicule le soir au dépôt.

Ainsi donc, l'assemblage des temps de parcours d'un autobus durant les différentes périodes de la journée détermine le temps de service total du personnel roulant qui lui est affecté. Selon la législation, il ne faudrait pas que le temps de travail excède 44 heures par semaine.

Par contre, la durée totale du séjour d'un autobus aux terminus de la ligne donne une indication des périodes de pause du personnel roulant. Même s'il faut tenir compte aussi des temps de charge et de décharge des usagers.

Cependant, tous les véhicules ne sont pas utilisés pour le service d'exploitation. Il existe pour chaque ligne des bus spécialement réservés au renforcement du réseau en cas de besoin : super pointes ou perturbations dans le réseau (pannes, accidents...).

Dans le programme « structurantes », il est possible, à partir du tableau de marche des véhicules, de connaître pour chaque ligne les tronçons effectués par le personnel roulant ainsi que les périodes de battement.

Le temps de service total de chaque agent est ainsi évalué journalièrement par l'exploitant dans le but de procéder à la programmation des services du lendemain. La contrainte, on le rappelle, est de conformer le temps de service hebdomadaire des agents à la norme fixée par la législation ; soit 44 heures par semaine.

Une autre option du programme est de fournir des informations sur la consommation de carburant au niveau des lignes.

Pour les autobus utilisés dans le réseau des lignes structurantes, les consommations moyennes de carburant sont les suivantes selon le type de véhicule :

- bus standard : 60 litres par 100 Km
- bus articulé : 42.5 litres par 100 Km
- bus articulé Renault : 56 litres par 100 Km

Dans l'estimation de la consommation de carburant, on va considérer que cette dernière ne dépend que du kilométrage effectué par les véhicules.

En réalité, le calcul est beaucoup plus complexe car dépendant de nombreux facteurs : vétusté, entretien, conditions de circulation, etc.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous pensons que le programme de planification de l'exploitation qui a été élaboré devrait permettre d'améliorer sensiblement les techniques d'exploitation du réseau des lignes structurantes.

En effet, les simulations qui ont été effectuées sur le programme «structurantes» montrent qu'il répond positivement aux contraintes d'exploitation du parc d'autobus d'une entreprise de transport. D'abord, l'outil d'optimisation qui a été mis au point devrait permettre l'optimisation de la productivité interne des ressources de l'entreprise. Ensuite, la planification de l'exploitation des différentes lignes devrait assurer un suivi journalier des différentes lignes en vue de solutionner les contraintes de gestion suivantes : satisfaction de la demande, adaptation de l'offre durant les périodes de la journée, régularité des passages, continuité de service, équilibre économique du réseau, etc.

Le réseau des lignes structurantes devrait jouer un rôle très important dans l'amélioration des conditions de mobilité dans l'agglomération de Dakar.

Toutefois, il faut souligner que la performance des paramètres d'exploitation que nous avons établis pourrait être perfectionnée par l'utilisation de méthodes plus élaborées.

Notons qu'une meilleure estimation de la demande serait obtenue en utilisant un modèle de prévision de la demande comme le modèle séquentiel : ce qui aurait permis de mieux cerner les mécanismes de génération, de distribution, d'affectation et de répartition de la demande.

D'ailleurs le CETUD est en instance de préparation d'une enquête ménage dans le but de mieux appréhender les caractéristiques de la mobilité urbaine.

D'autre part, les programmes d'élaboration des horaires et de positionnement des autobus durant les parcours pourraient être raffermis par la prise en compte de perturbations sur le réseau : super pointes, pannes, congestion, accidents, etc. De même, la possibilité de doter le programme « structurantes » d'un module spécial de gestion des effectifs nous paraît intéressante dans la mesure où il permettrait d'établir les tableaux de roulement en tenant compte des contraintes administratives (temps de travail, repos hebdomadaire et annuel, productivité...).

Dans un cadre beaucoup plus global, nous préconisons que l'ensemble des coûts de production soit pris en compte afin d'évaluer avec précision le coût au kilomètre offert par le réseau des lignes structurantes : déterminant fondamental de la productivité interne de l'entreprise.

Le réseau des lignes structurantes devrait aider considérablement à l'amélioration des conditions de mobilité à l'intérieur de l'agglomération de Dakar il faudrait alors que la Puissance Publique favorise les conditions de développement de l'exploitation par la prise de mesures adéquates. Il ne faudrait surtout pas que l'entreprise se retrouve dans le même environnement qui avait conduit à la faillite de la SOTRAC.

Tout au long de cette étude, nous avons été confronté à beaucoup de difficultés liées à la nouveauté du domaine pour nous, à l'inexistence de base de données réelles sur le sujet, à la taille et à la complexité du domaine d'étude qu'est Dakar. Pour chaque obstacle rencontré, nous avons essayé de trouver des solutions qui sans être parfaites nous semblent du moins satisfaisantes.

A ce titre, le présent travail devrait être perçu comme une modeste contribution à un domaine où l'expertise est indispensable pour la mise au point d'outils d'exploitation.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : HYPOTHESES GENERALES	3
CHAPITRE 2 : RECHERCHE OPERATIONNELLE	5
2.1 PROBLÈMES D'EXPLOITATION	6
2.2 ENONCE DES ALGORITHMES	7
2.1.1 Algorithme de Ford	7
2.1.2 Algorithme de Bellman	8
2.1.3 Méthode matricielle	9
CHAPITRE 3 : DESCRIPTION DU RESEAU	10
3.1.1 La Voirie	10
3.1.3 Situation de la SOTRAC	11
3.2 OBJECTIFS DU RESEAU DES LIGNES STRUCTURANTES	12
CHAPITRE 4 : PREVISION DE LA DEMANDE	14
4.1- TRAITEMENT DE L'ENQUETE O/D	15
4.2 CYCLES DE MUTATION	28
4.3 TAUX D'OCCUPATION	29
4.4 REPORT MODAL	32
4.5 RAPPORT D'OFFRE	33
4.6 ESTIMATION DE LA DEMANDE AUX AUTRES PÉRIODES	35
4.6.1 Pointe du matin	37
4.6.2 Pointe du soir	38
4.6.3 - Pointe de midi	40
4.6.4 Heures creuses	42
CHAPITRE 5 : EXPLOITATION DU RESEAU	49
5.1 PLANIFICATION DE L'EXPLOITATION	49
5.1.1 Elaboration des horaires	50
5.1.2 Tableau de marche des véhicules	51
5.1.3 Méthodologie de calcul	53
5.2 POSITION THEORIQUE DES VEHICULES	56
5.2.1 Description du réseau	56
5.3 ANALYSE DE LA PERFORMANCE	58
5.3.1 Programmation de l'offre issue de la prévision de la demande	58
5.3.2 Hypothèses sur les intervalles	59
5.3.3 Valeurs d'exploitation fournies par le SYSTRA	60
5.4 SERVICES AGENTS	62
CONCLUSION	65
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 4.1</u> : Matrice O/D tous modes de secteur à secteur.....	18
<u>Tableau 4.2</u> : Pourcentage de déplacements des secteur-origines vers les secteur-destinations.....	21
<u>Tableau 4.3</u> : Mode de transport utilisé à partir du secteur d'origine entre 7h et 8h.....	23
<u>Tableau 4.4</u> : Matrice O/D tous modes des lignes structurantes à l'heure de pointe du matin.....	25
<u>Tableau 4.5</u> : Secteurs desservis par les lignes.....	26
<u>Tableau 4.6</u> : Liaisons desservies par plusieurs lignes	27
<u>Tableau 4.7</u> : Occupation standard des véhicules aux différentes périodes de la journée	30
<u>Tableau 4.8</u> : Estimation du taux d'occupation suivant les modes.....	31
<u>Tableau 4.9</u> : Total de déplacements après le report modal.....	32
<u>Tableau 4.10</u> : Taux d'occupation aux différentes périodes de la journée.....	33
<u>Tableau 4.11</u> : Sens des lignes structurantes.....	35
<u>Tableau 4.12</u> : Répartition modale des déplacements en fonction du motif	36
<u>Tableau 4.13</u> : Répartition modale des déplacements en fonction du motif (en tenant compte du report modal).....	37
<u>Tableau 4.14</u> : Matrice O/D des lignes structurantes à l'heure de pointe du soir.....	39

<u>Tableau 4.15</u> : Matrice O/D de secteur à secteur à la pointe de midi.....	41
<u>Tableau 4.16</u> : Répartition modale des 4.3 millions de déplacements	43
<u>Tableau 4.17</u> : Matrice O/D de secteur à secteur par les lignes structurantes.....	44
<u>Tableau 4.18</u> : Matrice O/D de secteur à secteur aux heures creuses	46
<u>Tableau 4.19</u> : Matrice O/D de secteur à secteur à une période d'heures creuses	48
<u>Tableau 5.1</u> : Tableau de programmation pour le cas 1	59
<u>Tableau 5.2</u> : Tableau de programmation pour le cas 2.....	60
<u>Tableau 5.3</u> : Tableau de programmation pour le cas 3.....	63

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ✓ - Etude sur la restructuration globale des transports en commun,
l'identification du réseau à concéder et la capacité à payer SYSTRA
(Novembre 1998)
- ✓ - Manuel d'urbanisme pour les pays en développement : Transports urbains
(Volume 4) Centre d'Etudes des Transports Urbains (CETUR) France -
1982
- ✓ - Exercices et problèmes résolus de recherche opérationnelle
Tome 1 - Graphes : leurs usages, leurs algorithmes Roseaux 1983.
- ✓ - Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle Kaufmann-
Labordère (Tome3)
- ✓ - Notes de cours de Transport 511 –Année académique 1998-1999 –
Professeur Ibou DIOUF
- ✓ - Guide de l'utilisateur de Microsoft Visual Basic pour Excel – Microsoft
Office - 1993