

**Etablissement de la carte de la côte du Congo belge.
Etude de la marée à Banane**

par

J. TRIQUET (1)

CHAPITRE PREMIER

**ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE
DE LA CÔTE DU CONGO BELGE**

Le Service des voies navigables de la colonie avait procédé en 1934 au levé de l'embouchure du fleuve Congo, mais le manque de moyens techniques et la nécessité de consacrer les efforts des brigades hydrographiques à l'amélioration de la région divagante du bas fleuve, ne lui permirent pas d'entreprendre à cette époque le levé de la côte.

Néanmoins, ce travail restait inscrit à son programme.

En 1938, au cours d'un entretien que le chef de la section du bas Congo eut avec le commandant du navire-école belge, la possibilité d'une participation éventuelle du *Mercator* au levé hydrographique de la côte congolaise fut envisagée. C'est ce qui amena le Ministère des colonies à approcher l'Administration de la marine belge en vue d'obtenir la collaboration du navire-école au levé projeté. Un accord de principe intervint et il fut convenu que le *Mercator* se rendrait à cette fin dans le bas Congo au début de 1940. Dans la suite, cette décision fut rapportée par l'Administration de la marine et le

(1) Lieutenant au long cours, Ecole de navigation, 1925; hydrographe, Ministère des colonies, 1928; chef du balisage et des dragages du bas Congo, 1930; inspecteur de la navigation, 1945; directeur du Service des voies navigables, 1945; commandant de la Marine, 1946 (en retraite).

navire-école belge mit à la voile à destination des Indes néerlandaises.

Le Service des voies navigables, soucieux d'être prêt en temps opportun, avait cependant pris toutes ses dispositions dès 1939 et des travaux de triangulation avaient été effectués le long de la côte, en vue de l'érection de signaux devant servir de repères pour la détermination des points de sonde.

Les travaux préparatoires furent poursuivis et achevés et en décembre 1939 j'effectuai le levé d'une bande de territoire s'étendant tout le long du rivage sur une profondeur d'environ 10 kilomètres.

Ce bout de carte terrestre, destiné à habiller le levé maritime, fut apprécié et immédiatement utilisé pour les exercices tactiques par les officiers de la Force publique chargés de la surveillance et de la défense de la côte. L'invasion de la Belgique en mai 1940 força le *Mercator* à interrompre son voyage et à se réfugier au Congo belge. Il apparut bientôt qu'il ne pourrait plus reprendre sa navigation. Il devait effectivement rester dans les eaux congolaises jusqu'en août 1942, date à laquelle il fut affrété par l'Amirauté anglaise pour servir de « depot-ship » aux équipages de sous-marins en rade de Free-town et ce ne fut qu'au début de 1941 que le Gouvernement belge de Londres organisa le transport vers l'Angleterre des officiers et des cadets.

Peu de temps après l'arrivée du *Mercator* à Boma, la nécessité de trouver un travail pratique susceptible d'intéresser les cadets et de les soustraire aux funestes conséquences du désœuvrement s'imposa. C'est alors que tout naturellement le projet du levé de la côte océane fut repris et définitivement mis au point.

Il fut décidé que le navire-école servirait de base à une brigade d'études du Service des voies navigables et qu'en raison de son écho-sondeur il serait affecté aux sondages des grandes profondeurs, tandis que la vedette à moteur de la brigade d'études serait employée par petites et moyennes profondeurs.

La brigade hydrographique de la colonie se composait de deux hydrographes européens, un aide-hydrographe indigène, deux sondeurs, deux matelots et deux motoristes. L'aide-

hydrographe, originaire du Bas-Congo, est un autodidacte, à qui nous avons appris à lire et à se servir d'un sextant, ainsi qu'à porter des positions sur une carte.

L'équipement de la brigade était réduit au strict minimum : trois sextants, deux paires de jumelles, un stigmographe et une machine à sonder du type Warluzel.

Les travaux débutèrent le 4 septembre 1940 et se poursuivirent jusqu'au 17 décembre de la même année.

Lorsqu'on veut lever une côte, il faut d'abord établir en bordure du rivage, un certain nombre de signaux judicieusement répartis et aussi visibles que possible de la mer. Ensuite, par une triangulation de greffage, les rattacher à une chaîne géodésique de premier ordre. Ainsi que je l'ai indiqué plus haut, ce travail avait été fait en 1939.

Les signaux établis en vue du levé maritime furent rattachés à la triangulation géodésique du Mayumbe. Ils avaient au minimum 15 mètres de hauteur, ce qui les rendait visibles à près de 20 kilomètres pour des observateurs se trouvant sur le pont de la vedette. J'ai réalisé ces travaux préparatoires avec l'aide de quelques indigènes de la région côtière et en employant uniquement des moyens de fortune et des matériaux prélevés sur place : troncs d'arbres, bambous, faux-bambous et lianes.

Etant donné le développement restreint du levé à entreprendre (35 km de longueur sur 20 km de largeur), il fut décidé de travailler en projection rectangulaire plane. Dans la région équatoriale, elle diffère d'ailleurs fort peu de la projection dite de Mercator.

Nous adoptâmes le 1/30.000 comme échelle de la minute de travail. Cela nous permit d'y reporter un levé serré et de déterminer aisément au stigmographe la totalité des positions prises au cours des sondages.

Comme il s'agissait d'un travail effectué pour la première fois par le Service des voies navigables et que la disposition des fonds et la lenteur de leur variation nous incitaient à penser qu'il ne serait pas nécessaire de refaire souvent ce travail, nous décidâmes d'effectuer des profils parallèles entre eux et

distants l'un de l'autre de 350 mètres seulement, afin d'obtenir une représentation aussi fidèle que possible de la réalité.

Je signale en passant que le choix des directions des profils de sondage a une grande importance pour la précision de la carte. Il faut veiller à ce qu'elles restent toujours à peu près perpendiculaires à celles des isobathes, car en procédant de cette manière, on assure un tracé facile et précis des lignes d'égale profondeur.

Pour obtenir de bons sondages au moyen de la ligne de sonde, il faut aussi tenir compte de la direction et de la vitesse des courants. Ceux-ci favorisent ou contrarient la marche de la vedette dans des proportions telles que les points de sondage deviennent trop espacés ou qu'il est nécessaire d'augmenter la vitesse normale de travail et qu'alors la résistance de l'eau sur le plomb et le câble de sonde augmente l'inclinaison de celui-ci au point de compromettre l'exactitude des sondages.

La houle et le ressac, ainsi que la faible inclinaison de l'estran de la côte congolaise, ne nous permirent pas de partir de points de rive. Nous fûmes obligés de commencer nos grands profils à une distance de la côte variant entre 1 et 2 kilomètres.

La vedette s'approchait du rivage jusqu'en des points situés sur des fonds de 1,50 à 2 mètres et y jetait l'ancre. Après avoir déterminé la position de mouillage sur la minute de travail, à l'aide de trois segments capables, et y avoir relevé le gisement que faisait la direction assignée au profil avec un point connu de la côte, le profileur reconnaissait à l'aide du sextant et des jumelles le prolongement de ce profil vers la terre et il le matérialisait dans sa mémoire par deux points remarquables situés l'un à l'avant-plan, c'est-à-dire à la rive, et l'autre à l'arrière-plan, c'est-à-dire aussi loin que possible à l'intérieur des terres.

Les sondages pouvaient alors commencer.

Ils étaient effectués à l'aide d'un plomb-poisson de 30 kilos. Celui-ci était suspendu à un câble en acier spécial de 1 millimètre de diamètre, gradué de 20 en 20 centimètres jusqu'à 20 mètres et de 50 en 50 centimètres jusqu'à 50 mètres.

Le tout était manœuvré à l'aide d'un treuil breveté communément appelé « machine à sonder Warluzel ».

Lorsqu'on sonde avec un tel matériel, le plomb n'est pas complètement relevé après chaque sondage. Si les fonds ne sont pas trop accidentés on se contente habituellement de le relever de 1 à 2 mètres. Entre deux sondages il nage suspendu au câble. Grâce au fait que la résistance à l'avancement du plomb-poisson est faible, que son poids est relativement considérable et que la vitesse de l'embarcation peut être réduite à volonté, la ligne de sonde s'écarte généralement peu de la verticale. La partie immergée prend cependant l'allure d'une courbe qui se rapproche de la chaînette, de sorte que l'on peut calculer la correction qu'il faut, de ce fait, apporter aux sondages. A la vitesse de marche de 3 à 4 nœuds, celle-ci peut varier entre 10 et 50 centimètres pour une profondeur de 10 mètres, pour une profondeur de 20 mètres elle dépasse souvent 30 centimètres et atteint parfois 1,30 m et pour une profondeur de 50 mètres elle est presque toujours supérieure à 1 mètre.

La correction des sondages pour l'inclinaison de la ligne se fait au fur et à mesure de la lecture de la profondeur par le sondeur. Le secrétaire se sert à cet effet d'un tableau de correction préalablement établi en fonction de la profondeur criée et de l'inclinaison estimée du câble. A intervalles réguliers le sondeur crie donc un chiffre et le secrétaire inscrit le chiffre corrigé.

Les sondages de la côte congolaise ont été effectués toutes les 15 secondes, ce qui assurait une mesure de la profondeur tous les 30 mètres environ.

Leur repérage sur la carte se faisait toutes les 2 ou 3 minutes, par la mesure au sextant de deux angles adjacents entre trois signaux topographiques de la côte. L'heure de chaque position était soigneusement notée et, comme d'autre part les variations du niveau du plan d'eau étaient observées de 15 en 15 minutes à l'échelle de marée de Banane, on pouvait par la suite réduire les sondages au niveau zéro de la carte. Le niveau de référence, choisi comme origine des sondes, passe par le zéro de l'échelle des marées de Banane.

Le niveau du zéro de l'échelle est situé à 2,34 m sous la face supérieure de la borne repère R (Banane), il est légèrement inférieur aux plus grandes basses mers observées (1).

Il va de soi que la précision des positions relevées au cours des sondages a une importance capitale. Elle dépend évidemment de celle des deux segments capables qui servent à la déterminer, c'est-à-dire de la sensibilité de ces segments et de l'angle de leur intersection. Pour obtenir la précision que l'on exige des cartes marines, il faut choisir soigneusement les angles à observer. Il faut, tout d'abord, que ceux-ci soient sensibles, afin qu'une erreur moyenne de mesure n'introduise qu'une faible erreur dans le tracé du segment. Ensuite, il faut éviter de se servir de signaux qui ont des angles de site importants et choisir, parmi les repères susceptibles de convenir, ceux dont les segments se coupent sous des angles compris entre 40° et 100°. Certaines règles, telles que celles qui conseillent de prendre un point milieu plus rapproché que les points extrêmes, ou de choisir l'un des points extrêmes très éloigné par rapport aux deux autres points, à condition que ceux-ci forment entre eux un angle d'au moins 30 à 40°, permettent au chef de mission de trouver rapidement et à coup sûr les signaux qui lui fourniront de bonnes positions.

Au cours du levé de la côte congolaise 1.900 kilomètres de profils furent levés et 35.500 sondages effectués. Le repérage de ceux-ci nécessita la détermination au sextant de 4.296 positions. La nature de la couche superficielle du sol marin fut régulièrement observée tous les 10 sondages et 68 échantillons de fond, destinés à l'analyse, furent prélevés au cours des opérations. Des observations météorologiques, ainsi que des mesures de salinité et de température de l'eau de mer, furent effectuées par les officiers du *Mercator* durant toute la durée des travaux. On procéda également à des mesures de la vitesse et de la direction du courant à la surface, ainsi qu'à celles du vent et de la houle.

La pénurie de personnel, qui affecta le Service des voies navigables de la colonie depuis lors, n'a malheureusement pas

(1) Le zéro de l'échelle de Banane était antérieurement fixé à un niveau supérieur de 10 cm.

encore permis de dépouiller, ni d'analyser ces observations. Seule, une carte au 1/50.000 a pu être dessinée (planche I). Les prises d'échantillons de la nature du fond superficiel se firent à chacune des positions observées par un sondeur auxiliaire. Cette opération se fait à l'aide d'un plomb de sonde ordinaire, dont la cavité est garnie de suif et ramène une parcelle des matériaux qui tapissent le fond de la mer. Le prélèvement des échantillons qui doivent servir à l'analyse, se fait au moyen d'une petite benne ou de tout autre collecteur de fond.

L'extrémité du haut-fond qui borde la côte congolaise fut sondée, ainsi qu'il vient d'être indiqué, jusqu'à la courbe bathymétrique de 50 mètres. Au delà de cette isobathe, et particulièrement dans la fosse profonde de l'embouchure, les sondages furent effectués au moyen du sondeur ultra-sonore du navire-école *Mercator* et c'est à cette occasion que la collaboration active et enthousiaste du commandant VAN DE SANDE me fut particulièrement précieuse.

Il résulte de ce qui a été dit à propos de l'orientation des profils de sondage que, lorsqu'on ne connaît pas encore la répartition des courants, il est logique de commencer un levé hydrographique par l'étude de la direction et de la vitesse de ceux-ci.

Sur la côte congolaise elles étaient assez bien connues, aussi procédâmes-nous d'abord aux opérations de sondage et de tracé des courbes bathymétriques. Cette façon d'opérer nous permit de mieux répartir nos observations relatives aux courants.

Tout le long du rivage congolais, c'est le courant de surface qui influence le plus la course des navires. Il est dû au débit du fleuve. Celui-ci est tellement important que l'eau douce déversée dans l'océan coule au-dessus de l'eau salée et ne se mélange que fort peu avec elle. A 15 kilomètres des terres et par beau temps l'eau de surface est saumâtre. Sa densité toujours inférieure à 1,010 et sa coloration brun foncé sont des indications sûres pour le navigateur venant du large et cherchant l'embouchure du fleuve. La vitesse des courants de cette couche superficielle est grande sur toute la côte congolaise. Au large de la frontière du Congo belge et de l'enclave de

Abinda, c'est-à-dire à 35 kilomètres de l'embouchure du fleuve, elle est encore de l'ordre de 5 km/h.

Tout le repérage des sondages de la carte de la côte a pu se faire à l'aide de signaux établis à terre. Il n'en est pas toujours ainsi. Il arrive parfois, que les hauts-fonds s'étendent au delà de la vue des côtes. Il est alors nécessaire d'user des repères flottants. Ces balises hydrographiques sont ancrées à la limite de visibilité des côtes et font office de signaux de triangulation.

C'est seulement lorsque toute la zone dangereuse a été levée, que l'on se contente, lors des grands levés hydrographiques, de sondages repérés à l'estime et dont on vérifie les positions périodiquement au moyen d'observations astronomiques.

Afin de faciliter aux navigateurs l'identification des divers points remarquables de la côte, on complète souvent les indications de la carte par une vue de la côte, telle qu'on l'aperçoit du large. M. José GERS, de l'Académie de marine, qui faisait partie de l'état-major du navire-école et qui est actuellement le rédacteur en chef de la *Revue coloniale belge* en a dessiné une de la côte congolaise qui figurera au bas des éditions définitives de la carte. Enfin disons que, pour compléter une carte marine, il faut procéder à la recherche des dangers isolés et que ceci est la partie la plus ingrate du travail hydrographique, car la mer est parfois traîtresse et dissimule sournoisement ses pièges.

Si les dangers isolés ne découvrent pas ou s'ils ne sont pas révélés par des indices tels que remous, brisants ou changements brusques de la coloration de l'eau, leur découverte, quand ils sont de peu d'étendue, est presque toujours un hasard, car on passe facilement à quelques mètres d'une roche ou d'une épave sans s'en apercevoir.

La photographie aérienne de la mer faite par temps favorable et par basse mer de syzygies, donne souvent d'utiles indications pour la conduite de ces recherches. Malheureusement nous n'avions pas ce moyen à notre disposition et je crois qu'il eût été peu avantageux d'y recourir, car l'eau de surface

sur la côte congolaise est peu transparente et le sol marin est entièrement recouvert d'une vase de teinte noirâtre.

D'autre part, le personnel expérimenté et le matériel spécial nécessaires pour procéder à une recherche minutieuse et systématique nous faisaient défaut.

C'est pour ces raisons qu'il ne nous a pas été possible de donner un avis formel, quant à l'existence de deux hauts-fonds isolés indiqués sur la carte d'atterrissage publiée par l'Amirauté anglaise et renseignés comme étant situés en bordure de Mona Mazea Bank. Ils n'ont pas été retrouvés au cours de nos travaux, malgré les nombreux sondages supplémentaires qui furent effectués sur leurs emplacements présumés.

Le commandant VAN DE SANDE, qui était témoin de nos efforts et qui s'intéressait particulièrement à ces recherches me disait qu'il avait eu l'occasion au cours de ses croisières à bord du *Mercator* de constater plusieurs erreurs sur les anciennes cartes marines.

Le 29 octobre 1935 le *Mercator*, chargé d'une mission de recherches et d'observations biologiques, procédait à des opérations de dragage sur la côte du Rio de Oro. Il inspectait les fonds des parages du cap Bogado. Les instructions nautiques font allusion à des inexactitudes de la carte dans cette région, mais elles ne les spécifient pas. Comme le navire faisait route vers la terre, le commandant fit placer des vigies sur le pont et dans la mâture et il leur donna comme consigne de surveiller particulièrement les décolorations éventuelles de l'eau. D'excellentes observations stellaires, prises quelques heures auparavant, permettaient de fixer exactement la position du navire et le commandant s'étonnait de ce que l'on n'apercevait pas la côte. Il devint bientôt évident que quelque chose d'anormal se passait. Ce ne fut qu'après avoir dépassé d'une bonne dizaine de milles la ligne représentant la côte sur la carte, que l'on aperçut enfin les falaises de sable. Malgré les indications de la carte, il ne fut jamais possible de repérer le cap Garnet et pourtant la position du *Mercator* fut contrôlée à maintes reprises. Plusieurs journées furent employées à le chercher, mais ce fut en vain et finalement le navire fut mouillé sur son emplacement théorique.

Il est certain que de grossières erreurs furent commises lors du levé de ces régions inhospitalières.

A la décharge de leurs auteurs, il faut dire qu'ils n'avaient pas la T. S. F. pour vérifier la marche de leur chronomètre, qu'ils furent probablement empêchés par les Maures de descendre à terre pour y faire des observations astronomiques et y établir une triangulation et qu'enfin la réfraction et les faux-horizons, dus aux conditions spéciales de la région, ont pu fausser leurs calculs.

Un second récit du commandant se rapportait aux mêmes parages. Il concernait l'île de Cagoda qui est renseignée par les cartes de l'Amirauté anglaise comme étant située entre le promontoire des Sept-Caps et la pointe Leven. D'après la carte elle mesurait un mille de longueur et les instructions nautiques lui attribuent un mouillage bien abrité de la houle du nord-ouest.

La baie comprise entre les deux pointes et la région qui l'avoisine ont été soigneusement prospectées en 1935, mais on n'a pas trouvé trace de l'îlot. Le *Mercator* mouilla et chaluta sur sa position, mais ses recherches ne fournirent aucun résultat.

La région fut encore inspectée au cours des croisières subséquentes du navire-école et pour la dernière fois en mars 1940, mais on ne découvrit jamais la fameuse île.

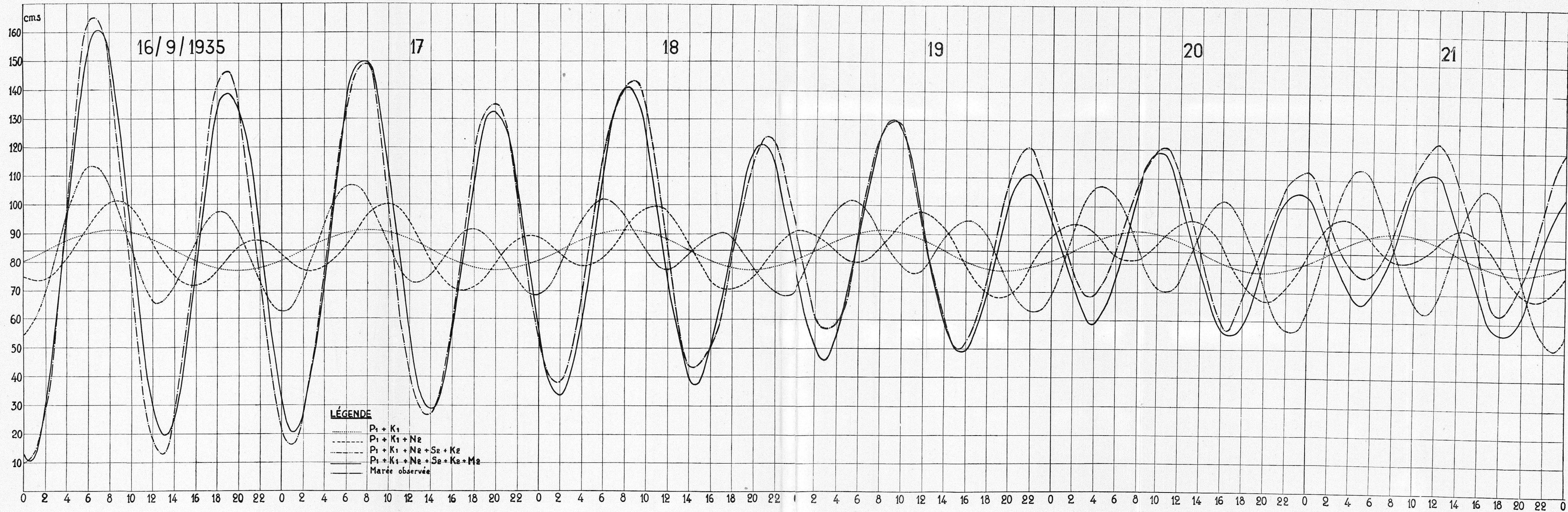
Il est probable, disait le commandant VAN DE SANDE, qu'elle n'a jamais existé que sur la carte.

Il me cita encore d'autres inexactitudes qui affectent les cartes de certaines îles de la Polynésie et des Antilles et il croyait très possible que le « Lee Patch » et le « Vestal Patch » que nous cherchions sur la côte congolaise n'avaient pas existé davantage.

Si nous n'avons pas retrouvé ces deux dangers isolés, en revanche j'ai repéré un haut-fond isolé de 25 mètres, situé en pleine fosse profonde et à hauteur de la « Ponta do Padrao ». Ce petit haut-fond avait été détecté et signalé par une corvette anglaise munie d'un appareil de sondage par ultra-son. Bien que la crête ait près de 500 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur, elle avait pourtant échappé aux investigations de

la Mission hydrographique portugaise, qui effectua un levé de l'embouchure du Rio Zaïre en 1933.

Il n'est guère besoin d'insister sur l'utilité de ces levés maritimes. Celui de la côte congolaise présente beaucoup d'intérêt pour le navigateur, car il lui fournit des renseignements nouveaux concernant les mouillages de l'embouchure du fleuve Congo et il facilite l'atterrissage aux capitaines venant du nord, en les fixant sur l'étendue du « Mona Mazea Bank » et en leur permettant de faire l'entrée du fleuve en se tenant à une distance raisonnable du banc.



CHAPITRE II

ÉTUDE DE LA MARÉE À BANANE

Le tableau II récapitule les constantes harmoniques principales fournies par les services hydrographiques portugais et français pour l'embouchure du Rio Zaïre et pour les ports voisins.

La recherche des constantes harmoniques de la marée dans un port suppose, avant tout, que le niveau moyen, par définition, est constant et le résultat de l'analyse comprend en principe toutes les ondes, y compris celles à longue période, qui, à partir du niveau moyen constant, doivent permettre de reconstituer la marée réelle.

Dans le diagramme reproduit à la planche II, on a tenté de reconstituer l'onde-marée à Banane au moyen des composantes principales fournies pour l'embouchure du Rio Zaïre. Toutefois, les deux ondes à longue période (annuelle et semi-annuelle) n'y ont pas été reportées.

Si on compare la courbe obtenue par sommation des principales ondes composantes avec la courbe marégraphique enregistrée rapportée à un niveau moyen provisoirement fixé à 84 centimètres, on constate au cours des 6 jours d'observation un décalage sensiblement progressif des niveaux.

L'introduction des ondes à longue période précitées, aurait pour effet d'ajouter ou de retrancher uniformément quelques centimètres aux courbes calculées. Elle ne donnerait donc pas un meilleur résultat. Cet exemple incite à penser, qu'il existe une influence à variations plus rapides que celle des ondes à longue période.

La question qui se pose, est de savoir à quoi attribuer cette influence supplémentaire.

Il y a longtemps qu'on a remarqué des anomalies de ce

genre à Banane et c'est ce qu'on exprime en disant que le niveau moyen à Banane varie. Nous y reviendrons tout à l'heure.

Considérons maintenant ce diagramme de plus près. Il a été tracé d'une manière un peu simplifiée, c'est-à-dire qu'on y a tracé les ondes diurnes P_1 et K_1 , comme si elles avaient exactement une période de 24 heures et les ondes S_2 et K_2 comme si leur période était exactement de 12 heures.

TABLEAU II
Constantes harmoniques

Ondes compo- santes	Pointe-Noire				Rio Zaïre (Ponto do Padrao)	Saint-Paul de Loanda		
	<i>Publication n° 12 du Bureau hydro- graphique inter- national, 1926</i>		<i>Tables des marées des Colonies fran- çaises de l'Atlan- tique, 1937</i>		<i>(Tabela de Mares, Lisbonne, 1948)</i>			
	Demi- ampl. (cm)	Situation (°)	Demi- ampl. (cm)	Situation (°)	Demi- ampl. (cm)	Situa- tion (°)	Demi- ampl. (cm)	Situa- tion (°)
M_2	(79)	(118)	50	105	48	109	47,5	105
S_2	(28)	(142)	21	142	16	136	15	132
K_2	(8)	(142)	6	142	5	128	4	124
N_2	—	—	—	—	10	105	10	97
O_1	(7)	(181)	2	297	—	—	1	266
K_1	(10)	(199)	12	1	9	15	8	19
P_1	(3)	(199)	4	1	3	11	2	11
Sa	—	—	—	—	8	277	10	322
Ssa	—	—	—	—	4	33	7,5	47

Quoi qu'il en soit, le diagramme montre également qu'en morte eau l'onde marée résultante n'est que la moitié environ de l'onde lunaire principale. Il faut donc s'attendre à des erreurs notables lors de la sommation algébrique des ondes composantes.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, on peut dans le cas actuel arriver assez rapidement à déterminer approximativement les constantes harmoniques principales.

Pour les calculer en première approximation, on peut employer une méthode basée sur l'observation de la marée pendant 5 journées consécutives seulement.

Comme elle n'utilise que les différences de niveau Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 et Δ_4 pour des temps distants de 24 heures, il suffira lorsque la variation du niveau moyen par 24 heures sera δHm (positive, négative ou nulle), de remplacer ces différences par :

$$\Delta_1 + \delta_1 Hm, \quad \Delta_2 + \delta_2 Hm, \quad \Delta_3 + \delta_3 Hm \quad \text{et} \quad \Delta_4 + \delta_4 Hm$$

et d'examiner ensuite quelles valeurs de δHm donnent les meilleurs résultats.

Dans le cas de Banane, on ne retiendra que les ondes principales suivantes :

$$M_2, \quad N_2, \quad S_2, \quad K_2, \quad K_1 \quad \text{et} \quad P_1.$$

Les ondes K_1 et P_1 d'une part et S_2 et K_2 d'autre part ayant à peu près la même période, on simplifie les calculs en les combinant deux à deux. La hauteur du plan d'eau au-dessus du niveau moyen à un instant t quelconque est fournie par la relation

$$y = H_{M_2} + H_{N_2} + H_{(K_1, P_1)} + H_{(K_2, S_2)}.$$

Comme les ondes $(K_1 P_1)$ et $(K_2 S_2)$ repassent approximativement par les mêmes valeurs à des époques distantes de 24 heures, il s'ensuit que les termes $H_{(K_1, P_1)}$ et $H_{(K_2, S_2)}$ peuvent facilement être éliminés de cette formule en faisant des différences de niveau à 24 heures d'intervalle.

Les équations ne contiendront plus alors que les constantes des ondes M_2 et N_2 .

Les valeurs du terme A de la formule (b) sont fournies

par des tables spéciales et nous en représenterons la sommation dans la suite des écritures par

$$A_{j_1}, A_{j_2}, A_{j_3}, A_{j_4} \text{ et } B_{j_1}, B_{j_2}, B_{j_3}, B_{j_4}$$

suivant qu'il s'agira des ondes M_2 ou N_2 .

Si l'on appelle H_1 et χ_1 , les constantes harmoniques de l'onde M_2 , H_2 et χ_2 celles de l'onde N_2 , on peut écrire :

$$\begin{aligned} \Delta_1 = & f_1 H_1 [\cos(n_1 h - A_{j_1} - \chi_1) - \cos(n_1 h - A_{j_2} - \chi_1)] \\ & + f_2 H_2 [\cos(n_2 h - B_{j_1} - \chi_2) - \cos(n_2 h - B_{j_2} - \chi_2)] \end{aligned}$$

et en posant

$$H_1 \cos \chi_1 = x, \quad H_1 \sin \chi_1 = y, \quad H_2 \cos \chi_2 = z, \quad H_2 \sin \chi_2 = t,$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 = & x f_1 [\cos(nh - A_{j_1}) - \cos(nh - A_{j_2})] \\ & + y f_1 [\sin(nh - A_{j_1}) - \sin(nh - A_{j_2})] \\ & + z f_2 [\cos(nh - B_{j_1}) - \cos(nh - B_{j_2})] \\ & + t f_2 [\sin(nh - B_{j_1}) - \sin(nh - B_{j_2})], \end{aligned}$$

d'où l'on tire

$$\begin{aligned} \Delta_1 = & -2 x f_1 \sin\left(nh - \frac{A_{j_1} + A_{j_2}}{2}\right) \sin\left(nh - \frac{A_{j_2} - A_{j_1}}{2}\right) \\ & + 2 y f_1 \cos\left(nh - \frac{A_{j_1} + A_{j_2}}{2}\right) \sin\left(nh - \frac{A_{j_2} - A_{j_1}}{2}\right) \\ & - 2 z f_2 \sin\left(nh - \frac{B_{j_1} + B_{j_2}}{2}\right) \sin\left(nh - \frac{B_{j_2} - B_{j_1}}{2}\right) \\ & + 2 t f_2 \cos\left(nh - \frac{B_{j_1} + B_{j_2}}{2}\right) \sin\left(nh - \frac{B_{j_2} - B_{j_1}}{2}\right) \end{aligned}$$

On établira des équations semblables pour Δ_2 , Δ_3 et Δ_4 .

On obtiendra ainsi un système de quatre équations à quatre inconnues dont la résolution fournira les valeurs de x , y , z et t .

Les formules simples

$$\operatorname{tg} \chi_1 = \frac{y}{x}, \quad \operatorname{tg} \chi_2 = \frac{t}{z}$$

et

$$H_1 = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \text{et} \quad H_2 = \sqrt{z^2 + t^2}$$

permettront alors de calculer aisément les constantes harmoniques des ondes M_2 et N_2 .

Connaissant H_1 , H_2 , γ_1 et γ_2 on pourra déterminer pour chaque heure les ordonnées qui correspondent à la résultante des ondes combinées (K_2S_2) et (K_1P_1), et comme pour des intervalles de 12 heures l'ordonnée de ($S_2 + K_2$) est constante et les ordonnées de ($K_1 + P_1$) sont égales et de signes contraires, la demi-somme des valeurs correspondantes fera donc connaître les ordonnées de ($S_2 + K_2$) et la demi-différence donnera celles de ($K_1 + P_1$).

On pourra donc tracer les courbes représentatives de chacune de ces composantes et déterminer finalement les amplitudes de ces ondes ainsi que les γ correspondants.

Les calculs ci-après montrent l'application de la méthode à deux séries d'observations.

PÉRIODE DU 16 AU 22 SEPTEMBRE 1935

(fig. 3 et pl. II)

Dates	Heure (GMT)	Niveaux observés (cm)	Différences journalières brutes (cm)	Variation du niveau moyen (cm)	Différences corrigées de la variation du niveau moyen (cm)	Différences adoptées (cm) ⁽¹⁾
16.9.1935	3 h	103	23	— 2	21	23
17.9.1935	3 h	80	11	+ 5	16	17,5
18.9.1935	3 h	69	9	+ 2	11	8,5
19.9.1935	3 h	60	— 9	+ 1	— 8	— 4
20.9.1935	3 h	69	— 11	+ 3	— 8	— 10
21.9.1935	3 h	80	— 23	+ 5	— 18	— 16
22.9.1935	3 h	103				

Equations :

$$0,99 H_1 [\cos(86^\circ,9 - 69^\circ - \gamma_1) - \cos(86^\circ,9 - 94^\circ - \gamma_1)] \\ + 0,99 H_2 [\cos(85^\circ,3 - 113^\circ - \gamma_2) - \cos(85^\circ,3 - 150^\circ - \gamma_2)] \\ = 23 ;$$

$$0,99 H_1 [\cos(86^\circ,9 - 94^\circ - \gamma_1) - \cos(86^\circ,9 - 118^\circ - \gamma_1)] \\ + 0,99 H_2 [\cos(85^\circ,3 - 150^\circ - \gamma_2) - \cos(85^\circ,3 - 187^\circ - \gamma_2)] \\ = 17,5 ;$$

⁽¹⁾ L'obtention d'une courbe continue des différences journalières en fonction du temps nécessite des corrections tenant compte à la fois des erreurs d'observation, des erreurs dans l'appréciation du mouvement du niveau moyen et de l'influence des composantes négligées.

$$0,99 H_1 [\cos(86^\circ,9 - 118^\circ - \gamma_1) - \cos(86^\circ,9 - 143^\circ - \gamma_1)] \\ + 0,99 H_2 [\cos(85^\circ,3 - 187^\circ - \gamma_2) - \cos(85^\circ,3 - 225^\circ - \gamma_2)] \\ = 8,5 ;$$

$$0,99 H_1 [\cos(86^\circ,9 - 143^\circ - \gamma_1) - \cos(86^\circ,9 - 167^\circ - \gamma_1)] \\ + 0,99 H_2 [\cos(85^\circ,3 - 225^\circ - \gamma_2) - \cos(85^\circ,3 - 262^\circ - \gamma_2)] \\ = -4 .$$

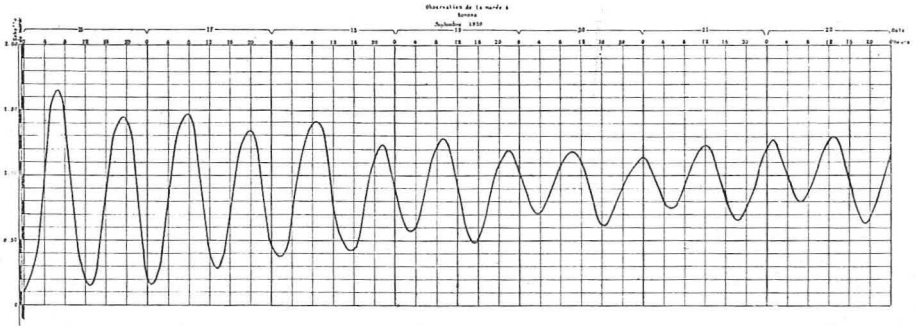


FIG. 3.

Ces équations deviennent :

$$0,99 x (\cos 17^\circ,9 - \cos 7^\circ,1) \\ + 0,99 y (\sin 17^\circ,9 + \sin 7^\circ,1) \\ + 0,99 z (\cos 27^\circ,7 - \cos 64^\circ,7) \\ + 0,99 t (\sin 27^\circ,7 + \sin 64^\circ,7) = 23 ;$$

$$0,99 x (\cos 7^\circ,1 - \cos 31^\circ,1) \\ + 0,99 y (-\sin 7^\circ,1 + \sin 31^\circ,1) \\ + 0,99 z (\cos 64^\circ,7 - \cos 101^\circ,7) \\ + 0,99 t (-\sin 64^\circ,7 + \sin 101^\circ,7) = 17,5 ;$$

$$0,99 x (\cos 31^\circ,1 - \cos 56^\circ,1) \\ + 0,99 y (-\sin 31^\circ,1 + \sin 56^\circ,1) \\ + 0,99 z (\cos 101^\circ,7 - \cos 139^\circ,7) \\ + 0,99 t (-\sin 101^\circ,7 + \sin 139^\circ,7) = 8,5 ;$$

$$0,99 x (\cos 56^\circ,1 - \cos 80^\circ,1) \\ + 0,99 y (-\sin 56^\circ,1 - \sin 80^\circ,1) \\ + 0,99 z (\cos 139^\circ,7 - \cos 176^\circ,7) \\ + 0,99 t (-\sin 139^\circ,7 - \sin 176^\circ,7) = -4$$

ou

$$\begin{aligned} & -0,04405 x + 0,42628 y + 0,45660 z + 0,43485 t = 23 ; \\ & + 0,13459 x + 0,38904 y + 0,62384 z + 0,07439 t = 17,5 ; \\ & + 0,29554 x + 0,31034 y + 0,55428 z - 0,32911 t = 8,5 ; \\ & + 0,38196 x + 0,15355 y + 0,23332 z - 0,58333 t = -4 . \end{aligned}$$

La résolution de ces équations donne :

$$\begin{aligned} \left. \begin{aligned} x &= -37,138 \\ y &= +40,937 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{d'où } \operatorname{tg} \chi_1 = \frac{y}{x} = -1,102, \quad \chi_1 = 132^\circ \\ & \text{et } H_1 = \sqrt{x^2 + y^2} = 55,27 \text{ cm} \end{aligned} \\ \\ \left. \begin{aligned} z &= +10,816 \\ t &= -2,358 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{d'où } \operatorname{tg} \chi_2 = \frac{t}{z} = -0,218, \quad \chi_2 = 348^\circ \\ & \text{et } H_2 = \sqrt{z^2 + t^2} = 11,07 \text{ cm} \end{aligned} \end{aligned}$$

Tracé des ondes correspondant à $(S_2 + K_2)$ et $(P_1 + K_1)$

Date	Heure GMT	H_o (niveaux observés) (cm)	H_c niveaux calculés (ondes $M^2 + N_2$) (cm)	$\Delta t = H_o - H_c$ (cm)	$\frac{\Delta t + \Delta(t + 12 h)}{2}$ (cm)	$\frac{\Delta t - \Delta(t + 12 h)}{2}$ (cm)	
16.9.1935	3 h	103	73,2	+ 29,8	+ 28,4	+ 1,3	
	4 h	140,5	100,2	+ 40,3	+ 36,4	+ 3,8	
	5 h	162	123,5	+ 38,5	+ 33,3	+ 5,1	
	6 h	164	137,1	+ 26,9	+ 20,2	+ 6,7	
	7 h	144	137,5	+ 6,5	+ 0,5	+ 6,0	
	8 h	107	124,7	- 17,7	- 23,1	+ 5,4	
	9 h	69	101,7	- 32,7	- 43,0	+ 10,3	
	10 h	35	74,2	- 39,2	- 42,7	+ 3,5	
	11 h	19	49	- 30	- 33,9	+ 3,9	
	12 h	13	32,4	- 19,4	- 19,7	+ 0,3	
	13 h	30	28,7	+ 1,3	+ 0,2	+ 1,1	
	14 h	53,5	38,7	+ 14,8	+ 18,6	- 3,8	
	15 h	87	59,9	+ 27,1	+ 28,9	- 1,9	
	16 h	121	88,4	+ 32,6	+ 33,1	- 0,5	
	17 h	141,5	113,3	+ 28,2	+ 29,1	- 1,0	
	18 h	145,5	132	+ 13,5	+ 16,7	- 3,2	
	19 h	133	138,5	- 5,5	+ 1,6	- 7,1	
	20 h	102,5	131	- 28,5	- 17,3	- 10,2	
	21 h	58	111,3	- 53,5	- 40,1	- 13,2	
	22 h	38	84,3	- 46,3	- 41,5	- 4,8	
	23 h	19	56,8	- 37,8	- 34,9	- 2,8	
	24 h	15,5	35,5	- 20,0	- 9,0	- 0,9	
	17.9.1935	1 h	25	26	- 1	- 1,9	+ 0,9
		2 h	53	30,6	+ 22,4	+ 15,6	+ 6,7
3 h		79	48,2	+ 30,8	+ 25,8	+ 5,0	
4 h		108	74,4	+ 33,6	»	»	
5 h		133	102,9	+ 30,1	»	»	
6 h		146,5	126,5	+ 20,0	»	»	
7 h		148	139,3	+ 8,7	»	»	
8 h		132	138,1	- 6,1	»	»	
9 h		96,5	123,4	- 26,9	»	»	
10 h		62	98,7	- 36,7	»	»	
11 h		38	70,1	- 32,1	»	»	
12 h		27	45,1	- 18,1	»	»	
13 h		27	29,8	- 2,8	»	»	
14 h		37	28,1	+ 0,9	»	»	
15 h		61,5	40,7	+ 20,8	»	»	

Les deux dernières colonnes fournissent les ordonnées permettant le tracé des deux ondes cherchées.

PÉRIODE DU 23 AU 29 AOÛT 1937

(fig. 4)

Dates	Heure GMT	Niveaux observés (cm)	Différences journalières brutes (cm)	Variation du niveau moyen (cm)	Différences corrigées de la variation du niveau moyen (cm)	Différences adoptées (cm) ⁽¹⁾
23.8.37	12 h	67				
24.8.37	12 h	37	30	— 4	26	22
25.8.37	12 h	21	16	— 3,5	12,5	13,5
26.8.47	12 h	20	1	+ 1,5	2,5	3,5
27.8.37	12 h	25	— 5	— 2	— 7,0	— 10
28.8.37	12 h	44	— 19	— 2,5	— 21,5	— 22
29.8.37	12 h	71	— 27	+ 1,5	— 25,5	— 27

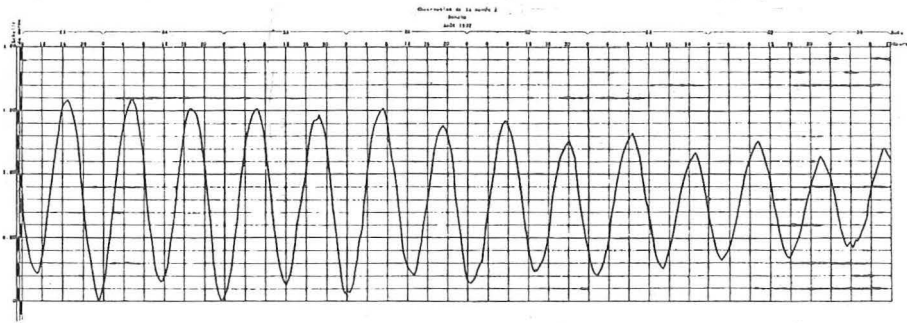


FIG. 4.

Equations :

$$1,01 H_1 [\cos(347^\circ,8 - 52^\circ - \chi_1) - \cos(347^\circ,8 - 76^\circ - \chi_1)] \\ + 1,01 H_2 [\cos(341^\circ,3 - 344^\circ - \chi_2) - \cos(341^\circ,3 - 382^\circ - \chi_2)] \\ = 13,5 ;$$

$$1,01 H_1 [\cos(347^\circ,8 - 76^\circ - \chi_1) - \cos(347^\circ,8 - 100^\circ - \chi_1)] \\ + 1,01 H_2 [\cos(341^\circ,3 - 382^\circ - \chi_2) - \cos(341^\circ,3 - 419^\circ - \chi_2)] \\ = 3,5 ;$$

(¹) L'obtention d'une courbe continue des différences journalières en fonction du temps nécessite des corrections tenant compte à la fois des erreurs d'observation, des erreurs dans l'appréciation du mouvement du niveau moyen et de l'influence des composantes négligées.

$$1,01 H_1[\cos(347^\circ,8 - 100^\circ - \chi_1) - \cos(347^\circ,8 - 125^\circ - \chi_1)] \\ + 1,01 H_2[\cos(341^\circ,3 - 419^\circ - \chi_2) - \cos(341^\circ,3 - 456^\circ - \chi_2)] \\ = -10 ;$$

$$1,01 H_1[\cos(347^\circ,8 - 125^\circ - \chi_1) - \cos(347^\circ,8 - 149^\circ - \chi_1)] \\ + 1,01 H_2[\cos(341^\circ,3 - 456^\circ - \chi_2) - \cos(341^\circ,3 - 494^\circ - \chi_2)] \\ = -22 .$$

Ces équations deviennent :

$$1,01 x(\cos 295^\circ,8 - \cos 271^\circ,8) \\ + 1,01 y(\sin 295^\circ,8 - \sin 271^\circ,8) \\ + 1,01 z[\cos(-2^\circ,7) - \cos(-40^\circ,7)] \\ + 1,01 t[\sin(-2^\circ,7) - \sin(-40^\circ,7)] = 13,5 ;$$

$$1,01 x(\cos 271^\circ,8 - \cos 247^\circ,8) \\ + 1,01 y(\sin 271^\circ,8 - \sin 247^\circ,8) \\ + 1,01 z[\cos(-40^\circ,7) - \cos(-77^\circ,7)] \\ + 1,01 t[\sin(-40^\circ,7) - \sin(-77^\circ,7)] = 3,5 ;$$

$$1,01 x(\cos 247^\circ,8 - \cos 222^\circ,8) \\ + 1,01 y(\sin 247^\circ,8 - \sin 222^\circ,8) \\ + 1,01 z[\cos(-77^\circ,7) - \cos(-114^\circ,7)] \\ + 1,01 t[\sin(-77^\circ,7) - \sin(-114^\circ,7)] = -10 ;$$

$$1,01 x(\cos 222^\circ,8 - \cos 198^\circ,8) \\ + 1,01 y(\sin 222^\circ,8 - \sin 198^\circ,8) \\ + 1,01 z[\cos(-114^\circ,7) - \cos(-152^\circ,7)] \\ + 1,01 t[\sin(-114^\circ,7) - \sin(-152^\circ,7)] = -22$$

ou

$$0,40786 x + 0,10018 y + 0,24316 z + 0,61104 t = 13,5 ; \\ 0,41334 x - 0,07437 y + 0,55056 z + 0,32820 t = 3,5 ; \\ 0,35945 x - 0,24889 y + 0,63721 z - 0,06922 t = -10 ; \\ 0,21505 x - 0,36075 y + 0,47546 z - 0,45436 t = -22 .$$

La résolution de ces équations donne :

$$\left. \begin{array}{l} x = - 6,200 \\ y = + 54,970 \end{array} \right\} \text{d'où } \operatorname{tg} \chi_1 = \frac{y}{x} = - 8,87, \quad \chi_1 = 96^\circ$$

$$\text{et } H_1 = \sqrt{x^2 + y^2} = 55,32 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} z = + 10,689 \\ t = - 12,995 \end{array} \right\} \text{d'où } \operatorname{tg} \lambda_2 = \frac{t}{z} = + 1,216, \quad \lambda_2 = 50^\circ$$

$$\text{et } H_2 = \sqrt{z^2 + t^2} = 16,83 \text{ cm.}$$

Tracé des ondes correspondant à $(S_2 + K_2)$ et à $(P_1 + K_1)$

Date	Heure GMT	H ^e (niveaux observés) (cm)	H ^e (niveaux calculés (ondes M ₁ et N ₁)) (cm)	$\Delta t = H_0 - H_c$ (cm)	$\frac{\Delta t + \Delta(t+12 \text{ h})}{2}$ (cm)	$\frac{\Delta t - \Delta(t+12 \text{ h})}{2}$ (cm)
24-8-1937	12 h	37	38,9	- 1,9	- 5,1	+ 3,2
	13 h	65	59,5	+ 5,5	+ 3,2	+ 2,3
	14 h	99	85,7	+ 13,3	+ 15,4	- 2,1
	15 h	131	110,9	+ 20,1	+ 20,0	+ 0,1
	16 h	150	128,8	+ 21,2	+ 19,8	+ 1,4
	17 h	149,5	134,7	+ 14,8	+ 15,2	- 0,5
	18 h	139	127,1	+ 11,9	+ 13,8	- 2,0
	19 h	109	107,6	+ 1,4	+ 4,6	- 3,3
	20 h	70	81,2	- 11,2	- 8,8	- 2,4
	21 h	24	54,7	- 30,7	- 20,7	- 10,0
	22 h	4	33,7	- 29,7	- 21,3	- 8,3
	23 h	4	24,6	- 20,6	- 15,5	- 5,0
	24 h	21	29,3	- 8,3	- 4,8	- 3,5
	25-8-1937	1 h	47,5	46,7	+ 0,8	+ 6,5
2 h		90	72,4	+ 17,6	+ 17,5	+ 0,1
3 h		120	100,1	+ 19,9	+ 17,9	+ 2,0
4 h		141	122,6	+ 18,4	+ 18,2	+ 0,2
5 h		150	134,3	+ 15,7	+ 14,9	+ 0,8
6 h		148	132,2	+ 15,8	+ 11,0	+ 4,8
7 h		121,5	116,6	+ 7,9	+ 3,7	+ 4,2
8 h		85	91,4	- 6,4	- 10,8	+ 4,4
9 h		52	62,8	- 10,8	- 17,9	+ 7,2
10 h		25	38,0	- 13,0	- 22,3	+ 9,3
11 h		12,5	23,0	- 10,5	- 16,6	+ 6,2
12 h		20,5	21,8	- 1,3	- 5,3	+ 4,0
13 h		47,0	34,7	+ 12,3	»	»
14 h		76,0	58,6	+ 17,4	»	»
15 h	103,5	87,5	+ 16,0	»	»	
16 h	132,0	114,0	+ 18,0	»	»	
17 h	146,0	131,8	+ 14,2	»	»	
18 h	142,5	136,2	+ 6,3	»	»	
19 h	125,5	126,0	- 0,5	»	»	
20 h	88,0	103,2	- 15,2	»	»	
21 h	50,0	75,1	- 25,1	»	»	
22 h	15,5	47,1	- 31,6	»	»	
23 h	4,0	26,8	- 22,8	»	»	
24 h	10,0	19,3	- 9,3	»	»	

Les deux dernières colonnes fournissent de nouveau les ordonnées permettant le tracé des deux ondes cherchées.

Des deux tracés précédents on déduit comme suit les amplitudes et situations approximatives de S_2 , K_2 , P_1 et K_1 :

Onde correspondant à $S_2 + K_2$

L'ordonnée de l'onde est la même le 16 septembre 1935 et le 24 août 1937 à 7,15 h GMT.

On a donc

$$1,13 H_{K_2} \cos(217^\circ,5 - 356^\circ - \chi_{K_2}) = 0,94 H_{K_1} \cos(217^\circ,5 - 39^\circ - \chi_{K_2})$$

d'où

$$\cos(-138^\circ,5 - \chi_{K_2}) = 0,833 \cos(177^\circ,5 - \chi_{K_2})$$

et

$$\chi_{K_2} = 183^\circ$$

Le 16 septembre 1935 à 4 h GMT par exemple, on a :

$$\begin{aligned} 1,13 H_{K_2} \cos(120^\circ - 356^\circ - 183^\circ) \\ - 0,94 H_{K_1} \cos(120^\circ - 39^\circ - 183^\circ) &= 36,4 - 18,2 \\ &= 18,2 \end{aligned}$$

d'où

$$H_{K_2} = \frac{18,2}{1,13 \cos(-59^\circ) - 0,94 \cos 102^\circ} = \frac{18,2}{0,786} = 23 \text{ cm} \cdot$$

En défalquant l'onde K_2 de chacune des deux ondes tracées on trouve

$$H_{S_2} = 22 \text{ cm et } \chi_{S_2} = 105^\circ$$

Onde correspondant à $K_1 + P_1$

L'ordonnée de l'onde est la même le 16 septembre 1935 et le 24 août 1937 à 8 h GMT.

On a donc

$$1,07 H_{P_1} \cos(120^\circ - 448^\circ - \chi_{P_1}) = 0,98 H_{K_1} \cos(120^\circ - 469^\circ - \chi_{P_1})$$

d'où

$$\cos(-328^\circ - \chi_{P_1}) = 0,915 \cos(-349^\circ - \chi_{P_1}) \text{ et } \chi_{P_1} = 8^\circ$$

Le 16 septembre 1935 à 13 h GMT par exemple, on a
 $1,07 H_P \cos(195^\circ - 448^\circ - 8^\circ)$
 $- 0,98 H_P \cos(195^\circ - 469^\circ - 8^\circ) = -2,2.$

d'où

$$H_P = \frac{-2,2}{1,07 \cos(-261^\circ) - 0,98 \cos(-282^\circ)} = \frac{-2}{-0,369}$$

$$= 6 \text{ cm.}$$

En défalquant l'onde H_{P_1} de chacune des deux ondes tracées on trouve

$$H_K = 2 \text{ cm et } \angle_K = 3^\circ.$$

RÉCAPITULATION

Ondes	Amplitudes (cm)			Situations (°)		
	1 ^{er} calcul	2 ^e calcul	Moyennes	1 ^{er} calcul	2 ^e calcul	Moyennes
M ₂	55,27	55,32	55,3	132	96	114
N ₂	11,07	16,83	14	348	50	19
S ₂	—	—	22	—	—	105
K ₂	—	—	23	—	—	183
K ₁	—	—	6	—	—	8
P ₁	—	—	2	—	—	3

Bien entendu, il conviendrait de répéter les mêmes calculs pour un plus grand nombre de séries analogues d'observations. Les valeurs ci-dessus ne sont donc données qu'à titre de première approximation.

*
**

Pour en revenir à la variation du niveau moyen, il resterait à examiner à quelles causes il faut l'attribuer.

Les ondes à longue période fournies par le Service hydro-

graphique portugais sont principalement l'onde solaire annuelle et l'onde solaire semi-annuelle.

Il est généralement admis que la première de ces ondes, qui est la plus importante, résulte principalement des moussons, qui sont des vents réguliers, causés par l'inégal échauffement, qui s'inverse selon les saisons, de la terre et de la mer. En saison chaude il y a appel d'air sur le continent et le vent du large souffle vers la terre et en saison froide c'est l'inverse qui se produit.

A Banane il semble bien que l'on ne puisse pas attribuer uniquement à ces vents les ondes annuelle et semi-annuelle perturbatrices du niveau moyen. Des observations météorologiques, effectuées par le chef-pilote du 1^{er} avril 1941 au 31 mars 1942, montrent en effet, que la direction du vent à terre et celle de la houle sont relativement stables au cours de l'année.

Personnellement, je me demande s'il ne faut pas attribuer les variations du niveau de Banane au régime du fleuve Congo et à l'importance de son débit. L'examen de quelques observations simultanées, effectuées aux échelles de Boma et de Banane, porte à croire que les crues du fleuve se font sentir jusque dans la baie de Banane. Malheureusement le nombre de ces observations est beaucoup trop restreint pour pouvoir étayer un avis formel. La question serait simple s'il s'agissait d'une mer sans marée. Dans leur ouvrage intitulé *Le Bas Congo artère vitale de la Colonie*, MM. DEVROEY et VANDERLINDEN ont fait remarquer que l'endroit est situé à quelques mètres de l'Océan et que par conséquent les variations du niveau moyen à Banane ne peuvent être attribuées à une variation de la pente du fleuve. Ils ont cherché une explication de ces fluctuations dans la différence des densités de l'eau douce et de l'eau salée et dans les variations de l'épaisseur moyenne de la couche superficielle d'eau douce qui coule au-dessus de l'eau de mer. Reste à voir si cette explication suffit à expliquer les dénivellations du niveau moyen dans le phénomène dynamique que constitue la marée.

On pourrait aussi se demander si le fait qu'il y a un certain étranglement à l'embouchure est de nature à expliquer une variation relativement accentuée du niveau moyen.

Enfin, une autre cause de perturbation, qui à mon avis doit être prise en considération, réside dans les variations de la pression barométrique.

A Banane elles vont d'une moyenne de 757 mm en décembre à une moyenne de 763 mm en juillet et il semble qu'elles expliqueraient, mieux que celles du vent ou de la crue, les variations brusques et irrégulières du niveau moyen.

En résumé, un point important est actuellement acquis, c'est l'existence d'une variation supplémentaire, qui peut fort bien ne pas être harmonique, affectant le niveau moyen de l'embouchure du Congo. Il reste à en déterminer la cause exacte, ce qui n'empêche d'ailleurs pas que l'on possède, dès à présent, de bonnes prédictions de la marée.

Puisqu'il reste un point à élucider, nous ne concluons pas encore maintenant. Pour le faire, nous attendrons que l'on ait procédé à Banane à des observations soignées et continues de la marée, du vent et de la pression barométrique, conjuguées avec des observations des crues à Boma.

Les résultats de telles observations seront utilement communiqués au Bureau Hydrographique International de Monaco qui, en exécution de la résolution prise à la V^e Conférence hydrographique internationale, effectue actuellement une enquête mondiale sur les marées.

Le Coast and Geodetic Survey américain a généreusement offert ses services au Bureau Hydrographique International pour la réalisation de ce programme, en proposant d'effectuer pour le compte de tout Etat intéressé l'analyse harmonique des observations qui lui seront fournies.

