

# METRO DE LILLE



PLS/CG 82/

05/82

Note n° 1

Edition

Rédacteur<sup>s</sup> : PL. SMITH - JM PAUFIQUE

Date : FEVRIER 1982

2098

ETUDE MULTICRITERE DES STRATEGIES DE  
L'EXPLOITATION DE LA PREMIERE LIGNE  
DU METRO DE LILLE (V.A.L.)

# SOMMAIRE

	<u>Page</u>
I - <u>Résumé</u> . . . . .	4
II - <u>L'inspiration et les buts de l'étude</u> . . . . .	6
III - <u>Méthode d'Analyse</u> . . . . .	8
A. L'utilisation de l'informatique . . . . .	8
B. Les chiffres de base . . . . .	8
C. La répartition modale . . . . .	10
D. La séquence de l'analyse . . . . .	11
E. Les fonctions mathématiques . . . . .	12
IV - <u>Résultats du modèle</u> . . . . .	15
A. Discussion d'un échantillon des résultats . . . . .	15
B. Critique des résultats . . . . .	27
V - <u>Exploitation du modèle</u> . . . . .	29
A. Examen de 125 cas - Explication des tendances révélées . . . . .	29
B. A la recherche de la bonne méthode d'exploitation du mètre . . . . .	33
VI - <u>Conclusions et recommandations pour l'exploitation</u> . . . . .	41
A. Des facteurs qui interviennent . . . . .	41
B. La stratégie recommandée . . . . .	42
C. Recommandations générales . . . . .	44

DIAGRAMMES ET TABLEAUX

	<u>Page</u>
<u>DIAGRAMME N° 1</u> . . . . .	13
. Schéma de l'analyse	
<u>TABLEAU N° 1</u> . . . . .	16 - 18
. Echantillon d'un résultat du modèle	
Version interactive	
<u>TABLEAU N° 2</u> . . . . .	30
. Trois cas extrêmes des 125 stratégies	
d'exploitation testées	
<u>TABLEAU N° 3</u> . . . . .	34
. Essai systématique de huit stratégies	
d'exploitation	

.../...

SOMMAIRE - ANNEXES

EXPLICATION MATHEMATIQUE DE LA METHODE UTILISEE

A. Description du modèle et hypothèses retenues. . . . .	A 1
B. Description du modèle mathématique utilisé pour le calcul des répartitions modales. . . . .	A 12
C. Estimation des coûts d'exploitation de la ligne n° 1 du VAL. . .	A 27
D. Estimation du tarif moyen d'un déplacement sur la ligne n° 2 C.G.I.T. . . . .	A 34
E. Calcul des économies globales d'énergie réalisées par la C.U.D.L. après la mise en exploitation de la ligne n° 1 du Métro	A 35
F. Estimation des pourcentages de trafic de la ligne n° 2 C.G.I.T. par tranche horaire. . . . .	A 43

## I - RESUME

Ce rapport décrit les buts, les points de départ, les méthodes de conduite, les résultats et les recommandations synthétiques d'une analyse de l'exploitation de la première ligne du métro de LILLE (V.A.L.).

L'étude est destinée à identifier une bonne façon d'exploiter le métro, en prenant en compte :

- . la demande pour les transports en commun entre VILLENEUVE D'ASCQ, le centre de LILLE et son extrémité ouest, révélée par la ligne n° 2 de bus de la C.G.I.T. ;
- . la croissance du trafic liée à l'amélioration du coût et du temps de déplacement des voyageurs, conséquente à l'implantation du métro ;
- . comme variables indépendantes des valeurs alternatives du tarif moyen, et pour 5 tranches horaires l'intervalle entre les rames et les vitesses des rames ;
- . comme variables dépendantes le nombre de passagers attendu, le déficit de l'exploitation et les économies d'énergie, tous modes de transports compris.

L'horizon pris en compte est l'année 1985 lorsque le trafic du métro devra atteindre une certaine stabilité à court terme.

Le rapport explique un résultat échantillon sortant de l'ordinateur et tous les indicateurs qui sont calculé par le programme. Puis, un essai de 125 cas est effectué parmi ces 125 cas, 3 maximisent l'une ou l'autre des variables dépendantes. Un deuxième essai est effectué de 8 stratégies d'exploitation plus ou moins réalistes, qui comprennent toutes les combinaisons de deux valeurs chacune des variables indépendantes.

.../...

Les résultats sont critiqués, du point de vue des forces et des faiblesses des données et de la méthode d'analyse utilisée. Enfin, les tendances des variables révélées par l'analyse sont expliquées de manière synthétique. Le dernier chapitre présente une méthode pour identifier et affiner une bonne stratégie de l'exploitation de la première ligne du Métro.

Les rédacteurs recommandent que le Métro soit exploité :

- . à la vitesse de régime la plus élevée possible (60 Km/h) ;
- . aux intervalles relativement élevés, selon la demande actuelle et la politique à établir d'un niveau minimal du service acceptable pendant les heures creuses ;
- . à un tarif relativement bas.

.../...

## II - L'INSPIRATION ET LES BUTS DE L'ETUDE

L'étude a été inspirée par le souhait de trouver la meilleure façon d'exploiter la Ligne n° 1 du Métro afin de réaliser des économies d'énergie aussi importantes que possible. L'hypothèse retenue est qu'une partie du trafic du Métro sera produite par le transfert des voyageurs du mode voiture particulière vers le Métro. Pour réaliser l'étude, on a donc besoin au moins des estimations du trafic du Métro et de la voiture particulière, et du calcul des véhicules-kilomètres parcourus par le Métro.

Nous avons craint que l'utilisation du seul critère des économies d'énergie ne mène à des conclusions éloignées de l'exploitation réelle. Par exemple, la stratégie sélectionnée par une telle méthode pourrait être économe en énergie mais coûteuse en argent car conduisant à un déficit d'exploitation élevé. Deux autres critères ont donc été sélectionnés pour équilibrer l'évaluation : le déficit d'exploitation et le nombre de passagers attirés vers le Métro.

Les variables indépendantes retenues pour représenter la stratégie d'exploitation sont l'intervalle entre les rames, leur vitesse de pointe sur l'interstation, et le tarif moyen d'un trajet en métro.

L'étude multicritère est toujours destinée à estimer les impacts de l'exploitation, afin de :

. compléter et de vérifier ou éventuellement de corriger des études de trafic précédentes, qui n'ont pas examiné des façons différentes d'exploiter le Métro actuel, et qui ont à peine estimé le nombre total de voyageurs transportés. (Etudes de la SETEC Economie et de l'Université de Lille en 1971, de l'E.C.T. en 1974 et de la SOFRETU en 1976-77 et 1979-80) ;

.../...

- . estimer un ordre de grandeur de la consommation globale en énergie et du coût d'exploitation de la ligne ;

- . évaluer plusieurs stratégies d'exploitation de la ligne afin de suggérer la stratégie souhaitable en fonction des variables indépendantes retenues ;

- . esquisser les besoins d'une analyse plus précise et plus fiable de l'exploitation plus lointaine et d'autres lignes du Métro.

On aurait tort d'imaginer que les impacts futurs soient prévisibles en toute précision. Des méthodes modernes de prévision sont néanmoins capables de donner une première approximation des impacts pour évaluer les aménagements alternatifs.

Bien que l'estimation actuelle soit assez approximative, les résultats par rapport aux trois principaux critères semblent valables. Il faut cependant se rappeler des manques du modèle actuel, liés aux manques de données et à la simplicité de la méthode utilisée. Bien sûr, tout calcul de trafic doit être évalué en vue de ses forces et ses faiblesses car la prévision, ou plutôt l'estimation du trafic n'est pas une science exacte.

Les estimations des impacts secondaires et tertiaires, tels que le temps de déplacement gagné par les voyageurs, sont moins fiables parce qu'elles sont plus étroitement liées à la précision des calculs. Les buts qu'elles pourraient servir le mieux sont de mener une réflexion qualitative par rapport aux impacts plus difficiles à mesurer, et de suggérer les besoins d'une future analyse plus précise.

.../...



### III - LA METHODE D'ANALYSE

#### A - L'Utilisation de l'Informatique

Les chercheurs se sont servis de la rapidité de l'ordinateur pour effectuer l'analyse.

Deux programmes d'ordinateur ont été réalisés pour deux buts différents, tous les deux exploités sur un "mini-ordinateur" qui remplit des tâches variées au Service Métro de l'EPALE. Le premier programme fournit les résultats des analyses de nombreuses stratégies d'exploitation, où les valeurs des variables indépendantes sont déterminées par des boucles de programmation. Le deuxième programme fonctionne en mode interactif, ce qui veut dire que l'analyste entre les stratégies d'exploitation une à la fois en rechoisissant à chaque fois les paramètres de la stratégie à tester. Celui-ci sort un résultat très détaillé, destiné à l'examen approfondi de chaque stratégie précisée.

#### B - Les Chiffres de Base

Les données de base sont établies à partir d'une ligne de bus actuelle (la ligne n° 2) qui dessert les deux mêmes "couloirs" de déplacement urbain que la ligne n° 1 du Métro. Le nombre total des déplacements qui ont lieu suivant le tracé de la ligne du Métro est estimé à partir du trafic de la ligne de bus en 1976, et des chiffres de répartition modale venant de l'étude "Réorganisation des Transports Collectifs de la Communauté Urbaine de Lille", étude effectuée par la SOFRETU ; les rapports datent de 1976-1977.

.../...

L'étude traite les déplacements qui suivent le tracé de la ligne n° 1 du Métro, pendant une journée moyenne de la semaine. La journée est partagée en cinq tranches horaires, correspondant aux périodes de la journée plus ou moins homogènes par rapport à l'intensité du trafic des transports en commun. Cette répartition est essentielle parce qu'elle permet d'examiner des stratégies d'exploitation en tenant compte des intervalles et des vitesses différentes pour les heures de pointe, les heures creuses, etc... En principe le tarif, lui aussi, pourrait varier suivant les tranches horaires par une légère modification du programme d'ordinateur. Les tranches horaires sont les suivantes :

1. Hyperpointe : 7 H 30 - 8 H 30, 16 H 30 - 17 H 30
2. Pointe (restant) : 6 H 30 - 7 H 30, 8 H 30 - 9 H 30  
4 H 00 - 4 H 30, 17 H 30 - 19 H 30
3. Heures moyennes : 12 H 00 - 14 H 00
4. Heures creuses : 9 H 30 - 12 H 00, 14 H 00 - 16 H 30
5. Heures de frange : 5 H 30 - 6 H 30, 19 H 00 - 1 H 00

Ceci permet également de prendre en compte des caractéristiques différentes de trajets qui ont lieu pendant les différentes tranches horaires. Les motifs de déplacement différents qui dominent chaque tranche horaire impliquent des distances moyennes et des valeurs de temps (degré de hâte des voyageurs) différentes pour chacune. Par exemple, le déplacement typique en heures d'hyperpointe et de pointe a lieu entre la résidence et le travail ou l'école ; donc il correspond à une distance relativement longue et implique une valeur de temps relativement élevée.

Les caractéristiques de tous déplacements sont traitées en moyenne pour une tranche horaire donnée, ce qui est une des principales faiblesses de l'analyse. Le choix des moyennes utilisées est expliqué aux annexes B et D.

.../...

# C - La Répartition Modale

La méthode traite pour chaque tranche horaire, le nombre total de déplacements qui ont lieu suivant la ligne du Métro, donc disponibles pour être attirés par le Métro. Ces cinq nombres sont synthétiques, ayant leur origine dans le trafic actuel de bus, les répartitions modales données par SOFRETU pour toute l'agglomération, et les différences dans les niveaux de service offerts pendant les tranches horaires.

Les quatre modes parmi lesquels les déplacements étaient partagés sont les transports en commun, la voiture particulière, les deux roues et la marche à pied. Les chiffres de répartition modale utilisés sont ceux qui ont été estimés par la SOFRETU en 1976 pour l'agglomération entière, excepté la répartition de la marche à pied, dont le tiers de l'actuelle répartition était utilisée. Ceci prend en compte le fait qu'il n'y a qu'une partie des déplacements à pied qui est susceptible d'être attirée par le Métro. Ces répartitions modales de base sont :

Bus	9,4 %
voiture particulière	61,1
Marche à pied	12,6
Deux roues	16,8

-----

TOTAL	99,9 %
-------	--------

(erreur d'arrondissement)

.../...

Les vitesses moyennes des modes sont fournies par l'étude de l'E.C.T. de 1974, celle du Métro exceptée. Le coût monétaire moyen est fourni par l'étude de SOFRETU par rapport au mode bus, et estimé indépendamment pour les autres modes.

Comme il a été précisé ci-dessus, les totaux de déplacements pour toutes les tranches horaires sont répartis entre les quatre modes, ce qui néglige l'accroissement global dû à l'implantation du Métro. Cependant, l'inclusion des déplacements de la marche à pied tend à élargir le "marché" disponible, ce qui compense en quelque mesure ce manque. Cette analyse est donc distincte d'autres, qui ne prennent normalement en compte que les déplacements motorisés.

#### D - La Séquence de l'Analyse

Il s'agit d'un modèle de la demande et des diverses mesures de l'offre, telles que le kilométrage parcouru, le taux de remplissage des rames et le coût d'exploitation en découlant. On considère que le trafic du Métro varie en fonction des coûts pour le client potentiel, des temps d'attente et de parcours, non seulement du Métro mais aussi de tous les modes.

Cette fonction de la demande est établie (ou "calibrée") dans la première grande phase de l'analyse. Une fonction du coût généralisé est définie à partir du coût financier et du temps de déplacement pour chaque mode et chaque tranche horaire.

Puis, un coefficient de pénibilité est calculé ainsi que des coefficients pondérateurs pour tous les modes et pour toutes les tranches horaires.

.../...

La deuxième grande phase est celle du calcul du trafic. En effet, les paramètres de service (intervalle, vitesse, tarif) de la stratégie de l'exploitation du Métro à tester sont substitués à ceux du bus. Tous les coefficients déterminés pendant l'étape du calibrage sont appliqués pour recalculer les répartitions modales, puis le nombre de déplacements à partir des totaux de déplacements pour chaque tranche horaire.

#### E - Les Fonctions Mathématiques

Le modèle de la demande est basé sur une fonction exponentielle.

La formule est la suivante :

$$R(j) = \frac{e^{U(j)}}{\sum_{i=1}^n e^{U(i)}}$$

avec :

i = tous les modes disponibles

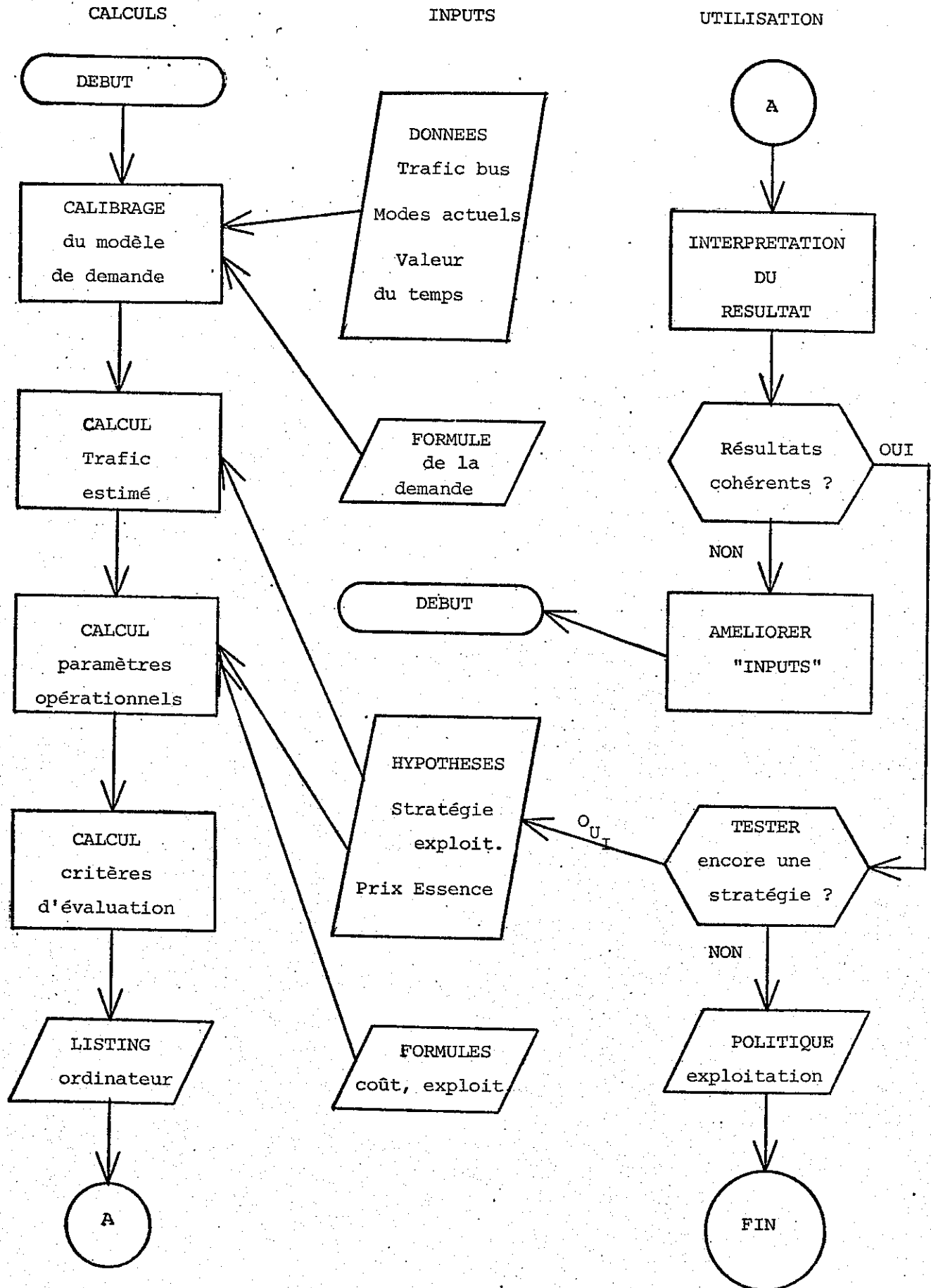
R(j) = répartition (proportion) des déplacements par mode j

e = constante mathématique (2,718)

U(j) = fonction linéaire du coût généralisé du mode j, autrement dit le coût en temps et en argent pour les voyageurs.

Pour calculer les chiffres financiers, le coût d'exploitation (pas le coût généralisé) est estimé selon une formule linéaire fournie par la Société Matra, à partir du nombre de véhicule-kilomètres, de passagers, de véhicules dans le parc, de la différence de véhicules en ligne entre les heures de pointe et les heures creuses, etc...

.../...

SCHEMA DE L'ANALYSE DES STRATEGIESd'EXPLOITATION DE LA LIGNE N° 1

L'énergie estimée comme économisée comprend tous les changements de mode après l'installation du Métro. Précisément, l'énergie consommée par le Métro est soustraite de celle qui était utilisée par les bus de la ligne remplacée, et celle qui était consommée par les voitures et les motos dont les conducteurs sont supposés prendre le métro maintenant.

Pour une explication plus complète des calculs et des coefficients utilisés, voir l'Annexe E ci-dessous.

.../...

#### IV - RESULTATS DE L'ANALYSE

##### A - Discussion d'un Echantillon des Résultats

Les 3 pages du Tableau Numéro 1, ci-après, présentent un listing de la version "interactive" du modèle, qui demande à l'utilisateur d'introduire les valeurs des variables d'exploitation en réponse aux questions posées par le programme d'ordinateur.

Une explication de ce listing servira à approfondir la connaissance du lecteur sur la nature du modèle et de montrer quels résultats il est capable de rendre. Cependant, on se rappelle que ce listing ne représente pas nécessairement une stratégie préférable à d'autres. Elle n'est présentée que comme échantillon.

##### 1°) "Cas Bus, Avant Métro"

Cette partie du résultat montre pour information les proportions de la répartition modale supposée dans l'année 1975, pour les déplacements qui suivent le tracé de la ligne n° 2 de bus, donc grossièrement de celui de la ligne n° 1 du Métro. Les répartitions modales pour les tranches horaires sont synthétiques, basées sur des chiffres de la répartition modale, toutes tranches horaires confondues, et des passagers de bus.

.../...



## ECHANTILLON D'UN RESULTAT

DU MODELE, VERSION INTERACTIVE

MODELE MULTICRITERE POUR L'EVALUATION  
DES STRATEGIES D'EXPLOITATION DU METRO V.A.L.,  
LIGNE NUMERO 1 (AN D'HORIZON 1985)

## \*\*\*\* CAS BUS, AVANT METRO \*\*\*\*

## REPARTITION MODALE PAR TRANCHE HORAIRE

	H.H	H.P	H.M	H.C	H.F
BUS	.0963	.0963	.084	.107	.0791
VOITURE PARTICULIERE	.633	.633	.591	.57	.628
MARCHE A PIED	.0779	.0779	.184	.182	.142
DEUX ROUES	.193	.193	.141	.141	.15

## REPARTITION MODALE TOUTES TRANCHES HORAIRES CONFONDUES

(DONNEES DE BASE, 1975)

BUS	.0944	PASSAGERS BUS
VOITURE PARTICULIERE	.611	JOURNALIERS
MARCHE A PIED	.126	
DEUX ROUES	.168	26500

## \*\*\*\* HYPOTHESE DU PRIX DE L'ESSENCE \*\*\*\*

VOULEZ VOUS MODIFIER LE PRIX HYPOTHETIQUE DE L'ESSENCE  
LE PRIX DE L'ESSENCE EST : 3.70 FRANCS (DU DEBUT DE 81)  
REPONDEZ PAR OUI OU NON? NON  
LE PRIX DE L'ESSENCE CHOISI EST: 3.7 FRANCS (DU DEBUT DE 81)

## \*\*\*\* MODIFICATION DES PARAMETRES RELATIFS AU METRO \*\*\*\*

VOULEZ VOUS MODIFIER LE TARIF MOYEN D'UNE COURSE  
MOYENNE EN METRO? (HYPOTHESE 2.35 FRANCS DU DEBUT DE 81)  
REPONDEZ PAR OUI OU NON? OUI  
TARIF MOYEN CHOISI (FRANCS(81)) ? 2.5

CHOISISSEZ L'INTERVALLE MOYEN ENTRE 2 RAMES (MINUTES).

INTERVALLE A L'HEURE D'HYPERPOINTE ? 2  
INTERVALLE A L'HEURE DE POINTE ? 2.3  
INTERVALLE A L'HEURE MOYENNE ? 4  
INTERVALLE AUX HEURES CREUSES ? 4  
INTERVALLE AUX HEURES DE FRANGE ? 8

CHOISISSEZ LA VITESSE DE POINTE A L'INTERSTATION (KM/H).

VITESSE DE POINTE A L'HEURE D'HYPERPOINTE ? 60  
VITESSE DE POINTE A L'HEURE DE POINTE ? 60  
VITESSE DE POINTE A L'HEURE MOYENNE ? 60  
VITESSE DE POINTE AUX HEURES CREUSES ? 60  
VITESSE DE POINTE AUX HEURES DE FRANGE ? 60

LE TARIF MOYEN D'UNE COURSE EN METRO EST: 2.5 FRANCS (81)

	H.H	H.P	H.M	H.C	H.F
INTERVALLE MOYEN	2	2.3	4	4	8
VITESSE DE POINTE	60	60	60	60	60

\*\*\*\* PRESENTATION DES RESULTATS \*\*\*\*

REPARTITION MODALE PAR TRANCHE HORAIRE

	H.H	H.P	H.M	H.C	H.F
METRO	.275	.272	.137	.184	.147
VOITURE PARTICULIERE	.5	.502	.551	.513	.574
MARCHE A PIED	.0654	.0657	.178	.172	.136
DEUX ROUES	.159	.16	.134	.131	.142

REPARTITION MODALE TOUTES TRANCHES HORAIRES CONFONDUES

METRO	.216	PASSAGERS METROS
VOITURE PARTICULIERE	.521	JOURNALIERS
MARCHE A PIED	.116	
DEUX ROUES	.147	60600

BILAN ENERGETIQUE DU METRO (EN TONNES-EQUIVALENTES DE PETROLE PAR JOUR NORMAL)

	GLOBALE (VENANT DE TOUTES SOURCES)			IMPORTEE (VENANT DE L'EXTERIEUR)		
	AVANT METRO	APRES METRO	ECON- OMIES	AVANT METRO	APRES METRO	ECON- OMIES
VOITURE PART.	55.2	46.4	8.8	55.2	46.4	8.8
DEUX ROUES	6.02	5.21	.812	6.02	5.21	.812
BUS	2	0	2	2	0	2
METRO	0	12.4	-12.4	0	10.3	-10.3
TOTAUX	63.2	63.9	-.744	63.2	61.8	1.36

KILOWATT-HEURES CONSOMMEES PAR LE METRO, PAR JOUR  
TRACTION 31300 PART FIXE 20000

BILAN FINANCIER DU METRO (Y COMPRISE L'EXPLOITATION UNIQUE)

COUT DE L'EXPLOITATION	118000	FRANCS PAR JOUR
BENEFICE OU DEFICIT	-19400	FRANCS PAR JOUR
TAUX DE COUVERTURE	.835	DU COUT DE L'EXPLOITATION

Suite

TABIEAU N° 1

- 17 -

**\*\*\*\* MESURES D'EVALUATION SUPPLEMENTAIRES \*\*\*\***

**TAUX D'OCCUPATION**

	H.H	H.P	H.M	H.C	H.F
TAUX D'OCCUPATION PAR T.H.	.482	.411	.233	.213	.135
TAUX D'OCCUPATION JOURNALIER			.317		

TAUX D'OCCUPATION MAXIMAL		.8			
PAR RAPPORT A LA CHARGE NORMALE					
PENDANT TRANCHE HORAIRE NUMERO 1					
DEBIT SUR L'INTERSTATION LA PLUS CHARGEE		2200			
PENDANT TRANCHE HORAIRE NUMERO 1					

PASSAGERS PAR 1 F COUT DE L'EXPLOITATION =	.516
PAR 1 F DEFICIT =	3.12
PAR ELEMENT-KILOMETRE =	7.41

**ECONOMIES DE L'ENERGIE IMPORTEE (T.-E. DE PETROLE)**

PAR 10 000 F COUT DE L'EXPLOITATION =	.115
PAR 10 000 F DEFICIT =	.698

**PASSAGERS - KILOMETRES**

PAR 1 F COUT DE L'EXPLOITATION =	2.75
PAR 1 F DEFICIT =	16.6
PAR ELEMENT-KILOMETRE =	39.6

**COUT DES DEPLACEMENTS AUX VOYAGEURS, TOUS MODES CONFONDUS**

(TOUS CHIFFRES EN FRANCS PAR JOUR)	AVANT METRO	APRES METRO	ECON- OMIES
COUT FINANCIER DES DEPLACEMENTS	811000	749000	61700
VALEUR DU TEMPS CONSOMME	.189E 07	.185E 07	31700
TOTAUX	.27E 07	.26E 07	93400
(VALEUR DE LA MOBILITE AUGMENTEE NON COMPRISE)			

**ECONOMIES VOYAGEURS MOINS DEFICIT DE L'EXPLOITATION = 74000 FRANCS**  
**PAR JOUR NORMAL**

## 2°) "Hypothèse du Prix de l'Essence"

Ceci est la première interrogation de l'usager, destinée à lui permettre d'examiner les impacts sur l'exploitation d'un prix de l'essence plus ou moins élevé. Le prix du gasoil est supposé le suivre. Le prix de l'essence détermine en partie le coût d'un déplacement en voiture ou en deux roues ; cela influence donc l'attrait du Métro.

Le prix est exprimé en Francs début 1981. Avec un taux d'inflation de 14 % en 1981, 3,70 Francs du 1/1/81 valent 4,22 Francs au 1/1/82. La valeur de 4,00 F/litre (toujours au 1/1/81) est utilisée pour les cas présentés ici et ci-dessous.

## 3°) "Modification des Paramètres Relatifs au Métro"

Il s'agit du tarif "moyen" et des intervalles et fréquences pour toutes les tranches horaires, dont l'ensemble représente la stratégie d'exploitation à tester.

Le premier paramètre est le tarif dit moyen. En effet, il s'agit du tarif normal moyen, prenant en compte la décomposition des titres différents et la distance moyenne du voyage. Il n'est pas le même :

- que celui payé par les voyageurs (car quelques titres sont subventionnés par les universités)

- que la recette moyenne, qui ne comprend pas la T.V.A. et qui est partagée avec le réseau bus pour les voyages en correspondance.

.../...

Ces différences sont prises en compte dans les calculs du coût généralisé et des recettes.

Le tarif du départ (hypothèse 2.35 Francs) est le tarif moyen calculé pour la ligne de bus actuel (Ligne n° 2, C.G.I.T.), qui suit une grande partie du tracé de la ligne n° 1 du Métro (selon l'analyse SOFRETU 1975).

Pour le reste de cette partie du listing, l'utilisateur du modèle est interrogé afin d'entrer les intervalles entre rames et les vitesses de pointe, de la même manière pour les cinq tranches horaires. Il s'agit de la vitesse de pointe, soit la plus grande vitesse atteinte par les rames sur une interstation. Le calcul implique en outre l'hypothèse que les rames circulent selon une régularité parfaite pendant une tranche horaire donnée.

Enfin, l'ordinateur imprime un résumé des paramètres composant la stratégie d'exploitation à tester.

#### 4°) "Présentation des Résultats"

La répartition modale est présentée par tranche horaire et ensuite toutes tranches horaires confondues. La présentation par tranche horaire permet de vérifier que les répartitions modales correspondent à ce qu'on obtiendrait en se référant aux différents niveaux de service offerts d'une tranche horaire à une autre, aux différentes longueurs de voyage et aux valeurs de temps de parcours que le modèle est capable de traiter, par tranche horaire.

La répartition modale toutes tranches horaires confondues montre à l'utilisateur le contraste entre les répartitions avant le Métro et après.

.../...

Le chiffre suivant, celui des passagers journaliers, est bien sûr plus intéressant du point de vue de l'exploitation du Métro. Il est présenté arrondi jusqu'à la centaine la plus proche.

Les chiffres présentés correspondent à un jour ouvrable moyen ; donc il faut multiplier par environ 300 pour obtenir le trafic, le coût et le déficit, et l'économie d'énergie annuels.

L'Energie "Globale" et l'Energie "Economisée".

On pourrait beaucoup discuter des chiffres du bilan énergétique ; il suffit d'expliquer les points principaux :

Le lecteur remarquera que le résultat comprend deux mesures de l'énergie économisée. La première (dite globale) fait le bilan de l'énergie consommée après et avant l'installation du Métro, tous modes de transport et toutes sources d'énergie pris en compte. La deuxième (dite importée) considère que la consommation d'énergie des sources importées entraîne davantage d'inconvénients pour la société française, notamment vis à vis du déficit du commerce extérieur.

La seule différence entre les deux mesures est liée au fait que le Métro utilise de l'électricité qui vient en partie des sources de l'intérieur de la France, tout (ou presque tout) pétrole étant importé. Selon l'EDF, les sources non importées comprendront en 1985 le sixième du charbon qu'elle consommera et le nucléaire.

Même si l'uranium est importé, son coût est cependant peu élevé par rapport au prix de revient du kWh nucléaire. On ne prend pas en compte, à cause de leur complexité, d'autres éléments politiques liés aux centres nucléaires.

L'EDF nous a fourni au printemps de 1981 des estimations de l'importance de l'énergie provenant des différentes sources, consommée par le Métro en 1985 et en 1990. Bien sûr, ces estimations ont été faites en supposant que la politique énergétique de l'époque soit poursuivie.

D'un point de vue économique, ce sont des mesures marginales, et qui sont liées à l'heure de la journée pendant laquelle la consommation a lieu.

On a estimé à partir des chiffres de l'EDF, les proportions de l'énergie venant des sources extérieures utilisées par le Métro de Lille :

5/6 en 1985

1/3 en 1990

Ces chiffres sont toutefois à utiliser avec précaution car ils sont étroitement liés à un certain nombre d'hypothèses ; il est ainsi supposé que la structure de la courbe de charge d'une journée donnée est conservée tout au long de l'année quelque soit la stratégie d'exploitation du Métro.

Le rapport entre l'énergie "globale" consommée par le Métro et l'énergie "importée" est donné dans le tableau intitulé "Bilan Energétique du Métro". Pour la stratégie d'exploitation utilisée et l'année cible de 1985 ce rapport de 5/6 change le bilan de négatif en positif. Dans la mesure où l'EDF disposera de sources non importées plus importantes dans les années prochaines, le Métro économisera de plus en plus d'énergie venant des sources importées.

.../...

### Calculs de l'Energie, Modes de Transports Urbains

Les tableaux du bilan énergétique révèlent quelques unes des présomptions retenues par rapport à la consommation de l'énergie pour chaque mode. Ces présomptions sont relativement "optimistes" et les chiffres de l'énergie économisée doivent être regardées comme des maxima.

Les économies réalisées au niveau de la voiture particulière et des deux roues après la mise en service du Métro sont traitées de la même façon. Leur consommation de carburant est réduite en proportion de leurs "pertes" de voyageurs attirés vers le Métro. Ceci implique, surtout par rapport à la voiture particulière, la présomption que le véhicule libéré ne soit pas utilisé par un autre membre de la famille en substitution, ce qui ne conduirait pas à une économie d'énergie. Dans la mesure où un nombre significatif de familles possède plus d'une voiture, la proportion de ce recul serait faible ; néanmoins, elle serait probablement supérieure à zéro.

Par rapport à la consommation des bus, le calcul est basé sur la notion que le Métro se substitue à la ligne n° 2 de bus. En fait, ces bus seront exploités ailleurs ; mais cela sera du service additionnel qui ne doit pas figurer dans le calcul pour la zone urbaine desservie par le Métro. Il est cependant vrai qu'il y aura des services de rabattement significatifs liés au Métro ; le carburant qu'ils consommeront n'a pas été pris en compte.

### Le Bilan Financier du Métro

Les trois chiffres présentés font partie du troisième grand critère d'exploitation du Métro. Il faut souligner que seul le coût d'exploitation est traité.



### 5°) "Mesures d'Evaluation Supplémentaires"

Ce sont des mesures destinées soit à confirmer la cohérence interne du modèle soit à suggérer pour l'avenir des méthodes d'évaluation plus sophistiquées.

#### Les Taux d'Occupation

Pour ce qui est des taux d'occupation, il s'agit premièrement de vérifier que le Métro n'est pas surchargé. Deuxièmement, l'utilisateur peut affiner les intervalles testés par rapport aux taux d'occupation souhaités, en prenant en compte l'effet sur le trafic des temps d'attente plus ou moins longs. Le chiffre "taux d'occupation maximale par rapport à la charge normale" est le plus important parce qu'il ne doit pas dépasser 1,0 pour que le trafic sur le tronçon le plus chargé ne surcharge pas le Métro. La charge normale (125 personnes/rame) est utilisée comme base de comparaison, l'écart de capacité entre elle et la charge exceptionnelle restant en réserve pour les fluctuations de jour à jour ou pendant la même tranche horaire.

Le chiffre du débit maximal est dérivé du débit maximal de la ligne n° 2 de bus. En effet, le débit maximal du Métro est considéré comme plus grand que celui de la ligne de bus, de la même proportion que le trafic du Métro pendant l'heure d'hyperpointe est plus grand que celui de bus.

Il est intéressant de noter, même pour cette stratégie échantillonnée, que l'estimation du débit sur l'interstation la plus chargée, 2300 passagers/heure, est cohérente avec celle de la SOFRETU (2419), dans son rapport de 1977. ("Réorganisation des Transports Collectifs de la Communauté Urbaine de Lille, Rapport des Phases B & C , Prévision de Trafic 1985"). On reprendra ce sujet plus tard.

### Mesures du Rendement Economique du Service

Les trois titres suivants traitent des ratios des mesures du service, qui pourraient être utilisés également pour évaluer les stratégies d'exploitation. En effet, les huit mesures présentées sont les inverses des "prix" d'un "produit". La Commune Urbaine pourrait donc choisir une mesure donnée soit qui maximise une mesure donnée soit qui la laisse s'approcher au plus près d'un niveau jugé optimal.

On pourrait même calculer des mesures marginales pour faire une analyse plus rigoureuse du point de vue de la définition micro-économique de l'efficacité économique. Ceci n'a pas été fait à cause de l'incertitude liée aux indicateurs produits par ce modèle très agrégé : un ratio entre deux des tels indicateurs est encore moins fiable que chacun des indicateurs.

### Coût des Déplacements des Voyageurs

L'économie du coût des déplacements des voyageurs est une mesure partielle du bénéfice gagné par les voyageurs. Elle comprend deux éléments principaux : l'écart entre le coût financier pour prendre le Métro et le mode pris avant le Métro ; et le temps ainsi économisé, pondéré par sa valeur. La valeur du temps a été établie lors de l'étape du calibrage du modèle, et dépend de la tranche horaire. La moyenne est environ 18 Francs par heure, mais le temps d'attente est pondéré par un facteur deux.

Il faut souligner que cette mesure est incomplète, ne comprenant pas des bénéfices tels que le risque réduit des accidents en Métro par rapport à la voiture et les deux roues, le gain de confort du Métro par rapport aux bus et surtout le gain de mobilité créé par les déplacements induits ou "nouveaux".

.../...

### Economies Voyageurs Moins Déficit

Le déficit d'exploitation est soustrait de l'économie du coût des déplacements. La mesure qui en résulte exprime une partie des bénéfices nets d'exploitation. Ceci, complété par des mesures d'autres bénéfices, pourrait servir à évaluer la rentabilité de l'investissement pour le Métro.

### Fiabilité des "Mesures d'Evaluation Supplémentaires"

Comme il a été constaté ci-dessus, chacun des chiffres utilisés dans cette partie du rapport n'est précis qu'avec un intervalle de confiance assez large. Tous, sauf les taux d'occupation des rames, dépendent de deux chiffres ou davantage, estimés à partir du modèle de la demande très agrégé et donc très approximé.

Le but de ces mesures supplémentaires est surtout de montrer des méthodes d'évaluation plus sophistiquées, qui pourraient être utilisées pour un modèle de demande plus précis.

Seul les taux d'occupation sont assez fiables pour pouvoir être analysés en profondeur. Ceci est lié au fait qu'ils ne dépendent que du nombre de passagers-kilomètres et du nombre de véhicules-kilomètres. Ils ne dépendent ni du nombre de déplacements des autres modes, ni de facteurs plus ou moins abstraits et arbitraires comme la valeur du temps (sauf dans la mesure où ce concept sert à l'estimation du trafic du Métro).

Par exemple, le taux maximal de l'échantillon du résultat déjà traité est de 0,8. Si le trafic actuel en 1985 pour cette interstation et cette tranche horaire n'excède pas la marge d'erreur de 25 % par rapport au trafic estimé, le système supportera l'intervalle de 2,0 minutes par des rames d'un seul élément à l'heure d'hyperpointe.

.../...

## B - Critique des Résultats

Du point de vue économique, le modèle produit une série de mesures assez complète de l'exploitation du Métro, ce qui permet d'évaluer directement le résultat sans faire d'analyse supplémentaire. On peut donc examiner des différences très fines dans les variables composant les stratégies, pour identifier les tendances produites.

Les inconvénients du modèle sont principalement provoqués par sa nature agrégée vis à vis de la clientèle et des déplacements qu'ils font. Cela veut dire que le modèle est incapable d'évaluer d'une manière fine les correspondances, le phénomène des captifs, les différences de distance de déplacement ou une politique de tarification de plus d'un niveau. Il ne peut pas non plus évaluer l'effet des améliorations de confort, de l'information fournie au public ou des perturbations du service.

La différence principale entre les analyses précédentes du Métro et ce modèle multicritère est qu'il est conçu pour examiner les différentes façons d'exploiter, tandis que les précédentes étaient généralement conçues pour identifier le débit maximal pendant l'heure de pointe. Ce modèle est nécessairement désagrégé par rapport aux heures de la journée, tandis que les autres sont désagrégées plutôt par rapport aux zones urbaines.

Si les attributs du service du Métro sont ici décrits d'une manière assez fine, les autres données ne sont prises en compte qu'en moyenne. Elles sont principalement de deux genres, le trafic de bus dans le cas "avant Métro", et la répartition modale pour toute l'agglomération. Ce dernier n'est peut-être pas identique à la répartition modale des déplacements suivant la ligne n° 1 du Métro, comme les formules du modèle le présument.

.../...

De plus, la ligne n° 2 de bus n'était pas tout à fait congruente à la ligne du Métro, du point de vue des antennes desservies et de la partie ouest de la ligne qui se trouvait quelques rues plus loin de la ligne du Métro.

Modèle de répartition modale, il n'est pas capable de prendre en compte les déplacements induits représentant un accroissement de mobilité au sens absolu. On se rappelle que le trafic actuel des nouveaux métros de LYON et MARSEILLE est significativement plus important que prévu, à cause de ce phénomène des déplacements induits. Les résultats produits par le présent modèle sont donc probablement conservateurs par rapport aux niveaux du trafic, des recettes et de l'occupation des rames.

Bien qu'on doive interpréter les chiffres produits par le modèle comme des estimations limitées par les caractéristiques des données et du calcul, on peut utiliser ces résultats pour éclairer les matières en question et pour identifier les grandes tendances qui jouent sur l'exploitation d'un tel Métro. Le chapitre suivant tente de tirer le maximum possible des résultats obtenus.

.../...

## V - EXPLOITATION DU MODELE

Pour découvrir les tendances des critères d'évaluation en fonction des paramètres d'exploitation, deux essais ont été faits. Le premier consistait à calculer des résultats pour 125 stratégies d'exploitation différentes, en faisant varier les fréquences, les vitesses, et le tarif. Puis trois cas ont été sélectionnés : ils donnent les résultats les plus favorables par rapport à chaque critère d'évaluation. Les conclusions à tirer de cet essai sont expliquées par la suite.

Les stratégies d'exploitation spécifiées pour l'examen des 125 cas comprennent des stratégies qui ne sont pas nécessairement réalistes, mais permettent de révéler les tendances du modèle.

Le deuxième essai compare d'une manière plus fine les huit combinaisons de deux valeurs de chaque paramètre de l'exploitation (tarif, intervalle, vitesse). Les valeurs utilisées y sont réalistes. Enfin, quelques principes sont précisés pour choisir une bonne stratégie d'exploitation.

### A - Sélection de Trois Cas Extrêmes -- Explication des Tendances

Les valeurs des critères d'évaluation (soient les nombres de passagers, le déficit d'exploitation et les économies d'énergie) varient sensiblement suivant les trois cas.

Le premier résultat, choisi pour le nombre de passagers le plus élevé, entraîne une perte nette de l'énergie. Le déficit entraîné est élevé également, soit 70.700 F par jour pour un taux de couverture du coût d'exploitation de 50 % seulement.

Par contre, le deuxième cas présente un bénéfice de 13.000 F/jour. Son bilan énergétique est presque neutre, mais il comprend un trafic bas, soit 56.700 passagers/jour. Ce niveau-ci de trafic est 22 % moins élevé que le précédent.

Enfin, le troisième résultat réalise un gain significatif de l'énergie économisée. Cependant, la pénalité associée à ce gain paraît assez élevé, soit un déficit de 49.800 F/jour (taux de couverture 54 %) et un trafic bas de 59.300 passagers/jour.

TABLEAU N° 2 - STRATEGIES D'EXPLOITATION DU V.A.L.

TROIS CAS EXTREMES DES 125 TESTS

VARIABLES CONTROLEES PAR L'EXPLOITANT  
OU PAR LA COLLECTIVITE

CRITERES D'EVALUATION  
- Tous chiffres journaliers -

CAS	Intervalles (minutes)					Vitesses (km/h)					Tarif (F 1981)	Passagers	Déficit (F 1981)	Econ. En. Importée (T.E.P.)
	HH	HP	HM	HC	HF	HH	HP	HM	HC	HF				
1	1	1,5	2	2,5	3	70	70	70	70	70	1,5	72.600	70.700	-2,4
2	2	3	4	5	6	70	70	70	70	70	3,5	56.700	13.100 bénéfice	0,3
3 *	3	4,5	6	7,5	9	45	45	45	45	45	1,5	59.300	49.800	4,4

\* Taux d'occupation maximal = 1,29

Ces trois cas extrêmes sont irréalistes parce que le VAL ne roule pas à 70 km/h de vitesse de régime, et parce qu'il apparaît qu'un tarif moyen de 3,5 F (4,0 F au début de 1982) ne serait pas accepté par le public. Néanmoins, leur examen amène à se rendre compte que le choix d'une stratégie d'exploitation par un seul critère risque de dégrader sérieusement l'exploitation par rapport aux autres critères.

La bonne stratégie d'exploitation sera donc un compromis parmi différents buts concurrentiels. Ceci implique l'existence d'une méthode permettant de les équilibrer, soit une méthode mathématique soit une méthode qui emploie l'intuition professionnelle.

Le modèle présent est théoriquement capable de rechercher un optimum mathématique parmi les différents critères d'évaluation, selon un principe précis pour les équilibrer. Cependant, l'incertitude liée au manque de précision des données rend cette approche peu fiable par rapport à l'exploitation réelle. Néanmoins, les analystes ont fait un essai plus rigoureux que celui des trois cas extrêmes, pour mettre en valeur le modèle multicritère en précisant quelques principes permettant de choisir une (sinon la) bonne stratégie d'exploitation.

#### 1°) Par Rapport au Trafic

Le trafic journalier estimé par le modèle varie parmi les trois cas choisis en fonction des paramètres de l'exploitation entre 59.000 et 73.000 par jour normal.

Les tendances observées consécutives aux variations des paramètres d'exploitation vont toujours dans le sens attendu : le trafic tend à croître avec une diminution des intervalles (donc du temps d'attente), une baisse du tarif moyen ou une augmentation de la vitesse (diminution du temps de parcours).

.../...



## 2°) Par Rapport au Coût et au Déficit

Les nombreuses stratégies testées comprennent d'importants écarts d'intervalle, donc de fréquence des rames. Cependant, pour les trois cas extrêmes dont l'intervalle le plus important est trois fois plus important que l'intervalle le plus faible, le coût d'exploitation estimé ne varie qu'entre 107.000 et 141.000 Francs par jour, soit 32 %. Ceci est lié au fait que le métro automatique entraîne un faible pourcentage de coûts variables par rapport aux coûts fixes.

Bien que la part variable du coût d'exploitation soit faible, elle dépend largement des intervalles : des intervalles faibles entraînent plus de véhicules-kilomètres donc plus de coût. Il y a cependant un effet secondaire en fonction de la vitesse dont la variation entraîne plus ou moins de véhicules en ligne.

Le taux de couverture des coûts par les recettes, étant très sensible au niveau du tarif, est théoriquement capable de varier de zéro à plus de cent pour cent, suivant la politique tarifaire. Bien sûr, de telles variations de tarif entraînent des variations de trafic, de manière inverse.

## 3°) Par Rapport aux Economies d'Energie

Parmi les trois cas, les économies de l'énergie importée varient entre -2,4 et 4,4 tonnes- équivalents de pétrole par jour. Selon ces résultats, il est évident que le Métro n'économisera pas nécessairement de l'énergie. Parce que l'analyse ne prend en compte ni la consommation par les services de rabattement bus ni l'utilisation de la voiture par un autre membre de la famille que celui qui vient de prendre le Métro, ces mêmes chiffres doivent être regardés comme optimistes.

.../...

Les conditions qui favorisent les économies d'énergie sont :

- L'attraction d'un nombre suffisant de passagers, dont une certaine part ne prend plus la voiture. Ceci est lié à un tarif bas, des intervalles réduits et des vitesses élevées.

- La consommation limitée d'électricité par le Métro lui-même, qui est liée naturellement aux intervalles élevés (moins de véhicules-kilomètres) et aux vitesses réduites (meilleur rendement de la machine à la vitesse de pointe dans l'interstation, et une période d'accélération plus courte).

Le tableau n° 2 résume les résultats de ces trois cas.

B - A la Recherche d'Une Bonne Méthode d'Exploitation du Métro

Le tableau n° 3 à la page suivante présente en forme résumée les résultats de l'essai de huit stratégies d'exploitation. Elles étaient conçues pour tester systématiquement un niveau bas et un niveau élevé, de tous les trois paramètres d'exploitation. Il y a ainsi deux séries d'intervalles, deux vitesses de pointe et deux niveaux de tarif, dont toutes les combinaisons sont testées.

Comme pour l'essai des 125 cas, le prix de l'essence a été gardé à 4 Francs au 1/1/81, soit 4 F 56 au 1/1/82.

Pour ne pas trop compliquer l'analyse, on n'a pas exploité le modèle en examinant aussi systématiquement les variations de l'intervalle et de la vitesse par tranche horaire. La vitesse a été maintenue constante pour toutes les tranches horaires. Les intervalles suivent des ratios semblables entre les tranches horaires, pour les deux niveaux testés. Ces ratios ont été établis à la suite d'essais plus nombreux mais moins systématiques, seulement pour trouver des rapports cohérents.

.../...

TABLEAU N° 3 - STRATEGIES D'EXPLOITATION DU V.A.L.

ESSAI SYSTEMATIQUE DE HUIT STRATEGIES

VARIABLES CONTROLEES PAR L'EXPLOITANT  
OU PAR LA COLLECTIVITE

CRITERES D'EVALUATION

- Tous chiffres journaliers -

Intervalles (minutes)

Vitesses (km/h)

Tarif

Déficit

Econ. En,  
Importée

CAS

HH

HP

HM

HC

HF

HH

HP

HM

HC

HF

(F 1981)

Passagers

(F 1981)

(T.E.P.)

CAS	HH	HP	HM	HC	HF	HH	HP	HM	HC	HF	Tarif (F 1981)	Passagers	Déficit (F 1981)	Econ. En, Importée (T.E.P.)
1	1,5	1,5	3	3	6	60	60	60	60	60	2,35	64.700	30.000	0,2
2	1,5	1,5	3	3	6	50	50	50	50	50	2,35	63.000	33.100	0,9
3 *	2,3	2,3	5	5	10	60	60	60	60	60	2,35	61.100	21.300	2,6
4	2,3	2,3	5	5	10	50	50	50	50	50	2,35	59.500	24.100	2,9
5	1,5	1,5	3	3	6	60	60	60	60	60	2,6	63.300	21.900	-0,2
6	1,5	1,5	3	3	6	50	50	50	50	50	2,6	61.600	25.200	0,5
7	2,3	2,3	5	5	10	60	60	60	60	60	2,6	59.800	13.700	2,3
8	2,3	2,3	5	5	10	50	50	50	50	50	2,6	58.100	16.700	2,6

\* Taux d'occupation maximal = 0,939

### 1°) Comparaison des Cas

Le premier cas représente le niveau de service le plus haut par rapport aux voyageurs parmi les cas jugés réalistes. Les intervalles sont les plus courts (correspondant au moins de temps d'attente) évalués ; la vitesse est la plus élevée (qui entraîne donc moins de temps de parcours) ; et le tarif est le plus bas (2,35 F au 1/1/81 soit 2,68 F au 1/1/82).

Comme on l'attendait, cette stratégie entraîne le trafic le plus important des huit cas. Cependant, le déficit d'exploitation est assez élevé, soit 30.000 Francs par jour pour un taux de couverture de 77 %. L'économie de l'énergie entraînée (0,2 T.E.P. par jour) semble négligeable.

Le deuxième cas ne se distingue du premier que par une vitesse de pointe moins élevée, destinée à faire des économies d'énergie. L'économie d'énergie ainsi effectuée par rapport au dernier cas est de l'ordre de 0,7 T.E.P. par jour (sources importées). Ceci paraît une amélioration radicale par rapport au chiffre de 0,2 du premier cas ; mais on risquerait de se tromper dans la comparaison si on ne se rappelait pas en même temps que :

- C'est la mesure de l'énergie "importée" qui est ainsi augmentée tandis que l'énergie venant de toutes sources est en perte pour les deux cas ;

- Une légère modification des présomptions par rapport à l'utilisation des voitures libérées par les nouveaux voyageurs du Métro modifierait les deux chiffres de plusieurs T.E.P. par jour ;

.../...

- La consommation de l'énergie est mélangée pour tous les modes. Entre les deux cas, l'énergie consommée par le Métro (des sources importées) est réduite de 1,1 T.E.P. ou 8,77 %, en faisant circuler les rames à vitesse réduite. La différence entre le gain réalisé par le Métro et le gain tous modes s'explique par la réduction du nombre de passagers, conséquent à l'augmentation du temps de parcours.

Le troisième cas est identique au premier si ce n'est vis à vis des intervalles plus importants entre les rames. Le résultat comprend une diminution du nombre de passagers, de 64.700 à 61.100 par jour, soit de 5,6 %. Cependant, le déficit d'exploitation est réduit de 8.700 F/jour et les économies d'énergie augmentées par 2,4 T.E.P.

S'onn'avait que le seul but de faire des économies d'énergie, l'augmentation de l'intervalle semblerait le moyen le plus efficace pour le faire, plutôt que de limiter la vitesse. Les deux mesures amènent une diminution du trafic, mais l'augmentation de l'intervalle réduit le déficit d'exploitation tandis que la limitation de vitesse l'augmente.

Le cas numéro 5 représente un changement uniquement du tarif par rapport au cas numéro 1. Les effets principaux par rapport aux trois critères d'évaluation sont une réduction significative du déficit (de 8.100 F/jour ou 27 %) et une réduction des économies d'énergie importée de 3,1 T.E.P. Le trafic n'est que légèrement réduit, de 64.700 à 63.300 par jour.

Un calcul de l'élasticité du trafic par rapport au tarif, révélé par le modèle, suggère que la perte de trafic est peut-être sous-estimée. Bien que le coefficient d'élasticité qui en résulte, -0,21 à -0,22, soit moins important que ce qu'on attend normalement, le coefficient de -0,27 trouvé par le E.C.T. en 1973 tend à le vérifier.

.../...

## 2°) Le choix du Meilleur Cas

Il est difficile de concevoir qu'un des cas déjà examinés puisse être le meilleur, c'est-à-dire l'optimum, parce qu'il y a beaucoup de cas possibles qui n'ont pas été testés. De plus, pour sélectionner un cas optimum il faudrait appliquer un algorithme ou une méthode systématique, qui comparerait tous les cas selon un critère ou une règle de sélection.

Cette comparaison n'a pas été faite parce que l'évaluation de tous cas possibles entraînerait une analyse beaucoup trop lourde.

D'abord , la règle unique pour choisir parmi les cas n'existe pas. Par contre nous avons fait une comparaison basée sur trois règles ; nous n'avons pas proposé une algorithme ou une règle pour les intégrer. C'est en effet le rôle des élus, qui sont responsables pour diriger la politique de l'exploitation des transports en commun.

Néanmoins, quelques jugements prévisionnels semblent raisonnables, profitant des échanges entre les trois critères relativement avantageux. Autrement dit, lorsqu'une stratégie différente entraîne un gain important par rapport à un critère et une petite perte par rapport aux autres, le changement semble intéressant.

En plus des tendances intéressantes, il faut prendre en compte également les limites absolues imposées soit par la technologie du V.A.L. soit par des décisions politiques. Celles-ci peuvent prendre la forme, par exemple, d'un seuil de déficit à ne pas dépasser à cause du budget accordé.

.../...

### La Vitesse

Bien que les deux choix examinés par rapport à la vitesse ne semblent pas très fins, il apparaît que la vitesse de 60 km/h, pour toutes tranches horaires, est préférable à celle de 50 km/h. Le gain de l'énergie économisée est très faible pour les quatre paires de cas examinés, de l'ordre de 0,7 T.E.P. (importée).

Une vitesse plus élevée, tout en coûtant un peu plus d'énergie par rapport à une vitesse moins élevée, entraîne un gain de passagers et un déficit d'exploitation moins élevé. Il ne pourrait donc y avoir aucune autre justification pour adopter une vitesse moins élevée.

De plus, il est évident que la vitesse de 60 km/h entraîne des gains de temps des voyageurs. Dans la mesure où l'on considère les gains de temps comme contribuant à la rentabilité du système, ceci favorise encore la vitesse plus élevée.

### Intervalles

Une augmentation de l'intervalle paraît un moyen beaucoup plus intéressant qu'une réduction de la vitesse, pour économiser de l'énergie. Pour les cas comprenant la vitesse de 60 km/h, l'augmentation de l'intervalle économise 2,4 ou 2,5 T.E.P.

Il est vrai que le changement de l'intervalle examiné est plus important en pourcentages que celui de la vitesse. Néanmoins, le tableau n° 3 révèle une élasticité plus importante des économies de l'énergie par augmentation de l'intervalle que par réduction de la vitesse. Des vitesses encore plus basses, en outre, dégraderaient encore plus rapidement les autres critères calculés.

.../...

L'intervalle plus important entraîne moins de véhicules-kilomètres donc permet un parc moins important. Par contre, la vitesse réduite entraîne (en entretenant les mêmes intervalles) davantage de véhicules-kilomètres, donc à la limite un parc plus important.

Les intervalles augmentés, comme les vitesses augmentées, entraînent un déficit moins important, avantage supplémentaire. Mais le trafic est moins important. Pour les cas testés, le gain est de l'ordre de 2,4 Francs du déficit pour chaque passager perdu. Ce taux marginal est bien différent du taux moyen (déficit total par passager) de 0,2 à 0,5 Francs environ, et semble justifier "l'échange" vers les intervalles plus important.

Cependant, il faut se rappeler que les intervalles réduits entraîneraient une perte de temps par les passagers, en temps d'attente augmentée. Les estimations des pertes de temps (pondérées par la valeur du temps) rendues par le modèle n'étant pas très fiables, il est difficile d'estimer l'importance de cette perte.

#### Le Tarif

Comme il a été expliqué ci-dessus, l'élasticité du trafic par rapport au tarif paraît faible. Il est donc normal de trouver qu'une augmentation hypothétique du tarif réduit de beaucoup le déficit et réduit peu le nombre de passagers. Cette valeur d'élasticité est cependant crédible, en considérant que la plupart des voyageurs (selon l'estimation du modèle présent) sera détourné d'un mode plus cher, la voiture particulière. Voir aussi le rapport E.C.T. de 1973.

Par rapport au financement de l'exploitation, l'augmentation du tarif qui a été testée produit une réduction de 5,8 Francs (à la marge) environ pour chaque passager perdu.

.../...



Bien sûr, l'augmentation produit aussi un inconvénient dans la mesure où les transports sont relativement plus chers pour les voyageurs. Cependant, les voyageurs les plus désavantagés ne seraient obligés de payer qu'une partie de l'augmentation, grâce aux différents tarifs subventionnés.

Par rapport aux économies de l'énergie, l'augmentation du tarif entraîne une légère perte relative, de l'ordre de 0,4 T.E.P. importées pour une augmentation du tarif de 2,35 F à 2,60 F.

Le choix du tarif est le plus difficile parmi ceux des trois variables indépendantes. Un tarif plus élevé produit un déficit beaucoup moins élevé, un niveau de passagers modérément réduit et des économies d'énergie importée légèrement réduites. En revanche, il semble préférable de garder un niveau de tarif réduit, pour récupérer les avantages externes subis par les passagers.

La limite est le niveau du déficit acceptable par la caisse publique.

.../...

## VI - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR L'EXPLOITATION

L'analyse précédente a traité des politiques générales qui semblent préférables par rapport à chacune des variables indépendantes (intervalle, vitesse, tarif). Parce qu'il n'y avait que deux cas considérés pour chacune, la valeur optimale n'a pas été identifiée.

### A - Des Facteurs qui interviennent

En outre, il y a deux sources d'imprécision dans ce modèle, mis à part les manques des données et la méthode utilisée, sujets qui ont déjà été abordés.

La première source d'imprécision vient des effets de l'interaction entre deux variables qui pourraient faire confondre les résultats ; c'est-à-dire par exemple un effet lié à une vitesse de 50 km/h et simultanément à un tarif de 2,35 F qui n'est pas la somme des effets des deux. Il s'agit d'un élément de la stratégie de l'exploitation qui serait assez subtil et fort lié aux perceptions des voyageurs par rapport au service offert et à l'image du Métro.

La seconde source d'imprécision comprend toutes les variables perçues par les voyageurs et qui influencent leur décision de prendre ou non le Métro, qui ne sont pas comprises comme variables indépendantes. Ces variables pourraient n'être même pas déterminées par l'exploitant ou la collectivité publique (par exemple le niveau de chômage dans l'agglomération).

.../...

### Les Intervalles des Heures d'Hyperpointe et de Pointe

Le critère conventionnel pour dimensionner l'intervalle des heures d'hyperpointe et de pointe est le débit maximal, qui doit juste remplir la rame. Mais il faut se rappeler que ce débit maximal n'arrivera que sur un seul tronçon pendant une période de temps assez limitée. Même pendant les heures de pointe, les débits sur les autres tronçons sont moins importants, parfois beaucoup moins importants.

La bonne politique sera donc de dimensionner l'intervalle pour fournir juste assez de capacité pour correspondre au débit maximal. La capacité normale semble la bonne mesure pour garder en réserve la capacité exceptionnelle en cas de variations journalières et périodiques. Même si cette politique mène à un intervalle de pointe de 2,3 ou 2,5 minutes, il faut admettre que cela constitue un très bon niveau de service.

### Les Heures de Frange

Par contre, le niveau de la demande pendant les heures de frange (principalement de la nuit) ne remplira jamais les rames si on n'adopte pas un intervalle plus important que celui des bus actuels. La politique recommandée est donc d'établir un intervalle maximal jugé cohérent avec un niveau de service minimal mais acceptable, 10 minutes par exemple.

### Les Heures Moyennes et les Heures Creuses

Ce sont les tranches horaires dont les bons intervalles sont les plus difficiles à identifier. Le trafic qu'un observateur voit sur l'actuel ligne n° 2 de bus manifeste des pointes et creux de charge un peu particuliers, qui semblent ne pas trop correspondre aux tranches horaires analysées, et qui varient d'une manière importante mais difficile à prévoir..

La bonne politique semble être de fournir des intervalles qui correspondent à un ratio fixe par rapport à ceux des heures de pointe et d'hyperpointe. Un ratio de 2 ou 2,5 entre l'intervalle des heures de pointe et celui des heures creuses permettra de garder une certaine cohérence du service offert.

.../...

### Affinement des Intervalles

Il faut considérer ces recommandations comme préliminaires. Elles sont justifiées dans le cadre de cette analyse limitée, mais l'expérience de l'exploitation supplantera petit à petit l'analyse abstraite.

Lorsque l'exploitation se déroule et que la demande se révèle, il faudra que l'exploitant en profite pour affiner le service. Ceci entraînera des efforts considérables pour observer les charges qui arrivent, c'est-à-dire recueillir des données sur le trafic. En plus, il faudra reprendre régulièrement les observations et les appliquer à réformer un profil des intervalles de plus en plus intéressant.

### C - Recommandations Générales

L'analyse précisée dans cette note a tenté d'avancer des raisons justificatives pour toute observation et recommandation. De par son caractère prévisionnel, il n'a pas été possible de recueillir toutes les données et de faire l'analyse détaillée, actions souhaitables.

Il reste donc encore une certaine incertitude, notamment par rapport aux intervalles minimaux acceptables, et à la perte ou au gain de la part des passagers liée aux valeurs différentes du temps de voyage ou du tarif.

Ceci est lié à l'état incomplet des sondages et des analyses socio-économiques, destinées à éclairer la réponse et l'utilité du Métro pour les voyageurs. On peut donc espérer que des activités de suivi du Métro contribueront progressivement à en améliorer la connaissance.

.../...

Par contre, pour ce qui est des intervalles acceptables du point de vue politique, ceci pose à la collectivité locale une décision à prendre et à communiquer à l'exploitant. Il y a beaucoup de décisions semblables qui se posent, par exemple le niveau de déficit qui sera acceptable et l'importance réelle qu'il y a de faire des économies d'énergie lorsque cela entraîne par contre des coûts par rapport aux passagers et au coût d'exploitation.

Il revient à la Communauté Urbaine de Lille de prendre et d'imposer les décisions qui s'imposent, soit ainsi de réaliser toute mesure de rentabilité que son Métro est capable de rendre.

SOMMAIRE - ANNEXES

EXPLICATION MATHÉMATIQUE DE LA MÉTHODE UTILISÉE

A. Description du modèle et hypothèses retenues. . . . .	A 1
B. Description du modèle mathématique utilisé pour le calcul des répartitions modales. . . . .	A 12
C. Estimation des coûts d'exploitation de la ligne n° 1 du VAL. . .	A 27
D. Estimation du tarif moyen d'un déplacement sur la ligne n° 2 C.G.I.T. . . . .	A 34
E. Calcul des économies globales d'énergie réalisées par la C.U.D.L. après la mise en exploitation de la ligne n° 1 du Métro	A 35
F. Estimation des pourcentages de trafic de la ligne n° 2 C.G.I.T. par tranche horaire. . . . .	A 43

ANNEXE ADESCRIPTION DU MODELE ET HYPOTHESES RETENUES

modèle

1° Hypothèses retenues en vue de l'élaboration du métal

Le modèle s'applique à la population qui se déplace à l'intérieur de la zone d'influence de l'actuelle ligne n° 2 C.G.I.T. au moyen de l'un des 4 modes suivants :

- voiture particulière,
- transport en commun,
- deux-roues,
- marche à pied.

Le modèle est agrégé, c'est à dire qu'il ne prend en compte que les caractéristiques socio-économiques moyennes de la population de la zone concernée par l'étude.

Nous avons considéré que tous les individus de la zone considérée ont libre choix d'emprunter l'un des 4 modes de transport précédemment cités pour se déplacer. Le choix que fait un individu d'utiliser un de ces 4 modes de transport n'est fonction que du coût généralisé d'un déplacement par chacun de ces modes.

La fonction "coût généralisé" que nous avons employée s'écrit :

$$C_i = V.T_i + P_i$$

Ci est le coût généralisé d'un déplacement moyen par le mode i

Ti est le temps total d'un déplacement moyen par le mode i

Pi est le prix d'un déplacement moyen par le mode i

v est la valeur moyenne de temps pour la population de la zone considérée.

Le modèle ne prend pas en compte les nouveaux déplacements qui pourraient être induits par la mise en service du métro. La validité du modèle que nous avons élaboré est étroitement liée aux hypothèses de départ que nous avons retenues. Il faudra donc toujours bien garder à l'esprit le contexte particulier dans lequel nos résultats ont été établis et conserver un regard critique sur les résultats auxquels nous avons abouti.

## 2° Description du processus de l'étude

L'étude utilise un programme d'ordinateur comprenant 4 parties :

- calibration des équations au moyen des données initiales sur les études de trafic de la ligne n° 2 C.G.I.T.,
- calcul des nouvelles répartitions modales après avoir substitué des paramètres de service du métro à ceux de la ligne de bus n° 2,
- calcul des économies ou des pertes d'énergie induites par la mise en exploitation du métro pour le niveau de service correspondant aux paramètres de service choisis,



- calcul du bénéfice ou déficit de l'exploitation du métro pour le niveau de service correspondant aux paramètres de service choisis.

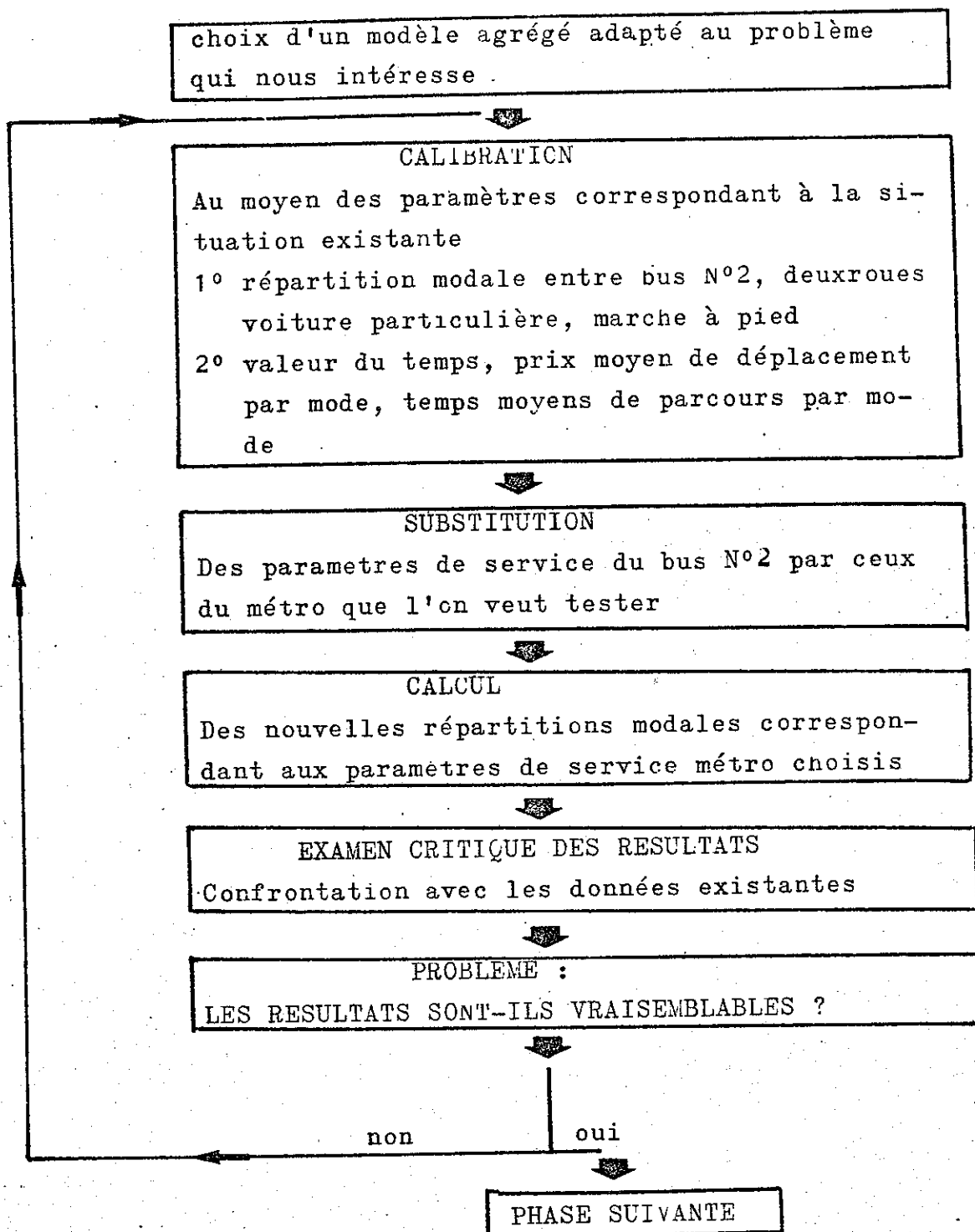
Nous voyons donc tout de suite apparaître 2 problèmes d'ordre méthodologique dont les solutions sont déterminantes pour la qualité des estimations que nous allons faire :

- choix d'un modèle bien adapté à nos besoins,
- bonne calibration de ce modèle.

Les seuls critères dont nous disposons pour estimer la validité de nos résultats sont :

- la confrontation avec les études prévisionnelles déjà réalisées par "Matra" et "Sofretu",
- la vraisemblance par rapport aux résultats des autres lignes de métro existantes.

Le processus de modélisation que nous allons employer est décrit par l'organigramme suivant :



PROCESSUS DE MODELISATION

### 3° Estimations des répartitions modales après métro

#### a) Choix du modèle

On va utiliser un modèle agrégé utilisant des fonctions exponentielles qui ne dépendent que de la valeur du coût généralisé de chaque mode. L'avantage de ce modèle est qu'il permet de donner des résultats pour tous les modes simultanément : les transports en commun, la voiture particulière, la marche à pied et les deux-roues.

L'expression de la formule mathématique "Logit" est la suivante :

pour  $i = 1, 2, 3, 4$

$$R_i = \frac{\text{Exp} (x_{Ai} + N_i)}{\sum_{d=1}^4 \text{Exp} (x_{Ai} + N_i)}$$

$R_i$  est la répartition modale du mode  $i$  dans la zone de déplacement étudiée

$A_i$  est le coût généralisé d'un déplacement moyen par le mode  $n^o = i$

$N_i$  est une constante modale liée au mode  $i$  qui ne dépend que des conditions initiales de calibration

$x$  est un coefficient de pénibilité qui dépend des conditions initiales et que nous prendrons égal pour tous les modes.

Le modèle que nous avons présenté au paragraphe précédent donne des résultats moyens sur une journée d'exploitation. Or, il nous est nécessaire d'avoir des résultats précis pour chaque tranche horaire de la journée. Nous devons donc "éclater" ce modèle par tranche horaire pour le rendre directement exploitable.

Les cinq tranches horaires que nous avons retenu pour notre étude découlent des études de Trafic SOFFRETU 1976. Le découpage est présenté dans le tableau suivant. (Chaque tranche horaire sera affectée d'un indice "j" variant de 1 à 5).

j	DEFINITION	APPELLATION	DUREE
1	7h30 - 8h30 17h30 - 18h30	heures d'hyperpointe	2
2	6h - 7h30 8h30 - 9h 16h - 17h30 18h30 - 19h	heures de pointe	4
3	12h - 14h	heures moyennes	2
4	9h - 12h 14h - 16h	heures creuses	5
5	5h - 6h 19h - 1h	heures de frange	7

Dans le tableau la durée est exprimée en "heures"

La durée totale d'une journée d'exploitation est de 20 h.

#### DECOUPAGE DES TRANCHES HORAIRES

# Définition du modèle "logit" éclaté par tranche horaire

pour  $i = 1, 2, 3, 4$

$j = 1, 2, 3, 4, 5$

$$R_{ij} = \frac{\text{Exp} (x A_{ij} + N_i + C_j)}{\sum_{i=1}^4 \text{Exp} (x A_{ij} + N_i + C_j)}$$

$R_{ij}$  est la répartition modale du mode  $i$  durant la tranche horaire  $j$

$A_{ij}$  est le coût généralisé d'un déplacement moyen par le mode  $i$  durant la tranche horaire  $j$  (voir définition II 1 d)

$N_i$  est la constante modale liée au mode  $i$

$C_j$  est la constante horaire liée à la tranche horaire  $j$

Remarque : ce modèle éclaté, beaucoup plus souple que le premier permet de moduler tous les paramètres de service suivant la tranche horaire considérée.

## c) Calibration du modèle

Le modèle "logit" que nous avons choisi fait apparaître 4 constantes modales  $N_i$ , 5 constantes horaires  $C_j$  et 1 coefficient de pénibilité  $x$ .

Le calibrage du modèle nécessite donc de trouver 10 équations permettant de déterminer les 10 paramètres  $C_j$ ,  $N_i$ ,  $x$ .

Ce problème est le plus délicat de tout le modèle. Il est traité de façon complète en annexe n° 1.

#### 4° Estimation des coûts d'exploitation

L'étude détaillée des coûts d'exploitation de la ligne n° 1 du V.A.L. a été réalisée par MATRA (rapport 1979). Ce rapport a servi de base aux calculs que nous avons effectués dans la partie de notre programme concernant le bilan financier du métro.

Nous avons procédé à une correction des coûts 1979 indiqués par MATRA en multipliant tous les chiffres obtenus par un coefficient 1,25 qui tient compte de l'augmentation moyenne du coût de la vie durant les deux dernières années.

##### a) Calculs effectifs des coûts

Les coûts d'exploitation annuels hors taxe en Francs 1979 indiqués par MATRA se scindent en 2 parties.

- la première représente les coûts indépendants des paramètres de service du métro :

- . frais de personnel,
- . équipements fixes (entretien),
- . génie civil (entretien),
- . ateliers,
- . frais généraux.

- la seconde représente les coûts qui sont fonction du niveau de passagers transportés par la ligne n° 1 ainsi que des valeurs des paramètres fréquences et vitesses des rames :

- . matériel roulant et automatisme,
- . traction,
- . assurance,
- . billetterie.

Les formules données par MATRA sont :

- pour les coûts fixes COF

$$\text{COF} = 13\,304\,257 + 309\,553 \times \text{ST} + 39\,582 \times \text{N} \\ + 581\,192 \times \text{L} + 32\,542 \times (\text{L} - 1)$$

coût H.T. exprimé en Francs 1979

- pour les coûts variables COV

$$\text{COV} = 60\,000 \times (\text{No} - \text{Mo}) + 2,06 \times \text{K} + 11 \times \text{H} + 670,38 \times \sqrt{\text{H}} \\ + 4,48 \times \text{D}$$

coût H.T. exprimé en Francs 1979

Signification des paramètres utilisés :

ST est le nombre total de stations de la ligne n° 1,

N est le nombre total de rames contenues dans le parc de la ligne n° 1,

L est la longueur totale de la voie double sens de la ligne n° 1,

No est le nombre maximum de rames circulant simultanément aux heures les plus chargées,

Mo est le nombre moyen de rames circulant simultanément pendant la journée,

H est le nombre moyen d'éléments-heure annuels effectués par l'ensemble des rames,

D est le nombre moyen de passagers par jour transportés par le métro sur la ligne n° 1,

K est le nombre d'éléments km annuels effectués par l'ensemble des rames de la ligne n° 1.

#### b) Détermination de tous les paramètres utilisés

Parmi l'ensemble des paramètres nécessaires aux calculs des coûts du métro, certains sont bien connus et finis une fois pour toutes (nombre de stations, longueur de la voie...), des autres doivent pouvoir être estimés à partir des résultats du modèle concernant le nombre de passagers moyen par jour, la fréquence et la vitesse des rames.

Le calcul détaillé de tous ces paramètres est donné dans l'annexe relative aux coûts du métro.

#### 5° Calcul des normes de l'exploitation du métro

La calibration de notre modèle nécessite une bonne estimation du tarif moyen d'un trajet moyen sur la ligne n° 2 C.G.I.T. Nous avons donc procédé à un calcul basé sur les enquêtes de Trafic dans la C.U.D.L. réalisées par SOFRETO en 76.

Le tarif moyen d'une course en métro étant l'une des variables indépendantes prises en compte dans notre modèle, nous l'avons fait varier dans un intervalle centré sur la valeur que nous avons retenue pour la calibration.



a) Taux de correspondance

Le taux de correspondance moyen entre transport en commun de le C.U.D.L. étant de l'ordre de 20 % , il nous a paru utile d'introduire dans le calcul des revenus journaliers du métro un coefficient correctif prenant en compte les correspondances possibles entre le métro et les autres lignes de transport en commun.

Les accords tarifaires entre les différents organismes de transport en commun n'étant pas encore définis, nous avons pris pour hypothèse qu'un trajet métro avec correspondance rapporterait moitié moins au métro qu'un trajet sans correspondance.

b) Formule retenue dans le modèle pour le calcul du  
revenu (RE)

$$RE = .825 \times (.57 + .43 \times .5) \times PA \times TA$$

Francs 1981 et revenu H.T.

TA est le tarif moyen pour un déplacement en métro TTC

PA est le nombre moyen de passagers journaliers transportés par le métro,

.43 est le taux de correspondance (autres lignes TC → métro),

.825 est le coefficient correctif pour obtenir un revenu hors taxe.

ANNEXE B

DESCRIPTION DU MODELE MATHEMATIQUE UTILISE POUR LE CALCUL  
DES REPARTITIONS MODALES

1° Equations utilisées

Le modèle que nous avons employé permet de calculer les répartitions modales après-méto pour les 4 modes suivants :

- transport en commun
- voiture particulière
- marche à pied
- deux roues

Il est de plus "éclaté" par tranche horaire, c'est à dire qu'il donne des résultats modulés en fonction de la tranche horaire où l'on se place.

Nous avons découpé la journée moyenne d'utilisation du transport en commun en 5 tranches horaires décrites dans le tableau suivant :

# DECOUPAGE DES TRANCHES HORAIRES

j	DEFINITION	TRANCHE HORAIRE	DUREE TOTALE (h)
1	7h30 - 8h30 17h30 - 18h30	heures d'hyperpointe	2
2	6h - 7h30 8h30 - 9h 16h - 17h30 18h30 - 19h	heures de pointe	4
3	12h - 14h	heures moyennes	2
4	14h - 16h 9h - 12h	heures creuses	5
5	5h - 6h 19h - 1h	heures de frange	7

## a) Calcul des répartitions modales par tranches horaires

Pour tout i variant de 1 à 4 (i indice de mode)

Pour tout j variant de 1 à 5 (j indice de tranche horaire)

$$R_{ij} = \text{Exp} \left[ x \cdot (V_j \cdot T_{ij} + P_{ij}) + C_j + N_i \right]$$

R<sub>ij</sub> est la répartition modale du mode i pendant la tranche horaire j

$V_j$  est la valeur moyenne du temps pendant la tranche horaire  $j$ ;

$T_{ij}$  est le temps total d'un trajet moyen par le mode  $i$  pour la tranche horaire  $j$ ;

$P_{ij}$  est le prix d'un trajet moyen par le mode  $i$  pour la tranche horaire  $j$ ;

$x$  est un coefficient de pénibilité identique pour tous les modes;

$N_i$  est une constante modale liée au mode  $i$ ;

$C_j$  est une constante horaire liée à la tranche horaire  $j$ .

b) Calcul des répartitions modales toutes tranches horaires confondues

Pour tout  $i$  variant de 1 à 4

$$R_{Mi} = R_{i1} + R_{i2} + R_{i3} + R_{i4} + R_{i5}$$

2° Calcul des paramètres  $P_{ij}$  et  $T_{ij}$

Nous avons utilisé dans notre modèle un tableau donnant les distances moyennes de déplacement ( $L_j$ ) en fonction de la tranche horaire considérée.

Les valeurs de ce tableau ont été estimées à partir des résultats de l'enquête SOFRETU (1976) sur les déplacements dans la C.U.D.L.

j	Lj (km)
1	6
2	6
3	3,5
4	4,5
5	4,5

Distances moyennes de déplacement en fonction de la tranche horaire j

a) Calcul des temps totaux de déplacement (Tij) (heure)

- temps de déplacement transport en commun (Tij)

Pour tout j variant de 1 à 5.

$$T_{ij} = \frac{L_j}{V_{c1j}} + \frac{IT_j \cdot p}{2} + TAC \quad (\text{heure})$$

$V_{c1j}$  est la vitesse commerciale moyenne transport en commun durant la tranche horaire j (km/h),

$IT_j$  est l'intervalle moyen d'attente entre 2 voitures de transport en commun durant la tranche horaire j,

P est un coefficient de pénibilité qui permet de pondérer le temps d'attente par rapport aux autres temps de parcours. En effet, le temps d'attente est considéré comme plus pénible pour l'usager que le temps de déplacement ou le temps d'accès)

P = 2 ou 3

TAC est le temps d'accès au transport en commun

$$TAC = \frac{D}{4} \quad \frac{\text{distance moyenne d'accès en km}}{\text{vitesse moyenne d'un piéton en km/h}}$$

- temps de déplacement total des autres modes ( $T_{ij}$  pour  $i = 1$ ) (heure)

Pour tout  $i$  variant de 1 à 3

Pour tout  $j$  variant de 1 à 5

$$T_{ij} = \frac{L_j}{V_{cij}} \quad (\text{heure})$$

$L_j$  est la distance moyenne de déplacement durant la tranche horaire  $j$  (km),

$V_{cij}$  est la vitesse commerciale moyenne du mode  $i$  durant la tranche horaire  $j$  (km/h).

b) Calcul des prix de déplacement ( $P_{ij}$ ) (francs)

- prix transport en commun ( $P_{ij}$ ) (francs)

Pour tout  $j$  variant de 1 à 5

$$P_{ij} = 0,69 \cdot TA_j$$

$TA_j$  est le tarif moyen d'un déplacement durant la tranche horaire  $j$ ,

0,69 est un coefficient de pondération prenant en compte les réductions dont bénéficient certains usagers des lignes de transport en commun. (estimé à partir de l'enquête SOPREU - 1976 -).

- prix transport en voiture particulière (P2j) (francs)

Pour tout j variant de 1 à 5

$$P2j = (.11 \times ES + .4) \times Lj$$

.11 est la consommation moyenne d'une voiture en l/km,

ES est le prix de l'essence en francs (3,70 F),

.4 est le coût total de l'amortissement d'une voiture en F/km,

Lj est la distance moyenne de déplacement durant la tranche horaire j.

- prix du transport deux roues (P4j) (francs)

Pour tout j variant de 1 à 5

$$P4j = (.035 \times (ES + 1) + .07)$$

.035 est la consommation moyenne d'un deux roues en l/km,

.07 est le coût d'amortissement moyen d'un deux roues en F/km.

- prix du transport piéton (P3j)

Pour tout j variant de 1 à 5

$$P3j = 0 \text{ (francs)}$$

### 3° Calibration du modèle

Le problème de la calibration est très délicat car il détermine la qualité des résultats finaux. Le modèle "logit" tel que nous l'avons décrit peut être calibré de différentes façons théoriquement équivalentes. Nous avons donc dû procéder à des essais de calibration et nous avons finalement retenu une méthode qui nous a paru la plus satisfaisante.

La calibration est effectuée en prenant compte 4 tranches horaires et non pas 5.

j	DEFINITION	TRANCHE HORAIRE	DUREE TOTALE (h)
1	6h - 9h 16h - 19h	heures de pointe	6
2	12h - 14h	heures moyennes	2
3	14h - 16h 9h - 12h	heures creuses	5
4	5h - 6h 19h - 7h	heures de frange	7

Le modèle est calibré en prenant comme mode de référence les transports en commun car c'est le seul mode pour lequel nous avons des renseignements assez précis.

La tranche horaire de référence est l'heure de pointe car c'est celle qui est la mieux étudiée dans les enquêtes de trafic SOFRETU. De plus le trafic en heures de pointe représente 55 % du trafic total journalier.



a) Valeurs présumées prises en comptes dans la calibration du modèle :

MODE	BUS	VOITURE PARTICULIERE	MARCHE A PIED	DEUX ROUES
i	1	2	3	4
PRIX (tarif) (francs)	2,35 (F 1981)	$P_v = L \times (.11 \times ES + .4)$	0	$P_r = L \times (.035 \times (ES + 1) + .07)$
V	HP : H.M	H.P	H.M	H.P
vitesse moyenne km/h	11 : 14	25	34	4
	HC : H.F	H.C	H.F	H.C
	14 : 15	35	37	4
				20
				20

TRANCHE HORAIRE	H.P	H.M	H.C	H.F
j	1	2	3	4
Vj (valeur du temps) (francs)	18	20	16	18
Lj (longueur moyenne du déplacement km )	6	3,5	4,5	4,5
ITj (intervalle moyen d'at- tente minute )	5	6	7,5	12,5

Tableau des répartitions modales avant métro toutes tranches horaires confondues

	T.C	V.P	MARCHE	2 ROUES
MODE i	1	2	3	4
RMi	9,44 %	61,1%	12,6%	16,79%

Remarques :

Le tableau ci-dessus a été estimé à partir des résultats SOFRETU 1976. Le rapport donnait pour la marche à pied une répartition modale de 38 %. Ce chiffre ne pouvait pas être utilisé tel quel car une grande partie des déplacements à pied se fait sur une distance très courte inférieure à 2 km et n'est donc pas transférable au métro.

Nous avons donc estimé que sur 38 % de déplacements à pied seuls 12,6 % étaient transférables au métro.

Tableau des coefficients donnant le pourcentage  $\frac{T.C}{T.C}$

$$\frac{T.C}{T.C} = \frac{\text{Trafic de la tranche horaire } j}{\text{Trafic total journalier}}$$

	H.P	H.M	H.C	H.F
j	1	2	3	4
Bj	0,505	0,147	0,247	0,101

(Bj)

## Utilisation du tableau

Le tableau B<sub>j</sub> permet de terminer la répartition modale du mode i durant la tranche horaire j iR<sub>ij</sub> connaissant la répartition modale du mode i R<sub>ni</sub>.

Pour tout i variant de 1 à 4

Pour tout j variant de 1 à 4

$$R_{ij} = B_j \times R_{mi}$$

(le détail du calcul des coefficients est donné en annexe 5)

### 4° Equations de calibration du modèle

#### a) Calcul de x

$$R_{11} = e^{x(V_{11} \times T_{11} + P_{11})} = B_1 \times RM_1$$

Les paramètres (RM<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, V<sub>11</sub>, T<sub>11</sub>, P<sub>11</sub>) étant connus, on peut déterminer x

$$x = \frac{\text{Log}(RM_1 \times B_1)}{V_{11} \times T_{11} + P_{11}}$$

#### b) Calcul des constantes horaires C<sub>j</sub>

La calibration se fait en prenant comme tranche horaire de référence la tranche horaire n° 1 (heures de pointe). Ce qui se traduit dans le modèle par une constante C<sub>1</sub> nulle.

$$C_1 = 0$$

Pour tout j variant de 2 à 4

$$C_j = \text{Log} (R_{1j}) - x \cdot (A_{1j})$$

$$R_{1j} = B_j \times RM_1$$

$$A_{1j} = V_j \times T_{1j} + P_{1j}$$

c) Calcul des constantes modales N<sub>j</sub>

Le modèle est calibré en prenant pour base le mode n° 1 (transport en commun). Ce qui se traduit dans le modèle par une constante modale N<sub>1</sub> nulle.

$$N_1 = 0$$

Pour tout i variant de 2 à 4

$$N_j = \text{Log} (RM_i) - \text{Log} \left[ \exp(x \cdot A_{i1}) + \exp(x \cdot A_{i2} + C_2) + \exp(x \cdot A_{i3} + C_3) + \exp(x \cdot A_{i4} + C_4) \right]$$

$$A_{ij} = V_j \times T_{ij} + P_{ij}$$

5° Calcul des répartitions modales après métro

a) Principe de calcul

- 1 Calibration (détermination de  $C_j$ ,  $N_i$ ,  $x$  par les équations "logit")



- 2 Modification des paramètres transport en commun  
(on fait varier la vitesse commerciale et les intervalles d'attente)



- 3 Nouvelles valeurs de  $P_{ij}$  et  $T_{ij}$  que l'on reporte dans les équations



- 4 Obtention des valeurs des nouvelles répartitions modales

b) Nature des résultats

Le modèle donne des résultats concernant :

- les répartitions modales par tranche horaire  $R_{ij}$ ,
- les répartitions modales toutes tranches horaires confondues,
- le nombre de passagers moyen par jour transportés par le métro,
- le taux d'occupation moyen par élément de métro,
- le taux d'occupation maximum à l'heure la plus chargée.

Remarque : il nous paraît utile de préciser pour la bonne compréhension de l'élaboration du modèle que nous avons effectué que ce dernier est calibré sur 4 tranches horaires mais permet de donner des résultats sur 5 tranches horaires. La calibration se fait en ne distinguant qu'une tranche horaire d'heure de pointe alors que les résultats sont établis en éclatant la tranche horaire de pointe en 2 :

- heure d'hyperpointe,
- heure de pointe.

Nous avons choisi cette méthode car c'était celle qui donnait les meilleurs résultats à la calibration.

#### c) Calcul effectif des résultats

- calcul des répartitions modales par tranches horaires

pour tout i variant de 1 à 4

pour tout j variant de 1 à 5

$$R_{ij} = \frac{\exp (x.A_{ij} + C_j + N_i)}{\sum_{d=1}^5 \exp (x.A_{id} + C_d + N_i)}$$

- calcul des répartitions modales toutes tranches horaires confondues (R<sub>Mi</sub>)

pour tout i variant de 1 à 4

$$RM_i = \frac{\sum_{j=1}^5 R_{ij}}{\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 R_{ij}}$$

- calcul du nombre de déplacements journaliers moyens par le métro (D)

$$D = \frac{RM_1}{RBo} \times 26\ 500$$

- . 26 500 est le nombre total de déplacements journaliers par la ligne n° 2 C.G.I.T. avant métro,
- . RBo est la répartition modale transport en commun ligne n° 2 avant métro.

- calcul du taux d'occupation moyen journalier par élément du métro (N).

$$N = \frac{KH}{Nu}$$

KH est le nombre de passagers km moyen journalier,

Nu est le nombre de places km offertes par jour par le métro.

- taux d'acceptation maximum à l'heure la plus chargée

$$N_{\max} = \frac{KH_1}{Nu_1} \times 1,66$$

$KH_1$  est le nombre de passagers km durant la tranche horaire n° 1,

$Nu_1$  est le nombre de places km offertes par le métro durant la tranche horaire n° 1,

1,66 est le coefficient d'heure de pointe estimée à partir de SOFRETU 1976.



ANNEXE C

ESTIMATION DES COUTS D'EXPLOITATION DE LA LIGNE N° 1 DU VAL

1° Description des paramètres

- K : nombre d'éléments km annuels effectués par l'ensemble des rames métro,
- H : nombre d'éléments heures annuels effectués par l'ensemble des rames métro,
- Vc : vitesse commerciale moyenne du métro,
- D : nombre de passagers moyen par jour transportés par le métro,
- ITM : intervalle moyen entre 2 rames durant la journée,
- Mo : nombre moyen de rames en circulation durant la journée,
- No : nombre maximum de rames en circulation à l'heure la plus chargée,
- CoF : ensemble des coûts fixes annuels liés à l'exploitation du métro (francs 79),
- CoV : ensemble des coûts variables annuels liés à l'exploitation du métro (francs 79),
- CoA : coût total annuel lié à l'exploitation du métro,
- Co : coût total journalier révisé suivant l'augmentation du coût de la vie entre 1979 et 1981,
- Lj : longueur moyenne d'un déplacement durant la tranche horaire j,

- I : interstation moyen (750 m),
- ST : nombre total de stations sur la ligne n° 1  
( ST = 17 ).

## 2° Calcul des paramètres

- nombre d'éléments km annuels (K)

$K = KH \times 320$  (nous avons considéré que l'année contenait 320 jours ouvrables)

$KH = 2 \times L(F_1 \times D_1 + F_2 \times D_2 + F_3 \times D_3 + F_4 \times D_4 + F_5 \times D_5)$  avec  
 $2 \times L = 25,4$  soit la longueur totale de la ligne simple  
 $F_j$  est la fréquence des rames pour la tranche horaire j.

- nombre d'éléments heure annuels (H)

$$H = \frac{K}{320}$$

- vitesse commerciale moyenne (Vc)

$Vc = 37 \text{ km/h}$  (donnée par Matra)

- nombre de passagers moyen journaliers transportés par le métro (D)

$$D = \frac{RM_1}{RM_{10}} \times 26\,500$$

$RM_1$  est la répartition modale du métro,

$RM_{10}$  est la répartition modale de la ligne n° 2 avant, métro,

26 500 est le nombre de passagers journaliers moyens actuellement transportés par la ligne n° 2 C.G.I.T.

- intervalle moyen entre 2 rames

$$ITM = \frac{D_1 \times IT_1 + D_2 \times IT_2 + D_3 \times IT_3 + D_4 \times IT_4 + D_5 \times IT_5}{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}$$

$D_j$  est la durée de la tranche horaire  $j$ ,

$IT_j$  est l'intervalle entre 2 rames durant la tranche horaire  $j$ .

- nombre moyen de rames en circulation durant la journée

$$Mo = \frac{60 \times 25,4}{Vc \times ITM}$$

25,4 est la longueur totale de la ligne.

- nombre maximum de rames en circulation aux heures les plus chargées (No)

$$No = 38 - 4$$

38 est le nombre d'éléments total du parc,

4 est le nombre d'éléments tenus en réserve.

- coûts fixes (hors taxe exprimés en francs 1979)

$$\begin{aligned} \text{COF} &= 13\,304\,257 + 309\,553 \times \text{ST} + 39\,582 \times \text{N} \\ &\quad + 581\,192 \times \text{L} + 32\,542 \times (\text{L} - 1) \end{aligned}$$

coûts variables (hors taxe exprimés en francs 1979)

$$\begin{aligned} \text{COV} &= 60\,000 \times (\text{No} - \text{Mo}) + 2,06 \times \text{K} + 11 \times \text{H} \\ &\quad + 670,38 \times \sqrt{\text{H}} + 4,48 \times \text{D} \end{aligned}$$

- coût journalier (hors taxe exprimé en francs 1981)

$$\text{COA} = \frac{(\text{COV} + \text{COF}) \times 1,25}{320}$$

Coût F. 1979 hors aléas et marge, hors taxes

Poste	Part fixe	$(N_o - n_o)$	K	H	$\sqrt{H}$	L	$S_t$	N	D	L-1	St-17
) Frais de personnel	6.463.300	60.000									28.800
) Entretien											
. Matériel roulant et automatismes	492.800		1,14	11	670,38	105.308		25.482			
. Equipements fixes	423.400					206.936	155.650				
. Garage	1.666.000										
. Génie civil	745.340					132.580					
Energie											
. Traction			0,92								
. Equipements fixes	81.417					80.968	74.503			32.542	
Frais généraux											
. Services généraux	1.134.000										
. Assurances	142.000					55.400		14.100	1,08		
. Billetterie									3,4		
. Nettoyage	672.000						79.400				
. Divers	1.484.000										
TOTAL	13.304.257	60.000	2,06	11	670,38	581.192	309.553	39.582	4,48	32.542	28.800

$$d'où C = 13.304.257 + 60.000 (N_o - n_o) + 2,06 K + 11 H + 670,38 \sqrt{H} + 581.192 L + 309.553 S_t + 39.582 N + 4,48 D + 32.542 (L-1) + 28.800 (St-17)$$

Signification des paramètres

$N =$  Nombre de véhicules en parc

$N_o =$  Nombre de véhicules à l'heure de pointe

$n_o =$  Nombre de véhicules à l'heure creuse

$K =$  Nombre de véhicules x km annuel

$H =$  Nombre d'heures de fonctionnement annuel des véhicules

$L =$  Longueur de ligne (km)

$St =$  Nombre de stations

$D =$  Débit sur l'interstation la plus chargée

$(L-1) =$  Longueur de ligne aérienne (km)

Ligne 1Coût 1979I) Frais de personnel  
exploitation

$$6.463.300 + 60.000 (N_o - n_o) + 28.800 (St-17)^*$$
II) Entretien

II.1. Matériel roulant et automatismes  $492.800 + 1,14 K + 11 H + 670,38 \sqrt{H} + 105.308 L + 25.482 N$

II.2. Equipements fixes  $423.400 + 206.936 L + 155.650 S_t$

II.3. Ateliers 1.666.000

II.4. Génie civil  $745.340 + 132.580 L$

III) Energie

III.1. Traction 0,92 K

III.2. Equipements fixes  $81.417 + 80 968 L + 74.503 S_t + 32.542 (L-1)$

IV) Frais généraux

IV.1. Services généraux 1.134.000

IV.2. Assurances  $142.000 + 55.400 L + 14.100 N + 1,08 D$

IV.3. Billeterie 3,4 D

IV.4. Nettoyage  $672.000 + 79.400 S_t$

IV.5. Divers 1.484.000

\* à ne prendre en compte que pour St>17

ANNEXE DESTIMATION DU TARIF MOYEN D'UN DEPLACEMENT SUR LA LIGNE N°2  
C.G.I.T.

La base de notre estimation est la partie de l'enquête  
SOFRETU donnant les résultats financiers de la C.G.I.T.

: CATEGORIE DE TARIF :	: DETAIL :	: REDUIT :	: ETUDIANT :
: ----- : : pourcentage de déplacements : au tarif indiqué : ----- :	: 5 % : : : : ----- :	: 10 % : : : : ----- :	: 85 % : : : : ----- :
: nombre moyen de sections : parcourues : ----- :	: 1,5 : : : : ----- :	: 1,5 : : : : ----- :	: 2,5 : : : : ----- :
: tarif moyen pondéré par le : nombre de sections (francs) : ----- :	: 2,26 : : : : ----- :	: 1,945 : : : : ----- :	: 2,405 : : : : ----- :

Calcul du tarif moyen pour un déplacement sur la ligne  
n° 2 (TA) (francs)

$$TA = \frac{5 \times 2,26 + 10 \times 1,945 + 85 \times 2,405}{100} = 2,35 \text{ francs}$$



ANNEXE E

CALCUL DES ECONOMIES GLOBALES D'ENERGIE REALISEES PAR LA  
C.U.D.L. APRES LA MISE EN EXPLOITATION DE LA LIGNE N° 1  
DU METRO

1° Paramètres utilisés

- L : longueur totale de la ligne double (km),
  - Lj : longueur moyenne d'un trajet en métro pour la tranche horaire j (km),
  - Dj : durée de la tranche horaire j (h),
  - ITj : intervalle moyen entre 2 rames durant la tranche horaire j (minute),
  - VMj : vitesse de pointe à l'interstation durant la tranche horaire j (km/h),
  - Ni : nombre moyen de déplacements journaliers au moyen du mode i,
  - Nu : nombre de places - kilomètres offertes par le métro par jour,
  - Nui : nombre de places - kilomètres offertes par le métro durant la tranche horaire j,
  - N : nombre de passagers-kilomètres transportés par le métro par jour
- 
- nombre de places - km offertes par le métro/jour
- nombre de passagers-km transportés par le métro
- Qj : durant la tranche horaire j
- 
- nombre de places-km offertes par le métro durant la tranche horaire j

- KH : nombre d'éléments-km journaliers parcourus par le métro,
- K : nombre d'éléments-km annuels parcourus par le métro,
- ITM : intervalle moyen par jour entre 2 rames du métro (minutes),
- CMM : consommation journalière du métro pour l'ensemble des rames (kwh),
- CMV : consommation journalière d'essence économisée par le transfert modal : voiture particulière → métro,
- CMD : consommation journalière d'essence économisée par le transfert modal : deux-roues → métro,
- RBo : répartition modale des transports en commun de la ligne n° 2 avant métro,
- RVo : répartition modale des voitures particulières autour de la ligne n° 2 avant métro,
- RDo : répartition modale des deux-roues autour de la ligne n° 2 avant métro,
- PKV : variation des passagers-km (voiture particulière), le long de la ligne n° 2 avant et après métro,
- PKD : variation des passagers-km (deux-roues), le long de la ligne n° 2 avant et après métro,
- DEPTj : 
$$\frac{\text{nombre de passagers journaliers moyens actuels sur la ligne n° 2}}{\text{répartition modale transport en commun ligne n° 2 avant métro}}$$
- CMj : consommation du métro véhicule-kilomètre pour la tranche horaire j considérée (kJ),
- CMNj : consommation du métro pour toutes la tranche horaire j considérée,

- CMQM : consommation journalière moyenne du métro due à la traction des rames et à la consommation électrique journalière des équipements fixes.

## 2° Calcul des paramètres utilisés

- répartitions modales initiales (RBo, RVo, RDo, RMo)

Les répartitions modales initiales des différents modes ont été estimées d'après les rapports SOFRETU (1976).

:	BUS	:	V.P	:	MARCHE	:	2-ROUES	:
:	RBo	:	RVo	:	RMo	:	RDo	:
:	9,44 %	:	61,1 %	:	12,76 %	:	16,7 %	:

- variation des passagers-km (voiture particulière et deux-roues), le long de la ligne n° 2 avant et après métro

$$PKV = ( RVo - RM_2 ) \times DEPTJ \times L$$

RM<sub>2</sub> est la répartition modale des voitures particulières après métro.

$$PKD = ( RDo - RM_4 ) \times DEPTJ \times L$$

RM<sub>4</sub> est la répartition modale des 2-roues après métro

$$\text{avec } DEPTJ = \frac{26\ 500}{RBo}$$

$$L = \frac{L_1 \times D_1 + L_2 \times D_2 + L_3 \times D_3 + L_4 \times D_4 + L_5 \times D_5}{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}$$

- calcul de la consommation par élément-km d'une rame de métro par tranche horaire (CMoj) (KJ)

Pour  $j = 1,5$

$$CMoj = 1,33 \times (9\ 000 - (50 - VMj) \times 100) \text{ si } VMj < 50 \text{ km/h}$$

$$CMoj = 1,33 \times (900 + (VMj - 50) \times 135) \text{ si } VMj > 50 \text{ km/h}$$

Remarque : les formules employées ont été élaborées à partir des courbes de consommation du métro relevées lors des essais.

- calcul de la consommation en traction du métro pour la tranche horaire  $j$  (CMMj) (Kwh)

Pour  $j = 1,5$

$$CMMj = \frac{CMoj \times Dj \times 25,4}{3\ 600}$$

- calcul de la consommation en traction du métro pour une journée (CMM) (Kwh)

$$CMM = CMM_1 + CMM_2 + CMM_3 + CMM_4 + CMM_5$$

- calcul de la consommation totale journalière du métro (CMQM) (Kwh)

$$CMQM = CMM + 20\ 000$$

20 000 Kwh est la consommation électrique journalière due aux équipements fixes.

- calcul des économies d'énergie journalières réalisées grâce au métro (EC) (Tonne équivalent pétrole)

$$EC = TEPV + TEPD + TEPB - TEPM \quad (T.E.P.)$$

TEPV est la consommation d'énergie journalière exprimée en tonne équivalent pétrole économisée grâce au transfert modal (vitesse → métro),

$$TEPV = PKV \times 0,11 \times L \times 0,75/1\ 000 \quad (T.E.P.)$$

- . 0,11 est la consommation moyenne d'une voiture particulière pour 1 km,
- . 0,75/1.000 est le rapport de conversion des litres d'essence en T.E.P.,
- . L est la longueur moyenne d'un déplacement en V.P

TEPD est la consommation d'énergie journalière exprimée en tonne équivalent pétrole économisée grâce au transfert modal (deux-roues → métro),

$$TEPD = PKD \times 0,035 \times L \times 0,75/1\ 000 \quad (T.E.P.)$$

- . 0,035 est la consommation moyenne des deux-roues pour 1 km

TEPB est la consommation d'énergie journalière exprimée en tonne équivalent pétrole économisée par la suppression d'une partie de la ligne n° 2,

$$TEPB = 2 \text{ T.E.P. (chiffre obtenu à l'aide du rapport SOFRETU 1976)}$$

TEPM est la consommation d'énergie journalière totale du métro,

$$TEPM = CMQM \times 0,250 \quad (T.E.P.)$$

- . 0,250 est le rapport de conversion des Kwh en TEP

- calcul des économies en énergie importée réalisées  
grâce au métro (ECI) (T.E.P.)

$$ECI = TEPV + TEPD + TEPB - TEPM \times 5/6$$

DONNEES TECHNICO-ECONOMIQUES  
CONCERNANT LE METRO DE LILLE

1 - REPARTITION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE PAR NATURE DE COMBUSTIBLES

Cette répartition a été effectuée à la marge d'un parc de production d'électricité optimum pour les années 1985 et 1990 en considérant la courbe de charge caractéristique de cet usage pour une vitesse moyenne donnée. Ces valeurs sont insensibles à la valeur de cette vitesse tant que la structure de la courbe de charge est inchangée (pour les différentes valeurs proposées les courbes de charge sont homothétiques).

Ces chiffres sont toutefois à utiliser avec précaution car ils sont étroitement liés à un certain nombre d'hypothèses ; notamment, il est supposé que la structure de la courbe de charge d'une journée donnée est conservée tout au long de l'année.

Les résultats sont présentés dans le tableau en annexe.

2 - DONNEES GENERALES CONCERNANT LES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

- rendement des centrales :

charbon : 0,43  
fuel : 0,43  
T.A.G. : 0,32 (Turbines à gaz consommant du fuel)

- consommation totale de charbon en France pour la production d'électricité :  
14,6 Mtep

dont 10,6 Mtep consommés par EDF qui en importe les 5/6.

# M É T R O   D E   L I L L E

## REPARTITION MENSUELLE DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE PAR NATURE DE COMBUSTIBLES

Vitesse moyenne = 30 km/h

	5 <sup>e</sup> / Année 1985				Année 1990			
	Nucléaire	Charbon	Fuel	T.A.G.	Nucléaire	Charbon	Fuel	T.A.G.
Janvier	0	49	48	3	20	63	17	0
Février	0	58	41	1	27	61	12	0
Mars	1	68	30	1	35	58	7	0
Avril	2	85	13	0	58	41	1	0
Mai	10	84	6	0	87	12	1	0
Juin	20	79	1	0	98	2	0	0
Juillet	10	89	1	0	100	0	0	0
Août	22	78	0	0	100	0	0	0
Septembre	3	90	7	0	90	10	0	0
Octobre	0	75	25	0	52	46	2	0
Novembre	0	54	45	1	24	66	10	0
Décembre	0	52	46	2	21	64	14	0



ANNEXE F

ESTIMATION DES POURCENTAGES DE TRAFIC DE LA LIGNE N° 2  
PAR TRANCHE HORAIRE

La calibration du modèle "logit" à 5 tranches horaires que nous avons utilisé nécessite des données initiales suffisamment précises.

Les données de départ nécessaires sont :

- les répartitions modales initiales de chaque mode,
- le nombre total de passagers par jour transportés par la ligne n° 2,
- les pourcentages de trafic transport en commun ligne n° 2 pour chaque tranche horaire considérée.

1° Estimation du niveau de trafic par tranche horaire

Les données utilisées pour réaliser cette estimation se trouvent dans les rapports SOFRETU 1976 concernant le trafic des transports en commun dans la C.U.D.L.

Le problème principal de l'estimation réside dans le fait que les études SOFRETU sont faites pour des horaires qui ne recouvrent pas toujours les tranches horaires que nous avons utilisées dans notre modèle. Nous devons donc souvent procéder à des recoupements entre les divers tableaux et raisonner par analogies entre tranches horaires.

Tableau 1 :

NOMBRE DE BUS C.G.I.T. EN CIRCULATION A L'HEURE CONSIDEREE

TRANCHE HORAIRE	HEURE	NOMBRE TOTAL DE BUS C.G.I.T. CIRCULANTS
pointe du matin	7h30	156
période creuse du matin	10-11h	80
pointe midi	13h10	114
période creuse après midi	15h30	89
pointe du soir	18h	157

Tableau 2 :

NOMBRE DE COURSES EFFECTUEES PAR LES BUS DE LA LIGNE N° 2  
PAR TRANCHE HORAIRE

TRANCHE HORAIRE	HEURE	NOMBRE DE COURSES LIGNE N° 2
pointe du soir	16h - 19h	70
hyperpointe du soir	17h30 - 18h30	27
journée		305

Tableau 3 :

TAUX D'OCCUPATION MOYEN PAR TRANCHE HORAIRE SUR LE  
TRONCON COMMUN DE LA LIGNE N° 2

HEURE	OCCUPATION MOYENNE
7h - 9h	38,5
14h - 16h	32
16h - 19h	35,5

Tableau 4 :

NOMBRE DE DEPARTS DU CENTRE DE LILLE PAR TRANCHE HORAIRE

HEURE	NOMBRE DE DEPARTS DU CENTRE
10h - 11h	19
17h30 - 18h30	32
journée	335

Renseignements complémentaires :

- le trafic ligne n° 2 est égal à 24 % du trafic total C.G.I.T.,
- le nombre de courses quotidiennes sur la ligne n° 2 est de 384.

## 2° Calcul effectif des niveaux de passagers par tranche horaire (Bj)

- méthode :

les tranches horaires sur lesquelles nous possédons le plus de renseignements sont les heures de pointe du soir entre 16h et 19h. Il paraît donc logique de commencer à déterminer le coefficient B relatif à cette tranche et de procéder ensuite par recoupements et par déduction pour les autres tranches.

- calcul de  $B_1$ ,  $B_2$  coefficients relatifs à l'heure de pointe et d'hyperpointe :

calcul de  $B_1$  (durée de T.H. n° 1 = 2h)

on se base sur l'heure de pointe du soir 17h30 - 18h30

nous connaissons par le tableau 2 le nombre de courses à l'heure de pointe du soir (H.P.S.) = 27 et le nombre de courses journée = 384

$$\text{nombre de courses} \times \frac{(\text{H.P.S.})}{(\text{journée})} = \frac{27}{384} = 0,070 \quad (7 \% \text{ des courses à l'H.P.S.})$$

en prenant comme taux d'occupation de base, le taux d'occupation des heures creuses, il vient d'après le tableau 3 :

$$\frac{\text{taux d'occupation (H.P.S.)}}{\text{taux d'occupation (H.C.)}} = \frac{35,5}{32} = \alpha = 1,09$$

$$\frac{\text{trafic (H.P.S.)}}{\text{trafic soir}} = \frac{0,4}{0,3} = 1,33 \quad (\text{coefficient d'hyperpointe})$$

$$d'o\grave{u} \quad B_1 = 2 \times 0,07 \times 1,09 \times \frac{0,4}{0,3} = 0,202$$

2 est la durée de la tranche horaire n   1 en heure.

calcul de  $B_2$  (durée de tranche horaire n   2 = 4h)

$$B_2 = B_1 \times \frac{0,6}{0,4} = 0,202 \times \frac{0,6}{0,4} = 0,303$$

calcul de  $B_3$  (durée de tranche horaire n   3 = 2h)

on calcule  $B_3$  par rapport à  $B_1$  à l'aide du tableau n   1

$$B_3 = B_1 \times \frac{114}{156} = 0,202 \times \frac{114}{156} = 0,147$$

calcul de  $B_4$  (durée de tranche horaire n   4 = 5h)

le tableau n   4 nous donne le nombre de départs du centre à l'heure creuse = 19 et le nombre de départs du centre durant la journée = 384. Les heures creuses sont la tranche horaire que nous avons choisie comme ayant un coefficient d'occupation égal à 1 par rapport aux autres tranches horaires, nous avons donc :

$$B_4 = \frac{5 \times 19}{384} = 0,247$$

calcul de  $B_5$  (durée de la tranche horaire n° 5 = 7h)

on doit avoir  $\sum_{j=1}^5 B_j = 1$

donc  $B_5 = 1 - (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$

$$B_5 = 0,101$$

Nous obtenons donc le tableau complet ( $B_j$ ) des pourcentages de trafic ligne n° 2 avant métro par tranche horaire.

TRANCHE HORAIRE	n° = j	B
heure d'hyperpointe	1	0,202
heure de pointe	2	0,303
heure moyenne	3	0,147
heure creuse	4	0,247
heure de frange	5	0,101