



M. Ch. BERGERON

Ingénieur civil.

---

TUNNEL SOUS-MARIN ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE

(EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL)

---

— Séance du 24 août 1874. —

M. BERGERON expose rapidement l'histoire de la question de communication par tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, jusqu'au moment où sir John Hawkshaw, ayant étudié les travaux de percement du mont Cenis, eut l'idée d'appliquer à la traversée de la Manche des procédés analogues à ceux qu'il venait de voir employer pour franchir une chaîne de montagnes.

Il se mit de suite à la besogne, et commença, dès 1865, à faire, avec le con-

cours de M. Henri Brunnel, un nombre considérable de sondages dans la Manche, qui lui permirent de reconnaître une ligne continue suivant laquelle la sonde ne rapportait que de la craie, sur une certaine largeur de part et d'autre. Il en conclut l'existence de couches non interrompues, et adopta cette ligne comme direction de son projet, après avoir reconnu la composition géologique du sous-sol, sur le bord de la mer, par des trous de sonde descendus à 166 mètres de profondeur sur la rive anglaise et avoir constaté que si, comme il y a lieu de le croire, les couches se continuent dans le détroit sans failles ni bouleversements, on ne rencontre, à partir de 70 ou 75 mètres en profondeur au-dessous des plus hautes mers, qu'un banc de craie grise, marneuse, compacte, sans fissure et sans silx, d'une épaisseur qui dépasse 80 mètres.

Après avoir dépensé plus de 80,000 francs à ces travaux préparatoires, M. Hawkshaw, qui s'était associé à MM. Brassey et Manby, sollicita, en 1868, le concours du gouvernement français pour son entreprise; il voulait percer une galerie d'essai de 2 mètres de diamètre sur toute la longueur du trajet, et en estimait la dépense à 50 millions, dont moitié serait fournie à titre de subvention par le gouvernement. L'empereur s'y montra peu disposé, tout en déclarant qu'il suivrait l'exemple de l'Angleterre, ce qui équivalait à un refus, et les négociations n'avaient pas abouti quand arriva la guerre de 1870-1871, qui mit tout en suspens.

La question fut reprise en 1872 par les mêmes personnes, constituées cette fois en une société à responsabilité limitée, pour entreprendre le percement d'un grand puits et l'ouverture d'une galerie horizontale pénétrant de 1 kilomètre au moins sous la mer. La dépense était évaluée à 30,000 livres sterling (750,000 francs), sur lesquelles 12,000 livres furent immédiatement couvertes par une souscription entre les fondateurs.

Sur ces entrefaites, M. Thomé de Gamond, auteur d'un projet différent et qui avait réuni autour de lui, en France, quelques personnes s'intéressant à cette idée, finit par se rallier au système de M. Hawkshaw, et, à partir de ce moment, un nouveau comité se forma en France, sous la direction de M. Michel Chevalier, pour poursuivre, de ce côté du détroit, la réalisation de ce projet. On obtint de M. Deseilligny, ministre des travaux publics, la mise à l'enquête du projet dans le département du Pas-de-Calais. Le rapport de la commission d'enquête fut absolument favorable, ainsi que l'avis des chambres de commerce, également consultées par le ministre. Une commission spéciale formée de six inspecteurs généraux des ponts et chaussées et des mines, d'un amiral, d'un ingénieur en chef hydrographe, et d'un ingénieur des mines, secrétaire, donna des conclusions très-favorables au projet Hawkshaw. Il reçut enfin l'approbation des conseils généraux des ponts et chaussées et des mines, qui exprimèrent l'avis qu'il conviendrait, avant de pousser plus loin, de s'assurer que le gouvernement anglais n'avait pas l'intention de s'opposer à l'exécution du projet.

Des démarches furent immédiatement faites à cet effet par le comité anglais, et les journaux viennent d'apporter la nouvelle que la négociation est en bonne voie et que lord Derby doit présenter prochainement le traité à la signature de la reine.

Le comité français n'a pas perdu de temps non plus ; il a adressé au ministre une demande de concession et préparé, d'accord avec lui, un projet de traité qui sera présenté à l'approbation de l'Assemblée nationale dès qu'elle sera réunie.

Tel est l'état actuel de la question.

Quant aux dispositions du projet, il comprend une première série de travaux préparatoires destinés à s'assurer des conditions possibles d'exécution, et ensuite les travaux de percement proprement dits. Les travaux préparatoires consistent dans le percement d'un grand puits de 130 mètres de profondeur et 6 mètres de diamètre, sur la rive française, dans l'emplacement du trou de sonde déjà fait, et dans l'axe du tunnel projeté, et d'une galerie à section circulaire de 2<sup>m</sup>,10 de diamètre intérieur et de 1 kilomètre au moins de longueur sous la mer, partant du fond de ce puits dans la direction du tunnel. Ces opérations, qui ne seront pas inutiles par la suite, car la galerie horizontale servira à l'assainissement du tunnel et le puits à l'extraction des eaux et à l'aération, auront pour but de s'assurer de l'étanchéité de la masse de craie, et du fonctionnement des machines perforatrices.

On recherchera d'autre part, en multipliant les sondages dans le détroit, à étudier la nature du fond, et notamment à s'assurer de la continuité et de la régularité de la ligne d'affleurement du banc de grès vert supérieur qui se trouve compris entre la craie grise inférieure, ou marne bleuâtre, et les argilles du gault, circonstance qui établirait, d'une manière à peu près certaine, l'absence, déjà très-probable, de dislocations.

Ce n'est qu'après qu'on aura acquis, par ces travaux préliminaires, la certitude de la possibilité du percement, qu'on procédera à la construction du tunnel proprement dit, sur lequel M. Bergeron donne quelques détails sommaires.

Le tracé part de la rive française, à peu près à égale distance de Calais et de Sangatte, et se dirige, en ligne droite, sur la baie de Sainte-Marguerite, à l'est de Douvres ; la galerie a 8 mètres de largeur sur 6 mètres de hauteur, et est à double voie ; le nivellement présente un point de partage au milieu du détroit, avec une pente de 0<sup>m</sup>,370 par kilomètre de part et d'autre vers les puits établis sur les deux rives, à 37 kilomètres de distance l'un de l'autre ; à environ 5 kilomètres de chaque puits, le tunnel remontera en rampe de 0<sup>m</sup>,0125 par mètre, pour aller se raccorder, en France avec le chemin de fer du Nord, en Angleterre avec le South Eastern Railway, en des points qui restent à déterminer.

Le point de partage indiqué ci-dessus se trouve à la profondeur de 114<sup>m</sup>,50 environ au-dessous des plus basses mers, et le fond du puits à celle de 121<sup>m</sup>,20.

L'assainissement se fera par des galeries de 2<sup>m</sup>,10 de diamètre, qui, à partir du pied des rampes, continueront, de part et d'autre, la pente primitive du tunnel, et viendront aboutir au fond du puits, où seront établies des machines d'épuisement.

La profondeur maxima de la mer, entre Calais et Douvres, étant de 54 mètres, on voit qu'il restera partout, au-dessus de la voûte du tunnel, un banc de craie de plus de 60 mètres d'épaisseur.

On estime à 20 millions la dépense nécessaire pour percer, en quatre ans, la galerie de reconnaissance du grand tunnel, au moyen de deux ateliers marchant à la rencontre l'un de l'autre, et en employant la machine Brunton. Cela paraît un maximum, car des évaluations, déjà sérieuses, ne portent qu'à 10 millions la dépense, et à deux ans le délai d'exécution.

MM. James Bruiless et Charles Douglas Fox notamment pensent qu'on réaliserait une économie de temps considérable en employant, de préférence, la machine perforatrice du major Beaumont. Mais il n'est pas démontré que celle-ci, évidemment bien préférable dans des rochers de la nature du grès et de l'ardoise, puisse donner dans la craie un travail supérieur, ou même équivalent à celui de la machine Brunton. La question resterait à examiner.

Quant à l'achèvement du tunnel, une fois la galerie percée, on peut évaluer qu'il coûtera environ 80 millions et quatre années de travail. Si l'on ajoute 20 millions pour les rampes d'accès, raccordements, et travaux accessoires, on arrive à une dépense totale de 120 millions pour l'ensemble de l'opération. Il est bon, toutefois, d'ajouter que M. Hawkshaw estime qu'il serait prudent de compter sur un chiffre double, pour tenir compte des éventualités qui pourront se produire.

M. Bergeron donne lecture d'une note dans laquelle M. Michel Chevalier expose les services que rendra le tunnel sous-marin, au double point de vue du trafic des marchandises et du transport des voyageurs.

Pour les marchandises, la suppression de la nécessité d'un double transbordement et d'une navigation avec les difficultés, les lenteurs, et les chances d'avaries et de perte totale qui en résultent, sera un avantage de premier ordre qui assurera à la voie sous-marine une grande partie du commerce entre l'Angleterre et le continent, et cela sans qu'il y ait aucun remaniement important à opérer sur les chemins de fer des divers pays, puisque la largeur des voies ferrées anglaises a été adoptée, à peu d'exception près, dans toute l'Europe.

On peut affirmer qu'en raison de cet immense progrès, non-seulement le tunnel tendra à absorber le trafic qui se fait actuellement d'un côté à l'autre du détroit, mais que ce trafic sera considérablement augmenté, tant par l'accroissement de la quantité des marchandises qui en font déjà l'objet aujourd'hui, que par la création de nouvelles branches de commerce, qui pourraient difficilement s'établir dans l'état actuel des moyens de transport.

Un résultat semblable ne manquera pas de se produire pour les voyageurs, qui n'auront plus à craindre les ennuis et les malaises résultant de la traversée de la Manche. Il est facile de s'en convaincre en examinant le tableau suivant, qui permet de comparer les nombres de voyageurs qui ont été transportés en 1869, année normale, par les diverses lignes existantes et les conditions dans lesquelles se fait ce transport :

ROUTE.	NOMBRE de passagers.	DURÉE		PRIX entre Paris et Londres.				
		de la traversée en mer.		du voyage entre Paris et Londres.				
		h.	m.	h.	m.	1 <sup>re</sup> classe.	2 <sup>e</sup> classe.	3 <sup>e</sup> classe.
Le Havre . . . . .	18936	7	»	19	25	fr. c. 38 75	fr. c. 25 »	fr. c. » »
Dieppe. . . . .	36594	5	»	13	»	40 »	27 50	20 »
Boulogne. . . . .	116218	2	»	10	»	70 »	52 50	26 25
Calais . . . . .	155369	1	30	11	30	75 »	56 25	26 25

Ainsi, pour éviter une demi-heure de voyage en mer, un quart des voyageurs donnent la préférence à Calais sur Boulogne, bien que la durée du voyage entre Londres et Paris en soit augmentée d'une heure et demie et que le prix soit un peu plus élevé, et encore le nombre des voyageurs attribués à Boulogne comprend-il ceux qui se rendent à Londres par la Tamise. La même observation s'applique à la voie de Dieppe. Les voyageurs qui prennent cette direction sont transportés à très-bon marché et encore assez rapidement; mais ils ont trois heures de mer de plus que par Boulogne et trois heures et demie de plus que par Calais, et cela suffit pour que les voyageurs qui suivent cette ligne n'atteignent pas le tiers du nombre de ceux qui donnent la préférence à Boulogne, ni le quart de ceux qui prennent par Calais, quoique la différence de prix soit de près de moitié à l'avantage de la voie de Dieppe.

Il n'est donc guère douteux qu'une voie qui supprimera complètement la traversée n'accapare à peu près la totalité des voyageurs, et que le nombre de ceux-ci n'augmente même considérablement, beaucoup hésitant aujourd'hui à se mettre en route s'ils n'y sont pas absolument obligés.

On peut d'ailleurs se faire une idée des résultats qui seront obtenus, au double point de vue que l'on vient d'examiner, par ce qui a été constaté au sujet du chemin de fer de Liverpool à Manchester. En 1830, quand la ligne s'ouvrit, les transports s'effectuaient par voitures pour les voyageurs, par charrettes et par bateaux pour les marchandises. Le nombre des voyageurs était de 21,600 par an. Tout d'abord ce nombre fut quadruplé, bien que la vitesse ne fût que de 27 kilomètres à l'heure. En 1837, quand elle eut atteint 43 kilomètres, les voyageurs furent sept fois plus nombreux. Maintenant il y a trois lignes ferrées transportant annuellement plus de 750,000 voyageurs entre les deux villes.

Le transport des marchandises augmenta dans la proportion de 1,432 tonnes dans le premier mois, à 5,104 tonnes dans le quatrième mois, et s'est depuis constamment accru, bien que dans une proportion moindre que celui des voyageurs.

M. Bergeron termine en donnant un aperçu des produits financiers probables de l'entreprise.

Il admet qu'en 1880, époque où le chemin sous-marin pourra être achevé, en tenant compte de l'augmentation actuelle et assez régulière de 3 0/0 par

an que l'on remarque dans le nombre des voyageurs et d'une augmentation de 100 0/0 par suite de l'existence du tunnel, le transport des voyageurs s'étendra à un million de personnes par an et donnera une recette de 10 millions.

Un calcul analogue donnerait 2 millions 1/2 pour les marchandises à grande vitesse et les bestiaux, et 7 millions pour les marchandises à petite vitesse, soit en tout 19 millions 1/2, ou, en chiffres ronds, 20 millions.

Or, si l'on considère que dans le tunnel il n'y aura ni station, ni embranchement, ni changement de température nuisible à la voie, on pourra admettre que les frais d'exploitation, qui sont estimés en général à 45 0/0 de la recette brute sur les grandes lignes, ne dépasseront pas, sur cet ouvrage spécial, 33 0/0 (*M. Bergeron pense même qu'on pourrait, sans imprudence, les évaluer à 20 0/0 au minimum*). Le produit net annuel serait, dans ces conditions, de 13 millions, et, par suite, supérieur à l'intérêt à 5 0/0 du capital de 250 millions, que l'on considère comme un maximum absolu de la dépense totale du tunnel et des raccordements.

Si, ce qui est fort probable, le montant des travaux ne dépassait pas 120 ou 125 millions, les actionnaires recevraient plus de 10 0/0 de leur argent.

On peut donc dire que la construction du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, qui réaliserait un progrès immense pour le commerce et la facilité des voyages, serait en même temps une opération très-rémunératrice pour les capitaux que l'on y consacrerait.

## DISCUSSION.

M. GEORGES LEMOINE, ingénieur des ponts et chaussées, présente quelques observations sur la perméabilité des terrains que doit, selon toute probabilité, traverser le tunnel sous-marin. La craie se classe, à ce point de vue, entre les terrains complètement perméables, comme les sables ou les graviers, et ceux qui jouissent d'une imperméabilité absolue, comme les argiles ou les roches granitiques.

En dehors d'une certaine faculté d'imbibition dont le degré n'est pas absolument connu, on y rencontre assez fréquemment, de place en place, des fissures qui laissent passer de véritables nappes d'eau. Ce phénomène se présente notamment dans les couches supérieures du terrain crétacé. Il peut exister aussi, quoique à un degré moindre, dans la craie grise inférieure que l'on traversera, en sorte qu'après avoir cheminé pendant un certain temps dans des couches qui auront tous les caractères d'une imperméabilité presque complète, on pourra se trouver brusquement envahi par l'eau.

M. Georges Lemoine cite un travail qui a été récemment présenté par M. Priestwich à la Société des Ingénieurs civils de Londres, et dans lequel ce géologue déclare qu'il tiendrait le succès pour assuré si l'on opérât le percement dans les terrains paléozoïques, ce qui comporterait une profondeur de 1,000 pieds environ, tandis que l'opération lui paraît beaucoup plus hasardeuse dans les terrains crétacés; comme compensation à l'augmentation de dépense qu'entraînerait la solution qu'il indique, M. Priestwich fait observer qu'il y a

de grandes chances pour qu'à ce niveau on rencontre des couches de houille dont l'exploitation donnerait des produits considérables.

M. Georges Lemoine demande, en terminant, à M. Bergeron s'il pense que, dans le cas où l'on viendrait à reconnaître que le percement du tunnel est impossible ou trop dangereux, on pourrait aller chercher les terrains paléozoïques.

M. Achille BAZAINE fait remarquer que, dans sa récente communication sur la structure du département du Nord, M. Gosselet a signalé de fréquentes fissures dans la craie; il croit même se rappeler que ce géologue a parlé de la probabilité de l'existence de fissures semblables ou même d'une grande faille dans le détroit.

M. BERGERON n'ignore pas que plusieurs géologues, notamment MM. Priestwich et Gosselet, ont élevé des objections contre la possibilité du percement. M. Belgrand considère également les terrains crétacés comme peu favorables à une pareille entreprise, et il pense que les chances d'insuccès augmenteraient à mesure que l'on se rapprocherait des couches supérieures de la craie; mais plusieurs savants sont d'un avis contraire, et l'opinion de M. Priestwich, en particulier, a déjà été combattue et réfutée à la Société des Ingénieurs civils.

Il est certain qu'il subsiste encore quelques doutes à ce sujet; mais les travaux préparatoires que l'on se propose d'exécuter tout d'abord ont précisément pour but d'éclaircir ce point.

M. Bergeron revient sur les considérations déjà exposées par lui au Congrès de Lyon, au sujet des arguments que l'on peut tirer en faveur des chances de réussite de l'exemple des mines de Cornouailles et du pays de Galles.

Quant à l'idée d'aller chercher le passage dans les terrains paléozoïques, il la considère comme absolument impraticable. En dehors de la question de la dépense, qui deviendrait énorme par suite de l'augmentation de profondeur, quand bien même on viendrait à rencontrer quelques veines de houille exploitable, ce qui est très-douteux, les rampes de raccordement s'allongeraient nécessairement des deux côtés.

M. MASQUELEZ fait observer qu'il ne faudrait d'ailleurs pas désespérer du succès quand bien même on viendrait à se trouver en présence d'infiltrations d'une certaine importance; il rappelle, en effet, que dans la construction du tunnel de la Tamise, le célèbre ingénieur Brunnel rencontra, à deux reprises, de véritables irruptions d'eau qui noyèrent en partie les travaux, et dont il parvint à se rendre maître par des procédés ingénieux. Il y a donc lieu de croire qu'à moins d'être envahi subitement par des masses d'eau considérables, on pourrait triompher des infiltrations et continuer le percement.

Il prie M. Bergeron de vouloir bien faire savoir si l'on s'est préoccupé de la question de ventilation.

M. BERGERON répond affirmativement. Le système qui paraît le plus simple consiste à assurer le renouvellement de l'air par des tuyaux de fort diamètre, suspendus à la voûte, présentant, dans la partie centrale de la galerie une interruption de 150 à 200 mètres de longueur, s'élevant aux deux extrémités le long des puits, et communiquant à la surface du sol avec de hautes cheminées, où l'appel d'air serait activé par des foyers, des jets de vapeur, ou l'action

d'un ventilateur. Un courant continu s'établirait alors dans le tunnel, l'air frais descendant par les puits, ouverts à l'air libre à leur partie supérieure, et cheminant de part et d'autre vers la partie centrale de la galerie, pour remplacer l'air vicié qui sortirait par les tuyaux, appelé par le tirage des cheminées.

On pourrait également loger les tuyaux d'appel dans l'épaisseur des maçonneries des pieds droits; la communication de ces tuyaux avec l'intérieur de la galerie se ferait alors par des portes placées de distance en distance, dont on ouvrirait ou fermerait un certain nombre, suivant que l'on voudrait activer ou ralentir le renouvellement de l'air.

M. MASQUELEZ pense que la première solution serait préférable. Il craindrait qu'en plaçant les tuyaux dans l'épaisseur des maçonneries on ne risquât d'affaiblir celles-ci. Il est vrai que ce n'est qu'une question de surépaisseur à leur donner; mais il est inutile d'augmenter ainsi le cube des maçonneries quand on peut s'en dispenser par un autre procédé, et, d'ailleurs, lorsqu'on se trouve placé dans des circonstances où les infiltrations sont si redoutables, il vaut mieux écarter tout ce qui tendrait à diminuer l'homogénéité de la maçonnerie.

M. BERGERON fait remarquer qu'il ne peut donner à ce sujet que des indications très-sommaires, la question restant à étudier dans le détail; il a seulement voulu faire voir qu'on n'avait pas négligé de s'en préoccuper. C'est, d'ailleurs, une considération de première importance.

Un ingénieur anglais, M. Low, avait proposé une solution toute différente, qui aurait consisté à décomposer le tunnel en deux galeries de petite section et à une seule voie chacune, accolées l'une à l'autre, comme dans le tunnel de la Tamise.

Les trains circulants toujours dans le même sens dans chaque galerie, chacun d'eux aurait poussé devant lui la masse d'air vicié par le passage du train précédent, en déterminant en arrière un appel d'air frais; il pensait que la petite section des galeries suffirait pour produire un renouvellement, à peu près complet, de l'air à chaque passage de train; l'expérience a déjà condamné ce système qui n'est applicable qu'à des souterrains très-courts; dès que la longueur devient un peu considérable, la masse d'air qu'il faudrait mettre en mouvement, en avant du train, offre une résistance insurmontable, et il ne se produit qu'un appel d'air à peu près nul.

Ainsi, M. Bergeron cite ce qui s'est passé, il n'y a pas longtemps, au tunnel d'Albeyspère, sur le chemin de fer de Brioude à Alais; c'est un souterrain à petite section et à voie unique. Quoiqu'il n'ait pas une très-grande longueur, l'air ne s'y renouvelle que d'une manière insignifiante par le passage des trains; de plus, les gaz de la combustion, sortant avec force de la cheminée, viennent ricocher sur la voûte qu'ils rencontrent presque immédiatement et retombent sur le mécanicien et le chauffeur, qui se trouvent ainsi enveloppés d'émanations particulièrement dangereuses, au milieu d'une atmosphère déjà peu propre à la respiration. Ces circonstances ont donné lieu à des accidents graves, et un ordre de service récent a prescrit l'emploi, sur chaque train qui traverse ce tunnel, de caisses en tôle contenant de l'air comprimé, et d'où partent des tuyaux en caoutchouc qui l'amènent à la bouche du chauffeur et du mécanicien; ceux-ci peuvent, de la sorte, respirer de l'air pur pendant tout le

temps qu'ils sont entourés de gaz délétères. Cet exemple prouve à la fois l'importance d'une bonne ventilation et le danger d'une trop petite section, surtout pour des longueurs considérables.

M. THOMAS craint qu'en ne prenant l'air qu'à la partie supérieure de la galerie, on n'y laisse séjourner l'acide carbonique, qui, étant plus lourd, tendra à s'accumuler dans les couches inférieures.

On arriverait facilement à parer à cet inconvénient en établissant une double prise, l'une vers le sommet de la voûte, l'autre près des rails, si l'on craignait que le mélange du gaz ne fût pas suffisamment opéré par les courants d'air énergiques que détermineront, d'une part le passage des trains, de l'autre la ventilation.