

LA DÉTERMINATION
DES
POINTS HYDROGRAPHIQUES
SUR UNE CARTE

PAR

G. J. VAN MIERLO

Ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées,
Ancien Ingénieur de la Marine de l'État belge.

On sait que la détermination des points hydrographiques se fait au moyen du sextant, aucun autre instrument ne donnant des résultats aussi précis lorsqu'on se trouve en un observatoire aussi mobile que la passerelle d'un navire ou la chambre d'un canot.

On se sert donc de repères à terre, de bateaux-feux en mer, pourvu que l'on connaisse la situation des divers signaux l'un par rapport à l'autre.

Les deux angles α et β étant mesurés au sextant, on les reporte sur une carte préparée d'avance et sur laquelle on a indiqué la situation la plus récente des bancs et des fosses que l'on désire lever; on a donc ainsi une indication générale mais très grossière des fonds à sonder.

Le report des points sur la carte se faisait jusqu'à ce jour au moyen d'un appareil spécial qui porte le nom anglais de *station pointer* et qui est appelé parfois rapporteur à trois branches.

Il se compose essentiellement d'un limbe gradué au demi degré, au centre duquel sont articulées deux bran-

$$\alpha'_0 - \alpha_1 + \alpha'_1 - \alpha_2 = 0$$

et numériquement

$$\begin{aligned} 0.8\alpha'_0 + 1.6\alpha_1 + 2\alpha'_1 + \alpha_2 &= 0 \\ 3.2\alpha'_0 + 3.2\alpha_1 - 0.8\alpha'_1 &= \pm 0,1155 \\ -0.8\alpha_1 + 3.8\alpha'_1 + 3.8\alpha_2 &= \pm 0,1444 \\ \alpha'_0 - \alpha_1 + \alpha'_1 - \alpha_2 &= 0 \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \alpha'_0 &= \pm 0,0597, & \alpha_1 &= \mp 0,0310, & \alpha'_1 &= \mp 0,0296, \\ & & \alpha_2 &= \pm 0,0611 \\ \beta'_0 = \beta_1 &= \mp 0,1134, & \beta'_1 = \beta_2 &= \pm 0,0907. \end{aligned}$$

Les valeurs de α et de β relatives aux différents états de sollicitation sont donc connues et il est possible de tracer les lieux de moments fléchissants et des efforts tranchants relatifs à chaque état de sollicitation, puis de superposer les effets de même signe. Ces opérations sont faites fig. (7) et (8), les notations étant suffisamment claires pour nous dispenser de toute explication. Les épures obtenues sont relatives, la grandeur des charges restant indéterminée. On peut en faire usage pour calculer les dimensions du pont, qu'il faudra vérifier ensuite en tenant compte de la raideur réelle de chaque tronçon.

Tracés graphiques. — MM. Guillaume et Vallat ont approprié la méthode graphique de Mohr à ce système de ponts. Nous n'avons rien à ajouter à leur exposé très lucide et ne pouvons qu'y renvoyer le lecteur.

Gand, le 7 septembre 1897.

ches situées de part et d'autre d'un bras solidaire avec le limbe. On détermine de chaque côté du bras les angles mesurés que l'on fixe au moyen d'une mâchoire. L'approximation d'une minute peut être obtenue au moyen d'un vernier.

Les deux angles étant marqués sur l'instrument on place le *station pointer* de manière à ce que les trois branches aient leurs lignes de foi en coïncidence exacte avec les points de repère S, S', S'', et le centre du limbe est le point M cherché (Pl. XXVIII, fig. 1) car c'est précisément de ce centre que les distances SS' et S'S'' sont vues respectivement sous les angles α et β .

Le cercle du limbe a un diamètre de 6 centimètres et les bras ont une longueur de 0^m30 que l'on peut toutefois augmenter au moyen de prolonges jusque 0^m46.

Cet appareil est très aisé à manier, mais il donne des résultats très grossiers.

J'ai éprouvé moi-même, dans le temps, les difficultés que l'on a à mettre certains points sur la carte, parfois même des points importants de l'Escaut tels que balises, feux, cheminées, que je voulais rapporter aux clochers.

Ces derniers étant déterminés géodésiquement, au moyen de réseaux compensés, aucun doute ne pouvait subsister quant à l'exactitude de leur position. La première idée qui se présente à l'esprit lorsqu'un repérage ne se fait pas convenablement, c'est que les angles ont été mal pris : mais j'ai dû écarter cette hypothèse attendu que des mesurages faits par des observateurs différents au moyen d'instruments différents, parfois à plusieurs années d'intervalle, donnaient toujours des résultats concordants.

J'ai pensé, finalement, que les erreurs que je constatais provenaient uniquement du rapporteur à trois branches; et effectivement, il en était bien ainsi. Selon l'opérateur et sans autre donnée variable qu'une simple appréciation de

coïncidence entre le point figurant le clocher et l'arête du rapporteur, j'ai obtenu pour la station à déterminer des positions variant d'une quantité considérable pour peu que la distance aux clochers soit grande. Des expériences nombreuses auxquelles j'ai procédé m'ont démontré que les résultats que l'on obtient varient d'après la façon dont on emploie le rapporteur.

Voici comment se faisaient ces expériences : je plaçais trois points A, B, C, sur une feuille de papier et me donnant deux angles sous lesquels devaient être vus les côtés AB et BC, je cherchais la station ; suivant que l'on mettait en premier lieu en coïncidence soit la branche A, soit une autre, en tâtonnant pour trouver la vraie place du point cherché on obtenait des positions différentes et le diamètre du cercle dans lequel ces positions peuvent être inscrites est de 1 millimètre pour 120 millimètres environ entre la station et le clocher. De sorte que, lorsque la station se trouve à une distance des clochers égale à la longueur des branches du rapporteur, il y a sur le point cherché une indécision que l'on peut représenter par un cercle de 3^m5 de diamètre.

Si, comme cela arrive souvent, on doit mettre des règles en simple contact avec les branches pour les prolonger, mes expériences m'ont démontré que le diamètre du cercle atteint 7 millimètres quand la longueur moyenne des branches atteint 60 centimètres.

Cet état de choses est cause que, parmi toutes les cartes de l'Escaut, il n'y en a pas beaucoup dont les tracés de digues coïncident. Elles ne sont donc nullement probantes lorsqu'il s'agit d'estimer, à quelques mètres près, les états successifs du fleuve et, finalement, il importe de remédier à cette situation.

C'est pour cela qu'au mois d'août 1896 un nouveau système de détermination des points hydrographiques fut

présenté par moi, et dans l'étude de ce système je m'étais fixé les conditions suivantes.

1° Le point hydrographique doit pouvoir être reporté sur le papier en une minute de temps, car il arrive fréquemment, dans les petits fonds de la mer du Nord, qu'on n'ait pas plus de temps pour faire cette opération.

2° Il faut que l'opérateur qui met le point sur la carte puisse disposer, à mesure que les observateurs d'angle les donnent, les indications sur l'instrument, les répétitions donnant lieu à des erreurs et étant parfois difficiles au milieu des commandements de toute espèce qu'il fallait donner à la machine, à la barre, à l'homme de sonde, etc.

3° Il est nécessaire que l'appareil soit insensible aux mouvements de roulis et de tangage du navire, et surtout aux trépidations qui sont particulièrement sensibles sur les passerelles de steamers à aubes comme ceux que nous employons.

4° Enfin, il faut que les instruments donnent des indications très exactes, l'échelle des cartes sur lesquelles on opère étant fort petite particulièrement en mer.

Et précisément cette dernière condition n'est pas remplie par le *station pointer*. En effet, il est à remarquer que la longueur des bras est relativement peu considérable, et il arrive fréquemment que, les bras étant trop courts, on est obligé d'appuyer contre eux des règles pour servir de prolonge. Or, comme on ne peut pas du premier coup mettre les règles dans leur vraie position, on est obligé de les dévier peu à peu, ce qui ne se fait jamais sans chocs, et ces efforts se faisant au bout d'un bras de levier 7 fois plus grand que celui de la résistance (lequel est limité à la distance entre le centre du limbe à la mâchoire) il en résulte que les bras sont presque toujours entraînés et que des écarts très considérables se produi-

sent entre les angles que l'on a placés primitivement sur les limbes et ceux que l'on constate, lorsqu'après avoir déterminé le point, on vérifie la grandeur des angles lus. De là des corrections, des retouches que l'on est obligé de faire hâtivement en mer et qui allongent inutilement le travail de bureau après la fin de la campagne.

Enfin, il arrive parfois que la figure $SS'S''M$ est un quadrilatère inscriptible, ou à peu près, et alors ce n'est qu'avec la plus grande peine que l'on parvient à déterminer le vrai point où l'on se trouve. Il s'en suit, dans le bas Escaut surtout, où les repères sont éloignés et peu visibles, que l'on doit se servir d'occultations d'un signal par l'autre, de passages de bouées sur les amers à terre, d'angles de vérification qu'il serait utile d'éviter le plus possible. Il y a, pour le *station pointer*, un dernier inconvénient qui occasionne parfois des pertes de temps considérables à cause des recherches supplémentaires qu'il impose.

Supposons que pour la fixation d'un signal, une balise par exemple, par suite de la difficulté qu'éprouve l'opérateur à se placer dans une situation commode au signal lui-même, un des angles mesurés soit entaché d'erreur.

Si on a pris 4 angles : α , β , γ et δ , les segments capables de ces angles se coupent en M ; mais supposons que β ait été mal mesuré, ou mal lu, et qu'on lui ait attribué une valeur β' .

On voit que le segment capable est le cercle pointillé et si on met sur le *station pointer* α et β' on obtient le point M' (fig. 2). Si on prend β' et γ on aura M'' ; et si on prend γ et δ on aura le point M . Donc, 3 combinaisons possibles, et 3 solutions, parmi lesquelles il sera impossible de distinguer la bonne puisqu'on ignore sur quel angle il y a une erreur.

Au contraire, si on décrivait les cercles α , γ , et δ , leur croisement au point M indiquerait immédiatement que β est mauvais.

J'ai cherché à éviter tous ces inconvénients et à augmenter la précision du résultat dans des proportions telles qu'il conviendra à l'opérateur, et dont celui-ci pourra toujours apprécier le degré.

Soient encore S, S', S'' (fig. 1) les signaux à terre, M le point où l'on sonde, α et β les angles observés au sextant.

Les rayons des cercles SS'M et S'S''M sont respectivement

$$r = \frac{d}{2 \sin \alpha} \quad \text{et} \quad r' = \frac{d'}{2 \sin \beta}.$$

Si on pouvait déterminer rapidement r et r' , on procéderait de la façon suivante : de S et S' comme centre, avec r comme rayon, on décrirait des arcs de cercle qui fixent C; on laisserait ce rayon sur le compas.

Avec un second compas, on déterminerait C', et fixant ensuite les pointes sèches des compas en C et en C' on trouverait immédiatement le point M à l'intersection des deux crayons⁽¹⁾.

La pratique m'a démontré que l'écartement des compas n'est pas influencé par les efforts involontaires que lui fait subir l'opérateur par suite des mouvements du bateau; de sorte qu'il ne faut presque aucun apprentissage pour arriver à dessiner des cercles aussi facilement sur la table d'un navire que sur une table fixe. Au contraire, il est presque impossible de faire des tracés à l'équerre ou de mener des parallèles lorsque le bateau roule. De plus, on n'est pas obligé de glisser continuellement l'instrument

(1) Cette méthode peut se simplifier si, comme cela arrive souvent en mer, les signaux S, S', et S'' sont conservés pendant une journée entière : dans ce cas, on tirera SS'' et S' S'' et on élèvera une perpendiculaire au milieu; on n'aura qu'un petit arc de cercle à tracer pour déterminer le centre de chaque cercle de segment capable. Cette simplification n'est toutefois avantageuse que si un grand nombre de points sont déterminés au sextant à l'aide des signaux S, S', S''.

sur le papier comme cela a lieu pour le *station pointer* ; on peut donc complètement s'abstenir de porter la main sur le papier, avantage considérable lorsqu'on dessine sur la table d'une passerelle, située comme celle de la « Belgique » entre deux cheminées de chaudières et deux cheminées de cuisine, qui toutes laissent échapper de la suie.

Il suffirait donc de pouvoir déterminer aisément la valeur de $\frac{d}{2 \sin \alpha}$ pour pouvoir résoudre la question ; à cet effet, nous avons dressé un diagramme composé comme suit :

Portons sur une verticale une longueur d et construisons l'angle opposé égal à α (fig. 3). La ligne oblique est $\frac{d}{\sin \alpha}$ et nous pouvons construire toutes les valeurs $\frac{d}{\sin \alpha}$ pourvu que des horizontales soient tracées sur le papier.

Mais la valeur que nous cherchons est $\frac{d}{2 \sin \alpha}$.

Remarquons que pour $\alpha = 30^\circ$ la valeur de $\sin \alpha$ est 0.5 et que $\frac{d}{2 \sin \alpha}$ devient d .

Il suffira donc de porter la valeur d sur la ligne inclinée à 30° et de considérer celle-ci comme lieu d'origine. Cela étant, l'usage de l'abaque s'indique : une distance entre deux signaux étant de 27 centimètres sur la carte, l'angle étant de 38° , on suivra la ligne horizontale passant par le point marqué 27 centimètres sur la ligne d'origine jusqu'à ce qu'on arrive à l'oblique inclinée à 38° . La distance de ce point de rencontre à la ligne de base est le rayon du cercle cherché.

Pour faciliter le report, la graduation correspondante est indiquée sur les verticales au bout de l'abaque et

toute celle-ci est dessinée sur du papier quadrillé au millimètre. Ce premier diagramme convient pour les angles de 30° à 150°. Un second diagramme est figuré pour les angles moindres que 30 degrés ; mais, à mesure que l'angle diminue la distance maxima entre les deux signaux pour laquelle l'abaque convient diminue aussi de plus en plus. Ceci n'a aucun inconvénient parce qu'on se sert fort rarement de ce second diagramme ; il convient en effet pour les angles allant de 150° à 180° et de 0° à 30°. Les premiers ne peuvent être pris au sextant ; les seconds sont déconseillés par tous les hydrographes, et quand on s'en sert c'est presque hors de vue de terre, alors que les cartes sont à échelle très petite et que les distances entre les signaux sont elles mêmes très petites.

De cette façon l'erreur que l'on fera, en dessin, sur la longueur d'un rayon sera toujours inférieure à un quart de millimètre tant que le rayon ne dépasse pas 0^m50. On peut donc déterminer les points situés à plus d'un mètre des signaux avec une approximation d'un demi-millimètre, tandis qu'actuellement l'erreur est 20 fois plus forte. Enfin, pour les points situés à une distance égale à celle de l'extrémité des branches du *station pointer* au centre de l'instrument (ce sont les distances les plus usuelles) pour lesquelles l'erreur était de 3^{mm}5, ma méthode donne une précision de 1/3 de millimètre, c'est-à-dire l'épaisseur du trait de crayon. Il était donc inutile de chercher mieux (1).

Afin d'éviter à ceux qui voudraient faire usage de ce procédé des calculs longs et ennuyeux, j'ai dressé deux tables indiquant avec l'approximation d'un centième de millimètre (ceci en vue de la gravure) les longueurs à porter sur les lignes de bases des deux diagrammes.

(1) Pour ces chiffres la différence entre deux obliques consécutives aboutissant aux divisions données par la table I est moindre que 1/3 de millimètre.

Le compas (fig. 5 à 10) se compose d'une règle en bois de hêtre (14 m/m sur 8 m/m) dont la longueur est déterminée par la plus grande longueur de ligne de l'abaque soit 1^m00 + 0^m015 (demi-largeur du chariot du traceur) + 0^m0065 (demi-largeur du bloc de pointe sèche) + 0^m02 de surlongueur ; au total 1^m041.

Le bloc de pointe sèche se compose d'un curseur en maillechort serré contre la règle au moyen d'une vis de pression prenant appui sur une plaque appliquée contre le bois et située à la face postérieure du bloc. Sur la face antérieure il y a une deuxième vis serrant la pointe sèche qui peut être mise à des hauteurs différentes suivant ce qui sera indiqué plus loin.

La partie inférieure est terminée par une pointe de larme qui, lorsqu'on ne se sert pas de l'instrument, est recouverte par un protège-pointe. Celui-ci se compose d'un petit tuyau creux fermé à son extrémité, et dont le fond est garni d'une rondelle de liège.

Le chariot du traceur se compose d'un curseur en maillechort fixé au moyen d'une vis supérieure serrant sur le bois une plaque à face inférieure striée.

Sur la face antérieure se trouve une jambe de compas mobile autour d'un axe horizontal passant à mi-hauteur de la règle de bois. Comme il est de bonne construction de ne pas mettre une vis de serrage sur une surface tournante, j'ai disposé une flasque enserrant la tête du compas et permettant de régler le serrage au moyen d'une clef. Seulement, il faudra ménager dans la face postérieure du curseur une ouverture pour pouvoir passer et mettre en place la vis axiale de la jambe de compas.

A mi-longueur de celle-ci, se trouve une articulation permettant de ramener toujours le crayon — ou le tire-ligne — dans une position presque perpendiculaire au papier, ceci afin d'avoir des traits fins et réguliers, mais alors la distance verticale du crayon à la règle change,

et c'est en vue d'obtenir une horizontalité toujours désirable que j'ai rendu mobile la pointe sèche dans son bloc.

Le crayon est attaché à la jambe de compas par une vis supérieure, tandis qu'une longue vis inférieure permet de modifier de très petites quantités la distance de la pointe de crayon à la pointe sèche.

La lame d'acier serrée sous la vis supérieure fait office de ressort et tend à appliquer le crayon contre la jambe du compas, tandis qu'au moyen de la vis inférieure on peut aisément vaincre cet effort. Avec la disposition adoptée la distance horizontale de la pointe sèche au côté latéral de la règle est précisément égale à la distance de la pointe du crayon au même côté de la règle, ce qui est désirable au point de vue de la mise au point facile de l'instrument : c'est là ce qui a commandé aussi la position latérale des pièces mobiles par rapport à la règle en bois ; car en disposant les articulations et les pointes dans l'axe même, on n'eut pu obtenir une régulation parfaite qu'en mettant un fourreau autour de la pointe sèche, ce qui eut entraîné une majoration de poids.

Celui-ci n'atteint pour tout l'instrument monté, prêt à fonctionner, que 160 grammes environ, soit 7 fois moins que celui des compas à verge ordinaires.

L'axe du chariot du traceur et l'articulation se trouvant à mi-distance permettent, lorsqu'on a une série d'angles pris avec les mêmes repères, de mesurer sur l'abaque les distances successives sans devoir toucher à la vis supérieure du chariot, chose évidemment favorable, puisque la mise au point n'est pas plus longue qu'avec un petit compas. L'amplitude des variations que l'on peut obtenir ainsi sans modifier la position du chariot est de 12 centimètres environ, c'est à dire que sur les cartes de la mer du Nord on peut travailler plus d'une heure sans devoir desserrer aucune vis.

Pour les petites distances on peut évidemment se servir du compas ordinaire; mais pour les distances moyennes il sera bon de prévoir une règle de 0^m35 à 0^m40 pour n'avoir pas à entraîner une tige ayant un mètre de longueur.

Paris, le 1^{er} octobre 1897.

TABLE I.

Distances à porter sur l'horizontale pour la graduation
de l'abaque ($r = 0.50$).

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES
90°	0.00000	81°00'	0.07919	73°40'	0.14653
89°45'	0.00218	80°50'	0.08068	30'	0.14811
30'	0.00437	40'	0.08218	20'	0.14969
89°15'	0.00655	30'	0.08367	73°10'	0.15127
89°00'	0.00873	20'	0.08517	73°00'	0.15287
88°45'	0.01091	80°10'	0.08667	72°50'	0.15446
30'	0.01309	80°00'	0.08817	40'	0.15605
88°15'	0.01527	79°50'	0.08967	30'	0.15765
88°00'	0.01746	40'	0.09117	20'	0.15925
87°45'	0.01965	30'	0.09267	72°10'	0.16086
30'	0.02185	20'	0.09418	72°00'	0.16246
87°15'	0.02402	79°10'	0.09568	71°50'	0.16407
87°00'	0.02621	79°00'	0.09719	40'	0.16568
86°45'	0.02839	78°50'	0.09870	30'	0.16730
30'	0.03058	40'	0.10021	20'	0.16892
86°15'	0.03277	30'	0.10173	71°10'	0.17054
86°00'	0.03500	20'	0.10324	71°00'	0.17217
85°45'	0.03716	78°10'	0.10476	70°50'	0.17379
30'	0.03935	78°00'	0.10628	40'	0.17543
85°15'	0.04155	77°50'	0.10780	30'	0.17706
85°00'	0.04375	40'	0.10932	20'	0.17870
84°50'	0.04521	30'	0.11085	70°10'	0.18034
40'	0.04668	20'	0.11238	70°00'	0.18199
30'	0.04815	77°10'	0.11391	69°50'	0.18364
20'	0.04962	77°00'	0.11544	40'	0.18529
84°10'	0.05108	76°50'	0.11697	30'	0.18694
84°00'	0.05255	40'	0.11850	20'	0.18860
83°50'	0.05403	30'	0.12004	69°10'	0.19027
40'	0.05550	20'	0.12158	69°00'	0.19193
30'	0.05697	76°10'	0.12312	68°50'	0.19361
20'	0.05844	76°00'	0.12467	40'	0.19528
83°10'	0.05992	75°50'	0.12621	30'	0.19696
83°00'	0.06139	40'	0.12776	20'	0.19864
82°50'	0.06287	30'	0.12931	68°10'	0.20033
40'	0.06435	20'	0.13086	68°00'	0.20202
30'	9.06583	75°10'	0.13242	67°50'	0.20371
20'	0.06731	75°00'	0.13398	40'	0.20541
82°10'	0.06879	74°50'	0.13554	30'	0.20711
82°00'	0.07027	40'	0.13710	20'	0.20882
81°50'	0.07176	30'	0.13866	67°10'	0.21053
40'	0.07324	20'	0.14023	67°00'	0.21224
30'	0.07473	74°10'	0.14180	66°50'	0.21396
20'	0.07622	74°00'	0.14338	40'	0.21568
81°10'	0.07770	73°50'	0.14495	30'	0.21741
81°00'	0.07919	40'	0.14653	20'	0.21914

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
66°20'	0.21914	53°55'	0.30142	54°40'	0.35446
66°10'	0.22038	50'	0.30242	35'	0.35555
66°00'	0.22262	45'	0.30341	30'	0.35665
65°50'	0.22436	40'	0.30441	25'	0.35775
40'	0.22611	35'	0.30540	20'	0.35885
30'	0.22787	30'	0.30640	15'	0.35995
20'	0.22962	25'	0.30740	10'	0.36106
65°10'	0.23133	20'	0.30841	54°5'	0.36216
65°00'	0.23316	15'	0.30941	54°00'	0.36327
64°50'	0.23493	10'	0.31042	53°55'	0.36439
40'	0.23671	58°5'	0.31142	50'	0.36550
30'	0.23849	53°00'	0.31244	45'	0.36662
20'	0.24028	57°55'	0.31345	40'	0.36774
64°10'	0.24207	50'	0.31446	35'	0.36886
64°00'	0.24387	45'	0.31548	30'	0.36998
63°50'	0.24567	40'	0.31650	25'	0.37111
40'	0.24748	35'	0.31752	20'	0.37224
30'	0.24929	30'	0.31854	15'	0.37337
20'	0.25111	25'	0.31956	10'	0.37450
63°10'	0.25294	20'	0.32059	53°5'	0.37564
63°00'	0.25477	15'	0.32161	53°00'	0.37678
62°50'	0.25660	10'	0.32264	52°55'	0.37792
40'	0.25844	57°5'	0.32367	50'	0.37906
30'	0.26028	57°00'	0.32471	45'	0.38021
20'	0.26214	56°55'	0.32574	40'	0.38136
62°10'	0.26399	50'	0.32678	35'	0.38251
62°00'	0.26586	45'	0.32782	30'	0.38367
61°50'	0.26773	40'	0.32886	25'	0.38482
40'	0.26960	35'	0.32990	20'	0.38598
30'	0.27148	30'	0.33095	15'	0.38714
20'	0.27337	25'	0.33199	10'	0.38831
61°10'	0.27528	20'	0.33304	52°5'	0.38948
61°00'	0.27716	15'	0.33409	52°00'	0.39065
60°50'	0.27906	10'	0.33514	51°55'	0.39182
40'	0.28097	56°5'	0.33620	50'	0.39299
30'	0.28289	56°00'	0.33726	45'	0.39417
20'	0.28481	55°55'	0.33832	40'	0.39535
60°10'	0.28674	50'	0.33938	35'	0.39653
60°00'	0.28868	45'	0.34044	30'	0.39772
59°55'	0.28965	40'	0.34151	25'	0.39891
50'	0.29062	35'	0.34257	20'	0.40010
45'	0.29159	30'	0.34364	15'	0.40129
40'	0.29257	25'	0.34471	10'	0.40249
35'	0.29355	20'	0.34579	51°5'	0.40369
30'	0.29453	15'	0.34686	51°00'	0.40489
25'	0.29551	10'	0.34794	50°55'	0.40610
20'	0.29649	55°5'	0.34802	50'	0.40731
15'	0.29747	55°00'	0.35011	45'	0.40852
10'	0.29846	54°55'	0.35119	40'	0.40973
59°5'	0.29944	50'	0.35228	35'	0.41095
59°00'	0.30043	45'	0.35337	30'	0.41217
58°55'	0.30142	40'	0.35446	25'	0.41339

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
50°25'	0.41339	46°10'	0.48004	41°53'	0.58694
20'	0.41462	46°5'	0.48144	50'	0.58857
15'	0.41585	46°00'	0.48285	45'	0.56021
10'	0.41708	45°55'	0.48425	40'	0.56185
50°5'	0.41831	50'	0.48567	35'	0.56350
50°00'	0.41955	45'	0.48708	30'	0.56515
49°55'	0.42079	40'	0.48850	25'	0.56681
50'	0.42204	35'	0.48992	20'	0.56847
45'	0.42328	30'	0.49135	15'	0.57014
40'	0.42453	25'	0.49278	10'	0.57182
35'	0.42579	20'	0.49422	5'	0.57350
30'	0.42704	15'	0.49566	41°00'	0.57519
25'	0.42830	10'	0.49710	40°55'	0.57688
20'	0.42956	45°5'	0.49855	50'	0.57858
15'	0.43083	45°00'	0.50000	45'	0.58028
10'	0.43210	44°55'	0.50146	40'	0.58199
49°5'	0.43337	50'	0.50292	35'	0.58371
49°00'	0.43465	45'	0.50438	30'	0.58543
48°55'	0.43592	40'	0.50585	25'	0.58715
50'	0.43721	35'	0.50733	20'	0.58889
45'	0.43849	30'	0.50881	15'	0.59063
40'	0.43978	25'	0.51029	10'	0.59237
35'	0.44107	20'	0.51178	5'	0.59412
30'	0.44237	15'	0.51327	40°00'	0.59588
25'	0.44366	10'	0.51476	39°57'30"	0.59766
20'	0.44496	44°5'	0.51626	55'	0.59764
15'	0.44627	44°05'	0.51777	52'30"	0.59863
10'	0.44758	43°55'	0.51928	50'	0.59941
48°5'	0.44889	50'	0.52079	47'30"	0.60030
48°00'	0.45020	45'	0.52231	45'	0.60118
47°55'	0.45152	40'	0.52383	42'30"	0.60208
50'	0.45285	35'	0.52536	40'	0.60297
45'	0.45417	30'	0.52689	37'30"	0.60387
40'	0.45550	25'	0.52843	35'	0.60476
35'	0.45683	20'	0.52997	32'30"	0.60566
30'	0.45817	15'	0.53152	30'	0.60655
25'	0.45951	10'	0.53307	27'30"	0.60745
20'	0.46085	43°5'	0.53463	25'	0.60835
15'	0.46220	43°00'	0.53619	22'30"	0.60926
10'	0.46355	42°55'	0.53775	20'	0.61016
47°5'	0.46490	50'	0.53932	17'30"	0.61107
47°00'	0.46626	45'	0.54090	15'	0.61197
46°55'	0.46762	40'	0.54248	12'30"	0.61288
50'	0.46899	35'	0.54407	10'	0.61379
45'	0.47036	30'	0.54566	7'30"	0.61471
40'	0.47173	25'	0.54725	05'	0.61562
35'	0.47310	20'	0.54885	39°02'30"	0.61654
30'	0.47448	15'	0.55045	39°00'	0.61745
25'	0.47587	10'	0.55207	38°57'30"	0.61837
20'	0.47726	42°05'	0.55369	55'	0.61929
15'	0.47865	42°00'	0.55531	52'30"	0.62022
10'	0.48004	41°55'	0.55694	50'	0.62114

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
38°50'	0.62114	36°42'30"	0.67060	34°35'	0.72525
47'30"	0.62207	40'	0.67162	32'30"	0.72638
45'	0.62299	37'30"	0.67264	30'	0.72751
42'30"	0.62392	35'	0.67366	27'30"	0.72865
40'	0.62485	32'30"	0.67469	25'	0.72978
37'30"	0.62579	30'	0.67571	22'30"	0.73092
35'	0.62672	27'30"	0.67674	20'	0.73206
32'30"	0.62766	25'	0.67777	17'30"	0.73321
30'	0.62859	22'30"	0.67881	15'	0.73435
27'30"	0.62953	20'	0.67984	12'30"	0.73550
25'	0.63047	17'30"	0.68088	10'	0.73665
22'30"	0.63142	15'	0.68192	07'30"	0.73781
20'	0.63236	12'30"	0.68296	05'	0.73896
17'30"	0.63331	10'	0.68400	02'30"	0.74012
15'	0.63425	07'30"	0.68505	34°00'	0.74128
12'30"	0.63520	05'	0.68609	33°57'30"	0.74244
10'	0.63615	36°02'30"	0.68715	55'	0.74361
07'30"	0.63701	36°00'	0.68819	52'30"	0.74478
05'	0.63806	35°57'30"	0.68924	50'	0.74595
38°02'30"	0.63902	55'	0.69030	47'30"	0.74713
38°00'	0.63997	52'30"	0.69136	45'	0.74831
37°57'30"	0.64094	50'	0.69242	42'30"	0.74949
55'	0.64190	47'30"	0.69349	40'	0.75067
52'30"	0.64286	45'	0.69455	37'30"	0.75185
50'	0.64382	42'30"	0.69562	35'	0.75304
47'30"	0.64479	40'	0.69668	32'30"	0.75423
45'	0.64576	37'30"	0.69775	30'	0.75542
42'30"	0.64674	35'	0.69882	27'30"	0.75662
40'	0.64771	32'30"	0.69990	25'	0.75781
37'30"	0.64869	30'	0.70098	22'30"	0.75902
35'	0.64966	27'30"	0.70206	20'	0.76022
32'30"	0.65064	25'	0.70314	17'30"	0.76143
30'	0.65162	22'30"	0.70423	15'	0.76263
27'30"	0.65260	20'	0.70531	12'30"	0.76484
25'	0.65358	17'30"	0.70640	10'	0.76605
22'30"	0.65457	15'	0.70749	07'30"	0.76627
20'	0.65555	12'30"	0.70858	05'	0.76748
17'30"	0.65654	10'	0.70967	33°02'30"	0.76870
15'	0.65753	07'30"	0.71077	33°	0.76993
12'30"	0.65852	05'	0.71187	32°57'30"	0.77116
10'	0.65952	35°02'30"	0.71297	55'	0.77239
07'30"	0.66052	35°00'	0.71408	52'30"	0.77363
05'	0.66152	34°57'30"	0.71518	50'	0.77486
37°02'30"	0.66252	55'	0.71629	47'30"	0.77610
37°00'	0.66352	52'30"	0.71741	45'	0.77734
36°57'30"	0.66453	50'	0.71852	42'30"	0.77859
55'	0.66554	47'30"	0.71963	40'	0.77983
52'30"	0.66655	45'	0.72075	37'30"	0.78108
50'	0.66756	42'30"	0.72187	35'	0.78233
47'30"	0.66857	40'	0.72299	32'30"	0.78359
45'	0.66958	37'30"	0.72412	30'	0.78485
42'30"	0.67060	35'	0.72525	27'30"	0.78611

ANGLES. DISTANCES.

32°27'30"	0.78611
25'	0.78737
22'30"	0.78864
20'	0.78991
17'30"	0.79118
15'	0.79245
12'30"	0.79373
10'	0.79501
07'30"	0.79630
05'	0.79759
32°02'30"	0.79888
32°	0.80017
31°57'30"	0.80147
55'	0.80277
52'30"	0.80407
50'	0.80537
47'30"	0.80668
45'	0.80799
42'30"	0.80931
40'	0.81063
37'30"	0.81195

ANGLES. DISTANCES.

31°37'30"	0.81195
35'	0.81327
32'30"	0.81460
30'	0.81593
27'30"	0.81727
25'	0.81860
22'30"	0.81994
20'	0.82128
17'30"	0.82263
15'	0.82398
12'30"	0.82534
10'	0.82668
07'30"	0.82805
05'	0.82941
31°02'30"	0.83077
31°	0.83214
30°57'30"	0.83351
55'	0.83489
52'30"	0.83627
50'	0.83765
47'30"	0.83904

ANGLES. DISTANCES.

30°47'30"	0.83904
45'	0.84043
42'30"	0.84183
40'	0.84322
37'30"	0.84462
35'	0.84602
32'30"	0.84743
30'	0.84883
27'30"	0.85025
25'	0.85166
22'30"	0.85309
20'	0.85451
17'30"	0.85594
15'	0.85737
12'30"	0.85881
10'	0.86024
07'30"	0.86169
05'	0.86313
30°02'30"	0.86458
30°	0.86603

TABLE II.

**Distances à porter sur la verticale pour la graduation
de l'abaque ($r=0.86603$).**

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
0°	0.00000	3°40'	0.05549	7°20'	0.11145
0°05'	0.00126	45'	0.05676	25'	0.11273
10'	0.00252	50'	0.05802	30'	0.11401
15'	0.00378	3°55'	0.05930	35'	0.11529
20'	0.00504	4°00'	0.06056	40'	0.11657
25'	0.00630	4°05'	0.06182	45'	0.11785
30'	0.00756	10'	0.06309	50'	0.11914
35'	0.00882	15'	0.06435	7°55'	0.12043
40'	0.01008	20'	0.06563	8°00'	0.12171
45'	0.01124	25'	0.06689	8°05'	0.12299
50'	0.01260	30'	0.06815	10'	0.12428
0°55'	0.01386	35'	0.06943	15'	0.12556
1°00'	0.01512	40'	0.07069	20'	0.12685
1°05'	0.01638	45'	0.07196	25'	0.12813
10'	0.01764	50'	0.07323	30'	0.12941
15'	0.01890	4°55'	0.07449	35'	0.13071
20'	0.02016	5°00'	0.07577	40'	0.13200
25'	0.02142	5°05'	0.07703	45'	0.13329
30'	0.02268	10'	0.07830	50'	0.13457
35'	0.02394	15'	0.07958	8°55'	0.13587
40'	0.02520	20'	0.08084	9°00'	0.13716
45'	0.02646	25'	0.08211	9°05'	0.13846
50'	0.02772	30'	0.08339	10'	0.13975
1°55'	0.02898	35'	0.08466	15'	0.14104
2°00'	0.03024	40'	0.08593	20'	0.14233
2°05'	0.03151	45'	0.08720	25'	0.14363
10'	0.03276	50'	0.08847	30'	0.14492
15'	0.03403	5°55'	0.08974	35'	0.14622
20'	0.03529	6°00'	0.09102	40'	0.14751
25'	0.03655	6°05'	0.09229	45'	0.14880
30'	0.03781	10'	0.09357	50'	0.15010
35'	0.03907	15'	0.09484	9°55'	0.15140
40'	0.04034	20'	0.09612	10°00'	0.15270
45'	0.04149	25'	0.09739	10°05'	0.15400
50'	0.04286	30'	0.09867	10'	0.15530
2°55'	0.04412	35'	0.09995	15'	0.15660
3°00'	0.04539	40'	0.10122	20'	0.15790
3°05'	0.04665	45'	0.10250	25'	0.15921
10'	0.04792	50'	0.10377	30'	0.16050
15'	0.04917	6°55'	0.10505	35'	0.16180
20'	0.05044	7°00'	0.10633	40'	0.16311
25'	0.05170	7°05'	0.10761	45'	0.16442
30'	0.05296	10'	0.10889	50'	0.16572
35'	0.05423	15'	0.11017	10°55'	0.16703
40'	0.05549	20'	0.11145	11°00'	0.16833

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
11°00'	0.16833	15°20'	0.23745	19°40'	0.30951
11°05'	0.16964	25'	0.23881	45'	0.31093
10'	0.17095	30'	0.24016	50'	0.31284
15'	0.17226	35'	0.24152	19°55'	0.31377
20'	0.17356	40'	0.24288	20°00'	0.31520
25'	0.17488	45'	0.24424	20°05'	0.31663
30'	0.17619	50'	0.24560	10'	0.31806
35'	0.17750	15°55'	0.24696	15'	0.31948
40'	0.17881	16°00'	0.24833	20'	0.32091
45'	0.18013	16°05'	0.24969	25'	0.32235
50'	0.18144	10'	0.25105	30'	0.32378
11°55'	0.18276	15'	0.25241	35'	0.32522
12°00'	0.18408	20'	0.25378	40'	0.32666
12°05'	0.18539	25'	0.25515	45'	0.32810
10'	0.18671	30'	0.25652	50'	0.32954
15'	0.18803	35'	0.25789	20°55'	0.33098
20'	0.18934	40'	0.25926	21°00'	0.33242
25'	0.19067	45'	0.26064	21°05'	0.33387
30'	0.19198	50'	0.26201	10'	0.33532
35'	0.19331	16°55'	0.26339	15'	0.33677
40'	0.19463	17°00'	0.26476	20'	0.33822
45'	0.19596	17°05'	0.26614	25'	0.33967
50'	0.19728	10'	0.26752	30'	0.34113
12°55'	0.19861	15'	0.26890	35'	0.34258
13°00'	0.19993	20'	0.27028	40'	0.34403
13°05'	0.20126	25'	0.27166	45'	0.34548
10'	0.20258	30'	0.27305	50'	0.34693
15'	0.20392	35'	0.27444	21°55'	0.34838
20'	0.20524	40'	0.27582	22°00'	0.34983
25'	0.20657	45'	0.27721	22°05'	0.35128
30'	0.20791	50'	0.27860	10'	0.35273
35'	0.20924	17°55'	0.27999	15'	0.35418
40'	0.21058	18°00'	0.28138	20'	0.35563
45'	0.21191	18°05'	0.28277	25'	0.35708
50'	0.21324	10'	0.28417	30'	0.35853
13°55'	0.21458	15'	0.28556	35'	0.36018
14°00'	0.21592	20'	0.28696	40'	0.36166
14°05'	0.21725	25'	0.28836	45'	0.36314
10'	0.21860	30'	0.28976	50'	0.36463
15'	0.21994	35'	0.29116	22°55'	0.36611
20'	0.22128	40'	0.29256	23°00'	0.36759
25'	0.22262	45'	0.29396	23°05'	0.36908
30'	0.22396	50'	0.29538	10'	0.37057
35'	0.22531	18°55'	0.29678	15'	0.37206
40'	0.22665	19°00'	0.29819	20'	0.37356
45'	0.22800	19°05'	0.29960	25'	0.37505
50'	0.22934	10'	0.30100	30'	0.37655
14°55'	0.23069	15'	0.30242	35'	0.37805
15°00'	0.23204	20'	0.30384	40'	0.37955
15°05'	0.23340	25'	0.30525	45'	0.38105
10'	0.23475	30'	0.30667	50'	0.38256
15'	0.23610	35'	0.30809	23°55'	0.38406
20'	0.23745	40'	0.30951	24°00'	0.38557

ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.	ANGLES.	DISTANCES.
24°05'	0.38708	26°05'	0.42393	28°05'	0.46208
10'	0.38859	10'	0.42550	10'	0.46369
15'	0.39011	15'	0.42707	15'	0.46531
20'	0.39162	20'	0.42863	20'	0.46694
25'	0.39314	25'	0.43020	25'	0.46857
30'	0.39466	30'	0.43177	30'	0.47020
35'	0.39618	35'	0.43335	35'	0.47183
40'	0.39770	40'	0.43492	40'	0.47347
45'	0.39923	45'	0.43650	45'	0.47510
50'	0.40076	50'	0.43808	50'	0.47674
24°55'	0.40229	26°55'	0.43966	28°55'	0.47838
25°00'	0.40382	27°00'	0.44125	29°00'	0.48003
25°05'	0.40536	27°05'	0.44284	29°05'	0.48168
10'	0.40689	10'	0.44442	10'	0.48333
15'	0.40843	15'	0.44602	15'	0.48499
20'	0.40997	20'	0.44762	20'	0.48664
25'	0.41151	25'	0.44921	25'	0.48829
30'	0.41306	30'	0.45081	30'	0.48995
35'	0.41461	35'	0.45242	35'	0.49162
40'	0.41616	40'	0.45402	40'	0.49329
45'	0.41770	45'	0.45563	45'	0.49496
50'	0.41926	50'	0.45724	50'	0.49663
25°55'	0.42082	27°55'	0.45885	29°55'	0.49831
26°00'	0.42237	28°00'	0.46046	30°00'	0.50000
26°05'	0.42393	28°05'	0.46208		