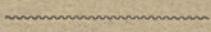


BIBLIOTHÈQUE
J. Gosselet

CHEMIN DE FER SOUS-MARIN

ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE



RAPPORTS

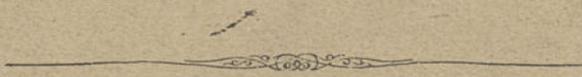
PRÉSENTÉS AUX MEMBRES DE L'ASSOCIATION

SUR LES

EXPLORATIONS GÉOLOGIQUES

FAITES

EN 1875 ET 1876

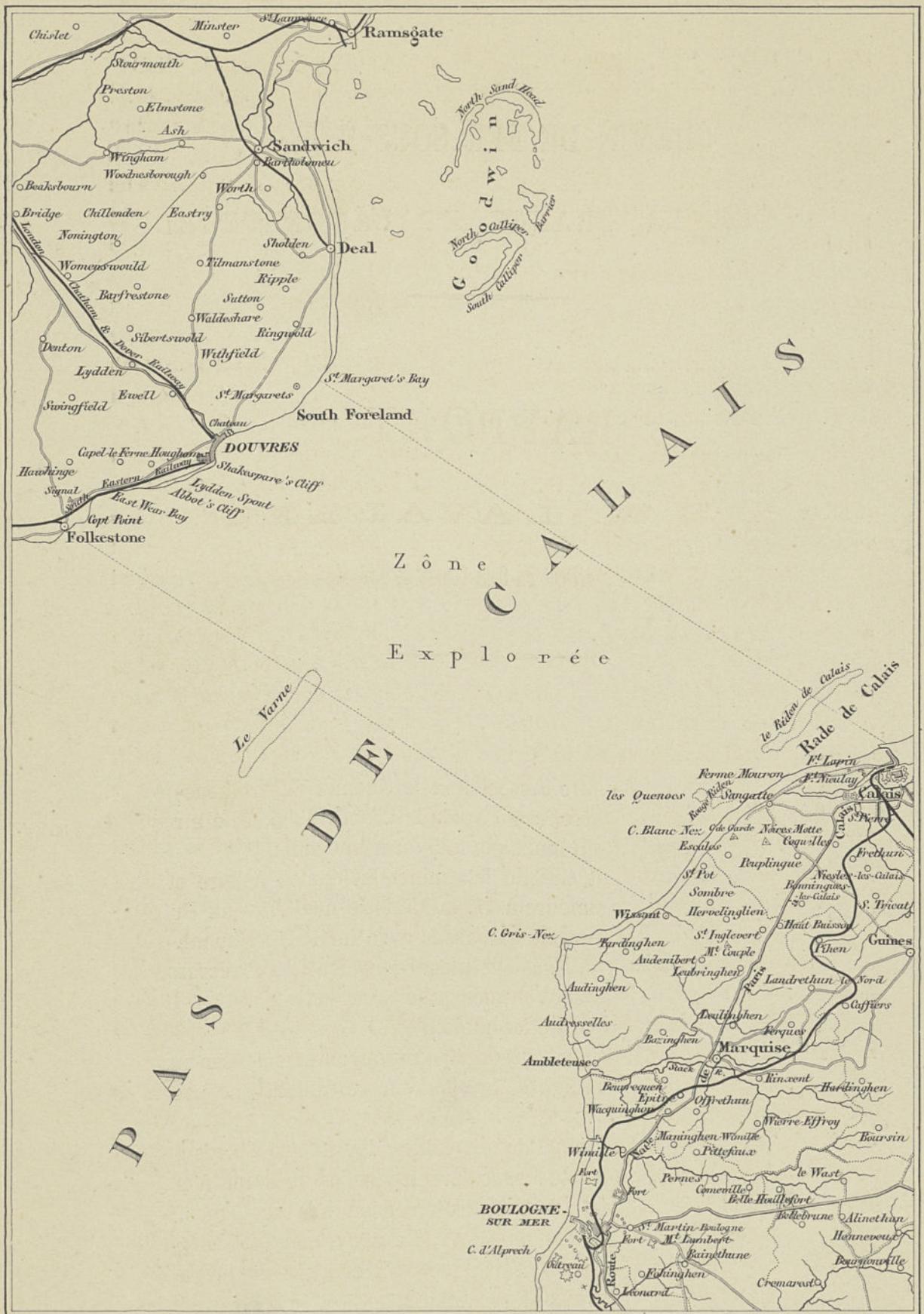


PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT

41, RUE JEAN-JACQUES-ROUSSEAU, 41

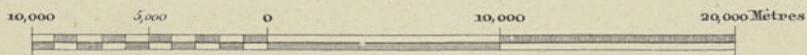
—
1877



Gravé chez L. Wührer, Sr. R. Gay-Lussac

Paris. Imp. Lemercier et C^{ie}

Echelle Métrique ($\frac{1}{320,000}$)



CHEMIN DE FER SOUS-MARIN
ENTRE LA FRANCE ET L'ANGLETERRE

RAPPORT
DE M. LAVALLEY

Membre délégué du Sous-Comité de direction

La loi qui a concédé à notre Association le Chemin de fer sous-marin entre la France et l'Angleterre, a été votée le 2 août 1875. Elle a reçu la signature du Président de la République le 5 du même mois.

Notre premier soin devait être de déterminer les études à faire et d'en dresser le programme à soumettre à M. le Ministre des Travaux Publics, suivant les termes de la Convention passée avec le Gouvernement. Pour établir ce programme, des études sur place pouvaient être nécessaires ; peut-être aussi quelques sondages en mer qui exigent la belle saison. Il était donc intéressant de ne pas perdre les mois d'été.

Le Comité de direction prit ses mesures pour pouvoir commencer aussitôt que le vote de la loi aurait eu lieu et profiter encore, autant que possible, de la campagne courante.

Le premier et le principal objet de nos études devait être l'investigation la plus complète de l'allure des couches dans lesquelles on aurait à creuser le tunnel. Nous devons donc nous assurer le concours de géologues.

A cet effet, sur la proposition de M. A. Lavalley, membre délégué, le Comité institua une Commission géologique qu'il chargea de préparer le programme des premiers travaux de recherches.

Cette Commission, présidée par M. Lavalley, fut composée : de M. Delesse, ingénieur en chef des mines, bien connu par ses nombreux travaux de géologie et notamment par son ouvrage sur la lithologie du fond des mers ; de MM. Potier et de Lapparent, ingénieurs des mines, attachés au service de la carte géologique de France. M. Potier, qui avait été chargé plus spécialement de la partie de cette carte qui comprend le Pas-de-Calais, avait ainsi eu l'occasion de faire une étude particulière des terrains de la région que doit traverser le tunnel. M. de Lapparent a fait partie de la première Commission qui examina, en 1869, le projet présenté alors au Gouvernement français par Sir John Hawkshaw et ses amis et, depuis lors, de toutes les Commissions qui ont eu à s'occuper du chemin de fer sous-marin.

A cette Commission fut adjoint un ingénieur hydrographe, dont le concours était indispensable dans la prévision de sondages en mer. Le choix du Comité se porta sur M. Larousse, ingénieur hydrographe de la Marine, qui comptait parmi ses nombreux travaux les études du golfe de Suez, de la baie de Péluse, la détermination du point de la côte le plus favorable pour le débouché du canal de Suez et où, depuis, fut construit Port-Saïd.

Le point de départ de nos études était nécessairement celui auquel s'étaient arrêtés les travaux de Sir John Hawkshaw et de ses collaborateurs et les recherches des divers géologues.

La Commission géologique, dont chacun des membres connaissait déjà toutes les études faites sur le sujet, rédigea, dès ses premières séances, une note dans laquelle, se trouvant en accord de vues avec la Commission des communications entre la France et l'Angleterre, elle recommandait comme le premier et le plus essentiel élément d'informations, la recherche, sur le fond du détroit et d'une rive à l'autre, de la ligne qui sépare au Sud-Ouest les terrains crayeux dans lesquels on se propose de creuser le tunnel, de ceux sur lesquels ils reposent.

Cette ligne, en France, fait la limite Nord du Bas-Bouloonnais ; elle disparaît sous la mer, à Wissant, pour reparaitre, à peine déviée, un peu au Nord de Folkestone. De là, elle continue de courir vers l'Est un peu Nord, limitant en Angleterre le Weald, comme elle limitait en France le Bas-Bouloonnais.

C'est à quelques kilomètres, et presque parallèlement à cette direction de Wissant à Folkestone, qu'il avait été proposé de creuser le tunnel.

Les géologues disent : Si les terrains crayeux ont été bouleversés dans le voisinage de leur limite, cette limite présentera nécessairement des irrégularités ; si, au contraire, la ligne séparative de ces terrains et des couches voisines est régulière et continue, c'est que les terrains n'ont pas été tourmentés, et le tunnel ira d'une rive à l'autre, sans rencontrer de changement brusque, de faille ou de cassure.

Avant d'exposer comment la recherche de cette ligne séparative ou

d'affleurement et les autres études faites jusqu'ici ont permis de déterminer la nature et la position des couches sous la partie du détroit où nous voulons le traverser, il est utile de rappeler quelle est la disposition générale des terrains qui constituent les bords et le fond du détroit dans la partie où doit être placé le tunnel.

Si, sur la plage anglaise, on suit le bord de la mer en allant de Folkestone vers Douvres, on trouve d'abord une côte assez plate, puis on voit le terrain se relevant brusquement, coupé à pic le long de la mer et présentant une falaise dont le pied disparaît sous les éboulis qui la séparent de la plage.

Le terrain sur lequel on marche alors est noirâtre, argileux, tandis que la falaise est blanche. Le terrain noirâtre est l'argile du gault sur lequel repose la masse de craie qui constitue le plateau élevé que nous venons de voir apparaître tout à coup et qui limite la plaine basse, peu accidentée, appelée le Weald. Ce plateau crayeux est légèrement incliné vers le Nord-Est. Partout où des puits y ont été creusés assez profondément, on a trouvé l'argile sous la masse de craie.

En examinant la falaise avec quelque attention, on reconnaît bientôt que cette masse crayeuse est formée d'assises plongeant légèrement vers le Nord-Est, comme plonge la surface du plateau. Ces assises diffèrent entre elles de hauteur, comme elles diffèrent par la nuance, la dureté, la finesse du grain, par l'absence ou l'abondance plus ou moins grande de silex qui s'y trouvent disséminés. Auprès de Folkestone, on ne les trouve que dans les assises les plus élevées; les bancs qui séparent ces assises du gault en sont exempts et sont, en général, d'une teinte plus grise.

En avançant vers Douvres, le sol sur lequel on marche change bientôt de nature; il devient crayeux. Les assises, que l'on voyait placées très-haut le long de East Wear Bay, se sont, par suite de leur inclinaison, rapprochées de l'observateur; celles du bas ont déjà disparu sous la plage. En continuant sa route jusqu'à Douvres et au delà, on voit ainsi successivement s'abaisser, puis disparaître sous la plage, toutes les assises qui, un peu auparavant, étaient au sommet de la falaise.

Ce sommet est assez fortement ondulé, mais sa hauteur moyenne ne diminue pas aussi vite que les assises s'abaissent. C'est qu'à mesure qu'on s'éloigne de Folkestone, de nouvelles assises viennent successivement se superposer aux précédentes, et compenser de leur épaisseur la quantité dont ces dernières se sont abaissées. La dernière de ces assises se montre sous le château de Douvres; à partir de ce point, elle forme, d'une façon continue, la partie supérieure de la falaise qui s'abaisse alors suivant la pente commune à tous les bancs qui la constituent.

Auprès de Deal, cette dernière assise de la craie est descendue au-dessous du niveau de la mer; la surface du plateau est alors formée des terrains plus récents qui se sont superposés à la craie.

L'observateur, qui aurait pu suivre ainsi le pied de la falaise, aurait donc vu à côté de lui, successivement, tous les différents bancs de craie.

Dans le long parcours où chacune des assises est visible, elle conserve invariablement, non-seulement sa constitution, sa couleur, mais encore à peu près son épaisseur, et, *par conséquent, sa hauteur au-dessus de l'argile du gault, puisqu'elle en est partout séparée par les mêmes couches.*

Si maintenant l'observateur passe en France, et qu'il suive encore le bord de la mer en partant de Wissant, il constate bientôt une grande ressemblance dans la conformation générale des deux côtes. Comme tout à l'heure, en partant de Folkestone, la côte est plate, puis après Saint-Pot, le terrain s'élève non brusquement comme au delà de Copt-Point, mais par une série d'ondulations qui limitent le Bas-Boulonnais, comme l'escarpement de Folkestone limite le Weald; du côté de la mer, il se termine également par une falaise crayeuse.

A Saint-Pot, on a sous les pieds l'argile observée à East Wear Bay, puis dans la falaise on retrouve dans le même ordre de superposition, avec la même composition, les mêmes épaisseurs et plongeant vers Sangatte, les assises de la falaise anglaise.

Cette identité entre les couches des deux rives, que révèle l'examen attentif des deux falaises, est encore confirmée par les résultats des sondages de Saint-Margaret, de Sangatte et de la ferme Mouron; les deux côtés du détroit présentent donc l'aspect symétrique de ceux d'une large tranchée qui aurait été ouverte à travers des bancs légèrement inclinés suivant la direction du canal qui unit la Manche à la mer du Nord.

Tout nous montre, en effet, que ce canal n'a pas toujours été ouvert, qu'il fut un temps, peut-être pas très-reculé, où un isthme séparait la Manche de la mer du Nord. Le bord Sud-Ouest de cet isthme s'élevait au-dessus de la Manche à la hauteur de la falaise de Folkestone ou du Blanc-Nez, et tombait vers la mer par un escarpement qui était la continuation de ceux que l'on voit, en face l'un de l'autre, dans les deux pays. Dans la direction du Nord-Est, l'isthme s'abaissait en pente douce jusqu'au niveau de la mer du Nord.

Le pied de l'escarpement du Sud-Ouest, miné par la mer, recula; l'isthme fut alors bordé par une falaise qui, attaquée à son tour, s'écroula petit à petit, comme on voit encore aujourd'hui se détruire les falaises des bords du détroit et celles des côtes de Normandie; la Manche s'avancit d'autant, et un moment vint où une communication fut ouverte entre les deux mers. Le passage alternatif des courants violents de flot et de jusant agrandirent et creusèrent l'ouverture et l'amènèrent à l'état où nous la voyons aujourd'hui, s'élargissant encore, lentement mais sans cesse, par la même destruction des falaises.

Au début, le gault formait la plage, au pied de la falaise bordant du côté de la Manche, l'isthme aujourd'hui disparu ; mais, à mesure que la mer avançait, le banc d'argile, plongeant vers la mer du Nord, disparaissait au-dessous du niveau de l'eau, puis, un peu plus tard, au-dessous du fond même du détroit. Ce fond s'établit alors dans la craie inférieure, puis dans la craie moyenne, et enfin dans la craie supérieure, à mesure que par leur plongement ces diverses couches descendaient successivement.

Si donc la mer était à sec, on verrait d'une rive à l'autre les bandes suivant lesquelles le fond a coupé en biseau les différentes couches. Si ces bandes sont continues, c'est que les couches le sont elles-mêmes ; si, au contraire, ces bancs sont disloqués, les bandes seront discontinues.

L'examen du fond du détroit donnerait d'autres indications encore. Il ferait connaître quelles seraient les couches que traverserait le tunnel si on le creusait dans une direction donnée, à une profondeur déterminée. Il suffirait pour cela de suivre le fond du détroit au-dessus du tracé projeté, et de reconnaître de temps en temps le terrain sur lequel on marcherait.

Nous savons, en effet, que le massif crayeux, dans la partie que traverse le détroit, est composé de couches qui, en partant de l'argile du gault, se superposent avec une régularité de composition et d'épaisseur que toutes les observations ont constatée. Si d'un lieu à un autre l'épaisseur totale de la craie varie, c'est par suite de l'absence d'un plus ou moins grand nombre des assises supérieures, et jamais par l'absence d'aucune des assises inférieures. En reconnaissant donc à quel banc appartient le sol au point où l'on se trouve, on sait de suite par combien de bancs, et, en conséquence, par quelle distance on est séparé, soit du gault, soit d'une quelconque des assises inférieures de la craie ; ou bien encore on peut, en tenant compte de l'inclinaison des couches, calculer facilement dans quelle assise se trouverait, en cet endroit, un tunnel creusé à une profondeur de 50, 60 ou 100 mètres.

Si la description qui précède a donné une idée assez nette de la disposition des terrains, on comprendra maintenant que, si l'on voulait faire dans le banc inférieur de la craie, par exemple, un tunnel réunissant la France à l'Angleterre, sans se préoccuper de son tracé et sachant seulement que les couches ne sont pas brisées, il suffirait d'entrer en souterrain en Angleterre, dans l'escarpement qui borde le Weald, de descendre parallèlement au bord du détroit, jusqu'à ce qu'on fût descendu plus bas que les points les plus profonds du détroit et de se diriger alors vers la France, exploitant le banc sans le quitter, comme les mineurs suivent les bancs de houille ou de minéral, se rejetant soit à droite, soit à gauche, d'après les inflexions de ces bancs.

Notre premier soin devait être de rechercher s'il serait possible de rapporter du fond du détroit, des échantillons assez nombreux pour tracer sur la carte, avec une exactitude suffisante, la forme des bandes d'affleure-

ment des différentes couches ; si, sur l'emplacement présumé de la ligne cherchée, les dépôts forment des bancs assez peu nombreux, assez peu étendus pour ne pas cacher à nos recherches des accidents de quelque importance. Il convenait aussi de s'assurer que les points des deux côtes, nettement visibles de loin, offraient à l'ingénieur hydrographe des repères placés de façon à lui permettre de reporter sur la carte, avec une exactitude complète, le point où chaque coup de sonde serait donné.

Une semblable étude du fond de la mer n'avait jamais été faite. Si les hydrographes de tous les pays ont cherché à reconnaître, pour la signaler sur leurs cartes, la nature du fond aux approches de terre, ce n'était qu'au point de vue spécial de la tenue des ancres. Leurs outils de sondage n'étaient pas disposés pour rapporter des échantillons suffisants pour éclairer les géologues. Les sondages à grandes profondeurs, récemment entrepris par le Gouvernement anglais dans un but purement scientifique, ne vont chercher au fond de la mer que les traces de la vie animale ou végétale ; ils ne tendent qu'à ramener un peu des dépôts qui couvrent ce fond.

Sir John Hawkshaw, seul peut-être, avait réussi, dans le détroit du Pas-de-Calais, à rapporter des échantillons capables de renseigner sur la nature des terrains qui constituent le véritable fond. Il nous envoya un des outils qui lui avaient servi ; cet outil se composait d'un assez long plomb de sonde portant, à la partie inférieure, un tube en fer à bord en biseau et aciéré, d'environ 0^m,15 de long et de 0^m,020 à 0^m,022 de diamètre intérieur.

Les recherches que nous fîmes d'un outil simple, peu exposé aux avaries, d'une manœuvre facile et rapide, et pouvant pénétrer profondément, nous conduisirent à adopter une sonde semblable à ce modèle, mais d'un poids un peu plus fort et pouvant recevoir des tubes de longueur et de diamètre variables.

Campagne de 1875.

Le 28 juillet, la Commission géologique, avec M. Lavalley, son président, et à laquelle s'était joint M. F. Raoul-Duval, membre du Comité, sortit de Boulogne sur un petit bateau à vapeur faisant habituellement le remorquage en ce port, et que les propriétaires avaient mis à la disposition du Comité. Dans cette journée, on donna cent coups de sonde.

Si tous les coups ne ramenèrent pas des échantillons utiles, la Commission put, du moins, constater que partout où il n'y aurait pas trop de sable au fond, la sonde essayée donnerait des indications suffisantes. Quant

aux opérations de l'ingénieur hydrographe, elles eurent l'exactitude absolue qu'il avait annoncée.

Ce ne furent pas les seuls résultats heureux de cette journée.

Un point situé près de la côte française était inquiétant. La ligne limite des terrains crayeux, dans la partie du rivage qui, devant Wissant, découvre à marée basse, se déviant de sa direction générale, court vers le Nord. Le point où elle reprend sa direction vers l'Ouest, pour sortir de la mer auprès de Folkestone, disparaît sous l'eau.

En ce point, le changement de direction est-il brusque comme celui que produirait une faille, ou se fait-il par une courbe plus ou moins adoucie résultant d'un plissement ?

Quelques échantillons obtenus le 28 juillet, donnèrent l'espoir, depuis changé en certitude, qu'il n'y a pas de faille près de la côte française.

Après ce premier essai, quelques jours furent employés à compléter les installations. L'Assemblée Nationale ayant alors adopté le projet de loi, les travaux de sondage furent définitivement entrepris.

Les opérations étaient ainsi conduites : M. Larousse dirigeait le bateau ; chaque jour il l'amenait au point où devaient commencer les sondages ; il le conduisait suivant les lignes convenues, rectifiant sans cesse la route que contrariaient les rapides courants du détroit. A des intervalles variant de cinq à dix minutes, il déterminait le point exact où l'on se trouvait et le marquait sur la carte. Cette détermination se faisait au moyen de l'observation de trois points remarquables des côtes.

Pendant ce temps, M. Potier ou M. de Lapparent, et quelquefois ces deux ingénieurs ensemble, faisaient ou surveillaient l'enregistrement des profondeurs observées et du moment précis de chaque coup de sonde. Ils examinaient les échantillons et les enfermaient dans des fioles préparées à cet effet. Ces échantillons ne furent définitivement classés qu'après leur transport à Paris, et à la suite d'un examen soigneux.

Lorsque la mer était trop agitée pour qu'on pût sonder ou que la brume cachait les côtes, MM. Potier et de Lapparent se livraient à une étude minutieuse des falaises des deux pays et des points voisins des côtes qui pouvaient ajouter à leur connaissance des terrains, et recueillaient des échantillons. *Ils constatèrent, une fois de plus, la parfaite identité de toutes les couches qui, dans l'un ou l'autre pays, composent le massif crayeux.*

Tous les soins nécessaires étaient pris pour la parfaite conservation des échantillons, pour qu'aucune erreur ne se glissât dans leur numérotage et dans celui des coups de sonde. Les travaux hydrographiques, les cartes, les calculs de correction des profondeurs sondées furent établis avec une précision qui peut paraître exagérée, mais on a tenu à écarter toute cause évitable d'incertitude, quelque minime qu'elle fût.

Le bateau sortit toutes les fois que le temps et l'état de la mer le per-

mirent, et les opérations ne furent arrêtées que vers la fin de septembre, quand l'équinoxe ramena les vents d'Ouest.

A ce moment, la ligne d'affleurement avait été coupée de nombreuses lignes de sondage, depuis la côte française jusqu'à la limite des eaux anglaises, c'est-à-dire sur environ 28 kilomètres.

La sonde avait été jetée 1,523 fois; 753 échantillons avaient été rapportés; 335 purent être classés avec certitude. Ils apprennent quelle est, en autant de points, la nature du sol.

La ligne limite des terrains crayeux se trouve nécessairement entre les points où l'on a constaté de la craie et ceux où la sonde a ramené des grès ou de l'argile.

Les coups de sonde utiles sont assez nombreux, et la ligne qu'ils déterminent est assez régulière pour que la Commission de géologie ait conclu des travaux de cette première année que :

« 1° Dans les eaux françaises, le changement de direction que faisait
« prévoir l'allure des couches à terre est dû à un simple pli ou bombement,
« sans fracture des couches inférieures de la craie (gault et craie de Rouen);
« de plus, dans cette région tourmentée, le plongement moyen des couches
« n'excède pas 10 0/0.

« 2° Depuis les eaux françaises jusque vers la limite des eaux anglaises,
« aucune faille produisant un rejet de quelque importance ne traverse la
« région explorée; par suite, aucune faille ayant la direction Nord-Nord-Est
« (c'est la direction des accidents secondaires du Weald et du Boulonnais)
« ne viendra compromettre l'exécution du tunnel projeté dans la partie
« correspondant aux affleurements reconnus. »

Passant ensuite au programme des recherches à exécuter, la Commission recommandait de faire :

« 1° Une série de sondages rapprochés, destinés à étudier les eaux
« anglaises avec la même précision que les eaux françaises, afin de déci-
« der si le rejet vers le Nord, que paraît subir l'affleurement de la craie
« glauconieuse, est dû à un pli ou à une faille;

« 2° Des sondages dans les environs immédiats du tunnel, dans le but
« de rechercher, s'il est possible, l'affleurement de la base de la craie
« blanche ou supérieure proprement dite (Chalk with numerous flints, de
« Phillips);

« 3° Quelques lignes de sondages reliant ceux du tunnel à la région
« explorée, afin de recueillir les éléments de coupes parallèles à l'axe du
« détroit;

« 4° Quelques sondages dans les lacunes que présentent les lignes déjà
« exécutées;

« 5° Sur terre, dans les environs immédiats du village de Sangatte, un sondage qui devra être poussé au moins jusqu'à 10 mètres au-dessous du gault.

« Lorsque ces travaux seront terminés », dit enfin le procès-verbal de la dernière séance de la Commission géologique, « le fonçage d'un puits à grande section et le percement d'une galerie d'essai pourront seuls jeter de nouvelles lumières sur la constitution géologique du détroit. »

Nous croyons devoir appeler l'attention sur l'importance des résultats acquis dans cette courte campagne de 1875.

Sir John Hawkshaw avait fait sonder la région comprise entre la ligne d'affleurement du gault et la ligne de Saint-Margaret's Bay à la ferme Mouron. Toutes les indications recueillies rassuraient contre l'existence de toute interruption dans la continuité des bancs crayeux, et confirmaient l'opinion des géologues généralement contraire à l'hypothèse qu'il y eût une fracture importante.

Mais, en dehors des grands accidents qu'on ne pouvait plus craindre, il importait de savoir si quelque dislocation des diverses couches crayeuses n'apporterait pas des difficultés sérieuses à l'exécution du tunnel, si la galerie cheminant dans la craie ne rencontrerait pas tout à coup les terrains inférieurs brusquement soulevés, ou bien, au contraire, les couches supérieures de la craie abaissées, et, dans l'un ou l'autre cas, des quantités d'eau considérables.

L'entreprise devait-elle donc se poursuivre jusqu'au bout sous la menace de telles éventualités? n'y avait-il aucun moyen de s'assurer, avant de commencer, que les différentes assises de la craie visibles en France et en Angleterre se continuent d'une rive à l'autre, non-seulement sans fracture, mais même sans plissements importants?

Des puits et des galeries conduites à une certaine distance à partir de l'une et l'autre rive, pourraient donner sans doute de précieux renseignements sur l'imperméabilité et la solidité des étages inférieurs de la craie dans lesquels on espère cheminer. Mais, disait-on avec raison, ces galeries relativement courtes n'apprendront rien sur la grande distance qu'elles n'auront pas encore traversée. Les sondages de Sir John Hawkshaw n'ont rencontré, il est vrai, que de l'alluvion et de la craie dans le fond du détroit sur le tracé probable du tunnel, mais toutes les assises des terrains crayeux ne sont pas à beaucoup près également favorables à l'exécution du souterrain.

Un seul moyen se présentait de connaître au moins très-approximativement la nature et la configuration des couches sur le tracé du tunnel : c'était, comme nous l'avons dit, de chercher, en multipliant les sondages, les lignes qui séparent les différentes assises de la craie les unes des autres ou leur ensemble, des terrains sur lesquels il repose.

Parviendrait-on à retrouver ainsi ces lignes sous des profondeurs d'eau atteignant et dépassant même 50 mètres et malgré la présence de nombreux dépôts d'alluvion? L'expérience a répondu affirmativement.

La méthode proposée et spécifiée ci-dessus pour l'investigation de l'allure des couches est applicable, et son application a donné, pour toute la partie explorée (28 kilomètres sur un peu plus de 34, distance totale des deux rives), les renseignements les plus satisfaisants.

Les travaux de l'année 1875 permettaient (sauf quelques lacunes qu'on n'avait pas eu le temps de combler dans cette première campagne, mais qu'on a comblées en 1876), de tracer sur la carte, non-seulement la ligne de séparation de la craie et de l'argile du gault sur lequel elle repose, mais encore la ligne qui sépare deux des différentes assises de la craie.

L'inspection de ces lignes ne montre, sur la partie du tracé du tunnel correspondant aux 28 kilomètres explorés en 1875, aucun indice de rupture pouvant compromettre l'exécution du souterrain.

Campagne de 1876.

Les travaux de la campagne dernière (année 1876) ont été poursuivis suivant le programme indiqué dans notre rapport sur la campagne de 1875, et conformément aux propositions de la Commission géologique.

Ce programme, qui a obtenu l'approbation de M. le Ministre des Travaux Publics, consistait à continuer les sondages en mer aussitôt que la saison le permettrait, et à faire un sondage profond à terre dans les environs du village de Sangatte.

Ce sondage devait être poussé jusqu'à 10 mètres au moins en dessous de l'argile du gault, c'est-à-dire en dessous du banc sur lequel reposent les couches crayeuses. Il fut commencé en février 1876, et arrêté à la profondeur de 129 mètres, qu'il avait atteinte le 21 octobre suivant.

L'emplacement choisi est à environ 700 mètres au Nord-Est du clocher de Sangatte, à une quinzaine de mètres à l'Est de la route de Calais à Sangatte, à 150 mètres environ du bord de la mer.

Ce sondage avait pour but à la fois de vérifier, par la profondeur à laquelle on rencontrerait les différentes assises, ce que nos études nous avaient appris sur l'allure des couches, et d'étudier la perméabilité relative des différentes assises de la craie.

La craie a été traversée et le gault atteint à la profondeur prévue de 100 mètres.

Pour apprécier le plus ou moins de perméabilité des différents bancs de craie, on plaçait, au fur et à mesure que la sonde arrivait dans un nouveau banc, et à l'intérieur du tubage déjà placé, une nouvelle série de tubes, qui, garnis extérieurement de ciment, empêchaient l'eau des couches supérieures de se confondre avec celle de la couche à étudier; puis on installait une pompe, et on jugeait la quantité d'eau qu'il fallait extraire pour abaisser, puis maintenir l'eau dans le sondage à une hauteur déterminée au-dessous de son niveau naturel.

Ce niveau naturel variait avec la marée, montant et descendant comme elle, mais avec moins d'amplitude, et sa hauteur moyenne était celle du niveau moyen de la mer.

La comparaison des quantités d'eau extraites aux différents degrés de percement fournit le renseignement recherché.

On sait que le terrain crayeux, dans sa partie supérieure, est constitué par une craie blanche ne contenant qu'une quantité très-faible d'argile, et traversée de fissures et de délits nombreux qui laissent passer l'eau avec une grande facilité. La partie inférieure, au contraire, est mélangée d'une forte proportion d'argile, qui lui donne, en outre d'une certaine plasticité, grâce à laquelle elle a pu se prêter, sans se fissurer, aux déformations résultant des mouvements géologiques postérieurs à sa formation, une imperméabilité qu'on a constatée pendant le percement de tous les puits creusés dans le Nord de la France, à la recherche des gisements houillers. Si, dans ces travaux, on rencontre de l'eau en plus ou moins grande abondance dans la première partie de l'opération, on cesse d'en trouver dès qu'on arrive aux bancs inférieurs, que les mineurs du Nord nomment les Dièves.

Nous avons choisi, pour faire notre sondage, un point situé sur le bord de la mer, et où ces terrains devaient se rencontrer à peu près à la profondeur à laquelle on doit les prendre pour y ouvrir le tunnel; ils y sont donc soumis à la même pression d'eau que sous le détroit sur le tracé du tunnel, et leur étanchéité a été trouvée presque absolue.

Nous nous sommes ainsi assurés que si le tracé du tunnel peut être maintenu dans la craie inférieure, le percement ne rencontrera pas de difficultés résultant de l'affluence de l'eau.

Pour que le tunnel puisse être fait dans ces bancs, il faut non-seulement qu'ils soient continus d'un rivage à l'autre, mais encore qu'ils soient assez faiblement ondulés pour permettre d'y placer un tracé convenable, ayant, à partir de son milieu, une pente régulière à droite et à gauche, qui ramène les eaux de suintement aux puits des deux bords.

Les sondages en mer avaient pour but de chercher à constater cette continuité et l'importance des ondulations.

Nous avons, dans la campagne de 1875, donné 1,523 coups de sonde avec des installations faites à la hâte. Des dispositions plus complètes furent prises pour la campagne dernière. La Compagnie de remorquage de Boulogne qui, en 1875, avait mis à notre disposition un bateau à vapeur d'un faible tonnage, a pu nous louer en 1876 un bateau plus grand et sur lequel le personnel était plus commodément installé pour le travail et les observations. Une petite machine à vapeur relevait le plomb rapidement, et dispensait l'équipage de ce travail pénible qui avait obligé à mettre un certain intervalle entre les coups de sonde successifs.

Nous avons pu ainsi, pendant la saison favorable, c'est-à-dire du 21 juin au 14 septembre, donner 6,148 coups de sonde.

La totalité des coups de sonde donnés est donc de 7,671, sur lesquels 3,267 ont fourni des échantillons que la Commission géologique a pu presque tous classer.

Cette grande proportion des coups de sonde utiles est due à ce que, par suite de la rapidité des courants de flot et de jusant resserrés au passage du détroit, le fond est, dans la plus grande partie, exempt d'alluvions, de sable ou de gravier, et que ces alluvions, quand elles existent, ne forment que des dépôts peu étendus. Il n'y a ainsi, nulle part, d'espace un peu considérable dont on n'ait pu reconnaître le terrain.

Comme dans la campagne précédente M. l'ingénieur hydrographe Larousse dirigeait l'opération et faisait lui-même les observations qui devaient servir à déterminer exactement le point où on laissait tomber le plomb. MM. les ingénieurs des mines Potier et de Lapparent indiquaient les points du détroit que l'on devait explorer.

La partie voisine de la côte française avait été à peu près complètement étudiée en 1875. Les sondages avaient été continués, mais à grands intervalles, jusque près des eaux anglaises, dans lesquelles nous n'avions pas cru devoir entrer sans avoir, au préalable, obtenu l'autorisation du Gouvernement Britannique. Cette autorisation, demandée au commencement de 1876, nous fut aussitôt accordée. M. Larousse avait besoin, pour déterminer avec précision les positions des sondes, dans la moitié du détroit qui touche à l'Angleterre, de connaître certains éléments de la triangulation secondaire de la Grande-Bretagne. Ces renseignements lui ont été communiqués avec la plus grande obligeance, par la Direction de l'Ordnance Survey. On a pu ainsi étendre, cette année, les recherches sur toutes les parties du détroit.

Les sondages effectués pendant cette dernière campagne, dans le milieu du détroit du Pas-de-Calais, ont confirmé les conclusions tirées des sondages de l'année précédente. A partir du point situé près de la côte française, où se termine l'inflexion des couches autour du banc des Quénocs jusqu'au delà du banc de Varne, les couches se continuent sans dislocation et avec des ondulations très-faibles.

Sur la côte anglaise, la direction des affleurements indique l'existence, non loin de terre, d'un accident qu'il importait d'étudier avec précision. La proximité de la côte, qui permettait d'opérer même avec un peu de brume, et l'absence presque complète de sable et de gravier, ont permis de multiplier à volonté les lignes de sondage, et de reconnaître le fond en tous les points où l'on jugea utile de le faire. L'étude de ce point fut donc très-complète, et la Commission géologique a pu dire, dans son rapport, que « cette « portion du détroit est aussi bien connue que les régions terrestres où la « craie affleure à la surface du sol ». Et elle ajoute : « Ces deux points, les « plus importants de la structure géologique du détroit (le plissement des « Quénocs et celui de la côte anglaise), se trouvent ainsi entièrement « élucidés ».

Les échantillons recueillis dans les sondages furent envoyés à Paris, où MM. Potier et de Lapparent, par un examen attentif et en recourant au besoin à l'analyse chimique, purent reconnaître avec certitude à quelles assises de la craie ils appartenaient.

Le résultat de toutes ces études est représenté sur une carte jointe à ces rapports. Cette carte dressée par M. Larousse donne exactement la position de chacun des coups de sonde, désigné par un numéro. L'échantillon, portant le même numéro renseignait sur la nature du terrain constituant le fond en ce point. On marqua alors chacun des points sur la carte, de la couleur par laquelle on était convenu de désigner telle ou telle couche, puis on étendit chacune des teintes sur toute la partie de la carte qui ne contenait que des points de même couleur.

Les bandes plus ou moins régulières, rouge, verte, jaune de la carte, représentent donc les zones dans lesquelles, si le détroit était mis à sec, on verrait le terrain formé d'argile, de craie de Rouen, etc.

Pour compléter la description de cette carte, nous dirons que les nombreuses lignes brisées qui y figurent, représentent les chemins parcourus par le bateau pendant les sondages ; les points placés sur ces lignes indiquent les coups de sonde infructueux, les petits ronds noirs, ceux, au contraire, qui ont fourni des échantillons. Chacun des points et des ronds devrait porter un numéro, mais pour ne pas encombrer la carte de trop de chiffres, on n'a inscrit que les numéros des extrémités des lignes ; ces numéros permettent de retrouver facilement chacun des autres.

Les teintes bleues, plus ou moins foncées, correspondent aux différentes profondeurs de la mer ; les parties les plus claires indiquent des fonds de moins de 10 mètres au-dessous du niveau moyen des plus basses mers, plan de comparaison adopté ; celles de la nuance un peu plus accusée, les fonds de 10 à 20 mètres, et ainsi de suite, jusqu'à la teinte la plus sombre, qui indique des fonds de 70 à 80 mètres.

Les trois lignes courbes au carmin, qui vont d'une rive à l'autre, indi-

quent les lignes suivant lesquelles la surface du gault se trouve à 50, à 100 et à 150 mètres au-dessous. La ligne à 50 mètres est celle qui se trouve le plus au Sud, la ligne à 150 mètres le plus au Nord.

On a joint à la carte, une coupe représentant la disposition et l'épaisseur des couches de craie et du gault, telles qu'elles se trouvent à la falaise du Blanc-Nez et dans le forage de Sangatte.

Les résultats des études faites jusqu'ici peuvent se résumer ainsi :

L'ensemble des bancs inférieurs de la craie, ensemble qu'on désigne sous le nom de craie de Rouen, est presque complètement imperméable.

Chacun des bancs, dont la superposition constitue le massif crayeux dans le voisinage du détroit, aussi bien en France qu'en Angleterre, se présente partout où l'on a pu les étudier, avec la même composition et la même épaisseur. Tout tend à montrer que cette régularité se maintient dans la traversée du détroit.

Il en résulte que, si en un point quelconque, à terre ou sous l'eau, on a reconnu le banc qui constitue la surface, on connaît, comme si l'on y avait creusé un puits, la série des bancs dont est formé le terrain jusqu'à la rencontre de l'argile du gault, et par suite aussi, la profondeur à laquelle se trouve cette argile.

Les sondages superficiels du fond de la mer suffisent donc pour déterminer la position des couches en chacun des points d'où la sonde a rapporté des échantillons. Ces points sont très-nombreux, et les espaces sur lesquels ils manquent complètement sont trop peu étendus pour qu'un accident ou une ondulation de quelque importance ait pu nous échapper.

Les explorations ont porté sur toute la zone où le tunnel paraissait devoir être praticable. Au Sud-Ouest, se trouvent des terrains qui rendraient le percement très-problématique; au Nord-Est, le terrain crayeux s'est enfoncé à de trop grandes profondeurs.

Dans cette zone, les couches sont continues, et, par suite, il est possible de passer d'un côté du détroit à l'autre en se maintenant dans telle partie que l'on voudra du système crayeux.

Au point où sont arrivées nos études, nous pouvons fixer dès à présent l'emplacement du puits qui doit servir à l'extraction des déblais du tunnel, et la direction de la galerie par laquelle les eaux de suintement seront amenées à ce puits.

Les premiers kilomètres de cette galerie seront précisément creusés dans la région voisine de la côte française, où l'allure des couches, généralement régulière dans le détroit, subit un dérangement notable; l'exécution de cette galerie, sur une faible longueur, renseignera donc sur toutes les difficultés

que peut présenter le percement du tunnel projeté, et donnera, en les précisant, une certitude absolue aux déductions tirées de l'étude géologique de la surface.

Les connaissances acquises par ces travaux, jointes à celles que nous avons maintenant sur l'allure des couches de la craie, permettront de choisir le tracé qui satisfera le mieux aux conditions d'économie dans la construction, de facilités dans le raccordement avec les chemins de fer existant dans l'un et l'autre pays, et de commodité, rapidité et sécurité dans l'exploitation.

Si ce tracé s'écarte de celui de Sir John Hawkshaw, ce ne sera que d'autant qu'il sera nécessaire pour rester dans les couches inférieures de la craie de Rouen qui sont les moins perméables.

Les points d'arrivée des galeries d'écoulement, sur les côtes anglaise et française, peuvent rester sensiblement les mêmes que dans le projet de Sir John Hawkshaw et alors il suffirait, pour que le tunnel ne sortit pas des 30 ou 40 mètres immédiatement au-dessus du gault, de dévier le tracé dans l'intervalle de ces deux points.

Cette déviation conduirait, il est vrai, à substituer deux alignements à un seul, mais comme ces deux alignements seraient raccordés par une courbe de très-grand rayon; comme, en outre, nous sommes assurés que cette légère complication dans le tracé n'amènerait pas la moindre incertitude sur la rencontre, sous le fond du détroit, des galeries partant de chaque rive, il n'y aurait à ce changement d'autre inconvénient que celui de l'allongement du parcours, allongement, du reste, sans importance par rapport à la longueur totale du chemin de fer sous-marin.

S'il devait y en avoir un, il disparaîtrait assurément en présence de l'avantage de ne pas sortir des terrains que nous avons indiqués, avantage dont dépend peut-être la certitude de conduire à bonne fin, sans dépenses extraordinaires, une entreprise qui est destinée à développer, dans des proportions considérables, les relations commerciales et la prospérité des deux pays de France et d'Angleterre.

Le 2 mai 1877.

Le Membre délégué du Sous-Comité de direction,

A. LAVALLEY.

EXPLORATION DU DÉTROIT EN 1875 ET 1876.

RAPPORT

DE L'INGÉNIEUR HYDROGRAPHE.

Pendant l'été de 1875 et celui de 1876, nous avons été chargé d'exécuter des sondages dans le Pas-de-Calais, entre le cap Blanc-Nez, Douvres et Folkestone, en vue de déterminer les affleurements de la craie de Rouen sur le fond de la mer, entre la France et l'Angleterre.

Par suite du vote tardif de la concession, la campagne de 1875 avait dû être organisée très-rapidement, alors que la belle saison était déjà commencée; elle avait cependant permis de constater la possibilité d'arriver, par ce procédé, à la connaissance de l'allure des terrains crétacés, dans le détroit; on avait pu même étudier avec détail la région voisine de la côte française et faire une reconnaissance sommaire de la partie centrale, jusqu'à la limite des eaux anglaises.

Ces travaux ont été complétés en 1876 avec des moyens plus puissants et préparés à loisir. Les opérations ont été multipliées sur tous les points du détroit, en suivant à cet égard les indications des ingénieurs chargés de la partie géologique, et, le Gouvernement de Sa Majesté Britannique ayant bien voulu donner l'autorisation nécessaire, la région des eaux anglaises qui réclamait une étude spéciale a été l'objet d'une reconnaissance détaillée, facilitée par le grand nombre d'échantillons que la sonde rapportait dans cette partie.

Nous allons rendre compte des opérations exécutées dans l'ensemble des deux campagnes, en reprenant, pour les compléter, les explications données dans notre rapport de l'an dernier. Nous n'aurons, d'ailleurs, à parler des résultats obtenus qu'au point de vue hydrographique, c'est-à-dire en ce qui concerne seulement la détermination des positions des sondes et des profondeurs.

Pour faire connaître ces résultats, nous avons dressé les six cartes suivantes :

1° Une carte hydrographique des eaux françaises devant Sangatte et Blanc-Nez, à l'échelle moyenne de $\frac{1}{20.000}$, donnant toutes les profondeurs qu'il a été possible d'inscrire sans confusion ;

2° Une carte hydrographique des eaux anglaises, entre Saint-Margaret's et Folkestone, à la même échelle ;

3° Une carte hydrographique de l'ensemble du détroit, à l'échelle moyenne de $\frac{1}{50.000}$;

4°, 5°, 6° Trois cartes comprenant les mêmes zones et dressées aux mêmes échelles que les précédentes, préparées spécialement pour recevoir les renseignements géologiques résultant de l'examen des échantillons. Les profondeurs n'y sont données que par des lignes de niveau, tracées de mètre en mètre sur les cartes à $\frac{1}{20.000}$, et à des intervalles de 2^m,50 sur la carte à $\frac{1}{50.000}$. Les lignes d'opération y sont indiquées avec les positions de toutes les sondes et les numéros d'ordre d'un certain nombre, de manière à pouvoir retrouver facilement la position d'une sonde, d'après son numéro (1).

Dans les explications que nous allons donner, nous suivrons l'ordre des opérations que comporte l'exécution des travaux hydrographiques, savoir :

1° La détermination des positions des points à terre, qui doivent servir à fixer la position des sondages ;

2° L'exécution des sondages et la détermination de leur position ;

3° Les observations de marée, destinées à rapporter les profondeurs à un plan horizontal.

(1) On s'est borné, cette année, à publier la carte géologique du détroit à l'échelle de $\frac{1}{50.000}$, qui résume tous les documents.

I.

DÉTERMINATION DES POSITIONS DES POINTS A TERRE.

Lorsque nous avons été chargé de l'exploration du détroit, nous n'avions ni le temps ni les moyens de procéder à une triangulation comprenant les points remarquables des deux côtes susceptibles d'être relevés de la mer.

Heureusement, la triangulation exécutée en 1835 et 1836 par les ingénieurs hydrographes avait relié au réseau géodésique de la méridienne de Dunkerque les points principaux de la côte française. Quelques-uns de ces points subsistent encore, comme le phare de Calais, le clocher de Sangatte, le phare de Gris-Nez; d'autres points, sur lesquels avaient été placés des signaux, ont pu être reconnus, soit d'après les repères, soit d'après la configuration du terrain, tels que le signal des Noires-Mottes, le corps de garde de Blanc-Nez, le signal du mont Couple. De plus, cette triangulation avait rattaché aux points précédents, avec une exactitude suffisante (1), quelques signaux de la côte anglaise, tels que le signal de Fairlight, le signal de Folkestone, la tour nord du château de Douvres, le grand feu de South Foreland, et ces premières données nous ont suffi pour repérer avec exactitude les opérations de 1875, exécutées principalement dans la partie française du détroit.

L'année suivante, nous avons eu besoin de quelques autres points de la côte anglaise; ces points font partie du réseau de la triangulation secondaire de la Grande-Bretagne, dont les éléments nous ont été communiqués avec beaucoup d'obligeance par la direction de l'Ordnance Survey, à Southampton; et comme les triangulations anglaises ont, avec la triangulation hydrographique, un côté commun (*signal Fairlight, signal Folkestone*), nous avons pu facilement rattacher à cette dernière, les points suivants: le clocher de Saint-Mary de Folkestone, le clocher de Hougham, le clocher de

(1) En 1862, des opérations géodésiques ayant pour but de relier les triangulations de la France et de l'Angleterre ont été exécutées par des officiers d'état-major, partant de la méridienne de Dunkerque, et par des officiers de l'Ordnance Survey, partant des bases anglaises, et les résultats obtenus par les deux brigades opérant isolément se sont parfaitement vérifiés.

Or, les officiers anglais ont trouvé, pour la distance du signal Fairlight au signal Saint-Inglevert ou signal du mont Couple 76373^m,85

Les officiers d'état-major donnent pour ce même côté 76374^m,55

D'autre part, la distance de ces deux points, déduite des positions données par la triangulation hydrographique de 1835, serait de 39,186 T. 6 ou 76376^m,00

La différence avec les résultats précédents est sans importance, eu égard à la longueur totale.

Saint-Margaret's, et le mât de pavillon du château de Douvres, qui s'accorde très-bien avec la position déjà donnée pour la tour nord du donjon.

C'est ainsi que nous avons réuni, dans un même réseau géodésique, les points remarquables des deux côtes qui nous ont servi à déterminer les positions des sondes; il sera, plus tard, très-facile d'y rattacher les puits d'accès du tunnel, et d'en déduire les éléments du tracé, tels que la longueur des galeries et leur direction.

Mais pour avoir la plus grande précision possible, il sera alors nécessaire de refaire les calculs de ce réseau, en prenant pour base la récente triangulation du détroit exécutée en 1862 par l'état-major conjointement avec les officiers de l'Ordnance Survey; ce travail présente, en effet, des garanties d'une exactitude presque absolue, en raison des vérifications dont il a été l'objet; les différences auxquelles conduiront les nouveaux calculs seront d'ailleurs très-faibles; elles n'auraient eu aucune importance sensible sur les résultats de nos travaux, et nous avons préféré ne pas nous en occuper quant à présent, pour ne pas retarder la publication des cartes. Nous avons seulement modifié légèrement les longitudes données dans la triangulation hydrographique de 1835. En adoptant, pour le mont Couple, la position indiquée en 1862 par l'état-major, nous avons dû diminuer les anciennes latitudes de 3''6, et les longitudes de 4''' en moyenne.

II.

EXÉCUTION DES SONDAGES.

Chaque sondage donnait lieu à trois opérations distinctes : la mesure de la profondeur, la prise des échantillons, et la détermination de la position de la sonde.

En outre, cette position devait être rapportée presque immédiatement sur les cartes. Il fallait, en effet, bien souvent, revenir sur des points déjà étudiés, intercaler de nouvelles opérations entre les anciennes, rapprocher, en un mot, les sondes autant que possible, tout en les répartissant convenablement dans la zone à explorer; et pour satisfaire à ces conditions, dans une mer où les courants atteignent généralement trois nœuds, il fallait se rendre compte assez exactement de la position du bateau à chaque opération.

Nous avons dit que la première campagne avait dû être organisée à la

hâte. Le seul bâtiment qu'on avait pu mettre à notre disposition était un petit remorqueur du port de Boulogne, le *Pearl*, dont les installations insuffisantes rendaient le travail long et pénible; l'emplacement convenable pour observer la position était très-restreint, la construction de ces positions sur la carte très-difficile, et la manœuvre de la sonde se faisait exclusivement à la main, au moyen d'une équipe de douze hommes, qui avait à peine la place nécessaire pour hâler la ligne.

L'année suivante, au contraire, nous avons eu un autre remorqueur du même port, l'*Ajax*, très-convenablement disposé pour ce genre de travail; une large passerelle, réunissant les deux tambours, donnait tout l'espace nécessaire pour observer et rapporter la position du navire, et la ligne de sonde était relevée au moyen d'un treuil à vapeur.

1° **Manœuvre de la sonde et mesure de la profondeur.** — Les lignes employées pour la sonde étaient des lignes de chanvre bien travaillées de 18 à 20 millimètres de tour, divisées de mètre en mètre, et dont on mesurait les variations avant et après chaque période de travail; le plomb attaché à l'extrémité pesait environ 50 kilogrammes.

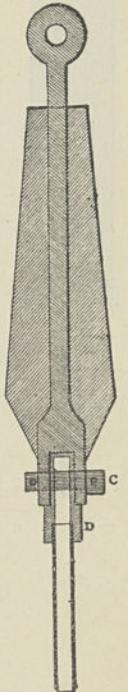
La manœuvre se faisait à l'arrière des tambours de la façon suivante : le bâtiment étant stoppé, le plomb était envoyé au commandement du chef d'équipe; il ne mettait guère que 5 à 10 secondes pour descendre, et en le lançant convenablement, on pouvait facilement avoir le fond bien à pic. La profondeur indiquée par les divisions de la ligne était alors annoncée et inscrite sur les registres d'observation en regard du numéro d'ordre de la sonde, et le plomb était immédiatement relevé, soit à la main pendant la première campagne, soit au moyen du treuil à vapeur pendant la seconde.

Ce treuil était alimenté par une petite chaudière verticale indépendante de la machine du bateau; toute l'installation était concentrée dans un petit espace sur le pont, à l'arrière de la cheminée, et surveillée par un seul homme; elle permettait de relever le plomb beaucoup plus rapidement qu'à la main et sans trop fatiguer l'équipage; aussi, a-t-il été possible de multiplier considérablement les sondes pendant la dernière année.

2° **Prise des échantillons.** — Les plombs qui ont été employés pour obtenir des échantillons étaient semblables à ceux dont sir John Hawkshaw s'est servi pour les explorations à la suite desquelles cet ingénieur a dressé l'avant-projet du tunnel; ils avaient la disposition indiquée ci-contre (Fig. 1).

La partie inférieure est formée d'un tube creux, dont l'extrémité aciérée est taillée en biseau extérieurement pour pénétrer plus facilement dans le sol, et taraudée intérieurement pour retenir l'échantillon; le tube est vissé

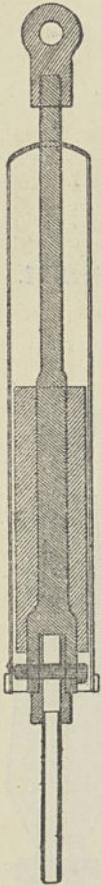
Fig. N° 1.



sur une douille D, fixée elle-même à la tige du plomb par une simple clavette C; plusieurs trous percés sur les côtés du tube permettent à l'eau introduite pendant la chute de s'échapper au moment de l'arrivée sur le fond.

Lorsque ce plomb avait été relevé et qu'il rapportait un échantillon, on dévissait le tube inférieur et on le remplaçait rapidement par un autre de même diamètre; l'opération ne demandait qu'un instant, et le plomb se trouvait ainsi prêt pour une autre sonde. On avait alors tout loisir pour extraire l'échantillon du tube, l'examiner au moins sommairement et le placer dans un flacon sur lequel on écrivait le numéro d'ordre de la sonde.

Fig. N° 2.



Les ingénieurs chargés de la partie géologique des études, après avoir assisté aux premières opérations, avaient confié ce service à un agent spécial, M. Morin, qui a suivi le travail pendant les deux campagnes. Cet agent était à même d'indiquer la nature des échantillons recueillis et de faire connaître, au moins approximativement dans la plupart des cas, l'étage géologique auquel ils appartenaient. Ces premiers renseignements étaient inscrits sur les registres d'observation à côté de la sonde, et ils avaient une grande importance pour la direction des opérations.

Pour empêcher l'agitation des eaux de délayer les échantillons pendant le hâlage de la ligne, on s'est quelquefois servi d'un plomb entouré d'une gaine, comme le montre la Figure 2; pendant la chute, la gaine pouvant glisser le long de la tige, remontait jusqu'à l'anneau supérieur et n'apportait aucun obstacle à la pénétration du tube inférieur dans le sol; quand on relevait le plomb, la gaine retombait et recouvrait le tube. Cet appareil avait, d'un autre côté, l'inconvénient d'être plus lourd et moins maniable que le premier et il mettait un peu plus de temps à atteindre le fond.

Les plombs pouvaient recevoir des tubes de différents diamètres; lorsqu'on voulait changer de diamètre, il suffisait de remplacer la douille par une autre ayant le diamètre des nouveaux tubes; à l'aide de la clavette qui retenait la douille au plomb, le changement se faisait très-promptement. Les tubes qui nous ont donné les meilleurs résultats et que nous avons fini par employer presque exclusivement, avaient 20 à 25 centimètres de longueur et 18 millimètres de diamètre intérieur.

Dans certains terrains tendres, principalement près de la côte d'Angleterre, les plombs de 50 kilogrammes s'engageaient assez profondément pour que la ligne se rompît sous l'effort déployé pour la relever; nous avons alors employé un plomb pesant seulement 25 kilogrammes, le même qui avait déjà servi aux recherches antérieures des ingénieurs anglais.

Enfin nous avons essayé quelquefois d'utiliser la lance dont on se sert dans les reconnaissances hydrographiques pour rechercher les fonds de roche (Fig. 3), mais cet instrument ne donnant pas des renseignements aussi nets que les précédents, nous avons dû y renoncer.

3° Détermination de la position des sondes. — La position du bâtiment a été déterminée, d'après les méthodes hydrographiques ordinaires, en observant avec le cercle à réflexion, les angles que faisaient entre eux plusieurs des signaux de la côte, rattachés à la triangulation. Chaque observation comprenait trois angles relevés rapidement, le troisième angle servant à vérifier la position donnée par les deux autres. Comme nous l'avons déjà dit, les observations étaient, autant que possible, rapportées immédiatement sur les cartes.

En général, et principalement pendant la dernière campagne, la position du navire était relevée toutes les deux sondes, au moment même où l'ordre était donné de lancer le plomb; les angles étaient enregistrés à côté du numéro d'ordre et en regard de la profondeur de la sonde qu'on exécutait. En raison de la continuité des opérations, la position de la sonde intermédiaire se trouvait ainsi suffisamment déterminée. Toutefois, quand on laissait un certain intervalle entre les sondes, ou lorsque le bâtiment ne suivait pas une direction sensiblement rectiligne, on fixait par une observation la position de chaque sonde.

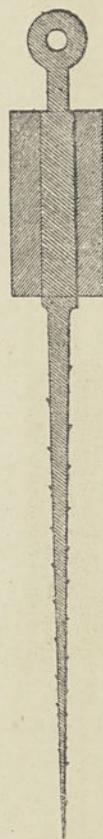
Les explications qui précèdent feront aisément comprendre comment s'exécutaient les opérations dans leur ensemble,

La plupart du temps, on travaillait en laissant le bâtiment stoppé, dériver au courant de manière à suivre des lignes à peu près droites et parallèles; on sondait alors sans autre interruption que le temps nécessaire pour relever le plomb et changer le tube inférieur quand il rapportait un échantillon.

Les observations faites en même temps sur la passerelle permettaient de suivre le travail au fur et à mesure de l'exécution; autant que possible, le bâtiment était placé en travers du courant, de sorte qu'il suffisait de faire faire à la machine quelques tours en avant ou en arrière entre deux sondes, pour se maintenir dans la direction voulue.

Dans les meilleures conditions, le temps employé pour faire une sonde par les profondeurs moyennes de 30 à 35 mètres, était de une minute et demie avec le treuil à vapeur, et de trois minutes au moins, quand la ligne était relevée à la main; et, dans ce dernier cas, il fallait nécessairement laisser quelque intervalle entre les sondes pour ne pas trop fatiguer l'équipage.

Fig. N° 3.



D'autre part, la vitesse avec laquelle le treuil à vapeur relevait la ligne ne devait pas dépasser une certaine limite, afin d'éviter tout accident à l'arrivée du plomb; même par les petites profondeurs de 15 à 20 mètres, il fallait toujours compter une minute par coup de sonde; dans les grands fonds, surtout lorsqu'on était un peu gêné par la houle, les intervalles entre les sondes dépassaient quelquefois trois minutes.

La distance des sondes entre elles est résultée de ces conditions; sur les lignes exécutées cette année, elle dépasse rarement 200 mètres; elle est le plus généralement de 100 mètres, et quelquefois moindre.

Pour se rendre compte des résultats obtenus dans ces deux campagnes, il faut du reste avoir égard, non-seulement au temps employé utilement à sonder sur les lignes d'opération, mais encore au temps nécessaire pour amener chaque jour le bateau sur le lieu du travail et rentrer le soir au port, aussi bien qu'au temps perdu entre chaque ligne d'opération, lorsqu'il fallait remonter des courants ayant souvent plus de trois nœuds de vitesse.

Aussi dans les conditions les plus favorables, par les profondeurs moyennes de 30 mètres, le nombre maximum de sondes qu'on ait pu faire dans une journée de 12 heures pendant la dernière campagne, a-t-il été d'environ deux cents; c'est exactement le double du maximum auquel on était arrivé l'année précédente.

III

OBSERVATIONS DE MARÉE. — RÉDUCTION DES SONDES A UN MÊME PLAN DE COMPARAISON.

Les profondeurs données par la sonde varient nécessairement avec la hauteur de la marée. Sur les cartes marines, on les ramène généralement au niveau des plus basses mers observées en chaque point; ce niveau étant loin d'être partout le même, les sondes d'une carte marine un peu étendue se trouvent rapportées à une surface courbe qui est le lieu des plus basses mers. Pour les études actuelles, il y avait, au contraire, intérêt à rapporter toutes les sondes à un même plan horizontal, et à les corriger des variations de la marée par rapport à ce plan.

Si, dans l'étendue de la zone explorée, la dénivellation produite par la marée était partout la même à un même instant, la surface de la mer, malgré ses variations, resterait toujours horizontale, et pour corriger chaque sonde, il suffirait d'avoir la hauteur de la marée observée au moment de l'opération, par rapport au plan de comparaison adopté.

Mais le problème est beaucoup plus complexe; on sait que sur chacune des deux côtes l'amplitude de la marée varie d'un point à un autre, aussi bien que l'heure de la pleine mer; en outre, les nivellements topographiques permettent bien de rapporter sur chaque rive les variations du niveau des eaux dans les différents ports à un même plan, mais ces nivellements étant séparés par le détroit, les plans de comparaison adoptés dans chaque pays ne peuvent être repérés directement, en sorte que, de prime abord, on ne saurait indiquer sur les deux côtes un même plan horizontal qui puisse servir à étudier les dénivellations.

Voici sur quelles considérations nous nous sommes appuyé pour résoudre cette double difficulté :

1° Du plan général de comparaison. — Dans les trois ports français du détroit, Boulogne, Calais, Dunkerque, les phases de la marée ont été rapportées au *Nivellement général* de la France, et l'on a reconnu que le niveau moyen de la mer dans ces trois ports était à peu près à la même cote, tandis que les hautes et les basses mers étaient à des cotes très-différentes. Ce nivellement donne en effet les résultats suivants :

Niveau moyen à Boulogne.	+ 0 ^m ,84
— — à Calais	+ 0 ^m ,75
— — à Dunkerque	+ 0 ^m ,78

En rapportant ces niveaux au plan situé à la cote moyenne + 0^m,79, on aurait :

Pour Boulogne	+ 0 ^m ,05
— Calais.	— 0 ^m ,04
— Dunkerque.	+ 0 ^m ,01

On peut donc admettre que sur la côte française, entre Boulogne et Dunkerque, le niveau moyen des eaux forme, à quelques centimètres près, un plan horizontal.

D'autre part, les observations de marée ont été faites par les soins de l'Ordnance Survey sur tout le contour de la Grande-Bretagne, et elles ont été reliées par un nivellement général.

En prenant la moyenne de tous les niveaux moyens observés dans les différents ports et en y rapportant les observations locales faites dans le voisinage du détroit, on trouve pour cote du niveau moyen :

A Shoreham	— 0 ^m ,13
A Douvres	— 0 ^m ,06
A Ramsgate.	+ 0 ^m ,11

Ces différences sont presque négligeables, d'autant plus qu'à Ramsgate, les résultats sont influencés par le voisinage de la Tamise, et l'on doit encore conclure que, dans les ports anglais du détroit, le niveau moyen est sensiblement à la même hauteur.

En étendant d'une rive à l'autre les résultats observés sur chacune d'elles, on est ainsi conduit à admettre que le niveau moyen des eaux, dans le détroit, et plus particulièrement dans le quadrilatère formé par Folkestone, Douvres, Gris-Nez et Calais, s'écarte très-peu d'un plan horizontal, et l'on peut, en conséquence, rapporter à ce niveau comme à un plan horizontal toutes les observations de marée et les profondeurs.

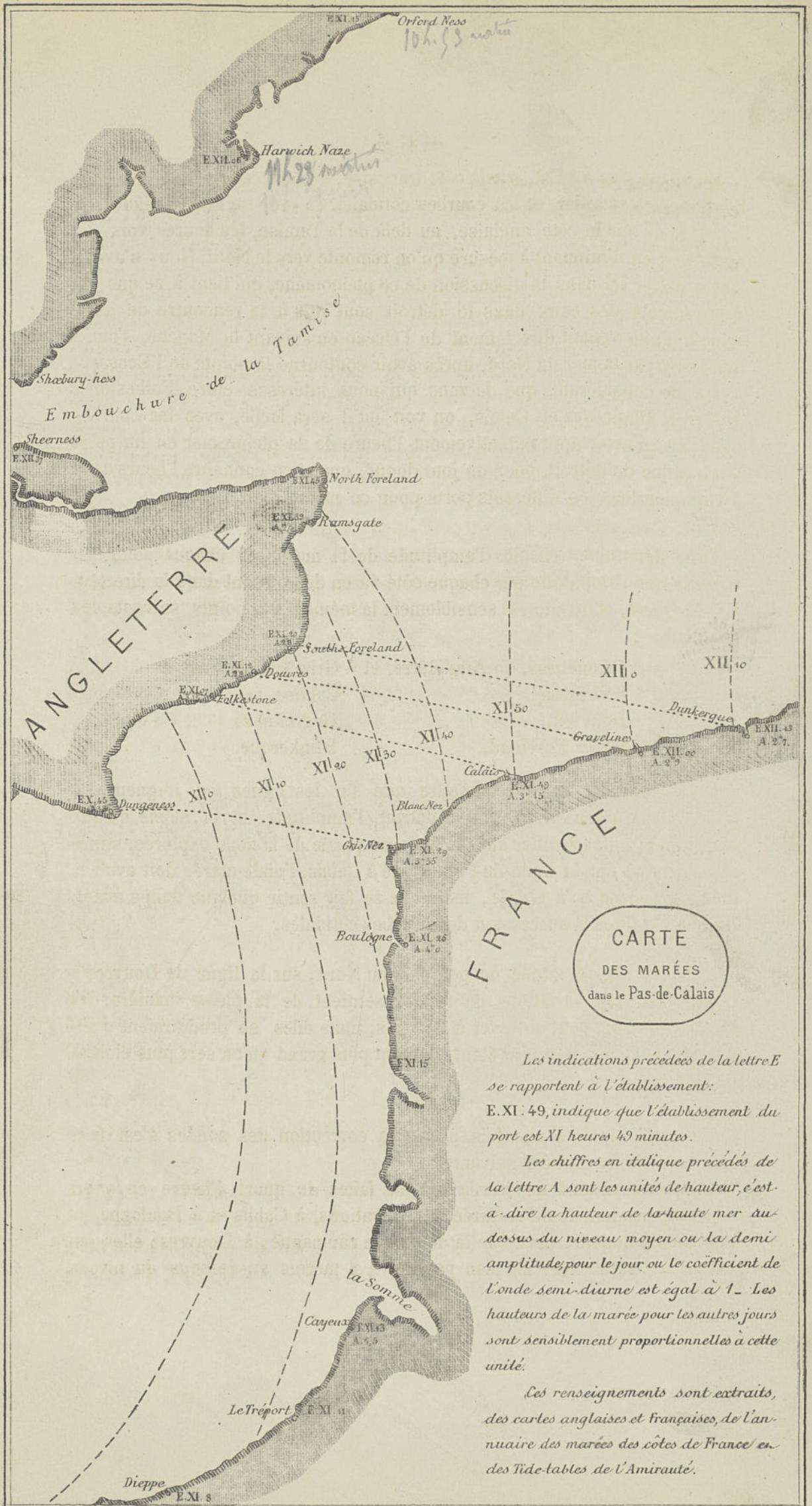
Cette conclusion, qui s'accorde avec la théorie du niveau général des mers, n'était cependant pas certaine *a priori* dans le détroit, où le régime des eaux est tout particulièrement compliqué, et elle devait être préalablement justifiée; elle n'est d'ailleurs exacte que dans certaines limites, comme le montrent les chiffres ci-dessus, mais cette approximation est suffisante pour les besoins de nos travaux.

Pour rester dans les habitudes hydrographiques, le plan de comparaison dont nous nous sommes servi n'est pas le niveau moyen, mais un plan parallèle passant par les plus basses mers de Calais et situé à 3^m,96 (environ 4 mètres) au-dessous du niveau moyen.

2° Des variations de la marée, par rapport au plan de comparaison, sur les différents points du détroit. — Les observations faites sur les deux rives du Pas-de-Calais, à l'Est de Dungeness, montrent que les heures de la haute mer vont en augmentant quand on marche de l'Ouest à l'Est, en sorte que l'onde-marée, c'est-à-dire l'ensemble des variations de hauteur entre deux pleines mers, semble se déplacer dans cette direction.

La petite carte ci-jointe donne en chiffres romains l'heure de l'établissement des différents ports, c'est-à-dire l'heure à laquelle la haute mer a sensiblement lieu dans ces ports les jours de syzygie. En considérant deux à deux les points de la côte anglaise et les points de la côte française qui ont même établissement, on peut imaginer des lignes qui passent par tous les points du détroit où la pleine mer a lieu à la même heure et qui indiquent la marche de la marée. Ces lignes sont appelées courbes cotidales.

Nous avons tracé approximativement sur la carte les courbes cotidales, sur lesquelles la pleine mer a lieu les jours de syzygie à XI^h 00, XI^h 10, XI^h 20, XI^h 30, XI^h 40. La première de ces lignes passe un peu à l'Ouest de Folkestone et de Dieppe; la dernière part des environs de Blanc-Nez et coupe la côte anglaise entre Ramsgate et North Foreland.



CARTE
DES MARÉES
dans le Pas-de-Calais

Les indications précédées de la lettre E se rapportent à l'établissement:

E. XI. 49, indique que l'établissement du port est XI heures 49 minutes.

Les chiffres en italique précédés de la lettre A sont les unités de hauteur, c'est-à-dire la hauteur de la haute mer au-dessus du niveau moyen ou la demi-amplitude, pour le jour où le coefficient de l'onde semi-diurne est égal à 1. Les hauteurs de la marée pour les autres jours sont sensiblement proportionnelles à cette unité.

Ces renseignements sont extraits, des cartes anglaises et françaises, de l'annuaire des marées des côtes de France et des Tide-tables de l'Amirauté.

En allant plus à l'Est, sur la côte française, les heures des établissements continuent à retarder, et les courbes cotidales doivent se suivre régulièrement; mais sur la côte anglaise, au delà de la Tamise, les heures vont, au contraire, en diminuant à mesure qu'on remonte vers le Nord. Nous n'avons pas à entrer ici dans la discussion de ce phénomène, qui tient à ce que les mouvements des eaux dans le détroit sont dus à la rencontre de deux ondes, l'une venant directement de l'Océan en suivant la Manche, l'autre qui arrive par la mer du Nord, après avoir contourné la pointe de l'Écosse.

En ne considérant que la zone qui nous intéresse entre Folkestone, Douvres, Blanc-Nez et Calais, on voit qu'il sera facile, avec les courbes cotidales, d'avoir approximativement l'heure de la pleine mer en un point quelconque du détroit, pour un jour donné, quand on connaîtra l'heure de la pleine mer dans les différents ports pour ce même jour.

Pour déterminer ensuite l'amplitude de la marée en chaque point, on observe que l'amplitude sur chaque côté va en décroissant dans la direction Est et Ouest, et qu'elle est sensiblement la même aux points suivants des deux côtes :

à Dungeness, en Angleterre, et à Gris-Nez, en France;	
Folkestone,	Calais ;
Douvres,	Gravelines ;
South Foreland,	Dunkerque.

On a donc cru pouvoir admettre que sur les lignes qui joignent ces points deux à deux à travers le détroit, l'amplitude est la même qu'aux extrémités; en particulier dans la majeure partie de la zone explorée, située sensiblement sur la ligne de Folkestone à Calais, l'onde-marée doit avoir la même grandeur qu'à Calais, mais elle se fait sentir quelque temps avant, comme l'indique la succession des courbes cotidales.

Dans la région située un peu plus au Nord, sur la ligne de Douvres à Gravelines, les variations de niveau seraient, de la même manière, les mêmes que l'on peut observer à Douvres, mais elles se produiraient quelque temps après, le retard étant d'autant plus grand qu'on sera plus éloigné de Douvres.

Ces préliminaires une fois posés, la correction des sondes s'est faite aisément de la manière suivante :

Des observations de marée ont été faites de quart d'heure en quart d'heure, pendant toute la durée des opérations, à Calais et à Boulogne, et pendant la majeure partie de la deuxième campagne, à Douvres; elles ont toutes été rapportées au plan passant à 4 mètres au-dessous du niveau

moyen, tel qu'il a été déterminé antérieurement dans chaque port; d'autre part, l'heure à laquelle chaque sonde a été faite a été notée sur les cahiers à côté du numéro d'ordre.

Dès lors, connaissant, pour le jour de l'opération, l'heure de la pleine mer à Douvres et l'heure de la pleine mer à Calais, on calcule, d'après les courbes cotidales, l'heure de la pleine mer sur l'emplacement de la sonde. La différence des heures donne, pour ce point, l'avance de la marée sur Calais (ou le retard sur Douvres), et l'on sait ainsi de combien l'heure de la sonde doit être augmentée (ou diminuée) pour trouver, dans les observations faites à Calais (ou à Douvres), la hauteur de la marée qu'il convient de retrancher de la profondeur trouvée, afin de rapporter cette dernière au plan de comparaison.

Pour les sondes faites, principalement pendant la première campagne, près de la côte de France, devant Blanc-Nez, il y a eu lieu, comme le montre la petite carte, d'augmenter légèrement l'amplitude de la marée de Calais, et la correction a été établie au moyen des observations faites en même temps à Boulogne.

Avant de quitter ce sujet, nous croyons devoir faire connaître qu'en dépouillant les observations de marée faites cette année à Calais, nous avons trouvé pour le niveau moyen, lorsqu'il a pu être observé, une cote un peu inférieure à celle que donne le nivellement général de la France.

Une observation de niveau moyen nécessite l'enregistrement des hauteurs pendant la période comprise entre deux pleines mers ou deux basses mers consécutives. Pour nos opérations, nous nous sommes contenté de faire suivre les variations de la marée pendant la journée : nous n'avons donc qu'un très-petit nombre d'observations de niveau moyen; elles ont été faites aux environs des syzygies, où la pleine mer a lieu vers midi, et aux quadratures, où elle a lieu le matin et le soir. Les premières sont généralement entachées d'erreur par les chasses faites à basse mer, et il n'y a vraiment que les quelques résultats observés en morte eau, sur lesquels nous puissions baser nos conjectures. Néanmoins, il est probable que la cote donnée par le nivellement général doit être abaissée d'environ 0^m20. Des observations, faites cette année à Boulogne, confirmeraient ce résultat, en même temps qu'elles confirment la concordance entre les niveaux moyens des deux ports.

L'erreur, si elle existait, n'aurait d'ailleurs aucune influence sensible sur les résultats de nos travaux. Si nous nous sommes étendu assez longuement sur cette question du niveau moyen et d'un plan horizontal de comparaison repéré sur les deux côtes, ce n'est pas seulement parce qu'elle se

rattache aux études actuelles, mais elle doit encore fournir une des données nécessaires à la construction du tunnel.

Pour assurer convenablement la rencontre des galeries entreprises simultanément sur chaque côte, il faudra en effet avoir égard à leurs niveaux tout autant qu'à leurs directions. Or les niveaux relatifs des deux points de départ ne peuvent être connus par un nivellement direct ni même par un nivellement géodésique, qui, dans ces conditions, donnerait difficilement des résultats précis, et c'est par l'étude du mouvement des eaux qu'on pourra le plus facilement établir sur chaque côte des repères suffisamment exacts (1).

D'ailleurs, les erreurs provenant des nivellements exécutés dans le tunnel même seront insignifiantes; en les évaluant d'après la formule $0,002 \sqrt{\kappa}$, qui donne un maximum, et dans laquelle κ exprime en kilomètres la longueur nivelée, elles n'atteindraient pas 2 centimètres. Ce sera donc l'erreur commise au point de départ qui aura la plus grande influence.

Celle que l'on commettrait en supposant que les niveaux moyens sur les deux rives soient les mêmes ne saurait dépasser quelques décimètres; elle n'empêcherait donc pas des galeries de plusieurs mètres d'ouverture de se rencontrer; il n'y en aura pas moins intérêt à la réduire autant que possible pour diminuer les travaux de raccordement.

Il sera donc intéressant de faire faire simultanément à Calais et à Douvres des observations de marée d'après lesquelles on calculera les niveaux moyens, en suivant une même méthode.

En Angleterre, en effet, les niveaux moyens donnés par l'Ordnance Survey ont été obtenus en prenant la moyenne de toutes les observations faites de dix en dix minutes entre deux pleines mers ou deux basses mers, tandis que, le plus souvent, on se borne à prendre la moyenne entre les hauteurs de deux pleines mers consécutives et de la basse mer intermédiaire ou entre les hauteurs de la pleine mer et des deux basses mers voisines.

Les nouvelles observations seraient naturellement utilisées d'après les mêmes principes; elles devraient, autant que possible, être faites par des temps calmes et en morte eau, alors que les variations de niveau sont moins rapides et peuvent être observées avec plus d'exactitude.

(1) Si cependant il était fait, au cap Blanc-Nez et au château de Douvres, éloignés de 35 kilomètres environ, des observations de distances zénithales, *réiproques et simultanées*, de manière à éliminer l'influence de la réfraction, le nivellement géodésique pourrait peut-être donner des résultats assez approchés pour être utilement comparés aux indications fournies par l'étude du mouvement des eaux.

RÉSUMÉ.

La première reconnaissance, en 1875, a duré quarante jours environ, du 10 août au 20 septembre, époque à laquelle les mauvais temps ont arrêté les travaux ; pendant cet intervalle, le bâtiment, qui stationnait généralement dans les ports de Calais et de Boulogne, a pu sortir 26 fois pour travailler à la mer. Le nombre des sondages exécutés a été de 1,523 et l'on a recueilli 753 échantillons, dont près de la moitié a pu être classée avec certitude.

En 1876, les mesures avaient été prises pour pouvoir utiliser toute la belle saison. Les installations spéciales que nécessitait le travail à bord de l'*Ajax* étaient terminées le 20 juin, et les opérations commençaient dès le lendemain pour se continuer jusqu'au 15 septembre.

Pendant la plus grande partie de ce temps, le bâtiment a stationné sur la rade de Douvres, où les mouvements d'entrée et de sortie sont possibles à tout instant, quelle que soit l'heure de la marée. Nous avons pu ainsi profiter de tous les moments propices, et c'est grâce à cette disposition, comme à l'usage du treuil à vapeur, que notre travail a pu être exécuté dans les délais prévus.

La saison a été, en effet, généralement mauvaise, surtout à partir du 16 août ; sur 87 jours qu'a duré la campagne, l'*Ajax* n'a pu prendre la mer que 57 fois, et la plupart du temps, il n'était possible d'opérer que dans le voisinage des terres, en raison de la brume qui ne permettait pas de relever les signaux de la côte à une grande distance ; nous n'avons guère disposé que de vingt jours pour sonder à plus de cinq milles au large et de sept ou huit jours pour étudier la partie centrale du détroit, où il était utile d'apercevoir les deux côtes, afin de pouvoir déterminer plus exactement la position du navire.

Rarement, en effet, on rencontre réunies, dans le détroit, les deux conditions favorables au travail, une mer assez belle et un temps clair. Les calmes sont le plus souvent accompagnés de brumes, tandis que la visibilité est généralement plus grande par les temps d'orage et les coups de vent.

Le nombre de sondages exécutés la dernière année a dépassé 6,000 (exactement 6,149); sur ce nombre 2,500 environ ont donné des échantillons. En résumé, les deux campagnes ont produit près de 7,700 sondes et 3,200 échantillons, dont quelques-uns, d'ailleurs, n'ont pas de valeur pour les études géologiques.

Les résultats hydrographiques concordent dans leur ensemble avec les travaux antérieurs, mais ils donnent nécessairement des indications plus précises en raison du rapprochement des sondes. Ainsi la plus grande profondeur trouvée dans la région centrale du détroit, sur un point où les fonds changent très-rapidement, a été de 72 mètres, tandis que les dernières cartes anglaises n'accusent dans cette partie que 36 fathoms ou 66 mètres. Le relief du terrain est du reste assez défini sur nos cartes par les profondeurs inscrites ou par les lignes de niveau, pour qu'il soit inutile d'entrer ici dans plus de détails à ce sujet.

En résumé, toute la région qui devait être explorée a été sondée suivant des lignes à peu près parallèles, dont l'écartement ne dépasse pas en général 250 ou 300 mètres, et sur ces lignes les sondes sont en moyenne espacées de 100 à 200 mètres. Ce n'est qu'avec des temps exceptionnels, qu'il serait possible de serrer davantage le travail, sans retomber sur les emplacements déjà sondés, et nous considérons que les procédés actuels ont à peu près donné, pour une reconnaissance générale, tout ce qu'ils peuvent donner.

Si on voulait obtenir des renseignements plus précis sur certains points où nous n'avons ramené que des graviers, il faudrait, à notre avis, employer d'autres moyens, venir par une belle journée, s'installer au point désigné, mouiller le bâtiment et même l'affourcher, et envoyer alors sur le fond des appareils susceptibles de traverser la couche supérieure d'alluvions; mais une semblable opération serait assez longue et nécessiterait des temps plus calmes que ceux pendant lesquels nous avons le plus souvent travaillé.

Néanmoins des recherches de cette nature ont été faites avec succès, cette année, sur le plateau de Rochebonne par un ingénieur hydrographe de la marine, M. Bouquet de la Grye. On opérait, il est vrai, par des fonds de 10 mètres, et l'instrument employé était une lance à barbes de plusieurs mètres de longueur, sur laquelle on laissait retomber un poids faisant mouton.

Les conditions du travail seraient nécessairement moins favorables dans le détroit, par des profondeurs de 30 à 50 mètres, avec des courants de 2 nœuds et demi à 3 nœuds; afin de rapporter des échantillons satisfaisants pour les analyses géologiques, il faudrait aussi, sans doute, employer, au lieu d'une lance, un tube creux semblable à ceux qui terminaient nos plombs de sonde et dont l'enfoncement serait moins facile.

Quoi qu'il en soit, nous pensons que ce procédé pourrait être essayé avec quelques chances de succès, si de nouvelles recherches devaient être faites dans les parties où, malgré la multiplicité des sondes, on n'a pu recueillir d'échantillons suffisants. Mais il ne pourrait s'agir que d'un petit nombre d'opérations; chacune d'elles serait, en effet, assez longue, et, par suite, dispendieuse; et ce n'est guère que pendant les petites marées de morte eau et surtout par un beau temps qu'elles devraient être tentées.

Paris, 30 décembre 1876.

E. LAROUSSE.



RAPPORT

SUR

L'EXPLORATION GÉOLOGIQUE SOUS-MARINE

DU PAS-DE-CALAIS

PAR

MM. POTIER ET DE LAPPARENT

INGÉNIEURS DES MINES

OBJET DU TRAVAIL

L'étude dont nous avons été chargés avait pour but de renseigner les ingénieurs sur les difficultés qu'ils pourraient rencontrer dans le percement du tunnel sous-marin et de les éclairer sur la nature du terrain dans lequel ils auraient à opérer, suivant le tracé adopté. L'idée de creuser cette galerie gigantesque dans les terrains paléozoïques ou dans les terrains jurassiques ayant été abandonnée, nous avons à étudier en détail le terrain crétacé seulement.

Ce terrain constitue les falaises sur les deux rives du Pas-de-Calais, de Sangatte à Saint-Pot en France, et de Saint-Margaret's à Folkestone en Angleterre; il est ainsi mis à nu sur une grande épaisseur, et l'on a pu étudier en détail les différentes couches qui le constituent. On a acquis ainsi la certitude que, des deux côtés du détroit, le terrain était constitué de la même manière; que les mêmes assises, ayant la même composition, et contenant les mêmes restes organiques, se trouvaient, de part et d'autre, dans le même ordre de superposition; on en a conclu que ces couches avaient été déposées à la même époque dans la même mer, et avaient dû former un

tout continu. Des mouvements du sol, survenus postérieurement, ont modifié l'inclinaison de ces couches, primitivement horizontales, et les ont amenées dans la position où nous les voyons; de plus, la mer venant battre ces terrains émergés, en a détruit une partie, et s'est frayé, entre la Manche et la mer du Nord primitivement séparées, un passage que l'action des vagues tend encore aujourd'hui à élargir.

L'examen des falaises montre que des deux côtés du détroit les couches plongent vers la mer du Nord; de sorte qu'en suivant la plage de Sangatte à Saint-Pot ou de Saint-Margaret's à Folkestone, on rencontre successivement les différentes couches qui composent le terrain crétacé dans le même ordre où elles ont été rencontrées par les forages, et dans lequel on les voit en descendant du haut des falaises; il est probable, *à priori*, qu'on doit trouver au fond du détroit, et dans le même ordre, les couches qui viennent successivement affleurer sur les plages; si l'on parvient, malgré les dépôts récents de sables, de graviers et de coquilles, à suivre d'une rive à l'autre, sans interruption, l'une de ces couches, il sera démontré par là que les mouvements du sol n'ont pas rompu la continuité primitive de ces assises entre la France et l'Angleterre, et que l'on retrouverait au-dessous du fond du détroit, et dans le même ordre, les terrains que nous montrent les falaises.

**Nomenclature
des assises crétacées.**

Le tableau suivant, qui résume les caractères principaux de ces diverses assises, donne leur ordre de superposition et les numéros par lesquels elles sont désignées dans la suite de ce rapport.

	NOMENCLATURE ANGLAISE	CARTE GÉOLOGIQUE DE FRANCE	CARACTÈRE MINÉRALOGIQUE	FOSSILES PRINCIPAUX servant de base à la classification DE M. HÉBERT
I	Chalk with few organic remains.	Craie blanche noduleuse. Sénonien (d'Orb.)	Craie blanche tendre.	Micraster coranguinum.
II	Bed of organic remains with numerous flints.		Craie blanche dure.	Micraster cortestudinarium. Micraster breviporus.
III	Chalk with few flints.		Craie blanche tendre.	Tetabratulina gracilis. Inoceramus Brongniarti.
IV	Chalk without flints. Numerous and thin beds of organic remains.	Craie marneuse Turonien (d'Orbigny).	Craie conglomérée, souvent jaunâtre.	Inoceramus labiatus. Rhynchonella Cuvieri. Echinoconus subrotundus.
V	Chalk without flints and few organic remains.	Craie de Rouen. Cénomaniien (d'Orbigny).	Craie blanche tendre. Lits durs à la base.	Belemnites plenus.
VI			Marnes bleuâtres.	Holaster subglohosus.
VII	Grey Chalk. Chalk Marl.		Craie grise et sableuse. Lits alternativement tendres et durs.	Ammonites varians.
VIII	Chloritic Marl and upper Green Sand.		Craie glauconieuse.	Terebratula biplicata.
IX	Gault.	Gault. Albien (d'Orb.)	Gault.	Nombreuses Ammonites Hamites, etc.
X	Lower Green Sand.	Sables verts et argiles glauconieuses, Aptien (d'Orb.)	Sable pyriteux. Grès vert calcaire et Argile glauconieuse.	Ammonites mammillaris Grandes huitres.
XI	Weald Clay.		Sable jaune, micacé, ferrugineux.	
XII			Sables blancs, Argiles bariolées, Minerai de fer.	

Les assises III, II et IV sont réunies sur la carte sous le nom de craie moyenne (jaune foncé) et les assises V, VI et VII sous le nom de craie de Rouen (vert clair).

Dans sa partie supérieure, le terrain créacé est constitué par une craie blanche, traversée de fissures et de délits nombreux qui laissent circuler les eaux avec une très-grande facilité; ces couches supérieures ont reçu, à cause de cela, des mineurs du Nord, le nom de *niveaux*. Ces eaux ne sont que très-imparfaitement retenues par les lits argileux de la partie moyenne de la craie; celle-ci étant fréquemment traversée de failles qui produisent des dénivellations de 2 à 3 mètres, les lits argileux peu épais

sont discontinus et n'arrêtent pas complètement les eaux qui descendent jusque sur les marnes bleues (*dièves* des mineurs). Celles-ci, qui sont épaisses et compactes, les retiennent tout à fait.

On peut voir, sur la falaise française, près du Cren d'Escalles, sur la falaise anglaise, au point nommé Lydden Spout, et sur la plage près de Shakespeare's Cliff, des lignes de sources qui témoignent de la parfaite imperméabilité des marnes superposées à la craie glauconieuse.

Au-dessous de ces marnes, on ne rencontre plus de nappe aquifère que dans les *sables verts* inférieurs au *gault*. Les assises confondues sous le nom vulgaire de *craie* (chalk) présentent donc, au point de vue de la perméabilité et de la solidité, des différences assez notables pour que les ingénieurs aient intérêt à savoir quelles assises ils auront à traverser, et s'ils ne sont point exposés à passer brusquement d'une assise dans une autre. Cette dernière question, la plus importante au point de vue de la sécurité, est en même temps la plus facile à résoudre, puisqu'il suffit de s'assurer de la continuité de l'une quelconque de ces assises parfaitement concordantes, pour être certain de la continuité des autres dans toute la traversée du détroit.

ÉTUDE DU FOND DU DÉTROIT

Campagne de 1875.

Affleurement
de la
craie glauconieuse.

On s'était proposé d'abord de rechercher seulement l'affleurement de la *craie glauconieuse* (1) (Chloritic Marl, ou upper Green Sand des Anglais), roche qui est, au point de vue minéralogique, la mieux caractérisée et la plus facile à reconnaître.

L'épaisseur de cette assise est très-faible; son affleurement ne doit former au fond du détroit qu'une bande de peu de largeur; aussi, même sans tenir compte des graviers et dépôts superficiels qui peuvent masquer cet affleurement, ne pouvait-on espérer que la sonde rapporterait souvent de la

(1) Cette roche doit son nom à une quantité de grains verts disséminés dans une marne gris-bleu.

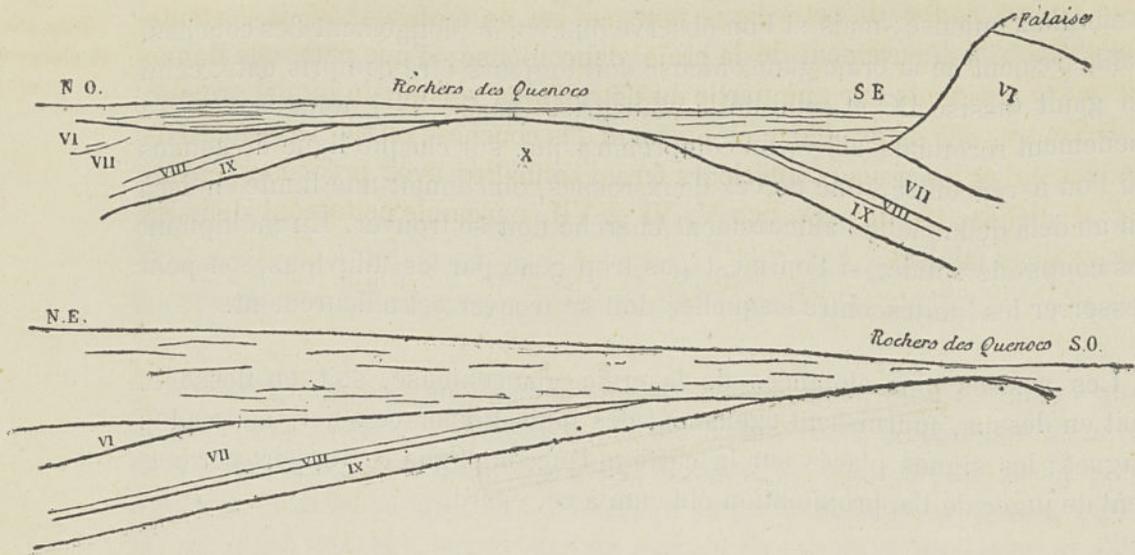
craie glauconieuse ; mais si l'on observe que, vu le plongement des couches, l'affleurement de la craie glauconieuse doit toujours être compris entre celui du gault (assise IX) et celui de la craie grise (assise VII), tous deux assez facilement reconnaissables, on comprendra que, sur chaque ligne de sondes où l'on a rencontré l'une de ces deux roches, on connaît une limite en deçà ou au delà de laquelle l'affleurement cherché doit se trouver. En multipliant les coups de sonde, si l'on n'est pas trop gêné par les alluvions, on peut resserrer les limites entre lesquelles doit se trouver cet affleurement.

Les assises plus éloignées de la craie glauconieuse, soit en dessous, soit en dessus, fournissent également des indications à ce sujet, mais plus vagues ; les signes placés sur la carte qui accompagne ce rapport permettent de juger de l'approximation obtenue à cet égard.

Nous appellerons spécialement l'attention sur la région voisine de la rive française, en face du Blanc-Nez. On savait (et dans la première réunion de la Commission on avait insisté sur ce point), qu'en France, les couches crétacées plongent vers l'Est un peu Sud, tandis que, sur la côte anglaise, leur inclinaison est dirigée vers le Nord un peu Est. Il a donc paru nécessaire de déterminer d'abord en quel point et de quelle manière avait lieu ce changement d'allure. Les premières journées de sondages ont montré qu'à quelques kilomètres de la côte française, l'affleurement de la craie glauconieuse courait vers l'Ouest un peu Nord, comme en Angleterre, au lieu de courir Nord un peu Est, comme on le voit sur la plage près du Cren d'Escalles ; l'affleurement devait contourner le bas-fond rocheux qui porte le nom des Quénocs et du Rouge-Riden. La sonde ne rapportant rien sur ces roches, on eut recours au scaphandre. L'ouvrier remonta des Quénocs un gros bloc faisant partie, dit-il, d'un affleurement aligné de blocs semblables, et dans lequel on reconnut le grès vert inférieur, calcarifère, tel qu'il se présente sur la plage à basse mer entre Wissant et Saint-Pot ; l'exploration du Rouge-Riden conduisit au même résultat.

Eaux françaises.
Environ
des Quénocs.

Les abords de ce promontoire furent étudiés alors en détail par une série de sondages distants en moyenne de 100 mètres ; les résultats de cette opération sont rapportés sur une carte spéciale au 20000^m. Grâce à la faible épaisseur des alluvions dans cette région, on a pu rapporter un assez grand nombre d'échantillons, appartenant surtout aux assises IX, VIII, VII, et VI, c'est-à-dire au gault et aux assises inférieures de la craie. Les affleurements viennent tous contourner les roches de grès vert, en se succédant dans leur ordre régulier, dans quelque direction qu'on s'éloigne des roches. Deux petites coupes, l'une du N.-O. au S.-E., l'autre du N.-E. au S.-O., feront comprendre la disposition des diverses couches.



Les assises crétacées, à partir du gault, ont été seulement bombées, sans que la force qui les a soulevées fût assez énergique pour les rompre et les disloquer en ce point; une dislocation se trahirait par l'absence de continuité dans les affleurements, ou parce qu'on passerait brusquement d'une assise à une autre, qui, dans l'ordre normal de succession, ne serait pas sa voisine immédiate. Comme le gault (IX) a 10 mètres environ d'épaisseur et la craie glauconieuse (VIII) de 2 à 3 mètres seulement, on n'aurait certainement pas retrouvé ces couches tout autour du massif du grès vert, s'il y avait une dislocation de quelque importance sur ses bords.

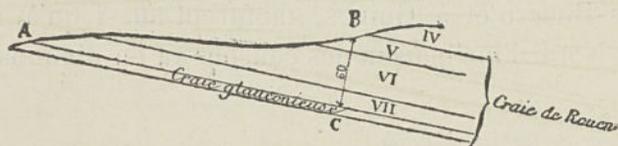
Le milieu du détroit. Ce point éclairci, on a fait jusqu'aux eaux anglaises des lignes de sondages parallèles aux côtes et espacées de 500 mètres environ, sauf quelques lacunes que le temps n'a pas permis de remplir. La craie glauconieuse elle-même n'a pas été rencontrée; mais les échantillons de craie de Rouen, recueillis dans cette région, autorisent à croire que l'affleurement de la craie glauconieuse est sensiblement rectiligne jusqu'aux eaux anglaises.

**Affleurement
de la
craie conglomérée.**

Les échantillons obtenus ont également permis de tracer, d'une manière approximative, la ligne qui sépare les affleurements des couches V et IV; la dureté, la couleur de cette dernière assise (craie conglomérée) lui donnent un caractère minéralogique assez tranché. On a pu distinguer les échantillons provenant de cette couche de ceux qui provenaient des assises V, VI et VII, et délimiter ainsi le groupe de la craie de Rouen, aussi bien à la partie supérieure qu'à la partie inférieure.

La connaissance de cette ligne nouvelle est au moins aussi importante que celle de l'affleurement de la craie glauconieuse ; d'une part, elle donne des renseignements sur une partie du détroit plus voisine du tunnel projeté, et de l'autre, elle détermine le plongement des couches ; on sait très-approximativement et les travaux ultérieurs feront connaître avec précision l'épaisseur de l'ensemble des couches V, VI et VII, ensemble nettement délimité sur les deux falaises.

Détermination
du plongement des
couches.



Si la craie glauconieuse affleure en A et que la ligne qui limite l'affleurement de la craie conglomérée passe en B, en prenant sur la verticale du point B une épaisseur de 60 mètres, on saura qu'au point C doit passer la craie glauconieuse.

La ligne AC représentera donc l'allure souterraine de la craie glauconieuse et l'on connaîtra l'inclinaison des couches crétacées entre les points A et B. Cette inclinaison est d'autant plus faible que l'espace AB, occupé par les affleurements des couches V, VI, et VII, est plus grand.

En jetant un coup d'œil sur la carte, on voit que cette nouvelle ligne subit autour des Quénocs la même inflexion que la première ; ces deux lignes, distantes de 700 mètres près de la côte française, vont, en s'écartant l'une de l'autre lorsqu'on s'approche des eaux anglaises ; leur distance, à l'Ouest du banc de Varne est de 2,500 mètres ; le plongement des couches ne subit pas de changement près des Quénocs et diminue progressivement vers l'Ouest.

Si les couches continuaient à plonger de même vers le Nord un peu Est, dans tout l'espace qui s'étend entre la région explorée et le tunnel projeté, un calcul très-simple ferait connaître en chaque point la profondeur à laquelle se trouve la craie glauconieuse et, par suite, quelle couche on trouvera à un niveau déterminé, ce qui serait la solution complète du problème qu'on avait à résoudre.

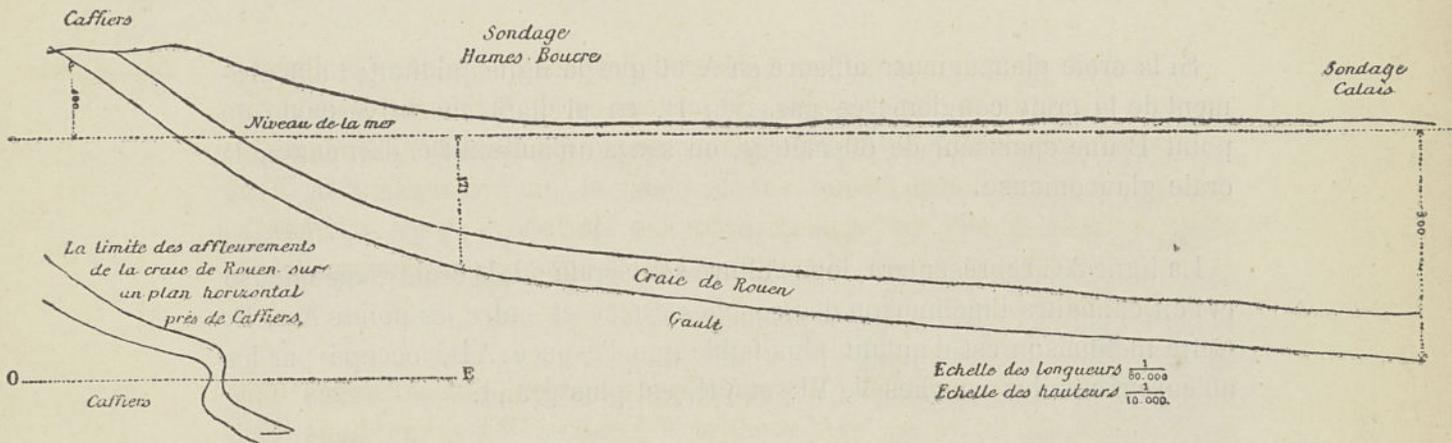
Conclusions à tirer
de
ce plongement.

Mais nous avons des raisons de penser qu'en opérant ainsi, on obtiendrait des profondeurs un peu plus grandes qu'elles ne le sont réellement.

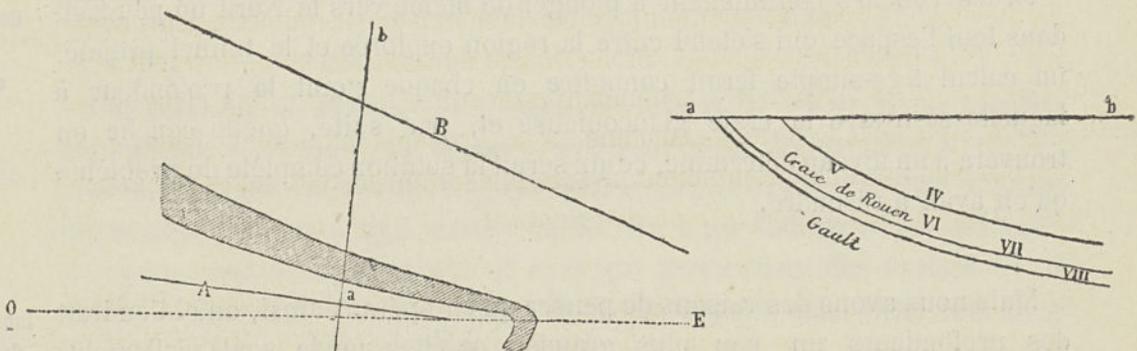
Incertitude probable
de ces conclusions.

L'analogie est complète, en effet, entre l'allure des couches autour des Quénocs et leur allure telle qu'elle a pu être étudiée à terre auprès de Caffiers. Si l'on supposait nivelée la surface du sol au Nord et à l'Est de ce dernier point, on verrait les deux lignes d'affleurement de la craie glauconieuse et de la craie noduleuse s'approcher l'une de l'autre en venant de l'Est vers Caffiers, se rapprocher encore à partir de ce point en s'infléchissant pour se diriger vers le Nord, et retourner ensuite vers l'Ouest, en s'écartant de plus en plus; c'est exactement l'allure de ces mêmes lignes auprès des Quénocs. D'un autre côté, les sondages exécutés autrefois à Calais, à Hames-Bouere et à Guines, montrent aussi qu'à mesure qu'on se dirige vers le Nord, l'inclinaison des couches va en diminuant.

Coupe de Caffiers à Calais



L'analogie nous conduit à présumer qu'il en sera ainsi au Nord de la région étudiée. Les choses se passent comme si une force avait soulevé les terrains suivant une ligne dirigée de l'Est un peu Sud à l'Ouest un peu Nord, sensiblement parallèle aux grandes lignes de failles du Boulonnais, et faisant avec le méridien un angle un peu plus grand que la direction moyenne de la région explorée, l'action de cette force se faisant sentir de moins en moins à mesure qu'on s'éloigne vers le Nord.



A. ligne de soulèvement. B axe du tunnel projeté. ab ligne de coupe.

L'espace ombré représente l'affleurement de la craie de Rouen (Groupes V, VI et VII)

Il serait donc désirable d'étendre encore vers le Nord des recherches du même genre et de connaître directement l'inclinaison des couches dans une région plus voisine du tunnel.

Utilité de recherches plus étendues.

Une ligne de sondes a été faite le long même de l'axe du tunnel projeté, et une autre vers le tiers de la largeur du détroit, depuis l'affleurement du grès vert jusqu'à cet axe et même un peu au delà. Les résultats obtenus nous permettent d'espérer qu'on pourra tracer la ligne qui sépare l'affleurement de l'assise II de l'affleurement de l'assise I. Cette ligne doit couper l'axe du tunnel en deux points au moins; si ces recherches étaient couronnées de succès, on connaîtrait d'une manière certaine, et non plus hypothétique, la structure géologique du détroit là où doit passer le tunnel.

Dans tout ce qui précède on a réservé l'espace qui sépare la dernière ligne à l'Ouest de la côte anglaise. Sa largeur est de 6 kilomètres environ : la ligne d'affleurement de la craie glauconieuse résultant des sondages ne paraît pas se continuer jusque sur la côte; et en prolongeant la ligne d'affleurement visible sur la plage entre les Martello Towers et Shakespeare's Clif, on irait passer bien au nord de la ligne que nous avons tracée dans le détroit.

Eaux anglaises.

M. Brunel, qui a fait aussi, il y a quelques années, des sondages dans ces régions, a bien voulu nous montrer à Londres les échantillons qu'il avait recueillis. Il y a concordance très-satisfaisante dans la région commune aux deux explorations, et dans les eaux anglaises, les sondages semblent indiquer un accident rejetant au nord l'affleurement de la craie glauconieuse. Cet accident peut être une faille, il peut être un pli analogue à celui des Quenocs; une étude détaillée peut seule nous édifier sur ce point.

Les failles qu'on doit le plus redouter sont celles qui seraient dirigées vers le N.-N.-E.; ces failles peuvent exister dans le détroit sans que les études faites à terre fassent soupçonner leur existence, puisque leur cours serait tout entier sous-marin. Si des failles de cette direction devaient rencontrer le tunnel dans la partie comprise entre les eaux anglaises et la France, elles passeraient aussi dans la région déjà explorée. Rien dans l'allure des lignes d'affleurement ci-dessus décrites ne fait supposer l'existence d'une faille importante de cette nature.

Points acquis jusqu'ici.

D'autre part, ni la falaise anglaise depuis Abbott's Cliff jusqu'à St-Margaret's Bay, ni la côte française de Wissant à l'extrémité du Blanc-Nez, ne

laissent voir de failles dont le rejet atteint 5 mètres. Ainsi, sauf la petite *ouverture* des eaux anglaises, le tunnel se trouve garanti de tous côtés.

Nécessité de revenir
sur la
région explorée.

Cette conclusion sera d'autant plus certaine que l'exploration aura été faite avec plus de soin; et les lignes d'affleurement reconnues avec plus de précision. Aussi, nous pensons qu'on ne saurait trop s'efforcer de combler les lacunes qui subsistent dans ces lignes. Dans des terrains inclinés, en effet, comme le sont les couches de la craie, une dénivellation brusque de 10 mètres correspond à un *décrochement* de la ligne d'affleurement de 100^m, de 133^m ou de 200^m suivant que la pente est de 10, 7, ou 5 pour 100 et les échantillons recueillis ne sont pas assez nombreux jusqu'à présent pour permettre de tracer les lignes d'affleurement, au moins dans la partie moyenne du détroit, à 100 mètres près.

Si ces réserves atténuent la portée des résultats de la campagne d'exploration de 1875, on ne doit pas perdre de vue qu'il s'agissait surtout de savoir, au début de cette campagne, *si des sondages en mer pouvaient apprendre quelque chose sur la constitution géologique du détroit*. Nous croyons avoir démontré que cette étude peut fournir d'utiles indications.

Utilité d'un
nouveau sondage
à Sangatte.

En supposant que ces sondages complémentaires fussent exécutés, la structure géologique du détroit serait aussi bien définie que possible, si le sondage entrepris sous la direction de Sir John Hawkshaw, près de la ferme Mouron, entre Sangatte et Calais, avait donné tous les renseignements qu'on pouvait espérer en tirer.

Mais, d'une part, ce sondage a été arrêté par suite d'un accident, avant d'avoir atteint la craie glauconieuse, seul repère sur la précision duquel on puisse absolument compter en l'absence de tout échantillon conservé, et les classifications adoptées pour ce forage et celui de Saint-Margaret's ne sont pas d'accord entre elles; d'autre part, aucune expérience n'a été faite en vue de déterminer l'affluence des eaux à divers niveaux, élément utile à connaître même au seul point de vue de l'exécution du puits définitif; enfin, on ne possède jusqu'ici aucune indication précise relativement à l'épaisseur du massif sur l'imperméabilité duquel il est permis de compter; on ignore donc de quelle marge on dispose pour pouvoir plier le tracé aux conditions diverses qui lui sont imposées, sans sortir des limites qu'il est imprudent de franchir.

En cet état de choses, nous estimons qu'il serait très-utile de faire un

nouveau sondage qui devra attaquer la craie avec un diamètre de 0^m,30 au moins.

Le village de Sangatte nous paraît devoir être choisi pour l'emplacement de ce sondage pour les motifs suivants :

Dans toute la région comprise entre le Blanc-Nez et Sangatte, les couches plongent fortement à l'Est; s'écarter de la côte pour se placer à l'intérieur des terres serait augmenter la dépense et perdre du temps. Sangatte est assez près de la ferme Mouron pour que l'épaisseur et la nature des couches ne diffèrent pas sensiblement en ces deux points; le sondage proposé permettra donc de connaître le sens précis qu'il convient d'attribuer aux désignations consignées dans les registres du premier forage et donnera à ces renseignements une valeur et une signification qu'ils n'ont pas actuellement. On est certain, de plus, de rencontrer dans ce nouveau sondage les couches aquifères que l'on peut redouter à une profondeur déjà assez notable au-dessous du niveau de la mer, de sorte qu'elles se présenteront dans des conditions analogues à celles dans lesquelles le tunnel pourrait les rencontrer.

On perdrait ces avantages si on voulait se placer encore plus au Sud. Au point de vue de l'épaisseur et de la nature des couches, on devrait craindre d'ailleurs de ne pas apprendre par le sondage plus que par l'examen des falaises, et ces inconvénients ne seraient compensés par aucune économie, le sol se relevant au Sud de Sangatte plus rapidement même que les assises du terrain créacé.

On est ainsi conduit à placer le sondage près de la côte, au pied de l'escarpement qui limite le cap Blanc-Nez, et cependant le plus au Sud possible de manière à diminuer l'épaisseur des terrains à traverser, et à accroître la surface sous laquelle l'allure de la craie sera reconnue. Le village de Sangatte et ses environs immédiats satisfont seuls à ces conditions.

Quant à la profondeur à laquelle il conviendra de pousser ce sondage, nous avons déjà fait observer plus haut qu'il était indispensable de traverser tout le groupe imperméable qui est au-dessous de la craie proprement dite. Convendra-t-il, une fois le grès vert atteint, de s'arrêter dans cette couche probablement aquifère? Nous pensons qu'il peut y avoir avantage à pousser plus loin et à atteindre le terrain ancien sur lequel repose probablement le grès vert inférieur. On a proposé, en effet, de se servir du terrain ancien comme de couche absorbante et d'y envoyer l'eau du tunnel, au lieu de la remonter artificiellement à la surface. Nous ne croyons pas à la possibilité de

réaliser cette absorption ; si ces terrains n'ont pas donné d'eaux ascendantes en Angleterre, ils en ont donné dans les environs de Lille. Il suffit d'ailleurs que le niveau statique de la nappe contenue dans ces terrains soit peu différent de celui de la mer pour qu'on n'y trouve pas d'eaux utilisables, et qu'on soit cependant gêné par celles-ci dans les travaux du tunnel ; enfin le faible débit que cette nappe a donné en Angleterre tendrait à prouver que le terrain ancien y est peu perméable ; par suite, il ne serait que faiblement absorbant.

Cependant ces motifs purement théoriques ne nous paraissent pas assez convaincants pour que l'on se refuse à apprécier, moyennant une faible dépense, la valeur des vues auxquelles nous venons de faire allusion.

Campagne de 1876.

Nous diviserons, comme l'an dernier, en trois parties, le fond du détroit : les eaux françaises, les eaux anglaises et le milieu du détroit.

Eaux françaises.

Quelques lignes de sondes ont été jetées dans les lacunes que présentaient les lignes de l'an dernier ; elles ont rencontré vers le Nord des alluvions dans le prolongement de celles qui couvrent la plaine de Calais. On a jugé inutile de faire de plus nombreux sondages dans cette zone, et l'on s'est efforcé de déterminer, en multipliant les essais autant que possible dans la région occupée par la craie de Rouen, les lignes qui limitent au Nord et au Sud l'affleurement de cette craie. La limite septentrionale qui sépare la craie de Rouen des assises supérieures a pu être tracée avec précision sur une étendue de trois kilomètres, pour laquelle les sondages de l'année précédente n'avaient donné que des renseignements insuffisants. La craie glauconieuse n'a été atteinte qu'une seule fois ; mais trois échantillons de l'argile du gault ont été rencontrés, ce qui a fait connaître, dans la même région, la limite méridionale de la craie de Rouen sur un kilomètre environ. Enfin, au Sud de la zone présumée d'affleurement du gault, et au Nord des points où les sables et argiles inférieurs aux grès verts avaient été reconnus l'an dernier, on a recueilli quelques échantillons de grès verts, qui se relie au bas-fond des Quénocs.

Dans toute l'étendue des eaux françaises, les lignes qui limitent au Nord et au Sud l'affleurement de la craie de Rouen sont ainsi tracées d'une manière satisfaisante ; les indications que fournissent ces lignes sur le plon-

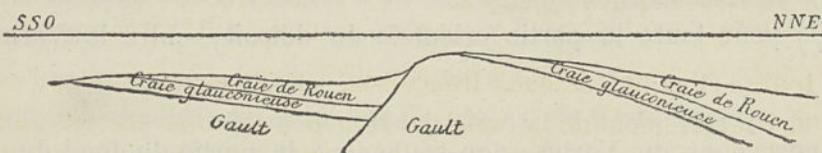
gement des couches, combinées avec les renseignements tirés de l'examen des falaises, et des échantillons des trois sondages de Sangatte, de la Ferme Mouron et de Calais laissent peu d'incertitude sur l'allure de la craie dans la région, allure que représentent les deux croquis (voir plus haut page 38) et la coupe AB de la planche I.

Grâce au voisinage de la côte, qui permettait d'opérer même avec un peu de brume, grâce aussi à l'absence presque complète de sables et de graviers, la partie du détroit comprise entre la côte anglaise et le banc du Varne a fourni un nombre d'échantillons tellement considérable, que l'on peut regarder cette portion du fond du détroit comme aussi bien connue que les régions terrestres où la craie affleure à la surface du sol. Comme, de plus, l'inclinaison des couches y est en moyenne très-faible ($\frac{1}{70}$), des dérangements qui, ailleurs, passeraient inaperçus, déforment très-notablement les lignes d'affleurement, lignes que la rencontre fréquente de roches aussi bien caractérisées que le gault et la craie glauconieuse permet de tracer avec une grande certitude. La région dénudée par les courants s'étendant heureusement vers l'Est au delà du plissement dont les études préalables de l'an dernier avaient fait connaître l'existence, celui-ci a pu être complètement étudié, et les deux points les plus importants de la structure géologique du détroit (le plissement des Quénocs et celui de la côte anglaise) se trouvent ainsi entièrement élucidés.

Eaux anglaises.

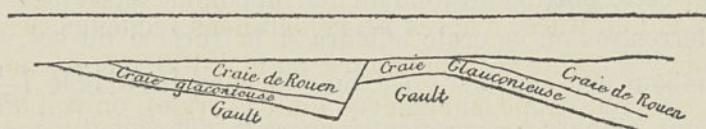
On remarquera près de la côte anglaise un îlot isolé de gault; sur sa limite Sud, cet îlot est dépourvu de l'aurole de craie glauconieuse (vert foncé), qui devrait, si les couches se suivaient toujours avec régularité, l'entourer de tous côtés, pour séparer le gault de la craie de Rouen proprement dite (teinte vert clair); les échantillons de craie recueillis immédiatement au Sud de cet îlot appartiennent d'ailleurs à des couches assez élevées dans la série, ainsi qu'on peut s'en assurer en les comparant aux couches qui affleurent dans la falaise voisine, et cependant beaucoup d'entre eux ont été pris à des profondeurs plus grandes que celles où le gault a été atteint.

Il résulte forcément de là, qu'un plissement brusque, ou une faille, a élevé cet îlot de gault au-dessus de sa position originale, ainsi que le figure le diagramme ci-joint.

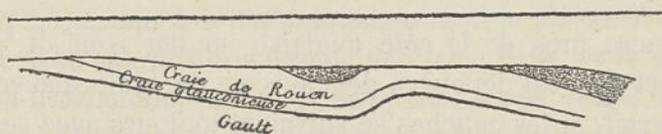


Cette faille assez importante est limitée à l'Ouest par un autre accident, indiqué par le coude brusque que forme la ligne qui sépare les teintes verte et rose ; la dénivellation produite par ce second accident ne dépasse pas 5 mètres : il est parallèle à d'autres petites failles de la même amplitude, qu'on peut observer sur la plage d'East Wear Bay, et qui mettent en contact le gault et le haut de la craie glauconieuse.

Si, en se déplaçant vers l'Est, on fait une coupe parallèle à la précédente, le gault cessera d'apparaître en affleurement, comme l'indique le diagramme ci-dessous :



Et plus loin encore, on ne verra plus, au point le plus élevé du bombement, que de la craie de Rouen proprement dite ; en même temps, la dénivellation brusque fait place à un simple pli, au centre duquel on trouve la craie conglomérée, base de l'assise moyenne teinte en jaune, tandis que, de part et d'autre, on retrouve les couches les plus élevées de la craie de Rouen qui la supportent.



Ce pli s'élargit et devient de moins en moins roide, à mesure que l'on s'éloigne de la côte anglaise.

Milieu du détroit.

Ainsi que l'indique la carte jointe au rapport, la ligne de séparation de la craie de Rouen et de la craie conglomérée a pu être tracée avec précision sur près de 20 kilomètres à partir des eaux françaises, les échantillons de la craie de Rouen ont été rares, la craie glauconieuse n'a été atteinte qu'une fois, ainsi que le gault, mais l'ensemble des observations donne au plongement, aux divers points où il a pu être évalué, une valeur constante et forte ($\frac{1}{7}$) pour toute la partie orientale du détroit, entre le Varne et la France.

En approchant du Varne, non-seulement la partie du fond du détroit,

qu'on doit supposer occupée par la craie de Rouen, mais aussi celle où doit affleurer la base de la craie conglomérée, sont recouvertes de sables, de graviers et de coquilles brisées : la direction des lignes d'affleurement devient tout à fait incertaine, et on ne peut affirmer qu'il n'y a pas dans le prolongement du banc du Varne une faille avec dénivellation. Si une telle faille existait, son importance serait, en tout cas, de beaucoup inférieure à celle qu'on aurait pu être porté à lui attribuer avant que le plissement de la côte anglaise ne fût étudié. Il était permis de supposer, en effet, que le banc du Varne devait son existence à un accident géologique important, et de rapprocher cet accident du défaut de concordance entre la direction des affleurements observés sur la plage anglaise, et celle des affleurements de la partie française du détroit; mais si l'on trace, d'après les échantillons recueillis, les lignes suivant lesquelles le gault se trouverait à 50 et à 100 mètres au-dessous du niveau de la mer (en supposant enlevée toute la craie), on voit que, des deux côtés du banc du Varne, ces lignes sont, à peu de chose près, dans le prolongement l'une de l'autre.

Au Sud de l'affleurement hypothétique figuré sur la carte, nous n'avons rencontré que des grès semblables à ceux qui, à Copt-Point, supportent le gault. M. Brunel avait trouvé, plus au Sud encore, en un point figuré par une étoile sur la carte, une argile semblable à celles qui sont sous ces grès.

Au Nord de cette région, on a cherché, par des lignes très-nombreuses et très-rapprochées de sondages, à étudier les affleurements de la craie supérieure à la craie de Rouen. Lorsqu'on se dirige vers le Nord-Est, en suivant une ligne parallèle à l'axe du détroit, on trouve au Nord des affleurements de la craie conglomérée (assise IV), des affleurements d'une craie blanche tendre, dans laquelle la sonde entre facilement, et qui donne des échantillons volumineux; c'est la craie qui forme la partie supérieure du Blanc-Nez et celle qui affleure au pied de la falaise, immédiatement à l'Est de Douvres. La bande occupée par cette craie a pu être suivie depuis le tiers du détroit, à partir de la côte française, jusque dans l'intérieur du pli des eaux anglaises; dans ce parcours, elle passe au Nord du banc du Varne, sans subir d'inflexion notable; elle ne se contourne que pour dessiner dans le plissement anglais, et autour du bombement qui en résulte au Nord, des sinuosités en rapport avec celles des affleurements des couches sous-jacentes. Le Varne n'est donc pas le résultat d'un accident géologique affectant les couches de craie.

La largeur moyenne de cette bande, qui est de 1,500 mètres, indique, de plus, que dans le milieu du détroit la pente des couches diminue très-rapide-

ment à mesure que l'on se dirige vers le Nord. L'épaisseur de cette assise est, en effet, d'une trentaine de mètres; le plongement moyen est donc de $\frac{1}{50}$, tandis que, dans la bande située un peu plus au Sud, où affleure la craie de Rouen, le plongement est beaucoup plus considérable et de $\frac{1}{7}$ environ; ainsi, dans la partie du détroit comprise entre le Varne et les eaux françaises l'allure de la craie est la même qu'à terre, depuis le Mont Couple jusqu'à Caffiers. (Voir plus haut, page 40, le croquis représentant la coupe de Caffiers à Calais, et la coupe CD de la planche I.)

Si l'on étudie les affleurements plus au Nord, on trouve, au delà de la bande dont nous venons de parler, une zone dans laquelle les échantillons ne présentent plus de caractère minéralogique constant; leur dureté est excessivement variable, et la craie y est mêlée parfois de veines argileuses; la craie est tantôt jaune, tantôt blanche, et la sonde a ramené fréquemment des éclats de silex paraissant en place dans la craie: ce sont bien les caractères de l'assise II de Philipps (1).

Enfin, plus au Nord encore, on ne trouve plus que de la craie blanche, tendre, contenant à peine 2 ou 3 % de matières insolubles, et qui paraît tout à fait identique avec celle qui constitue les falaises au Nord de Saint-Margaret's, et sur laquelle est assis le château de Douvres. Cette craie a été suivie jusqu'au parallèle de Saint-Margaret's, en dehors du cadre de la carte.

On a figuré par une teinte jaune clair les régions où cette craie a été certainement rencontrée, laissant en dehors, dans le jaune foncé, tout échantillon douteux, afin d'être certain de ne pas exagérer le plissement dont l'existence est démontrée par la présence de ces assises au fond du détroit à plus de 50 mètres de profondeur.

Lignes de niveau de
la surface supérieure
du gault.

Il a été indiqué plus haut comment on pouvait, connaissant les limites des affleurements des différentes assises, et leurs épaisseurs, arriver à dresser des coupes verticales, comme celles qui composent la planche I; sur chacun de ces profils, on peut chercher en quel point la ligne de séparation du gault et de la craie glauconieuse se trouve à une profondeur déterminée, 100 mètres par exemple, au-dessous du zéro de la carte hydrographique, et reporter ce point sur la carte.

(1) C'est vers la base de ces assises qu'a été rencontré le seul fossile (*Rhynchonella Cuvieri*) ramené par nos sondages, emplacement marqué d'un F sur la carte.

En faisant cette opération pour un grand nombre de coupes, on aura sur la carte autant de points où la surface supérieure du gault (ou, ce qui est la même chose, la base de la craie glauconieuse) se trouve à 100 mètres au-dessous du zéro; et en traçant une courbe par tous ces points, on aura la ligne figurée sur la carte sous le nom de *ligne de niveau à 100 mètres*.

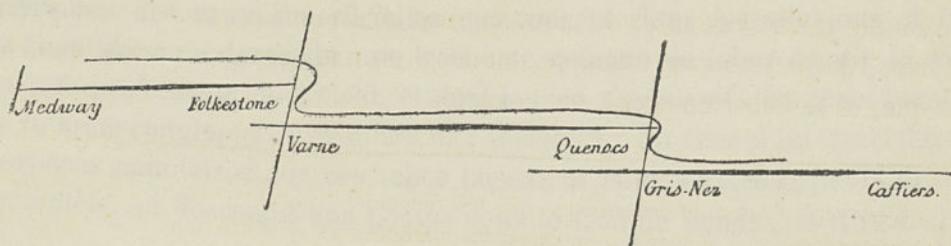
On a construit de même les lignes de niveau à 50 mètres et à 150 mètres, et ces trois lignes résument toutes nos connaissances sur la forme de cette surface, mieux que ne peuvent le faire les lignes d'affleurement dont la position dépend à la fois de l'allure des couches et de la forme extérieure du sol.

Ces lignes sont d'autant plus rapprochées que l'inclinaison de la surface est plus grande, et leur direction est en chaque point perpendiculaire à celle de la ligne de plus grande pente de la surface; comme toutes les assises qui composent le terrain crétacé à partir du gault ont des épaisseurs sensiblement constantes dans l'espace restreint que nous avons à étudier, les inflexions de ces assises sont les mêmes que celles de la surface supérieure du gault, et peuvent être également étudiées au moyen de ces trois lignes.

On voit qu'en résumé, dans le détroit, comme en France et en Angleterre, les assises du terrain crétacé plongent généralement vers la mer du Nord, et que leur inclinaison va en diminuant vers le Nord; que cette allure n'est pas parfaitement continue, et qu'en deux points, savoir : le long de la côte française, et à cinq kilomètres de la côte anglaise, deux plis font plonger localement les couches vers l'Est; les arêtes de ces plis sont dirigées vers l'Est un peu Nord, et ces plis paraissent s'effacer vers la mer du Nord; la continuité de ces couches n'est interrompue en aucun point d'une manière appréciable.

Disposition générale
des
couches de craie.

On se fera une idée de la manière dont ces couches se comportent en supposant que les assises crétacées, primitivement horizontales, ont été fortement relevées vers le Sud, suivant trois lignes à peu près parallèles que figure le diagramme ci-joint :



Au Nord de ces lignes les couches plongent rapidement vers le Nord ; au Sud elles sont horizontales ou plongent très-faiblement au Sud ; dans les régions comprises entre deux axes de relèvement, les couches sont plissées et les lignes de niveau sinueuses ; mais ces sinuosités, qui sont de moins en moins prononcées sur les lignes de plus en plus profondes, n'impliquent pas l'existence de nouveaux axes de soulèvement dirigés transversalement aux premiers dans la région que nous avons explorée.

A. DE LAPPARENT. A. POTIER.



RAPPORT

SUR LE

SONDAGE DE SANGATTE

Le sondage de Sangatte a été établi à 680 mètres vers l'Est du clocher de ce village, à peu de distance de l'extrémité de la digue ; le niveau du sol est de 2^m,50 seulement au-dessus de la mer moyenne. Après avoir traversé 10 mètres environ de tourbe et d'alluvions marines récentes, on a pénétré dans une craie tendre, traçante, fendillée et s'éboulant dans le trou de sonde ; cette craie, probablement remaniée, appartient au haut de l'assise IV de la classification adoptée dans le rapport de l'an dernier. A 19 mètres, la craie est devenue beaucoup plus dure, en même temps que s'y développaient des veines d'argile verte, en sorte que la roche prenait un aspect congloméré ; cet aspect et les fossiles rencontrés dans le forage ne laissent aucun doute sur la place qu'occupe cette craie : c'est l'assise IV (partie inférieure). Pour traverser les alluvions et la craie tendre, on a dû descendre dans le trou de sonde deux colonnes de tubes ; la première, au diamètre de 0^m,43, part du sol et s'arrête à la profondeur de 10^m,26 ; la seconde, dont la tête est à 9^m,97, a son pied à 17^m,05 ; son diamètre est 0^m,38 ; pour isoler les eaux souterraines des eaux superficielles qui courent dans les alluvions et la craie fendillée, on a descendu une troisième colonne de tubes depuis le sol jusqu'à la profondeur de 23^m,30, et dont le pied s'appuyait, par conséquent, dans la craie conglomérée et solide de l'assise IV ; du ciment fut coulé dans les espaces annulaires que ces tubes laissaient entre eux ; lorsque la prise fut complète, on descendit une pompe dans le trou de sonde ; le niveau de

l'eau, qui était à 1^m,74 du sol avant l'épuisement, descendit rapidement à 20^m,44, niveau de l'aspiration de la pompe ; on observa la marche ascensionnelle de l'eau après cet épuisement, et le débit du forage fut trouvé de 5 litres par minute, l'eau étant à 20^m,44 dans le trou de sonde.

Le forage fut continué dans l'assise IV jusqu'à la profondeur de 35^m,95, où l'on rencontra une craie blanche, tendre, collant au trépan (assise V). Un épuisement fut fait à la profondeur de 44^m,25; la hauteur libre du trou étant sur 12^m,65 dans l'assise IV et sur 8^m,30 dans l'assise V, le débit fut trouvé de 170 litres (l'eau à 13^m,50) et de 196 litres (l'eau étant à 15^m,75) par minute ; lorsque le sondage fut arrivé à 46^m,54, toujours dans la même craie, un nouvel essai fut fait et les débits trouvés de 80 litres (eau à 5 mètres), 130 litres (eau à 10 mètres), 150 litres (eau à 12 mètres), 180 litres (eau à 14 mètres), 222 litres (à 16^m,75). Ce second épuisement confirme le précédent; il montre que le travail du trépan n'avait pas ébranlé le massif de ciment, dont l'étanchéité a été établie par l'essai de pompe qui avait eu lieu immédiatement après la prise du ciment. L'affluence de l'eau étant déjà considérable, un nouveau tubage fut fait, lorsque la profondeur atteignit 50 mètres ; le changement de couleur de la craie, l'abondance des pyrites et l'épaisseur traversée indiquaient que l'assise VI avait été rencontrée à 49 mètres; l'essai fait immédiatement après la prise du ciment, le débit fut trouvé de 4 litres et demi, l'eau étant à 50 mètres ; au bout de 50 heures l'eau n'avait pas encore repris son niveau statique ; l'étanchéité du nouveau tubage était donc satisfaisante. Le sondage entra dans la série des bancs de craie réunis sous le nom d'assise VI, et au bas de laquelle sourdent sur la falaise, près le Cren d'Escalles, les sources dont il est fait mention dans le rapport de l'an dernier. On fit des essais de pompe tous les 10 mètres ; leurs résultats sont réunis ci-dessous.

PROFONDEUR du trou de sonde	DÉBIT (Niveau de l'eau à 10 ^m)	DÉBIT (Niveau de l'eau à 20 ^m)	DÉBIT (Niveau de l'eau à 40 ^m)	
61 ^m ,87	46 litres	33 litres	55 litres	
71 ^m ,46	26 —	50 —	80 —	Débits en litres
79 ^m ,48	34 —	69 —	128 —	par minute.

A la profondeur de 74^m,60, on était entré dans l'assise VII ; la craie est d'un gris bleuâtre foncé et contient plus de 15 % d'argile ; cette proportion s'élève à 40 % dans quelques bancs ; à 82 mètres, on est entré dans une craie solide, un peu sableuse, qui, vers 96 mètres, se charge de glauconie ; des rognons phosphatés s'y montrent à 99 mètres, et à 99^m,88 on entre dans les argiles du gault.

Dans l'épaisseur de cette assise, deux essais ont été faits, et à la profondeur de 92^m,85, on trouvait encore les débits suivants :

PROFONDEUR du trou de sonde	DÉBIT (Niveau de l'eau à 10 ^m)	DÉBIT (Niveau de l'eau à 20 ^m)	DÉBIT (Niveau de l'eau à 40 ^m)	
—	—	—	—	
92 ^m ,85	38 litres	71 litres	128 litres	Débits en litres par minute.

L'augmentation, si toutefois elle existe réellement, est insignifiante entre les profondeurs de 79^m,48 et celle de 92^m,85.

Un autre essai fut fait au-dessous de 100 mètres; le trou de sonde ayant pénétré dans le gault, assise dont l'imperméabilité est bien connue, de manière à recueillir toute l'eau provenant des 50 mètres libres du forage, on obtint :

PROFONDEUR du trou de sonde	DÉBIT (Niveau de l'eau à 10 ^m)	DÉBIT (Niveau de l'eau à 20 ^m)	
—	—	—	
100 mètres	42 litres	75 litres	Débits en litres par minute.

Le sondage fut continué. Après avoir traversé 5 mètres d'argile noire compacte, on entra dans des argiles moins solides qui obligèrent à tuber, puis dans des sables aquifères qui donnèrent à eux seuls 67 litres par minute, l'eau étant à 15 mètres; sous ces sables, on a rencontré de nouveau quelques lits d'argile, puis des sables blancs ou ligniteux dans lesquels le sondage fut arrêté à 129^m,75. L'épaisseur de ces terrains aquifères et meubles était trop grande pour qu'il pût y avoir quelque intérêt à les traverser dans un puits, dans le but de rencontrer au-dessous un terrain d'un pouvoir absorbant problématique.

Si l'on groupe les résultats des divers épuisements, en calculant la quantité d'eau qu'a donnée chaque mètre courant du trou de sonde, le niveau de l'eau étant à 20 mètres, on trouve :

de 23 ^m ,30	à 44 ^m ,25.	11 litres par minute	
de 50 ^m ,02	à 61 ^m ,87.	2 ^l ,3	—
de 61 ^m ,87	à 71 ^m ,46.	1 ^l ,7	—
de 71 ^m ,56	à 79 ^m ,48.	2 ^l ,4	—
de 79 ^m ,48	à 92 ^m ,85.	0 ^l ,15	—
de 92 ^m ,85	à 99 ^m ,88	0 ^l ,5	—

Le premier chiffre est probablement trop faible, car l'eau paraît provenir

beaucoup plus des 12 premiers mètres appartenant à l'assise IV, que des 8 derniers.

Le niveau de l'eau dans les forages a été observé quatre fois par jour; jusqu'au dernier moment il a oscillé avec le niveau de la mer, qui paraît être aussi bien le régulateur de la nappe des sables aquifères inférieurs, que de celle de la craie. Les eaux provenant du sondage ont toujours été douces et la proportion du chlore très-faible.

Le régime des eaux a été étudié également dans l'espace compris entre la mer, la route nationale de Paris à Calais et l'escarpement crétaé; les sources se présentent au même niveau géologique qu'au Cren d'Escalles, à Sombre et sur le versant de l'escarpement; lorsque l'on se dirige vers le Nord, le niveau de l'eau s'abaisse, mais beaucoup moins rapidement que celui des couches crétaées, de sorte qu'on rencontre l'eau successivement dans des assises de plus en plus récentes à mesure que l'on se porte au Nord; la surface générale du niveau de l'eau dans les puits s'incline doucement au Nord pour venir se raccorder avec le niveau habituel des eaux de la plaine de Calais.

De l'ensemble des faits observés, il résulte qu'il n'y a dans toute l'épaisseur de la craie qu'une seule nappe aquifère; la craie est imprégnée d'eau dans toute son épaisseur au-dessous du niveau des eaux de la plaine de Calais. Chacune des assises de la craie cède cette eau avec une vitesse spéciale, et le tableau ci-dessus donne une idée de la manière dont cette vitesse varie. Il a paru tout à fait inutile de faire porter des recherches de la même nature sur les assises supérieures à celles rencontrées dans le forage de Sangatte; la craie qui les constitue se fendille avec la plus grande facilité, et les fentes, aussi bien que les joints des lits de silex qui traversent la roche, laissent échapper des quantités d'eau considérables dès qu'on veut abaisser notablement le niveau de l'eau au-dessous de son niveau statique (exemple, tous les puits des mines du Nord).

Comparaison
des
sondages entre eux.

Le forage de Sangatte, joint à celui de la ferme Mouron, permet de suivre très-exactement l'allure des couches de craie sous la côte française; on reconnaît en effet dans le « Grey Chalk » de la légende jointe au projet de MM. Hawkshaw et Brunlees, et dont l'épaisseur est de 18 mètres, les couches de craie conglomérée et mélangée d'argile verdâtre rencontrées entre 19 et 36 mètres; les couches tendres bleues ou blanches, dont l'épaisseur est de 38 mètres, correspondent exactement aux assises VI et V, qui ont été traversées à Sangatte, de 35^m,95 à 74^m,60; les couches bleu

foncé « Dark blue » suivies de craie tendre légèrement sableuse, et de craie grise dure, ont bien été rencontrées à Sangatte, mais avec une épaisseur moindre (30 mètres à la ferme Mouron, 22 mètres à Sangatte). Il y aurait ainsi entre le sondage de Sangatte et la ferme Mouron, distants de 2,000 mètres, une différence d'épaisseur de 8 mètres, et entre le sondage de Sangatte et le Blanc-Nez, une différence égale, pour une distance à peu près égale, cette différence portant principalement sur les couches inférieures qui augmentent de puissance vers le Nord-Ouest.

D'un autre côté, la description des couches traversées à la ferme Mouron, et les échantillons recueillis à Sangatte, sont parfaitement d'accord avec ce que l'on peut observer sur la falaise anglaise à l'Ouest de Douvres, et on est porté à penser que les couches de craie tendre, collant au trépan, qui succèdent immédiatement à la craie dure et conglomérée, sont celles qui, dans le sondage de Saint-Margaret's, ont été désignées sous le nom impropre de « Pipe clay », aucune couche d'argile proprement dite n'étant connue dans la craie. C'est cette assise qui forme le pied de la falaise de Shakespeare, et que nous avons désignée par le n° V; son épaisseur à Saint-Margaret's est de 13 mètres; le reste du système jusqu'au gault est épais de 62 mètres, ce qui donnerait pour l'épaisseur totale du système (V, VI, VII et VIII) 75 mètres. Dans la falaise, entre Lydden Spout et Folkestone, nous avons trouvé 61 et 59 mètres (1); sur les deux rives, l'épaisseur paraît donc augmenter lentement vers l'Ouest-Nord-Ouest.

Les échantillons ramenés du fond du détroit ont offert dans leur composition et leur aspect physique les mêmes variations que l'on peut observer sur les falaises. Il n'y a donc aucune raison de supposer que sous le détroit ces étages se présenteront avec une composition ou une perméabilité différentes de celles que nous montrent les côtes.

A. DE LAPPARENT. A. POTIER.

(1) Depuis la rédaction de ce rapport, une note de M. Price, dans le *Philosophical Magazine*, indique 197 pieds, soit 59^m,90 pour l'ensemble des assises V, VI, VII et VIII, dans le voisinage de Folkestone.

COUPES

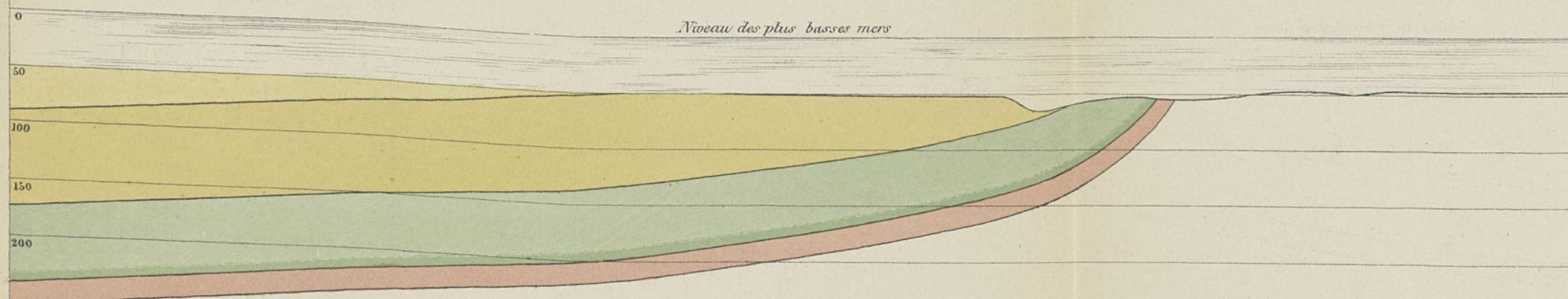
Coupe AB

Dirigée N 4° E montrant le plissement des Quénocs



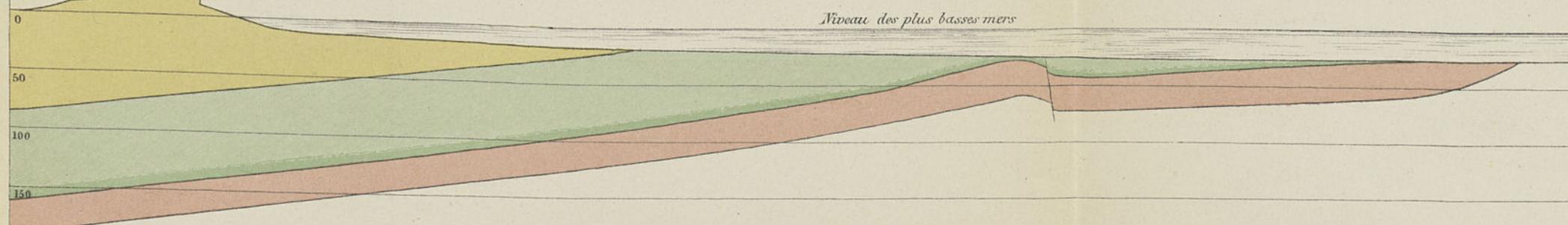
Coupe CD

Dirigée N 21° E vers le milieu du détroit

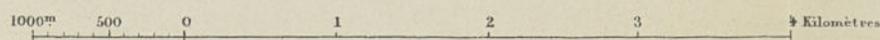


Coupe EF

Dirigée N 24° E près la côte anglaise



Echelle des longueurs: 50.000



Les couleurs ont la même signification que sur la carte.

COMPARAISON

du forage de Sangatte et de la coupe du Blanc Nez

Quantités d'Eau par mètre courant en litres par minute	Forage de Sangatte	Numeros d'ordre des assises	Falaise du Blanc Nez	Points où affleurent ces assises	Fossiles principaux
		I	Craie tendre et blanche à silex rares lit. de silex de 0.01	170 Tranchée sup. ^{re} du chemin de Sangatte à Escalles. Les Callinottes Falaise au N. de St. Margaret	<i>Micraster coranguinum</i> <i>Echinocorys gibbus</i>
		II	Craie dure sableuse et fossilifère lit argileux lit de gros silex id. id. Craie dure sableuse et fossilifère nombreux silex lit de gros silex lit de gros silex lit argileux deux lits de silex roses	160 Orifice du sondage de St. Margaret Tête E. du Blanc Nez Sommet de Shakespeare Cliff 150 Sentier à 3 ^h 6 à l'E. de Douvres Tête O. du Blanc Nez	<i>Micraster cortestudinarium</i> <i>Micraster breviporus</i> <i>Holaster planus</i> <i>Ammonites Prosperianus</i> <i>I. Bronghniarti</i> <i>Rhynchonella Cuvieri</i>
		III	lit argileux lit de silex Craie blanche compacte grandes assises peu de silex	140 Pied de la falaise à l'E. de Douvres	
		IV	Craie blanche avec veines verdâtres ondulées grandes assises	130 120	<i>Terebratulina gracilis</i>
0	Tourbes et Alluvions marines récentes Zéro de la Carte hydrographique				
5					
10	Craie blanche dure Craie brisée (<i>Terebratulina gracilis</i>) lit argileux				
20					
25	Craie verdâtre et lits argileux irréguliers avec nodules très durs		Craie verdâtre mêmes veines que ci-dessus avec nodules très durs		<i>Inoceramus labiatus</i> <i>Discoidea infera</i> <i>Echinocorys subrotundus</i> <i>Ammonites nodosoïdes</i>
30	<i>Inoceramus labiatus</i>				
35	Craie noduleuse très dure				
40	II Banc marneux verdâtre		Banc marneux blanc verdâtre	Pied E. de la falaise de Shakespeare	<i>Belemnites plenus</i> <i>Micrabacia coronula</i>
45	Craie blanche tendre		Craie blanche compacte	Premiers affleurements à l'Ouest de Sangatte	
50	Craie un peu plus dure		Craie gris-verdâtre pâle délitée	Plage à l'O. de Sangatte	
55	Craie gris clair		Craie blanche dure Craie gris clair		<i>Holaster subglobosus</i>
60	Banc clair pyriteux très dur				
65	Craie grise		Ligne marquée sur la falaise Craie grise non homogène		
70	2,3 Quelques bancs durs		Trois bancs gris plus dure Craie grise avec lits marqués	Cren d'Escalles Pied O. de la falaise de Shakespeare	<i>Ammonites Rotomagensis</i>
75	Craie grise tendre bleuâtre		Craie compacte gris bleu Eau sous la tête Ouest		<i>Rhynchonella Grasi Mantelli</i> <i>Ammonites varians</i>
80	Banc dur Banc dur		Craie compacte gris bleu Eau Craie en petits bancs	Eau à Lydden Spout	
85	Banc dur pyrites		Eau Sources du Cren d'Escalles		
90	2,4 Craie tendre, gris bleuâtre foncé		Craie marneuse (Bancs à ciment)	Plage à Lydden Spout	
95	Devient plus dure et plus solide à la base		Craie grise sableuse plus dure que la précédente.	Plage sous Abbott's Cliff Plage au S. du Cren d'Escalles	<i>Ammonites laticlavus</i> <i>Discoidea subuculus</i> <i>Epiaster crassissimus</i>
100	0,15		Craie plus argileuse		
105	Craie bleue sableuse <i>Inoceramus</i> nombreux		Marnes glauconieuses et nodules phosphatés		<i>Terebratula biplicata</i>
110	0,5 Craie tendre, un peu de glauconie		Argile grise	Warren, Plage d'Eastware Bay Plage sous St. Pot	<i>Inoceramus sulcatus</i>
115	Marnes glauconieuses et nodules		Argile grise id. id.		<i>Ammonites interruptus</i>
120	Argile grise		Phosphatés et sable vert		
125	Argile glauconieuse Fosiles phosphatés <i>Ammonites interruptus</i> Argile grise très grasse se chargée de sable et de glauconie		Grès vert à ciment spathique Sable vert Argile noire très grasse		
130	10 Sable très glauconieux, pyrites et phosphates				
135	Argile noire compacte				
140	Sables verts plus ou moins foncés, pyrites Bois fossile Grès grossier				
145	120 Sables gris verdâtre, pyrites Argile sableuse, cailloux roulés de l'époque ancienne et de phosphates				
150	125 Sable très fin, blanc, gris, et violacé par veines irrégulières, avec lignites et débris végétaux				

Pour les détails géologiques et paléontologiques consulter

W. Phillips Transactions Geol. Soc. Série I, Tome V.
W.H. Fitton Proceedings Geol. Soc. Vol. I.
W. Whitaker Memoirs of the Geological Survey, Vol. IV.
Chelloneix Bulletin Soc. Géologique, II^e Série, Vol. XXIX
Ed. Hébert id. III^e Série, Vol. II.
Ch. Barrois Ann. Soc. Géol. du Nord, et Thèse, 1876.

Echelle 1/400 (0^m.0025 par mètre)