

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT

SAEI

MINISTERE DES TRANSPORTS

DTT

Etude de différents réseaux de gares et de dessertes terminales dans le cas du transport combiné

AVERTISSEMENT :

*Cette étude a pour but d'explorer de façon schématique
quelques aspects du transport de charges complètes par
trains de containers. Ses conclusions ne sauraient en
aucun cas être considérées comme opérationnelles.*

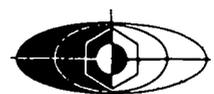
Observatoire Economique
et Statistique des Transports

DOCUMENTATION

Re:

CDAT
1687

janvier 1969



BCEOM

SOMMAIRE

	Pages
<u>INTRODUCTION, RESUME, CONCLUSION</u>	I
I . <u>Les données et le modèle</u>	
1. Le champ de l'étude et les données	1
2. Le modèle	7
II . <u>Les gares dans un système à desserte uniquement routière</u>	
1. Les trois réseaux étudiés	18
2. Les résultats	23
3. Sensibilité au volume du trafic	33
3.1. Doublement du trafic	33
3.2. Division du trafic par deux	36
III. <u>Les gares dans un système à desserte mixte</u>	
1. Définition du système combiné à desserte mixte	37
2. Le modèle pour l'étude de la desserte mixte	39
3. Les réseaux étudiés	41
4. Résultats	43
<u>ANNEXES</u>	
Liaisons spéciales	1
Dessins de carte	5
Répartition du trafic selon la distance (route ou fer) ..	6
Répartition du trafic selon la distance terminale	7
L'évolution à long terme du coût des deux systèmes	8
Organigramme de la desserte mixte	17
Liste des gares secondaires dans les réseaux 4 et 5	21
Distribution des liaisons inter-gares	23
Modèle simplifié d'affectation du trafic	24
Exemple de comparaison des coûts "proportionnels" du combiné et de la route bout en bout	27

INTRODUCTION RESUME CONCLUSION

1. Objet et cadre de l'étude
2. Résultats concernant le nombre des gares
3. Résultats concernant la nature de la desserte

INTRODUCTION, RESUME, CONCLUSION

1. OBJET ET CADRE DE L'ETUDE

L'objet de l'étude est de comparer quelques grands schémas d'organisation de transport combiné, différents par le nombre de gares et le mode de desserte autour de ces gares. Par transport combiné, on entend ici un système constitué par des trains directs entre les gares, formés de wagons porte-containers, circulant à une cadence au moins quotidienne. Autour des terminaux de ces trains directs, la desserte jusqu'au client peut être assurée de façon diverse. Par exemple, elle peut être assurée par la route ou par un transport ferroviaire sur un embranchement particulier ou encore par un système recourant simultanément au fer et à la route.

La comparaison de ces différentes organisations tire son intérêt de ce que dans tout système combiné le fait de multiplier les gares entraîne évidemment une réduction des dessertes terminales, lesquelles constituent la partie la plus chère du système. Mais par ailleurs, cette même multiplication tend à faire baisser le volume de chaque train, ce qui à partir d'un certain seuil est susceptible de faire perdre à ces derniers leur avantage par rapport au transport routier.

L'étude considèrera successivement différents systèmes de gares représentant à peu près toute la gamme qu'il est possible d'étudier avec un modèle relativement simple et en tenant compte de la limite assez sévère imposée par les informations statistiques disponibles. Elle comparera, en outre, deux systèmes de dessertes terminales qui seront définis plus loin.

Le critère de comparaison entre les différentes organisations sera le coût de chacune d'entre elles pour la collectivité (1). Chaque organisation combinée attirant à elle une portion différente du trafic total des marchandises (ceci en raison de son prix en particulier), les comparaisons de coût ne sont valables qu'à condition de les faire porter sur l'ensemble du trafic du combiné et des modes de transport qui en sont les substituts possibles.

(1) Ce critère n'épuise pas évidemment le sujet. L'examen du point de vue des entreprises demandeurs de transport serait indispensable à faire pour progresser.

Une première hypothèse est nécessaire pour traiter le problème. Elle concerne la façon dont on définit les transports susceptibles d'être intéressés par la technique du combiné. L'on retient l'ensemble des trafics effectués soit par la route soit par le chemin de fer en 1965 en distinguant ces trafics selon qu'ils ont été effectués sur l'une ou l'autre des 4 000 liaisons interdépartementales françaises. Plusieurs exclusions cependant ont été faites a priori. Tout d'abord transports de détail et transports par trains complets sortent du champ car ils font appel à des techniques particulières. Ensuite, l'on exclut tous les trafics de charges complètes réalisés à courte distance (moins de 150 km environ) pour lesquelles le transport combiné, en raison de ses dessertes terminales, est sans intérêt (1). L'ensemble de cette "demande de transport" représente quelques 145 millions de tonnes et 57 milliards de TK (2). Normalement, il aurait fallu introduire des distinctions. D'une part, les marchandises "containérisables" et celles qui ne sont pas susceptibles, en particulier pour des raisons techniques, de voyager dans un container. D'autre part, les marchandises qui en raison très souvent de leur pauvreté ou pour des motifs tenant aux expéditeurs ou aux destinataires ne sont pas concernées par les transports du type combiné ou routier ; ces transports en effet, assurent une qualité de service (rapidité, sécurité, régularité) que ces marchandises n'apprécient pas ou dont elles sont peu capables de supporter le prix. Cette dernière distinction conduirait normalement à considérer à côté du combiné au moins deux autres modes, la route et un mode plus lent mais moins cher.

La seconde hypothèse est précisément celle qui consiste à ne retenir qu'un seul substitut, la route bout en bout. On ignore toute possibilité d'un troisième mode de transport très semblable du reste à celui qui est assuré aujourd'hui pour sa plus grande part par les chemins de fer et qui serait du type transport ferroviaire en régime ordinaire amélioré. On impose par ailleurs au transport combiné d'assurer un service de qualité égale à celui de la route bout en bout ; c'est cette raison et celle-là seulement qui conduit à imposer à ce système l'existence de trains quotidiens.

Ces deux hypothèses sont peu gênantes si l'on peut affirmer qu'elles ne faussent pas la comparaison des coûts entre les différents schémas d'organisation combinée, comparaison qui est notre objectif.

- (1) Les résultats de l'étude confirment le bien fondé de cette exclusion. Voir répartition des trafics "affectés" au combiné selon la longueur de la relation.
- (2) On trouvera à la fin du chapitre II, page 36 et suivantes, un calcul effectué dans le cas où le trafic containérisable représenterait seulement la moitié de 145 millions de tonnes.

En réalité, le fait de ne pas isoler les marchandises non containérisables introduit un léger biais dans notre estimation du rapport des coûts. En effet, les économies d'échelle sont un peu plus prononcées pour les réseaux à plus grand nombre de gares, c'est-à-dire celles dans lesquelles le nombre des trains légers est plus important. Si par conséquent, comme on devrait le faire pour tenir compte des marchandises non containérisables, on réduisait les tonnages du combiné, le coût sur les réseaux à grand nombre de gares s'accroîtrait proportionnellement davantage que sur les réseaux à petit nombre de gares et de ce fait, l'écart qui sera mis plus loin en lumière au profit des réseaux comportant un plus grand nombre de gares, risque d'être légèrement surestimé (1).

Un autre biais assez léger résulte de l'absence de la distinction des marchandises selon la valeur qu'attachent leurs expéditeurs aux qualités du service offert par la route ou par le combiné : la vitesse en particulier. Les marchandises qui donnent à cette qualité de service une faible valorisation seraient sans doute transportées avec avantage par un autre mode de transport que la route ou le combiné. En ne les isolant pas, on gonfle donc les trafics de ces deux modes. Si la surestimation des trafics était la même pour toutes les organisations combinées que nous comparons, le biais dans cette comparaison serait du même type que celui qui est imputable aux marchandises non containérisables. Il est évident que cette surestimation est un peu plus forte pour les organisations qui sont plus chères (2) ce qui précisément atténue ou même inverse le biais.

Au total, l'erreur introduite dans les comparaisons par les deux hypothèses que nous avons dites, est probablement assez faible. Mais il faut insister sur le fait qu'il en irait autrement si au lieu de comparer différents systèmes combinés entre eux, l'analyse recherchait la meilleure manière d'organiser l'ensemble des transports de charges complètes.

La troisième hypothèse sur laquelle est fondée l'étude concerne le réseau ferroviaire. Le réseau qui sert de point de départ est le réseau ferroviaire "noyau" provisoirement retenu à la suite de recherches qui ont porté sur les trains complets et les trains de voyageurs rapides et express ; il comprend environ 12 000 km de lignes ; l'étude

(1) Ce raisonnement est confirmé par les calculs effectués avec des trafics réduits de moitié. Voir chapitre II, § 3.2.

(2) En effet à égalité de service, plus le transport combiné est cher moins il est compétitif avec les modes plus lents.

retient ce réseau à titre d'hypothèse de travail et n'a pas pour objectif d'en vérifier la validité. C'est une hypothèse importante puisque sur ce réseau "noyau", les coûts d'infrastructure retenus seront les coûts marginaux tandis que pour toutes les extensions que l'on étudiera (les "arcs" nouveaux hors "noyau"), l'on prendra en compte la totalité des coûts d'infrastructure ; cette différence de traitement tient à ce que l'on admet que sur ces arcs supplémentaires, seul le trafic des charges complètes présente éventuellement un intérêt ; c'est donc lui seul qui doit porter les coûts fixes alors que sur le réseau "noyau" ceux-ci sont justifiés déjà par l'intérêt économique des seuls trains complets et trains de voyageurs.

Les fonctions de coût jouent évidemment un rôle stratégique dans la comparaison que l'on entreprend. Pour chaque système, une série de fonctions de coûts a été estimée qui fait l'objet d'un rapport distinct intitulé "Généralisation du Transport Combiné ; les Fonctions de Coûts, Etude Schématique".

Ces fonctions ne prétendent pas reproduire la réalité dans toute sa complexité. En particulier alors que nous entreprenons une étude qui distinguera les différentes liaisons interdépartementales, chacune de ces liaisons ne diffère du point de vue des fonctions de coût que sous le rapport d'un petit nombre de critères : le tonnage total du trafic sur la liaison, le déséquilibre de ce trafic dans chacun des deux sens, et enfin les différentes distances kilométriques correspondant à cette liaison pour chacun des modes de transport étudiés.

Le souci essentiel que l'on a eu en construisant ces fonctions a été de traiter de façon le plus homogène possible, chacun des postes et surtout chacun des deux grands modes de transport, la route et le combiné. Un certain nombre d'hypothèses sur les rendements ont été nécessaires pour fixer les paramètres de ces fonctions ; rendement des camions pour la desserte terminale, rendement des ponts-portiques aux gares centrales, rotation des containers ... sont des phénomènes sur lesquels manquent encore de solides données d'expérience. Au fur et à mesure que parviendraient des informations nouvelles, dans la mesure où elles contrediraient les hypothèses faites dans l'étude, il serait évidemment nécessaire de corriger et de passer à nouveau le modèle en machine.

Des compléments seraient aussi nécessaires qui n'ont pu être introduits dès maintenant. Ils font appel en effet à des notions trop fines pour une étude de dégrossissage : par exemple, une analyse des "coûts sociaux" réels provoqués par la concentration d'un grand nombre de véhicules de desserte autour des centres urbains serait souhaitable dans une étude portant précisément sur l'avantage d'un réseau comprenant un plus ou moins grand nombre de gares.

Le modèle utilisé est décrit dans le chapitre 1 au § 2. Son principe est le suivant :

a) Pour chaque organisation combinée, le modèle recherche la répartition des trafics entre route et combiné qui corresponde au coût minimum pour la collectivité. Ceci n'est pas le but de l'étude mais est un intermédiaire de calcul nécessaire.

b) Partant de l'organisation la plus simple, il cherche par une procédure systématique à trouver une organisation de coût plus faible soit en accroissant le nombre des gares soit en substituant la desserte mixte à la desserte entièrement routière.

Les systèmes de gares comparés sont constitués progressivement. Le système qui sert de point de départ comprend 24 gares soit pratiquement une par grande région économique. A partir de ce réseau, le modèle explore pratiquement toutes les organisations intermédiaires jusqu'à celle qui comprend le nombre maximum de gares possibles dans le cadre du modèle, soit une gare par département. En réalité, la comparaison des coûts entre la route et le combiné conduit à ne pas retenir l'hypothèse d'ouverture d'une gare par département mais finalement à se limiter à une soixantaine de gares seulement. Cinq réseaux sont successivement constitués par cette procédure et comparés entre eux:

- 24 gares avec dessertes routières
- 24 gares avec dessertes mixtes
- 49 gares avec dessertes routières
- 49 gares avec dessertes mixtes
- 61 gares avec dessertes routières

Il est commode de présenter les résultats en distinguant d'une part ceux qui concernent le nombre des gares et d'autre part ceux qui concernent la nature de la desserte. On définira alors ce qu'on entend par "desserte mixte".

2. RESULTATS CONCERNANT LE NOMBRE DES GARES

Le premier résultat est que toutes les gares nouvelles "essayées" se révèlent intéressantes à ouvrir, de même que tous les "arcs nouveaux" (4"arcs" au total représentant 322 km). En d'autres termes, les uns et les autres permettent des économies sur les coûts supérieures à leur propre coût fixe. Le second résultat probablement

le plus important concerne justement l'ordre de grandeur des économies dûes à l'ouverture de ces gares et ces arcs.

Le coût total de transport, pour l'ensemble des trafics interdépartementaux pris en considération dans l'étude, est réduit de 3,4 % lorsqu'on passe de 24 à 49 gares et de moins de 1 % lorsque l'on passe de 49 à 61 gares. Simultanément, le tonnage transporté par le combiné s'élève de 10 % dans le premier cas et de moins de 1 % dans le second cas.

Globalement, l'économie sur les coûts (tels qu'ils sont définis ici) entraînée par l'ouverture de 20 ou 30 gares supplémentaires (en des départements qui n'avaient point de gares et paraissaient les plus intéressants à équiper) est donc assez faible. Pour en saisir la portée, il est nécessaire d'examiner plus en détail comment ce gain est formé. L'étude distingue 3 573 liaisons ; sur ce total, lorsqu'on ouvre 25 gares nouvelles (passant du réseau de 24 au réseau de 49 gares) 483 liaisons changent de mode ou d'itinéraire de transport et voient ainsi baisser leur coût, mais par contre, toutes les autres, soit plus de 3 000 ne connaissent aucun changement. Sur les 483 liaisons qui changent, le gain qu'on obtient est de l'ordre de 10 %, et dans la plupart des cas il est attribuable à une économie de quelques 25 % sur la seule desserte terminale ; ces modifications sont donc significatives et intéressantes.

3 088 liaisons interdépartementales sont insensibles à l'ouverture de nouvelles gares. Parmi elles, 492 sont des liaisons routières les autres des relations affectées au combiné. Sur ces dernières, 223 ont déjà dans le système à 24 gares, une gare à chaque extrémité de leur parcours ; elles représentent 58 % du tonnage combiné. Seules les 2 373 liaisons restantes pourraient donc avoir intérêt à utiliser un réseau plus fourni en gares ; or, elles ont un tonnage moyen de l'ordre de 13 000 tonnes par an, deux sens réunis, ce qui pour des raisons d'économie d'échelle évidentes (taille des trains quotidiens) les obligent à se regrouper ; ce que le calcul apprend, c'est que leur disposition géographique est telle qu'elles ont intérêt à se regrouper sur les 24 gares du premier réseau plutôt que sur les gares supplémentaires.

Dans les 3 réseaux étudiés pour cette comparaison, un petit nombre de gares, les mêmes dans les 3 cas, assurent donc à elles seules la plus grosse partie du trafic ; les autres gares, plus nombreuses n'ont qu'une activité assez réduite. Cette concentration est un peu surestimée dans la mesure où nous n'avons pu, par manque d'informations statistiques, considérer des unités géographiques plus fines que les départements. Il ne faut cependant pas exagérer cet aspect des choses : une très grande proportion des trafics en effet, a pour origine et destination les chefs-lieux des départements et dans ce cas la division départementale ne fausse

rien. Un affinement des unités géographiques aurait de l'intérêt dans les départements qui ont plusieurs centres d'activité, comme le Nord par exemple. Dans ces départements, le calcul manifesterait alors très probablement l'avantage d'ouvrir plusieurs gares et non une seule. Du coup, disparaîtrait le gigantisme de certaines des gares sur lesquelles notre schéma a concentré le trafic de plusieurs pôles économiques.

3. RESULTATS CONCERNANT LA NATURE DE LA DESSERTE

Le système de desserte mixte consiste, pour les dessertes où cela est plus avantageux qu'une organisation purement routière (1), à faire "éclater" les trains blocs sur des trains de desserte qui gagnent des gares secondaires. A partir de ces gares secondaires, le transport est effectué par la route. Dans un système de dessertes uniquement routières, les seules opérations qui interviennent entre l'arrivée des trains blocs et le client sont d'une part, le transbordement entre le wagon et la semi-remorque routière et d'autre part, l'acheminement par la route jusqu'au client. Au contraire, dans le cas de la desserte mixte, un plus grand nombre d'opérations interviennent : acheminement par la route du client jusqu'à la gare secondaire ; transbordement à la gare secondaire de la semi-remorque sur le wagon ; navette ferroviaire entre la gare secondaire et la gare terminale des trains blocs, transfert à la gare principale entre le train navette et le train bloc.

Dans le cas de dessertes mixtes, les gares peuvent alors remplir deux fonctions :

- une fonction de gare principale, point origine ou destination de trains blocs ;
- et d'autre part, une fonction de gare secondaire, jonction entre la route et le fer (2).

Le modèle permettant d'étudier l'avantage qu'il y aurait à introduire ce système de desserte mixte autour de telle ou telle gare et pour telles ou telles directions de dessertes autour de ces gares, est décrit dans le chapitre 3. Les résultats essentiels que l'on obtient par les calculs sont les suivants.

(1) Le modèle discrimine ces différents cas.

(2) La présente étude n'examine pas le système qui consisterait, grâce aux embranchements particuliers, à assurer le transport par la voie ferrée jusque chez le client. Ce problème est abordé dans une autre étude à propos des embranchements particuliers de la Côte d'Or.

Dans les deux cas étudiés en détail, celui du réseau à 24 gares et celui du réseau à 49 gares, le premier résultat est que le nombre des gares secondaires qu'il est intéressant d'ouvrir est relativement limité. Pour le réseau à 24 gares autour duquel environ 70 gares secondaires ont été essayées, 33 d'entre elles ont un intérêt économique ; autour du réseau à 49 gares, seulement 20 gares secondaires sont intéressantes. La desserte mixte et donc l'ouverture de gares secondaires, au terme des calculs, n'apparaît intéressante que pour les centres séparés des gares principales par une distance d'au moins 100 km, et qui émettent ou reçoivent un trafic important réparti dans plusieurs directions. Un certain nombre de ces centres du reste, présentent la particularité d'émettre ou de recevoir dans une direction particulière un trafic très gros, si bien que dans cette direction, il est avantageux de constituer un train direct, alors que dans les autres directions, la solution la meilleure est celle d'un train navette vers la gare principale la plus proche et la mieux orientée.

Le fait de recourir à la desserte mixte chaque fois qu'elle est plus avantageuse que la desserte routière économiserait au total une somme relativement faible puisqu'elle ne représente pas 2 % du coût total du transport des charges complètes en 1965. D'une part, des dessertes terminales (40 sur 106 dans le cas du réseau à 24 gares) "passent" du transport routier au transport mixte, ainsi leur coût s'abaisse de 20 %. Cette réduction en entraîne une seconde car elle permet à certaines relations interdépartementales qui, sans desserte mixte, avaient avantage à être assurées par la route bout en bout, de venir maintenant au combiné ; cet effet induit est beaucoup plus faible que le premier car il porte sur un très petit nombre de liaisons ; mais sur chacune de ces liaisons, le gain est relativement substantiel puisqu'il représente environ 10 %. Des gains plus importants apparaîtraient probablement si l'on tenait compte plus finement des fonctions de coût des gares. Il est bien évident par exemple que lorsque, pour une partie, le chemin de fer se substitue à la desserte routière, le nombre des tracteurs routiers nécessaires s'abaisse, ce qui est de nature à réduire les coûts plus qu'il n'a été supposé.

CHAPITRE I

LES DONNEES ET LE MODELE

1. Le champ de l'étude et les données
2. Le modèle.

CHAPITRE 1

LES DONNEES ET LE MODELE

1. LE CHAMP DE L'ETUDE ET LES DONNEES

En raison de sa technique elle-même, le transport combiné avec des grands containers n'intéressera pratiquement jamais les transports à courte distance, les transports de petits lots et à l'autre extrême, les transports en grande quantité (type train complet) ; ceux-ci s'effectueront toujours dans de meilleures conditions par d'autres systèmes ...

Dans l'étude schématique que nous entreprenons, un certain nombre de limitations seront donc fixées a priori. On exclura :

- tous les envois de moins de 3 tonnes ;
- tous les envois de plus de 400 tonnes ;
- tous les trafics effectués à l'intérieur d'un même département ;
- enfin, tous les trafics effectués entre des départements voisins ou très proches.

On supposera qu'aucun des trafics exclus n'est susceptible d'être assuré par un système combiné avec grands containers ; dans l'autre sens, on admet que tous les trafics pris en compte peuvent éventuellement être assurés par ce mode de transport. Cette coupure a quelque chose d'arbitraire, et une étude beaucoup plus approfondie montrerait certainement qu'un certain nombre de trafics légers et à distances relativement courtes peuvent être avec profit assurés par des containers et qu'à l'inverse, une partie des transports que nous incluons dans notre champ ne peuvent être containérisés (pour des raisons d'encombrement par exemple) ou ne valent pas de l'être (1).

Cette étude plus poussée serait fondamentale à entreprendre pour préparer la mise en place concrète d'un transport par grands containers ; s'agissant ici d'une simple analyse exploratoire destinée à préciser certains grands schémas d'organisations possibles, les simplifications que nous nous sommes données ne paraissent pas devoir entraîner des conséquences trop graves (2).

(1) Des marchandises assez pauvres peuvent ne pouvoir "payer" au système combiné ou à la route le prix de leur qualité de service et la meilleure solution pour elles peut être dans un troisième mode de transport proche, par exemple, du Régime ordinaire actuel de la SNCF.

(2) On s'est expliqué plus haut sur ce sujet (voir **Introduction** : discussion des hypothèses 1 et 2).

Deux mots d'explication sont nécessaires concernant l'exclusion des trafics effectués entre départements voisins. Cette exclusion signifie simplement qu'un transport par système combiné ne présente de l'intérêt qu'à partir de distances suffisamment longues. On aurait donc pu tout aussi bien marquer la frontière de notre domaine en éliminant les trafics effectués par exemple à moins de 150 km. Pour des raisons de commodité, il a semblé préférable d'exclure tous les trafics entre départements voisins ou départements extrêmement proches ; ceci présente en particulier l'avantage de ne jamais tronquer un trafic entre deux départements : ou ce trafic inter-départemental est complètement inclu dans le champ de l'étude, ou il est complètement exclu.

Enfin, il faut préciser que le trafic international n'a pas fait l'objet d'hypothèses différentes selon les pays concernés (1). Là encore, on peut discuter sur le point de savoir si les chemins de fer des pays voisins suivront une politique favorable au transport combiné ou si au contraire ils s'y opposeront. La position prise dans la présente étude revient à admettre qu'à l'étranger les structures de coûts comparés des deux systèmes, routier et combiné, ne sont pas très différentes de ce qu'elles sont en France, et que les chemins de fer étrangers décideront de développer les systèmes par containers lorsque le coût pour la collectivité leur sera favorable. L'on peut noter tout de suite que si pour des raisons diverses, les réseaux étrangers devaient s'opposer au transport par grands containers, les conclusions de la présente étude ne seraient sans doute pas substantiellement modifiées. Certes, dans ce cas, une partie du trafic international devrait s'effectuer sur le territoire français non pas par trains complets de containers mais par d'autres systèmes, par exemple le système ferroviaire classique ; l'activité des gares et le trafic sur les lignes seraient alors en plusieurs points du territoire plus réduits que ne le suggèrent les calculs que nous présentons plus loin, mais les comparaisons entre les différentes organisations de transport combiné, comparaisons qui sont l'objet essentiel de ce travail, resteraient à peu près valables.

(1) Le transport international routier est très mal saisi par les statistiques dont nous disposons ; de plus, il représente assez peu de choses par rapport au trafic international ferroviaire ; il a donc été exclu.

TABLEAU 1. LES TRAFICS CONSIDERES DANS L'ETUDE,
POUR L'ANNEE 1965 (1)

		en tonnes (millions)	en tonnes-km (milliards)
Champ de l'étude	(. Route (publ. + privé)	61,2	19,7
	(. Fer, wagons complets	84,3	37,5
	(. Ensemble	145,5	57,2
Ensemble des transports à plus de 150 km	(. Route (publ. + privé)	73,7	23,8
	(. Fer, wagons complets	94,8	42,4
	(. Ensemble	168,5	66,2

(1) Plus exactement pour la moyenne annuelle des années 1964, 1965 et 1966, dans le cas de la route, et pour l'année 1966 dans le cas du chemin de fer. Ce manque d'homogénéité dans les périodes couvertes a été imposé par les statistiques disponibles.

Le tableau 1 présente les trafics retenus dans l'étude au terme des définitions énoncées ci-dessus. Ils représentent la "demande de transport" que nous prenons comme une donnée. C'est la demande d'une année moyenne de la période 1964-1966.

Une investigation statistique assez lourde a été nécessaire pour établir ce tableau et surtout pour en décomposer les chiffres selon les nécessités de l'analyse qui va être entreprise.

Pour les trafics effectués par le chemin de fer, l'on est parti du fichier "wagons complets" exhaustif communiqué par la SNCF pour l'année 1966. Un échantillonnage représentatif de ce fichier a été traité par la SETEC avec pour principal objectif de repérer correctement l'origine et la destination de chaque transport. Des contrôles ont été effectués pour vérifier que ces différents traitements mécanographiques et le sondage permettaient de retrouver les grandeurs les plus importantes estimées dans les statistiques officielles de la SNCF ; ces contrôles ont été satisfaisants.

S'agissant du transport routier, la principale difficulté est de saisir correctement toute l'activité des transports pour compte propre qui jusqu'à présent n'avait pas pu faire l'objet d'estimations probantes, du moins pour un détail assez grand ; par exemple, par relation interdépartementale.

La seule source disponible concernant à la fois les transports publics et les transports privés est constituée par le sondage réalisé par l'I.N.S.E.E. et le Ministère des Transports. Malheureusement, le taux de sondage est trop faible pour fournir chaque année un échantillonnage suffisant sur les diverses relations. Aussi a-t-on dû réunir les sondages relatifs à 3 années successives : 1964, 1965 et 1966, et se contenter de flux moyen pour ces trois années. Sur les relations inter-départementales les moins fréquentées, par exemple, entre le Lot et le Finistère, la précision de nos estimations n'est donc pas très grande mais elle est la meilleure de celles qui peuvent être obtenues aujourd'hui sur la base des informations existantes.

Les flux origine - Destination

L'ensemble des trafics doit être réparti selon les origines et les destinations. Pour des raisons de simplicité et surtout en raison des limites imposées par les statistiques disponibles, la seule ventilation possible est celle qui consiste à isoler chacun des flux inter-

départementaux. C'est ainsi par exemple que dans l'étude, l'ensemble des transports effectués au cours d'une année entre Dunkerque d'une part et Miramas de l'autre, ou entre Lille d'une part et Marseille de l'autre, seront groupés dans une même relation, celle qui unit le département du Nord avec le département des Bouches du Rhône.

Nous aurons donc affaire à 3.573 liaisons puisqu'il existe 4.005 liaisons interdépartementales, d'où il faut déduire 332 liaisons intra-départementales ou entre départements voisins et très proches, et 100 liaisons qui n'ont connu aucun trafic (1).

Sur chacune des 3.573 liaisons, le fichier utilisé dont on trouvera le dessin en annexe 2, distingue d'une part le trafic intérieur et le trafic international, d'autre part, les transports effectués dans le sens aller et dans le sens retour.

La connaissance des distances de transport est évidemment fondamentale pour le travail envisagé. Dans le cas du système combiné, deux notions de distance interviennent : d'une part, celle du transport terminal entre le client et la gare - centre, d'autre part celle du transport ferroviaire proprement dit.

La distance du transport routier terminal a été mesurée sur les cartes Michelin entre les villes où se situent les gares-centres et les centres d'activités économiques des départements ; lorsque ces deux points sont confondus, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit d'estimer la longueur moyenne de desserte dans un département où se trouve une gare-centre, on a retenu une distance forfaitaire approximativement égale au tiers du diamètre du département. Pour la distance ferroviaire, aucune difficulté spéciale ne survient : il s'agit simplement de mesurer sur le réseau ferré, la distance séparant deux gares l'une de l'autre.

Dans le cas d'un transport routier, l'on est obligé de tenir compte du fait que, comme on le verra plus loin, le modèle utilisé dans l'étude prévoit qu'une liaison interdépartementale est tout entière "affectée" soit au transport routier, soit au transport combiné. Par conséquent, la distance routière interdépartementale à considérer n'est point celle des transports qui, en 1965 ou dans les années voisines ont été réellement effectuées par les transporteurs routiers mais une estimation de la distance du transport routier que l'on obtiendrait si l'ensemble des transports entre les deux départements (transports effectués en 1965 soit par la route soit par le fer) était effectué par la route. On a tiré cette estimation d'une analyse complète de la distance accomplie pour chacun des transports recensés dans l'étude. On a constaté qu'en moyenne, la distance interdépartementale ainsi obtenue était légèrement supérieure à la distance interdépartementale moyenne des seuls transports

(1) Voir en annexe 1 la liste de ces liaisons

confiés à la route en 1965 ; ceci semble en accord avec le fait que, dans beaucoup de cas, le chemin de fer assure des trafics qui proviennent de lieux situés relativement à l'écart des centres départementaux.

2. LE MODELE

2.1. POSITION GENERALE DU PROBLEME

Pour correctement comparer différents schémas de transport combiné - ce qui est le but de l'étude - il faut avoir calculé ce qu'ils "coûtent". Comme chacun d'eux implique pour le transport concurrent, à savoir la route, une activité différente, force est bien d'estimer le "coût" de l'ensemble du transport : combiné + route. Or, ce coût global dépend du partage entre les deux modes ; la seule façon de ne pas introduire trop d'arbitraire dans les comparaisons que nous avons en vue entre plusieurs systèmes combiné est donc de retenir pour chacun d'entre eux, le partage intermodal qui conduit au "coût global minimum".

L'on est ainsi amené, quoiqu'il ne s'agisse là que d'un intermédiaire de calcul et non du but de l'étude, à déterminer pour un schéma donné de transport combiné (tel réseau et telles gares avec tel système de dessertes) et une demande totale donnée, la répartition du trafic entre deux modes de transport : route bout en bout et combiné rail-route, telle que le coût total de transport soit minimum pour la collectivité.

En réalité, le problème se complique du fait que pour un mode donné, entre deux départements, plusieurs itinéraires sont possibles.

La forme des fonctions de coût indique comment le problème peut être traité (1).

On admet que pour le transport routier le coût d'un véhicule est indépendant du volume de trafic. Cela signifie que le coût du transport par la route de chacun des flux interdépartementaux est indépendant des autres.

Il n'en va pas de même pour le système combiné rail-route, du moins pour la partie ferroviaire de ce système, car le coût des gares et des trains est fonction du volume de trafic, donc de la façon dont les différents flux interdépartementaux empruntent des itinéraires ferroviaires communs. Pour un flux interdépartemental donné, on ne peut déterminer le meilleur itinéraire ferroviaire sans faire intervenir les autres flux susceptibles d'emprunter le même itinéraire. Les deux quantités coût et volume de trafic étant dépendantes l'une de l'autre, on entrevoit là un processus itératif.

(1) Pour la définition précise de ces fonctions voir : Généralisation du transport combiné. Les fonctions de coût - Janvier 1969.

On peut cependant sans trop de risques limiter considérablement le champ des itinéraires ferroviaires envisageables pour chaque flux interdépartemental et n'en retenir que quelques uns parmi lesquels sera déterminé l'itinéraire optimum.

Ainsi l'optimisation du réseau et de l'affectation du trafic peut être traitée par un programme linéaire en variable mixte que l'on peut représenter sous la forme suivante :

Minimiser la fonction :

$$\phi = \sum_{ij} x_{ij}^0 R_{ij} + x_{ij}^1 C_{ij}^1 \dots + x_{ij}^{nij} C_{ij}^{nij} + \sum_p F^p \cdot \epsilon^p + \sum_n G^n \cdot \mu^n$$

avec les contraintes

$$\begin{aligned} - x_{ij}^0 + x_{ij}^1 + \dots + x_{ij}^{nij} &= 1 && \text{pour tout } ij \\ - \epsilon^p = 0 \text{ si } \sum_{ij} x_{ij}^p &= 0 &&) \\ - \epsilon^p = 1 \text{ si } \sum_{ij} x_{ij}^p &> 0 &&) \\ &&& \text{pour tout } p \\ - \mu^n = 0 \text{ si } \sum_{p \notin n} \sum_{ij} x_{ij}^p &= 0 &&) \\ - \mu^n = 1 \text{ si } \sum_{p \notin n} \sum_{ij} x_{ij}^p &> 0 &&) \\ &&& \text{pour tout } n \end{aligned}$$

Notations : x_{ij}^0 est la part du flux (ij) affecté à la route

x_{ij}^p est la part du flux (ij) affecté au combiné par l'itinéraire p ($p = 1, \dots, nij$)

nij est le nombre d'itinéraires combinés possibles pour (ij)

R_{ij} est le coût du transport du flux (ij) par la route

C_{ij}^p est le coût du transport du flux (ij) par le système combiné sur l'itinéraire p ($p = 1, \dots, nij$)

F^p est le coût fixe du transport sur l'itinéraire combiné p

G^n est le coût fixe de la gare n

La réalisation d'un tel programme linéaire se heurte à la difficulté majeure qu'est sa taille ; en effet, si on admet qu'en moyenne on peut se contenter de quatre itinéraires ferroviaires possibles pour chaque flux interdépartementale, la taille de ce programme est :

Variable : $4\ 000 \times (4 + 1) = 20\ 000$ soit 20 000 variables
 Contraintes : sur (ij) = 4 000
 sur p et n = 4 000 soit 8 000 contraintes

Il faudrait alors pouvoir le décomposer en au moins une vingtaine de sous-programmes indépendants ; c'est-à-dire, découper le réseau en sous-réseaux indépendants ce qui est irréalisable à cause de l'interdépendance des différents itinéraires que peut emprunter un même flux interdépartemental.

2.2. LE MODELE RETENU (1), (2)

a) Schéma général du modèle

Ne pouvant optimiser simultanément le réseau et les affectations des trafics à l'un ou l'autre mode, on retient un modèle consistant à optimiser les affectations sur un réseau donné (nombre et emplacement des gares possibles) en s'assurant à chaque nouveau réseau que l'on diminue les coûts par rapport au précédent pour se rapprocher pas à pas de l'optimum.

a 1.) On part d'un nombre restreint de gares (réseau 1) situé sur un réseau ferroviaire simplifié (sur ce réseau ferroviaire, voir chapitre II paragraphe 2).

Ce réseau comprend 24 gares, situées dans les départements où le trafic (expédition ou réception) est le plus élevé.

On définit autour de chaque gare, l'ensemble des départements dont l'itinéraire combiné pour une ou plusieurs directions passera par cette gare.

(1) Le modèle présenté ici, est celui qui a été utilisé dans les cas d'un transport combiné à dessertes terminales routières. Dans les cas où la desserte terminale est en partie effectuée par fer, il doit être complété (voir chapitre III).

(2) Un modèle de conception beaucoup plus simple que celui-ci pouvait être envisagé ; on trouvera en annexe 9 la description sommaire de ce modèle et la raison de son rejet.

Cette "affectation" des départements aux gares résulte du choix du meilleur itinéraire combiné sur le réseau 1 pour chaque flux interdépartemental ; (ce choix repose sur un calcul de coût approximatif, l'interdépendance entre les flux interdépartementaux interdisant de déterminer de façon rigoureuse, le coût par le système combiné d'un flux interdépartemental sans la connaissance du volume de trafic aux gares et sur le parcours ferroviaire).

Il s'ensuit qu'un département n'effectue généralement pas tout son trafic par la même gare, mais par des gares qui diffèrent selon la direction des flux émis ou reçus. D'autre part, le nombre des itinéraires ferroviaires, c'est-à-dire des liaisons inter-gares, étant limité (si N est le nombre de gares appartenant au réseau 1, le nombre d'itinéraires différents est au maximum égal à : $\frac{N(N-1)}{2}$) plusieurs flux interdépartementaux ont le même itinéraire ferroviaire.²

a 2.) Dans un deuxième temps, on cherche à minimiser le coût du transport sur le réseau 1, en jouant sur l'affectation de chacun des flux interdépartementaux à l'un des deux modes de transport retenu. La procédure d'affectation intermodale sera décrite en détail au paragraphe (d) ; on peut relever dès à présent deux points :

- en première analyse, on admet que les interdépendances existant entre les diverses liaisons inter-gares sont négligeables ; ceci tient en particulier à ce que les coûts fixes des gares sont très faibles par rapport aux autres composants du coût total.
- les affectations à un mode de transport se font par la comparaison des coûts marginaux au niveau de chaque flux interdépartemental (1) ; la totalité du flux est affectée à un seul mode de transport.

a 3.) On définit ensuite un réseau 2.

Ce réseau est construit d'après les résultats des calculs sur le réseau 1. A partir du réseau 1, on cherche en effet, à ouvrir de nouvelles gares qui permettraient d'améliorer les coûts de transport ; ainsi on n'ouvrira une gare, que si elle permet une économie par rapport au réseau précédent. L'ouverture d'une nouvelle gare n'implique pas l'ouverture de toutes les liaisons inter-gares joignant cette gare aux gares déjà existantes, mais seulement de celles que le calcul révèle avantageuses.

Quelles sont les nouvelles liaisons que l'on peut envisager d'ouvrir ? L'exploration des possibilités est guidée par quelques remarques :

(1) Le coût marginal du transport combiné pour une liaison interdépartementale dépend du trafic sur le parcours ferroviaire qu'elle emprunte (non du volume total du trafic, mais seulement du déséquilibre du trafic.

- Le poste prépondérant dans le coût du système combiné est la desserte terminale.

- Il existe une économie d'échelle sur le coût du parcours ferroviaire qui peut être très importante pour les faibles volumes de trafic; lorsqu'on ouvre une nouvelle liaison, il faut, pour parler en termes très généraux, d'une part qu'elle ait un trafic suffisant, et d'autre part, que la ou les liaisons existant auxquelles elle a pris du trafic, en conservent suffisamment.

En conséquence, on envisage d'ouvrir de nouvelles gares lorsque les dessertes terminales sont longues et lorsque les trafics sont relativement élevés.

a 4.) Le réseau 2 étant constitué, on recherche sur ce réseau, la répartition optimale du trafic; pour être certain d'améliorer les coûts, on ne retient définitivement les modifications de ce réseau, par rapport au réseau 1 que lorsqu'elles permettent de diminuer les coûts du transport. Un "affichage" méthodique des comparaisons de coûts entre les deux réseaux est donc nécessaire.

Deux cas se présentent :

- certaines liaisons inter-gares ne sont pas modifiées dans le nouveau réseau, c'est-à-dire qu'elles conservent les mêmes flux interdépartementaux. Leur coût sera identique avec les deux réseaux ; on ne le recalcule pas.

- certaines liaisons inter-gares sont modifiées : on compare leur coût sur les deux réseaux, en tenant compte de ce que les nouvelles liaisons inter-gares que l'on envisage d'ouvrir sur le réseau 2, sont formées de flux interdépartementaux provenant de une ou plusieurs liaisons inter-gares du réseau 1. On doit donc regrouper toutes ces liaisons dans le même sous-ensemble, qu'on appelle grappe, calculer leur coût avec le réseau 2, et comparer le coût total de toutes les liaisons de la grappe sur le réseau 1 au coût de toutes les liaisons de la grappe sur le réseau 2. On étudiera plus en détail la formation des grappes dans le paragraphe suivant.

Par grappe, on retient le système (réseau 1 ou réseau 2) qui a le coût le moins élevé. Si c'est le réseau 1, le gain est nul, si c'est le réseau 2, le gain est positif.

a 5.) On définit ensuite un réseau 3.

On construit ce réseau à partir des résultats des réseaux 1 et 2, puis on compare son coût au coût du meilleur réseau défini en a 4.

On procède ainsi par étapes jusqu'à ce qu'on ne puisse plus améliorer le réseau final, ou du moins, lorsque les seules améliorations possibles procurent un gain négligeable. On s'arrête à ce point qui est très proche de l'"optimum".

a 6.) Ce modèle présente l'intérêt d'être simple et d'une réalisation assez rapide. Il est un mélange d'une procédure empirique pour définir le meilleur hinterland des gares et l'emplacement même des gares, et de procédures systématiques d'affectation au coût marginal au mode de transport le moins cher, et de choix d'itinéraires entre deux réseaux (p) et (p + 1) pour s'assurer que l'on ne passe de l'un à l'autre que si le second présente réellement un coût inférieur.

Le modèle n'a pas la finesse nécessaire pour déterminer l'emplacement optimal précis des gares, ce qui de toutes façons, serait illusoire dans le cadre de cette étude. L'on doit se rappeler en particulier, que notre zone géographique élémentaire, pour des raisons statistiques, est le département, non l'arrondissement par exemple. Et nous sommes donc incapables, dans le cas de département comportant plusieurs pôles économiques, de chercher auprès duquel il faut mettre une gare (éventuellement auprès desquels.)

b) Les grappes.

On a vu, dans le paragraphe précédent, qu'à partir du réseau 2, les comparaisons de coûts entre réseau nouveau et précédent se fait au niveau d'un ensemble de liaisons qu'on appelle grappe. On peut définir la grappe comme étant le plus petit ensemble de flux interdépartementaux formant un nombre entier de liaisons inter-gares sur le réseau (p) et un nombre entier de liaisons inter-gares (égal ou différent du précédent) sur le réseau (p+1).

Prenons un exemple de grappe : lorsqu'on construit le réseau 2, on envisage d'ouvrir trois nouvelles liaisons inter-gares, Metz-Creil, Creil-Nancy, Nancy-Noisy-le-Sec, par lesquelles passeraient les 12 flux interdépartementaux qui dans le réseau 1 passent tous par deux liaisons inter-gares, Metz-Noisy-le-Sec et Metz-Pompadour.

Les liaisons inter-gares et la répartition des flux interdépartementaux de la grappe entre ces liaisons inter-gares sont décrites ci-dessous pour les réseaux 1 et 2.

(A) Réseau 1

Metz-Noisy-Le-Sec	{ Seine - Moselle
	{ Seine - Meurthe-&-Moselle
	{ Seine - Meuse
	{ Seine - Vosges
	{ Oise - Moselle
	{ Oise - Meurthe-&-Moselle
	{ Oise - Meuse
	{ Oise - Vosges
Metz-Pompadour	{ Seine-et-Marne - Moselle
	{ Seine-et-Marne - Meurthe-et-Moselle
	{ Seine-et-Marne - Meuse
	{ Seine-et-Marne - Vosges

(B) Réseau 2

Metz-Noisy-Le-Sec	(Seine - Moselle (Seine-et-Marne - Moselle
Metz-Creil	(Oise - Moselle
Nancy-Noisy-Le-Sec	(Seine - Meurthe-et-Moselle (Seine - Meuse (Seine - Vosges (Seine-et-Marne - Meurthe-et-Moselle (Seine-et-Marne - Meuse (Seine-et-Marne - Vosges
Nancy-Creil	(Oise - Meurthe-et-Meuse (Oise - Meuse (Oise - Vosges

Ainsi, une grappe comprend deux fois un certain nombre de flux inter-départementaux ; une première fois (modalité A) groupés selon la configuration du réseau 1 ; une deuxième fois (modalité B) groupés différemment, certains restant sur une ancienne liaison, d'autres formant de nouvelles liaisons inter-gares.

c) Les affectations inter-nodales

On a défini un algorithme simplifié dont on peut dégager trois principes généraux :

- les liaisons inter-gares sont considérées comme indépendantes, c'est-à-dire qu'elles peuvent être traitées successivement et sans que les résultats obtenus sur l'une puissent remettre en cause les résultats obtenus sur une autre.
- les flux interdépartementaux sont affectés à l'un ou l'autre nœud dans leur totalité (et dans les deux sens de parcours).

Ce principe de "l'affectation par tout ou rien" tire sa justification d'une part du fait que les deux nœuds concurrents présentent pratiquement la même qualité de service, et ceci pour tous les "chargeurs", et d'autre part, de l'allure particulière des fonctions de coût. Ces dernières, en effet, ont la caractéristique suivante :

- Le coût à la TK sur une liaison donnée, pour la route bout en bout, est à peu près indépendant du tonnage transporté sur la liaison.

- Le coût à la TK sur une liaison donnée, pour le combiné, décroît lorsque le tonnage transporté entre les 2 gares s'élève (cette décroissance devenant de moins en moins sensible lorsque le tonnage s'élève).

Dans ces conditions, l'un des deux coûts obtenus en retenant uniquement l'un des deux modes est toujours inférieur au plus faible coût obtenu en "mélangeant" les deux modes.

- On compare dans un premier temps les coûts marginaux des deux modes de transport pour chaque flux interdépartemental que l'on affecte provisoirement au mode qui a le coût marginal le plus faible ; dans un deuxième temps, on compare le coût fixe de la liaison inter-gare à la somme des gains réalisés sur les coûts marginaux ; si le coût fixe est inférieur, on conserve les affectations aux coûts marginaux, sinon on affecte tous les flux à la route définitivement.

c1) Description de l'algorithme d'affectation sur le réseau 1.

L'algorithme est un peu plus complexe que ne le laisse prévoir le paragraphe ci-dessus ; en effet, le coût marginal du transport par le système combiné pour un flux interdépartemental dépend du sens de son déséquilibre par rapport au sens du déséquilibre global de l'ensemble de la liaison inter-gares.

Afin d'éviter des itérations nombreuses, on considère successivement deux cas où l'on impose le sens de parcours le plus chargé sur la liaison inter-gare IJ.

On suppose par exemple, que le sens le plus chargé est celui qui va de I vers J ; ce sens étant fixé, on calcule les coûts combinés marginaux correspondants et on affecte le trafic de chaque flux interdépartemental LI au mode le moins cher.

Lorsque toutes ces affectations sont connues, on vérifie que le trafic combiné résultant de ces affectations a son déséquilibre dans le sens défini par l'hypothèse. Sinon, on suppose que le sens le plus chargé est inverse au précédent, soit J vers I ; on calcule les nouveaux coûts marginaux combinés, les nouvelles affectations des flux LI et on vérifie à nouveau que le trafic résultant de ces nouvelles affectations a son déséquilibre dans le sens de J vers I.

Si cette hypothèse ne peut encore être vérifiée on compare trois solutions dont on retient la meilleure.

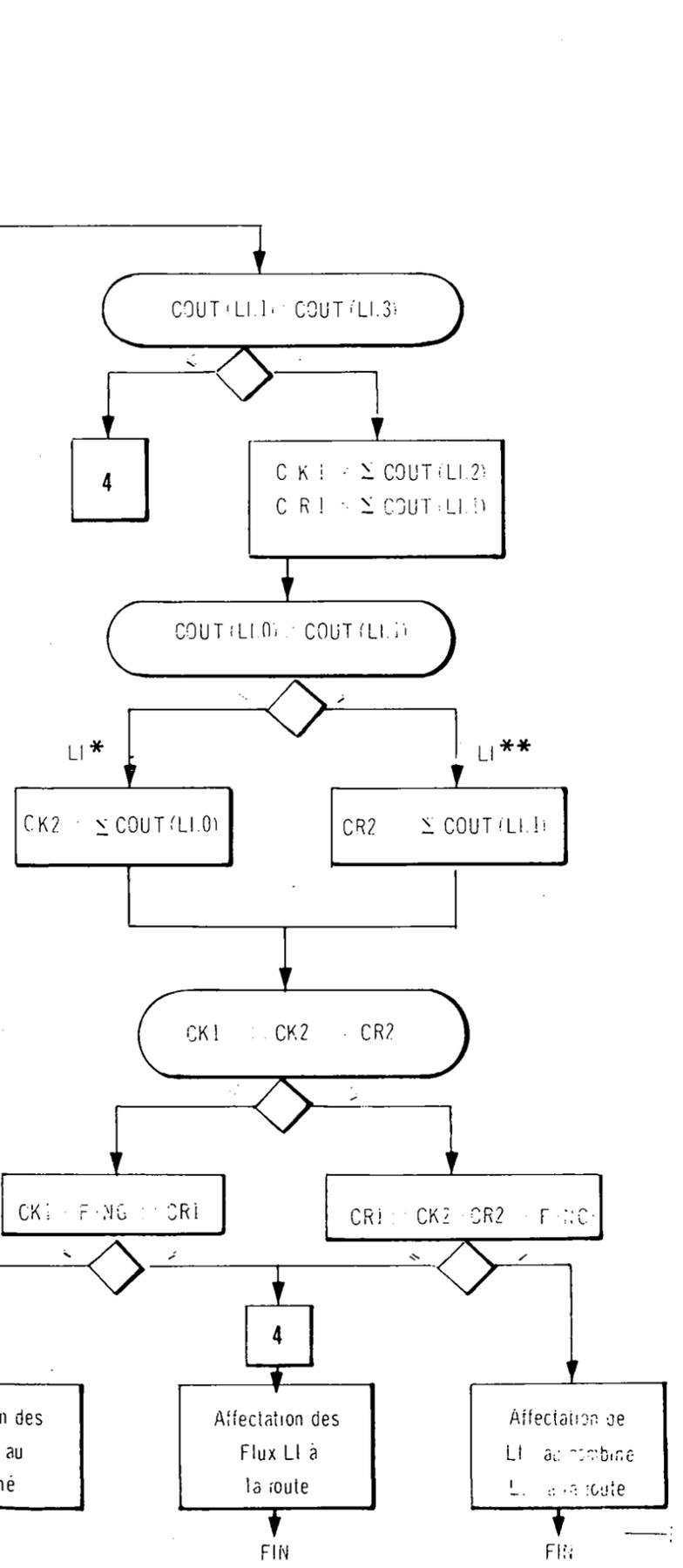
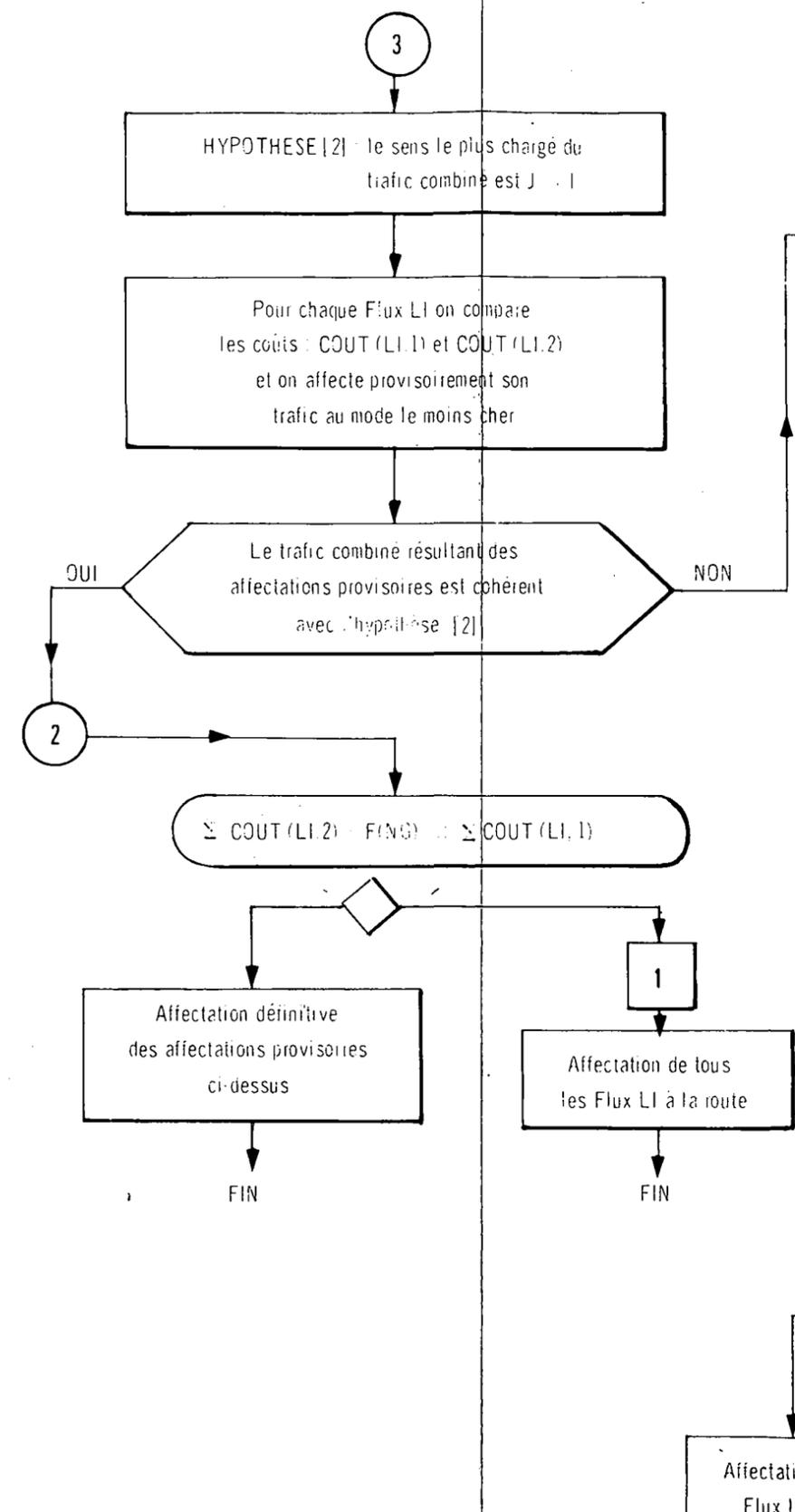
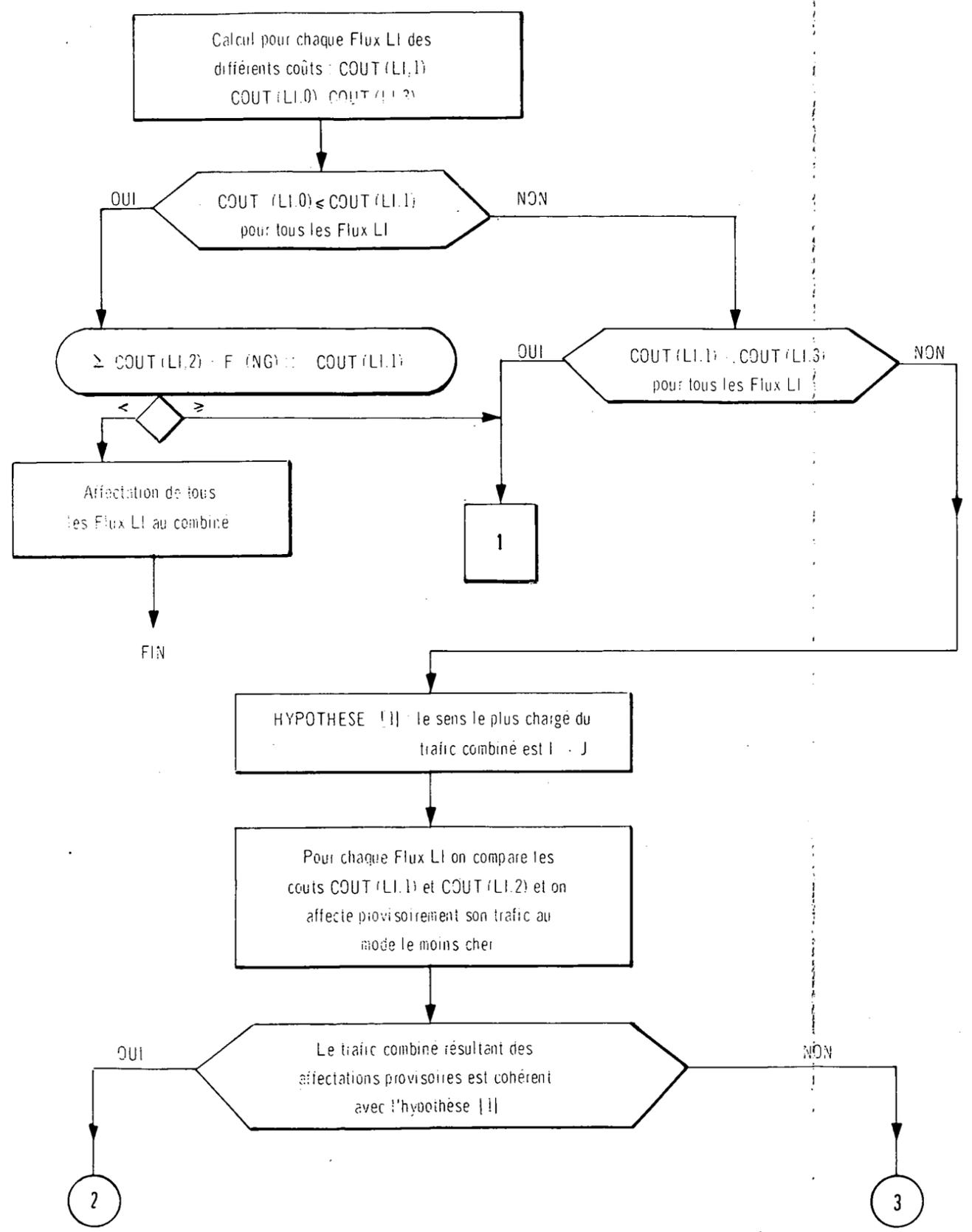
- Tous les flux LI sont affectés à la route.
- On affecte à la route les flux LI tels que $COUT(LI,1) < COUT(LI,3)$
- On affecte à la route les flux LI tels que $COUT(LI,1) < COUT(LI,0)$

Notations utilisées dans le schéma ci-contre :

Liaison IJ : Liaison entre les gares I et J.

Flux LI : Flux interdépartemental dont l'itinéraire combiné passe par les gares I et J.

SCHEMA DE L'ALGORITHME D'AFFECTATIONS SUR UNE LIAISON INTER GARE I - J



- COUT(LI,1) : Coût du transport par la route du flux LI.
- COUT(LI,0) : Coût du transport du Flux LI par le système combiné lorsque le sens du déséquilibre du trafic du Flux LI est identique au sens du déséquilibre du trafic global sur la liaison IJ.
- COUT(LI,3) : Coût du transport du Flux LI par le système combiné lorsque le sens du déséquilibre du trafic du Flux LI est l'inverse du sens du déséquilibre du trafic global sur la liaison IJ.
- COUT(LI,2) : Soit COUT(LI,0), soit COUT(LI,3) selon l'hypothèse qui est faite sur le sens du déséquilibre du trafic global sur la liaison IJ.
- F (NG) : Coût fixe de la liaison IJ.

c 2) Description de l'algorithme d'affectation sur le réseau p, avec $p \geq 2$.

On compare par grappe les résultats du nouveau réseau au précédent. A l'intérieur d'une grappe, on calcule le coût du transport de tous les flux interdépartementaux constituant la grappe, successivement pour le réseau (p-1) et pour le réseau (p). On décide de remplacer les affectations du réseau (p-1) par les affectations du réseau (p), pour chaque grappe indépendamment les unes des autres, lorsque le coût du transport sur le réseau (p) soit $C(p)$, est inférieur au coût du transport sur le réseau (p-1) soit $C(p-1)$.

Chaque grappe est formée de $n(p-1)$ liaison inter-gares sur le réseau (p-1) et de $n(p)$ liaison inter-gares sur le réseau (p).

Le coût de transport pour une grappe est égal à la somme des coûts de transport de chaque liaison inter-gares qui la composent ; ainsi :

$$C(p-1) = \sum_{r=1}^{n(p-1)} \text{Coût de la liaison (IJ)}_r$$

$$C(p) = \sum_{q=1}^{n(p)} \text{Coût de la liaison (KL)}_u$$

Le calcul du coût de transport d'une liaison inter-gares et les affectations des flux interdépartementaux qui la composent se font comme pour le réseau 1 par le processus décrit dans le paragraphe précédent.

CHAPITRE II

LES GARES DANS UN SYSTEME A DESSERTES UNIQUEMENT ROUTIERES

1. Les trois réseaux étudiés
2. Les résultats
3. Regard sur l'avenir.

CHAPITRE II

LES GARES DANS UN SYSTEME A DESSERTES UNIQUEMENT ROUTIERES

Le premier type d'organisation du transport combiné envisagé dans cette étude consiste en un acheminement ferroviaire direct entre gares-centres autour desquelles la desserte jusqu'aux clients est assurée par la route. Ce type d'organisation est dénommé ici : "système combiné à desserte routière";

Ceci permet de le distinguer d'un second type qui fait intervenir le chemin de fer dans la desserte terminale et que l'on dénomme : "système à desserte mixte".

Ce chapitre est consacré uniquement au système à desserte routière(1)

1 - Les trois réseaux étudiés.

Le réseau qui sert de point de départ est le réseau ferroviaire "noyau" provisoirement retenu à la suite des recherches qui ont porté sur les trains complets et les trains de voyageurs rapides et express; il comprend environ 12.000 kms de lignes ; l'étude retient ce réseau à titre d'hypothèse de travail et n'a pas pour objectif d'en vérifier la validité.

C'est une hypothèse importante puisque sur ce "réseau noyau", les coûts d'infrastructures retenus seront simplement les coûts marginaux, tandis que pour toutes les extensions que l'on étudiera (les arcs nouveaux "hors noyau") l'on prendra en compte la totalité des coûts d'infrastructure (parce que l'on fait l'hypothèse que sur ces "arcs" seul le trafic des charges complètes présente éventuellement un intérêt ; c'est donc lui seul qui doit porter les coûts fixes alors que sur le réseau noyau, ces coûts fixes sont justifiés déjà par les seuls trains complets et trains de voyageurs.)

Deux séries d'extension sont considérées; l'une dans le réseau 1, consiste à ajouter deux arcs au réseau noyau (Tours-Le Mans, et Montargis-Sens) représentent à eux deux 160 kms de ligne; l'autre dans les réseaux 2 et 3 consiste à ajouter quatre arcs au réseau noyau (les deux précédents et en outre : Charleville-Reims, et Moirans-Valence, soit pour les 4 ensembles : 322 km).

Sur chacun de ces 3 réseaux (1,2 et 3) on a défini un certain nombre de "gares-centres possibles", laissant au calcul du coût minimum le soin de dire celles, qu'en fait il est intéressant d'ouvrir.

(1) Le second type de système fera l'objet du chapitre III.

Le réseau 1 (réseau noyau plus deux arcs hors noyau) comprend 24 "gares-centres possibles".

Le réseau 2 (réseau noyau plus quatre arcs hors noyau) comprend 49 "gares-centres possibles".

Le réseau 3 (réseau noyau plus quatre arcs hors noyau) comprend 61 "gares-centres possibles".

Comme on le verra plus loin, par les résultats des calculs, les gains que procure le passage du réseau 2 (49 gares) au réseau 3 (61 gares) sont très faibles ; il est donc inutile de définir un autre réseau dans le système à dessertes uniquement routières. Cela ne signifie pas - on y reviendra en conclusion - qu'un plus grand nombre de gares ne soit pas intéressant ; mais que si cet intérêt existe, il n'est pas perceptible dans le cadre de notre modèle, c'est-à-dire qu'il ne relève pas des facteurs que nous sommes capables de prendre en considération dans cette étude schématique.

Avant de présenter les résultats, revenons sur les gares possibles dans les trois réseaux.

Le premier réseau comprend 24 gares possibles, soit approximativement une gare par région de programme (3 gares étant situées dans la région parisienne). Ces gares sont les suivantes (entre-parenthèses, le département où elles se trouvent) ; les gares marquées d'une astérisque sont celles qui voient passer du trafic en provenance ou à destination de pays étrangers susceptibles d'être atteints par la voie ferrée.

* 1	Somain	(Nord)
2	Sotteville	(Seine Maritime)
3	Longueau	(Somme)
* 4	Châlon-sur-Marne	(Marne)
* 5	Metz	(Moselle)
* 6	Strasbourg	(Bas-Rhin)
7	Rennes	(Ille-et-Vilaine)
8	Le Mans	(Sarthe)
9	Trappes	(Seine-et-Oise)
10	Noisy-le-Sec	(Seine)
11	Tours	(Indre-et-Loire)
12	Orléans	(Loiret)
13	Laroche	(Yonne)
14	Dijon	(Côte-d'Or)
15	Bordeaux	(Gironde)
16	Limoges	(Haute-Vienne)
17	Saint-Germain-des-Fossés	(Allier)
* 18	Lyon	(Rhône)
19	Decazeville	(Aveyron)
* 20	Béziers	(Hérault)
* 21	Toulouse	(Haute-Garonne)
22	Livron	(Drôme)
23	Miramas	(Bouche-du-Rhône)
24	Pompadour	(Seine)

Ces 24 gares déterminent 276 liaisons inter-gares. Lorsque l'on étudie, sans s'occuper encore de la concurrence avec la route, les itinéraires en transport combiné les plus avantageux (Sur le réseau 1) pour les 3573 flux interdépartementaux correspondant à la demande de transport de 1964-1966, l'on constate que finalement, chacune de ces 276 liaisons est empruntée au moins par un de ces flux; On dit qu'il y a sur ce réseau 276 liaisons intergares potentielles. Il n'en est plus de même après le calcul d'affectation inter-modale; 258 liaisons inter-gares seulement sont "ouvertes". Chacune des 24 gares a du trafic.

Le second réseau comprend 49 gares. Il y a les 24 gares du réseau précédent car les résultats des affectations sur le premier réseau ont montré que toutes devaient être conservées, et 25 gares nouvelles.

Ces gares nouvelles sont :

	25	Arras	(Pas-de-Calais)
	26	Tergnier	(Aisne)
*	27	Charleville	(Ardennes)
	28	Caen	(Calvados)
	29	Gennevilliers	(Seine)
	30	Creil	(Oise)
*	31	Nancy	(Meurthe-et-Moselle)
	32	Epinal	(Vosges)
	33	Brest	(Finistère)
	34	Troyes	(Aube)
*	35	Mulhouse	(Haut-Rhin)
	36	Nantes	(Loire-Atlantique)
	37	Vierzon	(Cher)
	38	Besançon	(Doubs)
	39	Angoulême	(Charente)
	40	Brive	(Corrèze)
	41	Saint-Etienne	(Loire)
*	42	Saint-Julien	(Haute-Savoie)
*	43	Montmélian	(Savoie)
	44	Grenoble	(Isère)
*	45	Pau	(Basses-Pyrénées)
	46	Le Creusot	(Saône-et-Loire)
*	47	Perpignan	(Pyrénées-Orientales)
	48	Carnoules	(Var)
	49	Nice	(Alpes-Maritimes)

Ce réseau de 49 gares représente 383 liaisons inter-gares potentielles. Le calcul d'affectation montrera que 347 d'entre elles sont intéressantes à ouvrir, et que chacune des 49 gares a du trafic.

Le troisième réseau comprend 61 gares. Les 49 précédentes sont conservées et on envisage d'en ouvrir 12 nouvelles qui sont :

50	Evreux	(Eure)
51	Chartres	(Eure-et-Loire)
52	Andilly	(Haute-Marne)
53	Angers	(Maine-et-Loire)
54	Blois	(Loir-et-Cher)
55	Saint-Varent	(Deux-Sèvres)
56	Avignon	(Vaucluse)
57	Tavaux	(Jura)
58	Clermont-Ferrand	(Puy-de-Dôme)
59	Ambérieu	(Ain)
60	Albi	(Tarn)
61	Nîmes	(Gard)

Ce réseau de 61 gares représente 403 liaisons inter-gares potentielles. Le calcul d'affectation montrera que 365 d'entre elles sont intéressantes à ouvrir et que chacune des 61 gares a du trafic.

Le tableau suivant résume ces différentes indications :

Définition des réseaux (système à dessertes routières) et nombre des liaisons intergares que, dans chaque réseau, les calculs montrent intéressantes à ouvrir.

		Réseau 1	Réseau 2	Réseau 3
obtenu par définition avant calculs	(Réseau ferroviaire Nombre de gares envisagées à priori	Réseau noyau plus 2 arcs (1) 24	Réseau noyau plus 4 arcs (2) 49	Réseau noyau plus 4 arcs (2) 61
obtenu par examen des meilleurs itinéraires sur chaque réseau (3)	(Nombre de liaisons inter-gares potentielles	276	383	403
obtenu par calcul d'affectation entre route et combiné selon le coût total minimum	(Nombre de liaisons intéressantes à ouvrir dont : appartenant au réseau de rang intérieur	258 -	347 239	365 347
	(Nombre de gares intéressantes à ouvrir	toutes (24)	toutes (49)	toutes (61)

(1) Le Mans-Tours, Montargis-Sens.

(2) Le Mans-Tours, Montargis-Sens, Charleville-Reims, Moirans-Valence

(3) Compte tenu de leurs coûts.

2 - Les résultats (1)

La comparaison des résultats obtenus pour chacun des trois réseaux permet de porter un premier jugement sur l'intérêt qu'il pourrait y avoir, dans un système combiné, à utiliser un nombre de gares plus ou moins grand.

La réponse à cette question en effet n'est pas évidente à priori. Même en simplifiant beaucoup les choses comme il est fait ici, elle dépend de plusieurs considérations dont seul, le calcul permet de connaître l'incidence générale :

- dans le sens favorable à une multiplication des gares, on trouve en particulier, la cherté de la desserte terminale et le coût fixe assez peu élevé des gares (de l'ordre de 130 000 F/an),
- dans l'autre sens joue le fait qu'en raison de leur coût fixe, les trains ne peuvent sans perdre tout leur avantage par rapport à la route descendre en dessous d'un certain nombre de wagons.

Que montrent les calculs ?

Le premier résultat est que toutes les gares nouvelles "essayées" se révèlent intéressantes à ouvrir, de même que tous les "arcs" nouveaux. En d'autres termes, les uns et les autres permettent des économies sur les coûts supérieures à leurs propres coûts fixes. On repèrera ces gares et ces arcs sur les deux cartes suivantes qui, dans le cas des réseaux 1 et 2 indiquent aussi l'importance des dessertes terminales.

Le second résultat, probablement le plus important, concerne justement l'ordre de grandeur des économies dues à l'ouverture de ces gares et de ces arcs.

Le coût total de transport, pour l'ensemble des trafics inter-départementaux pris en considération dans l'étude, est réduit de 3,4 % lorsqu'on passe de 24 à 49 gares et de moins de 1 % lorsqu'on passe de 49 à 61 gares.

(Voir tableau page suivante)

(1) Les résultats essentiels sont présents dans cette section. On trouvera en annexe différents résultats complémentaires.

TRAFICS ET COUTS DE CHAQUE MODE
DANS TROIS SYSTEMES COMBINES (AVEC DESSERTE ROUTIERE)

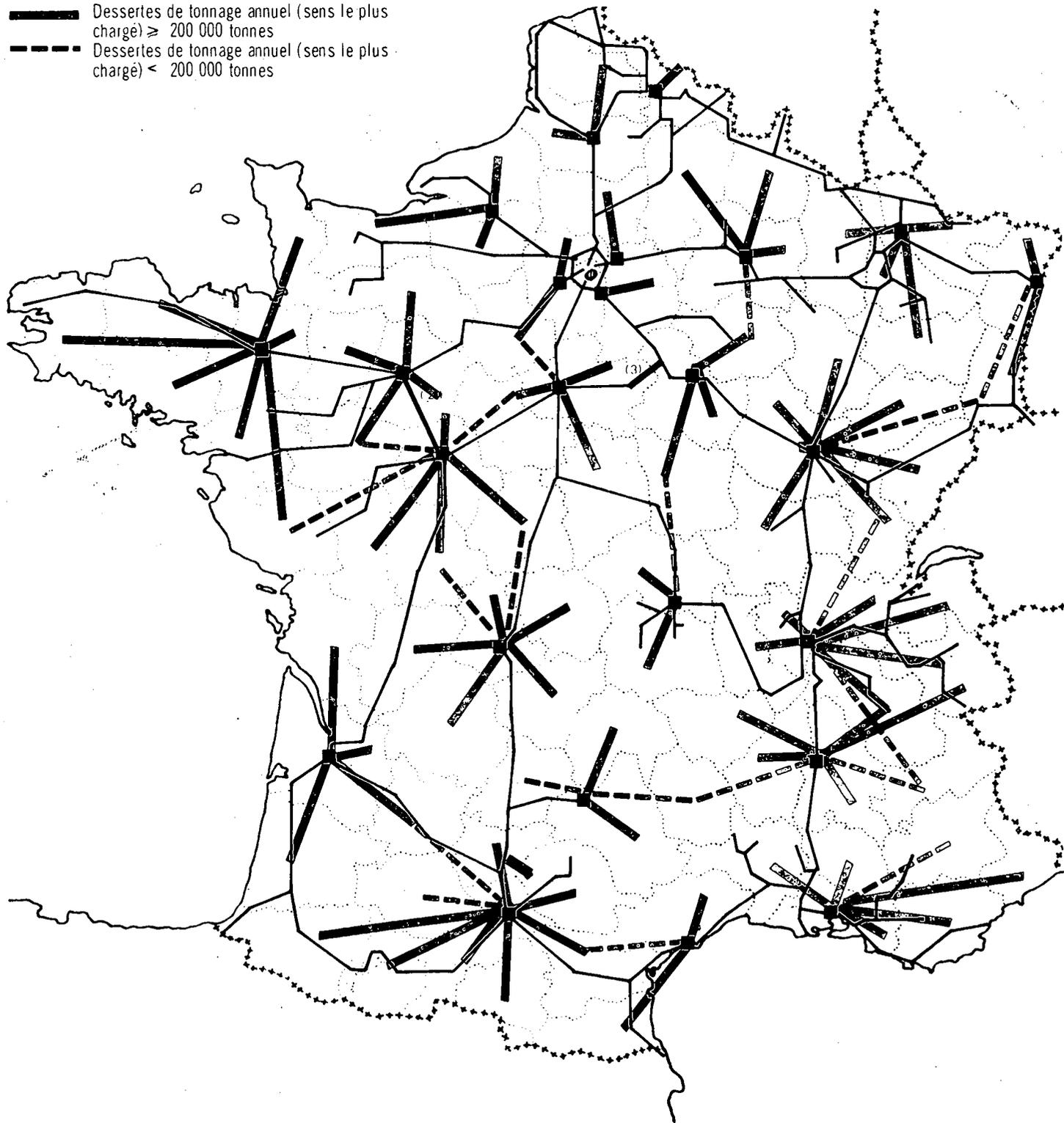
NOTA : Les coûts comprennent les coûts fixes là où le modèle en a isolé (gares, arcs hors réseau noyau, partie du coût des trains)

	Réseau 1 (24 gares)			Réseau 2 (49 gares)			Réseau 3 (61 gares)		
	Mil- lions de t	Mil- liards de tK	Mil- liards de F	Mil- lions de t	Mil- liards de tK	Mil- liards de F	Mil- lions de t	Mil- liards de tK	Mil- liards de F
<u>Route bout en bout</u>	46,70	8,94	1,152	36,67	6,75	0,855	35,96	6,60	0,834
<u>Transport combiné :</u>									
- Partie ferroviaire		46,06	0,934		50,65	1,069		51,00	1,080
- Transbordement			0,113			0,127			0,129
- Desserte terminale route		11,92	1,994		11,37	1,963		11,27	1,953
- Containers			0,197			0,217			0,218
- Semi-remorques			0,228			0,251			0,253
- <u>Ensemble combiné</u>	98,82		3,466	108,85		3,627	109,56		3,633
<u>Ensemble</u>	145,52	66,92	4,618	145,52	68,77	4,482	145,52	68,87	4,467

LES DESSERTES ROUTIERES AUTOUR DES 24 GARES DU RESEAU 1

LEGENDE

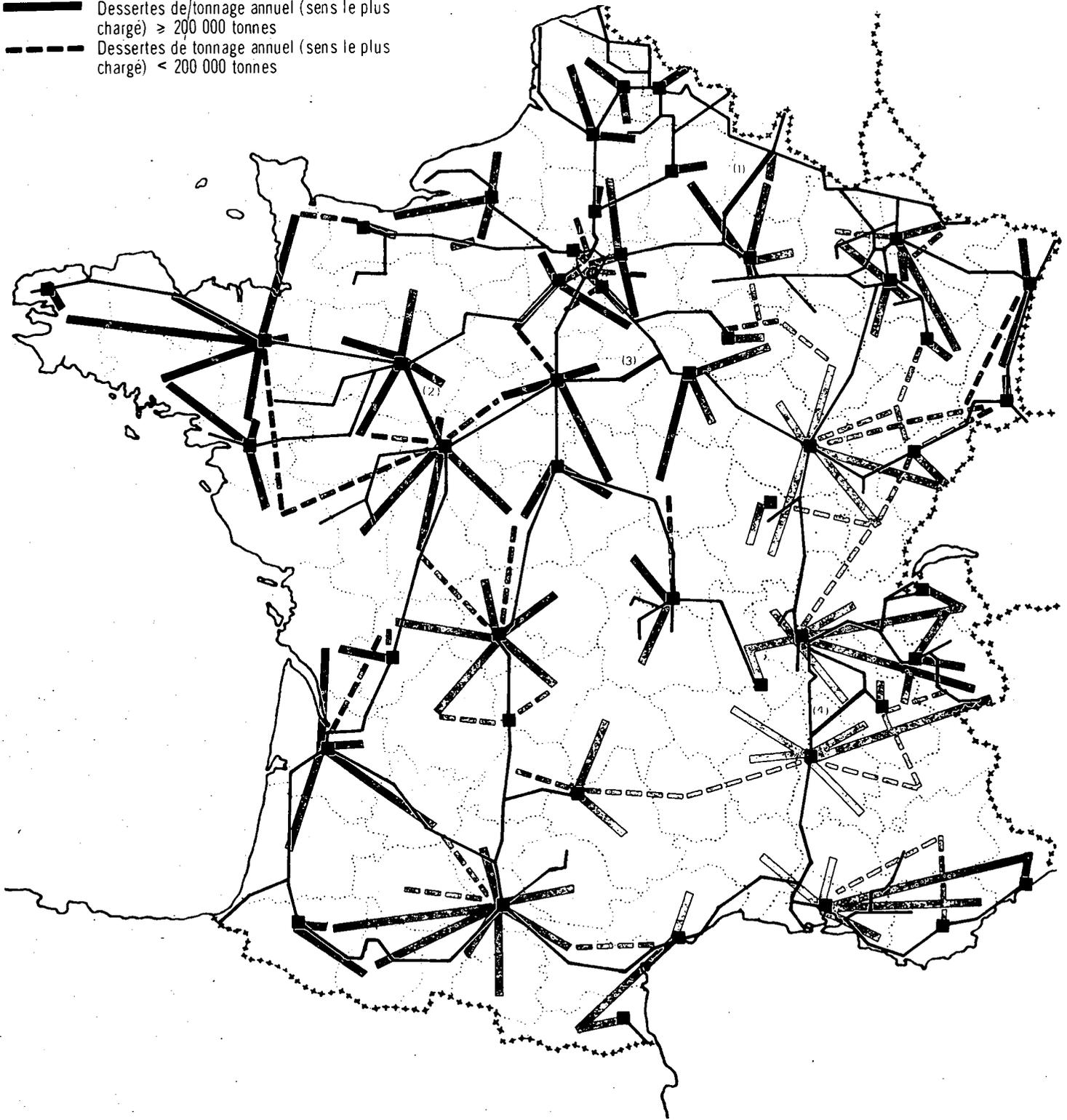
- Réseau ferré simplifié
- (2) — Arcs nouveaux
- Gares centres
- Dessertes de tonnage annuel (sens le plus chargé) \geq 200 000 tonnes
- - - Dessertes de tonnage annuel (sens le plus chargé) $<$ 200 000 tonnes



LES DESSERTES ROUTIERES AUTOUR DES 49 GARES DU RESEAU 2

LEGENDE

- Réseau ferré simplifié
- (1) — Arcs nouveaux
- Gares centres
- Dessertes de tonnage annuel (sens le plus chargé) $\geq 200\ 000$ tonnes
- - - Dessertes de tonnage annuel (sens le plus chargé) $< 200\ 000$ tonnes



Simultanément le tonnage transporté par le combiné s'élève de 10 % dans le premier cas et de moins de 1 % dans le second cas.

Globalement l'économie sur les coûts (tels qu'ils sont définis ici) entraînée par l'ouverture de 20 ou 30 gares supplémentaires (en des départements qui n'avaient point de gares et paraissaient les plus intéressants à équiper) est donc assez faible. Cependant pour en saisir la portée, il est nécessaire d'examiner plus en détail comment ce "gain" est formé. Cet examen peut être effectué en consultant le tableau suivant qui résume les modifications intervenues sur les différentes liaisons interdépartementales entre le réseau 1 (24 gares) et le réseau 2 (49 gares). On se souvient que l'étude distingue 3 573 liaisons ; sur ce total, lorsqu'on ouvre les 25 nouvelles gares, 483 liaisons changent de mode ou d'itinéraire de transport et voient ainsi baisser leur coût, mais toutes les autres ne connaissent aucun changement.

Les 483 liaisons interdépartementales dont le transport est modifié comprennent :

. 68 liaisons qui, dans le réseau 1, étaient assurées par la route et qui passent au combiné grâce à l'ouverture des nouvelles gares. Elles ont les caractéristiques suivantes :

Tonnage total	:	10,03 millions de t
T.K. (route)	:	2,19 milliards de T.K.
Longueur moyenne	:	220 km
Tonnage moyen	:	147 000 t
Coût dans le réseau 1	:	281 millions de F
Coût dans le réseau 2	:	254 millions de F
Gain	:	27 millions de F

Le gain de 10 % que l'on retient sur elles par rapport au cas où elles étaient desservies par la route est très appréciable puisqu'il a fallu pour cela réduire de bien plus le coût du système combiné qui leur était offert dans le réseau 1.

. 415 liaisons qui ont changé l'itinéraire combiné qu'elles utilisaient dans le réseau 1. Elles se caractérisent ainsi :

Tonnage total	:	30,625 millions de t
Tonnage moyen	:	74 000 t
Coût dans le réseau 1	:	1,155 milliard de F
Coût dans le réseau 2	:	1,037 milliard de F
Gain	:	118 millions de F

		SYSTEME A 49 GARES (desserte routière)						Ensemble		
		Liaisons interdépartementales affectées à la route		Liaisons interdépartementales affectées au combiné et n'utilisant que les 24 gares		Liaisons interdépartementales affectées au combiné et utilisant l'une des nouvelles gares				
		N	T	N	T	N	T			N
SYSTEME A 24 GARES (desserte routière)	Liaisons interdépartementales affectées à la route	N	492		0		68		560	
		T		36,67		0		10,03		46,70
	Liaisons interdépartementales affectées au combiné	N	2		2 596		415		3 013	
		T		ε		68,20		30,62		98,82
Ensemble		N	494		2 596		483		3 573	
		T		36,67		68,20		40,65		145,52

N : Nombre de liaisons interdépartementales

T : Tonnage en millions de tonnes

Le gain est encore de 10 %, et entièrement attribuable à une économie de quelques 25 % sur la desserte terminale.

Les 483 liaisons interdépartementales dont le transport est modifié par l'ouverture des 25 gares nouvelles nécessitent la "création" de 108 relations inter-gares (voir le tableau : "Définition des réseaux" à la fin de la section précédente) qui s'ajoutent à 239 relations inter-gares existant déjà dans le réseau 1, relations dont l'activité a naturellement diminué.

Les 3 088 liaisons interdépartementales qui n'ont subi aucun changement sont aussi intéressantes à étudier (1).

Elles comprennent d'abord les 492 liaisons qui restent routières. Le tableau montre qu'elles sont assez courtes (182 km) ; sur des distances de cet ordre en raison de ses coûts fixes, le combiné ne peut réellement concurrencer la route que dans des cas exceptionnels ou pour de forts tonnages. Quel que soit le système combiné que l'on utilise, ces 492 liaisons resteront donc fidèles à la route.

Elles comprennent enfin les 2 596 liaisons qui restent attachées au parcours combiné utilisant uniquement les 24 gares. Parmi elles, 223 ont déjà dans le système à 24 gares une gare à chaque extrémité de leur parcours (dans leurs propres départements d'origine ou de destination) ; or ces 223 liaisons représentent 58 % du tonnage combiné attaché au réseau des 24 gares. Seules les 2 373 liaisons restantes pourraient avoir intérêt à utiliser un réseau plus fourni en gares ; or elles ont un tonnage moyen de l'ordre de 13 000 tonnes par an deux sens réunis ce qui pour des raisons d'économie d'échelle (taille des trains quotidiens) les oblige à se regrouper ; ce que le calcul apprend c'est que leur disposition géographique est telle qu'elles ont intérêt à se regrouper sur les 24 gares du réseau 1 plutôt que sur les nouvelles gares du réseau 2.

L'activité des 24 gares figurant à la fois dans le réseau 1 et dans le réseau 2 ne varie pas très fortement, on le comprend d'après ce qui précède, quand on passe de l'un à l'autre réseau. Le tableau de la page suivante permet de préciser ce point.

Dans les trois réseaux étudiés au cours de ce chapitre sur les systèmes à dessertes routières, un petit nombre de gares, les mêmes dans les

(1) Deux liaisons interdépartementales passent du combiné à la route, quand on ouvre les nouvelles gares du réseau 2. En effet leur itinéraire combiné a été démembré par suite des nouvelles liaisons inter-gares et leurs seuls trafics ne permettraient plus au combiné d'être compétitif avec la route.

ACTIVITE COMPAREE DE QUELQUES GARES
DANS TROIS ORGANISATIONS

(ne figurent pas les gares qui dans les organisations étudiées sont point de passage avec un pays étranger que l'on atteint par une frontière terrestre)

	Réseau 1 (24 gares desserte route)		Réseau 2 (49 gares desserte route)		Réseau 4 (*) (24 gares principales desserte mixte)		
	Nombre de wagons par jour	Parc des tracteurs nécessaires	Nombre de wagons par jour	Parc des tracteurs nécessaires	Nombre de wagons par jour	dont : sans desserte ferroviaire	Parc des tracteurs nécessaires
2 Sotteville	1 467	1 019	1 454	947	1 504	954	692
3 Longueau	1 034	688	555	327	1 034	1 034	688
7 Rennes	1 331	1 522	926	901	1 305	840	902
8 Le Mans	635	362	681	386	651	362	278
9 Trappes	926	490	950	434	956	956	499
10 Noisy le Sec	2 444	1 262	1 722	833	2 444	1 362	612
11 Tours	774	592	748	539	812	220	162
12 Orléans	662	388	612	337	810	580	376
13 Laroche	322	164	302	146	327	327	176
14 Dijon	1 000	1 021	797	638	1 081	620	646
15 Bordeaux	902	693	1 003	709	951	536	354
16 Limoges	561	438	519	376	477	426	420
17 Saint Germain des Fossés	616	472	656	490	616	292	213
19 Decazeville	244	164	244	164	251	251	166
22 Livron	663	526	567	360	687	347	237
23 Miramas	1 902	1 574	2 090	1 565	1 932	1 325	1 154
24 Pompadour	1 731	704	1 839	669	1 758	1 758	719

(*) Les gares secondaires du réseau 4 ne figurent ici que dans la mesure où elles sont principales dans le réseau 2.

	Réseau 1 (24 gares desserte route)		Réseau 2 (49 gares desserte route)		Réseau 4 (*) (24 gares principales desserte mixte)		
	Nombre de wagons par jour	Parc des tracteurs nécessaires	Nombre de wagons par jour	Parc des tracteurs nécessaires	Nombre de wagons par jour	dont : sans desserte ferroviaire	Parc des tracteurs nécessaires
25 Arras			480	330			
26 Tergnier			118	69			
28 Caen			158	156	550	550	385
29 Gennevilliers			565	268			
30 Creil			324	186	1 082	1 082	720
32 Epinal			170	120	370	370	270
33 Brest			45	43	260	260	196
34 Troyes			113	108			
36 Nantes			410	336			
37 Vierzon			129	100			
38 Besançon			263	195	238	238	179
39 Angoulême			46	48	179	179	132
40 Brive			23	22			
41 Saint Etienne			208	144			
44 Grenoble			353	252	235	235	205
46 Le Creusot			161	125			
48 Carnaulles			24	22			
49 Nice			232	121	200	200	106

(*) Les gares secondaires du réseau 4 ne figurent ici que dans la mesure où elles sont principales dans le réseau 2.

trois réseaux, assurent à elles seules la plus grosse partie du trafic ; les autres gares, plus nombreuses, n'ayant qu'une activité assez réduite. Cette concentration est un peu forcée dans la mesure où elle tient au fait que nous n'avons pu, par manque d'informations statistiques sur les transports routiers pour compte propre, considérer des unités géographiques plus fines que les départements. Il ne faut pas cependant exagérer cet aspect des choses : une très grande proportion des trafics en effet a pour origine ou destination les chefs lieux des départements et dans ce cas la division départementale utilisée ici ne fausse rien. Un affinement des unités géographiques aurait de l'intérêt dans les départements qui ont plusieurs centres d'activité, comme le Nord par exemple avec Lille-Roubaix-Tourcoing, Dunkerque, Valenciennes et la Sambre. Dans ces départements le calcul manifesterait alors très probablement l'avantage d'ouvrir plusieurs gares et non une seule. Du coup disparaîtrait le gigantisme de certaines des gares sur lesquelles notre schéma a concentré le trafic de plusieurs pôles économiques.

3 - Sensibilité en volume de trafic

On vient d'analyser l'intérêt respectif de trois types de réseaux, d'où il est ressorti un léger avantage pour la solution comportant un nombre de gares élevé. Il est intéressant de voir si avec des volumes de trafic différents, les conclusions que l'on a pu tirer demeurent valables.

3.1. Doublement du trafic

L'avantage d'un grand nombre de gares (une soixantaine) sur un petit nombre (une vingtaine) est limité, avons-nous remarqué, par le fait qu'actuellement plus de 2 000 liaisons interdépartementales ont un trafic très faible, de l'ordre de 13 000 tonnes par an, ce qui les oblige à un très fort regroupement si elles utilisent le transport combiné par trains quotidiens.

Dans les années à venir les trafics vont s'accroître. Par l'effet de cette évolution, les réseaux à gares nombreuses ne prendraient-ils pas un avantage beaucoup plus considérable ?

Une réponse très sommaire peut être donnée à cette question en utilisant le modèle non plus avec les trafics de 1965 mais avec ces trafics doublés.

On s'est demandé s'il convenait de changer les paramètres des fonctions de coût pour tenir compte de ce que, dans les années à venir, les différents chefs de dépense évolueront de façon très différente. D'après l'examen rapide qui a été fait de cette question (voir annexe 5) il semble bien que le transport combiné comprend une part de main-d'oeuvre un peu moins importante que le transport routier bout en bout, mais la différence n'est pas très grande et c'est elle surtout qui pourrait amener le prix des deux systèmes à des évolutions inégales. Il est donc raisonnable de maintenir inchangées les fonctions de coût.

Les résultats des calculs figurent à la page suivante. Si on les compare avec les résultats valables pour les trafics de 1965 non modifiés, on fait les constatations suivantes :

a) Dans le cas du réseau 1 (24 gares), le doublement des trafics ne provoque qu'un extrêmement faible glissement vers le combiné ; la quasi-totalité des liaisons interdépartementales qui étaient "affectée" à la route bout en bout, demeurent fidèles à ce mode de transport quand leur trafic est doublé. Quant au coût total de transport il est multiplié par 1,97 non par 2 ; cette économie provient pour partie des quelques liaisons qui sont venues au combiné alors qu'elles étaient à la route, pour partie des économies d'échelle sur le parcours ferroviaire de quelques relations

	Réseau 1 (24 gares)		Réseau 2 (49 gares)		Réseau 3 (61 gares)	
	Mil- lions de tonnes	Mil- liards de francs	Mil- lions de tonnes	Mil- liards de francs	Mil- lions de tonnes	Mil- liards de francs
<u>Route bout en bout</u>	92,95	2,289	72,76	1,693	71,71	1,651
<u>Transport combiné</u>						
Partie ferroviaire		1,719		1,939		1,958
Transbordement		0,224		0,251		0,254
Desserte terminale		3,999		3,951		3,926
Containers		0,396		0,436		0,439
Semi-remorques		0,456		0,503		0,506
Ensemble combiné	198,10	6,794	218,29	7,080	219,34	7,083
Total	291,05	9,083	291,05	8,773	291,05	8,734

assurées par le combiné. La faiblesse de ces économies tient au fait que, déjà avec les trafics de 1965, la plupart des trains avaient (là où le combiné l'emporte sur la route), une taille raisonnable. D'autres chefs d'économie, par exemple sur les frais généraux, seraient peut-être possibles lorsque les trafics doublent, mais les données nous ont fait défaut pour en tenir compte.

b) Les résultats sont sensiblement les mêmes pour les réseaux 2 et 3 (49 et 61 gares) ; on le voit dans le tableau résumé de la page Ceci signifie que le doublement des trafics n'accroît pas l'avantage qu'il peut y avoir à multiplier le nombre de gares ; encore faut-il faire sur ce résultat bien des réserves tenant au caractère très fruste du modèle utilisé.

Il ne tient pas compte en particulier des facilités de gestion que peut entraîner le fait d'ouvrir, pour répondre au même trafic, si celui-ci est très important, deux gares au lieu d'une seule.

Quelques caractéristiques du transport dans le cas des trafics de 1965 doublés, par rapport au cas des trafics de 1965.

	Réseau 1 (24 gares)	Réseau 2 (47 gares)	Réseau 3 (61 gares)
Trafics (par rapport aux trafics de 1965)	2	2	2
Tonnage total "affecté" au transport routier bout en bout (par rapport au cas des trafics de 1965)	2 -	2 -	2 -
Coût total de transport des trafics de 1965 doublés (par rapport au coût de transport des trafics de 1965)	1,97	1,96	1,96

3.2. Division du trafic par deux

L'intérêt respectif des trois types de réseaux avec un léger avantage à un nombre de gares élevé, demeure valable lorsque les trafics ne sont plus ceux définis au chapitre I mais des trafics doublés ; on va voir maintenant qu'il en est de même lorsque ces trafics sont diminués de moitié.

Jusqu'à maintenant les calculs ont été faits en prenant la totalité du trafic ; mais il est bien évident que ce trafic n'est pas entièrement containérisable. On a fait un calcul dans l'hypothèse, toute gratuite pour le moment, où le trafic containérisable représenterait 50 % du trafic total.

a) Quel est le sens de ce calcul ?

On admet d'une part que les 50 % du trafic que l'on ne prend pas en compte se répartissent entre la route et un système de transport ferroviaire - autre que le combiné - analogue au système ferroviaire classique actuel ; aucun calcul de répartition ou de coût n'est effectué pour ce trafic.

On admet d'autre part que le système de transport combiné, pour la part du trafic pris en compte, fonctionne indépendamment du système ferroviaire classique défini ci-dessus, avec ses propres gares et ses trains spécialisés, comme on l'a admis dans le reste de l'étude vis-à-vis des transports par trains complets.

En effet l'interdépendance des deux modes de transport - combiné et fer classique - est pratiquement nulle :

- les économies d'échelle sur le coût des parcours ferroviaires sont très faibles comme on le verra plus loin ;
- les coûts fixes des gares sont également extrêmement faibles ;
- de plus la partie ferroviaire ne représente qu'environ 20 % dans le coût total du système combiné.

On peut alors envisager de comparer les trois systèmes de transport combiné (réseaux 1, 2 et 3) en optimisant pour chacun d'eux l'affectation du trafic selon le modèle utilisé jusqu'ici.

b) Résultats

1. Comparaison des trois systèmes envisagés.

Les liaisons à faible trafic - où les économies d'échelle peuvent jouer - doivent être les plus sensibles à la division par deux du volume de leur trafic ; sous l'effet de cette division l'accroissement relatif des coûts doit être par conséquent plus élevé pour les réseaux 2 et 3 que pour le réseau 1.

Remarque :

La formule ajustée retenue pour le coût du parcours ferroviaire sous-estime ce coût lorsque le trafic est très faible (< 8 wagons par jour dans le sens le plus chargé) ; bien que la part du parcours ferroviaire ne soit pas très importante dans le coût total du transport, cette sous-estimation va atténuer les effets attendus (augmentation du coût du combiné, diminution du volume affecté au combiné) par la division par deux de l'ensemble des trafics. Cependant ceci est peu important dans la comparaison des trois systèmes pour lesquels les liaisons ayant un faible trafic sont les mêmes ; en effet les nouvelles liaisons envisagées dans le passage d'un système à l'autre ont toujours des trafics élevés.

On constate en effet d'après les résultats du tableau 1 que le coût total du réseau 1 a été multiplié par 0,517 alors que les coûts des réseaux 2 et 3 ont été multipliés par 0,523.

Ceci a pour effet de rendre presque négligeable le gain que permettent les réseaux 2 et 3 par rapport au réseau 1.

Il faut cependant noter que (cf. tableau 2) toutes les gares ne sont pas ouvertes dans le réseau 3 ; le gain extrêmement faible existant entre les réseaux 2 et 3 incitera de même à penser que le système optimum doit comprendre une cinquantaine de gares.

TABLEAU 1Trafics 1965 x 1/2Trafics et coûts de chaque mode dans les troisSystemes combinés avec desserte routière

	Réseau 1 (24 gares)		Réseau 2 (49 gares)		Réseau 3 (61 gares)	
	106 tonnes	109 francs	106 tonnes	109 francs	106 tonnes	109 francs
<u>Route bout en bout</u>	23,53	0,590	18,46	0,440	18,20	0,432
<u>Combiné</u>						
- parcours ferroviaire		0,530		0,616		0,623
- transbordement		0,057		0,067		0,068
- desserte route		0,994		0,985		0,979
- containers		0,098		0,109		0,109
- semi-remorques		0,114		0,125		0,126
Ensemble combiné	49,26	1,793	54,33	1,902	54,59	1,905
Ensemble	72,79	2,383	72,79	2,342	72,79	2,337

Gain Réseau 2/Réseau 1

0,041

Gain Réseau 3/Réseau 2

0,005

TABLEAU 2Trafics 1965 x 1/2

	Réseau 1	Réseau 2	Réseau 3
Nombre de gares	24 (24)	49 (49)	57* (61)
Nombre de liaisons inter-gares	250 (258)	327 (347)	338 (365)
Nombre de liaisons inter-départementales affectées au combiné	2 915 (3 013)	2 984 (3 079)	2 988
Nombre de liaisons inter-départementales affectées à la route	658 (560)	589 (494)	585

* n'ont pas été ouvertes, les 4 gares suivantes :

Chartres, Andilly, Tavaux, Albi.

Entre parenthèses : résultats correspondants avec le trafic total 1965.

2. Comparaison des résultats avec ceux portant sur la totalité du trafic.

Sans oublier la remarque du paragraphe précédent, les résultats apparaissent moins spectaculaires que ce qu'on pouvait attendre.

2.1.

Le tableau ci-dessous indique le coefficient multiplicateur résultant, pour chaque éléments envisagé, de la multiplication du trafic global par 0,5.

	<u>Réseau 1</u>	<u>Réseau 2</u>	<u>Réseau 3</u>
Trafic affecté au combiné	0,498	0,498	0,498
Coût du parcours fer	0,567	0,576	0,576
Coût du parcours fer et des gares	0,566	0,571	0,572
Coût total du transport	0,517	0,523	0,523

2.2.

La proportion du trafic affecté au combiné n'a donc pratiquement pas varié :

	67,5 %	74,8 %	75 %
Au lieu de :	68 %	75 %	75,3 %

2.3.

La proportion de liaisons interdépartementales affectées au combiné est devenu :

	81,6 %	83,5 %	83,5 %
Au lieu de :	84,3 %	86,2 %	86,3 %

2.4.

Le nombre de liaison intergares ouvertes diminue de :

	3,1 %	5,8 %	7,4 %
--	-------	-------	-------

2.5.

Le coût moyen du transport à la tonne s'accroît de :

	3,4 %	4,6 %	4,6 %
--	-------	-------	-------

2.6.

Il est également intéressant de vérifier que les économies d'échelle sont plus fortes pour les faibles tonnages. En effet, quand on passe de l'un à l'autre des trois volumes de trafic envisagés, les coûts totaux de transports sont multipliés par :

	<u>Réseau 1</u>	<u>Réseau 2</u>	<u>Réseau 3</u>
Passage de $0,5 \times t$ à t	1,94	1,91	1,91
Passage de t à $2 \times t$	1,97	1,96	1,96

3.3. Conclusion

On voit que dans les deux cas, doublement et division par deux du trafic, les comparaisons des trois systèmes sont peu modifiées.

L'avantage d'un plus grand nombre de gares est un peu plus sensible lorsque le trafic est doublé mais la différence n'est pas grande.

Les coûts fixes - coûts des gares et coûts fixes des trains - étant extrêmement faibles par rapport au coût total (1), les économies d'échelle sont pratiquement nulles et les coûts quasi proportionnels.

(1) On se souvient que les coûts fixes d'infrastructure ferroviaires déjà supportés par les trains complets et les trains rapides de voyageurs n'ont pas été pris en compte.

CHAPITRE III

LES GARES DANS UN SYSTEME A DESSERTE MIXTE

1. Définition du système combiné avec desserte mixte
2. Le modèle pour l'étude de la desserte mixte
3. Les réseaux étudiés
4. Résultats.

CHAPITRE III

LES GARES DANS UN SYSTEME A DESSERTTE MIXTE

1. DEFINITION DU SYSTEME COMBINE AVEC DESSERTTE MIXTE

Nous n'avons envisagé jusqu'à maintenant que deux systèmes de trajet, route bout en bout et combiné avec desserte routière; avec ces deux systèmes nous avons recherché la meilleure répartition du trafic et le meilleur réseau ferroviaire c'est-à-dire principalement un ensemble de gares. Dans ce système, les gares, n'ont qu'une seule fonction; ce sont des gares origine-destination de trains blocs quotidiens où s'effectuent le transbordement des containers entre les trains blocs et les camions semi-remorques qui effectuent la partie terminale (à chaque extrémité) du trajet.

On a vu que cette desserte routière était très chère; pour diminuer les distances terminales routières, on a envisagé d'ouvrir davantage de gares mais multiplier les gares signifie, dans un système à trains blocs, réduire la taille des trains; les calculs du chapitre précédent ont montré qu'on butait bien vite aux limites du système. On peut chercher dans une autre direction, semblable dans son principe aux triages ferroviaires classiques. Elle consiste à ne pas modifier la constitution des trains blocs, mais à les faire éclater, à partir de chaque gare principale sur des trains de desserte gagnant des gares secondaires; à partir de ces gares secondaires le transport est effectué par route. Nous appelons ce système: desserte mixte. Dans ce système les deux opérations:

- desserte par la route entre les points de chargement et la gare de trains-blocs,
- transbordement à la gare entre semi-remorques et wagons

sont remplacées par les quatre opérations suivantes:

- desserte par la route entre les points de chargement et une gare intermédiaire que l'on appellera désormais gare secondaire,
- transbordement à la gare secondaire entre semi-remorques et wagons,
- navette ferroviaire entre la gare secondaire et la gare de trains blocs que l'on appellera désormais gare principale,
- transfert à la gare principale entre les trains navettes et les trains blocs.

On définit ainsi deux fonctions de gares :

- les gares principales, points origine-destination des trains blocs,
- les gares secondaires qui dans la technique de desserte mixte font la jonction entre la route et le fer.

Les activités des gares sont différentes selon qu'elles remplissent l'une ou les deux fonctions définies ci-dessus.

Une gare uniquement secondaire ne fait que du transbordement, autour d'elle tout son trafic est desservi par la route.

Une gare uniquement principale a des activités différentes selon la technique employée pour la desservir.

- si toutes ses dessertes sont routières, elle ne fait que du transbordement,
- si toutes ses dessertes sont mixtes, elle ne fait que du transfert, l'activité routière autour de cette gare est nulle. Ce cas ne se présente jamais en fait car la desserte du département dans lequel se trouve la gare est toujours routière.
- si ses dessertes sont soit mixtes, soit routières, elle fait du transbordement et du transfert ; autour d'elle l'activité routière est réduite par rapport au système à desserte uniquement routière.

Une gare principale et secondaire à la fois a, selon les cas, les activités énumérées ci-dessus.

Une gare peut être principale pour certaines directions où le trafic est suffisant pour faire au moins un train bloc par jour; pour d'autres directions où le trafic est très faible elle joue le rôle de gares secondaires, rassemblant sur un train de desserte ces différents trafics et les acheminant jusqu'à telle ou telle gare principale à partir d'où ils éclateront sur les trains blocs correspondant à chacune de leurs directions.

Enfin, il est important de noter que ce que nous dénommons système à desserte mixte est en réalité un système dans lequel à chaque terminal autour des gares principales, l'une ou l'autre des deux techniques (mixte ou purement routière) peut être utilisée. Le modèle utilisé dans cette étude retient dans chaque cas et compte tenu des principales interdépendances, la technique de desserte qui est la moins coûteuse.

2. LE MODELE POUR L'ETUDE DE LA DESSERTE MIXTE

2.1. PROCEDURE GENERALE

Sur chaque réseau défini dans le chapitre II paragraphe 1 on cherche à diminuer le coût total du transport en remplaçant chaque fois qu'on a intérêt à le faire, la desserte routière par la desserte mixte.

Entre un département (i) et une gare principale (I) il existe un "terminal" lorsque le département (i) expédie par la gare (I) - et reçoit de la gare (I) - un volume de trafic non nul affecté au système combiné. Ce volume de trafic est la somme de tous les flux entre le département (i) et d'autres départements affectés au système combiné et passant par la gare principale (I).

On a vu chapitre I que chaque gare principale peut avoir des terminaux avec plusieurs départements et que chaque département peut avoir des terminaux avec plusieurs gares selon la destination ou la provenance des flux de trafic.

Dans ce modèle, pour le calcul des coûts sur les dessertes terminales, on admet l'indépendance de chaque terminal par rapport aux autres, sauf dans le cas où, pour la technique de desserte mixte, les terminaux entre une gare principale et deux départements ont une gare secondaire commune.

En particulier les terminaux se trouvant aux deux extrémités d'un parcours combiné pourront être desservis l'un par la route, l'autre par la technique mixte.

La prise en considération de la technique de desserte mixte entraîne deux effets que l'on va examiner :

1. le remplacement de la desserte route par la desserte mixte sur un terminal a un premier effet immédiat d'abaissement du coût pour le trafic empruntant ce terminal.

2. l'abaissement du coût du transport par le système combiné qui en résulte pour tous les flux interdépartementaux dont l'itinéraire combiné emprunte ce terminal, peut entraîner l'affectation au combiné de certains de ces flux affectés à la route dans l'ancien système.

Le coût de la desserte mixte sur un terminal étant lui-même fonction du volume de trafic de ce terminal, la procédure de calcul de ces deux effets est itérative.

Ces deux effets vont être pris en compte dans le modèle dont l'organigramme est décrit en annexe.

2.2. PROCEDURE D'AFFECTATION

Les principes généraux de l'affectation sont identiques à ceux définis dans le chapitre I ; l'algorithme de calcul est le même avec seulement une complexité un peu plus importante dans le calcul des coûts du système combiné $COUT(LI,0)$ et $COUT(LI,3)$. En effet, les coûts de dessertes peuvent être calculés de neuf façons différentes selon la technique de desserte, le volume du trafic, la nature des lignes de desserte et le mode de traction ferroviaire.

Pour chaque flux interdépartemental (ij) dont l'itinéraire combiné passe par les gares principales I et J, on calcule séparément le coût de desserte sur le terminal i I et sur le terminal i J.

On fait appel pour cela à une table (1) décrivant tous les terminaux dans laquelle figurent les renseignements suivants :

- le code de la fonction de coût de chaque terminal

p = 1 pour la desserte routière (1 seule fonction)

p = 2 à 9 pour la desserte mixte (8 fonctions différentes)

	Traction	Type de ligne	Tonnage sens le plus chargé
p = 2	électrique	réseau noyau	< 300.000 t/an
p = 3	électrique	réseau noyau	> 300.000 t/an
p = 4	diesel	"	< 300.000 t/an
p = 5	diesel	"	> 300.000 t/an
p = 6	diesel	réseau noyau et voie unique	< 300.000 t/an
p = 7	diesel	réseau noyau et voie unique	> 300.000 t/an
p = 8	diesel	voie unique	< 300.000 t/an
p = 9	diesel	voie unique	> 300.000 t/an

(1) Voir en annexe 6, paragraphes 1.1, 1.2, 1.3, comment est constituée cette table.

- le code X donnant le sens du parcours le plus chargé
 - la distance ferroviaire d_f sur le réseau noyau | entre les gares principale et
 - la distance ferroviaire d'_f en voie unique | secondaire.
 - la distance route d_r entre le département et la gare secondaire
- x, d_f, d'_f, d_r ne sont donnés que si $p \neq 1$

C'est le coût marginal de la desserte mixte qui intervient dans les affectations du trafic. Le coût fixe de chaque terminal est rajouté in fine, mais l'on s'est assuré auparavant qu'il est inférieur au gain qu'a procuré sur ce terminal le remplacement de la desserte route par la desserte mixte (1).

3. LES RESEAUX ETUDIES

3.1. LES CHANGEMENTS D'ITINERAIRES DUS A LA DESSERTTE MIXTE

Comme il est dit dans l'annexe décrivant l'organigramme de la desserte mixte (paragraphe 12), la desserte mixte peut entraîner des modifications d'itinéraires par le système combiné; c'est le cas de trois départements :

a) la Vendée

Dans le système à desserte routière la Vendée a comme gare principale RENNES, TOURS dans les trois réseaux et NANTES dans les réseaux 2 et 3 ; avec le système à desserte mixte, la desserte routière sur RENNES est supprimée et remplacée par la desserte mixte sur TOURS.

b) L'Indre

Dans le système à desserte routière, l'Indre a comme gares principales TOURS et LIMOGES ; avec le système à desserte mixte, la desserte routière sur TOURS est supprimée et remplacée par la desserte mixte sur ORLEANS.

(1) Seule la desserte ferroviaire a un coût fixe. Le coût fixe de la desserte routière est nul.

c) La Charente

Dans le système à desserte routière, la Charente a comme gares principales LIMOGES (et BORDEAUX dans les réseaux 2 et 3) ; avec la desserte mixte, la desserte routière sur LIMOGES est supprimée et remplacée par les dessertes mixtes sur BORDEAUX et TOURS.

3.2. DEFINITION DES RESEAUX 4 ET 5

Les réseaux soumis à l'étude sont, au départ des calculs, dotés d'une gare par département (sauf dans la région parisienne où plusieurs gares sont prévues). On distingue (1) :

- le réseau 4 constitué par extension du réseau 1 autour de ses 24 gares principales (même réseau ferré que le réseau 1 plus 24 arcs ouverts seulement pour la desserte ferroviaire entre les départements qui ne sont pas reliés directement par un arc du réseau à leur gare principale et cette gare principale).

- le réseau 5 constitué par extension du réseau 2 autour de ses 49 gares principales (même réseau ferré que le réseau 2 plus 26 arcs ouverts seulement pour la desserte ferroviaire).

Chaque fois le modèle recherche parmi toutes ces gares secondaires potentielles et les "arcs" ferroviaires nouveaux qu'elles sont ceux qu'il est intéressant d'ouvrir, c'est-à-dire dont l'ouverture assure une économie sur les coûts totaux de transport obtenus avec le système ayant les mêmes gares principales mais une desserte purement routière.

Dans le réseau 4 un seul arc ferroviaire nouveau sera finalement retenu : l'arc SAINTES - ANGOULEME (77 km) pour la desserte de la Charente-Maritime sur BORDEAUX. Dans le réseau 5 aucun arc nouveau ne sera retenu.

(1) Un réseau 6 constitué par extension du réseau 3 autour de ses 61 gares principales est a priori peu intéressant à considérer.

4. RESULTATS

4.1. LES GARES SECONDAIRES INTERESSANTES

Dans le réseau 4, autour des 24 gares principales, 33 gares secondaires seulement sur les 66 essayées se révèlent intéressantes ; sur les 105 dessertes autour des gares principales, ces 33 gares nouvelles permettent d'en assurer 40 par un système mixte qui est plus économique que la desserte totalement routière. Ce partage dans le "réseau 4" entre les dessertes mixtes et les dessertes routières est figuré, dans le cas de chaque gare, par la carte suivante. Au total le réseau 4 comprend en fin de compte 57 gares utiles (24 + 33).

Dans le réseau 5, autour des 49 gares, 20 gares secondaires seulement sur les 43 essayées, sont économiques. Au total le réseau 5 comprend donc 69 gares utiles. La carte et le tableau suivants précisent ces résultats(1).

(1) On trouvera en annexe la liste des gares des 2 réseaux.

DEFINITION DES RESEAUX A DESSERTE MIXTE

	Réseau 4		Réseau 5	
	Réseau 4 "essayé"	Réseau 4 "résultat"	Réseau 5 "essayé"	Réseau 5 "résultat"
Réseau ferré	le même que dans le réseau 1 plus 24 arcs	le même que dans le réseau 1 plus l'arc Saintes- Angoulême	le même que dans le réseau 2 plus 26 arcs	le même que dans le réseau 2
<u>Gares :</u>				
. à fonction uniquement principale	24	24	24	35
. à fonction principale et secondaire	0	0	25	14
. à fonction uniquement secondaire	66 ⁽¹⁾	33 ⁽¹⁾	43	20
<u>Total des gares</u>	90	57	92	69

(1) Parmi ces 33 gares, 13 figurent dans les réseaux 2 et 5 comme gares principales ou principales-secondaires.

Il est intéressant de remarquer que le réseau 5, qui a été "bâti" en partant du réseau à 49 gares principales n'a conservé que 35 d'entre elles pour remplir une fonction uniquement principale, les 14 autres étant secondaires pour certaines directions, principales pour les autres.

Il est intuitif et le modèle le confirme bien, que ce que l'on dénomme ici fonction exclusive de gare principale correspond à un centre qui émet et reçoit de gros trafics dans les différentes directions ; la fonction exclusive de gare secondaire correspond au contraire à un centre qui émet et reçoit au total un trafic assez important mais éparpillé dans plusieurs directions (1). Les cas finalement sont assez nombreux où sur certaines directions (généralement Paris en premier lieu) il existe un fort trafic justifiant un train bloc direct, et sur d'autres des trafics moyens qu'on a intérêt à collecter par fer jusqu'à une gare principale voisine.

Ce cas est celui de 14 centres :

Caen, Creil, Epinal, Brest, Mulhouse, Besançon, Angoulême, Saint-Julien, Montélimar, Grenoble, Pau, Perpignan, Nice et le Creusot (2).

Considérons le cas de Brest par exemple, les calculs montrent que l'on a intérêt à assurer par train direct quotidien le trafic Finistère - Région Parisienne plutôt que d'acheminer d'abord jusqu'à Rennes (par route ou par desserte mixte), puis de Rennes à une gare parisienne (Trappes) par train direct (3). Pour cette liaison Finistère - Région Parisienne, Brest joue donc le rôle de gare principale.

(1) Il faut de plus, pour que la fonction de gare secondaire soit utile dans ce centre, qu'il ne soit pas lui-même trop proche d'une gare principale (en effet, la desserte routière sur cette gare principale est alors plus économique que la desserte ferroviaire).

(2) Dans la liste des gares donnée en annexe, on trouvera pour chacun de ces centres, la ou les gares principales avec lesquelles elles sont en relation pour leur fonction de desserte et le ou les départements qu'elles desservent.

(3) Le gain est d'environ 7%

Pour le trafic Finistère - Région de Marseille (1) moins important (environ 100.000 tonnes/an contre 400.000 tonnes entre le Finistère et la Région Parisienne), il est plus économique par contre d'utiliser d'abord le fer jusqu'à Rennes, et à partir de Rennes le train direct Rennes - Miramas (2). Sur la liaison Finistère - Région de Marseille, Brest joue donc le rôle de "gare secondaire" (3).

4.2. COMPARAISON DU COUT DES DEUX SYSTEMES DE DESSERTE

La comparaison entre le réseau 1 et le réseau 4 permet d'apprécier l'intérêt de la desserte mixte par rapport à la desserte routière autour d'un noyau de 24 gares principales. La comparaison entre les réseaux 2 et 5 permet la même étude dans le cas d'un noyau de 49 gares principales.

Sur un réseau comprenant 24 gares principales, le fait de recourir à la desserte mixte chaque fois qu'elle est plus avantageuse que la desserte purement routière, économiserait au total 172 millions de francs (pour l'année 1965). On voit en effet, d'après le tableau suivant que le transport avec le réseau 4 aurait un coût total de 4,416 milliards de francs, à comparer au coût du réseau 1 donné plus haut : 4,618 milliards de francs.

Cette économie peut s'analyser en deux termes :

a) 40 dessertes terminales (sur les 106 qui existent autour des 24 gares) du système combiné passent du transport routier au transport mixte (fer + route). Elles représentent un trafic de 58 millions de tonnes sur les

-
- (1) La Région de Marseille comprend les départements suivants :
Gard, Vaucluse, Bouches-du-Rhône, Var, Basses-Alpes, Alpes-Maritimes
 - (2) Le gain par rapport à la solution train direct Brest-Miramas est d'environ 9% .
 - (3) Il n'est pas possible, dans le cadre de la présente étude, de pousser beaucoup plus loin la comparaison à nombre égal de gares, de réseaux ayant une plus ou moins grande proportion de gares à fonction secondaire. Il ne faut comparer qu'avec précaution les réseaux 3 et 4 ; le nombre total de leurs gares est certes voisin (61 et 57), mais seulement 43 d'entre elles sont communes aux deux réseaux ; entre les deux réseaux, les gares ne présentent pas seulement des différences de fonction mais aussi d'implantation.

TRAFICS ET COUTS DE CHAQUE MODE DANS
DEUX SYSTEMES COMBINES (AVEC DESSERTE MIXTE)

Nota : Les coûts comprennent les coûts fixes là où le modèle en a isolé
(gares, arcs hors "réseau noyau", partie du coût des trains)

	Réseau 4 (24 principales et 33 secondaires)			Réseau 5 (49 principales et 20 secondaires)		
	10 ⁶ t	10 ⁹ tK	10 ⁹ F	10 ⁶ t	10 ⁹ tK	10 ⁹ F
<u>Route bout en bout</u>	41,50	7,71	0,984	33,88	6,15	0,777
<u>Transport combiné</u>						
Partie ferroviaire		46,83	0,958		51,08	1,084
Transbordement	(1)		0,119			0,131
Desserte routière		6,47			8,16	
Desserte mixte	(2)					
Route		2,34	1,908		1,40	1,900
dont						
Ferroviaire	(3)	7,65			4,41	
Containers			0,207			0,223
Semi-remorques			0,240			0,257
Ensemble combiné	104,02	63,29	3,432	111,64	65,05	3,595
Total	145,52	71,00	4,416	145,52	71,20	4,372

(1), (2), (3) = voir page suivante

- (1) Le transbordement est l'opération qui consiste à faire passer un container d'un wagon sur un camion de desserte et vice versa, elle a lieu à la gare principale en cas de desserte routière et à la gare secondaire en cas de desserte mixte.

Dans ce tableau figure le coût de l'ensemble des opérations de transbordement aux deux types de gares.

Le transfert n'a lieu par contre qu'aux gares principales entre les trains-blocs et les trains de desserte; le coût total des opérations de transfert n'apparaît pas en clair dans ce tableau où il est compris dans le coût de la desserte. Il suffit pour avoir sa valeur exacte de multiplier par $2 \times 2,68$ la somme des trafics dans le sens le plus chargé de toutes les dessertes mixtes; on peut en donner une valeur approchée par défaut en multipliant par $2,68$ le volume total du trafic dans les dessertes mixtes, soit (d'après note (2)):

dans le réseau 4 ; $2,68 \times 0,058 = 0,155 \quad 10^9$ Francs
 dans le réseau 5 ; $2,68 \times 0,035 = 0,094 \quad 10^9$ Francs

- (2) Le volume de trafic combiné sur desserte mixte est $57,78 \cdot 10^6$ tonnes sur le réseau 4 (pour un trafic total de desserte combiné égal à $2 \times 104,02 \cdot 10^5$ tonnes) et $35,01 \cdot 10^6$ tonnes sur le réseau 5 (pour un volume total de desserte combiné égal à $2 \times 111,64 \cdot 10^6$ tonnes).

- (3) Les tonnes kilomètres sur desserte ferroviaire se décomposent comme suit :
- réseau 4 : $4,64 \cdot 10^9$ TK dans le sens le plus chargé,
 $3,01 \cdot 10^9$ TK dans le sens le moins chargé,
 réseau 5 : $2,70 \cdot 10^9$ TK dans le sens le plus chargé,
 $1,71 \cdot 10^9$ TK dans le sens le moins chargé.

quelques 200 millions que traitent l'ensemble des dessertes. Grâce à ce changement de méthode, le coût total de ces 40 dessertes baisserait de 150 millions de francs environ, ce qui représente pour elles 15 à 20 % d'économie. A noter le fait que ces 40 dessertes, comme on pouvait s'y attendre, sont en moyenne nettement plus longues que celles qui restent fidèles au transport routier : elles représentent l'équivalent de 110 kilomètres par route (1), contre 43 pour les secondes.

b) A cet effet direct vient s'ajouter un effet induit : certaines relations interdépartementales qui, sans desserte mixte, avaient avantage à être assurées par la route bout en bout, sont moins coûteuses maintenant par le combiné. Cet effet est beaucoup plus faible que le premier ; il porte sur 5,2 millions de tonnes et il entraîne pour ces dernières une économie de vingt millions de francs environ, représentant 10 à 15 %.

Autour des 49 gares, on retrouve les mêmes ordres de grandeur. L'introduction de la desserte mixte (quand elle est plus avantageuse) permettrait de gagner 110 millions de francs (4,482 milliards de francs - 4,372). Le gain provient du passage au système mixte de 42 dessertes terminales (sur les 162 dessertes que comprend le réseau 2) représentant un trafic de 35 millions de tonnes, (2) lequel entraîne à son tour le passage de la route bout en bout au combiné, de 2,79 millions de tonnes.

4.3. LIMITES DE CES RESULTATS

Plus encore que ceux du chapitre précédent, les résultats qui précèdent doivent être utilisés avec précaution. En égard au caractère assez théorique des fonctions de coût sur lesquelles ils reposent entièrement, les écarts bien faibles que l'on a mis en lumière entre les deux types de dessertes

(1) Assurées par la route, elles ont une longueur de 110 km. En desserte mixte elles ont en moyenne un trajet routier de 40 kilomètres, et un trajet ferroviaire de 132-kilomètres.

(2) Les 42 dessertes sont, comme dans les réseaux à 24 gares, beaucoup plus longues que celles qui restent à la route ; 106 kilomètres (en distance routière équivalente) contre 43.

restent aléatoires.

La leçon à tirer de ces calculs est la nécessité, si l'on veut porter un jugement solide, d'une part de faire une étude beaucoup plus précise des fonctions de coûts (et donc de l'organisation) des deux types de dessertes, d'autre part de prendre en considération des éléments que dans ce travail exploratoire on a du laisser de côté et qui peuvent constituer des avantages ou des inconvénients importants de l'une ou l'autre méthode de desserte.

Parmi ces éléments on doit citer les facilités de gestion et de circulation des tracteurs routiers qui doivent sortir et entrer dans les gares pour leur desserte routière. Il est bien évident que lorsque pour une partie, le chemin de fer se substitue à cette dernière, le nombre des tracteurs nécessaires s'abaisse, ce qui dans les grandes gares surtout évite des encombrements intolérables ou du moins très coûteux. On voit par exemple, sur le tableau consacré dans le chapitre 2 à l'activité des gares, que dans le cas de 24 gares principales, à Noisy-le-Sec près de 2500 tracteurs sont nécessaires (la gare devrait visiblement être éclatée en plusieurs centres distincts) si toute la desserte est routière, contre seulement 600 si on recourt à la desserte mixte. C'est un avantage à porter au crédit de la desserte mixte et il n'en a pas été tenu compte.

ANNEXES

ANNEXE 1 : LIAISONS SPECIALES

N.B. Chaque département est repéré par son numéro minéralogique
(exemple : 75 = Seine ; 13 = Bouches-du-Rhône)

1) Liaisons interdépartementales ou entre départements voisins et très proches (332 liaisons)

01-01	07-38	14-50	21-70
38	42	61	89
39	43	76	22-22
42	48	15-15	29
69	69	19	35
71	08-08	23	56
73	51	43	23-23
74	55	46	36
02-02	59	48	63
08	09-09	63	87
51	11	16-16	24-24
59	31	17	33
60	32	24	46
62	65	33	47
77	66	79	82
80	81	85	25-25
03-03	82	86	36
18	10-10	87	68
23	21	17-17	70
36	51	24	90
42	52	33	26-26
58	77	79	30
63	89	85	38
71	11-11	86	84
04-04	31	18-18	27-27
05	34	23	28
06	66	36	60
13	81	41	61
26	12-12	45	76
83	15	58	78
84	30	89	28-28
05-05	34	19-19	41
06	46	23	45
26	48	24	61
38	81	46	72
73	82	63	78
84	13-13	87	29-29
06-06	30	21-21	56

06-83	13-83	21-25	30-30
07-07	84	39	34
26	14-14	52	48
30	27	58	84
31-31	40-40	51-55	68-70
32	47	77	88
65	64	52-52	90
81	41-41	55	69-69
82	45	70	71
32-32	72	88	70-70
40	42-42	53-53	88
47	43	61	90
64	63	72	71-71
65	69	54-54	72-72
82	71	55	73-73
33-33	43-43	57	74
40	48	88	74-74
47	63	55-55	75-75
34-34	44-44	88	77
48	49	56-56	78
81	53	57-57	76-76
35-35	56	67	77-77
44	85	58-58	78
49	45-45	71	89
50	58	89	78-78
53	77	59-59	79-79
56	78	62	85
36-36	89	60-60	86
37	46-46	75	80-80
41	47	76	81-81
86	81	77	82
87	82	78	82-82
37-37	47-47	61-61	83-83
41	82	72	84
49	48-48	62-62	84-84
72	49-49	80	85-85
79	53	63-63	86-86
86	72	64-64	87
38-38	79	65	88-88
42	85	65-65	90
69	86	66-66	89-89
73	50-50	67-67	90-90
39-39	53	68	
70	61	88	
71	51-51	90	
74	52	68-68	

ANNEXE 1 (Suite)

2) Liaisons qui n'ont connu aucun trafic (100 liaisons).

01-15	10-12	46-84
02-23	32	85
04-19	48	89
22	85	47-48
32	11-50	48-50
37	70	55
43	12-55	58
46	15-26	61
50	61	70
53	83	79
85	90	83
90	19-61	85
05-11	22-48	89
14	23-32	50-70
16	90	90
22	24-70	52-65
23	26-48	56-90
36	28-46	61-82
48	48	83
50	83	65-70
53	32-39	70-82
56	43	86
61	46	87
70	49	72-90
72	50	83-90
85	53	86-90
86	61	
06-48	70	
07-53	84	
86	89	
08-48	90	
09-10	35-48	
14	39-48	
50	53	
53	41-46	
70	90	
85	43-61	

ANNEXE 1 (Suite & Fin)

3) Liaisons dont (le trafic intérieur est nul
(le trafic international fer est non nul.

05-55

11-43

11-90

23-73

32-73

53-90

89-90

4) Liaisons dont (le trafic intérieur fer est nul.
(le trafic intérieur route est non nul.

01-23

01-53

04-14

08-23

10-15

12-23

15-41

23-61

32-38

36-90

70-85

85-90

ANNEXE 2Dessin de carte

N° col.	Désignation de la donnée	Observations
1 -4	Code liaison inter-départementale (ij)	
5 -8	Distance routière entre i et j (DR)	Moyenne calculée dans fichier SETEC
9 -12	Code liaison inter-gares centres (IJ)	
13-18	Distance terminales routières	Calcul cas par cas
19-22	Distance ferroviaire entre I et J (DC)	idem
23-24	Code gare eentre origine K=I ou J	
25-26	Code grappe	Utilisé pour modalités A/B voir le modèle (ch.1§2b)
27	Numéro d'arc nouveau entre I et J	
29-34	Trafic total de i vers j	Report des trafics calculés dans fichier SETEC
35-40	Trafic ferroviaire de i vers j	
41-46	Trafic total de j vers i	
47-52	Trafic ferroviaire de j vers i	
53-58	Trafic international de i vers j	
59-64	Trafic international de j vers i	

ANNEXE 3

REPARTITION DU TRAFIC SELON LA DISTANCE

(dans les réseaux à dessertes routières)

Trafic route (10^6 tonnes)

Distances en km	Système actuel		Réseau 24 gares		Réseau 49 gares		Réseau 61 gares	
		%		%		%		%
0 150	8,49	14	12,73	27	12,70	35	12,70	35
150 300	26,77	44	31,48	67	22,36	61	21,66	60
300 400	9,23	15	2,04	4	1,45	4	1,44	4
400 600	9,94	16	0,44	1	0,15	ε	0,15	ε
600 800	4,99	8	0,01	ε	0,01	ε	0,01	ε
> 800	1,79	3	-	-	-	-	-	-
Total	61,21	100	46,70	100	36,67	100	35,96	100
Total tk(10^9)	19,77		8,94		6,75		6,60	
Distance moyenne		323 km		192 km		184 km		184 km

Trafic ferré (10^6 tonnes)

Distances en km	Système actuel		Réseau 24 gares		Réseau 49 gares		Réseau 61 gares	
		%		%		%		%
0 150	4,14	5	5,78	6	4,20	4	3,91	3
150 300	25,75	31	22,28	33	28,41	26	28,03	26
300 400	14,71	17	19,05	19	20,97	19	21,32	19
400 600	20,50	24	26,20	26	27,48	25	28,51	26
600 800	11,60	14	15,46	16	15,96	15	15,96	15
> 800	7,61	9	10,05	10	11,83	11	11,83	11
Total	84,31	100	98,82	100	108,85	100	109,56	100
Total tk(10^9)	36,62		46,06		50,65		51,00	
Distance moyenne		435 km		465 km		465 km		466 km

ANNEXE 4

REPARTITION DU TRAFIC COMBINE (AVEC DESSERTTE UNIQUEMENT ROUTIERE)

SELON LA DISTANCE TERMINALE

Distances en Km	Réseau 24 gares				Réseau 49 gares				Réseau 61 gares			
	Tonnage		t km		Tonnage		t km		Tonnage		t km	
	10 ⁶ t	%	10 ⁹ tk	%	10 ⁶ t	%	10 ⁹ tk	%	10 ⁶ t	%	10 ⁹ tk	%
≤ 25	35,51	17,8	0,56	4,7	36,96	17	0,63	5,5	37,14	16,9	0,64	5,7
26 à 50	81,61	40,9	3,09	25,9	120,45	55,4	4,77	42	124,30	56,8	4,91	43,6
51 à 100	52,82	26,5	4,04	33,9	40,03	18,4	3,12	27,4	38,01	17,3	2,95	26,2
101 à 150	21,68	10,8	2,73	22,9	15,91	7,2	2,01	17,7	15,33	7	1,93	17,1
151 à 220	8,02	4	1,50	12,6	4,35	2	0,84	7,4	4,34	2	0,84	7,4
Ensemble	199,64	100	11,92	100	217,70	100	11,37	100	219,12	100	11,27	100
Moyenne de la distance terminale	60 kilomètres				52 kilomètres				51,5 kilomètres			

ANNEXE 5L'EVOLUTION A LONG TERME DU COUT DES DEUX SYSTEMES

(Route et combiné)

La tendance économique à long terme est que le coût de la main-d'oeuvre s'élève plus que celui des produits, d'où la question de savoir si l'un des deux systèmes de transport - le routier et le combiné fer-route - exige plus de main-d'oeuvre que l'autre ; car dans ce cas-là, il deviendrait de moins en moins compétitif.

L'estimation de la part des dépenses en personnel s'appuie naturellement sur l'étude des fonctions de coût qui a été faite par ailleurs. Elle consiste à reprendre une à une ces fonctions et à faire éclater chacune de leurs termes en deux parties, celle qui correspond à des dépenses de personnel et les autres. Le tableau suivant précise la frontière que l'on a retenue pour ce découpage.

On voit que l'entretien des infrastructures routières (dont les taxes spécifiques sur les carburants sont la contrepartie) et les charges des voies ferrées sont divisés en dépenses de personnel pour 60 % environ et en achats de produits ou matériel pour 40 % environ (1).

(1) On aurait pu tout aussi bien inscrire ces dépenses dans une rubrique spéciale "Travaux publics" dont l'évolution des prix tiendrait compte de ce que sa production intègre 60 % de main-d'oeuvre. Le résultat serait le même.

DECOMPOSITION DES COÛTS EN "PERSONNEL" et "AUTRES"

	Dépenses de personnel	Autres dépenses (produits industriels, énergie)
Tous les frais généraux	75 %	25 %
Route bout en bout et desserte terminale route	<ul style="list-style-type: none"> - Chauffeurs - Assurance et cotisation G.P.R. - 60 % de taxes spécifiques sur les carburants (équivalent des dépenses de personnel pour entretien des routes) - entretien des véhicules (75 %) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amortissement camions - Carburant hors taxes spécifiques - 40 % des taxes spécifiques sur les carburants (équivalent de la partie "autres dépenses" de l'entretien des routes) - pneumatiques - entretien des véhicules (25 %)
Containers et semi-remorques utilisés dans le combiné	<ul style="list-style-type: none"> - Assurance - Partie entretien (personnel) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amortissement container et semi-remorque - Partie entretien (pièces)
Chantier de transbordement	<ul style="list-style-type: none"> - Personnel : grutiers et manœuvres - Entretien des voies et portiques (partie personnel) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amortissement des infrastructures - Amortissement du pont-portique - Entretien des voies et portiques (partie fournitures)
Parcours ferroviaire	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien locomotives et wagons (72 %) (1) - Charges de voies (58 %) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amortissement locomotives, wagons - Entretien locomotives, wagons (28 %) - Charges de voies (42 %) - Energie

(1) Un autre calcul a été fait dont on donne les résultats plus loin, avec une part de personnel dans l'entretien des locomotives et des wagons égale à 50 %.

1. ANALYSE DE LA PART DES DEPENSES EN PERSONNEL DANS CHAQUE ELEMENT DU SYSTEME

a) Le transport routier bout en bout

Le coût total de transport de $(T_1 + T_2)$ tonnes (T_1 dans le sens le plus chargé) sur une liaison de d kilomètres ($d \geq 150$ km), y compris 20 % T.V.A. généralisée, retours à vide, frais généraux, est :

En personnel

$$3,84 (T_1 + T_2) + 0,084 (T_1 d)$$

En "produits"

$$1,00 (T_1 + T_2) + 0,073 (T_1 d)$$

d'où, au total

$$4,84 (T_1 + T_2) + 0,157 (T_1 d)$$

Le coefficient de $(T_1 + T_2)$ "contient" donc 79 % de personnel et celui de $(T_1 d)$ seulement 54 %. Or, puisque $d > 150$ km, c'est le second coefficient qui joue le rôle le plus grand dans la détermination du coût total.

La part de la main-d'oeuvre dans le transport routier bout en bout serait ainsi de l'ordre de 57-59 % (1).

$$\text{Pour } d = 250 \text{ km et } \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 0,70$$

on trouve que la part de la main-d'oeuvre dans le coût total est de 57 %.

$$\text{Pour } d = 300 \text{ km et } \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 0,70$$

cette part est aussi de 57 %.

(1) Ce pourcentage n'a rien à voir avec celui qui ressort du compte d'exploitation de la branche "transport routier de marchandises" tel qu'il est publié par exemple dans les comptes des Transports de la Nation. Au coefficient de personnel égal à 33 % environ dans ces comptes, il faudrait ajouter pour retrouver 57-59 % une partie de ce qui est inscrit sous le terme énergie et qui, en raison des taxes spécifiques, couvre ici les dépenses d'infrastructure, et une partie de ce qui est inscrit sous les termes Assurances, et résultat brut.

b) Le transport terminal routier

Autour des gares centres, le transport de $(T1 + T2)$ tonnes sur une liaison de d kilomètres, y compris 20 % T.V.A. généralisée, retour à vide, frais généraux est :

En personnel

$$(1,776 + 0,076 d) (T1 + T2)$$

En "produits"

$$(0,489 + 0,060 d) (T1 + T2)$$

d'où au total

$$(2,265 + 0,136 d) (T1 + T2)$$

Le coefficient du terme en $(T1 + T2)$ "contient" 78 % du personnel et celui du terme en $d (T1 + T2)$ qui a plus d'importance "contient" 56 %. Sur une desserte de 40 à 50 kilomètres, on calcule que la part de la main d'oeuvre est de 61 %, sur une desserte de 100 kilomètres elle est de 59 %.

c) Les containers et les semi-remorques du terminal

Le coût de ces deux postes s'élève à 4,30 F par tonne. La décomposition selon les règles indiquées dans le tableau figurant plus haut aboutit aux valeurs numériques suivantes :

<u>En personnel</u> :	1,51 $(T1 + T2)$	(35)
<u>En "produits"</u> :	2,79 $(T1 + T2)$	(65)
<u>Ensemble</u> :	4,30 $(T1 + T2)$	(100)

d) Le transbordement

Dans les gares parisiennes, le coût marginal de transbordement d'un trafic de $T1$ tonnes dans un sens de $T2$ tonnes dans l'autre ($T1 > T2$) est :

$$0,563 (2 T1) \text{ Francs.}$$

Le coût fixe est très faible : nous ne nous en occupons pas.

La décomposition du coût marginal, en comptant dans le poste "produit" la totalité de l'amortissement des infrastructures du chantier, est :

<u>En personnel</u> :	0,141 (2 T1)	(25)
<u>En "produits"</u> :	0,422 (2 T1)	(75)
<u>Ensemble</u> :	0,563 (2 T1)	(100)

e) Le parcours ferroviaire

On décompose le coût du parcours ferroviaire en différents éléments pour lesquels le coefficient des dépenses du personnel est estimé aux valeurs suivantes :

Terme fixe	(Amortissement locomotive	-
	(Conduite locomotive	0,96
	(Entretien locomotive	0,72 (ou 0,50)
	(1/3 énergie	-
Terme proportionnel	(2/3 énergie	-
	(Amortissement wagon	-
	(Entretien wagon	0,72 (ou 0,50)
	(Charges des voies	0,58

Comme pour les autres transports, les frais généraux sont répartis pour 75 % en dépenses du personnel et pour 25 % en dépenses de produits.

Le coût de transport de T1 + T2 tonnes sur un parcours ferroviaire de d kilomètres effectué sur le réseau noyau (entre gares centres avec trains navettes), tel qu'il est défini dans le rapport sur les coûts, se décompose alors ainsi :

En personnel

$$23\ 727 + 374,65\ d + (1,130 + 0,0099\ d)\ T1 + 0,0019\ d\ T2$$

En "produits"

$$30\ 198 + 476,59\ d + (1,129 + 0,0099\ d)\ T1 + 0,0019\ d\ T2$$

Ensemble

$$53\ 925 + 851,24\ d + (2,259 + 0,0198\ d)\ T1 + 0,0038\ d\ T2$$

Les deux premiers coefficients "contiennent" 43 à 45 % du personnel ; les 3 autres : 50 %. Ce sont eux qui comptent dans les calculs, en sorte que la part du personnel y est finalement de la moitié (1).

(1) Lorsqu'on retient pour les dépenses d'entretien des wagons et des locomotives une part de 50 % en personnel (au lieu de 72 %), la part du personnel dans l'ensemble du parcours ferroviaire baisse de 50 à 45 %.

Lorsqu'il s'agit non plus de parcours entre gares centres, mais de desserte terminale entre une gare centre et une gare secondaire (toujours sur le réseau noyau), la part des "produits et matériels" est un peu plus forte parce que leur utilisation n'est pas aussi bonne ; le coefficient des dépenses de personnel diminue donc ; il est de l'ordre de 46 % pour $d = 100$ kilomètres (coefficient qui sera rapproché plus loin de celui calculé pour la desserte routière terminale : 59 %). Ce pourcentage de 46 % reste pratiquement inchangé lorsque la desserte s'effectue sur le réseau noyau en traction électrique ou diesel.

Par contre si cette desserte concerne une voie extérieure au réseau noyau et qu'on lui fait porter la totalité des charges d'infrastructure (contrairement à ce que l'on fait sur le réseau noyau), le coefficient de main d'oeuvre s'alourdit si du moins on admet toujours que les charges d'infrastructure contiennent 60 % du personnel.

f) Transfert entre deux trains pour la desserte par fer

Pour le transfert de $(T1 + T2)$ tonnes entre train principal et train de desserte, la fonction de coût est (en F) de :

$120\ 000 + 2,68 (2 T1)$ y compris les frais généraux.

Pour un transport de 300 000 tonnes/an dans le sens le plus chargé, le coût du transfert dans les deux sens est de 1 560 000 francs environ. Dans ce chiffre les dépenses du personnel sont de :

- pour les frais généraux : 75 % de 1 560 000 × 0,2 =	195 000
- pour la conduite et l'entretien des portiques (6 portiques)	216 000
- pour l'entretien des semi-remorques	20 000
- pour la conduite et l'entretien des tracteurs (12 tracteurs)	203 000
	634 000

La part des dépenses du personnel sur ce chantier de taille moyenne est donc de : $\frac{634}{1\ 560} = 0,41$

2. STRUCTURE COMPAREE DES COUTS DES DEUX SYSTEMES

Il importe de savoir quelles sont les différences que présentent les structures de coût des deux systèmes pour les mêmes transports.

Le cas de transport qui est le plus intéressant à examiner est évidemment celui où la compétition des deux modes est la plus vive, c'est-à-dire celui des distances de l'ordre de 300 kilomètres.

a) Route bout à bout et combiné avec desserte routière

A 300 kilomètres, si l'on se reporte au résultat énoncé plus haut, le coût du transport routier est composé pour 57 % environ de dépenses du personnel.

Le coût du transport combiné est fait :

- pour 66 % par les 2 dessertes terminales routières (cinquante kilomètres environ) dans lesquelles la part du personnel est de 61 %.
- pour 4 % par les 2 transbordements dans lesquels la part du personnel est de 25 %
- pour 14 % par les containers et semi-remorques dans lesquels la part du personnel est de 35 %
- enfin, pour 16 % pour les parcours ferroviaires dans lesquels la part du personnel est de 50 % (ou 45 %) (1)

La somme pondérée de ces 4 éléments est de : 54 % (ou 53 %) (1) ; à comparer à la proportion de 57 % pour le transport routier bout à bout.

Au moins tel qu'il ressort des estimations précédentes, bien grossières il est vrai, l'écart des deux systèmes quant à leur coefficient de main-d'oeuvre est assez faible. On n'ose pas considérer qu'il soit significatif.

La situation du système combiné est, comme on le voit sur le dernier calcul, alourdie par la desserte routière dont le coefficient de main d'oeuvre est élevé. Un autre système combiné est envisageable, avec desserte terminale mixte (utilisant des trains de desserte entre la gare principale et une gare secondaire ; à partir de la gare secondaire, une desserte routière subsiste évidemment).

(1) Selon le coefficient de personnel que l'on retient pour l'entretien des wagons et des locomotives.

b) Desserte routière et desserte mixte

Ce système de desserte mixte n'est intéressant que pour des distances terminales égales ou supérieures à 100 kilomètres.

Dans ce cas, le coût de la desserte mixte est fait :

- pour 25 % par les transferts entre train principal et train secondaire, dans lesquels la part du personnel est de 41 %
- pour 13 % par le transport ferroviaire de desserte dans lequel la part du personnel, si l'on ne sort pas du réseau noyau, est de 46 %
- pour 62 % par le transport routier terminal dans lequel la part du personnel est de 61 %

La somme pondérée de ces 3 éléments est égale à 54 % ; elle représente la part du personnel dans une desserte mixte d'une centaine de kilomètres (1) ; elle doit être rapprochée de la proportion de 59 % estimée pour une desserte terminale équivalente et purement routière.

Là encore, l'écart auquel on parvient, en égard au caractère très fruste des estimations, est trop faible pour qu'on l'utilise dans des calculs.

3. CONCLUSION

Les estimations sommaires qui précèdent semblent montrer qu'au fur et à mesure que s'élèveront les coûts de "main d'oeuvre" (+ 3 % par an ?) et baisseront les coûts des "produits" (moins 1 % par an ?), le système combiné surtout avec "desserte mixte" deviendra un peu plus compétitif par rapport au transport routier de bout en bout, parce que son coefficient de main d'oeuvre est un peu moins fort.

L'écart n'est pas très grand parce que dans les systèmes combinés étudiés ici, une part importante des dépenses (plus de la moitié) relève de l'activité routière sur la desserte, activité qui est très grosse "consommatrice" de personnel, plus encore que la route bout en bout.

(1) et utilisant uniquement les voies du réseau noyau.

L'écart étant faible, son ampleur est difficile à apprécier sans une étude beaucoup plus approfondie. Il est donc sage de signaler l'effet probable de la structure des coûts sur la répartition des trafics dans un avenir où combiné et route bout en bout seraient les deux systèmes en vigueur ; mais de s'abstenir d'en donner une mesure, celle-ci pouvant faire illusion. A s'en tenir aux résultats chiffrés obtenus plus haut, l'on ferait évoluer le coût du combiné entre 1965 et 1985 d'environ (en comptant 53 % de main d'oeuvre) :

$$0,53 (1,03)^{20} + 0,47 (0,99)^{20} = 1,383$$

et celui de la route bout en bout (en comptant 57 % de main d'oeuvre) :

$$0,57 (1,03)^{20} + 0,43 (0,99)^{20} = 1,419$$

Il serait bien dangereux d'épiloguer sur l'écart entre ces deux accroissements de 38 et 42 % envisagés pour un horizon aussi lointain !

ANNEXE 6DESCRIPTION DE L'ORGANIGRAMME DE LA DESSERTE MIXTE

Soit le réseau (r) comportant N gares principales, sur lequel un premier calcul d'affectation a été fait avec le système combiné à desserte routière.

On connaît avec ce système tous les terminaux, leur trafic et leur coût.

Différentes opérations sont effectuées successivement :

I - On examine l'un après l'autre tous les terminaux.

1.1. On calcule sur le terminal i I le coût de la desserte mixte correspondant au trafic existant sur le terminal à l'issue du traitement avec desserte routière. Ce coût est une fonction $f_p(d'r, d_f)$ où $d'r$ = distance routière entre le département i et la gare secondaire choisie, d_f = distance ferrée entre la gare secondaire et la gare principale I (1). Il existe huit fonctions possibles ($p = 2$ à 9) selon que la traction est électrique ou diesel, que le parcours ferroviaire se fait sur un arc du "réseau noyau" ou non, que le volume de trafic dans le sens le plus chargé est supérieure à 300.000 tonnes par an ou non.

D'autre part, lorsque plusieurs gares secondaires ou plusieurs itinéraires ferrés en desserte entre gare secondaire et gare principale sont possibles, on les examine tous pour ne retenir que le moins coûteux.

Soit C_{ij}^0 (iI) le coût de la desserte mixte pour la totalité du trafic sur le terminal i I.

Remarque 1

Le choix de la desserte mixte la moins coûteuse peut conduire à remettre en cause l'affectation des départements aux gares ; en effet, l'hinterland des gares a été déterminé (voir chapitre I) de façon à minimiser les coûts du système combiné avec desserte routière seulement. Le coût de des-

(1) voir le volume "Les fonctions de coût" pages 75 à 90.

serte routière étant élevé on avait intérêt alors à minimiser en priorité la distance terminale routière et on choisissait le plus souvent la gare principale la plus proche du département considéré.

Avec la desserte mixte il se peut que cette gare principale ne soit pas celle qui minimise le coût du système combiné si d'une part il n'existe pas d'arc du "réseau noyau" joignant cette gare principale au département, ou à une gare secondaire proche du département, et si d'autre part il existe un arc du réseau entre ce département (ou une gare secondaire proche) et une autre gare principale.

Nous avons alors comparé le coût de desserte mixte sur l'ancienne gare I, le coût de desserte mixte sur la nouvelle gare J en majorant ou en minorant le second de la correction sur le coût du parcours ferroviaire entre gares principales (la distance du parcours ferroviaire entre gares principales étant modifiée par le changement de gare) et le coût de la desserte routière sur I.

Si le coût de la desserte mixte sur la nouvelle gare J est le plus faible, il faut alors remplacer la gare I par la gare J pour tous les flux concernant le département i.

Remarque 2

Dans la comparaison des coûts de desserte on ne tient pas compte des effets induits sur le coût du parcours ferroviaire entre gares principales, créés par le retrait de trafic sur les liaisons avec la gare I et l'apport de trafic sur les liaisons avec la gare J.

Lors de la détermination empirique de l'hinterland des gares dans le système à desserte routière ces effets n'ont pas été pris en considération non plus ; leur calcul entraînerait des complications beaucoup trop lourdes compte tenu de l'imprécision d'autres facteurs.

1.2 On compare le coût $c_M^0(i I)$ au coût de la desserte routière $C_R(i I)$ sur le même terminal. Si $C_M^0(i I) < C_R(i I)$ le terminal i I sera desservi désormais par la technique mixte; si $C_M^0(i I) > C_R(i I)$ le terminal i I restera desservi par la route.

1.3. On construit une table dans laquelle on inscrit pour chaque terminal i I .

- le numéro de la fonction de coût de desserte finalement retenue sur le terminal i I :

- . p = 1 si desserte route
- . p = 2 à 9 desserte mixte selon les 3 critères cités ci-dessus.

- si le terminal est mixte : les distances d_r et d_f intervenant dans la fonction de coût de desserte mixte.

II - Ayant déterminé la technique de desserte et la fonction de coût propre à chaque terminal, on refait un calcul d'affectation du trafic à la route bout en bout ou au système combiné rail - route avec desserte mixte ; l'abaissement du coût du transport par le système combiné sur les itinéraires combinés où au moins l'un des terminaux est maintenant desservi par la technique mixte peut permettre en effet à certains flux qui étaient affectés à la route dans l'ancien système d'être maintenant affectés au combiné (l'inverse étant impossible puisque tous les coûts combinés sont inférieurs ou égaux aux anciens).

III - Les résultats du calcul d'affectation précédent donnent les trafics et les coûts des terminaux après les nouvelles affectations. Pour chaque terminal i I les trafics sont supérieurs ou égaux à ceux qui résultaient de l'affectation avec le système combiné à desserte routière.

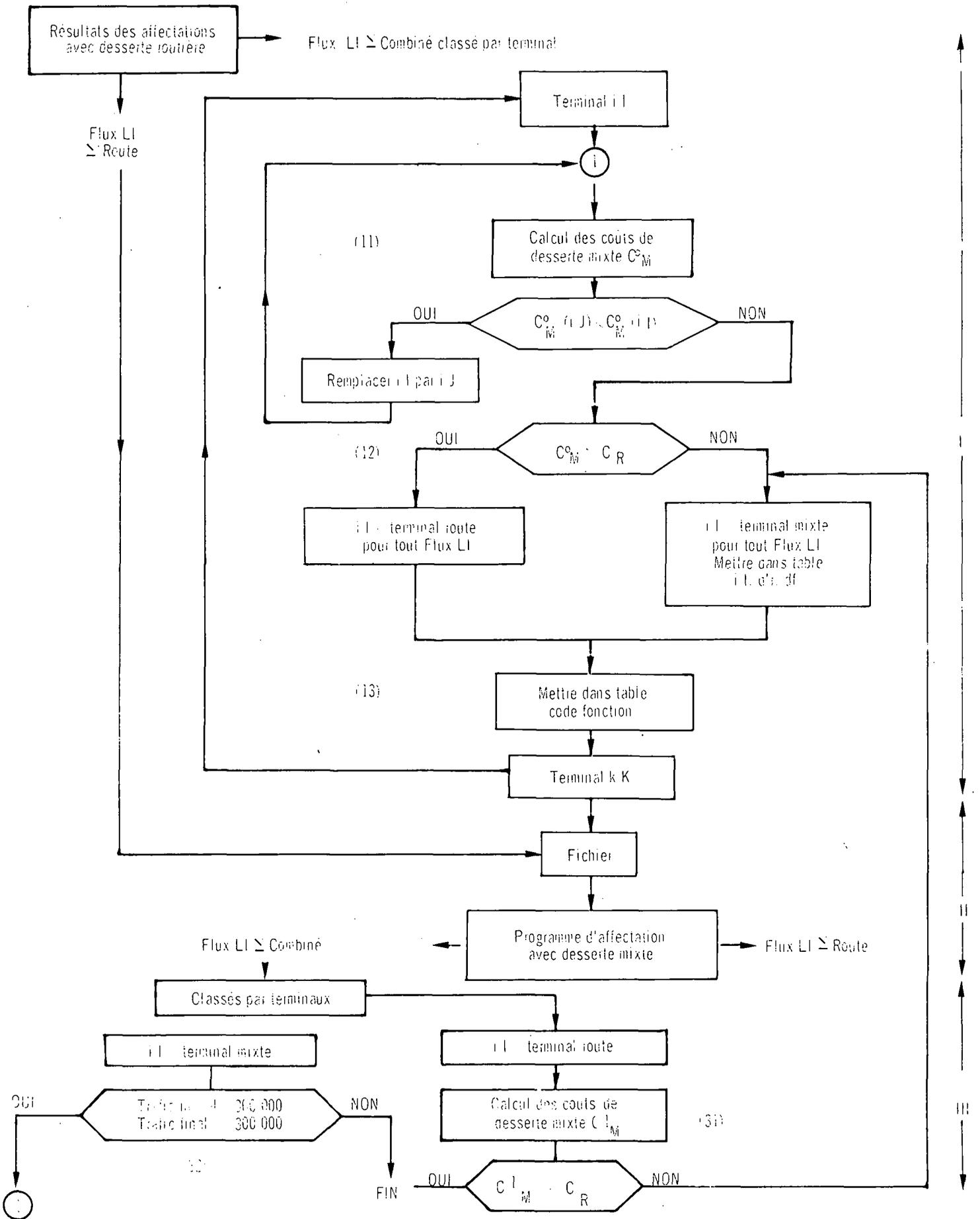
Deux cas se présentent :

3.1. Les terminaux dont la desserte est routière

Leur trafic a pu augmenter si à l'autre extrémité du parcours combiné une ou plusieurs dessertes sont mixtes. Il faut alors vérifier qu'avec le nouveau volume de trafic, le coût correspondant de la desserte mixte sur ce terminal soit C_{M_i} est toujours supérieur au coût de la desserte routière C_{R_i} . Si non il faut remplacer la technique de desserte et recommencer les calculs d'affectation.

3.2. Les terminaux dont la desserte est mixte

Si leur trafic était inférieur à 300.000 tonnes, et si leur nouveau trafic est supérieur à 300.000 tonnes par an il faut changer leur fonction de coût et recommencer les affectations.



ANNEXE 7

LISTE DES GARES SECONDAIRES DANS LES RESEAUX 4 ET 5

1. Le réseau 4 (24 gares principales et 33 secondaires)

Gares secondaires	Gares principales auxquelles elles sont rattachées	Départements qu'elles desservent
Caen *	Sotheville	Calvados-Manche
Creil *	Noisy-le-Sec	Oise
Epinal *	Metz	Vosges
Brest *	Rennes	Finistère
Mulhouse *	Strasbourg	Haut-Rhin
Besançon *	Dijon	Doubs
Angoulême *	Bordeaux-Tours	Charente
Saint-Julien *	Lyon	Haute-Savoie
Montmélian *	Lyon	Savoie
Grenoble *	Lyon	Isère
Pau *	Toulouse	Basses-Pyrénées
Perpignan *	Béziers	Pyrénées-Orientales
Nice *	Miramas	Alpes-Maritimes
Andilly	Dijon	Haute-Marne
Angers	Le Mans-Tours	Maine et Loire
Saint-Varent	Tours	Deux-Sèvres
Tavaux	Dijon-Lyon	Jura
Clermont-Ferrand	Saint-Germain	Puy-de-Dôme
Nîmes	Miramas	Gard
Lorient	Rennes	Côtes-du-Nord
Laval	Le Mans	Mayenne
La Roche-sur-Yon	Tours	Vendée
Poitiers	Tours	Vienne
Chateauroux	Orléans	Indre
Bourges	Orléans	Cher
Nevers	Saint-Germain	Nièvre
Belfort	Dijon-Strasbourg	Territoire de Belfort
Saintes	Bordeaux	Charente Maritime
Morcenx	Bordeaux	Landes
Agen	Bordeaux-Toulouse	Lot-et-Garonne
Tarbes	Toulouse	Hautes-Pyrénées
Carcassonne	Toulouse	Aude
Saint-Auban	Miramas	Basses-Alpes

Sur les 33 gares secondaires :

- 13 sont principales dans les réseaux 2 et 5
- 6 supplémentaires sont principales dans le réseau 3 (61 gares)

* Toutes les gares marquées d'une astérisque, plus le Creusot, sont celles qui dans le réseau 5 sont principales-secondaires.

2. Le réseau 5 (49 gares principales et 34 secondaires
dont 14 jouent les 2 fonctions)

Les gares secondaires sont identiques à celles du réseau à 24 gares à trois exceptions près :

Saintes (Charente-Maritime) est supprimée. La desserte sur Bordeaux se faisant par la route dans ce réseau (l'ouverture d'Angoulême comme gare principale ayant enlevé du trafic au terminal Saintes-Bordeaux).

Le Creusot (Saône et Loire) est rajoutée pour desservir Dijon. (Le Creusot est également gare principale dans le réseau à 49 gares). L'ouverture de Le Creusot comme gare principale enlève du trafic sur le terminal Le Creusot-Dijon, mais le trafic restant étant plus équilibré, le coût de desserte mixte est diminué.

Rethel (Ardennes) est ajouté pour desservir Chalons-sur-Marne. Cette gare est ouverte dans ce système seulement, à cause de l'ouverture dans le seul réseau à 49 gares de l'arc Charleville-Reims.

ANNEXE 8

REPARTITION DES LIAISONS INTER GARES SELON
LE NOMBRE QUOTIDIEN DE TRAINS (DANS 1 SEUL SENS)

(voir définition des différents réseaux pages 18 et 41)

N° nombre quotidien de trains	Réseau 1	Réseau 2	Réseau 3	Réseau 4	Réseau 5
$N \geq 11$	Somain-Noisy le sec (13*) Metz-Noisy le sec(11) Sotte- ville-Noisy(11) <u>3</u>	Somain Noisy (13*) Sotteville Genevil- liers (11*) <u>2</u>	Somain Noisy (13*) Sotteville Genevil- liers (11*) <u>2</u>	Somain Noisy (13*) Metz-Noisy(11) Sotteville Noisy (11*) <u>3</u>	Somain Noisy (13*) Sotteville Genevil- liers (11*) <u>2</u>
$8 \leq N < 11$	Lyon-Pompa- dour (9*) Longueau- Noisy (8) Metz-Lyon(8) Miramas- Lyon (8) <u>4</u>			Lyon-Pompa- dour (9*) Miramas Lyon (9*) Longueau- Noisy (8) Metz-Lyon(8) <u>4</u>	
$3 \leq N < 8$	21	19	15	24	22
$N < 3$	230	326	348	230	329
Total	258	347	365	261	353

* dont 1 train léger (600 tonnes maximum) les autres trains étant de 1 200 tonnes maximum.

ANNEXE 9MODELE SIMPLIFIE D'AFFECTION DU TRAFIC AUX COÛTS PROPORTIONNELS

Le modèle utilisé dans cette étude est rendu assez complexe par le fait qu'il tient compte des interdépendances entre les liaisons interdépartementales susceptibles d'avoir le même itinéraire ferroviaire ; ces interdépendances sont dues aux formes des fonctions de coûts qui font intervenir d'une part les coûts fixes des trains, d'autre part les déséquilibres relatifs des différents trafics interdépartementaux.

1) Le problème des coûts fixes

Un calcul rapide montre que les coûts fixes des trains ont une importance relativement faible dans le coût total du transport. Dans le cas d'un trafic total de 145.10^6 tonnes ces coûts fixes représentent approximativement 2,5 % du coût total dans le réseau 1 (24 gares) et 3,5 % dans le réseau 3 (61 gares).

On peut alors se demander s'il n'est pas réaliste d'envisager un modèle simplifié ne faisant intervenir que les coûts proportionnels dans les calculs d'affectation, les coûts fixes des liaisons et des gares effectivement ouvertes après les affectations étant rajoutés in fine pour le calcul du coût total de transport.

Ce modèle ne rassemblerait pas les liaisons interdépartementales (LI) ayant le même itinéraire ferroviaire (NG), mais les traiterait indépendamment les unes des autres, en comparant leur coût par la route bout en bout à leur coût marginal par le système combiné (1).

Cette simplification présenterait l'avantage de gagner un temps important de programmation et d'utilisation de l'ordinateur.

Ses effets sur les affectations et le coût total du transport seraient une surestimation du trafic affecté au combiné, c'est-à-dire une surestimation du coût total de transport ; effets sans doute limités puisqu'ils ne se feraient sentir que dans les cas assez rares où la différence relative entre le coût de la route bout en bout et le coût marginal du combiné est inférieur à 3 % environ (estimation de la sous-estimation moyenne du coût du combiné lorsqu'on ne prend pas en compte les coûts fixes des trains). Mais le modèle simplifié se heurterait à une autre difficulté, celle des déséquilibres de trafic.

(1) pour illustrer ceci, un exemple de calcul est effectué en annexe 10

2) Le problème des déséquilibres

Ce problème présente deux aspects, car le coût du transport par le système combiné pour une liaison interdépartementale dépend :

- d'une part de l'importance de son déséquilibre (différence relative entre le trafic du sens le plus chargé et le trafic du sens le moins chargé),

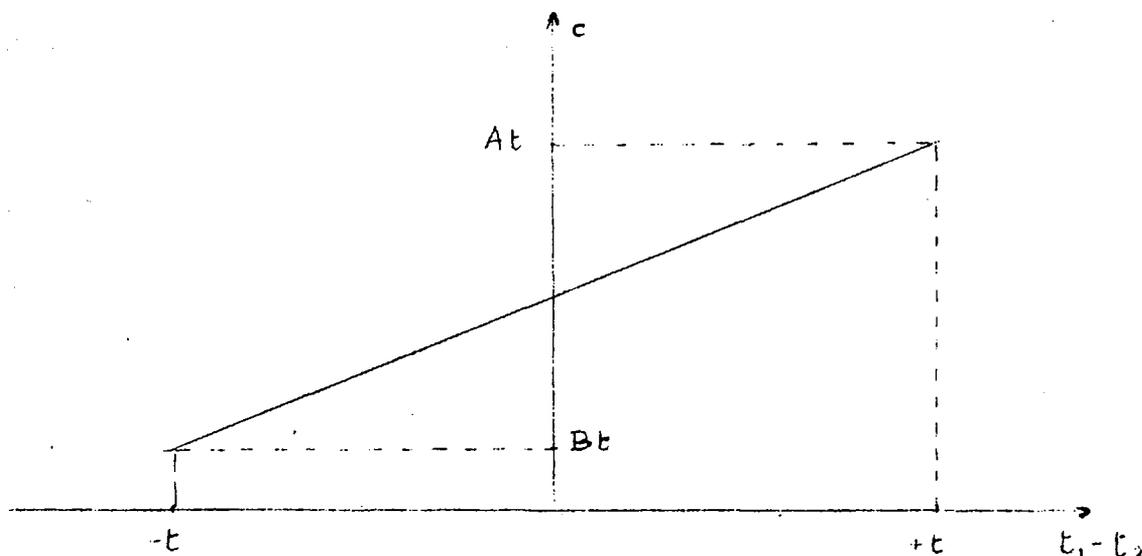
- d'autre part du sens de son déséquilibre ; en effet le coût marginal du parcours ferroviaire pour une liaison interdépartementale (LI) ayant un trafic global (deux sens réunis) $t = t_1 + t_2$, s'écrit $c = At_1 + Bt_2$

où t_1 = trafic de (LI) correspondant au sens le plus chargé sur le parcours ferroviaire,

t_2 = trafic de (LI) dans l'autre sens

A est environ 6 fois supérieur à B

Pour t donné, le coût c est donc une fonction linéairement croissante de la variable $(t_1 - t_2)$ - fonction définie entre $-t$ et $+t$ -



Le modèle retenu dans l'étude permet de différencier les cas où $(t_1 - t_2)$ est positif ou négatif. Dans le premier cas on peut appeler le coût calculé "coût marginal fort", dans le second cas "coût marginal faible".

Avec le modèle simplifié envisagé au §. 1, le calcul du coût du transport par le système combiné étant fait indépendamment pour chaque liaison interdépartementale, le coût calculé serait toujours le "coût marginal fort" (1)

Les effets seraient alors une surestimation du coût du combiné.

On a vu que les effets résultants au § 1 sont limités : en est-il de même pour ceux-ci ?

Pour essayer de répondre à cette question, on a calculé le nombre de liaisons interdépartementales qui, avec les regroupements pour le modèle d'affectation utilisé dans l'étude, ont leur propre déséquilibre inverse du déséquilibre global du groupe auquel elles appartiennent.

On a ainsi trouvé que 31 % des liaisons interdépartementales étaient dans ce cas.

Conclusions

Le modèle simplifié envisagé ci-dessus ne pourrait être mis en application que si l'on pouvait vérifier les deux hypothèses suivantes :

1. Les coûts fixes des trains sont très faibles et leur élimination des calculs d'affectation entraîne des effets négligeables.

2. Les liaisons interdépartementales empruntant un même itinéraire ferroviaire ont toutes leur trafic déséquilibré dans le même sens.

Dans le cas présent la première hypothèse est valable ; par contre la deuxième n'étant pas vérifiée dans 31 % des cas, la retenir entraînerait sans doute des risques d'erreurs importants sur les affectations et les coûts totaux de transport.

(1) c'est-à-dire $c = A t_1 + B t_2$ avec $t_1 > t_2$, le "coût marginal faible" étant $t = A T_1 + B t_2$ avec $t_1 < t_2$; A étant environ six fois plus fort que B.

ANNEXE 10

EXEMPLE DE COMPARAISON DU COUT MARGINAL DU COMBINE ET DU COUT DE LA ROUTEBOUT EN BOUT D'UNE LIAISON INTERDEPARTEMENTALE

Soit une liaison interdépartementale (LI) dont le trafic annuel est de tonnes, dont t_1 dans le sens le plus chargé, t_2 dans le sens le moins chargé ($t = t_1 + t_2$).

On pose $t_2 = \gamma t_1$ où $0 \leq \gamma \leq 1$

1. Le coût du transport par la route bout en bout du trafic t s'écrit (1).

$$R_1 = 4,84 (t_1 + t_2) + 0,157 \cdot DR \cdot t_1 \quad \text{si } DR < 300 \text{ km}$$

$$R_2 = 0,174 \cdot DR \cdot t_1 + 0,016 \cdot DR \cdot t_2 \quad \text{si } DR \geq 300 \text{ km}$$

soit :

$$R_1 = (4,84 (1 + \gamma) + 0,157 \cdot DR) t_1 \quad \text{si } DR < 300 \text{ km}$$

$$R_2 = (0,174 + 0,016 \cdot \gamma) \cdot DR t_1 \quad \text{si } DR \geq 300 \text{ km}$$

2. Le coût marginal du transport par le système combiné se décompose selon les quatre postes suivants :

- . desserte routière,
- . transbordement,
- . containers et semi-remorques,
- . parcours ferroviaire.

(1) voir volume "les fonctions de coûts" page 103

On envisage le cas où les deux gares centres, à la jonction entre la desserte route et le parcours ferroviaire, sont des gares de province (le coût des transbordements et de la desserte route est supérieur pour une gare parisienne).

Les valeurs numériques des différents postes sont alors (1) :

$$\text{- desserte routière} = (4,12 + 0,132 (dt_1 + dt_2)) \cdot (t_1 + t_2)$$

$$\text{soit : } (4,12 + 0,132 (dt_1 + dt_2)) \cdot (1 + \gamma) \cdot t_1$$

$$\text{- transbordement} = 2 \times 0,406 \times t_1 = 0,812 t_1$$

$$\text{- containers et semi-remorques} = 4,30 (t_1 + t_2) = 4,30 \cdot (1 + \gamma) t_1$$

$$\text{- parcours ferroviaire} = (2,26 + 0,020 \cdot DC) t_1 + 0,004 \cdot DC \cdot t_2$$

$$\text{soit : } (2,26 + 0,020 DC + 0,004 \cdot DC \cdot \gamma) t_1$$

Le coût marginal du transport par le système combiné s'écrit alors :

$$K = (11,492 + 0,132 (dt_1 + dt_2) + 0,02 DC + (8,42 + 0,132 (dt_1 + dt_2) + 0,004 DC) \cdot \gamma) t_1$$

3. On voit donc que si l'on ne tient pas compte,

. d'une part du coût fixe des trains,

. d'autre part de la possibilité pour le coût du parcours ferroviaire de prendre deux valeurs, l'une "forte", l'autre "faible" (on ne retient ici que le "coût marginal fort" du parcours ferroviaire (cf annexe 9),

Les coûts du transport par la route bout en bout et par le système combiné sont strictement proportionnels au trafic dans le sens le plus chargé t_1 .

(1) voir volume "les fonctions de coûts" pages 103 et 104.

L'affectation entre les deux modes de transport est alors indépendante du volume de trafic dans le sens le plus chargé ; elle dépend uniquement des facteurs suivants :

- . distance route bout en bout DR,
- . distance ferroviaire DC,
- . distances terminales routières ($dt_1 + dt_2$)
- . valeur (uniquement et non pas le sens) du déséquilibre du trafic :

$$\gamma = \frac{t_2}{t_1}$$

4. Exemple de calcul des valeurs relatives des coûts en francs par "tonne dans le sens le plus chargé", en supposant : $(dt_1 + dt_2) = 100$ km.

On a alors :

$$K = (24,692 + 0,020 \cdot DC + (21,620 + 0,004 \cdot DC) \cdot \gamma) t_1$$

soit : $k = \frac{K}{t_1} = 24,692 + 0,020 \cdot DC + (21,620 + 0,004 \cdot DC) \cdot \gamma$

Pour la route bout en bout :

$$r = \frac{R}{t_1} = \begin{cases} 4,84 + 0,157 \cdot DR + 4,84 \cdot \gamma & \text{si } DC < 300 \text{ km} \\ 0,174 DR + 0,016 \cdot DR \cdot \gamma & \text{si } DC \geq 300 \text{ km} \end{cases}$$

Valeurs numériques de k et r pour DC et DR = 100, 200, 300, 400, 500, 600 kilomètres et $\gamma = 0 - 0,5 - 1$

DC, DR		$\gamma = 0$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 1$
100 km	$k = 26,69 + 22,02 \cdot \gamma$ $r = 20,54 + 4,84 \cdot \gamma$	26,69 20,54	37,70 22,96	48,71 25,38
200 km	$k = 28,69 + 22,42 \cdot \gamma$ $r = 36,24 + 4,84 \cdot \gamma$	28,69 36,24	39,90 38,66	51,11 41,08
300 km	$k = 30,69 + 22,82 \cdot \gamma$ $r = 52,20 + 4,84 \cdot \gamma$	30,69 52,20	42,10 54,62	53,51 57,04
400 km	$k = 32,69 + 23,22 \cdot \gamma$ $r = 69,60 + 6,40 \cdot \gamma$	32,69 69,60	44,30 72,80	55,91 76,00
500 km	$k = 34,69 + 23,62 \cdot \gamma$ $r = 87,00 + 8,00 \cdot \gamma$	34,69 87,00	46,50 91,00	58,31 95,00
600 km	$k = 36,69 + 24,02 \cdot \gamma$ $r = 104,40 + 9,60 \cdot \gamma$	36,69 104,40	48,70 109,20	60,71 114,00

On voit sur le graphique 1 qu'avec les hypothèses retenues :

Lorsque DC est inférieur à 450 kilomètres, le trafic sera affecté au combiné si :

$\gamma = 1$ (trafic équilibré) et DR > 300 km

$\gamma = 0,5$ et DR > 244 km

$\gamma = 0$ et DR > 184 km

Ainsi on peut construire un deuxième graphique délimitant en fonction de DC et DR les zones d'affectation du trafic à la route ou au combiné selon les différentes valeurs de γ .

Coûts par "tonne dans le sens le plus chargé" de la route bout en bout et du combiné

Francs par tonne dans le sens le plus chargé

$\gamma = 1$ $\gamma = 0.5$ $\gamma = 0$

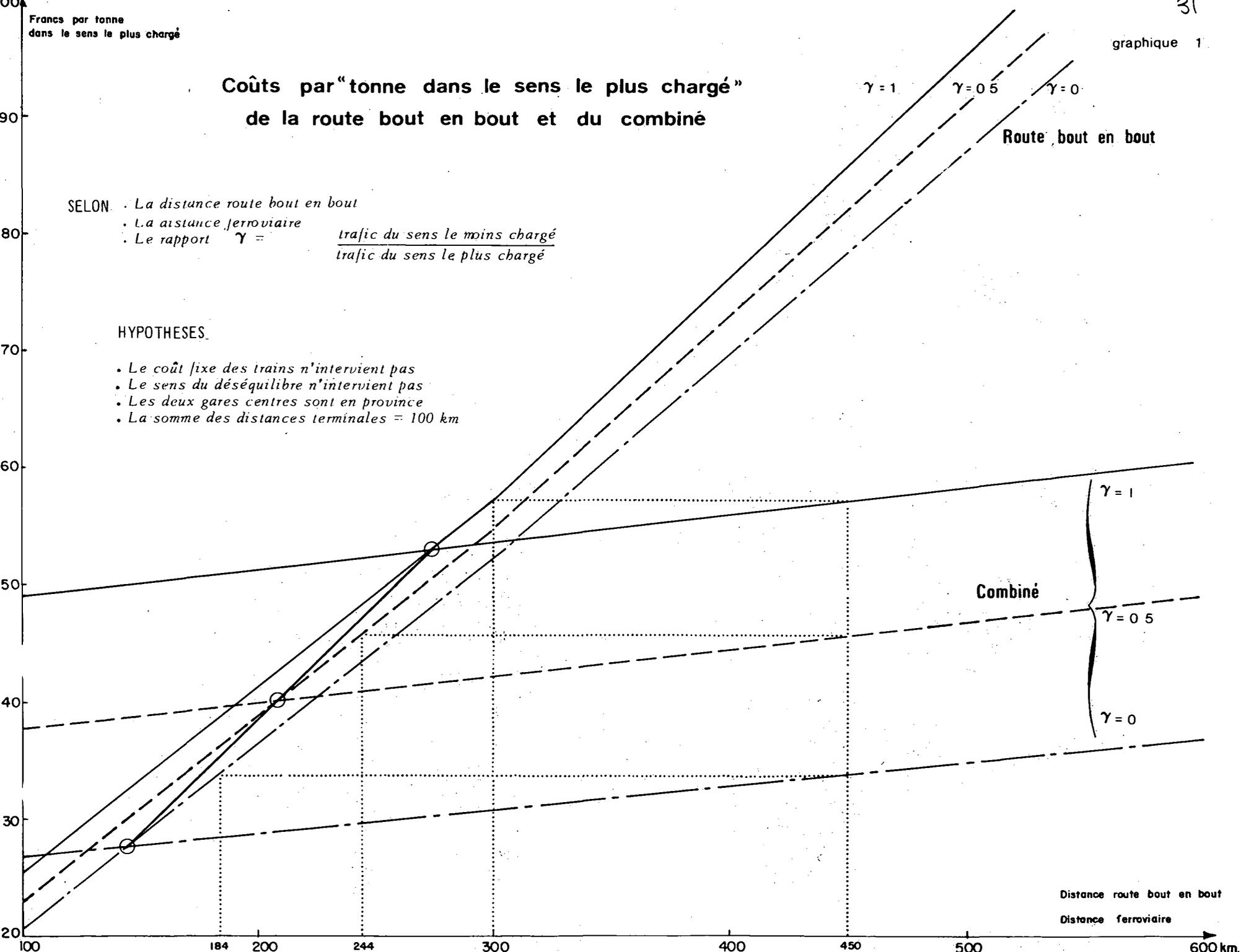
Route bout en bout

SELON :

- La distance route bout en bout
- La distance ferroviaire
- Le rapport $\gamma = \frac{\text{trafic du sens le moins chargé}}{\text{trafic du sens le plus chargé}}$

HYPOTHESES

- Le coût fixe des trains n'intervient pas
- Le sens du déséquilibre n'intervient pas
- Les deux gares centres sont en province
- La somme des distances terminales = 100 km



Distance route bout en bout
Distance ferroviaire

600 km.

Zones d'affectation du trafic à la route ou au combiné selon la distance ferroviaire et la distance par la route

Paramètre $\gamma = \frac{\text{trafic du sens le moins chargé}}{\text{trafic du sens le plus chargé}}$

HYPOTHESES

- Le coût fixe des trains n'intervient pas
- Le sens du déséquilibre n'intervient pas
- Les deux gares centres sont en province
- La somme des distances terminales = 100 km

