

NOTE

A propos du Tunnel sous la Manche

PAR

M. ALBERT SARTIAUX,

Extrait de la **Revue Générale des Chemins de fer et des Tramways**
(N° d'Avril 1906).

PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS
49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS.

1906.

La Revue Générale des Chemins de fer et des TRAMWAYS paraît mensuellement, depuis Juillet 1878, sous le patronage et avec la collaboration d'un *Comité de Rédaction* composé de :

SALOMON, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, *Président*.

BAUDRY, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

BLAGÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur honoraire de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

BRIÈRE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef honoraire de la Compagnie d'Orléans.

GEOFFROY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Sous-Directeur de la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

HEURTEAU, Ingénieur en chef des Mines, Directeur de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans.

DE LARMINAT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur des chemins de fer de l'Ouest.

MONMERQUÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

RENAULT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur de la Société Générale des chemins de fer Économiques.

SARTIAUX, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de l'Exploitation de la Compagnie du chemin de fer du Nord.

GODFERNAUX, Ingénieur en chef adjoint à la Direction de la Société Générale des Chemins de Fer Économiques, *Secrétaire du Comité*.

Secrétariat : 4, cité de Londres, (13, rue de Londres).

NOTE

A PROPOS DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

Par M. Albert SARTIAUX.

La récente visite du London County Council au Conseil Municipal de Paris, l'examen qui a été fait, le 10 Février 1906, — par les très distingués Sir Edwin Cornwall, M. P. Président, M. Spicer et le Colonel Probyn, Vice-Présidents du L. C. C. et par un grand nombre de leurs collègues accompagnés de M. Millington Drake, Président de la Chambre de Commerce Britannique de Paris, de M. Brousse, Président du Conseil Municipal de Paris et de nombreux collègues du Conseil Municipal, — du beau et nouveau modèle en relief qu'avait fait faire la Compagnie Française du Tunnel sous-marin pour représenter, avec le tracé du tunnel et de ses abords, la constitution géologique des divers terrains formant le détroit du Pas-de-Calais et les côtes françaises et anglaises, — ont de nouveau appelé l'attention sur la question du Tunnel sous la Manche (1) au moment précis où les travaux du percement du Simplon venaient d'être terminés.

Les difficultés accumulées qui ont été rencontrées dans l'exécution de la grande œuvre du Simplon, dues à la grande longueur du tunnel (2), à sa faible altitude (3), à la chaleur (4) qui en était la conséquence, aux inondations provenant des sources mises à jour, à

(1) Les circonstances climatiques et la traversée atroce qui ont caractérisé le retour en Angleterre du L. C. C. n'ont pas été sans augmenter l'intérêt de la question.

(2) Sa longueur est de 19 k. 730, tandis que le St-Gothard n'atteint pas 15 kil.

(3) Son altitude n'est que de 705 m., tandis que celle du St-Gothard est de 1155 m.; il passe sous un massif de 2133 m., alors que le St-Gothard et le Mont-Cenis ne s'enfoncent qu'à 1700 m. en-dessous du sol.

(4) Cette température atteignait 40 degrés centigrades au lieu de 30 au St-Gothard.

la nature perméable et friable des terrains (1), etc. . . . ont donné naissance à une série de procédés plus ou moins nouveaux, plus ou moins perfectionnés. Tout naturellement, on s'est demandé si l'expérience acquise dans ce genre de travaux ne profiterait pas à l'exécution du Tunnel sous-marin et si les progrès faits par la Science, depuis une vingtaine d'années que les premiers essais de galerie sous la Manche ont été tentés, ne permettraient pas de réaliser ce travail plus économiquement et de l'exploiter dans des conditions plus favorables que celles qui avaient été prévues au moment où, notamment, l'Electricité n'avait pas encore mis aux mains des Ingénieurs les ressources dont ils disposent aujourd'hui.

Assurément, les difficultés rencontrées dans le percement du Simplon ne sont pas identiques à celles que rencontrera le percement du Tunnel sous-marin. La longueur de ce Tunnel sera beaucoup plus considérable, puisqu'elle atteindra 50 à 60 kilomètres; mais, par contre, les terrains rencontrés sont d'une toute autre nature, les infiltrations n'y sont pour ainsi dire point à craindre, la température qu'on rencontrera dans la couche de craie grise où devra se tenir le Tunnel, qui n'est en moyenne qu'à 50 mètres au-dessous du fond de la mer, ne s'éloignera guère de la température de 10 à 12° centigrades, très proche de celle de l'eau à son maximum de densité, soit 4° au-dessus de zéro. Mais à côté de ces circonstances plus favorables, on se heurtera à des difficultés beaucoup plus grandes d'évacuation des déblais, résultant de la beaucoup plus grande longueur du tunnel et de la nécessité d'achever cette évacuation par une extraction verticale identique à celle qui se pratique dans les mines, etc.

En définitive, il y a de précieux enseignements à tirer des gigantesques travaux comme des progrès si remarquables obtenus dans l'industrie des mines et, en particulier, des mines de charbon pour le fonçement des puits, pour le percement des galeries, pour l'évacuation des charbons et des déblais, etc.

Le but de la présente Note est de résumer brièvement l'état de la question et d'examiner ce que, dans l'état actuel de la Science, on pourrait faire aujourd'hui pour tracer le Tunnel sous-marin, pour le construire et pour l'exploiter.

(1) Schistes lustrés, argileux, souvent granitifères, dépendant du système jurassique, entourés de gneiss enveloppés de calcaires et de schistes micacés de l'époque triasique; quelques-uns de ces terrains se décomposaient au contact de l'air, en dégageant des gaz toxiques.

Avant d'aborder l'examen rapide de ces questions, il n'est pas sans intérêt de rappeler sommairement où en est, législativement et administrativement, la question du Tunnel sous-marin.

Du côté français, c'est au 1^{er} Février 1875 que remonte la formation par un groupe, à la tête duquel était M. Michel Chevalier, d'une Société en participation, au capital de 2.000.000 de fr., divisé en 400 parts souscrites moitié par la Compagnie du Nord et 1/4 par MM. de Rothschild frères, ayant pour objet les travaux d'études du tunnel, l'obtention de la part du Gouvernement français de la concession d'un chemin de fer sous-marin partant d'un point de la côte, entre Boulogne et Calais, vers l'Angleterre, et en cas de réussite des travaux d'études et de recherches, la constitution définitive d'une Société ayant pour objet l'exécution et l'exploitation du Tunnel sous-marin.

Une loi du 2 août 1875 a déclaré d'utilité publique l'établissement d'un chemin de fer partant d'un point à déterminer sur la ligne de Boulogne à Calais, pénétrant sous la mer et se dirigeant vers l'Angleterre à la rencontre d'un pareil chemin parti de la côte anglaise dans la direction du littoral français, et a approuvé la convention passée, le même jour, entre le Ministre des Travaux Publics et la Société constituée le 1^{er} février pour la concession du dit chemin de fer. La concession était donnée sans subvention, sans garantie d'intérêts, pour une durée de 99 ans à partir de la mise en exploitation du chemin de fer sous-marin, l'État s'engageant à ne concéder pendant 30 ans, comptés à partir de la même époque, aucun autre chemin de fer partant du littoral et pénétrant sous la mer dans la direction de l'Angleterre. De son côté, la Société d'études s'engageait à exécuter, jusqu'à concurrence de 2.000.000 de fr. au moins, les travaux préparatoires de toute sorte, tels que : recherches, puits, galeries, sondages, etc. . . . jugés nécessaires pour fixer l'Administration et la Société sur les conditions techniques de l'opération et la possibilité de l'entreprendre avec des chances sérieuses de succès. La Société s'engageait, en outre, à faire connaître, dans un délai de 5 ans qui pouvait être porté à 8, si elle entendait conserver cette concession. Les concessionnaires s'engageaient d'ailleurs à se mettre en rapport avec une Société anglaise pour entreprendre le chemin de fer sous-marin partant du littoral anglais et dirigé vers la France, dans le but d'exécuter et d'exploiter, d'un commun accord, l'ensemble du chemin de fer international.

La Compagnie française du Tunnel a rempli toutes ses obligations,

a dépensé plus de 2.000.000 de fr. en travaux préparatoires : puits, galeries, sondages et galerie d'essai. Elle a, en particulier, creusé au niveau de 55 mètres 20 centimètres au-dessous du niveau de la mer, une galerie d'étude qui atteignait, le 18 mars 1883, une longueur de 1839 mètres 63 centimètres : 156 mètres 10 centimètres avaient été creusés à la main et la machine perforatrice du Colonel Beaumont, qui avait fonctionné 8 mois et 17 jours, avait creusé 1683 mètres 53 centimètres avec une vitesse qui s'était constamment accrue, avait atteint dans la dernière période près de 400 mètres par mois, et aurait certainement atteint 500 mètres. La Compagnie française du Tunnel a aussi rempli les conditions dont l'accomplissement a rendu la concession définitive. Elle continue à payer au Gouvernement français les frais de contrôle prévus à son cahier des charges. Tous les travaux et installations qu'elle a faits se sont conservés en bon état, et l'on peut presque dire que, du jour au lendemain, les travaux définitifs pourraient être entrepris si les difficultés et l'opposition, qui se sont produites du côté anglais il y a vingt ans, étaient levées.

C'est qu'en effet, les choses ne se sont point passées en Angleterre avec la même facilité qu'en France. La Société d'études anglaise dite « The Channel Tunnel Company » qui s'était formée en 1872 en vue d'obtenir la concession en Angleterre, n'a pu se constituer définitivement et a laissé périmer, sans être en état d'en user, le pouvoir qu'elle tenait d'un bill du Parlement obtenu dans la session de 1875, à l'effet d'acheter les terrains nécessaires aux premiers travaux dans la paroisse de St-Margaret-at-Cliff, Comté de Kent. Mais, tandis que cette Société cessait pour ainsi dire d'avoir une existence effective, la Compagnie du South-Eastern Railway se mettait en communication avec la Société française et en adoptant les mêmes idées au point de vue géologique, faisait, dans les années 1880 et 1881, des travaux très intéressants à « Abbots Cliff » entre Douvres et Folkestone, dont les résultats n'étaient pas moins favorables que ceux des travaux entrepris en France. C'est alors que s'est manifestée l'opposition des Autorités militaires anglaises, et depuis, malgré les efforts tentés à la Chambre des Communes, notamment en 1890 et 1894, rien n'a pu vaincre la résistance opposée en Angleterre au projet. Du jour où cette résistance cesserait, la Compagnie Française, dont le Président actuel est M. Ad. Vernes, l'Administrateur délégué M. René-Raoul Duval, le Directeur des Travaux M. Ludovic Breton,

est toute prête à réaliser, avec la Société anglaise qui sera munie des pouvoirs nécessaires, l'accord à l'aide duquel pourra être exécuté et exploité le chemin de fer international.

Revenons au côté technique : Au moment où la Société du Tunnel sous-marin a entrepris ses travaux et ses recherches, les études de deux éminents ingénieurs-géologues, MM. Potier et de Lapparent assignaient comme emplacement du Tunnel la deuxième assise, très argileuse, bleuâtre et imperméable à sa base, du *Cénomaniens* (1) qui alimente les exploitations de pierre à ciment du Boulonnais.

Les 7600 et quelques sondages qu'ils effectuèrent en 1876 et en 1877, les 3267 « carottes » qu'ils purent utiliser avaient permis de repérer sur la carte du fond de la mer les points de chaque sondage et la nature des divers terrains recueillis, de faire la séparation de ces terrains et de tracer les lignes d'affleurement, au fond du détroit, des couches rencontrées : du Jurassique, du Wealdien (craie inférieure), de l'Albien (Gault ou grès vert aquifère), du Cénomaniens (craie glauconieuse), du Turonien (craie marneuse), du Sénonien (craie blanche), qui forment l'assise supérieure des terrains crétacés. Ils avaient permis de constater l'allure régulière des couches dont les affleurements sont visibles sur les deux falaises opposées de France et d'Angleterre, sur lesquelles on constate aux mêmes hauteurs les mêmes bancs de silex avec la même inclinaison, les mêmes fossiles, etc., etc. Ils donnaient la plus grande confiance que ces couches n'ont, en aucun point du détroit, subi de fractures, qu'elles se présentent continues, sans le moindre rejet ou « faille ».

Les travaux exécutés en France et en Angleterre, et en particulier les deux puits de Sangatte creusés par M. L. Breton jusqu'à la base de la craie cénomaniens dite « de Rouen », et la galerie de 1839 m. 63 creusée sous la mer dans la même craie, ont confirmé cette manière de voir. Les belles et consciencieuses études poursuivies par M. L. Breton depuis 1879, c'est-à-dire depuis plus de 25 ans dans le Boulonnais (France) et dans le Kent (Angleterre) ont encore précisé cette confiance : elles lui ont constamment montré les couches de

(1) *Cenomanes*, nom latin du Mans (Sarthe), où le terrain acquiert son développement maximum ; on désignait autrefois cette couche sous le nom de craie glauconieuse.

craie sans dislocations, sans faille ; il a trouvé sur terre des ploiments à grande courbure et jamais de cassures qui se seraient traduites par des absences de continuité dans les affleurements dans le détroit.

Tout fait donc prévoir et donne la quasi-certitude de l'exactitude des prévisions de MM. Potier et Lapparent (1).

C'est, en effet, dans l'étage géologique que constituent les dépôts formés par la mer cénomaniennne, qui s'étendait à peu près sur le Nord de la France entre le bassin actuel de la Seine et le Pas-de-Calais ainsi que sur tout le sud de l'Angleterre, que se trouvent des bancs d'une continuité, d'une épaisseur, d'une dureté et d'une imperméabilité suffisantes pour y asseoir le tunnel.

Les dépôts qui forment ces bancs et qui ont une épaisseur moyenne d'environ 60 mètres, se sont effectuées en stratification concordante sur ceux de l'étage beaucoup plus mince et argileux du Gault, superposé lui-même au Wealdien et au terrain jurassique qui repose ici directement sur les terrains primaires. Sur le Cénomanienn, se sont successivement déposées les couches de la craie turonienne et de la craie sénouienne qui termine la période crétacique, et enfin les terrains tertiaires qui recouvrent le tout.

A une époque qu'on peut évaluer comme *contemporaine de la fin de la période tertiaire*, l'ensemble de ces couches a éprouvé un mouvement de soulèvement provoqué par une vaste compression des couches du Nord de l'Europe contre les couches de la région de l'Europe centrale (système Hercynien, de Marcel Bertrand).

Ce soulèvement, dont l'axe était dirigé assez exactement du Nord-Ouest au Sud-Est, a eu pour conséquence de replier l'ensemble des couches superposées en une série de plis orientés de l'Est à l'Ouest ; tout cet ensemble s'est régulièrement plissé sans fracture, et il en est seulement résulté que ces couches, qui étaient horizontales, ont pris une allure de double plongement des deux côtés de cet axe.

Le plongement qui nous intéresse est celui qui est dirigé en pente vers le Nord.

(1) Sir Archibald Geikie, le célèbre-géologue anglais, a bien voulu nous dire, lors de l'examen qu'il vient de faire du plan en relief, que l'allure de la Craie lui paraissait certainement régulière dans toute l'étendue du détroit, et qu'il ne ne prévoyait aucun mécompte de ce chef.

Outre cet accident géologique principal, orienté de l'Est à l'Ouest, et embrassant une étendue de l'Europe dont nous ne retenons ici qu'une faible portion, sur sa bordure septentrionale, il existe deux plis beaucoup plus faibles, dits « anticlinaux », c'est-à-dire à angle ouvert vers le centre de la terre, et perpendiculairement à l'axe principal du soulèvement ; l'un de ces plis est très voisin de la côte française, l'autre est à quelque distance de la côte anglaise.

Comme nous le disions tout à l'heure, on peut avoir l'assurance que, malgré ces plis, les couches crétaciques ne comportent aucune faille ou cassure qui compromettraient la sécurité et la continuité d'un passage souterrain à travers l'une d'elles. Les sondages qui ont été faits et qui ont révélé un affleurement régulièrement curviligne de toutes ces couches sur le fond de la mer actuelle, avec des épaisseurs, pour chacune d'elles, sensiblement constantes et correspondant bien aux épaisseurs qu'on relève sur les deux falaises opposées, française ou anglaise, le montrent aussi nettement que possible.

On peut se demander ce que sont devenues les portions de terrains suprajacents qui recouvraient les affleurements de ces couches sur le fond de la mer actuelle ? Il y a là une disparition de toute une calotte qui aurait dû conserver, comme sur la terre ferme, un bombement, *barrant le détroit du Pas-de-Calais*, équivalent aux collines du Boulonnais à l'Est et à celles du Kent à l'Ouest ; cette disparition ne peut s'expliquer que par un phénomène d'érosion à la fois terrestre et marine, par une dénudation atmosphérique sur terre, et par des marées puissantes au fond du golfe de la Manche, attaquant peu à peu le bombement et ouvrant peu à peu le détroit *dont le percement remonte seulement au commencement de l'époque actuelle*. On en trouve la preuve dans ce fait que tous les animaux et végétaux quaternaires du Continent ont passé encore en Angleterre : il n'y avait pas d'îles Britanniques, un isthme très large les reliait au Boulonnais. Et d'ailleurs, l'érosion dure encore de nos jours et s'accomplit sous nos yeux, avec une régularité telle qu'on en a mesuré l'allure à 20 mètres par siècle, du côté français, à peu près autant du côté anglais.

Là encore, durant ce phénomène lent d'érosion, aucune modification brutale des couches infrajacentes n'a pu résulter du percement du Pas-de-Calais et favoriser la rupture imprévue des couches en question.

Ainsi, en résumé, les couches sédimentaires sur lesquelles repose

aujourd'hui le Pas-de-Calais, ont acquis leur allure en forme d'M très étalée (~) sous l'action d'une poussée compliquée d'un double plissement, sans qu'il en soit résulté de cassure violente ; le détroit s'est lentement ouvert ensuite ; la conséquence est que, pour traverser le détroit en cheminant dans l'une de ces couches, il faut que le tracé souterrain épouse à peu près cette M, en plan, et descende à une profondeur qui ne dépasse guère 100 mètres au-dessous du niveau de la mer.

Comme nous l'avons déjà dit, parmi toutes les couches crétaciques, la couche cénomanienne est celle qui s'impose pour le percement du tunnel. La composition compacte et imperméable de sa roche sur les 43 mètres inférieurs, généralement exempte de fissures par où pourraient se produire les infiltrations, se prête mieux que les autres niveaux à une entreprise de ce genre ; elle a une épaisseur de 60 mètres environ, dont 43 mètres imperméables, suffisante pour qu'une galerie circulaire, de 5 à 6 mètres de diamètre, résiste à la pression du plafond, et se tienne constamment à une distance suffisante des couches aquifères du Gault, situées au-dessous ; enfin d'après les données fournies par les premières galeries, ouvertes en 1883 dans le Cénomaniens, à Sangatte et à Folkestone, on peut être à peu près certain que la venue d'eau, pendant le percement de la galerie, ne dépassera pas beaucoup 100 mètres cubes par minute, c'est-à-dire qu'elle sera bien inférieure à ce que peut enlever une installation d'exhaure modérée, moins importante que celle de certaines mines en exploitation. On sait, d'ailleurs, que les mines de houille du Nord de la France, qui ont eu à traverser tous ces terrains crétaciques, ont toujours rencontré le minimum de venue d'eau dans la craie grise du Cénomaniens.

En résumé, autant qu'on peut être certain d'une chose quand on ne l'a pas encore touchée du doigt, on doit croire qu'on trouvera à toute largeur du détroit, affleurant, tant du côté anglais que du côté français, dans des conditions favorables pour l'immersion du tunnel, une couche continue, épaisse, dure et imperméable convenant à la construction et à l'exploitation du tunnel, sans avoir à redouter les surprises du percement du Simplon.

On peut affirmer, sans craindre pour ainsi dire de se tromper, que le plus difficile ne sera sans doute pas de percer et de construire le tunnel sous-marin, mais de le tracer. On entrera facilement et sans hésitation dans le banc favorable, à la falaise du cap Blanc-Nez,

mais il faudra cheminer un peu à tâtons dans le banc, en se garant des plissements fâcheux, des ondulations gênantes, si, contrairement à toute attente, il y en a ; il faudra se tenir à distance convenable des terrains perfides, de l'argile du Gault en-dessous dont il faut rester à quelques mètres de distance, des couches supérieures du Cénomaniens qui sont un peu plus aquifères sur les 25 mètres de la partie supérieure et sont elles-mêmes recouvertes par les marnes glauconieuses à nodules de phosphates de chaux et les craies fendillées et perméables qui se trouvent au-dessus. Il ne faudra avancer que pas à pas, en sondant tous les 100 ou 150 mètres le terrain au-dessous et en-dessus.

Disons de suite que les progrès réalisés en électricité, depuis 20 à 25 ans, faciliteront singulièrement la tâche, puisqu'au lieu du tracé rigide, à larges courbes et à faibles pentes, qu'exigeait la traction à vapeur ou à eau surchauffée ou à air comprimé, la traction par l'électricité permettra d'adopter un tracé comportant, s'il en est besoin, des courbes plus raides de 300 à 400 mètres de rayon, avec des déclivités plus élevées, de 15 à 20 $\frac{m}{m}$, qui permettront vraisemblablement d'épouser, sans trop de difficultés, les ondulations précitées de l'M étalée dont il a été question ci-dessus et de s'écarter suffisamment des terrains dangereux.

Ceci dit, comment faudrait-il tracer et construire le tunnel ?

Disons de suite, pour n'avoir pas à y revenir, quelle devra être la section transversale du tunnel proprement dit : sera-ce une galerie unique contenant les deux voies ferrées ; sera-t-il au contraire composé de deux galeries distinctes, une par voie ferrée ?

C'est cette seconde solution que commande la prudence. On compte partout dans le détroit sur une épaisseur minima de 40 à 50 mètres pour la craie imperméable, et tout permet de croire que cette espérance ne sera pas déçue ; mais, déjà avec cette épaisseur, il ne serait peut-être pas très prudent de construire une galerie unique pour deux voies qui aurait nécessairement une forme ovale avec 9 à 10 mètres de largeur horizontale et 6 à 7 mètres de hauteur. Nous aurions, de ce fait, dans la craie grise, une voûte surbaissée au-dessus de laquelle il resterait une épaisseur de couche quelque peu incertaine pouvant descendre à quelques mètres seulement et qui pourrait pourtant être appelée à supporter une pression relativement considérable puisqu'elle pourrait atteindre de 15 à 20 kgr. par centimètre carré. Ce serait véritablement risquer quelque chose que d'adopter une section de cette nature et il est infiniment préférable d'adopter

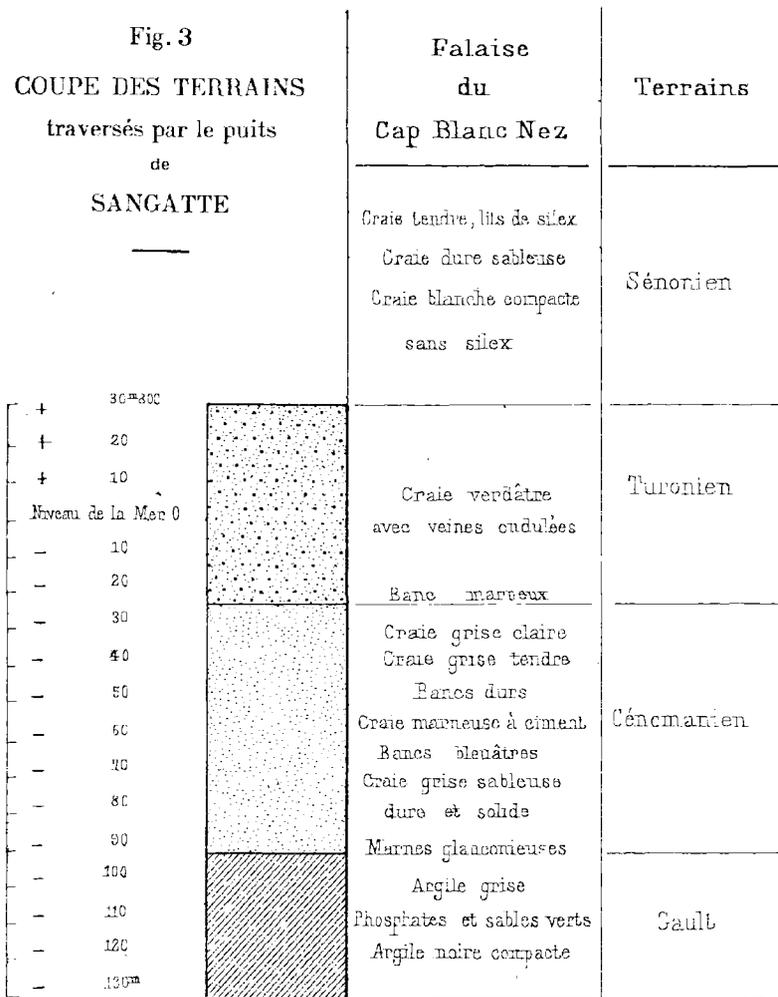
deux galeries circulaires parallèles, de 5^m50 à 6^m de diamètre chacune, distantes de 15 mètres l'une de l'autre, ne réagissant, par conséquent, pas l'une sur l'autre au point de vue résistance de la couche, et créant dans cette couche la cause minima de dislocation du fait de la forme circulaire qui est, par excellence, celle de la résistance aux pressions intérieures ou extérieures. Les deux galeries communiqueraient d'ailleurs, de distance en distance, l'une avec l'autre par des rameaux transversaux très rapprochés, tous les 100 mètres, par exemple, qui feraient des deux galeries un ensemble en rapport étroit.

Le profil transversal du tunnel étant ainsi arrêté et défini, il convient de choisir entre deux solutions : l'une consistant à assurer l'écoulement des eaux d'infiltration par la double galerie qui servira au passage de deux voies ferrées ; l'autre séparant nettement la galerie d'écoulement du passage des deux voies ferrées.

La première solution offre un inconvénient capital : elle force à adopter pour le profil en long du tunnel un profil en dos d'âne, c'est-à-dire que le tunnel aurait son point le plus élevé au centre du détroit, avec deux points bas sur les rives, de manière à rassembler les eaux d'infiltration dans ces points bas d'où il faudra les pomper pour les rejeter à la mer. C'est également de ces points bas que devrait remonter au jour le tunnel au prix d'un allongement de parcours sensible et de déclivités qui atteindraient le maximum compatible avec la traction électrique qui sera certainement adoptée.

De pareilles sujétions suffiraient pour faire écarter à priori cette première solution et c'est très judicieusement que M. L. Breton n'a pas hésité à recommander et à adopter la seconde solution d'une galerie d'écoulement indépendante du tunnel proprement dit. Cette solution serait d'autant plus justifiée que la galerie d'écoulement devra servir en même temps à construire le tunnel et à évacuer les déblais. A ce point de vue, la considération de la durée d'exécution des travaux empêche complètement de songer à la première solution avec laquelle on ne disposerait, à partir des points bas situés sur les rives, que d'un front d'attaque unique de chaque côté du détroit. La durée des travaux dépendrait donc de la vitesse de cheminement d'une galerie double de la section maxima, c'est-à-dire que l'on partirait vers l'inconnu, puisqu'on n'a de données sur la vitesse de cheminement que pour une galerie de 2 m. 13 de diamètre en chiffres ronds, c'est-à-dire de 3 mètres carrés 56 décimètres carrés de section,

Fig. 3
 COUPE DES TERRAINS
 traversés par le puits
 de
 SANGATTE



(Extrait de la Revue Générale des Chemins de Fer)
 (N° de Juillet 1882)

Fig. 4

COUPE DES TERRAINS AU MILIEU DU DÉTROIT

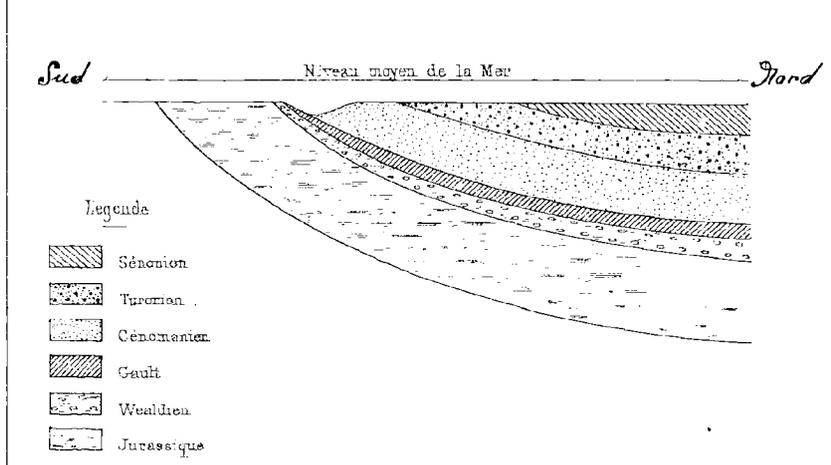
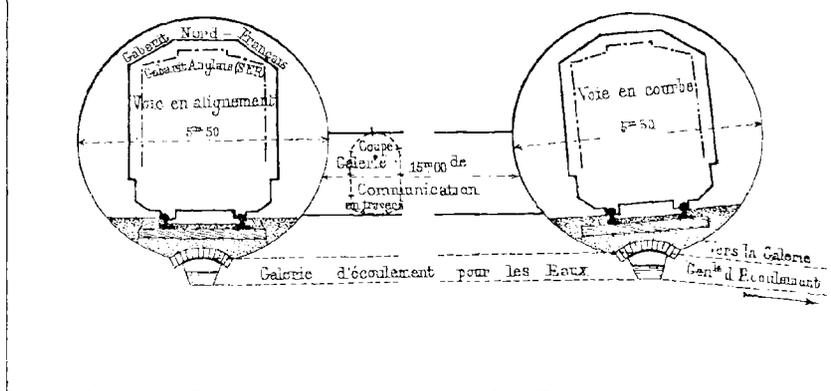


Fig. 5

COUPE DES TUNNELS



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

alors qu'il faudra envisager le forage d'une galerie double définitive qui aurait une section presque 10 fois plus considérable.

Il faut, pour toutes ces raisons, écarter la première solution et adopter la seconde dans laquelle le profil en long, en fond de bateau avec points bas sur les rives, sera conservé mais réservé pour une galerie spéciale qui servira à la construction d'abord, à l'écoulement des eaux d'infiltration ensuite pendant toute la durée de l'exploitation, et pour laquelle, à ce double titre, il suffira de doubler à peu près la section connue et expérimentée de 2 m. 14 de diamètre, en la portant à 3 mètres de diamètre en chiffres ronds. C'est par cette galerie que devra commencer le travail, une fois forés les puits qui permettront de l'attaquer en commençant par les points bas. Sauf pour les premiers kilomètres du tunnel qui se feront en partant du puits déjà construit, c'est de cette galerie que partiront, au fur et à mesure de l'avancement, des rameaux transversaux de même section qui iront rejoindre le véritable tracé du tunnel en une série de points successifs d'où nous repartirons cette fois suivant le tracé définitif avec un front d'attaque par rameau en arrière (1), de manière à construire le tunnel véritable par sections successives qui viendront se rejoindre les unes les autres sous la mer.

Nous reviendrons plus loin sur ces conditions de travail.

Une fois affranchi par la présence d'une galerie d'écoulement spéciale, de l'obligation d'écouler les eaux, le tunnel ne conservera sa forme en dos d'âne que sur la section centrale du tunnel, longue de quelques kilomètres seulement ; puis il remontera jusqu'au jour avec des déclivités croissantes, allant sans doute de zéro à 20 ^{mm} par mètre.

Nous voilà fixés sur le profil transversal de notre tunnel et sur son profil en long.

Nous savons aussi que nous commencerons le travail par la galerie d'écoulement qui devra servir en même temps de galerie d'avancement ; nous savons que cette galerie d'écoulement partira du point bas dans lequel nous rassemblerons sous la terre ferme, les eaux d'infiltration, à l'extrémité inférieure du puits ou des puits par

(1) On ne peut guère songer à partir à la fois en avant et en arrière, à raison de deux fronts d'attaque par rameau, parce qu'il n'est guère possible d'attaquer que dans le sens qui remonte sans poser des problèmes délicats d'évacuation artificielle des eaux accumulées par la pesanteur au front de taille, sauf dans les parties où la roche sera tout à fait imperméable.

lesquels nous évacuerons les déblais et les eaux pendant la construction et par lesquels nous continuerons à évacuer les eaux d'infiltration pendant l'exploitation.

Le profil en long que nous devons donner à la galerie d'écoulement est parfaitement connu et fixé par des études extrêmement ingénieuses de M. Breton, que l'on peut résumer de la manière suivante :

Supposons que nous cheminions dans la galerie d'écoulement construite, en partant du milieu du tunnel. En ce point milieu, point haut, la quantité d'eau d'infiltration à écouler est, par définition, nulle. Si nous supposons que la quantité d'eau pénétrant dans le tunnel est constante par mètre de longueur de galerie ; au fur et à mesure que nous nous rapprochons des côtes de France, nous avons à écouler une quantité d'eau d'infiltration croissant d'autant plus que nous avons derrière nous d'autant plus de chemin parcouru depuis le milieu du détroit. La galerie d'écoulement doit donc avoir un débit croissant qui atteindra son maximum quand nous arriverons à son extrémité au point bas des puits où les eaux seront réunies pour être remontées à la surface. Or, quel est le débit d'une galerie d'écoulement ? Ce débit dépend de la section de la galerie d'une part, de sa pente d'autre part. Changer la section de notre galerie, c'est une chose pratiquement impossible, puisque cette galerie sera creusée probablement par une machine perforatrice plus ou moins analogue à celle du Colonel Beaumont, soit une section circulaire invariable d'un bout à l'autre et qu'au surplus, pendant la construction, elle aura à faire face à l'évacuation des déblais qui exige une section minima pour le passage des locomotives et du personnel, section qui sera sensiblement celle que donnera la machine perforatrice. C'est donc sur la seconde donnée, c'est-à-dire sur la pente, qu'il faut agir pour faire croître, suivant les besoins, le débit de la galerie d'écoulement. Elle commencera donc, à partir du moment où elle se séparera du tunnel, par une pente très faible de un demi-millimètre par mètre, qui ira en croissant et qui atteindra son maximum, soit environ $20 \frac{m}{m}$ par mètre aux environs des points bas.

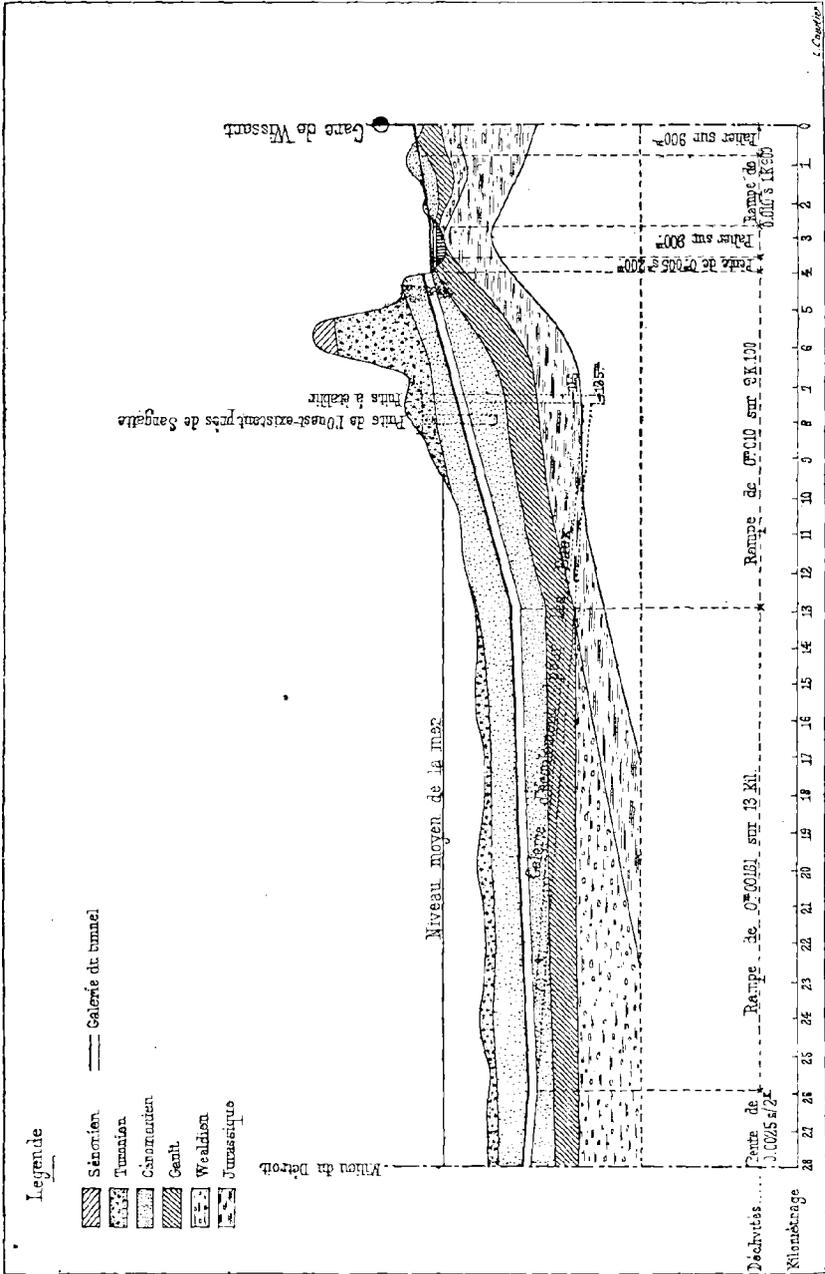
De ce profil ainsi fixé résulterait, en toute sûreté, le tracé de la galerie en plan si nous connaissions avec une certitude absolue la forme de la couche de craie grise dans laquelle le tracé doit se maintenir. Se détachant du tracé du tunnel proprement dit à 2 kilomètres environ du point milieu du détroit, il s'en éloignerait de plus

en plus au fur et à mesure que le niveau du tunnel et le niveau de la galerie seraient plus différents l'un de l'autre, la galerie plongeant et le tunnel remontant ; et, puisque, pour permettre cette divergence de niveau, nous userons de la pente générale des couches vers le nord, le tracé de la galerie s'infléchira de plus en plus vers le Nord, pendant que le tracé du tunnel s'infléchira de plus en plus vers le Sud.

Les croquis (Fig. 1 et 2) sur lesquels la galerie n'a été tracée que dans la moitié française, font ressortir, tant en plan que sur le dessin-profil du détroit, cette divergence de la galerie d'écoulement et de la galerie du tunnel. Les croquis (Fig. 3 à 5) indiquent le détail de la succession verticale des couches géologiques dans le puits, leur plongement vers le Nord, la section des deux galeries définitives.

Faute de connaître avec certitude complète cette forme de couches souterraines, la galerie d'écoulement aura, entre autres avantages considérables, celui de permettre de tâter cette forme. On devra choisir la position des puits sur terre en s'inspirant surtout des facilités à ménager pour leur fonçage (il s'agira d'éviter autant que possible la couche de sable superficielle sur laquelle est assis le village de Sangatte). On forera ces puits jusqu'à la base de la craie grise ; on reconnaîtra à nouveau, aux points choisis pour le fonçage, l'épaisseur de la craie ; de là, on percera en cheminant, selon le tracé et le profil théorique de la galerie d'écoulement, mais dès qu'on aura fait 100 ou 150 mètres de galerie, c'est-à-dire au bout du travail d'une semaine environ, on fera un sondage en dessous, et un sondage en dessus, dans la craie, de façon à savoir exactement où on est dans la couche. Huit jours après, ce sera de même un second sondage en-dessous et en-dessus, et ainsi de suite de 8 jours en 8 jours, c'est-à-dire tous les 120 ou 150 mètres. Dès que quelques-uns de ces sondages consécutifs auront indiqué que l'on se rapproche trop des limites soit supérieures soit inférieures de la couche de craie, c'est-à-dire que la couche n'a pas exactement l'allure que nous lui avons attribuée par hypothèse, on infléchira le tracé sans toucher au profil théorique, de façon à se remettre dans les conditions moyennes qu'il importe de réaliser. La galerie d'écoulement sera plus ou moins sinueuse. Qu'importe ! Les eaux ne s'y écoulent pas moins facilement et les petits trains électriques, qui serviront à l'évacuation des déblais et à la conduite du personnel pendant la construction, ne passeront pas moins librement dans cette galerie ; mais, avant d'attaquer le tunnel

Fig. 2. — PROFIL LONGITUDINAL.



proprement dit, on aura ainsi reconnu la couche, et cette reconnaissance se continuera par chacun des rameaux transversaux que, au fur et à mesure de l'avancement de la galerie d'écoulement, on lancera vers le tunnel dont on déterminera ainsi par tâtonnement chaque point d'attaque intermédiaire, de manière que ce point soit exactement à la hauteur où il faut se placer dans la couche, à la hauteur où il faut être pour réaliser un bon profil, la seule indéterminée que nous fixerons ainsi par tâtonnement étant le point en plan qui représentera ce point d'attaque.

Combien faudra-t-il de rameaux intermédiaires, c'est-à-dire combien faudra-t-il adopter de points d'attaque intermédiaires ? C'est un point qui est pour ainsi dire commandé par la durée d'exécution qu'on voudra ne pas dépasser. D'après les données que nous avons déjà et sur lesquelles les progrès industriels — et notamment l'emploi de l'électricité — ne peuvent que permettre de faire un gain, il n'est pas téméraire d'espérer que la galerie d'écoulement arrivera à cheminer avec la vitesse moyenne d'une vingtaine de mètres par jour, c'est-à-dire de 120 mètres par semaine, soit de 6 kil. par an. C'est théoriquement au bout de 4 ans $1/2$ qu'elle sera arrivée au point où commence la section centrale du tunnel dans laquelle elle se confondra avec lui c'est-à-dire au kil. 25 à 26, en chiffres ronds, à partir de l'origine de la gare de Wissant sur la rive française.

Si, grâce à l'expérience acquise, nous supposons que le tunnel, suivant son profil définitif, cheminera avec une vitesse qui ne soit pas inférieure au tiers de celle que nous comptons réaliser pour la galerie d'écoulement elle-même, nous en aurons, en chiffres ronds, pour un an à arriver du kil. 25 au milieu du tunnel.

Pendant ce temps, nous aurons, au fur et à mesure que se fera la galerie d'avancement, lancé les rameaux dont nous parlons plus haut, allant recouper le tracé définitif du tunnel, et de chaque extrémité de ces rameaux, nous aurons commencé le creusement du tunnel, toujours en remontant, suivant son tracé et son profil définitif. Le nombre des rameaux intermédiaires variera selon la vitesse de creusement du tunnel à son profil définitif. Nous en ferons 7 si (ce qui est l'hypothèse la plus pessimiste) l'avancement de la galerie définitive n'est que de 5 mètres par jour, soit le quart de la vitesse de la galerie d'écoulement ; nous en ferons 6 si cette vitesse est de 7 mètres, c'est-à-dire le tiers de la vitesse d'avancement de la galerie d'écoulement ; nous n'en ferons que 4 si elle est de 10 mètres : mais, de

toute façon, grâce à ces rameaux et à l'attaque du tunnel définitif par plusieurs fronts simultanés, on peut dire que la vitesse d'exécution du tunnel est pratiquement indépendante de la vitesse qu'on mettra à le creuser, qu'elle ne dépend que de la vitesse d'avancement de la galerie d'écoulement et que, d'après l'expérience acquise de la machine du Colonel Beaumont, la durée de creusement du tunnel sera vraisemblablement de 4 ans $1/2$ à 5 ans à partir du moment où aura été achevé le fonçage du puits d'origine de la galerie d'écoulement, c'est-à-dire, au total, de 6 ans $1/2$ à 7 ans.

Ce mode d'exécution basé sur les rameaux intermédiaires, si avantageux au point de vue de la sûreté du cheminement dans le banc de craie et au point de vue de la rapidité du travail, présentera d'ailleurs des problèmes bien complexes et bien intéressants à résoudre : celui des transports, par exemple, qui devront s'effectuer par la galerie d'écoulement, transport de déblais, transport du personnel, transport des pièces de machines, et qui se feront, dans l'intérieur de cette galerie, par un petit chemin de fer souterrain électrique, à voie de 0^m60, qui dans la période la plus active de son exploitation, n'aura pas à évacuer moins de 4.000 tonnes de déblais par jour, représentant une centaine de trains par jour dans chaque sens et un transport de 1.200 voyageurs au minimum correspondant aux voyages du personnel se rendant aux divers fronts de taille et en revenant, et qui seront répartis en 3 et plus probablement 4 postes, de façon à assurer la continuité du travail. 1.200 voyageurs et 4.000 tonnes de déblais par jour à la distance moyenne de transport de 10 kil., cela représente un trafic que bien des lignes d'intérêt local et même d'intérêt général envieraient à ce petit chemin de fer souterrain !

Cela n'excédera pas les limites de sa capacité, mais il y aura là certainement, comme aussi dans les mouvements verticaux de ces déblais et de ce personnel dans le puits d'origine, un problème d'exploitation intensive très intéressant à résoudre.

Ainsi donc, grâce aux progrès industriels réalisés depuis 20 ans, grâce à la méthode que nous venons de décrire, grâce au progrès qu'on ne manquera pas de réaliser dans la machine perforatrice, grâce à l'utilisation de la traction électrique pour l'enlèvement des déblais, grâce aux pompes rotatives à grande vitesse actionnées électriquement pour l'enlèvement des eaux d'infiltration réunies dans les puits, grâce aux progrès de détail tels que l'emploi du téléphone et de la

lumière électrique, l'exécution de la galerie d'écoulement et du tunnel ne nécessitera pas plus de 4 ans et demi ou 5 ans après l'achèvement des travaux auxiliaires et préparatoires, dont les principaux seront la construction des voies d'accès pour l'évacuation des déblais et le fonçage des puits de grand diamètre analogues aux puits de houillères.

Du côté français, le fonçage des puits sera une des grosses difficultés que rencontreront les Ingénieurs chargés de la direction des travaux.

Ces difficultés seront réduites au minimum en choisissant un emplacement en dehors des sables quaternaires qui recouvrent la craie et en employant, pour traverser ces craies, les mêmes méthodes qui ont déjà si bien réussi à M. L. Breton pour le fonçage des deux puits du siège de l'Ouest. On pourra, dans tous les cas, comme l'a prévu M. Breton, avoir recours à la congélation et peut-être à la cimentation. Ces travaux de fonçage n'exigeront pas une dépense considérable puisqu'elle ne dépassera guère 1 à 2 millions, mais elle exigera un temps assez considérable qui ne sera peut-être pas inférieur à 2 ans.

En même temps qu'on procédera au fonçage des puits nécessaires, malgré l'usage qu'on fera des deux puits déjà existants, on exécutera les voies d'accès nécessaires à l'évacuation des déblais à la fois en établissant une voie spéciale et provisoire, et en exécutant immédiatement le raccordement définitif qui devra relier le tunnel à la voie ferrée existante de Calais à Boulogne.

En ce qui concerne les raccordements, de nouvelles études ont montré qu'on pouvait améliorer considérablement le tracé qui avait été étudié en 1881.

On sait que ce tracé, partant de Calais, suivait la côte jusqu'à Wissant, décrivait une énorme boucle pour se replier et entrer en tunnel vers Strouanne, soit un développement de 20 kilomètres à ajouter au trajet de Boulogne à Calais pour le service de Paris sur Londres.

Au lieu de ce détour considérable, et grâce au nouveau point choisi pour l'entrée en tunnel un peu au sud du Cran d'Escalles, la ligne de raccordement se détachera à Beuvrequent de la ligne de Boulogne à Calais, passera tout près de Marquise et aboutira presque en ligne droite à Wissant, où sera établie la gare de Douane et de triage, et où se fera le rebroussement nécessaire pour le changement de

machine, la machine électrique venant au fond de l'impasse du rebroussement et la machine à vapeur qui doit emmener le train vers Paris ou vers le Nord, venant simplement s'atteler à la queue du train qui devient la tête sans manœuvre et sans perte de temps.

La partie de voie au jour ne nécessitera pas de travaux difficiles ou coûteux, sauf le viaduc qui précéderait l'entrée du tunnel et qui pourra être établi, pour répondre aux préoccupations militaires anglaises, de manière à être battu par les canons d'une flotte qui serait maîtresse du détroit. Elle aurait une longueur de 14 kilomètres seulement et ses déclivités ne dépasseront pas 6 m/m par mètre, de telle sorte que dans le sens de Paris, on ne rencontrerait nulle part les grandes et longues déclivités de 8 m/m que l'on rencontre sur la ligne de Boulogne à Calais, à partir de la rampe dite de Caffiers.

Au point de vue de la dépense, la substitution d'un tracé de 14 kilomètres au lieu de 20 kilomètres économisera près de 4 millions. Au point de vue du temps du trajet entre Paris et Londres, l'économie sera beaucoup plus importante puisqu'on gagnera 33 kilomètres dont le gain coïnciderait avec une réduction de 2 millimètres sur la déclivité. C'est un progrès énorme.

Pour les relations avec la Belgique et l'Allemagne, la situation ne serait pas sensiblement modifiée. Il sera d'ailleurs facile, le jour où on le voudra, de substituer au raccordement vers Calais, nécessaire pour acheminer les trains de cette direction, un raccordement de 8 kilomètres environ partant directement de Wissant et qui, avec un souterrain de 2 kilomètres seulement vers Wadenthun, aboutirait, près de Pihen, à la ligne de Boulogne à Calais en évitant aux trains belges, allemands, etc. le détour par Marquise.

En résumé, les progrès réalisés par la Science et par l'Industrie depuis la suspension des travaux du tunnel, surtout pour l'application de la traction électrique et les résultats des études postérieures, soit sur la constitution des terrains traversés, soit pour la direction à donner aux lignes de raccordement et aux abords du tunnel, permettront sans doute de réduire à 7 ou 8 ans les délais d'exécution du tunnel et de réaliser de très importantes réductions sur la dépense qu'on aurait pu prévoir. Ils donnent dans tous les cas la conviction que l'œuvre du Tunnel sous-marin est non seulement réalisable mais encore relativement facile et qu'elle peut être exécutée avec la plus entière confiance dans le succès final.

* * *

Il nous reste maintenant à donner quelques indications sur le côté commercial de cette œuvre, sur la nature et l'importance des transports auxquels elle aurait à faire face. C'est assurément un côté du problème très délicat, sur lequel il est peut-être plus difficile de se prononcer que sur le côté technique.

Mais quelques considérations et quelques chiffres montreront l'intérêt considérable qu'elle présente à ce point de vue.

Dans la situation actuelle, les relations entre l'Angleterre et le Continent sont, au point de vue voyageurs, extraordinairement peu développées. Elles ne comptent en effet pas plus de 1.200.000 voyageurs en chiffres ronds par toutes les routes qui se partagent le mouvement, quoiqu'il y ait en présence : d'une part, une population de 42 millions d'habitants qui est celle de la Grande-Bretagne, et d'autre part, une population continentale de plus de 100 millions d'habitants, en ne prenant que la France, l'Italie et l'Europe centrale, et c'est bien à la sujétion de passer l'eau qu'il faut attribuer cette absence quasi complète de relations, puisque, entre la France représentant en chiffres ronds 40 millions d'habitants et la Belgique représentant, avec ses au-delà (Hollande et partie septentrionale de l'Allemagne desservie par la route de Cologne) à peine 50 millions d'habitants, le nombre des relations annuelles est de plus de 4 millions de voyageurs.

Supposons que, comme par une baguette de fée, le Tunnel soit fait du jour au lendemain, quelle serait l'attraction qu'il exercerait sur les 1.200.000 voyageurs ? elle serait évidemment d'autant plus grande que les routes empruntées actuellement seraient plus voisines de celle du tunnel ; il est évident que le Tunnel prendrait à peu près tous les voyageurs des lignes de Boulogne et de Calais, mais il est possible qu'il ne prenne à peu près personne parmi ceux de Southampton à St-Malo ; entre ces deux extrêmes se grouperaient tous les intermédiaires.

Si on admet par exemple qu'elle sera de :

90 % des voyageurs viâ Calais et Boulogne ;

70 % des voyageurs viâ Dieppe ;

50 % seulement des voyageurs viâ Ostende ;

20 % des voyageurs viâ Flessingue ;

Et 5 % de ceux des autres routes,

il y aurait du jour au lendemain une clientèle de 900.000 voyageurs pour le tunnel.

Mais en supposant non point qu'il soit construit du jour au lendemain, mais que la construction soit seulement décidée demain, c'est seulement, nous l'avons vu, dans 6 ans et plus probablement dans 7 ans qu'il entrerait en exploitation. D'ici là, le mouvement des échanges aurait progressé ; d'après ce que nous enseignent les statistiques passées, la progression est, en chiffres ronds, de 50.000 voyageurs par an ; les 900.000 voyageurs de l'heure présente seraient, en 7 ans, devenus 1.200.000.

C'est là un minimum ; il est bien certain que la création d'une communication exclusivement terrestre ramènerait le mouvement entre l'Angleterre et le Continent à un taux plus normal et plus rapproché du taux que nous constatons entre la France et la Belgique. Sans espérer que nous arriverions, dès la première année d'ouverture, à ce taux qui nous donnerait, non pas 1.200.000 voyageurs, mais 5 à 6 millions de voyageurs, il n'est pas douteux que la réalité se placerait entre ces deux chiffres extrêmes et se rapprocherait du second en un très petit nombre d'années.

Au point de vue des marchandises, la clientèle du tunnel a été évaluée à des chiffres très différents, variant de 1.500.000 tonnes (chiffres donnés en 1883) à 5 millions 1/2 de tonnes (chiffres donnés en 1889).

Il est extrêmement difficile de se faire sur ce point une opinion très précise. Il est certain que, si le Tunnel existait, il serait assuré du trafic de 600 millions d'objets précieux relevés dans la statistique de Douane de 1902 et taxés ad valorem ; il pourrait aussi compter sur un minimum de 50 à 60.000 tonnes environ de Grande Vitesse, mais que prendra-t-il du trafic Petite Vitesse ? Une part peu importante sans doute, laissant à la voie maritime, dont les frets sont si bas, la plus grande part du trafic d'échange. Des marchandises de 1^{re} série, quelques-unes de 2^e série, feront sans doute à peu près sa seule clientèle de P. V. Il est évident d'ailleurs qu'avec le coefficient de majoration à appliquer aux relations actuelles, résultant du temps et du développement des relations entre les deux pays, le trafic ne laissera pas que d'être considérable.

Quoiqu'il en soit, il est certain que, tant au point de vue voyageurs qu'au point de vue marchandises, il y aura de quoi vivre pour le Tunnel, mais il n'en est pas moins vrai que, au début du moins, un tel trafic sera loin de représenter pour le Tunnel une exploitation extraordinairement intensive.

En tenant compte de l'inégalité des courants dans les deux sens qui ne se balancent pour ainsi dire à aucune époque, en tenant compte des variations de trafic d'une époque à l'autre de l'année, on peut compter faire passer dans le Tunnel de 20 à 30 trains de voyageurs et de 30 à 40 trains de marchandises par jour au maximum dans les deux sens cumulés.

Ce sont évidemment là des chiffres correspondant à une exploitation d'une intensité très moyenne, que nous avons cités seulement pour faire voir qu'il restait une marge considérable en fait de capacité de transport de la voie à créer.

En résumé, l'œuvre de la construction du Tunnel sous la Manche est une œuvre non seulement possible, mais relativement facile. Son intérêt commercial n'est pas douteux et de nature à augmenter dans une proportion considérable l'échange entre l'Angleterre et le Continent des voyageurs et des marchandises. Le jour où, en Angleterre, l'opinion éclairée sur l'intérêt de cette grande œuvre le voudra, les Ingénieurs sont prêts, et de chaque côté du détroit on pourra transformer en galeries définitives qui se rejoindront au milieu du détroit les galeries d'essai et d'étude que les Ingénieurs Anglais et les Ingénieurs Français ont déjà lancées sous la mer dans les bancs de craie grise où tout le Tunnel s'installera.
