

ECOLE POLYTECHNIQUE THIES

PROJET DE FIN

D'ETUDES Gm.0592

TITRE CONCEPTION D'UN  
SYSTEME D'OPTIMISATION  
DES REVENUS DE LA  
REGIE DES CHEMINS DE  
FER DU SENEGAL

GENIE MECANIQUE

DATE

AUTEUR

JUIN 1985

MAMADOU NDIAYE

Je dédie cette œuvre à  
mes parents qui n'ont ménagé  
aucun effort pour mon éducation.

## REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis de remercier très sincèrement mon directeur de projet, Mr Jean Claude WARMOS, qui n'a ménagé aucun effort pour m'assister aussi efficacement.

Mes remerciements iront aussi à Mme Monique LECLAIR, technicien du centre de calcul de L'E.P.T, Mr Michel ARGUILLERE, chef de La Division Economique et Financière de La régie, Mr Souleymane NIOME, ingénieur polytechnicien et à tous les agents de La D.E.F pour leur disponibilité et La documentation fournie.

A mes camarades de promotion, je dis merci de m'avoir gratifié d'une compréhension sans faille et surtout d'un soutien moral indispensable à l'élaboration de ce projet.

# SOMMAIRE

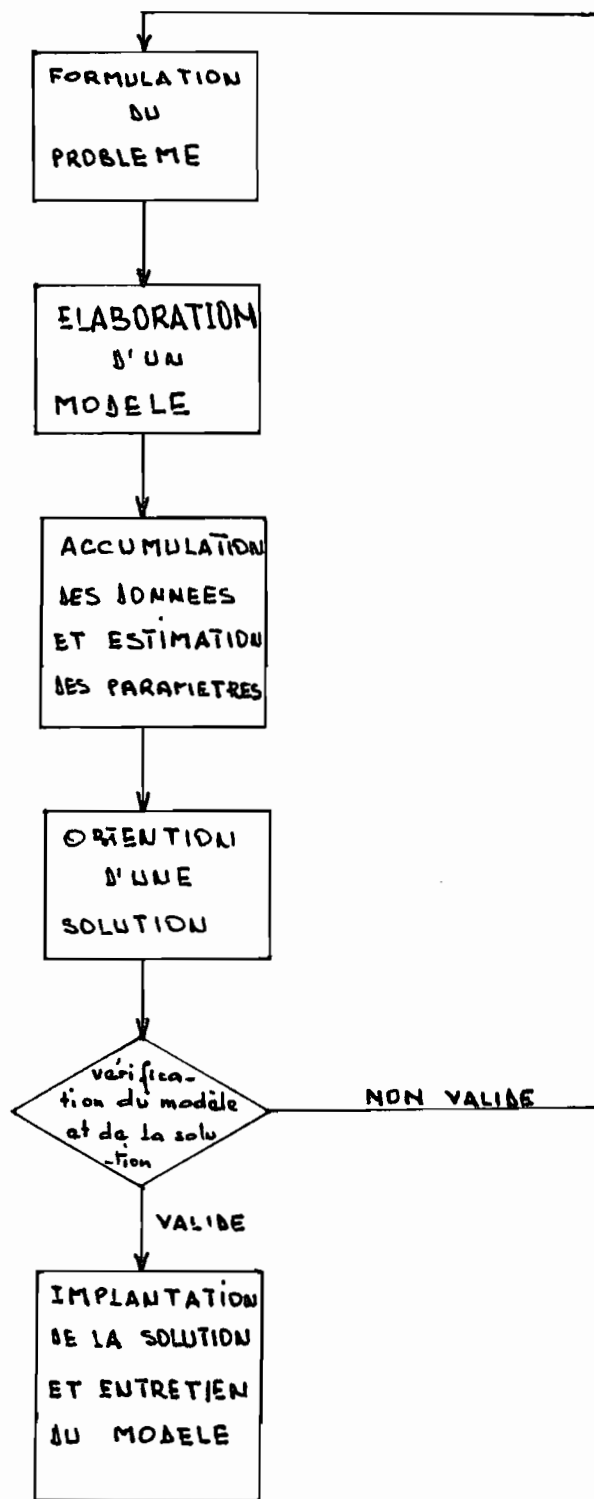
Dans cette étude nous nous proposons d'élaborer un outil de gestion permettant à la Régie des Chemins de Fer du Sénégal (R.C.F.S) :

- d'optimiser les revenus des recettes du trafic ferroviaire en vue de contribuer à un certain effort d'autofinancement
- de disposer d'un instrument d'appréciation de l'efficacité de ses actions de développement.

Pour atteindre cet objectif, nous procédons suivant le plan d'étude ci-dessous.

- I description de la situation de la R.C.F.S et position du problème.
- II modélisation du problème.
- III acquisition des données et estimation des paramètres.
- IV obtention d'une solution optimale.
- V analyse des résultats.
- VI recommandations.
- VII conclusion.
- VIII annexes
- IX Bibliographie.

Cette approche spécifique à la méthode scientifique de gestion se caractérise par un processus cyclique et les différentes étapes ne sont pas nécessairement exécutées dans l'ordre illustré.



Approche scientifique en gestion  
(étapes d'une recherche opérationnelle)

## TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Description de la régie	3
Formulation du problème	6
Modélisation du problème	9
Acquisition des données et estimation des paramètres	16
Obtention d'une solution optimale	
Rappel sur la programmation linéaire	24
Organigramme de résolution	31
Programme linéaire à résoudre	34
Programme (Logiciel)	36
Solution optimale obtenue	41
Analyse des résultats	
Rappel sur la dualité	43
Analyse des résultats	47
Recommandations	55
Conclusion	60
Annexes	63
Bibliographie	71

# INTRODUCTION

La R.C.F.S, comme la plupart des entreprises, connaît d'énormes difficultés qui se reflètent à travers les résultats de sa gestion. Ces difficultés se situent en général à deux niveaux :

- La première catégorie relève de la conjoncture : la crise économique mondiale mais aussi les conditions climatiques défavorables sévissant dans nos pays sahéliens et sous-développés affectent durement tous les efforts de développement.

- La deuxième catégorie est relative aux structures internes de la régie. Elle est spécifique aux établissements publics nationaux.

Pour trouver des remèdes aux problèmes de la seconde catégorie, la R.C.F.S a entrepris plusieurs actions qu'on peut trouver dans le " Plan de relance de l'exploitation du chemin de fer " de 1984-1985. Parallèlement à ces activités, la régie a aussi contacté des structures externes. C'est ainsi qu'elle a eu à confier à l'École Polytechnique de Thiès la présente étude.

L'étude se propose d'optimiser les revenus tout en gardant le potentiel humain et matériel à son niveau actuel.

Une étude théorique, si raffinée soit-elle, n'est utile que si ses conclusions sont corroborées par la pratique dans une certaine mesure. Ainsi notre œuvre doit être considérée comme une approche assez générale qui devra être parachèvement par des éléments appartenant à la région. Le pragmatisme de ces derniers est essentiel pour une élaboration beaucoup plus précise de certains paramètres; il permet aussi d'atteindre une certaine adéquation entre les objectifs de notre étude et les préoccupations effectives de la région.

L'informatisation progressive du système de gestion de la D.C.F.S confirme l'importance du thème choisi.

Le fait qu'aucune étude antérieure n'ait été tentée dans ce sens doit constituer un élément catalyseur pour la collaboration entre agents de la région et initiateurs du projet. C'est à ce prix seulement que nous aurons un outil de gestion efficace et au service des divisions de la région.



## Chapitre I

### DESCRIPTION DE LA SITUATION DE LA REGIE DES CHEMINS DE FER ET POSITION DU PROBLEME

#### 1. 1 Description de la situation de la R.C.F.S

Le chemin de fer reste un support essentiel du développement agricole, minier et industriel de la République du Sénégal ; il constitue aussi une voie d'approvisionnement importante pour la République du Mali, enclavée.

La R.C.F.S fut une création de l'administration coloniale. Actuellement, elle est un établissement public à caractère industriel et commercial dont la mission est d'assurer le transport des biens et des personnes.

Le diagnostic publié dans le "Septième plan national de développement 1985-1989" reflète assez bien la situation de la régie. Nous vous proposons ci-dessous, quelques éléments significatifs de ce diagnostic en vue de mettre en relief certains problèmes sérieux de la régie.

### 1.1.1 Dans son fonctionnement.

La mauvaise situation de la trésorerie, les lourdeurs administratives spécifiques aux établissements publics et la diversité de statuts au niveau du personnel entravent son bon fonctionnement.

### 1.1.2 En ce qui concerne le matériel

La mauvaise qualité de la voie, l'insuffisance et la vétusté du matériel roulant et le bas niveau permanent des stocks de pièces de rechange sont autant de facteurs qui perturbent sérieusement les projets de développement du trafic.

### 1.1.3 Dans le financement du développement.

Les blocages sont causés par :

- une lenteur générale dans la mise en place des financements internationaux.
- une insuffisance de la participation de la région aux négociations des conditions de financements qui la concernent
- une insuffisance de fonds propres

### 1.1.4 Dans l'exécution des projets

Les longues procédures administratives alourdissent

les prix souvent révisés en hausse

#### 1.1.5 Entre secteurs ou services.

Le manque de coordination entre ces derniers est un frein sérieux au développement.

#### 1.1.6 Niveau externe.

- Le parallélisme entre la route et le rail arrive la concurrence entre les trafics routier et ferroviaire. La région y perd beaucoup, bien que le train soit de 40% environ moins cher que l'automobile au niveau des tarifs.

- La séparation des réseaux maliens et sénégalais entrave la fluidité du trafic international.

- La conteneurisation insuffisante ne s'adapte pas aux nouveaux modes de transport (surtout maritimes et aériens)

- L'absence de politique ferroviaire nationale limite le développement du transport dans ce domaine.

Cela peut en quelques mots, les grandes difficultés auxquelles la région doit trouver des remèdes et qui motivent aussi la réalisation de notre étude.

## 1.2 Formulation du problème et sa position.

Dans le cadre de son plan de relance, la régie cherche à atteindre un certain niveau d'auto-financement; ceci peut se faire en maximisant la marge brute variable de l'ensemble des produits transportés.

Equation de la marge brute variable :

$$M_{P(n)} = P_{P(n)} - V_{P(n)}$$

où  $M_{P(n)}$  est la marge brute variable du produit  $P(n)$  par unité de trafic (UT)

$P_{P(n)}$  est la recette obtenue sur le produit  $P(n)$  par UT

$V_{P(n)}$  est l'ensemble des coûts variables du produit  $P(n)$  par UT

Il est évident que certaines contraintes nous empêchent de maximiser indéfiniment cette marge brute variable.

Entre autres contraintes nous pouvons citer :

- celles relatives au marché

- tonnage maximum demandé pour un produit
- capacité de stockage des stations (gares)

- celles relatives aux capacités du matériel roulant

a) matériel moteur : puissance des locomotives

b) matériel remorqué : capacité de transport des wagons selon leur spécialisation

- celles relatives aux poids linéaires des rails : la capacité des rails est proportionnelle à leurs poids linéaires.
- celles relatives aux priorités définies par les pouvoirs publics
  - a) maintien du trafic-voyageur sur certaines lignes réputées déficitaires
  - b) priorité absolue au transport de l'aide alimentaire en direction de la République du Mali.
  - c) priorité absolue au transport du matériel de construction destiné au barrage de Manantali.

Ainsi nous avons à maximiser une fonction sous certaines contraintes. On peut poser ce problème sous forme de programme linéaire.

La Recherche opérationnelle recelle des méthodes de résolution de programmes linéaires moyennant certaines conditions. Pour notre part, nous nous contentons d'employer l'une des méthodes les plus simples mais non moins efficace : la programmation linéaire. Les conditions à satisfaire pour son application sont :

- univers certain .
- problème statique .
- état continu .

La première condition suppose que le futur soit appréhendé avec une certaine précision : l'avenir est certain ; ce qui est rarement exact.

La deuxième hypothèse exige la stabilité des structures et de l'environnement avec lequel elles interagissent ; elle limite ainsi la validité de l'analyse dans le temps.

La dernière condition veut que les variables de la fonction à étudier soient continues.

Il apparaît dès lors que la programmation linéaire ne sert à résoudre que des problèmes déterministes.

Néanmoins une analyse post-optimisation (analyse de sensibilité) nous permet de contourner ces restrictions et de tenir compte de l'aspect dynamique des problèmes, de l'incertitude qui pèse sur l'avenir et de bien d'autres facteurs influents dans notre étude.

## Chapitre II

### MODELISATION DU PROBLEME

#### 2.1 fonction économique -

La marge variable totale constitue notre fonction objective à maximiser

$$\text{Soit } \max z = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P_k - V_k) \times D_{ij} \times x_{ij}^k$$

ou

$P_k$  et  $V_k$  sont les recettes et coûts variables pour un produit  $k$  et par unité de trafic (U.T)

$D_{ij}$  est la distance entre la ville  $i$  et la ville  $j$

$x_{ij}^k$  est la quantité de produit  $k$  à transporter sur une période évaluée à un an, entre la ville  $i$  et la station  $j$ .

La période d'un an est choisie conformément aux vœux de la Division Economique et Financière (D.E.F) qui étale ses prévisions sur un an; c'est le promoteur du thème choisi pour le projet.

#### 2.2 Contraintes

##### type I

La quantité de produit  $k$  que peut fournir la ville  $i$

considérée est limitée par

- le potentiel dont dispose la ville concernant ce produit.
- la capacité de chargement des installations existantes.

On peut modéliser cette restriction comme suit :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^k \leq O_k$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

$O_k$  étant la quantité de produit  $k$  que peut fournir la ville  $i$  vers la ville  $j$ .

Concernant le potentiel global de la ville  $i$ , nous aurons :

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \leq \sum_{k=1}^m O_k$$

type II

La quantité de produit  $k$  que peut recevoir la ville  $j$  est limitée par :

- les capacités de stockage de la ville pour un produit donné
- les capacités de déchargement des installations existantes

Soit

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k \leq S_k$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$



$$k = 1, 2, \dots, m.$$

$S_k$  étant la quantité de produit  $k$  que peut recevoir la ville  $j$  en provenance de la ville  $i$

Concernant le potentiel global de la ville  $j$ , nous aurons

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij}^k \leq \sum_{k=1}^m S_k$$

type III

Le tonnage maximal transportable ne pourrait dépasser le potentiel du marché concernant le produit  $k$  donné.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \leq Q_k$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

$Q_k$  étant le potentiel du marché en ce qui concerne le produit  $k$ .

type IV

Les capacités des wagons constituent une autre contrainte sur l'augmentation des tonnages.

$$\sum_{k_b=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^{k_b} \leq W_b$$

$W_b$  étant la capacité de transport des wagons de type  $b$  sur la période préétablie.

$b$  variant de 1 au nombre total de types de wagon (5)  
 $k_b$  étant le numéro du produit transportable sur les wagons de type  $b$ .

Ceci est dû au fait qu'il y a au niveau du parc du matériel remorque, des wagons spécialisés et d'autres qui sont polyvalents.

type V

Les puissances effectives des locomotives sont aussi des restrictions quant aux accroissements des quantités de produits à transporter.

Pour modéliser cette contrainte, nous nous référons à la planification qui régit l'affectation théorique des locomotives sur les différentes lignes du réseau ferroviaire.

$$\sum_{k_h=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^{k_h} \leq \sum_{h=1}^p L_h$$

$L_h$  étant la capacité annuelle de traction des locomotives de type  $h$

$k_h$  étant le produit transportable sur une locomotive de type  $h$

type VI

Cette contrainte tient compte

- des poids linéaires des rails

L'hétérogénéité des poids linéaires des rails composant le réseau majeure les capacités de traction des locomotives à une valeur inférieure à leurs performances effectives.

En effet le poids linéaire du rail détermine sa charge qui est d'autant plus importante que ce poids linéaire est élevé.

- des pentes sur la voie ferrée

Ce paramètre limite et la vitesse et les chargements des locomotives.

Ces deux grandeurs seront intégrées au temps opportun dans la détermination des charges maximales des locomotives.

type VII

Les priorités nationales constituent la dernière série de contraintes limitant l'accroissement de la marge brute variable totale.

Les quantités de produits à transporter sont majorées par le potentiel du marché et minorées par une valeur fixée d'avance.

S'il n'y a aucune spécification sur ces valeurs, on établit une égalité entre le tonnage à effectuer et le potentiel soit :

- dans le premier cas

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = Q_k$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \geq C_k$$

où  $k = 1, 2, \dots, m$

$C_k$  est la quantité minimale de produit prioritaire permise.

- dans le deuxième cas

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = Q_k$$

$k = 1, 2, \dots, m$

### N.B

Le trafic - voyageurs a été supprimé de cette étude parce qu'il ne dispose pas de données statistiques et le fait qu'il soit subventionné favorise son élimination des facteurs capables de contribuer à l'effort d'auto-financement.

### 2.3 élaboration des paramètres

$P_k$ ,  $V_k$ ,  $O_k$ ,  $S_k$  et  $Q_k$  sont des données fournies par la Régie. Elles représentent les prévisions de la régie.

Détermination de  $L_h$ .

$$L_h = R_h \times 12 \times N_h \times d_h \times T_h$$

où

$R_h$  est le taux de rotation mensuel d'une locomotive de type  $h$

$N_h$  est le nombre de locomotives de type  $h$

$d_h$  est la disponibilité d'une locomotive de type  $h$

$T_h$  est la charge nette moyenne d'une locomotive de type  $h$

Détermination de  $W_b$

$$W_b = R_b \times 12 \times N_b \times d_b \times T_b$$

Les paramètres ont la même signification que précédemment.

## Chapitre III

### ACQUISITION DES DONNEES ET ESTIMATION DES PARAMETRES

#### 3-1 Principales gares et leurs codes

Gares principales	Codes
Dakar	0000
Rufisque	0029
Thiès	0070
Guinguinée	0204
Kaffrine	0252
Kounguel	0336
Tambacounda	0465
Kidira	0643
Lam-Lam	2013
Tivaouane	2022
Kaolack	5022

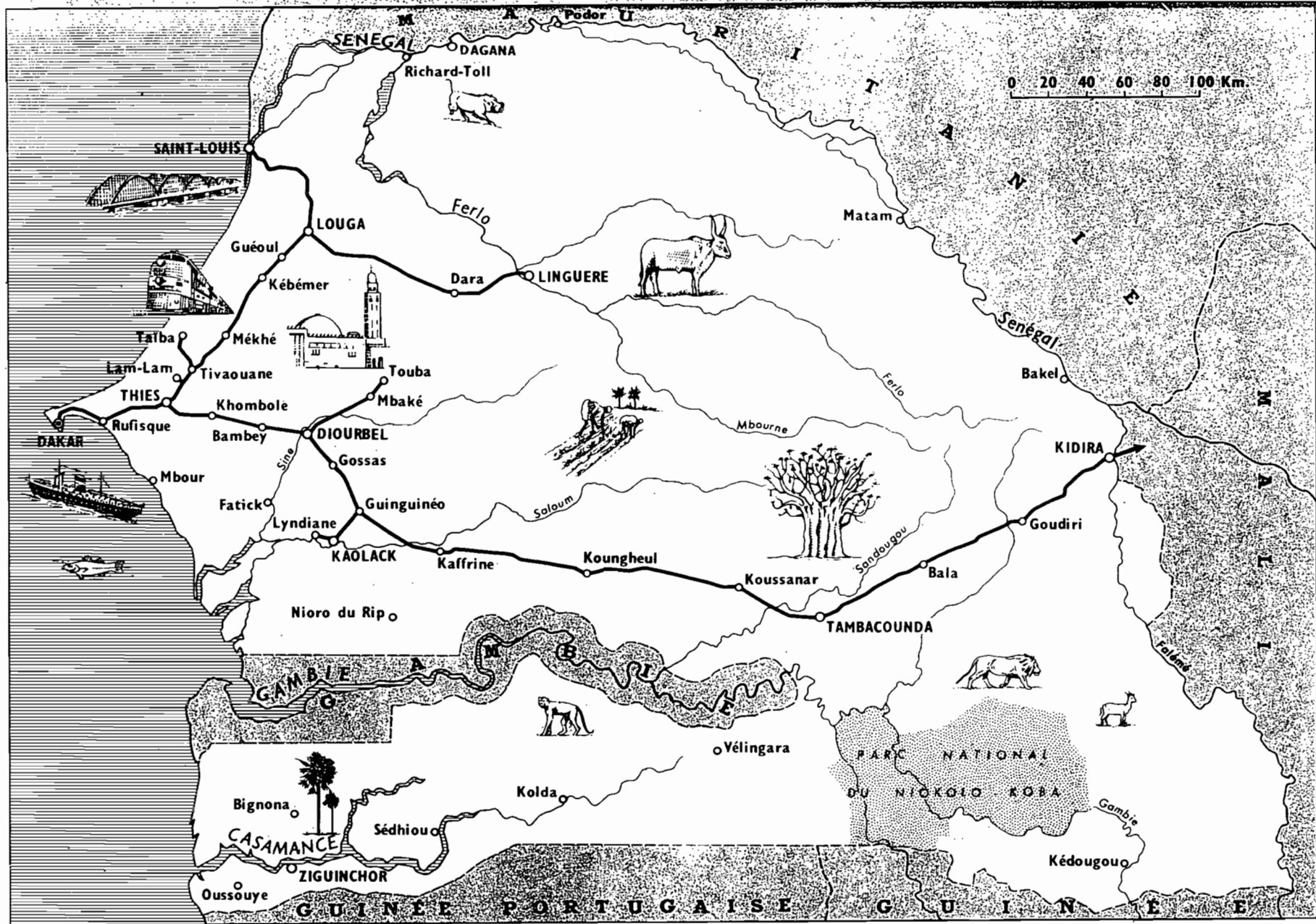
Le premier chiffre à partir de la gauche indique la ville d'origine

0 → Dakar

2 → Thiès

5 → Guinguinée

Les trois derniers chiffres indiquent la distance séparant l'origine de la gare citée.



### 3.2 Marchandises transportées et prévisions

( Ref : plan de relance 1985 - 1986 )

#### En national

Produits	Prévisions (Tomas)
Phosphates de Gaïba	1 300 000
Phosphates de Lam-Lam	350 000
Hydrocarbures	30 000
Arachides	57 000
Coton - fibre	4 500
Divers	négligeable

#### En international

Produits	Prévisions
Sel	40 000
Engrais	12 000
Denrées alimentaires	16 000
Ciment	20 000
Fers et tôles	16 000
Véhicules et engins	4 000
Conteneurs	4 000
Hydrocarbures	57 000
Divers	16 000
Céréales	40 000



## Barrage de Manantali

Produits	Prévisions (tonnes)
Ciment	75 000
Hydrocarbures	12 000
Divers	15 000

### 3.3 Parc du matériel roulant

#### 3.3.1 Matériel moteur (transport marchandises)

Type de locomotives	Nbre	Affectation théorique	Taux de Rotation mensuel	disponibilité w	T/tr	L Tonnes/an
RB 1100/1200	11	1 à La SSPT	60	0,55	500	198 000
		2 à l'arachide	20	0,60	500	144 000
BB 1600/cc 1700	10+3	1 à La SSPT	60	0,70	500	252 000
		8 à l'international	7,89	0,64*	650	315 095
cc 2475	2	2 à TAIBA	60	0,70	1300	1310 400

w est le chargement moyen d'un train donné

\* La disponibilité des locomotives sur l'international est une moyenne pondérée (disponibilité des RB 1600 = 0,60 et celle des cc 1700 = 0,75)

$$d^* = \frac{0,6 \times 10 + 0,75 \times 3}{10 + 3} \approx 0,64$$

T/tr → tonne par train.

3.3.2 Matériel remorquéIu international

types de wagons	H	LH	K+KV	T	L
Sénégal	75	50	278	68	37
Mali	51	10	151	23	31
Total	126	60	429	<b>91</b>	68
taux de rotation	1,567	3,885	1,760	1,150	1,20
disponibilité	0,85	0,90	0,85	0,80	0,80
charge par wagon	35	35	30	30	30
$W_b$ (tonnes/an)	70 486	88 112	231 042	30 140	23 500

Le symbole H désigne les citernes-hydrocarbures  
 " " LH " les citernes - ciment en vrac  
 " " K " les wagons couverts  
 " " KV " " " couvert - vrac  
 " " T " les tombereaux  
 " " L " les plate-formes.

Nous ne disposons d'aucun renseignement sur les wagons porte-conteneurs dont s'est probablement doté la région.

Iu national

Il n'y a que le transport de l'arachide qui dispose de données accessibles au niveau de la R.C.F.S.

type de wagon	K + KV
Nombre	229
Rotation mensuelle	6
disponibilité	0,85
charge / wagon (tonnes)	30
$W_b$	175 185

3.3.3. TAÏBA a ses propres wagons qui sont tirés par des locomotives appartenant à la région.

Quand à la SSPT elle emploie et des wagons et des locomotives de la R.C.F.S.

Nous n'avons pas pu obtenir les données relatives à ces matériels.

Mais nous avons eu la confirmation (auprès de la division des études générales) que les capacités des wagons dépassent celles des locomotives qui seraient ainsi les facteurs limitants.

### 3.4 Planification du transport de marchandises

(Référence "tableau des trains réguliers" en annexe)

### 3.5 Tableau des tarifs - coûts fixes - marges brutes variables - coûts variables des produits par unité de transport et de la distance sur laquelle ils sont transportés.

TRAFIC	PRODUITS	#	P (CFA/TK)	V (CFA/TK)	D (Km)	(P-V) x D (CFA/T)
NATIONAL	PHOSPHATES - TAÏBA	1	11,27	1,86	92	865,72
	PHOSPHATES - Loulou	2	9,85	3,98	83	487,21
	HYDROCARBURES	3	22,07	4,25	92	1639,44
	ARACHIDES	4	20,70	4,57	294	4742,22
	COTON-FIBRE	5	14,00	4,25	465	4533,75
INTERNATIONAL	SEL	6	17,59	6,08	461	5306,11
	ENGRAIS	7	16,44	6,08	643	6661,48
	Denrées Alimentaires	8	25,87	6,08	643	12724,97
	Ciment	9	20,53	5,472	614	9245,612
	Fers et tôles	10	23,64	6,08	643	11291,08
	Véhicules et engins	11	66,87	6,08	643	39087,97
	Contenaieurs	12	25,92	6,08	643	12757,12
	Hydrocarbures	13	19,26	6,08	643	8474,74
	Céréales	14	17,10	6,08	643	7085,86
	Divers	15	34,80	6,08	643	18466,96
MANANTALI	Ciment	16	19,48	5,472	614	8600,912
	Hydrocarbures	17	25,05	6,08	643	12197,71
	Divers	18	23,33	6,08	643	11091,75

P (prix de vente de l'unité de transport TK (tonne-kilomètre))  
et V (coût variable de l'UT) sont fournis par la Division  
Economique et Financière de la R.C.F.S.

# est la numérotation arbitraire que nous attribuons à  
chaque produit.

Le montant total des coûts fixes s'élève  
à une valeur que nous déterminerons au  
niveau du chapitre V

TARLEAU DES PRODUITS ET DES  
MOYENS PAR LESQUELS ILS SONT TRANSPORTES

TRAFIC	PRODUITS	L	T	K+KV	H	LH	S
NATIONAL	Phosphates - Taïba						+
	Phosphates - Law Law						+
	Hydrocarbures				+		
	Arachides			+			
	Cola - fibre			+			
INTERNATIONAL	Sal			+			
	Eugrais			+			
	Denrées Alimentaires			+			
	Ciment			+			
	Fers et Tôles	+	+				
	Valicules et Eugrais	+					
	Conteneurs	+					
	Hydrocarbures				+		
	Céréales			+			
	Divers			+			
MANANTALI	Ciment					+	
	Hydrocarbures				+		
	Divers			+			

Données fournies par la direction commerciale.

S → wagon spécial (pour les phosphates)

## Chapitre IV

### OBTENTION D'UNE SOLUTION OPTIMALE

#### 4.1 Rappel sur la programmation linéaire

La programmation linéaire est une méthode de calcul qui permet à l'utilisateur de résoudre des problèmes de gestion de type décisionnel dans un univers déterminé.

Dans une première étape, nous employerons la méthode du simplexe pour l'optimisation de la fonction objective. Si par ce processus nous aboutissons à une solution optimale mais non réalisable, nous continuerons la résolution par la méthode du dual-simplexe.

#### 4.1.1 Méthode de résolution

$$\text{Soit à maximiser } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

sous contraintes

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (\text{ou } \geq) b_i$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad \text{et} \quad x_j \geq 0$$

C'est un problème sous la forme d'un programme linéaire à  $n$  variables non négatives et  $m$  contraintes

Pour le cas de la régie, nous noterons une certaine simplification qui allège la notation :

- Les produits ont respectivement une seule destination et un seul point d'embarquement. Ainsi on peut représenter

$$x_{ij}^k \text{ par } x_k$$

Identification des paramètres

$i$  est le numéro de la contrainte (ressource)

$j$  est l'indice d'une variable (activité ou produit)

$m$  est le nombre de contraintes

$n$  est le nombre de variables

$b_i$  est la quantité maximum disponible d'une ressource  $i$

$C_j = (P_k - V_k) D_{ij}$  est le coefficient de la fonction économique (i.e. la marge brute variable pour une unité de l'activité  $j$ )

$a_{ij}$  est le coefficient d'une contrainte (quantité de ressources  $i$  pour une activité  $j$ )

$Z$  est la marge brute variable totale.

Une façon pratique de résoudre le problème est de le mettre sous forme standard en remplaçant les inéquations par des équations

#### 4.1.1.1 contraintes ayant un signe $\leq$

On leur ajoute une variable d'écart affectée d'un coefficient  $+1, x_i^0$

On obtient : 
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} + x_{n+i}^a = b_i$$

#### 4.1.12 contraintes ayant un signe $\geq$

On leur ajoute une variable d'écart affectée d'un coefficient  $-1$ ,  $x^a$  et une variable artificielle affectée d'un coefficient  $+1$ ,  $x^a$ .

On obtient : 
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + x_a - x_{n+i}^a = b_i$$

Lorsque le programme linéaire est écrit sous la forme standard, les variables d'écart constituent la solution de base et sont affectées d'une marge brute variable unitaire nulle. Les variables artificielles sont affectées d'une marge brute variable unitaire égale à  $-1$  (factes) ceci pour éviter qu'elles n'entrent dans la base.

Pour éliminer les variables artificielles avant l'optimisation, nous employons la méthode des deux phases.

Soit la fonction : 
$$z' = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - \sum_{j=1}^r y_j = z - \sum_{j=1}^r y_j$$

#### Phase I

On cherche à minimiser  $\sum_{j=1}^r y_j$  dans une première étape en utilisant les méthodes classiques de minimisation (simplexe)

#### Phase II

Une fois la solution optimale obtenue dans la phase I, on remplace dans le tableau final, la fonction objective par celle du problème initial :  $z$ . Ensuite on réoptimise par la méthode du simplexe - cette méthode est décrite dans les pages suivantes.

La phase d'optimisation se déroule sur un tableau de la forme :



	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$	$x_{n+1}$	...	$x_{n+m}$	
$x_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	1	...	0	$b_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	0	...	1	$b_m$
$x_0$	$-c_1$	$-c_2$	...	$-c_n$	0	...	0	0
					BASE			

Les variables  $(x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m})$  de base constituent une solution de base initiale.

Si parmi les autres variables il en existe qui ont des coefficients négatifs dans la dernière rangée, il faut choisir la variable hors base ayant le plus petit coefficient pour le faire entrer dans la base.

C'est le premier critère ou critère d'entrée de la méthode du simplexe.

Si tous les coefficients sont positifs ou nuls, alors la solution est optimale.

Le deuxième critère ou critère de sortie consiste à calculer les rapports entre les coefficients du deuxième membre et ceux correspondants de la variable entrante,  $x_q$ ,  $b_i/a_{iq}$ ; le plus petit rapport,  $b_p/a_{pq}$ , indique la variable qui doit sortir de la base,  $x_p$ .

On procède alors à l'opération de pivotage qui consiste à intervertir  $x_p$  et  $x_q$ ; ceci entraîne des modifications sur tout le tableau; un  $a_{ij}$  quelconque devient:

$$a'_{ij} = a_{ij} - (a_{pj}) \times (a_{iq}/a_{pq})$$

Et tous les  $a_{pj}$  deviennent :

$$a_{pj}^* = a_{pj} / a_{pq}$$

Après l'opération de pivotage, on commence de nouveau le processus d'itérations jusqu'à l'obtention d'une solution optimale.

Il arrive quelque fois que la solution obtenue ne soit pas réalisable; cette situation se présente quand :

- tous les  $c_j$  sont positifs ou nuls (solution optimale)
- il existe au moins un  $b_i$  négatif (solution non réalisable)

La méthode du dual-simplexe nous permet de continuer la recherche d'une solution optimale et réalisable. Ceci découle des propriétés de la dualité qui permet entre autres choses de transformer un problème de maximisation en un problème de minimisation et vice-versa. Ainsi le dual d'un problème (primal) a pour dual le problème primal lui-même.

Dans le tableau dual optimisé par la méthode du simplexe, on peut déduire les solutions optimales du primal.

L'algorithme du dual-simplexe s'applique directement sur le tableau primal optimisé et comportant une solution irréalisable.

La procédure est l'inverse de celle du simplexe.

#### premier critère ou critère de sortie

Il s'agit de choisir le plus petit coefficient du second membre,  $b_p$   $x_p$  sera la variable sortante.

Si tous les  $b_i$  sont positifs ou nuls, alors la solution est optimale et réalisable.

- deuxième critère ou critère d'entrée

Il consiste à calculer les rapports  $c_j / -a_{pj}$  pour les  $a_{pj}$  négatifs. Le plus petit rapport  $c_q / -a_{pq}$  indiquera la variable entrante,  $x_q$ .

L'opération de pivotage est similaire à celle effectuée dans la méthode du simplexe.

On continue les itérations jusqu'à l'obtention d'une solution optimale et réalisable ; c'est à dire :

- tous les  $b_i$  sont positifs ou nuls
- tous les  $c_j$  sont positifs ou nuls.

#### 4.1.2 Analyse de sensibilité

##### 4.1.2.1 changement aux marges brutes variables unitaires

L'augmentation des tarifs ou/et celle des coûts variables (hausse des prix des carburants et autres consommations) pour un produit donné modifient ces coefficients d'une grandeur  $Q$  pour un produit  $q$  donné.

Pour tenir compte de cette variation on procède comme suit sur le tableau final optimisé :

- On introduit d'abord la modification :

$$C_q^* = C_q - Q$$

- Si  $x_q$  était dans la base, on annule le coût réduit associé :

$$C_j^* = C_j - C_q^* \times A(K, j)$$

- $k$  étant l'indice de la ligne (de) sur laquelle se trouve la variable de base,  $x_q$

- $A$  étant la matrice des coefficients des contraintes

Ensuite on optimise de nouveau s'il y a lieu de le faire.

- Si  $x_q$  n'est pas dans la base, on optimise de nouveau si c'est nécessaire.

#### 4.12.2 changement aux seconds membres.

L'augmentation d'une ressource  $k$ , d'une quantité  $T$  et celle des performances des locomotives et wagons se traduisent par des modifications suivantes sur le tableau final optimisé :

$$A^*(I, N) = A(I, N) + A(I, I\phi + k - 1) \times T$$

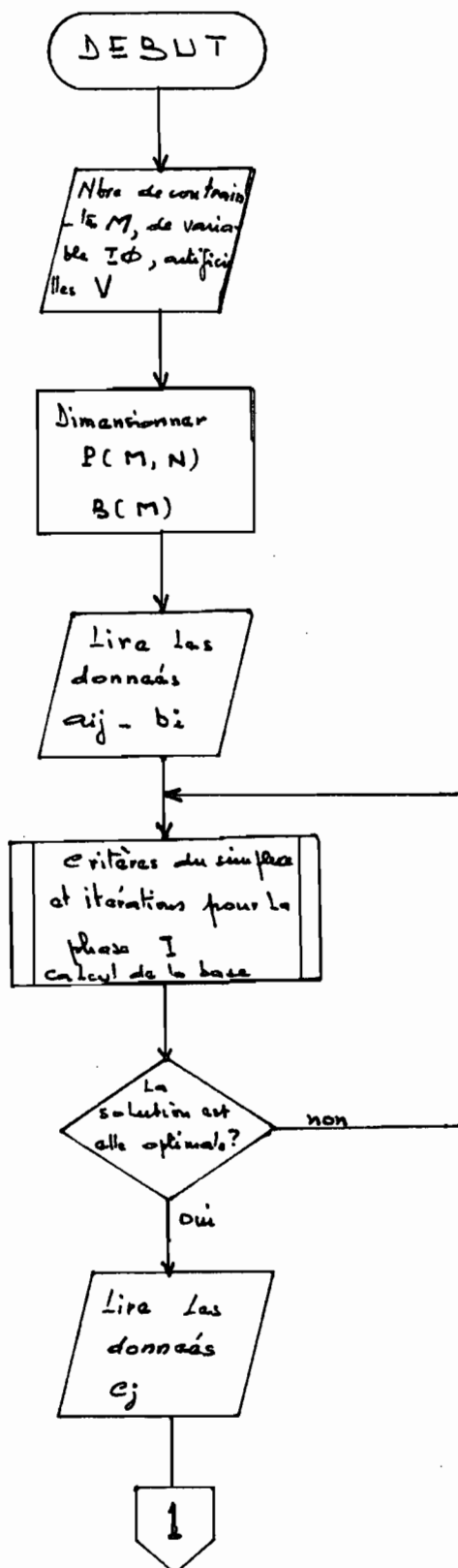
On procède ensuite à l'optimisation si nécessaire. Inon on a effectué une opération non rentable (au point de vue recettes)

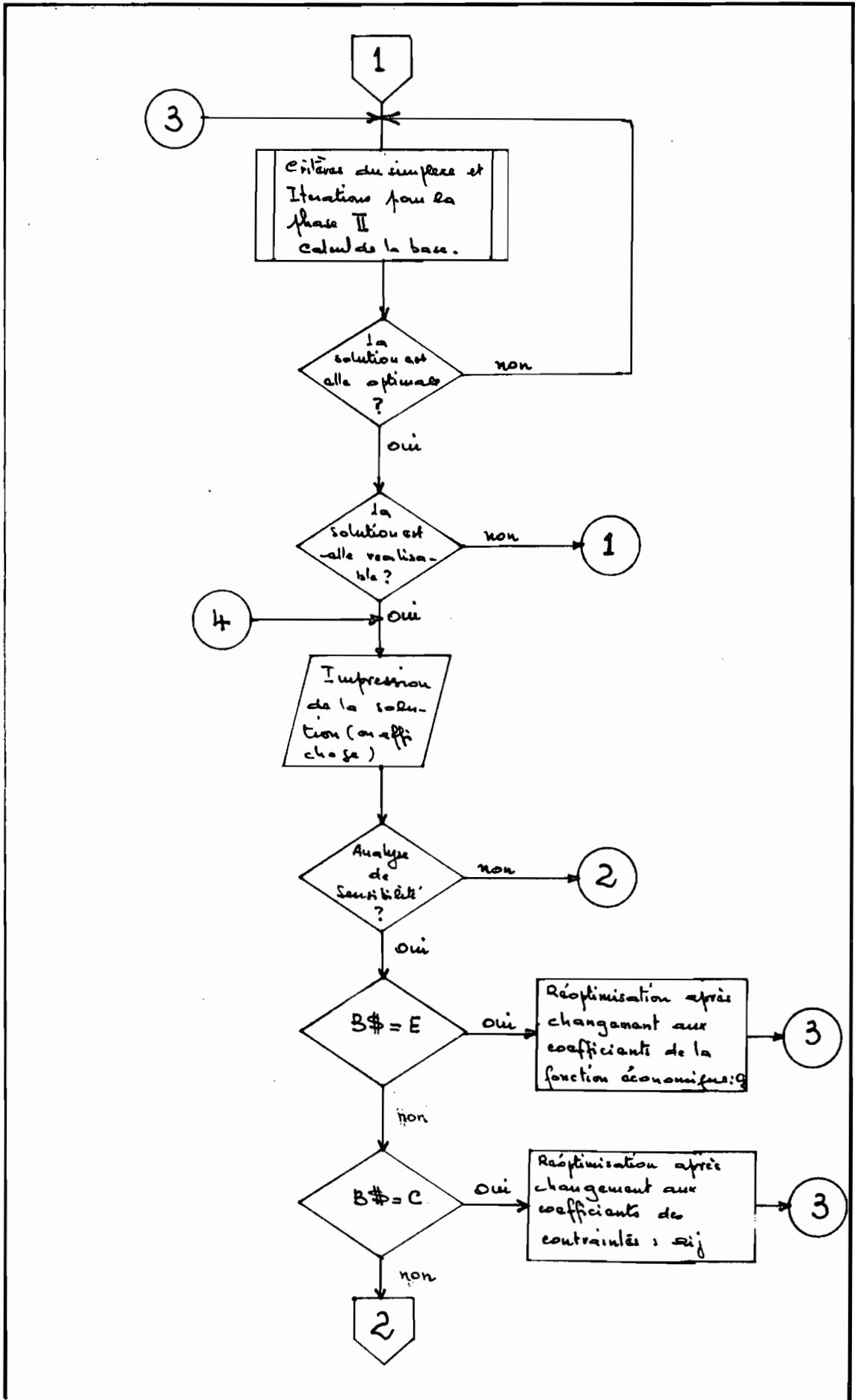
#### 4.12.3 changement aux coefficients des contraintes

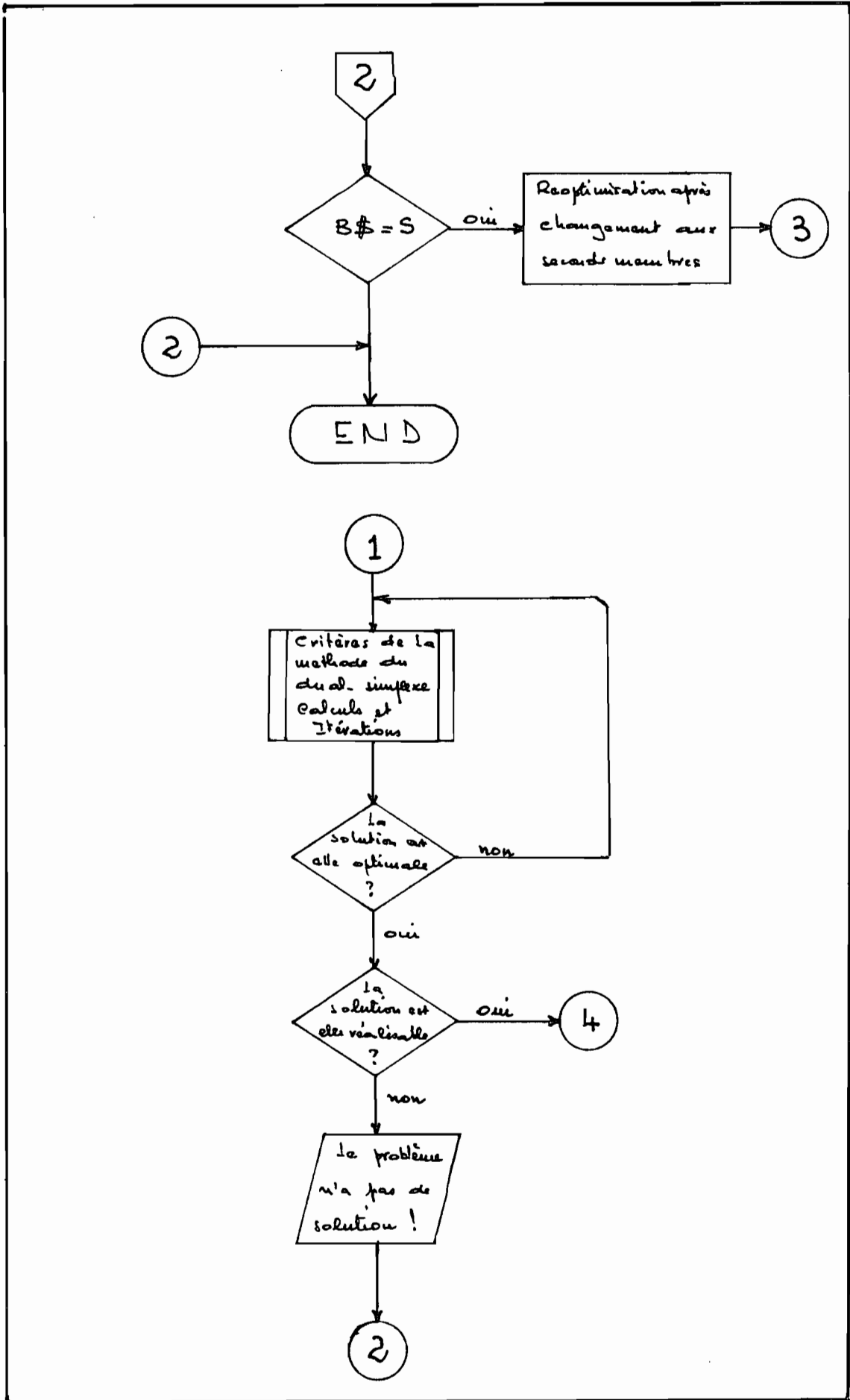
Ce changement est relatif à une modification de la quantité de produit (activité)  $j$  prise sur la ressource  $i$ .

On en tient compte de la même manière que précédemment.

4.12.4 Par l'addition d'une nouvelle variable ou contrainte, nous préférons agir sur le programme linéaire initial en vue d'alléger le programme d'ordinateur qui risquerait d'être d'avantage plus compliqué ; nous recherchons des solutions simples et pratiques.

4.2 Organigramma de résolution





4.3 Programme Linéaire à résoudre

$$\begin{aligned} \max \quad z = & 865,72 x_1 + 487,21 x_2 + 1633,44 x_3 + 4742,22 x_4 \\ & + 4533,75 x_5 + 5306,11 x_6 + 6662,48 x_7 + 12724,37 x_8 \\ & + 9245,612 x_9 + 11291,08 x_{10} + 33087,37 x_{11} + 12757,12 x_{12} \\ & + 8474,74 x_{13} + 7085,86 x_{14} + 18466,96 x_{15} + 8600,912 x_{16} \\ & + 12197,71 x_{17} + 11091,75 x_{18} + 11291,08 x_{19} \end{aligned}$$

sous contraintes

$$\begin{aligned} x_1 & \leq 1300 \text{ 000} \\ x_2 & \leq 360 \text{ 000} \\ x_3 & \leq 30 \text{ 000} \\ x_4 & \leq 57 \text{ 000} \\ x_5 & \leq 4500 \\ x_6 & \leq 40 \text{ 000} \\ x_7 & \leq 12000 \\ x_8 & \leq 16 \text{ 000} \\ x_9 & \leq 20 \text{ 000} \\ x_{10} + x_{19} & \leq 16 \text{ 000} \\ x_{11} & \leq 4 \text{ 000} \\ x_{12} & \leq 4000 \\ x_{14} & \leq 40000 \\ x_{15} & \leq 16 \text{ 000} \\ x_{16} & \leq 25 \text{ 000} \\ x_{17} & \leq 12000 \\ x_{18} & \leq 15 \text{ 000} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 x_{13} & \leq 57000 \\
 x_{10} & \leq 30140 \\
 x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{14} + x_{15} + x_{18} & \leq 231042 \\
 x_{13} + x_{17} & \leq 70487 \\
 x_{11} + x_{12} + x_{19} & \leq 23500 \\
 x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + \\
 & + x_{17} + x_{18} + x_{19} \leq 315095
 \end{aligned}$$

Dans ce programme linéaire, les contraintes de types I, II et III se réduisent en une seule série de contraintes de la

forme 
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq \min(O_i, S_i, Q_i);$$

faute de renseignements sur  $O_i$ ,  $S_i$  et  $Q_i$ , nous avons dû nous contenter des précisions de la D.E.F pour mener à bien notre étude.

Les contraintes de types VII se ramènent à une égalité; nous n'avons pas pu obtenir la valeur minimale de tonnage permise en ce qui concerne les "priorités".

#### 4.4 Programme de résolution par ordinateur

(voir page suivante)

```

00010 REM : PROGRAMME DE PROJET DE FIN D'ETUDES DE MAMADOU NDIAYE,MLE 440
00020 REM : RELATIF A L'APPLICATION DE LA RECHERCHE OPERATIONNELLE
00030 REM : EN VUE D'OPTIMISER LES RECETTES DE LA REGIE DES CHEMINS DE FER
00030 :
          DU SENEGAL
00040 REM :
00050 REM : *****DEFINITION DES PARAMETRES*****
00060 REM :
00070 REM : RESOLUTION D'UN PROGRAMME LINEAIRE PAR LA METHODE DU DUAL-SIMPLEX
00080 BEGIN ; FLOATING POINT ; PRECISION 14
00090 INPUT "LE NOMBRE DE CONTRAINTES EST : ",M
00100 INPUT "LE NOMBRE DE VARIABLES DE DECISION EST : ",I0
00110 INPUT "LE NOMBRE DE VARIABLES ARTIFICIELLES EST V= ",V
00120 LET N=M+I0+V
00130 DIM P(M,N),C(I0)
00140 REM :
00150 REM : *****ENTREE DES DONNEES*****
00160 REM :
00170 OPEN (1) "EP440PR8"
00180 FOR I=0 TO I0-1
00190 READ (1) C(I)
00200 NEXT I
00210 CLOSE (1)
00220 OPEN (1) "EP440PR5"
00230 FOR I=0 TO M-1
00240 FOR J=0 TO M-1
00250 IF J=I THEN LET P(I,J+I0)=1
00260 NEXT J
00270 FOR J=0 TO I0-1
00280 READ (1) P(I,J)
00290 NEXT J
00300 READ (1) P(I,N)
00310 NEXT I
00320 INPUT "A-T-ON BESOIN D'EMPLOYER LA PREMIERE PHASE ? ",A$
00330 IF A$="OUI" THEN GOTO 00430
00340 PRINT "FONCTION ECONOMIQUE"
00350 FOR J=0 TO I0-1
00360 PRINT "COEFFICIENT DE X ",J+1
00370 READ (1) P(M,J)
00380 NEXT J
00390 GOTO 00640
00400 REM :
00410 REM : *****METHODE DE LA PREMIERE PHASE*****
00420 REM :
00430 FOR J=0 TO V-1
00440 INPUT "LA VARIABLE ARTIFICIELLE POUR LA RANGEE : ",Z
00450 LET H=Z
00460 PRINT "TAPER LE CHIFFRE 0 POUR UNE CONTRAINTE DE TYPE = ."
00470 PRINT "TAPER -1 POUR UNE CONTRIANTE DE TYPE >= "
00480 INPUT A
00490 LET Y=A
00500 LET P(H-1,I0+H-1)=Y
00510 LET P(H-1,M+I0+J)=1
00520 LET P(M,M+I0+J)=-1
00530 NEXT J

```

```

00540 FOR J=M+10 TO N-1
00550 FOR I=0 TO M-1
00560 IF P(I,J)<>1 THEN GOTO 00590
00570 LET K=I
00580 LET I=M-1
00590 NEXT I
00600 FOR S=0 TO N
00610 LET P(M,S)=P(M,S)+P(K,S)
00620 NEXT S
00630 NEXT J
00640 LET M0=0
00650 REM :
00660 REM :*****PREMIER CRITERE DE LA METHODE DU SIMPLEXE*****
00670 REM :
00680 FOR J=0 TO N-1
00690 LET D=P(M,J)
00700 IF A$(<)"OUI" THEN GOTO 00730
00710 IF D<=M0 THEN GOTO 00760
00720 GOTO 00740
00730 IF D>=M0 THEN GOTO 00760
00740 LET M0=D
00750 LET J1=J
00760 NEXT J
00770 IF M0=0 THEN GOTO 01070
00780 REM :
00790 REM :*****DEUXIEME CRITERE DE LA METHODE DU SIMPLEXE*****
00800 REM :
00810 LET X1=.1E+101
00820 FOR I=0 TO M-1
00830 IF P(I,J1)<=0 THEN GOTO 00880
00840 LET R=P(I,N)/P(I,J1)
00850 IF R>X1 THEN GOTO 00880
00860 LET X1=R
00870 LET I1=I
00880 NEXT I
00890 IF X1<>.1E+101 THEN GOTO 00950
00900 PRINT 'CS', "LE PROBLEME N'A PAS DE SOLUTION"
00910 GOTO 01660
00920 REM :
00930 REM :*****PIVOTAGE*****
00940 REM :
00950 LET P=P(I1,J1)
00960 FOR J=0 TO N
00970 LET P(I1,J)=P(I1,J)/P
00980 NEXT J
00990 FOR I=0 TO M
01000 IF I=I1 THEN GOTO 01050
01010 LET X=P(I,J1)
01020 FOR J=0 TO N
01030 LET P(I,J)=P(I,J)-X*P(I1,J)
01040 NEXT J
01050 NEXT I
01060 GOTO 00640

```

```

01070 PRINT "LA SOLUTION OBTENUE EST ELLE REALISABLE ?"
01080 FOR I=0 TO M-1
01090 IF P(I,N)<0 THEN EXITTO 01140
01100 NEXT I
01110 PRINT "OUI"
01120 IF A$="OUI" THEN GOTO 00320
01130 GOTO 01190
01140 PRINT "NON"
01150 GOTO 02040
01160 REM :
01170 REM :*****IMPRESSION DES RESULTATS*****
01180 REM :
01190 INPUT "LE CHOIX DE L'IMPRIMANTE : ",F$
01200 OPEN (6) F$
01210 PRINT (6) a(25),"RESULTATS"
01220 LET R=0; LET Z=0
01230 FOR J=0 TO 10-1
01240 LET L=0; LET D=0
01250 FOR I=0 TO M
01260 IF P(I,J)=1 THEN LET L=L+1; LET D=I; GOTO 01300
01270 IF P(I,J)=0 THEN GOTO 01300
01280 LET L=-1
01290 LET I=M
01300 NEXT I
01310 IF L<>1 THEN GOTO 01360
01320 PRINT (6) a(35)," X ",J+1," = ",P(D,N)
01330 LET R=R+C(J)*P(D,N)
01340 LET Z=Z+P(D,N)
01350 GOTO 01370
01360 PRINT (6) a(35)," X ",J+1," = 0"
01370 NEXT J
01380 INPUT "VOULEZ VOUS AFFICHER LES COUTS REDUITS ? ",D$
01390 IF D$<>"OUI" THEN GOTO 01430
01400 FOR J=0 TO V+M-1
01410 PRINT (6) "LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE ",J+1," EST: ",P(M,10+J)
01420 NEXT J
01430 PRINT (6)
01440 REM :
01450 REM :*****ANALYSE DE SENSIBILITE*****
01460 REM :
01470 PRINT (6) "LE TONNAGE ANNUEL A EFFECTUER EST : ",Z
01480 PRINT (6) "LE TONNAGE MENSUEL A EFFECTUER EST : ",Z/12
01490 PRINT (6) "LES RECETTES ANNUELLES S'ELEVENT A : ",R
01500 PRINT (6) "LA MARGE BRUTE VARIABLE ANNUELLE EST DE : ",P(M,N)
01510 FOR I=0 TO 3; PRINT (6) ; NEXT I
01520 INPUT "VOULEZ-VOUS AFFICHER TOUT LE TABLEAU OPTIMISE ? ",C$
01530 IF C$="OUI" THEN GOTO 01540 ELSE GOTO 01600
01540 FOR I=0 TO M
01550 FOR J=0 TO 10-1
01560 PRINT (6) a(J*6),P(I,J),
01570 NEXT J
01580 PRINT (6) a(115),P(I,N)
01590 NEXT I

```

```
01600 PRINT "VOULER VOUS PROCEDER A L'ANALYSE DE SENSIBILITE?"
01610 CLOSE (6)
01620 INPUT "L$=",L$
01630 IF L$="OUI" THEN GOTO 01670
01640 CLOSE (1)
01650 CLOSE (6)
01660 END
01670 PRINT "DANS LE CAS ECHEANT TAPER LA LETTRE"
01680 PRINT "E: POUR UNE MODIFICATION AU NIVEAU DE LA MARGE BRUTE VARIABLE"
01690 PRINT "DU PRODUIT J"
01700 PRINT "C: POUR UNE MODIFICATION DU COEFFICIENT L DE LA CONTRAINTE K"
01710 PRINT "S: POUR UN CHANGEMENT AU SECOND MEMBRE DE LA CONTRAINTE I"
01720 INPUT B$
01730 IF B$="E" THEN GOTO 01760
01740 IF B$="C" THEN GOTO 01890
01750 IF B$="S" THEN GOTO 01960
01760 INPUT "LE NUMERO DU PRODUIT EST ",J
01770 INPUT "LA VALEUR DE LA MODIFICATION EST Q=",Q
01780 LET P(M,J-1)=P(M,J-1)-Q
01790 FOR I=0 TO M-
01800 IF B(I)(>)J-1 THEN GOTO 01830
01810 LET K=I
01820 EXITTO 01850
01830 NEXT I
01840 PRINT "CHANGEMENT NON SIGNIFICATIF"; GOTO 00640
01850 FOR S=0 TO N
01860 LET P(M,S)=P(M,S)-P(M,J-1)*P(K,S)
01870 NEXT S
01880 GOTO 00640
01890 INPUT "LA VALEUR DE LA MODIFICATION EST T=",T
01900 INPUT "POUR LE COEFFICIENT L=",L
01910 INPUT "DE LA CONTRAINTE K=",K
01920 FOR I=0 TO M
01930 LET P(I,L-1)=P(I,L-1)+P(I,I0+K-1)*T
01940 NEXT I
01950 GOTO 00640
01960 INPUT "LA VALEUR DE LA MODIFICATION EST T=",T
01970 PRINT "POUR LE COEFFICIENT ",M+I0+V
01980 INPUT "DE LA CONTRAITE K=",K
01990 LET L=M+I0+V+1
02000 GOTO 01920
02010 REM :
02020 REM :*****RESOLUTION PAR LA METHODE DU DUAL-SIMPLEXE*****
02030 REM :
02040 PRINT "RESOLUTION PAR LA METHODE DU DUAL"
02050 LET N0=0
02060 FOR I=0 TO M-1
02070 IF P(I,N)>=N0 THEN GOTO 02100
02080 LET N0=P(I,N)
02090 LET I1=I
02100 NEXT I
```

```
02110 IF N0=0 THEN GOTO 01070
02120 LET Y1=.1E+101
02130 FOR J=0 TO N
02140 IF P(I1,J)>=0 THEN GOTO 02190
02150 LET Z=P(M,J)/(-P(I1,J))
02160 IF Z>Y1 THEN GOTO 02190
02170 LET Y1=Z
02180 LET J1=J
02190 NEXT J
02200 IF Y1(<).1E+101 THEN GOTO 02220
02210 GOTO 00900
02220 LET P=P(I1,J1)
02230 FOR J=0 TO N
02240 LET P(I1,J)=P(I1,J)/P
02250 NEXT J
02260 FOR I=0 TO M
02270 IF I1=I THEN GOTO 02320
02280 LET X=P(I,J1)
02290 FOR J=0 TO N
02300 LET P(I,J)=P(I,J)-X*P(I1,J)
02310 NEXT J
02320 NEXT I
02330 GOTO 02050
```

4.5 Solution optimale obtenue			
Ressources	#	tonnages	Coûts réduits (F/tonne)
Phosphates de Taïba	1	1 300 000	865,72
Phosphates de Lou Lou	2	350 000	487,21
Hydrocarbures-national	3	30 000	1639,44
Arachides	4	57 000	4742,22
Coton - fibre	5	4500	4533,75
Sel	6	28 095	0
E engrais	7	12 000	1355,37
Denrées alimentaires	8	16 000	7418,86
Ciment - Mali	9	20 000	3939,502
Fers & Tôles	10,19	16 000	5984,97
Véhicules & Engins	11	4 000	33781,86
Conteneurs	12	4 000	7451,01
Hydrocarbures - Mali	13	57 000	3168,63
Céréales	14	40 000	1778,75
Divers - Mali	15	16 000	13160,85
Ciment - Mankoutali	16	75 000	3293,802
Hydrocarbures - "	17	12 000	6890,60
Divers "	18	15 000	5784,64
Tombereaux - wagons	20	-	0
K + KV "	21	-	0
H "	22	-	0
L "	23	-	0
Locomotives	24	-	5306,11

## RESULTATS

	X 1 =	1300000
	X 2 =	350000
	X 3 =	30000
	X 4 =	57000
	X 5 =	4500
	X 6 =	28095
	X 7 =	12000
	X 8 =	16000
	X 9 =	20000
	X 10 =	16000
	X 11 =	4000
	X 12 =	4000
	X 13 =	57000
	X 14 =	40000
	X 15 =	16000
	X 16 =	75000
	X 17 =	12000
	X 18 =	15000
	X 19 =	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	1 EST:	865.72
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	2 EST:	487.21
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	3 EST:	1639.44
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	4 EST:	4742.22
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	5 EST:	4533.75
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	6 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	7 EST:	1355.37
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	8 EST:	7418.86
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	9 EST:	3939.502
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	10 EST:	5984.97
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	11 EST:	33781.86
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	12 EST:	7451.01
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	13 EST:	3168.63
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	14 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	15 EST:	13160.85
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	16 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	17 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	18 EST:	0
<del>LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE</del>	<del>19 EST:</del>	<del>0</del>
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	20 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	21 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	22 EST:	0
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	23 EST:	5306.11
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	24 EST:	1778.75
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	25 EST:	3293.802
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	26 EST:	6890.6
LE COUT REDUIT SUR LA VARIABLE	27 EST:	5784.64

LE TONNAGE ANNUEL A EFFECTUER EST : 2056595

LE TONNAGE MENSUEL A EFFECTUER EST : 171382.91666667

LES RECETTES ANNUELLES S'ELEVENT A : 6360754964.05

LA MARGE BRUTE VARIABLE ANNUELLE EST DE : 4661196545.45



## Chapitre V

### ANALYSE DES RESULTATS

#### 5.1 Rappel sur la dualité

A partir d'un programme linéaire, on peut former un autre programme linéaire qui est intimement lié au premier. Plus précisément, à chaque problème de maximisation correspond un problème de minimisation impliquant les mêmes données et il y a <sup>un</sup> lien étroit entre leurs solutions optimales. On appelle un de ces problèmes le dual et l'autre le primal.

En général on peut former la paire de problèmes suivante:

PRIMAL	DUAL
$\max z = c^T x$	$\min b^T y = z'$
sujet à	sujet à
$Ax \geq b$	$A^T y \leq c$
$x \geq 0$	$y \geq 0$

$A^T$ ,  $c^T$  et  $b^T$  sont respectivement les transposées des matrices  $A$ ,  $c$  et  $b$ .

#### Propriétés de la dualité.

Les trois théorèmes fondamentaux de la dualité s'énoncent comme suit :

- Si un programme linéaire n'admet pas de solution optimale finie, alors son dual n'a aucune solution réalisable (ie contraintes incompatibles)

- Si il existe une solution réalisable  $x^*$  au primal et une solution réalisable  $y^*$  au dual telles que
 
$$c^T x^* = b^T y^*$$
 alors ces solutions sont optimales pour leurs problèmes respectifs.
- Si le problème dual et son primal admettent chacun au moins une solution réalisable, alors
  - a)  $Z$  et  $Z'$  admettent chacune une valeur finie optimale
  - b)  $\text{Max } Z = \text{Min } Z'$

### Exploitation du tableau final optimal.

a) Les coefficients des variables d'écart dans la ligne de la fonction objective d'un problème de maximisation (primal) sont les valeurs optimales des variables duales.

b) Les coefficients de la variable  $x_j$  dans la ligne de la fonction objective représentent la différence entre le côté droit et le côté gauche de la  $j^{\text{ème}}$  contrainte duale dans la solution optimale correspondante.

Le simplexe peut être aussi vu comme une méthode qui vise la réalisabilité du problème dual en maintenant celle du problème primal.

### Interprétation économique des variables duales et des coûts réduits.

a) Variables duales.

A chaque itération on a le profit total :  $Z'_0 = \sum_{i=1}^m b_i y_i$

$\bar{b}_i (b_i y_i)$  est la contribution au profit pour  $b_i$  unités de ressources  $i$  disponible.

$y_i$  est le prix implicite (shadow-prices), contribution au profit par unité de ressource  $i$  quand on utilise un certain groupe de variables de base pour obtenir une solution réalisable.

$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i$  est la contribution au profit de ce mélange de ressources utilisées pour une unité d'activité  $j$ .

$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j$ : la contribution actuelle au profit du mélange de ressources utilisées doit au moins égaler le gain d'une unité de l'activité  $j$ .

$y_i \geq 0$  l'apport au gain doit être positif ou nul sinon ce serait inutile d'augmenter la ressource  $i$  (d'ailleurs la solution ne serait même pas optimale)

En un mot nous dirons que la valeur optimale d'une variable duale,  $y_i$ , indique de quelle façon la fonction objective change avec un changement d'une unité dans la constante  $b_i$  à condition que la base optimale demeure réalisable.

Ainsi les prix implicites ( $y_i$ ) nous renseignent sur la valeur unitaire de chaque ressource  $i$  supplémentaire telle qu'utilisée dans la solution optimale.

En général une ressource en excès est indiquée par une variable correspondante positive dans la solution de base optimale.

On peut s'attendre à ce que son prix implicite soit nul puisqu'aucune augmentation de la quantité d'une ressource déjà en excès n'est rentable.

### b) Coûts-réduits

On appelle coûts réduits les coefficients de la ligne de la fonction objective.

Les coûts réduits pour chaque variable de décision hors-base dans le tableau final peuvent être interprétés comme étant le montant dont il faudrait augmenter le profit d'une activité avant qu'il soit rentable de l'exploiter.

Les coûts réduits sur les variables de base (primales) indiquent les coûts maximum que doit engendrer l'augmentation d'une unité de la ressource ( $b_i$ )  $i$  sinon on effectue une opération à perte.

## 5.2 Analyse des résultats

### 5.2.1 Trafic national.

#### Phosphates de Taïba :

L'égalité entre le coût réduit associé et la marge brute variable unitaire nous montre qu'aucune contrainte interne à la région ne limite l'accroissement du tonnage annuel ; les prévisions évaluées à 1 300 000 tonnes sont inférieures aux capacités de traction des locomotives, 1 310 400 tonnes par an.

Evidemment des difficultés liées à la facilité d'écoulement des phosphates sur le marché international peuvent justifier cet écart si faible soit-il.

La même analyse est valable pour :

- les phosphates de Lam-Lam dont l'écart entre les possibilités des locomotives et les prévisions se chiffrent à 100 000 tonnes par an.
- les hydrocarbures acheminés par les locomotives en montée sur Baïba et Lam-Lam.
- L'arachide dont on peut estimer l'écart de tonnage annuel à 87 000 tonnes
- Le coton-fibre transporté durant la descente de l'international.

Au vu de la faible disponibilité des locomotives (voir chapitre sur les données) et des écarts enregistrés, nous pouvons affirmer que les équipements sont sous-employés

aussi bien sur l'axe Dakar-Taïba que sur celui de Dakar-Lam-Lam.

Une étude plus approfondie avec des données et paramètres très fiables nous aurait permis d'optimiser l'affectation des machines dont la disponibilité et la rotation seraient maximisées.

Dans cette future étude, il serait très intéressant d'analyser les possibilités d'augmenter le taux de remplissage des trains sur la descente-international et la montée sur Taïba et Lam-Lam.

### 5.2.2 Trafic international

La première remarque est relative à la différence entre les coûts réduits et les marges brutes variables unitaires de tous les produits. Cette différence témoigne d'une certaine interdépendance entre les différentes ressources. Le profit marginal associé à l'augmentation d'une ressource est d'autant plus élevé que les frais induits sont faibles.

Ces considérations supposent que la base actuelle est optimale et le demeure durant ces processus.

#### - Le sel

Le tonnage annuel du sel est inférieur aux prévisions ;  
 $(40\ 000 - 28\ 095) = 11\ 905$  tonnes) ceci montre une certaine surestimation des capacités des locomotives affectées à l'international.

Pour augmenter le tonnage du sel au niveau des précédents, on peut procéder de différentes manières :

- Augmenter la marge brute variable unitaire du sel d'une fraction au moins égale à la valeur du coût réduit ; cette opération nécessite soit l'augmentation du prix de vente du tonne-kilomètre soit la diminution des coûts variables induits par le sel.
- élargir les capacités des locomotives affectées au trafic international afin de permettre le transport du sel qui a la plus petite marge brute variable unitaire. Le sel entrera dans la base dès que tous les autres produits auront atteint leurs tonnages maximum ; ce qui est déjà le cas.

Dans le premier cas, le sel sera transporté à la place d'un autre produit qui verra son tonnage réduit mais la marge brute variable totale restera maximale.

Dans le deuxième cas, nous pouvons accroître les capacités des locomotives en utilisant trois voies :

- a) Augmenter la disponibilité moyenne des locomotives qui demeure très faible (0,64).
- Cette action engendre évidemment certaines dépenses ; un tel effort nécessite une acquisition rapide et judicieuse des pièces de rechange ; une trésorerie

saine et bien tenue pour pouvoir régler les comptes - fournisseurs est un préalable indispensable pour la réussite de cette politique.

- Améliorer le rendement des services techniques chargés de l'entretien et de la maintenance des machines.

b) Accroître le taux de rotation des locomotives

Dans ce cadre on peut agir sur certains paramètres

- éviter autant que faire se peut les retards excessifs des trains au niveau des gares et halts en les dotant d'un système de communication et de signalisation efficace

- diminuer les durées de chargement et de déchargement des machines (mais surtout des wagons); la conteneurisation aide beaucoup dans la réduction de ce temps.

- réduire les détresses en ligne

c) On peut dans une certaine mesure envisager l'acquisition du matériel roulant neuf supplémentaire; on augmentera les coûts fixes, les coûts variables mais aussi les capacités des locomotives. L'analyse des retombées de cette décision sur la situation générale de la régie permettra d'apprécier la rentabilité de l'opération.

Autres produits du trafic international

Les prévisions coïncident avec nos résultats et le maximum de produit possible est transporté.



### Matériel remorqué

Les coûts réduits associés aux matériels remorqués (à savoir les wagons tombereaux, les couverts-trac, les tracs, les citernes hydrocarbures et les plate-formes) sont tous nuls.

On peut dès lors affirmer que ces équipements sont employés en dessous de leurs capacités réelles bien que leur disponibilité et taux de rotation demeurent à un niveau relativement bas (comme montré sur les graphiques en annexe).

L'analyse faite sur le sel reste valable pour n'importe quel produit qui se trouverait dans la même situation. Rien qu'en exploitant le tableau final optimal du simple on peut aboutir à de telles conclusions.

### 5.2.3 Détermination du point mort

La détermination du seuil de rentabilité de la R.C.F.S en terme de recettes est la meilleure manière d'étudier le niveau actuel des profits.

La détermination des ventes équivalent au point mort se justifie par la gamme assez variée de produits à transporter par le chemin de fer.

Le problème essentiel dans cette entreprise repose sur la distinction entre ce qui est coûts-fixes et ce qui varie.

Avec la collaboration de la D.E.F, nous avons pu établir

une classification.

Dans la rubrique coûts - variables nous incluons les comptes suivants (C.V):

- Carburants et matières
- le tiers des charges du personnel qui constitue les frais d'accompagnement du roulement des trains ces frais sont proportionnels à l'intensité du trafic sa valeur n'est qu'une approximation.

Les coûts fixes comprennent (C.F):

- les autres services consommés qui englobent :
  - les transports et les déplacements
  - les services extérieurs.
- les charges diverses; les impôts; les taxes
- les deux tiers (2/3) des charges du personnel.

Estimation du rapport :  $\frac{\text{coûts variables}}{\text{Vente}} = \frac{C.V}{V}$

Années	1984 - 1985	1985 - 1986	1986 - 1987	1987 - 1988	1988 - 1989
C.V (F)	4 476	5 666	6 127	7 264	7 544
C.F (F)	3 449	4 081	4 404	4 727	4 923
V (P)	8 036	10 410	11 673	12 610	13 349
$\frac{C.V}{V}$	0,557	0,544	0,524	0,576	0,565

( les valeurs sont exprimées en millions de FCFA )

$$\frac{C.V}{V} (\text{moyen}) = \frac{0,544 + 0,524 + 0,576 + 0,565}{4} = 0,552$$

Les précédents exercices étant caractérisés par de mauvais résultats assez hétérogènes, ne peuvent constituer une référence valable.

Ensuite les prévisions de la région figurées dans "le plan de relance", incluent des produits non considérés dans notre étude ; à savoir :

- ciment - national
- voyageurs - banlieue
- coton graine
- huile et tantreaux
- voyageurs (national et express)

Ainsi pour notre œuvre, nous pouvons considérer comme base de comparaison l'exercice 1984-1985.

Pour une future exploitation de ce projet, on peut se référer aux valeurs moyennes calculées sur la période allant de 1985 à la date de mise à jour.

Formule donnant le niveau des ventes au point-mort

$$V_p = \frac{C.F}{1 - \frac{C.V}{V}}$$

Pour l'exercice 1984-1985 nous aurons

$$V_p = \frac{3\,449\,000\,000}{1 - \frac{4\,476\,000\,000}{8\,036\,000\,000}} = 7\,785\,553\,047 \text{ FCFA}$$

Soit  $V_p = 7\,786\,000\,000 \text{ FCFA}$ .

Sur cette base préalable, nous pouvons dire que la R.C.F.S. travaille en dessous du seuil de rentabilité.

Evidemment cette affirmation est à l'image des hypothèses approximatives que nous avons émises dans l'élaboration des paramètres et qui nous ont donné un montant des recettes de 6 457 000 000 FCFA.

Quand on se base sur une valeur moyenne de  $\frac{CV}{V} = 0,552$  (qui intègre les perspectives d'extension du trafic ferroviaire) on peut dans une certaine mesure employer la formule ci-dessous pour avoir une valeur approximative du niveau de vente au point mort.

$$V_p = \frac{C.F.}{1 - 0,552}$$

En considérant des coûts fixes moyens de :

$$C.F. = 10^6 \times \frac{4081 + 4404 + 4727 + 4923}{4} \\ = 4\,533\,750\,000 \text{ FCFA}$$

on peut estimer les ventes au point mort à

$$V_p = 10\,120\,000\,000 \text{ FCFA}.$$

## CH VI

## RECOMMANDATIONS

A partir des informations tirées du tableau final optimal, nous nous proposons de dégager les recommandations qui s'imposent à nous. Les dernières peuvent se situer à deux niveaux :

### 5.1 Fonctionnement de la régie

Bien qu'étant un élément étranger à la régie, il ne semble opportun de dégager certaines considérations que nous inspire l'analyse de nos résultats.

#### 5.1.1 Création d'une banque de données

Au vu des difficultés rencontrées pour la collecte des informations, nous suggérons fortement la création de cette banque. Ceci est d'autant plus aisé que la régie dispose d'un centre informatique (C.I.R.).

L'importance des paramètres tels que le taux de rotation et la disponibilité des équipements roulants n'est plus à démontrer. L'efficacité de l'utilisation des wagons et locomotives se mesure à leur taux de rotation et à leur disponibilité ; ils permettent aussi d'apprécier, d'une manière objective, le travail des services techniques impliqués dans l'entretien et la maintenance des équipements, de même que le comportement des agents d'accompagnement du

roulement des trains et des responsables des stations ou gares.

L'accroissement de ces paramètres est associé à un profit marginal qui est d'autant plus appréciable que l'augmentation de capacité des équipements résultante ne nécessite aucune dépense.

La nécessité de cette banque ressort nettement des conclusions du projet de fin d'études d'un collègue intitulé "fiabilité - usure - renouvellement et problèmes de stocks"; en effet cette étude a buté sur une insuffisance de données statistiques indispensables à la détermination

- de la durée de vie des pièces stratégiques des locomotives
- de la fiabilité des équipements
- d'une politique de gestion de stocks viable.

Cette banque une fois établie, aura comme principale mission l'élaboration d'éléments de référence assez fiables qui aideront les décideurs, munis d'outils comme notre étude, à faire des prévisions en adéquation avec les réalités de leurs entreprises. Elle instaurera une certaine objectivité dans la décision qui sera la continuation de la situation passée et dont on aura tiré beaucoup d'enseignements. Elle permettra aussi de gagner beaucoup de temps dans les projets d'études dont environ cinquante pour cent (50%) de la durée sont consacrés à la collecte des données.

### 5.1.2 Quantification des coûts induits par l'augmentation de l'efficacité des équipements.

L'analyse effectuée au chapitre précédent suggère que la région se dote de méthodes de calcul pouvant déterminer les dépenses occasionnées par

- l'augmentation du taux de rotation d'une unité
- l'accroissement de la disponibilité de 1%

des locomotives et des wagons.

L'acquisition de ces coûts est nécessaire pour évaluer l'opportunité de réaliser l'opération envisagée.

Si les coûts induits sont supérieurs aux profits marginaux escomptés, alors il y a lieu de se poser des questions ; dans le cas où aucune contrainte (comme c'est souvent le cas à la région) ne nous impose cette augmentation de capacité non rentable, on ferait mieux d'envisager d'autres solutions.

Tableau de comparaison coûts induits - profits marginaux.

Exemple : Locomotives affectées à l'international

	$\Delta L$ (tonnes)	$\Delta P$ (FCFA)	$\Delta C$ (FCFA)
$\Delta d = 1\%$	4 923,4	26 124 102 <sup>F</sup>	?
$\Delta R = 1$	39 936,04	211 905 021 <sup>F</sup>	?

$\Delta L$  est la valeur de l'accroissement de la capacité des locomotives

$\Delta P$  est la valeur des profits marginaux associés

$\Delta C$  est la valeur des coûts induits associés.

## 5.2 Exploitation de l'étude effectuée.

Nous nous étions fixés deux objectifs :

- élaborer un système d'optimisation des revenus de la Régie ;  
ce volet est pleinement réussi dans la mesure où nous avons développé un logiciel permettant de maximiser la marge brute variable de la R.C.F.S et même toute autre fonction à variables continues (fonction linéaire) soumise à un groupe de contraintes.
- établir un outil de gestion.

L'exploitation judicieuse du tableau final optimal du programme linéaire nous fournit plus d'informations que les résultats de la fonction à maximiser et les valeurs des variables de décision. Ce qui a été démontré dans l'analyse des résultats.

Jusqu'à quel niveau peut-on se fier aux résultats numériques et aux conclusions qu'ils suggèrent ?

La réponse apportée à cette question, dépendra en grande partie de la crédibilité de notre étude.

Il appartient aux agents compétents de la Régie en la matière d'essayer de répondre à cette double interrogation.

Néanmoins nous livrons ici certaines recommandations qui une fois réalisées peuvent contribuer à relever la dimension de l'étude.



Le projet, devant obéir à une contrainte de temps assez rigide, a été mené dans une atmosphère pas toujours sereine. Mais pour élaborer un modèle théorique, structuré et perfectible, nous avons eu à

- émettre des hypothèses pas toujours confirmées par la pratique
- collecter des données dans des documents différents ; ce qui nous a souvent valu des informations contradictoires.
- estimer certains paramètres que nous ne maîtrisons pas parfaitement.

Ces comportements sont guidés par le souci de confectiomer un modèle valable et souple qu'on pourra affiner à souhait.

Pour compenser certaines carences ou imperfections de l'étude, nous recommandons fortement :

- de reconsidérer les contraintes évoquées : il se peut que nous en ayons oublié quelques unes de grande importance ; certaines, déjà établies peuvent être mal posées ou tout simplement erronées.
- de réévaluer les paramètres
- de vérifier toutes les données

Par exemple nous avons remarqué une grande différence dans la détermination des capacités des locomotives sur l'international entre deux documents quelconques. Et malheureusement, nous avons eu à trancher, seul, la plupart du temps.

## Chapitre VII

### CONCLUSION

Au terme de cette analyse, la première réflexion à livrer est la suivante: « cette étude n'a nullement la prétention de résoudre les problèmes de la régie encore moins de se substituer à la prise de décision par les gestionnaires; elle tend seulement à l'éclairer. »

Elle permet aussi une analyse globale de la situation <sup>intégrant</sup> toutes les interdépendances possibles.

Dans sa forme actuelle elle ne considère qu'une fraction du trafic, mais la souplesse du logiciel développé nous permet de l'adapter à beaucoup de situations d'extension ou autres.

Les analyses et conclusions effectuées sont à l'image des hypothèses et données employées mais elles nous ont surtout permis de montrer comment, d'une manière optimale, on peut utiliser notre modèle.

Elle a aussi permis de poser beaucoup de questions et d'une précision remarquable

- Certaines locomotives sont sous-employées alors que d'autres ne peuvent pas s'acquitter de leurs tâches.

Il se pose ainsi un problème d'optimisation de l'affectation des équipements.

- L'hétérogénéité des poids linéaires des rails et les bas taux de remplissage des wagons en descente internationale et en montée sur Lam Lam et Taiba sont des éléments qu'on peut essayer de concilier en vue de remédier à cette situation.

Il s'agira de faire parcourir des portions de trafic à certains produits par les locomotives peu chargées afin de contourner à peu de frais le faible poids linéaire des rails sur certaines lignes.

A tous ces problèmes, la recherche opérationnelle propose une série d'outils qui peuvent dans une certaine mesure aider à la résolution de ces difficultés.

Les principales difficultés que nous avons eu à affronter se situent au sein de la région. Il existe une sorte de rétention de l'information qui ne peut se justifier à notre niveau. La communication nécessaire entre les différents services étant presque inexistante, nous avons eu à nous contenter de valeurs que nous savons entachées d'une certaine erreur fort appréciable; malheureusement elles étaient les seules informations disponibles.

La banque de données sera, si elle est réalisée, un élément catalyseur de la réussite de notre modèle qui, une fois alimenté en informations d'une façon de

fiabilité, donna des résultats remarquables.  
Le processus itératif de notre analyse nous assure  
d'une amélioration progressive de nos résultats au feu  
et à mesure que les informations s'affinent.

Chapitre VIII

ANNEXES

## MANUEL DE L'UTILISATEUR

Le logiciel mis au point est sauve' en me'moire centrale sous le nom : "EP 440 PR 3"

L'instruction LOAD "EP 440 PR 3" le charge en me'moire centrale et RUN de'clanche le processus inter-actif de resolution.

Au pre'alable, l'utilisateur aura entre' les donne'es dans les fichiers.

Pour la lecture des e'lments de la matrice  $P(M, N)$  on s'adressera au fichier "EP 440 PR 5" qui est indexe' par le programme "EP 440 PR 2" et cre'e' par le programme "EP 440 PR 4".

On prendra <sup>le</sup> soin de ve'ifier les e'lments du fichier gr'ace au programme "EP 440 PR 6"

Pour la de'termination des recettes, le fichier "EP 440 PR 8" indexe' par "EP 440 PR 7" sera cre'e' par "EP 440 PR 4" et ve'ifie' par "EP 440 PR 6"; "EP 440 PR 8" contient le prix de vente de la tonne de chaque produit.

Pour les contraintes borne'es :  $b_{i1} \leq \sum a_{ij}x_j \leq b_{i2}$   
 On prendra le soin de les mettre sous la forme :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i$$

Pour des problèmes de dimension moindre, il est préférable d'entrer directement les données au clavier ; les modifications à apporter au programme sont :

- remplacer READ par INPUT
- effacer les instructions OPEN(1) "EP440XYE" et  
CLOSE(1)

## "EP 440 PR 2"

```

00010 REM : POUR RESERVER SUR DISQUE DUR L'ESPACE REQUIS
00015 REM : PAR LE FICHIER "EP440PR2" QUI CONTIENDRA
00020 REM : LA MATRICE H DE M+1 LIGNES PAR I+1 COLONNES
00030 REM :
00035 INPUT "NOMBRE DE LIGNES",M
00036 INPUT "NOMBRE DE COLONNES",I0
00040 INDEXED "EP440PR5", (M+1)*(I0+1),17,1,0
00050 END

```

## "EP 440 PR 4"

```

00050 REM : POUR REMPLIR UN FICHIER SUR DISQUE DUR
00060 REM : AVEC LES ELEMENTS DE LA MATRICE
00070 REM
00080 BEGIN
00090 FLOATING POINT
00091 INPUT "LE NOMBRE DE LIGNES EST ",M
00092 INPUT "LE NOMBRE DE COLONNES EST ",I0
00093 INPUT "CHOIX DU FICHIER : ",C$
00100 OPEN (1) C$
00110 PRINT "ENTRER LA MATRICE LIGNE PAR LIGNE"
00120 FOR I=1 TO (M+1)*(I0+1)
00130 PRINT "TAPER L'ELEMENT N°",I," PUIS APPUYER SUR 'RETOUR"
00140 INPUT A
00150 WRITE (1,IND=I-1) A
00160 NEXT I
00170 CLOSE (1)
00180 END

```



"EP440PR 6" ET "EP440PR 7"

```
00010 REM : VERIFICATION DES ELEMENTS DU FICHIER "EP440PR5"
00020 BEGIN
00030 FLOATING POINT
00040 INPUT "NOMBRE DE LIGNES",M
00050 INPUT "NOMBRE DE COLONNES",I0
00060 DIM M(M,I0)
00061 INPUT "CHOIX DU FICHIER : ",C$
00070 OPEN (1) C$
00080 FOR I=0 TO M
00090 FOR J=0 TO I0
00091 READ (1) M(I,J)
00100 PRINT a(J*2),M(I,J),
00110 NEXT J
00120 PRINT
00130 NEXT I
00170 CLOSE (1)
00180 END
00010 REM : POUR RESERVER SUR DISQUE DUR L'ESPACE REQUIS
00015 REM : PAR LE FICHIER "EP440PR8" QUI CONTIENDRA
00020 REM : LA MATRICE H DE M+1 LIGNES PAR I+1 COLONNES
00030 REM :
00035 INPUT "NOMBRE DE LIGNES",M
00036 INPUT "NOMBRE DE COLONNES",I0
00040 INDEXED "EP440PR8",M*I0,17,1,0
00050 END
```

T A B L E A U DES TRAINS REGULARISES

VOYAGEURS ET MARCHANDISES	L U N D I	M A R D I	M E R C R E D I	J E U D I	V E N D R E D I	S A M E D I	D I M A N C H E
AUTORAILS							
DAKAR	35	35	35	35	35	DSL. 39 - 33	35
SAINT LOUIS	30	30	30	30	30	30	30 - DSL. 40
DAKAR	27	27	27	27	27	27	27
KAOLACK	20	20	20	20	20	20	20
<u>L E G E R S</u>							
KAOLACK	26	26	26	26	26	26	26
DIOURBEL	21 - 53	21 - 53	21 - 53	21 - 53	21 - 53	21 - 53	21 - 53
TIOUBA	50	50	50	50	50	50	50
<u>EXPRESS</u>							
DAKAR			I		I		7
KIDIRA				2		2	
TAMBA COUNDA	251	8			251		
<u>PHOSPHATES - TAIBA</u>	111 - 117	111 - 117	111 - 117	111 - 117	111 - 117	111 - 117	111 - 117
IMPAIRS	115 - 119	115 - 119	115 - 119	115 - 119	115 - 119	115 - 119	115 - 119
<u>PHOSPHATES - TAIBA</u>	116 - 112	116 - 112	116 - 112	116 - 112	116 - 112	116 - 112	116 - 112
PAIRS	110 - 118	110 - 118	110 - 118	110 - 118	110 - 118	110 - 118	110 - 118
<u>PHOSPHATES - TRIES</u>	101 -	101 -	101 -	101 -	101 -	101 -	101 -
IMPAIRS ET PAIRS	103 -	103 -	103 -	103 -	103 -	103 -	103 -
DAKAR							
LAM LAM	102 104	102 104	102 104	102 104	102 104	102 104	102 104
<u>MARCHANDISES</u>							
INTERNATIONAUX - DAKAR	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5
KAYES	215 / 6 214 / 4	214 / 4 - 216 / 6	214 / 4 - 216 / 6	214 / 4 - 216 / 6	214 / 4 - 216 / 6	214 / 4 216 / 6	214 / 4 216 / 6

O B S E R V A T I O N S

1°/ - Les jours de circulation indiqués sur ce TABLEAU sont les jours de DEPART DE TRAINS de leur Gare Originale. Il est précisé que la GARE ORIGINE des TRAINS en provenance du MALI est KIDIRA pour les TRAINS DE MARCHANDISES est KAYES pour les TRAINS de VOYAGEURS sauf les EXPRESS I et 2.

2°/ - Les Horaires de s TRAINS sont indiqués AU LIVRET DE LA MARCHÉ DES TRAINS (EDITION 1\_10\_1980) complété par les r tifs en vigueur.

70

CH IX

BIBLIOGRAPHIE

ALAIN MARTEL

"Technique et application de la recherche opérationnelle"

Gaëtan Morin

M. SIMONNARD

"Programmation Linéaire"

Dunod

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT DU SÉNÉGAL

"7<sup>e</sup> plan de développement 1985-1989"

Commission transport - télécommunication

Sous-commission "Transport - ferroviaire"

Régie des Chemins de Fer du Sénégal (R.C.F.S)

"Plan de relance de l'exploitation du chemin de Fer"

1984-1986

Dossier de référence

R. C. F. S

"Programme d'action - Exercice 1984-1985"

D. C. F. S - Direction Economique et Financiere -  
 " Compte rendu de gestion "  
 Exercice 1982-1983

P. AZOULAY, P. DASSONVILLE

" Recherche operationnelle de gestion "  
 Presses Universitaires de France.

HARVEY M. WAGNER

" Principles of operations research "  
 Second Edition

Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Weston Brigham

" Gestion financiere "  
 2eme edition

Les Editions HRW

Andre LANGEVIN (Professeur à l'EPT)

" Notes de cours : MATH 4.11 "

1983-1984