

Chemin de fer et aménagement du territoire

DESSERTE
du SUD-EST de la FRANCE
à grande vitesse et fréquence élevée
au moyen d'une ligne nouvelle
PARIS · LYON



Chemin de fer et aménagement du territoire

DESSERTÉ

du SUD-EST de la FRANCE

à grande vitesse et fréquence élevée

au moyen d'une ligne nouvelle

PARIS - LYON

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1968

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
1968

S O M M A I R E

Ce document expose les études entreprises par la S.N.C.F. en vue d'assurer la desserte du Sud-Est de la France, à grande vitesse et fréquence élevée, au moyen d'une ligne nouvelle Paris - Lyon. Il contient en particulier une analyse détaillée de la demande de transport sur l'axe Paris - Sud-Est en 1976. Cette analyse conduit, pour la ligne nouvelle, à un trafic quotidien de 13 000 voyageurs par jour et par sens au départ de Paris, indépendamment de pointes saisonnières de trafic.

Un projet de graphique d'exploitation a été dressé, faisant face aux variations journalières et hebdomadaires du trafic au moyen de rames de capacité 318 places, circulant à la vitesse maximale de 260 km/h.

Le tracé étudié recoupe la ligne actuelle à Saint-Florentin et Mâcon, permettant ainsi de desservir la Bourgogne et la Savoie. L'ordre de grandeur du coût de l'infrastructure nouvelle, 2,80 MF/km, a été vérifié par les études communes S.N.C.F. - Direction des Routes.

Dans l'hypothèse de trafic retenue, raisonnablement prudente, les coûts directs d'exploitation s'établiraient sur l'axe Paris - Lyon à 7,14 centimes en 1ère classe et 5,04 centimes en 2ème classe. Les charges d'infrastructure de la ligne nouvelle, ramenées à l'unité de trafic, en moyenne actualisée, sur 40 ans s'élèveraient à 3,44 centimes.

Avec le niveau actuel des tarifs, le bénéfice net actualisé pour la S.N.C.F., au taux de 10 %, s'élèverait à 510 millions de francs pendant 40 ans. Ce résultat pourrait d'ailleurs être sensiblement amélioré, par une politique de différenciation des tarifs, assortie d'une légère majoration de ceux-ci, en moyenne.

Le bilan global pour la collectivité conduirait, quelles que soient les options finalement retenues sur le plan tarifaire, à une rentabilité substantielle, la valeur actualisée des avantages couvrant les investissements initiaux au bout de 5 à 6 ans.

Un projet d'échéancier technique montre qu'il serait possible de mettre en service la ligne nouvelle par étapes entre juillet 1976 et juillet 1977.

THE HISTORY OF THE

... of the ...

... of the ...

... of the ...

... of the ...

... of the ...

... of the ...

... of the ...

P L A N

1 - PRÉAMBULE

- 1.1 - Objectifs généraux
- 1.2 - Orientation des études

2 - ANALYSE DE LA DEMANDE

- 2.1 - Cadre de l'étude - Méthode utilisée
- 2.2 - Le trafic en 1967 - Analyse par mode
- 2.3 - La structure temporelle du trafic ferroviaire
- 2.4 - Prévision globale d'évolution du marché jusqu'en 1976
- 2.5 - Influence de la ligne nouvelle
- 2.6 - Volume du trafic en 1976
- 2.7 - Trafic de la ligne nouvelle en 1976
- 2.8 - Rythmes d'évolution future du trafic
- 2.9 - Validité des prévisions précédentes

3 - PROGRAMME D'EXPLOITATION

- 3.1 - Hypothèses de base
- 3.2 - Performances
- 3.3 - Graphiques de circulation
- 3.4 - Roulement des rames - Parc nécessaire

4 - INFRASTRUCTURE ET INSTALLATIONS FIXES

- 4.1 - Données techniques de base
- 4.2 - Description sommaire du tracé
- 4.3 - Installations de sécurité et de contrôle de la circulation
- 4.4 - Estimation des coûts de construction
- 4.5 - Installations terminales

5 - MATÉRIELS ROULANTS

- 5.1 - Définition
- 5.2 - Caractéristiques principales
- 5.3 - Dispositions techniques particulières

6 - ÉTUDE DES COÛTS

- 6.1 - Schéma général
- 6.2 - Coûts directs d'exploitation
- 6.3 - Coûts totaux d'exploitation
- 6.4 - Coûts d'infrastructure
- 6.5 - Synthèse générale des coûts

7 - RENTABILITÉ

- 7.1 - Surplus financier pour la S.N.C.F.
- 7.2 - Surplus des usagers
- 7.3 - Surplus des exploitations concurrentes
- 7.4 - Rentabilité pour la collectivité
- 7.5 - Conclusion

8 - MISE EN OEUVRE DU PROJET

- 8.1 - Historique des études
- 8.2 - Projet d'échéancier

9 - CONCLUSION

1 - PRÉAMBULE

1.1 - Objectifs généraux

1.11 - En matière de transport de voyageurs, les besoins sont déterminés par la géographie humaine. Dans le cas de dessertes intervilles, toute étude doit donc s'appuyer sur la répartition des peuplements urbains. Or, si l'on se reporte à une carte de l'Europe, on constate que les grandes conurbations ne sont jamais distantes de plus de 500 km. Ceci est notamment vrai des liaisons Paris - Lyon, reliant les deux premières agglomérations nationales, Paris - Londres, reliant les deux plus importantes capitales ouest-européennes, et, plus encore, de Paris - Lille - Bruxelles.

Pendant un siècle, ces dessertes ont été le monopole du chemin de fer, qui a couvert l'Europe d'une trame fondamentale de voies ferrées reliant des gares centrales situées au coeur des agglomérations. Une unité technique, réalisée dès l'origine, assure la compatibilité totale entre ce réseau principal et les lignes secondaires. Deux dates jalonnent cette période : 1883, mise en service des premiers "Grands Express Européens" de la Compagnie Internationale des Wagons-Lits; 1956, circulation des premiers "Trans-Europ-Express", trains rapides de jour à confort élevé reliant aujourd'hui plus de 100 grandes villes de l'Europe de l'Ouest et dont le trafic est en augmentation constante.

Mais le développement de la motorisation individuelle - accéléré par la construction d'autoroutes - et surtout celui de l'aviation commerciale, ont modifié cette situation, et l'évolution future de telles dessertes constitue un des problèmes majeurs de l'aménagement du territoire.

1.12 - Il semble possible d'aborder la recherche d'une solution aussi économique que possible pour la collectivité, à partir de quelques données indiscutables.

- La demande de transport voyageurs est en expansion rapide. Elle a doublé en 10 ans, et cette tendance s'accélère. En outre, le transport s'adresse de plus en plus à la masse de la population, qui désire pouvoir se déplacer à bas prix.

- Des situations de saturation existent déjà ; elles vont se développer très rapidement, et se heurter à un obstacle financier de plus en plus considérable. En effet, les saturations apparaissent d'abord dans les infrastructures suburbaines ou terminales, et il est inutile de rappeler ici le coût d'une autoroute de pénétration urbaine, d'un chemin de fer métropolitain, ou d'un aéroport et de ses accès. L'accroissement des charges terminales compense largement les effets de l'amélioration de la productivité technique des véhicules. L'utilisateur le constate d'ailleurs, puisque le coût du transport ne diminue pas, en monnaie constante, bien que certaines charges soient supportées par l'ensemble de la collectivité.

- Pour les distances de l'ordre de 500 km, l'augmentation des vitesses instantanées se répercute de façon très différente sur la durée du trajet de bout en bout suivant que le transport nécessite ou non un transbordement. L'exemple le plus typique est celui de la relation Paris - Londres où, de centre à centre, le temps de trajet n'a pratiquement pas diminué depuis l'ouverture de la ligne aérienne en 1919. Actuellement, les avions volent à 900 km/h mais, entre la place de la Concorde et Piccadilly Circus, la vitesse moyenne ne dépasse pas 150 km/h. Entre Paris et Lyon, elle est de l'ordre de 200 km/h. Il ne semble pas que les divers facteurs d'évolution prévisibles - dont les effets inverses s'annulent pratiquement - puissent modifier sensiblement cette situation dans un proche avenir.

- La compatibilité des solutions d'avenir avec les systèmes existants est un facteur fondamental d'utilité et d'économie. Elle permet seule de réaliser une véritable "desserte en surface" du territoire, non limitée à quelques grands axes, comme le montre le réseau d'autoroutes, qui double progressivement le réseau routier général en étant accessible aux mêmes véhicules. La compatibilité autorise, en outre, une réalisation par phases immédiatement exploitables.

1.13 - Le chemin de fer paraît particulièrement bien placé pour apporter une solution au problème. En effet :

- Le prix de revient des trains rapides sur les axes à grand trafic est bas. Aux tarifs actuels (environ 10 centimes au km en 2ème classe et 15 centimes au km en 1ère classe) le bilan de leur circulation sur la S.N.C.F. est bénéficiaire, souvent très largement, toutes charges comprises.
- Une vitesse de bout en bout de l'ordre de 200 km/h ne pose aucun problème technique. La S.N.C.F. détient, depuis 1955, le record mondial de vitesse sur voie ferrée - 331 km/h - et fait circuler tous les jours ainsi que les chemins de fer allemands, des trains commerciaux à 200 km/h sur une partie de leur parcours. Au Japon, sur la nouvelle ligne du Tokaido, 100 trains parcourent journalièrement, à plus de 200 km/h les 500 km séparant Tokyo d'Osaka. Aux USA, le "Corridor Nord-Est" de 800 km, qui relie Boston à Washington par New-York, Philadelphie et Baltimore, disposera dans quelques mois d'une desserte analogue.

- La circulation en convois permet une modulation de la capacité offerte sans augmenter l'utilisation des infrastructures : ainsi le Tokaïdo fait face au développement constant de son trafic, qui dépasse 200 000 voyageurs par jour, simplement en allongeant les trains .
- L'occupation du sol est réduite au minimum, et, comme pour tout système guidé, l'automatisation de l'exploitation est facile : l'indifférence aux intempéries est pratiquement totale, ce qui garantit la régularité.
- Le chemin de fer n'engendre aucune nuisance nouvelle pour l'environnement .
- Enfin, et ceci constitue l'avantage économique fondamental, les pénétrations ferroviaires urbaines ne sont pas saturées. Le chemin de fer dispose en effet, autour des très grandes villes, de voies "grandes lignes" dont la réserve de capacité est considérable pendant la journée. Il suffit de citer l'exemple bien connu de la gare de Lyon, à Paris. Cette gare et les voies grandes lignes qui y aboutissent sont équipées pour "débiter" des trains de grand parcours toutes les 3 minutes. Cependant cette capacité n'est utilisée que pendant quelques fractions d'heure les jours normaux, et pendant de plus longues périodes les jours de pointe, mais toujours en début de matinée et en soirée. Ainsi, entre 7 h et 19 h un jour ordinaire, la gare de Lyon n'expédie et ne reçoit qu'une trentaine de trains de grandes lignes, avec des "blancs" de plusieurs heures. Les voies grandes lignes sont également utilisées pour le trafic des marchandises, mais, outre qu'il existe souvent des voies spécialisées pour ce trafic dans la zone de banlieue, les gares de triage sont situées en grande banlieue, et leur trafic n'interfère pas avec celui des grandes lignes pour la pénétration urbaine proprement dite.

1.2 - Orientation des études.

C'est dans ce contexte de contribution du chemin de fer à l'aménagement du territoire que la S.N.C.F. a entrepris en 1967 un vaste programme d'études et de recherches concernant les possibilités ferroviaires sur infrastructure nouvelle. Ces travaux sont maintenant arrivés à un stade suffisamment avancé pour que l'on puisse dégager des conclusions positives. Ils ont été particulièrement centrés sur l'étude d'une nouvelle ligne Paris - Lyon, reliant les deux principales métropoles nationales et tronc commun pour la desserte de l'ensemble du Sud-Est de la France. D'autres études sont en cours sur les relations Paris - Nord et sur le transport d'automobiles accompagnées à très grande vitesse.

1.21 - L'étude " PARIS - LYON "

Les hypothèses de base de cette étude, objet du présent document, sont les suivantes :

- *compatibilité avec le réseau existant,*
- *trajet en 2 heures (en première étape),*

- fréquence horaire minimum avec couverture des pointes de trafic de fin de semaine,
- accessibilité aux voyageurs des deux classes,
- couverture par les tarifs de la totalité des charges, y compris l'infrastructure.

Pratiquement, ce projet consiste à utiliser les pénétrations existantes dans les agglomérations de Paris et de Lyon, à les relier par une ligne nouvelle de 380 km environ, apte à 300 km/h, et à faire circuler sur cette ligne des rames automotrices à turbine à gaz permettant une vitesse commerciale de bout en bout supérieure à 200 km/h.

La durée de trajet entre Paris et les principales villes du Sud-Est est ainsi réduite de façon très sensible : Paris - Lyon = 2 heures; Paris - Genève = 3 h 19, etc.

1.22 - L'étude "PARIS - NORD"

Une autre étude, d'intérêt à la fois national et international, présente des caractéristiques similaires : la relation Paris - Nord, qui regroupe les liaisons entre la Région parisienne, le nord de la France (l'agglomération lilloise notamment), la Grande-Bretagne par le tunnel sous la Manche, la Belgique et le nord-ouest européen.

Le trafic potentiel de cet ensemble de relations est très élevé, d'autant plus que le raccourcissement des durées de trajets permis par une infrastructure nouvelle est susceptible de modifier profondément la répartition inter-mode du trafic, notamment entre l'air et le fer. C'est ainsi que le centre de Londres ne serait plus qu'à 2 h 45 mn de Paris, Bruxelles à 1 h 45 et Lille à 1 h environ.

Ces études, qui associent à la S.N.C.F. les chemins de fer belges et anglais, se poursuivent dans le cadre de l'Union Internationale des Chemins de Fer (Annexe 1).

1.23 - L'étude "TRAINS AUTOS JOUR à TRÈS GRANDE VITESSE"

Les études précédentes ne concernent que le trafic des voyageurs à très grande vitesse entre grandes conurbations.

On peut également se demander si ces nouvelles lignes ne pourraient être utilisées pour d'autres trafics, en particulier pour le transport d'automobiles accompagnées à l'image de ce qui est prévu pour le tunnel sous la Manche.

D'autres pays ont déjà entrepris des études de ce genre, en particulier les USA et l'Allemagne, avec le concept d'Hochleistungsschnellbahn.

Une telle étude vient d'être entreprise dans le cadre d'une utilisation complémentaire de la nouvelle ligne Paris - Lyon ; elle a déjà permis de dégager des premières orientations intéressantes, mais il n'en sera pas fait état dans ce document.

2 - ANALYSE DE LA DEMANDE

2.1 - Cadre de l'étude - Méthode utilisée

L'objet de cette analyse est de déterminer le volume annuel et la répartition géographique et temporelle du trafic susceptible d'emprunter, en totalité ou en partie, une infrastructure nouvelle ferroviaire à grande vitesse entre Paris et Lyon, en 1976.

2.11 - Structure géographique du trafic étudié

L'analyse des flux de trafic a été conduite sur une structure de base constituée par une matrice primaire de flux interrégionaux. Pour la commodité du langage, on distinguera des zones "origine" côté Paris et des zones "destination" côté Lyon.

Les zones "origines" retenues sont :

- la Région parisienne dont les limites coïncident avec celles du district parisien,
- le nord-ouest de la France comprenant les Circonscriptions d'Action Régionale (CAR) suivantes : Nord, Picardie, Normandie, Bretagne en totalité ; Pays de la Loire, Champagne, Centre ouest partiellement,
- l'étranger constitué de l'Angleterre et du Bénélux.

Les zones "destination" sont au nombre de quatre pour le trafic Paris - Lyon de bout en bout :

- la Région Rhône-Alpes, ⁽¹⁾ (Ain et Savoie exclus)
- La Région Provence - Côte d'azur ⁽¹⁾
- La Région Languedoc ⁽¹⁾
- l'étranger comprenant l'Italie (via Vintimille) et l'Espagne (via Cerbère).

On désignera dans la suite ce trafic par "*trafic de l'axe Paris - Lyon*".

(1) Dans la suite ces trois régions seront regroupées sous le vocable "Sud-Est".

Parallèlement, on a considéré les échanges qui intéressent la nouvelle ligne entre l'ensemble des zones "origine" définies ci-dessus et :

- d'une part, la Savoie au sens large, c'est-à-dire les deux départements savoyards et l'Ain, à laquelle on adjoindra le trafic intéressant la Suisse, via Genève, et l'Italie, via Modane.

On désignera ce trafic par "*trafic de l'axe Paris - Savoie*"

- d'autre part, Dijon et les régions au-delà (pouvant éventuellement comporter Belfort - Mulhouse) ainsi que la Suisse, via Vallorbe, (et éventuellement Bâle).

Ce trafic sera désigné par "*trafic de l'axe Paris - Bourgogne*".

Ces deux derniers axes ont fait l'objet d'une analyse plus globale et approximative que celle de l'axe Paris - Lyon.

2.12 - Horizons temporels

S'appuyant sur l'analyse des trafics de 1967 retenue comme année de base, la prévision s'est efforcée de dégager le volume des trafics interrégionaux au niveau de la matrice primaire en 1976, selon que l'on réalise ou non la ligne nouvelle.

Une hypothèse d'évolution globale a été faite ensuite pour établir un bilan actualisé sur une longue période.

2.13 - Description de la méthode utilisée

2.131 - Construction de l'année de base 1967

Cette construction repose sur les éléments suivants :

- le regroupement des courants élémentaires de trafic ferroviaire tels qu'ils ressortent des statistiques de la S.N.C.F.
- les statistiques annuelles de trafic aérien de l'aéroport de Paris.
- la projection en 1967 de la matrice des flux routiers interrégionaux établie par le Service d'Etudes et Recherches sur la Circulation Routière pour l'exercice 1963 à l'occasion des études concernant l'autoroute A6, en tenant compte de l'évolution réelle du trafic depuis cette date.

2.132 - Tendances intrinsèques de chaque mode et cohérence globale

Les prévisions isolées des divers modes pour 1976 peuvent conduire à un résultat d'ensemble incohérent par comparaison avec la tendance d'évolution de la demande globale. Celle-ci peut être appréhendée essentiellement à partir :

- des données relatives à l'évolution démographique des diverses zones intéressées ;

- d'une prévision concernant l'élévation du niveau des revenus, assortie d'une hypothèse sur la valeur de l'élasticité "revenu" ; on prendra pour ces deux éléments respectivement 3 % d'accroissement annuel et une valeur de 1,5 qui ressort, aussi bien d'études particulières, que d'une analyse globale de la consommation de transports par les ménages.

Ces éléments permettent de dégager une estimation du rythme annuel d'accroissement de la demande globale, qui sera utilement rapproché de celui observé dans le passé, et donc d'assurer la cohérence des prévisions par mode.

2.133 - Reports et inductions de trafic entraînés par l'infrastructure nouvelle

La création de la ligne nouvelle entraînera :

- un report de l'avion sur le train,
- un report de la route sur le train,
- une induction de trafic nouveau, soit par accroissement des déplacements d'usagers, actuellement freinés par la durée du trajet en train ou par la cherté de l'avion, soit par apparition de types nouveaux de déplacements.

Les divers taux de report ou d'induction de trafic ont été déterminés par une approche mi-discrétionnaire, mi-économétrique qui sera ultérieurement améliorée.

2.14 - Hypothèses relatives aux conditions de concurrence

2.141 - Fer sans ligne nouvelle

Sur le plan de la qualité du service, dans la situation de référence, on a supposé que les temps moyens de parcours des trains de jour seraient réduits de 10 % par rapport aux moyennes actuelles sur la ligne existante ; de même les fréquences seraient améliorées de 10 %.

2.142 - Avion

Sur le plan des tarifs, les études de demande supposent que les tarifs 1976 seraient inférieurs d'environ 15 % aux tarifs au 1.1.1969.

Sur le plan qualité du service, l'hypothèse implicite est le statu quo.

2.143 - Route

On suppose bien entendu terminées l'autoroute Paris - Lyon - Marseille ainsi que les antennes vers la Côte d'azur, le Languedoc, St-Etienne et Grenoble.

En matière de fiscalité et de péages, on suppose le maintien des errements actuels.

Par ailleurs, on n'a pas retenu d'hypothèse sur l'introduction possible de mesures limitant la vitesse des automobiles.

Enfin, on n'a pas pris en compte la concurrence éventuelle d'autocars circulant sur autoroutes à longue distance.

2.144 - Fer avec ligne nouvelle

Les temps de parcours et la fréquence de desserte sont ceux qui ressortent du chapitre 3.

Sur le plan tarifaire, l'étude de la demande suppose le maintien de la tarification actuelle de bout en bout, en niveau moyen, compte tenu des suppléments de trains rapides et de places couchées.

Cette option d'étude ne préjuge évidemment pas du choix qui sera finalement à faire en matière de niveau et de structure des tarifs.

Pour des conditions d'offre différentes, le trafic s'écartera du niveau calculé en fonction des élasticités propres à chacun des paramètres qui devront être explicitées notamment dans les études ultérieures concernant la tarification.

2.2 - Le trafic en 1967 - Analyse par mode

2.21 - L'analyse des trafics par mode a été menée au niveau de la matrice primaire d'échanges définie au point 2.11, à partir d'un découpage géographique voisin du niveau départemental.

Il convient de rappeler qu'aucun découpage géographique ne permet une homogénéité complète des définitions pour les divers modes. Au niveau des liaisons ville à ville notamment, le trafic ferroviaire représente le trafic de gare à gare, le trafic aérien celui d'aéroport à aéroport, ces deux définitions correspondant à des phénomènes de rabattement d'ampleur tout à fait inégale ; pour la route, c'est la notion de rattachement des points origine et destination à une agglomération qui a été retenue.

Cependant, ces inconvénients disparaissent largement au stade des regroupements régionaux effectués au niveau de la matrice primaire ; on obtient ainsi, par grande région, une représentation satisfaisante de la situation de concurrence entre les modes.

2.22 - Trafic ferroviaire

En 1967, les courants de trafic se sont répartis comme suit (en millions de voyageurs).

	Région parisienne	Nord-Ouest de la France	Total intérieur	Angleterre Bénélux	Total
Rhône - Alpes (1)	1 554	246	1 800	35	1 835
Provence - Côte d'azur	2 390	480	2 870	190	3 060
Languedoc	729	86	815	45	860
Bourgogne (2)	1 195	95	1 290	26	1 316
Savoie (3)	1 285	124	1 409	7	1 416
Total intérieur	7 153	1 031	8 184	303	8 487
Espagne (Port-Bou)	198	24	222	75	297
Italie (Modane)	249	9	258	45	303
Suisse - Italie (4)	931	105	1 036	59	1 095
Total	8 531	1 169	9 700	482	10 182

(1) Ain, Savoie, Haute-Savoie exclus.

(3) Ain, Savoie, Haute-Savoie et Genève

(2) Côte d'Or, Saône-et-Loire, Jura, Doubs

(4) Via Vallorbe, Delle et Pontarlier

Le trafic intérieur émanant de la Région parisienne représente à lui seul 87,4 % du trafic intérieur et 70,3 % du trafic total susceptible d'emprunter les trois axes.

Par relation, on a relevé les chiffres suivants :

Paris - Lyon	708 000 voyageurs/an
Paris - Marseille	660 000
Paris - Dijon	413 000
Paris - Nice	333 000
Paris - Grenoble	315 000
Paris - Toulon	306 000
Paris - Cannes	184 000
Paris - Avignon	169 000
Paris - Perpignan	159 000
Paris - Besançon	140 000
Paris - Annecy	138 000
Paris - Montpellier	133 000

L'ensemble de ces 12 relations représente à lui seul la moitié du trafic intérieur intéressant la Région parisienne, et plus du tiers du trafic total intéressé par les trois axes. Sur l'axe Paris-Lyon seul, le trafic est encore plus concentré puisque les 10 principales relations représentent les deux tiers du trafic intérieur intéressant la Région parisienne.

2.23 - Trafic aérien

Les chiffres suivants ont été relevés en 1967 :

Paris - Nice	435 000 voyageurs/an
Paris - Genève	342 000
Paris - Marseille	323 000
Paris - Lyon	288 000
Paris - Nîmes	84 000
Paris - Montpellier	19 400
Paris - Perpignan	13 600

soit un total de 1 494 000 voyageurs pour le trafic intéressant la Région parisienne, seul pris en compte dans l'étude.

2.24 - Trafic routier

La matrice d'échanges a été estimée à partir des flux inter-régionaux en 1963 saisis dans l'enquête routière Paris - Avallon. Ces flux ont été majorés uniformément en supposant un taux d'accroissement annuel de 12 % entre 1963 et 1967 (en millions de voyageurs).

	Région parisienne	Nord-Ouest (1)	Total intérieur	Angleterre Benelux	Total
Rhône - Alpes (2)	826	164	990	27	1 017
Provence - Côte d'azur	1 023	195	1 218	133	1 351
Languedoc	204	38	242	21	263
Bourgogne (3)	971	127	1 098	20	1 118
Savoie (4)	468	94	562	15	577
Total intérieur	3 492	618	4 110	216	4 326
Espagne (5)	81	20	101	123	224
Italie	247	44	291	52	343
Suisse	277	34	311	36	347
Total	4 097	716	4 813	427	5 340

(1) Basse Normandie et Bretagne non comprises

(2) Ain, Savoie, Haute-Savoie exclus

(3) Côte d'Or, Saône-et-Loire, Jura, Doubs

(4) Ain, Savoie, Haute-Savoie

(5) Via la Vallée du Rhône et le Centre

Le trafic intérieur concernant la Région parisienne représente encore 85 % du trafic intérieur total et 65,4 % du trafic total des trois axes.

Les principales relations intéressées ont donné les chiffres suivants :

Paris - Lyon	478 000 voyageurs/an
Paris - Nice	263 000
Paris - Dijon	257 000
Paris - Marseille	247 000
Paris - Grenoble	165 000
Paris - Cannes	103 000
Paris - Chalon-s/Saône	78 000
Paris - Annecy	70 000
Paris - Chambéry	63 000
Paris - Toulon	57 000
Paris - Mâcon	56 000
Paris - Avignon	44 000

Elles représentent plus de la moitié du trafic intérieur émanant de la Région parisienne et plus du tiers du trafic total.

2.3 - La structure temporelle du trafic ferroviaire

2.31 - Pour calibrer le programme d'exploitation on a examiné :

- la décomposition entre "trafic de base" et "trafic de superpointe" engendré par les départs en vacances ou les week-ends à caractère spécial (fêtes),
- la décomposition du "trafic de base" en trafics de jour et de nuit,
- la répartition hebdomadaire du trafic. (La répartition horaire n'a pas été étudiée pour la situation actuelle, car elle ne présente que peu d'intérêt pour la desserte future envisagée, du fait de la profonde modification des temps de parcours et des fréquences ...).

Ces diverses analyses ont été menées à partir des statistiques d'occupation des trains.

2.32 - Trafic de base, de superpointe, de jour et de nuit

On a défini le trafic de base annuel comme le produit par 12 de la moyenne des mois de mai, octobre et novembre ; le trafic dit de superpointe a été obtenu par différence entre le trafic total annuel et le trafic de base.

Il est possible de mener cette analyse pour trois catégories de trains : ceux de la ligne Paris - Dijon - Lyon, ceux de la ligne Paris - Savoie, enfin ceux à destination de la Suisse. Cela permet de recouper convenablement le partage du trafic suivant son point de sortie de l'infrastructure nouvelle. Seul le trafic de la vallée de la Saône ne peut pas être décrit ainsi, car il se partage entre les trois catégories de trains.

On aboutit ainsi au tableau suivant, en pourcentage :

		Jour	Nuit	Total
Paris - Sud-Est	base	46,9	37,5	84,4
	superpointe	5,4	10,2	15,6
	total	52,3	47,7	100
Paris - Savoie	base	30,8	26,7	57,5
	superpointe	9,6	32,9	42,5
	total	40,4	59,6	100
Paris - Suisse	base	25,9	37,7	63,6
	superpointe	11,7	24,7	36,4
	total	37,6	62,4	100

On peut faire deux constatations essentielles :

- la proportion du trafic de nuit est beaucoup plus forte pour le trafic de superpointe que pour le trafic de base ;
- la part du trafic de superpointe est évidemment beaucoup plus élevée pour les régions alpines de caractère touristique.

2.33 - Répartition du trafic entre jour et nuit, par relation.

La part du trafic de nuit dans le trafic de base varie essentiellement en fonction de la durée de voyage. Pour apprécier la variation de cette part on dispose de sondages qui conduisent aux résultats suivants, en pourcentage du trafic total.

Relations	1ère cl.	2ème cl.	Pour l'ensemble des 2 cl.
Paris - Lyon	6	11	9
Paris - St-Etienne	7	11	10
Paris - Grenoble	32	38	36
Paris - Marseille	55	69	63
Paris - Nice	56	72	67

Ces résultats, complétés par ceux d'autres relations non situées sur l'axe, ont permis d'établir une courbe donnant le pourcentage de trafic de nuit en fonction de la durée de trajet. Utilisée pour le trafic actuel, cette courbe permet d'expliquer avec une précision très satisfaisante le partage du trafic de l'axe Paris - Lyon entre trains de jour et trains de nuit.

Le pourcentage trafic de nuit est plus élevé en fin de semaine d'une part, en deuxième classe, d'autre part ; ce dernier point semble s'expliquer parfaitement par le fait qu'en général la durée moyenne du trajet est plus forte en 2ème classe qu'en 1ère classe.

2.34 - Répartition hebdomadaire du trafic de base.

La pointe hebdomadaire la plus sévère se produit au départ de Paris le vendredi soir notamment ; un sondage a permis de définir un profil hebdomadaire, caractérisé par le rapport, entre jour ouvrable de base (JOB) et vendredi.

Le tableau ci-dessous donne une idée de ce rapport et met en évidence le caractère nettement plus accentué de ce phénomène pour la 2ème classe.

	Rapport Vendredi/JOB (sens impair)		
	1ère cl.	2ème cl.	Ensemble
Paris --Dijon	1,23	1,91	1,58
Lyon Paris - Grenoble St-Etienne	1,17	1,82	1,43

2.4 - Préviation globale d'évolution du marché jusqu'en 1976

2.41 - Evolution par mode

2.411 - Trafic ferroviaire

La comparaison des statistiques des flux origine - destination de la S.N.C.F. disponibles pour les deux seules années 1963 et 1967 fait apparaître une baisse légère (2,9 % en 4 ans) du trafic intérieur entre la Région parisienne et le Sud-Est.

Cependant l'année 1963 a vu un trafic exceptionnellement élevé sur ces relations (rapatriés d'Algérie, intempéries).

En réalité, il est très difficile de dégager un taux d'évolution à moyen terme du trafic ferroviaire à partir des dernières années connues, 1968 étant à son tour exclue en raison des perturbations qui l'ont marquée.

Enfinement, on a retenu, dans un souci de prudence, une évolution à moyen terme comprise entre une décroissance de l'ordre de 2 % par an et une croissance de 1 % par an.

2.412 - Trafic aérien

Les taux de croissance annuels enregistrés sur la période 63 - 67, s'établissent en moyenne à :

- 41,2 % sur Paris - Lyon
- 19,9 % sur Paris - Marseille (contre 29 % pour la période 59/63)
- 47,2 % sur Paris - Nîmes
- 16,2 % sur Paris - Nice (contre 23,6 % pour la période 59/63)
- 13,2 % sur Paris - Genève (contre 16,1 % pour la période 59/63).

Ils sont d'autant plus élevés que la liaison est plus jeune, mais restent encore très importants sur des relations anciennes telles que Paris - Nice ou Paris - Genève.

En moyenne, sur l'ensemble des relations entre Paris et le Sud-Est le taux annuel s'établit à 24,2 % pendant la période considérée. Il semble bien que ce taux devrait rester enserré dans une fourchette de 15 à 20 % pour la période 1967 - 1976.

2.413 - Trafic routier

L'évolution constatée entre 1969 et 1967 fait ressortir un taux moyen annuel d'accroissement de 12 % qui intègre les effets d'engendrement du trafic liés aux mises en service partielles de tronçons de l'autoroute A6.

Ce rythme d'évolution est difficile à nuancer en fonction de la distance ; si, d'une façon générale, le taux de croissance doit se révéler plus faible à longue distance, il semble bien que, sur l'axe considéré, le caractère touristique des déplacements aux plus longues distances soit de nature à contre-balancer le phénomène général et il paraît donc raisonnable, faute de mieux, de supposer que, au niveau des grandes régions, les taux doivent être assez voisins.

Pour la période 1967 - 1976, ce taux moyen devrait être contenu dans les limites de 7,5 à 10 %.

2.42 - Evolution de la répartition du marché entre 1963 et 1967.

Il est intéressant de noter également l'évolution rapide des parts relatives du marché qui sont revenues aux divers modes, au niveau des relations particulières ou au niveau des grandes régions. A titre d'exemple, on examinera le cas de l'axe Paris - Lyon et de la zone Franche-Comté - vallée de la Saône qui représentent un large éventail de situations de concurrence.

Le tableau ci-dessous permet d'apprécier la rapidité de cette évolution sur les principaux axes intéressés (part relative de chacun des modes en pourcentage).

	En 1963					En 1967				
	Fer		Total	Air	Route	Fer		Total	Air	Route
	1e cl.	2e cl.				1e cl.	2e cl.			
Paris - Lyon	29,8	35,6	65,4	6,7	27,9	23,5	24,5	48,0	19,5	32,5
Paris - Marseille	19,8	50,6	70,4	14,8	14,8	13,0	40,6	53,6	26,3	20,1
Paris - Nice	17,2	29,5	46,7	31,3	22,0	10,5	21,8	32,3	42,2	25,5
Région parisienne - Rhônes - Alpes	27,6	44,3	71,9	3,3	24,8	24,0	33,5	57,5	10,7	31,8
Région parisienne - Provence - Côte d'azur	21,0	49,7	70,7	11,1	18,2	15,2	36,8	52,0	18,3	29,7
Région parisienne - Languedoc	17,3	64,5	81,8	2,2	16,0	14,9	55,3	70,2	10,1	19,7
Région parisienne - Rhône - Alpes Provence - Côte d'azur - Languedoc	22,8	49,7	72,5	7,4	20,1	18,2	40,8	59,0	14,5	26,5
Région parisienne - Franche-Comté vallée de la Saône	15,4	49,6	65,0	-	35,0	15,2	40,0	55,2	-	44,8

Ainsi, en quatre ans seulement, la part du fer sur l'axe Paris - Lyon a regressé de 72,5 % à 59 %, cette diminution s'étant répartie à peu près également entre l'avion (7,1 %) et la route (6,4 %). Ceci cache d'ailleurs des disparités importantes selon les relations : pour la région Rhône - Alpes, la part de 14,4 % perdue par le fer est allée pour 7,4 % à l'avion et pour 7 % à la route ; pour la région Provence - Côte d'azur, c'est la route qui s'est attribué 11,5 % sur les 18,7 % perdus par le fer ; enfin, pour la région Languedoc, le phénomène est inversé, c'est l'avion qui a recueilli 7,9 % sur 11,6 % perdus par le fer. Ces disparités tiennent essentiellement aux motifs de déplacements, le "tourisme" se déplaçant vers la voiture et "l'affaire" vers l'avion. Ceci montre qu'un bon modèle de prévision - qui sera élaboré ultérieurement - devra impérativement intégrer le motif du voyage.

2.43 - Evolution globale jusqu'en 1976

Les estimations précédentes permettent d'évaluer à 4,6 % le taux annuel de croissance du trafic global entre la Région parisienne et l'ensemble du Sud-Est entre 1963 et 1967 ; ce taux moyen se décompose en :

- 6,2 % pour le Languedoc
- 5,2 % pour Rhône - Alpes
- 3,8 % pour Provence - Côte d'azur

Au niveau des grandes agglomérations, le taux moyen d'accroissement est, sauf pour Marseille, Toulon, Nice, supérieur aux taux constatés pour la région dans son ensemble.

Paris - (Montpellier + Nîmes + Perpignan)	7,6 %
Paris - (Lyon + Grenoble + Saint-Etienne)	5,9 %
Paris - (Marseille + Toulon + Nice)	3,5 %

Cette dernière constatation résulte de ce que la période analysée a été marquée par une diminution considérable du trafic lié à l'activité des ports de Marseille et Toulon.

Pour cette dernière raison, et du fait de l'amélioration très sensible de l'offre routière et aérienne qui se produira pendant la période 1967 - 1976 (achèvement des autoroutes A6 et A7, ouverture de nouvelles liaisons aériennes) *il semble que la croissance globale du trafic entre la Région parisienne et le Sud-Est doive s'établir au minimum au rythme de 5,2 % observé pour la Région Rhône - Alpes, et il est possible qu'elle atteigne un taux de l'ordre de 7 à 8 %. On a retenu une progression annuelle moyenne de 6,5 %.*

2.5 - Influence de la ligne nouvelle

2.51 - On a schématisé l'évolution naturelle de la demande et l'incidence de la ligne nouvelle en 1976 par le jeu combiné de plusieurs hypothèses :

a) pour l'évolution naturelle

- hypothèse faible ou forte de croissance globale du marché,
- hypothèse faible ou forte concernant la part du marché assurée par le chemin de fer.

b) pour l'incidence de la ligne nouvelle

- hypothèse faible ou forte concernant la diversion de trafic,
- hypothèse faible ou forte concernant l'induction de trafic.

On a pu ainsi dégager deux hypothèses extrêmes dont on a pris la moyenne. Sans être forcément la plus probable, cette moyenne apparaît comme une base raisonnable pour fonder le programme d'exploitation et fournir une première idée de la rentabilité.

2.52 - Evolution naturelle par relation

2.521 - Relations entre Région parisienne et les régions Rhône - Alpes Provence - Côte d'azur et Languedoc.

Cette évolution est résumée dans le schéma ci-dessous qui donne, pour les hypothèses basse et haute, les taux moyens de variation par mode pendant la période 1967 - 1976.

Distance en km		400	500	600	700	800	900	1000
		Lyon St-Etienne	Grenoble	Ayignon	Nîmes	Marseille Montpellier	Toulon	Perpignan
Basse	Fer 1ère cl.	- 1	- 1,5		- 2,5		- 4,5	- 5
	Fer 2ème cl.	- 3,5	- 3		- 2		- 1,5	- 1
	Avion	← 19,5 →			← 17,5 →			← 14,4 →
	Route	← 7,9 →			← →			
Haute	Fer 1ère cl.	+ 2	+ 1,5		0		- 1,5	- 2
	Fer 2ème cl.	- 0,5	0		+ 0,5		+ 1	+ 1,5
	Avion	← 22 →			← 19,5 →			← 17 →
	Route	← 9,6 →			← →			

Deux remarques doivent être faites :

- pour l'avion, les taux indiqués sont des moyennes de taux différenciés selon l'ancienneté de la liaison ;
- pour la route, on a retenu des taux identiques pour les différentes liaisons, ce qui pourra être revu ultérieurement.

L'hypothèse moyenne se situe au milieu des fourchettes présentées ci-dessus. En ce qui concerne l'Ain, la Savoie et Genève qui présentent des caractéristiques très particulières l'évolution naturelle devrait se situer autour d'une croissance annuelle de 1,5 % en 1ère classe et 1 % en 2ème classe pour le trafic de base.

2.522 - Autres relations de l'axe Paris - Lyon

En raison du poids relativement faible de ces relations, les prévisions n'ont porté que sur le seul trafic ferroviaire, essentiellement formé de voyageurs de 2ème classe à destination des zones touristiques du littoral méditerranéen et on a retenu la fourchette suivante :

- hypothèse basse : décroissance annuelle de 3,5 %
- hypothèse haute : stagnation du trafic

soit en moyenne une décroissance annuelle de 1,8 %.

2.523 - Axe Paris - Bourgogne

Entre la Région parisienne et la Bourgogne la position concurrentielle du fer restera meilleure du fait de la qualité de la desserte ; on peut escompter une croissance d'environ 3 % en 1ère classe et 0,5 % en 2ème classe en hypothèse moyenne.

Le trafic vers la Suisse évoluera moins favorablement, on a retenu une baisse moyenne annuelle de 1 %.

2.524 - Axe Paris - Savoie

A la différence des relations précédentes et en raison de l'importance moindre de ces relations, le calcul a été conduit de façon plus sommaire et en raisonnant directement sur le trafic de base.

On a retenu pour ce trafic un taux de croissance de 1,5 % en 1ère classe et de 0,5 % en 2ème classe, en hypothèse moyenne.

A titre purement indicatif, on a retenu pour le trafic de superpointe, lié aux sports d'hiver, un accroissement de 4 % par an.

2.53 - Incidence de la ligne nouvelle

2.531 - Trafic transféré de l'avion

En ce qui concerne Paris - Lyon proprement dit, il semble bien que l'introduction de la desserte proposée devrait conduire à transférer au fer la moitié au moins du trafic de l'avion : ce chiffre a été retenu comme hypothèse basse ; pour l'hypothèse haute, on a retenu 75 %. En effet, le trajet en 2 heures devrait donner un léger avantage au train vis-à-vis de l'avion pour la durée du trajet porte à porte, pour un prix nettement inférieur et avec une

fréquence et une régularité remarquablement élevées ; seuls resteront sans doute attachés à l'avion, les usagers pour lesquels l'aéroport sera à proximité du lieu de domicile et les voyageurs en correspondance.

Ce taux de transfert s'abaisse pour les autres liaisons en concurrence : il a été estimé entre 10 et 15 % pour la liaison Paris - Marseille.

2.532 - Trafic transféré de la route

Le trafic routier est beaucoup plus "captif" que le trafic aérien. Les possibilités de substitution sont en effet beaucoup plus importantes entre deux transports publics qu'elles ne le sont entre transport public et transport privé ; néanmoins, étant donné l'avantage concernant la durée du trajet, il semble que, tout spécialement en ce qui concerne Lyon et la Région Rhône - Alpes, les possibilités de substitution ne soient pas négligeables.

On a retenu en moyenne un taux de transfert de 5 % pour des distances allant jusqu'à 800 km dans l'hypothèse basse ; dans l'hypothèse haute, le taux retenu dans le même intervalle est de 10 % et diminue progressivement pour s'annuler sur Paris - Nice.

2.533 - Trafic induit

2.5331 - L'introduction de la desserte nouvelle sera équivalente en première approximation, sur Paris - Lyon :

- à une baisse de prix supérieure à 50 % à qualité voisine de service pour la clientèle du transport aérien ;
- à une amélioration de qualité du service (durée, fréquence), à tarif égal, pour la clientèle ferroviaire ;
- à un dosage variable de ces effets selon le type du déplacement et la taille du groupe pour les usagers de la route, ce qui se traduit par une baisse du coût généralisé.

Ces effets, outre les reports de trafic qu'ils provoqueront, entraîneront une induction de trafic dont une première évaluation peut être obtenue, d'une part en estimant la baisse du coût généralisé entraînée par la desserte nouvelle, d'autre part en faisant une hypothèse sur l'élasticité de la demande par rapport à ce coût généralisé.

Des calculs ont été effectués indépendamment pour la clientèle de l'avion, la clientèle 1ère classe du fer, la clientèle 2ème classe du fer et de la route.

2.5332 - Clientèle avion

Le calcul a été mené par intégration le long d'une distribution de coûts généralisés correspondant aux clientèles qui seraient successivement reportées sur le train dans un passage progressif de la situation actuelle à la situation avec la

ligne nouvelle. Dans un souci de prudence, la valeur du temps retenue dans le calcul a été prise égale à celle estimée pour le voyageur de 1ère classe, soit 20 F (en 1976).

On a retenu une élasticité par rapport au coût généralisé de 1, les fourchettes basse et haute étant de 0,8 à 1,2.

2.5333 - Clientèle fer 1ère classe

On a appliqué aux rapports de coûts généralisés avant et après, calculés avec des valeurs de temps de 20 F pour la durée de trajet, les mêmes valeurs d'élasticité que ci-dessus.

2.5334 - Clientèle 2ème classe et clientèle routière

La méthode a été fondée également sur la réduction du coût généralisé en utilisant une élasticité de 1,5 avec des valeurs extrêmes de 1,2 et 1,8.

Cependant cette méthode ne permet que le calcul simultané du trafic transféré de la route et du trafic induit ; le trafic induit s'obtient donc par différence avec le trafic transféré de la route estimé en 2.532. La distinction entre ces deux catégories ne présente d'ailleurs pas d'intérêt majeur pour l'ensemble de l'étude.

2.534 - Résultats

2.5341 - Trafic avec la Région parisienne

Ils sont rassemblés dans le tableau ci-dessous, exprimés en pourcentages par rapport aux niveaux de trafic en 1976 sans ligne nouvelle pour les hypothèses basse et haute :

Distances		400	500	600	700	800	900	1000
Principales agglomérations		Lyon St-Etienne	Grenoble	Avignon	Nîmes	Marseille Montpellier	Toulon	Perpignan Nice
Basse	Fer 1ère cl. induit	35	29			15	10	
	Fer 2ème cl. induit	17	15			10	5	
	Avion transféré	50	40		15	10	5	
	Avion induit (1)	9	6		2	1		
	Route transférée	← →		5	← →		← →	
Haute	Fer 1ère cl. induit	55	50		35	25	15	5
	Fer 2ème cl. induit	25	25		18	15	10	4
	Avion transféré	75	60		20	15	8	
	Avion induit (1)	21	14		3	2	1	
	Route transférée	← →		10	← →		8	

(1) Il s'agit du trafic induit résultant de l'abaissement du coût généralisé pour la clientèle détournée de l'avion.

2.5342 - Autres relations sur l'axe Paris - Lyon

Comme pour les hypothèses relatives à l'évolution naturelle, le problème est traité sur la base du seul trafic ferroviaire et non globalement.

On suppose, en hypothèse basse, que la desserte par ligne nouvelle n'a pas d'incidence sur le niveau du trafic ferroviaire transitant par Paris; en hypothèse haute, la somme des trafics engendrés ou détournés représenterait 10 % du trafic ferroviaire 1975.

2.5343 - Région parisienne - Bourgogne

L'induction et le transfert de trafic ont été calculés simultanément à l'aide d'un modèle à coût généralisé en utilisant une élasticité de 1,5 en première comme en seconde classe.

2.5344 - Région parisienne - Savoie

Comme indiqué précédemment au paragraphe 2.524, il s'agit ici exclusivement du trafic de base. On a fait l'hypothèse que la ligne nouvelle conduirait à une situation dans laquelle la proportion du trafic ferroviaire au trafic total resterait la même qu'en 1967.

Ce raisonnement revient à admettre un accroissement global dû aux reports et aux inductions de trafic de 34 %.

2.6 - Volume du trafic en 1976

2.61 - Situation sans ligne nouvelle

L'application des taux annuels d'évolution naturels dégagée précédemment conduit au tableau suivant dans l'hypothèse moyenne.

	Fer 1ère cl.	Fer 2ème cl.	Total	Avion	Route	Total
Paris - Lyon proprement dit	357	303	660	1 200	1 020	2 880
Région parisienne - Rhône - Alpes	662	786	1 448	1 580	1 840	4 868
Paris - Marseille	121	489	610	1 150	530	2 290
Région parisienne - Provence - Côte d'azur	515	1 725	2 240	2 880	2 150	7 270
Région parisienne - Languedoc	154	625	779	720	485	1 984
Région parisienne vers Sud-Est	1 331	3 136	4 467	5 180	4 475	14 122
Autres relations (1) sur l'axe Paris - Lyon	123	1 088	1 211			
Trafic de l'axe PARIS - LYON	1 454	4 224	5 678			
Paris - Dijon	185	310	495	10	560	1 065
Région parisienne - vallée de la Saône Franche-Comté	450	870	1 320	20	1 450	2 790
Trafic de l'axe PARIS - BOURGOGNE	610	1 600	2 210			
Trafic de l'axe PARIS - SAVOIE	456	1 824	2 280			
Total	2 520	7 648	10 168			

(1) Le trafic correspondant aux autres relations n'a pu être estimé pour le train et l'avion.

2.62 - Situation avec ligne nouvelle :

De la même façon on obtient le tableau suivant :

	Fer 1ère cl.	Fer 2ème cl.	Total	Avion	Route	Total
Paris - Lyon proprement dit	1 481	447	1 928	435	941	3 304
Région parisienne - Rhône - Alpes	2 142	1 110	3 252	590	1 694	5 536
Paris - Marseille	300	600	900	1 017	486	2 403
Région parisienne - Provence - Côte d'azur	750	2 000	2 750	2 732	2 024	7 506
Région parisienne - Languedoc	279	734	1 013	635	452	2 100
Région parisienne vers le Sud-Est	3 171	3 844	7 015	3 957	4 170	15 142
Autres relations	138	1 107	1 245			
Trafic de l'axe PARIS - LYON	3 309	4 951	8 260			
Paris - Dijon	238	374	612	10	520	1 142
Région parisienne - vallée de la Saône - Franche-Comté	580	1 050	1 630	20	1 340	2 990
Trafic de l'axe PARIS - BOURGOGNE	771	1 832	2 603			
Trafic de l'axe PARIS - SAVOIE	613	2 077	2 690			
Total des trois axes	4 693	9 060	13 553			

2.7 - Trafic de la ligne nouvelle en 1976

2.71 - Répartition entre l'ancienne et la nouvelle ligne

On a admis que la totalité du trafic de jour de l'axe Paris - Sud-Est empruntera la ligne nouvelle sauf en période de superpointe. Seuls subsisteraient donc sur la ligne actuelle le trafic de nuit et le trafic de cabotage.

En période de superpointe au contraire, l'immobilisation de capital représentée par des rames utilisées un petit nombre de jours par an semblant peu rationnelle, on a admis que le trafic excédent le niveau du trafic de base sera effectué sur la ligne existante en matériel classique.

2.711 - Trafic de superpointe

Sur l'axe Paris - Lyon, il semble conforme à l'évolution récente, de prévoir que le trafic de superpointe, qui est lié essentiellement aux déplacements familiaux de vacances ou de longs week-ends du type Pentecôte, n'augmentera pas en valeur relative pendant la période 1967 à 1976. Ce trafic s'établirait alors globalement en 1976 à un niveau maximum de 887 000 voyageurs représentant 15,6 % du trafic total sur l'axe Paris - Lyon. De façon similaire, sur l'axe Paris - Bourgogne, il s'établirait à 540 000 voyageurs soit 24 % du trafic total.

Avec la ligne nouvelle, on peut observer que le trafic détourné de l'avion ou de la route :

- concerne essentiellement la Région Rhône - Alpes caractérisée par un coefficient de superpointe nettement plus faible que la moyenne de 15,6 % ;
- intéresse en majorité le trafic de 1ère classe essentiellement constitué par une clientèle d'affaires ;
- provient en partie de l'accroissement des fréquences qui joue de façon peu sensible pour les déplacements de week-ends ou de vacances.

Pour ces raisons (auxquelles pourraient également s'en ajouter d'autres, d'ordre tarifaire) on a admis que le trafic de superpointe représentera 15,6 % du trafic préexistant en 1976 à la desserte nouvelle.

2.712 - Trafic de base de nuit

La méthode indiquée au paragraphe 2.33 a été appliquée au trafic de 1976. Elle conduit à un trafic de nuit très faible en-deçà de Marseille et Montpellier.

A titre d'exemple, sur l'axe Paris - Lyon, le trafic de base de nuit ne représenterait plus que 12,5 % du trafic de base contre 44,9 % antérieurement.

Avec cette hypothèse le trafic de base de nuit s'élèverait à :

- 0,920 milliers de voyageurs sur l'axe Paris - Lyon
- 0,300 milliers de voyageurs sur l'axe Paris - Bourgogne
- 0,320 milliers de voyageurs au maximum sur l'axe Paris - Savoie.

2.713 - Récapitulation

Les calculs précédents conduisent au tableau suivant en milliers de voyageurs par an.

	Trafic total sans ligne nouvelle	Trafic de superpointe	Trafic résiduel de nuit	Trafic résiduel total sur ligne actuelle	Trafic reporté sur ligne nouvelle	Trafic détourné ou induit	Trafic de la ligne nouvelle	
							Total	dont 1ère Cl.
Région parisienne - Rhône - Alpes	1 448	222		222	1 226	1 804	3 030	2 038
Région parisienne - Provence - Côte d'azur	2 240	353	474	827	1 413	510	1 923	559
Région parisienne - Languedoc	779	119	151	270	509	234	743	230
Autres relations sur l'axe Paris - Lyon	1 211	193	295	488	723	34	757	97
Axe PARIS - LYON	5 678	887	920	1 807	3 871	2 582	6 453	2 924
Axe PARIS - BOURGOGNE	2 210	540	355	895	1 315	393	1 708	576
Axe PARIS - SAVOIE (1)	2 280	1 060	320	1 380	900	410	1 310	400
Total des 3 axes	10 168	2 487	1 595	4 082	6 086	3 385	9 471	3 900

(1) La méthode différente de calcul n'a pas permis de déterminer la composition du trafic dans les catégories considérées.

Le débit moyen par jour et par sens s'élève à 12 985 voyageurs au départ de Paris, soit :

- 8 850 voyageurs pour l'axe Paris - Lyon
- 2 340 voyageurs pour l'axe Paris - Bourgogne
- 1 795 voyageurs pour l'axe Paris - Savoie

Le jeu des hypothèses haute et basse en matière d'évolution du trafic, de report et d'induction après création de la ligne nouvelle conduirait pour l'axe Paris - Lyon à la fourchette suivante :

	Millions de voyageurs annuels	Milliers de voyageurs par jour et par sens
Trafic minimal	5 140	7 050
Trafic maximal	7 765	9 650

c'est-à-dire à un intervalle de $\pm 20\%$ autour de l'hypothèse moyenne.

2.72 - Répartition du trafic par classe

La répartition du trafic par classe résultant des calculs précédents suppose :

- que toute la clientèle détournée de l'avion voyagerait en 1ère classe,
- que la politique de segmentation du marché en deux classes évoluerait comme par le passé,
- que le profil temporel de la demande serait le même pour les deux classes.

En fait la politique commerciale sera le facteur le plus important de répartition par classe de la clientèle. En l'absence de modifications notables, le pourcentage de 1ère classe s'établirait comme suit :

	Total du trafic fer	Trafic de la ligne nouvelle
Axe Paris - Lyon	40	45
Axe Paris - Savoie	28	30
Axe Paris - Bourgogne	31	34

2.73 - Répartition hebdomadaire du trafic

La pointe du vendredi est la plus accentuée, le retour se partageant entre le dimanche et le lundi.

Le trafic 1ère classe, induit ou détourné, qui représente l'essentiel du trafic nouveau, aura certainement un caractère de régularité assez marqué et contribuera à régulariser le profil : pour le trafic de 2ème classe induit ou détourné de la route, il semble que la réduction du temps de parcours et l'accroissement de fréquence aient des effets en sens contraire vis-à-vis de l'évolution du coefficient de pointe hebdomadaire, le premier facteur ayant sans doute tendance à l'amplifier et le second à le réduire.

Par ailleurs, l'évolution des modes de vie et des périodes de travail engendrera des modifications du profil difficiles à apprécier dès maintenant.

Finalement on a schématisé le profil hebdomadaire en le caractérisant par le trafic du jour ouvrable de base (mardi, mercredi, jeudi), qui doit être assuré par la grille de base, et par le trafic du vendredi. Pour le courant de trafic le plus important, entre Paris et la région Rhône - Alpes, on a appliqué les coefficients observés, à savoir :

- 0,93 pour le rapport du jour ouvrable de base au jour moyen de la semaine,
- 1,36 pour le rapport du vendredi au jour ouvrable de base dans le sens impair,
- 1,27 pour le rapport du vendredi au jour ouvrable de base dans le sens pair.

Pour les autres relations, après avoir tenu compte de la répartition de la pointe actuelle entre trains de jour et trains de nuit, des coefficients analogues ont été établis à partir des statistiques disponibles.

2.74 - Répartition horaire

La répartition horaire actuelle du trafic n'est d'aucun secours pour estimer celle qui prévaudrait dans le futur pour la ligne nouvelle. Aussi s'est-on inspiré de la répartition sur la relation Paris - Lille actuelle (assurée en 2 h environ) analysée dans une enquête récente en considérant à la fois la clientèle ferroviaire et la clientèle de l'automobile.

En ce qui concerne la région lyonnaise, on a schématisé le trafic journalier en distinguant trois pointes journalières et un débit moyen en heures creuses et en heures de pointe, en prenant 6 h et 22 h pour heures extrêmes des départs.

a) jour ouvrable de base

Les pointes se situent entre 7 h et 9 h, 12 h et 13 h, 17 h et 19 h. Le trafic moyen en heures de pointe a été supposé triple du trafic d'heures creuses. Le débit horaire en heures creuses représente 3,8 % du trafic total journalier. Ce profil est symétrique.

b) vendredi

Le profil du vendredi est normal jusqu'à 12 heures. Ensuite, il peut être schématisé par une pointe de 12 h à 14 h égale à 5,7 fois le débit horaire d'heures creuses et une pointe plus marquée de 16 h à 20 h égale à 15,7 fois le débit d'heures creuses dans le sens impair. Dans le sens pair ces pointes, moins marquées, représentent cependant 5,5 et 13,4 fois le débit horaire d'heures creuses.

Il s'agit évidemment d'un schéma. La pointe du vendredi culminera toujours entre 17 et 19 heures ; par contre, il est probable que le trafic d'heures creuses de 14 h à 16 h et après 20 heures sera nettement plus fort que celui donné par le schéma ; mais cette schématisation ne devrait se traduire par aucune influence notable au niveau du calcul de coûts.

Pour les relations à plus longue distance, la période des départs est limitée par la nécessité d'arriver à destination avant 24 heures. Partant du même schéma que précédemment on a supposé que les départs de soirée étaient plus concentrés entre 17 heures et 19 heures.

2.75 - Récapitulation générale du trafic de la ligne nouvelle en 1976

Le tableau suivant rapproche pour la ligne nouvelle en 1976 les divers éléments de trafic regroupés maintenant en fonction de la structure du programme d'exploitation. (Dans ce souci, le trafic des "autres relations" de l'axe Paris - Lyon a été réparti entre les régions où aboutissent les divers types de trains).

	Trafic annuel 2 sens	Jour moyen par sens	Jour ouvrable de base (par sens)	Trafic horaire heures creuses (par sens)	Pointe journalière (2 heures)	Vendredi (sens impair)	Vendredi sens impair 16 h - 20 h	Vendredi (sens pair)
Rhône - Alpes	3 360 000	4 605	4 305	166	1 020	5 955	2 526	5 490
Provence - Côte d'azur	2 316 000	3 180	2 965	114	949	3 905	2 038	2 630
Languedoc	777 000	1 065	990	39	298	1 265	551	1 210
Axe Paris - Lyon	6 453 000	8 850	8 260	319	2 267	11 125	5 115	10 330
Axe Paris - Savoie	1 310 000	1 795	1 615	63	444	2 780	1 695	2 480
Axe Paris - Bourgogne	1 708 000	2 340	2 005	77	498	3 520	2 014	3 200
Total des 3 axes	9 471 000	12 985	11 880	459	3 209	17 425	8 744	16 010

Le trafic global s'élève ainsi à 9,5 millions de voyageurs par an au départ de Paris, soit environ 13 000 par jour et par sens.

A ces 9,5 millions relatifs au trafic de base pourrait sans doute s'adjoindre une partie non négligeable du trafic de superpointe qui représente 2,5 millions de voyageurs ; ce point qui exige des études complémentaires sur le plan de l'exploitation, sera approfondi ultérieurement.

2.8 - Rythmes d'évolution future du trafic

L'application de l'ensemble des modèles de demande utilisés, aux deux années successives 1975 et 1976, fait ressortir sur l'axe Paris - Lyon des taux de croissance "instantanés" :

- de 3,6 % pour le trafic de la ligne nouvelle
- de 10,5 % pour l'ensemble des trafics transférés et induits désignés par "trafic nouveau".

Des projections de l'ensemble du marché de l'axe Paris - Lyon dix et vingt ans après la mise en service ont été ensuite effectuées et on a retenu comme hypothèse moyenne, pour les calculs d'actualisation, les taux moyens de croissance ci-après, pour les 2 décennies consécutives :

- 4,4 % et 2,9 % pour le trafic de la ligne nouvelle
- 6,8 % et 3,4 % pour le trafic nouveau.

Les mêmes hypothèses ont été étendues aux 2 autres axes.

Le trafic global de la ligne s'établirait alors à environ :

- 15 millions de voyageurs en 1986
- 20 millions de voyageurs en 1996

2.9 - Validité des prévisions précédentes

L'ensemble de ces calculs dégage la physionomie des modifications de répartition du marché qu'entraînerait la ligne nouvelle, dans l'hypothèse moyenne.

Sur l'ensemble des relations entre la Région parisienne et le Sud-Est, la part du trafic effectuée par fer, qui était de 59 % en 1967, deviendrait "naturellement" 31,6 % en 1976, mais remonterait à 46,3 % la même année avec la ligne nouvelle.

Entre la Région parisienne et la seule région Rhône - Alpes, l'effet serait plus marqué puisque la part fer descendrait "naturellement" de 53,6 % en 1967 à 29,6 % en 1976 mais remonterait à 58,7 %, la même année avec la ligne nouvelle.

Par ailleurs, l'effet d'induction rapporté au marché global ne dépasserait pas 7,2 % pour l'ensemble des relations entre la Région parisienne et le Sud-Est et 13,7 % pour les relations avec la seule Région Rhône - Alpes.

Enfin, en valeur absolue, le trafic ferroviaire total sur l'axe Paris - Lyon évoluerait comme suit :

- 6,05 millions de voyageurs en 1967
- 5,68 millions de voyageurs en 1976 sans ligne nouvelle
- 8,26 millions de voyageurs en 1976 avec la ligne nouvelle

ce qui dégage un accroissement de 48 % en 1976 et montre que le trafic 1976 avec ligne nouvelle ne serait supérieur que de 36 % au trafic 1967 alors que la demande globale s'accroîtrait "naturellement" de 76 % entre ces deux dates.

Ces chiffres mettent en évidence le caractère très mesuré des hypothèses précédentes.

3 - PROGRAMME D'EXPLOITATION

3.1 - Hypothèses de base

3.11 - L'exploitation est assurée exclusivement par des rames automotrices à très grande vitesse dont l'utilisation n'est pas limitée à la ligne nouvelle mais s'étend aux prolongements.

Le raccordement de Saint-Florentin permet la desserte de la Bourgogne, du Jura et de la Suisse, celui de Mâcon la desserte de la Savoie.

Plusieurs variantes de desserte ont été retenues, correspondant aux axes définis au point 2.11 :

- Paris - Lyon
- Paris - Lyon et Paris - Savoie
- Paris - Lyon, Paris - Savoie et Paris - Bourgogne.

Le tracé de la nouvelle ligne devant passer très près du Creusot, la desserte de cette zone sera assurée suivant des modalités adaptées au faible volume du trafic intéressé.

3.12 - Les rames automotrices utilisées sont décrites au chapitre 5 : rames comprenant deux motrices et huit remorques (M + 8 R + M) et offrant une capacité de 318 places (143 en 1ère classe, 175 en 2ème classe). Le rapport des places est évidemment modulable entre les deux classes ; il n'est pas exclu, pour assurer les pointes de fin de semaine, qu'il ne soit pas plus avantageux de spécialiser certaines rames de caractéristiques identiques mais de répartition différente, le trafic de fin de semaine étant avant tout un trafic de deuxième classe.

3.13 - Le programme d'exploitation a été établi pour permettre d'assurer tout le trafic prévu en 1976 dans l'hypothèse moyenne précisée au point 2.75 sur chacune des relations étudiées.

Les graphiques respectent le profil journalier de la demande.

3.14 - Les coefficients d'occupation retenus pour l'étude sont les suivants:

Heures creuses	:	0,5
Heures de pointe normale	:	0,75
Heures de pointe du vendredi	:	0,85

3.15 - Sur les prolongements, le trafic local continuera à être assuré par trains classiques s'ajoutant aux rames réservées aux dessertes rapides.

3.16 - *Le temps de réutilisation* des rames est généralement de 30 mn sauf à Paris-Lyon où il est de 1 h 30 mn, et à Marseille, Montpellier, Nice où il est d'une heure. Ces temps tiennent compte des évolutions du matériel et pour Paris-Lyon, Marseille, Montpellier et Nice de la nécessité de prévoir l'alimentation en combustible, le nettoyage et les approvisionnements pour la restauration.

3.2 - Performances

3.21 - Les calculs ont été faits avec les hypothèses de vitesse suivantes :

- sur ligne nouvelle : vitesse maximale 260 km/h (en 1ère étape)
- sur lignes actuelles : vitesse maximale permise par la ligne, sans modification d'infrastructure, calculée en utilisant la méthode des *vitesse potentielle* (Programme SYVOP).

Ces horaires pourront être améliorés ultérieurement par l'emploi de rames de puissance installée plus élevée dont la réalisation reste toutefois subordonnée à une nouvelle génération de turbomoteurs.

3.22 - Temps de parcours sur les différentes relations

La carte schématique ci-jointe montre les résultats auxquels on aboutit, comparés aux meilleurs temps actuels, compte tenu d'une marge de régularité de 5 % par rapport à la marche de base, et de durées de stationnement de 1 mn sauf à Lyon où elle est de 5 mn.

On voit qu'un *shunt* inférieur à 400 km permet de renouveler complètement toute la desserte ferroviaire du sud-est mettant Grenoble à 3 h 14 mn de Paris, St-Etienne à 2 h 37 mn, Marseille à 4 h 43 mn, et d'assurer une desserte rapide de la Savoie par Mâcon, de la Bourgogne et d'une partie de la Suisse par St-Florentin.

3.3 - Graphiques de circulation

3.31 - *Les graphiques de circulation* figurent sur les annexes 3A et 3B relatives au "jour ouvrable de base" et au vendredi. Ne sont tracés, pour simplifier la présentation, que les trains de sens impair.

PARIS

POSSIBILITÉS DE RELATIONS RAPIDES ENTRE PARIS ET LE SUD-EST PAR RAMES AUTOMOTRICES À TURBINES À GAZ 1° et 2° Classes

Raccordement terminal

Raccordement de St-FLORENTIN

Raccordement de MÂCON

Raccordement terminal

VERS

ST-ÉTIENNE

LE PUY
via
NEVERS

AVIGNON

NÎMES

MONTPELLIER

BESANÇON

DIJON

DOLE

PONTARLIER

CHALON sur SAÔNE

LAUSANNE

MÂCON

BOURG

GENÈVE

via
LAUSANNE

ANNECY

AIX

CHAMBÉRY

LYON

GRENOBLE

VALENCE

MARSEILLE

LÉGENDE

Temps de parcours futurs depuis PARIS } **2.00** 1° Cl.
Meilleurs temps actuels service d'hiver 1968-1969 } **3.47** 2° Cl.
 } **4.08**

3.32 - On observe que le nombre de dessertes sera considérablement augmenté par rapport à la situation actuelle comme le montre le tableau ci-dessous :

	Nombre de dessertes projetées au départ de Paris	
	Jour ordinaire	vendredi
Paris - Lyon	39	47
Paris - Grenoble	6	7
Paris - St-Etienne	6	7
Paris - Marseille	17	20
Paris - Montpellier	4	5
Paris - Nice	5	6
Paris - Chambéry	5	8
Paris - Genève	3	4
Paris - Dijon	10	15
Paris - Besançon	3	4
Paris - Lausanne	3	4

Ceci est la conséquence normale de la substitution d'une politique de desserte fréquente par rames de faible capacité à la politique actuelle de desserte à larges intervalles et trains de grande capacité.

3.33 - Le tableau ci-après récapitule les caractéristiques principales des dessertes :

Type de desserte:		Axe Paris - Lyon ⁽¹⁾	Axes Paris - Lyon et Paris - Savoie ⁽²⁾	Paris - Lyon Axes Paris - Savoie et Paris - Bourgogne ⁽³⁾
Nombre de trains au départ de Paris	JOB	39	47	57
	VEN	47	59	74
Parcours moyen annuel des rames (10 ³ km)		431	415	381
Nombre de places offertes par jour et par sens	JOB	12 402	14 946	18 126
	VEN	14 946	18 762	23 532
Nombre de places/km offertes par an (en MM)		6,45	7,53	8,48

(1) (Paris - Lyon - St-Etienne - Grenoble - Marseille - Nice et Montpellier)

(2) (Paris - Chambéry - Genève)

(3) (Paris - Dijon - Besançon - Lausanne)

3.34 - La mise en application de ce service entraînera des modifications importantes dans la desserte de la ligne actuelle, qui sera limitée à un service de "cabotage".

3.4 - Roulement des rames - Parc nécessaire

Le nombre total de rames au parc est fonction du nombre de rames en roulement et des immobilisations pour entretien, réserve, réparations accidentelles.

3.41 - Les roulements établis ont permis de déterminer, dans chacune des hypothèses de desserte, le nombre de rames en roulement le jour ouvrable de base et le vendredi.

3.42 - L'entretien périodique est divisé en visites périodiques et en révisions.

- Les visites périodiques en dépôt comportent, comme pour tout le matériel roulant, des visites limitées, des visites générales, des grandes visites générales. Toutes les visites sont terminées le vendredi à 16 h de façon à disposer du maximum de rames le vendredi soir.
- Les révisions sont de deux sortes : révisions limitées tous les 900 000 km, révisions générales tous les 1 800 000 km. Ces révisions, d'une durée de 4 semaines, imposent de prévoir des rames supplémentaires au parc dont le nombre est calculé à partir du parcours moyen annuel.

Les visites périodiques et les réparations accidentelles nécessitent le passage dans un dépôt spécialisé, en principe Villeneuve-St-Georges. L'entretien courant peut être assuré dans les chantiers annexes à aménager dans les faisceaux de remisage existants, par exemple sur la voie 7 du faisceau de Conflans qui sera dotée des fosses de visite nécessaires.

Il est prévu 3 rames de réserve, stationnées respectivement à Paris, Lyon, Marseille.

3.43 - En se basant sur ces données, on arrive ainsi aux résultats suivants pour les différents types de desserte :

	JOB		VENDREDI		Consistance du parc
	Nombre de trains au départ de Paris	Nombre de rames en roulement	Nombre de trains au départ de Paris	Nombre de rames en roulement	
Axe Paris - Lyon	39	35	47	42	47
Axes Paris - Lyon et Paris - Savoie	47	40	59	51	57
Axes Paris - Lyon Paris - Savoie Paris - Bourgogne	57	48	74	64	70

La progression ultérieure du trafic sera couverte par la mise en service de rames de capacité plus grande, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter la fréquence des dessertes et donc la consistance des installations terminales ainsi que le montre l'expérience du Tokaido.

4 - INFRASTRUCTURE ET INSTALLATIONS FIXES

4.1 - Données techniques de base

4.11 - Tracé en plan

- Rayon minimal : 3 200 m, autorisant une vitesse de 300 km/h sans avoir recours à des engins à caisses inclinables. Le tracé étudié pour Paris - Lyon ne comporte que des rayons au moins égaux à 4 000 m, réservant ainsi la possibilité d'une augmentation ultérieure des vitesses.
- Raccordements : par paraboles cubiques. Afin de pouvoir utiliser les méthodes de tracé automatique du Service des autoroutes, elles seront remplacées par des clothoïdes.

4.12 - Profil en long

- Rampe maximale : 35 mm par mètre. Cette rampe correspond sensiblement à la pente naturelle des obstacles importants (forêt d'Othe, abords nord du Morvan, monts du Charolais et du Mâconnais). De ce fait, le tracé peut être très direct et réduire le plus possible le nombre des grands ouvrages.
- Rayon de raccordement : 15 000 m, ce qui à 300 km/h correspond à une accélération verticale de 0,05 g.

4.13 - Profil en travers (annexe 4A)

La voie est composée de rails lourds (60 kg U 80) posés sur traverses mixtes en béton.

Pour éviter un effet de souffle important au croisement des circulations, les études ont montré qu'il était nécessaire de réserver un entr'axe de 4,20 m.

Comme pour les autoroutes, la partie supérieure du terrassement est constituée d'une couche de forme qui isole et évite la pénétration des eaux zénithales. D'autre part, la portance supérieure de cette couche sert d'assise au ballast en pierre cassée dont l'épaisseur est d'au moins 0,35 m.

L'assainissement de la plateforme est à soigner particulièrement pour l'évacuation des eaux de pluie et souterraines. Dans les parties en déblai, des fossés longitudinaux en béton préfabriqué ont été prévus.

4.14 - Ouvrages d'art

La ligne ne comporte aucune traversée à niveau.

Le franchissement des vallées nécessite des ouvrages adaptés à la topographie. Par contre les traversées routières se prêtent très facilement à l'utilisation d'ouvrages-types. C'est ainsi que les passages supérieurs seront du type à trois travées d'une conception voisine de celle des passages supérieurs d'autoroutes. Il sera fait appel au calcul et au dessin automatiques pour l'étude de ces ouvrages. Les techniques de construction en préfabriqué et en béton précontraint seront largement utilisées.

Le gabarit en hauteur des ouvrages a été défini à 5,25 m afin de réserver une électrification éventuelle.

4.15 - Jumelage des infrastructures routières et ferroviaires

Ces normes de tracé sont très voisines de celles adoptées dans les tracés d'autoroutes. Afin d'examiner si ce jumelage est techniquement possible et présente un intérêt économique, un Groupe d'étude des voies ferrées et des autoroutes (GEFAU) a été constitué par le Ministère de l'Équipement.

Le rapport de ce groupe, paru en novembre 1969, précise les conditions techniques du jumelage et notamment les positions relatives des plateformes ferroviaires et autoroutières qui assurent la sécurité des deux types de circulation (annexe 4B).

4.2 - Description sommaire du tracé (annexe 4C)

L'infrastructure nouvelle se sépare de la ligne actuelle Paris - Lyon (au km 27) au sud de la gare de Combs-la-Ville au moment où la zone d'urbanisation continue de la banlieue parisienne cesse brusquement pour faire place à la plaine cultivée de la Brie.

Les projets du District de la Région parisienne prévoient une occupation intense de cette région (extension de Combs-la-Ville, ville nouvelle de Lieusaint-Tigery, zone industrielle de Moissy-Cramayel, extension de l'aérodrome de Melun-Villaroche, couloir des lignes EDF) et une coordination très étroite s'impose. C'est pourquoi, il est envisagé de créer un jumelage entre la ligne nouvelle et l'autoroute A5, de la région de Combs-la-Ville jusqu'au sud de Montereau, afin de ne créer qu'une seule coupure dans cette région.

Après avoir contourné Melun au Nord, la ligne traverse le plateau boisé dominant la rive droite de la Seine et franchit celle-ci au nord-est de Montereau. Elle longe ensuite le cours de l'Yonne sur sa rive droite, jusqu'à la vallée de la Vanne (km 85), après être passée à proximité de Sens (km 80).

Après la Vanne, la ligne projetée franchit le massif boisé de la forêt d'Othe qui présente un relief assez accentué sur ses bords, justifiant l'utilisation de la rampe maximale de 35 mm/m.

Un raccordement est prévu en amont de la gare de St-Florentin; il permet à la ligne nouvelle des échanges dans le sens Paris - Dijon et inversement.

A partir du km 215, et sur cinquante kilomètres, la ligne projetée franchit un réseau de vallées transversales, appartenant au bassin de la Loire : celles du Liernais, de l'Arroux, de la Drée et enfin de la Dheune. Ces vallées étroites, séparées par des collines au relief assez dur et dont les pentes ont jusqu'à 40 % d'inclinaison, nécessiteront le recours aux caractéristiques minimales du tracé.

La ligne contourne Mâcon par le Sud et franchit l'autoroute A6 ainsi que la ligne Paris - Lyon actuelle.

Elle franchit la Saône pour se raccorder à la ligne Mâcon - Bourg permettant ainsi la desserte de la Savoie et de Genève.

Pour l'arrivée à Lyon, deux variantes sont envisagées :

La première, dénommée "Rive droite", longe la rive droite de la Saône en jumelage avec l'autoroute A6 jusqu'à Anse, puis la ligne Paris - Lyon actuelle, d'Anse à Saint-Germain-au-Mont-d'Or où elle se raccorde aux voies existantes.

La deuxième, dénommée "Rive gauche", utilise le pont sur la Saône du raccordement de la ligne de Bourg et descend le long de la rive gauche de la Saône à la limite des Dombes. Le raccordement avec la ligne Lyon - Bourg s'effectue à Sathonay.

Les éléments des tracés sont résumés ci-après :

	Variante rive droite	Variante rive gauche
a) Abords de Paris origine Ligne actuelle empruntée jusqu'à	Gare de PARIS-SUD-EST COMBS-la-VILLE (PK 27)	
b) Ligne à construire	373 km	381 km
c) Abords de Lyon Raccordement à la ligne existante Ligne actuelle empruntée sur	St-GERMAIN-au-MONT-d'OR 23 km	SATHONAY 8 km
d) Longueur totale de la ligne Paris - Lyon	423 km	416 km

4.3 - Installations de sécurité et de contrôle de la circulation

Les équipements de sécurité et de contrôle de la circulation dont sera dotée la ligne nouvelle permettront la circulation à 300 km/h de trains qui pourront se succéder à 5 mn d'intervalle.

L'ensemble du système doit assurer deux fonctions différentes:

- La sécurité : espacement entre trains de même sens, immobilisation et protection des aiguilles, interdiction d'itinéraires sécants et convergents, protection des obstacles.

- La circulation : télécommande des itinéraires, du réchauffage des aiguilles, des autorisations de manoeuvre ...; télécontrôle de certaines fonctions (position des aiguilles, état des signaux, occupation des zones isolées) ; dispositifs de liaison régulateur-mécanicien...

Pour la signalisation, les dispositions suivantes sont retenues :

- La voie est découpée en cantons fixes de longueur sensiblement constante; les informations sont transmises de façon continue par l'intermédiaire de la voie.
- L'arrêt se fait sur 4 cantons, de 3 000 m de longueur environ, dans les zones en palier.
- Les informations de sécurité sont visualisées en clair dans la cabine de conduite.

4.4 - Estimation des coûts de construction

Les éléments de base des estimations sont les suivants :

- Bordereau de prix établi par le Service d'Etudes Techniques des Routes et des Autoroutes (SETRA) et mis au point dans le cadre du Groupe GEFAU. Ce bordereau a été utilisé pour l'évaluation des dépenses d'acquisition, de terrassement, d'assainissement, de clôture et de voirie.
- Bordereau de prix établi par la S.N.C.F. à partir de ses séries pour projets. Ce bordereau a servi à l'évaluation des dépenses de voie, d'ouvrages d'art, d'installations de sécurité, de télécommunications, de bâtiments.

La décomposition des coûts par poste est la suivante :

Objet des dépenses	Prix hors taxes et hors frais généraux en MF (1er janvier 1969)
0) Acquisitions	81
1) Voie et ballastage	242
2) a) Terrassements	
- terrassements généraux	254
- voiries traversées	40,1
- couche de forme	30,4
b) Assainissement	58,4
c) Clôtures	8,1
3) Ouvrages d'Art	264
4) Installations de sécurité	50,6
5) Télécommunications	19,5
6) a) Bâtiments	7,4
b) Chaussées des voiries traversées	30,5
7) Raccordements de St-Florentin et Maçon	16
Coût total	1 102 MF

Les études du Groupe GEFAU ont montré que, par comparaison avec des prix constatés d'autoroutes, le prix moyen d'une ligne ferroviaire à très grande vitesse est de 2,3 MF le km au 1er janvier 1969, hors taxes et hors frais généraux. Le prix de la ligne Paris - Lyon (2,80 MF/km) est supérieur à ce chiffre car il correspond à un parcours accidenté (traversée du Morvan). Il est par ailleurs intéressant de citer la conclusion du rapport GEFAU relative à la question des estimations des lignes ferroviaires nouvelles : *"Les estimations établies par la S.N.C.F. semblent donner avec une bonne approximation l'ordre de grandeur des dépenses à attendre de la construction de lignes nouvelles ferroviaires à très grande vitesse"*.

4.5 - Installations terminales

Les installations terminales existantes sont suffisantes pour écouler le trafic prévu lors de la mise en service de la ligne, tout en tenant compte de l'augmentation du trafic banlieue. L'augmentation de la capacité unitaire des rames permettra de faire face pendant une longue période à la croissance ultérieure du trafic, sans modifier de façon sensible la fréquence déjà retenue pour les différentes dessertes.

L'entretien des rames sera assuré dans l'actuel dépôt de Villeneuve-Saint-Georges, moyennant un aménagement des voies d'accès, dont le coût est de l'ordre de 7 MF.

L'installation de stations-service pour le ravitaillement, le remisage, le lavage des rames est à prévoir à Paris-Lyon et à Marseille. Le coût de l'installation à Paris-Lyon est de l'ordre de 2,6 MF.

A Lyon, se pose le problème du choix de la gare principale voyageurs. Dans l'état actuel des études, les deux variantes ménagent la possibilité d'accéder en premier lieu à l'une ou l'autre des gares existantes, Perrache et Brotteaux, et de les desservir toutes les deux.

5 - MATÉRIELS ROULANTS

5.1 - Définition

La définition des matériels roulants dépend d'un grand nombre de facteurs ayant entre eux de multiples interactions : niveau et structure de la demande voyageurs, caractéristiques techniques de la ligne, possibilités des matériels, qualité de service recherchée...

Les principaux éléments de définition intéressent :

- La vitesse maximale.

Pour satisfaire au programme retenu - Paris - Lyon en 2 heures en première étape - une vitesse maximale de 260 km/h est suffisante.

- La source d'énergie et la puissance installée.

L'apparition, dans le domaine ferroviaire, de la turbine à gaz de conception aéronautique apporte des possibilités nouvelles très intéressantes en matière d'allègement et de puissance massique. Comme l'a montré l'élément expérimental à turbine à gaz de la S.N.C.F. - qui a franchi sans incident le cap des 180 000 km, soit 1 200 h de fonctionnement de la turbine - le turbomoteur TURMO III convient bien pour les rames automotrices à très grande vitesse de capacité moyenne.

La traction électrique ne saurait évidemment être écartée des solutions possibles. Ce système de traction était le seul qui, avant l'apparition de la turbine, permettait de disposer de la puissance nécessaire aux grandes vitesses. Les essais en cours jusqu'à des vitesses de 260 à 280 km/h entre Strasbourg et Mulhouse dans une zone où la caténaire a été mise à hauteur constante laissent présager que le captage du courant peut être réalisé dans de bonnes conditions aux très grandes vitesses.

- La compatibilité avec les infrastructures existantes.

L'utilisation des rames sur les lignes existantes impose certaines sujétions de respect du gabarit, de passage sur les appareils de voie, de freinage.

5.2 - Caractéristiques principales

Après avoir étudié plusieurs variantes, les études ont été finalement menées dans l'hypothèse d'une rame ayant les caractéristiques suivantes :

Composition	$M^{(1)} + 8 R^{(2)} + M$
Puissance installée	3 760 kW ⁽³⁾
Vitesse maximale	260 km/h
Capacité (1ère et 2ème classes)	318 places

Le diagramme des rames M + 8 R + M est donné en annexe 5.

Les performances réalisables avec ce type de rame sont celles qui ont été indiquées au chapitre 3 "Programme d'exploitation". Les temps de parcours sur les prolongements ont été calculés en partant des vitesses potentielles de ces lignes. La mise en service éventuelle ultérieure de rames à caisses inclinables permettrait encore d'améliorer ces temps.

Il est possible d'envisager plusieurs variantes pour la composition des rames, grâce à l'adjonction de motrices supplémentaires, à l'augmentation de la puissance des turbines, ou à l'adoption de la traction électrique. La réalisation de rames offrant 600 places et même davantage n'est pas à écarter.

5.3 - Dispositions techniques particulières

5.3.1 - Conception et aménagement des caisses

L'aménagement de chaque caisse comprend :

- en 1ère classe : 37 places assises en rangées de 3 (sauf aux extrémités) du type TEE avec couloir central de 600 mm.
- en 2ème classe : 56 places assises en rangées de 4 places de front.

A chaque extrémité, des doubles portes font communiquer le compartiment-voyageurs avec les plateformes où sont situées deux armoires de climatisation sur l'une, deux WC de type chimique et un compartiment à bagages sur l'autre.

L'appareillage électrique et pneumatique est logé sous la caisse dans un carénage ventilé par une dérivation d'air climatisé. L'insonorisation est particulièrement poussée (moquette, baies à double glace avec stores incorporés et montées "flottantes").

(1) M = Motrice d'extrémité avec turbo-alternateur

(2) R = Caisse intermédiaire

(3) 4 turbomoteurs TURMO III F réglés à 940 kW

La solution retenue pour la restauration est celle du plateau type "avion", servi à la place et comportant un plat chaud. Une remorque est réservée pour le bar, la préparation et le stockage des plateaux repas.

5.32 - Partie thermique

Il est prévu d'équiper chacune des deux motrices avec un groupe "bi Turmo". La recherche d'un système aussi compact et léger que possible aboutit à la constitution d'un groupe turbo-alternateur constitué par deux turbomoteurs TURMO III et un alternateur rapide. Les trois machines forment un bloc, un réducteur commun aux deux turbomoteurs assurant les liaisons mécaniques.

5.33 - Transmission de puissance

La transmission électrique, du type maintenant classique "triphase-continu", a été retenue à cause de sa grande souplesse d'utilisation et de la possibilité de mise en oeuvre d'un freinage rhéostatique.

L'alternateur principal est dimensionné pour 2 250 kW sur l'arbre, correspondant côté électrique, après redressement, aux grandeurs nominales suivantes 750 V - 2900 A. L'alternateur auxiliaire dimensionné pour 250 kW sur l'arbre, est calé sur le même arbre que l'alternateur principal qui tourne à la vitesse constante de 4 000 tr/mm, ce qui correspond à des fréquences de 400 Hz sur le réseau triphasé auxiliaire et de 200 Hz sur le réseau principal.

La fréquence unifiée de 400 Hz a été choisie pour l'allègement qu'elle procure dans la construction des moteurs auxiliaires. A titre d'exemple, le système de climatisation utilisé nécessite des moteurs de 44 kW dont la masse sera de 70 kg environ alors qu'il faudrait quelques 250 kg pour un moteur 50 Hz. La puissance unitaire des moteurs de traction est de 310 kW.

5.34 - Freinage

5.341 - L'équipement de freinage comprend les systèmes suivants sur tous les bogies :

- frein pneumatique.

Le frein à sabots comporte une double semelle en fonte par roue, appliquée par un bloc de freinage hydraulique exerçant aux vitesses très élevées un effort volontairement très limité et aux vitesses plus basses un effort de freinage convenablement dosé.

- frein électrique rhéostatique.

Les rames sont divisées en deux demi-rames dont les équipements de freinage sont indépendants ; chaque motrice comporte un rhéostat sur lequel débitent les moteurs de traction de chaque demi-rame lorsqu'ils sont utilisés en freinage rhéostatique. Trois paliers d'effort retardateur sont prévus, répartis approximativement par tiers entre le freinage nul et le freinage maximal.

- frein électromagnétique.

Les patins de frein électromagnétique agissent par tout ou rien et entrent en action lorsque la dépression dans la conduite générale dépasse 2,2 kg/cm².

- frein à courants de Foucault.

Ce type de frein rotatif du type TELMA est monté en bout d'arbre des moteurs de traction et alimenté par batterie. Il comporte deux paliers d'effort retardateur, l'un correspond à la demi-excitation, l'autre à la pleine excitation du frein.

L'installation des freins est complétée par un dispositif anti-enrayeur électronique qui agit par réduction des efforts de retenue.

5.342 - La commande du freinage est automatique

Selon qu'il s'agit d'un freinage de service ou d'urgence, deux régimes sont utilisés :

- freinage de service : utilisation, depuis la vitesse maximale du freinage rhéostatique (sur cran intermédiaire); du frein TELMA (demi-excitation) et, au-dessous de 120 km/h, du frein pneumatique (pression réduite).
- freinage d'urgence : utilisation, depuis la vitesse maximale du freinage rhéostatique (effort max.), du frein TELMA (demi-excitation) et du frein électromagnétique. Le frein pneumatique est enclenché à 180 km/h, avec pleine pression d'application.

La pleine excitation du frein TELMA est utilisée en cas de défaillance du freinage rhéostatique (défaillance qui n'affecte qu'une demi-rame).

5.343 - Les principales performances de freinage sont les suivantes, en freinage d'urgence :

Vitesse initiale	Distance d'arrêt
300 km/h	4 650 m
260 km/h	3 350 m
200 km/h	1 500 m
180 km/h	1 250 m
160 km/h	1 000 m

Les conditions actuelles de circulation sur les lignes du réseau existant sont en outre respectées.

6 - CALCUL DES COÛTS

6.1 - Schéma général

Le schéma général de calcul des coûts relatifs au programme d'exploitation défini au chapitre 3 consiste à analyser successivement :

- les coûts directs d'exploitation,
- les frais commerciaux et terminaux indépendant des parcours des voyageurs ou des rames,
- les frais généraux d'exploitation,
- les coûts fixes relatifs à l'infrastructure.

Le taux d'intérêt a été pris égal à 10 %. Le niveau de prix de référence est celui de janvier 1969. Enfin, tous les calculs ont été effectués TVA exclue.

6.2 - Coûts directs d'exploitation

6.21 - Définition

Les coûts analysés dans le présent chapitre comprennent ceux liés au matériel et à son exploitation, soit :

- les charges de capital,
- les coûts d'énergie,
- les coûts d'entretien,
- les frais de personnel de bord.

Ils excluent :

- la restauration (personnel et vivres),
- l'exploitation technique des gares terminales,
- la "commercialisation" du transport (vente de billets, renseignements..).

6.22 - Coûts d'acquisition des rames

Au niveau des prix au 1er janvier 1969, le coût d'acquisition d'une rame M + 8 R + M est de 9,40 MF, soit un investissement total pour le matériel roulant (70 rames) de 658 MF, pris en compte dans les coûts d'exploitation sous forme de charges d'amortissement et d'intérêt.

6.23 - Coûts d'exploitation des rames

Ils se décomposent en :

- coûts "fixes" annuels regroupant :
 - les charges d'amortissement et d'intérêt,
 - les dépenses annuelles d'entretien indépendantes de l'utilisation.

- coûts directement liés au kilométrage parcouru, comprenant :
 - la consommation d'énergie
 - les termes relatifs à l'entretien
 - les coûts partiels d'entretien et de renouvellement de l'infrastructure, proportionnels au trafic.
- coûts relatifs au personnel de conduite et d'accompagnement des rames.

6.231 - Coûts fixes annuels par rame

Outre les charges de capital, parmi lesquelles on fera ressortir celles relatives aux turbines, ces coûts fixes incorporent les charges d'entretien des châssis et des caisses et les coûts annuels relatifs aux appareillages de bord liés :

- à la signalisation de cabine,
- aux dispositifs de freinage automatique,
- aux liaisons avec le poste de commande centralisée.

Ils sont rassemblés dans le tableau suivant :

Entretien fixe	390
Charges de capital liées aux turbines	268
Autres charges de capital	957
Total (en milliers de F.)	1 615

6.232 - Coûts kilométriques liés à l'utilisation

Chacun des postes de ces coûts, ramené à la rame-kilomètre, varie avec la vitesse moyenne de la rame, selon une loi qui lui est propre :

- l'énergie de traction et l'entretien des turbines supposé proportionnel varient sensiblement comme le carré de la vitesse moyenne,
- l'énergie des auxiliaires, l'entretien des transmissions mécaniques et électriques des motrices et des compartiments voyageurs (aménagements et appareillages) varient de façon inversement proportionnelle à la vitesse moyenne.
- l'entretien des organes de roulement est supposé varier selon une loi moyenne entre une loi de proportionnalité et une loi quadratique.
- l'entretien des moteurs électriques et le coût partiel d'infrastructure sont présumés indépendants de la vitesse.

Le coût partiel kilométrique moyen dépend donc de la vitesse moyenne pratiquée et diffère sur infrastructure nouvelle et sur les divers tronçons des lignes existantes.

Sections de ligne	Coûts kilométriques par rame (en centimes)
Ligne nouvelle	554,0
Lyon - Grenoble	483,0
Lyon - St-Etienne	491,0
Lyon - Marseille	455,9
Lyon - Montpellier	469,4
Mâcon - Chambéry	481,7
Mâcon - Genève	485,7
St-Florentin - Dijon	467,5
Dijon - Besançon	471,0
Dijon - Lausanne	502,3

6.233 - Coûts de conduite et d'accompagnement

Ils sont calculés en fonction du programme de desserte de chaque axe qui permet de fixer l'effectif du personnel nécessaire et d'en déduire un coût kilométrique moyen.

L'équipement des rames est prévu comme suit :

- 1 conducteur,
- 1 technicien de bord,
- 1 chef de bord exploitation,
- 2 hôtesses.

6.24 - Récapitulation et synthèse

6.241 - Coûts et prestations annuelles

Coûts unitaires par rame-km et par place-km offerte.

La récapitulation des éléments qui viennent d'être analysés conduit aux coûts directs d'exploitation. Le tableau ci-dessous donne, pour chacun des axes Paris - Lyon, Paris - Savoie et Paris - Bourgogne, et pour l'ensemble du programme d'exploitation :

- les coûts globaux annuels,
- les prestations d'exploitation auxquelles correspondent ces coûts,
- les coûts par rame-km et par place-km offerte.

		Axe Paris - Lyon	Axe Paris - Savoie	Axe Paris - Bourgogne	Ensemble
Coûts globaux annuels (en millions de francs)	Charges de capital	57,57	12,25	15,92	85,74
	Energie	29,82	5,18	4,01	39,01
	Entretien	93,89	16,91	16,15	126,95
	Personnel de bord	15,15	2,57	2,57	20,29
	Total	196,43	36,91	38,65	271,99
Prestations annuelles d'exploitation	Nombre de rames au parc	47	10	13	70
	Nombre de rames-km (en millions/an)	20,27	3,41	2,98	26,66
	Nombre de places-km offertes (en milliards)	6,45	1,08	0,95	8,48
Productivité du matériel	Parcours moyen annuel par rame (en milliers de km)	431	341	229	381
	Nombre moyen annuel d'heures d'utilisation	2 510	1 990	1 540	2 250
	Kilométrage parcouru par heure d'utilisation	171,5	171	149	169
Coûts unitaires	Coûts d'exploitation par rame-km (en centimes)	969,1	1 082,4	1 297,0	1 020,2
	Coûts d'exploitation par place-km offerte (en centimes)	3,048	3,404	4,079	3,208

En pourcentage, la décomposition des coûts directs, pour l'ensemble de la desserte envisagée, est la suivante :

Charges de capital	: 31,5 %
Energie	: 14,3 %
Entretien	: 46,7 %
Personnel de bord	: 7,5 %

6.242 - Coefficient de remplissage

Un coefficient de remplissage moyen a été calculé à partir des hypothèses suivantes :

- 0,50 en heures creuses,
- 0,75 en heures de pointe du jour ouvrable de base,
- 0,85 le vendredi de 16 à 20 h.

Il s'agit d'un coefficient de remplissage commercial qui ménage une marge de sécurité suffisante, compte tenu du caractère aléatoire du niveau de la demande un jour donné.

Ces hypothèses conduisent aux valeurs moyennes suivantes :

- jour ouvrable de base : 62 %
- vendredi et dimanche : 70,5 %
- moyenne générale : 64,5 %

Ces chiffres qui ne s'appliquent rigoureusement qu'à l'axe Paris - Lyon (environ les trois quarts du trafic total) ont été retenus pour l'ensemble de l'étude.

6.243 - Coûts par voyageur-km

A partir des coûts globaux annuels des trois axes le coût par voyageur-km a été calculé en retenant le même coefficient moyen d'utilisation. Ceci conduit à un coût moyen pondéré pour l'ensemble des deux classes, basé sur un pourcentage 1ère classe égal à 45 % qui ne correspond strictement à la demande que sur l'axe Paris - Lyon. En fait, les coûts par voyageur-km différenciés par classe sont indépendants de la répartition entre les deux classes ; ils sont dans le rapport de 56 à 37 (nombres respectifs de places dans une remorque en 2ème et en 1ère classes) et s'obtiennent en multipliant le coût moyen pondéré par 1,229 pour le coût par voyageur-km en 1ère classe, 0,812 pour le coût par voyageur-km en 2ème classe.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous ; les coûts directs d'exploitation par voyageur-km étant exprimés en centimes.

	Axe Paris - Lyon	Axe Paris - Savoie	Axe Paris - Bourgogne	Ensemble
Nombre de voyageurs-km (en milliards/an)	4,16	0,70	0,61	5,47
Coût moyen pondéré	4,72	5,28	6,32	4,97
Coût 1ère classe	5,80	6,49	7,77	6,11
Coût 2ème classe	3,83	4,29	5,13	4,04

Les coûts au voyageur-km sont par ailleurs très sensibles à la norme retenue en matière de confort. C'est ainsi que, si on ne réservait aucun espace pour la restauration et si on adoptait les normes spatiales de la Caravelle classe touriste, les coûts par voyageur-km s'établiraient à un niveau encore inférieur de 23,5 % au coût de 2ème classe.

6.3 - Coûts totaux d'exploitation

6.31 - Autres éléments à prendre en compte

Ils concernent :

- les frais généraux estimés à 12 % des dépenses d'exploitation et d'entretien (à l'exclusion des charges de capital),
- les frais commerciaux et terminaux regroupant notamment les frais de gare et les frais de vente. Ils ont fait l'objet d'une estimation forfaitaire soit 5,60 F par voyage simple, frais généraux inclus.

En les ajoutant aux coûts directs, on obtient ainsi les coûts totaux d'exploitation, hors taxes, qui seront directement comparables aux recettes ou aux tarifs possibles, atténués également de la TVA.

6.32 - Coûts totaux d'exploitation par voyageur-km

La seule incorporation des frais généraux aux coûts directs conduit aux résultats ci-dessous (en centimes/vk).

		Axe Paris - Lyon	Axe Paris - Savoie	Axe Paris - Bourgogne
Coûts directs d'exploitation frais généraux inclus.	1ère cl.	6,19	6,92	8,21
	2ème cl.	4,09	4,57	5,42

La pondération des coûts ci-dessus, en utilisant, cette fois, les taux de répartition par classe qui ressortent de l'analyse de la demande, (point 2.72) et l'adjonction des frais commerciaux et terminaux (compte tenu des distances moyennes respectives sur les trois axes) conduisent aux coûts totaux d'exploitation suivants (en centimes/vk) :

	Axe Paris - Lyon	Axe Paris - Savoie	Axe Paris - Bourgogne
Coûts directs pondérés	5,04	5,27	6,36
Frais commerciaux et terminaux	0,95	1,08	1,60
Coûts totaux d'exploitation	5,99	6,35	7,96

6.4 - Coûts d'infrastructure

6.41 - Schéma de calcul

Les coûts d'infrastructure se décomposent en charges de capital et coûts d'entretien.

Le calcul des charges de capital a été effectué à partir des estimations détaillées au chapitre 4 en décomposant le capital investi en deux parts : renouvelable et non renouvelable.

Les charges liées au capital renouvelable sont elles-mêmes décomposées en une partie indépendante du niveau du trafic et une partie variant proportionnellement avec celui-ci, déduite des lois de variation des périodicités de renouvellement en fonction du trafic.

Les charges d'entretien se partagent également en charges fixes et charges variables.

Les charges variables d'entretien et de renouvellement ont été incorporées aux coûts directs d'exploitation : elles représentent 1,167 francs/1 000 tkb.

Les charges fixes d'entretien et de renouvellement représentent, 69 500 francs par an et par kilomètre de ligne nouvelle- frais généraux exclus -soit, après incorporation de ces derniers (12 %), 77 800 F/an/km.

6.42 - Décomposition du capital investi

Les calculs ont été effectués sans supplément pour piste routière ou pour réservation d'une électrification éventuelle, mais en comprenant le coût des raccordements de St-Florentin et Mâcon.

Les dépenses brutes s'élèvent à 1 102 MF ; en y ajoutant les intérêts intercalaires (19,4 %), les frais généraux de construction (estimés à 6 %) et le supplément de dépenses d'entretien des premières années par rapport au régime permanent, on aboutit au total suivant :

- Dépenses brutes	1 102
- Intérêts intercalaires	213,8
- Frais généraux	78,9
- Surcroît initial d'entretien	15,4
Total :	<u>1 410,1 MF</u>

La part renouvelable dans ce total s'élève à 163,2 MF au total, dont :

- 117,4 MF pour la voie,
- 45,8 MF pour les installations de sécurité.

Le capital "non renouvelable" représente donc 1 247 MF.

6.43 - Coûts fixes actualisés

La valeur actualisée des coûts fixes relatifs à la ligne nouvelle comprend :

- la valeur du capital non renouvelable soit 1 247 MF,
- la valeur actualisée des coûts fixes d'entretien et de renouvellement qui représentent annuellement 29,6 MF.

Les calculs ont été effectués dans deux hypothèses de période d'actualisation : 20 ans et 40 ans.

Période d'actualisation	20 ans	40 ans
Capital non renouvelable	1 247	1 247
Coûts fixes d'entretien et de renouvellement actualisés	252	290
Valeur actualisée totale	1 499	1 537

6.44 - Coûts par unité de trafic

En 1976, le nombre de voyageurs-km sur la seule ligne nouvelle est calculé dans le tableau ci-dessous :

	Nombre de voyageurs (en millions/an)	Distance parcourue sur la ligne nouvelle (en km)	Nombre de voyageurs-km sur la ligne nouvelle (en millions/an)
Axe Paris - Lyon	6,45	381	2 460
Axe Paris - Savoie	1,31	345	452
Axe Paris - Bourgogne	1,71	116	198
Total	9,47	328 (moyenne)	3 110

Compte tenu de l'hypothèse de croissance moyenne du trafic qui a été retenue au point 2.7, complétée par l'hypothèse purement théorique d'une stagnation au-delà de 20 ans, on a déterminé un coût par unité de trafic, constant en valeur moyenne actualisée.

Sur ces bases, la charge relative à l'exercice 1976 et le coût unitaire par voyageur/km qui en découle s'établissent comme suit :

Période d'actualisation	20 ans	40 ans
Valeur actualisée totale (MF)	1 499,	1 537
Somme actualisée des volumes de trafic en prenant 1976 pour unité	11,88	14,35
Charges de l'exercice 1976 (MF)	126,1	107,1
Coût unitaire par voyageur/km (en centimes)	4,06	3,44

6.5 - Synthèse générale des coûts

L'adjonction des coûts unitaires d'exploitation et d'infrastructure calculés ci-dessus fait ressortir les coûts totaux suivants, dans l'hypothèse 40 ans, sur la seule ligne nouvelle :

Axe Paris - Lyon	9,43 c/vk
Axe Paris - Savoie	9,79 c/vk
Axe Paris - Bourgogne	11,40 c/vk

Remarques :

- 1 - Le coût d'infrastructure utilisé dans ce calcul résulte d'une imputation au prorata des voyageurs-km, alors que les péages pourront être nuancés selon d'autres considérations.
- 2 - L'ensemble des calculs précédents a été effectué en retenant un taux d'intérêt de 10 % ; l'abaissement du taux de 10 % à 8 % entraînerait :
 - une réduction des coûts directs d'exploitation d'environ 2,8 % ,
 - une réduction des charges d'infrastructure d'environ 18,5 % .

Le coût total par voyageur-km serait ainsi abaissé par exemple sur l'axe Paris - Lyon de 9,43 centimes à 8,65 centimes, soit une diminution de 8,3 %.

1. Introduction

The purpose of this study is to investigate the effects of various factors on the performance of a system. The study is divided into several sections, each focusing on a different aspect of the system's performance. The first section discusses the overall system architecture and the various components that make up the system. The second section focuses on the performance of the system under different conditions, and the third section discusses the results of the study and the implications for future research.

The study is organized as follows: Section 2 describes the system architecture and the various components that make up the system. Section 3 discusses the performance of the system under different conditions, and Section 4 discusses the results of the study and the implications for future research.

The system architecture is based on a modular design, which allows for the easy addition and removal of components. The system is designed to be scalable, and can handle a large number of users simultaneously. The system is also designed to be secure, and can protect sensitive data from unauthorized access.

The performance of the system is measured in terms of response time, throughput, and resource utilization.

The results of the study show that the system performs well under a variety of conditions. The response time is low, and the throughput is high. The system is also able to handle a large number of users simultaneously, and can protect sensitive data from unauthorized access.

Conclusion

The study has shown that the system performs well under a variety of conditions. The response time is low, and the throughput is high. The system is also able to handle a large number of users simultaneously, and can protect sensitive data from unauthorized access. The study has also identified several areas for future research, including the need to improve the system's security and to optimize its performance under different conditions.

7.- RENTABILITÉ

Sur la base des hypothèses précédentes, il s'agit maintenant de dégager les premiers ordres de grandeur relatifs à la rentabilité de la ligne nouvelle.

On examinera successivement :

- le surplus financier pour la S.N.C.F.,
- le surplus des différentes catégories d'usagers intéressés,
- les surplus des exploitations en concurrence avec la ligne nouvelle,
- la rentabilité d'ensemble pour la collectivité.

Les calculs doivent traduire les avantages de la seule ligne nouvelle, et non ceux de la desserte nouvelle, qui inclut les prolongements.

En particulier :

- on a limité la comparaison des coûts d'exploitation relatifs au trafic reporté aux seuls parcours entre Paris - Lyon,
- dans le calcul du surplus des usagers, on n'a compté comme gain de temps pour le trafic reporté que celui réalisé entre Paris et Lyon.

Cette méthode n'est pas absolument rigoureuse pour le calcul du surplus financier. En effet les gains de trafic sont partiellement liés à l'amélioration de la desserte sur les prolongements ; mais elle permet une approximation admissible.

7.1 - Surplus financier pour la S.N.C.F.

7.11 - Schéma général

On a comparé :

- la situation sans ligne nouvelle, dite situation de référence,
- la situation avec ligne nouvelle.

Cette analyse a été conduite de façon différentielle : on a calculé les avantages annuels procurés par la ligne nouvelle par rapport à la situation de référence, ces avantages étant ensuite comparés à l'investissement (ou aux charges qui en sont l'expression) représenté par la ligne nouvelle.

Les charges "fixes" relatives à la ligne existante ne jouent aucun rôle, puisqu'elles doivent être supportées en tout état de cause. Il en est de même du bénéfice brut relatif au trafic antérieur, qu'il soit reporté sur la ligne nouvelle ou qu'il reste sur la ligne actuelle.

Par ailleurs, il convient de noter que l'investissement en matériel roulant, qui se substitue partiellement à un renouvellement à l'identique, est incorporé dans les coûts d'exploitation sous forme de charge de capital.

7.111 - Bénéfice brut d'exploitation procuré par le trafic "nouveau" (transféré des autres modes et induit).

En toute rigueur, puisque le bilan effectué est limité à la ligne nouvelle, il faudrait prendre en compte comme phénomènes de transfert ou d'induction ceux qui résulteraient de la seule diminution du temps de trajet entre Paris et Lyon ; eu égard au caractère assez marginal des gains de temps sur les prolongements vis-à-vis du gain principal, l'accroissement de bénéfice brut correspondant à la totalité du trafic nouveau a été retenu comme un avantage relatif à la seule ligne nouvelle.

7.112 - Economies d'exploitation relatives au trafic reporté de la ligne actuelle sur la ligne nouvelle.

Au stade actuel des études, en raison du poids relativement secondaire de cet élément, on a utilisé une estimation approchée tenant notamment compte des différences de vitesse et de distance.

7.113 - Incidences sur le trafic marchandises

L'acheminement du trafic marchandises, du fait de l'allègement très important de trafic dont bénéficiera la ligne actuelle, verra ses coûts notablement diminués et la qualité du service augmentée pour deux raisons principales :

- les délais d'acheminement sur la ligne Paris - Lyon seront améliorés (réduction du nombre et de la durée des garages ou des attentes au départ),
- la capacité supplémentaire dégagée sera utilisée pour éviter de recourir à des itinéraires de détournement au fur et à mesure de l'accroissement prévisible du trafic.

Ces avantages n'ont pas été chiffrés pour l'instant.

7.114 - Suppression d'installations

Enfin il paraît possible d'envisager une réduction de la consistance des installations sur la ligne actuelle Paris - Lyon, notamment sur le tronçon à 4 voies de Melun à St-Florentin, ou sur des itinéraires parallèles. Ceci n'a pas été chiffré.

7.12 - Résultats

7.121 - Bénéfice brut d'exploitation procuré par le trafic nouveau.

Ce bénéfice se calcule en retranchant des recettes du trafic, les coûts totaux d'exploitation évalués au point 6.3.

Les recettes moyennes en voyageurs-km ont été calculées par classe sur l'axe Paris - Lyon ; (hors TVA, 1.01.1969) les mêmes valeurs moyennes ont été utilisées pour l'ensemble des 3 axes et s'établissent comme suit :

	1ère cl.	2ème cl.
Produit du tarif kilométrique	10,44	6,61
Produit des suppléments	0,91	0,39
Produit total (article 20bis exclu)	11,35	7,00
Produit de l'article 20bis	1,64	1,34
Produit total (article 20bis inclus)	12,99	8,34

Comme l'hypothèse tarifaire de référence est le maintien du niveau du produit moyen de bout en bout, les recettes moyennes par voyageur nouveau sont obtenues en effectuant le produit de ce taux par les distances moyennes comptées selon le tracé de l'infrastructure actuelle. Elles s'établissent comme suit :

Recettes moyennes par voyageur nouveau	Axe Paris - Lyon		Axe Paris - Savoie		Axe Paris - Bourgogne	
	1 cl.	2 cl.	1 cl.	2 cl.	1 cl.	2 cl.
y compris 20bis	78,07	62,22	77,42	49,71	45,47	29,19
dont 20bis	9,86	10,00	9,77	7,99	5,74	4,69
20bis exclu	68,21	52,22	67,65	41,72	39,73	24,50

Sur ces bases, le bénéfice brut s'établit comme suit :

	Axe Paris - Lyon			Axe Paris - Savoie			Axe Paris - Bourgogne			Total
	1ère cl.	2ème cl.	Total	1ère cl.	2ème cl.	Total	1ère cl.	2ème cl.	Total	
Nombre de voyageurs nouveaux (en milliers/an)	1 855	727	2 582	175	235	410	186	207	393	3 385
Recettes correspondantes y compris 20bis (MF/an)	144,8	45,2	190,0	13,5	11,7	25,2	8,5	6,0	14,5	229,7
Nombre de vk sur la ligne nouvelle (en millions par an)	797	313	1 110	65,2	87,5	152,7	21,4	23,8	45,2	1 307,9
Coûts totaux d'exploitation (MF/an)	69,9	23,8	93,7	7,3	6,9	14,2	5,9	4,7	10,6	118,5
Bénéfice brut	74,9	21,4	96,3	6,2	4,8	11,0	2,6	1,3	3,9	111,2
dont au titre de l'article 20bis	18,3	7,3	25,6	1,7	1,9	3,6	1,1	1,0	2,1	31,3

Au total, le bénéfice brut de la ligne nouvelle représente 111,2 millions de francs dont les deux tiers sont procurés par le trafic nouveau de 1ère classe sur l'axe Paris - Lyon.

7.122 - Economies d'exploitation relatives au trafic reporté de la ligne actuelle sur la ligne nouvelle.

7.1221 - Volume et nature du trafic reporté sur l'axe Paris - Lyon

La décomposition du trafic reporté, en milliers de voyageurs par an, se présente en 1976, de la façon suivante :

	1ère cl.	2ème cl.	Total
Trafic de nuit	224	986	1 210
Trafic de jour	845	1 816	2 661
Total du trafic reporté	1 069	2 802	3 871

En voyageurs/km, ce trafic se décompose comme indiqué ci-dessous (en millions de v/k par an), selon qu'il est écoulé par la ligne actuelle ou par la ligne nouvelle, entre Paris et Lyon :

	1ère cl.	2ème cl.	Total
Situation de référence	760	2 187	2 947
dont Paris - Lyon (ligne actuelle)	548	1 435	1 983
dont prolongements	212	752	964
Situation avec ligne nouvelle	672	1 957	2 629
dont Paris - Lyon (ligne nouvelle)	460	1 205	1 665
dont prolongements	212	752	964

7.1222 - Coûts directs d'exploitation

Les coûts directs d'exploitation relatifs à ce trafic s'élèvent à :

121,6 MF (prolongements inclus)

77,8 MF (prolongements exclus)

Or, dans la situation de référence, le parcours entre Paris et Lyon s'établissait à 512 km au lieu de 423, soit 21 % de plus. On a supposé que la différence des coûts de bout en bout qui en résulterait "toutes choses égales d'ailleurs" en faveur de la ligne nouvelle était partiellement contrebalancée par un léger accroissement des coûts résultant du niveau de vitesse plus élevé et de la diminution de capacité unitaire des convois ; en sens inverse, par contre, le passage nuit - jour est un facteur important d'abaissement du coût au v/k.

Au total, il apparaît raisonnable d'admettre que le gain réalisé sur ces coûts kilométriques d'exploitation est de l'ordre de la moitié de ce que produirait le seul raccourcissement, soit :

$$77,8 \times 0,105 = 8,2 \text{ MF}$$

Cela revient encore à dire que le coût relatif à la situation de référence s'établit à :

$$77,8 + 8,2 = 86 \text{ MF}$$

En admettant un rapport de 1,5 entre la 1ère classe et la 2ème classe, ceci correspond à un niveau de 3,80 c/vk (frais généraux inclus, frais commerciaux et terminaux exclus, hors TVA). Autrement dit, l'économie réalisée sera au moins de 8,2 MF/an si, dans la situation de référence, le coût direct d'exploitation n'est pas inférieur à 3,80 c/vk en 2ème classe.

Il convient de noter, par ailleurs, que les frais commerciaux et terminaux ont été supposés les mêmes dans les deux exploitations. Or, la desserte nouvelle par rame indéformable allégera sensiblement les opérations terminales.

7.123 - Récapitulation et conclusion

7.1231 - Récapitulation

La récapitulation du bénéfice brut réalisé par la S.N.C.F. en 1976 s'établit alors comme suit (en millions de francs) :

	Axe Paris - Lyon	Axe Paris - Savoie	Axe Paris - Bourgogne	Total
Accroissement de bénéfice brut lié au trafic nouveau	96,3	11	3,9	111,2
Réduction des coûts d'exploitation liés au trafic reporté	8,2	Négligeable	Négligeable	8,2
Total	104,5	11	3,9	119,4

Rappelons que, sur ce total, 31,3 MF proviennent de l'application de l'article 20 bis de la Convention.

7.13 - Comparaison avec les charges fixes de la ligne nouvelle

7.131 - Rentabilité immédiate

Un premier calcul peut être effectué :

Si l'on retranche du montant du bénéfice brut qui vient d'être calculé les charges fixes d'entretien et de renouvellement de la ligne nouvelle, il reste en 1976 une somme de :

$$119,4 - 29,6 = 89,8 \text{ MF}$$

disponible pour rémunérer le capital non renouvelable qui s'élève à 1 247 MF.

7.132 - Bilan annuel

Une deuxième présentation des résultats financiers peut être effectuée pour l'année 1976 :

On peut rapprocher le bénéfice brut réalisé des charges fixes totales relatives à l'infrastructure nouvelle, calculées selon une procédure d'amortissement économique.

- a) Si l'on adoptait un régime d'annuité constante par an, les charges totales annuelles représenteraient (au taux de 10 % sur 40 ans) :

$$127,5 + 29,6 = 157,1 \text{ MF}$$

il résulterait de ce calcul une "insuffisance" pour l'année 1976 de :

$$157,1 - 119,4 = 37,7 \text{ MF}$$

mais en raison de la croissance rapide du bénéfice qui sera évoquée plus loin, cet écart serait comblé dès 1980.

- b) Si l'on adoptait un régime d'annuité constante par unité de trafic, avec l'hypothèse de croissance déjà utilisée au paragraphe 6.44, les charges pour l'année 1976 s'établiraient à 107,1 MF laissant, dès la première année, un bénéfice net de :

$$12,3 \text{ MF}$$

7.14 - Bilan actualisé

Ce bilan a été calculé avec deux horizons différents, 20 ans et 40 ans. Il nécessite de connaître l'allure de l'évolution du bénéfice brut au cours du temps.

Pour la part de celui-ci liée au trafic nouveau, on a retenu l'hypothèse du paragraphe 2.8.

Pour la part du bénéfice brut liée au trafic reporté, on a supposé en première analyse qu'elle restait constante pendant la période.

Le bilan actualisé s'établit alors comme suit :

	20 ans	40 ans
- Bénéfice brut lié au trafic nouveau	1 594	1 967
- Bénéfice brut lié au trafic reporté	70	80
- Bénéfice brut actualisé total	1 664	2 047
- Investissement non renouvelable	1 247	1 247
- Charges fixes d'entretien et de renouvellement	252	290
- Coûts fixes actualisés	1 499	1 537
- Bénéfice net actualisé	165	510

Le bénéfice net actualisé sur 40 ans, hypothèse la plus normale, représente ainsi 510 MF soit 25 % du bénéfice brut actualisé. Un calcul des charges de capital basé sur le rythme d'évolution du bénéfice brut laisserait donc un bénéfice net en première année de :

$$0,25 \times 119,4 = 29,9 \text{ millions de francs.}$$

7.2 - Surplus des usagers

7.21 - Principes de calcul

Le calcul nécessite d'abord de décomposer les catégories d'usagers en fonction de leur situation avant et après l'introduction de la nouvelle desserte. On a distingué les catégories suivantes :

- trafic transféré de l'avion,
- trafic induit correspondant au trafic transféré de l'avion,
- trafic ferroviaire antérieur de jour,
- trafic ferroviaire antérieur de nuit,
- trafic induit correspondant à la clientèle antérieure du fer,
- trafic transféré de la route,
- trafic induit correspondant (pour mémoire).

Pour chacune de ces catégories, il convient ensuite de calculer la variation de coût généralisé entre les deux situations ; cette variation comprend :

- un gain⁽¹⁾ en durée de trajet,
- un gain lié à l'accroissement de la fréquence,
- un avantage monétaire pour le trafic transféré de l'avion au train.

Les avantages monétaires ne posent pas de problème d'estimation (si ce n'est celui des hypothèses relatives à l'évolution des tarifs).

Les gains relatifs à la qualité du service (durée et fréquence) dépendent de la relation pour leur volume et de la catégorie d'usagers pour leur valorisation.

S'il s'agit d'un trafic ferroviaire s'effectuant antérieurement de jour, le surplus global est égal au produit de la diminution du coût généralisé par le volume du trafic concerné.

S'il s'agit de trafics transférés de la route ou induits, le gain relatif à la première unité détournée (ou induite) est égal à la diminution globale du coût généralisé entre situation initiale et situation finale ; celui qui est relatif à la dernière unité détournée est nul ; on supposera en première approximation que la variation de la demande en fonction du coût généralisé est linéaire entre ces deux points ; le surplus global est alors égal au demi-produit de la variation du coût généralisé par la variation du trafic considéré ; un raisonnement analogue varie pour le trafic ferroviaire de nuit reporté.

Pour le trafic détourné de l'avion, le mécanisme du partage de la demande se ramène à un arbitrage de l'utilisateur entre gain de temps et différence de prix.

(1) Perte dans le cas du trafic détourné avion (ou induit correspondant) sauf sur la relation Paris - Lyon.

Le calcul montre que, sur une relation donnée, le surplus relatif au trafic transféré de l'avion vers le train est égal au produit du volume de ce trafic par la somme algébrique de deux termes :

- le gain monétaire sur le prix de transport,
- le gain de temps multiplié par la valeur moyenne du temps des usagers intéressés (ce terme étant en général négatif, sauf sur Paris - Lyon).

7.22 - Principales hypothèses de calcul.

L'application des principes précédents suppose un certain nombre d'hypothèses concernant essentiellement :

- les valeurs du temps des diverses catégories d'usagers,
- le niveau des tarifs avion.

On a retenu les tarifs actuels de l'avion (tarifs de base réduits de 10 % pour tenir compte de l'effet des réductions) réduits de 15 % ainsi que cela est exposé au point 2.14.

Pour la clientèle avion et pour la première classe ferroviaire les tarifs avions influent sur les valeurs du temps. Celles-ci qui se déduisent des valeurs "à la marge" sont présentées ci-dessous.

Les valeurs du temps moyennes en 1976 (exprimées en francs 1969) retenues sont les suivantes :

Catégories d'usagers	Avion détourné ou induit	Fer 1ère classe antérieur
Paris - Lyon	43	21
Paris - St-Etienne	31	16
Paris - Grenoble	27	13
Paris autres relations Rhônes - Alpes	31	21
Paris - Marseille	24	12
Paris - Toulon	22	11
Paris - Nice	-	9
Paris - Montpellier	20	10
Paris - Nîmes	25	11
Paris - Perpignan	17	8
Autres relations à grande distance	-	11

Pour le trafic de 2ème classe et le trafic transféré de la route, on a retenu uniformément une valeur de 5 F, ce qui est une estimation très prudente.

7.23 - Résultats

7.231 - Axe Paris - Lyon

Le regroupement des calculs par catégorie de trafic conduit aux résultats suivants, (en millions de francs par an).

Catégories de trafic	Surplus
Trafic en provenance de l'avion (détourné et induit)	85
Trafic fer induit 1ère classe	10
Trafic fer induit 2ème classe	3,3
Trafic en provenance de la route (détourné et induit)	2,3
Total pour le trafic nouveau	100,6
Trafic de jour 1ère classe reporté	38,9
Trafic de jour 2ème classe reporté	28,2
Trafic de nuit 1ère classe reporté	3,3
Trafic de nuit 2ème classe reporté	7,7
Total pour le trafic reporté	78,1
Total général	178,7

Le trafic en provenance de l'avion représente à lui seul 50 % de ce surplus.

7.232 - Axes Paris - Savoie et Paris - Bourgogne

Les surplus relatifs aux trafics Savoie et Bourgogne peuvent être estimés à :

15,2 pour l'axe Paris - Savoie
5,3 pour l'axe Paris - Bourgogne

7.233 - Surplus global des usagers

En 1976, le surplus global des usagers ressort ainsi à 199 MF.

7.3 - Surplus des exploitations concurrentes

Il n'a été possible, en première analyse, que de dégager des ordres de grandeur.

7.31 - Surplus des exploitants aériens

Ces derniers se décomposent en compagnies aériennes (essentiellement Air Inter) et en aéroports.

Etant donné que le niveau actuel des tarifs sur Paris - Lyon, Grenoble, St-Etienne correspond sensiblement au coût du service pour Air Inter, le détournement de trafic aérien ne devrait pas se traduire par une perte financière appréciable pour cette compagnie ; le même raisonnement semble valable, en première approximation, pour les aéroports.

On a donc admis que ce surplus ne varierait pas.

7.32 - Surplus des exploitants routiers

Ces derniers sont :

- les sociétés d'autoroutes qui perçoivent les péages,
- l'Etat, en tant que prestataire des services d'infrastructure routière, qui encaisse le produit de la fiscalité spécifique sur les carburants.

On a supposé, en première approximation, que ces deux premiers postes représenteraient chacun 7 centimes par véhicule-kilomètre.

Cependant, il convient d'atténuer cette perte financière de deux éléments :

- le gain de sécurité qui peut être estimé, en supposant qu'il s'agisse presque exclusivement de trafic sur autoroute, à environ 2c/véhicule-km,
- la réduction de coût marginal social qui a été estimée forfaitairement à 2c/véhicule-km, chiffre relativement modeste qui tient compte du caractère éloigné de la saturation de l'autoroute Paris - Lyon - Marseille.

Au total, 10 c/véhicule - km apparaît comme une borne supérieure de la perte ressentie par les exploitants, au sens large, de la route.

Le nombre de véhicules-km correspondant au trafic détourné s'établissant à environ 100 millions, la perte correspondante peut être évaluée à 10 MF.

7.4 - Rentabilité pour la collectivité

7.41 - Surplus global pour la collectivité

Il s'obtient par sommation algébrique des éléments qui viennent d'être analysés.⁽¹⁾

- surplus financier de la S.N.C.F. (article 20bis exclu)	88,1
- surplus des usagers	199
- surplus des exploitants air et route	- 10
Surplus total	<hr/> 277,1

(1) Avec les réserves suivantes :

- a) l'accroissement de bénéfice brut de la S. N. C. F. provenant de versements conventionnels de l'Etat ne doit pas être pris en compte, (article 20bis).
- b) la sommation effectuée devrait être complétée par l'incidence globale du projet sur le plan de la variation de recettes fiscales (non spécifiques) à l'Etat, qui n'a pas été analysée dans la présente note.

On voit, que l'hypothèse tarifaire adoptée pour cette étude entraîne un surplus très important pour les usagers. Etant donné le niveau relatif des tarifs et des coûts marginaux, le surplus global dans cette hypothèse apparaît comme une fonction décroissante du niveau tarifaire, le surplus financier de la S.N.C.F. étant, au contraire, croissant.

Il paraît cependant plausible, étant donné le caractère substantiel de l'amélioration de la qualité du service et la contribution relativement modeste du trafic induit à la formation du surplus global, qu'un accroissement modéré des tarifs ne provoquerait qu'une faible diminution de ce surplus.

7.42 - Rentabilité immédiate pour la collectivité

Elle apparaît très élevée. En effet, si l'on retire du surplus global le montant des charges fixes d'entretien et de renouvellement, soit 29,6 MF, il subsiste un solde de 248 MF qui représente environ 20 % du montant de l'investissement non renouvelable, soit deux fois les charges de capital y afférentes.

En d'autres termes, avec le taux de 10 %, le simple décalage d'un an dans la mise en service de la ligne nouvelle entraînerait une perte pour la collectivité égale à :

$$248 - 125 \text{ soit } 123 \text{ MF}$$

Cette étude montre donc l'excellente rentabilité du projet pour la collectivité : la somme actualisée des surplus aura couvert l'investissement initial au bout de 5 à 6 ans.

7.5 - Conclusion

Au terme de cette étude il apparaît donc que, l'hypothèse du statu quo tarifaire conduit déjà à un niveau de rentabilité intéressant. Si l'on souhaite encore améliorer ce résultat et, par exemple, atteindre une rentabilité de 10 %, dès la première année, on voit qu'il suffit d'accroître le bénéfice brut de l'exercice 1976 de 35 MF. Le rapprochement de ce chiffre, du niveau du trafic de la ligne nouvelle - 9,5 millions de voyageurs - et de la valeur du surplus des usagers - 200 MF - ne peut laisser aucun doute sur la possibilité d'atteindre cet objectif par un relèvement très modéré des tarifs.

En outre, on rappelle qu'un certain nombre d'avantages n'ont pu être pris en compte dans les calculs :

- gains réalisés par l'acheminement des marchandises,
- possibilité d'écouler une fraction du trafic de superpointe avec le parc de rames à grande vitesse,
- diminution ultérieure du coût par accroissement de la taille des rames,
- possibilité de réduire les coûts pour certains types de trafic en adoptant des normes de confort plus proches des normes aviation.

Enfin, le fait d'obtenir la rentabilité avec un niveau de trafic sensiblement inférieur à celui du Tokaïdo ne doit pas surprendre. En effet, le projet S.N.C.F. présente deux différences fondamentales :

- il est compatible avec le réseau existant, comme le réseau auto-routier l'est avec le réseau routier, ce qui permet une desserte "en surface" et non simplement linéaire, ainsi que l'utilisation des installations terminales existantes,
- les caractéristiques de tracé s'écartent complètement de celles des voies ferrées classiques à grande vitesse, ce qui réduit considérablement le coût de l'infrastructure ; le terrain traversé est, en outre, beaucoup plus facile qu'au Japon.

Ceci explique pourquoi le niveau de trafic nécessaire à une rentabilité totale est d'un autre ordre de grandeur que pour le Tokaïdo.

8 - MISE EN OEUVRE DU PROJET

8.1 - Historique des études

Le 10 avril 1967 le projet "Possibilités Ferroviaires sur infrastructures nouvelles" était inscrit au programme de travail du Service de la Recherche.

Les résultats favorables d'une préétude effectuée sur Paris - Lyon justifiaient le lancement dès 1968 d'un programme de recherches de 40 MF environ, étalé sur quatre ans, consacré pour l'essentiel à la construction de 2 rames prototypes à turbines à gaz capables de circuler à la vitesse de 300 km/h et devant servir de support à différentes mises au point. Le reste de ce programme comprend différentes études notamment en matière d'aérodynamisme.

Le 30 août 1968, M. le Président du Conseil d'Administration de la S.N.C.F. écrivait à M. le Ministre des Transports pour l'informer des orientations de la S.N.C.F. en matière d'infrastructures nouvelles.

Le 13 février 1969, les études "Paris - Lyon" en cours étaient présentées aux responsables régionaux de l'Equipement et de l'OREAM de Lyon. Le rapport de juillet 1969 de la Circonscription d'Action Régionale Rhône - Alpes sur les principales orientations du VIème Plan souligne tout l'intérêt porté par cet organisme à la liaison Paris - Lyon à très grande vitesse, comme en témoigne l'extrait suivant :

"Les transports à moyenne distance avec la Région parisienne, le sud de la France et l'Italie, fonctionnent dans de bonnes conditions. Ils devraient être encore améliorés par le projet de ligne directe à grande vitesse Paris - Lyon, utilisant des rames à turbine à gaz ("turbo-train") qui ne posent plus de problème technique. Cette nouvelle liaison ne concurrencerait que très partiellement le développement de la ligne aérienne Paris - Lyon, car elle permettrait l'accès au transport rapide d'un plus grand nombre d'usagers, à la fois grâce à la tarification envisagée (1ère et 2ème classes) et à l'augmentation des fréquences (desserte cadencée).

La Région attache donc un grand intérêt à ce projet et à ses prolongements vers Valence, Saint-Etienne et Grenoble qui amélioreraient beaucoup, surtout sur cette dernière ligne, les relations entre les principales agglomérations".

Le 12 mars 1969 intervenait la décision ministérielle donnant accord pour l'acquisition de deux rames prototypes à très grande vitesse à turbopropulsion.

En mai-juin 1969, un rapport "Paris - Lyon" assorti d'une note donnant les ordres de grandeur relatifs à la rentabilité globale du projet était présenté au Directeur Général de la S.N.C.F.

Le 5 novembre 1969, le Conseil d'Administration de la S.N.C.F. approuvait la transmission de ce dossier à M. le Ministre des Transports en vue d'une proposition d'inscription au VIème Plan.

Ce projet est en outre cité dans le premier rapport du Groupe d'Etudes Transport 1985 du Commissariat au Plan.

8.2 - Projet d'échancier

8.21 - Matériels roulants

Le planning de livraison des rames à grande vitesse opérationnelles dépend évidemment des délais de réalisation et d'expérimentation des deux rames prototypes, suivis des délais d'études et de construction des matériels de série.

La première des deux rames prototypes expérimentales, commandée au milieu de 1969, sera livrée en juillet 1971.

Compte tenu des études techniques nécessaires en vue de la commande des rames opérationnelles (analyse des résultats des expérimentations des prototypes, étude de définition des nouvelles rames, établissement des spécifications), il serait possible de disposer d'un parc suffisant pour assurer une première exploitation partielle de la ligne en juillet 1976 et la desserte complète en juillet 1977.

8.22 - Infrastructure et Installations Fixes

Aux investigations géologiques préliminaires déjà entreprises succéderont très rapidement des études géotechniques plus fines, des calculs et dessins automatiques de tracé utilisant les programmes mis au point par le Service des autoroutes, des études topographiques, ... toutes études concourant à la mise au point du projet et au lancement des études de détail qui serviront de base aux procédures d'acquisition des terrains qui pourront débiter en 1972.

La construction sera fractionnée en trois tronçons (Combs-la-Ville - Saint-Florentin, Saint-Florentin - Mâcon, Mâcon - Lyon) dont le premier pourrait être mis en service en juillet 1976, le matériel empruntant l'infrastructure existante sur les autres parties du parcours. La ligne pourrait être exploitée dans sa totalité en juillet 1977.

Ces prévisions de caractère purement technique, font abstraction des possibilités de financement et supposent l'extension aux voies ferrées des procédures d'extrême urgence, actuellement en vigueur pour les autoroutes.

8.23 - On voit qu'il est possible, tant au point de vue matériels roulants qu'installations fixes, d'envisager la mise en exploitation d'une partie de la ligne au milieu de l'année 1976, soit immédiatement à la fin du VIème Plan, et de la totalité de la ligne un an plus tard.

9 - CONCLUSION

Ainsi, le chemin de fer est destiné à jouer un rôle de plus en plus important dans le domaine des liaisons intervilles, élément essentiel de l'aménagement du territoire.

Pour les transports de masse à bas prix, dans le contexte géographique français et européen, il semble bien qu'il demeurera encore longtemps la solution la plus économique pour la collectivité, grâce à la construction de quelques "shunts" sur les grands axes. Il s'agit là d'investissements de productivité à forte rentabilité, puisqu'ils retarderont de plusieurs décennies les saturations les plus coûteuses à éliminer.

L'analyse de la demande et les calculs économiques montrent que le projet Paris - Lyon - dont l'exécution ne soulève par ailleurs aucun problème technique - est justifié à très bref délai. C'est pourquoi la S.N.C.F. en propose l'inscription au VIème Plan.

Une telle réalisation, qui associera étroitement à l'industrie ferroviaire classique l'industrie aéronautique et l'industrie électronique contribuera en outre au développement des techniques nationales de pointe.

Annexes

LISTE des ANNEXES

- 1 - Projets européens de liaisons intervilles à très grande vitesse
- 2 - Analyse des courants de trafic, en 1967, sur l'axe PARIS - LYON
- 3 A - Graphiques de circulation (jour de base)
- 3 B - Graphiques de circulation (vendredi)
- 4 A - Profil en travers type sans piste routière
- 4 B - Schémas d'implantation de lignes à très grande vitesse en bordure d'autoroute
- 4 C - Tracé PARIS - LYON
- 4 D - Caractéristiques de la ligne à construire
- 5 - Diagramme des rames

PROJETS EUROPÉENS
de LIAISONS INTERVILLES à TRÈS GRANDE VITESSE

- 1 - La plupart des chemins de fer européens ont, au premier rang de leurs préoccupations, l'élévation des vitesses des trains de voyageurs assurant les liaisons intervilles, afin d'offrir un meilleur service à la clientèle, de lutter contre la concurrence routière et aérienne et obtenir une meilleure rotation d'un matériel de plus en plus coûteux en raison des exigences de confort.

L'augmentation des vitesses sur les voies existantes, dont l'implantation remonte à plus d'un siècle, est limitée à la fois par la signalisation et le tracé et la limite supérieure paraît être de l'ordre de 200 km/h. La réalisation de telles vitesses, techniquement possibles, posera toutefois très rapidement, s'ils n'existent déjà, des problèmes de capacité pour écouler un trafic mixte de voyageurs et de marchandises.

Aussi plusieurs administrations envisagent-elles désormais la construction de lignes nouvelles reliées aux réseaux existants, ceci dans le double souci de vitesses plus grandes et de capacité accrue.

- 2 - L'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), soucieuse de maintenir l'unité technique et opérationnelle du réseau européen, a constitué un groupe de travail pour l'étude des "Liaisons rapides intervilles". Ce groupe a pour mission d'établir un inventaire des réalisations et projets des réseaux pour augmenter les vitesses et de faire ressortir à la fois les similitudes et les divergences, afin de recommander des dispositions ou des études communes qui assurent la compatibilité et la continuité totales des itinéraires transnationaux constitués par la juxtaposition des réseaux nationaux.
- 3 - Les principaux projets en cours d'étude, voire même de début de réalisation sont les suivants :
 - le projet d'une nouvelle ligne entre Rome et Florence qui doublera la ligne existante avec un parcours plus court (239 contre 294 km) et une vitesse maximale de 250 km/h contre 160. Il s'agit de s'affranchir d'une restriction de capacité et de vitesse sur un itinéraire nord-sud

du lac de Côme à la Sicile, qui trouvera son prolongement naturel vers le nord à travers la Suisse jusqu'en Allemagne. Le Gouvernement italien a autorisé ce projet dont la réalisation s'échelonnera sur 5 années.

Une nouvelle liaison Gênes-Milan est également à l'étude pour développer le potentiel du port de Gênes.

- Les chemins de fer fédéraux allemands (DB) participent à une Société d'études pour définir un système de transport rapide de grande capacité (Hochleistungsschnellbahn) qui, de Hambourg à Munich avec seulement huit points d'échange, assurerait l'acheminement des camions, remorques, containers et voitures particulières. Abordée sur le plan des principes en envisageant a priori toutes les possibilités de systèmes guidés, cette étude pourrait aboutir à un système ferroviaire classique, avec toutefois un gabarit plus important.

Parallèlement, la DB poursuit l'aménagement de son réseau pour étendre les zones de circulation à 200 km/h, dont la première réalisation se situe entre Munich et Augsburg.

- Les chemins de fer fédéraux suisses (CFF) et autrichiens (ÖBB) sont évidemment limités dans leur désir de vitesse par la topographie de leurs pays et ils se bornent, pour le moment, à tendre vers un plafond de 140 - 160 km/h. Toutefois, soucieux de maintenir leur trafic de transit au coeur de l'Europe vis-à-vis de la concurrence des autoroutes, qui franchissent déjà les cols alpins, ils étudient les "tunnels de base" du Saint-Gothard et du Brenner, dont ils attendent une diminution des distances, des temps de parcours et de l'énergie consommée auxquelles s'ajoute, pour les voyageurs, une possibilité de vitesse de l'ordre de 140 km/h contre 80 actuellement.

Les CFF envisagent également la construction d'une ligne nouvelle à grande vitesse Zurich-Berne, qui pourrait se prolonger vers Genève.

- Les chemins de fer britanniques (BR), dont le réseau offre plusieurs variantes pour une même liaison, étudient un matériel roulant spécialisé incorporant de nombreuses innovations (advanced passenger train - APT) pour réaliser ces grandes vitesses sur l'infrastructure existante.
- Outre le projet Paris - Lyon, la S.N.C.F. étudie un projet de lignes nouvelles dans la région du Nord permettant d'améliorer sensiblement les relations ferroviaires entre Paris et Londres par le tunnel sous la Manche, Paris et la métropole lilloise, Paris - Bruxelles, enfin Londres - Bruxelles et l'Europe de l'ouest (Hollande et Allemagne) par le tunnel.

Pour aborder ce projet à caractère international des groupes de travail ad hoc ont été constitués dans le cadre de l'UIC.

71

**ANALYSE DU TRAFIC ROUTIER EN VOITURES PARTICULIERES
SUR L'AXE PARIS - LYON (1967)**

Echanges entre Régions :

- NORD - OUEST (découpage secondaire)
- SUD-EST (par C.A.R.)

Nombre de voyageurs/km, deux sens réunis

ZONES	RHONE-ALPES	PROVENCE COTE-D'AZUR	LANGUEDOC	FRANCHE-COMTE COTE-D'OR SAONE-ET-LOIRE	TOTAL	SUISSE	ITALIE	ESPAGNE
RÉGION PARISIENNE	1 294 000	1 023 000	204 000	971 000	3 492 000	277 000	247 000	81 000
NORD PAS-DE-CALAIS	103 000	103 000	18 200	52 700	276 900	16 500	26 200	5 400
PICARDIE	70 000	35 600	10 100	38 000	153 700	4 100	4 100	4 100
HAUTE- NORMANDIE	62 700	41 800	7 500	27 300	139 300	9 600	4 100	9 600
LOIRE-ET-LOIR	4 800	1 400	-	3 900	10 100	1 400	6 900	-
LOIRE-AUBE	41 100	15 800	7 400	-	64 300	2 100	3 200	-
ARDENNES MARNE	55 900	28 500	5 300	64 400	154 100	2 100	3 200	2 100
TOTAL	1 631 500	1 249 100	252 500	1 157 300	4 290 400	312 800	294 700	102 200
BÉNÉLUX GRANDE- BRETAGNE	41 300	13 400	20 700	20 500	95 900	35 800	52 400	122 600

Source : SERC - Enquête Paris - Avallon de 1963

TRAFIC AERIEN ENTRE PARIS ET LE SUD-EST
de 1961 à 1968
(Nombre de voyageurs)

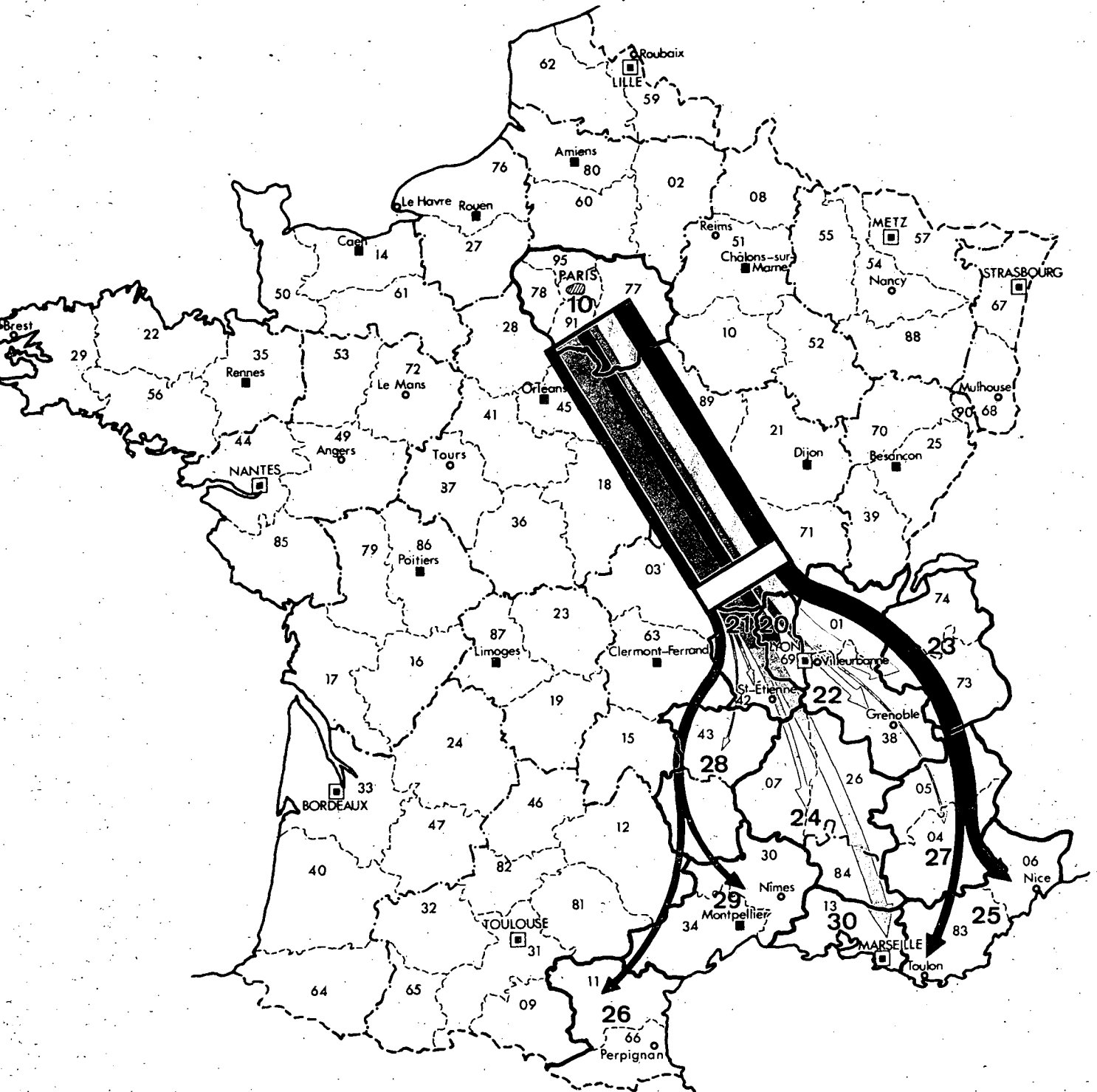
	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968 ⁽¹⁾
NICE	155 969	195 546	238 215	274 260	323 269	365 056	435 063	432 756
MARSEILLE	88 121	105 581	156 626	195 706	234 420	276 702	323 488	319 450
LYON	22 963	42 840	72 678	99 917	146 645	219 731	288 328	302 210
NIMES	2 240	12 345	15 251	22 546	30 498	53 448	71 663	69 111
MONTPELLIER				128		6 917	19 410	28 357
PERPIGNAN	3 126	1 516	2 486	1 086	788	1 765	13 593	15 469
TOULON								15 582
GRENOBLE								48 017
ST-ETIENNE								3 750
GENEVE	163 165	181 925	208 477	237 662	262 864	293 891	341 970	345 925
Total intérieur	272 419	357 828	485 256	593 649	735 620	923 619	1 151 545	1 234 302
% d'accroissement	+ 41,1	+ 31,3	+ 35,6	+ 22,3	+ 23,9	+ 25,5	+ 24,7	+ 7,2
Total général	435 584	539 753	693 733	831 311	998 484	1 217 510	1 493 515	1 580 627
% d'accroissement	+ 28,8	+ 23,9	+ 28,5	+ 19,8	+ 20,1	+ 21,9	+ 22,7	+ 5,8

(1) La grève de Mai-Juin a entraîné la perte d'au moins 7 % du trafic annuel.

PARIS - LYON

ANALYSE DU TRAFIC VOYAGEURS - SONDAGE 1967

ZONE DE PARIS 10 ↔ ZONES RATTACHÉES À LYON 20 à 30



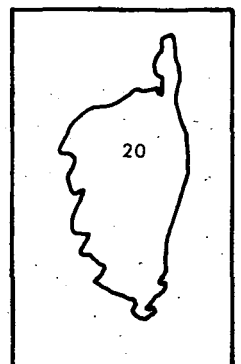
LÉGENDE

- Métropoles d'équilibre.
- Préfectures de circonscriptions d'action régionale.
- Autres villes de plus de 100 000 h.
- Limites de circonscriptions d'action régionale.
- Limites de départements.

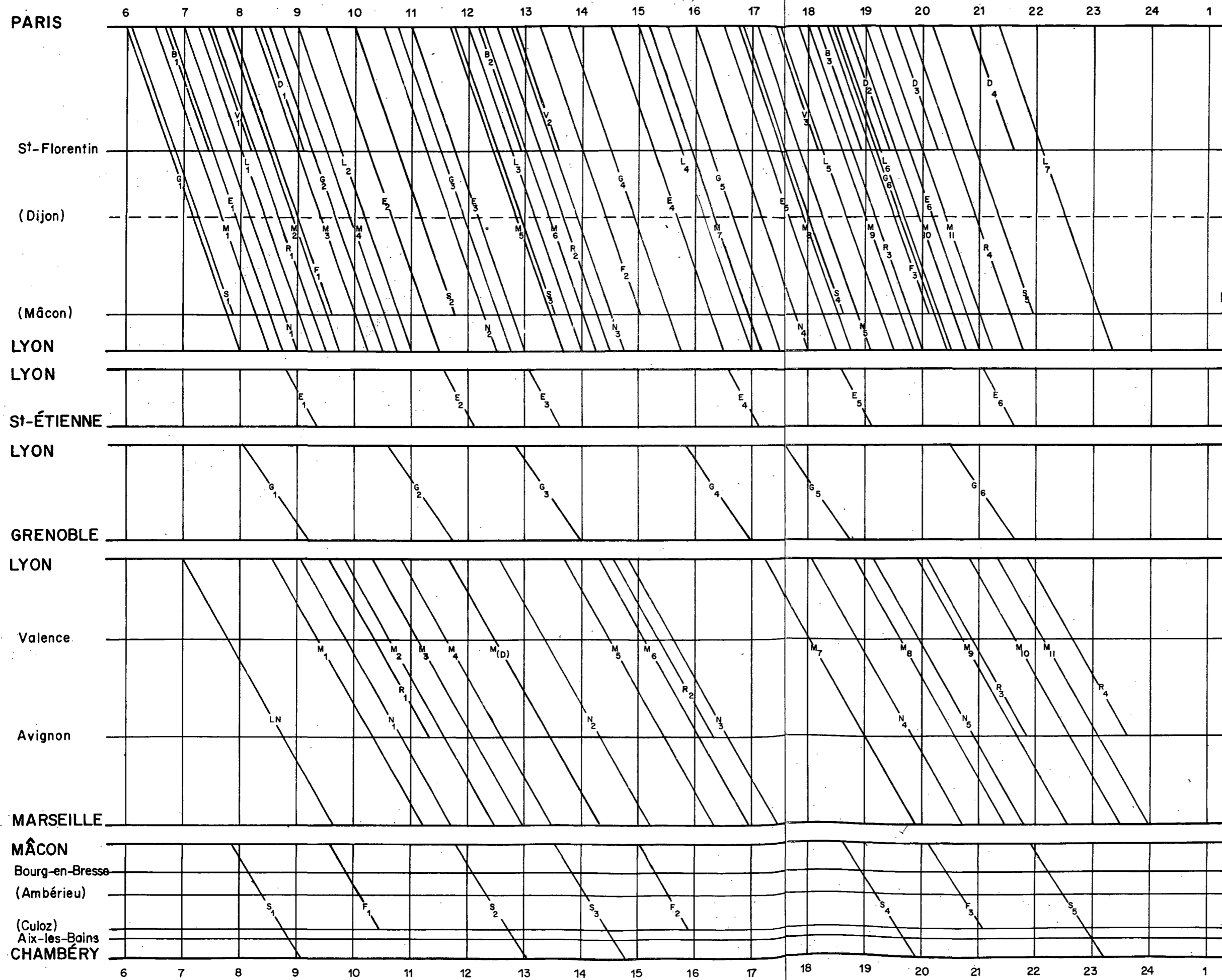
La signification des couleurs est donnée dans le texte de la présente annexe.

Données démographiques : recensement de 1968.

Echelle : 1/5 000 000



Jour ouvrable de base

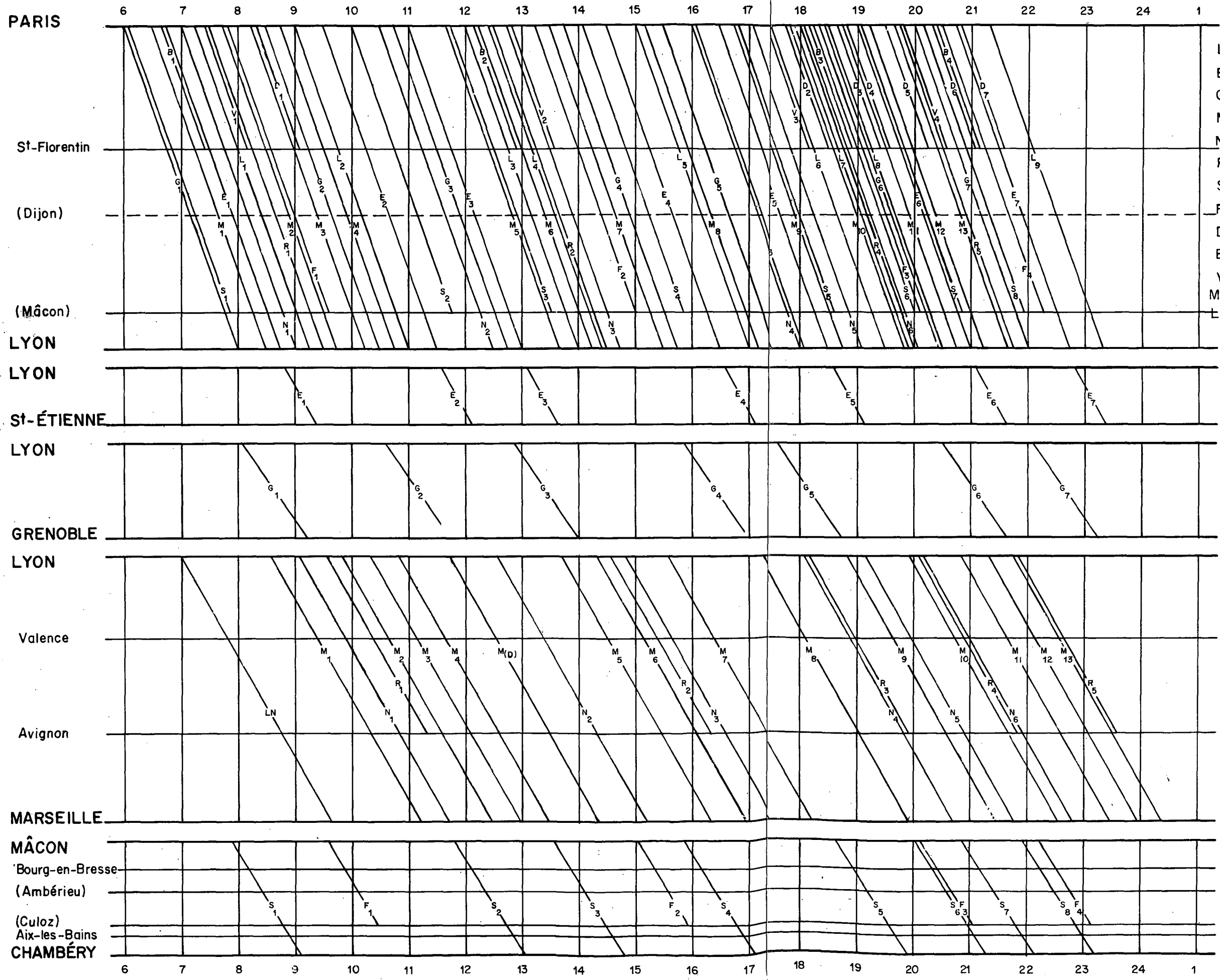


- L: Paris-Lyon
- E: Paris-Lyon-St-Étienne
- G: Paris-Lyon-Grenoble
- M: Paris-Lyon-Marseille
- N: Paris-Lyon-Marseille-Nice
- R: Paris-Lyon-Montpellier
- S: Paris-Chambéry
- F: Paris-Genève
- D: Paris-Dijon
- B: Paris-Besançon
- V: Paris-Lausanne
- M(D) Paris Marseille (via Dijon)
- LN: Lyon Nice

Trains C03

GRAPHIQUE DE CIRCULATION

Vendredi

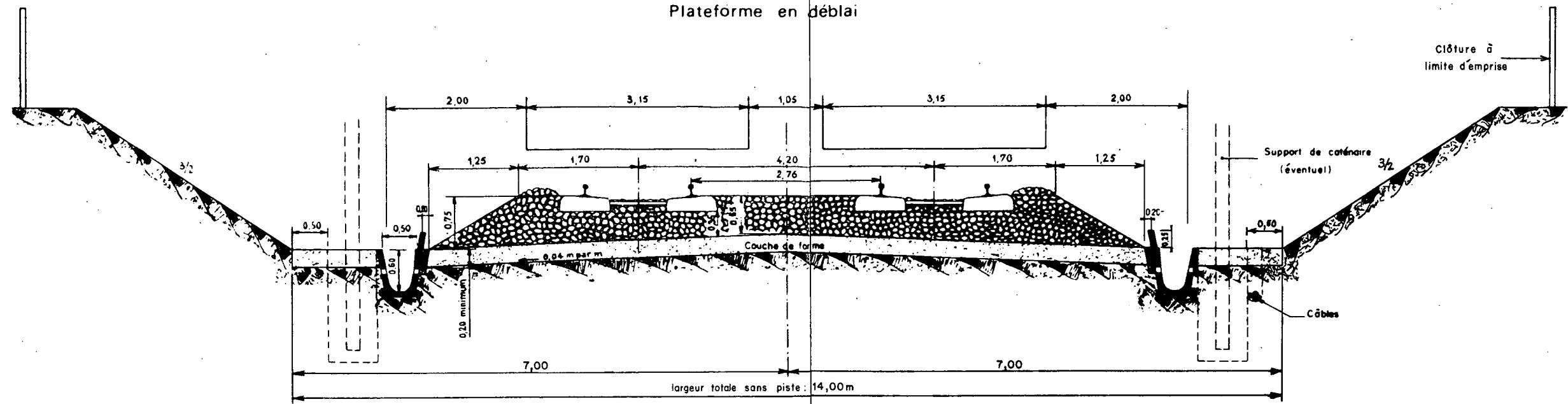


- L : Paris-Lyon
- E : Paris-Lyon-St-Étienne
- G : Paris-Lyon-Grenoble
- M : Paris-Lyon-Marseille
- N : Paris-Lyon-Marseille-Nice
- R : Paris-Lyon-Montpellier
- S : Paris-Chambéry
- F : Paris-Genève
- D : Paris-Dijon
- B : Paris-Besançon
- V : Paris-Lausanne
- M(D) Paris-Marseille (via Dijon)
- LN : Lyon-Nice

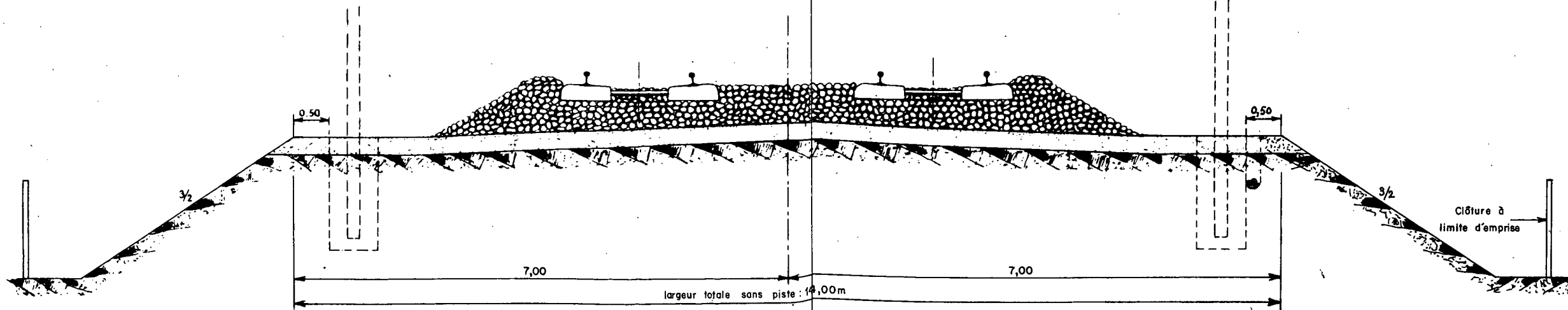
Trains CO3

PROFILS EN TRAVERS TYPES
(LIGNE DE CHEMIN DE FER À TRÈS GRANDE VITESSE)

Plateformes sans piste



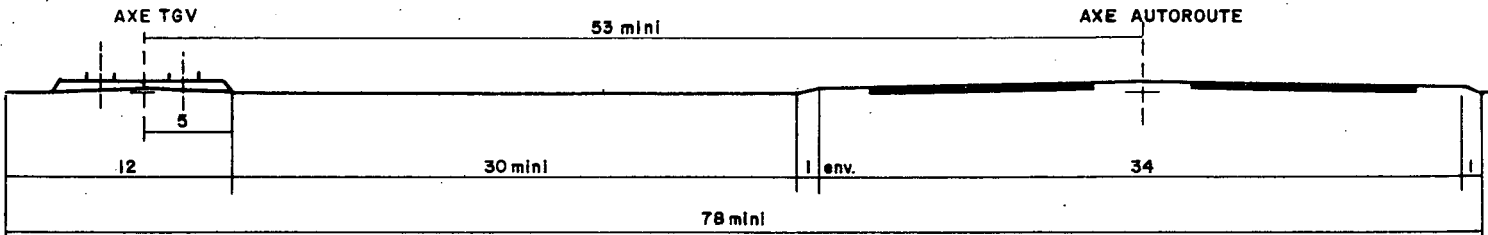
Plateforme en remblai



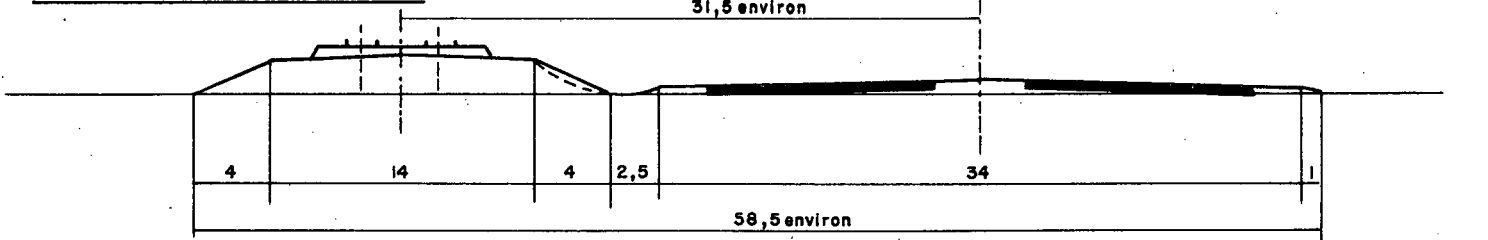
SCHÉMAS D'IMPLANTATION DE LIGNES A TRÈS GRANDE VITESSE (T.G.V.)
EN BORDURE D'AUTOROUTE
(Exemples d'application dans les cas courants)

SANS TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX

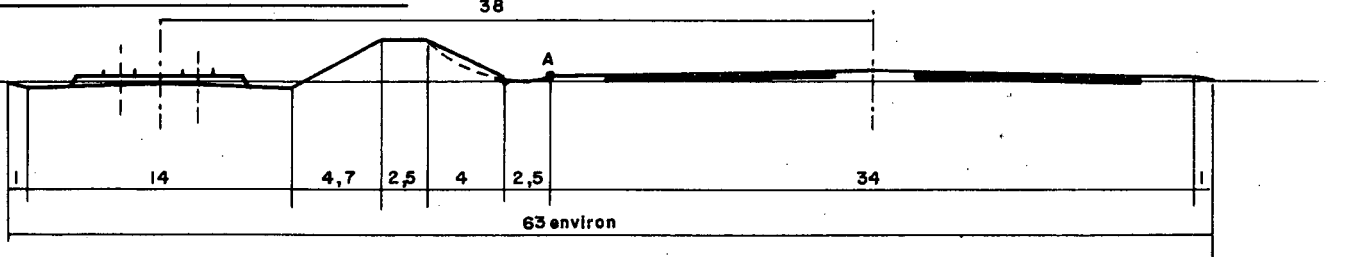
TGV sensiblement au niveau de l'autoroute



TGV au-dessus de l'autoroute

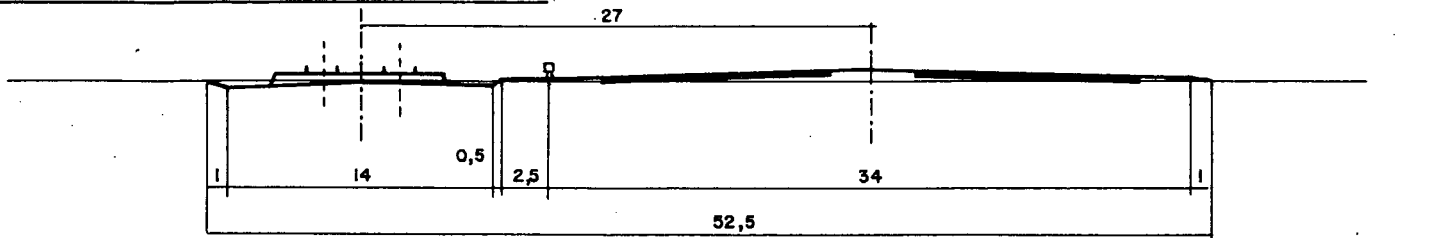


Protection par terrassement (mêlon)



NOTA: Le niveau de la plateforme peut varier entre + 2 et - 5 du point A de l'autoroute

Protection par barrière lourde de sécurité



Source: dessin DIF - SETRA-GEFAU n° V6 G 0.0/2

PARIS

COMBS LA VILLE

Autoroute A5

Infrastructure nouvelle

St FLORENTIN

Autoroute A6

Ligne Paris-Lyon actuelle

Infrastructure nouvelle

Autoroute A6

DIJON

MÂCON

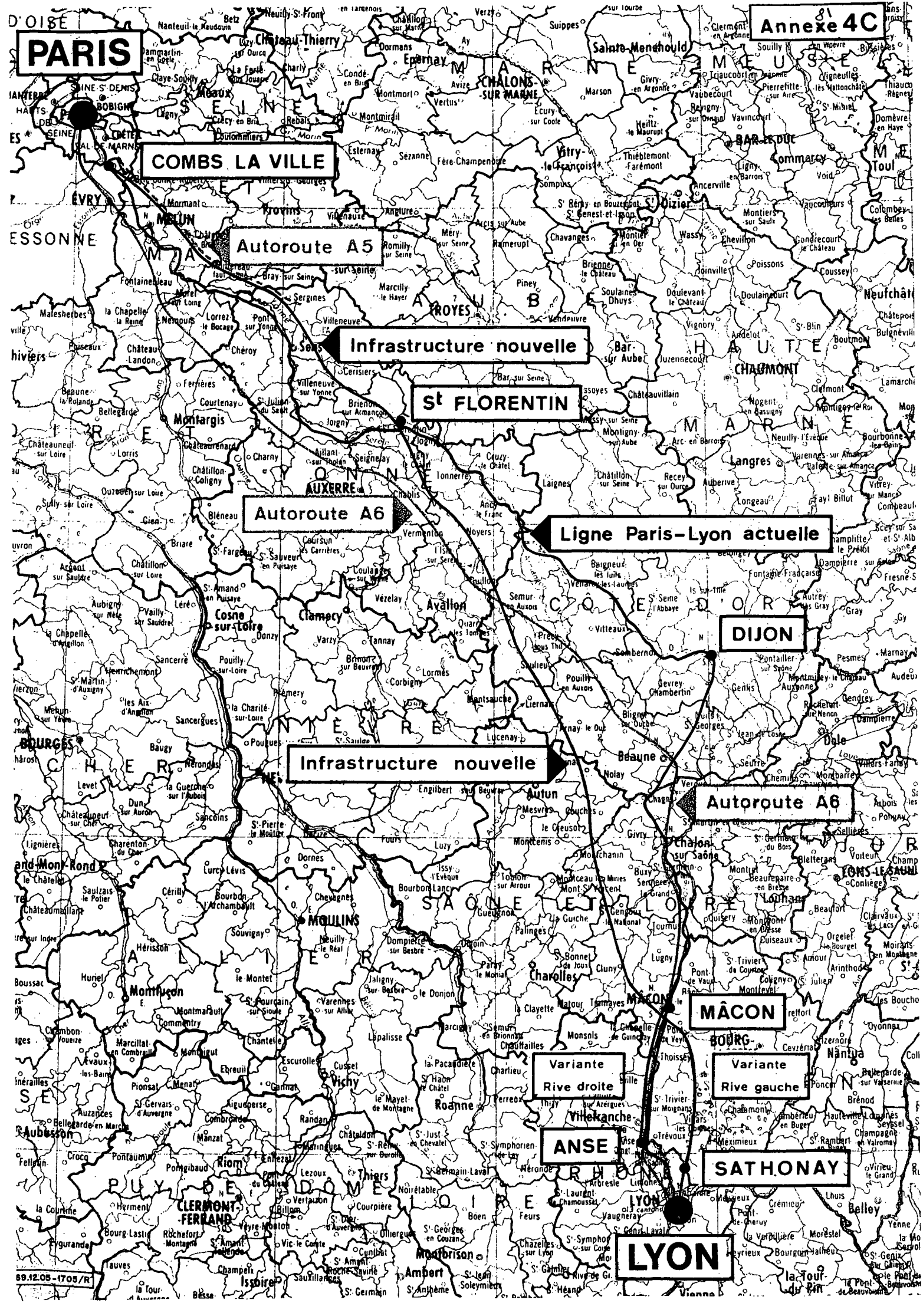
Variante Rive droite

Variante Rive gauche

ANSE

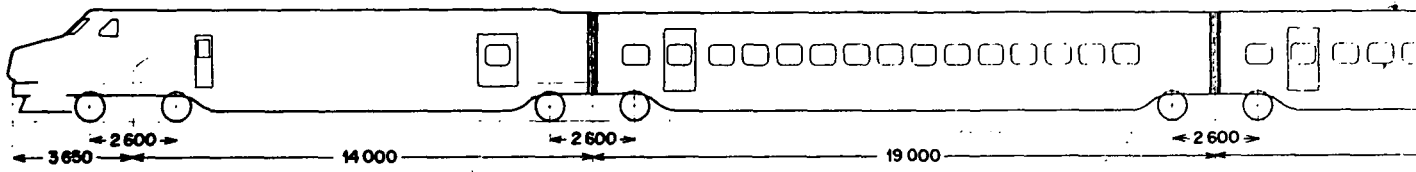
SATHONAY

LYON



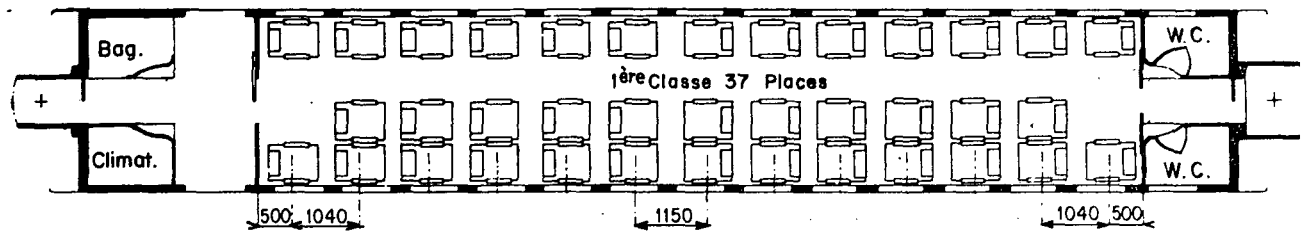
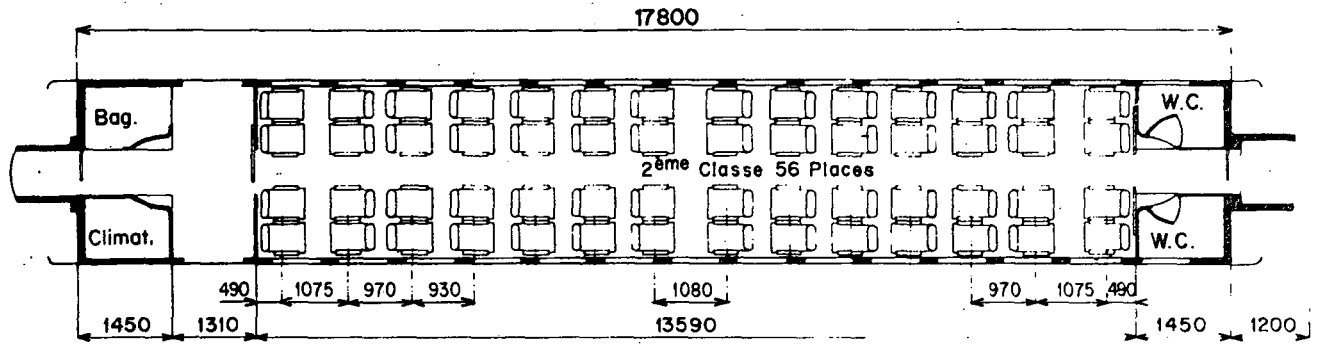
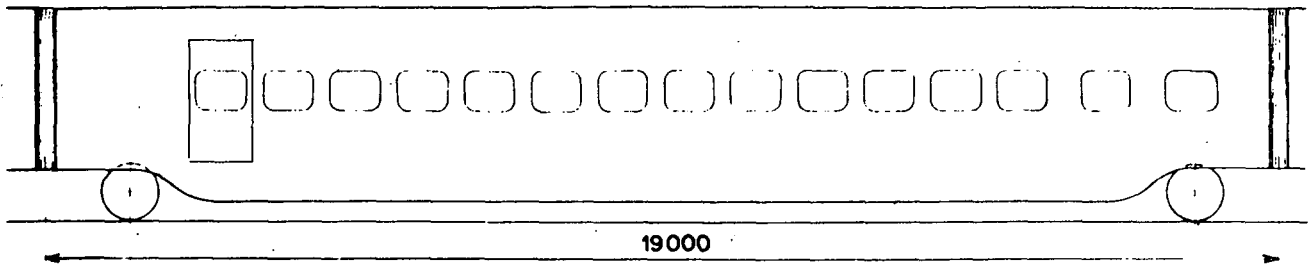
CARACTERISTIQUES de la LIGNE à CONSTRUIRE

	Variante Rive droite	Variante Rive gauche
LONGUEUR à CONSTRUIRE	373 km	381 km
PROFIL en LONG		
- Altitude du point haut	465 m	465 m
- Difficulté majeure	Rampe de 35 mm/m sur 4,050 km	Rampe de 35 mm/m sur 4,050 km
- Répartition sommaire des déclivités		
Palier	38 km, soit 10 %	40 km, soit 10,5 %
de 0 à 15 mn	193 km, soit 52 %	183 km, soit 48 %
de 15 à 25 mn	64 km, soit 17 %	69 km, soit 18 %
de 25 à 30 mn	14 km, soit 4 %	14 km, soit 3,5 %
de 30 à 35 mn	64 km, soit 17 %	75 km, soit 20 %
OUVRAGES d'ART		
- Passages supérieurs et inférieurs sur routes, cours d'eau et voies ferrées	515	540
- Grand ouvrage sur cours d'eau	1	1
- Viaducs	13	13
- Sauts de mouton	2	2
TERRASSEMENTS		
Volume des déblais mis en remblais (y compris emprunt) ou évacués en décharge	27 millions m ³	28 millions m ³

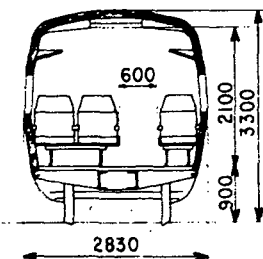


Composition	Longue
2 M + 8 R	187,300

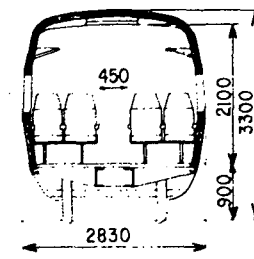
ÉLÉMENT

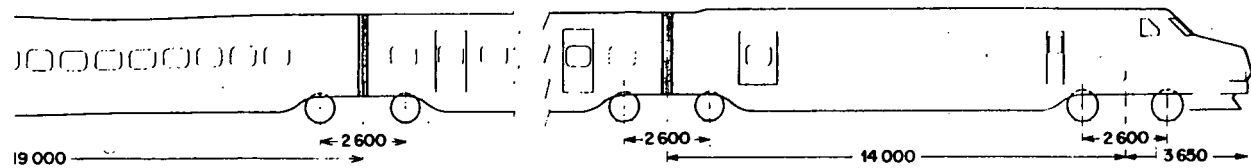


Coupe d'un élément
1ère classe



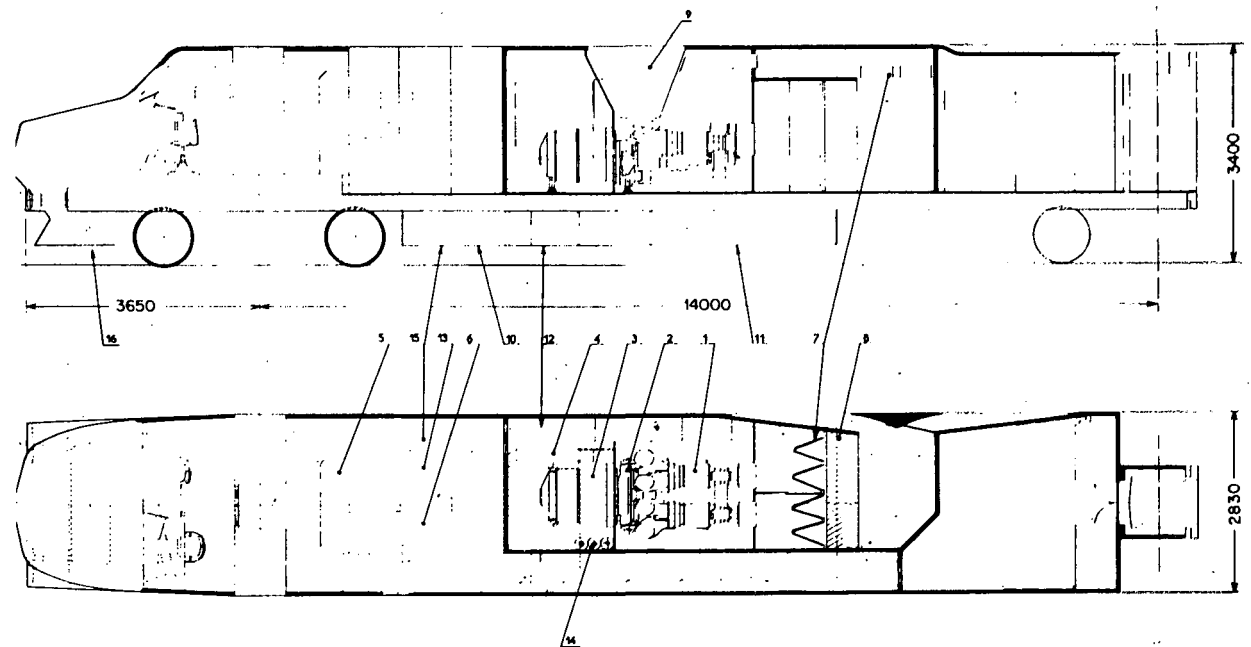
Coupe d'un élément
2ème classe





Capacité
318 voyageurs

MOTRICE



- 16 Réservoir principal
- 15 Groupe moto-compresseur
- 14 Charges "Fréon"
- 13 Bloc de freinage rhéostatique
- 12 Coffre aux filtres et pompes
- 11 Soute à gasoil
- 10 Accumulateurs
- 9 Échappement
- 8 Abat-sons
- 7 Filtres
- 6 Bloc électrique H.T.
- 5 Bloc électrique B.T.
- 4 Bloc redresseurs
- 3 Alternateur
- 2 Réducteur
- 1 Turbines