

Service des Affaires Économiques
DOCUM CDAT
Rel. n° 2538

GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

René M A L C O R
INGENIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSEES
DELEGUE DU GROUPEMENT

H. J. B. H A R D I N G
VICE PRESIDENT INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS

Charles R I B E Y R E
INGENIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

LE TUNNEL SOUS LA MANCHE

R A P P O R T D U D E L E G U E

GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

RAPPORT DU DELEGUE

<u>SOMMAIRE</u>	<u>Page</u>
INTRODUCTION	1
DIFFERENTES SOLUTIONS & DIFFERENTS TRACES ...	3
1 - OBJET ET ORGANISATION DES ETUDES	4
2 - PROSPECTIONS	6
3 - MOYENS D'EXECUTION	8
4 - TUNNEL ROUTIER ET TUNNEL FERROVIAIRE - IMPERATIFS & POSSIBILITES D'EXPLOITATION .	9
5 - TRAFIC DU TUNNEL FERROVIAIRE	13
6 - ETUDE DU PROJET	17
7 - ESTIMATIONS RESUMEES	21
8 - RECETTES ET AVANTAGES NON CHIFFRES	23
9 - ATTRIBUTION DES TRAVAUX	24
CONCLUSIONS DES ETUDES DE GENIE-CIVIL, D'EXPLOITATIONS ET DE TRAFIC	25
CONCLUSIONS GENERALES	27

TABLE DES APPENDICES (1)

2 a - Descriptions géologiques générales	29
2 b - Tracé Cénomaniens (Craie Inférieure)	31
2 c - Résumé des Prospections Géologiques et Géophysiques faites par le Groupement	36
2 d - Conclusions des Etudes Géologiques	40

(1) Les numéros des appendices comme des annexes se réfèrent aux numéros des chapitres du Rapport proprement dit.

4 a - Possibilités des navettes ferroviaires	43
4 b - Tunnel Routier	45
4 c - Justification de l'adoption du gabarit du tunnel ferroviaire	48
4 d - Ventilation : Teneur en oxyde de Carbone	49
5 - Etude de trafic : Voyageurs et Véhicules	50
6 a - Génie Civil : Mission confiée aux Ingénieurs Conseils	52
6 b - Extraits des Conclusions des Ingénieurs Conseils (Tunnel foré)	53
6 c - Tunnel immergé	55
6 d - Pont et Structure Composite	57
6 e - Installations Terminales	58

LISTE DES PLANS

- 1 - Plan d'ensemble et profil en long
- 2 - Coupes types : Solution de base et variantes
- 3 - Carte géologique
- 4 - Géologie des falaises Côte anglaise
- 5 - Géologie des falaises Côte française
- 6 - Programme des travaux

Le présent rapport est complété par des annexes dont la liste est donnée plus loin et par des rapports présentés au Délégué du Groupement par les différents Conseils et autres Experts qui ont participé à l'étude.

Ces rapports ont été reçus à différentes époques pendant la durée des études qui ont couvert deux ans et demi. Ils peuvent dans ces conditions contenir certaines divergences résultant notamment d'informations incomplètes ou périmées.

La coordination finale ayant été faite par le Délégué dans le présent rapport c'est à ce dernier document et à ses appendices et annexes qu'il y a lieu de se référer en cas de divergence.

LISTE DES ANNEXES

- 0 - Historique
- 1 - Planning de l'étude
- 2 a- Description générale du site
- 2 b- Différents tracés pour un tunnel foré
- 2 c- Prospections effectuées par le Groupement d'Etudes
- 2 d- Infiltrations
- 3 - Moyens d'exécution
- 4 a- Exploitation ferroviaire
- 4 b- Claustrophobie
- 4 c- Pannes
- 4 d- Données relatives au problème de ventilation
- 5 a- Statistiques du tourisme
- 5 b- Résumé rapport trafic voyageurs et véhicules
- 5 c- Résumé rapport trafic marchandises
- 5 d- Etude du trafic - Commentaires
- 5 e- Péage optimum
- 5 f- Péage optimum (calculs)
- 5 g- Année de base
- 5 h- Tarifs réduits
- 6 a- Nivellement et planimétrie
- 6 b- Tunnel foré

- 7 a- Estimation résumée des travaux du tunnel ferroviaire foré à 2 tubes
- 7 b- Estimation tunnel routier
- 7 c- Recettes nettes tunnel ferroviaire
- 7 d- Recettes tunnel routier
- 7 e- Récapitulation des coûts en capital des différentes solutions
- 7 f- Comparaison financière entre les différentes solutions
- 8 - Avantages non chiffrés - Avantages indirects
- 9 a- Prospections futures
- 9 b- Attribution des travaux

LISTE DES RAPPORTS SOUMIS AU DELEGUE

- 1 - des Conseils : DE LEUW GATHER & COMPANY
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES & ECONOMIQUES
(SETEC)
THE ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT (E. I. U)
 - sur le trafic du tunnel - Parties A - B - C
- 2 - de la firme CRAELIUS :
 - sur les sondages à terre et prospections sismiques
- 3 - de l'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT & DES TRAVAUX PUBLICS :
 - sur les essais
- 4 - de Richard COSTAIN Ltd :
 - sur les essais
- 5 - de TELEPHONICS CORPORATION :
 - sur les prospections Sonar
- 6 - de ALPINE GEOPHYSICAL ASSOCIATES AND MARINE GEOPHYSICAL SERVICES
 - sur les prospections Sparker
- 7 - de WIMPEY :
 - sur les sondages en mer et à terre
 - sur les prélèvements au fond de la mer.

8 - des Géologues et Géophysiciens Conseils

9 - des Experts Ferroviaires

10 - des Ingénieurs Conseils pour le tunnel foré:

Sir William HALCROW and Partners

Messrs LIVESEY and HENDERSON

Messrs RENDEL PALMER and TRITTON

SOCIETE GENERALE D'EXPLOITATIONS INDUSTRIELLES (SOGEI)

SOGEI a obtenu la collaboration des Entreprises :

FOUGEROLLE

GRANDS TRAVAUX DE MARSEILLE

SOLETANCHE

10bis-Ventilation du tunnel routier

11 - des Ingénieurs Conseils :

PARSONS BRINCKERHOFF QUADE & DOUGLAS

- sur le tunnel immergé

- sur le pont

12 - de la SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES & ECONOMIQUES (SETEC)

- sur les Installations terminales

Un certain nombre d'entrepreneurs ont présenté au Groupement différents rapports accompagnés d'offres d'exécution :

HYPERION : Tunnel immergé

MORRISON KNUDSEN, BECHTEL, BROWN & ROOT : Tunnel foré

DUBOIS - DORMAN LONG - MERRITT & CHAPMAN : Pont

Nous sommes redevables à ces entrepreneurs d'avis ayant une grande valeur pratique, et de suggestions très intéressantes basées sur leur expérience étendue portant sur des chantiers exceptionnels.

INTRODUCTION

Les relations entre la Grande Bretagne et le Continent quand on les compare aux relations existant entre des zones de peuplement analogue et séparées par des frontières terrestres, peuvent être considérées comme insuffisamment développées.

Sans méconnaître les causes historiques et économiques de ce phénomène, il doit être attribué en grande partie à la précarité des communications.

Cette précarité se traduit pour les marchandises et les voyageurs par la nécessité du double transbordement ou par des coûts d'exploitation grevant fortement les prix de transports.

L'introduction du transport aérien n'a pas entièrement rétabli la situation en ce qui concerne les voyageurs en raison d'un prix relativement élevé et d'un avantage de durée relativement faible.

En ce qui concerne le transport des voitures la situation est encore plus précaire; capacité insuffisante de la flotte, prix élevé. L'insuffisance de capacité conduit à la nécessité de réserver les places très longtemps à l'avance ce qui limite encore les déplacements.

Malgré cela le nombre de ressortissants du Royaume Uni franchissant la Manche reste important en raison de leur propension très accentuée à prendre des vacances hors de leur domicile et particulièrement à l'étranger. Mais la proportion des Britanniques utilisant leur voiture pour ces vacances sur le Continent est anormalement réduit.

Le nombre des étrangers venant en Grande Bretagne est extrêmement faible, l'obstacle maritime étant considéré certainement comme plus important par les continentaux que par les britanniques.

Pour les marchandises la situation est différente car d'une part le coût du transbordement est souvent compensé par un frêt maritime extrêmement bas, d'autre part les conditions existantes ont conduit à concentrer une très grande partie de l'activité industrielle dans les ports de manière à utiliser dans les conditions les plus économiques les transports maritimes.

Il n'en reste pas moins que de nombreux centres d'activité sont éloignés des ports et la situation actuelle des transports de marchandises est défavorable pour ces centres.

Les ferry n'ont pas modifié sensiblement la situation en raison de tarifs relativement élevés.

Ces différentes raisons ont conduit à plusieurs reprises, depuis de nombreuses années, à étudier la possibilité de réaliser un moyen de franchissement fixe sans rupture de charge plus rapide et plus économique.

Une première série d'études comprenant les prospections géolo-

giques faites en 1875-76 et les travaux de reconnaissance par galeries exécutés en 1881-83, travaux interrompus en 1883 par décision du Gouvernement Britannique, avait conduit à l'établissement de projets très poussés.

Ces études ont été reprises il y a environ deux ans par le G. E. T. M. et la responsabilité m'en a été confiée.

Pour cette tâche j'ai bénéficié de la collaboration personnelle de Mr. H. J. B. HARDING, désigné par le Groupement d'Etudes, et de M. Charles RIBEYRE mis à la disposition du Groupement par la Compagnie Financière de Suez.

Le présent rapport a pour objet de rendre compte au Groupement des résultats de cette étude.

DIFFERENTES SOLUTIONS & DIFFERENTS TRACES

Différentes solutions

Toutes les solutions concevables ont été proposées dans le passé, pour créer une communication fixe entre la Grande Bretagne et le Continent;

1 - Les plus réalistes d'entre elles seront étudiées dans ce Rapport.

Ce sont :

- a) Tunnels forés, c'est-à-dire tunnels souterrains. C'est ce qu'on peut appeler la solution classique. C'est elle qui a fait jusqu'à présent l'objet de la recherche la plus poussée.
- b) Tunnels immergés, c'est-à-dire tunnels reposant sur "souille" faite au fond de la mer.
- c) Pont.
- d) Ouvrage composite (pont et tunnel immergé)

2 - Pour chacune des quatre catégories il y a deux possibilités:

- a) Ouvrages séparés pour les trajets routiers et ferroviaires.
- b) Trajets routiers et ferroviaires dans le même ouvrage (ouvrage mixte).

3 - Il reste encore la possibilité d'avoir un trafic à deux sens dans le même ouvrage ou des ouvrages séparés pour chaque sens.

4 - Le tunnel immergé et le pont qui n'étaient pas réalisables à l'époque où ils furent proposés pour la première fois sont maintenant possibles techniquement parlant, et seront étudiés dans ce Rapport.

Différents tracés

Deux tracés ont été proposés pour le tunnel foré.

1 - Tracé dit tracé direct ou tracé Kimméridgien, situé approximativement sur la ligne Folkestone - Gris Nez.

2 - Le tracé dit Cénomaniens situé sensiblement sur la ligne Douvres-Sangatte.

3 - Un des tracés envisagés pour le tunnel immergé s'écarte peu du tracé direct.

1 - OBJET ET ORGANISATION DES ETUDES

Les travaux du Groupement d'Etudes ont eu essentiellement pour objet, de 1957 à 1959 :

1. 1 - de contrôler et compléter autant que possible par divers moyens de prospection et de mesure, les connaissances acquises sur la structure géologique et géophysique du Pas-de-Calais.

Pour cette partie de sa tâche le Groupement d'Etudes a bénéficié du concours du Professeur J. M. BRUCKSHAW, Directeur du Geophysics Department à l'Imperial College of Science and Technology de Londres, et de Monsieur Jean GOGUEL, Ingénieur Général des Mines, Directeur de la Carte Géologique.

1. 2 - de réunir toute la documentation possible :

- sur les moyens les plus efficaces pour la construction des tunnels sous-marins de grand diamètre;
- sur la ventilation des grands tunnels routiers;
- sur l'exploitation des tunnels ferroviaires et routiers, notamment dans les premiers, sur la technique du transport-rail des véhicules routiers.

Pour les questions d'exploitation ferroviaire et de coûts d'exploitation le Groupement a obtenu la collaboration d'un comité franco-britannique d'experts ferroviaires présidé par M. HUTTER, Directeur des Etudes Générales de la S. N. C. F. du côté français et du côté anglais par Mr. John RATTER, Technical Adviser, British Transport Commission, et ultérieurement Mr. CAMERON Administrative Officer B. T. C.

Sur le plan routier le Groupement s'est tenu en contact avec les experts des Ministères des Transports des pays intéressés et avec les organisations professionnelles.

1. 3 - de procéder aux études de trafic, de tarifs et de péages et aux estimations de recettes.

Les Conseils du Groupement pour l'étude de trafic et l'étude économique ont été :

DE LEUW, CATHER & COMPANY
Engineers
150 North Wacker Drive
CHICAGO 6 - US -

THE ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT
22 Ryder Street, St Jame's
LONDON

LA SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES & ECONOMIQUES
34 avenue de Messine
PARIS

- 1.4 - Préparer les Avant-projets de tunnel foré et variantes (tunnel immergé, pont) et les estimations des dépenses de construction et d'entretien.

L'étude de l'avant-projet a été faite par un Groupement d'Ingénieurs-Conseils.

- du côté anglais : Sir William HALCROW and Partners
47, Park Lane LONDRES
Messrs. LIVESEY and HENDERSON
1,2 Finsbury Square LONDRES
Messrs. RENDEL, PALMER and TRITTON
125 Victoria Street LONDRES
- du côté français : SOCIETE GENERALE D'EXPLOITATIONS INDUSTRIELLES (SOGEI)
4, rue d'Aguesseau PARIS
- du côté américain : PARSONS, BRINCKERHOFF, QUADE & DOUGLAS
165 Broadway, NEW-YORK 6

Les Bureaux d'Etudes français et britanniques ont étudié principalement le tunnel foré; le Bureau américain a étudié les variantes tunnel immergé et pont.

2 - PROSPECTIONS

Le Groupement a procédé à une série de prospections s'échelonnant sur une durée de deux ans et comprenant notamment :

- reconnaissance des anciennes galeries, à SANGATTE,
- prospection sismique à terre,
- 4 sondages à terre.
- prospections soniques par réflexion en mer,
- 8 sondages en mer,
- prélèvements d'échantillons par appareil lourd à percussion et par homme-grenouilles,
- détermination de fossiles microscopiques.

Le Groupement a porté son effort principal de prospection sur l'étude de la solution traditionnelle du Tunnel sous-marin foré, car c'est elle qui pose, au point de vue géologique, les problèmes les plus difficiles et qui nécessite les recherches les plus étendues et elle sera considérée dans la suite comme solution de référence. Il n'a pas négligé pour autant l'étude des variantes: tunnel immergé - pont, qui seront présentées également dans la suite.

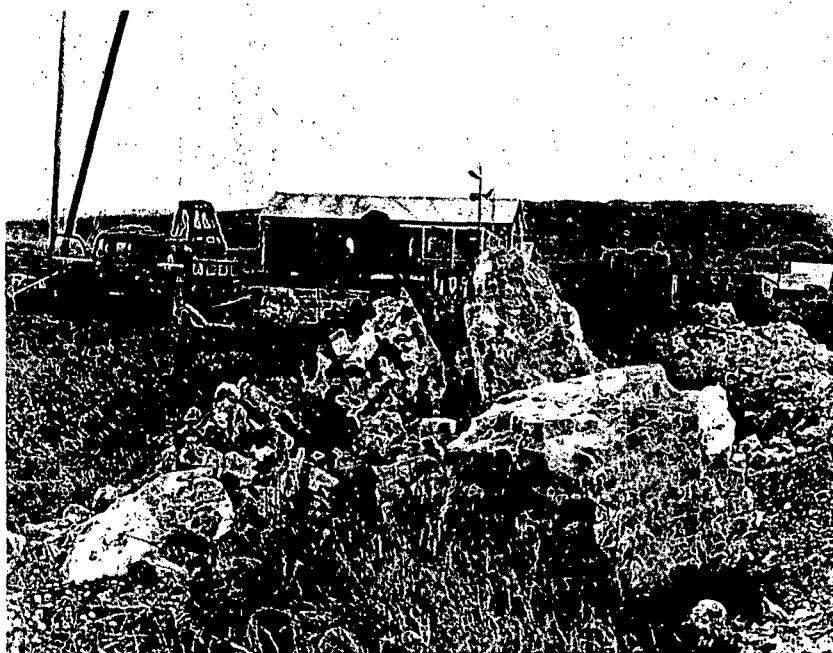
Prospections géologiques et géophysiques -

Bien que tous les tracés possibles aient été étudiés, les recherches géologiques ont été concentrées dans la zone cénomaniennne ou Craie Inférieure, seule couche qui soit, de l'avis de nos Conseils, propice à la solution du tunnel foré, en raison de son épaisseur, de son homogénéité et de sa tenue. Les prospections effectuées devront être complétées avant l'exécution par des prospections plus étendues.

On peut cependant dès maintenant en tirer les conclusions suivantes.

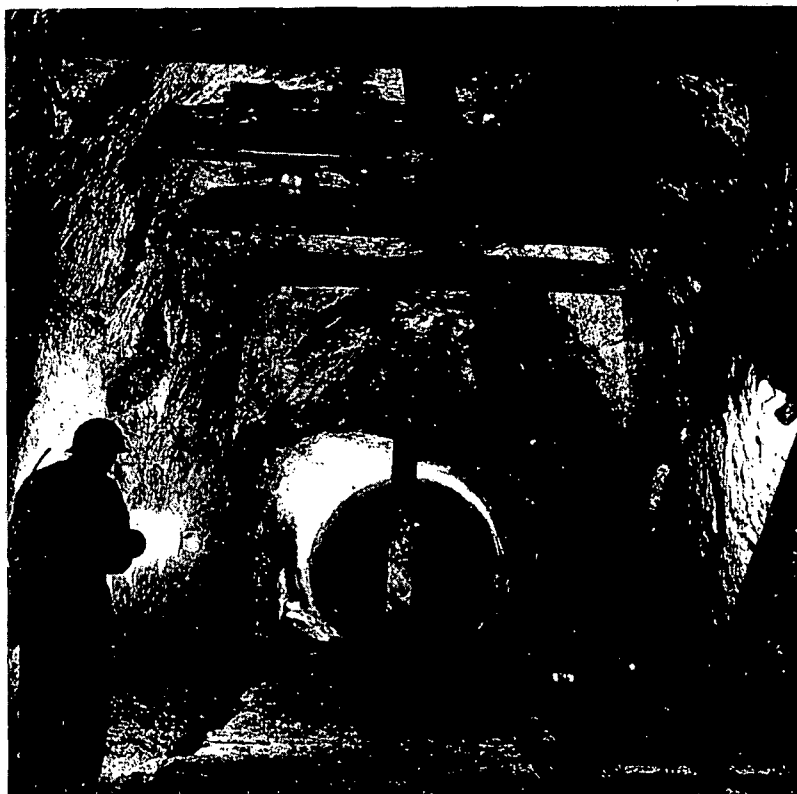
Les divers moyens de prospections utilisés concordent pour confirmer la continuité du Cénomanienn (Craie Inférieure) sur toute la largeur du Pas de-Calais et permettent de lui attribuer une épaisseur variant régulièrement de 60 à 80 mètres.

Les prospections ont aussi révélé des poches de sédiments mais elles démontrent qu'il n'existe pas de telles poches ni de vallées remblayées sur le tracé du tunnel qui a été choisi.



2.01. Déblaiement du puits de Sangatte 1958. On voit la margelle de maçonnerie. La centrale et le derrick de l'entreprise Fougerolle et les blocs de maçonnerie déblayés à l'aide d'hommes-grenouilles.

Shaft at Sangatte showing masonry kerb and Entreprise Fougerolle's installation for clearing out shaft including derrick and power installation, and masonry blocks removed by frogmen.



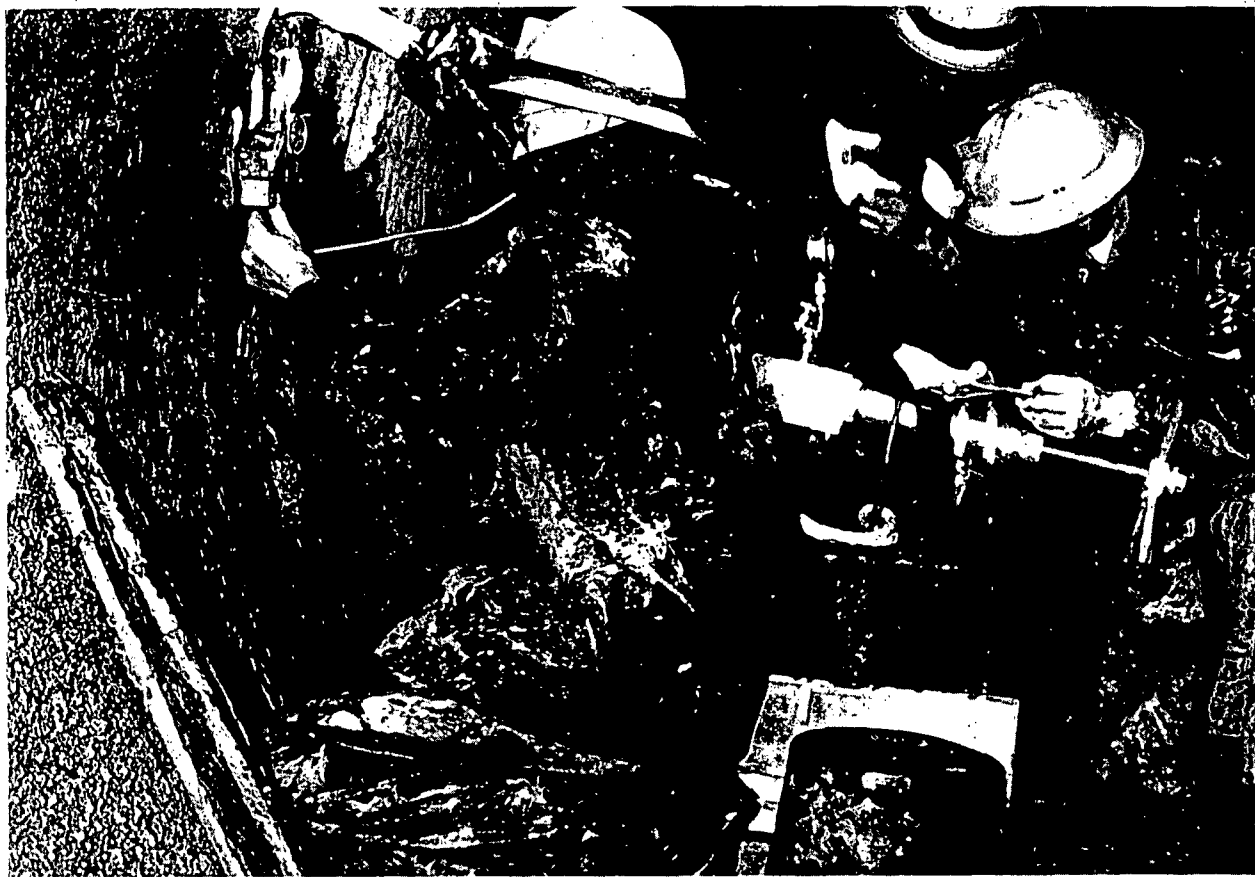
2.02. Chambre et départ de la galerie pilote circulaire de 210 de diamètre creusée par la machine Beaumont en 1882 à Sangatte, telle qu'elle a été dégagée par pompage en 1958.

Chamber at Sangatte and start of circular tunnel, 7 feet diameter, bored by Beaumont machine in 1882, exactly as revealed when pumped out in 1958.



2.03 - Internal view of 1882 trial tunnel at Sangatte in 1958.

Vue intérieure de la même galerie de Sangatte en 1958.



2.04 - Sangatte gallery, 1958. Measuring actual stresses in chalk with flat-jacks by laboratoire I.T.B.T.P.

Mesure d'efforts internes dans la galerie de Sangatte au moyen de varins par le laboratoire de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

CHANNEL TUNNEL STUDY GROUP
GROUPEMENT D'ETUDES DU
TUNNEL SOUS LA MANCHE

Les prospections ont dissipé les craintes que soulevait une structure géologique déjà repérée antérieurement du côté de la côte anglaise. Cette structure se prolonge vers le Nord par un anticlinal qui a conduit à déplacer le tracé préconisé en 1929 de 2 km vers le Nord.

Les prospections n'ont pas révélé de failles perpendiculaires au tracé. Les failles reconnues paraissent avoir un rejet assez faible et être en conséquence peu gênantes.

Elles ont confirmé les données antérieures concernant l'anticlinal des Quénocs près du rivage français.

D'après les mesures de perméabilité effectuées, les infiltrations pourront être assez largement supérieures à celles constatées dans la galerie d'essai, tout en restant dans des limites qui n'apporteront pas de gêne insurmontable dans l'exécution des travaux. Des arrivées d'eau importantes localisées restent possibles dans les zones faillées; elles seront traitées par injections à partir d'une galerie de service limitée à la partie sous-marine de l'ouvrage.

Dans les estimations, une marge importante a été prévue pour tenir compte de ces aléas. La prospection préliminaire future permettra sans doute de réduire cette marge d'incertitude.

La Craie Cénomaniennne (Lower Chalk) et particulièrement dans son tiers inférieur, examinée sur place dans la galerie d'essai de Sangatte et sur échantillons provenant de sondages, se prête tout particulièrement au travail des machines à forer pleine section sans soutènement et dispensant de l'usage des explosifs. De telles machines ont été vues à l'oeuvre tant en Europe qu'en Amérique; leurs performances et celles de la machine Beaumont en 1883 ainsi que des essais de matériaux faits par les Constructeurs spécialisés ont permis de chiffrer les vitesses d'avancement qu'il est permis d'escompter sous le Pas de Calais, et qui ont été évaluées à 450 m par mois pour les tunnels principaux d'un diamètre extérieur de 7,26 m.

3 - MOYENS D'EXECUTION

3.1 - Machines foreuses

Les performances des machines foreuses existantes: américaines, allemandes, russes, anglaises, françaises, ont été étudiées. Des essais portant sur des échantillons de craie cénomaniennne ont été effectués par les principaux fabricants de machines.

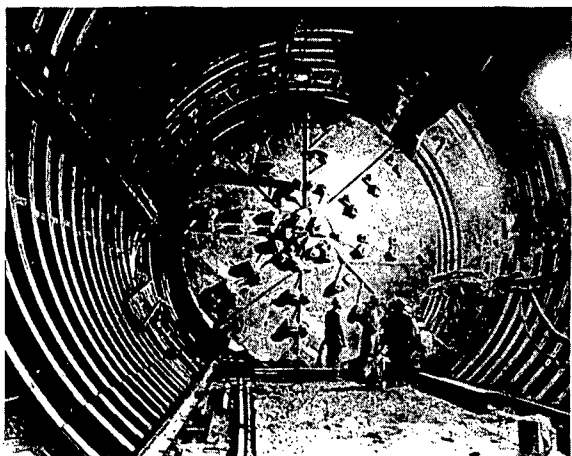
3.2 - Tunnel immergé

Les progrès des matériels de mise en oeuvre (plateforme à pieds télescopiques) accomplis depuis quelques années aux Etats-Unis sont tels que la technique de l'immersion d'éléments de tunnels préfabriqués, limitée jusqu'à présent aux traversées sous-fluviales, paraît pouvoir surmonter les difficultés de mise en place dues à la fréquence du mauvais temps dans le Pas de Calais. Une telle méthode, si sa mise à exécution présentait des garanties suffisantes et si les problèmes les plus difficiles, celui du dragage à grande profondeur et la jonction des éléments, étaient résolus d'une manière satisfaisante, aurait notamment l'avantage d'éliminer le risque géologique. Il semble également qu'elle ait l'avantage d'une plus grande rapidité d'exécution (moins de 4 ans pour le tunnel ferroviaire). Il est à noter qu'alors qu'un souterrain foré de grand diamètre (20 m environ) pouvant accueillir à la fois la route et la voie ferrée est considéré comme une impossibilité technique par nos Experts, cette impossibilité technique n'existe pas dans le cas du tunnel immergé.

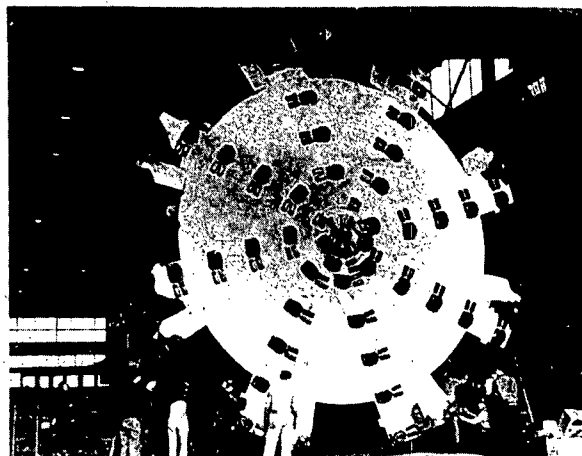
Les coûts du tunnel immergé croissent en fonction du diamètre moins vite que pour le tunnel foré ce qui donne un avantage à cette méthode pour les solutions routières.

3.3 - Pont

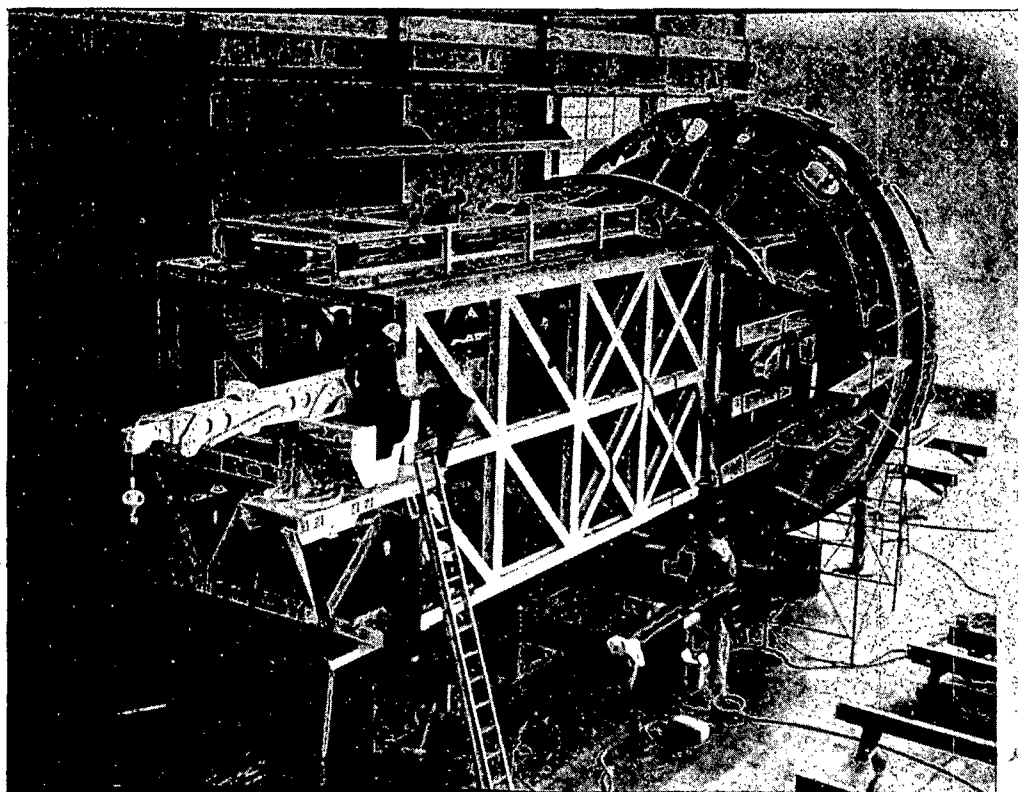
Le problème le plus difficile, celui de la construction des piles à grande profondeur, est résolu depuis de nombreuses années par les techniques d'aménée par flottaison qui ont été employées notamment au petit Belt. L'emploi des plateformes à pieds télescopiques dont il est question au paragraphe précédent diminuera encore les aléas.



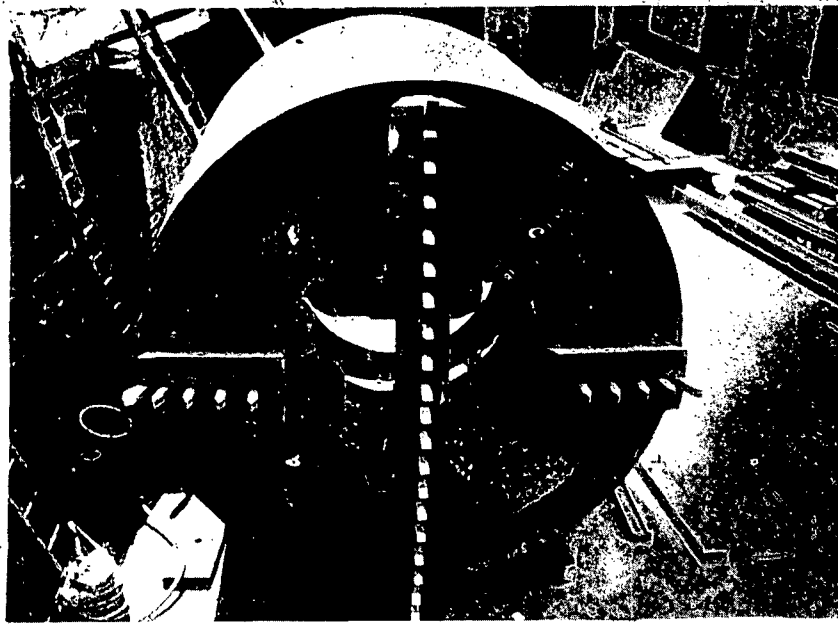
3.01 - "Mole" de l'OAHE alors qu'elle atteint une attaque déjà terminée.
OAHE "Mole" after junction with previously completed tunnel.



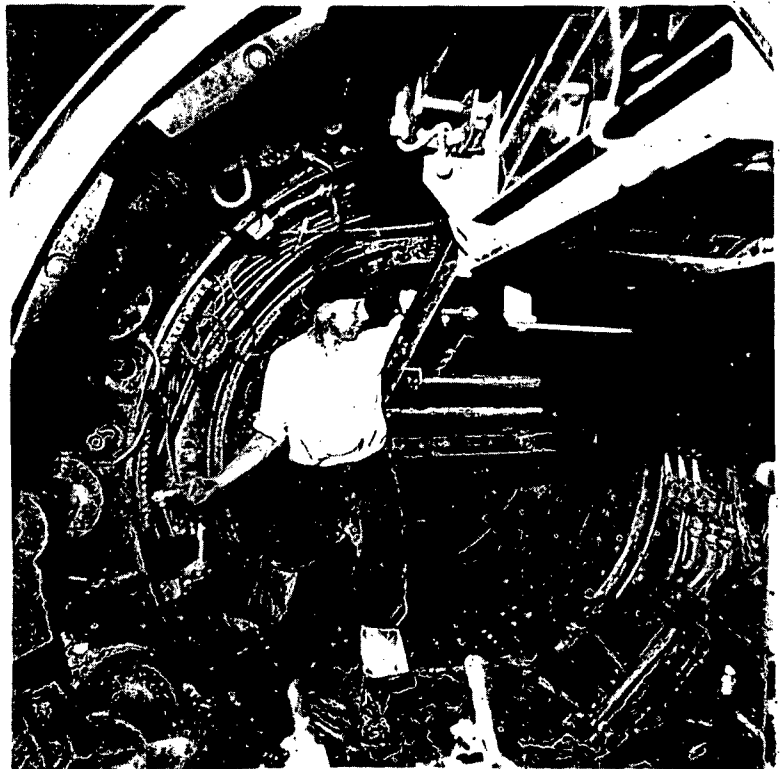
3.02 - Face de travail de la machine "Mole" avec vue des couteaux et éclateurs.
Working face of OAHE "Mole" showing cutting teeth.



3.00 - Montage en atelier de la machine à forer "Mole" (taupe) diamètre 9 m. pour le tunnel du barrage de l'OAHE (Dakota du Sud).
Trial erection in workshop of 30 feet diameter "Mole" for OAHE tunnels.



3.10 - Face of Kinnear Moodie "digger shield" as used for Metropolitan Water Board tunnel across London.
 Vue de la machine "bouclier excavateur" de Kinnear Moodie utilisée dans la galerie du Service des Eaux Métropolitain à Londres.



3.11 - Kinnear Moodie "digger shield" at work showing conveyor belts carrying away excavation.
 Même machine qu'au 3.10, au travail avec ses transporteurs à courroie.

4 - TUNNEL ROUTIER ET TUNNEL FERROVIAIRE
IMPERATIFS & POSSIBILITES D'EXPLOITATION

4-0 - Les deux systèmes routiers et ferroviaires se présentent dans des conditions très comparables en ce qui concerne les gabarits (4,50 tunnel routier, 3,78 ou 4,23 tunnel ferroviaire) et les vitesses de franchissement. Le tunnel routier a l'avantage d'attentes réduites limitées à celles de la douane et de la police. Les attentes pour les navettes ferroviaires seront réduites en raison de la fréquence des départs (tous les 15 minutes⁽¹⁾) et de la prévision d'une rame en réserve.

La capacité des navettes ferroviaires est de 1 800 véhicules par heure et par sens; celle d'un tube routier 1 300 véhicules pour les 2 sens; celle de 2 tubes routiers 1 500 véhicules par sens.

4.1 - Tunnel ferroviaire

4.10 - Véhicules accompagnés

Les conducteurs et passagers resteront dans leurs voitures, freins bloqués, vitesse passée, sans calage, comme au Saint-Gothard.

Les voitures passeront sur les rames par côté de plein pied en plusieurs points sur des rames à 1 ou 2 étages revêtues d'un plancher uni où elles circuleront sans choc à 15 km à l'heure en moyenne. Les rames à 2 étages auront une capacité de 300 voitures.

La durée de chargement sera de 12 minutes pour un train complet.

Celle du déchargement de 4 minutes 1/2.

Bien que la saturation ne soit pas atteinte en 1980 ni à plus forte raison en 1965, en raison de la fréquence des navettes, les grilles d'horaires seront saturées dès 1965 et les trains de marchandises devront passer hors pointe comme au Saint-Gothard.

Les camions passeront sur des rames spéciales à un étage chargées en bout.

4.100 - Exploitation des navettes ferroviaires pour véhicules.

Le principe admis est que les navettes du tunnel ferroviaire doivent fournir un service aussi semblable que possible à celui d'un tunnel routier et par conséquent exclure attentes systématiques et location.

(1) Aux heures de pointe.

Il a été admis que le trafic de superpointe devrait être absorbé alors que pour les projets routiers on admet que la circulation soit gênée 30 heures par an.

De plus, comme on l'a vu, une rame de réserve sera toujours prête pour évacuer un volume supérieur à la moyenne prévue.

Les trains automobiles auront une vitesse commerciale de 95 km/heure (1). Ils seront tirés par des locomotives type BB 16 000 de 4 000 ch.

Le temps de parcours tunnel sera de 33 minutes. Le temps de parcours total de 50 minutes (2) de gare à gare.

4.11 Trains de voyageurs

Les trains "drapeaux" traverseront le tunnel avec une vitesse commerciale de 112 km/heure (3). La durée de la traversée du tunnel sera de 28 minutes (30 minutes pour les trains ordinaires).

Les relations Londres-Paris et Londres-Bruxelles se feront sans arrêt sur matériel au gabarit ferry. Les relations plus longues comporteront en général un transbordement sur matériel continental près de Folkestone.

Il y aura aussi des trains et des wagons lits directs vers d'autres points de destination sur le Continent.

4.12 Trains de marchandises

Le transport se fera généralement en wagons ferry. Dans certains cas il y aura au contraire transbordement à l'une des stations terminales.

4.13 Traction électrique

Deux sous-stations de 30 000 kVA seront placées à côté des puits côtiers. La tension sera de 25 000 volts.

4.14 Ventilation

La ventilation artificielle sera probablement nécessaire pour réduire l'élévation de température due à la circulation des trains.

4.15 Capacité du tunnel ferroviaire

La capacité à l'heure de superpointe (voyageurs et véhicules) correspond au trafic de 1980 augmenté de 70 % (4).

(1)- Vitesse de pointe 120 km/h

(2)- Le délai total est de 83 minutes quand on tient compte des temps de chargement et de déchargement, des délais de douanes et de police 6 1/2 minutes et d'une attente moyenne de 10 minutes.

(3)- Vitesse de pointe 140 km/h

(4)- La capacité pratique serait encore plus élevée de 50% c'est-à-dire égale au trafic de superpointe horaire 1980 multiplié par 2,55 si les standards de capacité routière étaient utilisés.

Cette capacité correspond à 6 trains de véhicules (1 800 véhicules) et 6 trains de voyageurs (4 800).

Quant au trafic annuel voyageurs et véhicules, au moyen de procédés d'écarterement il pourra atteindre 2,2 fois le trafic annuel de 1980, les possibilités pour les marchandises étant plus élevées.

4.2 - Tunnel routier

4.20 - L'incidence des pannes et la ventilation, qui sont les deux points faibles du tunnel routier, ont été étudiées et il est apparu que dans chaque cas des solutions techniques pouvaient être trouvées résolvant ces problèmes.

La claustrophobie n'apparaît pas comme un handicap très sérieux. Il apparaît au contraire, comme cela a été remarqué par un expert des questions routières, que par temps de brouillard, fréquent dans cette région, c'est avec une impression de soulagement qu'on pénètre dans un tunnel.

Le danger d'incendie ne doit pas être sous-estimé et des mesures rigoureuses devront être prises pour la prévention et la lutte contre le feu.

4.21 - Ventilation

4.210 - Données de base en matière de ventilation

On a admis en pointe une teneur de 2/10 000 en oxyde de carbone, les Diesel étant éliminés. Hors pointe lorsque les camions seront admis la teneur sera abaissée.

4.211 - Les problèmes de ventilation des tunnels routiers de grande longueur conduisent à des impossibilités économiques à moins de les tronçonner. Un tunnel sous-marin ne peut être tronçonné que par une île.

On a étudié une solution A avec une île et l'utilisation des tubes ferroviaires pour amener l'air frais par des rameaux de 3,30 m de diamètre transversaux débouchant tous les 500 mètres.

Diamètre intérieur : 11 m
Puissance : 24 000 ch 146 ventilateurs pour
750 voitures/heure.

et une variante B avec deux îles : Diamètre intérieur 12 m

Puissance : 7 000 ch - 18 ventilateurs pour un trafic
de 750 voitures/heure.

portée ultérieurement à : 56 000 ch - 36 ventilateurs pour un trafic
de 1500 voitures/heure.

Dans la solution A l'île unique est placée dans le prolongement du banc de Varne pour ne pas créer un obstacle supplémentaire pour la navigation.

Les solutions immergées correspondantes ont aussi été étudiées et sont nettement plus économiques.

4.212 E.puration des gaz d'échappement.

Les procédés actuellement à l'étude pour l'é.puration des gaz d'échappement permettront sans doute dans l'avenir de faciliter la solution du problème et de réduire les puissances et frais d'exploitation.

4.22

La variante A prévoit une chaussée de 9 mètres. Quand le tube sera utilisé à deux sens il y aura 2 voies de circulation de 3,28 et une bande de stationnement de 2,44 pour véhicules en panne. Les chiffres correspondant à la variante B sont 9,75, 3,35 et 3,05. La durée du parcours sera 45 minutes ou 51,5 en tenant compte de 6 minutes 1/2 pour les formalités. Entre des points situés près des stations terminales de Chemin de fer le temps de parcours serait augmenté (1) de 18 à 27 1/2 minutes soit un total de 67 minutes 1/2 à 79 minutes qui n'est pas sensiblement différent de celui du tunnel ferroviaire.

(1)- Suivant les vitesses et les parcours choisis.

5 - TRAFIC DU TUNNEL FERROVIAIRE

5.0 - Résumé des statistiques et des prévisions

5.00 Conditions actuelles des transports à travers la Manche

- Totaux transportés en 1957 -

<u>Véhicules</u>	<u>Total</u>	<u>Par Mer</u>	<u>Par Air</u>
Véhicules accompagnés	285 900	233 254	52 646
Voyageurs	836 000	696 000	140 000
Voitures accompagnées	253 962	209 367	44 595
 <u>Voyageurs</u>			
Voyageurs accompagnant véhicules	836 000	696 000	140 000
Voyageurs sans véhicules	5 750 000	3 191 000	2 559 000
Total passagers	6 586 000	3 887 000	2 699 000

5.01 - Résumé du trafic du tunnel ferroviaire au péage optimum et recettes brutes correspondantes

Année	Véhicules accompagnés		Voyageurs		Marchandises		TOTAL ('000 NF)
	Nombre de véhicules ('000)	Recettes ('000 NF)	Nombre passagers ('000)	Recettes ('000 NF)	Tonnage ('000)	Recettes ('000 NF)	
1965	675	127,5 72 650	22,3 3 180	70 910	19,1 1 230	35 820	179 380
%		40,5		39,5	23,3	20	
1980	1 127	121 950	4 831	107 750	1 961 ⁽¹⁾	53 640	283 340
%		43		38		19	

5.1 - Prévisions de trafic et de recettes

5.10 - Les statistiques du tourisme montrent que le mouvement actuel du tourisme en forte expansion a pénétré les couches les moins fortunées de la population et qu'il est donc susceptible de continuer à s'étendre largement. Cette démocratisation des déplacements est le gage d'une prospérité financière crois-

(1) Chiffre intermédiaire entre les chiffres retenus par les Conseils pour 1980:

A - Pas de zone de libre échange	1 586 000 t
B - Zone de libre échange	2 609 000 t

sante pour le tunnel. Mais les budgets moyens de vacances étant très étroitement limités, ces circonstances entraînent une très forte influence du niveau des prix de transport sur le trafic et notamment le trafic automobile.

Les prévisions de trafic qui sont faites à partir de l'année 1957 considérée comme une année moyenne de base peuvent donc varier beaucoup suivant les tarifs qui seront appliqués.

5.11 Les chiffres ci-avant correspondent aux prix de transport (appelés dans la suite péages optimum) proposés par nos Conseils. Ces péages sont ceux qui donnent lieu aux recettes brutes maximum.

5.2 - Véhicules

Les péages proposés pour les véhicules sont d'environ 30 % inférieurs aux tarifs qui étaient appliqués en 1958 sur la ligne Boulogne-Douvres.

L'application de ces tarifs attractifs et le gain de temps obtenu avec le tunnel donnent un coefficient de stimulation de 1.60.

La croissance normale du trafic due à l'augmentation du parc automobile correspond à un coefficient de 1,7 de 1957 à 1965.

Cette croissance est telle que le problème de la saturation des installations portuaires peut se poser à brève échéance.

Le trafic à l'heure de pointe a été évalué à 636 véhicules heure dans un seul sens en 1965 et 1065 en 1980 (1) correspondant pour les 2 sens réunis à 866 en 1965 et 1444 en 1980.

Le trafic journalier moyen deux sens sera :

en 1965	:	1 850	en 1980	:	3 086
---------	---	-------	---------	---	-------

Le trafic journalier de pointe deux sens sera :

en 1965	:	8 070	en 1980	:	13 460 (2)
---------	---	-------	---------	---	------------

Le chiffre de base (1957) étant de 286 000 pour les véhicules le trafic 1965 est estimé à 675 000.

5.3 - Voyageurs

25% du trafic aérien voyageurs des lignes courtes en 1965 sera détourné vers le tunnel : ceci grâce au gain de temps fait à la fois sur le parcours du tunnel et par les améliorations du transit sur les parcours terrestres.

(1) - Les chiffres dans ce rapport n'ont pas, en général, été arrondis; cela ne veut pas dire qu'il faille en déduire qu'on leur attribue une précision correspondant au nombre de chiffres significatifs retenus.

(2)- Trafic journalier de pointe un sens (UK - Continent)
en 1965 : 4 608 en 1980 : 7 686

La durée du trajet Paris-Londres sera réduite à 4 h 20 (1) ce qui se compare favorablement avec la durée de 3 h 50 de centre à centre par l'air.

Sur 3 191 000 passagers maritimes en 1957 (55,5 % du total 5 750 000), 1 529 000 utilisent les lignes courtes exploitées par les Chemins de fer Français et Britanniques (2).

Le trafic du tunnel en 1965 sera 3 180 000, compte tenu d'un coefficient d'accroissement du mouvement des passagers de 1,4. Sur les 1 000 000 passagers attirés, 250 000 environ proviendront des lignes aériennes courtes (Paris-Londres - Londres-Bruxelles - Londres-Amsterdam).

5.4 - Marchandises

Le trafic du Royaume-Uni avec la zone du tunnel (Europe des Six plus Suisse et Autriche) est 10 500 000 t en 1957. Seul le trafic non pondéreux: 3 500 000 t dont 1/3 à l'exportation, 2/3 à l'importation, est supposé pouvoir être attiré par le tunnel.

500 000 t. environ, sont actuellement transportées par les Ferry Douvres-Dunkerque et Harwich-Zeebrugge.

Le tunnel attirera 1/3 environ, du trafic potentiel, soit 1 230 000 t en 1956 (soit 2 fois 1/2 le trafic des Ferry).

On évalue à 1/3 environ la part du trafic qui sera transportée sur camions ou remorques chargés sur wagons.

La progression $\frac{1980}{1965}$ est évaluée à : 1,56

Le tarif moyen sera de £ 2-1 par tonne, ou 28 NF.

Des tonnages plus importants et les pondéreux eux-mêmes pourraient être attirés mais au prix de réductions de tarif qui correspondraient à des suppléments de recette insignifiants ou même à des pertes pour le tunnel.

5.5 - Avantages du tunnel concernant le trafic - Effets sur les autres lignes

5.51 - Véhicules

Pour les véhicules l'avantage consiste dans la réduction du délai et surtout la réduction de 30 % environ du tarif.

Le tarif moyen voitures particulières (ce tarif moyen s'entend pour une voiture de 14'6", c'est-à-dire 4,42 m ce qui correspond à peu près à une 403 Peugeot en France ou une Fordzephyr en Angleterre) sera de :

80 NF pour un passager
94 NF pour deux passagers
108 NF pour trois passagers

(1)- Durée minimum actuelle par fer et mer 7 h 51

(2)- Si ces lignes étaient maintenues elles perdraient 85 % de leur trafic.

Le tunnel attirera 90 % du trafic véhicules total, il détournera 97 % du trafic de la ligne d'Ostende et 60 % du trafic des lignes aériennes.

Malgré cela en 1970 le trafic des lignes aériennes aura repris sa valeur actuelle. Le temps de traversée par les voitures de 83 minutes y compris attentes et délais divers est à peu près le même que par le ferry aérien (79 minutes), et se compare avantageusement au temps de transit maritime de 3 h 47.

5. 52 Voyageurs

Pour les voyageurs l'avantage du tunnel consiste essentiellement dans la réduction des délais.

- la réduction de tarif et le détournement seront plus faibles pour le trafic voyageurs que pour les véhicules.
- la réduction est de 5 % seulement sur les tarifs 1958 et correspond à un tarif de 2ème classe de 25 NF.
- le détournement est seulement de 60 % sur les lignes maritimes. Il est, on l'a vu, de 25 % sur les lignes aériennes courtes.
- le pourcentage de détournement de la ligne d'Ostende est 31,7; celui de la ligne de Hook est de 13,9; la ligne d'Ostende malgré le tunnel aura cependant en 1965 un trafic de 840 000 passagers supérieur au trafic 1957.

5. 53 Marchandises

Pour les marchandises, l'avantage du tunnel sur le Ferry consiste dans les réductions de délais, la fréquence et la régularité du service et surtout la réduction des tarifs pour certaines catégories de marchandises.

5. 54 Le tunnel aura donc pour effet la fermeture de certaines lignes qui ne fonctionneront plus dans des conditions économiques; d'autres lignes comme celles d'Ostende ou de Hook pour les passagers continueront à fonctionner dans de bonnes conditions. Le trafic aérien véhicules, bien que touché, restera prospère.

6 - ETUDE DU PROJET

6.0 - Tunnel foré

L'avant-projet de tunnel foré a fait l'objet d'une étude beaucoup plus détaillée qu'il n'est d'usage, notamment en ce qui concerne les procédés d'exécution.

Les Entrepreneurs resteront cependant libres en exécution du choix de ces moyens dont ils auront la responsabilité.

6.01 -

Les Géologues-Conseils et les Ingénieurs Conseils ont conclu à l'adoption du tracé Cénomaniens (Craie Inférieure) qui est le seul à traverser une couche homogène de bonne tenue et permettant une exécution rapide au moyen de machines modernes réduisant au minimum les incidents de construction. L'examen des galeries pilotes et les études faites ont conduit les Ingénieurs Conseils à la conclusion que, excepté dans quelques zones faillées, la craie tiendra provisoirement sans revêtement. Un revêtement sera néanmoins mis en place pour empêcher l'altération ultérieure de la Craie et éviter que l'eau ruisselle sur l'appareillage électrique.

Les forages d'un diamètre élevé (11 ou 12 m) nécessaires pour les solutions routières, ne pourront être entrepris qu'après l'expérience de diamètres plus petits. Les Conseils estiment que le forage d'un tunnel du diamètre qui serait nécessaire pour réaliser un tunnel mixte à un tube (18 à 20 m environ) se heurte, en raison de l'épaisseur limitée de la couche favorable, à des difficultés techniques qui sont équivalentes à une impossibilité pratique.

6.02 - Tunnel ferroviaire foré

Le tunnel ferroviaire étudié est constitué par deux tubes, un pour chaque sens, de 6,50 mètres de diamètre intérieur avec 38 centimètres de revêtement bétonné.

Son profil en long affecte la forme d'un W dont le point haut, situé un peu plus près de la côte française que de la côte anglaise, est couvert par 38 mètres de terrain et 45 mètres d'eau.

L'axe du tunnel franchit la ligne du littoral anglais à 53 mètres de profondeur et débouche en arrière de Folkestone, à la cote (+ 61,00) dans une région où le terrain naturel est à la cote (+ 84,00) environ.

Du côté français, l'axe du tunnel franchit la ligne du rivage à 42,50 mètres de profondeur. Il débouche au Sud-Ouest de Calais en deux points de cotes (+ 8,50) et (+ 6,80) dans une région où le terrain naturel est à la cote (+ 18,00) environ.

Entre la porte anglaise, et la position moyenne des deux portes françaises, la longueur de l'ouvrage est de 52,45 kilomètres. Entre les stations terminales au-delà des portes, la distance est de 69,45 kilomètres. Elle se décompose comme suit :

	<u>Côté anglais</u> (km)	<u>Côté français</u> (km)	<u>Total</u> (km)
Partie sous-marine	20,8	15,6	36,4
Parties sous-terrestres	<u>11,2</u>	<u>4,85</u>	<u>16,05</u>
Distances entre portes	32,0	20,45	52,45
Chemin de fer de surface entre portes et gares terminales	<u>15,0</u>	<u>2,00</u>	<u>17,00</u>
Total	47,0	22,45	69,45

L'ouvrage comporte en outre une galerie de service limitée aux 36,400 kilomètres du parcours sous-marin, et deux galeries de drainage de 6,100 kilomètres du côté français et 5,350 kilomètres du côté anglais.

Ces galeries complémentaires ont 3,30 mètres de diamètre intérieur et 15 cm d'épaisseur sauf la galerie de drainage anglaise qui a 2,74 mètres et un revêtement de 23 cm d'épaisseur.

Les rampes maximum atteignent 10/1000 (1), dans la partie centrale elles ne dépassent pas 0,8/1000.

Le rayon des courbes est fixé à 1 200 mètres et exceptionnellement à 1 050.

La durée totale des travaux est évaluée à 5 ans.

6.03 - Stations terminales

En Angleterre, elle se trouve dans la région de Folkestone; elle est reliée à la route Londres-Folkestone.

En France, le déplacement vers Calais de la station terminale a été décidé en cours d'étude, les enquêtes de circulation ayant montré que 20 % du trafic seulement était à destination de Paris, 42 % vers la Belgique et 38 % vers le sud-est de la France. Cet emplacement a l'avantage en outre d'une économie de tracé souterrain de 5 km.

6.04 - Tunnel routier foré

Les tubes routiers auraient 11 ou 12 mètres de diamètre intérieur

(1) - Il existera une pente de 11,6/1000 en France dans une section à sens unique empruntée normalement en descente.

selon la variante considérée. (Les revêtements auraient respectivement 75 ou 85 cm d'épaisseur). Ils seraient implantés à peu près parallèlement aux tubes ferroviaires et au Nord-Est de ceux-ci. Conçus de la même manière, aux dimensions près, ils comportent en outre une ou deux îles artificielles pour l'établissement respectivement d'une ou deux prises d'air intermédiaires nécessaires à la ventilation des galeries.

Le tunnel routier déboucherait à proximité de Douvres (4 km) et de Sangatte (1,5 km).

La longueur totale entre portes serait de 42 kilomètres, se décomposant comme suit :

	<u>Côté anglais</u> (km)	<u>Côté français</u> (km)	<u>Total</u> (km)
Partie sous-marine	19,8	16,7	36,5
Parties sous-terrestres	4,0	1,5	5,5
Total	23,8	18,2	42,0

Les rampes maximum atteignent 4 %; le rayon des courbes, fixé à 500 m dans les premières études, semble pouvoir être maintenu au-dessus de 1 000 mètres.

6.1 - Desserte routière

Un aménagement routier spécial est nécessaire en France du fait que 3 routes sont à desservir : Dunkerque, Lille et Paris. Il est évalué à 30 millions de N. F.. Il intéresse la ville de Calais et la circulation générale.

Ce problème pourrait être résolu par la création d'une Société spéciale avec participation de l'Etat et des collectivités. Un péage supplémentaire pourrait renter la part du capital à la charge des intérêts privés.

6.2 - Tunnel immergé

Diverses variantes ont été étudiées :

- Tunnel ferroviaire à un tube de 11 mètres de diamètre intérieur.
(diamètre extérieur 13,40)
- Tunnel ferroviaire à 2 tubes jumelés
- Tunnel routier (11 ou 12 mètres diamètre intérieur)

- Tunnel mixte contenant 2 voies ferrées à l'étage inférieur et une chaussée de 15 mètres à l'étage supérieur. Diamètre extérieur 20,36 m. (épaisseur du revêtement 1.68).

Divers tracés plus ou moins directs ont été étudiés .

6.3 - Pont

On a étudié :

- le pont mixte
- le pont ferroviaire
- le pont routier

6.4 - Solution composite

Cette solution comporte un pont de la côte française au Banc de Colbart et un tunnel du Banc de Colbart au Banc de Varne et du Banc de Varne à la côte anglaise avec cheminée au Banc de Varne.

Seule la liaison routière est possible dans cette solution qui comporte des rampes incompatibles avec les exigences des Chemins de Fer.

- 6.5 - Le Groupe n'envisage pas de prendre parti pour le moment entre la solution immergée et la solution de référence. Il est disposé à examiner les solutions variantes similaires ou autres qui pourront être proposées par les Entrepreneurs au moment de l'attribution des travaux, le choix définitif tenant compte à la fois des prix et des risques que comportent chacune des solutions ainsi que des désidérata des Gouvernements et des exploitants.

7 - ESTIMATIONS RESUMEES

7.1 - COUT DES TRAVAUX DU TUNNEL FERROVIAIRE FORE A 2 TUBES

		Millions de N. F.	Millions de £
1 -	<u>GENIE CIVIL</u>	1 105	80
10	Travaux préliminaires Tunnels de service et de drainage Reconnaissance - Traitement - Pompage	196,08	
11	Tunnels principaux	650,36	
12	Somme à valoir pour prospection complémentaire - Imprévus - Préparation des projets et contrôle des travaux - Administra- tion de la Société pendant les tra- vaux.	258,56	
2 -	<u>INSTALLATIONS FERROVIAIRES</u>	370	26,7
20	Installations ferroviaires dans le tunnel et les lignes à l'air libre	112,21 ⁽¹⁾	
21	Stations terminales et raccor- dements divers	194,16 ⁽²⁾	
22	Sommes à valoir pour acquisi- tions de terrains - Imprévus Préparation des projets et contrôle des travaux	63,63	
3	<u>TOTAL GENERAL DE 1 et 2</u>	1 475	106,7
4	<u>AMENAGEMENT ROUTIER COMPLEMENTAIRE COTE FRANCE</u>	30	2,2
5	<u>TOTAL GENERAL 1 + 2 + 4</u>	1 505	108,9

Pour l'aménagement (sous-rubrique 4) le financement proviendra d'autres sources; d'autre part les évaluations données (sous rubrique 21) correspon-
dent à un projet de grand avenir et les Chemins-de-fer estiment qu'en 1965
on pourrait se contenter d'installations plus modestes et que l'économie cor-
respondante serait de 40 millions de NF (2,9 millions de livres).

C'est donc en définitive le chiffre de 330 millions de NF ou 23,8 millions de
livres qui a été retenu dans les études financières pour les dépenses des ins-
tallations fixes ferroviaires, les dépenses totales à financer par la Société
étant réduites à 1 milliard 430 millions de NF ou 103 millions 800 mille livres.

(1)	72,59	équipement du tunnel
	12,60	équipement 2 voies à l'air libre
	27,02	Infrastructure pour 4 voies à l'air libre
(2)		dont travaux routiers 13,50 en France, 12,32 au Royaume Uni.

7.2 - RENTABILITE COMPAREE DES DIFFERENTES SOLUTIONS

L'estimation des différentes solutions et leur taux de rentabilité figurent dans les tableaux suivants: (1)

Abréviations

- F f Foré ferroviaire
- I f Tunnel Immergé ferroviaire
- I R A Tunnel Immergé Routier - Variante A (1 tube)
- I R B Tunnel Immergé Routier - Variante B (1 tube)
- F R A Foré Routier - variante A (1 tube)
- F R B Foré Routier - variante B (1 tube)
- I M Tunnel Immergé Mixte (1 cheminée)
- CPIR Structure Composite ; Tunnel Immergé - Pont (routier)

(en Millions de NF)

Solution	1	2	3	4	5	6	7	8
	Ff	If	IRA	(2) IRB	FRA	FRB	(3) IM	CPIR
(1) Coût en capital	1 435	1 490	1 396	1 548	1 714	2 045	2 764	2 377
(2) Durée des travaux	5	4	4	4	5	5	5	5
(3) Coefficient pour intérêts intercalaires	1,16	1,13	1,13	1,13	1,16	1,16	1,16	1,16
(4) Recettes nettes 1965	142	142	111	112	111	112	142	124
(5) Rendement $(\frac{4}{1})$	9,9	9,55	7,9	7,3	6,4	5,5	5,15	5,3
Rendement $(\frac{4}{(1)(3)})$	8,55	8,45	7	6,45	5,5	4,7	4,45	4,6

- (1) - Comme la capacité des différentes solutions figurant dans le tableau n'est pas la même, aucune conclusion ne peut être tirée de la simple comparaison des rendements financiers ressortant du tableau.
- (2) - Afin d'épuiser toutes les possibilités une 3ème variante C a été mise à l'étude consistant dans un tunnel de 13 m50 de diamètre intérieur avec 2 niveaux de chaussées à 2 voies. La dépense serait plus élevée mais la capacité serait supérieure. Tant que le trafic ne dépassera pas 1 500 véhicules heure 2 îles seront suffisantes pour les besoins de la ventilation comme en B. La considération de cette solution ne modifie pas l'ordre de classement du tableau précédent mais fournira sans doute une solution d'avenir intéressante pour les solutions routières immergées ou composites.
- (3) - Le coût d'un pont mixte paraît devoir être à peu près équivalent à celui d'un tunnel mixte.

8 - RECETTES ET AVANTAGES NON CHIFFRES

8.1 Nos prévisions sont prudentes, elles supposent que les structures touristiques et industrielles des pays intéressés n'auront pas été modifiées. Une modification des structures touristiques pourrait stimuler les séjours de courtes vacances des continentaux en Angleterre et plus encore, à condition qu'ils soient assortis de tarifs réduits, les voyages de week-end ou d'une journée en Angleterre.

Un effort symétrique du côté français et belge pourrait stimuler des voyages de vacances courtes, de week-end ou d'une journée des britanniques sur le continent proche.

La structure industrielle des pays intéressés pourra être modifiée.

La progression des économies pourra être plus rapide.

Au fur et à mesure de la croissance du trafic, les coûts d'exploitation réduits (très inférieurs aux coûts d'exploitation des Ferry) permettront d'abaisser le niveau général des tarifs.

8.2 Tarifs réduits voitures

Des tarifs réduits substantiellement inférieurs au tarif normal sont préconisés pour créer un mouvement de voyages de courte durée qui n'existe pas à l'heure actuelle et pour stimuler les voyages à destination des stations côtières.

Ces réductions de tarif augmenteront considérablement la valeur économique du tunnel mais les recettes supplémentaires correspondantes sont faibles et n'ont pas été prises en compte dans le tableau des trafics et recettes annexé.

Cette possibilité de tarifs réduits très faibles que seule peut offrir un ouvrage de franchissement fixe à coût d'exploitation faible est un des avantages fondamentaux du tunnel.

9 - ATTRIBUTION DES TRAVAUX

Les travaux devront être attribués après un large appel à la concurrence, la concurrence portant à la fois sur les idées et sur les prix.

Le groupe d'entreprises international chargé d'exécuter le travail devra prendre un engagement solidaire pour l'exécution et les délais.

Les travaux pourront commencer un an après que l'ordre de préparer le projet définitif aura été donné.

Les prospections complémentaires devront prendre place pendant cette période d'un an.

CONCLUSIONS DES ETUDES DE GENIE CIVIL,
D'EXPLOITATION ET DE TRAFIC

Le présent rapport s'appuie sur des études approfondies faites par de nombreux experts britanniques, français ou américains.

L'effort principal de recherches et d'études de projet a été concentré sur le tunnel foré. Les estimations faites pour les autres solutions reposent sur des études moins approfondies; des recherches étendues sur les tracés correspondants restent à faire de même que des recherches complémentaires sont nécessaires sur le tracé du tunnel foré.

Le projet du tunnel foré présente en ce qui concerne le tracé une grande similitude avec celui présenté en 1929, mais le choix de ce tracé est fondé sur des renseignements géologiques beaucoup plus complets et le projet lui-même est très différent du projet antérieur en ce qu'il fait appel à des méthodes de construction plus modernes.

En ce qui concerne les problèmes de construction on peut conclure qu'en fonction des perfectionnements récents des techniques, le tunnel foré, le tunnel immergé ou le pont, sont des solutions techniquement réalisables les unes comme les autres. Le choix entre les solutions dépend (sans parler des conditions financières) de la considération des risques et aussi des exigences des gouvernements et des besoins des exploitants futurs.

Cinq années plus une année de préparation seront nécessaires pour construire un Tunnel Ferroviaire Foré qui pourrait être terminé en 1966.

Le coût d'un tunnel ferroviaire est d'environ 1 milliard 450 millions de Nouveaux Francs, non compris les intérêts intercalaires et autres frais financiers.

Les recettes nettes en 1966 seraient environ de : 155 millions de Nouveaux Francs, 240 millions en 1980.

Le coût d'un tunnel ferroviaire et routier (tunnel mixte) sous la forme d'un tunnel immergé est d'environ: 2 milliards 800 millions de Nouveaux Francs; le coût d'un pont mixte est à peu près le même.

Le transport des voitures par navettes ferroviaires tel qu'il a été conçu, fournira des services d'une qualité au moins égale à ceux d'un tunnel routier quoique inférieure à celle d'un pont.

Un tunnel ferroviaire est capable de répondre non seulement aux besoins du trafic rail mais aussi à ceux des usagers de la route jusqu'à un avenir relativement éloigné.

Un pont mixte (rail et route) présente plus d'avantages pour le trafic routier qu'un tunnel mixte.

Une réduction appréciable des délais de transport pour les marchandises, les véhicules et les voyageurs sera obtenue grâce au tunnel.

Le tunnel permet dans l'immédiat un abaissement substantiel des prix de transport pour les véhicules et les marchandises.

Il permet aussi dans l'immédiat l'application de réductions beaucoup plus substantielles à certains trafics spéciaux de voitures (abonnements - voyages de courte durée).

Dans l'avenir lointain, grâce à la faiblesse des frais d'exploitation comparés à ceux des Ferry et la croissance du trafic réduisant le poids des charges du capital, des réductions générales sur les tarifs fixés au moment de l'ouverture de l'ouvrage seront possibles.

Cette circonstance pourrait se produire plus tôt si la croissance du trafic dépasse nos évaluations prudentes.

CONCLUSIONS GENERALES

Sur le plan financier les solutions tunnel foré ferroviaire et tunnel immergé ferroviaire ont un rendement pratiquement identique, compte tenu de la différence des délais d'exécution.

Ce n'est donc pas dans l'état actuel des choses sur des données financières que l'on peut effectuer un choix entre les deux solutions et nous proposons d'admettre la concurrence de la solution immergée avec la solution forée.

Ce n'est qu'au moment où des propositions définitives de prix et des engagements précis d'exécution, accompagnés des propositions détaillées sur les moyens qu'ils comptent employer, seront présentés par les Entrepreneurs que l'on pourra comparer réellement les deux solutions, en tenant compte des considérations que les Gouvernements, au point de vue de la Défense Nationale notamment, et que les exploitants pourront faire valoir.

Les impératifs du financement privé empêchent la réalisation simultanée d'un tunnel ferroviaire et d'un tunnel routier. Dans le même esprit ils s'opposent à l'exécution de la solution mixte immergée, comme à celle d'un pont mixte à moins que la valeur d'avenir que présentent ces solutions conduise les Gouvernements à envisager l'octroi de subventions.

La solution mixte forée conduit, selon l'opinion de nos Conseils à des difficultés techniques équivalentes à une impossibilité pratique. Quant à l'alternative tunnel routier ou tunnel ferroviaire elle doit être tranchée dans l'immédiat au profit du tunnel ferroviaire en raison de sa capacité qui est le double de la solution routière de prix équivalent.

Le tube routier approcherait de la saturation en 1980 d'après nos prévisions. Si nos prévisions de trafic qui sont du côté de la prudence étaient dépassées, un deuxième tube devrait être construit alors que le premier serait encore loin d'être amorti.

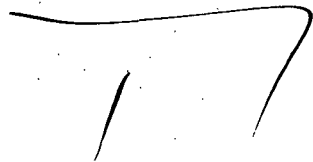
Cet inconvénient majeur n'existe pas avec la solution ferroviaire. Si le trafic est supérieur à celui qui a été prévu, non seulement le tunnel pourra l'absorber mais une fraction des recettes supplémentaires pourra être mise en réserve pour contribuer au financement ultérieur d'un moyen de franchissement routier.

Le chapitre de l'exploitation a montré que les services rendus aux voitures par le tunnel ferroviaire étaient d'une qualité comparable à ceux fournis par le tunnel routier, les attentes étant compensées par une moindre tension d'esprit et n'ayant pas d'inconvénients sensibles dans la structure actuelle des voyages qui est une structure de voyages de longue durée.

Si les moyens financiers sont limités aux fonds privés la solution la plus réaliste est donc une réalisation échelonnée dont la première phase serait la construction d'un tunnel ferroviaire avec navettes automobiles. La deuxième phase qui serait réalisée lorsque le trafic et les recettes le justifieront étant constituée par un ouvrage routier (tubes routiers ou mieux un pont routier ou une structure routière composite).

Le tunnel ferroviaire prévu en première étape constituera le lien entre la Grande Bretagne et le Continent dont la nécessité se fait sentir depuis si longtemps et qui répondra aux besoins non seulement du trafic ferroviaire mais aussi des usagers de la route.

Ferrier 1960

 Ubaldo

APPENDICE 2 a

DESCRIPTION GEOLOGIQUE GENERALE

0 - Il est admis que le Pas-de-Calais s'est formé à une époque géologique récente, la Mer du Nord et la Manche ayant érodé l'isthme qui reliait le Weald et le Boulonnais, régions ayant une constitution géologique très semblable.

1 - Dans la zone qui nous intéresse on rencontre les terrains suivants dans l'ordre de leur succession géologique, des moins anciens aux plus anciens:

	Etage	Facies	France (mètres)	Angleterre (mètres)
Crétacé	Sénonien ou Upper Chalk	Craie blanche à silex	50	100
	Turonien ou Middle Chalk	Craie noduleuse gris-verdâtre- silex.	60	70
	Cénomaniens ou Lower Chalk	Craie marneuse gris bleuâtre	65	75
	Craie Glauconieuse ou Tourtia ou Chloritic Marl ou Upper Green Sands	Craie verte pouvant acquérir une consis- tance sableuse	3	5
	Albien (gault)	Argile	10,5	60
	Aptien Sables verts Lower Green Sands	Sables, grès, argile.	15	60
	Wealdien Argile du Weald et Hastings Beds	Sables et argile	75	36
Jurassique	Purbeckien Portlandien	Calcaire siliceux Grès, sable, argile	50	absents
	Kimméridgien	Argile, sable, grès, calcaire.	100	50

- 2 - La succession est complète sur les deux falaises pour les terrains compris entre le Turonien et l'Aptien, du côté français; le Sénonien et l'Albien du côté anglais.
- 3 - Le Kimmeridgien n'affleure pas sur la côte anglaise où il est masqué par les sables verts Aptiens, l'argile du Weald et les "Hastings Beds" sous lesquels il plonge.
- 4 - D'après les prospections antérieures confirmées par celles qui ont été effectuées en 1958 et 1959, les lignes d'affleurement de ces différentes couches dans le fond du Pas-de-Calais sont orientées sensiblement Ouest-Nord-Ouest Est-Sud-Est et plongent vers le Nord-Nord-Est.

APPENDICE 2 b

TRACE CENOMANIEN (CRAIE INFÉRIEURE)

0 - Caractéristiques physiques de la craie inférieure

01 - Les caractéristiques physiques de la craie inférieure ont été déterminées:

a) par des essais in situ faits dans la galerie de Sangatte par le Groupement d'Etudes en 1958 avec l'aide de l'Entreprise Fougerolle et du Laboratoire de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

b) par des essais faits en 1958 par le même laboratoire sur des échantillons prélevés dans la Galerie de Sangatte et dans un sondage à terre sur la côte française à Escalles.

c) par des essais, sur des échantillons prélevés lors des sondages de Douvres en 1958, faits par Richard Costain Limited.

d) des essais faits par George Wimpey et Co. Limited Central Laboratory et le Road Research Laboratory en 1959, sur des échantillons prélevés lors des sondages en mer et du sondage de Douvres (partie Est).

De tous ces essais on peut déduire les chiffres moyens suivants:

Résistance à la compression	100 à 130 kg/cm ²
Coefficient d'élasticité	50 à 150.000 kg/cm ²
Coefficient de Poisson	0,29

Contraintes mesurées en place à la Galerie de Sangatte sous une couverture de 84 mètres :

- Horizontalement	10 kg/cm ²
- Verticalement - dans le massif	20 kg/cm ²
au bord du parement intérieur de la galerie	50 kg/cm ²

De ces derniers essais il résulte que le coefficient de pression latérale est d'environ 1,4. Ce chiffre comparé au coefficient de Poisson nous fait conclure qu'à cet endroit la craie existe à l'état naturel. A de tels endroits un effort de tension n'apparaît pas dans la section circulaire creusée et un soutènement ne sera pas nécessaire. D'après l'opinion de nos consultants ce sera la condition habituelle sur la plus grande partie du trajet du tunnel, mais il y aura des exceptions aux endroits où l'équilibre naturel de la craie a été rompu par des mouvements tels que failles ou fractures.

02 -

En ce qui concerne la possibilité de forer la craie, nous citerons l'opinion suivante exprimée par deux constructeurs de machines: M. James S. Robbins and M. Bade .

M. James Robbins :

" Nous concluons, après examen des deux séries de spécimens,
" que la formation crayeuse des deux côtés de la Manche est plus
" favorable à l'emploi d'une machine à forer qu'aucun terrain
" essayé jusqu'ici, y compris les schistes de Pierre forés pour
" les tunnels OAHE. Nous pensons aussi que dans le terrain
" représenté par les échantillons la moyenne d'usure sera pro-
" bablement inférieure à un instrument coupant du type carbure de
" tungstène par pied de progression du tunnel".

et M. Bade :

" la rapidité de progression dans cette roche sera certainement
" supérieure avec nos machines à la vitesse moyenne de la progres-
" sion obtenue avec la machine en service dans la mine Riedel".

03 -

Les performances accomplies en 1882 par la machine Beaumont du côté français de la galerie pilote sur lesquelles nous avons des statistiques détaillées s'étendant sur plusieurs mois de travail sont également très intéressantes. Ces statistiques montrent que la rapidité de progression moyenne a été de 0,89 m par heure et que le dernier mois, la rapidité de progression moyenne a été 1,10 m pour 191 heures de travail. Ce chiffre appliqué à 16 heures de travail par jour donnerait la vitesse de progression de 17,6 mètres par jour et 440 mètres par mois de 25 jours de travail.

Les performances de pointe des machines modernes sont évidemment plus brillantes :

MOLE (OAHE)	42 m/jour	(24 heures)
MARIETTA (BRUAY, Pas-de-Calais)	21,2 m/jour	(16 heures)

et les performances théoriquement possibles sont encore plus élevées. Cependant, si l'on examine les performances mensuelles on s'aperçoit que l'obligation d'étayer le terrain et les incidents de travail les réduisent considérablement. C'est ainsi que les moyennes mensuelles sont à peine supérieures ou même inférieures aux chiffres calculés ci-dessus pour la machine Beaumont:

MARIETTA	480 mètres	(25 jours de 16 heures)
OAHE	380 mètres	(25 jours de 24 heures)

Ces constatations ne prouvent pas que les machines modernes soient mauvaises mais que les conditions sont meilleures dans la craie que dans tout autre terrain actuellement foré.

Les archives du travail effectué du côté anglais ont été détruites lors du bombardement de Londres. Le chiffre de vitesse moyenne est cependant connu. Ce chiffre de 9 m par journée de 20 h est inférieur à la vitesse atteinte du côté français, (15, 11 m par jour de 12 h 36 minutes pendant le dernier mois de son travail).

On doit noter que le travail du côté français a suivi le travail exécuté du côté anglais et que des améliorations avaient été apportées à la machine.

La machine Beaumont fonctionnait à l'air comprimé.

1 - Perméabilité -

10 - Des indications très précises au sujet des infiltrations sont fournies par des observations faites pendant la construction de la galerie française en 1882.

L'écoulement d'eau était en moyenne d'un litre par mètre et par minute ou 1,44 m³ par mètre et par jour pour une galerie de 2,10 mètres de diamètre, c'est-à-dire 30 litres par seconde pour la longueur totale de 1 800 mètres ou 2 600 m³ par jour.

Des infiltrations ont été observées sur toute la longueur de la galerie et il y a un maximum de 268 litres sur un parcours de 190 mètres, c'est-à-dire 2,5 fois la moyenne. Ce sont les conditions prévalant à un endroit où la profondeur au-dessous du niveau de la mer est d'environ 44 mètres.

Des calculs (se référer à l'annexe 2d) montrent qu'au milieu de la Manche, à un endroit où la profondeur serait d'environ 100 m (1); l'écoulement d'eau pourrait être représenté à perméabilité égale par un chiffre 2,65 fois supérieur au chiffre moyen du tunnel pilote de Sangatte. Côté anglais dans le tunnel pilote de Shakespeare Cliff les infiltrations étaient presque nulles (300 fois plus faibles que du côté français).

Des essais de perméabilité ont été faits en 1959 au cours de différents sondages en mer et dans le sondage Est à Douvres.

Les chiffres obtenus pour le coefficient de perméabilité sont plus élevés dans le sondage n° 12. Ce fait qui peut être dû à une fracture locale de la craie se reproduira certainement plusieurs fois pendant le travail.

La perméabilité maximum constatée est 13 fois le chiffre maximum relevé à Sangatte.

11 - Niveaux hydrographiques dans la craie inférieure

Il y a dans la craie inférieure des niveaux qui sont alimentés par de l'eau venant de la craie inférieure et exceptionnellement, dans un cas, en provenance des sables verts. C'est dans la craie inférieure que plusieurs villes et villages trouvent leur alimentation en eau.

(1) et dans la galerie de service de 3,60 mètres de diamètre.

Une étude complète de tout ce qui concerne l'eau dans la craie inférieure a été faite du côté anglais par M. F. H. Edmunds, du côté français par le B. R. G. G. M.

Un volume d'eau pouvant atteindre 6.810 m³ par jour (1 1/2 million GPD) est pompé constamment dans les chantiers de Folkestone. Ce volume pendant la construction de l'approche Sud-Ouest a atteint jusqu'à 11.350 m³ par jour (2 1/2 millions GPD).

Du côté français on constate de même,

a) dans la galerie captante de Tingry, des débits donnant 10 m³ par mètre de galerie en étiage et 30 m³ en hautes eaux (6 000 m³ par jour).

b) dans une galerie du Molinet:

2,2 m³ en étiage, par mètre de galerie (926 m³ par jour) et 17,1 m³ en hautes eaux (7.200 m³ par jour).

c) dans une deuxième galerie du Molinet:

5,2 m³ et 11,8 m³ par mètre de galerie (1.046 et 2.364 m³ par jour).

d) dans une troisième galerie du Molinet:

0,7 m³ et 8,7 m³ par mètre de galerie (1.800 à 22.000 m³ par jour).

Pour conclure on ne peut pas dire qu'il n'y ait pas d'infiltrations dans la craie inférieure, mais elles sont d'un volume tel que les procédés de la technique moderne permettent d'y faire face.

Le projet tient compte de l'évacuation d'un débit de 500 litres/seconde et en outre de la possibilité de rencontrer des sources isolées de 500 litres/seconde.

L'usage systématique d'injections limitera le volume d'eau à ce chiffre maximum.

12 - Conclusions

La craie inférieure, si elle n'est pas affectée par des mouvements géologiques, constitue le terrain idéal remplissant toutes les conditions mentionnées à l'annexe 3, pour forer sans soutènement avec des machines travaillant à pleine section.

13 -

Il restait cependant à vérifier si les mêmes conditions se retrouvaient sur toute la longueur du Pas-de-Calais, et si le tracé d'un tunnel, spécialement un tunnel ferroviaire qui est le plus rigide, peut se maintenir dans une couche homogène prise, si possible, dans les 30 derniers mètres de

la craie inférieure, pas trop près du Gault, sans rencontrer des failles importantes ou des vallées comblées.

Tel a été l'objet des prospections passées et présentes, faites sur les affleurements de la craie inférieure ou dans leur voisinage. Ce fut la partie la plus importante de notre travail, car si des conditions favorables n'avaient pas été trouvées dans la craie, l'espoir de creuser un tunnel foré à un prix raisonnable aurait dû être abandonné.

APPENDICE 2 c

RESUME DES PROSPECTIONS GEOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES

FAITES PAR LE GROUPEMENT

10 - Monsieur Goguel, Ingénieur Général des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines, Directeur de la Carte Géologique, et le Professeur J.M. Bruckshaw, Ph. D. M.Sc. D.I.C., Professor of Applied Geophysics in the Department of Geology of the Imperial College of Science and Technology, ont bien voulu accepter en 1958 d'agir comme Conseils du Groupement en matière géologique et géophysique.

Toutes les décisions importantes concernant les prospections du Groupement ont été prises sur leurs propositions ou en accord avec eux.

Toutes les parties de ce rapport concernant les questions de géologie ou de géophysique sont le résumé de leurs opinions et de leurs conclusions.

100 - Ils ont été assistés par :

Mr. D. Taylor-Smith. B.Sc. D.I.C. Lecturer in the Geophysical Department College.

Mr. F.H. Edmunds Late of the British Geological Survey.

Mr. D.J. Carter, D.F.C. S.Sc. A.R.C.S. of the Geology Department Imperial College.

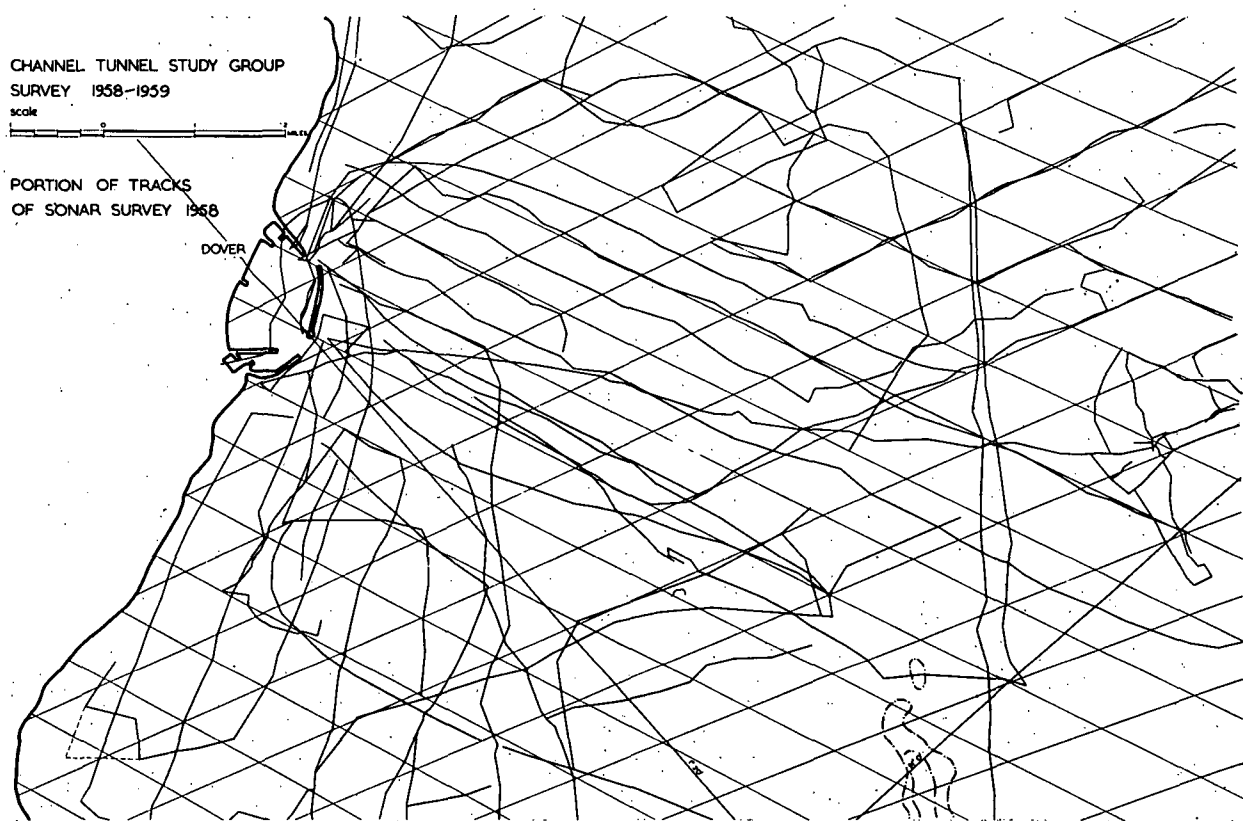
M. Destombes, Ingénieur Géologue au B. R. G. G. M.

M. Waterlot, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille.

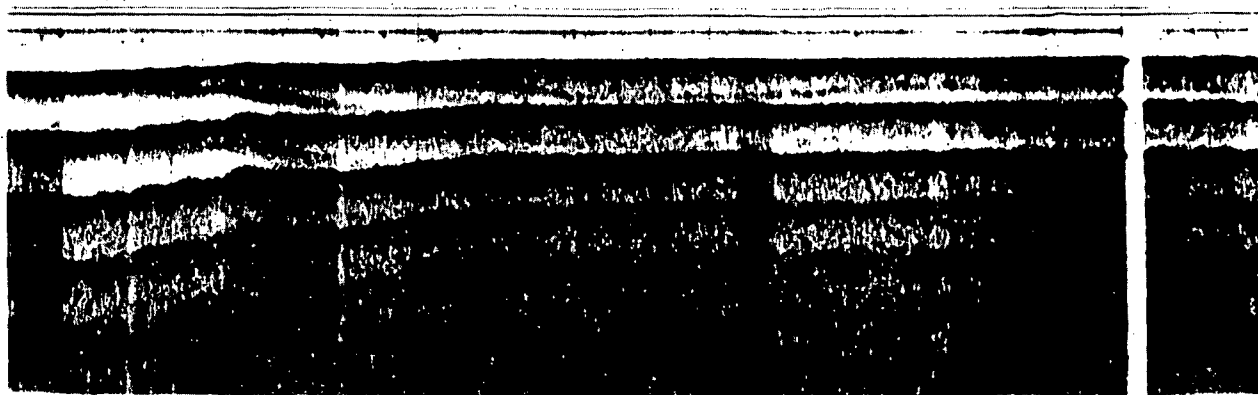
M. Marie, Chef du Service de Micropaléontologie au B. R. G. G. M.

Une décision du Président du Gouvernement des Etats-Unis a permis au Groupement de bénéficier des services du Dr. William O. SMITH du Service Géologique des Etats-Unis et celui-ci a apporté son concours à l'interprétation des prospections géophysiques entreprises par le Groupement.

11 - Sans négliger l'importance et la valeur des renseignements fournis provenant des prospections antérieures, valeur qui d'ailleurs a été depuis confirmée, il était du devoir des responsables de l'étude nouvelle d'employer pour augmenter nos connaissances sur les terrains supposés favorables au percement du tunnel, les méthodes géophysiques les plus modernes dont certaines étaient d'ailleurs encore inconnues en Europe.



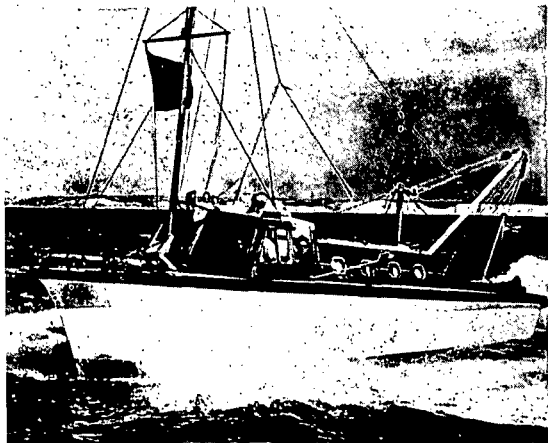
2.10 - Relevé simplifié d'une partie des parcours faits en mer par le "King John II" utilisé par la firme Téléfonics pour la prospection SONAR (1958).
Simplified diagram showing a small part of the courses run by M.V. "King John II" when making Telephonics Corp. SONAR survey in 1958.



2.11 - Exemple d'enregistrement obtenu par la prospection SONAR montrant le fond de la mer et ses réflexions multiples avec l'indication de 2 affleurements, profondeur environ 36 mètres.
Example of record obtained by SONAR survey showing multiple reflections of sea bed and incidence of outcrops in about 120 feet depth of water.



2.21- Decca Navigator as used in "Coolcat" and in all surveys.
Appareil de navigation Decca sur le "Coolcat" tel qu'il a été utilisé pour toutes les prospections.



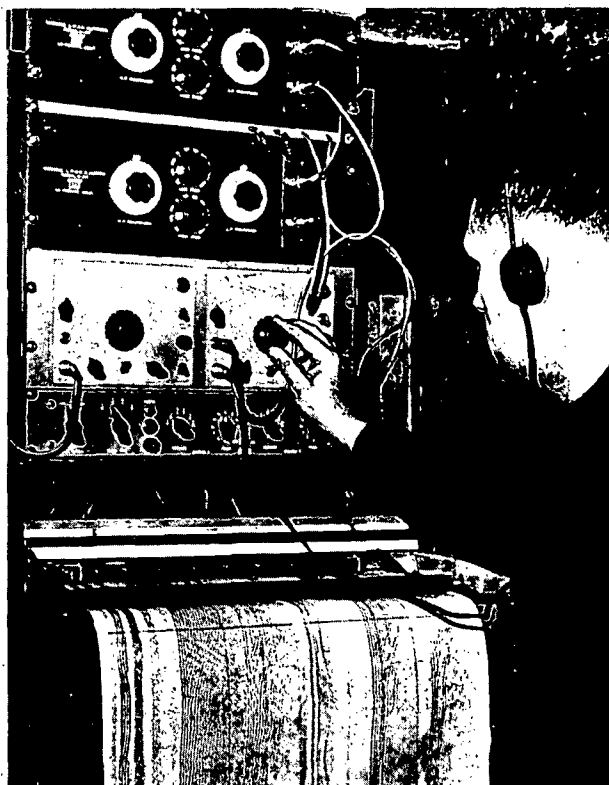
2.20- M.V. "Coolcat" used for Sparker survey and light drop sampling.
Vedette "Coolcat" utilisée pour la prospection Sparker et pour des appareils légers de prélèvements d'échantillons.



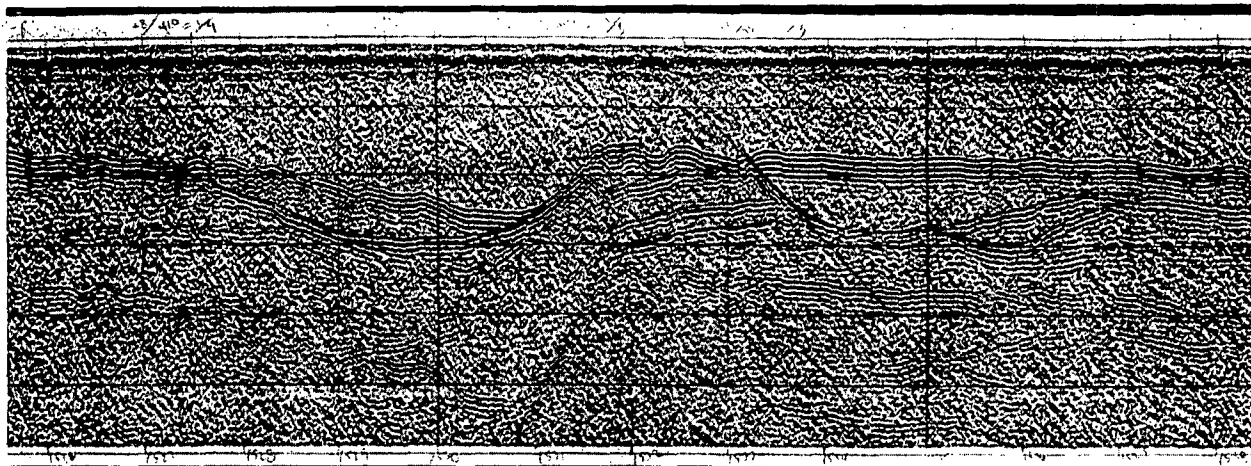
2.22- Sparker unit as used for source of sound for Sparker geo-physical survey.
Elément Sparker. Source sonore pour la prospection Sparker (étincelle électrique).



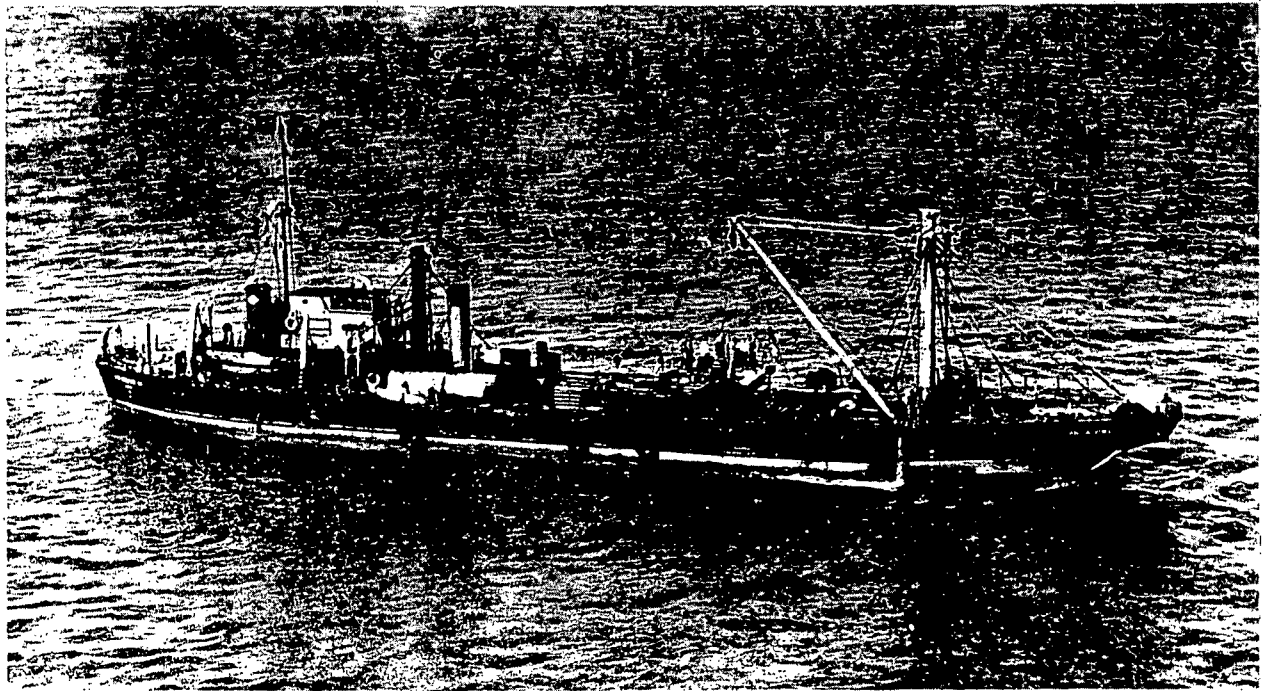
2.23 - Canon au propane (autre source sonore) mis à l'eau à partir du "Coolcat".
Propane gun (alternative source of sound) being lowered from "Coolcat".



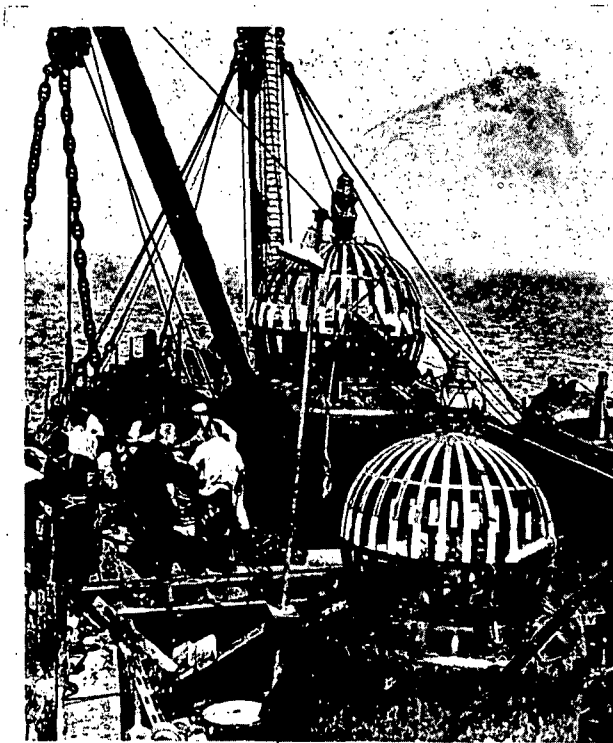
2.24 - Appareil récepteur (prospection Sparker) installé sur le "Coolcat" avec vue de l'appareil d'impression des enregistrements.
Receiving unit for Sparker installed in "Coolcat" showing re-production of record.



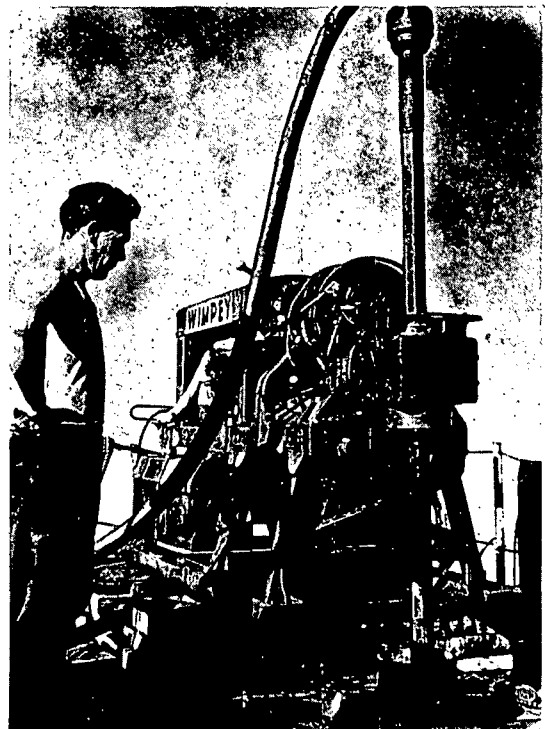
2.25 - Exemple d'enregistrement obtenu par la prospection Sparker montrant 2 poches remplies de sédiments avec une indication de faille sur la droite. L'ensemble se trouve nettement en dehors du tracé du tunnel. Réflexions multiples sur le fond de la mer.
Example of record obtained from Sparker, showing 2 pockets filled with sediment, an indication of a fault to the right, well clear of the tunnel alignment, also multiple reflections from the sea-bed and the depth of water.



2.30 - M.V. "Ian Salvor III" (converted tank landing craft) used for marine borings in the Channel in 1959. Overhanging drilling platform on the port side. Also used for heavy drop sampling.
 "Ian Salvor III", ancien bateau de débarquement de chars (TLC) utilisé par l'entreprise Wimpey pour les sondages en mer en 1959. Plateforme de forage en porte à faux. Utilisé aussi avec l'appareil lourd de prélèvement de Cambridge.



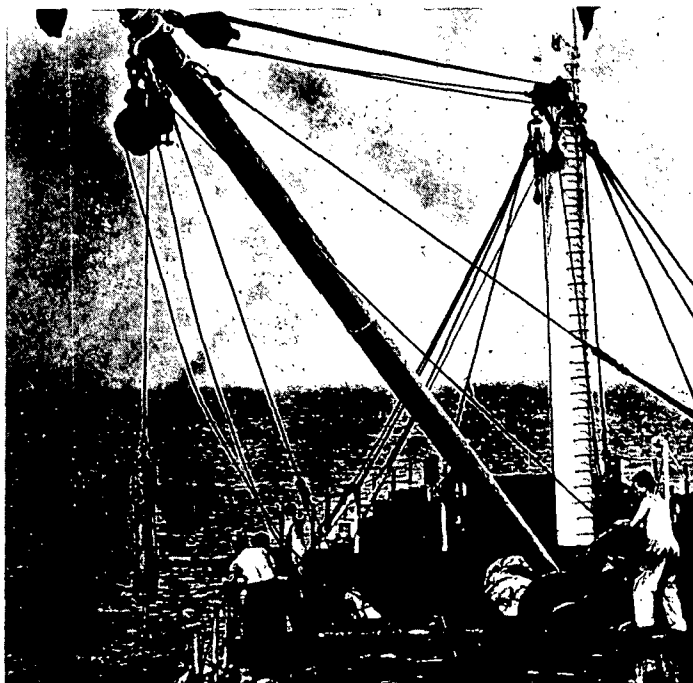
2.31 - Trinity House warning buoys aboard "Ian Salvor III" required to be moored fore and aft of position before boring.
 Bouées de signalisation réglementaires fournies par Trinity House (Service des Phares et Balises).



2.32 - Rotary boring machine used fore core boring in the Channel.
 Matériel de forage Rotary utilisé pour sondages en mer sur le bateau "Ian Salvor III".



2.33.0 - Carottes obtenues par l'entreprise Wimpey au sondage en mer n° 2.
Cores obtained by Wimpey from marine bore-hole n° 2.



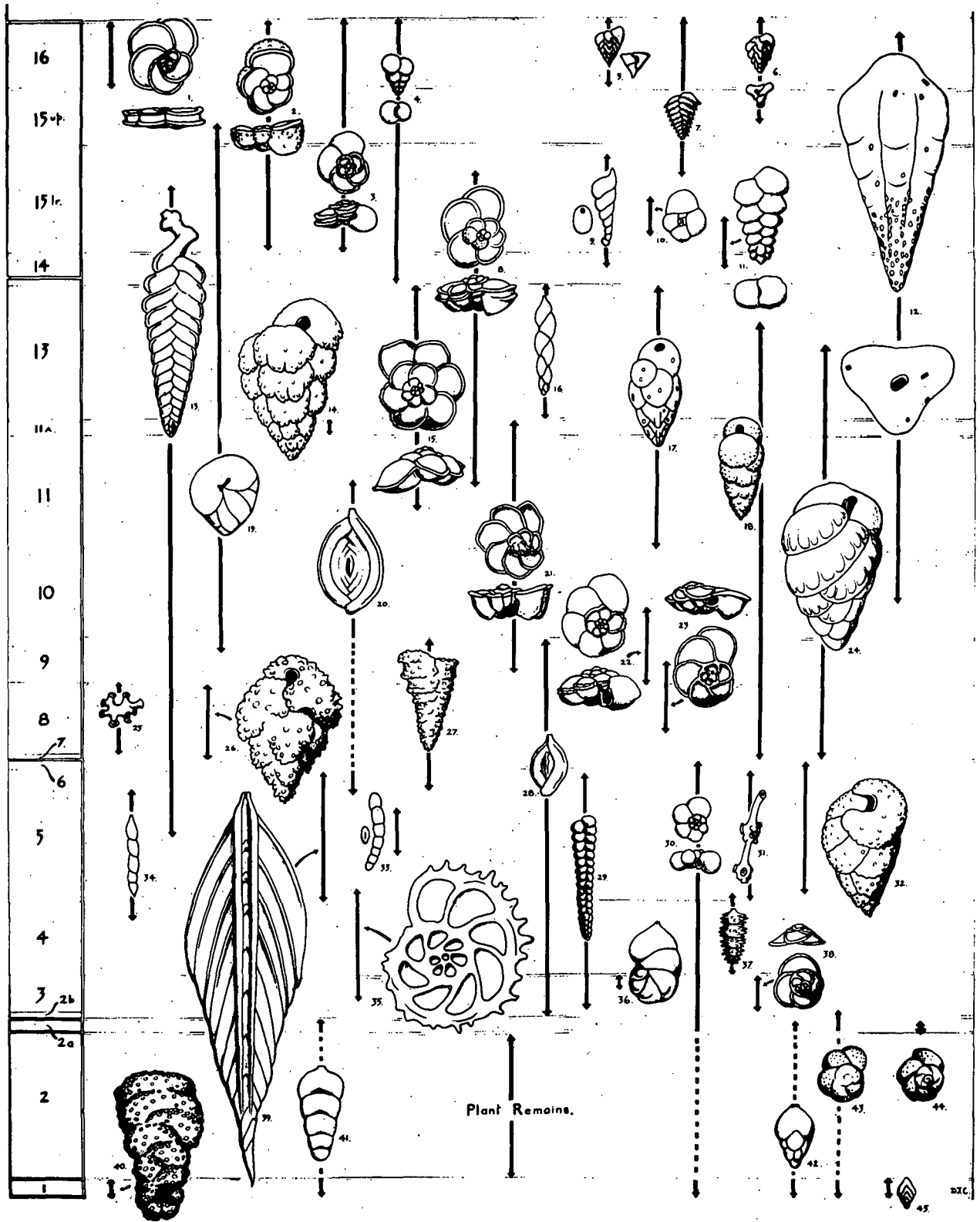
2.40 - Appareil lourd à percussion de l'Université de Cambridge utilisé à partir du "lan Salvor III" pour prélèvements d'échantillons.
Cambridge University heavy drop-sampler in use from M.V. "lan Salvor III".



2.33.1 - Au-dessus, carotte de 3 mètres de longueur.
(above) ten feet length of core before breaking for storage.



2.34 - Carotte de 11 cm. de diamètre, de 3 m. de long, prélevée dans la craie inférieure obtenue au sondage à terre n° 13 (terre-pleins du port de Douvres), par l'entreprise Wimpey au moyen d'un carotier de 3 mètres. Core of lower chalk, 4 1/2 inch diameter, 10 feet long obtained from land borehole n° 13 east of Dover Harbour by Wimpey usin 10 feet core barrel.



2.41 - Pictorial enlargement of foraminifera found in the cretaceous system showing their use in identifying zones in different strata. (The vertical lines show the length of evolution of individual species of micro-fossil.)
 Dessin agrandi de foraminifères montrant le repérage de 9 différentes zones. Les traits verticaux figurent la durée d'évolution de chaque espèce particulière de fossile.

LEGENDE -	14 - 16up	Middle Chalk - Turonien	(Craie moyenne)	- 2a	Folkestone beds	} Sables verts Albien
	14 lr - 7	Lower Chalk - Cénomannien	(Craie inférieure)	- 2	Sandgate beds	
	6 - 2	Gault - Gault	(Albien)	- 1	Antherfield clay	

110 Deux prospections d'essai de prélèvements par hommes grenouilles furent aussi exécutées en 1958.

12 - La méthode sismique réflexion, particulièrement bien adaptée aux pénétrations profondes nécessaires pour l'exploration pétrolière, paraissait devoir être moins efficace dans les couches peu profondes qui nous intéressent.

La méthode sismique réflexion renseigne d'ailleurs sur des surfaces appelées miroirs qui ne coïncident généralement pas avec les interfaces. Elle ne donne donc pas directement les renseignements qui nous étaient nécessaires. Pour ces différentes raisons elle ne fut pas utilisée.

13 - La méthode sismique réfraction en mer est coûteuse et son succès n'est assuré que si les couches se succèdent de haut en bas avec des vitesses du son croissantes. Il fut donc décidé de l'expérimenter à terre sur les deux côtés du Détroit.

Cette expérimentation montra que la succession des vitesses du son des terrains prospectés n'était pas favorable et on a renoncé à utiliser cette méthode onéreuse dans le Détroit.

130 Mais ces investigations accompagnées du forage de deux sondages de référence fournirent des renseignements utiles sur la succession des terrains et les vitesses du son.

La détermination des forams ou fossiles microscopiques dans les carottes prélevées a servi de repère pour toutes les prospections ultérieures.

131 Un deuxième sondage fut exécuté en Angleterre sur la suggestion de Mr. Harding au voisinage de l'extrémité du brise-lames Sud de Douvres. Ce sondage exécuté au prix d'un sondage terrestre constituait en fait un premier sondage en mer.

14 - Avant même que fût prouvé l'insuccès de la méthode réfraction, il fut décidé d'employer pendant la bonne saison 1958 la méthode Sonar (1), méthode utilisant comme source sonore et récepteur des cristaux piezo-électriques, cette méthode ayant sur les méthodes sismiques l'avantage de la continuité.

Cette méthode a permis de déterminer en de nombreux points les lignes d'affleurement, de suivre les interfaces jusqu'à 30 mètres au dessous du fond et de déterminer avec précision les pendages qui en 1875-76 n'avaient pu qu'être estimés en faisant des hypothèses sur l'épaisseur des couches et la continuité des pendages.

140 L'appareil Sonar peut aussi être utilisé au fond de la mer. La pénétration est plus profonde (150 à 300 mètres) mais le repérage par continuité n'est plus possible.

(1) Telephonics Corporation.

15 - En 1959 deux alternatives s'offraient: utiliser l'appareil Sonar sur un traineau pour le rapprocher du fond et diminuer les pertes d'énergie par absorption dans l'eau de mer, ou utiliser un nouvel appareil, l'appareil Sparker.

150 Le choix s'est porté en définitive sur l'appareil Sparker. (1)

Cet appareil fonctionnant sur des fréquences plus faibles a une plus grande pénétration mais un pouvoir de résolution plus faible. Les appareils étant séparés du bateau les effets du bruit du bateau sont atténués et on peut opérer à plus grandes vitesses sans inconvénient;.

Il était prévu une très courte prospection d'essai. Si elle avait été défavorable on serait revenu à l'ancien appareil. Les résultats ont dépassé nos espoirs: des pénétrations de 70 mètres ont été obtenues révélant des poches d'alluvions, des rejets qui avaient échappé à la première prospection.

151 Mesure de vitesse.

En outre l'appareil a permis de déterminer directement la vitesse du son dans les couches intéressantes, élément nécessaire pour l'interprétation des deux prospections soniques et qui jusque là avaient dû faire l'objet d'estimations hypothétiques.

16 - Le défaut commun des deux prospections soniques est la confusion ou même l'absence de toute indication lorsque les couches explorées sont horizontales.

En outre, les surfaces de réflexion peuvent être comprises à l'intérieur de la formation là où les propriétés élastiques de la formation (vitesse et densité) varient suffisamment.

17 - Sondages en mer.

Nous avons à l'origine cru que l'exécution de sondages en mer exigerait la réunion de moyens financiers dépassant les possibilités du Groupement dans cette première phase d'études et qu'elle devrait en conséquence être différée et exécutée lors d'une deuxième phase. Cependant, à la suite d'études préliminaires suivies d'un Appel d'Offres international dont les résultats nous sont parvenus en Janvier 1959, des propositions très économiques nous ont été présentées.

Le Groupement accepta d'affecter un crédit supplémentaire de 35.000 £ porté ensuite à 50.000 £ à des sondages en mer et à une campagne de prélèvements au fond de la mer. Sans ces sondages et ces prélèvements au fond de la mer, l'interprétation des relevés soniques aurait été très hasardeuse.

L'Entreprise britannique Wimpey a exécuté pour notre compte 8 sondages en mer avec un succès technique complet et dans des conditions très avantageuses pour le Groupement puisque le contrat stipulait que les sondages inachevés ne seraient pas payés.

(1) Marine Geophysical Services International Inc. and Alpine Geophysical Associates.

170

La firme Wimpey a exécuté également pour notre compte côté anglais un troisième sondage à terre dans les terre-pleins Nord du Port de Douvres. Les mesures de perméabilité entre packers ont été faites dans ce dernier sondage ainsi que dans deux sondages en mer.

18 -

A peu près à la même époque il est apparu à nos Conseils et à nous-mêmes qu'il y aurait intérêt pour l'interprétation des prospections soniques, à effectuer une campagne de prélèvements au fond de la mer. Ce système s'avérait plus économique que les prélèvements par hommes-grenouilles. En raison de la mauvaise visibilité au fond de la mer l'avantage principal de cette dernière méthode qui permet en principe de s'assurer que l'échantillon n'est pas prélevé sur un bloc isolé et ayant dérivé, devenait illusoire.

Le nouvel appareil lourd de l'Université de Cambridge s'est montré particulièrement efficace.

L'examen des échantillons a permis de reconnaître s'ils étaient ou non en place et la détermination des forams permettant de distinguer une dizaine de couches à l'intérieur du Cénomaniens apporta une précision à ces recherches que ne pouvaient comporter les prospections antérieures et qui avait pour nous le plus grand prix. En même temps la détermination des forams était effectuée sur les échantillons prélevés en 1875-76 et que nous avons retrouvés. Cependant, ces dernières déterminations ont été décevantes en raison de la faible dimension des échantillons.

La détermination des forams faite au cours de cette campagne a permis à nos Conseils d'asseoir sur des bases solides l'interprétation des prospections soniques et de déceler certaines erreurs de la carte de 1875-76.

APPENDICE 2 d

CONCLUSIONS DES ETUDES GEOLOGIQUES

- 0 - Les constatations de nos géologues conseils sont résumées dans une carte et dans un ensemble de conclusions. La carte, qui est certainement un document remarquable, a été dessinée au moyen des renseignements obtenus au cours des différentes prospections et en les interprétant par les méthodes suivantes:
- 01 - Des interprétations indépendantes avaient été demandées aux firmes qui avaient mené à bien les prospections soniques et ont été fournies par elles; mais ces interprétations qui avaient été fondées uniquement sur la prospection effectuée par la firme et sur les résultats des géologues Français de 1875-76, bien que fort utiles, n'avaient qu'une signification limitée. L'interprétation et la carte fournie par nos Géologues Conseils sont, au contraire, fondées sur tous les renseignements actuellement disponibles y compris la détermination des Foraminifères faite sur les échantillons prélevés à la fin de l'été 1959.
- 02 - Les Foraminifères contenus dans les échantillons prélevés au sondage n° 1 à Shakespeare Cliff et au sondage d'Escalle ont été utilisés pour établir une échelle de référence et les résultats se sont trouvés pratiquement concordants. Il est apparu possible de diviser la couche Cénomaniennne en une série de 8 zones caractérisées chacune par un assemblage de microfossiles déterminé. Chaque zone se trouve à une distance de la base de la Craie Inférieure dont les variations restent limitées.
- 1 - Les prospections soniques font apparaître des horizons réflecteurs. Ces réflexions se produisent à des limites, quelquefois au contact entre deux formations différentes et quelquefois aux contrastes existants à l'intérieur de la même formation.
- 2 - Les propriétés réfléchissantes d'un horizon varient rapidement de telle sorte que chacun d'entre eux ne peut être suivi que sur une distance limitée. Il est extrêmement rare de trouver des corrélations certaines entre des affleurements révélés par les méthodes géophysiques sur des profils qui se recoupent. Ceci ne peut être obtenu que s'il est possible de suivre un horizon déterminé depuis l'un des affleurements jusqu'à l'intersection des profils et de là par le second profil jusqu'à l'autre affleurement. Il n'y a certainement pas plus de dix cas où la chose est possible dans la présente prospection. En conséquence les prospections géophysiques ne révèlent que des structures et les renseignements concernant la nature des formations au droit des horizons réflecteurs ne peuvent être obtenus qu'en coordonnant ces renseignements avec ceux qu'on tire des prélèvements et des sondages en mer.
- 3 - En raison des erreurs du système Decca, il y a d'abord une distorsion inconnue entre la carte géographique et la carte Decca qui ne varie pas avec le temps mais suivant les positions. Il existe ensuite une erreur aléatoire qui est inférieure à 50 mètres avec une probabilité de 66 %.

Pour obtenir des résultats cohérents, il a été décidé que la carte se référerait entièrement aux coordonnées Decca même lorsque des positions exactes ont été déterminées par des méthodes optiques précises.

4 - Interprétation

41 - Des profils en travers établis le long de certaines lignes coïncidant de très près avec les parcours du bateau ont été tracés à partir de la carte. La position des échantillons prélevés dans le voisinage a été ensuite projetée sur ces profils en travers où la marge de variation possible pour la profondeur des interfaces était portée. Si un horizon réflecteur décelé par la prospection géophysique passait à l'intérieur de ces limites de profondeur, cet horizon était considéré comme la frontière recherchée; dans la négative un certain travail d'interprétation était nécessaire, il était basé sur les réflexions les plus proches qui avaient été obtenues. Parfois certains horizons ont été tracés sans aucun renseignement géophysique.

Il a été admis qu'il y avait un amincissement régulier dans l'épaisseur des zones depuis la côte anglaise jusqu'à la côte française.

5 - Conclusion

51 - Les résultats de cette interprétation confirment les conclusions des recherches précédentes à savoir que le Cénomaniens constitue une formation continue depuis l'Angleterre jusqu'à la France.

52 - La Craie Inférieure présente une puissance qui se tient entre 65 mètres sur la côte française et 80 mètres sur la côte anglaise. La présente prospection est conforme aux résultats de la prospection antérieure de 1875-76 en ce qui concerne la structure anticlinale au Sud de Douvres et la structure anticlinale de la côte française (Quenoc); mais dans certaines de ses parties, la limite supérieure du Cénomaniens a été reportée à environ 2 kilomètres au Nord-Est de la position qui résultait des prospections antérieures.

53 - Contrairement à l'opinion des Géologues de 1875-76, des surfaces très étendues sont couvertes de gravier. Trois poches remplies de gravier et des fosses analogues non remblayées ont été détectées à la jonction de la Craie et du Gault ou dans son voisinage. Leur position le long de ce contact est telle cependant qu'elle ne constitue pas un danger en ce qui concerne la construction du tunnel, dont l'alignement est partout situé au Nord-Est de ces accidents. Dans d'autres zones, la couche de sédiments est mince et ne constitue pas une difficulté pour le projet.

54 - Dans le voisinage du sondage n° 12 on trouve un indice de l'existence possible d'une faille. Les données disponibles ne permettent pas l'estimation du rejet, mais suggèrent qu'il ne doit pas être important.

55 - Le but principal de l'étude était de déterminer les conditions générales de la géologie et de choisir un tracé possible, mais non pas d'obtenir des renseignements positifs et détaillés permettant d'établir le projet d'exécution du tunnel. Une telle entreprise aurait impliqué un nombre beaucoup plus grand

de sondages et des dépenses beaucoup plus élevées. Dans ces conditions de nombreux détails manquent du fait que des interpolations sur des distances relativement considérables n'ont pu être évitées.

- 56 - Ces constatations ont conduit à adopter un tracé, qui du côté anglais est à environ une distance de 2 kilomètres de celui qui avait été étudié avant que les résultats des derniers prélèvements, faits en septembre 1959 aient été connus. Ce décalage est tel que le tracé proposé de ce côté est à une certaine distance des emplacements où ont été implantés des sondages en mer.
- 57 - Les sondages exécutés en 1959 ont été situés plus au Sud parce qu'il y avait là une structure dont la complexité nécessitait une étude approfondie, et parce que des renseignements plus nombreux pouvaient être obtenus de cette manière pour une dépense déterminée, en raison de l'épaisseur plus faible de Craie à traverser.
- 58 - Une prospection beaucoup plus détaillée, axée dans le voisinage immédiat du tracé du tunnel devra impérativement précéder l'exécution du projet. Une telle prospection impliquera un grand nombre de sondages implantés au voisinage du tracé, associés à une prospection géophysique en vue d'interpoler entre les renseignements obtenus à partir des sondages.
- 59 - La conclusion de nos Géologues est que les présentes recherches n'ont pas décelé de difficultés majeures pour la construction du tunnel dans le Cénomaniens, et que, en dépit des déformations géologiques existant dans la Craie Inférieure, il est possible de projeter un tracé du tunnel d'une longueur raisonnable et qui se maintiendra dans les limites de cette couche qui est assez épaisse pour tenir compte des conditions relativement sévères de courbes et de rampes qui sont exigées pour un travail de cette espèce.

APPENDICE 4 a

POSSIBILITES DES NAVETTES FERROVIAIRES

L'expérience faite par les Chemins de Fer Suisses au Saint-Gothard ayant influencé très fortement nos idées et celles des experts ferroviaires et de nos Conseils en trafic routier, il est utile de donner quelques détails à son sujet:

Il est impossible d'ailleurs d'avoir une idée exacte de ce problème sans faire l'expérience personnelle d'une traversée de ce tunnel en voiture.

D'autres tunnels (Simplon Montcenis) sont équipés pour le transit des voitures mais le Saint Gothard est le seul où le trafic atteint un niveau assez élevé pour que les enseignements qu'on peut en tirer aient une signification pour notre problème. La capacité du Saint Gothard en 1960 pourra atteindre en effet les 3/4 du débit prévu pour le Tunnel sous la Manche en 1965.

Dans les rames les plus récentes les passerelles reliant les wagons sont plates si bien que tout le train forme une plateforme sur laquelle les voitures se déplacent facilement et rapidement.

Les voitures montent sur les rames en un point où les parois latérales baissées forment passerelles sur 40 mètres environ entre le quai et le train; elles avancent ensuite le long du train jusqu'au wagon libre le plus éloigné et s'arrêtent pare-chocs contre pare-chocs. Aucune cale n'est utilisée pour les voitures de tourisme qui doivent bloquer le frein et passer une vitesse.

Sur ces rames une voiture peut être à cheval sur deux wagons.

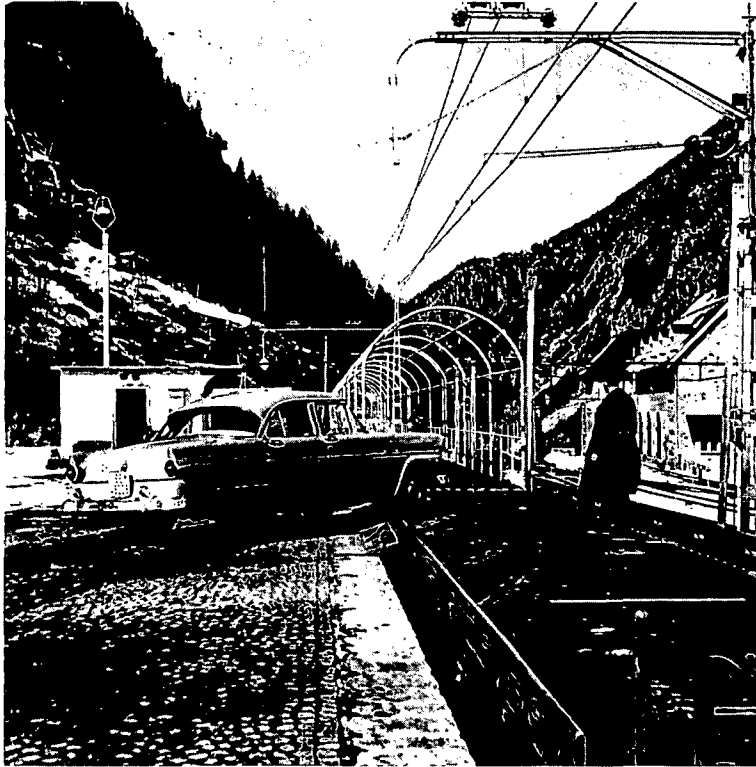
Un train complet de 90 voitures est chargé en moins de 8 à 10 minutes et déchargé en 6 minutes.

Des dispositions sont prises pour que les véhicules ne fassent jamais de marche arrière.

Le Tunnel de 15 km est traversé en 15 minutes, soit une vitesse moyenne de 60 km/heure. La vitesse maximum autorisée est de 80, mais des essais à 90 ont été faits sans inconvénient.

Le débit actuel est de 210 véhicules à l'heure. A la pointe le débit d'arrivée est largement supérieur et des files d'attente se produisent.

Après achèvement des travaux en cours, pour Pâques 1960, on aura 6 rames de 90 véhicules à l'heure soit un débit de 540 véhicules/heure.



4.1 - Une voiture passe du quai sur le train de voitures à Goschonen (St. Gothard).
Goschonen (St. Gothard tunnel). A vehicle driving from the platform onto the train for transporting cars .



4.2 - Train de voitures en cours de chargement (à Goschonen).
Goschonen. Car-carrying train in process of being loaded.

Le block-system permettra un intervalle de 60 secondes entre les trains normaux eux-mêmes séparés par des intervalles de 6 ou 7 minutes et des rames spéciales de voitures.

Lorsque la demande dépassera ce débit il faudra doubler le Tunnel.

Il y a actuellement au Saint Gothard 195 à 205 trains ordinaires par jour. Certains trains de marchandises sont déviés sur d'autres lignes pendant la période de pointe.

Actuellement les motocyclistes s'embarquent dans une gare et dans des conditions différentes, mais, dans le nouveau système, des wagons couverts pour motocyclettes avec leur conducteur seront ajoutés à une rame sur trois.

Le prix du passage sera encaissé sans qu'il soit nécessaire de descendre de voiture.

Les camions et roulottes sont chargés sur des rames spéciales. Ils sont calés.

En 1957, la route était libre à partir du 21 Mars, Pâques étant cette année-là le 21 avril. Malgré cela, avril 1957 a été le mois de pointe pour les voitures.

A partir des données recueillies au Saint-Gothard les conclusions suivantes ont été dégagées par nos experts ferroviaires et routiers.

En utilisant des rames de 300 voitures ce qui exige des wagons à deux étages, le système des navettes permet d'écouler 1800 véhicules/Heure dans un seul sens, c'est-à-dire un débit du même ordre de grandeur que celui d'une autoroute à deux voies; et ceci sans faire obstacle au passage normal des trains de voyageurs aux jours de pointe.

Sous réserve du problème des attentes qui est traité ailleurs, le système des navettes ferroviaires est donc équivalent à une autoroute à 4 voies

Il est intéressant de comparer le chiffre de 3 600 véhicules/h. (2 sens ajoutés) avec celui qui a été retenu par les experts routiers (1 300 véhicules/heure) pour le tunnel routier, à un tube; 3 000 véhicules/heure pour le tunnel routier à deux tubes).

L'expérience du Saint Gothard démontre l'intérêt psychologique qu'il y a à permettre au conducteur de conduire sa voiture sur la rame où il s'engage exactement dans les mêmes conditions où l'on s'engage en ville sur une allée latérale destinée au parking.

Le maintien du conducteur et des passagers dans la voiture est apprécié par le conducteur qui n'a pas l'impression d'interrompre son voyage automobile et qui ne se fait pas de soucis en ce qui concerne ses bagages.

Cette disposition est en outre indispensable si l'on veut réaliser de courts délais de chargement, condition nécessaire pour l'écoulement régulier du trafic.

APPENDICE 4 b

TUNNEL ROUTIER

1 - GABARIT

Dans une première étape on envisage de construire un seul tube comprenant une voie de circulation dans chaque sens et une voie de garage pour véhicules en panne.

Quand le trafic le rendra nécessaire un deuxième tube sera construit. Il pourra être, selon les circonstances identique ou un peu plus petit.

Le gabarit en hauteur est le gabarit de 4,50 m fixé par la Déclaration de Genève de 1957 sur les itinéraires internationaux. En largeur la chaussée aura, dans une variante A, 9 mètres correspondant à 2 bandes de circulation de 3,28 et une voie de garage de 2,44.

Le problème des pannes est étudié dans une note détaillée (annexe 4 c) dans laquelle nous avons appliqué les méthodes de calcul établies par Leslie C. Edie et qui ont été vérifiées dans les tunnels de l'Autorité du Port de New York.

Cette étude montre que les difficultés soulevées par ces problèmes ne sont pas insurmontables. Elle montre qu'il y aura pratiquement en permanence un véhicule en panne dans le tunnel lors des périodes de circulation intense. Mais elle montre également que les dépannages pourront être faits facilement en établissant 3 postes de 3 véhicules placés à chaque cheminée de ventilation.

Dans le cas d'un tube unique à deux sens où aucun dépassement n'est possible, il était nécessaire de prévoir une voie de garage continue pour éviter de bloquer la circulation. Chaque véhicule roulant aux heures de pointe rencontrera au cours de son parcours un véhicule en panne en moyenne. En ce point singulier, le véhicule ne disposera, dans la solution A, que de sa voie de 3,28. Mais sur tout le reste du parcours, le conducteur aura l'impression de disposer d'un gabarit d'obstacle de 4,50 m de largeur ce qui lui donnera une grande aisance.

Ceci nous conduit à penser que, moyennant un éclairage judicieusement conçu le phénomène de claustrophobie ne pourra avoir de conséquences gênantes.

Compte tenu de la bordure et du dégagement des conduits de ventilation d'un côté et du trottoir de l'autre, les gabarits choisis conduisent à un diamètre intérieur de 11 mètres.

Nos Conseils préconisent d'augmenter encore la largeur de la voie et de la porter à 9,75 (2 x 3,35 + 3,05) ce qui conduit à un diamètre intérieur de 12 m (variante B).

2 - CAPACITE

Dans les conditions définies ci-dessus, il a été admis que la capacité du tunnel à un tube serait pour deux sens réunis :

- heures de pointe de 1300 véhicules (trafic tourisme seul)
- hors pointe de 900 véhicules (tourisme et poids lourds mélangés).

Lorsque un deuxième tube sera construit, la capacité d'un tube dans une direction a été estimée par nos experts à 1500 véhicules (tourisme seul) - chiffre modéré tenant compte du maintien d'une voie dégagée pour véhicules en panne et interdit aux autres. Il est très possible que l'expérience montre que cette interdiction n'est pas indispensable auquel cas la capacité serait de 2.250.

Les capacités admises pour une voie sont faibles, un abattement ayant été prévu par rapport aux débits constatés dans des tunnels courts pour les raisons indiquées plus haut.

La capacité du tunnel routier s'il existait seul, ne sera dépassée que quelques jours par an en 1980, mais après 1980 un deuxième tube serait rapidement nécessaire et cette éventualité pourrait se présenter antérieurement si nos précisions sont dépassées.

3 - VITESSE

Il a été admis que la vitesse ne dépasserait pas 56 km/h c'est-à-dire 35 miles/heure. Les constatations faites dans les tunnels existants, sur le phénomène de la création de paquets de circulation (Operation Research Sept. Oct. 59, G.F. Newell. A Theory of Platoon Formation in Tunnel Traffic) montrent qu'il n'est pas possible de maintenir des vitesses élevées dans les tunnels et que les phénomènes s'aggravent lorsque la longueur des tunnels augmente.

Il a été admis qu'aux heures de pointes, les camions ne circuleraient pas, et ceci pour deux raisons :

- a)- pour faciliter la solution du problème de ventilation
- b)- pour éviter un ralentissement de la circulation et une diminution du débit.

On imposera une vitesse minima et une vitesse maxima très voisines. Aux heures de pointe la tâche la plus importante des patrouilles de police sera d'obliger les véhicules lents à accélérer.

4 - DUREE DU PARCOURS

42 km à 56 km/h

45 minutes

Douane - Police

6 minutes 30

Total :

51 minutes 30

Si l'on veut comparer ce temps au transit par le tunnel ferroviaire, il faut ajouter 18 à 27 minutes 1/2 de parcours à l'air libre (1), soit un total de 67 minutes 1/2 à 79 minutes.

(1) - Suivant les vitesses et les parcours choisis.

APPENDICE 4 c

JUSTIFICATION DE L'ADOPTION DU GABARIT
DU TUNNEL FERROVIAIRE

L'adoption d'un gabarit de 4,50 m de hauteur qui est le gabarit Européen pour les camions, ne se justifiait pas à priori, étant donné le faible pourcentage de camions supplémentaires qu'un tel gabarit aurait permis d'admettre; il était plus rationnel économiquement de fixer le gabarit en fonction de la possibilité de faire passer dans le tunnel ferroviaire des wagons à double étage pour véhicules accompagnés. L'étude d'exploitation montre les avantages que ces wagons présentent par rapport aux wagons à simple étage.

On a examiné ensuite quelles étaient les possibilités que donnent pour les camions ce gabarit. Toute augmentation au-delà de ce gabarit ne pouvant être rentée que par le trafic camion et non par le trafic voiture. Ce gabarit permet de charger :

- des camions jusqu'à 12' 5" de haut (3,78 m) sur wagons normaux
- ou des remorques de 13' 10" ou 4,23 m sur wagons puits spéciaux.

Du fait des règles différentes de conduite sur le Continent et dans le Royaume-Uni, il est à prévoir que le trafic remorque sera important.

Il est impossible d'obtenir des statistiques de hauteur de camions, car celles-ci dépendent non du châssis mais de la carrosserie ou de la hauteur du chargement. D'après des renseignements fournis par la B. T. C. cette limitation n'éliminerait que quelques % des camions Britanniques. Les experts routiers Français de leur côté ont admis que cette limitation de hauteur ne pouvait apporter de gêne réelle aux transporteurs routiers.

APPENDICE 4 d

VENTILATION : TENEUR EN OXYDE DE CARBONE

Le Comité des Experts des Tunnels Routiers de l'Association Permanente de Congrès de la Route a présenté en 1959 un rapport au Congrès de la Route de Rio-de-Janeiro.

Dans ce rapport il est recommandé en Europe de ne pas dépasser la teneur en CO 1/10.000 (alors que 2/10.000 est toléré aux Etats-Unis) non pas en raison de la nocivité de l'oxyde de carbone à une teneur supérieure, mais parce que pour des teneurs supérieures les produits nocifs autres que l'oxyde de carbone et la teneur des gaz en fumées, peuvent devenir gênants.

Nous avons cependant adopté dans notre projet une teneur de 2/10.000 aux heures de pointe pour les raisons suivantes:

La circulation des camions diésel comme de tous camions sera interdite aux heures de pointe pour augmenter la capacité (voir Appendice 4b).

Au Mersey Tunnel si on admet la teneur de 1/10.000 hors pointe on admet 2/10.000 aux heures de pointe.

Au Tunnel d'Anvers on admet 1,5/10.000 sans constater d'inconvénient pour le personnel qui peut rester exposé jusqu'à deux heures à ces teneurs.

Les recherches des physiologues américains Henderson Haggard montrent que pour la teneur de 2/10.000 il n'y a pas d'effet perceptible avant 1 h 1/2 d'exposition, et pas d'effet nocif avant 3 heures d'exposition; migraines et nausées commencent à apparaître à partir de 4 h 1/2.

La durée normale de traversée de la partie sous-marine étant de 45 minutes, il n'y aura pas d'inconvénient en service normal; les distances réglementaires entre véhicules devront être évidemment maintenues et en cas d'arrêt de la circulation les moteurs devront être arrêtés.

Le personnel pouvant être soumis à des durées d'exposition plus importantes, les mesures suivantes devront être prises:

Le personnel sera normalement stationné près des puits d'aération où localement sera maintenue une atmosphère avec un taux de 0,4/10.000 permettant une exposition de 8 heures.

La durée des patrouilles ininterrompues sera aux heures de pointe limitée à 1 h 1/2 - 2 h environ; si on veut éviter cette limitation il faudra utiliser des voitures fermées à air conditionné.

APPENDICE 5

ETUDE DE TRAFIC: VOYAGEURS ET VEHICULES

1) le premier objet de l'étude de trafic a été de rassembler toutes les données concernant le trafic existant et passé.

2) la figure 5. 1 montre le développement du trafic maritime de voyageurs depuis 1850 sur un graphique semi-logarithmique; ce trafic s'est accru entre 1850 et 1951 au taux composé moyen de 3,5%.

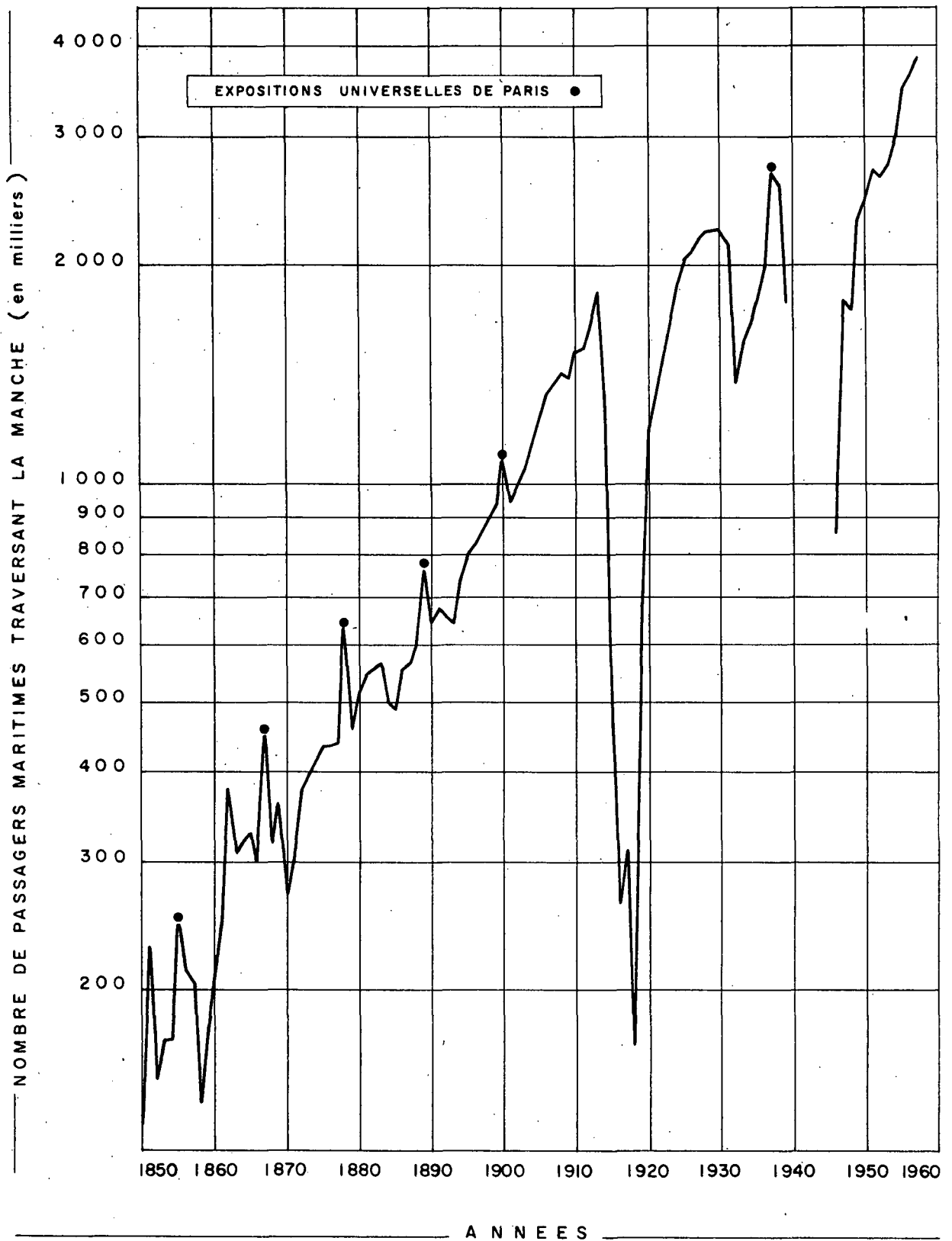
3) la concentration de trafic pendant l'été est très élevée (73,4 % pour les voitures, 68,4 % pour les voyageurs par mer (voir fig. 5. 2);

4) les volumes de trafic des jours de pointe sont très élevés en raison du caractère touristique de la traversée de la Manche. Le volume de trafic du jour de pointe pour les voyageurs représente 5,25 fois le trafic du jour moyen. Pour les voitures le coefficient correspondant est 4,38. La plupart des jours de pointe sont des Samedis et des Dimanches (voir graphique 5. 3).

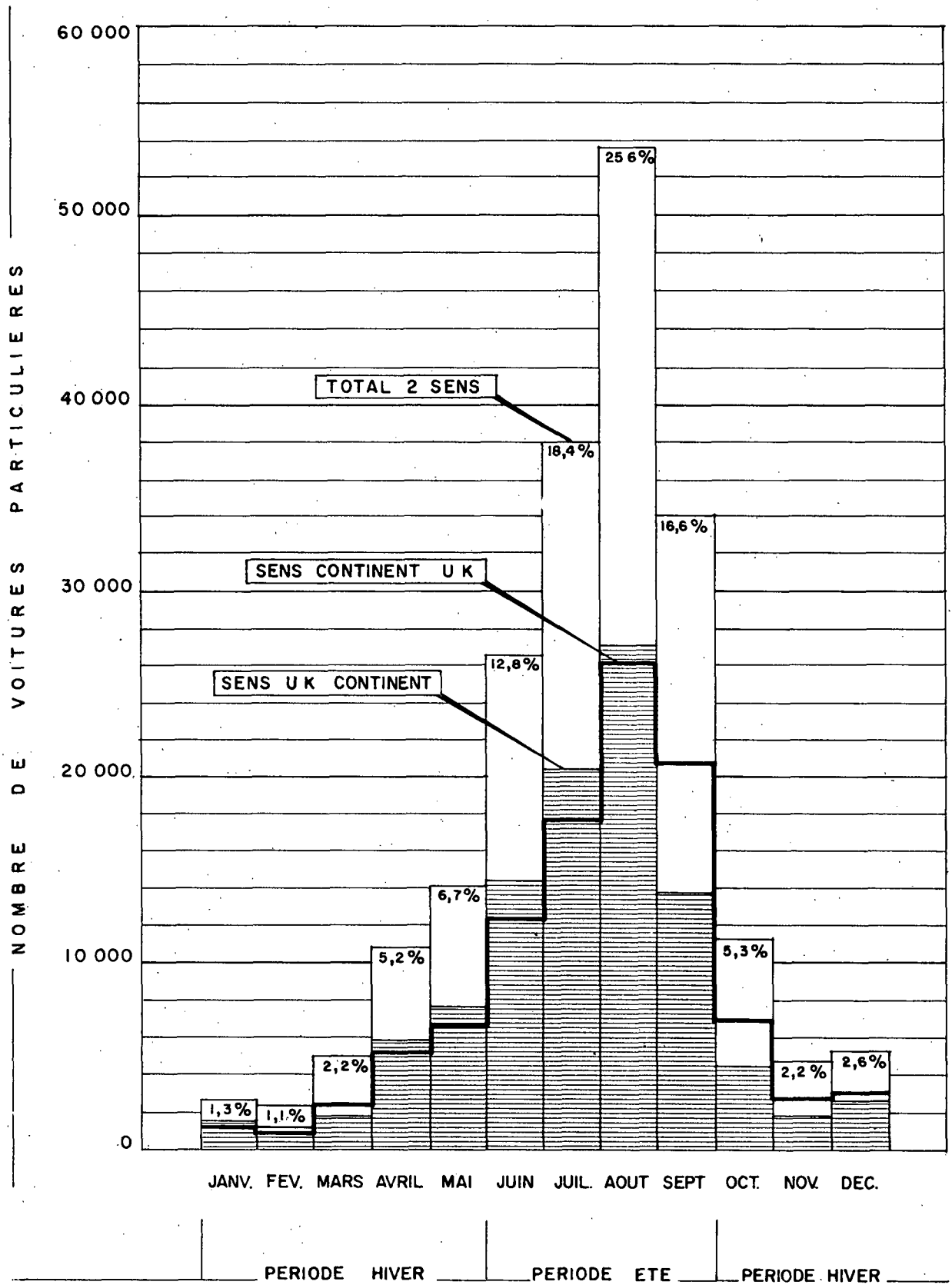
5) un échantillon de 11. 396 itinéraires suivis par les voitures traversant la Manche et 90 076 itinéraires de voyageurs ont été analysés.

La réunion des renseignements nécessaires y compris les origines et les destinations a été faite par un questionnaire rempli par des enquêteurs interrogeant les usagers ou par les usagers eux-mêmes. Le coût total pour les usagers: dépenses directes y compris le prix des billets augmentées de la valeur monétaire attribuée par les usagers au temps qui sont appelés dans cette étude "facteurs objectifs" a été calculé pour chaque voiture et chaque voyageur pour les déplacements de toutes les zones d'origine à toutes les zones de destination. La comparaison des coûts totaux par différents itinéraires entre des zones d'origine et de destination déterminées faite à l'aide de calculateurs électroniques a permis de tracer des courbes analogues à celles qui sont figurées sur le graphique 5.4, courbes désignées dans le rapport sous le nom de "courbes d'allocation". Sur ces courbes le pourcentage des usagers utilisant un itinéraire est tracé en fonction des économies d'un itinéraire par rapport à un autre. Le point représentant le pourcentage de 50 à un intérêt particulier et l'économie correspondante est appelée "Bonus" dans le rapport. On remarquera que le bonus est 0 pour les voyageurs lorsqu'on compare la ligne Douvres-Ostende à la ligne Douvres-Boulogne, et il est égal à 11. 000 F F 1957 pour les voitures lorsqu'on compare la ligne Harwich-Hook à la ligne Douvres-Boulogne. Ceci signifie que les 2,67 voyageurs qui utilisent en moyenne une voiture sur cette ligne attribuent une valeur de 11. 000 F F 1957 aux facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans les calculs précédents et qui pour cette ligne représentent les économies de nuits d'hôtel et de repas ainsi que l'avantage de la réduction du nombre de frontières à franchir.

EVOLUTION DU TRAFIC MARITIME PASSAGER DEPUIS 1850



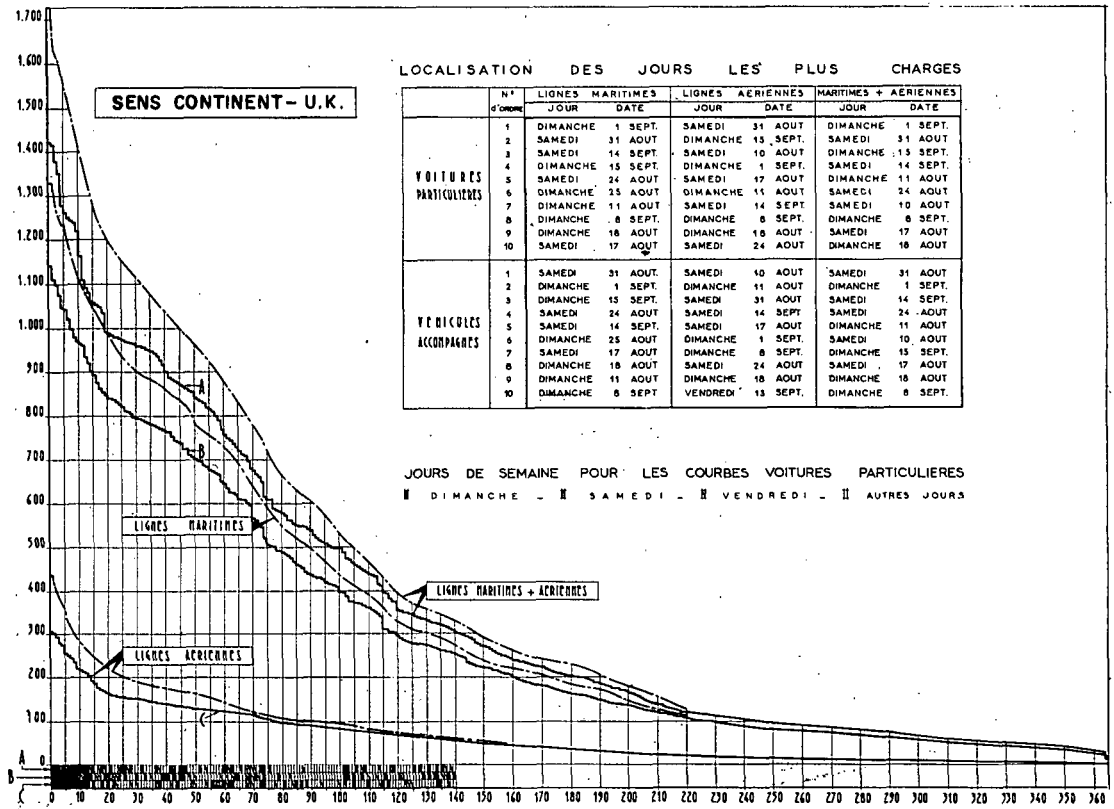
VOLUMES MENSUELS DE VOITURES PARTICULIERES TRAVERSANT LA MANCHE EN 1957 - LIGNES MARITIMES



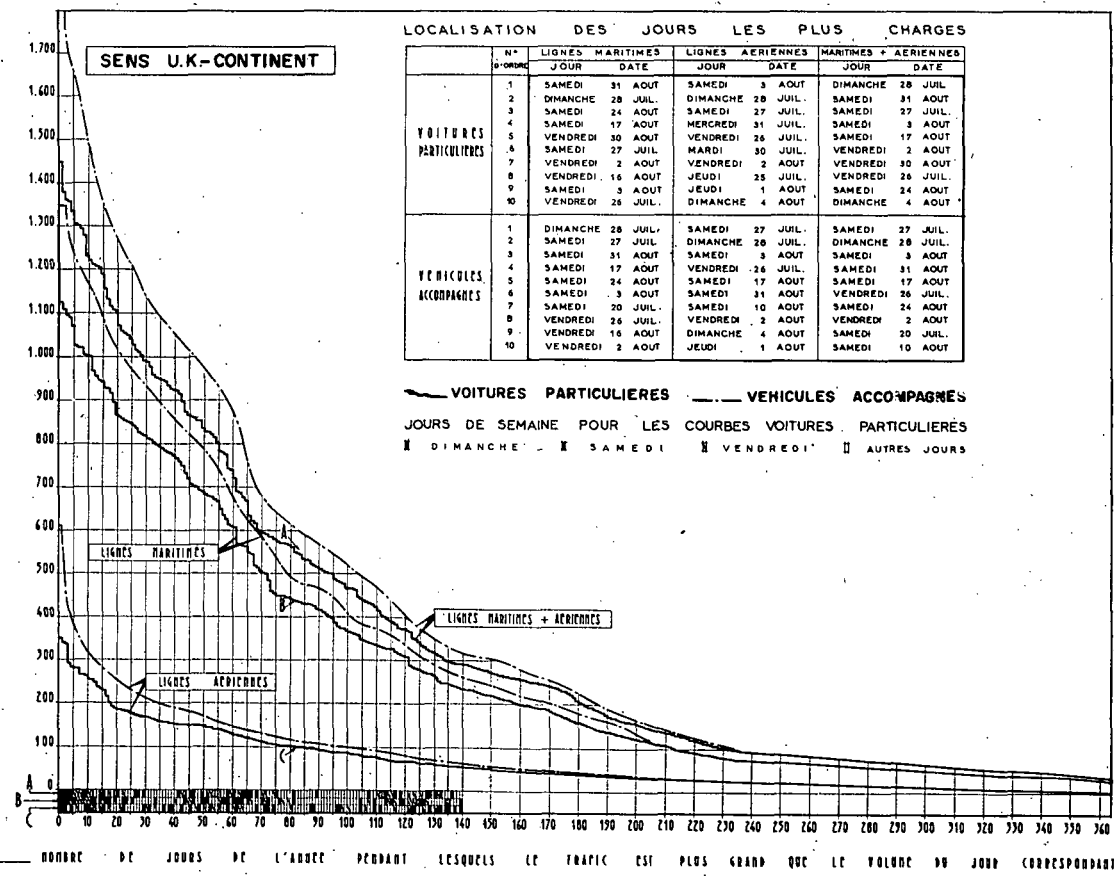
**VOITURES PARTICULIERES
VEHICULES ACCOMPAGNES**

COURBES DE DEBITS CLASSES EN 1957

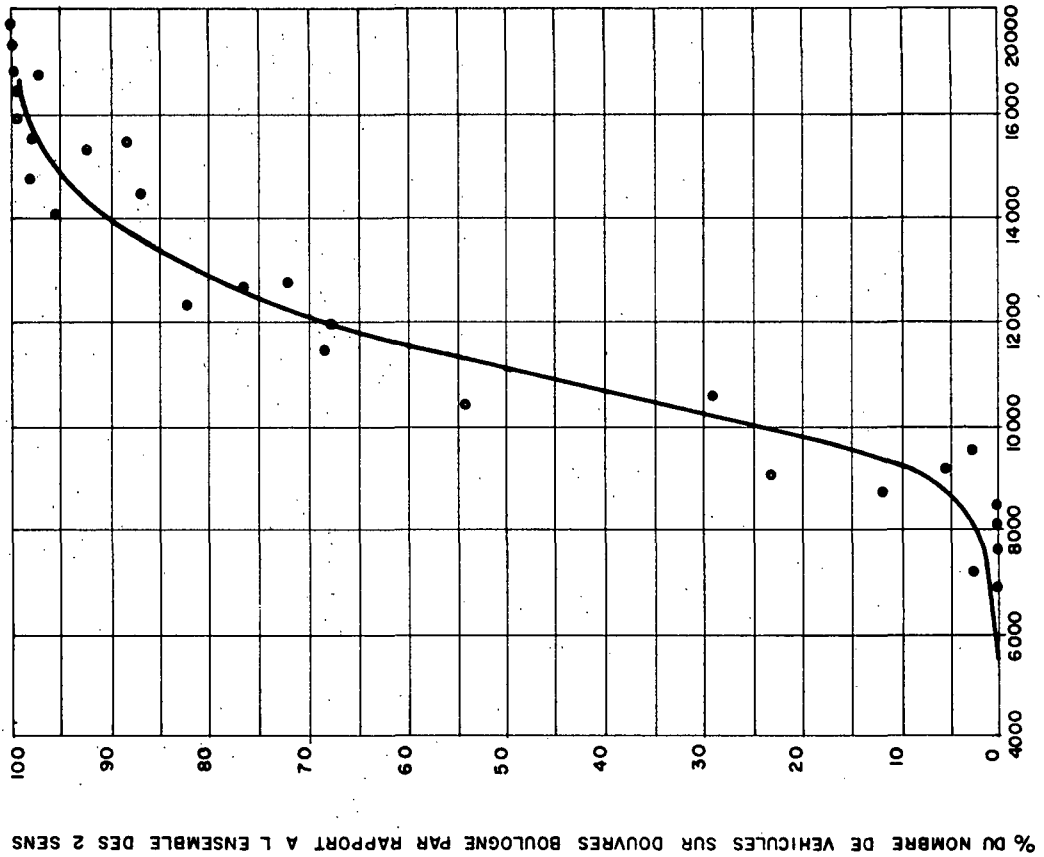
VOLUMES JOURNALIERS DE VOITURES PARTICULIERES ET DE VEHICULES ACCOMPAGNES



VOLUMES JOURNALIERS DE VOITURES PARTICULIERES ET DE VEHICULES ACCOMPAGNES

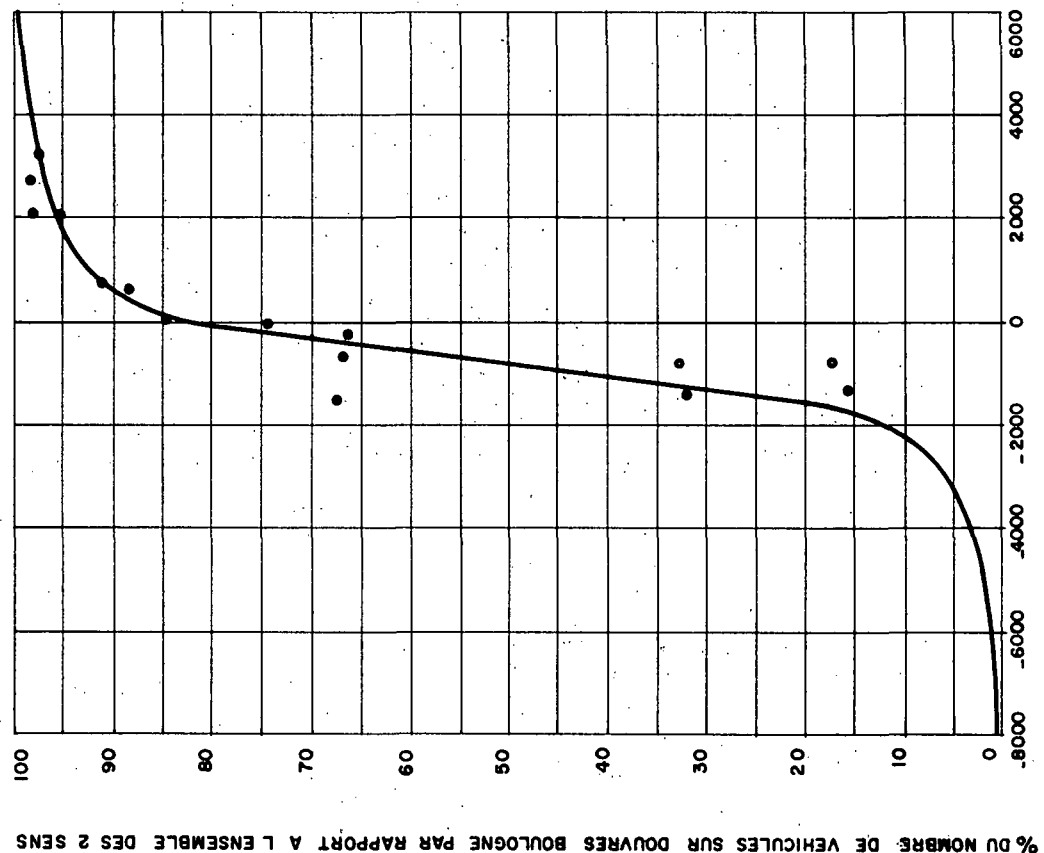


VEHICULES ACCOMPAGNES
 COURBE D'AFFECTATION
 DOUVRES - BOULOGNE / HARWICH - HOEK VAN HOLLAND



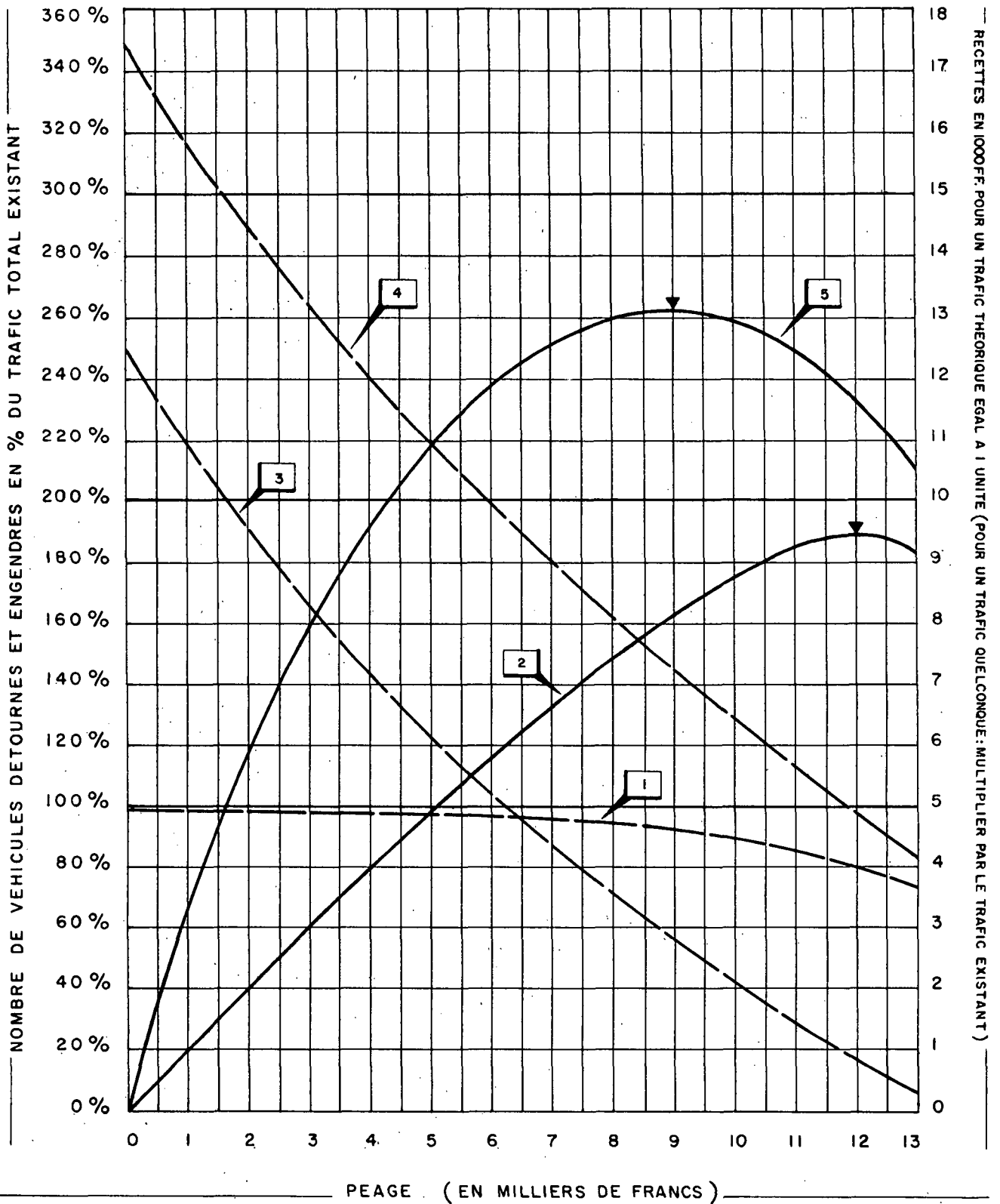
ECONOMIE DE DOUVRES BOULOGNE PAR RAPPORT A HARWICH - HOEK VAN HOLLAND

VEHICULES ACCOMPAGNES
 COURBE D'AFFECTATION
 DOUVRES - BOULOGNE / DOUVRES - OSTENDE



ECONOMIE DE DOUVRES BOULOGNE PAR RAPPORT A DOUVRES OSTENDE

VEHICULES TRAFIC DETOURNE, TRAFIC ENGENDRE, ET RECETTES A ACCOMPAGNES DIVERS NIVEAUX DE PEAGE POUR LE TUNNEL FERROVIAIRE



LEGENDE : 1-TRAFIC DETOURNE 2-RECETTES DU TRAFIC DETOURNE
 3-TRAFIC ENGENDRE 4-TRAFIC DETOURNE + TRAFIC ENGENDRE
 5-RECETTES DU TRAFIC TOTAL

Les volumes de trafic attribués au Tunnel pour différents niveaux de péage ont été calculés à partir de ces courbes d'allocation en prenant en compte les économies que l'on fera sur le coût total du déplacement (économies en temps et en argent) lorsqu'on utilisera le tunnel; les facteurs de détournement utilisés dans le rapport ont été déduits de ces calculs.

6) L'analyse statistique des renseignements recueillis lors de l'enquête origine-destination, a permis de tracer pour les véhicules la courbe n°3 du graphique 5.5 qui donne le trafic engendré par la nouvelle liaison pour différentes valeurs du péage.

A partir de cette courbe et de la courbe donnant le trafic détourné (courbe n° 1), on a déduit la courbe donnant les recettes brutes totales (courbe n°5). On peut voir sur cette courbe que le péage qui donne la recette brute maximum (appelée péage optimum) est de 9 000 FF 1957.

Des recherches analogues ont été faites pour les voyageurs et ont permis aux Experts de trafic de déterminer le péage optimum pour les voyageurs.

APPENDICE 6 a

GENIE CIVIL : MISSION CONFIEE AUX INGENIEURS CONSEILS

(TUNNEL FORE)

Il a été demandé aux Ingénieurs Conseils d'étudier tous les aspects techniques du projet, et en raison de l'importance du problème des moyens d'exécution qui est soulignée dans l'Annexe 3, de porter à ce dernier problème une attention particulière. A ce point de vue, cette étude est allée beaucoup plus loin dans le détail que ce n'est l'usage dans l'établissement d'un avant-projet.

C'est ainsi qu'il avait été demandé aux Ingénieurs Conseils d'étudier les horaires détaillés des trains d'évacuation des déblais, et en ce qui concerne les machines à forer, une étude approfondie des statistiques des vitesses d'avancement a été demandée. Par contre il n'était pas demandé aux Ingénieurs Conseils de déterminer dans chaque cas la méthode d'exécution la plus économique et la plus rapide pour chaque partie du travail. Ce qui était demandé pour chaque problème était une solution raisonnable et moyenne, laissant ultérieurement aux entrepreneurs lors de l'adjudication la liberté de présenter sous leur responsabilité des solutions plus audacieuses.

C'est ainsi qu'en ce qui concerne l'évacuation des matériaux ce n'est pas la solution la plus économique mais une solution comportant un minimum de risques (évacuation par pompage vers le rivage) qui a été retenue parmi plusieurs autres pour établir l'estimation des travaux.

Ile artificielle

La possibilité d'utiliser une île artificielle pour augmenter le nombre des attaques et réduire la durée du travail a été étudiée d'une manière approfondie. Il a été reconnu par les Conseils que le risque de mauvais temps était tel que la réduction de délai obtenue par le moyen de ces attaques supplémentaires pouvait devenir illusoire⁽¹⁾; il n'a donc pas été tenu compte de cette possibilité dans l'estimation des travaux et dans l'évaluation de la durée d'exécution. Cependant, les entrepreneurs seront libres, le moment venu, de proposer cette solution sous leur responsabilité. Dans le même esprit, bien que les études sur les machines à forer aient été poussées très loin par les Conseils, l'entrepreneur qui disposera de toute la documentation recueillie par notre Groupement restera libre d'utiliser la machine de son choix.

(1) pour le tunnel ferroviaire - Pour le tunnel routier la conclusion est différente.

APPENDICE 6 b

EXTRAIT DES CONCLUSIONS DES INGENIEURS CONSEILS (TUNNEL FORE)

Après étude des problèmes posés par la réalisation d'une liaison entre l'Angleterre et la France pour les trafics routier et ferroviaire, au moyen d'un ou de plusieurs tunnels forés sous le Pas-de-Calais, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes:

- a)- le Tunnel ferroviaire et le Tunnel routier doivent être envisagés comme deux ouvrages distincts.

Le Tunnel ferroviaire serait construit en premier, sous forme de deux tunnels jumeaux à simple voie. Il permettrait le transport des véhicules routiers par wagons spéciaux.

Ultérieurement, et seulement quand l'accroissement du trafic le justifierait, la construction d'un Tunnel routier pourrait être envisagée.

- b)- la construction des tunnels ferroviaires dans la craie cénomaniennne entre Douvres et Sangatte est réalisable. Ni le Kimmeridgien, ni toute autre formation géologique n'offrent des conditions d'exécution aussi favorables.

La longueur de chacun des tunnels ferroviaires serait d'environ 52,5 kilomètres (33 miles) dont 36,4 kilomètres sous mer.

.....

Le coût de construction de ces deux tunnels ferroviaires, y compris les galeries annexes et les installations terminales, est estimé d'une façon prudente à 148 milliards de francs 1959 (£ 106 millions). Le délai nécessaire à leur construction ne dépasserait pas 5 ans.

- c)- la construction d'un tunnel routier à deux voies dans la craie cénomaniennne serait probablement réalisable. Avec un système de ventilation convenable, comportant notamment deux puits intermédiaires sur îles artificielles, ce tunnel permettrait un trafic de pointe de 1500 véhicules par heure pour l'ensemble des deux directions.

Le coût de construction de ce tunnel routier y compris l'équipement de ventilation et les installations terminales, pourrait être approximativement de 210 milliards de francs 1959 (£ 150 millions).

L'expérience de la construction des tunnels ferroviaires, dont le diamètre est plus petit, serait nécessaire avant d'envisager la construction du tunnel routier.

- d)- les renseignements d'ordre géologique et géophysique actuellement disponibles nous ont permis d'établir les conclusions précédentes. Mais des informations complémentaires seront nécessaires pour la détermination exacte du tracé définitif des tunnels ferroviaires. En ce qui concerne le tunnel routier ces informations devraient être recherchées sur une zone de beaucoup plus grande étendue.

APPENDICE 6 c

TUNNEL IMMERGE

Les différentes variantes du tunnel immergé seront constituées par du béton armé coulé à l'intérieur d'une tôle d'acier de 1/4 de pouce d'épaisseur formant chemise (6,4 mm).

Le tunnel serait immergé dans une souille qui serait ensuite remblayée de telle manière qu'une couverture minimum de 1,50 m serait réalisée.

Le tube aurait une flottaison négative d'environ deux tonnes par pied courant (6,4 tonnes/mètre).

Les éléments de tube, d'une longueur d'environ 120 mètres, obturés provisoirement par des parois d'extrémités, seraient mis en place par une plateforme de construction montée sur piles coulissantes.

Le dragage se ferait au moyen d'un excavateur fixé à la plateforme, les déblais étant transportés hydrauliquement en arrière pour effectuer le remblayage.

Les sections de tube seraient construites sur des chalands ce qui dispense de l'utilisation de formes de radoub ou de cales.

Le procédé adopté réduit au minimum le danger du mauvais temps: toutes les opérations y compris le dragage et excepté l'amenée des tubes se faisant à partir d'éléments échappant aux inconvénients de l'agitation de la mer.

L'immersion d'un tunnel dans le Pas de Calais qui serait impossible par les moyens traditionnellement utilisés dans les traversées sous-fluviales en raison du mauvais temps ne semble être possible que par l'utilisation d'un matériel moderne et puissant comme celui envisagé ci-dessus.

Les risques du mauvais temps qui ne s'exercent que pour les opérations d'amenée des tubes peuvent être calculés puisqu'il s'agit d'un très grand nombre d'opérations (250 opérations environ).

Joints

Un joint télescopique avec garnitures en caoutchouc sera utilisé. L'eau contenue entre deux éléments de tubes étant évacuée la pression hydrostatique agira sur les parois d'extrémité comprimant les garnitures - de manière à rendre le joint étanche.

Cela fait, le joint peut être atteint par les ouvriers qui pourront souder une tôle sur les 2 chemises annulaires avant de terminer le joint par une partie bétonnée.

Tracés

Divers tracés sont possibles parmi lesquels un tracé direct partant de Gris-Nez et aboutissant à Shakespeare Cliff entre Douvres et Folkestone a été notamment examiné.

Cette étude de notre Conseil Parsons Brinckerhof Quade and Douglas a été confirmée par une offre d'exécution d'un Groupe d'Entreprises qui s'est engagé à réaliser la construction et la pose du tube ferroviaire en 3 ans 7 mois.

APPENDICE 6 d

PONT ET STRUCTURE COMPOSITE

1 - Pont

Le pont a de nombreux avantages particulièrement pour le trafic routier, aucun problème de ventilation ne se pose; les coûts d'exploitation sont réduits à peu de chose (principalement perception des péages); les risques d'incendie et d'explosion sont négligeables.

Les coûts d'entretien de la peinture qui ont été très élevés dans le passé peuvent être réduits maintenant grâce aux techniques modernes.

La tension d'esprit est plus faible pour les conducteurs et des vitesses plus élevées sont possibles en raison de la suppression de l'effet de paroi.

Les objections de la navigation peuvent être moins vives à l'heure actuelle en raison des progrès accomplis dans les aides à la navigation telles que le radar.

La Défense Nationale est une question qui relève des discussions Gouvernementales et nous ne traiterons pas ici cette question, nous plus que dans les autres parties du Rapport.

Le projet prévoit des travées normales de 250 mètres et 4 passes de navigation de 400 mètres avec un tirant d'air de 70 mètres au-dessus du niveau de la mer.

2 - Structure Composite

Cette solution a été étudiée pour tenir compte d'objections éventuelles de la navigation; elle offrirait un chenal de navigation complètement libre entre le Varne et la Côte Anglaise où se trouve actuellement concentrée la plus grande partie du trafic maritime.

En raison des pentes des éléments de raccordement ce projet ne s'adapte qu'à la solution routière.

La partie du projet traitée sous forme de Pont comprendrait 2 passes de navigation entre la France et le Banc de Colbert.

APPENDICE 6 e

INSTALLATIONS TERMINALES

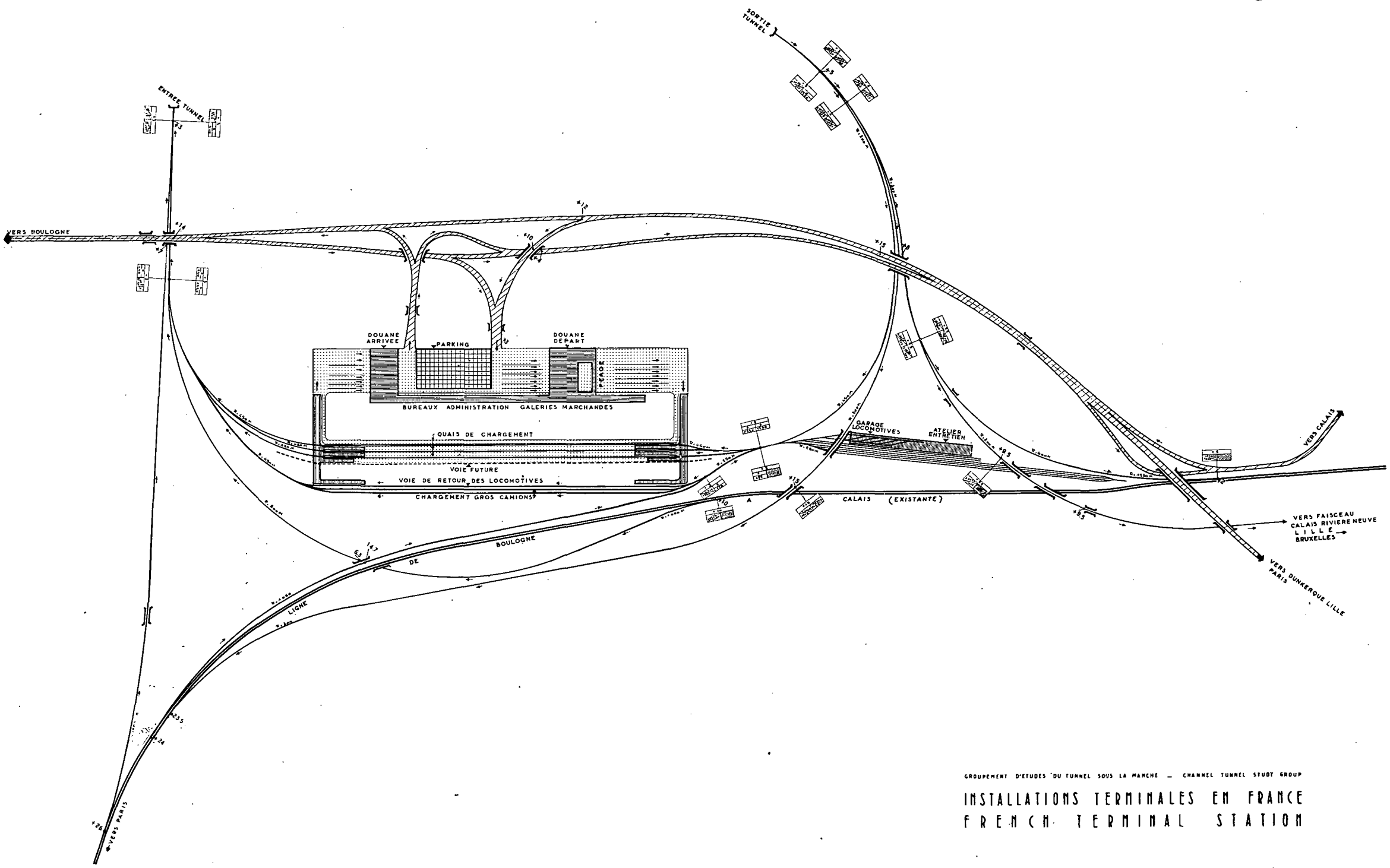
La partie la plus importante des Installations Terminales est consacrée au trafic véhicules.

Pour obtenir une exploitation sans à-coups des navettes pour voitures, on a prévu une boucle à chaque station.

3 voies desservies par 4 quais de 750 mètres de long, 3 d'entre eux étant des quais bas (en 1965) et le quatrième du type surélevé pour trains à deux étages seront affectées au trafic des voitures particulières. L'extension de l'installation a été prévue en vue de satisfaire les besoins futurs.

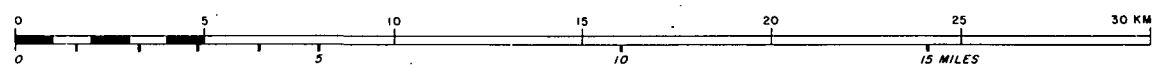
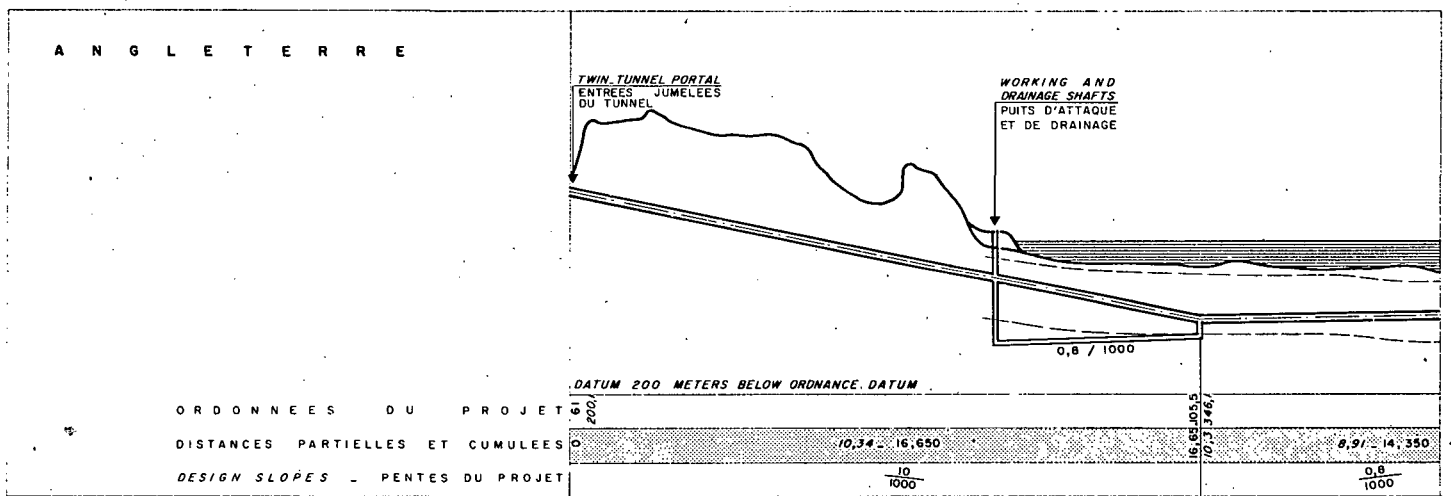
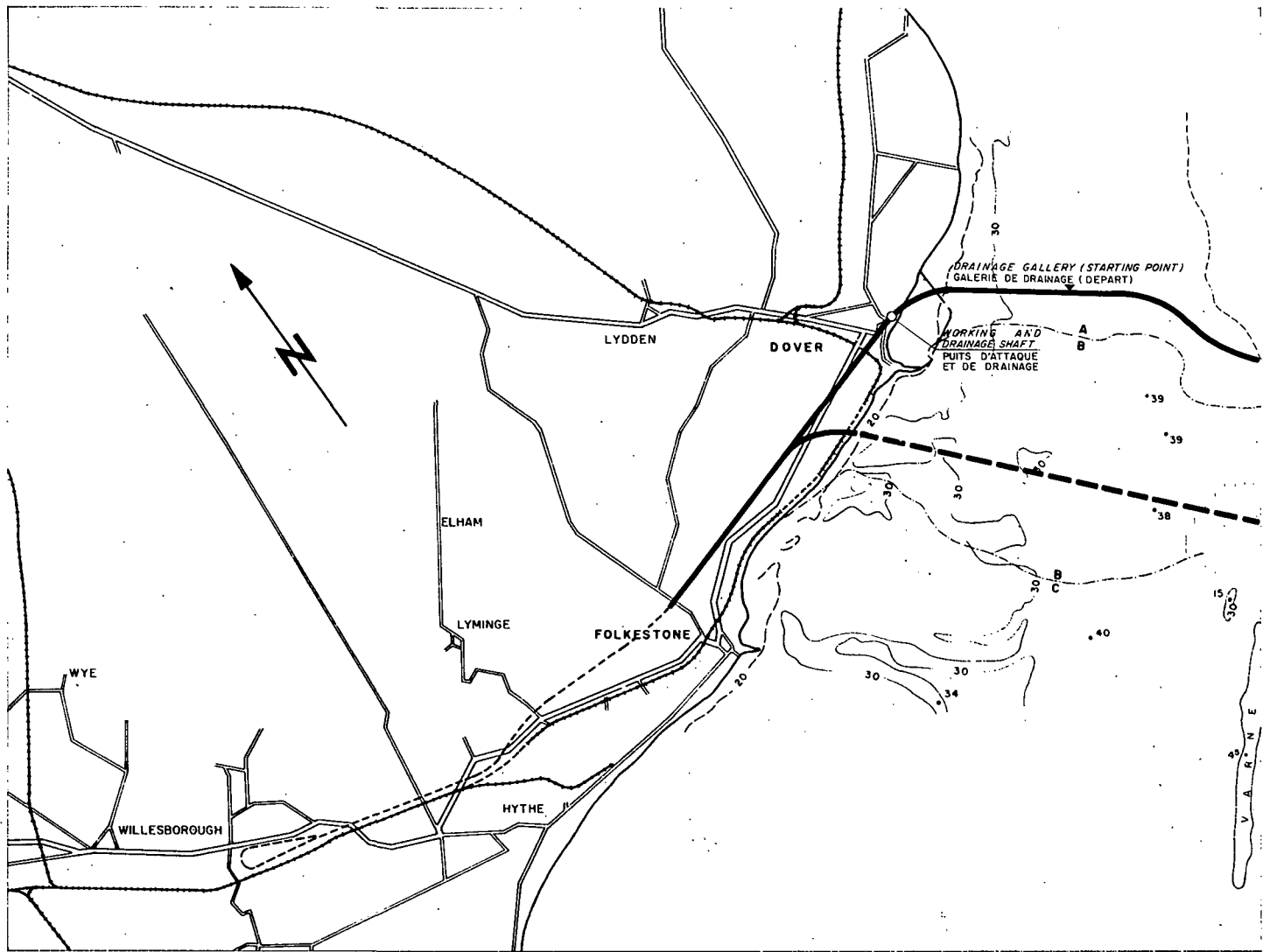
Les véhicules arrivant par la route trouveront un vaste réseau de routes d'accès vers la station; une surface de parking sera prévue pour les usagers qui ne voudraient pas traverser immédiatement le tunnel, tandis que les autres passeront aux contrôles de la douane et de la police (en 1965 20 guichets de douane seront nécessaires), et se dirigeront vers les quais de chargement.

Les usagers trouveront toutes les installations commerciales désirables aussi bien sous douane que hors douane, une partie de ces dernières étant prévue pour être utilisée sans descendre de voiture (drive-in-service).

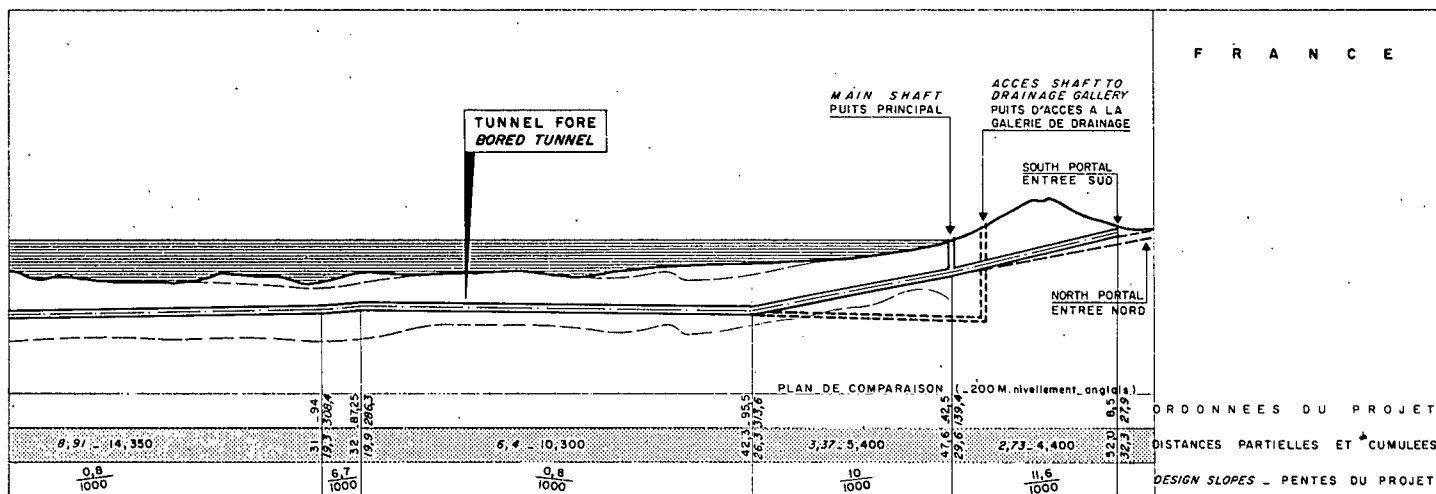
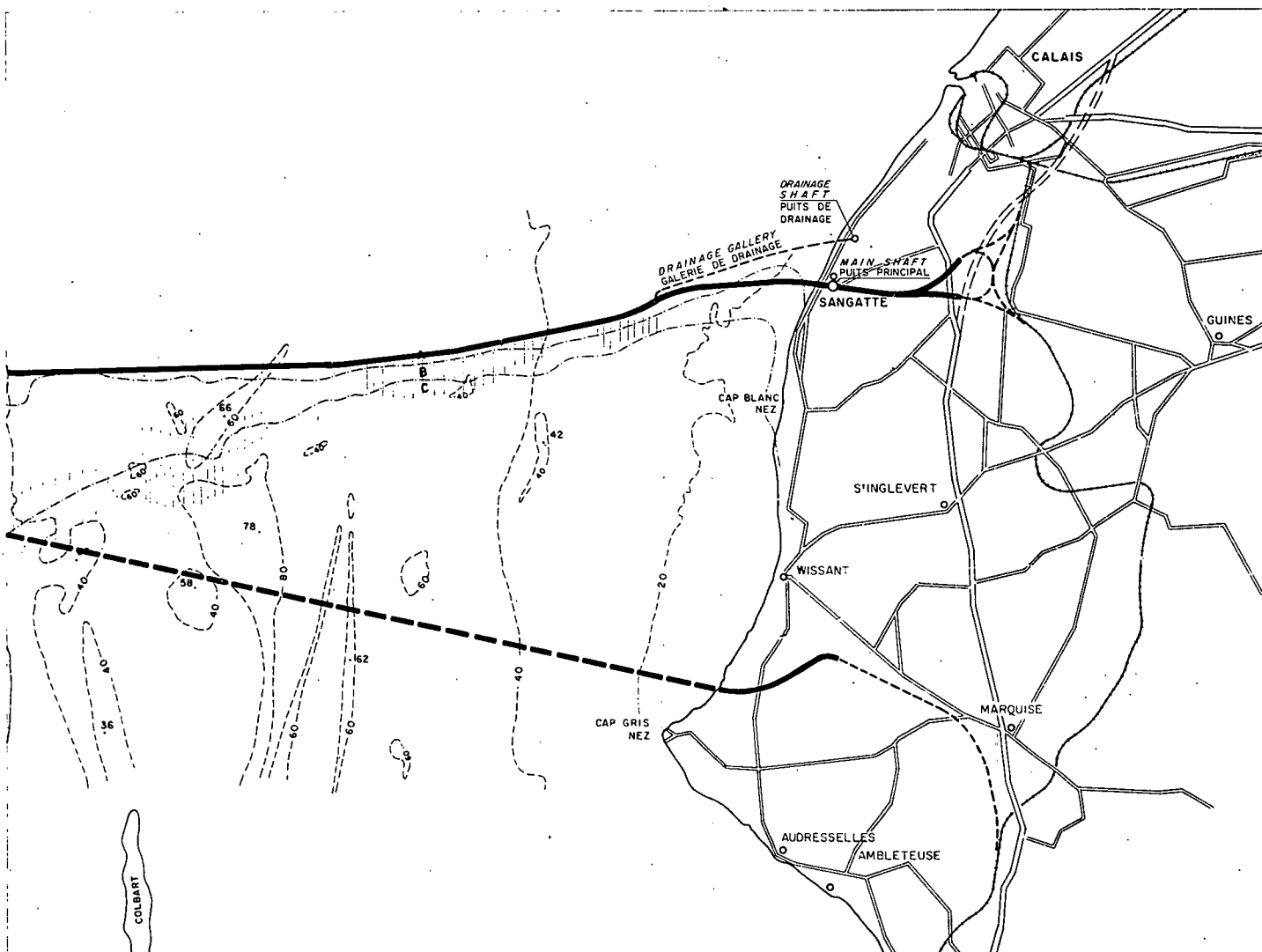


GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE — CHANNEL TUNNEL STUDY GROUP
 INSTALLATIONS TERMINALES EN FRANCE
 FRENCH TERMINAL STATION

P L A N S

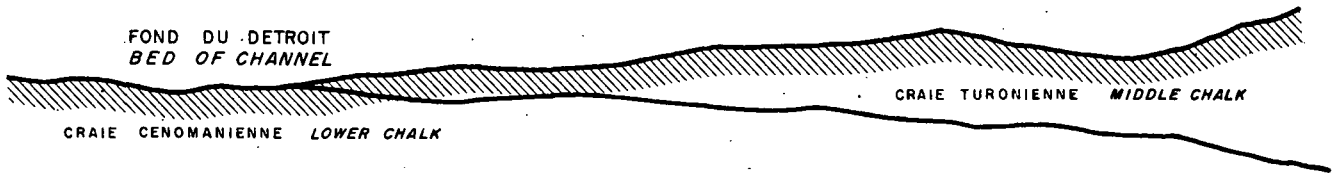


	TUNNEL FORE - BORED TUNNEL	A	CRAIE TURONNIENNE - MIDDLE CHALK
	TUNNEL IMMERGE - IMMERSED TUNNEL	B	CRAIE CENOMANIENNE - LOWER CHALK
	COURBE DE NIVEAU DU FOND DE LA MER (O. NIVELLEMENT GENERAL)	C	ARGILE DU GAULT - GAULT CLAY
	SEA BOTTOM CONTOUR (O.D. NEWLYN)		
	AFFLEUREMENT - OUT CROP		
	ZONE COUVERTE DE GRAVIERS - GRAVEL COVERED AREAS		



GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE
 CHANNEL STUDY GROUP
 PLAN D'ENSEMBLE ET PROFIL EN LONG
 GENERAL LAYOUT AND LONGITUDINAL SECTION.

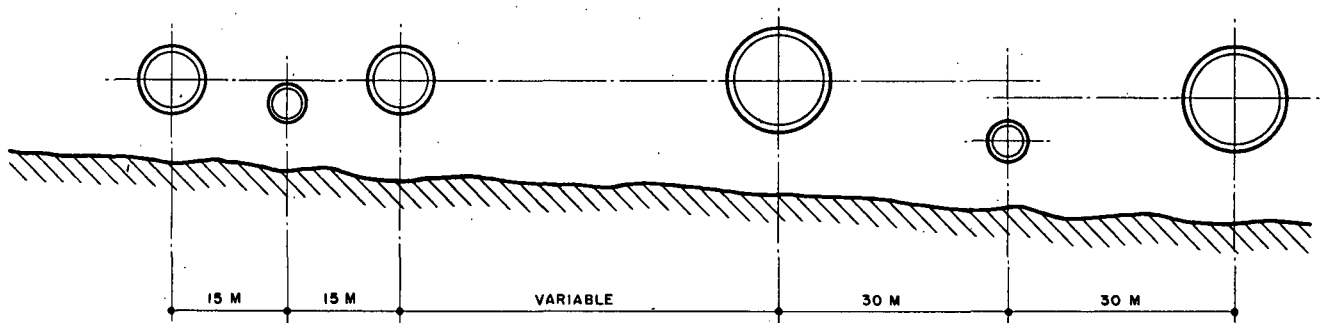
**DISPOSITIONS DE PRINCIPLE DES TUNNELS
FORES FERROVIAIRES ET ROUTIERS
ARRANGEMENT OF RAIL AND ROAD BORED TUNNELS**



TUNNELS FERROVIAIRES
RAIL TUNNELS

TUNNELS ROUTIERS
ROAD TUNNELS

ECHELLE 1/1000
SCALE 1/1000

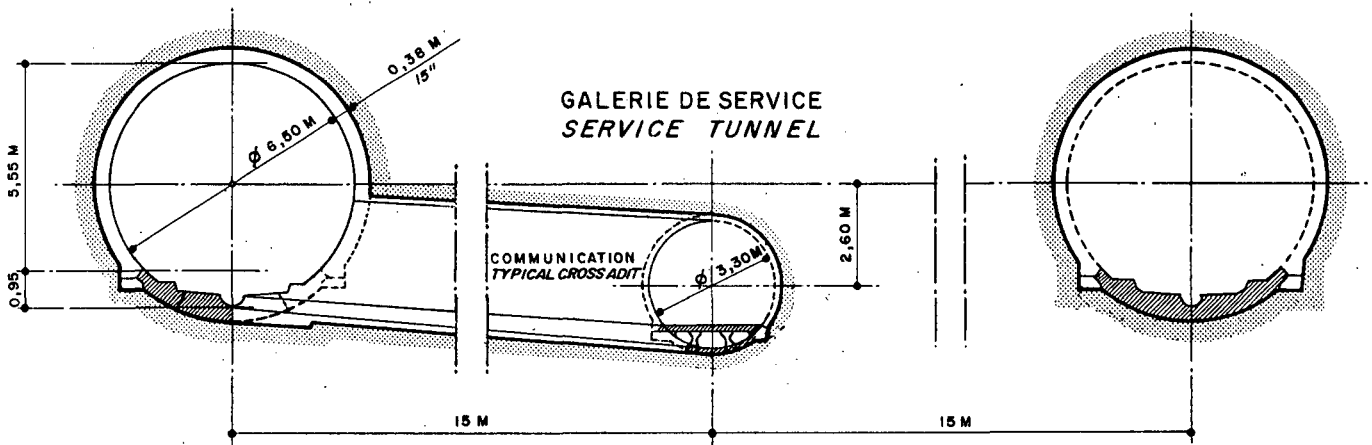


**COUPE TRANSVERSALE DES TUNNELS FERROVIAIRES
CROSS SECTION OF THE BORED RAIL TUNNELS**

ECHELLE 1/200
SCALE 1/200

TUNNEL PRINCIPAL
MAIN TUNNEL

TUNNEL PRINCIPAL
MAIN TUNNEL

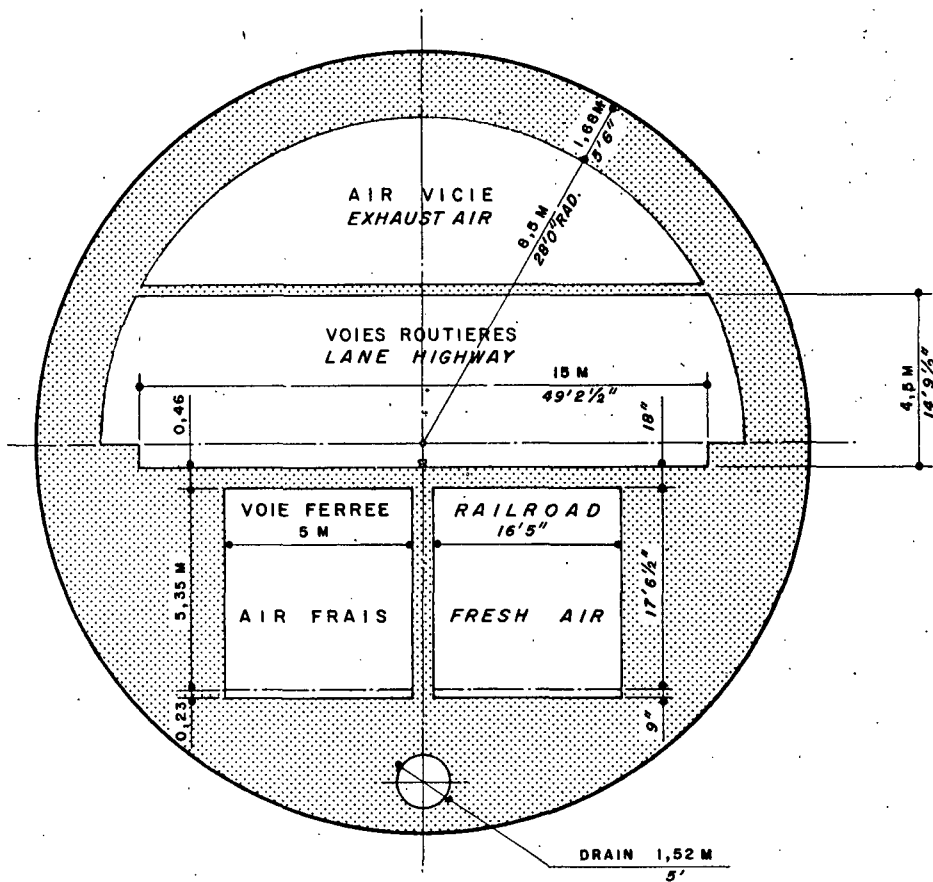


AU DROIT D'UNE GALERIE
DE COMMUNICATION
ON CENTRE LINE OF CROSS ADIT

1/2 COUPE TYPE
TYPICAL 1/2 SECTION

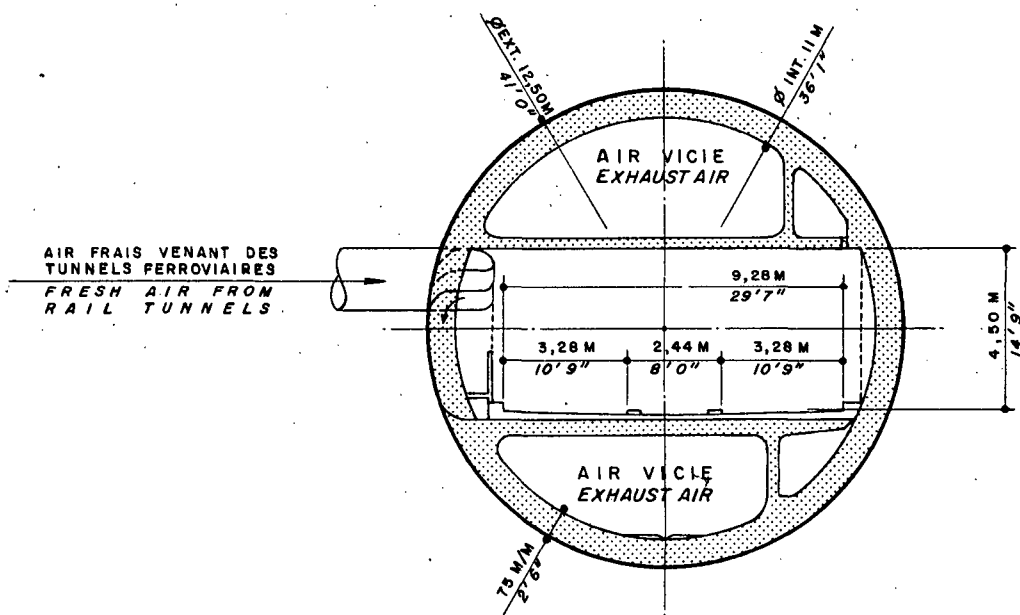
TUNNEL MIXTE UNIQUE IMMERGE
2 VOIES FERREES ET 4 VOIES ROUTIERES
SINGLE IMMERSED TUBE MIXED TUNNEL
2 TRACK RAILWAY AND 4 LANE HIGHWAY

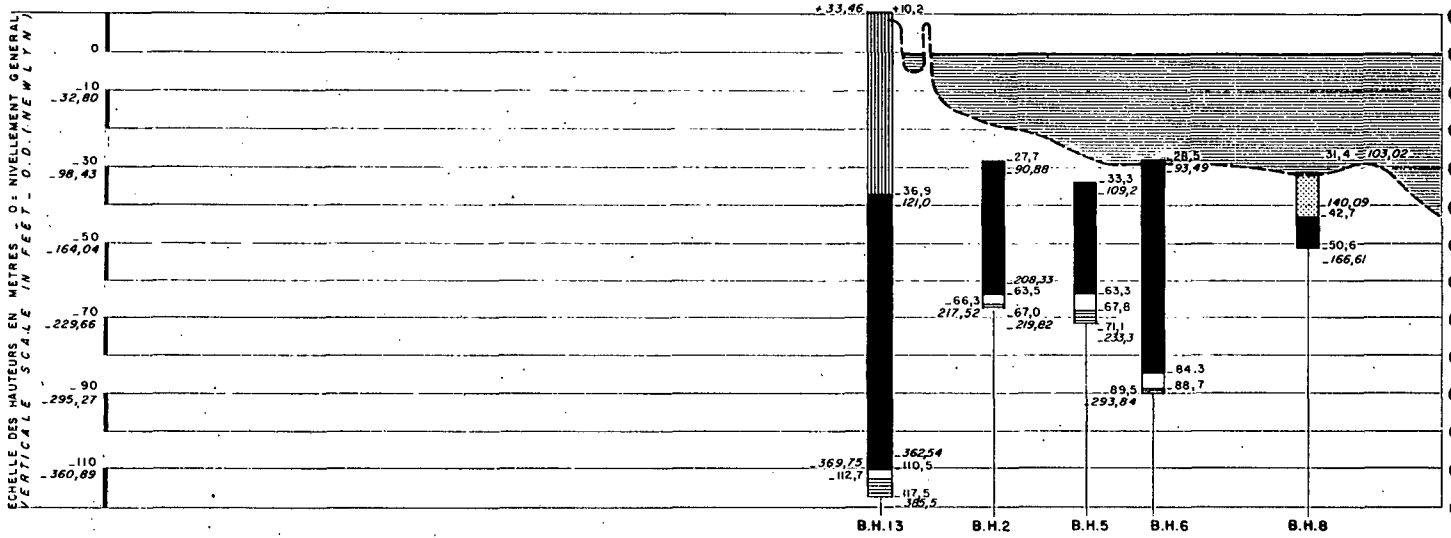
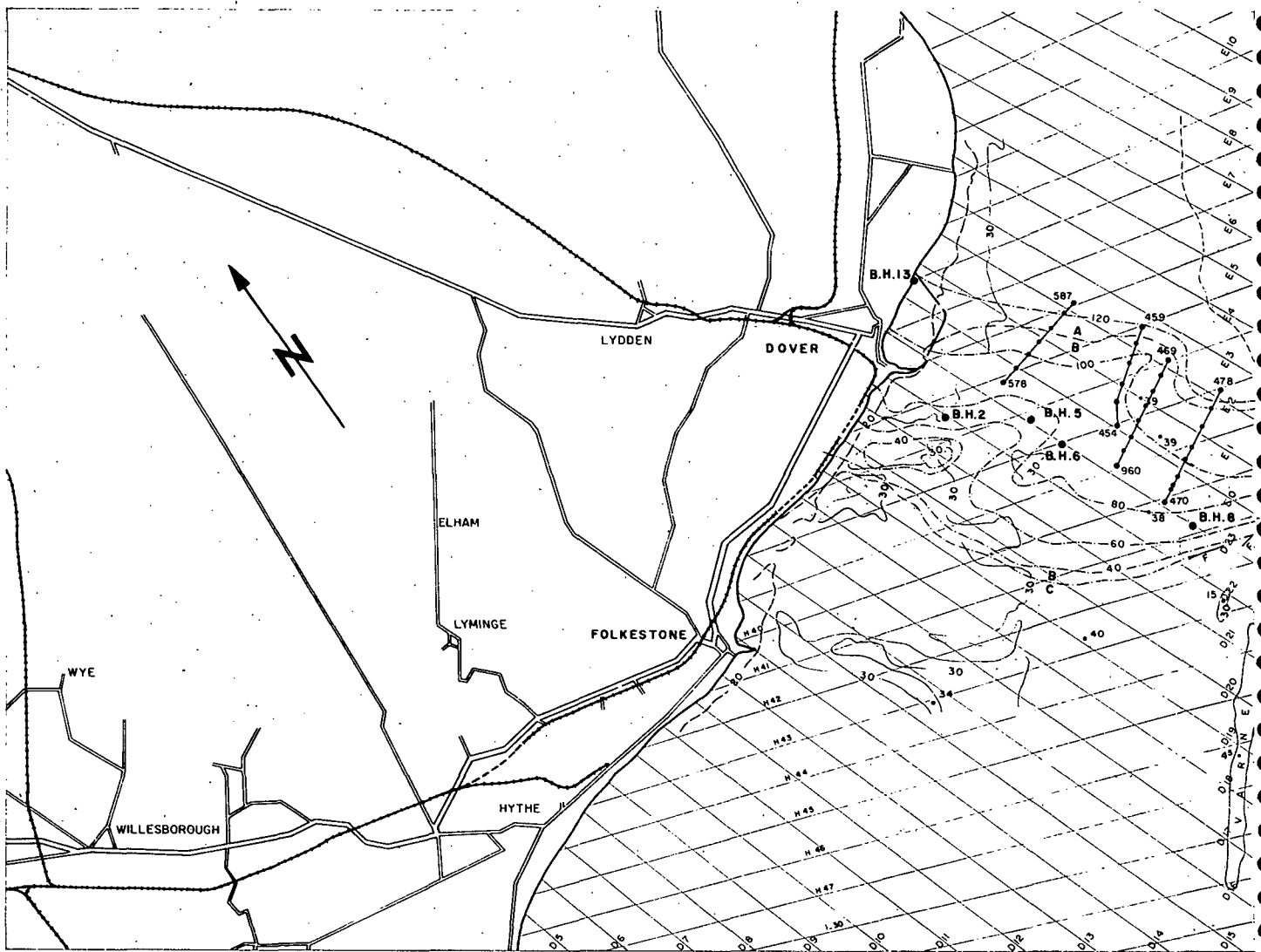
ECHELLE 1/200
 SCALE 1/200



TUNNEL ROUTIER FORE 2 VOIES ROUTIERES
BORED ROAD TUNNEL 2 LANES

ECHELLE 1/200
 SCALE 1/200



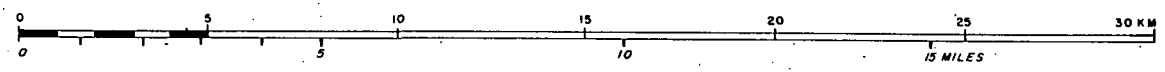
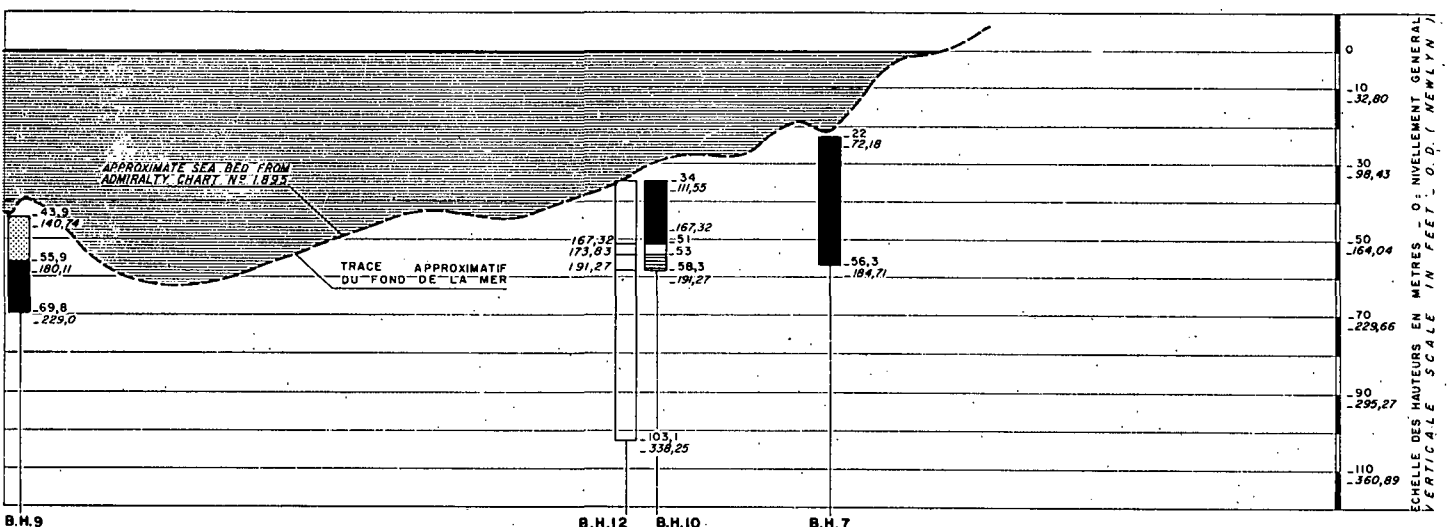
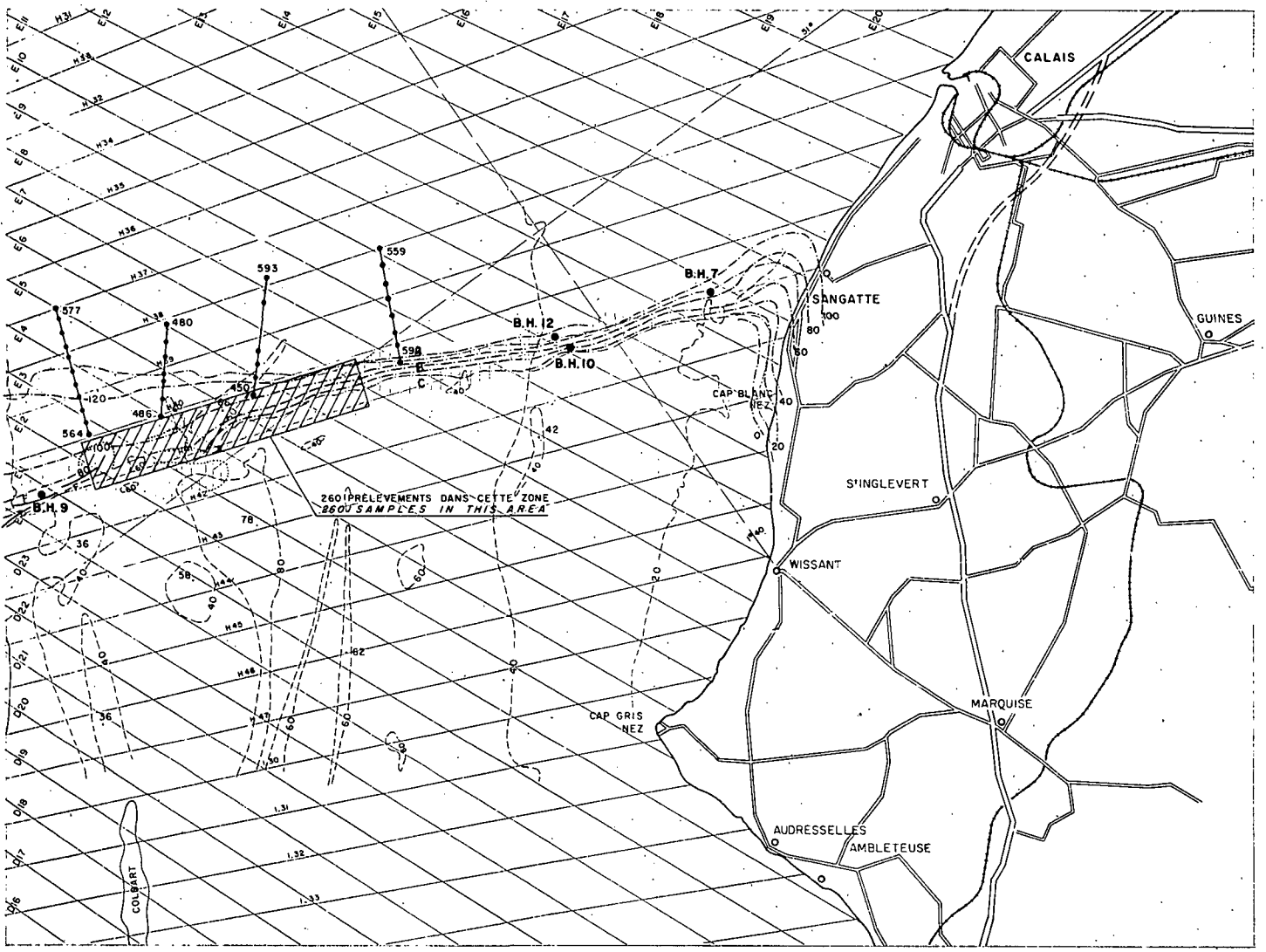


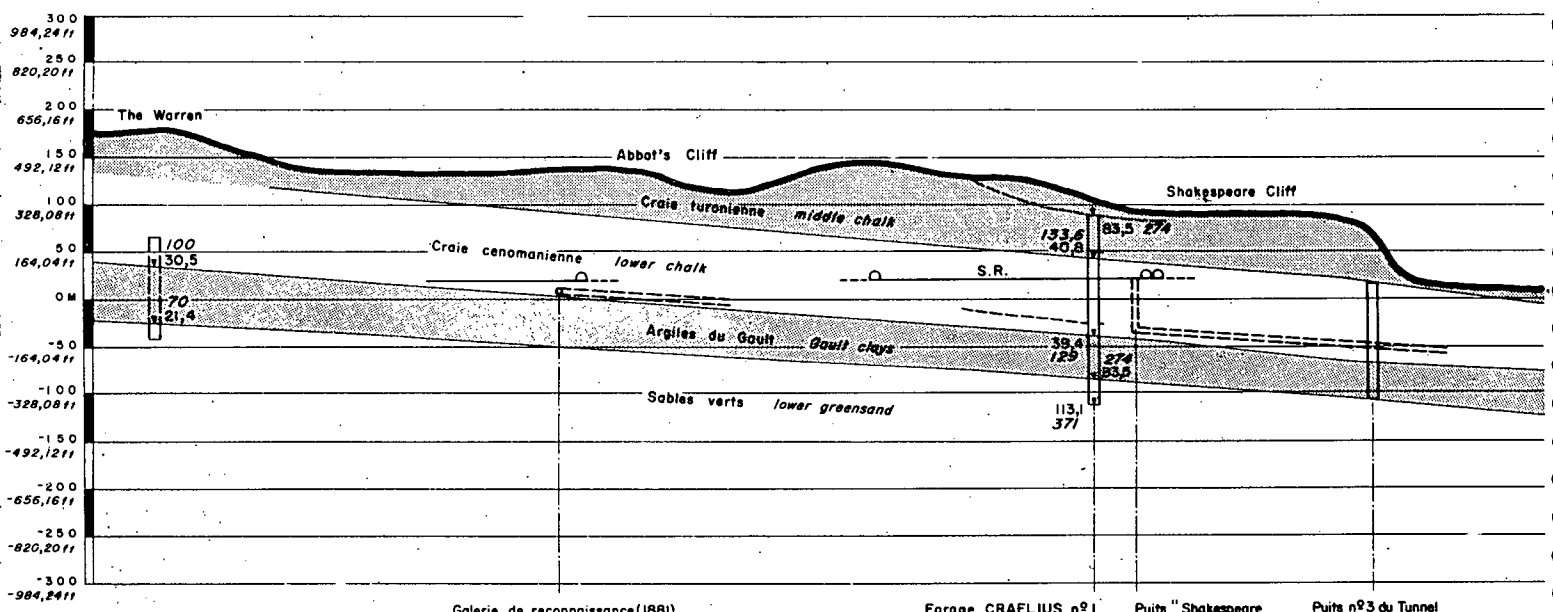
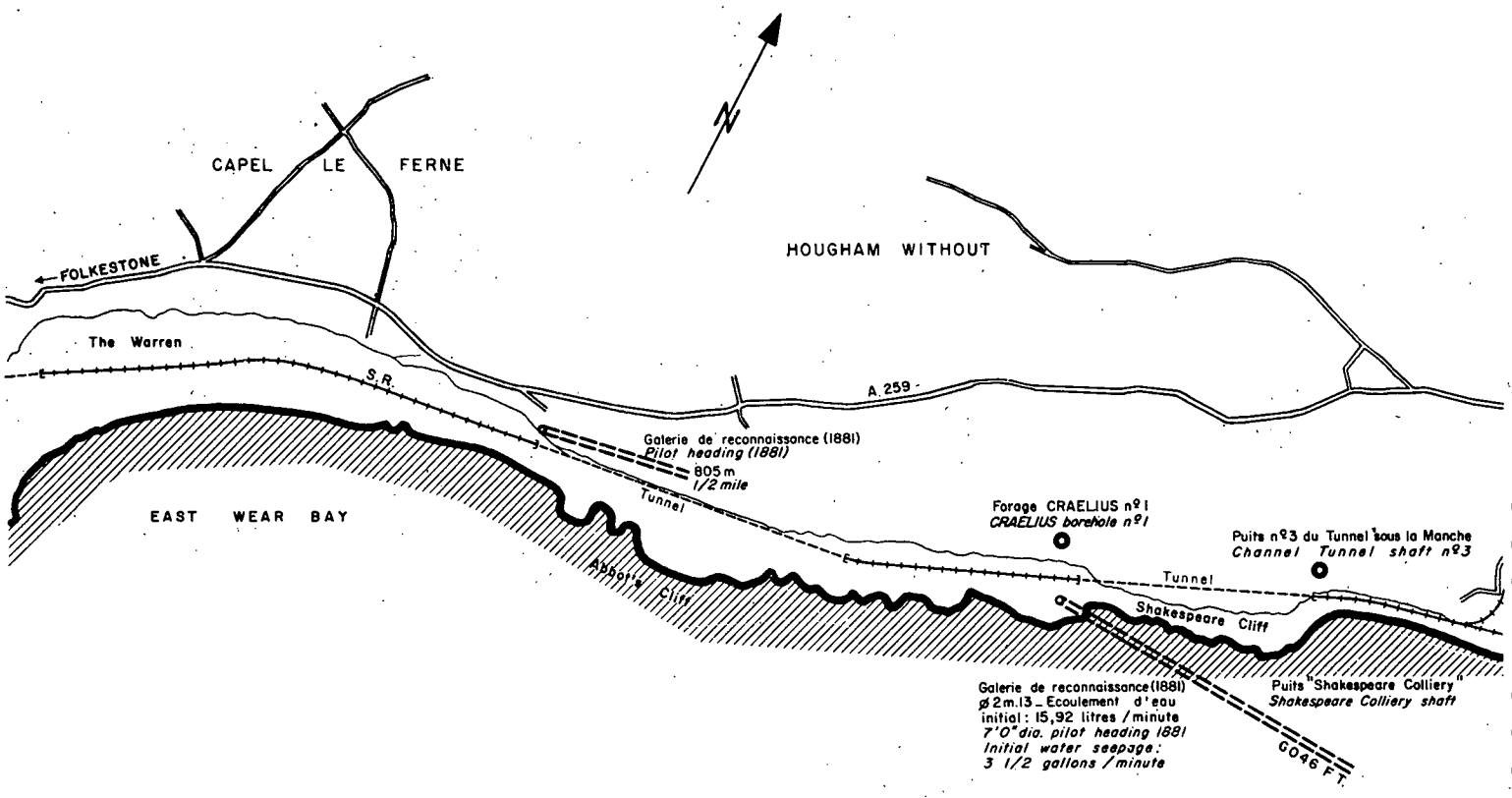
C O U P E - C R O S S S E C T I O N

	CRAIE TURONIENNE		CRAIE CENOMANIENNE		CRAIE GLAUCONIEUSE		ARGILE DU GAULT		SABLES ET GRAVIERS
	MIDDLE CHALK		LOWER CHALK		CHLOROTIC MARL		GAULT CLAY		SANDS AND GRAVELS

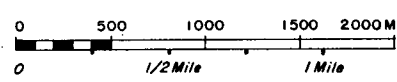
P L A N - P L A N

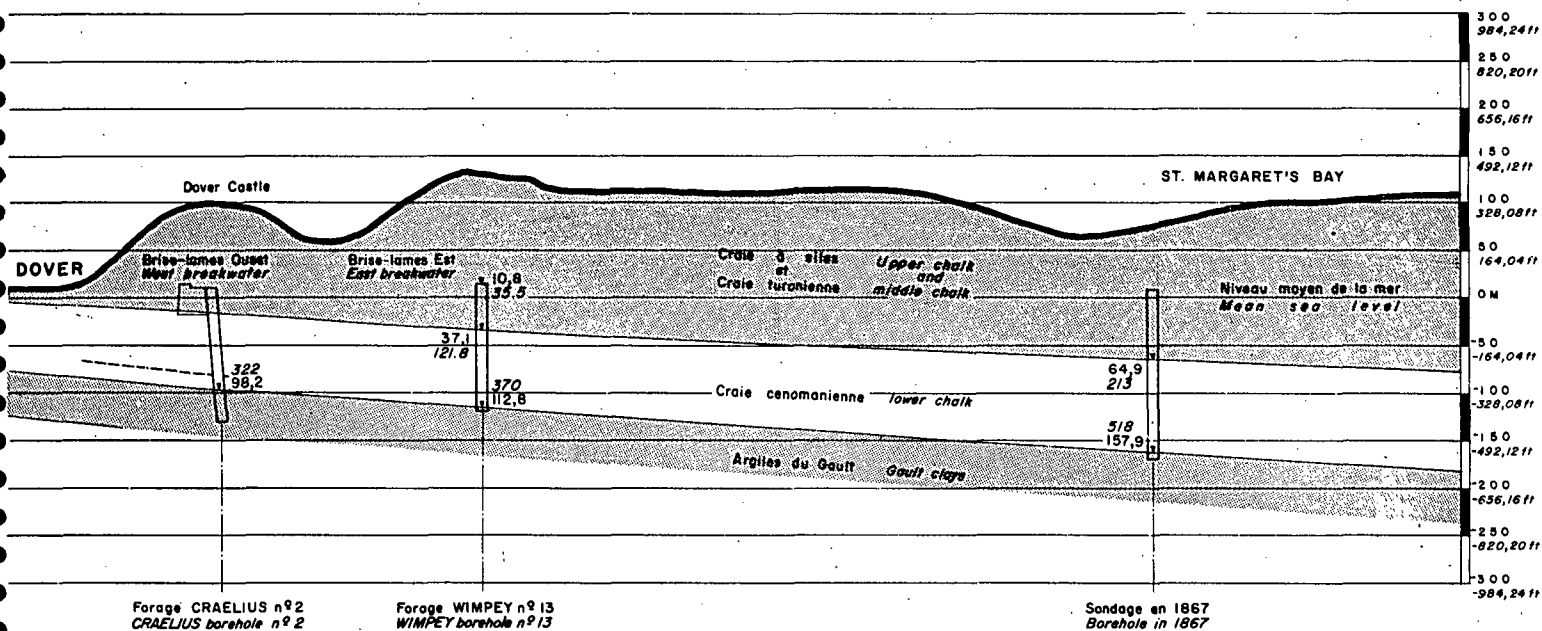
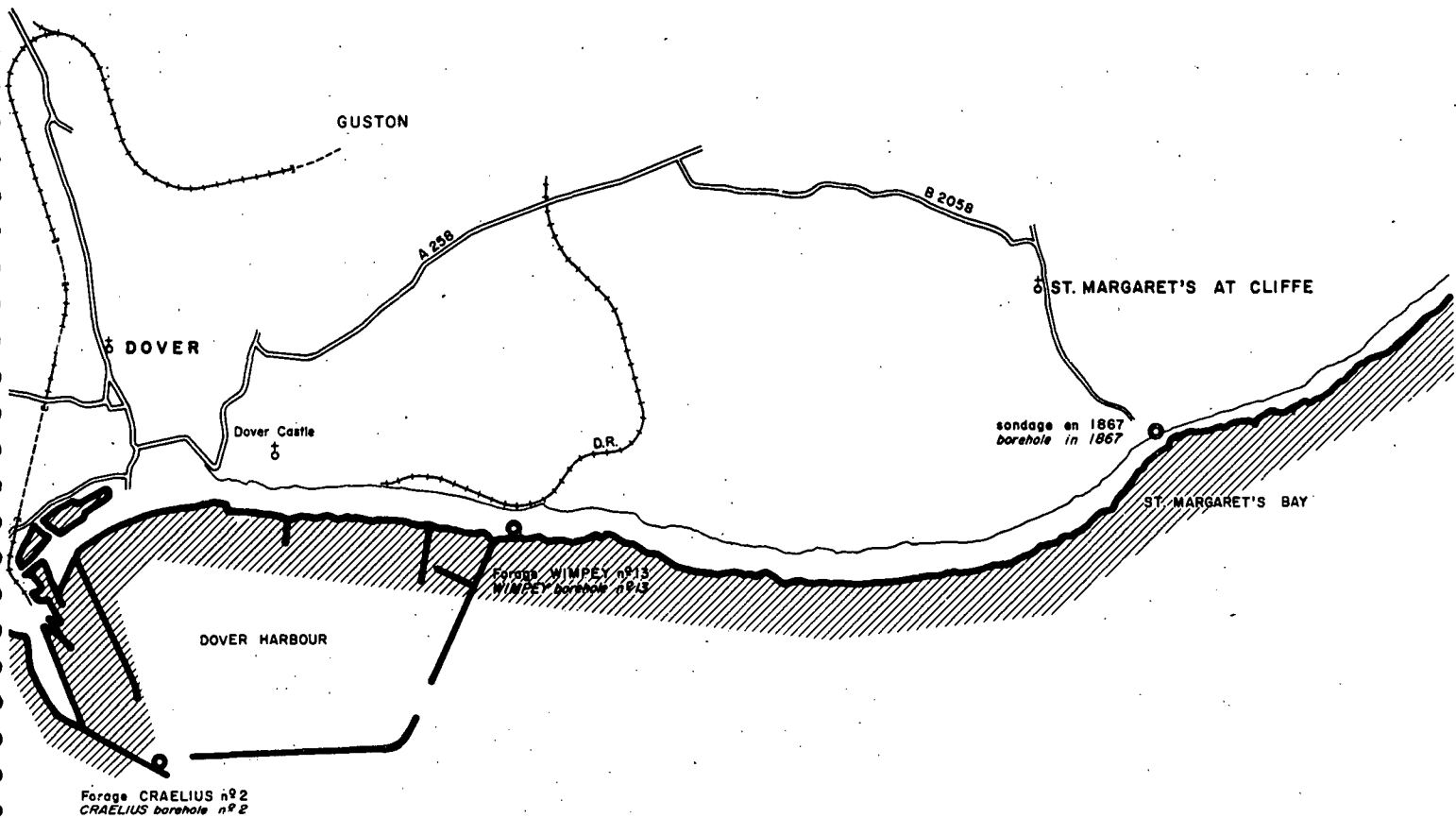
	LIGNE DE NIVEAU DE L'INTERFACE CRAIE GAULT 50 M. AU DESSOUS DU 0 DU NIVELLEMENT GENERAL		B.H. 12		SONDAGE - BOREHOLE
	COURBE DE NIVEAU DU FOND DE LA MER - O. NIVELLEMENT GENERAL		F		PRELEVEMENTS AU FOND DE LA MER - SEA BOTTOM SAMPLES
	AFFLEUREMENT - GEOLOGICAL BOUNDARY		F		FAULTE - FAULT
	ZONE COUVERTE DE GRAVIERS - GRAVEL COVERED AREAS		A		LIMITE D'UNE POCHÉ D'ALLUVIONS - BOUNDARY OF POCKET
			B		RESEAU DECCA - DECCA CHART
			C		CRAIE TURONIENNE - MIDDLE CHALK
					CRAIE CENOMANIENNE - LOWER CHALK
					ARGILE DU GAULT - GAULT CLAY

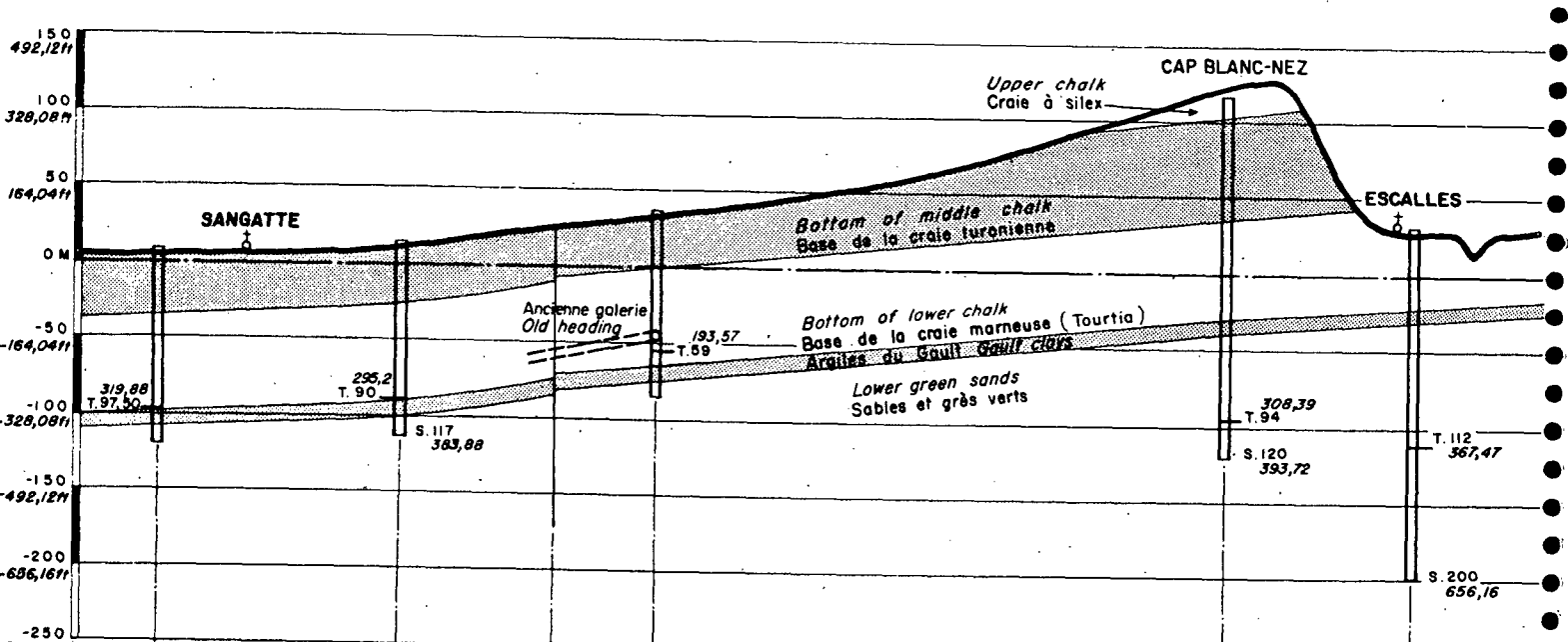
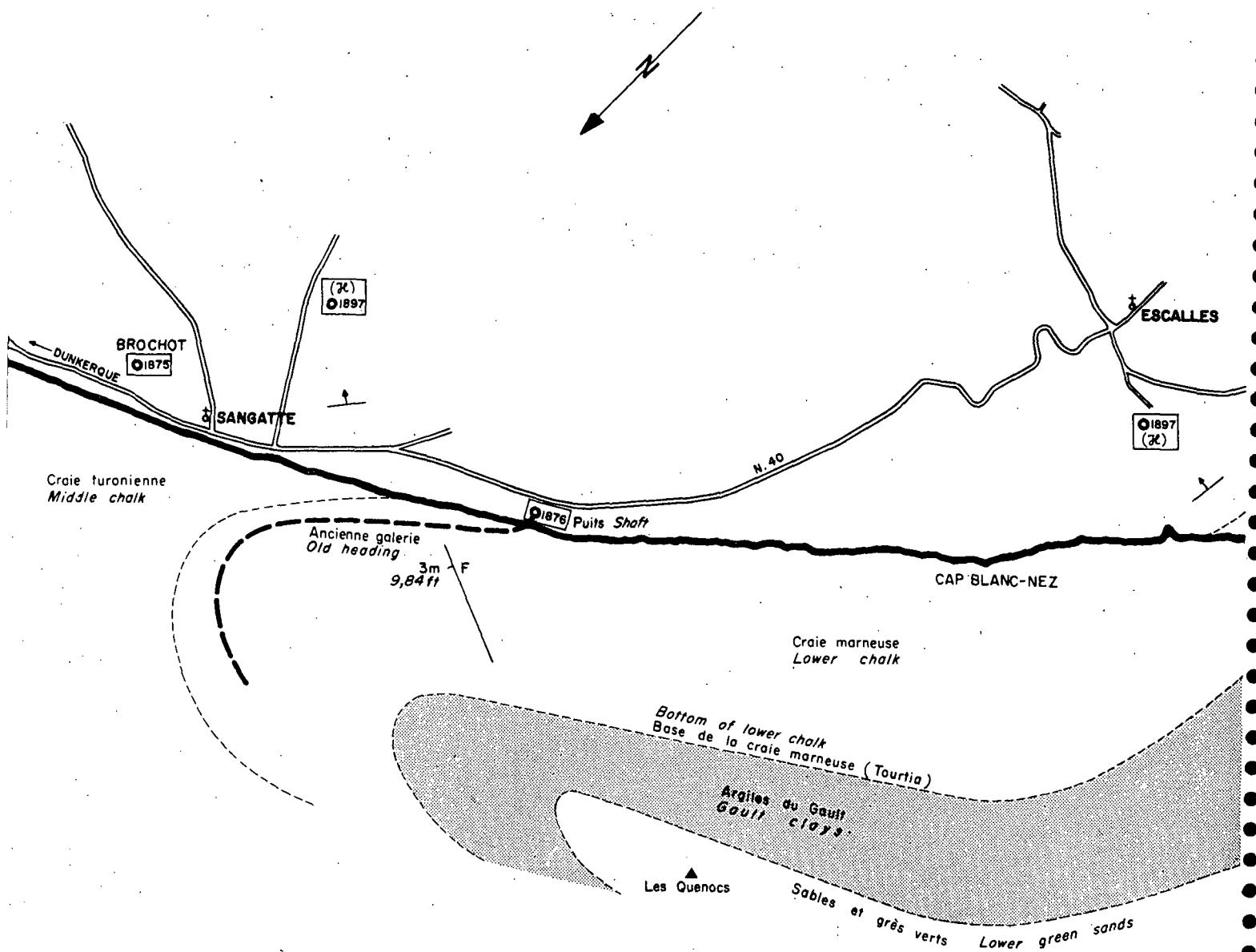




Galerie de reconnaissance (1881) Pilot heading (1881) Forage CRAELIUS n°1 CRAELIUS borehole n°1 Puits "Shakespeare Colliery" Shakespeare Colliery shaft Puits n°3 du Tunnel sous la Manche Channel Tunnel shaft n°3







Sondage BROCHOT 1875 BROCHOT borehole
 Sondage (Z) 1897 Borehole (Z)
 F. (3m) Ancien puits du Tunnel. 1876
 Old Tunnel shaft 1876
 Sondage GETM 1958 GETM borehole
 Sondage (Z) 1897 Borehole (Z)

LEGENDE		LEGEND	
(Z)	1875 Sondage ancien (Z) Pour recherche du charbon	(Z)	1875-Old borehole (Z) For coal research
F. 3m	Faïlle et rejet	F. 9,84ft	Fault and throw
↑	Pendage	↑	Dip
T. 97,50	Altitude absolue de la base de la craie marneuse (Tourtia)	T. 319,88ft	Depth below datum
S. 117	" " du socle primaire	S. 363,88ft	Paleozoic basement

