

GROUPEMENT D'ÉTUDES

DU

TUNNEL SOUS LA MANCHE

Rapport

MARS 1960

Ce rapport est présenté par :

S.E. M. René MASSIGLI, Ambassadeur de France,
Président français.

Sir Ivone KIRKPATRICK, G.C.B., G.C.M.G.,
Président britannique.

MM. Louis ARMAND,
Paul LEROY-BEAULIEU,
Charles de WOUTERS,
pour le Groupe français.

L.F.A. d'ERLANGER, Esq.,
A.B.B. VALENTINE, Esq.,
E.G. WHITAKER, Esq.,
pour le Groupe britannique.

M. Jacques GEORGES-PICOT,
S.E. M. Charles CORBIN,
Ambassadeur de France,
Viscount HARCOURT, K.C.M.G., O.B.E.,
pour la Compagnie Financière de Suez.

M. Arnaud de VITRY
d'AVAUCOURT,
George W. BALL, Esq.,
Thomas S. LAMONT, Esq.,
pour Technical Studies, Inc.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Pages</i>
INTRODUCTION	5
I. — LE GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE :	
Sa constitution. Son objet	7
II. — HISTORIQUE	9
III. — ETUDE DU TRAFIC :	
A. — Caractéristiques de l'exploitation	13
B. — Prévisions de trafic	14
IV. — ETUDE TECHNIQUE :	
A. — Etudes géologiques	17
B. — Etudes des moyens	19
a) Tunnel foré	19
b) Tunnel immergé	20
c) Pont et ouvrage composite	20
C. — Avant-projet de tunnel foré	21
a) Tunnel ferroviaire	21
b) Tunnel routier	22
D. — Avant-projet de tunnel immergé	24
E. — Pont sur la Manche	25
F. — Prix de revient et recettes à prévoir pour les divers types d'ouvrages	25
V. — FINANCEMENT	27
VI. — ETUDE JURIDIQUE	31
CONCLUSION	33
LISTE DES ANNEXES	34
CARTE DE LA MANCHE	35

INTRODUCTION

Depuis plus d'un demi-siècle, le Tunnel sous la Manche a fait l'objet de discussions nombreuses. De multiples projets ont été préparés, mais aucun d'entre eux n'a pu être réalisé en raison des obstacles d'ordre stratégique, technique ou économique auxquels ils se sont toujours heurtés.

La situation n'est plus la même aujourd'hui. Au cours de ces dernières décades, la technique, tant sur le plan industriel que sur celui des armements, a évolué très rapidement. Les motifs d'ordre économique ou militaire qui, naguère encore, pouvaient faire douter de l'opportunité d'un tunnel sous le Pas-de-Calais, ont beaucoup perdu de leur force.

En revanche, l'intérêt économique d'un tel ouvrage paraît aujourd'hui évident. Pour le passage par mer, les transbordements que doivent subir les voyageurs, les ruptures de charge ou les temps d'embarquement imposés aux marchandises sont une source de frais et de temps perdu. Les services aériens sont d'un prix relativement élevé ; comme les services maritimes, ils sont parfois ralentis, sinon interrompus, par le brouillard et les tempêtes. L'ouverture d'un libre passage ferroviaire, routier ou mixte offrirait à l'usager une économie substantielle pour un service meilleur.

Dans le cas particulier des transports d'automobiles, la demande de passage est très fortement croissante depuis quelques années, et cette tendance ne peut que s'accroître avec l'élévation du niveau de vie et l'augmentation parallèle du parc automobile. Circulant à pleine charge dès leur entrée en service, les moyens maritimes ou aériens mis à la disposition des automobilistes ne peuvent absorber le trafic des jours de pointe, ainsi qu'en témoignent les longs délais actuellement nécessaires pour la réservation du passage en période de vacances.

De cet état de choses, il est résulté que les échanges de voyageurs et de marchandises entre le Royaume-Uni et le continent ne se sont pas, surtout depuis la dernière guerre, développés au même rythme que les échanges entre les pays de l'Europe continentale. Telle est la raison pour laquelle la Fédération des Industries britanniques, entre autres, a récemment émis le vœu que le tunnel fût construit au plus tôt.

La nécessité de tels ouvrages se fait sentir un peu partout dans le monde, qu'il s'agisse des tunnels sous-marins japonais (dont l'un, de 26 km, reliant les îles de Hokkaido et de Honshu, est actuellement à l'étude), du pont sur le Bosphore ou du franchissement des détroits scandinaves.

Après deux ans et demi d'études approfondies, le Groupement d'Etudes du Tunnel sous la Manche a acquis la conviction qu'une telle entreprise était à la fois possible et souhaitable, et ceci, pour les raisons suivantes :

- a) Dans l'état actuel des procédés de construction, le Tunnel sous la Manche est techniquement et financièrement réalisable.
- b) Le tunnel offrirait des relations économiques rapides et sûres pour les voyageurs, les automobiles et les véhicules en reliant en toute circonstance les centres urbains britanniques et continentaux sans retard ni rupture de charge. Il permettrait le transport de 1.800 véhicules à l'heure dans chaque sens, à une vitesse de l'ordre de 100 km/h. Il permettrait aussi la relation ferroviaire directe Paris-Londres en quatre heures vingt minutes.
- c) Le tunnel aurait largement la capacité suffisante pour absorber tout le trafic, même aux heures de pointe, et ceci pour plusieurs dizaines d'années encore.
- d) Le tunnel favoriserait l'expansion du commerce et du tourisme et la création d'industries nouvelles. Il serait ainsi un facteur de progrès dont les économies européenne, française et britannique seraient largement bénéficiaires.
- e) L'exploitation du tunnel procurerait des recettes suffisantes pour que les investissements soient convenablement rémunérés.
- f) Si certaines conditions sont remplies, le financement du tunnel peut être assuré par les capitaux privés, sans recours direct aux fonds publics, emprunts d'Etat ou subventions des gouvernements. Il serait demandé toutefois à ces derniers d'accorder à la Société à créer la concession de l'ouvrage, certains avantages fiscaux et certaines garanties, comme on le verra au chapitre V de ce rapport.
- g) Les plans conçus par le Groupement d'Etudes prévoient que la charge du financement pourrait être partagée entre les marchés financiers de l'Europe occidentale et des Etats-Unis.

Le Groupement d'Etudes a étudié sans parti pris divers types de jonction continue des deux rives du Pas-de-Calais : tunnel foré, tubes immergés, pont, ouvrage composite pont-tunnel, les uns et les autres dans la conception d'un trafic routier, ferroviaire ou mixte. Il est parvenu à la conclusion qu'un tunnel ou un tube ferroviaire équipé de matériel spécialement conçu pour le transport des véhicules routiers (automobiles ou camions), procurerait le moyen le plus économique et le plus efficace de transporter les passagers et les marchandises, et ceci aux meilleures conditions de vitesse, avec une capacité suffisante pour absorber le trafic à prévoir.

LE GROUPEMENT D'ÉTUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

Sa constitution – son objet

Le Groupement d'Etudes du Tunnel sous la Manche, constitué le 26 juillet 1957 sur l'initiative de la Compagnie Universelle du Canal Maritime de Suez, associé, sur un pied d'égalité, les deux sociétés anglaise et française protagonistes des recherches passées, ainsi qu'une société américaine nouvellement créée, Technical Studies, Inc., pour :

« Etudier en commun les conditions dans lesquelles pourraient être réalisées la construction et l'exploitation d'un tunnel sous-marin ferroviaire et/ou routier, joignant le territoire britannique à l'Europe continentale. »

Le Groupement d'Etudes comprend :

1° la « CHANNEL TUNNEL COMPANY Ltd. » dont la British Transport Commission est actionnaire, constituant le groupe britannique.

2° la « SOCIÉTÉ CONCESSIONNAIRE DU CHEMIN DE FER SOUS-MARIN ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE » dont le principal actionnaire est la S.N.C.F., à laquelle s'est jointe,

la « FÉDÉRATION ROUTIÈRE INTERNATIONALE » (Bureau de Paris), pour constituer le groupe français,

3° la « COMPAGNIE FINANCIÈRE DE SUEZ »,

4° la « TECHNICAL STUDIES, INC. », de New-York.

Le nouveau Groupement prit la forme d'une association de fait dont les membres ont mis en commun pour les études une somme de £ 255.000 répartie à égalité entre les quatre participants. Cette somme ne tient pas compte des dépenses engagées par chacun de ceux-ci, dont l'ensemble s'est élevé à un montant sensiblement équivalent.

Le Groupement est administré par un Conseil de Surveillance, composé de douze membres, trois par groupe, et présidé par :

S.E. M. René MASSIGLI, Ambassadeur de France,

Sir Ivone KIRKPATRICK, Ancien Sous-Secrétaire d'Etat permanent au Foreign Office.

La direction des études fut confiée à M. René Malcor, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, qui a été assisté du côté anglais par Mr. H.J.B. Harding, vice-président de l'Institution des Ingénieurs Civils de Londres. Son rapport au Groupement d'Etudes constitue la première annexe à la présente note.

La tâche exécutée par le Groupement a comporté les études suivantes :

- 1° une étude du trafic, entreprise avec le concours d'organisations spécialisées en France, en Grande-Bretagne, et aux Etats-Unis, de même qu'avec les experts des chemins de fer français et britanniques,
- 2° une étude géologique confiée à des géologues-conseils britanniques, français et américains,
- 3° une étude technique de Génie civil, exécutée en collaboration avec des firmes d'ingénieurs-conseils françaises, britanniques et américaines,
- 4° une étude financière, faite en collaboration avec des établissements bancaires des trois mêmes pays,
- 5° une étude juridique portant notamment sur la forme à donner à l'organisme qui serait chargé de construire et d'exploiter le tunnel.

La composition du Groupement lui permettait de rassembler, outre les archives des études passées apportées sous réserve de rémunération ultérieure, tous les desiderata des usagers de la route et les conditions de l'exploitation ferroviaire particulières au rattachement du réseau britannique au réseau continental.

HISTORIQUE

La première idée d'une communication de pied ferme à travers le Pas-de-Calais remonte à l'ingénieur Mathieu qui, en 1802, soumettait au Premier Consul un projet de voie charretière contenue dans un tunnel sous-marin.

Depuis lors, d'autres types d'ouvrages ont été préconisés, tels que viaducs, jetée, voire double jetée abritant un canal. Mais les études les plus nombreuses et les plus variées ont été consacrées au tunnel.

Il s'agissait en premier lieu de connaître la manière dont les structures géologiques apparentes sur les falaises de Douvres et de Blanc-Nez se reliaient sous la mer. Cette connaissance devait dicter le choix du tracé et le mode de construction de l'ouvrage.

De 1833 à 1869, Thomé de Gamond et Sir John Hawkshaw, travaillant séparément, mais non sans confronter leurs résultats, ont attaché leurs noms aux premières investigations sérieuses.

Les moyens de l'époque ne leur permirent pas d'éviter certaines lacunes. Celles-ci les conduisirent à des interprétations sensiblement différentes. Néanmoins, leurs projets de tunnel ferroviaire, respectivement publiés en 1867 et en 1869, sont les premiers qui soient dignes de considération.

En dépit de leurs divergences, ces résultats furent assez significatifs pour inspirer la fondation de la « Channel Tunnel Company » en 1872 et trois ans plus tard, de « l'Association du Chemin de Fer sous-marin entre la France et l'Angleterre », dont la Compagnie du Chemin de Fer du Nord détenait la moitié des parts. La Compagnie française obtint aussitôt la concession et devint l'actuelle « Société Concessionnaire du Chemin de Fer Sous-Marin ».

Dès lors, de nouvelles études convenablement financées par les deux sociétés furent entreprises d'une manière plus systématique.

La Commission géologique française, présidée par Lavalley et assistée par l'ingénieur hydrographe Lrousse, établit en 1876 un rapport détaillé et une remarquable carte géologique de la partie la plus importante du détroit. Ces travaux sont à la base de toutes les études entreprises par la suite.

Cette exploration confirma la thèse selon laquelle un tunnel sous-marin creusé entre Douvres et Sangatte aurait toute probabilité de trouver, dans la craie cénomane, ou craie grise de Rouen — dénommée Lower Chalk par les Anglais — une

formation homogène et continue, propice au forage et suffisamment épaisse pour le contenir sur toute son étendue.

Pour contrôler cette probabilité, et mesurer notamment le degré d'imperméabilité de la craie grise, les deux Compagnies entreprirent d'importants travaux qui purent être considérés comme un commencement d'exécution. Elles firent creuser des puits sur chaque rive et percer, à partir de ces puits, deux galeries sous-marines de reconnaissance cheminant l'une vers l'autre au niveau de la craie grise.

Commencés en 1881, ces travaux furent interrompus en 1883, lorsque le Gouvernement britannique, inspiré par des motifs d'ordre principalement stratégique, interdit à la « Channel Tunnel Company » d'aller plus avant. Les deux galeries avaient alors atteint environ deux kilomètres de développement chacune.

Les connaissances acquises au cours de ces travaux furent d'un grand prix. On constata notamment l'imperméabilité relative de la craie grise de Rouen. De plus, on y fit l'essai de deux nouvelles machines perforatrices, dont l'une, celle du colonel britannique Beaumont, creusa la plus grande partie des deux galeries sur 2 m. 15 de diamètre, et réalisa des performances remarquables. De cette machine, dérivent directement les engins modernes les plus puissants.

Ces constatations lièrent pour longtemps l'idée d'un tunnel sous la Manche à celle du « tracé crétaqué » reliant Douvres à Sangatte par la craie grise de Rouen. S'inspirant des idées de l'ingénieur Breton, qui avait dirigé les travaux de Sangatte en 1881-1883, Albert Sartiaux mit au point en 1906-1907 le projet de tunnel ferroviaire de la Société Concessionnaire française. De leur côté, les techniciens anglais de la « Channel Tunnel Company », Sir Douglas Fox, puis Sir Percy Tempest, étudiaient un projet semblable, mais sensiblement différent. Néanmoins, l'étroite collaboration des deux Sociétés, favorisée par le climat de l'Entente Cordiale, récemment conclue, conduisit à un rapprochement tel qu'on pouvait espérer aboutir à un projet commun.

Mais, tandis qu'après la guerre de 1914-1919, le Conseil Supérieur des Travaux Publics français donnait son adhésion au projet Sartiaux, et qu'une Commission nommée en 1930 par le Gouvernement britannique se prononçait en faveur de la création d'un tunnel, le vote négatif de la Chambre des Communes, acquis à une très faible majorité — 179 voix contre 172 — découragea pour un temps les activités des deux sociétés. Néanmoins, le Comité parlementaire britannique du Tunnel sous la Manche, reconstitué après la deuxième guerre mondiale, a réussi à maintenir l'intérêt de l'opinion publique pour le projet.

Si les études précédentes avaient surtout pour objet le tunnel ferroviaire et le tracé crétaqué, les années d'entre les deux guerres virent naître l'idée d'un tunnel routier et renaître celle d'un tracé différent, le « tracé jurassique » situé plus au sud, de Gris-Nez à Folkestone.

Le développement du trafic automobile motivait en effet l'étude d'un ouvrage routier. Mais la nécessité de le ventiler pour en éliminer les gaz nocifs dégagés par les moteurs imposait des prises d'air intermédiaires qui ne pouvaient être établies que sur des îles artificielles. Cette nécessité conduisit à rechercher un tracé passant par les bancs peu profonds de Varne ou de Colbart, situés au milieu et dans la partie sud-ouest du détroit, c'est-à-dire en terrains jurassiques. D'où la notion d'un tunnel routier lié au tracé jurassique qu'on a parfois opposée à celle d'un tunnel ferroviaire lié au tracé crétaqué.

La nécessité de créer un tunnel routier fit l'objet d'une proposition de résolution à la Chambre française, en 1938, par le député Marcel Boucher. M. Basdevant en dessina les esquisses. Presque aussitôt, le « Comité du Tunnel Mixte sous le Pas-de-Calais » établit l'avant-projet d'un ouvrage à la fois ferroviaire et routier. Une nou-

velle conception de M. Basdevant, réétudiée par MM. Mesnager, Guérin et Denis, aboutit à l'avant-projet de tunnel mixte en un seul tube qui fut diffusé en 1958. C'est, avec celui de M. Brian Colquhoun et de ses associés, le dernier en date des projets de tunnel sous la Manche qui ait vu le jour avant celui qui fait l'objet du présent rapport.

D'autres modes de franchissement du Pas-de-Calais furent étudiés parallèlement aux solutions en tunnel.

Il faut souligner notamment divers projets de pont sur la Manche, que les moyens de réalisations modernes ne rendent nullement illusoire. Celui qui fut établi en 1889 pour le compte de la « Channel Bridge Company », par MM. Schneider et Hersent, en collaboration avec les ingénieurs britanniques constructeurs du pont sur le Firth of Forth, mérite une mention particulière.

ÉTUDE DU TRAFIC

Cette étude comporte, d'une part, l'étude des caractéristiques d'exploitation possible, d'autre part, l'analyse des trafics actuels entre l'Angleterre et le Continent, la recherche de leur croissance normale et des trafics détournés ou engendrés par la nouvelle voie de communication, l'étude des tarifs, ainsi que les recettes à attendre de l'exploitation.

A. — CARACTERISTIQUES DE L'EXPLOITATION.

L'étude de trafic a été précédée d'une étude des conditions d'exploitation qui a eu pour objet de déterminer les données de base desquelles dépendent les caractéristiques du trafic dans l'hypothèse d'un tunnel routier et dans celle d'un tunnel ferroviaire.

Ces données de bases ont été arrêtées par le Délégué du Groupement après consultations d'experts en trafic routier accrédités auprès des principaux organismes de transport européens, et en accord avec les experts ferroviaires de la S.N.C.F. et de la B.T.C.

TUNNEL ROUTIER.

Les caractéristiques retenues comportent un premier tube de 42 km de longueur, contenant une chaussée de 9 mètres à double sens de circulation, avec un gabarit de 4,50 m de hauteur et qui, parcouru à une vitesse de 35 *miles* (56 km) aurait une capacité de 1.300 voitures par heure *dans les deux sens réunis*.

S'il était mis en service en 1965, il serait nécessaire de le doubler peu après 1980. La capacité du tunnel serait alors de 3.000 voitures à l'heure dans les deux sens réunis. La durée du parcours net serait de 45 minutes.

TUNNEL FERROVIAIRE.

Les experts ferroviaires eurent à résoudre l'importante question du rattachement du réseau britannique au réseau continental, comportant, entre autres, l'unification pour le tunnel du réseau de distribution électrique. Les dispositions relatives au matériel roulant destiné au transport des véhicules ont été spécialement étudiées : on a prévu des wagons plateformes à simple étage et à double étage pour les automobiles et des plateformes spéciales pour les camions.

L'étude des installations terminales, notamment dans le cas du transport des véhicules sur rail, a été faite avec un soin particulier ; elle a permis de déterminer les

modes de circulation, de chargement, de déchargement assurant le maximum de facilité et le minimum de délai.

Le tunnel, constitué par deux tubes à sens unique de 52 km de longueur, pourrait avoir une capacité permettant de faire passer, par heure et dans chaque sens, 1.800 véhicules et 4.800 voyageurs, ce qui dépasserait de 70 % les pointes prévues pour 1980 sur la base des méthodes actuelles d'exploitation.

La capacité du tunnel ferroviaire, même aux heures de pointe, est donc très supérieure à celle du tunnel routier pour le transport des seules automobiles. Or, le tunnel ferroviaire transportera également une proportion relativement importante de passagers sans voitures et de marchandises.

Le gabarit de 4,56 m permettra le transport de camions de 3,78 m ou de 4,23 m selon le type de wagon.

Les voitures seront transportées par des navettes de trains spéciaux composés de wagons à simple étage (portant 150 véhicules) qui suffiront pour le trafic de 1965 et de wagons à double étage (portant 300 véhicules) qui assureront exclusivement le trafic de 1980. Ils franchiront le tunnel en 33 minutes à la vitesse de 95 km/h.

Les trains de voyageurs affectés aux longues distances seront du type continental ; ils transborderont à la gare terminale anglaise. Des trains respectant les deux gabarits assureront des relations directes entre les grandes villes, Londres-Paris, Londres-Bruxelles.

La durée du trajet Londres-Paris sera de 4 h 20 minutes, lorsque l'ensemble des parcours aura été électrifié.

Les trains franchiront le tunnel en 30 ou 28 minutes à des vitesses commerciales de 104 à 112 km/heure.

B. — PREVISIONS DE TRAFIC.

L'étude des trafics présents et à prévoir a été confiée à trois bureaux d'experts associés à la demande du Groupement d'Etudes :

The ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT, de Londres,
La SOCIÉTÉ D'ETUDES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES, de Paris,
Messrs. De LEUW, CATHER & COMPANY, de Chicago.

Sous le contrôle du Délégué du Groupement, ces bureaux ont recueilli toutes les statistiques accessibles concernant le commerce et les transports actuels entre l'Angleterre et le Continent, notamment par le Pas-de-Calais.

Ils ont entrepris en outre l'étude du développement démographique, économique et social des contrées intéressées par la création d'un ouvrage à travers la Manche, celle des moyens de transport en usage ou à venir, la recherche des facteurs susceptibles de déterminer la croissance normale des trafics actuels, leur stimulation et leur attraction vers le tunnel, l'apparition de nouveaux trafics.

Cette recherche a nécessité en particulier des enquêtes de trafic détaillées (1) comportant l'analyse des échanges par origine et destination, organisées en 1958 pendant la saison des vacances et en octobre.

Ces études ont duré d'avril 1958 à mai 1959. Jointes aux précédentes et à d'autres recherches conduites personnellement par le Délégué du Groupement, elles ont abouti à des résultats qui sont exposés ci-après.

(1) Plus de 90.000 questionnaires ont été remis aux passagers dans les ports et les gares aériennes.

Les renseignements statistiques concernant les trafics de 1957 entre la Grande-Bretagne et le Continent européen ont été groupés comme suit :

	TRAFIC 1957		
	Par mer	Par air	Totaux
<i>Voyageurs sans véhicule</i>	3.191.000	2.559.000	5.750.000
<i>Véhicules accompagnés</i>	233.254	52.646	285.900
<i>Marchandises : Trafic total</i>			10.500.000 T
dont :			
Trafic non pondéreux ..	3.470.000 T		
dont :			
Trafic par ferries	500.000 T		

Il a été considéré, en ce qui concerne les marchandises, que seul le trafic non pondéreux pourrait être attiré par le tunnel.

Les trafics étudiés ont été schématisés en un certain nombre de relations caractéristiques reliant entre elles des zones et des villes convenablement choisies en Angleterre, d'une part, en Europe continentale, d'autre part ; leur classement a été fait par relations et, pour chacune d'elles, suivant l'itinéraire choisi (maritime ou aérien).

La création d'une communication permanente telle que le tunnel, supposée capable d'écouler tout le trafic qui se présente, aura pour effet de détourner à son profit une part de ce trafic. Cette part a été évaluée en calculant pour chaque itinéraire la somme d'un certain nombre de facteurs objectifs qui grèvent inégalement pour l'usager ces différents itinéraires et le déterminent à choisir le plus avantageux.

Ces facteurs sont notamment : les frais de fonctionnement des moyens de transport utilisés, les tarifs et péages, les délais d'attente, une certaine valeur pécuniaire attribuée au temps de voyage selon les méthodes scientifiques de la technique de la circulation.

Ces calculs ont permis de déterminer les tarifs optimum pour la traversée du tunnel et donnant à celui-ci les meilleures recettes.

Il a été trouvé qu'il conviendrait d'adopter en moyenne les tarifs suivants :

Voyageurs	N.F. 22,—,
soit une réduction de 5 % sur les tarifs moyens 1958 des services maritimes.	
Véhicules accompagnés ...	N.F. 80,—,
par voiture de 4,40 m (1) avec son conducteur, soit une réduction d'environ 30 % sur les mêmes tarifs.	
Marchandises	N.F. 28,—,
la tonne, en moyenne, soit une réduction d'environ 50 % sur les tarifs des ferries.	

Quant aux trafics correspondants, ce sont les trafics détournés au détriment des voies de communication actuelles. Ils représentent une fraction importante du trafic total. Sur la base de l'année 1957, qui a servi de point de départ aux calculs, on a estimé qu'en 1965, 90 % du trafic véhicules total seraient détournés au profit du tunnel. De même, près de 60 % des voyageurs empruntant l'ensemble des lignes maritimes entre les ports anglais et les ports français, belges, hollandais ou danois, ainsi que les lignes aériennes côtières, et 25 % des passagers aériens empruntant les lignes Paris-Londres, Londres-Bruxelles et Londres-Amsterdam seraient détournés vers le tunnel.

Calculés par la méthode qui vient d'être exposée, ces trafics subissent, en outre, un accroissement normal dû à l'expansion démographique et au progrès. De 1957 à 1965, cet accroissement s'exprime par le coefficient 1,4 pour les voyageurs et le coefficient 1,7 pour les véhicules.

(1) Cette dimension correspond à une voiture 403 Peugeot en France, à une voiture Ford-Zephyr en Grande-Bretagne.

De plus, l'expérience prouve qu'un trafic « engendré » par l'apparition d'une nouvelle voie de communication vient, dès la première année de service, s'ajouter au trafic « détourné ». Dans le cas des véhicules, cette stimulation se traduit par le coefficient 1,6.

Ces différents calculs ont abouti aux prévisions de trafic suivantes :

a) POUR UN TUNNEL FERROVIAIRE.

	Voyageurs	Véhicules accompagnés	Marchandises
1957 — Trafic disponible	5.750.000	285.900	3.470.000 T
» tunnel	2.241.000	258.000	1.168.000 T
1965 — Trafic tunnel	3.180.000	676.000	1.230.000 T
1980 — Trafic tunnel	4.831.000	1.127.000	1.587.000 T

Ces estimations ont été faites avec beaucoup de prudence. Elles supposent la cessation des services maritimes du détroit assurés par les Chemins de fer. Il faut souligner que les trafics constatés en 1958 et 1959 ont été sensiblement supérieurs à ceux qui résultent de l'étude. Cette observation est encourageante, mais on a préféré ne pas modifier les chiffres indiqués ci-dessus.

b) POUR UN TUNNEL ROUTIER.

Les estimations ont été faites de façon analogue à celle du trafic du tunnel ferroviaire pour les automobiles accompagnées et les marchandises.

Pour les voyageurs ordinaires, on a supposé que des services d'autobus de liaison assureraient dans le tunnel la correspondance entre les services ferroviaires britanniques et français, en concurrence avec les services maritimes contrôlés par les réseaux, sans que ces derniers bénéficient d'avantages systématiques ; cette hypothèse conduit à prévoir un trafic égal à 68 % de celui des voyageurs dans le tunnel ferroviaire, mais sous réserve que les réseaux n'accordent aucune préférence à leurs services propres, ce qui n'est qu'une hypothèse de travail ; on a ainsi pour le trafic :

	Voyageurs	Véhicules accompagnés	Marchandises
1965	2.161.000	645.000	430.000 T
1980	3.284.000	1.076.000	555.000 T

IV

ÉTUDE TECHNIQUE

De même que l'étude du trafic envisageait la création de deux moyens de communication, par rail et par route, de même l'étude technique aura pour objet un ouvrage ferroviaire et un ouvrage routier, ou leur association dans un ouvrage mixte.

Pour chacun de ces types d'ouvrage, elle s'attachera principalement aux solutions en tunnel. La solution du pont dont les avantages sont grands, tant pour l'utilisateur que pour l'exploitant, sera étudiée avec moins de détails, mais suffisamment pour fournir une comparaison des dépenses et des rentabilités.

A. — ETUDES GEOLOGIQUES (1958-1959).

Disposant des résultats acquis par les études antérieures, le Groupement d'Etudes s'adressa à deux Conseillers principaux, eux-mêmes assistés d'éminents spécialistes :

Mr. J.M. BRUCKSHAW, Ph.D., M.Sc., D.I.C.F. Ins. P., Professeur de Géophysique appliquée au Département de Géologie de l'Imperial College de Science et de Technologie de Londres,

M. Jean GOGUEL, Ingénieur Général des Mines, Directeur de la Carte Géologique de France, Professeur de Géologie à l'Ecole des Mines.

Une décision du Gouvernement des Etats-Unis a également permis au Groupement d'Etudes d'obtenir le concours de Mr. William O. SMITH, appartenant au U.S. Geological Survey.

Le travail accompli en deux ans a comporté l'examen de la galerie exécutée en 1882 à Sangatte (Pas-de-Calais), des sondages à terre, des prospections géophysiques par les procédés les plus récents, l'exploration des fonds sous-marins et l'examen microscopique des fossiles, enfin des sondages sous-marins.

La galerie de Sangatte, creusée en 1882 par l'Association du Chemin de Fer sous-marin entre la France et l'Angleterre, a été déblayée. Les ingénieurs et géologues constatèrent l'excellente tenue de la craie en section circulaire (2,15 m de diamètre) creusée par la machine Beaumont, et la faible importance des suintements.

Un sondage de 248 mètres fut exécuté à Escalles, sur le sol français. Le sous-sol anglais étant de structure apparemment plus complexe, on fut amené à y forer trois sondages, un de 197 mètres dans l'épaisseur de la falaise en arrière de Shakespeare Cliff, et deux de 111 et 128 mètres dans l'enceinte de Douvres. Outre les précisions que ces sondages apportaient à la connaissance des structures géologiques, ils don-

nèrent lieu à un carottage systématique qui permit de nombreuses mesures en laboratoire.

L'objet essentiel des recherches géophysiques était la structure géologique sous-marine que rien jusqu'à ce jour n'avait permis de prospecter.

On fit un premier essai de prospection sismique à terre, de part et d'autre du détroit. Les résultats obtenus permirent de mesurer les valeurs de la vitesse du son en différents milieux, valeurs qu'en tout état de cause il était nécessaire de connaître pour l'application des procédés basés sur la réflexion des ondes sonores.

Parmi ces procédés, la technique du « Sonar » récemment mise au point pour la prospection pétrolière sous-marine, donnait un enregistrement continu d'ondes sonores émises sous la surface de l'eau et réfléchies par des interfaces jusqu'à une certaine profondeur sous la mer. Un bateau de faible tonnage, équipé de ce matériel relativement simple, a parcouru pendant deux mois de l'été 1958 les itinéraires à prospecter, et malgré la présence des fonds calcaires, les résultats dépassèrent les espérances. Toutefois, si l'on obtenait une assez bonne sélection des structures rencontrées sous le fond, la pénétration utile ne dépassait guère une trentaine de mètres.

Aussi, pour compléter cette prospection, une nouvelle campagne fut effectuée au printemps 1959, avec le procédé « Sparker » qui venait de faire ses preuves au Golfe Persique. Il s'agit encore ici d'ondes sonores réfléchies donnant un enregistrement continu, comme dans le « Sonar », mais la plus grande puissance des ondes et leur basse fréquence permettaient de pénétrer plus profondément dans les couches sous-marines.

Les résultats obtenus par ces procédés permirent de dresser une carte hydrographique complète du Pas-de-Calais sur laquelle apparaissaient quelques fosses dont l'une atteint 85 mètres de profondeur. Ils fournirent surtout un relevé des couches géologiques sous-marines et de leurs affleurements, qui donne pour la première fois une représentation correcte du sous-sol crétacé dans le Pas-de-Calais. Toutefois, comme les reconnaissances géophysiques ne peuvent que repérer des couches sans identifier leur nature géologique, il fallut compléter cette connaissance par l'observation directe des affleurements et l'examen des fossiles, ainsi que par des sondages sous-marins.

L'exploration superficielle du fond de la mer, complétée par une exploration par hommes-grenouilles, permit d'extraire à 30 ou 50 centimètres sous le fond, 393 « carottes » qui furent examinées en laboratoire, et d'identifier la nature des affleurements géologiques reconnus par les prospecteurs géophysiques. Par ailleurs les microfossiles, ramenés avec les échantillons du fond de la mer et les carottes extraites des sondages, ont été examinés. On sait, en effet, que la présence de certains foraminifères bien déterminés permet de caractériser l'âge d'une formation à l'intérieur d'une roche apparemment homogène.

Enfin, huit sondages forés dans le fond sous-marin en des points convenablement choisis du détroit permirent d'identifier en profondeur la nature des couches repérées par les moyens géophysiques et d'en vérifier les épaisseurs et les pendages. Chaque sondage fut carotté en divers points de sa hauteur correspondant à diverses natures de terrains, et les carottes furent examinées au laboratoire.

Ces travaux furent exécutés au moyen d'un bateau-atelier. Le sondage le plus profond atteignit 69 mètres sous le fond de la mer, par 40 mètres de profondeur d'eau.

CONCLUSIONS DES ÉTUDES GÉOLOGIQUES.

Les résultats des recherches effectuées en 1958-1959 confirment les conclusions des campagnes 1875-1876, en ce qui concerne la continuité du Cénomaniens (craie grise de Rouen) et permettent de lui attribuer une épaisseur variant de 80 mètres sur la côte anglaise à 65 mètres sur la côte française.

On a reconnu l'existence de trois poches remplies de gravier et de fosses non remblayées, ainsi que de failles de faible rejet orientées parallèlement à l'alignement du tunnel. Mais il n'a pas été décelé de failles perpendiculaires à cet alignement.

D'après les constatations faites, les infiltrations d'eau semblent devoir rester dans des limites normales pour l'exécution des travaux, et seraient susceptibles d'être traitées par injections.

Les caractéristiques physiques et mécaniques de la craie grise de Rouen se prêtent tout particulièrement au travail des machines à forer à pleine section.

Il se confirme donc, en définitive, qu'il n'apparaît pas de difficulté majeure pour le forage d'un tunnel dans le Cénomaniens, à condition de se tenir dans la partie inférieure de cette couche et à distance convenable du Gault. Cette condition exclut un tunnel de trop grand diamètre comme celui qui devrait contenir à la fois la route et les voies ferrées.

On n'en peut dire autant des formations jurassiques situées au sud-ouest de l'alignement Folkestone/Blanc-Nez. Le tracé du tunnel y rencontrerait de nombreux changements de terrain et serait probablement coupé de failles transversales. Cette structure fait craindre des éboulements et des glissements fréquents.

De telles difficultés pourraient ne pas être insurmontables. Mais elles ne se prêtent pas à l'emploi de machines modernes travaillant à pleine section. Il faudrait recourir à d'autres méthodes de forage, plus lentes et plus coûteuses, ou à la technique des tunnels immergés, posés à partir de la surface dans une tranchée draguée au fond de la mer.

Ces conclusions reposent sur une part de probabilités suffisamment grande pour les justifier, et réduisent considérablement ce qu'on peut appeler le « risque géologique » dans le Cénomaniens. Toutefois, une prospection plus détaillée, axée dans le voisinage immédiat du tracé qui sera choisi, devra être impliquée dans les travaux préliminaires précédant l'exécution du projet.

B. — ETUDE DES MOYENS.

Il résulte de l'étude précédente qu'un tunnel foré ne peut se concevoir que dans le Cénomaniens, ce qui implique un tracé par Sangatte et la région de Folkestone. Mais si le forage est exclu dans le Jurassique, ce tracé qui serait plus à l'ouest, et légèrement plus court, peut être envisagé pour un tunnel immergé.

Les moyens d'exécution convenant à ces deux types d'ouvrage ont été étudiés.

a) TUNNEL FORÉ.

Il appartiendra aux entreprises adjudicataires des travaux de proposer les méthodes qui leur paraîtront les plus adéquates.

Les machines utilisées dans les charbonnages de Bruay, dans les mines de potasse de Hanovre, et enfin pour le barrage d'Oahé, aux Etats-Unis, ont été visitées à pied d'œuvre et leurs performances discutées avec leurs créateurs ou leurs utilisateurs.

Les constructeurs de ces deux dernières ont éprouvé les échantillons de craie cénomaniens extraits des sondages et estimé qu'ils constituent le terrain le mieux approprié à l'emploi de leurs machines.

D'après les performances vérifiées, il a été estimé qu'on pourrait compter pour le tunnel ferroviaire, dont le diamètre extérieur sera de 7,26 m., sur une vitesse d'avancement de 450 mètres par mois en moyenne. Pour le tunnel routier, en raison de son plus grand diamètre, il conviendra d'attendre l'expérience du tunnel ferroviaire.

Pour garantir le maintien des galeries dans le bon terrain et la sécurité des chantiers, l'exécution des tunnels principaux sera précédée à distance convenable de celle d'une galerie de service à partir de laquelle des forages éclaireurs exploreront le terrain.

En cas de besoin, les zones aquifères ou de moindre consistance seront traitées par injections suivant une technique qui est aujourd'hui de pratique courante.

L'évacuation des déblais a été prévue par la méthode hydraulique qui consiste à réduire les déblais en bouillie et à les refouler par des pompes vers des puits côtiers. Cette méthode a déjà été préconisée dans les études antérieures et utilisée avec succès sur des chantiers récents. Elle envisage même le refoulement direct à la mer par des trous forés verticalement dans le plafond de la galerie ; ceci suppose naturellement des conditions favorables, et certaines garanties de sécurité.

Bien que la craie cénomaniennne n'exige pas, en général, de soutien, un revêtement permanent sera indispensable pour empêcher l'altération de la roche et protéger le matériel électrique contre tout ruissellement. Il a été prévu pour l'exécution de ce revêtement, le déplacement sur rails d'un chantier fabriquant le béton, posant les coffrages et refoulant le béton au moyen de pompes spéciales.

b) TUNNEL IMMERGÉ.

La technique de la pose des tunnels par immersion a été pratiquée en plusieurs cas de traversée sous-marine ou sous-fluviale, de brève longueur. Elle a l'avantage d'éliminer le risque géologique.

En ce qui concerne le tunnel sous la Manche, cet avantage est appréciable. De plus, la pose par immersion rend possible la solution d'un tunnel de grand diamètre, à la fois ferroviaire et routier.

Dans le Pas-de-Calais, l'application de cette méthode se heurte à une difficulté particulière : le dragage d'une fouille sous-marine sous une assez grande profondeur (atteignant 70 ou 80 mètres) à partir d'un chantier flottant exposé à l'agitation habituelle et aux mauvais temps fréquents du détroit.

Dans ces conditions, une telle solution peut paraître aléatoire. Mais la technique des plateformes fixes, véritables îlots de travail soutenus au-dessus des plus hautes vagues, inaugurée pour les besoins de l'exploration pétrolière, puis étendue à la construction des îlots radars et autres travaux maritimes, pourrait être adaptée au tunnel sous la Manche.

Il reste néanmoins que les remorquages et certaines opérations conduites à partir de la plateforme dépendent dans une certaine mesure de l'état de la mer.

Quoi qu'il en soit, une documentation importante a été recueillie à cet égard. Un grand chantier de ce genre a été visité en Amérique. Des entreprises spécialisées se sont montrées disposées à offrir des garanties. Il a donc été possible d'étudier un avant-projet de tunnel immergé, soit simple, soit mixte, et d'en évaluer les dépenses de construction.

c) PONT ET OUVRAGE COMPOSITE.

La construction d'un pont suivant tracé rectiligne, ou celle d'un ouvrage composite combinant pont et tunnel à la faveur des deux bancs de Varne et de Colbart, rencontre des difficultés, en partie analogues à celles du tunnel immergé.

La même technique peut donc être envisagée pour la construction des piles, elle est d'ailleurs la seule qui se prête, pratiquement, à la construction d'un pont sur la Manche.

C. — AVANT-PROJET DE TUNNEL FORÉ.

Les études de Génie Civil pour un tunnel foré, ferroviaire et routier, ont été confiées à deux groupes d'Ingénieurs-Conseils :

a) de Londres : Sir William HALCROW and Partners ;
Messrs. LIVESEY and HENDERSON ;
Messrs. RENDEL, PALMER and TRITTON.

b) de Paris : SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'EXPLOITATIONS INDUSTRIELLES (S.O.G.E.I.).

Le tunnel foré serait constitué par un ouvrage ferroviaire et un ouvrage routier, distincts, mais voisins, contenus dans la partie inférieure de la craie cénomaniennne. Il traverserait le détroit entre Douvres et Sangatte.

a) TUNNEL FERROVIAIRE.

Pour ce type d'ouvrage, la ventilation ne pose pas de problèmes importants et son incidence sur le coût de construction serait négligeable.

Les gares terminales ferroviaires seraient situées près de Folkestone en Angleterre et de Calais en France. Elles seraient distantes, par le tunnel, de 70 km environ.

Le tunnel proprement dit, mesuré entre portes, aurait environ 52 km de longueur. La partie sous-marine, légèrement infléchie pour se maintenir dans les limites du Cénomaniennne, aurait 36,4 km environ.

Le tunnel sous-terrestre anglais (11 km) et le raccordement à la gare terminale (15 km) seraient plus longs que du côté français (5 km et 2 km) par la nécessité de déboucher en arrière des falaises et de rejoindre une région propice aux installations terminales. Le débouché français en arrière de Sangatte et de Calais trouve des dispositions plus favorables.

L'ouvrage ferroviaire se composerait de deux tubes parallèles, à voie unique, de 6,50 mètres de diamètre intérieur, reliés par des rameaux transversaux et par quatre bretelles contenant des jonctions ferroviaires.

Une galerie de service de 3,30 mètres de diamètre intérieur, dont la construction précéderait avec un certain décalage celle des galeries principales, serait située entre les deux et à un niveau légèrement inférieur. Elle servirait aux besoins de la construction, de l'exploitation et du drainage.

Le profil en long du faisceau de galeries aurait la forme d'un W dont le point haut situé vers le milieu du chenal, mais plus près de la côte française, se trouverait à 38 mètres sous le plafond du détroit, en un point où la profondeur est de 45 mètres environ.

Deux galeries de drainage côtières assureraient l'évacuation des eaux drainées par la galerie de service à partir des points bas de cette galerie.

Le revêtement des galeries principales aurait 38 centimètres d'épaisseur. Celui des galeries de service et de drainage aurait 15 centimètres ou 23 centimètres d'épaisseur selon la position de l'ouvrage.

Les voies ferrées seraient établies sur un ballast au-dessus d'un caniveau de drainage. Les rampes ne dépasseraient généralement pas 10 pour 1.000 ; exceptionnellement, une pente atteindrait 11,6 pour 1.000. Les courbes auraient un rayon supérieur à 1.200 mètres (exceptionnellement 1.050).

La traction serait exclusivement électrique, avec du courant à 25.000 volts. Les caténaires, suspendues au sommet de la voûte, seraient en parallèle ; elles laisseraient, au-dessus de la voie de roulement, un gabarit de 4,56 mètres.

Le chemin de fer sous-marin assurant les navettes entre gares terminales s'y développerait en boucle de manière à ne pas changer le sens de la marche des trains ayant à revenir d'une gare à l'autre.

Les installations terminales ont été étudiées notamment en vue de faciliter et d'accélérer les opérations de chargement et de déchargement des véhicules. Les voies ferrées seraient encadrées par des quais de 14 mètres de largeur, dont quelques-uns comporteraient une plateforme supérieure pour desservir les trains de wagons à double étage. Les bâtiments, parkings, sens de circulation, etc., ont été prévus. Enfin, les stations auraient des raccordements aisés avec les réseaux ferroviaires et routiers britanniques et français.

ESTIMATION DES DÉPENSES DU TUNNEL FERROVIAIRE.

Le devis estimatif des dépenses du tunnel ferroviaire peut être résumé comme suit, en millions de nouveaux francs :

Travaux du Génie Civil	1.105
Installations ferroviaires entre gares terminales	135,5
Installations terminales	234,5 (1)
	1.475

Il a été prévu, en outre, qu'un aménagement convenable du réseau routier français à partir de la gare terminale pourrait coûter NF 30 millions, soit au total : NF 1.505 millions.

Les dépenses d'entretien sont les suivantes, en millions de nouveaux francs :

	1965	1980
Installations ferroviaires (entretien et renouvellement)	14,43	14,43
Tunnel proprement dit	3,50	6,60
	17,93	21,03

La durée des travaux est estimée à 5 ans.

b) TUNNEL ROUTIER.

Les gares terminales du tunnel routier sont prévues à environ 1,5 km en arrière de Sangatte et à 4 km en arrière de Douvres, en des points où les raccordements avec les réseaux routiers pourront être faits dans les meilleures conditions.

La longueur totale de la route entre stations terminales serait de 42 km, dont 36,5 km pour la partie sous-marine.

L'ouvrage complet comprendrait deux galeries circulaires de 11 mètres de diamètre intérieur, contenant chacune une chaussée de 9 mètres de largeur. Estimant raisonnable de prévoir leur réalisation en deux étapes successives, l'avant-projet s'est attaché plus spécialement à l'étude de la première galerie routière.

La chaussée de 9 mètres, encadrée par des bordures et un trottoir surélevé, aurait deux voies de circulation de sens contraires, de 3,28 mètres de largeur, et une bande de stationnement de 2,44 mètres.

Une deuxième variante a été étudiée, pour une chaussée de 9,75 mètres dans laquelle il y aurait deux voies de 3,35 mètres et une bande de 3,05 mètres, le diamètre intérieur de la galerie étant porté à 12 mètres.

Des rameaux transversaux permettraient d'utiliser la galerie de service de l'ouvrage ferroviaire aux besoins de la construction et de l'exploitation de l'ouvrage routier, qui aurait également un profil en forme de W, avec des rampes inférieures à 4 % et des courbes de rayon supérieur à 1.000 mètres.

(1) Le chiffre de NF 234,5 millions correspond à une évaluation du coût des installations définitives pour l'utilisation de la capacité totale du tunnel. Il a été reconnu possible de limiter ce montant à NF 194,50 millions jusqu'en 1980, en réservant l'emplacement des agrandissements éventuels.

Le revêtement bétonné aurait 75 ou 85 centimètres d'épaisseur selon la variante.

La ventilation d'un tunnel routier de cette longueur présente de grandes difficultés qui ont été étudiées dans le cas de chaque variante. Pour satisfaire aux normes admises et notamment pour éviter des concentrations d'oxyde de carbone supérieures à 2 pour 10.000 aux trafics de pointe (soit 750 véhicules par heure), les dispositions suivantes ont été prévues :

La ventilation se ferait par le système « transversal », l'air frais étant introduit latéralement et l'air vicié repris de même, tout le long de la galerie. L'air frais serait pris aux extrémités du tunnel et introduit en outre par une ou deux prises intermédiaires établies dans une ou deux îles artificielles, selon la variante, à construire au tiers de la longueur.

PREMIÈRE VARIANTE :

Le tunnel ayant 11 mètres de diamètre, il est prévu de construire une île artificielle. L'air frais serait insufflé par les tunnels ferroviaires et par des rameaux transversaux débouchant tous les 500 mètres dans le tunnel routier, où il serait introduit au niveau de la chaussée et d'un seul côté.

L'air vicié serait aspiré par des bouches, situées de l'autre côté de la chaussée, et expulsé par les deux compartiments libres, supérieur et inférieur, du tunnel.

Ce système exige l'installation de 146 ventilateurs et une puissance totale de 24.000 chevaux.

DEUXIÈME VARIANTE :

Le tunnel aurait 12 mètres de diamètre intérieur, et serait alimenté par deux prises d'air intermédiaires établies en deux îles artificielles.

En ce cas, l'air frais serait insufflé par le compartiment libre inférieur du tunnel et introduit au niveau, et de part et d'autre, de la chaussée.

L'air vicié serait aspiré au niveau du plafond et expulsé par le compartiment libre supérieur. Toutefois, au voisinage des puits, il serait nécessaire d'expulser une partie de l'air vicié par la galerie elle-même.

Cette disposition nécessite l'installation de 18 ventilateurs et une puissance totale de 7.000 chevaux.

La deuxième variante se prêterait à un trafic de pointe double (1.500 véhicules par heure). Il faudrait alors disposer de 36 ventilateurs et d'une puissance de 56.000 chevaux.

ESTIMATION DES DÉPENSES DU TUNNEL ROUTIER.

Les dépenses du tunnel routier ont été estimées comme suit en millions de nouveaux francs :

	Première variante 11 mètres une île	Deuxième variante 12 mètres deux îles
Tunnel proprement dit	1.430	1.665
Ventilation et îles	235	330
Installations de surface (1)	55	55
	<u>1.720</u>	<u>2.050</u>
Il a été prévu en outre que l'aménagement du réseau routier français à partir de la station terminale pourrait coûter NF 50 millions, soit au total	<u>1.770</u>	<u>2.100</u>

(1) Le chiffre de NF 55 millions ne comprend pas les aménagements nécessaires au transbordement des voyageurs des services ferroviaires aux autobus de liaison.

Les dépenses d'entretien ont été estimées à NF 3,5 millions pour l'année 1965.
La durée des travaux est estimée à cinq ans.

D. — AVANT-PROJET DE TUNNEL IMMERGE.

L'étude de ce procédé a été confiée à MM. Parsons, Brinckerhoff, Quade et Douglas, de New-York, qui ont également étudié le pont et l'ouvrage composite pont et tunnel.

Parmi les divers tracés considérés, celui qui a été retenu en première analyse part des environs de Wissant sur la côte française, franchit le détroit en ligne droite, puis s'infléchit sur la côte anglaise pour aboutir au lieu dit Sugar Loaf, entre Douvres et Folkestone.

La longueur totale de l'ouvrage entre portes serait de 46 km, dont 35 km sous la mer.

Trois types d'ouvrages ont été étudiés :

- a) le tunnel immergé *ferroviaire* à deux voies, de 11 mètres de diamètre intérieur ;
- b) le tunnel immergé *routier*, de mêmes dimensions, soit 11 mètres de diamètre intérieur, contenant une chaussée à deux voies, plus une bande de stationnement. Ce type comporte une deuxième variante, semblable à celle du tunnel foré, de 12 mètres de diamètre intérieur ;
- c) le tunnel immergé *mixte*, contenant deux voies ferrées et une chaussée à quatre voies disposées en deux étages superposés dans un ouvrage circulaire de 20,36 mètres de diamètre extérieur.

La ventilation est prévue de la même manière que pour le tunnel routier, c'est-à-dire :

Tunnel routier. — 1^o variante : diamètre intérieur : 11 mètres
1 île artificielle au tiers
2^o variante : diamètre intérieur : 12 mètres
2 îles artificielles aux tiers.
Tunnel mixte 2 îles artificielles.

Le tunnel immergé serait constitué par des éléments de longueur convenable, préfabriqués à terre ou sur dock flottant, et remorqués par flottage jusqu'à pied d'œuvre.

Le chantier de pose comporterait essentiellement une plateforme-chantier maintenue par des béquilles au-dessus des plus hautes vagues. A partir de cette plateforme serait exécutée une fouille de hauteur convenable au moyen d'un engin excavateur fonctionnant dans le fond.

Les éléments de tunnel remorqués jusqu'au droit de la fouille seraient foncés et placés bout à bout, puis assemblés à l'abri de joints étanches.

Le nivellement préalable du fond de fouille serait régularisé avec de la pierraille stockée sur la plateforme. Pour le remblayage final, on se servirait, soit de pierraille, soit des déblais de la fouille dans la mesure où ils seront récupérables.

Une fois les tubes posés, leur continuité et leur stabilité assurées, on procéderait à la pose de l'équipement ferroviaire, et aux divers aménagements intérieurs.

Les estimations de dépenses à prévoir pour la construction du tunnel immergé, qui ont été faites sous la responsabilité des entrepreneurs qui ont fait la proposition, sont les suivantes :

	Millions de NF	Milliers de £
Tunnel ferroviaire	1.560	112.900
Tunnel routier { Première variante - 1 île	1.440	104.200
{ Deuxième variante - 2 îles	1.588	114.900
Tunnel mixte	2.780	201.100

La durée d'exécution du tunnel immergé ferroviaire ou routier est estimée à quatre ans. Elle serait de cinq ans pour le tunnel mixte.

E. — PONT SUR LA MANCHE.

Un projet de pont métallique à travers le Pas-de-Calais avait été étudié à la fin du siècle dernier pour le compte de la « Channel Bridge Railway Cy » (constituée en 1884) qui l'avait soumis en 1889 au Gouvernement français avec une demande de concession.

Il reliait un point de la côte française, près de Gris-Nez, à un point voisin de Folkestone, par un tracé en ligne brisée présentant deux coudes au banc de Varne et au banc de Colbart. La longueur totale était de 38 km environ.

Le projet avait été rejeté en raison de l'insuffisance des renseignements sur la nature du fond, de l'incertitude relative à l'exécution des piles en haute mer, et des objections de principe soulevées par la crainte de créer un obstacle à la navigation internationale.

Les objections inspirées par la navigation ne semblent plus avoir aujourd'hui la même valeur. La nature du fond ne pose pas de problème particulier. Quant au mode de construction des piles en haute mer, l'exemple du pont sur le Petit-Belt, d'une part, les moyens d'exécution modernes précédemment évoqués, d'autre part, éliminent toute incertitude, sinon tous les aléas.

D'autres projets de pont sur la Manche ont été esquissés depuis celui de 1889. L'idée en soi est des plus satisfaisantes : capacité sans limite pratiquement offerte à la circulation routière comme au trafic ferroviaire ; traversée brève, facile, agréable, sans attente imposée par l'ouvrage ; exploitation courante, sans sujétion de ventilation et n'imposant même pas aux chemins de fer l'adoption immédiate de l'énergie électrique ; entretien facile ; exécution comportant peu de risques d'accidents.

L'étude qui a servi de base aux estimations présentes prévoit une succession de travées dont la portée courante serait de l'ordre de 250 mètres, laissant un tirant d'air de 45 à 50 mètres, dimensions suffisantes pour la petite navigation, et quatre travées principales, dont l'ouverture, de l'ordre de 300 mètres, et le tirant d'air de 75 à 80 mètres seraient prévus pour les plus grandes dimensions de navires envisagées.

L'ouvrage pourrait être construit en cinq ans.

Son coût est estimé à environ NF 2.500 millions.

F. — PRIX DE REVIENT ET RECETTES A PREVOIR POUR LES DIVERS TYPES D'OUVRAGES.

Après une étude objective de toutes les formes possibles de liaison ferroviaire et routière à travers la Manche, le Groupement d'Etudes est parvenu à la conclusion

que, tout au moins au premier stade, un tunnel ferroviaire devait être construit de préférence à un tunnel routier. Cette conviction est fondée essentiellement sur les considérations d'ordre économique et financier exposées dans les pages précédentes de ce rapport.

Ces considérations concernent principalement la capacité et le potentiel de recettes de l'ouvrage projeté. Si un tunnel routier était mis en service en 1965, sa capacité devrait être doublée peu après 1980. A la même époque, en revanche, un tunnel ferroviaire aurait une capacité suffisante pour absorber un trafic supérieur de 70 % au trafic de pointe envisagé, et ceci sur la base de 110 trains par jour dans chaque sens, alors que la capacité théorique serait de 216 trains.

En matière de recettes, les avantages d'un tunnel ferroviaire sont également considérables. On a évalué les recettes brutes d'un tunnel ferroviaire à NF 180.000.000 en 1965 et à NF 283.000.000 en 1980, alors que les recettes brutes d'un tunnel routier n'atteindraient en 1965 que NF 130.000.000, et en 1980, NF 207.000.000, ce qui représente environ 73 % des évaluations relatives au tunnel ferroviaire. Encore convient-il de souligner que ces recettes supposent un report important du trafic de la voie maritime sur des services de liaison par autobus entre gare anglaise et française, report que les réseaux ferroviaires n'auraient guère intérêt à favoriser.

Des recettes moindres, ainsi qu'une capacité limitée, conduisent déjà à écarter la possibilité du financement d'un tunnel routier par les capitaux privés, même en admettant que le coût de construction des deux types de tunnel soit sensiblement le même.

Or, si l'on adopte les procédés traditionnels de percement, les investissements nécessaires pour un tunnel ferroviaire paraissent moins élevés que ceux d'un tunnel routier. C'est ainsi que le coût d'un tunnel ferroviaire, en y comprenant les installations entre gares, les stations terminales et les accès routiers, a été estimé à NF 1.505 millions, dont NF 40 millions d'agrandissements des gares terminales ne devant être réalisés que vers 1980. Pour le tunnel routier, cette même évaluation s'élève à NF 1.770 millions ou à NF 2.100 millions, suivant que celui-ci comporterait une ou deux îles artificielles. Ces chiffres ne comprennent pas d'aménagements spécialisés pour le transbordement des voyageurs des services ferroviaires aux autobus de liaison.

Si l'on adopte la conception du tube immergé, le coût d'un ouvrage ferroviaire a été estimé à NF 1.560 millions, alors que celui d'un ouvrage routier, sous la réserve indiquée ci-dessus, atteindrait NF 1.440 millions avec une île artificielle, ou NF 1.588 millions avec deux îles. Ces chiffres donnent apparemment un léger avantage au tube routier avec une île par rapport au tube ferroviaire ; mais cet avantage est insuffisant pour compenser les facteurs défavorables signalés plus haut en matière de capacité et de potentiel de recettes.

Comme ils ne seraient pas générateurs de recettes plus importantes, les coûts d'un pont (NF 2.500 millions) ou d'un tube mixte ferroviaire et routier (NF 2.780 millions) excéderaient les possibilités d'un financement privé.

FINANCEMENT

A partir des éléments que lui ont apportés l'étude de trafic et l'étude technique, le Groupement d'Etudes a procédé à l'analyse financière du projet.

Etant donné les difficultés et l'ampleur de l'entreprise, il est apparu que la réalisation de l'ouvrage dans le cadre d'un financement ne faisant appel qu'aux capitaux privés exigeait l'octroi à ces derniers de diverses assurances sans lesquelles ils ne pourraient courir les risques du projet.

Le coût d'un tunnel ferroviaire est estimé à £ 80 millions. A ce montant, s'ajoutent essentiellement les intérêts intercalaires à supporter pendant la période de construction pour environ £ 14.000.000, ainsi qu'environ £ 6.000.000 pour le fonds de roulement de la société, les frais d'émission des actions et des obligations, ainsi que diverses charges telles que l'indemnisation des anciennes sociétés concessionnaires, du Groupement d'Etudes et de ses membres. C'est donc sur un programme comportant un investissement total de l'ordre de £ 100 millions qu'ont été basés les plans élaborés par le Groupement d'Etudes dans le cadre d'un financement privé.

Après une étude attentive des conditions existant sur les marchés financiers, le Groupement d'Etudes estime que tout plan de financement du tunnel par le capital privé doit comporter les éléments suivants :

- création, par un traité franco-britannique, d'une société internationale qui financerait et construirait le tunnel dont elle aurait la concession ;
- octroi par les gouvernements de divers droits et assurances ;
- conclusion d'un contrat d'exploitation avec les chemins de fer anglais et français.

A. — La société internationale dont la constitution interviendrait dans les conditions développées dans la partie juridique de ce rapport, aurait pour premier objet de financer la construction du tunnel.

Son capital devrait s'élever à un montant qui ne serait pas inférieur à 20 % du total des investissements. Le financement du solde serait réalisé par voie obligataire. Ces obligations, émises à long terme pour réduire la charge annuelle de l'amortissement et rester dans les limites de rentabilité de l'ouvrage, pourraient avoir à comporter des certificats d'option (warrants), qui permettraient ultérieurement à leurs porteurs de souscrire à des actions de la société et, tout en ramenant la proportion capital/obligations à un plus juste équilibre, de réduire ainsi d'autant le montant de la dette. De

tels warrants seraient surtout nécessaires si le financement doit être recherché sur les grands marchés financiers internationaux.

B. — La Société, soit en vertu des dispositions du traité, soit par accord particulier signé avec les gouvernements :

- recevrait une concession exclusive d'une durée de quatre-vingt-dix-neuf ans, pour la construction et l'exploitation du tunnel, avec faculté de location à des tiers ;
- verrait définies les conditions dans lesquelles les gouvernements pourraient exercer un droit de rachat, et, en particulier, le prix auquel il s'effectuerait ;
- bénéficierait d'une exemption fiscale portant sur les impôts frappant la société (en France notamment : droits d'enregistrement, taxe sur le chiffre d'affaires, impôt sur les bénéfices) et non sur ceux supportés directement par l'actionnaire ou l'obligataire ;
- recevrait des gouvernements un engagement de fournir les devises nécessaires au service des obligations et au paiement des dividendes ;
- serait garantie contre tout risque de dépassement du prix de construction du tunnel ; comme il s'agit d'une entreprise de travaux publics d'une ampleur sans précédent, les fonds nécessaires ne pourraient être recueillis dans le secteur privé que si les souscripteurs recevaient des gouvernements l'assurance d'une protection contre tout dépassement important du coût estimé de £ 80.000.000, qui a été pris pour base lors de l'établissement des plans financiers. Il convient de souligner que le risque ainsi pris par les gouvernements se trouvera, en fait, considérablement diminué par les engagements qui seront demandés aux entrepreneurs et à leurs garants de supporter une part, qui pourra être importante, de tout excédent du coût des travaux.

C. — La Société du Tunnel limiterait son rôle au financement, à la construction et à l'entretien du tunnel, et en remettrait l'exploitation à la S.N.C.F. et à la British Transport Commission dans le cadre d'un bail de longue durée. Ce bail pourrait être consenti par la Société du Tunnel,

- soit conjointement aux deux gouvernements qui le transféreraient à la British Transport Commission et à la S.N.C.F.,
- soit directement à ces dernières ; dans ce cas, il faudrait que les engagements pris par les chemins de fer à l'égard de la Société du Tunnel soient garantis par les gouvernements.

Un engagement direct des gouvernements est nécessaire, en effet, pour que les titres émis par la Société du Tunnel puissent être placés, dans certains pays, auprès d'investisseurs importants, tels que les compagnies d'assurances.

Les conditions du bail seraient les suivantes :

a) Les chemins de fer locataires verseraient à la Société du Tunnel un loyer variable avec le volume du trafic sur la base de barèmes fixés d'un commun accord.

b) Les chemins de fer garantiraient à la Société le versement d'un loyer minimum annuel suffisant pour assurer le paiement des intérêts et de l'amortissement de la dette obligataire, quelle que soit la monnaie dans laquelle ceux-ci doivent être payés. Les études de trafic et les prévisions de recettes permettent de penser que, normalement, le minimum ainsi garanti devrait être sensiblement inférieur au montant du loyer que les chemins de fer devraient effectivement verser sur la base indiquée à l'alinéa a).

c) Le bail s'étendant sur une longue durée, les tarifs servant de base à la détermination du loyer seraient révisés selon un mécanisme les liant à l'évolution du coût de la vie en France et en Grande-Bretagne.

d) Les chemins de fer prendraient financièrement et techniquement en charge la construction, aux extrémités du tunnel, des installations terminales, voies de raccordement, gares de triage, etc., et, dans le tunnel lui-même, des voies, des caténaires, de la signalisation. Ils assureraient l'exploitation du tunnel, et fourniraient à cet effet le matériel de traction et le matériel roulant nécessaires.

e) Pour tenir compte aux chemins de fer de leurs dépenses d'exploitation, des risques et obligations qu'ils assument, et des garanties qu'ils seraient appelés à fournir, le loyer mentionné ci-dessus à l'alinéa a) serait fixé à un niveau tel que les chemins de fer conserveraient une partie des recettes brutes provenant des passages à travers le tunnel ; ils bénéficieraient également, sous certaines conditions, d'un partage des bénéfices nets.

D. — Ces diverses conditions s'avèrent nécessaires pour envisager un financement du tunnel dans le cadre d'une opération privée ; elles devraient permettre l'émission sur les grandes places financières occidentales des actions et des obligations correspondantes. Ces obligations devraient de plus comporter une garantie directe donnée, soit par les gouvernements, soit par les chemins de fer. En outre, les gouvernements garantiraient la Société et les chemins de fer contre les risques d'abandon de la construction avant réalisation complète de l'ouvrage, de retard dans l'achèvement des travaux, ou d'inutilisation du tunnel pour un cas de force majeure. Cette garantie serait comparable à celle qui serait nécessaire s'il apparaissait souhaitable de recourir à un organisme international tel que la B.I.R.D. pour une partie des investissements.

Des discussions ont eu lieu entre les représentants des chemins de fer et des banquiers britanniques et français associés au Groupement d'Etudes, à savoir : pour la France, MM. de Rothschild Frères et la Banque de l'Union Parisienne ; pour la Grande-Bretagne, Erlangers Ltd et Morgan Grenfell and Co., ainsi que la Compagnie Financière de Suez. Un accord a été réalisé — accord qui ne comporte aucun engagement définitif pour le moment — sur les modalités financières de l'opération et, en particulier, sur un partage des recettes brutes et des bénéfices nets susceptible de constituer une base acceptable pour les parties lorsque le moment sera venu de prendre des engagements définitifs.

Les banquiers britanniques et français associés au Groupement d'Etudes estiment que, sous réserve d'approbation par les gouvernements, et à condition d'obtenir les droits, les exemptions et les assurances mentionnés précédemment, il serait possible de recueillir les fonds nécessaires à la construction du tunnel au moyen de l'émission, échelonnée sur quatre années, d'actions et d'obligations sur les marchés financiers en Grande-Bretagne, en France et dans les autres pays de l'Europe occidentale.

Certes, il serait plus souhaitable que le financement envisagé ait une assiette internationale plus large, c'est-à-dire qu'une partie importante des obligations et une partie des actions puissent être placées sur le marché américain. Les banquiers américains associés au Groupement d'Etudes, Morgan Stanley and Co. et Dillon Read and Co. Inc., ont indiqué qu'une telle émission serait possible sur les marchés américains, sous réserve de l'obtention des droits, exemptions et assurances correspondant, pour l'essentiel, à ceux décrits ci-dessus. Toutefois, ces titres devraient offrir à l'investisseur une rentabilité supérieure à celle qui est envisagée dans le plan mentionné ci-dessus, en raison de l'ampleur exceptionnelle de cet investissement et de son caractère étranger pour le marché américain. Si les gouvernements estiment qu'il convient de rechercher une assiette plus large pour le financement du tunnel, leur concours serait nécessaire pour permettre à la Société du Tunnel de remplir les conditions demandées par les chemins de fer et de satisfaire en même temps les exigences du marché financier américain.

VI

ÉTUDE JURIDIQUE

Le Groupement d'Etudes a examiné les problèmes juridiques particuliers que soulève la création d'un service public qui serait commun à deux pays et dont le financement et l'organisation seraient confiés à une société privée.

La réalisation du projet de tunnel sous la Manche suppose la conclusion d'une convention internationale entre le Royaume-Uni et la France.

Cette convention pourrait contenir deux ordres de dispositions : elle déterminerait, d'une part, les obligations et les prérogatives de la société responsable du financement, de la construction et, en liaison avec les réseaux, de l'exploitation du tunnel sous-marin ; elle définirait, d'autre part, le statut juridique de cette société.

I. — Le traité aurait, en premier lieu, pour objet d'accorder à la Société le droit de construire et d'exploiter le tunnel ; il constituerait donc, au regard du droit français, un acte de concession, nécessairement complété par un cahier des charges.

A ce titre, il devrait, d'une part, définir les obligations de la société et leurs sanctions (résiliation et déchéance), d'autre part, lui conférer les pouvoirs et prérogatives nécessaires à la construction, à l'exploitation et au financement de l'ouvrage (notamment en matière de change, d'impôts, d'occupation du domaine public et des propriétés privées, etc.), enfin, régler ses rapports avec les réseaux.

Il serait, en outre, souhaitable, pour faciliter la bonne marche du service, qu'un organisme franco-britannique fût chargé, sinon de résoudre, du moins d'étudier les questions que poseront la construction et le fonctionnement du tunnel aux deux gouvernements, et d'assurer la liaison entre ceux-ci et la société.

II. — Quant au statut de la société, il est apparu, dès l'abord, indispensable d'adopter une structure juridique aussi simple que possible et de concentrer entre les mains d'un seul organisme la pleine responsabilité du financement, de la construction et de l'exploitation ; le Groupement d'Etudes a estimé qu'une société unique répondrait mieux à cette préoccupation.

Il a étudié les diverses solutions susceptibles d'être retenues en ce sens. Il serait, certes, prêt à envisager la constitution d'une société sous l'empire soit de la loi anglaise, soit de la loi française (la constitution d'une société dans un tiers pays, la Suisse par exemple, soulèverait des difficultés telles que cette formule doit probablement être écartée). Il estime, toutefois, que la création d'une société internationale par le traité lui-

même serait mieux adaptée au caractère particulier du projet ; son statut juridique, défini par une convention internationale, elle-même ratifiée par les deux Parlements, pourrait, dans une certaine mesure, concilier les principes des droits britanniques et français et éviter de multiples conflits de lois.

En outre, et pour ne pas laisser sans solution les problèmes que les statuts de la société, annexés au traité, n'auraient pas réglés, la loi suisse pourrait être déclarée applicable à titre subsidiaire.

Des conflits ne manqueront pas de surgir au cours de l'existence de la société ; aussi serait-il nécessaire de désigner ou de créer une juridiction indépendante chargée de les résoudre ; cette juridiction, dont l'intervention assurerait une unité de jurisprudence entre les décisions rendues, aurait à connaître, à l'exclusion de toutes autres, des litiges opposant la société soit aux deux gouvernements ou aux réseaux, soit à ses propres agents ou actionnaires ; les conflits avec les tiers seraient, en revanche, tranchés par les juridictions de droit commun selon les règles normales de compétence et de procédure.

CONCLUSION

Les études effectuées par le Groupement d'Etudes du Tunnel sous la Manche ont permis de dégager les conclusions suivantes :

Sur le plan technique, la solution la meilleure pour le franchissement du Pas-de-Calais paraît être, en première étape tout au moins, un tunnel ferroviaire, foré ou immergé, assurant par navettes le transport des véhicules routiers.

Le coût, à l'exclusion des charges financières de l'ensemble du projet y compris les installations terminales serait environ de NF 1.500.000.000. L'étude financière indique que l'on se propose de ne recourir aux capitaux privés que pour couvrir le coût du tunnel lui-même. Celui-ci est estimé à environ NF 1.100.000.000, somme à laquelle il faudrait ajouter environ NF 276.000.000 de frais financiers et d'autres charges. Ces capitaux devraient pouvoir être réunis dans le cadre d'un financement privé, sous réserve d'obtenir les exemptions et garanties indiquées dans l'étude financière.

On a estimé qu'en plus du coût du tunnel proprement dit il serait nécessaire de consacrer environ NF 400.000.000 aux installations terminales, non compris les accès routiers. Il est proposé que cet investissement soit laissé à la charge des Chemins de Fer des deux pays.

L'exploitation du tunnel serait assurée conjointement par la S.N.C.F. et par les Chemins de Fer Britanniques, qui concluraient avec la Société du Tunnel un bail de longue durée. Le loyer versé par les Chemins de Fer comporterait un minimum garanti, lequel serait d'un montant suffisant pour couvrir les intérêts et l'amortissement des emprunts obligataires. Les deux gouvernements garantiraient l'exécution des engagements pris par les Chemins de Fer envers la Société du Tunnel.

Pour cette dernière, le Groupement d'Etudes propose la création d'une société internationale unique, instituée par un traité franco-britannique. Les statuts de cette société formeraient une annexe faisant partie du traité, et la législation suisse servirait de loi de référence pour les cas non réglés dans le traité.

Si le gouvernement britannique et le gouvernement français donnent leur approbation aux principes ci-dessus définis, le Groupement d'Etudes suggère la désignation, par eux, d'une commission intergouvernementale avec laquelle pourraient être étudiées dans le détail les conditions d'exécution du projet.

LISTE DES ANNEXES

Rapport du Délégué Général du Groupement d'Etudes.

Rapport sur le trafic du Tunnel.

Rapports sur les prospections géologiques et géophysiques.

Rapport des géologues-conseils.

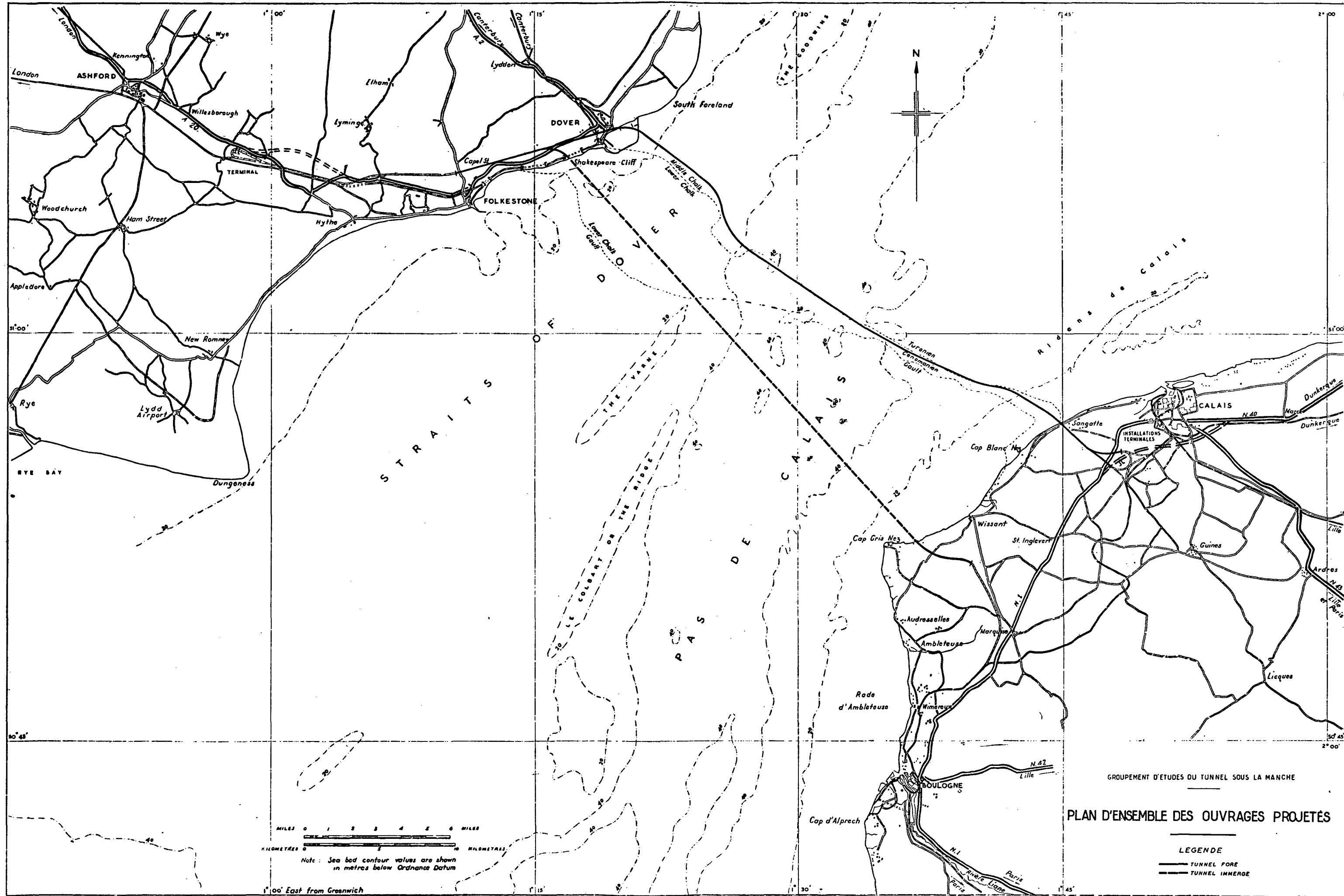
Rapport des experts ferroviaires.

Rapport sur la construction d'un tunnel foré.

Rapport sur la construction d'un tunnel immergé.

Rapport sur les installations terminales.

Rapport sur la ventilation du tunnel routier.



GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE
PLAN D'ENSEMBLE DES OUVRAGES PROJETES
 LEGENDE
 — TUNNEL FORE
 — TUNNEL IMMERGE

MILES 0 1 2 3 4 5 6 MILES
 KILOMETRES 0 2 4 6 KILOMETRES
 Note: Sea bed contour values are shown in metres below Ordnance Datum
 1° 00' East from Greenwich