

UI - TV 0122 - 074696

UNIVERSITE DE LILLE I

D.E.S.S. D'INGENIERIE STATISTIQUE ET NUMERIQUE

**AGIR** ( Association pour la Généralisation de l'Innovation et de la Recherche)

93. 100/2

# APPLICATION DES PLANS D'EXPERIENCES AUX SYSTEMES D'AUTOBUS EN SITE PROPRE

**INRETS-CRESTA** (Centre de Recherche et d'Evaluation de Systèmes de Transports Automatisés)

OLIVEIRA SIMOES Maria de Lurdes

LILLE, Août 1993

# TABLE DE MATIERES

	Page
1 - INTRODUCTION.....	1
2 - LE SYSTEME AUTOBUS.....	2
3 - APPLICATION DES PLANS D'EXPERIENCE AUX AUTOBUS.....	5
3.1 - Etapes.....	5
3.2 - Objectif.....	6
3.3 - Réalisation du Projet.....	7
3.3.1- Introduction.....	7
3.3.2- Description des facteurs.....	8
3.3.3- Définition du Plan d'expériences utilisé.....	14
3.3.4- Obtention des résultats.....	17
3.3.5- Présentation des résultats.....	20
3.3.6- Les valeurs Optimales.....	21
3.3.7- Analyse des résultats.....	21
4 - CONCLUSION.....	22
REFERENCES.....	24
ANNEXE	

# REMERCIEMENTS

Ce projet a été mené au Centre de Recherche et Evaluation des systèmes de Transports Automatisés (CRESTA). Je remercie donc la direction de l'entreprise de m'avoir permis de réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

Je remercie vivement:

**Monsieur Francis Kuhn**, mon responsable de stage, pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour l'aide qu'il m'a apportée.

**Monsieur Fernando Dutra Michel**, ingénieur civil, spécialisé dans les transports, chargé de recherche, invité de l'U.F.R.G.S. à l'INRETS - CRESTA pour son aide très constructive et ses conseils pendant toute la durée du stage.

**Monsieur J. L. Ribeiro**, ingénieur civil, spécialisé en plans d'expérience, enseignant à l'Université Federal du Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brésil, pour tout ce qu'il m'a apris au niveau statistique.

Je n'oublie pas tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué techniquement et moralement au bon déroulement de ce stage.

## 1 - INTRODUCTION

Cette étude a été effectuée dans le cadre du D.E.S.S. d'Ingénierie Statistique et Numérique de l'Université de Lille I, durant un stage d'un mois à l'INRETS - CRESTA (Centre de Recherche et Evaluation des Systèmes de Transports Automatisés).

Le projet consiste en une application des statistiques à une étude comparative entre l'autobus en site propre et le métro léger.

Cette étude fait partie d'une recherche en cours entre l'U.F.R.G.S. - PPGEP (Brésil) et l'INRETS (France).

Ce rapport présente le projet réalisé pour le système autobus, pour le système métro léger il faut se reporter au rapport Tramway \* Busway (SIMOES,1993).

L'étude a été effectuée à l'aide des logiciels STATGRAFICS, EXCEL et le modèle de simulation BUSWAY (Lindau, 1983,1988) , implantés sur un PC.

La méthode statistique utilisée pour la mise en oeuvre de cette étude s'est appuyée sur les plans d'expériences.

## 2.LE SYSTEME AUTOBUS

Cette description est faite à partir de Lindau (1992), où l'auteur fait une analyse comparative entre l'autobus et le métro léger.

L'autobus est, dans la plupart du monde, le moyen de transport public urbain le plus répandu et connu; il est difficile d'imaginer une ville moyenne ou grande qui n'utilise pas l'autobus pour effectuer le transport de ses habitants.

Il existe divers exemples de systèmes prioritaires pour l'autobus circulant en sites séparés, construits en Amérique du Sud (Lima, Bogota, Curitiba, Porto Alegre, Recife, Belo Horizonte et Sao Paulo), en Amérique du Nord (Ottawa et Pittsburgh), en Europe (Essen, Hamburg, Runcorn), en Afrique (Abidjan), Asie (Nagoya) et en Océanie (Adélaïde). Mais, on le trouve surtout dans les villes brésiliennes de Porto Alegre et Sao Paulo, où des sites séparés pour convois d'autobus ont été introduits, des volumes élevés de voyageurs sont transportés à des vitesses commerciales élevées, si on les compare à celles qui sont atteintes par l'autobus qui circule au milieu de la circulation.

Le développement actuel de la technologie autobus est effectué dans 3 directions :

1. De nouvelles suspensions pneumatiques qui favorisent le confort pour les voyageurs et la durée de vie utile du véhicule.
2. La boîte automatique qui facilite le travail du conducteur, et améliore le confort intérieur et réduit les coûts opérationnels des véhicules.
3. Les moteurs sont alimentés au gaz qui contribue nettement à la réduction de la pollution atmosphérique.

Les trajets, la fréquentation, les tarifs et les stations sont définis par réglementation, par le pouvoir public qui fait la gestion du système. Les tarifs peuvent être uniques ou établis en fonction de zones ou de la distance du trajet. Normalement, le paiement est effectué pendant la circulation du véhicule aux contrôleurs. Dans certains cas, il y a un système de tarif pour compenser les différences entre les coûts de lignes qui sont exploitées dans des systèmes de tarif unique. Les autobus peuvent transporter entre 12 (micro-autobus) et 240 voyageurs (autobus

articulés), où la disposition intérieure, prévoit normalement des sièges et une aire réservée aux voyageurs qui restent debout.

Divers types de service sont possibles :

- tronçons avec un grand nombre de stations;
- tronçons avec un nombre limité de stations;
- heure de pointe;
- tronçon secondaire;
- tronçon prioritaire ou de rabattement.

Le niveau de service est évalué en termes de confiance, fréquence, vitesse commerciale et confort (il peut varier nettement avec les conditions de disposition intérieure des véhicules et la durée moyenne des voyages.

Comme les autobus circulent entre 60 et 70000 Km par an, il est vital qu'on dispose d'un système propre de maintenance. Quand les véhicules ne sont pas exploités dans les meilleures conditions, ils souffrent d'une réduction, tant de la vie utile que dans la production de l'exploitation. La pratique d'une maintenance non adaptée a aussi une influence dans l'augmentation de la pollution sonore et atmosphérique, et conduit à des retards fréquents et à des embouteillages dans le centre des villes.

Il y a diverses façons de donner la priorité à la circulation du flux d'autobus, les critères pour l'adoption d'une ou l'autre des mesures de priorité varient normalement selon le volume horaire/jour d'autobus et de voyageurs.

Les conditions de priorité les plus utilisées sont :

1. L'autobus en site propre intégral - correspond à la séparation totale, obtenue par dénivellation (tunnels ou tronçons élevés) destinés seulement à la circulation des autobus.

2. L'autobus en circulation séparée - obtenu avec l'introduction des tronçons en site propre au centre des avenues, comme dans le cas des villes : Curitiba, São Paulo, Porto Alegre et Goiânia. La circulation des

autobus reste longitudinalement séparée des autres véhicules, mais les carrefours sont à niveau et il n'existe pas de bordures physiques infranchissables pour les piétons qui traversent les avenues.

3. L'autobus circulant en site réservé - obtenu en réservant une partie de la voie urbaine au moyen de peinture délimitant le couloir sur la chaussée, ce qui n'empêche pas la séparation physique des autobus du restant du trafic. Tous les carrefours sont au niveau de la voie, et dans divers cas, les tronçons délimités sont interrompus avant les intersections.

4. L'autobus circulant en site banalisé - la circulation des autobus se trouve dans les conditions de trafic mixte, en disputant l'espace de circulation avec les autres systèmes de transport sur pneus.

Chacune de ces conditions donne des niveaux de service très différenciés. Dans des conditions de trafic mixte, les systèmes exploités avec l'autobus conventionnel (d'une capacité unitaire égale à 80 voyageurs), peuvent transporter une demande de l'ordre de 10000 voy/h/sens. Les systèmes qui utilisent les autobus avec une capacité unitaire de 120 voyageurs ou plus, et qui sont exploités avec des conditions similaires, peuvent transporter une charge jusqu'à 15000 voy/h/sens. Les vitesses commerciales sont de l'ordre de 12 Km/h.

Les vitesses de consigne des autobus comme la vitesse commerciale du système peuvent être augmentées dès lors qu'il y a l'introduction d'un traitement prioritaire pour les autobus. Selon le point de vue de la Banque Mondiale (Armstrong - Wright, 1986), les tronçons qui assurent le droit réservé de circulation aux autobus, sont favorables à l'augmentation des vitesses commerciales et à leur capacité, de l'ordre de 15000 voy/h/sens pour les autobus standards et 20000/voy/h/sens pour les autobus de dimensions supérieures.

Outre la réduction des temps de parcours des voyageurs, l'augmentation de la vitesse commerciale due à l'introduction de systèmes de priorité permet l'utilisation de parcs de matériels roulants plus petits et réduit le coût opérationnel des véhicules.

Des capacités supérieures, avec des vitesses commerciales plus élevées, peuvent être atteintes en utilisant des sites séparés pour l'autobus dans le centre et l'exploitation en convois (Szasz, 1978) et/ou l'autobus articulé circulant en site séparé. Une plus grande contribution à la compréhension des possibilités de ces systèmes vient sans doute de l'expérience brésilienne. Les idées retenues à Curitiba ont été adoptées par d'autres villes. Dans le cas de Porto Alegre, et plus particulièrement sur la ligne de Farrapos-Assis Brasil, outre les sites séparés, l'exploitation

se fait en convois d'autobus ordonnés, exploitation qui a été auparavant adoptée à São Paulo.

Gardner et Al. (1991), dans une récente étude qui fait référence à l'exploitation de systèmes en site propre d'autobus dans divers pays en développement, ont indiqué que la capacité de tronçons en site séparé près du centre peut avoisiner 20000 voy/h/sens pendant l'heure de pointe de l'après midi, dans laquelle le mouvement prépondérant est la montée des voyageurs. Pour atteindre ces capacités, il a été nécessaire d'avoir des conditions particulières dans les stations: dans le cas de São Paulo, les autobus peuvent doubler dans diverses stations, mais par contre à Porto Alegre, l'ordonnancement des convois d'autobus réduit le temps de montée des voyageurs dans les stations de la ligne Assis Brasil. Il faut remarquer encore que selon le point de vue des auteurs, les systèmes en site en propre pour l'autobus qui ont été l'objet de la recherche à travers le monde n'étaient pas exploités dans les meilleures conditions.

Afin d'atteindre ces capacités, les auteurs observent qu'une proportion significative d'autobus (40 à 60%) ont besoin d'être exploités en surcharge: de telles conditions de charge ne peuvent pas être considérées comme compatibles avec un service de transport public de haute qualité.

En ce qui concerne les vitesses commerciales, les systèmes en site séparé pour les autobus implantés au Brésil, présentent généralement des valeurs entre 17 et 22 Km/h, bien que dans quelques situations, la vitesse commerciale a atteint 29 Km/h.

Entre les extrêmes définis par l'exploitation de trafic mixte et par l'exploitation dans les sites séparés de la circulation, on trouve une grande variation des niveaux de service.

Comme les autobus peuvent se disperser dans divers terminus du centre-ville, on peut éviter une grande concentration de voyageurs dans un point du centre.

De la même façon, les autobus peuvent pénétrer dans la banlieue après avoir parcouru la ligne, de cette façon les voyageurs peuvent bien arriver auprès de leurs points "extrêmes d'origine et de destination" sans avoir besoin de changer d'autobus.

### **3 - APPLICATION DES PLANS D'EXPERIENCES AUX AUTOBUS**

#### **3.1- Etapes**

a. Obtention des données sur place pour les systèmes d'autobus roulant en site séparé.

b. Définition d'un couloir sur lequel se déroule la simulation.

Ce couloir servira de base pour effectuer des études comparatives (capacité, vitesse commerciale) de métros légers et d'autobus circulant en site séparé, respectivement sur des "tramways" et "busways".

Il est nécessaire d'identifier les conditions géométriques existantes dans différentes villes: pour le système d'autobus, les données sont obtenues à partir de l'étude du TRL (Gardner et Al; 1991) et à partir de l'expérience brésilienne.

Ce couloir est un tronçon construit pour l'autobus circulant en site séparé, qui doit avoir les caractéristiques géométriques et d'exploitation les plus proches de la réalité et où on peut obtenir les meilleurs résultats en ce qui concerne l'efficacité du système.

#### **3.2 - Objectif**

L'exploitation, soit du tramway, soit du busway qui roulent dans des conditions de trafic mixte, se détériore rapidement, étant donné que ces systèmes augmentent la congestion de la circulation avec les autres véhicules. Ainsi, de nombreux réseaux adoptent des mesures pour protéger les autobus et les trams de l'embouteillage et pour améliorer la qualité du service auprès des voyageurs.

La technologie busway qui permet une exploitation d'autobus avec de grandes quantités de voyageurs n'est pas utilisée sous les meilleures conditions.

Il est difficile en pratique d'effectuer des essais en vrai grandeur, aussi est-il intéressant d'utiliser les techniques mathématiques de simulation à travers les modèles informatiques dûment calibrés et validés.

C'est cette technique qui est proposée pour la réalisation de cette étude. On va utiliser le modèle de simulation BUSWAY, qui est décrit par Lindau (1983,1988).

En appliquant la méthode des Plans d'expériences, on cherche à savoir quels sont les facteurs les plus importants sur la vitesse commerciale, permettant de décrire un couloir d'autobus de façon à ce

qu'il ait les meilleures caractéristiques d'exploitation, c'est à dire, qu'il soit le plus efficace, avec la vitesse commerciale maximum.

Tout d'abord il faut connaître quels sont les facteurs et les valeurs respectives qui leur sont attribuées.

La justification de l'utilisation de la technique des plans d'expériences et du modèle de simulation BUSWAY peut être trouvée chez SIMOES (1993).

### **3.3 - Réalisation du projet**

#### **3.3.1 - Introduction**

Nous étudions ici le problème relatif au système autobus, une étude semblable a été effectuée pour le métro léger. Pour cette étude nous devons décider quelles sont les valeurs des divers facteurs qui influencent l'exploitation de ce système de transport, de façon à ce qu'on ne soit pas très loin des valeurs obtenues dans la réalité, puisque dans le cas contraire cette étude n'aurait aucun sens.

Ce couloir doit faire la liaison d'un centre-ville à une banlieue, ensuite la simulation sera effectuée pendant une heure de pointe, dans le sens le plus chargé. Ce cas est le plus intéressant à étudier car on connaîtra ainsi les possibilités du système dans les cas extrêmes.

Après une recherche de données de toutes les caractéristiques géométriques et d'exploitation de lignes, pour ce système de transport, déjà en exploitation dans le monde, nous avons réussi à trouver suffisamment de valeurs de paramètres pour la réalisation de l'étude envisagée.

Dans le tableau suivant sont présentées les caractéristiques géométriques de quelques tronçons, celles relevées par le T.R.L., où est présentée non seulement la longueur totale des tronçons, mais aussi les distances moyennes entre stations et distances moyennes entre carrefours régulés par feux.

Ville	Ligne	Longueur (Km)	Dist. moy stations (m)	Dist moy feux (m)
Abidjan	Bld de la République	1.27	400	160
Ankara	Besevhr-Dkimevi	3.6	310	410
Belo Horizonte	Av.Cristiano Machado	8.57	610	920
Curitiba	Eixo Sul	9.5	430	430
Istanbul	Taksim-Zincirlikuyu	2.27	310	410
Porto Alegre	Assis Brasil	4.5	580	410
Porto Alegre	Farrapos	2.8	560	390
Sao Paulo	Av.9 Julho/S.Amaro	7.9	600	530

Source Gardner (1991).

\* L'étude est effectuée, comme cela a été fait pour le système du métro léger, sur un tronçon de 7 Km de longueur.

### 3.3.2 - Description des facteurs

En utilisant l'expérimentation pour la mise en oeuvre (simulation) du couloir, nous avons les facteurs nécessaires suivants pour caractériser un tronçon d'autobus et à partir desquels on souhaite connaître les effets respectifs sur la VECO. Les facteurs concernés sont les suivants:

- F1 - Flux ("Flux").
- F2 - Temps mort ("Tmor").
- F3 - Temps montée par voyageur ("Tmon").
- F4 - Demande ("Dem").
- F5 - Vitesse désirée ("Vde").
- F6 - Distance moyenne entre stations ("Dst").
- F7 - Distance moyenne entre feux ("Dfeu").
- F8 - Type de Véhicule ("Tvéh").
- F9 - Type de feux ("Tfeu")

La variable REPONSE est la VITESSE COMMERCIALE (VECO).

F1 - Le flux de véhicules par heure, par sens, est de l'ordre de 100 dans les lignes de faible affluence et dans les heures creuses, mais il peut augmenter à plus de 350, dans les heures de pointe, comme c'est le cas sur la ligne de Porto Alegre qui est exploitée avec un flux de 378

veh./h/sens (Tableau A). Ce facteur est aussi défini en 5 niveaux distribués dans l'intervalle (150 ; 350).

Ville	Flux (h/sens)	Demande (h/sens)
Abidjan	204	19500
Ankara	91	7300
Belo Horizonte	216	15800
Curitiba	94	9900
Istanbul	169	10700
Porto Alegre	326	26100
Porto Alegre	378	17500
Sao Paulo	230	20300

Tableau A

F2 - Le temps mort varient entre [5;30] secondes, il dépend du comportement des passagers, dans les stations. Ces valeurs ont été obtenues à partir d'autres études déjà effectuées, on peut le constater dans les données suivantes :

Ville	Temps mort(s)
Abidjan	10,3
Bangkok	9,8
Ankara	23,0
Belo Horizonte	5,2
Istanbul	9,3
Hong Kong	13,1
Sao Paulo	8,6
Singapore	8,4

F3 - Pour les temps moyens de montée, on s'est basé sur la connaissance d'autres études déjà effectuées (HCM du TRB et TRL).

Les cas différents suivants ont été défini :

- Paiement avant l'entrée dans le véhicule => 1,5 à 2,5 s
- Composter le ticket dans le composteur => 2 à 3 s
- Paiement dans le véhicule => 3 à 4 s

Ainsi, on a défini 5 niveaux uniformément distribués dans l'intervalle [1,5;4] s.

Dans le modèle de simulation les valeurs utilisées pour ce facteur sont celles qui se réalisent dans une seule porte, puisque dans les autobus il n'y a qu'une porte pour monter et une autre porte pour descendre. C'est à partir de la porte utilisée pour monter que nous définissons le temps d'arrêt du véhicule dans la station, puisque ce mouvement prend plus de temps que la descente. Le tableau suivant présente les valeurs du temps total d'arrêt en station par rapport au nombre de montées et descentes.

Ville	Station	Nb. montées par véh.	Nb. descentes par véh.	Tps total d'arrêt(s)	Tps Montée/descente(s)
Ankara	Kizilay	54,8	16,7	173	109
Ankara	Maltepe	10,2	2,6	46	44
Bangkok	Vict.Monum.	11,4	7,1	29	28
Bangkok	Prachatipok	2,4	1,4	13	11
Singapore	Raffel's Quay	1,2	12,5	23	21
Singapore	Suangoon Road	2,5	1,6	60	40
Belo Horizonte	Pimenta Veiga	5,6	0,2	14	14
Curitiba	Portao	4,3	13,2	21	20
Istanbul	Osmanbey	2,7	28,9	35	28
Istanbul	Tusitlar	2,5	3,0	29	14
Istanbul	Sisli Cami	7,9	7,0	45	26
Istanbul	Harbiye	8,5	3,8	47	29
Sao Paulo	Est. Unidos	6,4	1,0	24	22
Hong Kong	King's Road	1,0	10,1	19	19

Source Gardner (1991)

F4 - Pour le facteur "Demande", on a défini les deux niveaux extrêmes entre 7500 et 25000 personnes par heure et par sens. Le premier, c'est le niveau le plus souvent obtenu dans la réalité dans un

couloir avec ces caractéristiques et le niveau plus haut correspond à la valeur la plus élevée parmi les valeurs réalisées. On a défini 5 niveaux comme pour les autres facteurs. Dans le tableau suivant, on peut observer quelques chiffres sur les flux et demandes, à l'heure de pointe, dans différentes villes. Le tableau A montre des valeurs réalisées, tant pour le facteur "Dem" comme pour le facteur "Flux".

F5 - Pour la définition des niveaux de la vitesse désirée, on s'est basé seulement sur les données de la ligne Farrapos. Ainsi, sur un tronçon de ce couloir qui a été divisé en 10 parties par 11 points de chronométrage, les valeurs de ce facteur varient entre 6 m/s et 20 m/s. On définit, de cette façon 5 niveaux uniformément distribués dans l'intervalle [6;16.6] (m/s), puisque bien que la moyenne des valeurs connues soit plus basse, on trouve parfois des valeurs dans les extrêmes de cet intervalle. Le tableau 1 et les graphiques 1 et 2 en annexe, présentent les valeurs obtenues, où nous considérons que les véhicules observés circulent en trafic libre.

**Ligne Farrapos - Assis Brasil**  
**VITESSE (m/s)**

	Point 3-4	Point 4-6	Point 6-8	Point 6-11	Point 9-11
<b>Moy</b>	10.03	9.49	9.32	10.68	10.32
<b>Max</b>	13	12.62	13.00	14.89	20.00
<b>Min</b>	8	6.31	6.00	6.95	6.00
<b>Ecart</b>	0.98	2.26	2.56	2.6	3.28

Valeurs des vitesses chronométrées dans un tronçon de la ligne Farrapos.

F6 - Les distances moyennes entre stations varient dans la plupart des cas dans l'intervalle [300; 600] mètres, bien qu'il y ait toujours des cas aberrants. Nous avons donc défini ce facteur à 5 niveaux, où le niveau plus bas est égal à 300 m et le niveau plus haut à 600 m et les 3 autres niveaux sont distribués dans l'intervalle [300;600] d'une façon uniforme. Le choix de ces niveaux s'effectue à partir des cas identifiés les plus nombreux. Pour chaque niveau de ce facteur nous définissons le nombre total de stations dans chaque tronçon.

Dist. moy. stations (m)	Nombre de stations
300	23
375	18
450	15
525	13
600	11

F7 - Les distances entre carrefours régulés par feux varient de 160 m à 920 m. A partir des réseaux identifiés précédemment, on va situer la distance moyenne entre feux dans l'intervalle [200;1000] mètres. Pour ce facteur, nous définissons 5 niveaux uniformément distribués dans l'intervalle cité. Pour chacun des niveaux il faut trouver le nombre de feux qui seront placés sur chacun des tronçons.

Dist. moy. feux (m)	Nombre de feux
200	34
400	17
600	11
800	8
1000	7

La distribution des feux par rapport aux stations peut influencer la VECO.

F8 - Le type de véhicule est un facteur qualitatif, définit à 3 niveaux, ceux qui se réalise le plus. Ce facteur fait la distinction entre 3 différentes manières d'ordonnancement des véhicules dans la circulation et en conséquence dans l'arrêt en station.

F9 - Le type de prise en compte des véhicules aux feux est aussi un facteur qualitatif, définit à 3 niveaux, qui différencie les temps d'arrêt aux feux par les véhicules, de façon à ce que chaque feu soit vert quand le véhicule passe, on a calculé les "offsets" (tableau 3 en annexe), pour les différents niveaux de vitesse de consigne.

La longueur du véhicule la plus répandue est de 11 mètres, c'est avec cette valeur que nous allons effectuer l'étude. Ci-dessous, on peut regarder les caractéristiques essentielles des principaux types d'autobus urbains rencontrés actuellement sur le marché mondial, retenus à partir des réponses au questionnaire adressé par l'UITP à divers réseaux.

PAYS	Longueur des véhicules		
	2 essieux (m)	3 essieux (m)	Petite capacité (m)
Allemagne	11,25	17,1	5,87
Belgique	11,22	17,5	6,39
Espagne	10,5	16,42	--
France	11	17,2	5,8
Italie	11	--	6,54
Japon	10,76	--	6,2
Pays-bas	11,52	--	--
Royaume-Uni	10,84	--	--
Suede	11,6	17,2	--
USA	11,4	--	6,2
Hongrie	--	16,5	--
MOYENNE	11,1	17	6,2

Source: UITP (1978)

Nous présentons ci-dessous le tableau des 5 niveaux correspondants pour les facteurs F1 jusqu'à F9.

### Facteurs

Niveaux	F5 (m/s)	F1 (véh)	F3 (s)	F2 (s)	F7 (m)	F6 (m)	F4 (voy)	F8	F9
-2	6,00	150	1,50	5,00	200	300	7500		
-1	8,65	200	2,13	11,25	400	375	11875	s.c.o.	s.ov(90)
0	11,30	250	2,75	17,50	600	450	16250	a.c.c.	a.ov(60)
1	13,95	300	3,38	23,75	800	525	20625	a.c.i.	a.ov(90)
2	16,60	350	4,00	30,00	1000	600	25000		

## Notations

s.c.o. = Sans Convoi Ordonné - 6 véhicules

a.c.c. = Avec Convoi Complet - 6 véhicules de 3 groupes

a.c.i. = Avec Convoi Incomplet - 5 véhicules/60 secondes

s.ov(90) = Sans Onde Verte, avec un cycle de 90 secondes.

a.ov(60) = Avec Onde Verte, avec un cycle de 60 secondes.

a.ov(90) = Avec Onde Verte, avec un cycle de 90 secondes.

### 3.3.3 - Définition du Plan d'expériences utilisé

Le Plan d'expériences utilisé dans cette étude pour rechercher quels sont les facteurs qui influencent la VECO, suit l'idée du plan "Second Order Composite Designs" (voir Box et Draper 1987) qui présente un cube fortement fractionné.

Ces projets constituent le croisement d'un "cube" (les traitements avec les niveaux  $(-1, +1, -1, \dots, +1, -1)$ ) avec une étoile (les traitements avec les niveaux  $(0, 0, -2, +2, 0, \dots)$ ) et encore quelques points centrés  $(0, 0, \dots, 0)$ . En général, ces plans sont utilisés quand on veut étudier tous les termes linéaires et quadratiques (entre les termes quadratiques on inclue les interactions de deux facteurs). Pour évaluer toutes les interactions de deux facteurs le "cube" est présenté complet ou faiblement fractionné. Dans cette étude le cube est présenté fortement fractionné.

La régression multiple et l'analyse de la variance associées sont les méthodes de base pour l'analyse, puisque la régression multiple est pratique d'utilisation et souple, c'est à dire, on peut additionner de nouvelles données et l'analyse peut être complétée sans aucun problème. L'analyse de la variance est pratique pour indiquer quelle est l'importance relative de chaque facteur sur la VECO.

**DESAVANTAGE :** Les interactions ne peuvent pas être toutes évaluées.

**AVANTAGE :** Le nombre d'essais exigé est considérablement petit.

Cette étude enveloppe 9 facteurs, dont 7 peuvent être analysés à divers niveaux et 2 qui doivent être étudiés exactement à 3 niveaux.

Donc le plan suggéré est : la combinaison entre un plan factoriel  $2(9-4)$  (32 traitements), plus une étoile incomplète (14 traitements), plus

quelques points centrés (2 traitements). Ainsi, on obtient la matrice d'expériences suivante qui contient 48 traitements.

Trait	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
4	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
5	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
7	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
8	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
9	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1
10	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
11	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1
12	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
13	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1
14	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1
15	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1
16	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1
17	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
18	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
19	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1
20	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1
21	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
22	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1
23	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
24	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1
25	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
26	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1
27	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
28	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
29	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
30	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1
31	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
32	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	2	0	0	0	0	0	0	0	0
35	-2	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	2	0	0	0	0	0	0	0
37	0	-2	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	2	0	0	0	0	0	0
39	0	0	-2	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	2	0	0	0	0	0
41	0	0	0	-2	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	2	0	0	0	0
43	0	0	0	0	-2	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	2	0	0	0
45	0	0	0	0	0	-2	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	2	0	0
47	0	0	0	0	0	0	-2	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0

L'étoile est incomplète, parce que les expériences où le niveau d'un des facteurs est égal à 2 ou -2 et tous les autres sont égaux à 0, sont effectuées seulement pour les 7 premiers facteurs, puisque les 2 autres ne sont qu'à 3 niveaux.

Pour obtenir une meilleure estimation du terme d'erreur et des coefficients de régression, on a effectué 3 répétitions de chaque traitement, donc, ce projet exige  $48 \times 3 = 144$  observations. Les niveaux des facteurs F8 et F9 ont été choisis de façon à ce que -1 soit le niveau où, à notre avis, la VECO aura une valeur plus faible et +1 où la VECO aura une meilleure valeur.

Les résultats de la simulation pour chaque traitement sont au tableau 4, en annexe.

Dans cette matrice on a l'avantage que tous les niveaux extrêmes ne se croisent pas, seulement les 3 niveaux du milieu se croisent, puisqu'il est impossible de faire un plan factoriel complet, étant donné qu'il y a des traitements qui ne seraient pas possible à réaliser à cause des contraintes existantes dans l'exploitation d'un autobus. Ainsi, cette matrice rassemble les cas les plus importants et tous les traitements peuvent être simulés.

Les interactions de 3 facteurs ou plus sont supposées non significatives. Donc pour la matrice choisie, les interactions qu'on peut analyser sont :

- toutes les interactions de 2 facteurs.
- pour le facteur "Vde", aussi les interactions de 3 facteurs.

Les interactions de 2 facteurs les plus importantes à étudier sont :

Dst*Dfeu	Tmon*Dem	Dem*Dfeu
Dst*Tveh	Flux*Dst	Dem*Tveh
Tmor*Tmon	Tmor*Dst	Flux*Dem
Flux*Tveh	Tmor*Dem	Dem*Dst
Tmor*Tveh		

L'attribution du facteur F5 au facteur "Vde" a été effectuée parce que c'est à ce facteur que nous nous intéressons le plus. Dans la matrice choisie, le facteur F5 est dans une situation prévilegiée, puisque son effet et l'effet de leurs interactions seront estimés avec une grande précision. Les autres facteurs ont été attribués de façon à ce qu'aucune paire d'interactions d'intérêt ne soit confondue.

Nous devons définir pour ce plan, 9 couloirs différents, tous de la même longueur, mais avec des nombres différents de stations et de feux, suivant les différentes distances entre stations et les distances entre feux. Les coordonnées respectives d'emplacement des feux et des stations, choisies aléatoirement pour chaque couloir, mais en n'oubliant pas que dans le centre les stations et les feux sont plus proches que dans la banlieue, sont rassemblées dans le tableau 2, en annexe.

Il est nécessaire de faire pour le modèle de simulation une distribution du nombre de montées dans chaque véhicule. Cette distribution est basée sur la distribution de la ligne de Farrapos, puisque dans les données que nous avons sur cette ligne, elle a la caractéristique d'être la plus chargée au centre-ville, et ce cas nous intéresse. Suivant les différentes valeurs des différents facteurs : Nombre de stations, Flux, Demande et Longueur du véhicule, nous avons construit les tableaux 5.1-5.5 qui sont en annexe.

#### REMARQUES :

Le modèle de simulation exige une distance entre l'origine où le véhicule est inséré et la première station ou le premier feu, ceci dépend par quel des deux équipements commence le tronçon, le modèle exige aussi que le tronçon soit terminé par un feu.

S'il y a un problème dans la simulation, c'est à dire, s'il n'était pas possible d'exécuter le calcul à cause de l'excès de flux et une petite distance entre l'origine et la première station, on réduit le nombre de voyageurs qui monte dans la première station et on l'augmente dans la deuxième station, ainsi le véhicule s'arrête dans la première station pour une durée de temps inférieure. La position des feux par rapport aux stations a aussi beaucoup d'influence sur l'exploitation d'une ligne, donc pour pouvoir simuler les traitements qui concernent les différents cas, où le temps mort, le flux et la demande sont dans leurs niveaux hauts, on doit changer parfois l'emplacement du feu ou de la station qui cause des problèmes.

#### 3.3.4 - Obtention des résultats

Après une analyse préliminaire des données, nous avons constaté que dans l'intervalle en étude, le facteur "Vde" est le seul à avoir un effet quadratique. Tous les autres facteurs : "Tmor", "Flux", "Tmont", "Dst", "Dfeu" et "Dem", "Tveh", "Tfeu" ont un effet linéaire. Les interactions, d'une façon générale, ont des effets faibles. Cette analyse préliminaire a été effectuée en utilisant la méthode par Régression Multiple. Pour savoir quelle est la relation entre chaque facteur et la VECO, c'est à dire, si

chaque facteur a un effet linéaire ou carré, nous nous basons sur les termes qui sont significatifs.

Après application de la méthode par régression linéaire multiple, le modèle obtenu est le suivant :

$$\begin{aligned}
 \text{VECO} = & 14,81 - 0,27 * \text{Flux} - 0,95 * \text{Tmor} - 0,64 * \text{Tmon} - 0,64 * \text{Dem} + 1,23 * \text{Vde} - \\
 & 0,23 * \text{Vde}^2 + 0,48 * \text{Dst} + 0,8 * \text{Dfeu} - 0,65 * \text{Tveh} \\
 & 0,1 * \text{Tfeu} + 0,21 * \text{Dst} * \text{Dfeu} + 0,1 * \text{Dst} * \text{Tveh} + 0,14 * \text{Flux} * \text{Dem} \\
 & + 0,21 * \text{Tmor} * \text{Dem} - 0,2 * \text{Flux} * \text{Vde} - 0,14 * \text{Tmon} * \text{Dem} \\
 & - 0,22 * \text{Tmor} * \text{Vde} - 0,09 * \text{Tmon} * \text{Dst} - 0,11 * \text{Dem} * \text{Dst} + 0,1 * \text{Vde} * \text{Dst} - \\
 & 0,17 * \text{Dem} * \text{Dfeu} + 0,16 * \text{Vde} * \text{Dfeu} + 0,16 * \text{DEM} * \text{Tveh} - 0,28 * \text{Vde} * \text{Tveh}
 \end{aligned}$$

Facteur	"Coefficient"
Constante	14,81
F1: Flux	-0,27
F2: Tmor	-0,95
F3: Tmon	-0,64
F4: Dem	-0,64
F5: Vde	1,23
Vde <sup>2</sup>	-0,23
F6: Dst	0,48
F7: Dfeu	0,80
F8: Tveh	-0,65
F9: Tfeu	-0,10
F6*F7	0,21
F6*F8	0,10
F1*F4	0,14
F2*F4	0,21
F1*F5	-0,20
F3*F4	-0,14
F2*F5	-0,22
F2*F6	-0,09
F4*F6	-0,11
F5*F6	0,10
F4*F7	-0,17
F5*F7	0,16
F4*F8	0,16
F5*F8	-0,28

Les termes qui n'apparaissent pas dans le tableau, comme par exemple "Tmon\*Tmor" ou "Tveh\*Tmor" ont un effet non significatif et peuvent être alors considérés comme nuls.

A partir du "coefficient" de chaque facteur, on peut voir si l'effet du facteur respectif sur la VECO est positif ou négatif et aussi mesurer l'importance des facteurs sur la variable réponse. Le signal indique qu'une augmentation d'un certain facteur va produire une augmentation ou une diminution dans la VECO.

Ce modèle peut être utilisé pour prévoir la VECO pour n'importe quelle combinaison de traitements. Il faut introduire les valeurs des niveaux correspondants à la valeur de chaque facteur "Vde", ...., "Lgv" dans l'équation correspondante au modèle obtenu et on obtient la valeur estimée de la VECO.

Le facteur qui a le plus grand effet sur la VECO est "Vde", donc on a bien attribué ce facteur au facteur F5. Ce facteur a un effet positif sur la VECO.

### 3.3.5 - Présentation des résultats

L'importance de chaque facteur peut être observée dans la figure suivante :

---

#### Facteur (effet linéaire + quadratique) "Effet"

---

F5: Vde	*****	15,55
F2: Tmor	*****	10,36
F7: Dfeu	*****	8,78
F4: Dem	*****	7,01
F3: Tmon	*****	6,99
F8: Tveh	*****	6,36
F6: Dst	*****	5,27
F1: Flux	*****	2,93
F5*F8	*****	2,75
F2*F5	*****	2,16
F6*F7	*****	2,10
F2*F4	*****	2,10
F1*F5	*****	2,00
F4*F7	****	1,67
F4*F8	****	1,59
F5*F7	****	1,57
F3*F4	***	1,36
F1*F4	***	1,34
F4*F6	***	1,08
F9: Tfeu	***	1,00
F6*F8	***	1,00
F5*F6	***	0,94
F2*F6	**	0,86

---

La valeur "Effet" calculée est égale à la racine carré de la variance, cette valeur est proportionnelle à l'effet du terme correspondant. Ainsi la figure ci-dessus nous donne une très bonne idée de l'importance des facteurs sur la VECO.

Cet "Effet" ne correspond pas à celui obtenu quand on applique la technique des plans d'expérience pour l'analyse des résultats, puisque cet "Effet" ne nous dit pas si les facteurs ont une influence négative ou positive sur la VECO, et il ne mesure pas, pour chacun des facteurs, la variation de la VECO quand on passe du niveau bas au niveau haut ou

vice-versa. Donc cette valeur nous aide carrément à connaître la relation entre les différents effets de chaque facteur sur la VECO.

### 3.3.6 - Les valeurs Optimales

Il est aussi intéressant de vérifier quelles sont les valeurs des facteurs qui maximisent la VECO, en utilisant des procédures d'optimisation standards.

Ces valeurs nous paraissent être les suivantes :

"Vde"	= maximum	(16,6 m/s)
"Tmor"	= minimum	(5 s)
"Tmon"	= minimum	(1,5 s/voy)
"Dem"	= minimum	(7500 voy/h/sens)
"Flux"	= minimum	(150 veh/h/sens)
"Dst"	= maximum	(600 m)
"Dfeu"	= maximum	(1000 m)
"Tveh"	= minimum	(s.c.o.)
"Tfeu"	= indifférent	

Donc, si dans ce couloir de 7 Km de longueur à chaque facteur sont attribuées les valeurs obtenues ci-dessus, on aurait un tronçon d'autobus où la vitesse commerciale est maximum. En utilisant les niveaux correspondants de chaque facteur aux valeurs optimales, trouvées ci-dessus, dans le modèle obtenu précédemment, on calcule la valeur maximale pour la VECO égale à 31,12 Km/h.

### 3.4.7 - Analyse des résultats

On n'a pas eu de surprises avec les résultats obtenus, puisqu'on s'attendait déjà à l'importance de "Vde" et de "Tmor".

Comme on s'y attendait, les facteurs "Vde", "Tmor", "Tmon", "Dfeu", "Dst", "Dem" et "Tveh" ont un effet important sur la VECO, tous les termes restants qui sont dans la figure ci-dessus ont un effet petit ou modéré sur la VECO et les termes qui n'apparaissent pas ont un effet moindre sur la VECO.

Le seul facteur qui a un effet quadratique significatif est "Vde", mais cet effet n'est pas prononcé. Tous les facteurs restants ont un effet à peu près linéaire sur la VECO.

Tous les facteurs principaux ont un effet prononcé sur la VECO, sauf "Flux" qui a un effet modéré sur la VECO et "Tfeu" qui a un effet petit sur la VECO. Aucune interaction a un effet prononcé sur la VECO.

#### 4 - CONCLUSION

Nous nous attendions à l'effet très petit du facteur "Tfeu" parce que les 3 niveaux attribués à ce facteur ne sont pas très différents en réalité, étant donné que les calculs d' "offsets", (pour qu'il y ait une onde verte de cycles de 60 ou 90 secondes)), ont été basés sur la vitesse de consigne (désirée) pour ce tronçon de 7 km: nous travaillons avec un grand flux de véhicules qui s'arrêtent à chaque station, l'ensemble des véhicules ne profite pas de la même onde verte. D'autres hypothèses pourraient être testées, par exemple une autre longueur de cycle de feux, une prise en compte individuelle pour quelques feux, un autre type de calcul de l'onde verte,etc.

En comparant cette étude avec celle faite pour le métro léger (Simoes, 93), cette comparaison bien que simple car les niveaux des facteurs sont un petit peu différents, nous permet néanmoins de faire les premières remarques suivantes :

-- En moyenne, les valeurs obtenues pour la VECO, dans la présente étude sont plus basses, l'autobus roule donc à une vitesse inférieure à celle du métro léger.

-- Dans l'étude du métro léger, presque tous les facteurs avaient des effets quadratiques sur la VECO, nous constatons le contraire maintenant.

-- La variabilité observée sur le tronçon exploité avec l'autobus est inférieure à celle observée sur le tronçon exploité avec le métro léger.

Les résultats des deux études coïncident sur les points suivants :

-- Les facteurs "Vde" et "Tmor" sont ceux qui ont le plus grand effet sur la VECO et l'interaction entr'eux est relativement importante.

--Les effets des facteurs "Dst" et "Tmon" sont à peu près les mêmes dans les deux études.

Les différences évidentes entre les deux études sont :

-- Pour l'autobus le facteur "Dfeu" a un effet important sur la VECO, par contre pour le métro léger ce facteur a un effet simplement modéré sur la VECO. Ceci est dû au fait que dans l'étude pour le métro léger la priorité des véhicules aux feux était presque toujours obtenue, donc n'ayant pas d'arrêts à ces endroits, l'emplacement des feux n'a donc pas d'influence.

-- Pour l'autobus le facteur "Dem" a un effet plus important sur la VECO que le métro léger, ceci provient d'une augmentation de la demande de 20 000 pas./h/sens pour le métro léger à une demande de 25 000 pas./h/sens pour l'autobus

-- Dans cette étude l'effet du facteur "Flux" est modéré, au contraire de ce qui s'est passé pour le métro léger.

## REFERENCES

Armstrong-Wright A. (1986), "Urban transit systems : guidelines to examining options", Word Bank Technical Paper 52, World Bank, Washington, USA.

Box G. E. P., Draper N. R. (1987), Empirical model-building and response surfaces, John Wiley & Sons, New York.

Gardner G., Cornwell P. R. et Cracknell J. A. (1991), "The Performance of busway transit in developing cities", Transport Research Laboratory, Research Report 329

Lindau L. A. (1983), " High-Flow Bus operation urban arterial roads", Thesis of Doctorat of Philosophy, University of Southampton.

Lindau L. A. (1988), BUSWAY, Unpublished technical paper.

Lindau L. A. (1992), "Sistemas de Transporte Urbano de media capacidade : uma analise comparativa enfocando as tecnologias VLT e Onibus", VII Congresso de ANPET, Rio de Janeiro.

Nanni L. F., Ribeiro J. L. (1992), Planejamento e Avaliacao de Experimentos, Caderno de Engenharia, Curso de Pos Graduacao em Engenharia Civil, Porto Alegre, 194 p.

Simoes M.L.O. (1993), Tramway \* Busway, D.E.S.S. d'Ingénierie Staristique et Numérique, Université de Lille I. Rapport de stage à l'INRETS-CRESTA, 98 p.

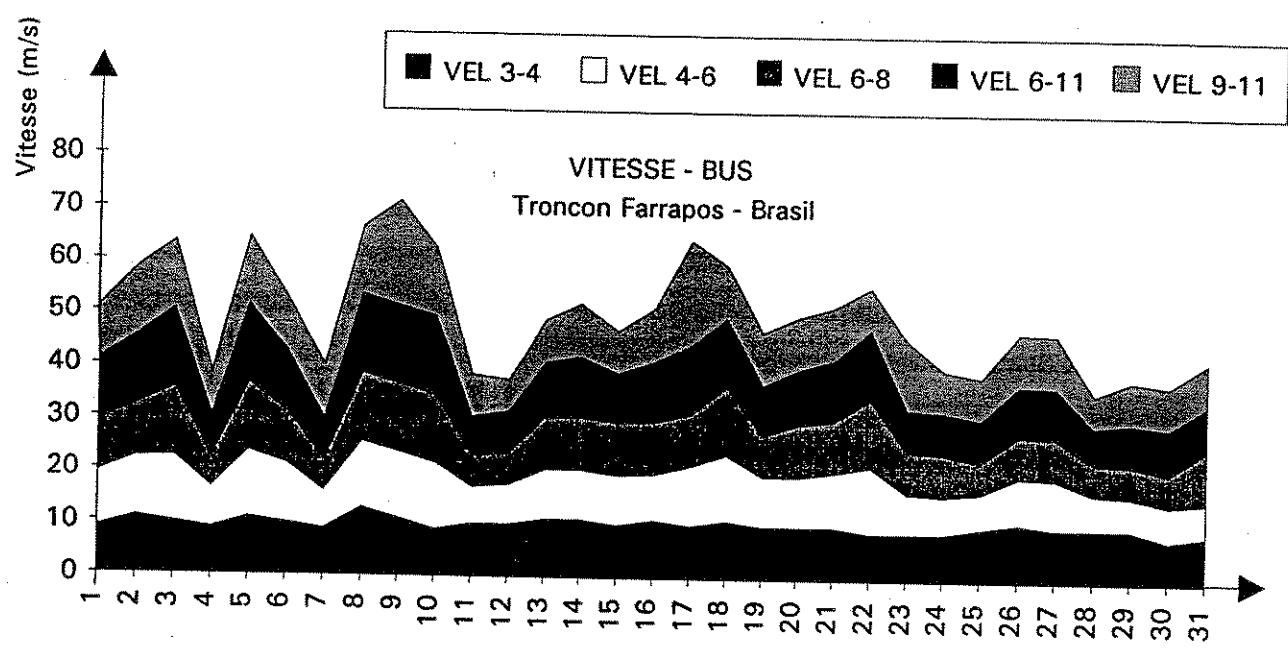
Szasz P. A. (1978), COMONOR : comboio de ônibus ordenado, Companhia de Engenharia de Trafego, Boletim Técnico 9, Sao Paulo, Brasil.

U.I.T.P. (1978) "Caractéristiques essentielles des principaux types d'autobus urbains rencontrés actuellement sur le marché mondial", Revue UITP, 4, Annexes, 313 -9p.

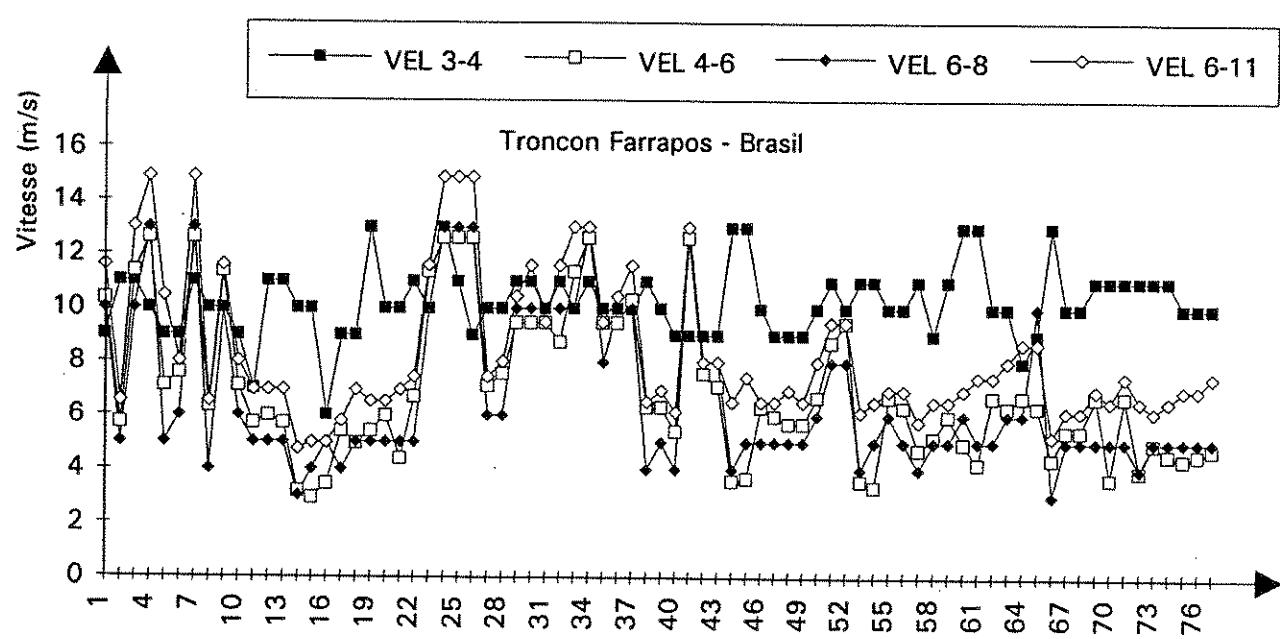
## ANNEXE

VITESSES OBSERVEES DANS UN TRONCON DE FARRAPOS					
N	VITESSES (m/s)				
	Point 3-4	Point 4-6	Point 6-8	Point 6-11	Point 9-11
2	9	10.33	10	11.58	10
22	11	11.36	10	13.03	13
26	10	12.62	13	14.89	13
39	9	7.57	6	8.02	8
40	11	12.62	13	14.89	13
55	10	11.36	10	11.58	10
68	9	7.1	6	8.02	10
121	13	12.62	13	14.89	13
128	11	12.62	13	14.89	20
130	9	12.62	13	14.89	13
134	10	7.1	6	7.45	8
135	10	7.57	6	8.02	6
137	11	9.47	10	10.43	8
138	11	9.47	10	11.58	10
148	10	9.47	10	9.48	8
149	11	8.74	10	11.58	10
151	10	11.36	10	13.03	20
155	11	12.62	13	13.03	10
162	10	9.47	8	9.48	10
167	10	9.47	10	10.43	10
168	10	10.33	10	11.58	10
184	9	12.62	13	13.03	8
188	9	7.57	8	8.02	13
189	9	7.1	8	8.02	8
208	10	6.68	6	8.02	8
209	11	8.74	8	9.48	10
210	10	9.47	8	9.48	10
220	10	6.68	6	6.95	6
243	10	6.31	6	8.02	8
244	8	6.68	6	8.69	8
245	9	6.31	10	8.69	8
MOYENNE	10.03	9.49	9.32	10.68	10.32
MAX	13.00	12.62	13.00	14.89	20.00
MIN	8.00	6.31	6.00	6.95	6.00
ECARTYPE	0.98	2.26	2.56	2.60	3.28

tableau 1



graphique 1



graphique 2

## LES EMPLACEMENTS DES STATIONS ET DES FEUX PAR RAPPORT A L'ORIGINE

COULOIR 7		COULOIR 8		COULOIR 9	
23 Stations	11 Feux	15 Stations	7 Feux	15 Stations	34 Feux
250	335	200	900	220	117
540	700	500	1828	490	249
810	1180	820	2788	920	385
1110	1550	1200	3742	1200	524
1390	2290	1602	4783	1602	664
1680	2940	1952	5787	1972	809
1920	3630	2341	6990	2341	956
2200	4360	2753		2773	1119
2450	5125	3235		3235	1301
2680	5925	3707		3800	1487
2900	6990	4149		4119	1680
3140		4631		4721	1873
3410		5091		5071	2072
3715		5741		5741	2261
4030		6641		6641	2456
4330					2659
4660					2870
4995					3097
5350					3279
5720					3473
6090					3698
6480					3928
6900					4155
					4367
					4607
					4854
					5102
					5356
					5607
					5848
					6113
					6373
					6663
					6990

tableau 2

Offsets pour onde verte (60)			
11 Feux	Vde = 11,3 m/s	Vde = 16,6 m/s	Vde = 6 m/s
Offset 1	30	20	56
Offset 2	5	44	2
Offset 3	44	11	19
Offset 4	26	39	35
Offset 5	23	18	22
Offset 6	20	57	10
Offset 7	21	39	5
Offset 8	26	23	7
Offset 9	34	9	14
Offset 10	44	57	28
Offset 11	19	1	25

Offsets pour onde verte (90)		
17 Feux	Vde = 8,65 m/s	Vde = 13,9 m/s
Offset 1	45	28
Offset 2	72	45
Offset 3	16	66
Offset 4	57	1
Offset 5	88	11
Offset 6	42	48
Offset 7	88	77
Offset 8	49	18
Offset 9	5	47
Offset 10	60	81
Offset 11	22	24
Offset 12	78	58
Offset 13	47	6
Offset 14	16	42
Offset 15	76	80
Offset 16	47	27
Offset 17	21	67

Offsets pour onde verte (90)		
8 Feux	Vde = 8,65 m/s	Vde = 13,9 m/s
Offset 1	89	55
Offset 2	85	19
Offset 3	1	79
Offset 4	18	55
Offset 5	30	29
Offset 6	54	9
Offset 7	76	80
Offset 8	21	67

tableau 3

Offsets pour onde verte (60)	
34 Feux	Vde = 11,3 m/s
Offset 1	10
Offset 2	22
Offset 3	34
Offset 4	46
Offset 5	59
Offset 6	12
Offset 7	25
Offset 8	39
Offset 9	55
Offset 10	12
Offset 11	29
Offset 12	46
Offset 13	3
Offset 14	20
Offset 15	37
Offset 16	55
Offset 17	14
Offset 18	34
Offset 19	50
Offset 20	7
Offset 21	27
Offset 22	48
Offset 23	8
Offset 24	26
Offset 25	48
Offset 26	10
Offset 27	31
Offset 28	54
Offset 29	16
Offset 30	38
Offset 31	1
Offset 32	24
Offset 33	50
Offset 34	19

Offsets pour onde verte (60)	
7 Feux	Vde = 11,3 m/s
Offset 1	20
Offset 2	42
Offset 3	7
Offset 4	31
Offset 5	3
Offset 6	32
Offset 7	19

VITESSE COMMERCIALE (Km/h)			
	Vehicule = 11 m		
Trait	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	15.1	14.6	15.4
2	17.2	16.4	16.6
3	15.2	15	15.3
4	14.7	14.5	14.9
5	12.1	11.5	11.5
6	13	12.6	12.8
7	15	14.9	15
8	12.5	12.4	12.4
9	13.7	13.4	13.4
10	14.1	13.5	13.6
11	13.6	14.1	13.7
12	12.6	12.7	12.3
13	14.2	14.1	13.9
14	13.9	13.7	14
15	12.3	11.9	11.8
16	11.4	11.6	11.2
17	11.5	11.4	11.4
18	18.4	18.6	18.8
19	16.4	16.4	16.4
20	14.4	14.2	14.2
21	17.9	18	18
22	20.9	20.7	21.3
23	15	14.9	15.3
24	14.5	14.7	14.6
25	13.2	13.3	13.3
26	18.2	17.4	18.9
27	16.9	16	16.5
28	16.4	15.7	16.7
29	12.8	12.9	13.1
30	12.8	14	13.3
31	15.9	16.1	16.3
32	13.6	13.5	14.2
33	13.6	13.7	13.7
34	14.3	14.2	14.3
35	15.3	14.6	14.4
36	12.9	13	13.6
37	17.4	16.8	17.6
38	13.5	13.6	14
39	16.5	16.4	16
40	13.6	13.5	13.3
41	16.5	16.2	16.7
42	16.9	16.3	17.7
43	10.8	10.8	11.2
44	15.9	15.7	15.1
45	13.5	13.3	12.9
46	16	15.7	15.7
47	13.6	13.6	13.5
48	15.1	14.6	15.4

tableau 4

tableau 5.1

Distribution du nombre de voyageurs qui monte dans chaque véhicule.										
15 STATIONS										
Fx = 250 ; De = 25000			Fx = 150 ; De = 16250			Fx = 350 ; De = 16250				
Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne				
St1	8.54	2.3	2.45	1.50	4.08	2.49	2.75	1.07	2.56	0.69
St2	8.04	2.3	2.83	1.50	4.72	2.49	2.59	1.07	2.41	0.69
St3	7.5	2	2.53	1.30	4.22	2.17	1.05	0.93	2.25	0.60
St4	9.15	2	4.95	1.30	8.25	2.17	2.25	0.93	2.75	0.60
St5	8.3	1.5	6.10	0.98	10.17	1.63	4.93	0.70	2.49	0.45
St6	6	1.5	5.25	0.98	8.75	1.63	6.32	0.70	1.80	0.45
St7	4.23	1	3.45	0.65	5.75	1.08	4.04	0.46	1.27	0.30
St8	4	1	4.30	0.65	7.17	1.08	4.93	0.46	1.20	0.30
St9	4	1.5	4.95	0.98	8.25	1.63	3.54	0.70	1.20	0.45
St10	3.38	1	3.55	0.65	5.92	1.08	2.54	0.46	1.01	0.30
St11	4.32	1.5	4.16	0.98	6.93	1.63	2.97	0.70	1.30	0.45
St12	6.62	1.5	3.65	0.98	6.08	1.63	2.61	0.70	1.99	0.45
St13	8.54	2	5.55	1.30	9.25	2.17	3.97	0.93	2.56	0.60
St14	7.57	2	4.92	1.30	8.20	2.17	3.51	0.93	2.27	0.60
St15	10.2	2.3	6.63	1.50	11.05	2.49	4.74	1.07	3.06	0.69

Distribution du nombre de voyageurs qui monte dans chaque véhicule.								
18 STATIONS								
Fx = 200 ; De = 11875		Fx = 300 ; De = 11875		Fx = 200 ; De = 20625		Fx = 300 ; De = 20625		
Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	
St1	5.96	2	1.07	1.33	8.56	3.47	1.86	2.32
St2	4.20	1.5	1.47	1.00	9.03	2.61	1.72	1.74
St3	6.20	1.5	1.13	1.00	10.77	2.61	1.18	1.74
St4	2.70	1	1.80	0.67	7.69	1.74	2.13	1.16
St5	3.50	1.5	2.33	1.00	7.08	2.61	2.05	1.74
St6	4.20	1.5	3.13	1.00	6.56	2.61	3.71	1.74
St7	3.93	1	3.95	0.67	5.09	1.74	5.39	1.16
St8	3.92	1	3.95	0.67	5.07	1.74	5.38	1.16
St9	2.70	1	3.13	0.67	3.95	1.74	4.97	1.16
St10	1.51	1	2.01	0.67	2.62	1.74	4.75	1.16
St11	1.82	1	2.21	0.67	3.16	1.74	5.11	1.16
St12	2.10	1	2.40	0.67	3.65	1.74	4.00	1.16
St13	2.11	1	1.41	0.67	3.66	1.74	3.44	1.16
St14	2.84	1	1.89	0.67	4.93	1.74	3.29	1.16
St15	2.00	1	1.33	0.67	3.47	1.74	2.32	1.16
St16	2.50	1	1.67	0.67	4.34	1.74	2.89	1.16
St17	3.00	1.5	2.00	1.00	5.21	2.61	3.47	1.74
St18	4.07	1.5	2.71	1.00	7.07	2.61	4.71	1.74

tableau 5.2

Distribution du nombre de voyageurs qui monte dans chaque véhicule.								
13 STATIONS								
Fx = 200 ; De = 11875		Fx = 300 ; De = 11875		Fx = 200 ; De = 20625		Fx = 300 ; De = 20625		
Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	Moyenne	Ecart	
St1	7.96	2.3	3.31	1.53	7.04	3.99	3.69	2.66
St2	6.40	2	4.60	1.33	9.59	3.47	4.73	2.32
St3	5.20	1.5	5.47	1.00	10.03	2.61	6.02	1.74
St4	4.20	1.5	4.13	1.00	7.56	2.61	4.71	1.74
St5	5.93	1.5	4.29	1.00	9.56	2.61	7.71	1.74
St6	3.92	1	1.95	0.67	8.07	1.74	6.38	1.16
St7	3.19	1	1.46	0.67	5.80	1.74	5.54	1.16
St8	2.82	1	1.21	0.67	6.16	1.74	6.11	1.16
St9	3.10	1.2	2.07	0.80	8.38	2.08	4.59	1.39
St10	4.11	1.5	2.74	1.00	8.14	2.61	4.76	1.74
St11	2.84	1.5	1.89	1.00	5.93	2.61	3.29	1.74
St12	3.00	1.5	2.00	1.00	5.21	2.61	3.47	1.74
St13	6.57	1.5	4.38	1.00	11.41	2.61	7.61	1.74

tableau 5.3

23 STATIONS		
Fx = 250 ; De = 16250		
	Moyenne	Ecart
St1	4.3	2.3
St2	3.4	2
St3	4.2	2
St4	5	2
St5	5.2	2
St6	4.8	1.5
St7	5	2
St8	4.4	1.5
St9	2.2	1.5
St10	0.9	1.5
St11	0.8	1.5
St12	1.5	1.5
St13	1.2	1.5
St14	1.3	1.5
St15	1.4	1.5
St16	1.5	1.5
St17	1.9	1.5
St18	2.3	1.5
St19	1.3	1.5
St20	2.5	1.5
St21	2.5	1.5
St22	3.5	2
St23	4.3	2

tableau 5.4

11 STATIONS		
Fx = 250 ; De = 16250		
	Moyenne	Ecart
St1	7.3	2.3
St2	6.4	2.3
St3	8.2	2
St4	7.4	2
St5	5.1	2
St6	4.3	1.5
St7	4.9	1.5
St8	4.4	2
St9	5.6	2
St10	5.5	2
St11	6.3	2

tableau 5.5

MATRICE DE L'EXPERIMENTATION									
Trait	Flux	Tmor	Tmon	Dem	Vde	Dst	Dfeu	Tveh	Tfeu
	veh	(s)	(s)	unites	(m/s)	(m)	(m)		
1	250	17.5	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
2	200	11.25	2.13	11875	8.65	525	800	a.c.i.	a.ov(90)
3	300	11.25	2.13	11875	8.65	525	400	s.c.o.	s.ov(90)
4	200	23.75	2.13	11875	8.65	375	800	s.c.o.	s.ov(90)
5	300	23.75	2.13	11875	8.65	375	400	a.c.i.	a.ov(90)
6	200	11.25	3.38	11875	8.65	375	400	a.c.i.	s.ov(90)
7	300	11.25	3.38	11875	8.65	375	800	s.c.o.	a.ov(90)
8	200	23.75	3.38	11875	8.65	525	400	s.c.o.	a.ov(90)
9	300	23.75	3.38	11875	8.65	525	800	a.c.i.	s.ov(90)
10	200	11.25	2.13	20625	8.65	375	400	s.c.o.	a.ov(90)
11	300	11.25	2.13	20625	8.65	375	800	a.c.i.	s.ov(90)
12	200	23.75	2.13	20625	8.65	525	400	a.c.i.	s.ov(90)
13	300	23.75	2.13	20625	8.65	525	800	s.c.o.	a.ov(90)
14	200	11.25	3.38	20625	8.65	525	800	s.c.o.	s.ov(90)
15	300	11.25	3.38	20625	8.65	525	400	a.c.i.	a.ov(90)
16	200	23.75	3.38	20625	8.65	375	800	a.c.i.	a.ov(90)
17	300	23.75	3.38	20625	8.65	375	400	s.c.o.	s.ov(90)
18	200	11.25	2.13	11875	13.9	375	400	s.c.o.	s.ov(90)
19	300	11.25	2.13	11875	13.9	375	800	a.c.i.	a.ov(90)
20	200	23.75	2.13	11875	13.9	525	400	a.c.i.	a.ov(90)
21	300	23.75	2.13	11875	13.9	525	800	s.c.o.	s.ov(90)
22	200	11.25	3.38	11875	13.9	525	800	s.c.o.	a.ov(90)
23	300	11.25	3.38	11875	13.9	525	400	a.c.i.	s.ov(90)
24	200	23.75	3.38	11875	13.9	375	800	a.c.i.	s.ov(90)
25	300	23.75	3.38	11875	13.9	375	400	s.c.o.	a.ov(90)
26	200	11.25	2.13	20625	13.9	525	800	a.c.i.	s.ov(90)
27	300	11.25	2.13	20625	13.9	525	400	s.c.o.	a.ov(90)
28	200	23.75	2.13	20625	13.9	375	800	s.c.o.	a.ov(90)
29	300	23.75	2.13	20625	13.9	375	400	a.c.i.	s.ov(90)
30	200	11.25	3.38	20625	13.9	375	400	a.c.i.	a.ov(90)
31	300	11.25	3.38	20625	13.9	375	800	s.c.o.	s.ov(90)
32	200	23.75	3.38	20625	13.9	525	400	s.c.o.	s.ov(90)
33	300	23.75	3.38	20625	13.9	525	800	a.c.i.	a.ov(90)
34	350	17.5	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
35	150	17.5	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
36	250	30	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
37	250	5	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
38	250	17.5	4	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
39	250	17.5	1.5	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
40	250	17.5	2.75	25000	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
41	250	17.5	2.75	7500	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
42	250	17.5	2.75	16250	16.6	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
43	250	17.5	2.75	16250	6	450	600	a.c.c.	a.ov(60)
44	250	17.5	2.75	16250	11.3	600	600	a.c.c.	a.ov(60)

45	250	17.5	2.75	16250	11.3	300	600	a.c.c.	a.ov(60)
46	250	17.5	2.75	16250	11.3	450	1000	a.c.c.	a.ov(60)
47	250	17.5	2.75	16250	11.3	450	200	a.c.c.	a.ov(60)
48	250	17.5	2.75	16250	11.3	450	600	a.c.c.	a.ov(60)