

7/89

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

2 ex

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

### PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

#### S U J E T

ELABORATION D'UN MODELE  
D'AFFECTATION OPTIMALE DES  
AUTOBUS SUR UN RESEAU URBAIN :  
Application au Réseau de l'ETUSA

Proposé par :

ETUSA

Etudié par :

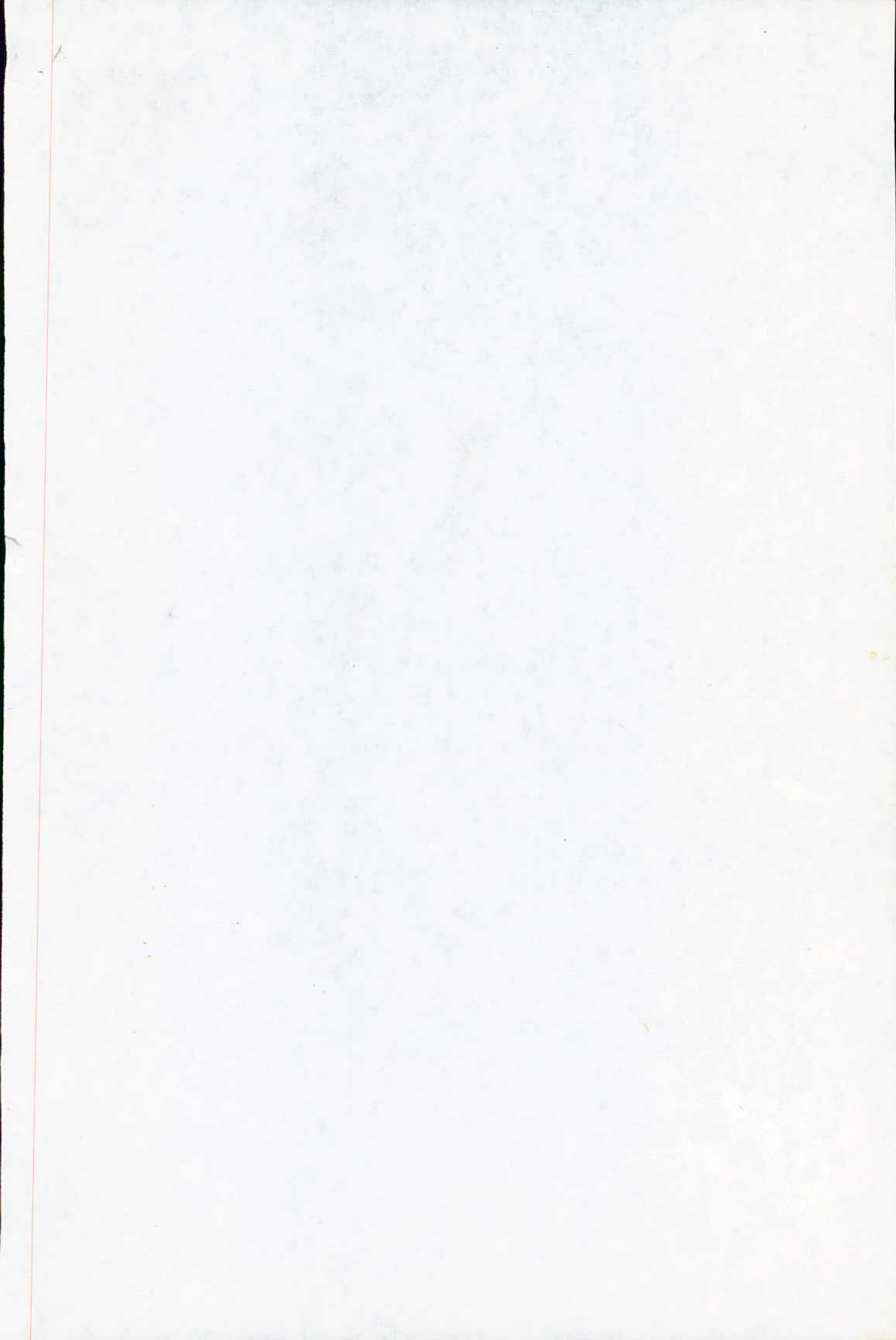
S. MECIF

H. MOKHTARI

Dirigé par :

Melle N. ABOUN

PROMOTION : JUIN 1989



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سَبَّحَانَكَ

لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْنَا

إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

PROMOTEUR : Melle N.ABOUN

Elèves ingénieurs: Melles MECIF Salima  
MOKHTARI Hadjira

دائرة الهندسة  
الموجهة: ن. عبون  
الطالبان: س. مسيف  
ه. مختاريا

الموضوع : اعداد نموذج لتوجيه أسطول حافلات على شبكة  
نقل عمومي

الملخص: تهدف هذه الدراسة إلى اعداد نموذج يمكننا من التوجيه  
الأمثل للأسطول من الحافلات على شبكة نقل، وهذا  
لتغطية الطلب وتحسين مستوى الخدمات.

تم تطبيق النموذج على مؤسسة النقل المدني والجهري  
للحاصلة.

SUJET : Elaboration d'un modèle d'affectation optimale  
des autobus sur un réseau urbain

RESUME : L'objet de l'étude est l'élaboration d'un modèle  
d'affectation d'une flotte d'autobus sur un réseau  
urbain, et ce dans le but de satisfaire la demande  
en transport.

Le modèle est appliqué au réseau de l'E.T.U.S.A

SUBJECT : A development of an optimisation model for  
the assignment of buses

SUMMARY :

The aim of the present work is to develop an optimisation  
model to increase the utilisation of company own fleet.

This model is tested on real data provied by a bus company  
planted in Algiers.

DEDICACES

A mes parents  
A mes frères et soeurs  
A mes amis

S. MECIF

A mes parents  
A mon frère et soeurs  
A Amine  
A tous mes amis

H. MOKHTARI

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos sincères remerciements à Melle ABOUN pour avoir accepté de diriger ce travail.

Nous remercions particulièrement le Dr KERBACHE pour sa gentillesse.

Nous remercions aussi Mr BOUHALFAIA, directeur de l'unité(1), pour l'aide qu'il nous a apporté.

Qu'il nous soit permis d'évoquer les intéressantes discussions que nous avons eu avec Mr SAAD-EDDINE et ses collègues de l'E M A.

Que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre reconnaissance et nos plus vifs remerciements.

Nous remercions Mr SARI, ingénieur au centre de calcul, pour sa présence auprès de nous.

Nous ne saurons oublier tous ceux qui par leur amicale collaboration ont aidé à la progression de notre travail.

## SOMMAIRE

	page
INTRODUCTION	6
CHAPITRE 1 : DEFINITION DU PROBLEME	7
I-1 Généralités sur les transports urbains	8
I-2 Les problèmes de transport	8
I-3 Le transport urbain en Algérie	9
I-4 Présentation générale de l'ETUSA	11
I-5 Diagnostic de l'ETUSA	13
I-6 Définition du problème	14
CHAPITRE II : FORMULATION DU PROBLEME	16
II-1 Description du modèle	17
II-1-1 Définitions	17
II-1-2 Hypothèses simplificatrices	18
II-1-3 Notations	19
II-2 Formulation du modèle	21
II-2-1 Formulation de la fonction objectif	21
II-2-2 Formulation des contraintes	24
1- Contrainte de la demande	24
2- Contraintes des ressources	25
- a - Ressources matérielles	25
- b - Ressources humaines	25
- c - Contrainte budgétaire	26
3- Contrainte de régularité des horaires	28
4- Contrainte de desserte	29
5- Contrainte d'intégralité et de non-négativité	29
II-3 Introduction d'une contrainte additionnelle	31

CHAPITRE III : RESOLUTION DU PROBLEME	32
III-1 La programmation linéaire en nombre entiers	33
III-2 Application et résultats	34
III-2-1 Collecte et traitement de données	34
III-2-2 Le logiciel MILP88	35
III-2-3 Résultats et interprétations	36
III-3 Suggestions	40
 CONCLUSION	 41
 BIBLIOGRAPHIE	 42
 ANNEXES	
ANNEXE 1	43
- Identification des unités de l'ETUSA	
- Organigramme de l'unité	
- Carte du réseau de l'unité	
ANNEXE 2	47
- Indications générales sur l'unité 01	
- Données	
ANNEXE 3	55
- Complément sur la PLNE	
ANNEXE 4	63
- Résultats	



## INTRODUCTION

On peut apprécier la vigueur d'une civilisation à la qualité et à la nature des transports qu'elle crée. Les transports urbains affectent de façon directe l'efficacité économique des villes et le bien être de la population urbaine.

Les services d'autobus tendent à répondre à la demande de transport à divers niveaux de qualité et de quantité.

Dans beaucoup de pays en voie de développement, l'autobus est la solution retenue par la plupart des villes. Ils constituent le seul mode de transport qui soit accessible à tous. [5], [13]

La population algérienne a pratiquement doublé durant les deux dernières décennies, cette explosion démographique a entraîné une croissance rapide des besoins de transport.

Plusieurs entreprises de transport collectif ont été créées dans les plus grandes villes algériennes, telles que Alger, Oran, Annaba, Constantine,...

A Alger c'est l'entreprise des transports urbains et suburbains d'Alger (ETUSA) qui fournit ce genre de service. Elle se trouve confrontée à de nombreux problèmes vu l'insuffisance de ses moyens, elle ne satisfait que les 40 % de la demande réelle. C'est pourquoi une utilisation optimale s'impose.

Actuellement l'affectation des autobus sur les lignes du réseau est établie sur la base d'une estimation de la demande transport faite sur le terrain, tenant compte de la prédominance de certaines lignes.

L'objet de notre étude est d'élaborer un modèle mathématique permettant une affectation optimale des autobus.

Sur le plan organisation l'ETUSA est constituée de sept (07) unités ayant chacune son propre parc et ces propres lignes. Par manque d'information concernant le réseau de l'ETUSA, nous nous sommes limités à une seule unité pour l'application de notre modèle.

Nous avons été orienté vers l'unité (01) qui présente une certaine autonomie du point de vue maintenance et exploitation.

CHAPITRE I

DEFINITION DU PROBLEME

## I-1 Généralités sur le transport urbain

Les déplacements sont la traduction en mouvement géographique du programme d'activités de chaque individu.

Ils dépendent selon une modalité complexe du jeu de trois facteurs:

- La caractéristique socio-économique des habitants de la ville qui crée les motifs de déplacement,
- L'utilisation des routes qui fixe la direction et la distance de déplacement,
- La nature et les caractéristiques des réseaux de transport disponibles qui déterminent le moyen utilisé et la durée du déplacement.

Les déplacements ne sont pas établis d'une manière homogène sur la journée. En effet des phénomènes de pointe se produisent en début et en fin de journée. La durée de ces pointes varie selon la taille de la ville d'une demi-heure à quatre heures.[8]

## I-2-Les problèmes de transport

Les problèmes de transport sont très divers et se posent de façon générale, dans beaucoup d'entreprises. Ils ont fait l'objet de plusieurs études.

Nous présentons dans ce chapitre quelques problèmes que l'on peut rencontrer dans les transports urbains.

### 1-Définition et choix des itinéraires:

Il s'agit d'abord de définir pour l'individu, le trajet qu'il doit prendre pour aller de chez lui à son lieu de travail:

-Définir avec précision les points de montée (ou de départ) et de descente (ou d'arrivée).

-Choisir ensuite un itinéraire lorsqu'il en existe plusieurs qui soient possibles.

Ces itinéraires ne sont pas tous équivalents en temps et en distance, donc en coût. Le choix se portera sur l'itinéraire au moindre coût.

On tiendra aussi compte d'autres facteurs: la marche à pied, le temps de parcours en véhicule, l'attente en station, la régularité,... [4]

## 2- Préviation et affectation de la demande de transport:

Dans la perspective de la mise en service d'une nouvelle ligne les services d'autobus affectent la demande de transport en commun sur le réseau, après l'avoir estimée.

La préviation de la demande a toujours été le point le plus délicat des études de transport en commun.

Les modèles de préviation utilisés jusqu'à ce jour faisaient appel à un choix modal de déplacement. D'autres études réalisées à court-terme utilisaient des méthodes basées sur l'élasticité de la clientèle à différents facteurs (temps d'attente, régularité, confort,...). [4]

## 3- Le problème des lignes parallèles:

Il existe des cas où des lignes d'autobus desservant des zones identiques sont complémentaires et pas concurrentes.

Le cas le plus fréquent est celui où un ensemble de lignes ont un tronçon commun. Sur ces tronçons les usagers verront défiler les autobus avec une fréquence qui est la somme des fréquences sur ces lignes .

Pour tenir compte de ce phénomène, on crée des lignes fictives sur les tronçons parallèles. Ces lignes seront dotées de fréquences égales à la somme des fréquences des lignes qui les composent, et aucun bus ne leur est affecté.[4]

### I-3-Le transport urbain en algérie

Avant les années quatre vingts( 80 ), seules les grandes villes du pays, Alger, Oran, Annaba et Constantine disposaient d'entreprises et de systèmes d'organisation de transport urbain et suburbain.

Actuellement ces entreprises disposent d'un parc évalué à près de cinq mille ( 5000 ) véhicules, chiffres encore loin de répondre aux besoins puisque la disponibilité est de 0.41 véhicule pour mille habitants.Ce ratio est largement inférieur à celui constaté dans la plupart des pays à niveau de développement équivalent ou même inférieur. [ 9 ]

Les efforts d'équipements des entreprises de transport urbain sont récents.Ils ont été réalisés soit dans un cadre planifié, soit par le biais de financement par les collectivités locales, soit par le biais de la récupération des moyens détenus par les entreprises de production et de services dans le cadre des opérations de banalisation.

Ces opérations ont été mises en oeuvre dans le but de réaliser une utilisation meilleure des moyens existant et dans le but de faire correspondre les capacités offertes à la demande .

La demande et l'offre de transport constituent les principales caractéristiques d'un réseau de transport urbain, Elles peuvent être définies comme suit :

-La demande de transport

Elle est déterminée par la taille et l'importance des agglomérations suivant le type et la nature des activités exercées par la population urbaine.

La concentration de l'effort de développement autour et au sein des grandes agglomérations a stimulé une forte poussée démographique et a par conséquent engendré des besoins importants et diversifiés en déplacement.[8]

-L'offre de transport

Le réseau des agglomérations est constitué d'une infrastructure ancienne. Quelques mesures d'aménagement et de renforcement ont été opérées permettant la réalisation de nouvelles capacités physiques destinées à détourner le trafic transit en dehors des hypercentres.

-Le réseau est de faible accessibilité : la configuration ne répond pas aux besoins de la circulation, vue l'intensité croissante du trafic automobile.

-L'offre demeure limitée en matière de stationnement, vue la concentration d'activités commerciales dans les hypercentres.

L'activité de transport urbain a vécu une longue période de désinvestissement vu les problèmes auxquels est confronté le pays néanmoins elle mérite qu'on lui accorde une plus grande attention, pour les raisons suivantes:

-La forte proportion de la croissance économique imputable au développement urbain;

-L'importante contribution que les transports urbains apportent au développement urbain et à la productivité en assurant efficacement la circulation des personnes et des biens ;

-Les taux élevés de croissance urbaine à venir qui se traduisent par un accroissement rapide et notable de la demande de transport. [8]

#### I-4 Présentation générale de l'ETUSA

La régie syndicale des transports algérois RSTA résulte de la fusion de deux entreprises, les CFRA (chemins de fer sur route d'Alger) et les TA (transport algérois) en 1959.

Comme toute entreprise publique algérienne, elle subit une restructuration pour devenir l'actuelle ETUSA (entreprise des transports urbains et suburbains d'Alger) depuis 1983.

Le statut de l'ETUSA repose sur le principe du contrôle par une tutelle publique de la gestion de l'entreprise exercée par le ministère des transports.

Les objectifs assignés à l'ETUSA en tant qu'entreprise publique et principal transporteur collectif populaire de voyageurs urbains sont:

- Répondre à l'ensemble de la demande de transport collectif de l'agglomération.

- Offrir en plus de la qualité de service, un moyen de transport public, des facteurs de sécurité et de fiabilité en élevant son niveau dans le domaine de l'entretien.

#### 1- Structure organique de l'ETUSA [12]

Organisée autour de la direction générale, l'unité siège comporte six (06) directions centrales composées elles mêmes de départements, de services et de sections.

L'entreprise est découpée en sept (07) unités opérationnelles. (cf annexe 1/a).

L'unité a pour mission d'assurer:

- L'exploitation d'une partie du réseau de surface géographiquement défini.
- Le transport des usagers dans des conditions de sécurité, de régularité et de confort aussi satisfaisantes que possible.
- La gestion et la maintenance des moyens humains et matériels qui lui sont affectés.

L'unité comprend un service administration et comptabilité, un service maintenance et un service exploitation. (cf annexe 1/b)

L'unité exécute en collaboration avec les structures concernées le plan de transport et l'adapte compte tenu des exigences de l'intégration du réseau général.

## 2- Structure spatiale du réseau[8]

L'ETUSA assure l'essentiel de l'offre des transports en commun dans l'agglomération algéroise. Le réseau se compose de 392 lignes réparties comme suit:

- 111 lignes régulières assurant le transport des usagers
- 16 lignes assurant le transport des étudiants
- 265 lignes pour le transport des entreprises

Ces lignes s'articulent autour de sept (07) terminus principaux correspondant chacun à un secteur.

## 3- Moyens de l'entreprise

### a-Moyens humains :

Au mois de Mars 1989, l'effectif de l'ETUSA s'élevait à 4169 agents dont: sept(07) cadres supérieurs, 113 cadres, 257 agents de maîtrise et 3790 agents d'exécution.

### b- Moyens matériels:

Pour remplir sa mission l'entreprise utilise un système multimodal basé sur:

- Des autobus de grande capacité pour répondre au volume du réseau viaire (étroitesse des rues, pentes exagérées)
- Des téléphériques pour des sites difficilement accessibles par autobus.
- Des ascenseurs et des escalators en des points bien particuliers .

Au mois de mars 1989 la capacité du parc global s'élevait à 811 autobus .(cf annexe 1/a)

Pour ce qui est des transports fixes l'entreprise dispose de :

- quatre(04) téléphériques
- Deux(02) ascenseurs (port Saïd, Diar-Saada)
- un(01) escalator (avenue Mohamed V)

## 4-Infrastructure d'entretien et de maintenance

La maintenance est une activité importante de l'entreprise. Les principaux objectifs de la maintenance (entretien préventif, curatif et rénovation) sont la revalorisation du potentiel roulant, l'amélioration constante du facteur sécurité et confort et enfin la diminution du taux d'immobilisation des véhicules.

Pour l'entretien et la rénovation, l'entreprise dispose de trois établissements de maintenance, de trois annexes et d'un établissement central de rénovation destiné à la révision générale.

Au niveau de l'ETUSA un programme d'entretien et de rénovation est établi. Pour l'entretien chaque établissement dresse tous les mois la liste des autobus qui doivent être visités. Toutes les réparations effectuées sont mentionnées sur le dossier technique, ce qui permet de suivre le véhicule depuis sa mise en service jusqu'à sa réforme.

Pour la rénovation chaque année la direction technique établit la liste des véhicules dont l'état nécessite une révision générale. Le programme est élaboré selon les données des établissements de maintenance à partir du dossier technique de l'autobus.

Dès que l'autobus atteint 300000 KM il passe automatiquement en rénovation.

#### 5-Vitesse commerciale

Depuis 1976 la vitesse commerciale ne cesse de se dégrader, elle était en moyenne 14 Km/h. Actuellement elle varie entre 7km/h et 10Km/h. Cette dégradation est liée à l'absence de couloir de circulation et de réglementation favorisant les transports en commun.

#### I-5- Diagnostic de l'ETUSA

Nous présentons dans cette partie la situation actuelle de l'ETUSA et quelques problèmes auxquels elle est confrontée.

L'insuffisance de l'offre de transport, la congestion de la circulation, l'étroitesse de la voirie, les contraintes financières des opérateurs et l'absence de statut juridique, pour ne citer que ces facteurs, pénalisent lourdement le transport dans les centres urbains.

-La demande de transport est fonction essentiellement de la population et du taux de mobilité.

-L'offre de transport a une capacité très en deçà de la demande exprimée surtout aux heures de pointes. Les fréquences de passages des autobus sont faibles et les réseaux exploités sont loin de desservir de manière satisfaisante les agglomérations.

- Situation financière des opérateurs urbains : Elle se caractérise chaque année par un manque à gagner qui résulte de :

- l'absence de soutien du prix de transport,
- l'augmentation des prix de pièce de rechanges, droits et taxes douaniers.

- Situation institutionnelle : L'ensemble des opérateurs de transports urbains évoluent sans statut juridique.

Plusieurs contraintes pèsent sur le transport urbain, elles revêtent des aspects multiples de nature différentes.



Il s'agit de facteurs extérieurs, agissant directement sur le fonctionnement de l'ETUSA nous citons les plus importants;

\* Les grands centres urbains de notre pays sont caractérisés par un site et un relief accidentés générateurs de contraintes et de difficultés pour les transports urbains.

\* La concentration au niveau des centres urbains des activités emplois, unités économiques, écoles,..., alors que les infrastructures ont connu une stagnation produisant ainsi la saturation de l'espace urbain.

\* Contraintes de circulation liées à l'incapacité du réseau routier urbain à écouler le flux de plus en plus dense de voitures.

\* Manque d'un plan de circulation qui permettrait une utilisation optimale du réseau existant, basé sur le traitement des données immédiates du terrain.

-Le parc mis à la disposition des usagers est très insuffisant. Celui-ci se compose de plusieurs types de véhicules engendrant ainsi des difficultés d'approvisionnement et de stockage de pièces de rechanges. Cette situation a pour résultat un taux d'immobilisation très important./1/

#### I-6 Définition du problème

Malgré le rôle important que joue l'ETUSA dans l'agglomération algéroise, ses services d'autobus ne parviennent toujours pas à satisfaire la demande croissante de transport.

Ceci est dû essentiellement à un manque de moyens, vu que l'offre de transport actuelle est loin de satisfaire à la demande.

Vu l'absence de nouveaux investissements pour l'amélioration de son parc, l'ETUSA, doit disposer d'un programme lui permettant d'organiser son réseau et de répartir au mieux ses autobus.

En effet actuellement l'affectation des autobus se fait au jour le jour, elle est basée uniquement sur une estimation faite sur le terrain.

Le nombre d'autobus fonctionnels sur chaque ligne doit être déterminé sur la base d'une étude pouvant englober différents aspects du problème:

- L'insuffisance de l'offre de transport,
- La demande en transport importante,
- Le problème de la circulation,
- La fiabilité des horaires de départ,
- Les temps d'attente aux différents arrêts...

---

/1/ Informations récoltées au niveau de l'ETUSA.

L'objet de l'étude est de présenter une méthodologie d'approche aboutissant à l'élaboration d'un modèle d'affectation optimale des autobus sur le réseau de l'ETUSA, ayant pour objectif de satisfaire l'ensemble des usagers et d'améliorer la qualité du service.

Par ce modèle, nous déterminerons le nombre et le type d'autobus qu'il faut affecter sur chaque ligne afin de maximiser la fréquence de passage des autobus aux différents arrêts.

## CHAPITRE II

### FORMULATION DU PROBLEME

## II-1 Description du modèle

Le modèle que nous élaborons, donne une affectation optimale journalière des autobus sur les lignes du réseau.

Il s'agira donc de trouver les valeurs des variables  $X_{lk}$  ;  
représentant le nombre d'autobus du type  $k$  affectés sur la ligne  $l$ .

Le modèle sera formulé en un problème linéaire. Comme objectif nous retenons la maximisation des fréquences de passages des autobus sur les lignes.

Dans un premier temps nous considérons le modèle avec les principales contraintes ; il s'agira donc des contraintes de la demande, des ressources (matérielles, humaines, budgétaire), de la régularité des horaires et de desserte.

Par la suite nous tiendrons compte du fait que les différentes lignes ne sont pas accessibles à tous les types d'autobus, vu qu'elles ne présentent pas les mêmes caractéristiques (pentes, largeur de la route, ...). Nous introduirons donc une contrainte additionnelle au problème; la contrainte d'accessibilité.

Pour plus de précisions, nous donnerons dans un premier temps un certain nombre de définitions.

### II-1-1- Définitions

1/ Ligne régulière : Une ligne est un ensemble de stations se trouvant l'une à la suite de l'autre toutes desservies par un même autobus.

Une ligne est définie par sa station origine, par sa station destination et par les stations intermédiaires qu'elle traverse. Les lignes du réseau sont repérées par un numéro propre.

2/ Ligne directe : Certaines lignes du réseau sont directes c'est à dire que l'autobus au cours d'une rotation ne prendra en charge les usagers qu'au niveau des terminus.

L'intérêt des services directs est indéniable :

-Pour les voyageurs (attendant au terminus) : diminution de la durée des trajets, moins d'attente par suite de la rotation accélérée.

-Pour l'exploitant: transport d'un nombre plus grand de voyageurs sans matériel ou personnel supplémentaire, économie de combustible et usure moindre du matériel par suppression de nombreux démarrages et arrêts.[10]

3/ Arrêt : Une ligne passe par un certain nombre de stations qui sont les arrêts de la ligne.

Le nombre d'arrêts dans le sens aller d'une ligne n'est pas forcément égal au nombre de arrêt dans le sens rétrograde.

4/ Rotation : L'autobus effectue une rotation lorsqu'il parcourt une ligne dans le sens aller et dans le sens rétrograde.

5/ Temps de parcours : Le temps de parcours désigne le temps que met un autobus lorsqu'il fait une rotation complète.

Le temps de parcours comprend:

-Les temps de marche qui sont influencés par la distance entre les arrêts, par la fluidité de la circulation et le lieu (banlieue, quartier périphérique, centre ...).

-Les temps d'arrêts (aux points d'arrêts).

-Les temps de stationnement: qui ont pour objet de résorber les petits et moyens retards de parcours, de permettre aux agents d'accomplir les formalités courantes: dépôt des objets trouvés, achat de tickets, etc... D'une façon générale la durée de stationnement permet de parer aux aléas de la circulation et d'assurer une meilleure régularité.[10]

6/ Amplitude de service: désigne le volume horaire durant lequel fonctionne un autobus en une journée.

L'amplitude de service n'est pas la même sur toutes les lignes. Elle est fixée par l'exploitant du réseau.

## II-1-2- Hypothèses simplificatrices

Pour l'élaboration du modèle nous retiendrons les hypothèses suivantes:

- 1 / : Les autobus de différents types ont la même vitesse commerciale lorsqu'ils parcourent la même ligne.
- 2 / : Les autobus sont fonctionnels durant toute l'amplitude de service.
- 3 / : Tout autobus partant d'un point  $i$  revient en  $i$  après une rotation complète (pas de panne sur la ligne).
- 4 / : La demande est supposée constante durant les jours ouvrables.
- 5 / : Les différents types d'autobus peuvent accéder à toutes les lignes.

### II-1-3 Notations

#### a - Les indices:

$k$ : représente le type d'autobus

$r$ : est le nombre de types d'autobus

$$k=1, \dots, r$$

$l$ : représente la ligne

$n$ : le nombre de lignes du réseau

$$l=1, \dots, n$$

$m$ : le nombre de lignes régulières

#### b - La variable de décision:

$X_{lk}$  : représente le nombre d'autobus du type  $k$  affectés sur la ligne  $l$

#### c - Les coefficients:

$a_k$  : le coût au kilomètre d'un autobus de type  $k$

$b_l$  : la longueur d'une rotation sur la ligne  $l$

$B$  : représente le budget

$CF_k$  : le coût fixe associé a un autobus de type  $k$

$C_k$  : le nombre d'autobus de type  $k$  fonctionnels

$D_l$  : la demande journalière sur la ligne  $l$

$f_l$  : la fréquence de passage des autobus sur la ligne  $l$

$FI_l$  : la fréquence de passage minimale sur la ligne  $l$

$FS_l$  : la fréquence de passage maximale sur la ligne  $l$

$N_1$  : le nombre de rotations effectuées par un autobus sur la ligne 1

NC : le nombre de conducteurs de l'unité

NR : le nombre de receveurs de l'unité

$P_1$  : le poids affecté à la ligne 1

$PO_k$  : la capacité physique d'un autobus de type k

$t_1$  : la durée moyenne d'une rotation

T : l'amplitude de service sur la ligne 1

## II-2 Formulation du modèle

### II-2-1 Formulation de la fonction objectif

Dans le cadre de ses directives, l'exploitant d'un réseau d'autobus a pour mission d'effectuer le service le plus efficace au moindre coût.

Nous disons " efficacité " plutôt que " rentabilité " du service. L'exploitant sans perdre de vue les recettes, doit se préoccuper en premier lieu de la qualité du service rendu aux usagers.

Un service théorique se juge au fait que les moyens mis à la disposition de l'exploitant sont répartis de manière à réaliser l'adaptation la plus homogène de l'offre de transport à la demande sur le réseau.

Il convient en particulier d'assurer un cadencement du passage des autobus sur chaque ligne, la régularité étant comme le suggère le bon sens et comme l'ont confirmé de nombreuses études, la qualité qui permet de minimiser les temps d'attente des voyageurs aux arrêts tout en limitant les surcharges. [10],[11]

Dés lors, le seul moyen d'aboutir à minimiser ces temps d'attente est le passage d'un nombre maximal d'autobus régulièrement dans la journée sur chacune des lignes du réseau.

L'objectif du modèle que nous développons sera donc la maximisation des fréquences de passages des autobus sur chaque ligne.

Une première analyse des lignes du point de vue importance, nous a permis de constater que certaines lignes sont plus fréquentées que d'autres. Ces lignes représentent des centres attractifs permanents tels que les usines, les magasins, les bureaux de travail, écoles...oubien des zones de grandes densité de population. Ces éléments font que la demande sur ces lignes est plus importante, d'où la nécessité d'une fréquence de passage plus grande.

La prise en considération de cette situation dans la formulation de la fonction objectif du modèle est nécessaire.

Elle peut s'exprimer par l'affectation d'un poids à chaque ligne du réseau qui reflèterait l'importance de la demande.



Le poids d'une ligne représente la part de la demande sur cette ligne par rapport à la demande totale sur le réseau.

Il sera exprimé par:

$$p_l = \frac{D_l}{\text{Demande totale}}$$

L'introduction de ces coefficients dans la formulation de la fonction objectif donne donc un avantage certain aux lignes sur lesquelles la demande est importante.

La formulation de l'objectif s'exprime par:

$$\text{Max } Z = \sum_{l=1}^n p_l \cdot f_l$$

Où la fréquence  $f_l$  représente le nombre de passages des autobus sur la ligne  $l$  par unité de temps. Elle s'exprime par:

$$f_l = \frac{\text{le nombre total de passages des autobus sur la ligne } l}{\text{l'amplitude de service sur la ligne } l}$$

Le nombre total de passages des autobus sur la ligne  $l$  est égal au nombre d'autobus circulant sur la ligne  $l$  par le nombre de rotations effectuées:

$$N_l = \sum_{k=1}^r X_{lk}$$

De plus en suposant qu'un autobus est fonctionnel durant toute l'amplitude de service :

$$N_1 = [T/t]_1$$

où  $[T/t]_1$  est la partie entière du rapport  $T/t_1$

On peut alors écrire :

$$f_1 = \frac{N_1 \cdot \sum_{k=1}^r X_{lk}}{T_1}$$

En remplaçant  $N_1$  par son expression il vient:

$$f_1 = \frac{[T/t]_1 \cdot \sum_{k=1}^r X_{lk}}{T_1}$$

La formulation de la fonction objectif se présente comme suit:

$$\text{MAX } Z = \sum_{l=1}^n p_l \frac{[T/t]_l \cdot \sum_{k=1}^r X_{lk}}{T_l}$$

ou encore :

$$\text{MAX } Z = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r \frac{p_l}{T_l} [T/t]_l \cdot X_{lk}$$

$$\text{On pose: } K = \frac{P}{1} \cdot \frac{1}{t} [T / t]$$

Soit:

$$\text{Max } Z = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r K_{lk} \cdot X_{lk}$$

## II-2-2 Formulation des contraintes

### 1-Contrainte de la demande

Pour pouvoir répartir l'offre de transport de manière homogène, proposer et justifier son évolution, la connaissance de la demande est une condition nécessaire.

En effet l'exploitant du réseau d'autobus s'il veut présenter un bon service, doit penser à satisfaire au maximum la demande en moyen de transport. Il doit pour cela assurer un nombre de places suffisant.

De ce fait, sur chaque ligne du réseau le nombre de places offertes en une journée doit être supérieur ou égal à la demande exprimée.

$P_0$  : est le nombre de places offertes par un autobus du type  $k$  dans un aller (ou un retour).

Le nombre de places offertes en une rotation est:

$$2 P_0$$

$k$

La contrainte s'exprime comme suit:

$$\sum_{k=1}^r \left[ \frac{T}{t} \right]_{l1} P_{0k} \cdot X_{lk} \geq D_{l1} \quad \text{---} \quad (1) \quad l=1, n$$

## 2-Contraintes des ressources

### a-Ressources matérielles

L'unité dispose d'un parc d'autobus de trois (3) types qui diffèrent par leur nombre de places.

Les autobus destinés au transport usagers ne sont pas tous fonctionnels. Certains sont en panne, d'autres en révision et d'autres constituent un stock de sécurité pour remplacer les autobus qui pourraient éventuellement tomber en panne parmi ceux qui sont fonctionnels.

Ainsi le nombre d'autobus de chaque type affectés sur chaque ligne ne peut dépasser les ressources disponibles.

La contrainte s'exprime alors comme suit:

$$\sum_{l=1}^n X_{lk} \leq C_k \quad \text{---} \quad (2) \quad k=1, r$$

### b - Ressources humaines

Pour que les autobus puissent circuler, l'unité doit disposer d'un personnel suffisant en conducteurs et receveurs.

Le réseau comporte deux types de lignes:

- Les lignes directes
- Les lignes régulières

Chaque autobus circulant sur une ligne directe nécessite uniquement un conducteur, alors qu'un autobus circulant sur une ligne régulière nécessite un conducteur et un receveur.

Vu l'état de pénurie de l'offre de transport au niveau de l'ETUSA, l'autobus doit fonctionner durant toute l'amplitude de service qui est en moyenne de 14 Heures .

Le personnel opère donc par brigade. Deux(02) brigades par jour sont associées à chaque autobus.

La contrainte se formule alors comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq NC \\ \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq NR \end{array} \right. \quad (3)$$

### c - Contrainte budgétaire

L'exploitant du réseau d'autobus a pour mission d'effectuer le service le plus efficace au moindre coût.

Par ailleurs, l'unité est limitée par un budget de fonctionnement.

Dans la constitution des coûts interviennent essentiellement les coûts d'exploitation et les coûts d'entretien.

Ces coûts englobent:

- Le volume du parc;
- Le kilométrage effectué;
- L'effectif:conducteurs et receveurs;
- La maintenance;
- Les amortissements.

L'exploitation d'un autobus effectuant un grand nombre de rotations dans la journée est coûteuse et peut conduire à un dépassement du budget; c'est pourquoi il est nécessaire d'en tenir compte.

Le coût total d'un autobus est la somme des coûts variables et des coûts fixes.

Soit:

-  $CV_k$  le coût variable d'un autobus de type  $k$  dans la journée :

$CV_k$  est égal au produit du coût au kilomètre et de la distance totale parcourue dans la journée par un autobus de type  $k$ .

$$CV_k = N_{lk} \cdot b_{lk} \cdot a_{lk}$$

- et  $CF_k$  le coût fixe associé à un autobus de type  $k$

D'où le coût total des autobus sur le réseau :

$$\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r (N_{lk} \cdot b_{lk} \cdot a_{lk} + CF_k) X_{lk}$$

On pose:

$$d_{lk} = N_{lk} \cdot b_{lk} \cdot a_{lk} + CF_k$$

La contrainte devient alors:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r d_{lk} \cdot X_{lk} \leq B \quad (4)$$

### 3 -Contrainte de régularité des horaires:

L'efficacité du service se juge également à la fiabilité de l'horaire, c'est à dire au taux de réalisation du service programmé .

Ce taux dépendra en particulier d'une appréciation correcte des conditions de circulation des autobus et a leur prise en compte dans l'estimation des temps de parcours.

Pour que l'exploitant puisse offrir un service aussi régulier que possible, il fixe un intervalle encadrant les fréquences de passage des autobus sur chaque ligne du réseau.

De cette manière il évitera à l'usager d'attendre un autobus trop longtemps ou d'avoir deux départs successifs dans un intervalle de temps très réduit.

Les bornes de cet intervalle dépendent de l'importance des déplacements sur les différentes lignes du réseau.

La formulation de la contrainte est la suivante:

$$FI_{l1} \leq f_{l1} \leq FS_{l1} \quad l=1,n$$

$$FI_{l1} \leq \frac{[T/t]_{l1} \sum_{k=1}^r X_{lk}}{T_{l1}} \leq FS_{l1} \quad l=1,n$$

D'où

$$\frac{FI_{l1} \cdot T_{l1}}{[T/t]_{l1}} \leq \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq \frac{FS_{l1} \cdot T_{l1}}{[T/t]_{l1}} \quad l=1,n$$

$$\text{On pose } I_l = \frac{FI_{l1} \cdot T_{l1}}{[T/t]_{l1}} \quad \text{et} \quad S_l = \frac{FS_{l1} \cdot T_{l1}}{[T/t]_{l1}}$$

La contrainte devient :

$$I \leq \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq S \quad l=1, n \quad (5)$$

#### 4 - Contrainte de desserte

L'exploitant du réseau doit desservir toutes les lignes. Il doit donc affecter au moins un autobus sur chaque ligne.

Ceci est exprimé par la contrainte :

$$\sum_{k=1}^r X_{lk} \geq 1 \quad l = 1, n \quad (6)$$

#### 5 - Contrainte de non-négativité et d'intégralité

Les variables de décision représentent le nombre d'autobus de chaque type affecté sur chaque ligne. Ce sont donc des quantités physiques, leur valeurs doivent être entières et positives.

$$X_{lk} \geq 0 \quad l=1, n \quad (7)$$

$$X_{lk} \text{ entiers} \quad k=1, r$$



Formulation:

$$\text{Max } Z = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r K_{lk} \cdot X_{lk}$$

Sous contraintes :

$$(1) \quad \sum_{k=1}^r 2 \left[ \frac{T}{t} \right]_{l1} P_{0k} \cdot X_{lk} \geq D_l \quad \text{---} \\ l=1, n$$

$$(2) \quad \sum_{l=1}^n X_{lk} \leq C_k \quad \text{---} \\ k=1, r$$

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq NC \\ \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq NR \end{array} \right.$$

$$(4) \quad \sum_{l=1}^n \sum_{r=1}^r d_{lk} \cdot X_{lk} \leq B$$

$$(5) \quad I_1 \leq \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq S_1 \quad \text{---} \\ l=1, n$$

$$(6) \quad \sum_{k=1}^r X_{lk} \geq 1$$

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{lk} \geq 0 \\ X_{lk} \text{ entiers} \end{array} \right. \quad \text{---} \\ l=1, n$$

$$\text{---} \\ k=1, r$$

- Remarque: Des contraintes (5) et (6), on peut écrire:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^r X_{lk} \leq S_l \quad l=1, n \\ \sum_{k=1}^r X_{lk} \geq \max(I_l, 1) \quad l=1, n \end{array} \right.$$

Remarques :

- Le nombre de variables est égal à  $n \cdot r$

- Le nombre de contraintes

contrainte (1) :  $n$   
 (2) :  $r$   
 (3) :  $2$   
 (4) :  $1$   
 (5) et (6):  $2n$   
 (7) :  $2nr$

Soit :  $n + r + 2 + 1 + 2n + 2nr = 3n + r + 3 + 2nr$

### II-3 Introduction d'une contrainte additionnelle

Dans cette partie nous sortons du cadre de l'hypothèse 5/. Les différentes lignes ne sont pas accessibles à tous les types d'autobus, vu leurs caractéristiques (étroitesse des routes, fortes pentes, trafic de la route,...). Certains autobus grimpeurs sont destinés à circuler sur les lignes de fortes pentes, alors que d'autres ne peuvent circuler que sur les lignes horizontales et larges.

Il est nécessaire de prendre en considération ce facteur et introduire une contrainte d'accessibilité.

Soit  $q$ ; le nombre de lignes non accessibles à tous les types d'autobus.

Soit  $p$ ; le nombre d'autobus ne pouvant accéder à toutes les lignes.

Si la ligne  $i$ ,  $i=1, q$  n'est pas accessible à l'autobus de type  $j$ ,  $j=1, p$ , alors le nombre d'autobus de type  $j$  affectés sur la ligne  $i$  est nul. La contrainte s'exprime comme suit;

$$X_{ij} = 0 \quad \begin{array}{l} i=1, q \\ j=1, p \end{array}$$

CHAPITRE III

RESOLUTION DU PROBLEME

### III-1 La programmation linéaire en nombres entiers

Les variables de décision du modèle représentent le nombre d'autobus de chaque type affectés sur chaque ligne; leurs valeurs sont donc des quantités entières; c'est pourquoi le modèle mathématique élaboré se présente comme un programme linéaire en nombres entiers (PLNE).

#### Définition de la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)

Dans les problèmes pratiques de recherche opérationnelle et d'économétrie les choix sont souvent discrets. Par conséquent, les problèmes linéaires où les solutions sont entières sont extrêmement importants. Ces problèmes sont rendus complexes par une contrainte qui astreint toutes les variables ou certaines d'entre elles de prendre des valeurs entières. [1],[2]

Un PLNE se présente comme suit :

$$\left[ \begin{array}{l}
 \text{MAX } Z = \sum_{j=1}^n C_j \cdot X_j \\
 \text{Sous contraintes} \\
 \sum_{j=1}^n a_{i,j} X_j \leq b_i \quad \text{pour } i=1, m \\
 X_j \geq 0 \quad \text{pour } j=1, n \\
 X_j \text{ entiers} \quad \text{pour } j=1, n
 \end{array} \right.$$

### III-2 APPLICATION ET RESULTATS

#### III-2-1 Collecte et traitement de données

Nous donnons dans cette partie quelques informations concernant les données qui ont été mises à notre disposition.

La plupart des informations ont été récoltées auprès de la direction de la planification de l'ETUSA.

Les données concernant la demande de déplacement sont relevées sur le document: "enquête origine/destination (rapport d'enquête)".

Pour chaque ligne du réseau considéré nous avons pu relever : le temps de parcours, la longueur en kilomètre(KM), l'amplitude de service et les fréquences moyennes.

Pour chaque type d'autobus nous avons relevé le nombre ainsi que les coûts totaux.

#### La demande par ligne:

L'enquête citée plus haut a été réalisée par l'entreprise du métro d'Alger durant la période allant du 23/04 au 06/05 /1986.

Les enquêteurs ont opéré par sondage en veillant dans un premier temps à obtenir un échantillon représentatif puis en étendant dans un deuxième temps les caractéristiques de l'échantillon à l'ensemble des usagers.

L'enquête a comporté deux volets: un comptage du nombre total de montants dans les autobus et des interviews d'une partie d'entre eux.

Le recueil de données est limité aux jours de la semaine pouvant être considérés comme "moyens". A ce titre, le Jeudi et le Vendredi sont rejetés, ainsi que le Lundi durant lequel une partie des élèves d'école n'a pas cours. L'enquête s'est donc déroulée les Samedi, Dimanche, Mardi et Mercredi de la période citée.

Les résultats obtenus sont entachés d'une incertitude inhérente au fait que l'enquête a été menée par sondage et que toutes les personnes se déplaçant sur le réseau de l'ETUSA n'ont pas été interrogées.

Les fréquences de passage limites:

Ces fréquences doivent être fixées par l'exploitant. Faute de données, nous avons dû les estimer pour l'application du modèle.

$FI_l$  et  $FS_l$  sont déterminées à partir des fréquences moyennes  $f_{m_l}$  communiquées par les employés de l'ETUSA.

Soit  $s_l$  l'écart-type de ces fréquences et  $f_{m_l}$  la fréquence moyenne sur la ligne  $l$ , nous obtenons:

$$\begin{cases} FI_l = f_{m_l} - s_l \\ FS_l = f_{m_l} + s_l \end{cases}$$

- Les coûts:

Une étude sur les coûts réalisée sur une période de six mois (de Juin à Novembre 1987), nous a permis de relever quelques informations nécessaires pour notre application. Cependant l'absence de comptabilité analytique au niveau de l'entreprise fait que toutes les charges sont réparties proportionnellement aux consommations par type de véhicule.

Le coût  $d_{lk}$  d'un autobus de type  $k$  sur la ligne  $l$  devient donc:

$$d_{lk} = y_k \cdot b_{l1} \cdot N_l$$

avec  $y_k$ : le coût au kilomètre d'un autobus de type  $k$ .  
(coûts variables + coûts fixes)

### III-2-2 Le logiciel MILP88

Nous avons retenu le logiciel MILP88 ("Mixed integer linear programming") disponible au centre de calcul du département pour la résolution du problème.

C'est un procédé qui permet de résoudre les programmes linéaires dans lesquels les variables ou une partie d'entre elles sont entières.

Tout problème contenant jusqu'à 225 contraintes, 64 variables entières et 1225 non entières peut être résolu d'une application avancée du "Branch and Bound".

Nous faisons remarquer que les exécutions sont effectuées sur le micro HP VECTRA RS/16. Le temps des différentes exécutions était considérable, variant entre quatre et dix huit heures.

### III-2-3 Résultats et interprétations

Nous présentons quelques résultats d'exécutions du modèle élaboré.

D'une exécution à une autre, différents chargements ont été opérés sur le budget et les ressources matérielles, dans le but de voir leur effet sur la solution.

#### Exécution 1:

Les données du problème réel sont utilisées pour cette première exécution. Toutes les contraintes sont prises en compte. Faute de données concernant le budget, nous l'avons considéré égal à B=150000 DA.

#### Solution:

Tableau n°1

#### Résumé des résultats

n° de ligne	Nbre de bus affectés/type		
	type1	type2	type3
04	2	0	0
07	0	1	6
09	0	1	0
10	1	1	0
14	1	0	1
16	1	0	0
27	2	1	5
25	0	0	1
30	0	0	1
48	7	0	0
65	7	0	0
89	1	0	0
90	0	0	1
88	0	0	1

-3

Fréquence moyenne: 85.34 10 bus/mn, soit 05 bus par heure.

Les différents types 1, 2 et 3 représentent respectivement les types : Van-Hool, 100V8 et Renault

## Interpretation

Pour cette première exécution nous constatons que :

-1- La fréquence moyenne réalisée est de cinq(05) autobus par heure soit un autobus toutes les 12 minutes.

-2- L'affectation obtenue assure un plus grand nombre de places par jour sur les lignes où la demande est importante.

-3- La valeur du budget était largement considéré du fait que seulement 39.33% ont été utilisés.

-4- Une grande différence est à noter entre l'affectation actuelle de l'ETUSA et l'affectation obtenue. Ceci est illustrer par les deux exemples suivants:

-La ligne 90 où la plus faible demande est enregistrée est affectée actuellement de cinq(05) autobus alors que le résultat obtenu lui affecte seulement un autobus.

-La ligne 07 actuellement affectée de deux autobus de type 1 est affectée de six(06) autobus de type 3 et d'un autobus de type 1 après résolution du problème considéré.

-5- On peut remarquer que les ressources matérielles ont été totalement utilisées. De plus le nombre de places offertes sur chaque ligne satisfait largement la demande, ce qui ne correspond pas à la réalité, ceci est dû au fait que les informations récoltées sont entachées d'une incertitudes inhérente.

En conclusion nous pouvons dire que la solution est entièrement déterminée par les contraintes des ressources matérielles.

## Exécution 2:

Nous envisageons pour cette seconde exécution l'élimination de la contrainte capacités matérielles du problème dans le but de déterminer la taille de la flotte qui vérifient les contraintes. La valeur du budget est toujours de :B=150000 DA/j



## Solution

Tableau n°2

## Résumé des résultats

n° de ligne	Nbre de bus affectés/type		
	type1	type2	type3
04	6	0	0
07	7	0	0
09	5	0	0
10	0	1	0
14	4	0	0
16	5	0	0
27	0	2	0
25	8	0	0
30	0	0	1
48	4	0	0
65	8	0	0
89	7	0	0
90	1	0	0
88	4	0	0

-3

Fréquence moyenne: 111.66 10 bus/mn , soit 06 bus par heure.

## Interprétation

Dans cette seconde exécution la solution donne une flotte de 63 autobus et une fréquence moyenne de six autobus par heure, soit un autobus toutes les dix(10) minutes.

Nous faisons remarquer que la solution est limitée par la contrainte des ressources humaines (le nombre de chauffeurs étant limité à 65 par brigade).

## Exécution 3:

Dans cette exécution, le modèle considéré est dépourvu des contraintes ressources matérielles et le budget est considéré comme étant une variable du problème.

Le but de cette exécution est de déterminer en cas d'investissement le budget, le nombre d'autobus ainsi que leur affectation.

La contrainte budgétaire devient alors:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r d_{lk} X_{lk} - B \leq 0$$

## Solution

Tableau n° 3  
Resumé des résultats

n° de ligne	Nbre de bus affectés/type		
	type1	type2	type3
04	6	0	0
07	7	0	0
09	0	5	0
10	0	0	3
14	5	0	0
16	3	0	1
27	4	0	0
25	1	3	0
30	4	0	0
48	8	0	0
65	7	0	0
89	1	0	0
90	1	0	0
88	4	0	0

Le budget obtenu est de: B=99999 DA

-3

Fréquence moyenne: 106.11 10 bus/mn, soit 06 bus par heure.

## Interpretation

Nous constatons qu'une fréquence de passage moyenne de cinq autobus par heure est réalisée (soit un autobus toutes les neuf minutes) pour une flotte de 63 autobus et un budget de 99999 DA.

La solution est déterminée par la contrainte des ressources humaines.

## Exécution 4:

Nous avons remarqué lors de la première exécution que le budget était largement estimé, étant donné que seuls les 39,33 % ont été utilisés, soit 59002 DA.

Quel serait le nombre d'autobus utilisés si le budget était inférieur à cette valeur?

Dans cette exécution nous considérons le problème avec toutes ses contraintes et un budget B=50000 DA

-Le problème n'a pas de solution réalisable.

## Interprétation :

Le budget disponible ne couvre pas les charges de l'unité.

### III-3 Suggestions

D'autres paramètres ou études peuvent être inclus pour améliorer soit la fonction exploitation du réseau, soit renforcer le modèle élaboré.

Il s'agit de faire une étude sur les variations de la demande et d'introduire par la suite dans le modèle une variable  $X$  triple indicée où  $t$  indiquera une tranche horaire de la journée.

Pour l'élaboration de notre modèle, nous avons considéré la demande journalière. Il serait préférable de faire une étude détaillée pour déterminer d'une façon beaucoup plus précise l'évolution de la demande.

En effet, il convient de déterminer aussi exactement que possible le nombre de voyageurs à transporter à chaque instant car la demande se caractérise par ses variations suivant le sens, la période, le type de journée, la saison, etc...

On procède en général par comptage, mais ce dernier doit revêtir un caractère répétitif de manière à constituer une information sur la demande de transport qui a un caractère systématique, représentatif et aussi fiable que possible, et réellement utilisable pour la confection des horaires.

A cet effet un modèle donnant une affectation optimale des autobus sur les lignes du réseau complet de l'ETUSA peut être élaboré. La variable de décision indiquera le nombre d'autobus de type  $k$  à affecter sur la ligne  $l$  durant la tranche horaire  $t$ .

En effet après avoir établi la courbe de la demande, nous pouvons voir son évolution le long de la journée et de ce fait diviser la journée en distinguant les heures creuses (demande faible) des heures de pointe du matin et du soir (forte demande). Il est à noter que même dans les cas où la demande est élevée on ne peut pas la considérer comme étant la même.

Tenant compte de tous ces éléments, la dimension du problème devient plus grande. Il serait alors préférable de développer une méthode heuristique pour sa résolution.

## CONCLUSION

Le transport reste toujours un indicateur du développement économique d'un pays. Son efficacité est évaluée par le niveau de service qu'il offre.

L'ETUSA gérant une flotte moyenne de 811 autobus se trouve confrontée au problème d'organisation et de la programmation de son service d'autobus.

L'objectif de l'étude a été de présenter une méthodologie d'approche permettant l'élaboration d'un modèle mathématique d'affectation optimale de la flotte de l'ETUSA.

Les applications présentées dans l'étude nous ont permis de vérifier la validité du modèle élaboré. Cependant les résultats obtenus indiquent qu'avec les moyens actuels dont dispose l'unité 01 de l'ETUSA, l'offre est supérieure à la demande de transport, ce qui est loin de la réalité. Si bien qu'une bonne estimation de la demande est nécessaire.

Néanmoins le temps d'attente obtenu a été amélioré de 48 % .

Dans le modèle élaboré nous avons considéré les autobus fonctionnels sur toute l'amplitude de service. Dans le but de lui apporter des améliorations une étude complémentaire portant sur la programmation des départs des autobus tenant compte de la variation de la demande, serait tout à fait justifiée.

## BIBLIOGRAPHIE

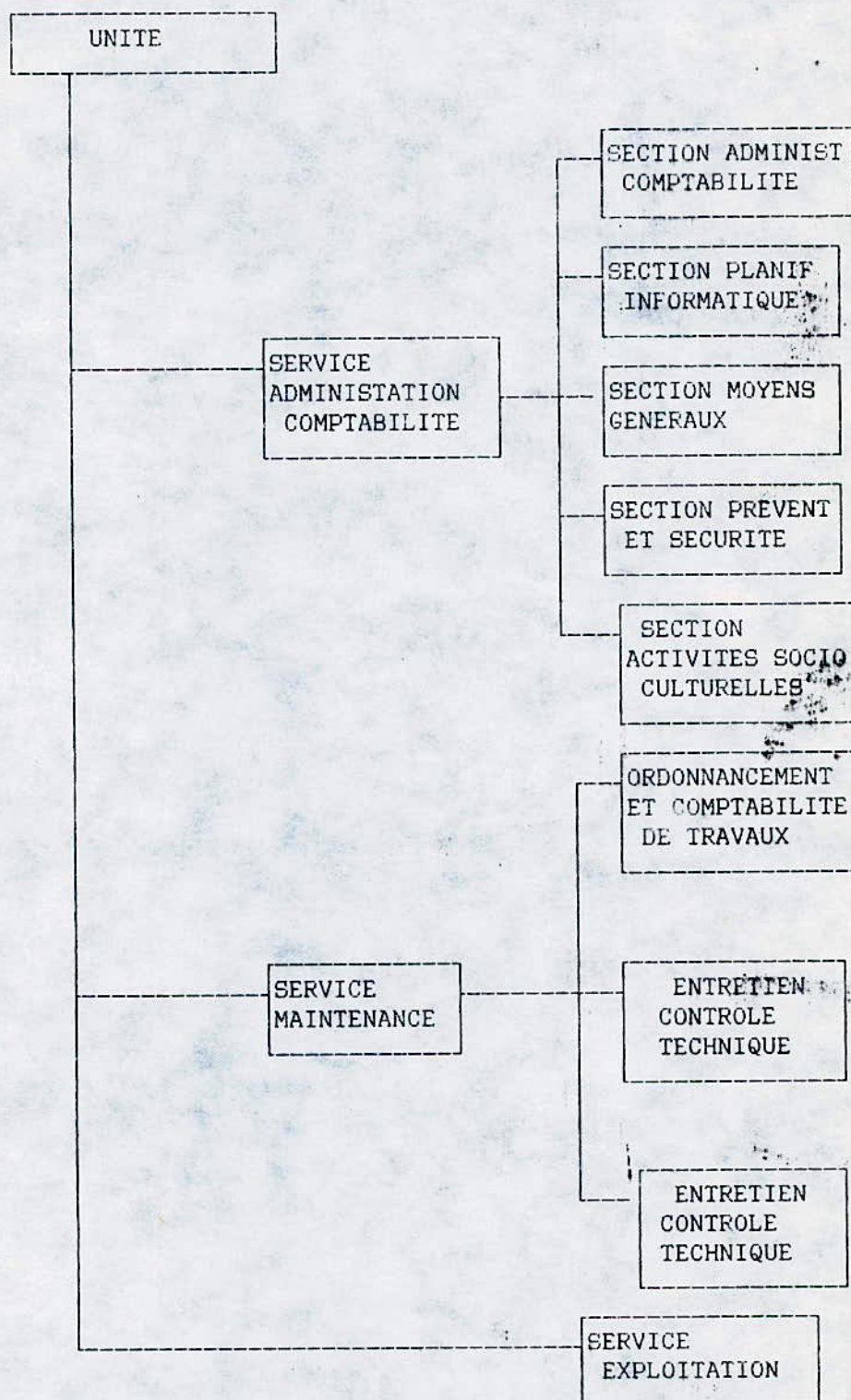
- [1] DANTZIG : application et prolongement de la programmation linéaire,  
ED DUNOD 1966
- [2] E.GOLDSTEIN ET D.YOUDINE: problèmes particuliers de la programmation linéaire,  
ED MIR 1973
- [3] A.KAUFMAN-A.HENRY-LABORDERE : Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle TOME 3  
ED DUNOD 1974
- [4] KHELFI ET UHRY :Modèle d'affectation et prevision de la demande,Equipe de recherche opérationnelle LIMAG, 1978
- [5] P.MERLIN: Planification du transport,  
ED MASSON 1984
- [6] M.MINOUX: Programmation mathématique TOME 2,  
ED DUNOD 1985
- [7] SAKAROVITCH: Optimisation combinatoire: programmation discrète,  
ED HERMAN 1984
- [8] Colloque international: gestion des grandes villes  
Thème: Transport urbain du 02 au 05 Avril 1988, ETUSA
- [9] Programme d'élaboration des plans de transports urbains  
MINISTERE DU TRANSPORT
- [10] Programme de mouvement des vehicules, mission à l'EMA de M.BASSET (exploitant des réseaux d'autobus urbains,SOFRETU)  
1986
- [11] Programmation du service,recherche d'une optimisation  
RATP/SOFRETU
- [12] Restructuration organique de la RSTA
- [13] Transports urbains (étude de politique générale)  
BANQUE MONDIALE ,édition FRANCAISE, 1986
- [14] Notes de cours: Dr SALHI  
Recherche opérationnelle  
1988/1989 E.N.P.A

ANNEXE 1

## 1/a IDENTIFICATION DES UNITES

- UNITE 01 : Etablissement Hassiba Ben Bouali  
Secteur 1  
Parc global: 113 autobus
- UNITE 02: Etablissement ZANI (carrefour Chateaufort  
EL BIAR)  
Secteurs 2 et 4  
parc global: 170 autobus
- UNITE 03: Etablissement SAAD (rue de Tripoli)  
Secteurs 5, 6 et 7  
parc global: 302 autobus
- UNITE 04: Etablissement Merah (RN 5 fougereux)  
Secteurs 3 et 4  
parc global : 108 autobus
- UNITE 05: Etablissement AIT SAADA  
secteurs 5, 6 et aéroport  
parc global: 117 autobus
- UNITE 06: transport par câbles
- UNITE 07: Unité de rénovation

## 1/b ORGANIGRAMME DE L'UNITE





Kass  
Hamidou

Bologhime

Place Regence

Ali Basta

Grande Poste

P des Martyrs

Place du 1<sup>er</sup> Mai

90

7

El Biar

La forge

Addis Abeba

9

Brossette

16

Hamma

48

El mahzoul

Maqueria

J. Essai

65

Madania

Annasser

Leveilly

25

Ben Akenoun

88

Hydra

14

Pulture

Bir Mourad Raïs

27

89

V Kouba

Kouba

Oued Ouchaiâh

Ben Omer



ANNEXE 2

Tableau n° 1

Indications sur les lignes de l'unité 01

n°de ligne	Origine	destination	longueur(KM)	Arrêt A/R
04	pl.1 Mai	Ben-Omar	7,6	14\ 14
07	Pl.1 Mai	Pl.Régence	3,200	direct
09	Brossette	Pl.Régence	7,920	14\ 18
10	Brossette	El.Maqaria	1,660	5\ 5
14	pl.1 Mai	Bir.M.Rais	6,700	10\ 11
16	pl.1 Mai	El.Madania	5,800	17\ 13
25	Brossete	Oued.Ouchaih	2,400	5\ 5
27	Pl.1 Mai	P.culture	8.600	20\ 17
30	H.Boualem	D.Essaada	3.200	9\ 9
48	Pl.1 Mai	B.Aknoun	7.100	16\12
65	Pl.1 Mai	El.Mahçoul	1.800	direct
89	Pl.1 Mai	Vieux.Kouba	8.560	15\ 12
90	Pl.1 Mai	Basta.Ali	4.660	9\ 9
88	Pl.1 Mai	Hydra	4.450	direct

source:ETUSA

Tableau n° 2

Indications sur les lignes de l'unité 01

n° de Ligne	Amplitude de service(mn)	Temps de parcours(mn)
04	930	76
07	872	40
09	955	76
10	1155	20
14	1108	60
16	1174	56
25	900	90
27	1158	40
30	870	50
48	930	62
65	867	40
89	916	76
90	960	56
88	916	50

Source :ETUSA

Tableau n° 3

Nombre d'autobus par type  
unité 1

Type	nombre
100V8	4
Renault	16
VAN-HOOL	22

Tableau n°4

Effectif du personnel  
fonctionnel

Nbr de conducteurs	130
Nbr de receveurs	90

Source ETUSA

Tableau n°5

## KILOMETRAGE PAR TYPE

DE VEHICULE RESEAU ETUSA  
(Sur une période de 06 mois)

Type/vehicule	Nbre/vehicule	Capacité/type	Kilomet
Van. Hool	104	60	3.539.952
100.V8	84	100	3.199.572
Renault	76	90	2.586.888

Tableau n° 6

TABLEAU DES COUTS (ENTRETIEN- EXPLOITATION) en DA  
POUR SERVICE USAGERS

Type/vehic	Nbre/vehic	co/entretien	co/exploitat	coût total
Van.Hool	104	17.095.735	22.052.358	39.148.093
100.V8	84	7.234.796	17.811.522	25.046.318
Renault	76	12.226.093	16.115.185	28.381.278

Tableau n°7

## COUT AU KILOMETRE PAR TYPE DE VEHICULE

Type /Vehic	Coût/Km (DA)
Van-Hool	11
100.V8	7.8
Renault	10.9

Source ETUSA

Tableau n°8

Fréquences moyennes de passage des autobus  
sur les lignes de l'unité 01

N° de ligne	F1 (nbre de bus/mn)	tps d'attente(mn)
04	0.050	20
07	0.060	16
09	0.025	40
10	0.100	10
14	0.050	20
16	0.033	30
27	0.066	15
25	0.055	20
30	0.055	20
48	0.100	10
65	0.140	07
89	0.033	30
90	0.050	20
88	0.033	30

Source ETUSA



Tableau n°9

Demande journaliere sur les lignes de l'unité 1  
jours ouvrables

N° DE LIGNE	DEMANDE
04	1808
07	2710
09	2475
10	640
14	1560
16	905
25	1450
27	1385
30	885
48	2045
65	2624
89	415
90	165
88	980

Source ETUSA

ANNEXE 3

## - Complément sur la PLNE

Un aperçu sur les méthodes de résolution et quelques exemples d'application sont présentés dans cette partie

Exemples d'application de la programmation  
linéaire en nombres entiers

## 1- Problème d'affectation [1]

Dans ce type de problème les variables entières sont bivalentes (c'est à dire qu'elles ne prennent que les valeurs 0 ou 1).

Soient  $n$  ouvriers  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  et  $n$  postes de travail  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ .

Le problème est d'affecter les  $n$  ouvriers aux  $n$  postes de travail de sorte que chaque ouvrier ait un poste et un seul et que le coût total des affectations réalisées soit minimal.

A toute affectation  $(X_i, Y_j)$  est associé un coût  $C_{ij}$ ;  
où  $C_{ij}$  ( $i=1, \dots, n$  et  $j=1, \dots, n$ ) est positifs.

Certaines valeurs de  $C_{ij}$  sont infinies, ceci s'explique par le fait que l'affectation correspondante est impossible.

Le problème se formule comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{MIN } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\ \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \text{pour } j=1, n \\ \\ \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \text{pour } i=1, n \\ \\ X_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \end{array} \right.$$

Une affectation se traduit par un tableau contenant un et un seul '1' dans chaque ligne et dans chaque colonne.

## 2-Problème du ramassage scolaire [1]

Dans un village A existe une école fréquentée par  $N$  élèves dont  $N_1$  ( $N_1 < N$ ) habitent à une certaine distance de l'école, d'où la nécessité d'organiser un ramassage de ces élèves en utilisant des cars.

Il y a deux points d'arrêts principaux : B et C se trouvant respectivement à une distance  $d_1$  et  $d_1+d_2$  de A.

On définit ainsi trois sections: AB, BC et AC correspondant respectivement aux sections 1, 2 et 3.

Le nombre d'élèves à transporter en A est le suivant:

- \*  $N_c$  à partir de C
- \*  $N_{cb}$  entre C et B
- \*  $N_b$  à partir de B
- \*  $N_{ba}$  entre B et A

$$\text{Tel que } N_c + N_{cb} + N_b + N_{ba} = N_1$$

L'entreprise qui assure le transport dispose de deux types d'autobus, l'un de  $P_1$  places et l'autre de  $P_2$  places.

Les prix proposés par l'entreprise sont  $C_{ij}$  pour un car de type  $j$  qu'il faut affecter sur la section  $i$ .

Le problème est de déterminer le nombre et les types de cars qu'il convient d'employer sur chacune des sections de telle sorte que les dépenses totales soit minimale.

Soit  $X_{ij}$  le nombre de cars du type  $j$  qu'il faut affecter sur la section  $i$ .

Le problème peut se formuler comme suit:

$$\begin{array}{l}
 \left[ \begin{array}{l}
 \min F = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 C_{ij}.X_{ij} \\
 \\
 \text{s/t} \\
 P_1(X_{21} + X_{31}) + P_2(X_{22} + X_{32}) \geq N_c + N_{cb} \quad (2) \\
 \\
 P_1(X_{11} + X_{21}) + P_2(X_{11} + X_{22}) \geq N_1 \quad (3) \\
 \\
 X_{ij} \geq 0 \quad \begin{array}{l} \text{---} \\ i=1,3 \\ \text{---} \end{array} \\
 X_{ij} \text{ entier} \quad \begin{array}{l} \text{---} \\ j=1,2 \\ \text{---} \end{array}
 \end{array}
 \right.
 \end{array}$$

Remarque:

- (2) représente la contrainte des possibilités que les cars doivent offrir lorsqu'ils effectuent le ramassage à partir de C amenant les élèves en B puis en A.

- (3) représente la contrainte des possibilités concernant les cars qui terminent en A.

## 3- Problème de planification de la production[14]

Une entreprise fabrique  $n$  produits différents. Elle veut connaître la quantité qu'il lui faut produire de chaque type tout en minimisant ses dépenses.

Soit  $X_j$  : le nombre d'unités fabriquées du produit  $j$

$k_j$  : le coût fixe associé à  $j$

$c_j$  : le coût unitaire de  $j$

Le coût total du produit  $j$  est défini par:

$$Q(X_j) = \begin{cases} k_j + c_j \cdot X_j & \text{si } x_j \geq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

L'objectif est de minimiser le coût total de production.  
La formulation est:

$$\begin{cases} \text{Min } \sum_{j=1}^n (k_j + c_j \cdot X_j) \\ \text{s/t } X_j \geq 0 & \text{---} \\ & j=1, n \\ X_j \text{ entier} \end{cases}$$

Pour mettre le problème sous la forme classique d'un PLNE on introduit une variable booléenne définie par:

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{si } X_j > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Ces conditions peuvent être exprimées par les contraintes suivantes:

$$\begin{cases} X_j \leq M Y_j & \text{---} \\ M > 0 \\ \text{choisir } M \text{ grand.} \end{cases} \quad j = 1, n$$

Le problème se formule alors comme suit :

$$\left[ \begin{array}{l}
 \text{Min } Z = \sum_{j=1}^n (c_j X_j + k_j Y_j) \\
 \text{s/t } X_j \leq M Y_j \\
 X_j \geq 0 \\
 X_j \text{ entier} \\
 Y_j = 0 \text{ ou } 1
 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l}
 \text{---} \\
 j=1, n
 \end{array}$$

### Méthodes de résolution des PLNE

Dans cette partie nous donnons quelques éléments concernant les méthodes les plus utilisées en (PLNE).

#### -a- Méthodes des solutions arrondies:

Cette méthode est la première qui vient à l'esprit lorsqu'on se trouve confronté à (PLNE).

Elle consiste dans un premier temps, en la résolution du problème relaxé (sans contrainte d'intégralité), puis de remplacer chaque composante fractionnaire de la solution optimale continue par l'entier le plus proche.

Dans la plupart des cas où les variables de décision prennent des valeurs très larges l'effet d'arrondissement est minimal. Alors que dans le cas où les variables sont binaires l'effet peut être considérable.

De manière générale, cette méthode est peu retenue vu que la solution arrondie n'est pas forcément réalisable ou optimale.[6]

#### -b- Méthode de recherche arborescente :

Cette méthode reste l'approche la plus efficace pour la résolution des (PLNE). Elle consiste en une énumération de toutes les solutions possibles du problème.

Le principe est le suivant:

Etape 1: Résolution du problème relaxé:

Soit E: ensemble des variables dont les valeurs sont non entières.

Soit  $x(r)$  appartenant à  $E$  et  $x^*(r)$  sa valeur fractionnaire, la valeur entière  $x(r)$  doit satisfaire l'une des deux conditions suivantes:

$$x(r) \leq [x^*(r)]$$

ou

$$x(r) \geq [x^*(r)] + 1$$

où  $[x^*(r)]$  est le plus grand entier inférieur à  $x^*(r)$

#### Etape 2: Branchement

Introduire une à une les deux conditions comme nouvelle contrainte dans le problème relaxé pour générer deux sous problèmes contenant toutes les solutions entières possibles.

#### Etape 3: Evaluation

Le sous problème est éliminée quand:

- Il n'a pas de solution;
- Dans un problème de maximisation ( respectivement minimisation ) la valeur optimale de l'objectif du problème est inférieure ( respectivement supérieure ) à celle d'une solution entière déjà trouvée;
- Une solution entière est trouvée.

Refaire l'etape 2 pour chaque branchement jusqu'à l'obtention d'une solution entière optimale.[7],[14]

## -c- Méthode des coupes de Gomory

Le principe de cette méthode consiste à introduire au problème de nouvelles contraintes linéaires permettant d'éliminer les solutions continues par la résolution du problème relaxé et de conserver toutes les solutions entières.

## Algorithme de la méthode

$$\text{Soit le PLNE: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } c \cdot x \\ \text{s/à } A \cdot x^* = b \\ x^* \geq 0 \\ x_i \text{ entier } \quad i=1, m \end{array} \right.$$

$$\text{où } x^* = \begin{bmatrix} x \\ w \end{bmatrix}$$

$$x = [x_i] \quad i=1, m$$

$$w = [w_j] \quad j=1, n$$

$$A = [a_{ij}]$$

Remarque : Les coefficients  $a_{ij}$  doivent être entiers.

## Etape 1:

On résoud le problème relaxé de la contrainte d'intégralité.

Soit  $X_i$  la variable de base de la solution optimale, et  $x_i$  sa valeur fractionnaire.

$\beta_i$  et  $\alpha_{ij}$  sont les coefficients du tableau optimal du simplexe du problème relaxé, leurs valeurs ne sont pas entières.

$$x_i = \beta_i - \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \cdot w_j \quad i=1, m \quad (1)$$

$$\text{On pose: } \beta_i = [\beta_i] + f_i \quad 0 \leq f_i \leq 1 \quad i=1, m$$

$$\alpha_{ij} = [\alpha_{ij}] + f_{ij} \quad 0 \leq f_{ij} \leq 1 \quad j=1, n \quad (2)$$

Tel que pour  $d$  appartenant à  $\mathbb{R}$ ;  $[d]$  est l'entier le plus grand qui soit inférieur à  $d$ .



On remplace  $\beta_i$  et  $\alpha_{ij}$  dans (1) par leurs expressions.

$$x_i = [\beta_i] + f_i - \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij}] \cdot w_j - \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j \quad i=1, m$$

$$x_i - [\beta_i] + \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij}] \cdot w_j = f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j \quad i=1, m$$

Comme  $x_i$  et  $[\beta_i] + \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij}] \cdot w_j$  sont entiers le second membre de l'égalité est entier.

Il faut donc que:

$$Y = (f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j) \quad i=1, m \quad \text{soit entier}$$

$$\begin{array}{l} \text{Puisque} \quad 0 \leq f_{ij} \leq 1 \\ \text{et} \quad w_{ij} \geq 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Puisque} \\ \text{et} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{alors} \quad \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j \geq 0 \\ f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j \leq f_i \leq 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{comme} \quad Y \leq 1 \\ \text{et} \quad Y \text{ entier} \end{array} \quad \text{alors} \quad Y \leq 0$$

$$\text{L'équation} \quad f_i - \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot w_j \leq 0 \quad i=1, m$$

est appelée coupe de Gomory.

#### Etape 2:

On introduit alors cette nouvelle contrainte dans le tableau optimal du problème relaxé, une solution non réalisable est ainsi générée.

On applique la méthode duale du simplexe, jusqu'à l'obtention d'une solution réalisable.

#### Etape 3:

Si cette solution n'est pas entière on génère alors une autre coupe associée à une autre variable non entière.

Poursuivre la procédure jusqu'à l'obtention d'une solution entière. [14]

ANNEXE 4

SAL1

SOLUTION IS MAXIMUM  
OBJECTIVE ROW RANGES

RETURN 85.34

DATE 06-14-1989

TIME 16:54:01

VARIABLE	STATUS	VALUE	RETURN/UNIT	MINIMUM	MAXIMUM
X.11	BASIS	2	1.18	NONE	1.64
X.12	NONBASIS	0	1.18	NONE	3.35
X.13	BASIS	0	1.18	NONE	1.64
X.21	BASIS	0	3.35	1.64	NONE
X.22	BASIS	1	3.35	3.2	NONE
X.23	BASIS	6	3.35	1.64	NONE
X.31	BASIS	0	1.62	-.09	NONE
X.32	BASIS	1	1.62	NONE	3.33
X.33	BASIS	0	1.62	-.09	NONE
X.41	BASIS	1	1.6	NONE	1.64
X.42	BASIS	1	1.6	NONE	3.35
X.43	BASIS	0	1.6	NONE	1.64
X.51	BASIS	1	1.3	NONE	1.64
X.52	NONBASIS	0	1.3	NONE	3.35
X.53	BASIS	1	1.3	NONE	1.64
X.61	BASIS	1	.8	-.91	.8
X.62	BASIS	0	.8	NONE	2.51
X.63	NONBASIS	0	.8	NONE	.8
X.71	BASIS	2	1.8	1.8	3.36
X.72	BASIS	1	1.8	NONE	3.51
X.73	BASIS	5	1.8	1.64	1.8
X.81	BASIS	0	.76	NONE	.76
X.82	NONBASIS	0	.76	NONE	2.47
X.83	BASIS	1	.76	.76	1.64
X.91	NONBASIS	0	.88	NONE	.88
X.92	NONBASIS	0	.88	NONE	2.59
X.93	BASIS	1	.88	.88	1.64
X.101	BASIS	7	1.64	NONE	1.64
X.102	BASIS	0	1.64	NONE	3.35
X.103	BASIS	0	1.64	1.64	1.8
X.111	BASIS	7	3.2	1.64	NONE
X.112	NONBASIS	0	3.2	NONE	3.35
X.113	BASIS	0	3.2	1.64	NONE
X.121	BASIS	1	.27	-1.44	.27
X.122	NONBASIS	0	.27	NONE	1.98
X.123	BASIS	0	.27	.27	NONE
X.131	NONBASIS	0	.14	NONE	.14
X.132	NONBASIS	0	.14	NONE	1.85
X.133	BASIS	1	.14	.14	1.64
X.141	NONBASIS	0	.98	NONE	.98
X.142	NONBASIS	0	.98	NONE	2.69
X.143	BASIS	1	.98	.98	1.64

+X.11	NONBINDING	0	2	2	NONE
-X.11	BINDING	-.46	2	2	2
+X.12	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.12	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.13	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.13	BINDING	-.46	0	0	0
+X.21	BINDING	1.71	0	0	0
-X.21	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.22	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.22	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.23	BINDING	1.71	6	6	6
-X.23	NONBINDING	0	6	NONE	6
+X.31	BINDING	1.71	0	0	0
-X.31	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.32	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.32	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.33	BINDING	1.71	0	0	0
-X.33	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.41	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.41	BINDING	-.04	1	1	1
+X.42	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.42	BINDING	-1.75	1	1	1
+X.43	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.43	BINDING	-.04	0	0	0
+X.51	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.51	BINDING	-.34	1	1	1
+X.52	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.52	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.53	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.53	BINDING	-.34	1	1	1
+X.61	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.61	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.62	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.62	BINDING	-1.71	0	0	0
+X.63	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.63	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.71	NONBINDING	0	2	2	NONE
-X.71	NONBINDING	0	2	NONE	2
+X.72	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.72	BINDING	-1.71	1	1	1
+X.73	NONBINDING	0	5	5	NONE
-X.73	NONBINDING	0	5	NONE	5
+X.81	NONBINDING	0	0	0	0
-X.81	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.82	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.82	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.83	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.83	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.91	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.91	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.92	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.92	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.93	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.93	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.101	NONBINDING	0	7	7	NONE

SAL1

SOLUTION IS MAXIMUM  
RIGHT HAND SIDE RANGES

RETURN 85.34

DATE 06-14-1989  
TIME 16:53:53

ROW ID	STATUS	DUAL VALUE	RHS VALUE	MINIMUM	MAXIMUM
Y.1	NONBINDING	0	1808	NONE	2882
Y.2	NONBINDING	0	2710	NONE	27480
Y.3	NONBINDING	0	1475	NONE	2400
Y.4	NONBINDING	0	640	NONE	18240
Y.5	NONBINDING	0	1560	NONE	5400
Y.6	NONBINDING	0	905	NONE	2400
Y.7	NONBINDING	0	1450	NONE	37520
Y.8	NONBINDING	0	1382	NONE	1980
Y.9	NONBINDING	0	885	NONE	3060
Y.10	NONBINDING	0	2045	NONE	12600
Y.11	NONBINDING	0	2624	NONE	17640
Y.12	NONBINDING	0	415	NONE	1441
Y.13	NONBINDING	0	165	NONE	3060
Y.14	NONBINDING	0	980	NONE	2520
Y.15	BINDING	1.64	22	22	22
Y.16	BINDING	3.35	4	4	4
Y.17	BINDING	1.64	16	16	16
Y.18	NONBINDING	0	66	42	NONE
Y.19	NONBINDING	0	45	27	NONE
Y.20	NONBINDING	0	150000	59002	NONE
Y.21	NONBINDING	0	6.3	2	NONE
Y.22	NONBINDING	0	7.3	7	NONE
Y.23	NONBINDING	0	5	1	NONE
Y.24	NONBINDING	0	4	2	NONE
Y.25	NONBINDING	0	5	2	NONE
Y.26	NONBINDING	0	4	1	NONE
Y.27	BINDING	.16	8	8	8
Y.28	NONBINDING	0	4	1	NONE
Y.29	NONBINDING	0	4.5	1	NONE
Y.30	NONBINDING	0	8	7	NONE
Y.31	NONBINDING	0	7.2	7	NONE
Y.32	NONBINDING	0	5	1	NONE
Y.33	NONBINDING	0	5	1	NONE
Y.34	NONBINDING	0	4.5	1	NONE
Y.35	NONBINDING	0	1.4	NONE	2
Y.36	NONBINDING	0	1	NONE	7
Y.37	BINDING	-1.73	1	1	1
Y.38	NONBINDING	0	1.37	NONE	2
Y.39	NONBINDING	0	1.1	NONE	2
Y.40	BINDING	-.84	1	1	1
Y.41	NONBINDING	0	2.75	NONE	8
Y.42	BINDING	-.88	1	1	1
Y.43	BINDING	-.76	1	1	1
Y.44	NONBINDING	0	4.2	NONE	7
Y.45	NONBINDING	0	1	NONE	7
Y.46	BINDING	-1.37	1	1	1
Y.47	BINDING	-1.5	1	1	1
Y.48	BINDING	-.66	1	1	1

-X.101	NONBINDING	0	7	7	7
+X.102	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.102	BINDING	-1.71	0	0	0
+X.103	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.103	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.111	BINDING	1.56	7	7	7
-X.111	NONBINDING	0	7	NONE	7
+X.112	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.112	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.113	BINDING	1.56	0	0	0
-X.113	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.121	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.121	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.122	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.122	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.123	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.123	NONBINDING	0	0	0	0
+X.131	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.131	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.132	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.132	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.133	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.133	NONBINDING	0	1	NONE	1
+X.141	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.141	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.142	NONBINDING	0	0	0	NONE
-X.142	NONBINDING	0	0	NONE	0
+X.143	NONBINDING	0	1	1	NONE
-X.143	NONBINDING	0	1	NONE	1

