BnF Gallica

Conférences sur l'hydrographie pratique et les procédés rapides en cours de campagne : Ernest Mouchez

Source gallica.bnf.fr / Observatoire de Paris

BnF Gallica

. Conférences sur l'hydrographie pratique et les procédés rapides en cours de campagne : Ernest Mouchez. 1892.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter **utilisation.commerciale@bnf.fr**.

OBSERVATOIRE DE PARIS

9532

M
6.18.

Source gallica.bnf.fr / Observatoire de Paris

Conférences

sur

l'Hydrographie pratique

et les

Procédés rapides en cours de campagne.

par

le Contre-Amiral E. A. B. Mouchez.

OBSERVATOIRE DE PARIS
9532
BIBLIOTHEQUE

Paris.

1892.

Imp. Blanc-Pascal, 27 Rue de l'Estrapade. Paris.

OBSERVATOIRE DE PARIS

KONINKLIJK INSTITUUT VOOR DE TROPEN
AFDELING CULTUURLAND- EN VOLKENKUNDE

OBSERVATOIRE
DE
PARIS

Avertissement.

Le Contre-Amiral Mouchez a été surpris par la mort avant d'avoir pu mettre la dernière main aux Conférences d'Hydrographie qu'il faisait tous les ans aux officiers détachés à l'Observatoire de Montsouris. Mais il avait pris les dispositions nécessaires pour assurer leur publication: et il en avait rédigé le texte tout entier; il avait même pu en revoir une partie.

Sauf quelques modifications de détail, qui ne changent en rien la pensée de l'auteur, ce texte a été scrupuleusement respecté, malgré des imperfections évidentes.

Peut-être aurait-on pu atténuer des expressions un peu vives, qui sont comme l'écho de discussions déjà anciennes; mais il a paru ~~préférable~~ favorable de ne rien changer. On retrouvera donc ici, en partie du moins, le laisser-aller qui caractérisait l'enseignement oral ainsi que l'enthousiasme scientifique qui a animé l'Amiral Mouchez jusqu'à son dernier jour.

Table des Matières.

Chapitre I.

Pages

Comment doivent être compris et exécutés les travaux hydrographiques par les officiers de marine ____ 1
Comment doit être comprise une carte marine ____ 10
Desiderata relatifs aux phares ____ 13
Sur le nouveau procédé de levé, basé sur l'emploi de la hauteur de la station au-dessus du niveau de la mer ____ 15
Bénéfices multiples du nouveau procédé. Réponse à diverses critiques ____ 18
Avantages particuliers pour faciliter le sondage des passes, pour le levé détaillé des pieds des falaises ____ 24

Chapitre II

Détails des opérations pratiques à effectuer ____ 28
Installation et rectification du théodolite ____ 30
Détail des opérations à faire à chaque station au théodolite ____ 34
Stations à bord et vues de côtes ____ 39
Echelle de la carte ____ 40
Echelle de marée. Sondages ____ 44
Construction de la carte ____ 50
Deux causes d'erreur dans l'emploi des hauteurs de stations ____ 54
Chronomètres ____ 56

Chapitre III

Renseignements particuliers sur divers travaux hydrographiques ____ 62
Levé de la Côte du Brésil ____ 63
Usage des compas ____ 65
Emploi des lignes de hauteur ____ 67
Levé des Abrolhos ____ 71
Résumé relatif au levé des côtes du Brésil ____ 75
Précision des résultats ____ 76
Etendue du travail ____ 78
Levé des Côtes de l'Algérie ____ 78
Etendue du travail ____ 84
Côte de la Tripolitaine et de la Grande Syrte ____ 84
Levé du fleuve Paraguay ____ 89
Conclusion ____ 92
Planches ____

OBSERVATOIRE DE PARIS

Conférences

sur

l'Hydrographie pratique

et les procédés rapides en cours de campagne.

Chapitre I.

Comment doivent être compris et exécutés les travaux hydrographiques par les officiers de marine.

Le but de ces notes est d'indiquer aux officiers de marine des procédés très simples et faciles à employer en cours de campagne, pour lever rapidement et avec une précision suffisante le plan des ports ou des côtes qu'ils visitent, sans avoir besoin pour cela de recourir aux longues et laborieuses méthodes plus ou moins géodésiques, et de cheminement par triangles, ordinairement recommandées dans les traités d'hydrographie.

Pendant le cours de leur navigation et de leurs stations dans les diverses mers du globe, les officiers rencontrent de continuelles et précieuses occasions de faire de nombreux travaux pour corriger les cartes existantes ou en rapporter de nouvelles; s'ils peuvent disposer d'un

petit théodolite, les plus courtes relâches de 3 ou 4 jours suffisent pour lever le plan de localités de quelques milles d'étendue, sans autre dérangement au service du bord que l'emploi des embarcations nécessaires aux sondages.

Malheureusement, par une appréciation inexacte de la nature de ces travaux, des besoins auxquels ils doivent satisfaire et des conditions dans lesquelles il faut le plus souvent les exécuter, la plupart des traités spéciaux, (dûs à des professeurs ou des auteurs plus familiarisés avec la théorie qu'avec la pratique), indiquent toujours à peu près les mêmes méthodes géodésiques, les mêmes formules, les mêmes corrections minutieuses qui n'ont qu'un faible rapport avec le but à atteindre, et sont le plus souvent impraticables en cours de campagne.

Elles visent uniquement à un degré d'exactitude plus ou moins grand, souvent illusoire et supérieur à celui qui suffit à la construction graphique d'une bonne carte hydrographique, qu'on doit exclusivement considérer à l'unique point de vue du service qu'elle est appelée à rendre, comme un simple instrument de navigation.

C'est certainement par manque d'expérience pratique suffisante que les auteurs de quelques traités nouveaux ont condamné, sans les connaître, les procédés simples auxquels j'ai dû avoir recours, et que je propose après une longue expérience à mes jeunes camarades de la marine.

Dans les contrées civilisées, où les hydrographes possèdent toutes les facilités et tout le temps nécessaires

pour parcourir les côtes dans tous les sens, construire leurs signaux artificiels, faire et réitérer leurs minutieuses opérations de la mesure des bases et des angles des triangles, ils peuvent se livrer à leurs lents et laborieux travaux, avec les moyens surabondants qu'on leur donne, sans autres inconvénients qu'une grande perte de temps et d'argent, car leur triangulation a été même presque toujours déjà faite par les géodésiens.

C'est ainsi qu'avec leurs procédés nos savants hydrographes ont mis un demi-siècle à faire la carte des côtes de France commencée vers 1810 par Beautemps-Beaupré et terminée seulement vers 1860; et on continue cependant chaque année encore à en recommencer certaines parties incomplètement relevées, ou à corriger les changements qui s'y produisent.

De semblables procédés ne conviennent évidemment pas à des marins qui, appelés à visiter toutes les mers du globe, ont besoin de pouvoir lever rapidement, avec les simples moyens dont ils disposent, des cartes suffisantes pour donner toute sécurité et toute facilité à la navigation; ce qui se trouve évidemment réalisé si les erreurs qu'elles comportent sont inappréciables avec les moyens dont on dispose à bord pour déterminer la position du navire et diriger sa route près de terre. Pour l'application des procédés géodésiques en dehors des pays civilisés, les côtes sont trop souvent difficiles à explorer même à très petite distance dans l'intérieur, à cause du manque de routes ou de la présence de forêts, de marais ou de montagnes d'un difficile accès, et quelquefois aussi à cause de l'hostilité des indigènes.

C'est ainsi qu'à 3 ou 4 journées seulement de navigation des côtes d'Europe, dans la grande Syrte et une partie de la Tripolitaine, il m'a été plusieurs fois impossible en 1876 de débarquer sur les plages en apparence désertes, sans risquer d'être attaqué et enlevé par les tribus des pillards arabes qui n'y vivent que des débris de naufragés, après le massacre des naufragés. - Je dus renoncer plusieurs fois aux stations à terre sur une partie de ces côtes, après 2 ou 3 incidents fâcheux dont j'eus quelque peine à me tirer. Le cheminement par triangles est donc à peu près toujours impossible dans des travaux exécutés en cours de campagne.

Tous les traités d'hydrographie donnent sans doute certains conseils sur le levé des plans par des procédés plus simples, quand on ne peut pas exécuter les méthodes savantes; mais ces procédés sont si insuffisants, souvent même si peu praticables, qu'il est facile de voir que les auteurs n'y attachent aucun intérêt et ne les ont jamais employés eux-mêmes; on ne les cite que de confiance et pour se conformer à l'usage.

Le meilleur traité que les marins aient eu longtemps pour guide le Traité de géodésie de Bégat, à l'usage des marins, ne contenait même aucune de ces méthodes expéditives.

Le titre seul de cet ouvrage permettait de préjuger son peu d'utilité pratique et était une erreur évidente, les marins ne pouvant jamais avoir à faire de la géodésie. Les cartes qu'ils ont à lever n'ont pour but exclusif que de satisfaire aux besoins de la navigation et ne nécessitent en réalité que des travaux d'ordre astronomique

et topographique, exécutés avec le degré d'exactitude des observations en usage dans la marine.

Le géodésien, comme son nom l'indique, a toujours en vue, comme but supérieur de son travail, la comparaison de l'étendue du pays qu'il lève avec la dimension du globe terrestre. Quand il mesure une base par les procédés si minutieux décrits dans tous les traités, quand il réitère les mesures de ses angles à la seconde et fraction de seconde pour retrouver aux deux extrémités de la France, à quelques centimètres près, la même valeur des deux bases mesurées directement et par triangulation, il a en vue de déduire de ses petites bases de quelques milliers de mètres la dimension et la forme du sphéroïde terrestre.

Il est donc naturel et nécessaire qu'il ait recours aux méthodes et aux opérations les plus parfaites, aux corrections les plus minutieuses, pour empêcher la rapide accumulation des erreurs qui altéreraient considérablement le résultat cherché ; mais d'autre part le but pratique de son travail, la construction d'une carte, le préoccupe si peu, qu'il l'abandonne généralement à une autre série d'observateurs, les topographes.

La géodésie vise donc un résultat plus théorique que pratique, un degré de précision bien supérieur à celui qui peut se traduire graphiquement, et dès lors inutile pour une simple carte hydrographique.

D'ailleurs par ces procédés, quand, après avoir mesuré la base, on est parvenu à établir laborieusement une chaîne de triangles le long de la côte, on n'a encore que le canevas de la carte, auquel il faut rapporter ensuite tous les contours du littoral et les détails topographiques,

objets exclusifs du levé ; mais les traités spéciaux n'indiquent, pour faire ce second travail, que des moyens lents, d'une exactitude secondaire, qui occasionnent une nouvelle perte de temps et bien des erreurs quand on ne peut pas y consacrer tout le temps nécessaire.

Cette grande précision qu'on espère réaliser par les procédés géodésiques et qu'il serait impossible d'atteindre sans se conformer strictement à toutes les règles établies, est d'ailleurs souvent illusoire, soit par les changements continuels qui se produisent sur les côtes, soit même par les procédés des reproductions graphiques, soit par le simple retrait et la déformation de la feuille, qui peut atteindre un centimètre par mètre, quand on l'imprime ou par tout autre motif imprévu.

C'est ainsi qu'il y a une quarantaine d'années, en vérifiant mes instruments à Toulon avant de partir pour la campagne de circumnavigation de la « Capricieuse », je fus très surpris de constater une erreur de 10" à 12" sur la latitude de ce port, donnée par nos cartes de la marine. Comme il était inadmissible que les géodésiens, qui calculent les positions géographiques à quelques centimètres près, eussent commis pour Toulon une erreur de plusieurs centaines de mètres, ma correction fut naturellement refusée et cette erreur de 12" fut imputée à mes observations. (J'ai signalé plus tard une semblable erreur à Alger).

Ce n'est que bien des années après, quand le Directeur de l'Observatoire de Toulon eut confirmé mes observations, qu'on a trouvé l'explication des faits par la déviation locale de la verticale, constatée depuis dans tant

de localités différentes, et qui fait naître un complet désaccord entre les positions géodésiques et les positions astronomiques ; un marin, en une seule nuit d'observation, avec son sextant, avait donc obtenu un résultat astronomiquement et pratiquement plus exact que les géodésiens après plusieurs années d'un travail très minutieux, employées à colporter leur position géographique d'une extrémité de la France à l'autre. - Or, cette erreur de la latitude astronomique, c'est-à-dire de la direction de la verticale, déviée de 12", existait depuis 20 à 30 années sur nos cartes de la côte de Provence sans que jamais personne ne s'en fût aperçu. Il est inutile de rappeler que pour les marins c'est la latitude astronomique et non la latitude géodésique qui est la plus utile, puisque c'est la seule qu'ils puissent obtenir.

Ce degré de précision de 10" est donc plus que suffisant pour tout travail hydrographique que les marins ont à faire en cours de campagne et ils peuvent l'obtenir avec leur sextant en une seule soirée, avec la plus grande facilité, par suite des progrès réalisés depuis longtemps dans nos instruments et nos procédés d'observation.

Il est d'autant plus nécessaire de fixer la limite d'exactitude que doit avoir une bonne carte pour satisfaire complètement à tous les besoins, et ne pas perdre l'occasion de la faire, qu'on peut dire que le temps nécessaire pour la lever augmente peut-être comme le carré du degré de précision qu'on veut atteindre.

A terre, avec un peu d'expérience, un officier peut, par exemple, déterminer une latitude à 10" près dans une seule soirée à l'aide de 2 ou 3 étoiles passant de chaque

côté du zénith, ce qui permet de déterminer astronomiquement l'échelle à moins de $\frac{1}{100}$ près pour une carte de quelques lieues d'étendue ; tandis qu'il lui faudrait plusieurs nuits d'observation pour obtenir cette latitude à 3" ou 4" et de bien plus nombreuses soirées encore pour dépasser cette limite et arriver à une erreur probable de 2".

Pour les levés des côtes étendues, si l'on admet que la meilleure observation de latitude à la mer puisse donner la $\frac{1}{2}$ minute, cette côte sera parfaitement levée par les marins si elle ne comporte pas d'erreur de plus d'une $\frac{1}{2}$ minute ; quand j'avais un certain temps à consacrer à ces travaux, je préférais donc lever 20 lieues de côtes à $\frac{1}{2}$ minute près qu'une seule lieue à quelques secondes près. C'est en me plaçant à ce point de vue uniquement utilitaire que j'ai exécuté beaucoup de mes travaux et que je pose comme principe que dans l'hydrographie courante, telle que peuvent la faire les marins, ils doivent s'appliquer uniquement sur des observations d'ordre astronomique et topographique, jamais sur des procédés géodésiques.

C'est par suite de cette confusion continuelle entre les procédés de la géodésie et de l'hydrographie, et par cette inexacte appréciation des moyens de travail et du degré d'exactitude utile, que nous sommes restés si longtemps à réaliser de sérieux progrès dans la connaissance de bien des côtes, même dans les mers les plus fréquentées par nos stations navales.

On voyait encore à l'époque de ma première navigation (1839) beaucoup de localités pour lesquelles nous ne possédions que des levés sous voiles rapportés par les voyages de découvertes des siècles précédents, et cependant nos

navires de guerre séjournaient inactifs des mois et des années dans ces parages sans en rien rapporter de nouveau.

Pendant ma première campagne dans les mers des Indes, en 1840, un des meilleurs documents que nous avions pour naviguer sur les côtes entre les Indes et le golfe Persique était encore les instructions-nautiques du Voyage de Néarque, le commandant de la flotte d'Alexandre le Grand.

On ne croyait jamais dans ces campagnes actives avoir le temps d'entreprendre des travaux qui paraissaient trop lents à effectuer, trop compliqués, et on manquait ainsi de nombreuses occasions favorables d'en faire de fort utiles par le désir de les trop bien faire.

On a même vu plusieurs fois des missions d'ingénieurs hydrographes embarqués sur les navires en station, dans l'Océanie, la Chine, la Plata, etc n'en rapporter aucune carte, aucun plan, après plusieurs années de séjour, parce qu'on ne pouvait jamais leur donner à bord toutes les facilités de travail qu'ils croyaient indispensables à l'application de leurs procédés classiques (1)

Tandis qu'en réalité si l'on veut se borner à ne faire que de l'hydrographie, c'est-à-dire des cartes simplement destinées à la navigation, les opérations sont on ne peut plus simples, rapides et à la portée de tout observateur ayant la moindre expérience des observations

Il est fort utile d'indiquer aux officiers de marine combien ce travail est à leur portée parce qu'ils connaissent par la pratique de la navigation, beaucoup mieux que les hydrographes

---

(1) Depuis 10 à 15 ans des missions d'ingénieurs en Tunisie et en Cochinchine ont travaillé plus activement et produit de beaux travaux, mais avec des moyens d'action beaucoup plus complets que n'en ont jamais les officiers de marine.

non marins, quelles sont, en dehors de l'exactitude, les principales conditions que doivent présenter les cartes. Ces conditions ne sont pas toujours uniquement cette rigoureuse précision de la planimétrie, seule préoccupation de ceux qui, guidés par des idées exclusivement théoriques, font ces cartes sans avoir jamais ni l'occasion ni la responsabilité de s'en servir.

Il faut avoir quelque expérience de la navigation le long des côtes et connaître la responsabilité du commandement pour bien se rendre compte de ce que doit être une bonne carte et comment elle doit être comprise; ce n'est que par l'expérience, qu'on a pu constater, par exemple, qu'une rigoureuse exactitude dans certaines parties du dessin est quelquefois plus nuisible qu'utile, car il y a souvent intérêt à faire ressortir les reliefs des terres servant à la reconnaissance de la côte aux dépens de ceux qui n'ont rien de caractéristique, et qu'on peut même souvent supprimer sans aucun inconvénient.

Dans les vues de côtes l'expérience indique qu'il faut altérer les dimensions relatives de la hauteur et de la largeur afin qu'elles représentent leur aspect tel que le voit le marin arrivant du large. Si l'on adoptait sur le dessin une échelle égale pour les 2 dimensions, on n'obtiendrait le plus souvent qu'une courbe à peine sinueuse dans laquelle seraient confondus et noyés tous les menus accidents de contour qui pourraient servir d'amer; c'est là le motif qui a fait échouer toutes les tentatives faites pour appliquer la photographie aux vues de côtes. Elle ne donne qu'une ligne légèrement sinueuse où rien n'est reconnaissable; on a dû y renoncer.

Cette nécessité d'exagérer les accidents du relief

des terres pour que leur image en donne l'apparence exacte, quand elles émergent de l'horizon, provient surtout de ce que le marin attache le plus grand intérêt à rechercher les moindres accidents qui peuvent l'aider à reconnaître le point de la côte devant lequel il atterrit, tel par exemple qu'un petit piton conique ou une coupée dans la ligne des crêtes, une chute de falaises, une tache remarquable, etc. etc. Il est alors naturellement porté, par une préoccupation et une illusion bien naturelles, à donner inconsciemment une importance et une valeur angulaire relatives beaucoup plus grandes à ces accidents qu'ils n'en ont réellement, et s'il voulait les dessiner, il les représenterait peut-être 2 ou 3 fois trop grands, tout en croyant son dessin rigoureusement exact.

Il est donc indispensable d'accentuer, d'exagérer dans la gravure des accidents, qui, faciles à distinguer du large, peuvent servir aux relèvements, aux dépens de ceux qui sont peu ou point visibles.

On ne doit nullement se préoccuper pour une carte hydrographique de chercher à en faire une carte terrestre, ni de respecter les simples rapports géométriques dans les apparences; je ne saurais trop insister sur ce fait qu'une carte hydrographique doit être uniquement considérée comme un instrument de navigation et qu'elle doit être conçue exclusivement au point de vue du service qu'elle est appelée à rendre. Sous ce rapport il y a une intéressante comparaison à faire entre les vieilles cartes des anciens et habiles navigateurs espagnols et celles des hydrographes modernes; les premières, qui ne sont bien souvent que des levés sous voiles, assez grossièrement exécutés d'ailleurs, étaient d'un usage extrêmement commode et facilitaient singulièrement la reconnaissance des côtes parce qu'elles

accentuaient fortement, dans la topographie et les vues, tous les accidents de terrain pouvant servir aux relèvements, en sacrifiant les autres; c'était pour ainsi dire une caricature de la côte en vue; mais, comme toutes les caricatures ces vues étaient souvent bien plus faciles à reconnaître que le portrait le mieux fait; dès qu'on les voyait sortir de l'horizon, on reconnaissait immédiatement la position.

Il en est tout autrement de nos cartes hydrographiques modernes, sans nul doute bien plus exactement levées, gravées et construites, mais souvent si surchargées de détails inutiles dans certains endroits et si vides au contraire dans d'autres qu'il est quelquefois tout-à-fait impossible de s'y reconnaître, parce qu'on ne s'est préoccupé que d'une reproduction de planimétrie mathématiquement exacte, et non des besoins spéciaux de la marine.

Malgré ma très longue expérience de la navigation le long des côtes, et des travaux hydrographiques, j'ai été très surpris dans ma croisière sur les côtes de Bretagne et de Normandie, pendant la guerre de 1870, de ne pouvoir bien souvent parvenir à me placer par relèvements en vue des terres, avec nos belles cartes de l'hydrographie française; mais si insuffisantes au point de vue de la navigation, qu'il est bien facile de constater à première vue qu'elles ont été faites bien plus par des observateurs restant à terre que par des marins.

Le relief du terrain observable de la mer manque complètement dans beaucoup d'endroits, tandis qu'il est surabondant dans d'autres, au point de rendre impossible les reconnaissances des points qu'on cherche; tous les clochers visibles ou non du large sont indiqués de la même manière

comme si c'était une carte terrestre, sans aucune côte de hauteur, sans aucune indication particulière aidant à les reconnaître; les rochers, les îlots et de simples récifs sont souvent gravés avec un tel luxe de coups de burin qu'il est impossible de les distinguer les uns des autres. Le bord même de la côte est si insuffisamment gravé que des falaises très remarquables n'y sont pas plus indiquées que de simples plages; mais par contre certaines villes sont si habilement gravées qu'à l'aide du microscope on peut en parcourir les rues, et si la topographie manque souvent, elle est en revanche tellement surabondante dans d'autres parties, telles que la Corse ou les Antilles, que ces îles couvertes de montagnes sont absolument noires de gravure et n'offrent pas un seul point reconnaissable pour les relèvements; ce sont de très belles cartes terrestres et de beaux specimens de gravure mais non des cartes marines.

La portée des phares est presque toujours fort erronée malgré les longues études théoriques et pratiques des ingénieurs spéciaux; dans l'impossibilité de tenir compte des variations de transparence de l'atmosphère et de la réfraction on devrait se borner à indiquer leur portée géométrique en fonction seulement de leur hauteur au-dessus du niveau de la mer et de la hauteur moyenne de l'observateur, c'est-à-dire, celle d'où le phare peut être vu au ras de l'horizon; cette portée géométrique est même souvent au dessous de la vraie portée éclairante du phare.

Sur la côte d'Algérie par exemple, j'ai toujours vu sortir de l'horizon, à une distance de 13 à 14 milles, (sa portée géométrique) le feu de port de Tipaza, donné comme portant à 4 milles seulement; cela a été corrigé

depuis ma réclamation, mais contrairement aux règles théoriques. En réalité nos feux ont en général plus de portée qu'on ne l'indique.

J'ai vu de même le phare du Cap Carbon (hauteur 220m. portée 30 milles) sortir de l'horizon à 46 milles de distance et le phare Raz-Afia (hauteur 42m. portée 18 milles) sortir de l'horizon à 25 milles de distance (1) (La veille d'un siroco).

Quant aux sondages, ils sont absolument insuffisants ; à une moyenne distance de terre ils manquent même complètement quand ils n'ont pas été faits après coup par des officiers de marine ; et ils ne sont complets que dans les plans particuliers, où ils sont beaucoup plus faciles à faire ; ils sont même alors tout-à-fait surabondants.

En résumé, les cartes hydrographiques des côtes de France, qui ont sans doute réalisé un progrès considérable comme exactitude de gravure à l'époque où elles ont été faites, (et elles suffisaient alors parce que les navires à voiles n'approchaient guère de terre que pour prendre les pilotes et entrer dans les ports), sont devenues insuffisantes pour la navigation à vapeur actuelle qui par nécessité ou

---

(1) Au sujet de cette portée officielle de 18 milles pour 42 mètres on peut remarquer, comme irrégularité de la méthode de détermination de la portée des feux de l'administration des phares, qu'à 42 mètres de hauteur la portée géométrique n'est que de 13 milles. Il faudrait donc avancer encore de 5 milles pour le faire sortir de l'horizon en temps ordinaire. Ce n'est que par des réfractions extraordinaires qu'il peut devenir visible à 18 milles et même à 25 milles comme je l'ai constaté.

Il faut, bien entendu, ajouter à cette portée géométrique les 3 ou 4 milles donnés par la hauteur de l'observateur à bord, soit de la passerelle ou dans la mâture: Je ne sais si le livre des phares en tient compte, à cause des nombreuses différences que l'on rencontre entre les données théoriques et la pratique.

La formule empirique pour trouver immédiatement l'étendue de l'horizon visible d'une hauteur donnée ou réciproquement est

$$D \text{ (en milles)} = 2\sqrt{H \text{ (en mètres)}}$$

Exemples :

Hauteur d'un phare H = 49m. —— D = 2 x 7 ou 14 milles ; la distance exacte est 13 milles

Pic de Ténériffe H = 3710 ; D = 2 x 61 ou 122. " " " 121 milles

convenance côtoie les terres de beaucoup plus près, et on a besoin dès lors de fixer continuellement la position par des relèvements sur des points de côte faciles à reconnaître.

Les missions hydrographiques qu'on envoie chaque année pendant la belle saison refaire certaines parties de ces côtes devraient donc s'attacher surtout à en compléter les détails topographiques reconnaissables du large et devraient compléter également les grandes sondes d'atterrage ; mais telles qu'elles sont encore en grande partie, soit par défaut, soit par excès de topographie, on ne peut plus les donner comme modèles à imiter aux officiers qui ont à faire des levés en cours de campagne, de même qu'on ne peut pas leur recommander d'imiter les laborieux procédés à l'aide desquels on les a construites.

Je crois au contraire qu'ils auront tout bénéfice à suivre le procédé bien simple que je vais exposer ici, malgré les critiques qui lui ont été adressées par des auteurs qui en ignoraient l'application ; je l'ai employé pendant 30 ans consécutifs pour des travaux d'une grande étendue, qu'il m'eût été absolument impossible d'exécuter par toute autre méthode et dans lesquels je ne me suis jamais préoccupé que des besoins de la navigation.

Avantages du nouveau procédé de levé basé sur l'emploi de la hauteur de la station au-dessus du niveau de la mer.

Appelé dès le commencement de ma carrière, en 1839, à faire des campagnes lointaines et de circumnavigation,

à une époque où nos connaissances hydrographiques étaient bien loin d'être aussi avancées qu'aujourd'hui, (et où se terminaient, par le voyage de Dumont d'Urville, la longue série des voyages de découvertes au tour du monde des siècles précédents), je reçus bien souvent comme officier des montres, l'ordre de lever les plans des localités visitées, pour lesquelles on n'avait quelquefois que de simples croquis. Mais, pendant les courtes relâches de ces actives campagnes, les multiples occupations de bord pour les réparations du navire et les approvisionnements ne permettaient de consacrer que de bien faibles ressources au travail hydrographique, et rendaient absolument impraticables les méthodes indiquées dans les traités spéciaux.

J'étais obligé de simplifier, d'abréger autant que possible, toutes les opérations de levé,, et je fus ainsi naturellement conduit à monter sur les points les plus culminants des côtes pour relever, avec un très petit nombre de stations, le plus d'étendue possible de terrain. Quand ces points élevés étaient situés au bord de falaises dominant les plages ou sur des îles un peu hautes, au milieu de baies, je voyais se dessiner sous mes yeux avec une grande clarté la carte presque toute faite de la localité; en suivant le contour des rivages avec la lunette plongeante du théodolite, je fus souvent frappé des différences très sensibles qu'on obtenait sur le cercle des hauteurs dans les pointés donnant les dimensions angulaires verticales des plus petits accidents de la plage.

Le moindre rocher, qui ne pouvait figurer sur la carte que comme un point, soutendait souvent un angle de plusieurs minutes sur le cercle vertical. Il y avait

là un précieux élément de levé qu'on n'avait jamais encore utilisé pour la détermination des détails topographiques d'une côte, et qui pouvait singulièrement la faciliter. On pouvait, dans certaines limites, utiliser le déplacement vertical comme le déplacement horizontal pour faire varier les positions relatives des objets et former des triangles verticaux non moins utilisables, dans des limites convenables, que les triangles horizontaux.

Il devenait impossible de négliger un si précieux moyen de levé quand, pressé par le temps on cherchait à faire le travail le plus rapidement possible.

Ce bénéfice du procédé provient évidemment de ce qu'on emploie un instrument de précision supérieure au genre de travail topographique à effectuer.

Si hydrographe a sur le topographe le très-grand avantage de voir à ses pieds se dessiner sa carte toute formée par l'intersection de la surface horizontale de la mer avec toutes les côtes et îles en vue ; s'il fait décrire à la lunette de son théodolite une surface conique enveloppante ayant pour directrice le contour des côtes, la lecture des deux cercles lui donne pour chaque point de ce contour les 2 coordonnées qui le déterminent. On n'avait sans doute jamais pensé à utiliser ainsi la hauteur de la station parce que l'usage du théodolite ne s'était guère vulgarisé avant cette époque. On avait conservé la tradition de l'usage des anciens cercles répétiteurs et des instruments à réflexion qui, ne réduisant pas les angles à l'horizon, exigeaient qu'on restât le plus bas, le plus près possible du niveau de la mer, pour n'avoir pas à réduire les angles observés. Mais avec le théodolite,

qui donne les angles tout réduits, on a au contraire tout intérêt à faire les stations sur les points les plus élevés, et à prendre pour ainsi dire l'hydrographie par le haut au lieu de la prendre par le bas. On acquiert alors à première vue une notion très exacte de la forme des localités qu'on ne peut découvrir autrement que par la construction même de la carte.

Ce procédé très-simple et de si facile exécution, que j'ai d'abord dû employer par nécessité, s'est trouvé être en réalité d'une grande précision et on ne peut plus fécond en résultats utiles : Il consiste à faire quelques stations sur les points les plus élevés des localités de manière que de chacune d'elles on aperçoive la plus grande étendue possible de la côte à lever, côte dont aucun point ne doit échapper à la vue de l'une des stations au moins. Avec un très petit nombre de ces stations, 5 ou 6 par exemple, autour d'une rade circulaire de 2 ou 3 milles d'étendue, on formera quelques grands triangles couvrant tout le travail et qui permettront de faire le canevas de la carte sur lequel on placera par recoupements les principaux points du littoral. A l'aide de ces points ainsi déterminés on aura des bases multiples pour calculer les hauteurs en mètres des diverses stations ; à l'aide de ces hauteurs on complétera, par le calcul des triangles verticaux, tous les contours du littoral. (J'indiquerai plus loin le détail des opérations à effectuer et les précautions nécessaires.)

Bénéfices multiples du nouveau procédé.

Les auteurs de nouveaux traités d'hydrographie qui ont cité ce procédé l'ont unanimement condamné sans le connaître, sous le prétexte qu'on ne pouvait pas remplacer dans une triangulation des triangles horizontaux à peu près

équilatéraux, par des triangles verticaux nécessairement à très petite base. Il est évident qu'ils n'avaient pas la moindre idée de la manière dont j'utilise ces hauteurs de station, et l'objection si légèrement produite était par trop élémentaire pour qu'on ait pu croire que je ne l'avais pas prévue dès le jour où, pour la première fois, j'avais eu recours à ce procédé.

En réalité les triangles verticaux ne sont employés que pour le remplissage de la carte, pour les détails topographiques du littoral compris entre les points déterminés par recoupements, et non pour en établir ni le canevas ni l'échelle; et il se trouve au contraire que cette méthode est beaucoup plus exacte et plus rapide que celles que recommandent pour le même travail tous les auteurs de Traités d'hydrographie.

Comme je l'ai déjà fait remarquer plus haut, quand les hydrographes ont établi, par leur triangulation, le canevas de leur carte, ils n'ont fait en réalité que la première partie de leur travail; il faut ensuite rattacher aux sommets et aux côtés de leurs triangles tous les détails topographiques; mais les divers procédés pratiques qu'ils indiquent pour cette seconde série d'opérations sont d'une précision toute différente et très inférieure. Elle consiste à recourir soit à des mesures directes à la chaîne, soit à la planchette, soit à des matelots promenant un espar vertical comme base le long de la côte et qu'on relève de la station la plus voisine; ils perdent ainsi une partie de la précision supérieure qu'ils croient avoir obtenue dans leur cheminement par triangulation; ils sont exposés à de fréquentes erreurs ou omissions

et a une grande perte de temps.

Par le nouveau procédé, au contraire, tout se fait en même temps, triangulation et topographie. Tout le travail est parfaitement homogène et du même ordre de précision; le moindre point du littoral peut être rattaché directement par le calcul aux stations principales, aucune erreur, aucun oubli n'est possible parce qu'un simple coup d'œil sur le dessin permet de les reconnaître avant de quitter la station; on évite toute reconnaissance préliminaire et toute l'opération topographique secondaire de l'ancienne méthode.

Les registres ordinaires des hydrographes sont souvent très confus, surchargés de hiéroglyphes, de toutes les lettres des alphabets grec et français, pour désigner les points, et deviennent quelquefois inintelligibles même pour leur auteur, s'il manque d'expérience et s'il tarde trop à les utiliser. Dans le nouveau procédé les registres sont au contraire d'une parfaite clarté pour tout le monde; aucun point n'y est désigné par un signe particulier mais se trouve déterminé sur la vue par ses deux coordonnées, (azimut et hauteur) comme les astres, dans un catalogue, par leurs ascensions droites et leurs déclinaisons, sans qu'il soit nécessaire de donner à chacun un nom particulier.

Quelque compliqués et nombreux que soient les détails, tels que groupes d'îlots, de récifs, ou sinuosités de la côte, le travail à effectuer n'est ni plus long ni plus difficile; il suffit de faire quelques pointés de plus au théodolite, et les registres n'en auront pas moins toute leur clarté, ils sont donc intelligibles pour tous à première vue et peuvent être employés soit pour vérifier la carte faite, soit pour la construire, par toute

personne étrangère au travail, même si elle ne connait pas la localité, ce qui est impossible avec les registres ordinaires des hydrographes.

Ces vues panoramiques à vol d'oiseau, faites du haut des falaises ou des montagnes, laissent en outre un souvenir local ineffaçable qui facilite singulièrement la construction de la carte même longtemps après qu'elle a été levée.

Bien que j'aie assez peu de mémoire pour n'avoir jamais pu apprendre par cœur une page de vers, ces dessins ainsi exécutés se sont tellement gravés dans mes souvenirs qu'il me suffit du moindre effort pour me rappeler presque toujours, à la vue d'un quelconque de ces dessins de stations faites depuis 40 ans, non seulement les détails de la localité, mais, bien souvent aussi, les circonstances particulières de temps et d'incidents dans lesquelles ils ont été faits ; et j'ai cependant fait plus de 2000 de ces stations sur les 300 lieues de côte d'Algérie et de Tunisie, et plus encore entre 1840 et 1860 sur les mille lieues de côtes du Brésil et de Chine.

Un autre avantage du procédé est qu'il permet de découvrir en mer les taches indiquant des hauts-fonds et récifs sous l'eau, ainsi que la limite des bancs, qu'on peut à l'aide des 2 coordonnées signaler suffisamment bien aux sondeurs s'ils ne les ont pas déjà rencontrés. J'ai découvert ainsi bien souvent des écueils isolés qui avaient échappé aux sondages et aux levés antérieurs.

On peut également déterminer d'une seule station, avec une suffisante approximation, les détours des rivières et les contours des lacs peu éloignés, qu'il est permis de

considérer sans erreur sensible comme étant au même niveau que la mer.

Il m'a suffi de deux stations faites aux deux extrémités du lac de Tunis (qui a 20 milles de tour) pour en dessiner tous les moindres détails en une seule journée de travail. Ces contours se trouvent à très peu près identiquement reproduits sur la carte de Tunis levée plus tard par les géodésiens pendant plusieurs mois de travail sous la direction du Commandant Perrier, ainsi que sur celle des ingénieurs hydrographes qui ont récemment levé la carte de la Tunisie.

S'ils ne se sont pas contentés de reproduire simplement mon dessin, ils n'ont dû pouvoir arriver à obtenir un tracé aussi exact que par un travail long et difficile, les bords de ce lac étant en grande partie marécageux, indécis et peu abordables; ils y auront certainement consacré bien des journées et peut-être des semaines pour n'obtenir rien de plus que mon premier levé exécuté en quelques heures.

Si, comme cela doit être, le chef de mission se réserve de faire lui-même les stations au théodolite, il a un précieux moyen de surveiller toute la journée ses embarcations de sonde et de déterminer fréquemment leurs positions.

Il suffit pour cela que, pendant qu'il mesure les angles, le timonier chargé de les enregistrer surveille les embarcations et lui signale toutes celles qui font une station de sonde, ce qu'elles doivent indiquer en mouillant leur grappin et hissant un pavillon de convention; interrompant un instant son travail, l'observateur pointe rapidement

la croisée des fils de son théodolite sur l'embarcation signalée et fait enregistrer l'heure et les 2 coordonnées, sans s'inquiéter d'ailleurs de reconnaître celle des embarcations qu'il relève.

Le soir, quand les officiers auront construit leurs stations de sonde de la journée, le chef de mission pourra vérifier si celles qu'il a relevées sont bien placées, et il pourra faire recommencer les sondages quand il constatera des erreurs trop grandes ; mais généralement cela n'arrive pas, car les sondeurs ainsi surveillés et sentant leurs observations controlées par le théodolite, observent leurs angles avec beaucoup plus de soin. Cette surveillance continuelle est très importante, quelque consciencieux que soient les sondeurs, car souvent le travail est très pénible à cause de l'agitation de la mer, du vent qui envoie des embruns sur les miroirs de l'instrument, de la difficulté de distinguer les objets à relever, (souvent peu reconnaissables ou exigeant des positions peu commodes de l'observateur avec le ballottement du canot par les vagues); ce sont là autant de causes qui, jointes à de longues journées de travail, amènent la fatigue et l'impatience et peuvent produire quelquefois des observations peu exactes, empêchant les segments capables de se couper convenablement. Quand il n'y aucun moyen de vérification, on peut donc craindre certaines faiblesses de conscience qui ne se produisent jamais quand les observateurs se savent surveillés par le théodolite ; il arrive bien rarement alors que les erreurs soient assez fortes pour qu'il soit nécessaire de faire recommencer les lignes de sonde : Aucun autre procédé de levé ne fournit au chef un si précieux moyen de contrôle.

Je citerai encore un dernier avantage de ce procédé de levé, c'est la grande facilité qu'il donne pour bien sonder les passes sinueuses entre les bancs de l'entrée d'une rivière, et pour n'y faire que des sondages utiles, évitant de sonder des impasses et des bancs. Ceux qui ont l'expérience de ces travaux savent combien est difficile et souvent dangereuse la reconnaissance des bancs et des passes à l'entrée de fleuves sur lesquels la mer déferle; puis quand on vient à construire la carte et les sondes si péniblement exécutées, on s'aperçoit souvent que des culs-de-sac au milieu des bancs ou des parages sans intérêt ont été couverts de sondes, tandis que le chenal lui-même, dont on ne connaît pas la situation, est à peine exploré. Quand on ne peut pas revenir sur les lieux la faute est irréparable.

Je me trouvais un jour mouillé près de l'entrée d'une rivière du Brésil dont je voulais sonder les passes; la continuité des brisants masquait le chenal et l'absence de tout pilote sur cette côte déserte m'empêchait d'y pénétrer, ce qui rendait les sondages très difficiles. Mais par un heureux hasard un petit paquebot à vapeur côtier sortit pendant que je faisais une station au théodolite sur le sommet d'un îlot dominant suffisamment l'embouchure de la rivière; je n'eus qu'à suivre la route de ce bateau avec le théodolite, en le relevant de 2 minutes en 2 minutes en hauteur et azimut, pour obtenir dans la soirée un tracé suffisamment exact du chenal que j'envoyais sonder le lendemain, en laissant de côté les grandes étendues de bancs sur lesquels de laborieux sondages avaient été déjà faits inutilement les jours précédents: il me suffisait d'en connaître les limites.

Pour éviter des sondages inutiles, toutes les fois que l'on aura l'occasion de sonder des embouchures de fleuve on devra donc, si l'on y rencontre à proximité une place ou une station culminante, avoir la précaution d'en déterminer préalablement le chenal à l'aide des relèvements d'un navire, d'une embarcation, entrant ou sortant, et qui le dessineront par leur marche.

On peut ajouter encore que ce n'est bien souvent que du haut des falaises qu'il est possible d'en déterminer le pied et toutes les anfractuosités, quand ces falaises tombent directement à pic dans la mer; et de même pour les roches détachées qui les bordent. Par le nouveau procédé on peut, avec la lunette du théodolite, en fouiller et en fixer les moindres anfractuosités, et les rattacher directement aux stations principales, ce qui est impossible par les anciennes méthodes.

Elles ne donnent, comme moyen d'y parvenir, que de faire des taches de chaux sur le bas de la falaise, que l'on côtoie avec une embarcation, puis d'aller faire au large des stations fixées par des segments capables sur des points de l'intérieur et de recouper de plusieurs stations semblables les taches de la falaise. Bien que cette manière d'opérer soit reproduite dans beaucoup de traités je doute que jamais elle ait été employée utilement par leurs auteurs ni par personne, tant elle est impraticable. Pour peu qu'il y ait de la mer ou de la houle l'embarcation qui fait les taches de chaux au pied de ces murailles verticales pourra être compromise s'il y a du ressac, et les taches de chaux seront bientôt

lavées par les lames. Puis quand on ira au large, et que la distance deviendra assez grande pour qu'on puisse découvrir et observer les signaux de l'intérieur au-dessus de la falaise, on pourra souvent ne plus distinguer les taches de chaux et n'obtenir que des recoupements très défectueux. Je n'ai jamais réussi à rien obtenir d'utile par cette méthode aussi imparfaite que laborieuse quand, dans les premiers temps de mes travaux, j'ai essayé de l'employer.

Il m'eût été absolument impossible de rien tenter de semblable pour l'île S.t Paul, si isolée dans le grand Océan et bordée entièrement de falaises à pic sans cesse battues par une très grosse mer, tandis qu'à l'aide de quelques stations au théodolite, faites sur le sommet des pointes les plus saillantes, j'ai pu déterminer les moindres anfractuosités des contours de l'île avec la plus grande exactitude.

Il faut enfin ajouter à ces diverses considérations que l'hydrographie ainsi comprise, réduite à des opérations très faciles, immédiatement utilisables, devient très intéressante à faire, surtout si l'on a quelque goût pour le dessin; elle se trouve mise à portée de tout officier, qui, sans avoir jamais fait aucun travail de ce genre, peut, dès la première fois, utiliser les moindres relâches pour faire de très bons levés.

Les travaux hydrographiques de la mission du Cap Horn et ceux qu'on fait actuellement à Terre-Neuve sont en grande partie exécutés avec grand avantage d'après ces procédés.

Ce procédé est d'une efficacité telle qu'appliqué sur les cartes des localités les mieux hydrographiées, il pourrait souvent déceler bien des erreurs de détail; aussi, quelle que soit la méthode qu'on emploiera à l'avenir pour des plans hydrographiques, on ne devra jamais négliger de recueillir les deux coordonnées de chaque point à l'aide du théodolite, parce que cette très faible augmentation de travail fournira un document toujours très utilisable et souvent indispensable pour corriger ou compléter la carte, même si elle a été faite par les méthodes les plus minutieuses.

Chapitre II.

Détails des opérations pratiques à effectuer.

Les considérations que je viens d'exposer reviennent à établir, comme je l'ai dit plus haut, que pour des officiers de marine en cours de campagne les levés hydrographiques sont simplement des travaux d'ordre astronomique et topographique et jamais d'ordre géodésique ou de cheminement par triangles ; ils rentrent donc complétement dans leurs procédés d'observation habituels et on n'aura besoin d'ajouter qu'un petit théodolite au matériel ordinaire d'instruments du bord, avec quelques cercles hydrographiques, pour être en état de faire rapidement, dans de bonnes conditions, et presque sans troubler le service courant, les levés de toutes les localités imparfaitement connues qu'on rencontre dans le cours de la campagne.

Avant d'entreprendre le travail, l'officier qui en est chargé examinera avec soin la côte à lever et les plans qui peuvent en exister, pour choisir les quelques points les plus élevés autour et au centre de la localité, comme stations principales au théodolite.

Pour une baie ou rade de 2 à 4 milles d'étendue, par exemple, 5 ou 6 stations sur le contour et 1 ou 2 au centre pourront généralement suffire à un levé complet, si ces points culminants atteignent trente à quarante mètres de hauteur, et cela quelque nombreux et compliqués qu'en soient les détails. Une condition essentielle

cependant est que tous les points du rivage soient vus au moins d'une de ces stations. Peut-être sera-t-il commode de faire en outre quelques stations secondaires pour certaines parties insuffisamment vues des grandes stations, mais le plus souvent ce sera inutile si les stations sont assez élevées : le nombre des stations nécessaires sera évidemment d'autant plus grand que les points culminants seront moins élevés et moins favorablement situés. On choisira autant que possible les sommets les plus voisins de la plage, les plus accessibles, ceux qui ne sont pas boisés, afin d'éviter les abattages d'arbres, opération souvent difficile et qui fait perdre beaucoup de temps. Ce n'est guère d'ailleurs que dans la zône équatoriale que les sommets restent boisés jusque sur les bords de la mer.

L'observateur se fera accompagner de 3 ou 4 timoniers portant le théodolite, les sabres et bachots pour couper les branchages destinés à former le signal qu'on mettra à la place qu'aura occupée le théodolite, et un seau de chaux pour peindre ce signal en blanc; quand on le pourra, il sera préférable de former le signal avec des pierres en pyramide de 1^{m}.50 à 2^{m}. de haut couronnée de quelques broussailles si on en trouve. On devra toujours avoir avec soi une chaîne métrique ou un simple ruban de 10 mètres pour mesurer les petits déplacements du théodolite qui peuvent être quelquefois nécessaires; il est commode de se faire accompagner toujours des mêmes hommes habitués au même travail; on choisira parmi eux le plus intelligent pour servir d'assistant; on lui

apprendra en une ou deux séances à caler et à orienter le théodolite et à inscrire les observations sur le registre, au-dessous des points correspondants du dessin, à mesure que l'observateur les lui dicte.

Le théodolite sera monté bien exactement sur le point le plus élevé si c'est un morne, ou le plus près possible du bord de la côte si c'est une falaise à pic.

La première opération à faire à la première station est la rectification du théodolite. On commencera par rectifier l'axe optique de la lunette de manière à obtenir la même lecture sur les deux cercles, c'est-à-dire cercle à droite et cercle à gauche en retournant l'instrument de 180°, après avoir pointé avec la croisée des fils sur un objet éloigné bien nettement visible.

Si les deux lectures ne sont pas les mêmes pour les deux cercles on corrigera de la moitié de l'erreur à l'aide des vis antagonistes du réticule et on recommencera l'opération.

Deux ou trois retournements semblables suffiront, pour détruire l'erreur de collimation en hauteur et azimut à moins d'une demi-minute, et obtenir la même lecture de quelque côté qu'on observe. Les vis antagonistes étant alors bien serrées, il est rare qu'on ait besoin de refaire la même rectification avant longtemps; mais il est cependant indispensable de recommencer toujours une station en s'assurant qu'il n'y a pas eu de dérangement accidentel dans la position du réticule, occasionné par quelque choc dans les transports.(1) Cette

---

(1) Dans une de mes campagnes, un théodolite éprouvait certains dérangements d'axe optique malgré tous les soins que nous apportions à le rectifier et à bien serrer les vis du réticule; ce ne

rectification est importante parce qu'elle évite l'obligation de faire des observations doubles ou croisées.

La position du niveau sur le cercle sera rectifiée de même par 3 ou 4 retournements, en faisant mouvoir dans le sens convenable l'unique vis de la fiole.

Quand le théodolite sera rectifié on achèvera son nivellement, puis on l'orientera en mettant le zéro du cercle azimutal, point de départ des angles, dans le plan du méridien magnétique, à l'aide de la petite boussole installée au haut de l'axe vertical de l'instrument. Pour cela on dévissera d'abord les deux vis azimutales des cercles et du vernier et on serrera la vis du vernier quand son zéro coïncidera avec le zéro du cercle, puis on fera tourner tout l'instrument autour de son axe vertical jusqu'à ce que la boussole, qu'on aura eu soin de niveler avec son petit contre-poids curseur, soit exactement sur le zéro de son cercle, ce dont on s'assurera à l'aide de petits chocs sur le pied du théodolite pour vaincre le frottement et l'inertie. Avec un peu de soin on arrivera à mettre facilement l'aiguille sur son zéro en moyenne à 3' ou 4' près; (1) on serrera alors la vis de pression du cercle azimutal, dont le zéro se trouve ainsi fixé dans le plan du

---

fut qu'après bien des recherches sur ce fait inexplicable, qu'on s'aperçut un jour que, la lunette étant placée dans sa boîte parallèlement à la porte, celle-ci choquait la tête de vis débordante du réticule quand la lunette n'était pas exactement orientée dans sa boîte ou quand les vis des cercles se desserraient.

Il est donc nécessaire que dans cet emballage la lunette soit installée parallèlement à un des côtés fixes. C'est ce qui se fait habituellement aujourd'hui.

(1). Le Dépôt de la Marine a fait adapter depuis quelque temps une boussole plus grande dans une petite boîte en bois fixée sur le cercle azimutal et qui doit pouvoir donner la déclinaison de l'aiguille avec une précision plus grande; mais, à moins qu'on ne veuille faire plus

méridien magnétique. En desserrant maintenant la vis du cercle du vernier et de la lunette on est certain que tout point qu'on relèvera se trouvera être un relèvement magnétique; pour plus de clarté on orientera toujours le zéro de la même manière, du côté du pôle élevé.

Cette orientation n'est sans doute pas indispensable, mais elle est très commode, elle évite bien des erreurs et elle donne en même temps à chaque station, par l'observation du soleil, la déclinaison magnétique, déclinaison qui se trouve être la distance du zéro du cercle azimutal (point de départ des angles) au méridien vrai; l'observation du soleil donnera son orientation vraie à 1/2 minute près en moyenne.

Si à une des stations on n'a pas pu observer le soleil, cette station ne se trouvera orientée qu'avec la boussole, c'est-à-dire à 3' ou 4' près, mais presque toujours on pourra déduire son orientation vraie de l'observation réciproque des autres stations où on aura observé le soleil.

Le résultat du calcul de l'azimut (ou de la déclinaison de la boussole) s'inscrira sur le registre

---

spécialement des observations magnétiques, la déclinaison telle que permet de la déterminer l'ancienne petite boussole est d'autant plus suffisante qu'on ne connait ni l'heure de la variation diurne de la localité ni son étendue, généralement supérieure au degré de précision que permet d'obtenir cette petite boussole, très suffisante pour les besoins de la navigation, les seuls dont on ait à se préoccuper ici.

Quand en 1875, j'ai créé le petit Observatoire de Montsouris à côté de l'Observatoire Météorologique de la ville de Paris, le savant physicien qui dirigeait cet établissement, frappé de la facilité avec laquelle nous déterminions la déclinaison de l'aiguille à l'aide de notre petit théodolite, y fit ajouter quelques pièces supplémentaires qui ne le compliquent guère et qui permettent d'obtenir également l'inclinaison et l'intensité magnétiques.

en dessous des observations du soleil et à côté de la date; on adoptera pour déclinaison magnétique de la localité la moyenne de toutes celles qu'on y aura observées pendant le levé.

Pendant que l'assistant met l'instrument en place, le nivelle et l'oriente, l'observateur fait la vue panoramique complète de toute la localité en vue, de tous les moindres détails de la côte, des îles, récifs, des limites, des brisants, des changements de couleur d'eau qui permettent d'indiquer les hauts fonds etc. Du côté de l'intérieur des terres on fera également une vue du relief faisant ressortir tous les sommets remarquables visibles du large, ainsi que les rivières, lacs, forêts, routes et habitations qu'il sera utile de porter sur la carte; on pourra mettre quelques numéros d'ordre indiquant les distances relatives des objets relevés, ou simplement leur distance apprécide à l'œil: cela pourra éviter quelques hésitations ou erreurs provenant de l'incorrection du dessin.

Pour donner toute la clarté possible au dessin on le fera sur les deux pages du registre ouvert. Le côté droit de la côte en regardant le large sur la feuille droite et le côté gauche sur la feuille gauche, la station se trouvant figurée au bas au milieu des deux pages: avec un peu d'exercice on arrivera à faire facilement et vite ces esquisses intéressantes qui présenteront déjà le plan presque tout fait pour les détails de la côte situés autour du pied de la station; puis on procédera au levé en commençant par s'assurer de nouveau que l'instrument n'est pas dérangé.

On indiquera et on observera surtout avec beaucoup de soin les quelques points culminants qu'on a

choisis pour y faire les stations au théodolite ; si c'est possible on y fera installer d'avance un signal provisoire et, dans le cas où ces signaux n'auraient pas pu être établis, on cherchera à relever bien exactement le point le plus élevé, où on placera plus tard le théodolite, afin de multiplier autant que possible les relèvements réciproques des diverses stations ; ce qui donne d'excellentes vérifications et permet souvent, comme je l'ai déjà dit, de retrouver l'orientation vraie d'une station dans laquelle le soleil n'aurait pas pu être observé.

Les stations au haut des phares sont très avantageuses parce qu'ils sont toujours placés sur des points culminants et plus ou moins saillants de la côte ; malheureusement les galeries en sont fort étroites et il est difficile d'y placer le théodolite ; en outre, l'aiguille étant fortement déviée : par la balustrade, on ne pourra pas observer la déclinaison. Mais l'observation du soleil n'en donnera pas moins l'orientation vraie du zéro et l'azimut de la station. On commencera chaque station en observant d'abord toutes les autres avec beaucoup de soin, avant le levé général, de manière à les avoir avec toute la précision possible et bien reliées entre elles.

Le travail consistera à pointer successivement la croisée des fils de la lunette sur tous les points remarquables du contour du littoral, sur celui des îles et des récifs, sur tous les points saillants du relief des terres du côté de l'intérieur, en un mot sur tout ce qui doit figurer sur la carte.

On pourra également obtenir ainsi le tracé assez approché de la partie inférieure du cours des rivières et des

lacs près de la côte, leur niveau étant en général fort peu élevé au dessus de celui de la mer; on fera le nombre de pointés nécessaires pour bien déterminer leurs contours et leur largeur. Les sinuosités des plages étendues seront fixées par des pointés en nombre suffisants pour en dessiner la forme. Les rochers, les ilôts seront déterminés par les deux tangentes, par leur sommet et par le point de leur contour le plus rapproché de l'observateur.

On relèvera de chaque station l'avant du navire affourché ou à long pic, la pomme du mât et la flottaison; c'est une donnée souvent utilisable qu'on ne doit pas négliger. Si une base a été mesurée sur la plage elle devra être indiquée par deux pavillons à ses extrémités qu'on relèvera également de toutes les stations où elle sera visible.

Les observations sont dictées à l'assistant qui les inscrit à mesure à côté de chaque point, toujours d'une manière uniforme, et en distinguant par un signe particulier les angles verticaux; pour éviter toute confusion, on pourra les souligner ou mieux les mettre entre parenthèses; l'observateur devra avoir sans cesse l'œil sur le registre pour éviter toute erreur d'inscription de la part du timonier. Quand le tour de l'horizon sera terminé il s'assurera qu'aucun point n'a été oublié et que l'instrument n'a pas été dérangé; pour cela on reprend les deux ou trois premiers points relevés.(1)

---

(1) Les constructeurs conservent l'habitude d'adapter une seconde lunette fixée au dessous du cercle horizontal, pour vérifier de temps à autre si l'instrument ne se dérange pas. Cela peut être utile dans les grands instruments géodésiques, qui doivent se manœuvrer avec une précaution extrême pendant ses stations de longue durée; mais dans nos petits théodolites hydrographiques elle est absolument inutile, car on peut instantanément vérifier de temps à autre les 1ers angles observés si on craint un dérangement, et cette lunette est fort gênante pour l'observation et pour la remise en boîte de l'instrument. Je la supprimais toujours au début de la campagne.

Il suffit d'un peu d'attention et de légèreté de main pour que l'instrument reste parfaitement fixé pendant toute la durée de la station, si du moins les vis de pression ont été bien serrées et si les trois branches du pied, bien calées en terre, sont également serrées par leurs écrous.

A la fin ou au commencement de la station, en choisissant celui de ces deux moments où le soleil est le plus rapproché du premier vertical, on observera sa hauteur et son relèvement pour avoir les éléments nécessaires au calcul de l'azimut vrai. L'observation se fera en pointant le centre de l'astre avec la croisée des fils ; ce pointé s'obtient facilement à moins de 20" à 30" près, l'œil appréciant avec une grande exactitude l'égalité des quatre secteurs formés par la croisée des fils. Cette observation est d'ailleurs rendue plus facile encore aujourd'hui à l'aide de quatre fils en carré ajoutés au réticule à une distance de 16' du centre ; on peut alors inscrire le soleil dans ce carré de 32' avec autant de facilité que de précision ; chaque pointé donne ainsi simultanément la hauteur et le relèvement. Il y a grand bénéfice à ce procédé parce que si l'on voulait observer successivement les deux bords il faudrait doubler les observations pour avoir les deux coordonnées, puis les ramener à la même heure par interpolation ; on s'exposerait en outre, quand on est un peu pressé, à de fréquentes erreurs sur le bord observé à cause du double renversement produit par le prisme et par suite de l'obliquité apparente quelconque que prennent les fils du réticule quand on place le prisme dans la position la plus favorable à l'observation : on ne reconnaît alors à première vue, sans remuer la lunette, ni le

bord ni le fil qu'on observe. Le pointé au centre débarrasse de toutes ces petites difficultés, il est tout aussi exact et beaucoup plus rapide.

Quand on n'a pas quelque habitude du théodolite, l'observation du soleil aux environs de midi sous les tropiques est assez pénible, car on ne le trouve pas toujours facilement dans le champ de la lunette, à cause du verre coloré et foncé; on est donc obligé de le chercher pendant qu'on a la figure brûlée par ses rayons. Le procédé pratique pour l'amener sur le réticule rapidement et sans viser est de se servir de l'ombre portée par le bord vertical intérieur du cercle sur sa partie horizontale servant de contrefort. On met ainsi immédiatement la lunette dans le vertical du soleil et on l'amène à sa hauteur à l'aide du viseur ou simplement à l'aide de l'ombre portée du corps de la lunette sur elle-même si on n'a pas de viseur. Dès qu'on met l'œil à l'oculaire on voit alors le soleil à très peu près au centre de la lunette et il suffit d'un ou de deux tours de vis pour amener le contact; l'opération se fait ainsi sans hésitation aucune et d'une manière très simple et très rapide.

On fera toujours six pointés sur le soleil en retournant l'instrument après les trois premiers et s'assurant, avant de commencer, que l'instrument ne s'est pas dérangé, ce que l'on fera en nivelant et en reprenant les deux ou trois premiers angles observés.

L'observation du soleil est enregistrée toujours dans le même angle de la feuille, à côté de la date et du numéro d'ordre de la station. L'azimut vrai sera

obtenu ainsi à 1/2 minute près en moyenne.

Il arrive souvent que des sommets sont trop arrondis pour permettre de relever la partie du rivage cachée à leur pied; il peut être alors utile de faire une petite station supplémentaire en descendant un peu sur la pente du côté du large. Cette station toute locale, pour la détermination de quelques points seulement, sera rattachée à la station voisine par un relèvement en azimut et hauteur et une distance mesurée avec le ruban ou la chaîne métrique qu'on doit toujours porter avec soi.

L'horizon de la mer sera également observé pour donner un renseignement intéressant sur les réfractions, mais non pas pour calculer la hauteur de la station qui serait toujours mal déterminée par ce procédé.

Pendant la durée de la station les timoniers auront recueilli les matériaux en pierres ou branchages nécessaires à la construction rapide du signal là où était le théodolite et on le blanchira à la chaux du côté en vue des autres stations.

Quand on aura acquis un peu d'expérience, la durée moyenne d'une station ordinaire ne devra pas excéder une heure et demie ou deux heures; on pourra en faire ordinairement de 4 à 5 par jour entre le lever et le coucher du soleil.

Toutes les stations d'une même localité seront désignées par un simple numéro d'ordre avec la date et les heures d'arrivée et de départ; on indiquera en outre, au bas de la page, son nom, les noms des localités en vue et autres renseignements spéciaux qu'on pourra obtenir des indigènes et des pêcheurs: on doit toujours les interroger quand on en

rencontre.

En allant d'une station à l'autre on fera des sondages le long de terre et autour des pointes ou écueils que l'on rencontrera ; ces sondages compléteront et vérifieront ceux des embarcations de sonde. On devra profiter en outre de cette route le long de la côte pour en étudier de plus près tous les menus détails qu'on indiquera sur le registre si on ne les a pas bien reconnus et dessinés des stations voisines.

Le nombre des stations à faire pourra varier suivant la nature et la forme du littoral ; plus les stations seront élevées et voisines de la mer moins elles auront besoin d'être nombreuses ; d'ailleurs on n'hésitera pas, si on en a le temps, à en faire plutôt quelques-unes de plus qu'il ne serait strictement nécessaire, de même qu'à chacune d'elle on devra reprendre tous les points déjà déterminés d'autres stations, de manière à avoir une surabondance de vérifications ; les pointés se faisant très rapidement et sans peine il vaut beaucoup mieux les multiplier que de s'exposer à n'en pas faire assez. Si l'on a la chance de trouver une île ou un sommet près de la mer, élevés de quelques centaines de mètres, la station qu'on y fera pourra souvent servir à lever plusieurs milles de côtes dans d'excellentes conditions, avec 2 ou 3 stations secondaires seulement.

Stations à bord et vues de côte.

Pendant le travail des stations à terre et des sondes, on devra, si on n'a pas le temps de le faire soi-même, faire faire à bord, par un officier ayant quelque habitude du dessin, la vue très complète et très détaillée de la côte telle qu'on la voit du mouillage ; tous les angles en azimut et en hauteur, pris avec le

cercle hydrographique, seront inscrits sur ces vues qui faciliteront beaucoup la construction des détails topographiques. Ces dessins pouvant être faits à loisir doivent être aussi détaillés et soignés que possible.

Ce même officier devra être chargé de faire, du large, les vues de l'atterrage destinées à être gravées sur les cartes, ainsi que les vues prises sur les écueils ou dans la direction des passes; on devra s'attacher avec le plus grand soin à y faire bien ressortir toutes les particularités caractéristiques des terres qui pourront servir à reconnaître la position à l'atterrage et les alignements.

Pendant notre levé des côtes de l'Algérie, c'est l'officier en second, M. Turquet de Beauregard, dessinateur aussi habile que consciencieux, que j'avais chargé de faire les vues de la côte à tous nos mouillages; il en a fait ainsi 350. environ qui donnent les moindres détails du littoral et tout le relief des terres en vue avec une précision et une netteté des plus remarquables; aucune côte même de France n'a été dessinée aussi complètement et avec autant de précision. C'est aussi M. Turquet qui a fait toutes les vues des côtes du Brésil. On trouvera toujours à bord quelque officier dessinant assez bien pour faire ce travail.

Pendant ma campagne de circumnavigation de la «Capricieuse» s'étaient MM. Courbet et Dupetit-Thouars, aspirants attachés aux services des chronomètres, qui m'ont fait les nombreuses vues des côtes que nous avons levées dans diverses mers.

Echelle de la carte.

La mesure de la base, qui est pour le géodésien

le fondement et l'élément le plus important de son travail, n'a au contraire qu'un intérêt assez secondaire pour un plan hydrographique qui est toujours limité à une petite étendue de côte. Il suffit, dans la pratique, que l'erreur de l'échelle soit au dessous de celle qu'on est exposé à commettre à bord avec les moyens dont on dispose pour fixer la position du navire ou diriger sa route; on peut admettre, comme je l'ai déjà dit, qu'une erreur de $\frac{1}{100}$ par exemple n'a qu'une importance secondaire; la base peut donc dès lors se mesurer rapidement soit par la hauteur de la mâture si la localité n'a qu'un ou deux milles d'étendue, soit à l'aide d'une base de 200 à 300 mètres mesurée sur la plage avec une chaîne métrique, si le levé a plusieurs milles, soit enfin par les observations astronomiques s'il atteint ou dépasse 8 à 10 milles.

Pour que la hauteur de la mâture puisse être utilement employée, sans erreur préjudiciable, on devra la mesurer directement dans le port ou en rade, dans un lieu bien hydrographié, en mesurant sa hauteur angulaire d'un point de quai ou de la côte et en notant le chiffre de l'échelle de la flottaison au même instant; on l'obtiendra ainsi par un procédé analogue à celui où on l'utilisera en cours de campagne.

On pourrait bien le déterminer avec le devis du navire, mais si ce relevé n'est pas fait avec soin on risque de commettre des erreurs dans les parties de mâture qui se doublent avec les tons, les chouques, les emplantures, etc. etc. Quelquefois on la fait mesurer à bord avec une ligne de sonde, mais ce procédé est très défectueux: on ne devra jamais y avoir recours.

Il est inutile d'ajouter que chaque fois qu'on l'observera en cours de campagne comme échelle d'un plan on devra faire enregistrer avec soin la flottaison au moment de l'observation ; en y mettant un peu de soin on est certain d'obtenir ainsi l'échelle à moins de $\frac{1}{100}$ prés.

La mesure d'une base sur la plage, à l'aide d'une chaîne métrique, n'exige aucune recommandation particulière que de la faire recommencer 2 ou 3 fois en sens contraire et de lui donner autant d'étendue qu'en comporte la partie horizontale de la plage sur laquelle on opérera ; et le plus prés possible de la mer, afin d'éviter les dénivellements qui pourraient l'altérer. On fera, aux deux extrémités de la base indiquées par deux pavillons, 2 stations au théodolite pour avoir les 3 angles mesurés dans les triangles formés avec les stations principales les plus voisines. Dans cette observation on portera surtout l'attention sur la mesure du petit angle aux stations dont dépend toute l'exactitude des résultats.

Si la carte à lever comprend une étendue de côtes de 8 à 10 milles ou plus, on aura recours aux observations astronomiques faites aux deux extrémités de la carte ; à l'aide d'un sextant ou d'un cercle bien rectifiés il est facile d'avoir les latitudes à 6″ ou 7″ prés dans une seule nuit, à la condition d'observer 2 étoiles au Nord et autant au Sud du zénith pour chaque station.

L'erreur de l'échelle, qui ne sera que la différence des erreurs des deux observations, sera trés probablement inférieure ou tout au plus égale à cette quantité, c'est-à-dire de $\frac{1}{100}$ environ.

Le soin avec lequel sont construits aujourd'hui par les bons artistes les instruments à réflexion, et la facilité de diminuer considérablement les erreurs, par des observations croisées ou également réparties de part et d'autre du zénith ou du méridien, permettent d'obtenir des observations beaucoup plus exactes que ne le feraient supposer certains travaux spéciaux récents sur ces instruments, et qui indiquent des erreurs possibles fort exagérées que je n'ai jamais eu l'occasion de rencontrer dans les sextants de nos bons artistes. Mais il ne faut jamais négliger la précaution de retourner les verres colorés et les glaces de l'horizon artificiel au milieu de chaque série.

Si la carte à lever était orientée Est et Ouest, et peu étendue du Nord au Sud, il faudrait avoir recours aux observations chronométriques, qui donneraient pour l'échelle une précision sans doute un peu moindre; pour atténuer l'erreur autant que possible il faudrait faire 3 observations le même jour (afin d'éviter les erreurs de marche des chronomètres), en observant le matin à l'une des extrémités plusieurs séries d'angles horaires; à midi on observerait des circumméridiennes à l'autre extrémité, et le soir on reprendrait des angles horaires au point de départ du matin. Il faudrait, pour ce déplacement, une embarcation à vapeur si le navire lui-même ne pouvait pas faire cette double traversée dans la journée.

Si l'on pouvait recommencer deux fois cette opération en sens contraire on serait certain d'arriver à peu près au même degré d'exactitude que par les latitudes.

Si les circonstances ne permettaient pas de se conformer exactement à ce procédé on s'en rapprocherait

au moins le plus possible en ne mettant pas plus de 24 heures d'intervalle entre les observations aux deux extrémités de la côte. Mais généralement les différences de latitude devront suffire à obtenir l'échelle avec l'exactitude suffisante.

Il semble inutile de dire que dans une campagne où l'on peut avoir des travaux hydrographiques à exécuter il est nécessaire d'avoir toujours au moins 3 bons chronomètres et de les suivre avec le plus grand soin en tout temps.

Echelle de Marée.

Pendant toute la durée du séjour dans une localité où on fera des travaux hydrographiques, il est indispensable d'avoir, sur un point de la côte favorablement situé et le plus près possible du navire, une échelle de marée qu'on fera observer jour et nuit de quart d'heure en quart d'heure, en faisant changer le timonier à tous les quarts; on tiendra compte de toutes ces observations pour déterminer l'établissement du port, l'unité de hauteur et les corrections à apporter aux sondages ainsi qu'aux hauteurs de station. On devra tenir compte aussi de la direction et de la force du vent ainsi que de la hauteur du baromètre: on sait que la pression barométrique agit dans le rapport des densités du mercure et de l'eau: $0^{m},01$ de pression produit $0^{m},13$ sur la hauteur de la marée.

Sondages.

Si le pays est habité, si l'on a rencontré des pilotes ou des pêcheurs, tout travail de levé et de sondage devra être précédé d'une enquête auprès d'eux pour connaître toutes les particularités de la localité intéressant la

navigation, l'existence et les limites des hauts fonds ou écueils et les circonstances relatives aux vents, aux marées et courants, etc. etc. L'officier chargé du levé devra pouvoir disposer de plusieurs embarcations, dirigées chacune par un officier, pour faire les sondages pendant qu'il fait lui-même le levé de la côte.

Le nombre d'embarcations à employer dépendra naturellement des exigences du service du bord, de la quantité de travail à faire et du temps qu'on pourra y consacrer. En général il y aura tout avantage, quand on sera décidé à lever le plan d'une localité, à pousser le travail le plus activement possible, en y consacrant de suite tous les moyens nécessaires. Une baie de 2 à 3 milles d'étendue pourra être levée et suffisamment sondée dans une ou deux journées, si l'on peut y consacrer quatre embarcations depuis le lever jusqu'au coucher du soleil.

Avant le départ du bord le Chef de mission aura soin de désigner bien exactement à chaque embarcation, sur un croquis provisoire, la partie et l'étendue de la baie qu'elle a à sonder, de manière à ce que le travail de chacune d'elles se double un peu aux extrémités de leurs zônes voisines, comme vérification des sondages et pour éviter les lacunes.

Toutes les embarcations devront quitter le bord en même temps, au levé du soleil, avec leur montre bien réglée sur celle du bord et du chef de mission.

Elles commenceront les sondages aussitôt qu'elles seront arrivées sur la partie qui leur a été désignée, en fixant par une première station leur point de départ; les lignes de sonde se feront autant que possible parallèles

entre elles et perpendiculaires à la direction de la côte. L'intervalle de ces lignes et la fréquence des coups de sonde ne peuvent se régler que d'après les circonstances locales et le plus ou moins de variation des fonds; dans l'intérieur des baies elles seront toutes faites à l'aviron: les canotiers devront s'habituer à nager avec la plus grande régularité possible.

On sondera de temps à autre avec la lance pour bien reconnaître la qualité du fond. Quand la mer sera calme, ce qui permettra de prolonger ce travail toute la journée, on divisera l'équipage de chaque canot en deux bordées, nageant successivement chacune pendant une heure tandis que l'autre se repose: on peut ainsi, sauf le repos de midi, sonder facilement toute une journée sans s'arrêter, entre le levé et le coucher du soleil.

Dans la direction des lignes à faire on devra tenir compte du courant s'il y en a: pour ne pas être trop dévié, on les fera par alignements quand ce sera possible.

Les stations de sonde seront plus ou moins fréquentes selon la variation des fonds; toutes les fois qu'on rencontrera quelque haut fond, quelque écueil, quelque ressaut ou inégalité remarquable dans les sondages, on déterminera sa position par une station spéciale.

Pour faire les stations on mouillera le grappin à long pic en hissant en tête de mât le pavillon signalant qu'on est en station, on mesurera rapidement 5 ou 6 angles sur les points les plus favorables en prenant de préférence l'N du navire affourché comme point de départ des angles, parce que c'est un point bien isolé, bien net, facile à trouver du premier coup avec

l'instrument soit directement soit par réflexion ; on notera en même temps avec grand soin la hauteur de la mâture, rendue plus facile à observer par un ballon noir hissé en tête du grand mât ; bien que cet élément soit rarement nécessaire, il peut être utile à petite distance pour le placement des sondes et pour avoir une position approchée dans la construction des segments, quand il y a quelque doute.

A bord, un timonier sera continuellement au compas de relèvement ; pendant tout le temps des sondages il suivra avec grand soin la marche des embarcations et notera, sur un registre disposé d'avance par colonnes, l'heure et le relèvement au compas de chaque canot en station, signalé avec son pavillon de tête de mât, auquel on répond du bord par un signal semblable convenu d'avance.

Pour éviter les erreurs du compas le timonier relèvera en même temps comme point fixe le point le plus éloigné de la côte, de manière à ne se servir du compas que comme d'un simple rapporteur.

Ces relèvements des stations pris du bord faciliteront et vérifieront les constructions par segments capables et éviteront bien des erreurs.

Ce registre aura autant de colonnes qu'il y a d'embarcations et en outre trois autres colonnes, l'une pour les heures, une pour le relèvement du point fixe et la troisième pour le cap du navire. Cette dernière donnée sera très utile pour contrôler la variation et la déviation de la boussole aux différents caps selon l'évitage du navire.

Comme je l'ai dit plus haut, le Chef de mission,

en faisant les stations au théodolite sur les sommets de la côte, fera aussi surveiller les embarcations par son assistant qui devra lui signaler toutes celles en station de sonde; il interrompera alors un instant son levé pour fixer cette embarcation par un coup de théodolite en azimut et hauteur inscrits au bas de la page avec l'heure correspondante, sans avoir même à se préoccuper de reconnaître quelle est l'embarcation qui relève. Quand plus tard les officiers auront placé leurs lignes de sonde sur le croquis il vérifiera si celles des stations relevées du haut des mornes sont bien placées; il pourra ainsi corriger leur erreur, s'il y en a, ou faire recommencer les sondages qui seraient reconnus trop mal placés.

La longueur des lignes de sonde devra être vérifiée à bord au départ et au retour, étant bien mouillées; on tiendra compte des erreurs qu'elles pourraient avoir.

Quand, dans une campagne ordinaire, on n'a que peu de temps à donner aux travaux hydrographiques, et qu'il faut les exécuter rapidement en profitant des moindres circonstances favorables, les sondes sont la partie la plus ingrate et la plus longue du travail; le chef de mission doit apporter le plus grand soin à ce qu'elles soient bien exécutées et s'arranger de manière à avoir autant de vérifications que possible, soit dans les sondes, soit dans le placement des stations; les segments capables ne se coupent pas toujours dans de bonnes conditions quand on est gêné par le vent et la mer, par la fatigue ou encore par le manque d'habitude; il est donc très utile que les sondeurs se sentent soutenus et surveillés par le double

relèvements du bord et du haut des falaises.

Généralements les sondages des embarcations ne doivent guère dépasser les plus grands fonds auxquels on peut mouiller, ou tout au plus aller jusqu'à la limite de 60 à 80 mètres : c'est avec le navire ou un canot à vapeur qu'il conviendra de faire les sondes plus grandes; mais le plus souvent ces limites dépendent complètement de circonstances locales et du temps dont on dispose.

A moins d'impossibilité absolue, une construction provisoire devra être faite dans la soirée même des jours de sondages et décalquée en un nombre égal à celui des sondeurs, pour que chacun d'eux y construise immédiatement ses principales stations. Le travail se fait alors très facilement : quand on a la mémoire toute fraîche des observations, les erreurs ou omissions se corrigent sans peine, et si quelque partie n'a pas été assez sondée, si quelque haut fond, quelque limite de banc, exigent plus de coups de sonde, on peut les compléter le lendemain. Quand, après la rentrée en France, on rédigera définitivement tous les travaux de la campagne, le placement des sondages se trouvera presque entièrement fait et ne nécessitera le plus souvent que peu de corrections.

Quand on a une côte très-étendue à lever et qu'on veut avancer chaque jour de 2 à 3 milles, la construction pendant la soirée devient indispensable si on ne veut pas ou si on ne peut pas doubler la durée du temps consacré à ce lever.

J'ai toujours opéré ainsi pendant toutes mes campagnes hydrographiques; c'est sans doute un peu fatigant, mais on a l'avantage de faire les constructions bien plus facilement, plus vite, avec plus d'exactitude et de pouvoir

corriger bien des erreurs, combler bien des lacunes. Il suffit de donner un jour ou deux de repos de temps à autre quand le mauvais temps n'en imposera pas assez.

Construction de la carte.

Le premier travail à faire pour la construction définitive de la carte consiste dans le calcul des triangles formés par les stations principales qui, relevées réciproquement les unes des autres, et chacune d'elles étant orientée directement sur le méridien vrai, permettront d'obtenir un bon canevas avec de nombreuses vérifications pour la parfaite orientation: en combinant ces triangles avec les stations extrêmes déterminées astronomiquement, ou avec la base mesurée sur la plage s'il ne s'agit que d'un petit plan, on en déduira les principales positions géographiques de la carte et l'échelle du plan.

Il n'y a à tenir compte dans les calculs d'aucune autre correction que celle de la convergence des méridiens; encore celle-là est-elle le plus souvent négligeable dans la zône équatoriale; elle n'acquiert d'utilité que pour les travaux un peu étendus ou bien en dehors des tropiques, puisqu'elle ne consiste que dans la différence des longitudes des deux points extrêmes de la carte, multipliée par le cosinus de la latitude moyenne: cette correction des angles dépassera donc rarement un très petit nombre de minutes. Quant aux corrections dues à l'excès sphérique, aux phases des signaux, etc... elles n'ont aucun sens en dehors des travaux géodésiques; on n'aura donc pas à s'en occuper.

La projection sera ensuite construite soit à l'aide de la perpendiculaire et de la méridienne, soit à l'aide du

cadre en latitude et longitude, ou plus simplement encore à l'aide du rapporteur de cuivre à grande alidade qui donne tout autant d'exactitude pour un simple plan ; on a souvent plus à craindre les erreurs produites par le retrait inégal du papier (qui montent si souvent à $\frac{1}{100}$) que celles d'une bonne construction graphique avec le rapporteur.

Après avoir placé toutes les stations principales on placera par recoupements les stations secondaires et les points remarquables du littoral vus de plusieurs stations, puis on aura recours à la hauteur en mètres des stations, et aux angles de hauteur, pour déterminer à l'aide des triangles verticaux, tous les points du littoral relevés autour du pied de chacune d'elles et qui n'auront pas été recoupés d'autres stations.

La hauteur en mètres est très facile à obtenir avec toute l'exactitude nécessaire, d'abord à l'aide des points bien nettement définis les plus rapprochés déterminés par recoupement et dont la distance se trouve ainsi connue, puis avec la hauteur de la mâture quand le navire n'est qu'à un mille ou deux de distance et que la hauteur de la station n'est pas beaucoup plus grande.

La position de l'avant du navire affourché déterminée par plusieurs recoupements donne également comme base une distance assez exacte à l'aide de laquelle on peut calculer aussi la hauteur de la station, sans se servir de la hauteur de la mâture. Enfin on a comme vérification les hauteurs des autres stations qui ont dû être toutes réciproquement observées les unes des autres

en hauteur et azimut. On a donc surabondance de moyens de vérification: 4 ou 5 déterminations de la même hauteur doivent s'accorder en moyenne à 20 ou 30 centimètres près.

Cet élément ne devant être employé que pour déterminer les points voisins, l'erreur qu'on sera exposé à commettre sur ces points sera absolument négligeable dans la pratique puisqu'elle sera plus faible même que celle qui peut exister sur le point déterminé par recoupements, point qui aura servi à trouver la hauteur et qui doit en limiter la portée.

Les meilleurs traités d'hydrographie n'indiquent aucun procédé aussi exact, aussi simple et rapide pour tracer le contour des côtes et le rattacher directement à la triangulation; c'est donc avec une bien singulière légèreté et par manque d'expérience que les auteurs des traités récents d'hydrographie ont condamné ce procédé en quelques lignes sans l'avoir pratiqué et en m'attribuant la prétention de remplacer les triangles horizontaux à peu près équilatéraux par des triangles verticaux à très petite base.

C'eût été en effet une absurdité que la moindre pratique de l'hydrographie ne permettrait pas de commettre.

En réalité ce procédé ne sert qu'au remplissage de la carte et est destiné à se substituer, dans le tracé des détails du littoral à toutes les pratiques plus ou moins inexactes et laborieuses indiquées dans les traités d'hydrographie. La lunette plongeante du théodolite ainsi promenée et utilisée sur le haut des falaises des côtes réputées les mieux hydrographiées y ferait probablement découvrir bien des erreurs de détail.

Habituellement, le calcul des triangles verticaux ne nécessite pas l'emploi des logarithmes ; une simple règle à calcul suffit ; elle donne immédiatement à vue les distances des points à l'aide de la tangente de l'angle et de la hauteur, à mesure qu'on construit la carte.

La distance à laquelle on peut étendre ces déterminations sans erreur sensible est de 12 à 15 fois la hauteur de la station ; on a rarement besoin de l'étendre davantage et le plus souvent on n'a pas à l'utiliser à plus de la moitié de cette distance.

Mais dans quelques circonstances particulières on peut cependant sans inconvénient dépasser très notablement cette limite, par exemple si à l'extrémité du levé on rencontre une plage ou une côte peu sinueuse s'étendant au loin en ligne à peu près droite dans la direction de la côte déjà levée. C'est ainsi qu'en arrivant à la frontière ouest de la côte de l'Algérie, ne pouvant, à cause de l'hostilité des indigènes, débarquer en dehors de la ligne frontière sur la plage marocaine, qui se prolongeait à perte de vue dans l'ouest, j'ai pu, sur un sommet de 160 mètres de hauteur situé près de l'embouchure du Skyd qui forme cette frontière, relever toute la plage inabordable du Maroc jusqu'aux îles Zaffarines et au cap Del Agua, sur une distance de 12 milles.

Les quelques sinuosités les plus proéminentes se trouvaient sans doute erronées de quelques dizaines de mètres dans le sens de la distance à la station, parallèlement à la côte ; mais cette erreur n'avait absolument aucune importance puisqu'elle ne changeait que d'une quantité tout à fait inappréciable, pour ainsi dire du

second ordre, leur proéminence vers le large, seule à considérer pour la sécurité de la navigation.

Comme vérification, l'observation réciproque faite du sommet des îles Zaffarines, à l'autre extrémité de cette même côte, a donné un second tracé presque identique au premier.

Deux causes d'erreur dans l'emploi des hauteurs des stations.

Il y a toutefois deux objections à ce procédé, objections auxquelles il faut répondre.

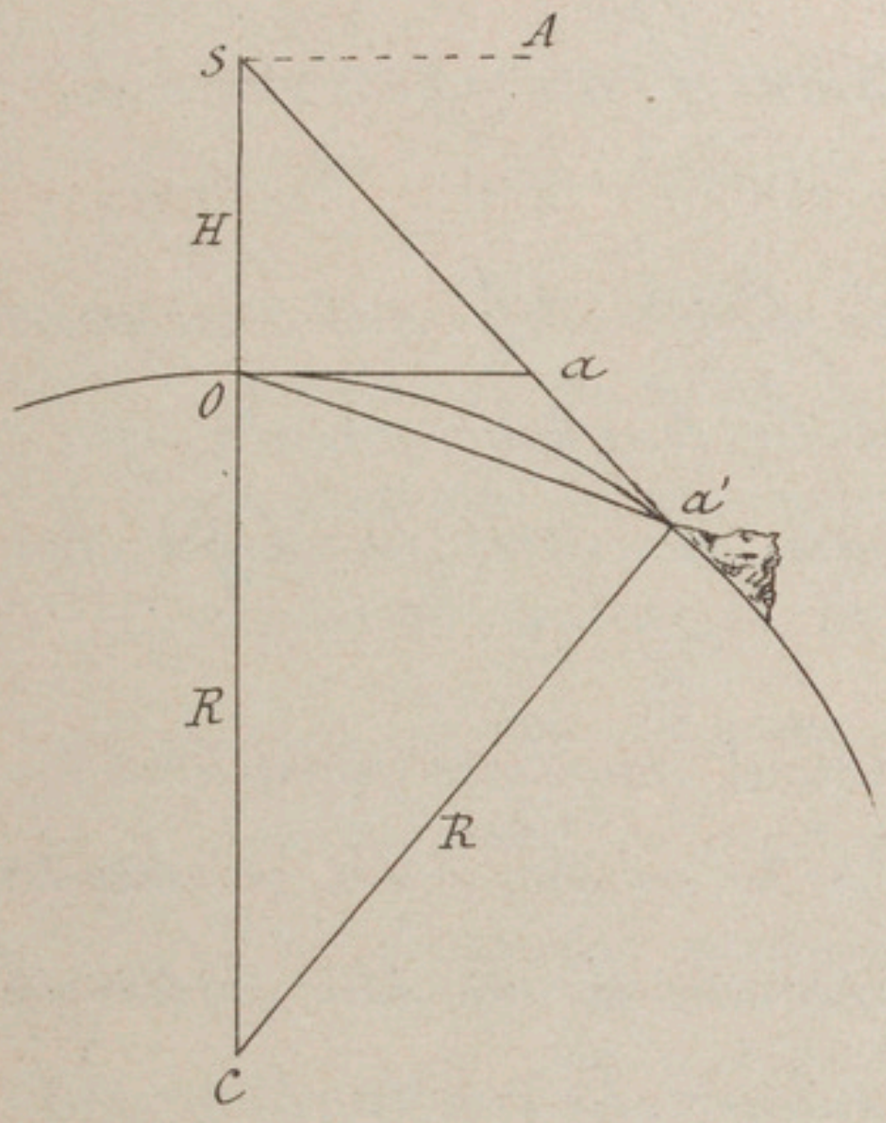
1° La première est celle de la variation produite par la marée sur la hauteur et sur les contours du rivage; il y aura à tenir compte de son mouvement à l'aide de l'échelle de marée, qui doit être toujours observée avec beaucoup de soin dans toute localité dont on fait l'hydrographie.

Dans les vues des stations on indiquera autant que possible les tracés de haute et basse mer sur la côte quand elle sera visible et on en tiendra compte dans les calculs avec la hauteur de la marée; mais il faut se hâter de rappeler que sur la plupart des côtes, dans les grandes mers, le mouvement de la marée s'élève tout au plus à 1m. ou 2m. et il est bien facile alors de tenir compte de la correction à apporter dans le tracé de la côte.

D'ailleurs quel que soit le procédé de levé qu'on emploie il est bien évident que le mouvement de la marée impose toujours un surcroît de travail et de difficulté dans la détermination du littoral.

2° La seconde cause d'erreur tient à la sphéricité du globe, qui donne lieu à une petite correction additive, presque toujours trop faible pour qu'il soit nécessaire

de l'appliquer, mais d'ailleurs bien facile à calculer, et qui est donnée par une Table à double entrée qu'on trouvera ci-après. Cette Table a été calculée de la manière suivante:



D'une station élevée S on a relevé le pied d'une côte a' et son angle de dépression AS a' pour en déduire sa distance en arc 0a', qu'on peut sans erreur appréciable remplacer par la corde 0a'.

Le triangle rectangle S0a ne donne que la distance 0a et non 0a', mais on voit que tout est connu dans le triangle SCa' puisqu'on connait les côtes R et R+H et l'angle en S; on peut donc en conclure l'angle C au centre de la terre; cela fait, dans le triangle 0Ca' on calculera 0a' = D, ce qui fera connaître la correction à ajouter au côté calculé 0a.

On a obtenu ainsi les nombres de la Table suivante calculée pour des hauteurs de 100 en 100 mètres et pour des distances égales à 10, 15, 20 et 25 fois la hauteur;

Hauteur H de la station.

$\frac{H}{D}$	100 m.	200 m.	300 m.	400 m.	500 m.
10	1	4	9	16	25
15	4	13	28	49	57
20	8	29	63	112	173
25	15	56	123	215	330

On voit par ce tableau que, pour une station élevée de 500 mètres par exemple il faudra ajouter une correction de 25 m. à la distance calculée d'un objet situé à 5000 mètres.

Pour une station élevée de 100 mètres, il faudra ajouter 15 mètres à la distance d'un objet situé à 2500 mètres.

La première colonne horizontale, qui correspond à une distance égale à dix fois la hauteur, montre que dans ce cas la correction est égale au carré du chiffre des centaines de la hauteur.

Une simple règle à calcul qui donne généralement les tangentes des angles jusqu'à 30' ou 40', c'est-à-dire 100 fois la distance, suffira pour résoudre à vue tous ces triangles rectangles en fonction de la hauteur. La construction graphique pourra donc se faire avec une grande rapidité.

Chronomètres.

Il semble inutile de dire que dans toute campagne hydrographique les chronomètres doivent être étudiés et suivis avec le soin le plus extrême.

Leur état absolu et leur marche seront continuellement observés, même dans les plus courtes relâches, à l'aide d'observations faites matin et soir et ramenées à midi afin d'éliminer toutes les causes d'erreurs instrumentales. Ces observations répétées ainsi sur tous les points de la côte donneront d'excellentes différences de méridiens, surtout quand on aura l'occasion de refaire plusieurs fois les mêmes relâches ; comme c'est le cas le plus général quand on fait de l'hydrographie, l'observation de la température enregistrée avec soin pourra souvent

encore être utilement employée pour la correction des marches. Mais avec les progrès accomplis dans la construction et le réglage des chronomètres et avec la brièveté des traversées actuelles, faites presque toujours à la vapeur, toutes les corrections de la marche des chronomètres, anciennement si grandes et si indispensables, sont devenues beaucoup moins utiles aujourd'hui.

Chaque détermination isolée d'état absolu doit donner le résultat à 2 ou 3 dixièmes de seconde de temps près quand on a un instrument bien rectifié et qu'on retourne toutes les glaces et les verres colorés au milieu de chaque série ; c'est là une précaution absolument indispensable, certains verres colorés pouvant donner des erreurs de 15" à 20" dans les instruments peu soignés.

Le nombre minimum des chronomètres nécessaires est de 3, plus 2 compteurs. L'heure la plus convenable pour les remonter et les comparer est 9h. du matin, heure de la température moyenne du jour ; on a en outre l'avantage d'être moins exposé à oublier de les remonter quand on associe cette opération à la nécessité de déjeuner qu'on n'oublie jamais, et à un moment où on est toujours à bord.

On construira leur courbe de marches diurnes relatives, en rapportant à celui qui a la marche la meilleure et la mieux compensée, celles des autres chronomètres ; on construira en regard la courbe de la température diurne qui fera ressortir à première vue son influence, de même que les courbes comparées des marches feront ressortir les variations accidentelles ; mais ces procédés, que j'ai été un des premiers à recommander et à employer continuellement il y a bien longtemps, ont beaucoup perdu aujourd'hui

de leur utilité par suite des progrès réalisés dans la construction et la réception des chronomètres sous l'active surveillance du Dépôt de la Marine, remplaçant l'ancien service des chronomètres à l'observatoire de Paris, qui ne s'y intéressait pas suffisamment.

Actuellement la marche des chronomètres est assez régulière et leur compensation assez bonne pour que les corrections soient devenues presque toujours inutiles, du moins pour de petits intervalles de temps comme ceux que nécessitent le levé d'une carte ou une traversée moyenne. Les procédés mécaniques de compensation ont d'ailleurs rendu beaucoup moins simple l'action de la température sur la marche, et quand cette compensation n'est pas suffisamment efficace un chronomètre non compensé dont on déterminerait avec soin le coefficient de température donnerait bien plus simplement et plus exactement la marche diurne et l'état absolu. Ce serait le meilleur des chronomètres. Ce procédé a d'ailleurs été efficacement employé dans quelques expéditions, entre autre dans celle du passage de Vénus en 1874 par Lord Lindsay et le Dr Gill, qui disposaient d'une collection de 50 chronomètres, dont un n'était pas compensé et servait à déterminer la température et son influence.

Pendant mes dernières campagnes je n'ai jamais eu besoin d'avoir recours à aucune correction; les marches de nos chronomètres étant excellentes, les variations de température très faibles, toutes nos longitudes à terre ont été déterminées à moins de 1s de temps près, généralement à 0s.3 ou 0s.5 au plus comme l'ont montré depuis les déterminations faites par le télégraphe.

C'est précisément au moment où s'est produite cette très grande amélioration en chronométrie, qui rend le plus souvent inutiles toutes les recherches de variations, qu'on a vu se produire tant de travaux sur cette question et proposer certaines formules de correction aussi compliquées qu'inapplicables. Des auteurs beaucoup plus versés dans la théorie que dans la pratique en sont venus à traiter bien gratuitement les courbes des marches des chronomètres comme des courbes géométriques, telles que celles décrites par les planètes autour du soleil. C'est évidemment là une grande erreur. Les formules d'interpolation et de continuité comme la série de Taylor, ne peuvent s'appliquer utilement qu'à des courbes régulières susceptibles de définitions mathématiques, et nullement à celles qui sont soumises à des variations accidentelles nombreuses comme celles qui affectent la marche d'un chronomètre à la mer. La température seule produit sur elle des variations assez régulières pour qu'on puisse jusqu'à un certain point les calculer.

Quand on veut déterminer l'orbite d'un astre on sait à priori que cette courbe est régulière et soumise à des lois mathématiques; on est donc certain que si les observations servant à sa détermination ne s'accordent pas parfaitement entre elles et donnent une courbe sinueuse, cela provient des erreurs de ces observations et non des irrégularités de la courbe; il est donc naturel de corriger ces observations les unes par les autres à l'aide de formules de continuité, pour obtenir la courbe régulière moyenne la plus probable rendant la somme des erreurs minimum. Mais, pour les chronomètres c'est tout le contraire: on sait à priori que les observations sont exactes, et que si elles ne donnent pas

une courbe régulière cela ne provient que des irrégularités de cette courbe produites par des causes très variées ; il est donc illogique d'altérer les premières pour obtenir un résultat qui n'a aucun rapport avec la réalité, et la dernière observation de marche diurne observée donnera toujours un meilleur résultat que celui qu'on pourrait conclure d'observations plus anciennes par les formules théoriques en apparence les plus exactes. Le premier terme de la série de Taylor à seul quelque utilité dans cette application : le second ou carré, proposé par Lieusson est plus souvent nuisible qu'utile, comme je l'ai montré par plusieurs exemples extraits du mémoire même de Lieusson ; ce terme n'est obtenu cependant que par des calculs assez longs ; quant aux termes supérieures proposés par Villarceau et son élève M. de Magnac ils n'ont absolument aucun sens et exigent de telles complications de calculs que l'auteur lui-même a dû les reconnaître inapplicables pour en revenir aux constructions graphiques.

Cette méthode des constructions graphiques, que j'ai toujours recommandée, est d'une application bien plus facile, plus exacte et surtout plus féconde pour l'étude et l'emploi des chronomètres à la mer : au lieu de chercher un résultat douteux, par la voie obscure et toute mécanique de l'emploi d'une formule appliquée indistinctement à la solution des problèmes les plus divers, on voit clairement à première vue, dans le tracé des courbes, se produire ces diverses variations sous l'influence de leur cause, et elles donnent ainsi le meilleur moyen de les prévoir et de les calculer.

Les solutions purements algébriques, déduites de conception théoriques très douteuses, sont dues en général à des auteurs qui n'ont pas eu l'occasion de les employer

et on ne peut guère les considérer que comme des récréations mathématiques semblables à l'emploi des lignes de hauteur qui, étant primitivement d'une application on ne peut plus simple et rationnelle, ont donné lieu à de nombreuses combinaisons, ingénieuses sans doute comme solution de problèmes de géométrie, mais qui surchargent d'une manière fâcheuse et bien inutile un chapitre du programme de l'Ecole Navale.

La moderne transformation de la flotte a tellement augmenté depuis 30 à 40 ans la somme de connaissances nécessaires à l'officier de marine qu'on devrait partout chercher les solutions les plus simples et surtout éviter avec le plus grand soin toute complication dans les opérations les plus fréquentes de la navigation!

J'indiquerai ci-après, dans le court exposé de mes levés, la manière bien simple dont j'ai toujours employé en hydrographie les lignes de hauteurs depuis 50 ans.

Chapitre III

Renseignements particuliers sur divers travaux hydrographiques (Brésil, Algérie, Tunisie).

Travaux hydrographiques divers.

La nature des travaux à exécuter, le temps qu'on peut y consacrer et les moyens dont on dispose sont autant de conditions différentes qui imposent certaines modifications aux procédés à employer. L'officier doit se plier aux circonstances dans lesquelles il se trouve et les utiliser le mieux possible, car il ne dispose jamais des moyens surabondants qu'on accorde naturellement aux missions spéciales des ingénieurs de la marine: il peut donc être utile de donner quelques très courtes indications au sujet des divers travaux que j'ai eu à exécuter, ainsi que sur les modifications et la multiplication des observations auxquelles j'ai dû avoir recours pour donner aux résultats toute l'exactitude pratique indispensable, malgré le peu de ressources et le temps dont je disposais habituellement.

Je rapporterai d'abord le jugement d'un ingénieur hydrographe: Mr Delbalot, chargé de l'examen de mes travaux, au retour d'une de mes campagnes, et d'en rendre compte au comité, commençait ainsi son rapport:

« Si les travaux hydrographiques de Mr Mouchez
« sont réellement utiles, dit-il, il faut supprimer le Dépôt
« et le Corps des Ingénieurs hydrographes, parce qu'il faut en

« un mois ce que nous ne serions pas capables de faire en un an. »

Inutile d'ajouter que, n'admettant pas sa conclusion, il critiquait les procédés de travail. Cependant beaucoup de ces travaux, faits sans mission spéciale, et qui n'ont ainsi rien coûté à l'Etat, sont utilisés depuis sans qu'on ait jamais ressenti encore le besoin de les recommencer.

Levé de la côte du Brésil.

La côte du Brésil entre l'Amazone et la Plata, sur une étendue de 1100 lieues, avait été levé sous voiles en 1820 par l'amiral Roussin, assisté de Mr de Givry ingénieur hydrographe, embarqué sur la « Bayadère ». La campagne dura trois ans, mais elle ne produisit qu'une simple reconnaissance entièrement basée sur des observations faites à la mer, et devenue tout à fait insuffisante avec le développement de la navigation moderne. Ayant passé plus de 4 années en station dans la Plata et ses affluents, le Parana et l'Uruguay, comme commandant de l'aviso, le « Bisson », j'avais eu l'occasion d'employer mes moments de loisir à y faire quelques travaux hydrographiques et des observations de longitude, quand, peu de jours après ma rentrée en France, je reçus l'ordre de repartir de suite pour lever la carte des écueils des Abrolhos qui, restés inexplorés dans le levé fait par Roussin en 1820, gênaient beaucoup la navigation de nos grands paquebots des Messageries Maritimes, dont le service entre la France et le Brésil venait d'être inauguré. Je partis par un de ces paquebots pour aller prendre le commandement du « D'Entrecasteaux », de la station du Brésil, et utiliser les 4 ou 5 mois de séjour qu'il avait encore à faire pour terminer ses 2 ans de station;

j'eus le temps, pendant ces quelques mois, de lever, non seulement les Abrolhos, mais encore les 200 lieues de côte comprises entre Bahia et Rio-de-Janeiro, au milieu desquelles se trouvent ces grands récifs.

Après avoir terminé la rédaction de ce travail au Dépôt, on me fit repartir comme commandant du Lamotte-Piquet, attaché pendant 2 ans à la station du Brésil, afin de lever les 900 autres lieues qui restaient encore à faire au Nord et au Sud de la partie levée, tout en me conformant au service régulier de la station: je ne devais utiliser que les moments laissés disponibles pour ce service.

Pour faire utilement un travail aussi vaste, avec d'aussi faibles ressources et des officiers sans doute fort peu au courant de ces travaux, je dus me préoccuper surtout de satisfaire à tous les besoins de la navigation européenne, en sacrifiant un peu la reconnaissance des petites localités qui, ne pouvant intéresser que le cabotage et la navigation locale, devaient être faites par la marine brésilienne.

Je ne pus avoir recours qu'à un levé sous vapeur exécuté très près de terre, appuyé sur de nombreuses stations sur le littoral toutes les fois que le débarquement était possible. Ces stations comportaient généralement un levé au théodolite, avec vue complète et une position géographique, en latitude et longitude, observée dans la soirée à l'aide de 2 ou 3 étoiles de chaque côté du zénith, soit à l'horizon artificiel, soit au théodolite. Entre le lever et le coucher du soleil le navire suivait la côte de très près, à petite vitesse de 3 à 4 nœuds. Je me tenais sur la passerelle à côté du compas de relèvements, relevant rapidement chaque quart d'heure ou chaque demi-heure tous les points

remarquables en vue, soit avec le cercle hydrographique soit avec le compas, notant partout avec le plus grand soin les relèvements l'un par l'autre de tous les points remarquables de la côte entre eux et par les sommets de l'intérieur. Ces derniers équivalaient à une station faite sur ces sommets; tous les points remarquables de la côte étaient continuellement relevés depuis le moment où ils sortaient de l'horizon à l'avant jusqu'au moment où ils disparaissaient à l'arrière.

Usage des compas. — Pour certaines parties du travail du levé sous voiles le compas de relèvement, sur les anciens navires en bois, donnait d'excellents résultats. Ces compas, construits sous la surveillance du Dépôt de la Marine, étaient parfaitement divisés et centrés ; avec un peu de soin et d'habitude on obtenait les angles à 1° près, ce qui est grandement suffisant pour le placement de tous les détails du littoral peu éloignés du navire.

L'infériorité de la précision du compas, sur les angles mesurés au cercle, est bien compensée par la facilité des observations qui permet de prendre 4 ou 5 relèvements pendant qu'on n'aurait mesuré qu'un seul angle au cercle. Les angles au cercle étaient pris sur les objets éloignés, et ceux au compas sur les points rapprochés; d'ailleurs tous les points remarquables d'une côte, pouvant servir aux relèvements, tels que montagnes, caps, falaises, etc, etc, ne peuvent guère, même avec les instruments à réflexion, se définir et s'obtenir à plus du $\frac{1}{4}$ ou du $\frac{1}{2}$ degré. Les angles à la minute donnés par le cercle hydrographique ne sont guère utilisables que pour les signaux artificiels et les phares.

Les déviations locales, dues aux fers du bâtiment,

en grande partie détruites par les barreaux de compensation, variaient peu pendant le cours d'une campagne, mais il n'était guère possible de compter sur le tableau de correction donné par l'ingénieur au moment de la sortie du port; on trouvait presque toujours de trop grandes différences quand on prenait la mer: je ne m'en suis jamais servi.

En cours de campagne, pour être certain d'éviter toute erreur de déviation et de déclinaison, il faut profiter d'un moment d'accalmie pour décrire, tous les mois ou tous les quinze jours, un tour entier avec le navire en vue d'un point très éloigné, ou en vue du soleil à son lever ou à son coucher: en faisant lentement cette évolution et relevant le soleil ou l'objet de quart en quart, puis refaisant la même évolution en sens contraire, on peut en conclure la courbe de la correction totale, déviation et inclinaison, pour chaque quart, à un degré près; pendant le quart d'heure ou la demi-heure que dure cette opération on prend 2 ou 3 fois la hauteur du soleil afin de pouvoir calculer le changement de son azimut dans l'intervalle. On peut aussi le plus souvent faire cette opération sur rade; cette variation totale était ainsi déterminée à chaque mouillage, à chaque changement d'évitage du navire, par le relèvement d'un point très éloigné. Ces procédés pratiques très simples, très sûrs, évitent toute autre recherche ou correction et doivent être d'autant plus recommandés pour nos modernes navires en fer, que les erreurs de compas y sont très variables, très grandes et bien à redouter. Il semble inutile d'ajouter que le lever et le coucher du soleil étaient en outre observés régulièrement tous les jours pour déterminer la variation.

Emploi des lignes de hauteur. - Pendant toute la journée, d'heure en heure au moins, je prenais une série de 3 hauteurs de soleil qui donnaient sur la carte non une latitude ou une longitude mais bien un lieu géométrique, une ligne perpendiculaire à l'azimut du soleil, sur laquelle se trouvaient parfaitement fixés dans cette direction les points qui à ce moment y étaient relevés.

Si l'on pouvait dans une même journée avoir ainsi 2 ou 3 relèvements d'un même objet observé dans des directions suffisamment différentes, perpendiculairement à l'azimut du soleil, ces objets étaient très bien fixés, en latitude comme en longitude, sans qu'on eût déterminé ces deux éléments. Dans la journée plusieurs lignes de hauteur ainsi tracées sur la carte fixaient un grand nombre de points sur une ligne connue; c'est la seule donnée certaine, exacte, que donne à la mer une hauteur d'astre; elle est immédiatement utilisable, tandis que les longitudes qu'on veut en déduire, (introduisant l'emploi d'une latitude connue seulement par estime) seraient affectées d'erreurs qui, sans importance en pleine mer, les rendent tout à fait inutiles dans un travail hydrographique.

La hauteur d'un astre dans un lieu inconnu ne pouvant donner qu'un lieu géométrique, ce n'est que de cette manière qu'on doit toujours les employer, soit pour le levé d'une côte, soit quand on navigue près de terre.

Quelle que soit la hauteur du soleil au dessus de l'horizon, son observation donnant toujours un résultat d'égale valeur, il n'est plus nécessaire de tenir

compte des cas favorables pour les angles horaires : On peut l'observer toute la journée avec le même bénéfice. Ce n'est qu'aux environs de midi, quand il arrive à une grande hauteur, qu'on est exposé à plus d'erreurs; il faut alors attendre midi et déterminer la latitude. J'ai été conduit à utiliser pour la première fois les lignes de hauteur dans ma campagne de Chine en 1841. Le manque de cartes à cette époque, et les violents courants de marée de 6 à 8 nœuds dans certains parages, rendaient la navigation dangereuse et les levés fort difficiles; l'estime était absolument inutile dans ces conditions et on ne pouvait employer que le lieu géométrique donné par les hauteurs d'astres (1)

Ces lignes de hauteur, restées bien longtemps si peu employées, parce que leur usage n'est indispensable que dans des cas exceptionnels et pour les levés hydrographiques, sont cependant si commodes qu'elles sont devenues aujourd'hui d'un usage général et on en a même fait la base de toute une nouvelle méthode de navigation. Je n'ai donc rien à y ajouter ici, si ce n'est, comme je l'ai dit plus haut, qu'on a trop abusé des combinaisons géométriques auxquelles elles donnent lieu et qu'on a perdu ainsi une partie de la simplicité et de la facilité de leur emploi.

Le plus souvent on mouillait à midi pour le repas; on avait en même temps une bonne latitude à la mer et une bonne vue de côte. Tous les officiers observaient la latitude et l'obtenaient en moyenne à moins

---

(1) Pour utiliser mes observations avec ces forts courants j'étais toujours obligé de les calculer en employant pour la série moyenne une latitude différant de 10' ou de 20' de la latitude estimée. Le navire se trouvait certainement alors sur la ligne joignant les 2 solutions ; c'est ainsi que je fus conduit à en faire une règle générale pour l'hydrographie.

de 1/2 minute prēs.

Chaque fois qu'on rencontrait quelque petit port, quelque groupe d'îlots ou de rochers, on mouillait pour en lever le plan et obtenir une position de plus, déterminée à terre. Une journée de travail de 4 embarcations suffisait presque toujours pour un tel levé particulier, quoique tous les ports, toutes les baies accessibles aux navires européens, aient été faits avec tous les détails et toute l'exactitude nécessaires.

Quand le soir on ne pouvait pas descendre à terre à cause des brisants de la côte, on mouillait une demi-heure avant le coucher du soleil, on l'observait et on traçait la ligne de hauteur qu'on combinait avec une hauteur à peu prēs égale obtenue le lendemain matin, une demi-heure aprēs le lever du soleil.

On avait ainsi bien souvent une excellente position du mouillage en latitude et longitude ; on en prenait toujours une vue de la côte complète, avec relèvements et angles mesurés avant l'appareillage. Toutes les fois que le temps le permettait une baleinière à la voile naviguait de conserve avec le navire en suivant tous les contours de la côte à la limite des brisants, par les fonds de 5 à 10 m. ; (nous n'avions pas malheureusement alors ces embarcations à vapeur qui donnent aujourd'hui tant de facilité à ces laborieux travaux) on stoppait de quart d'heure en quart d'heure ou de demi heure en demi-heure suivant les circonstances ; pendant les 2 ou 3 minutes d'immobilité du navire obtenues rapidement en faisant machine en arrière et constatée par le plomb de sonde laissé au fond, le pavillon signal de convention était hissé en tête de māt et l'officier de la baleinière prenait rapidement 5 ou 6 angles entre le navire stoppé et les points

remarquables de la côte ; ces observations se combinaient avec celles faites en même temps à bord et formaient ce que nous nommions des routes conjuguées. Quand on rencontrait quelque haut fond ou écueil on stoppait ou on mouillait pour l'explorer, après avertissement donné par signal. Tout changement de route était également signalé et déterminé par une station.

On tenait compte avec le plus grand soin du moment où des points remarquables des terres sortaient de l'horizon à l'avant ou disparaissant sous l'horizon du côté opposé, renseignements toujours très utiles en hydrographie.

En résumé c'est par une extrême vigilance, sans quitter de l'œil un seul instant la côte pendant toute la durée du travail, en observant continuellement au compas et au cercle, en multipliant les croquis et les observations de toute espèce, autant que possible sans solution de continuité aucune, qu'on parvient à recueillir tous les documents nécessaires pour lever une côte avec la précision indispensable aux besoins de la grande navigation, et avec la rapidité d'opération qu'impose le service ordinaire du bord aux officiers de marine chargés occasionnellement de ces travaux.

Les grands bancs ou écueils des Abrolhos du cap Saint Thomé, du cap S.t Roque et de Maranhão ont été l'objet d'un travail spécial aussi complet que l'ont permis les conditions, très difficiles dans lesquelles il a fallu l'accomplir.

Les limites extérieures de ces écueils, c'est-à-dire la partie réellement dangereuse, a été partout fixée en moyenne à moins de 1/2 mille près et cela n'a pas été sans compromettre plusieurs fois le navire dans des positions

fort critiques, surtout à l'accore des bancs de St. Roque où une très longue et très grosse mer déferle continuellement sur les écueils extérieurs. La faible élévation de la côte derrière eux rend leur reconnaissance exacte fort difficile; on est même souvent hors de vue de terre et ce n'est qu'en faisant de longues stations sur les barres de Perroquet ou dans un nœud de chaîne au haut du mât que j'ai pu bien des fois prendre des angles au cercle sur quelques points de la côte pour y rattacher les limites des brisants.

Quand on ne mouillait pas le soir, la nuit était employée à faire des grandes sondes au large, et le matin, au lever du soleil, on venait reprendre le travail au point où on l'avait cessé la veille.

Je crois devoir indiquer ici le procédé que j'ai employé pour déterminer exactement le grand banc le plus au large des Abrolhos, celui qui présentait le plus de difficultés.

Procédé employé pour lever la carte des récifs Abrolhos.

La détermination exacte de la limite extérieure de ces écueils avait une grande importance, mais ce travail présentait des difficultés exceptionnelles à cause de l'absence de tout autre point de relèvement qu'un petit groupe d'îlots, de 1 mille de diamètre, et qui vu au ras de l'horizon, à sa limite de visibilité, ne sous-tendait qu'un angle de quelques degrés. Ces difficultés pouvant faire naître des doutes sur l'exactitude des résultats obtenus, je crois devoir indiquer brièvement ici la méthode particulière à laquelle j'ai eu recours pour obtenir une précision suffisante.

Je dus renoncer à l'idée d'employer les embarcations

du bord que je ne pouvais, sans danger, expédier à plusieurs lieues en pleine mer. Je dus renoncer de même à me servir de petits bâteaux caboteurs du pays qu'il eût été difficile de se procurer et dont l'emploi aurait d'ailleurs occasionné trop de lenteur; enfin je fus aussi obligé de renoncer presque toujours à l'emploi de la canonnière «l'Itajahi» adjointe à notre expédition par le gouvernement brésilien, parce que, nullement disposée pour de tels travaux, elle était incapable d'aucun service.

Me trouvant donc réduit aux propres ressources du «D'Entrecasteaux» voici le mode d'opérations que j'ai mis en usage pour déterminer le Parcel des Abrolhos le plus au large, celui qui présentait le plus de difficultés, comme je l'ai dit, mais en même temps le plus d'importance.

Sur le sommet de chacun des trois îlots, formant un triangle rectangle dont les côtés étaient d'environ 1600 à 2000 mètres, j'ai placé un mât avec un signal visible de plusieurs lieues et au pied de ce mât un officier muni d'un théodolite et d'un chronomètre. Les trois chronomètres ayant été comparés d'avance, il a été convenu que pendant que le «D'Entrecasteaux» ferait le tour extérieur des récifs, il stopperait de quart d'heure en quart d'heure, tirerait un coup de canon et, à un signal donné, mesurerait les angles au théodolite pendant que les trois théodolites relevaient simultanément la cheminée du bateau au pied de laquelle je me tenais avec mon cercle; chaque officier notait avec soin l'heure à laquelle il voyait le coup de canon dans la lunette du théodolite et celle à laquelle lui en arrivait le son. Nous avions donc, pour déterminer

chaque quart d'heure la position du navire, un triangle avec les trois angles mesurés et un côté connu par la vitesse du son.

La même manœuvre a été renouvelée trois jours différents parce que l'irrégularité des contours extérieurs du récif et les nombreux coraux détachés occasionnaient ou des échouages ou des détours trop grands qui nécessitaient de nouvelles recherches.

Les trois roulés à l'aide desquelles j'ai enveloppé les récifs ont été sans cesse se rétrécissant; la première s'est trouvée beaucoup trop écartée, parce que je l'ai faite avec un pilote qui, sans m'avoir fait découvrir le moindre corail, nous en disait toujours fort rapprochés; les deux autres ont été faites sur les limites mêmes du banc que nous avons fréquemment reconnues soit à la vue ou avec la sonde, soit avec la quille; nous sommes donc parfaitement certains de ces limites.

Quant aux calculs des distances, j'ai employé toutes les précautions d'usage pour diminuer les erreurs possibles. Les triangles des trois jours ont été d'abord calculés avec un même côté du petit triangle des théodolites comme unité; la somme des trois angles mesurés s'est rarement trouvée différer de 180° au plus de 5' à 6'; il n'y a donc aucune erreur appréciable à craindre sous ce rapport. A l'aide de la vitesse du son, j'ai conclu pour chaque triangle la valeur de la base en mètres et j'ai conclu pour chaque jour autant de mesures de cette base qu'il y a eu de stations faites de quart d'heure en quart d'heure. J'ai employé pour la vitesse du son la formule et les corrections connues en tenant compte de la direction et de la vitesse du vent qui était très faible.

Les observations ayant été faites dans toutes les directions de l'horizon, il doit y avoir encore compensation dans les petites erreurs provenant de cette cause.

Les plus grandes distances auxquelles se soit trouvé le « D' Entrecasteaux » sont de 13 à 14000 mètres ; la moyenne de la valeur de la base conclue de chacun des trois jours d'observation a été de 2086 m. 5, 2100 m. 1 et 2092 m. 3. J'ai adopté pour résultat final 2093 m. avec lequel j'ai recalculé tous les triangles et qui m'a donné la base pour le plan particulier des récifs.

L'impossibilité de mesurer directement une base sur ces îlots ne m'a pas permis de contrôler ce résultat par aucune autre méthode que celle des hauteurs de mâture. Les différences obtenues sont très faibles et comprises dans les limites d'exactitude que comporte ce genre d'observations. D'après toutes les précautions que j'ai employées, je crois que les positions du « D' Entrecasteaux » par rapport aux îles, sont exactes à moins de 80 à 100 mètres. Une exactitude semblable, pour des coraux situés en pleine mer qu'on ne peut reconnaître qu'astronomiquement, est bien plus que suffisante pour tous les besoins de la navigation.

Pour achever la reconnaissance complète de ce banc, j'ai envoyé successivement, pendant chacun des jours où j'en ai fait le tour, plusieurs embarcations faisant des routes convergentes, qui partaient des différents points de la route du navire, et se dirigeaient vers le groupe d'îlots situé à l'intérieur ; le récif a été ainsi traversé et sondé dans toutes les directions.

Une erreur plus à craindre était celle qui consistait à ne pas reconnaître quelque corail détaché situé loin du groupe que nous explorions ; mais de très nombreuses lignes de sonde faites dans toutes les directions à dix lieues à la ronde, et les renseignements communiqués par les

pêcheurs baleiniers qui passent une partie de l'année à parcourir toutes ces hauts fonds, s'accordent pour établir qu'en dehors des groupes indiqués sur la carte il n'existait plus alors aucun corail détaché dangereux pour la navigation; c'est là d'ailleurs un caractère distinctif des Abrolhos. J'ai bien reconnu quatre ou cinq hauts fonds de 12 à 14 mètres, mais quand j'en ai parlé aux pilotes, tous les connaissaient déjà, et m'indiquaient très exactement leurs places.

La détermination des autres récifs intérieurs, tels que les Paredes, Timbelas, Coroa, Vermelha, m'ont offert moins de difficultés, parce que, du haut de la mâture, où je montais pour faire mes stations toutes les fois que cela pouvait être utile, j'apercevais toujours avec mon cercle le continent d'un côté et les îlots de l'autre; de sorte que j'étais dans les meilleures conditions pour les relier et déterminer la position du navire, ainsi que celle des embarcations que j'envoyais sonder autour de nous.

Je dois enfin ajouter que, pour faire la plus grande part possible aux erreurs, après avoir tracé le contour des récifs j'en ai tracé un second enveloppant le premier et plus grand de $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{2}$ mille: c'est ce dernier qui a été tracé sur ma carte comme limite réelle à éviter.

En résumé les 1100 lieues de la côte du Brésil entre l'Amazone et la Plata ont été levées et fixées astronomiquement.

1° Par une double route faite très lentement le long de la côte et à petite distance, par les fonds de 10 à 15 mètres, appuyée sur un grand nombre de stations faites à terre.

2° Par des observations d'étoiles à l'horizon artificiel ou au théodolite faites tous les soirs quand on pouvait mouiller et débarquer sur la plage.

3° Par des observations de latitude faites à midi, le navire mouillé, quand on ne pouvait pas débarquer; tous les officiers observaient.

4° Par des lignes de hauteur observées plusieurs fois par jour et toutes les fois qu'un point remarquable se trouvait dans un azimut à peu près perpendiculaire à celui du soleil.

5° Par les différences des méridiens obtenues à l'aide de 4 excellents chronomètres suivis et étudiés avec le plus grand soin. (Un mémoire spécial a été publié à ce sujet).

6° Le premier méridien de Rio de Janeiro a été déterminé par toutes les observations astronomiques, éclipses, occultations et culminations lunaires qu'il a été possible de récolter pendant plusieurs années sur toute la côte de l'Amérique du Sud et reportées par les chronomètres sur Rio-de-Janeiro.

Cette longitude absolue a été en outre vérifiée chronométriquement par les nombreuses traversées effectuées entre l'Europe et le Brésil par des paquebots et des navires de guerre, dont je réglais les chronomètres chaque fois que je les rencontrais. J'ai pu en conclure qu'elle était certainement exacte à moins de 1ˢ ou 2ˢ de temps près et j'avais également donné 8″ ou 10″ comme limite d'exactitude des latitudes déterminées à terre.

C'est ce qui a été complétement confirmé, quelques années après, par la mission scientifique des Etats-Unis, appelée à utiliser la pose du câble électrique entre l'Europe et le Brésil pour déterminer par le télégraphe les longitudes de 6 points sur les

onze cent lieues du côté de l'Amérique du Sud entre l'Amazone et la Plata.

Sur ces 6 points, la plus grande erreur trouvée a été de $-2^s.3$, la plus faible $-0^s.5$, toutes de même signe. Quant aux latitudes, l'erreur maxima n'a pas dépassé 10"(1) c'est-à-dire que l'erreur relative moyenne, pour ces mille lieues de côtes, est à peine de 1/2, tandis que cette même mission américaine constatait en partant d'Europe une erreur de -5^s sur Lisbonne; de mon côté j'ai signalé une erreur à peu près égale sur la côte d'Algérie.

Malgré la rapidité avec laquelle ce travail a été fait, sans mission spéciale, et avec les simples ressources d'un des avisos faisant le service ordinaire de la station, aucun nouveau travail, aucune correction de quelque importance n'a paru depuis 25 ans qu'il est publié; à l'exception des petits ports de cabotage qui auraient dû être explorés par la marine brésilienne, il n'y aurait donc aucune utilité à refaire l'hydrographie du Brésil ni possibilité d'obtenir plus de précision, à moins de commencer par établir une triangulation géodésique d'une étendue de mille lieues entre l'Amazone et la Plata: ce travail immense, bien difficile et fort coûteux, ne sera probablement pas fait de longtemps; il n'aurait d'ailleurs aucune utilité pour améliorer la navigation des navires européens.

---

(1) Un astronome français, Mr Liais, établi depuis longtemps au Brésil, a combattu mes résultats en leur opposant les siens, obtenus à l'aide de plusieurs observations astronomiques d'éclipses, d'occultations et de culminations lunaires: sa longitude, qui présentait l'énorme différence de 26 secondes de temps avec la mienne, fut momentanément adoptée par le Bureau des Longitudes et la Connaissance des temps, malgré la publication de mes travaux; ce ne fut qu'après la publication des résultats de la mission des Etats-Unis, confirmant mes longitudes, qu'on abandonna les résultats de cet astronome.

Quelques chiffres relatifs aux opérations d'une campagne hydrographique au Brésil.

Comme données approximatives des travaux à effectuer dans des levés semblables à celui de la côte du Brésil je rapporterai ici quelques chiffres extraits de nos registres par la timonerie du «Lamotte-Piquet»; ils sont relatifs aux opérations effectuées dans la dernière campagne, sur les 500 lieues de côtes comprises entre Bahia et l'Amazone et sur les 300 lieues comprises entre Rio de Janeiro et la Plata.

Longueur de la côte explorée	4.300 kilom.
Durée de la campagne	28 mois
Routes parcourues par les embarcations de sonde	14.091 kilom.
Routes parcourues par le navire pendant le travail le long de la côte	18.424 kilom.
Nombre de sondes	182.800 coups
Angles mesurés	192.245
Stations au théodolite	801
Nombre de latitudes observées	265
Nombre de longitudes ou lignes de hauteur	862
Nombre de mouillages	336

Levé des côtes de l'Algérie.

Un mois après ma rentrée de la campagne hydrographique du Brésil, quand je commençais à peine la rédaction de la carte, je reçus l'ordre, fort inattendu pour moi, de procéder de suite au levé des côtes de l'Algérie, genre de travail qui rentrait bien plus spécialement dans les attributions des Ingénieurs hydrographes que dans les miennes. Mais l'ordre était formel; je dus obéir. Je ne pus qu'obtenir un sursis de quelques mois pour attendre la saison favorable et terminer mes travaux du Brésil.

L'hydrographie de l'Algérie, faite avant la conquête par le capitaine Bérard, en grande partie d'après un simple levé sous voiles, devait être refaite avec le même soin que celle des côtes de France.

C'eût été un travail difficile et d'une longue durée, à cause de la nature montagneuse du pays, s'il avait fallu commencer par faire une triangulation par les procédés géodésiques ordinaires ; on se serait trouvé en effet dans la nécessité de recourir à une double expédition, l'une par terre pour la triangulation, l'autre par mer pour les sondes et la topographie du littoral, marchant à peu près ensemble et fort lentement, d'après un plan bien arrêté d'avance. Mais heureusement cette triangulation venait d'être faite en grande partie sous la direction du Dépôt de la guerre, et les signaux de 1er et de 2e ordre étaient presque tous visibles de la mer. Cependant comme il existait encore quelques lacunes, j'obtins que cette triangulation serait partout complétée jusqu'à la vue de la mer par les officiers géodésiens, que de nouveaux signaux seraient placés là où il en manquait encore, de manière que de tout point du littoral mes stations au théodolite peuvent être fixées par deux ou plusieurs de ces signaux ; il m'aurait été bien difficile, sinon impossible avec les faibles ressources du bord, d'entreprendre des excursions de plusieurs jours dans les montagnes de l'intérieur pour aller découvrir les signaux non visibles de la côte, et faire des stations intermédiaires ; les moyens de transport nous manquaient et je ne pouvais abandonner le navire mouillé en pleine côte, sans cesse exposé à l'obligation d'appareiller en cas de mauvais temps. Mais, cette triangulation terminée, je n'avais plus qu'à appuyer sur

elle toutes les stations au théodolite faites sur le haut des falaises ou des mornes les plus élevés du bord de la mer ; quand il y avait plus de 2 signaux en vue la station, pouvait être calculée par segment capable et, quand il n'y en avait que deux, par leur relèvement vrai à l'aide de l'azimut observé du soleil, sans qu'il fut presque jamais nécessaire d'aller mesurer les 3 angles aux sommets géodésiques.

N'ayant plus à cheminer avec mes triangles, nous n'avions pas à craindre l'accumulation des erreurs, et nos angles, observés avec le petit théodolite à la 1/2 minute, permettaient de calculer la position en moyenne à un ou deux mètres près ; ce degré d'exactitude était plus que suffisant dans le travail simplement topographique que j'avais à faire pour rattacher le littoral au réseau géodésique, puisque je ne pouvais pas construire des signaux permanents conservant au centimètre près la position de l'axe de mon théodolite ; contenue dans ces limites, l'erreur était d'ailleurs absolument négligeable comme ne portant que sur des centièmes de millimètres, à l'échelle de publication de la carte, au $\frac{1}{100.000}$.

En adoptant cette base de travail, les opérations devenaient très faciles et pouvaient se conduire rapidement. Voici comment le levé a été organisé conformément à ce que je dis plus haut : Chaque matin, au moment où le soleil sortait de l'horizon, 4 embarcations de sonde et ma baleinière quittaient le bord ; chaque embarcation, commandée par un officier, avait sa tâche bien définie dans les 4 directions opposées du navire, deux dans l'Est et deux dans l'Ouest ; des deux qui se

trouvaient à l'Est, l'une était le long de la côte et l'autre au large; de même pour celles de l'Ouest. Les embarcations de la côte sondaient jusqu'aux fonds de 30 mètres ; celles du large sondaient entre les limites de 30 et de 80 à 100 mètres.

Ces embarcations marchaient toujours à l'aviron en lignes parallèles, perpendiculaires à la direction de la côte. Les lignes étaient plus ou moins serrées suivant la nature ou la régularité du fonds. Les stations de sonde, aussi fréquentes que le nécessitaient les circonstances, étaient faites en mouillant le grappin et hissant le signal de convention ; à ce moment on relevait cette embarcation par le compas du bord, par le théodolite et par celles des autres embarcations en vue qui pouvaient se trouver simultanément en station.

Les segments capables étaient mesurés sur des points bien visibles, indiqués et convenus le matin avant le départ.

Pour le levé de la côte, je partais également au levé du soleil, en même temps que les embarcations de sonde et je débarquais au pied des falaises ou des mornes assez élevés, et les mieux situés pour permettre de voir le plus grand nombre de points possibles du littoral autour de la station, en utilisant sa hauteur.

J'ai bien essayé, la première année, d'éviter cet emploi des hauteurs, pour me conformer aux procédés officiels, mais j'en ai éprouvé tant de retards et de difficultés que j'ai dû, dans les campagnes suivantes, en revenir à ma méthode si simple, si exacte et si féconde en résultats utiles. Le manque de lecture du cercle vertical me privait de données indispensables

et retardait considérablement le travail.

Ces stations comprenaient un croquis de toute la côte en vue et du relief des terres de l'intérieur; on relevait avec grand soin, à l'aide de la croisée des fils de la lunette donnant les deux coordonnées, tous les signaux géodésiques; et le centre du soleil, également observé par 3 ou 4 pointés, donnait en moyenne, à moins de 1' près, l'orientation vraie de la station; on l'observait le plus près possible du premier vertical.

On pouvait donc la calculer soit par segment capable, quand plusieurs signaux géodésiques étaient simultanément en vue, soit plus simplement par le relèvement vrai de deux signaux, ou quelquefois, mais bien rarement, par le relèvement vrai d'un seul signal, quand il n'y en avait pas d'autre en vue, et le relèvement vrai des stations voisines déjà déterminées.

Une petite pyramide de 2 mètres, en branchages et en pierres, peinte à la chaux, était élevée sur l'emplacement du théodolite pour servir aux stations de sonde et aux stations ultérieures de la côte.

Quand le temps le permettait, les embarcations, rentrées à midi pour le déjeûner, repartaient l'après-midi pour faire une seconde série de sondages, soit pour compléter le travail du matin, soit pour l'étendre davantage; mais la brise du large qui soufflait souvent grand frais dans la seconde partie de la journée empêchait généralement cette seconde sortie.

En rentrant à bord je construisais rapidement le travail de la journée, sur lequel chaque officier venait porter ses lignes de sonde. Si les sondages étaient suffisants,

si aucune erreur n'était signalée, on appareillait le lendemain matin, une heure avant le lever du soleil, pour aller mouiller 2 ou 3 milles plus loin et recommencer les mêmes opérations.

A bord, l'officier en second, M. Turquet de Beauregard, surveillait toute la journée les relèvements des embarcations de sonde faits par un timonier qui restait en faction à côté du compas, et enregistrait avec soin tous les relèvements avec l'heure correspondante, y compris celui d'un point fixe éloigné auquel on rapportait la direction relevée des canots, pour éviter toute erreur de la boussole. Cet officier faisait en outre une vue très soignée, très minutieuse de la côte, de tout le massif des terres jusqu'aux sommets les plus éloignés, et y portait tous les angles mesurés au cercle ainsi que les hauteurs angulaires. Ces vues, au nombre de 344, donnent avec la plus scrupuleuse exactitude les détails topographiques tels qu'on les voit à une distance moyenne de un ou deux milles en mer.

On a fait en outre, à grande distance, une vingtaine de vues d'atterrage pour faciliter la reconnaissance des côtes de l'atterrage.

Aucune côte n'a certainement jamais été mieux et plus complètement dessinée, M. Turquet de Beauregard ayant acquis une grande habileté pour ces dessins qu'il avait déjà exécutés dans notre précédente campagne du Brésil.

La carte minute, construite au $\frac{1}{25.000}$, est contenue dans 70 feuilles et elle a été publiée au $\frac{1}{100.000}$ en 15 feuilles; il y a en outre 2 feuilles générales, l'une pour la carte de l'Est d'Alger, l'autre pour la carte de l'Ouest, au $\frac{1}{500.000}$, et

enfin 20 plans particuliers à diverses échelles.

Ce levé a exigé 4 campagnes d'été de 4 mois chacune, entre 1868 et 1873, mais pendant la première année et pendant celle de la guerre il n'y a eu que six semaines à deux mois de travail.

Je donne ici un relevé, fait par la timonnerie sur les registres et indiquant les opérations effectuées pour ce lever de 200 lieues (1100 K.) de côtes entre la frontière du Maroc et la Tunisie:

Journées de travail	404
Nombre de mouillages	359
Nombre de stations en canot	26.637
Nombre de stations à bord	1.623
Nombre de stations au théodolite à terre ou au cercle	2.022
Nombre de vues de côtes	344
Nombre d'angles mesurés	305.060
Longueur totale des lignes de sonde en canot	19.500 Kilom.
Longueur totale des lignes de sonde du navire	3.550 Kilom.
Nombre de coups de sonde	139.500

Côte de la Tripolitaine et de la grande Syrte.

Après avoir terminé le levé de la côte d'Algérie je reçus le commandement du «Castor» en 1876 pour une exploration du golfe de la grande Syrte et de quelques points de la côte de la Tunisie et de la Tripolitaine.

J'obtins cette fois, comme dans la dernière année du levé de l'Algérie, un canot à vapeur qui augmenta singulièrement la facilité des sondages; malheureusement l'hostilité des indigènes s'opposait à notre débarquement sur une grande partie de ces côtes, et par suite le levé

n'a pas été aussi complet qu'on aurait pu le désirer.

En Tunisie, le chef arabe de Tabarka, sur notre frontière, ne me permit pas de descendre à terre; ayant, malgré cette défense, débarqué à quelques milles plus loin, sur le cap Nègre, en apparence désert, pour y faire une station au théodolite, j'y fus entouré de quelques arabes qui, cachés à l'affût dans les broussailles autour de nous, nous tinrent pendant tout le temps couchés en joue avec leurs longs fusils; ce n'est qu'en nous voyant partir qu'ils se montrèrent tous à découvert; ils avaient l'ordre de tirer sur nous, si nous faisions un pas de plus vers l'intérieur.

A une dizaine de lieues de Tripoli, sur une plage également déserte en apparence et bordée de très hautes dunes, je fus subitement assailli par une centaine de Bédouins pourvus d'armes les plus diverses qui voulurent m'entraîner dans l'intérieur du pays: j'eus beaucoup de peine, après une heure de lutte, à me tirer de ce mauvais pas avec mes trois timoniers.

Dans la grande Syrte, sur l'initiative du gouverneur turc de Bengazi et moyennant une forte indemnité, deux grands chefs avaient consenti à me faire débarquer en sûreté tout le long du golfe; mais, quand nous fûmes partis, ils ne consentirent à descendre à terre que jusqu'à 20 lieues de Bengazi; ils déclarèrent qu'au delà de ce point les indigènes du littoral vivant du pillage des navires naufragés, étaient trop mauvais pour qu'il fût possible d'y débarquer.

La côte de la Tripolitaine, entre le golfe de Gabès et Bengazi, sur une étendue de 150 lieues, a donc dû être

levée à l'aide d'observations faites à bord. Mais par suite des précautions minutieuses qui ont été prises il ne doit pas y avoir un seul point en erreur de plus de ½ mille, erreur tout à fait insensible pour la navigation, fort rare d'ailleurs dans ces parages.

Une mission Américaine spéciale fut envoyée fort peu après, pour lever cette même côte. Le capitaine de vaisseau chef de cette mission ayant appris que je venais de terminer ce travail, non encore publié, m'en demanda communication : deux mois après il renvoyait mes cartes manuscrites auxquelles il avait simplement ajouté quelques sondages parce qu'ayant trouvé, me dit-il, aucune autre correction à y faire, il avait jugé inutile de recommencer ce travail.

Ce levé a été fait à raison de 15 à 20 milles par jour : on appareillait à 7 ou 8h du matin après les observations du soleil, on mouillait de 11 à 1h pour le point de midi et à 4h pour les observations du soir, de manière que de chaque mouillage on pouvait voir et relever le point le plus extrême de la côte près du mouillage précédent ; les terres, généralement fort basses, étaient au raz de l'horizon à 10 ou 12 milles ; ce peu de hauteur et l'uniformité de ces dunes rendaient fort difficiles les relèvements destinés à les relier entre elles ; il n'était donc guère possible de faire plus de 15 à 20 milles par jour.

Au mouillage de midi, par des observations circumméridiennes prises entre 11h½ et midi ½ on obtenait simultanément la latitude et la longitude ; au mouillage du soir, à l'aide des hauteurs prises 2h avant le coucher du soleil on avait une ligne de hauteur courant à peu près du S.S.E. au

N.N.O. et le lendemain matin, par des hauteurs semblables prises 2h. après le lever du soleil, on obtenait une ligne orientée de S.S.O. au N.N.E.: ces lignes fixaient les points de la côte relevés dans leurs azimuts et donnaient en outre la latitude et la longitude.

Les observations du matin et du soir donnaient la longitude un peu plus exactement que la latitude; c'était le contraire pour les observations de midi; mais comme les points étaient visibles toujours l'un de l'autre à l'extrémité de l'horizon ils se combinaient et se corrigeaient mutuellement.

Pendant la route, faite très lentement à 1 mille ou 2 milles de terre pour le navire, et à 2 ou 3 encablures de la plage pour le canot à vapeur, on faisait de quart d'heure en quart d'heure une station comprenant 8 ou 10 relèvements à bord et dans le canot; les 2 routes se trouvaient ainsi conjuguées et facilitaient beaucoup le levé de tous les détails de la côte.

Quatre excellents chronomètres ont permis de déterminer à moins de 1s. de temps près la longitude du point extrême Bengazi et à 2s. de temps près en moyenne tous les points de la côte.

Quant à la longitude de Tunis, notre point de départ je l'avais déterminée chronométriquement à 2 ou 3 dixièmes de seconde près par plusieurs traversées; cette précision a été confirmé un peu après par la détermination télégraphique de longitude faite par les officiers du Dépôt de la guerre entre Tunis et l'Algérie: l'erreur trouvée sur ma longitude de Carthage n'a été que de 0s.2.

Il n'existe donc plus une seule erreur au-dessus

de 1/4 ou 1/2 mille, sur toute la côte de la Méditerranée comprise entre Tunis, le golfe de Gabès et Bengazi, bien qu'il n'ait été possible d'y faire qu'une trentaine de stations au théodolite.

Mais les sondages n'ont pas été assez nombreux; il existe dans la partie Ouest de la Grande Syrte quelques hauts fonds et écueils qui auraient besoin d'être mieux explorés; si cela n'a pas encore été fait, c'est sans doute parce que les 200 lieues de côte sont absolument privées de tout intérêt, de tout abri, même pour les moindres bâteaux. On n'y trouve pas une seule crique, un seul village, une seule maison. C'est le désert, peuplé seulement de quelques tribus de Bédouins vivant de pillage des navires naufragés et échappant complètement même à l'autorité turque.

Les navigateurs Européens n'ont donc nul intérêt à fréquenter ce grand golfe et ils doivent se défier de s'y laisser surprendre par un coup de vent du Nord, car la mer et le courant portent à la côte, et tout naufrage est suivi d'une perte de corps et biens, comme l'attestent les nombreuses carcasses qui sur la plage me servaient d'excellents points de relèvement.

Le levé de la côte de la Tripolitaine, et d'une partie de la Tunisie, sur une étendue de 230 à 250 lieues a exigé 7 à 8 mois de travail et 175 mouillages; il a produit 12 cartes et 8 ou 10 plans particuliers.

L'occupation de la Tunisie quelques années après ayant complètement changé la situation, une mission d'ingénieurs hydrographes a été envoyée pendant plusieurs années pour faire un levé complet, qui est aujourd'hui en cours de publication, mais qui a été limité à la frontière de la Tripolitaine, près du golfe de Gabès.

Levé du fleuve Paraguay.

Etant resté pendant plus de 4 ans, de 1857 à 1860, comme commandant du « Bisson », en station dans les fleuves Parana, Paraguay et Uruguay, à une époque où la ville de Parana, centre de la station, était la capitale de la République Argentine, j'ai profité des loisirs que me laissait le service et de mes fréquentes excursions dans ces fleuves, pour faire quelques travaux hydrographiques et géographiques dont le principal a été le levé du Paraguay, depuis son embouchure dans le Parana, près des Corientes jusqu'à l'Assomption, capitale du Paraguay, à près de 900 milles de la mer. Ce levé a présenté quelques difficultés particulières parce que le fleuve, très sinueux, coule entre deux rives plates couvertes de forêts et que nulle part on ne rencontre une montagne ni aucune terre élevée permettant d'établir des relèvements suivis. On ne peut absolument se baser que sur les observations astronomiques et la boussole. En outre il y avait, comme autre difficulté, la défense de débarquer sur les rives.

Le Président Lopez, comme son prédécesseur Francia, avait maintenu un pouvoir despotique très hostile aux étrangers et dont une des premières précautions était d'empêcher toute relation entre les européens et la population paraguayenne; les navires de guerre n'avaient même autorisation de pénétrer dans le Paraguay que pour remplir une mission diplomatique, et leur séjour à l'Assomption était limité par le gouvernement local aux 24 ou 48 heures suffisantes pour l'échange des correspondances.

Un navire comme le « Bisson », calant 4^m, ne pouvait d'ailleurs remonter le Parana et le Paraguay jusqu'à l'Assomption qu'à l'époque des hautes eaux, de Janvier à Mars.

Le fleuve a un cours régulier d'une vitesse moyenne de 1^mille 6

par heure pendant la période des crues ; comme il court au milieu de terrains plats, les détours sont très nombreux, et souvent ils forment des coudes d'au moins 90°. Sa largeur, qui varie de 200m. à 500m., est en moyenne de 300 mètres.

A chaque coude, et en moyenne toutes les lieues, on trouvait sur la rive gauche un poste militaire et deux factionnaires placés dans une hune élevée de 12 à 15 mètres au dessus du fleuve, de manière qu'aucun point des rives ne pût échapper à leur surveillance. La rive droite, bordant le désert du Chaco, était à peu près déserte ou parcourue par quelques rares indiens également hostiles. Dans de telles conditions un levé exact était assez difficile à faire.

J'ai effectué 3 voyages pendant 3 années consécutives, et à chacun d'eux j'ai recueilli et multiplié les mêmes observations pour obtenir un tracé aussi exact que possible. La marche du navire était très lente et très régulière afin de faciliter les observations et d'éviter autant que possible les échouages assez fréquents. Un timonier placé près du compas, sur la passerelle, tenait un registre à colonnes sur lequel il inscrivait très exactement tout changement de cap, au degré près, et l'heure correspondante ; à tous les coudes et à tous les changements de cap un peu grands il notait également le nombre de tours de roue de la machine. Deux autres colonnes étaient affectées à noter la distance appréciée à l'œil des deux rives et leur description particulière.

Une dernière colonne était réservée aux sondages qui se faisaient régulièrement de minute en minute, alternativement des 2 bords ; me tenant moi-même toute la journée à côté du compas de relèvement et du timonier, ou dans la grande hune, je lui dictais toutes les observations et je prenais avec le plus grand soin des relèvements continuels de la direction des coudes, de l'alignement l'une par l'autre des pointes qui ouvraient le fleuve par devant et le

fermaient par derrière ; ces relèvements se vérifiant réciproquement donnaient le principal élément, complété avec le nombre de tours de roue. Chaque fois que je pouvais trouver un endroit de la rive droite déserte du fleuve un peu abritée des vigies de la rive gauche je mouillais et je faisais à terre à midi une observation au théodolite qui, à l'aide de hauteurs correspondantes, me donnait à la fois la latitude et la longitude.

La nuit, pendant le mouillage, quand tout l'équipage était couché, le calme était si profond et le pont du navire si tranquille que je pouvais prendre à bord des hauteurs d'étoiles à l'horizon artificiel pour la latitude et la longitude, si les moustiques, trop nombreux à terre, y rendaient toute observation impossible ; ce qui arrivait même assez fréquemment à bord. Des observations absolument semblables ont été faites pendant les 6 traversées d'aller et retour entre l'embouchure du Paraguay et l'Assomption, en ayant soin à chaque fois d'intercaler autant que possible les observations astronomiques entre les positions précédemment déterminées.

Mes 3 excellents chronomètres, toujours parfaitement étudiés, ont permis, par ces 3 voyages, d'obtenir les longitudes des principaux points du Parana et du Paraguay à 1s. de temps près, comme le prouve l'accord des résultats des traversées multiples.

Avec tous ces éléments, la construction de la carte a été très facile ; on a placé d'abord toutes les positions observées, au nombre d'une trentaine, dans les 250 milles de rivière compris entre l'embouchure du fleuve et de la capitale. Puis à l'aide d'un premier croquis on a déterminé la longueur totale des parcours pour en conclure la valeur d'un tour de roue qu'on a employée ensuite avec les relèvements continuels de la route et l'orientation des pointes pour construire tous les détours, entre les points fixés astronomiquement. Cette construction a été refaite 3 fois avec les données différentes de plus en plus exactes de chaque voyage, et l'accord à peu près complet des tracés en a prouvé l'exactitude.

Ayant obtenu du Président Lopez, après bien des incidents divers, l'autorisation de visiter l'intérieur de la république, mais avec défense expresse d'emporter mon théodolite, ni de faire aucun levé, je suis parvenu cependant, à l'aide d'instruments de poche et malgré la rapidité de mon voyage, surveillé de près par les autorités locales, à faire un levé de toute la partie Sud de la République; levé qui quelques années plus tard ayant été trouvé plus exact que tous ceux existants, a servi pour toutes les opérations de la longue guerre de 4 ans entre le Brésil et le Paraguay; et il a été adopté également comme base des traités, quand, à la fin de la guerre, on a dû procéder au tracé des frontières. C'est une nouvelle réponse aux critiques adressées à ces procédés de travail trop rapides. A ces critiques j'avais déjà répondu que malgré le temps très court consacré au levé des côtes du Brésil, la marine Brésilienne, comme tous les navigateurs, se servaient uniquement de ces cartes depuis 25 ans, sans qu'on eût reconnu la nécessité d'y apporter aucune correction de quelque importance; et le hasard m'a fait rencontrer une nouvelle réponse dans un très intéressant ouvrage sur le Paraguay, récemment publié par le Docteur Bourgade de la Dardye, page 19: « On doit « avant tout citer les admirables travaux de M. l'Amiral Mouchez sur le cours « du Paraguay, ils resteront parmi les documents les plus parfaits de la géographie de « l'Amérique du Sud. » Tout en faisant la part de l'exagération de ce jugement il est bien évident qu'on a reconnu l'exactitude et l'utilité de ces cartes.

Je puis donc résumer en quelques mots toute cette notice: c'est qu'avec beaucoup d'activité et de conscience et avec un peu d'habitude, il faut relativement fort peu de temps et de moyens pour faire de bons et d'utiles travaux hydrographiques; le travail est si facile et si simple que jamais un bâtiment de guerre ne devrait séjourner quelques jours sur une rade quelconque sans en refaire le plan complet si on n'en possède pas un bon; cela se peut, sans troubler en rien le service ordinaire du bord, par l'emploi des 2 ou 3 embarcations nécessaires aux sondages.

Fin.

OBSERVATOIRE
DE PARIS