Calcul n°1. Point estimé

I. Rappels théoriques (figure 1)

Sur la sphère terrestre, un navire parcourt une loxodromie lorsqu'il conserve sa route fond Rf. Sur une carte marine, la loxodromie a la particularité d'être représentée par une droite.

Le sens positif conventionnel choisi est vers le Nord et vers l'Ouest.

Rf est compté de 0° à 360°.

Les formules de l'estime sont:

. pour le changement en latitude l (ou chemin Nord-Sud):

$$\boxed{l = m\cos Rf} \quad (l \text{ est exprimé en } ')$$

. pour le chemin Est-Ouest e:

$$\boxed{e = -m\sin Rf} \quad (e \text{ est exprimé en } ')$$

. pour le changement en longitude g, on emploie la formule approchée à condition que m < 300 milles (ce qui est dans l'esprit de ce calcul):

$$\boxed{g \cong e/\cos \varphi m = -m\sin RF/\cos \varphi m}$$

II. But du calcul n°1 (figure 2)

Il s'agit d'un calcul d'estime où le navire suit une route mais où le courant n'est pas nul et fait subir un dépalage au bâtiment.

Pour connaître le point d'arrivée A (φe, Ge), il suffit de déterminer la distance parcourue m pendant le temps t sans tenir compte de courant (Rf=Rs)) d'où φ1 et G1.

On tient compte ensuite du courant subi pendant ce même temps t pour trouver φe et Ge.

Cela revient à considérer que le navire parcourt 2 trajets sur le fond pendant le même temps t:
1er: le sien propre.
2e.: celui dû au courant.

III. Pratique du calcul (planche 1)

① Formules utilisées:

$$l = m\cos R/60 \qquad g = -m\sin R/60\cos \varphi m$$

Remarques: ① R désigne:
1°) la route surface Rs
2°) la direction du courant
} comptés de 0° à 360°

② en divisant la formule théorique par 60 on obtient un résultat exprimé en ° et décimales(3 décimales suffisent pour la précision exigée).

② Détermination de Rs

$$Cc + d = Cm \qquad Cm + D = Cv \qquad Cv + der = Rs$$

1. (Durée 15 minutes). — **Point estimé.**

On part du point de coordonnées $\varphi_D =$ ...., $G_D =$ .... et l'on fait route à .... nœuds pendant .... au .... du compas magnétique.

La déclinaison magnétique est D = ... et la déviation est donnée par la courbe ou la table.

Un vent soufflant du .... donne une dérive de .... degrés. Un courant de .... nœuds porte au ....

Déterminer les coordonnées du point estimé.

① Formules utilisées : $l =$ .... $g =$ ....

$C_c =$ .... $C_v =$ ....

Voir courbe ou table (annexes 1 et 2). ← $d =$ .... $\pm$ dér. = ...

$C_M =$ .... $R_s =$ .... ②

$\pm$ D = ...

$C_v =$ ....

Précision: 0,5°

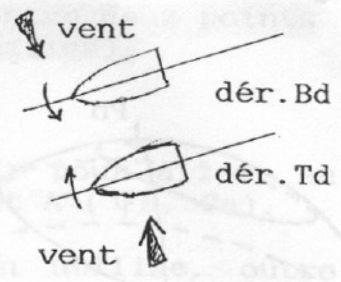
	m	Latitudes et changements en latitude (3 décimales)	Latitude moyenne (3 décimales)	Longitudes et changements en longitude (3 décimales)
		$\varphi_D =$		$G_D =$ ....
$R_s =$	③	$l_1 =$ .... ④	$\varphi_M =$ .... ⑤	$g_1 =$ .... ⑥
courant portant au :		$l_2 =$		$g_2 =$ ....
	1/10 M	$\varphi_E =$		$G_E =$ .... ⑦

Point estimé $\varphi_E =$ .... $G_E =$ .... } sexagésimal (au 1/10′)

der = dérive due au vent:

. une dérive babord est négative ------>

. une dérive tribord est positive ------>



③ <u>Calcul des distances m:</u>

. m1 = distance surface parcourue par le navire: m1 = V1.t, où V1 = vitesse en noeuds du navire.

. m2 = dépalage dû au courant: m2 = V2.t où V2 = vitesse en noeuds du courant.

④ l1 = m1cosRs/60

l2 = m2cos(Direction du courant)/60

$\Big\}\ \varphi e = \varphi d + l1 + l2$

⑤ φm = latitude moyenne entre φe et φd = (φd + φe)/2 algébriquement

⑥ g1 = -m1sinRs/60cos φm

g2 = -m2sin(Direction du courant)/60cos φm

⑦ Ge = Gd + g1 + g2   Algébriquement

<u>Remarque:</u> Tous les calculs se font en ° et 3 décimales. Seul le résultat, φe et Ge apparaît en sexagésimales au 1/10' près.

On part du point de coordonnées φ_o = 49° 00',7 N, G_o = 003° 10',5 W et l'on fait route à 14,5 nœuds pendant 3 h 36 min. au 327° du compas magnétique.

La déclinaison magnétique est D = -5°,5 et la déviation est donnée par la courbe ~~ou la table~~.

Un vent soufflant du NE donne une dérive de 2 degrés. Un courant de 1,5 nœuds porte au 180°

Déterminer les coordonnées du point estimé.

Document annexe 1

Formules utilisées : $l = \dfrac{m \cos R}{60}$ $g = \dfrac{-m \sin R}{60 \cos \varphi_m}$

C_c = 327°

+ d = -11°,5

C_m = 315°,5

+ D = -5°,5

C_v = 310°

C_v = 310°

+ dér. = -2°

R_s = 308°

	m	Latitudes et changements en latitude (3 décimales)	Latitude moyenne (3 décimales)	Longitudes et changements en longitude (3 décimales)
		φ_o = + 49°,012		G_o = + 003°,175
R_s = 308°	52,2	l_1 = + 0°,536	φ_m = +49°,235	g_1 = + 1°,050
courant portant au : 180°	5,4	l_2 = − 0°,090		g_2 = 0°,000
		φ_e = + 49°,458		G_e = + 004°,225

Point estimé φ_e = 49° 27',5 N
G_e = 004° 13',5 W
} sexagésimal (au 1/10')

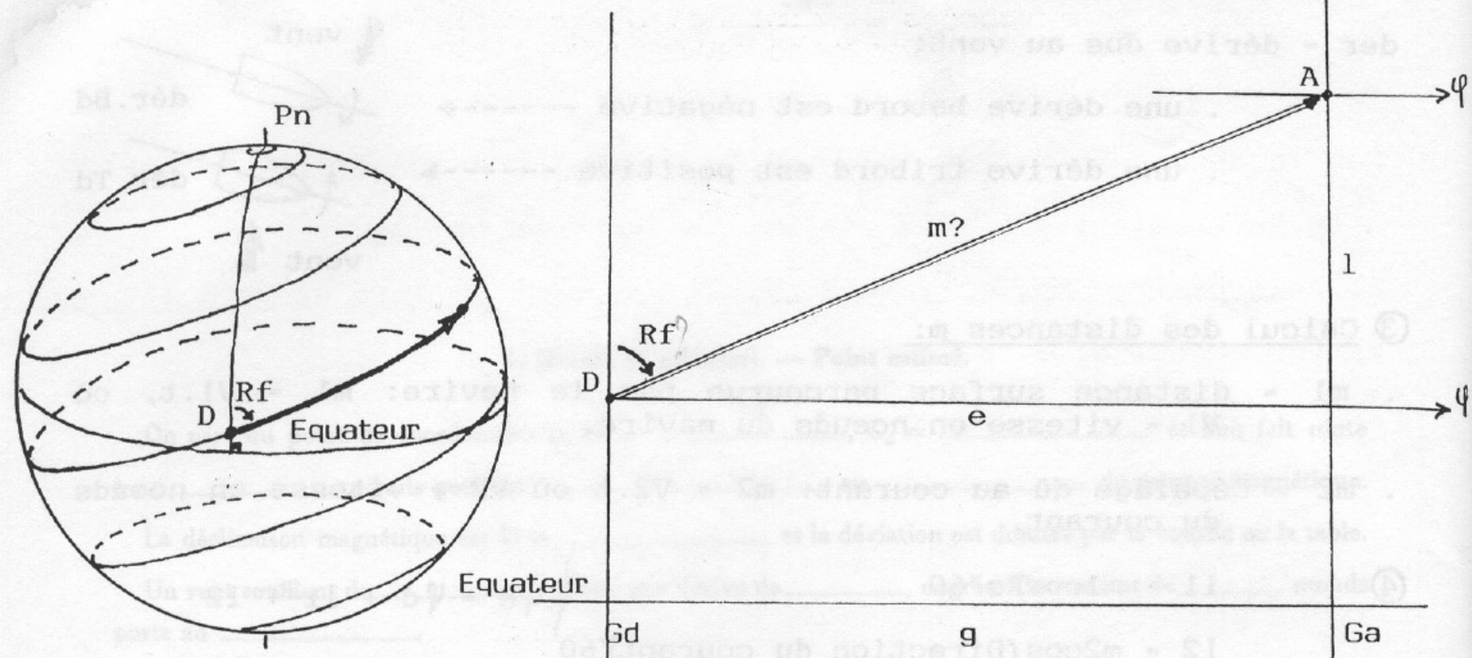


figure 3

2. (Durée 10 minutes). — **Cap au compas et distance entre deux points rapprochés**
(Distance inférieure à 300 milles).

On part du point de coordonnées φ_D = ..., G_D = ... pour aller au point de coordonnées φ_A = ..., G_A = ...

La déclinaison magnétique est D = ... et la déviation est donnée par la courbe ou la table.

Un vent soufflant du .... donne une dérive de .... degrés.

Le courant est nul.

Déterminer le cap à prendre au compas magnétique et la distance à parcourir.

① Formules utilisées :

R_{vq} = ... ; m = ...

② l = ... ③ m = 1/10 M .... C_v = ...

φ_M = ... ③ R_{vq} = ° et 3 décimales .... − D = ...

g = ... ④ $R_s = R_v$ = à 0,5° près .... C_M = ...

− dér. = ... − d = Remarque

C_v = ... ⑤ C_c = ... ⑤

Planche 2

Calcul n°2. Cap au compas et distance à parcourir entre deux points rapprochés (Distance inférieure à 300 milles)

I. Rappels théoriques (figure 3)

Il faut trouver le Cc et la distance m à parcourir pour aller, en suivant une loxodromie, du point D (φd, Gd) au point A (φa, Ga).

Cette distance étant inférieure à 300 milles, on utilise, outre les formules exactes de l'estime:

$$\left.\begin{aligned} l &= m\cos Rf \\ e &= -m\sin Rf \end{aligned}\right\} \text{ d'où } \tan Rf = e/l$$

la formule approchée:

$$\boxed{e = g\cos\varphi m} \text{ où } \varphi m = \varphi d + l/2 = (\varphi d + \varphi a)/2$$

La route fond Rf étant calculée par sa tangente il existe une ambiguïté sur le signe. D'où la nécessité de recourir à la détermination de la route fond "par quadrant" c'est à dire comptée de 0° à 90°, désignée par Rfq; on obtient:

$$\boxed{Rfq = \tan^{-1}|(g\cos\varphi m)/l|}$$

0 < Rfq < 90

Connaissant les signes de g et l, on passe de Rfq (compté de 0° à 90°) à Rf (compté de 0° à 360°), en donnant à Rfq les noms N ou S et E ou W respectivement de l et g; exemple:

si l est S et g est W ---> Rfq = S 042° W ----> Rf = 212°

Tout naturellement, on emploiera, pour le calcul de m, la valeur de Rfq, en exprimant dès lors l (ou g suivant la formule utilisée) en valeur absolue.

II. Etapes du calcul (planche 2)

① Formules utilisées

$$Rfq = \tan^{-1}|(g\cos\varphi m)/l|$$

$$m = 60\,|l|\,/\cos Rfq \quad \text{ou} \quad 60\,|g|\cos\varphi m/\sin Rfq$$

Remarque: si Rfq > 89° employer la formule en sinRfq

②
$$\left.\begin{aligned} l &= \varphi a - \varphi d \\ \varphi m &= \varphi d + l/2 = (\varphi a + \varphi d)/2 \\ g &= Ga - Gd \end{aligned}\right\} \text{ en ° et 3 décimales}$$

③ Calculer d'abord Rfq, ensuite m (au 1/10 de mille), car la valeur de Rfq pour le calcul de m est à utiliser avec ses 3 décimales.

④ Rs = Rf puisque le courant est nul.
(Rf est déduit de Rfq en fonction des signes de g et l).

⑤ der = dérive due au vent (+ si Td; - si Bd).
Cv = Rs - der
Cm = Cv - D
Cc = Cm - d

Remarque: la déviation d est à déduire de la table ou de la courbe donnée en annexe, à partir du Cap magnétique trouvé Cm. Pas de problème si le document im-

posé est la table. Par contre la courbe ne donne d qu'en fonction du Cc, valeur précisément cherchée.
Pour l'obtenir on peut:

. soit procéder par approximations successives:
1re lecture: Cm=Cc, d'où dapp puis Ccapp = Cm - dapp
2me lecture: avec Ccapp lire d sur la courbe (approximation suffisante)

. soit procéder sur la courbe à la construction d'une droite de pente -(y/x) avec :
y = unité sur l'axe des déviations (ordonnées)
x = unité sur l'axe des Cc (abscisses)

et passant par le point d'abscisse Cm.

On considère ensuite le point d'intersection de la courbe avec la droite pour lire son ordonnée qui donne d cherché. (voir figure 4)

Exemple (pour la déviation voir document annexe II)

---

2. (Durée 10 minutes). **— Cap au compas et distance entre deux points rapprochés**
(Distance inférieure à 300 milles).

On part du point de coordonnées $\varphi_D =$ 40° 05',2 N, $G_D =$ 005° 26',3 E pour aller au point de coordonnées $\varphi_A =$ 38° 47',8 N, $G_A =$ 008° 02',5 E.

La déclinaison magnétique est D = −3° et la déviation est donnée par ~~la courbe ou~~ la table.

Un vent soufflant du SW donne une dérive de 3 degrés.

Le courant est nul.

Déterminer le cap à prendre au compas magnétique et la distance à parcourir.

Formules utilisées :

$R_{fq} = \tan^{-1}\left|\dfrac{g\cos\varphi_m}{l}\right|$; $m = 60\ \dfrac{|l|}{\cos R_{fq}}$.

$l =$ −1°,290	$m =$ 143,3 M	$C_v =$ 125°,5	
$\varphi_m =$ +39°,442	$R_{fq} =$ S 57°,314 E	$-D =$ +3°	
$g =$ −2°,603	$R_s = R_f =$ 122°,5	$C_m =$ 128°,5	
	$-$dér. $=$ +3°	$-d =$ +0°,5	
	$C_v =$ 125°,5	$C_c =$ 129°	

Calcul n°3: Angle de route et distance loxodromique entre deux points éloignés.

I. Rappels théoriques (figure 5)

Equation de la loxodromie:

$$Ga - Gd = -\left[(180°/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi a/2) - (180°/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi d/2)\right]\tan Rf$$

Si nous appelons:

$$g = Ga - Gd$$
$$\Lambda a = (180/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi a/2)$$
$$\Lambda d = (180/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi d/2)$$
$$\lambda = \Lambda a - \Lambda d$$

cette équation n'est autre que la formule exacte de l'estime:

$$\boxed{g = -\lambda \tan Rf}$$

Tout comme pour le calcul n°2, nous connaissons les points de départ et d'arrivée D et A.

Cependant la distance loxodromique m qui les sépare est cette fois-ci supérieure à 300 milles.

De ce fait le calcul de l'angle de route loxodromique Rf s'effectue en utilisant la formule exacte de l'estime.
Toutefois, du fait de l'ambiguïté sur le signe de la tangente on utilise g et λ en valeur absolue. On obtient Rfq d'où Rf.

II. Etapes du calcul (planche 3)

① Formules utilisées:

$$\Lambda = \text{latitude croissante} = (180°/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi/2)$$
$$Rfq = \tan^{-1}|g/\lambda|$$
$$m = 60\ |l|/\cos Rfq \quad \text{ou } 60\ |g| \cos \varphi m/\sin Rfq$$

milles

② λ = différence en latitude croissante = $\Lambda a - \Lambda d$ avec:

$$\left.\begin{array}{l}\Lambda a = (180°/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi a/2)\\ \Lambda d = (180°/\pi)\ln\tan(45°+ \varphi d/2)\end{array}\right\}\text{ exprimés en ° et 3 décimales}$$

③ g = Ga - Gd exprimé en ° et 3 décimales

Remarque: si g > 180° ---> g = 360° - (Ga - Gd) et changer de signe.

④ l = $\varphi a - \varphi d$ exprimé en ° et 3 décimales

⑤ Calculer d'abord Rfq (à 3 décimales) puis m (voir calcul 2)
De Rfq on tire Rf.
Précision requise: . m au mille près
. Rf à 0,5° près.

Exemple -------->;

3. (Durée 10 minutes). — **Angle de route et distance loxodromiques entre deux points éloignés.**

On part du point de coordonnées $\varphi_D =$ 05° 40′ N, $G_D =$ 102° 56′ E pour aller par loxodromie au point de coordonnées $\varphi_A =$ 15° 37′ S, $G_A =$ 038° 25′ W.

Déterminer l'angle de route à prendre et la distance à parcourir.

Formules utilisées :

$\Lambda = \frac{180}{\pi} \ln \tan\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$; $R_{FQ} = \tan^{-1}\left|\frac{g}{\lambda}\right|$; $m = \frac{60\,|l|}{\cos Rfq}$

$\Lambda_A =$ − 15°,814

$- \Lambda_D =$ − 5°,675

$\lambda =$ − 21°,489 — $R_{FQ} =$ S 62°,540 W

$g =$ + 41°,350 — $R_F =$ 242°,5

$l =$ − 21°,283 — $m =$ 2769 milles

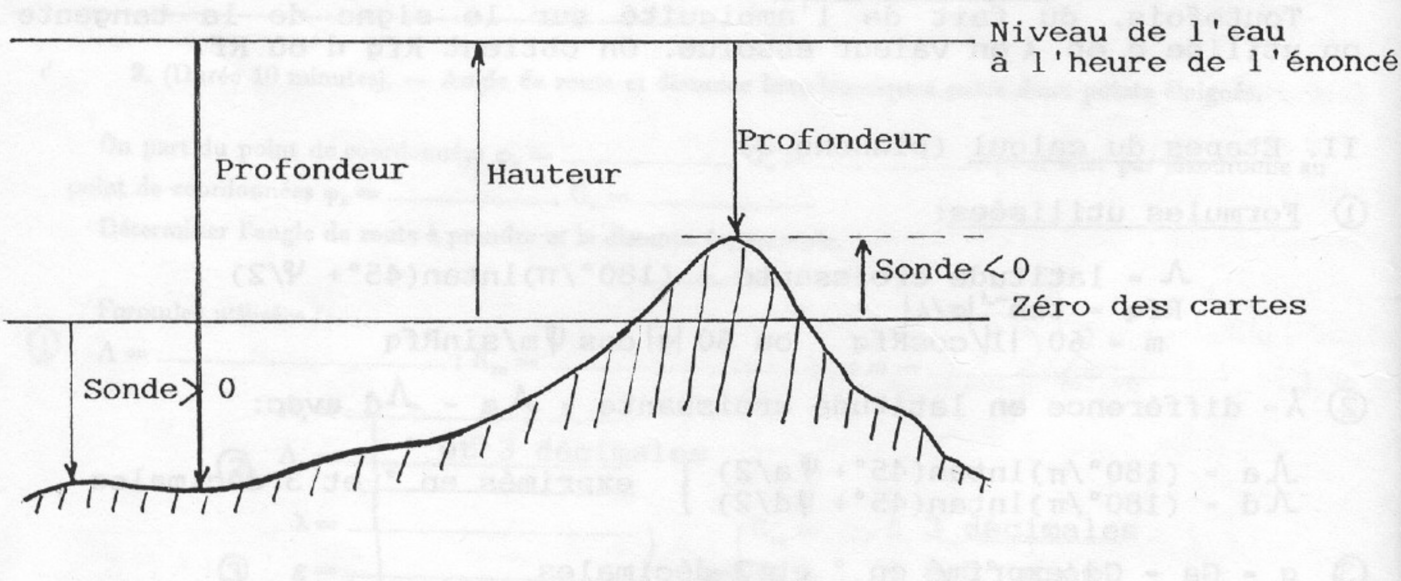


Figure 6

Calculs n°4 et 4bis

I. Principe de réduction d'une sonde (Figure 6)

Sonde = Profondeur - Hauteur (Algébriquement)

Pour "réduire" une sonde il faut connaître:

1) la profondeur, donnée par l'énoncé.
2) la hauteur (Hr) de l'eau pour l'heure de l'énoncé.

Ces calculs consistent donc essentiellement à calculer la hauteur d'eau (Hr). Le principe de ce calcul varie sensiblement suivant que l'on se trouve dans un port dit "principal" (calcul n°4 proprement dit), ou dans un port dit "rattaché" (calcul n°4bis).

II. Calcul n°4: Réduction d'une sonde (Ports principaux à l'exception du HAVRE et de SAINT-MALO)

Etapes du calcul et explications (planche 4)

1. Inscrire dans l'ordre chronologique, les heures de PM et de BM qui encadrent l'heure Tcp + 1h de l'énoncé.

2. Marnage: ma = HrPM (ou BM) - HrBM (ou PM)

3. t = intervalle de temps entre l'heure PM ou BM la plus proche de l'heure de l'énoncé et l'heure de l'énoncé:

t = Hre PM (ou BM) - Hre "Tcp + 1h"

4. Détermination du facteur f (figure 7)

a) Choix de la courbe type de marée

Il y a 4 courbes par port principal de référence. Le choix se fait en deux temps:

1°) Choisir les courbes de vive-eau (VE) ou de morte-eau (ME) suivant que l'on se trouve dans l'une ou l'autre période. Pour cela, le plus simple est de comparer la valeur du marnage calculé en 2 à celui indiqué pour les VE et les ME moyennes.

Remarque: on peut aussi choisir les courbes VE si le coefficient c du jour est $>$ 70 et les courbes ME si c est $<$ 70 (une table des coefficients de marée existe aux premières pages de l'annuaire).

2°) Choisir entre 2 courbes:
. l'une tracée avec pour instant origine l'heure de PM.
. l'autre tracée avec pour instant origine l'heure de BM.
Prendre celle dont l'instant origine est le plus proche de l'heure Tcp + 1h.

b) Détermination proprement dite de f

f exprime le rapport de la variation de hauteur sur le marnage:

$$f = \Delta Hr/ma$$

Par conséquent: $0 < f < 1$. On s'arrête à 2 chiffres significatifs après la virgule.

f est donné directement grâce à la courbe (figure 7: f = 0,74 pour t = -2h30 sur courbe PMVE moyenne). On entre avec:

- -t = intervalle de temps t avant PM (ou BM)
- ou +t = intervalle de temps t après PM (ou BM)

Remarque: si ma = 0,5x(ma VE moyenne + ma ME moyenne), ou encore, si c = 70 (coefficient de marée moyenne), on détermine le f(VE) sur la courbe VE, le f(ME) puis: f = 0,5x(f(VE)+f(ME)), ou encore on peut, dans la pratique, se contenter de prendre le f donné par la courbe VE (cf explications annuaire)

⑤ Hr = Hr BM + Δ Hr

a) la correction ΔHr à apporter à la BM pour avoir la hauteur de l'eau Hr à l'heure Tcp + 1h est de la forme:

$$\Delta Hr = f \times ma$$

b) f exprime le rapport de la variation de hauteur Δ Hr comptée à partir de la BM au marnage. Par conséquent il faut toujours ajouter la correction ΔHr à la hauteur BM pour avoir Hr.

Remarque: ainsi f = 1,00 correspond à la PM et f = 0 à la BM.

⑥ Sonde = Profondeur - Hauteur, algébriquement. On indique une sonde négative en soulignant sa valeur conformément aux indications d'une carte marine française.

Exemple:

4. (Durée 10 minutes). — **Réduction d'une sonde**
(Ports principaux à l'exception du HAVRE et de SAINT-MALO.)

...25 Août 1992 à T_{cr} + 1 h = 18h45, dans les environs du port de Bordeaux, on a sondé et ...é comme profondeur 10,3 m. Quelle sonde faut-il chercher sur la carte?

...e P M = 17h04 le 25	Hr P M = 4,95	Hr BM = 0,20
...e B M = 0h44 le 26	Hr B M = 0,20	+ΔHr = 3,55
...e P M = 17h04	ma = 4,75	Hauteur = 3,75
...+1 = 18h45		-Profondeur = 10,30
... -1h41		Sonde = 6,55 = 6,60
...ur f = 0,75		

Voir Document annexe III pour f, et document annexe IV pour les Hres et Hrs

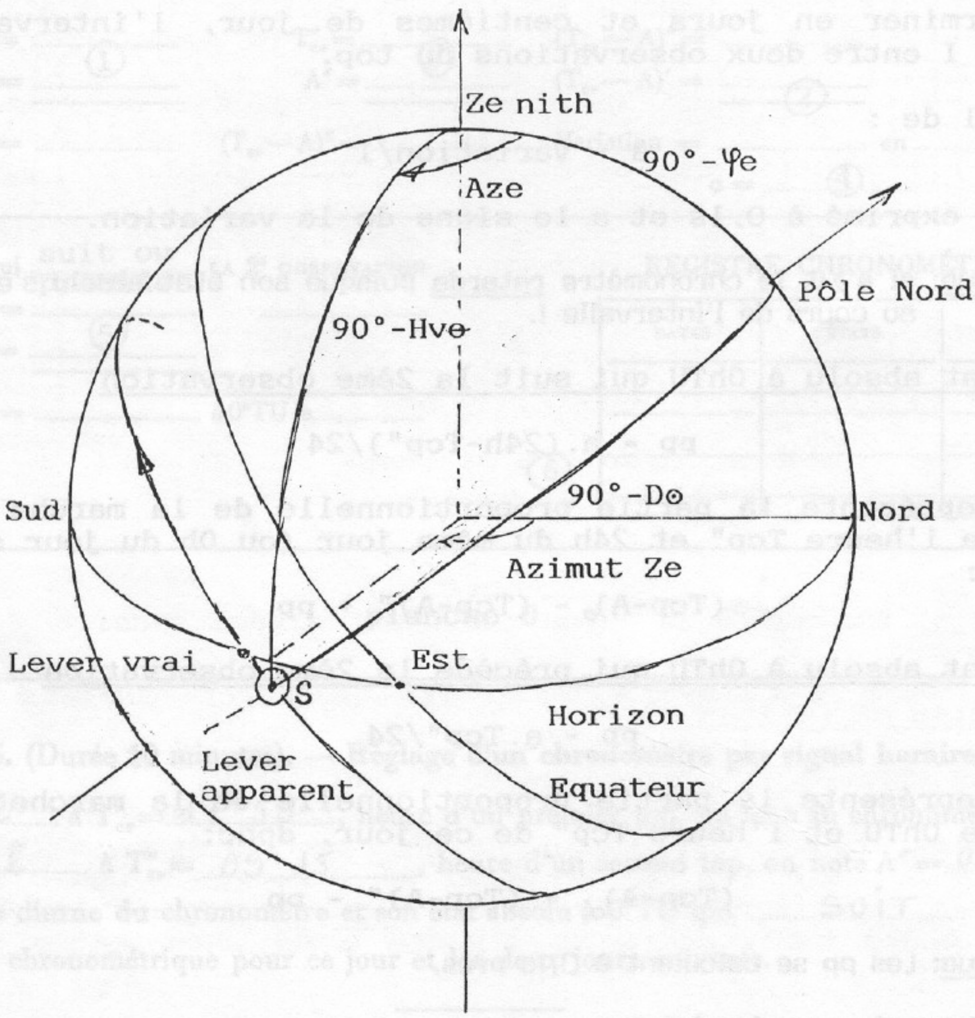

Ze nith
90°-φe
Aze
Pôle Nord
90°-Hve
90°-Do
Sud
Nord
Azimut Ze
Lever vrai
Est
S
Horizon
Lever apparent
Equateur

Figure 14

Calcul n°7: Réglage du compas au lever ou coucher (vrai ou apparent) du soleil.

I. Rappels (figure 14)

Dans le triangle de position PnZeS, on considère la formule fondamentale et les éléments:

. φe: donné par l'énoncé.
. $D\odot$: donné par les éphémérides nautiques.
. $Hv\odot$: à connaître.
. Aze: angle au zénith à calculer.

On a:

$$\mathrm{Cos}(90°-D\odot)=\mathrm{Cos}(90°-\varphi e)\mathrm{Cos}(90°-Hv\odot)+\mathrm{Sin}(90°-\varphi e)\mathrm{Sin}(90°-Hv\odot)\mathrm{CosAze}$$

et:

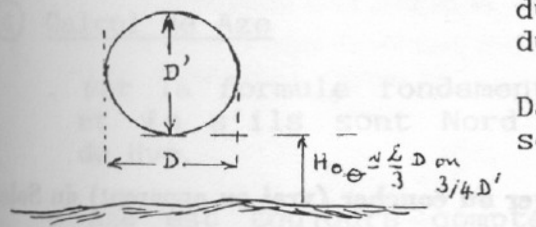
$$\mathrm{SinD}\odot = \mathrm{Sin}\varphi e\mathrm{SinHv}\odot + \mathrm{Cos}\varphi e\mathrm{CosHv}\odot\mathrm{CosAze}$$

d'où:

$$\mathrm{CosAze} = (\mathrm{SinD}\odot-\mathrm{Sin}\varphi e\mathrm{SinHv}\odot)/\mathrm{Cos}\varphi e\mathrm{CosHv}\odot$$

1er cas: lever vrai ou coucher vrai:

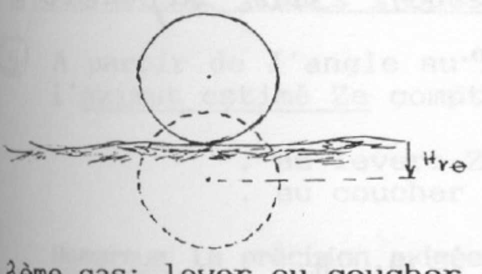
Il s'agit de calculer l'angle au zénith au moment du passage du centre du soleil à l'horizon. Pour un observateur à 12 mètres au dessus du niveau de l'eau la hauteur du bord inférieur lui apparaît au dessus de l'horizon à une hauteur observée ≅ 2/3 du diamètre horizontal D ou 3/4 du diamètre vertical D'.



Dans ce cas Hvo = 0° et la formule se réduit à l'expression:

$$\mathrm{CosAze} = \mathrm{SinD}\odot/\mathrm{Cos}\ \varphi e$$

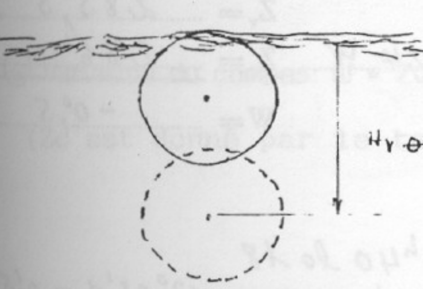
2ème cas: lever ou coucher apparent du bord inférieur



Pour un observateur à 12 mètres au dessus du niveau de l'eau, le soleil a son centre à une hauteur de 25' sous l'horizon lorsque le bord inférieur est tangent à l'horizon, d'où:

$$Hv\odot = -25' \cong -0,5°$$

3ème cas: lever ou coucher apparent du bord supérieur



Dans ce cas, toujours pour un observateur à 12 mètres au dessus du niveau de l'eau, lorsque celui-ci aperçoit le bord supérieur tangent à l'horizon, en réalité le centre se trouve à 55' sous l'horizon, d'où:

$$Hv\odot = -55' \cong -1°$$

Dans les 2ème et 3ème cas appliquer directement la formule fondamentale en adoptant les valeurs algébriques pour $D\odot$, φe et $Hv\odot$, avec $Hv\odot$ = -0,5° ou -1° suivant le bord observé.

7. (Durée 10 minutes). — **Réglage du compas au lever ou coucher (vrai ou apparent) du Soleil.**

Le ...., le point estimé ayant pour coordonnées

φ_E = ..., G_E = ..., on a relevé le Soleil

au compas au moment du .... et obtenu

Z_c = ... Calculer la variation.

Calcul de $Z_E \simeq Z_v$

Formule utilisée :

A_{ZE} = ... 1 ....

D à vue = ... 2 ....

φ_E = ...

Valeur approchée de H_v ⊖ = ... 3 ....

A_{ZE} = ... 4 ....

en ° et 3 décimales

Z_v = ... 5 ....

Z_c = ...

W = ... 6 ....

à 0,5° près

planche 9

Exemple:

7. (Durée 10 minutes). — **Réglage du compas au lever ou coucher (vrai ou apparent) du Soleil.**

Le 17 Août 1992, le point estimé ayant pour coordon[nées]

φ_E = 27° 35′ N, G_E = 151° 42′ W, on a relevé le S[oleil]

au compas au moment du Coucher apparent du bord supérieur et obt[enu]

Z_c = 286°. Calculer la variation.

Calcul de $Z_E \simeq Z_v$

Formule utilisée :

$A_{ZE} = \cos^{-1} \dfrac{\sin D - \sin\varphi \sin H_v}{\cos\varphi \cos H_v}$

D à vue * = +13°,027

φ_E = +27°,583

Valeur approchée de H_v ⊖ = −1°

A_{ZE} = 74°,724 W

Z_v = 285°,5

Z_c = 286°

W = −0°,5

* $T_{cg} = 18^h33$ $T_{cp} = 18^h33 + 10^h07 = 4^h40$ le 18

$\rightarrow D_\odot = 13°02',1 - 0',5$

$D_\odot = 13°01',6_N = +13°,02[7]$

Document annexe: VIII bis

II. Etapes du calcul et explications (planche 9)

① Formule utilisée: $\boxed{Aze = Cos^{-1}[(SinD - Sin\varphi e SinHv\ominus)/Cos\varphi e CosHv\ominus]}$

② D⊙ à vue

Prendre la valeur de D⊙ pour l'heure Tcp correspondant à l'instant de l'observation:

$$Tcp = Tcg + G_e \ (G_e \text{Ouest} > 0,\ G_e \text{Est} < 0).$$

Tcg est lu (interpoler à vue) pour la latitude φe, dans les éphémérides nautiques colonne "Lever" ou "coucher" du soleil. (Attention au changement possible de date).

Remarque: Si on observe un coucher (ou lever) et que les E.N. donnent le lever (ou coucher), prendre les heures du jour précédent et du jour suivant puis faire la moyenne.

③ Valeur approchée de Hv⊖

. Lever et coucher vrai ---> Hv⊖ = 0°

. Lever et coucher apparent: . du bord supérieur: Hv⊖ = -1°
. du bord inférieur: Hv⊖ = -0,5°

④ Calcul de Aze

. par la formule fondamentale, avec les signes + ou - à D⊙ et φe s'ils sont Nord ou Sud, et les valeurs ci-dessus de Hv⊖.

. Aze est toujours compté du Nord. Il est donc compté de 0° à 180° ($0 \leqslant Aze \leqslant 180°$):

. vers l'Est s'il s'agit d'un lever.
. vers l'Ouest s'il s'agit d'un coucher.

⑤ A partir de l'angle au zénith estimé obtenu Aze, on détermine l'azimut estimé Ze compté de 0° à 360°:

. au lever: Ze = Aze
. au coucher Ze = 360°-Aze.

Remarque: La précision exigée étant du 0,5°, on se contente, dans la réalité de confondre l'azimut estimé Ze (obtenu à partir de la position estimée) et l'azimut vrai Zv: ---> Ze ≅ Zv

⑥ Variation du compas: W = Zv - Zc (algébriquement)

(Zc est donné par le texte)

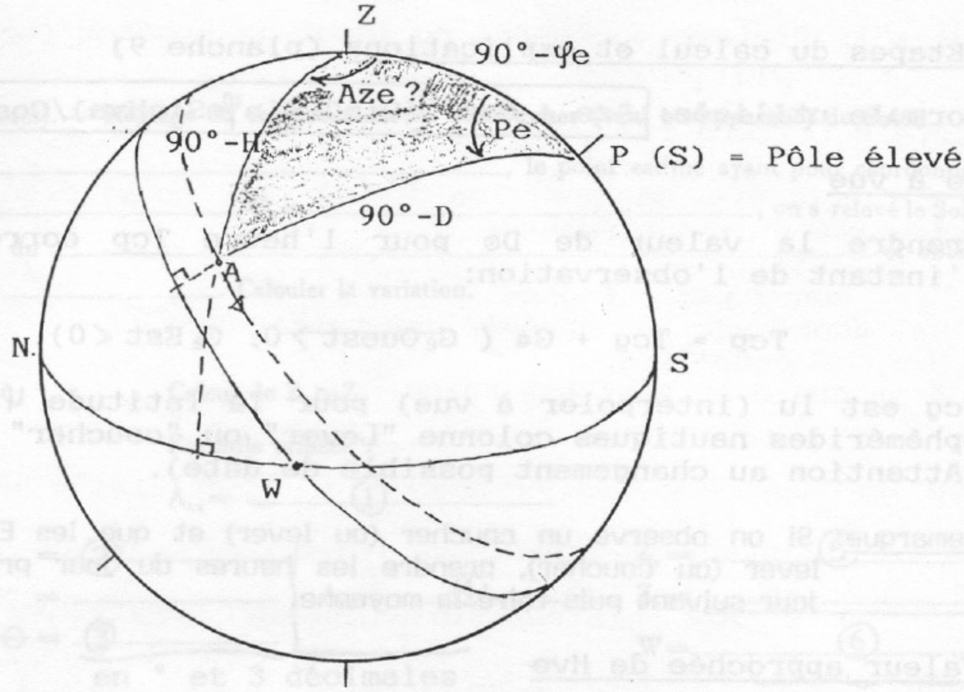


Figure 15

8. (Durée 10 minutes). — Azimut et variation par l'heure du lieu, astre quelconque.

Le .... à T_{cr} = ..., le point estimé ayant pour coordonnées φ_E = ... G_E = ...; on a relevé .... au .... du compas. Déterminer la variation

T_{cr} = ... le	$\mathcal{A}_o$ = ...	D_o = ...
f = ... (1)	$\Delta\mathcal{A}$ = ...	ΔD = ... (3)
T_{cr} = ... le	$\mathcal{A}_r$ = ...	D = ...
	G_E = ... (2)	
	Astres errants $\mathcal{A}_{cE}$ = ... P_E = ... a)	
	$\mathcal{N}_A$ = ...	
	Étoiles $\mathcal{A}_{AGE}$ = ... P_E = ... b)	

CALCUL DE $Z_e \simeq Z_v$

Formule utilisée : A_{ZE} = ... (4)

En ° et 3 décimales

φ_E = ...
D = ...
P_E = ...

A_{ZE} = ...

à 0,5° près

Z_v = ...
Z_c = ... (5)
W = ...

planche 10

Calcul n°8: Azimut et variation par l'heure du lieu, astres quelconques.

I. Rappels: (figure 15)

Il s'agit de résoudre le triangle de position PZA où :

. φe est donné par le texte.
. D est donné par les E.N.
. Pe est déterminé grâce à la connaissance de:
1°) L'heure d'observation : Tcf -----► Tcp = Tcf + f
2°) L'angle horaire de l'astre observé, où l'on distingue deux cas:

a) Astres errants: AHap est donné dans les E.N. pour l'heure Tcp.

b) Etoiles: Les E.N. donnent la valeur de l'angle horaire sidéral AHsp pour l'heure Tcp. On a ensuite:

AHap = AHsp + AVa

avec Ava = Ascension verse donnée par les E.N.

Il convient ensuite de déterminer l'angle horaire local de l'astre, errant ou fixe, par:

AHage = AHap - Ge

On a enfin l'angle au pôle Pe par:

Pe = AHage si l'astre est dans l'Ouest (AHage < 180°)
Pe = 360°-AHage si l'astre est dans l'Est (AHage > 180°)

Pour le calcul de l'angle au zénith estimé Aze, on emploie la formule des cotangentes (ou des 4 éléments consécutifs):

$\mathrm{Cot}(90°-D)\mathrm{Sin}(90°-\varphi e) - \mathrm{CotAzeSinPe} = \mathrm{Cos}(90°-\varphi e)\mathrm{CosPe}$, soit:

$\mathrm{TanDCos}\varphi e - \mathrm{CotAzeSinPe} = \mathrm{Sin}\varphi e\mathrm{CosPe}$, et:

$$\mathrm{CotAze} = (\mathrm{TanDCos}\varphi e - \mathrm{Sin}\varphi e\mathrm{CosPe})/\mathrm{sinPe}$$

II. Etapes du calcul et explications (planche 10)

1 Tcp = Tcf + f où f = n°international du fuseau (notation algébrique). Voir Table XVII des E.N.

Remarque: f = entier de $|(Ge+7,5°)/15°|$; + si G est Ouest, - si G est Est.

2 Détermination de Pe

a) Cas des astres errants (☉, ☾, planètes)

Supposons que l'on ait observé la lune (☾):

8. (Durée 10 minutes). — **Azimut et variation par l'heure du lieu, astre quelconque.**

Le 17 Août 92 à T_{cf} = 23h40, le point estimé ayant pour coordonnées φ_E = 10°32' ; G_E = 30°42' W, on a relevé la lune au 086°,5 du compas. Déterminer la variati

T_{cf} = 23h40 le 17	AH_o = 328°45',4	D_o = 10°48',1 N
+ f = +2h	+ ΔAH = 9°42',4	+ΔD = +7',4
T_{cf} = 01h40 le 18	AH_p = 338°27',8	D = 10°55',5 N
	− G_E = −30°42'	
	Astres errants $AH_{\varphi OE}$ = 307°45',8 P_E = 52°,237 E	
	$\mathcal{V}_A$ = ~~—~~	
	Étoiles AH_{AGE} = ~~—~~ P_E = ~~—~~	

CALCUL DE $Z_E \cong Z_v$

Formule utilisée : $A_{ZE} = \cot^{-1} \dfrac{\tan D \cos \varphi_e - \cos P_e \sin \varphi_e}{\sin P_e}$

φ_E = +10°,533
D = +10°,925
P_E = 52°,237 E

A_{ZE} = N 84°,5 E

Z_v = 084°,5
$- Z_c$ = 086°,5
W = −2°

Exemple

Document annexe VIII bis
Nota: pour les calculs de ΔAH, ppd et ppv : interpoler directement (pas de T.I.G en annexe).

$AH_{☾}p = AH_{☾}o + \Delta AH$, avec:

. $AH_{☾}o$ = E.N. pour l'heure ronde Tco précédent Tcp.

. ΔAH = PP (Partie Principale) + ppv (partie proportionnelle pour v).

. PP: pages jaunes des E.N. pour le nombre de minutes et secondes de Tcp ---> colonne ☾ dans cet exemple.

. ppv: v est donné tous les jours dans les E.N. pour le lune et les planètes. La pp pour v (v est une variation horaire) est donnée dans les pages jaunes pour le nombre de minutes de Tcp.

Remarque: Attention au signe de v♀ (v de Vénus) qui est parfois <0 au moment de la rétrogradation de Vénus (planète inférieure).

On peut aussi déterminer ΔAH par interpolation directe (commode avec une calculatrice) sans avoir recours aux pages jaunes d'interpolation des E.N.

On a enfin: $AH_{☾}ge = AH_{☾}p - Ge$ (algébriquement).

b) Cas des étoiles

$AHsp = AHso + \Delta AH$ avec:

. AHso lu dans les E.N. pour Tco (heure ronde précédent Tcp), colonne "point vernal".

. ΔAH: interpoler pour les minutes et secondes de Tcp, soit directement soit dans les pages jaunes (colonne "point vernal").

Puis AHsge = AHsp - Ge (Algébriquement) et:

AHage = AHsge + AVa avec:

AVa : lu dans les E.N. dans la table des coordonnée polaires des étoiles.

c) Pe = AHage si AHage < 180° et on donne à Pe le nom W
Pe = 360°-AHage si AHage > 180° et on donne à Pe le nom E

③ Détermination de la Déclinaison D

$D = Do + \Delta D$ (algébriquement), avec:

. ΔD = variation de la déclinaison (uniquement pour les astres errants) entre Tco et Tcp --> Entrer dans les tables jaunes des E.N. , colonne d, et pour le nombre de minutes de Tcp (d= variation horaire de D donnée tous les jours dans les E.N.), ou interpoler directement.

④ Formule utilisée:

$$\boxed{Aze = Cot^{-1}\left[(TanDCos\varphi e - CosPeSin\varphi e)/sinPe\right]}$$

. $-90° \leq Aze \leq 90°$

. Appliquer à D et φe les signes + ou - suivant leurs noms N ou S

. Entrer Pe en valeur absolue
. Si Aze est positif ou négatif lui donner les noms respectifs N ou S, et les noms E ou W de Pe.

5 A partir de Aze on tire Zv (compté de 0° à 360°) puis la variation W = Zv -Zc.

Calcul n°9: Latitude et variation par la Polaire

I. Rappels (Figure 16)

1°) Hauteur et latitude

On voit aisément sur la figure que:

$$Hv - \Delta < \varphi < Hv + \Delta$$

On peut donc obtenir φ par une correction x apportée à Hv. On démontre (Cf cours) que :

$$\varphi = Hv \pm x, \text{ avec:}$$

$$\boxed{x = -\Delta m^{(')} Cos(AHsg-ARm) - (\Delta - \Delta m)^{(')} Cos(AHsg-ARm) + \Delta m^{(')} Sin(AHsg-ARm).\frac{(ARm-ARa)^{(')}}{3438} + \frac{\Delta m^2 . Tan\varphi^{(')} Sin^2(AHsg-ARm)}{2x3438}}$$

et où:

. Δm = distance polaire moyenne.
. ARm = Ascension droite moyenne.

} de la Polaire

Ainsi:

Table A = $-\Delta m Cos(AHsg-ARm)$.
Table B = $(\Delta - \Delta m) Cos(AHsg-ARm) + \Delta m Sin(AHsg-ARm).\frac{(ARm-ARa)}{3438}$
Table C = $+\frac{\Delta m^2}{2.3438}.Tan\varphi Sin^2(AHsg-ARm)$

} des E.N.

2°) Azimut

Comme la distance polaire Δ est toujours faible (≅ 55'), Zv est aussi toujours faible si la latitude (évidemment Nord) de l'observateur n'est pas trop grande (ce qui est le cas dans les zones de navigation courante).

La formule générale permettant de calculer Zv se simplifie et l'on obtient (Cf cours):

$$Z° \cong \Delta°. SinPe/Cos\varphi e$$

Cette formule est utilisée pour établir la table des E.N. donnant Z en fonction de AHsg (ou AHag)

II. Etapes du calcul et explications (planche 11)

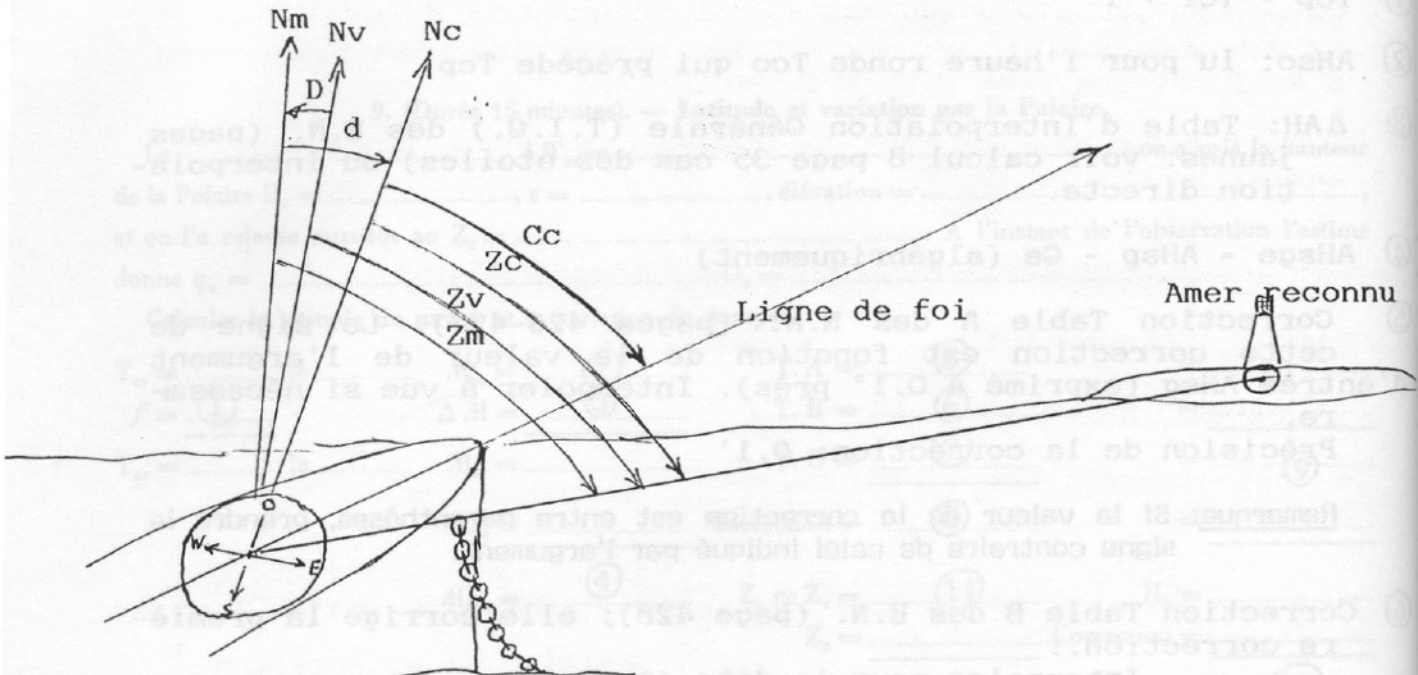


Figure 17

10. (Durée 20 minutes). — **Régulation du compas par point terrestre éloigné.**

En effectuant un tour d'horizon, on a fait, au compas de relèvement, les observations ci-contre d'un point dont le relèvement vrai est $Z_v =$ ....

La déclinaison magnétique est $D =$ .... Dresser le tableau des déviations et construire, au dos de la feuille, la courbe des déviations en fonction du cap au compas pour le secteur décrit ; en déduire les déviations au .... du compas et au .... magnétique.

C_c	Z_c
....	....
....	....
....	....
....	....
....	....
....	....
....	....

TABLEAU DES DÉVIATIONS

	Z_c	d	C_c	C_c	d	C_M
$Z_v =$	....	....	....	....	....	....
$D =$ 1	....	....	....	....	....	....
$Z_M =$	....	2	....	....	....	3
	....	....	....	....	....	....
	....	....	....	....	....	....

Déviations demandées { $d =$ .... au .... du compas.
$d =$ ...... 5 ...... au .... magnétique.

planche 12

Calcul n°10: Régulation du compas par point terrestre éloigné.

I. But et pratique de l'opération (figure 17)

Régler un compas magnétique consiste à se donner les moyens de connaître sa déviation d pour un cap au compas magnétique Cc quelconque.

Pour cela l'utilisateur dresse:
1°) Un tableau de déviations.
2°) Une courbe de déviations

en fonction des caps compas (Cc) et caps magnétiques (Cm) pour le tableau et des caps compas seuls pour la courbe.

Pratiquement l'opération consiste, pour un Cc donné:
1°) à relever un point connu sur la carte, d'où l'obtention du relèvement compas Zc de ce point (Amer remarquable).
2°) la position de ce point étant connue, ainsi que la déclinaison magnétique D (lue sur la carte marine), on peut alors:
. Calculer Zm (relèvement magnétique): Zm = Zv-D.
(Zv est lu sur la carte)
. Calculer d par: d = Zm - Zc

II. Etapes du calcul et explications (planche 12)

① On a algébriquement: Zm = Zv - D en comptant:

. D positif s'il est Est (ou NE)
. D négatif s'il est Ouest (ou NW)

② Algébriquement: d = Zm - Zc

Remarques: Zm et Zc sont comptés de 0° à 360° dans le sens rétrograde.

③ On a: Cm = Cc + d (algébriquement).

④ Tracé de la courbe en fonction des Cc:

a) Tracer une courbe d'allure régulière où les changements de pente s'effectuent de façon la plus progressive possible,et passant par tous les points.

b) Cette courbe est tracée:

. en coordonnées rectangulaires
. en fonction des Cc (axe des abscisses).
. en fonction de la déviation d (axe des ordonnées).
. pour le secteur décrit dans le texte (en général sur 360°)

c) Adopter une unité convenable sur chaque axe (1 carreau pour 10° en abscisse, 1 ou 2 carreaux par ° en ordonnée).

⑤ Lecture des résultats:

d? au Cc: lire directement sa valeur sur la courbe tracée.
d? au Cm:
. soit tracer une portion de la courbe de d=f(Cm)

. Soit par approximations successives.
. Soit par tracé d'une droite de pente -y/x } (Cf Calcul 2 p.8,9)

Voir exemple

↓

10. (Durée 20 minutes). — **Régulation du compas par point terrestre éloigné.**

En effectuant un tour d'horizon, on a fait, au compas de relèvement, les observations ci-contre d'un point dont le relèvement vrai est Z_v = 062°.

La déclinaison magnétique est D = 11° NE. Dresser le tableau des déviations et construire, au dos de la feuille, la courbe des déviations en fonction du cap au compas pour le secteur décrit; en déduire les déviations au 155° du compas et au 346° magnétique.

C_c	Z_c
044°	049°,5
092°	045°
135°	046°
178°	051°
224°	055°
273°	054°,5
316°	056°,5
000°	054°

Z_v = 062°
D = − 11°
Z_M = 051°

TABLEAU DES DÉVIATIONS

Z_c	d	C_c	d	C_M
049°,5	+1°,5	044°	+1°,5	045°,5
045°	+ 6°	092°	+6°	098°
046°	+ 5°	135°	+ 5°	140°
051°	0°	178°	0°	178°
055°	− 4°	224°	−4°	220°
054°,5	−3°,5	273°	−3°,5	269°,5
056°,5	−5°,5	316°	−5°,5	310°,5
054°	−3°	000°	−3°	357°

Déviations demandées { d = +2°,5 au 155° du compas.
d = −3°,5 au 346° magnétique.

<------------- COURBE

Calcul n°14: Point par deux hauteurs d'astres quelconques

I. Rappels (figure 21)

Considérons sur la sphère terrestre la projection A de l'astre observé.

Soit Hv la hauteur vraie de A au dessus de l'horizon et obtenue grâce à la hauteur instrumentale Hi observée au sextant à l'instant Tcp obtenue par la lecture du chronomètre à la seconde près.

Tcp permet d'obtenir l'angle horaire de A au premier méridien AHap et les E.N. donnent la distance polaire ($\Delta = 90°-D$).

La position Z du zénith de l'observateur se trouve quelque part sur le petit cercle ayant A pour pôle et 90°-Hv pour rayon sphérique (C'est le lieu géométrique de tous les observateurs observant la même étoile au même instant à la même hauteur).

Ce petit cercle, lieu géométrique du navire est appelé cercle de hauteur relatif à l'astre A.

Sur la carte, l'image du cercle de hauteur est une courbe de hauteur (cc') (figure 22)

Comme l'estime nous permet d'avoir une position approchée Ze voisine de la position exacte cherchée et qui, elle, est quelque part sur la portion cc' de la courbe de hauteur voisine de Ze, on pourra, sans erreur appréciable si Ze n'est pas trop éloignée de Z (c'est à dire si Z est inclus dans les limites de l'incertitude de l'estime), remplacer le tracé de la courbe (tracé qui serait malcommode) par le tracé d'une droite tt' tangente à la courbe cc' au point Z' ici le plus proche de Ze (le choix de Z'est purement arbitraire et obéit à des critères que nous verrons plus loin).

Z' est appelé point déterminatif de la droite de hauteur tt', nom donné à cette tangente.

On peut donc, en se limitant à l'aire d'incertitude sur l'estime, remplacer la portion de courbe cc' par le segment de droite tt'.

Le problème consiste donc à tracer cette droite de hauteur, c'est à dire à trouver la position du point déterminatif Z' et l'orientation à donner à la droite.

N'importe quel point appartenant à la portion de courbe intérieure au cercle d'incertitude de l'estime peut être choisi. Trois principaux sont commodes à définir:

. le point d'intersection entre cc' et le méridien estimé.
. le point d'intersection entre cc' et le parallèle estimé.
. le point d'intersection entre cc' et le vertical estimé AZe, appelé point Marcq Saint Hilaire.

Cette dernière méthode, dite "du point rapproché", est utilisable dans tous les cas de figure, contrairement aux deux premières qui ne sont plus employées sauf cas particuliers.

Soit Z' le point déterminatif Marcq (figure 23)

Pour trouver Z' il faut calculer:

. $\widehat{ZeZ'}$

. la direction de ZeZ', c'est à dire l'angle au zénith vrai Zv, mais étant donné la précision requise (0,5°), on se contente de déterminer par le calcul l'angle au zénith estimé Aze, d'où Ze ≅ Zv.

Dans le triangle sphérique PAZe, les éléments connus sont:

. $\widehat{PZe} = 90° - e$

. $\widehat{PA} = \Delta$

. $\widehat{APZe} = Pe$ ---→ obtenu par l'heure d'observation Tcp; en effet:

$$AHage = Tcp + 12 + ARm - ARa - Ge$$

d'où Pe connaissant AHage.

Le calcul de Pe fait l'objet de la 1ère partie de ce calcul.

Le calcul de $\widehat{ZeZ'}$ passe par celui de $\widehat{AZe}$ puisque l'on a, algébriquement:

$$\widehat{ZeZ'} = \widehat{AZe} - \widehat{AZ}$$

avec: . $\widehat{AZ'} = 90°-Hv$: donné par l'observation de la hauteur.

. $\widehat{AZe} = 90°-He$: calculé directement (formule fondamentale):

$$\boxed{SinHe = Sin\varphi eSinD + Cos\varphi eCosDCosPe}$$

Ayant Hv et He on a bien la valeur de $\widehat{ZeZ'}$ par différence:

$$\widehat{ZeZ'} = (90°-He) - (90°-Hv) = Hv - He \quad \text{(Algébriquement)}$$

Hv-He est appelé <u>intercept</u>

<u>Remarque</u>: suivant la position de Ze par rapport à Z' on a:
. Ze à l'intérieur du cercle de hauteur: Hv < He --→ intercept < 0
. Ze à l'extérieur du cercle de hauteur: Hv > He --- intercept > 0

Il reste à connaître la direction ZeZ' grâce à laquelle nous aurons l'orientation de la droite de hauteur.

Il existe trois formules pour calculer l'angle au zénith estimé AZe d'où l'on déduit Ze:

① $\boxed{CotAze = (TanDCos\varphi e - Sin\varphi eCosPe)/SinPe}$ déja connue

② $\boxed{CosAze = (SinD - Sin\varphi eSinHe)/Cos\varphi eCosHe}$: tirée de la formule fondamentale D = f(φe,He,e), moins utilisée car elle utilise He, élément calculé (risque d'erreurs)

③ $\boxed{SinAze = SinPeCosD/CosHe}$: tirée de l'analogie des sinus, mais discréditée par l'ambiguïté de 180° (SinAze= Sin(180°-Aze)).

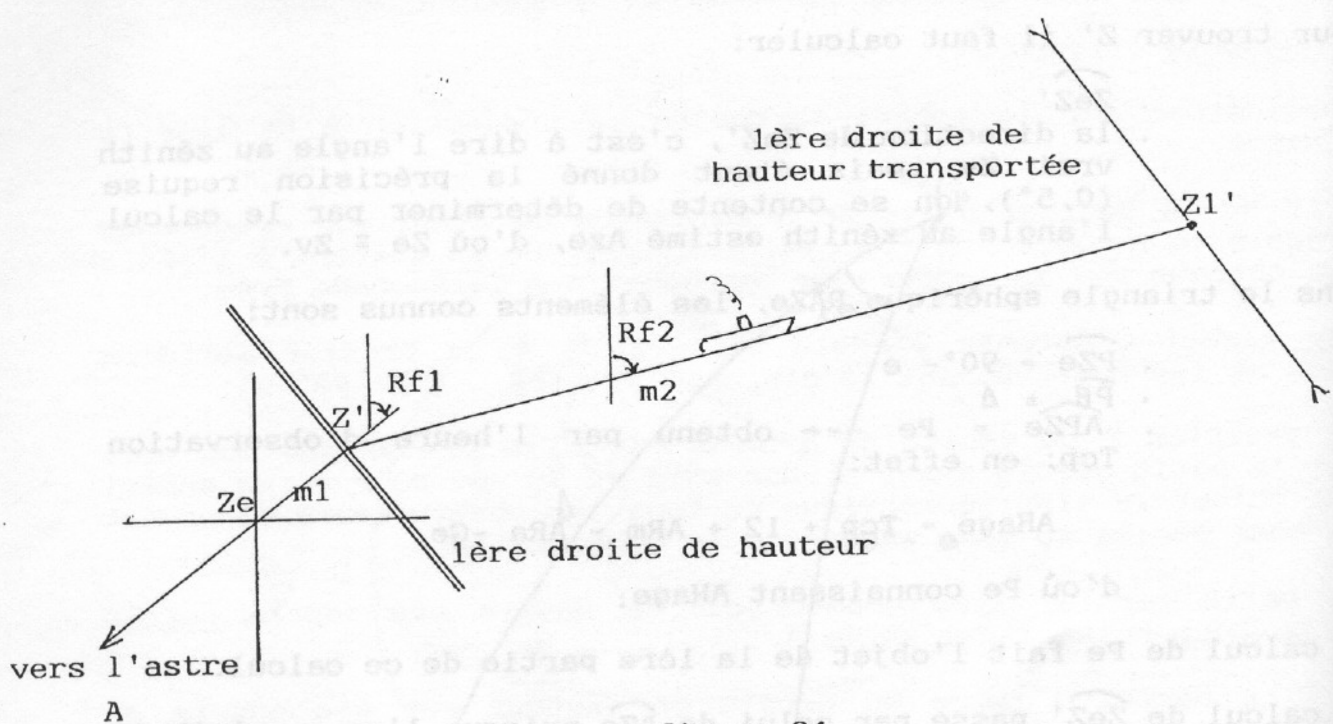


figure 24

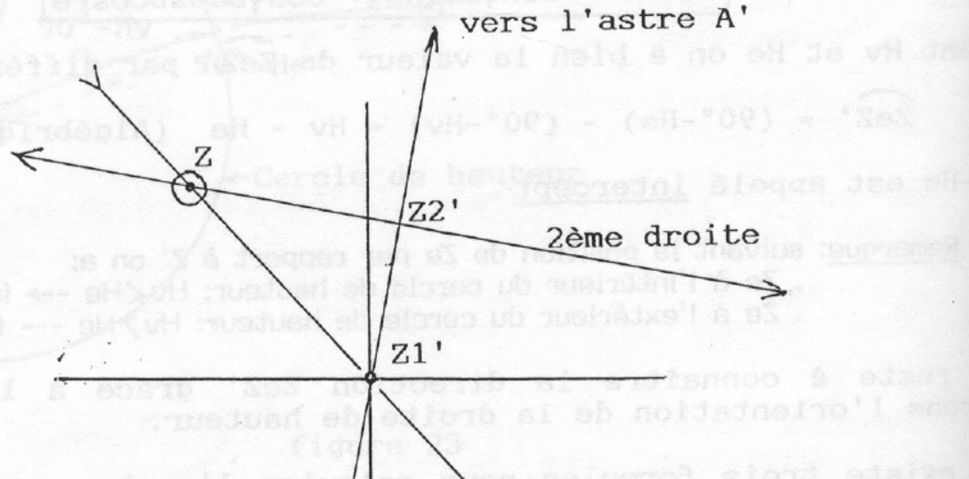


figure 25

Dans tous les cas utiliser de préférence la formule des cotangentes (n°1), déjà employée dans le calcul n°8.

Les calculs de Hv-He et de Ze font l'objet de la 2ème partie de ce calcul.

II. Principe du calcul

Le calcul nautique n°14 permet d'obtenir la position exacte du navire par l'intersection de deux droites de hauteur, c'est à dire de 2 lieux géométriques tels que définis plus haut, le 1er étant transporté pour l'heure de la 2ème observation.

Nous sommes donc amenés à calculer cette 2ème droite; le principe de calcul est identique à celui exposé pour la 1ère droite (laquelle fait l'objet des 1ère et 2ème partie du calcul: éléments de calcul de He, Calcul de Hv-He et Ze).
Cependant pour déterminer ses éléments (Hv-He)' et Ze', il faut connaître le nouveau point estimé Z1'(φ1', G1'), déduit du point ZE (φe, Ge) par 2 transports: (figure 24)

. Le 1er, suivant la distance $\overline{ZEZ'}$ dans la direction Rf1.
. Le 2ème, suivant la distance Z'Z1' parcourue par le navire suivant Rf2.

Tout se passe comme si le point Ze(φe, Ge) vient en Z1'(φ1', G1') en effectuant ces 2 parcours.

Remarques: ① dans l'exemple de la figure 24 on voit que m1 = Hv-He et que Rf1 = 180°+Ze (puisque Hv-He<0).

② Z1' n'est autre que le point déterminatif de la première droite transportée.

Ceci fait l'objet de la 3ème partie du calcul.

Les 4ème et 5ème partie du calcul sont consacrées à la détermination de la deuxième droite de hauteur.

La 6ème partie (figure 25) est consacrée à la détermination du point par le tracé précis de la 1ère droite transportée et de la 2ème droite.

Ces deux droites se coupent au point Z(φ, G) cherché.

III. Etapes du calcul et explications (planche 14)

① Tcpapp. = Tcf + f
Tcp: noter l'heure déduite du chronomètre (généralement à 0,5s près), heure qui sert à entrer dans les E.N.

Remarque: le calcul de Tcpapp.permet de lever éventuellement (si l'heure indiquée dans le texte l'exige) l'ambiguïté de 12h de la lecture du chronomètre, ainsi qu'à préciser, s'il y a lieu, le changement de date.

② Calcul de Pe et D: se reporter au calcul 8

Rappels pour Pe:

Planche 14

14. (Durée 60 minutes). — **Point par deux hauteurs d'astres quelconques.**

Le .... (date locale), vers T_{cr} = ..., on a pris, à l'instant où le chronomètre donne T_{cr} = ..., la hauteur (du bord ....) de ...., H_i = ..., ε = ..., élévation = ... mètres.

A l'instant de l'observation, le point estimé a pour coordonnées :

φ_E = ..., G_E = ...

Le navire faisant route au .... du compas, W = ..., dérive = ..., vitesse = ..., courant nul, vers T'_{cr} = ... le .... (date locale), on a pris, à l'instant où le chronomètre donne T'_{cr} = ..., la hauteur (du bord ....) de ...., H'_i = ..., même erreur, même élévation.

Déterminer le point à l'instant de la deuxième observation (graphique) dont on précisera l'heure T'_{cr}.

ÉLÉMENTS DU CALCUL DE H_E (1[re] observation)

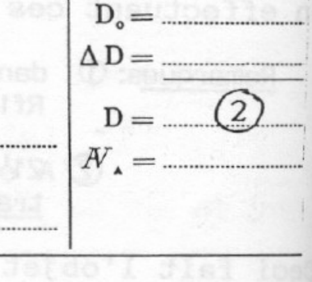
T_{cr} = ... le	$\mathcal{H}_0$ = ...	π_C = 3 et remarq
f = 1	$\Delta\mathcal{H}$ = ...	D_0 = ...
T_{cr} app. = ... le	$\mathcal{H}_P$ = ... 2	ΔD = ...
T_{cr} = 1 le	G_E = ...	D = 2
	ASTRES ERRANTS $\mathcal{H}_{OE}$ = ... P_E = ...	$\mathcal{V}_A$ = ...
	$+\mathcal{V}_A$ = ...	
	ÉTOILES $\mathcal{H}_{AOE}$ = ... P_E = ...	

CALCUL DE $H_v - H_E$ ET DE Z_E

Hi = ...	
ϵ = ...	
Ho = ...	Formules utilisées :
Corrections { = ...	H_E = 4 A_{ZE} = 5
=	
= .... remarque	φ_E = ...
H_v = 3	D = ° et 3 décim. { H_E = ...
H_E = ...	P_E = ... { Z_E = ... à .... 0,5°
$H_v - H_E$ = 6	

POINT DÉTERMINATIF Z ET DROITE DE HAUTEUR

Le point déterminatif Z' se trouve à Hv-He milles au Ze ou 180°-Ze de Z_E.



Posons Tcp = x(heures), y(minutes), z(secondes) :

a) Astres errants (☉, ☾, ♀, ♂, ♃, ♄)

AHage = AHao + ΔAH - Ge

- AHao : lu pour l'heure ronde x dans les feuilles journalières des E.N.
- Ge : + si W ; - si E
- ΔAH : Entrer dans les T.I.G. des E.N. avec y,z, colonne "soleil" pour le ☉ et les planètes, colonne "lune" pour la lune. Pour les ☾, ♃, ♄, ♂, ajouter la correction Δv, partie proportionnelle pour y de v ($\Delta AH = \Delta AH_{\odot\, ou\, ☾} + \Delta v$). Pour vénus on a: $\Delta AH_{♀} = \Delta AH_{\odot} \pm \Delta v$. — ou bien procéder par interpolation directe

b) Les étoiles

Ahage = AHso + ΔAH - Ge + AVa

- AHso : lu pour l'heure ronde x dans les feuilles journalières des E.N.
- ΔAH : Entrer dans la T.I.G col."Point vernal" avec y,z (ou interpoler directement)
- AVa : pris à vue dans les éphémérides des étoiles.

c) Rappelons en outre que:

Pe = AHage si l'astre est dans l'Ouest
Pe = 24h - AHage si l'astre est dans l'Est

3 Détermination de Hv

. Soleil: $Hv_{\odot} = Hi_{\odot} + \varepsilon + TVII$ (E.N.)

. Lune : $Hv_{☾} = \underbrace{Hi_{☾} + \varepsilon + (-da)}_{Har_{☾}} + TIX$ (2ème partie des E.N.)

Remarque: $Har_{☾}$ et $\pi_{☾}$ sont les 2 arguments d'entrée de la T.IX 2ème partie des E.N. La 1ère partie de cette table corrige uniquement de la dépression apparente de l'horizon (da) en fonction de l'élévation.

Ne pas oublier dans la table VII la 2ème correction fonction du bord observé.

. Etoiles et planètes: $Hv = Hi + \varepsilon - T.VIII$(E.N.)
(attention à la 2ème correction pour ♀ et ♂)

4 Détermination de He

Formule utilisée: $\boxed{He = Sin^{-1}[(Sin\varphi e SinD + Cos\varphi e CosDCosPe)]}$

Appliquer à φe et D les signes + ou - pour N ou S.
Pas de signe pour Pe (Le signe de CosPe est déterminé par la valeur de l'angle au pôle considéré en valeur absolue)

Exprimer φe, D et Pe en ° et 3 décimales.

5 Détermination de Ze

planche 14 (suite)

Coordonnées du point déterminatif transporté Z'_A

C_c = ... T'_{cr} = ... R_{r1} = ... 10 m_1 = ... 11 l_1 = ... 12 g_1 = ... 12

W = ... T_{cr} = ... R_{r2} = ... m_2 = ... l_2 = ... g_2 = ...

C_v = 8 t = 9 $\varphi_{m1} = \varphi e + l1/2$ l = ... g = ...

dér. = ... m_2 = ... $\varphi_{m2} = \varphi_1' - l2/2$ φ_E = ... G_E = ...

$R_{s2} = R_{r2}$ = ... algébriquement φ'_1 = ... G'_1 = ... 13

ÉLÉMENTS DU CALCUL DE H'_E (2[e] observation)

T'_{cr} = ... le ......

f = ...

T'_{cr} app. = ... le ......

T'_{cr} = 1 le ......

$A\!\!H'_o$ = ...

$\Delta A\!\!H'$ = ...

$A\!\!H'_r$ = ... 2

G'_1 = ...

Astres errants $A\!\!H'_{oE}$ = ... P'_E = ...

$A\!\!V'_A$ = ...

Étoiles $A\!\!H'_{AGE}$ = ... P'_E = ...

π_C = 3

D' = ...

ΔD = ...

D' = 2

$A\!\!V'_A$ = ...

CALCUL DE H'_v — H'_E ET DE Z'_E

= ......

= ......

= ......

= ......

= ......

= ......

H'_v = 3

H'_E = ...

$H'_v - H'_E$ = 14

Formules utilisées :

H'_E = 4 A'_{ZE} = 5

φ'_1 = ...

D' = ... H'_E = ...

P'_E = ... Z'_E = ... 14

DÉTERMINATION GRAPHIQUE DES COORDONNÉES DU POINT

φ'_1 = ... G'_1 = ...

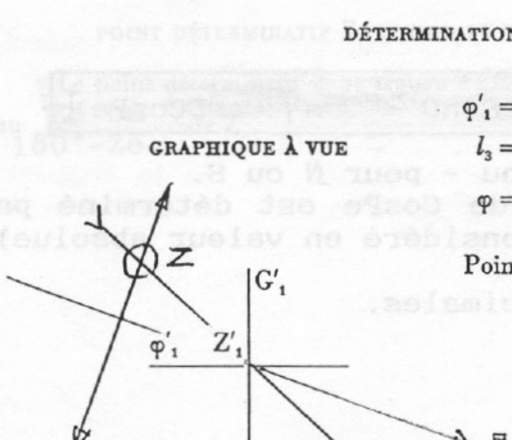
GRAPHIQUE À VUE

l_3 = ... g_3 = ...

φ = ... G = ...

15 15

Point à T'_{cr} = ... le ...... φ = ... G = ...



a) Par la formule des cotangentes (recommandée, cf calcul 8)

b) Par la formule fondamentale:

$$\boxed{Aze = Cos^{-1}\left[(SinD - Sin\varphi eSinHe)/Cos\varphi eCosHe\right]}\ :$$

. $0 \leq Aze \leq 180°$ vers l'Est ou l'Ouest suivant le signe E ou W de Pe.

. Appliquer les règles de signe pour φe et D (He est toujours positif), et Pe en valeur absolue.

c) Par l'analogie des sinus:

$$\boxed{Aze = Sin^{-1}\left[SinPeCosD/CosHe\right]}$$

. Résultat toujours > 0 d'où ambiguïté sur la valeur de l'angle (Aze ou 180°-Aze). Pour lever cette indétermination il faut se souvenir des règles suivantes:

→ D et φ de nom contraire → Aze du nom de D.
→ D et φ de même signe: . $D > \varphi$ → Aze du nom de D (ou de φ)
. $D < \varphi$ → calculer $SinHo = SinD/Sin\varphi$:
Si $SinHe < SinHo$ → Aze du nom de D
Si $SinHe > SinHo$ → Aze de nom contraire à D.

. Enfin Aze est du nom E ou W de Pe.

6 Hv-He → algébriquement

7 <u>Point déterminatif Z' et droite de hauteur</u>

. le nombre de milles est celui de minutes de degré et dixièmes de Hv-He.
. la direction par rapport au point Ze (φe,Ge) est celle de la direction azimutale de l'astre si $Hv-He > 0$; la direction opposée (comptée de 0° à 360°) si $Hv-He < 0$.

8 Rs2 = Rf2 = Cc + W + dérive (vent)
↓
courant nul

9 t = Tcp' - Tcp = intervalle de temps entre les 2 observations, nécessaire à la détermination des éléments du transport de la 1ère droite observée.

10 Rf1 = direction définie en 7
Rf2 = direction déterminée en 8

11 m1 = nombre de milles défini en 7 } précision: 0,1 mille
m2 = V.t (V = vitesse du navire) }

12 l1, l2, g1, g2 : calcul d'estime (voir calcul 2)

13 $\varphi 1' = \varphi e + l1 + l2$ } Algébriquement
$G1' = Ge + g1 + g2$ }

<u>Remarque</u>: il est commode de conserver les résultats en ° et 3 décimales et de rajouter les résultats en sexagésimales.

(14) Hv' - He' ; Ze' calculés à partir du point Z1'(φ1',G1') voir de (2) à (6)

(15) <u>Détermination graphique des coordonnées du point</u> (figures planche 14)

On procède d'abord par un graphique tracé "à vue" (mais proprement) destiné au "cadrage" du graphique exact à tracer.

Ce graphique à vue donne une première idée de la position du point Z (φ,G) exact cherché par rapport au point Z1'(φ1',G1').

Par exemple (voir planche), Z sera dans le quadrant NW de l'horizon. On s'arrangera donc pour décaler Z1' dans le quadrant SE de manière à conserver Z dans les limites de la feuille.

<u>Graphique exact</u>

1°/ Etablir une "carte particulière simplifiée" pour la latitude φ1'de Z1' (ce qui signifie construire une échelle des latitudes, donc des distances, à partir d'une échelle des longitudes arbitraire: par ex. 2 carreaux pour 1' de G)

L'échelle des latitudes est une droite inclinée sur l'échelle des longitudes de l'angle φ1'.

2°/ Par Z1' mener une parallèle Δ à la 1ère droite de hauteur (c'est la 1ère droite de hauteur transportée pour l'heure de la seconde).

3°/ Toujours par Z1', mener la direction azimutale du 2ème astre observé A'(Ze').

4°/ Sur cette droite porter Hv'-He', mesuré sur l'échelle des latitudes: → dans la direction Ze' si Hv'-He' > 0
→ dans la direction opposée (180°+Ze') si Hv'-He' < 0

On obtient Z2', point déterminatif de la 2ème droite de hauteur Δ'.

5°/ Δ et Δ' se coupent en Z (point cherché); lire la valeur de:

. l3 sur l'échelle des latitudes.
. g3 sur l'échelle des longitudes

d'où:
φ = φ1' + l3 ; G = G1' + g3 (Algébriquement)

Par exemple, sur la figure de la planche 14:

l3 = 2,6' S
g3 = 3,0' E

Exemple: Documents annexes VIII, XIII, XIV, XV, XVI

14. (Durée 60 minutes). — **Point par deux hauteurs d'astres quelconques.**

Le 17 Août 1992 (date locale), vers T_{cr} = 05h 06 min., on a pris, à l'instant où le chronomètre donne T_{cr} = 09h 06m 21s, la hauteur (du bord —) de Algenib, H_i = 40°20',4, ε = +0',4, élévation = 23 mètres.

A l'instant de l'observation, le point estimé a pour coordonnées : φ_e = 46° 02',0 N, G_e = 057° 14',0 W.

Le navire faisant route au 141° du compas, W = +7°, dérive = −2°, vitesse = 16,5 nœuds, courant nul, vers T'_{cr} = 08h 40 le 17 Août (date locale), on a pris, à l'instant où le chronomètre donne T_{cr} = 00h 39m 53s, la hauteur (du bord inférieur) de Soleil H'_i = 38°32',5, même erreur, même élévation.

Déterminer le point à l'instant de la deuxième observation (graphique) dont on précisera l'heure T'_{cr}.

ÉLÉMENTS DU CALCUL DE H_e (1re observation)

T_{cr} = 05h06 le 17
+ f = +4
T_{cr} app. = 09h06 le 17
T_{cr} = 9h26m21s le 17

AH_o = 100°59',6
+ ΔAH = 6°36',3
AH_{cr} = 107°35',9
− G_e = 57°14',0
ASTRES ERRANTS AH_{oe} = 50°21',9 P_e = —
+ $\mathcal{R}_A$ = 356°46',7
ÉTOILES AH_{aoe} = 47°08',6 P_e = 47°,143 W

π_c = —
D_o = —
ΔD = —
D = 15°08',8 N
$\mathcal{R}_A$ = 356°46',7

CALCUL DE $H_v - H_e$ ET DE Z_e

Hi = 40° 20',4
+ ε = +0',4
H_o = 40° 20',8
T. VIII = −9',7
= —
= —
H_v = 40° 11',1
H_e = 40° 04',8
$H_v - H_e$ = +6',3

Formules utilisées :

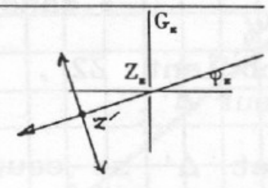
$H_e = \sin^{-1}[\sin\varphi \sin D + \cos\varphi \cos D \cos P]$ $A_{ze} = \tan^{-1} \dfrac{\sin P}{\tan D \cos\varphi - \sin\varphi \cos P}$

φ_e = +46°,033
D = +15°,147
P_e = 47°,143 W

H_e = 40° 04',8
Z_e = S 67°,5 W = 247°,5

POINT DÉTERMINATIF Z ET DROITE DE HAUTEUR

Le point déterminatif Z' se trouve à 6,3 milles au 247°,5 de Z_e.



C_c = 141° T'_{cr} = 12h 39m 53s R_{v1} = 247°,5 m_1 = 6,3 l_1 = −0°,040 g_1 = +0°,140
+ W = +7° T_{cr} = 9h 06m 21s R_{v2} = 146° m_2 = 58,7 l_2 = −0°,811 g_2 = −0°,782
C_v = 148° t = 3h 33m 32s φ_{m1} = 46°,013 l = −0°,851 g = −0°,642
+ dér. = −2° m_2 = 58,7 φ_{m2} = 45°,628 φ_e = +46°,033 G_e = +57°,233
$R_{s2} = R_{v2}$ = 146° φ'_1 = +45°,222 G'_1 = +56°,591
= 45°13',3 N = 56°35',5 W

ÉLÉMENTS DU CALCUL DE H'_e (2e observation)

T'_{cr} = 08h40 le 17
+ f = +4
T'_{cr} app. = 12h 40 le 17
T'_{cr} = 12h 39m 53s le 17

$AH'_{\gamma o}$ = 359° 00',6
+ $\Delta AH'$ = 9° 58',3
$AH'_{\gamma r}$ = 008° 58',9
− G'_1 = −56° 35',5
Astres errants AH'_{oe} = 312° 23',4 P'_e = 47°,610 E
$\mathcal{R}'_A$ = —
Étoiles AH'_{aoe} = — P'_e = —

π'_c = —
D'_o = 13°15',0 N
+ΔD = −0',5
D' = 13° 14',5
$\mathcal{R}'_A$ = —

CALCUL DE H'_v — H'_e ET DE Z'_e

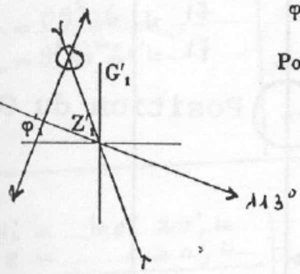
H'_i = 38° 32',5		
+ ε = + 0',4		
H'_o = 38° 32',9		
TVII (1) = + 6',4	Formules utilisées :	
= 38° 39',3	$H'_e = \sin^{-1}[\sin\varphi \sin D + \cos\varphi \cos D \cos P]$	$A'_{cc} = \cot^{-1} \dfrac{\tan D \cos\varphi - \sin\varphi \cos P}{\sin P}$
TVII (2) = − 0',2		
H'_v = 38° 39',1	φ'_1 = + 45°,222	
H'_e = 38° 40',2	D' = + 13°,242	H'_e = 38° 40',2
$H'_v - H'_e$ = − 1',1	P'_e = 47°,610 E	Z'_e = S 67° E = 113°

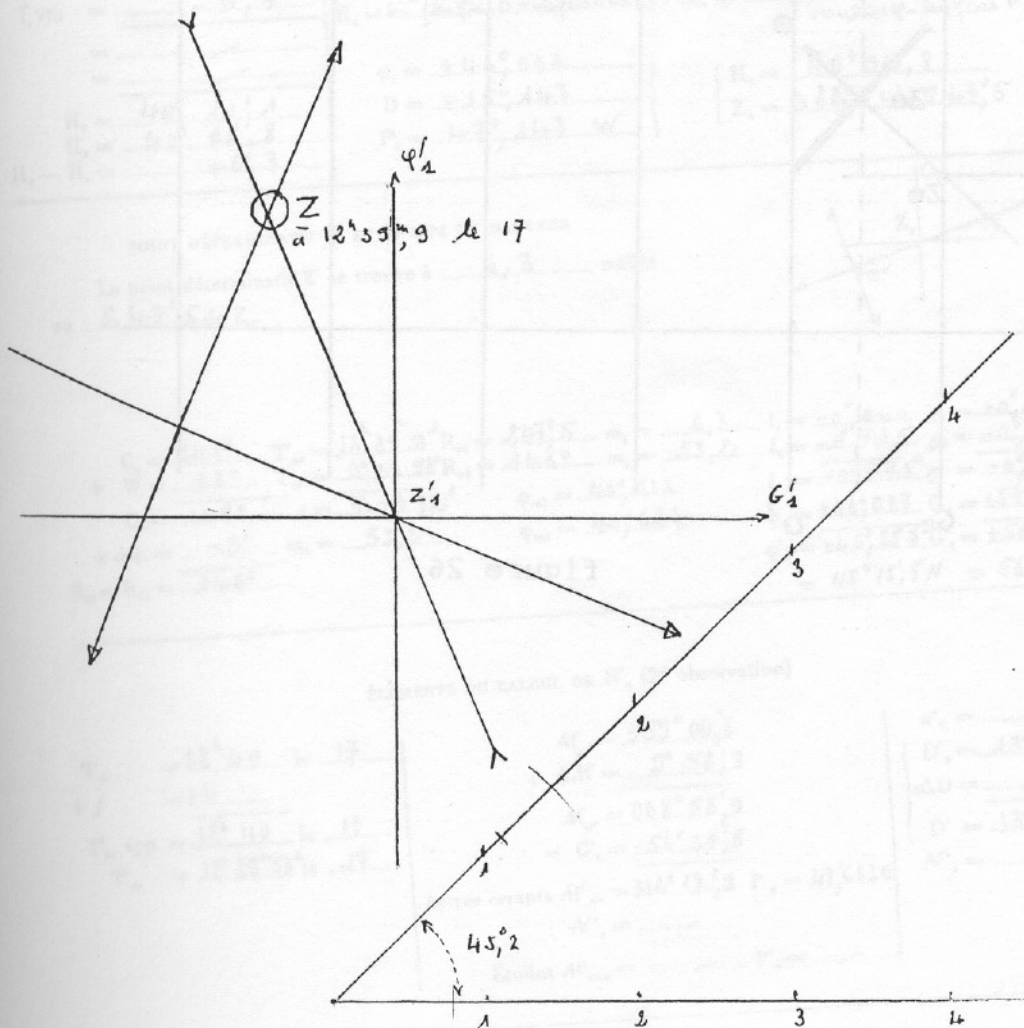
DÉTERMINATION GRAPHIQUE DES COORDONNÉES DU POINT

φ'_1 = 45° 13',3 N	G'_1 = 56° 35',5 W
l_3 = 1',4 N	g_3 = 0',8 E
φ = 45° 14',7 N	G = 56° 34',7 W

Point à T'_{cc} = 12h 39m 9 le 17 | φ = 45° 14',7 N ; G =

GRAPHIQUE À VUE





Calcul n°17: Navigation orthodromique

I. Principes et rappels

(Figures 30 et 31).
L'image sur la carte d'une orthodromie est une courbe de 2ème espèce dont la concavité est toujours tournée vers l'équateur.

1er problème posé: . Calcul de la distance orthodromique mo.
. Calcul de l'angle de route orthodromique au départ Ad.

On résoudra simplement le triangle sphérique PDA par 2 formules fondamentales:

$$\boxed{\begin{aligned} \mathrm{Cos}\,mo &= \mathrm{Sin}\varphi d\,\mathrm{Sin}\varphi a + \mathrm{Cos}\varphi d\,\mathrm{Cos}\varphi a\,\mathrm{Cos}g \\ \mathrm{Cos}Ad &= (\mathrm{Sin}\varphi a - \mathrm{Sin}\varphi d\,\mathrm{Cos}mo)/\mathrm{Cos}\varphi d\,\mathrm{Sin}mo \end{aligned}}$$

2ème problème posé: Détermination des coordonnées du vertex (Vx)

Par résolution du triangle sphérique rectangle PDVx, d'où les formules:

$$\boxed{\begin{aligned} \mathrm{Cos}\varphi v &= \mathrm{Sin}Ad\,\mathrm{Cos}\varphi d \\ \mathrm{Cos}g1 &= \mathrm{Tan}\varphi d/\mathrm{Tan}\varphi v \end{aligned}}$$

3ème problème posé: Route fond Rf que doit suivre le navire pendant les x premières heures de la traversée.

(Figure 32). En effet, il n'est pas possible, au navire, de suivre exactement la courbe orthodromique; il va parcourir alors une série de loxodromies intérieures à la courbe, chaque distance loxodromique étant suffisante pour que le changement de route du navire entre 2 loxodromies successives soit appréciable sur un compas (au moins 1°).

m = vitesse.xheures

α s'apparente à la correction Givry pour laquelle $\varphi m \cong \varphi d$, puisque D et Z1 sont peu éloignés.

g = changement en longitude entre D et Z1:

$$\alpha = 0{,}5|g|\mathrm{Sin}\varphi d \; ; \; |e| = m\sin(V\pm\alpha); \; |g| = m\mathrm{Sin}(V\pm\alpha)/\mathrm{Cos}\varphi d$$

d'où $\alpha = 0{,}5m\mathrm{Sin}(V\pm\alpha)\mathrm{Tan}\varphi d \cong 0{,}5m\mathrm{Sin}V\mathrm{Tan}\varphi d$ (car α est faible devant V).

$$\alpha^\circ = (m'')/60.2)\mathrm{Sin}V\mathrm{Tan}\varphi d = (m'')/120)\mathrm{Sin}V\mathrm{Tan}\varphi d$$

4ème problème posé: distance loxodromique et nombre de milles gagnés.

C'est le calcul 3. Rappelons les formules employées:

$$\Lambda = (180°/\pi)\ln\mathrm{Tan}(45° + \varphi/2) \; ; \; \mathrm{Tan}Rfq = |g/\lambda| \; ; \; m = 1/\mathrm{Cos}Rfq \; ; \; \lambda = \Lambda a - \Lambda d$$

Nombre de milles gagnés = m_L - mo

II. Etapes du calcul (planche 18)

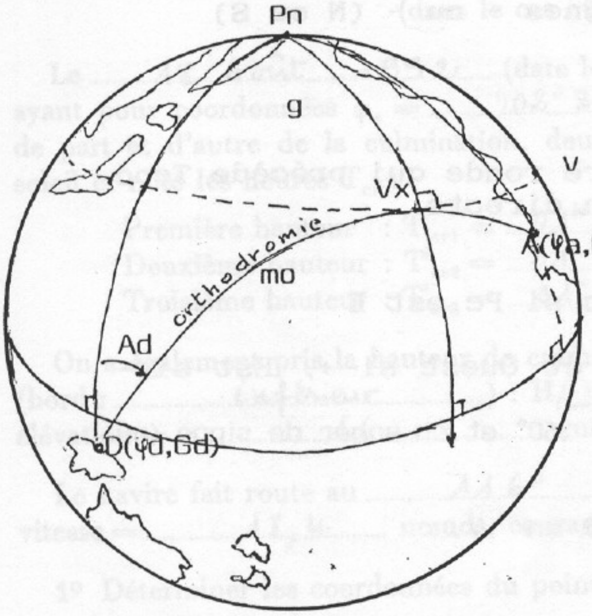


figure 30

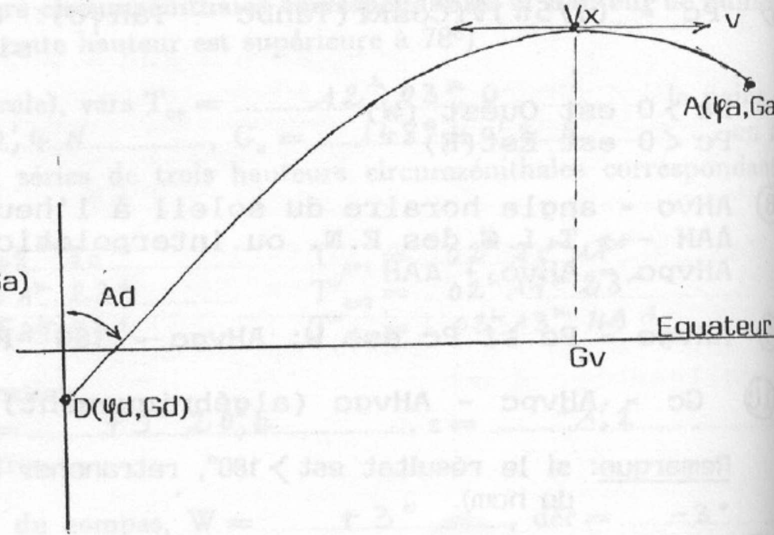


figure 31

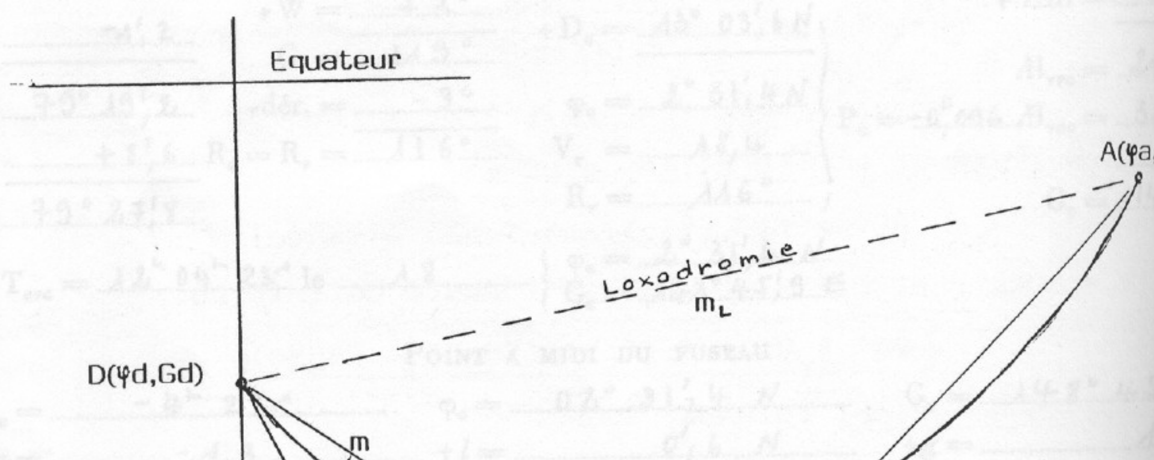


figure 32

Planche 18

17. (Durée 40 minutes). — **Navigation orthodromique.**

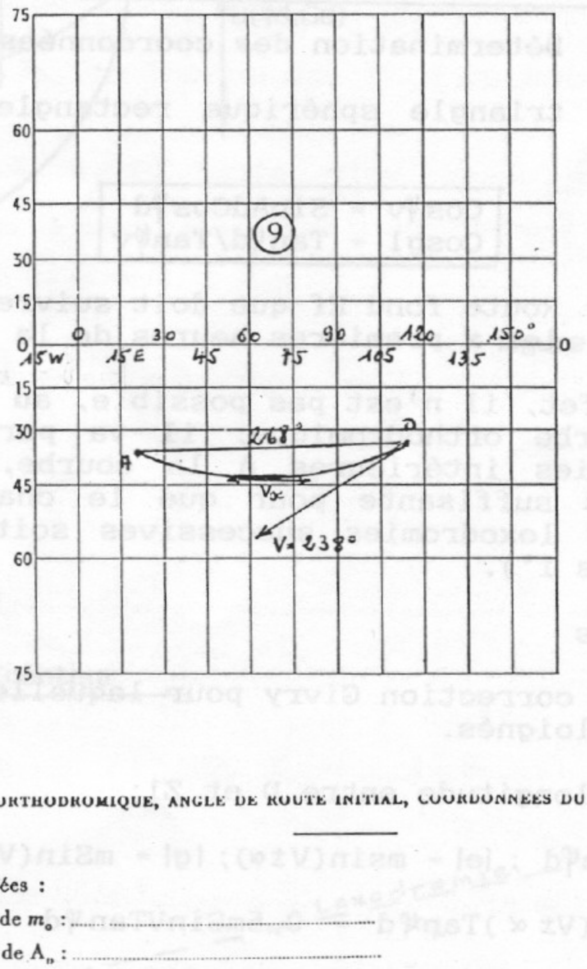
Point de départ .... $\varphi_D =$ .... $G_D =$ ....

Point d'arrivée .... $\varphi_A =$ .... $G_A =$ ....

1° Calculer la distance orthodromique, l'angle de route initial et les coordonnées du vertex, et tracer à vue sur le canevas l'arc d'orthodromie suivi.

2° Le navire ayant une vitesse de .... **nœuds, calculer la route fond à suivre pendant les** .... **premières heures de la traversée.**

3° Calculer la distance loxodromique et le nombre de milles gagnés en suivant l'orthodromie.



DISTANCE ORTHODROMIQUE, ANGLE DE ROUTE INITIAL, COORDONNÉES DU VERTEX, ROUTE FOND

Formules utilisées :

Calcul de m_D : ....

Calcul de A_D : ....

Calcul de φ_v : ....

Calcul de g_1 : ....

Calcul de α : ....

$g =$ ...... 1 ......

$\varphi_D =$ ...... 1 ......

$\varphi_A =$ ....

$m_D =$ ...... 2 ......

$A_D =$ ...... 3 ......

$m =$ ...... 4 ......

$V =$ ....

$+\alpha =$ ...... 5 ......

$R_f =$ ...... 6 ......

$\varphi_v =$ ....

$g_1 =$ ...... 7 ......

$+G_D =$ ....

$G_v =$ ....

Coordonnées du vertex $\varphi_v =$ ....
$G_v =$ .... en sexagésimales

① $g = Ga - Gd$ en ° et 3 décimales; noter le nom E ou W.
φa; φd; en ° et 3 décimales: + si N; - si S

② Distance orthodromique: $\boxed{mo = Cos^{-1}[(Sin\varphi dSin\varphi a + Cos\varphi dCos\varphi aCos|g|]}$

Remarque: g est un angle à prendre en valeur absolue
mo est noté en ° et 3 décimales puis en milles.

③ Angle orthodromique au départ compté de 0° à 180°, du Nord vers l'E ou vers l'W (comme g) :

$$\boxed{Ad = Cos^{-1}[(Sin\varphi a - Sin\varphi dCosmo)/Cos\varphi dSinmo]}$$

Noté en ° et 3 décimales.

④ $m = Vf.x(h)$ = 1ère distance loxodromique pour le calcul de α

⑤ $\boxed{\overset{o}{\alpha} \simeq (m^{(')}/120)SinVTan\varphi d}$

V = angle de route loxodromique compté de 0° à 360°
φd est + si N, - si S; en ° et 3décimales
Précision : 0,5°

⑥ $Rf = V + \alpha$ (algébriquement)
Précision du résultat: 0,5°

⑦ $\boxed{|\varphi v| = Cos^{-1}[Cos\varphi dSinAd]}$: noté en ° et 3décimales.

Remarque: φv est N si Ad < 90°, S si Ad > 90°, puisque le vertex Vx est toujours le point vers lequel on se dirige.

$\boxed{g1 = Cos^{-1}[(Tan\varphi d/Tan\varphi v)]}$

$Gv = Gd + g1$

Les résultats φv et Gv sont notés en sexagésimales au 1/10'.

⑧ Distance loxodromique et nombre de milles gagnés: voir calcul 3 et gain = $m_L - mo$

⑨ Tracé à vue sur le canevas:

voir exemple de la planche:

φd = 32°51 S	φa = 35°30'S
Gd = 112°28'E	Ga = 019°40'E
1ère Rf = 238°	φv = 44°37'S
Rf loxo = 268°	Gv = 63°21'E

Pour bien cadrer le schéma, placer d'abord (éventuellement) le méridien origine (ou le méridien 180°) et noter les méridiens sucessifs de 15° en 15°.

Placer le vertex en soulignant son caractère de point extrême de la courbe par une tangente horizontale.