NAVIGATION ASTRONOMIQUE

Porte-hélicoptères « Jeanne d'Arc » (1964-2010)

(Source : Wikimedia Commons)

Point à midi

&

Point crépusculaire

AVANT-PROPOS

Courriel adressé le 13 décembre 2021 par M. Bernard Jacquet à l'association « Méridienne ».

« Madame, Messieurs, chers Amis de la Méridienne,

Je vous ai promis, aux journées du patrimoine 2021, de vous envoyer des droites de hauteurs réalisées lorsque j'effectuais ma campagne d'application à bord du porte-hélicoptères Jeanne d'Arc, hier en 1983-1984. Les voici enfin.

Quelques commentaires :

- la croix au centre représente le point estimé,

- en bas à gauche l'échelle des nautiques,

- sur chaque droite l'astre, l'heure d'observation, l'intercept et l'azimut,

- la petite croix noire dans le cercle noir : le recalage proposé de l'estime (inscrit en bas à gauche),

- la petite croix rouge : le point satellite. Les officiers-élèves n'y avait pas accès. Le système de navigation était le « Transit » qui donnait une dizaine de points par jour,

- le chiffre en rouge : la note sur 20 qui diminuait avec l'écart / point satellite.

Nous arrivions, le soir, à descendre plus de sept étoiles, ce qui est une performance très honorable. Nous observions dans de bonnes conditions : sur un navire de 12 000 tonnes, donc stable, à 17 ou 18 mètres au-dessus de la surface, donc avec un bon horizon, avec des météos souvent favorables, notamment en matière de luminosité.

Ces planches montrent qu'un observateur entraîné peut, dans de bonnes conditions, se positionner à un ou deux nautiques près, ce qui est suffisant pour retrouver une petite île perdue au milieu de l'océan Pacifique.

Bien à vous.
Contre-amiral (2S) Bernard Jacquet. »

***Remarque** : Les graphiques des droites de hauteur ont été tracés, par Bernard Jacquet, sur papier quadrillé.*
Le texte qui présente les différents éléments du point astronomique a été rédigé par l'association Méridienne.

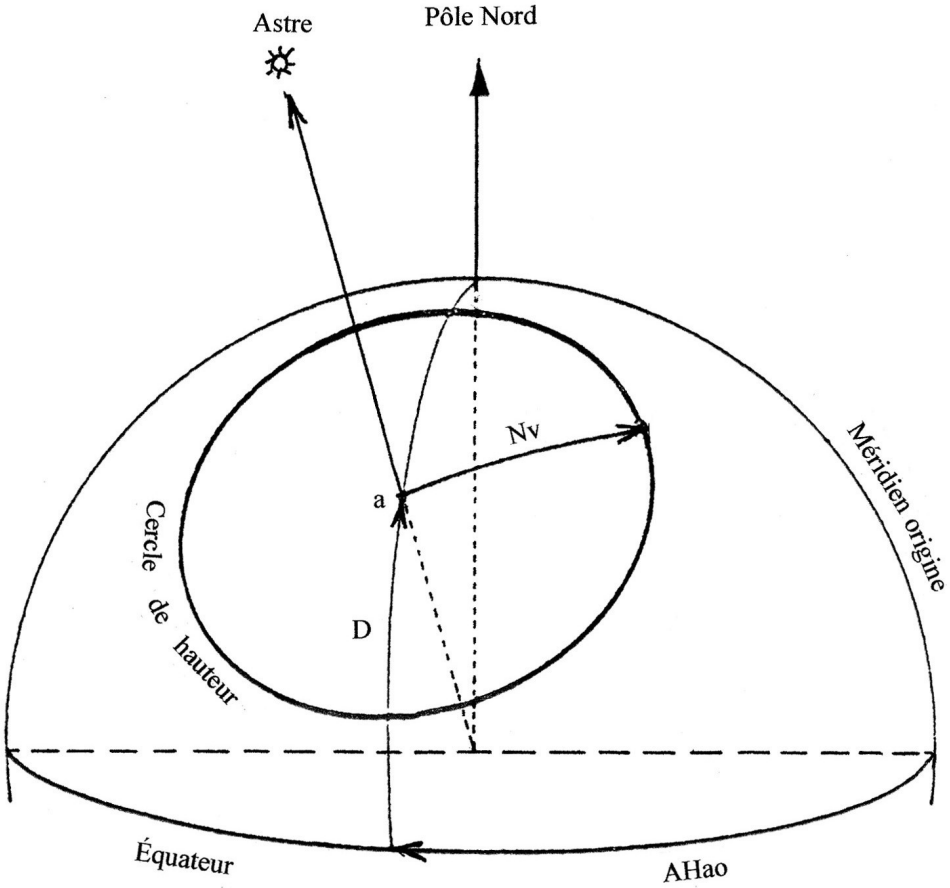
LE POINT ASTRONOMIQUE.

I. Cercle de hauteur.

Supposons un navigateur immobile, en un lieu situé aux environs de l'Équateur (entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne). Un jour donné, aux alentours de midi, il peut observer le Soleil au zénith (la hauteur de l'astre est égale à 90°). Ce navigateur se trouve alors au point « a » sur la sphère terrestre.

Remarque : Selon les auteurs, ce point particulier peut s'appeler :
- la position géographique instantanée de l'astre, Pg ;
- le point substellaire de l'astre (en remplaçant le Soleil par une étoile) ;
- le pied de l'astre, Pa.

Connaissant l'heure exacte de l'observation et disposant des Éphémérides nautiques, il peut déterminer très simplement sa position :
- sa latitude est égale à la déclinaison du Soleil : $\varphi = D$;
- sa longitude est égale à l'angle horaire du Soleil compté à partir du méridien origine : G = AHao.

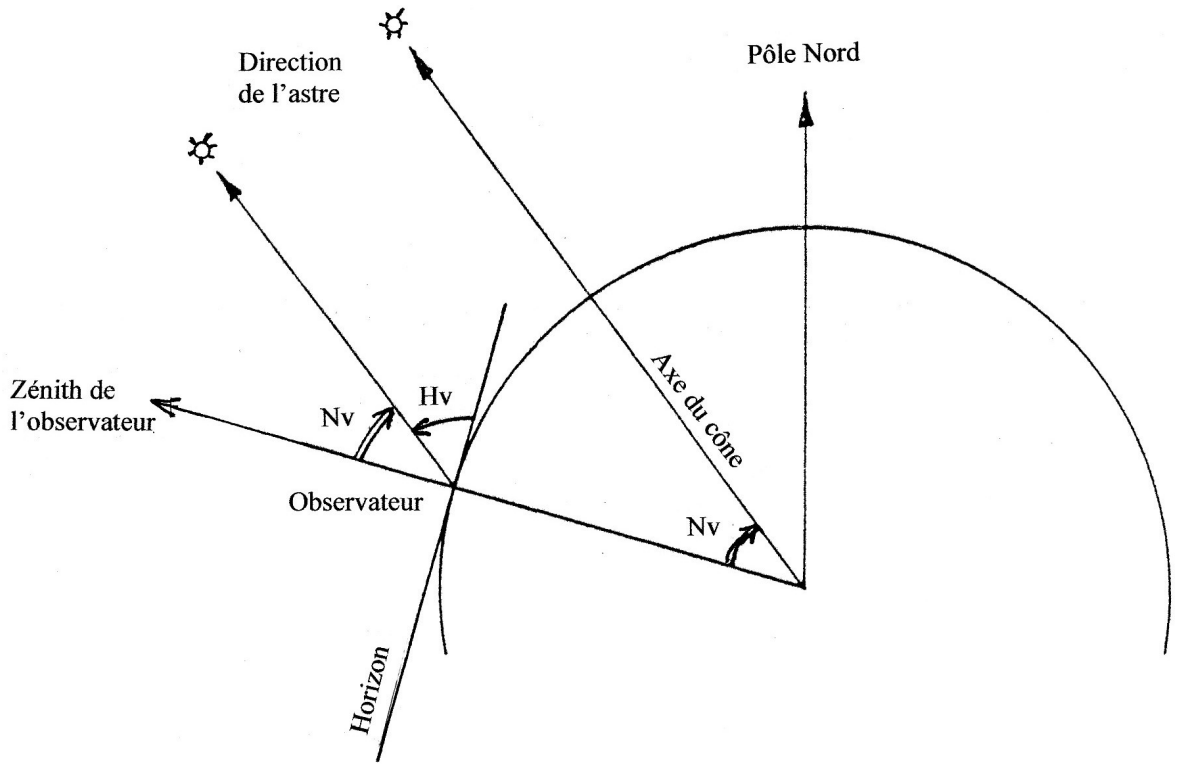


Supposons, qu'au même instant, un autre navigateur observe, au sextant, le Soleil à une hauteur vraie de soixante degrés. La distance zénithale de l'astre est alors de trente degrés (distance zénithale = 90° - hauteur ou Nv = 90° - Hv ; certains auteurs utilisent le symbole ζ au lieu de N).
Sur la sphère terrestre, le deuxième observateur se trouve quelque part sur le « Cercle de hauteur » dont :
- le centre a pour localisation la latitude φ et la longitude G indiquées ci-dessus ;
- le rayon est égal à la distance zénithale de l'astre, soit trente degrés.

C'est un cercle d'égales hauteurs (toutes les personnes situées sur ce cercle observeraient le Soleil à une hauteur de 60°) également appelé « almicantarat ».

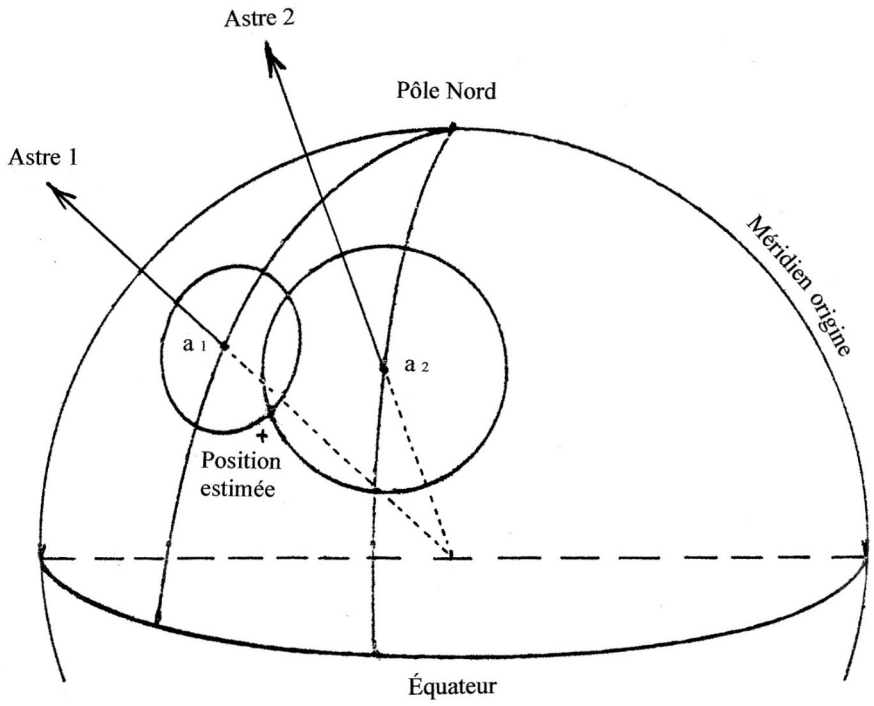
Ce cercle est un l**ieu de position** pour le navigateur.

Ce cercle de hauteur peut aussi être défini comme étant l'intersection de la sphère terrestre avec le cône dont le sommet est le centre de la terre, dont l'axe est la direction de l'astre, dont l'angle au sommet est égal à 2 Nv.



En généralisant, nous pouvons supposer qu'un navigateur observe simultanément un astre A_1 (déclinaison D_1, angle horaire $AHao_1$, distance zénithale N_1) et un astre A_2 (déclinaison D_2, angle horaire $AHao_2$, distance zénithale N_2).

Sur la sphère, ces deux cercles se coupent en deux points ; afin de lever le doute, le navigateur utilise la position estimée du navire. Il choisit l'intersection la plus proche de celle-ci et peut ainsi déterminer sa position exacte.



Cette méthode est facile à concevoir. Elle est pratiquement inapplicable à cause des inexactitudes qui résultent de la petite taille des globes terrestres utilisables à bord d'un navire. (Un globe sur lequel un millimètre correspondrait à un mille marin aurait un diamètre d'environ 6,88 mètres).

Le tracé, sur une mappemonde, des projections des cercles d'égales hauteurs (appelées « courbes de hauteurs ») est très compliqué et se heurte au même problème d'échelle que ci-dessus.

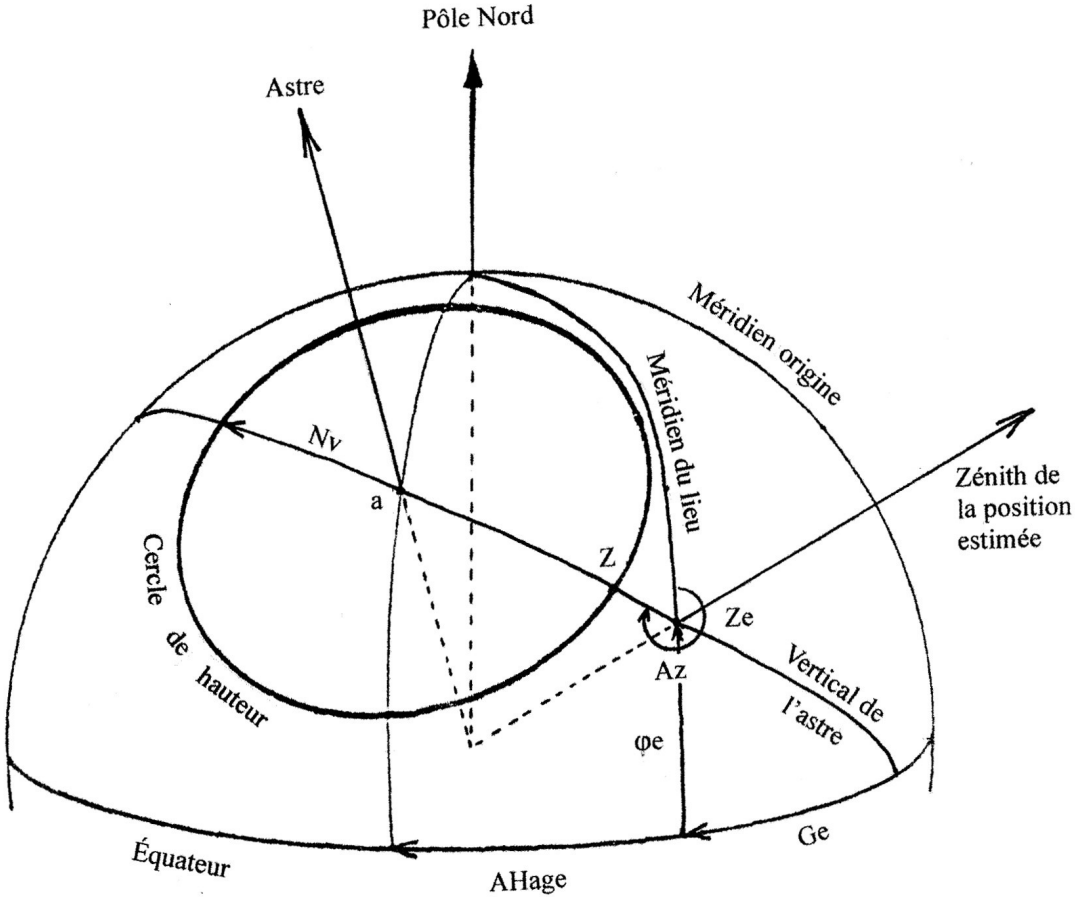
II. Méthode MARCQ.

Afin de déterminer sa position, le navigateur utilise la méthode dite du « vertical estimé » (ou méthode Marcq Saint Hilaire).

Sur la figure :

- le cercle de hauteur, de centre « a » et de rayon « Nv », représente le lieu de position du navire ;
- le point « Ze », de coordonnées φe et Ge, représente la position estimée du navire,
- le vertical estimé de l'astre passe par le point « a » et par la position estimée « Ze ».

La méthode consiste à prendre en compte l'intersection « Z » de la courbe de hauteur avec le vertical estimé de l'astre.
Ce point est appelé « **point déterminatif** ».



L'arc a Z correspond à la distance zénithale vraie obtenue à partir de la mesure au sextant (Nv = 90° - Hv).
L'arc a Ze correspond à la distance zénithale Ne que le navigateur pourrait obtenir si son navire se trouvait effectivement à la position estimée Ze (avec Ne = 90° - He).

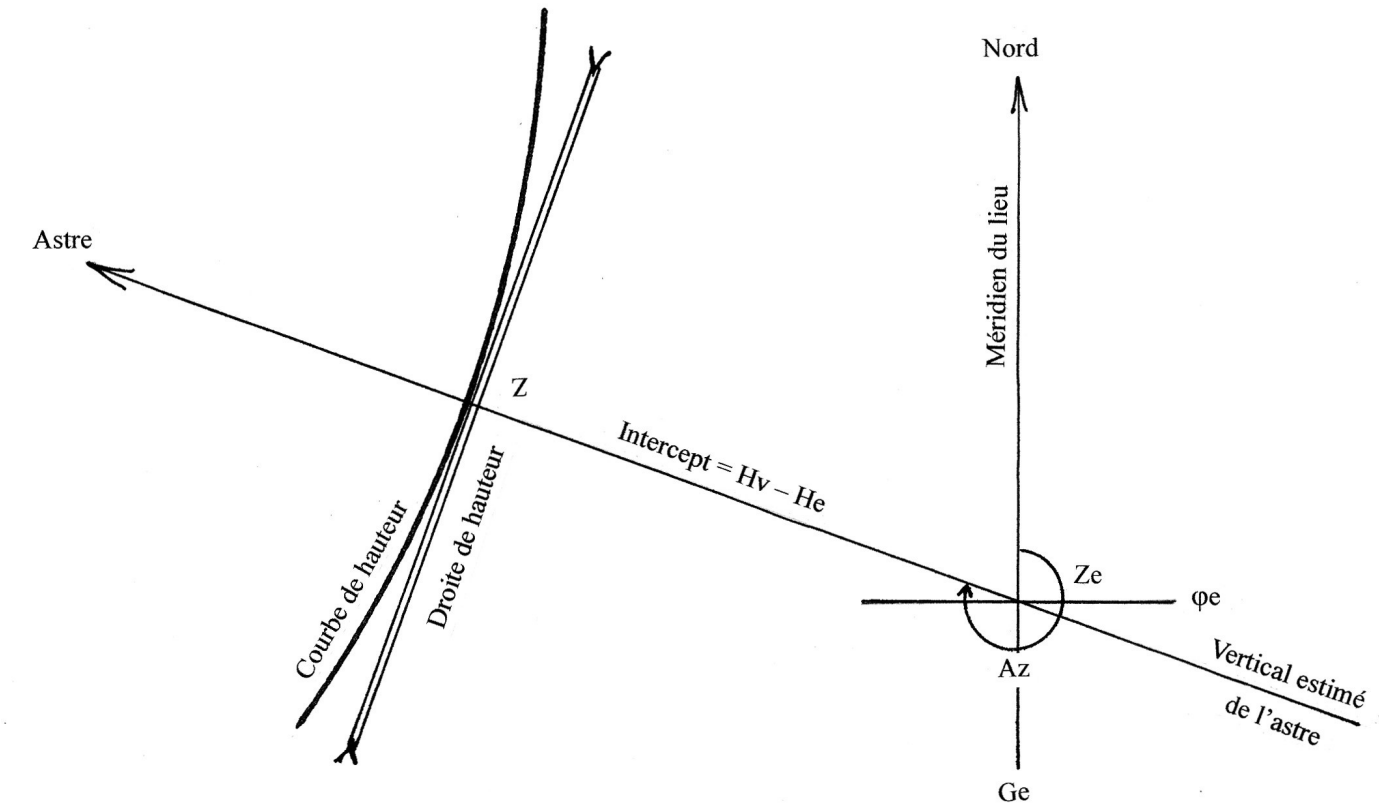
L'arc Ze Z est appelé « **intercept** » et est égal à Ne – Nv. Cette valeur, rapportée aux hauteurs, est égale à **Hv – He**.

III. Droite de hauteur.

En utilisant sur une carte à grande échelle (permettant de travailler au dixième de mille), le navigateur prendra en compte la portion de la courbe de hauteur (projection du cercle de hauteur) la plus proche de sa position estimée (φe, Ge), c'est-à-dire celle où il est fort probable qu'il se trouve.
Cette partie de courbe est assimilable à un cercle de très grand rayon.

Tracé de la figure :
- reporter la position estimée Ze et tracer le méridien du lieu (assimilé à une droite) ;
- tracer le vertical estimé de l'astre (assimilé à une droite) ; l'azimut Az a été observé ou calculé ;
- à partir de la position estimée, reporter la valeur de l'intercept Hv – He ; ceci permet de définir le point déterminatif Z ;
- par le point Z tracer une perpendiculaire au vertical estimé de l'astre ; cette droite est tangente à la courbe de hauteur (ici assimilée à un cercle).

Ce segment de droite est appelé « **Droite de hauteur** » et est représenté par un double trait.



L'erreur commise en confondant la courbe de hauteur et sa tangente est faible. Cette approximation est possible jusqu'à 30 milles de part et d'autre du point déterminatif Z. Conditions : la latitude estimée doit être inférieure à 60° ; la hauteur de l'astre doit être inférieure à 80°.

Le point déterminatif Z ne correspond pas, généralement, à la position exacte du navire, mais il offre l'avantage d'être **plus proche** de la position réelle que ne l'est la position estimée. Le navigateur le prendra donc en compte pour recaler sa navigation.

Remarque *: Lorsque l'intercept Hv – He est important (de l'ordre de la soixantaine de milles, par exemple), cela correspond à une grande imprécision de l'estime. La solution consiste alors à refaire rapidement le calcul de la droite, en prenant comme coordonnées du nouveau point estimé celles du point déterminatif Z. En utilisant ce point estimé amélioré, le navigateur obtiendra toujours un petit intercept et la droite de hauteur sera de bonne qualité (correspondant aux critères définis ci-dessus).*

IV. La résolution du problème.

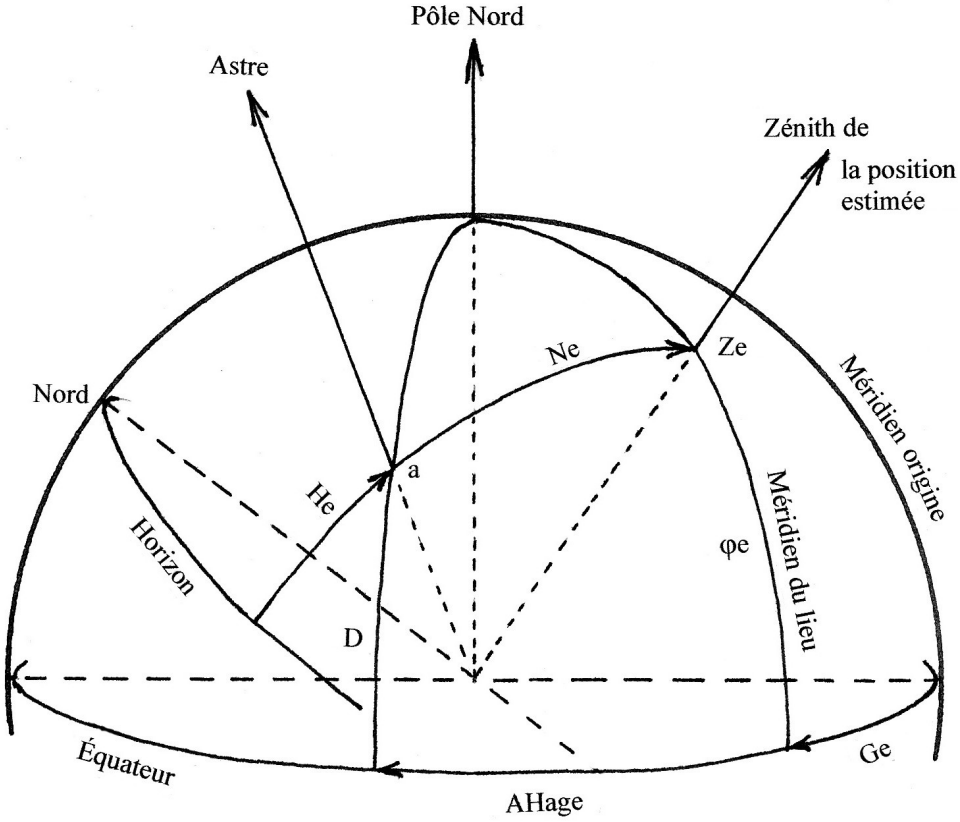
Le navigateur dispose des informations suivantes :

1. Éléments observés :
   . Hauteur Hv de l'astre (sextant) ;
   . Heure Tco de l'observation (chronomètre) ;
   . Azimut de l'astre (observé au compas ou obtenu par le calcul).

2. Éléments fournis par les Éphémérides nautiques (pour la date et l'heure de l'observation) :
   . L'angle horaire AHao de l'astre (compté à partir du méridien origine) ;
   . La déclinaison D de l'astre.

3. Éléments estimés :
   . φe : latitude estimée du navire à l'heure de l'observation ;
   . Ge : longitude estimée du navire à l'heure de l'observation.

Il va déterminer la position du navire à partir des éléments du triangle de position Pôle Nord – Ze – a.

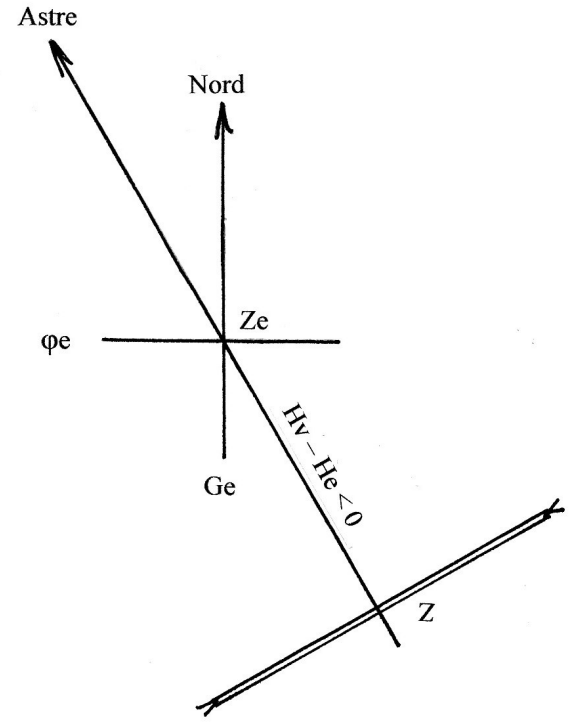


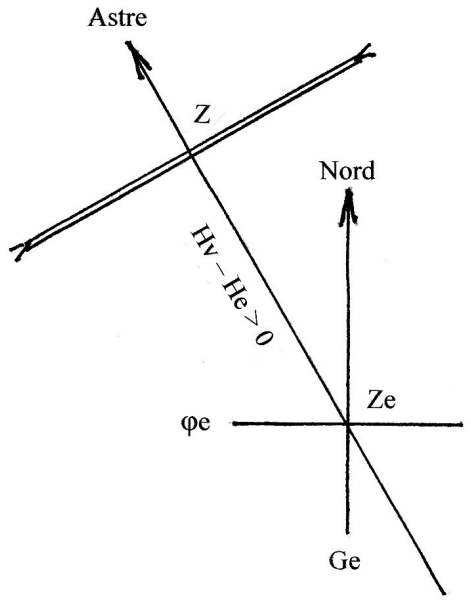
L'élément essentiel à déterminer est la hauteur estimée He ; cela lui permet de calculer ensuite l'intercept puis, graphiquement, d'obtenir le point déterminatif Z.

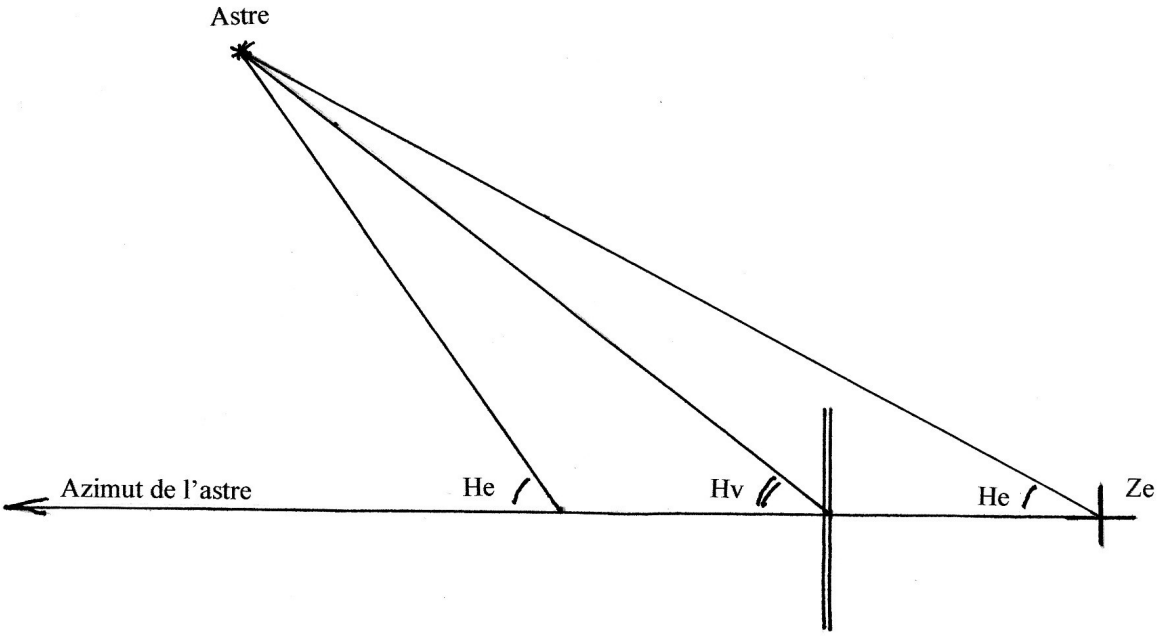
La formule utilisée est : **sinHe = sinφe . sinD + cosφe . cosD . cosAHage**

Dans cette formule, il est possible de remplacer l'angle horaire de l'astre au point estimé par son angle au pôle estimé Pe.
(Pe Ouest = AHage ; Pe Est = 360° - AHage).

Remarque *: Avant l'invention de la calculatrice scientifique, le navigateur utilisait des tables de logarithmes (Friocourt) ou des tables pré-calculées. Sur ce sujet, il est intéressant de consulter l'ouvrage de M. Paul Bedel « TABLES de NAVIGATION, 1840-1980 », Collection du Bureau des Longitudes.*







Cas n° 1 : Hv < He

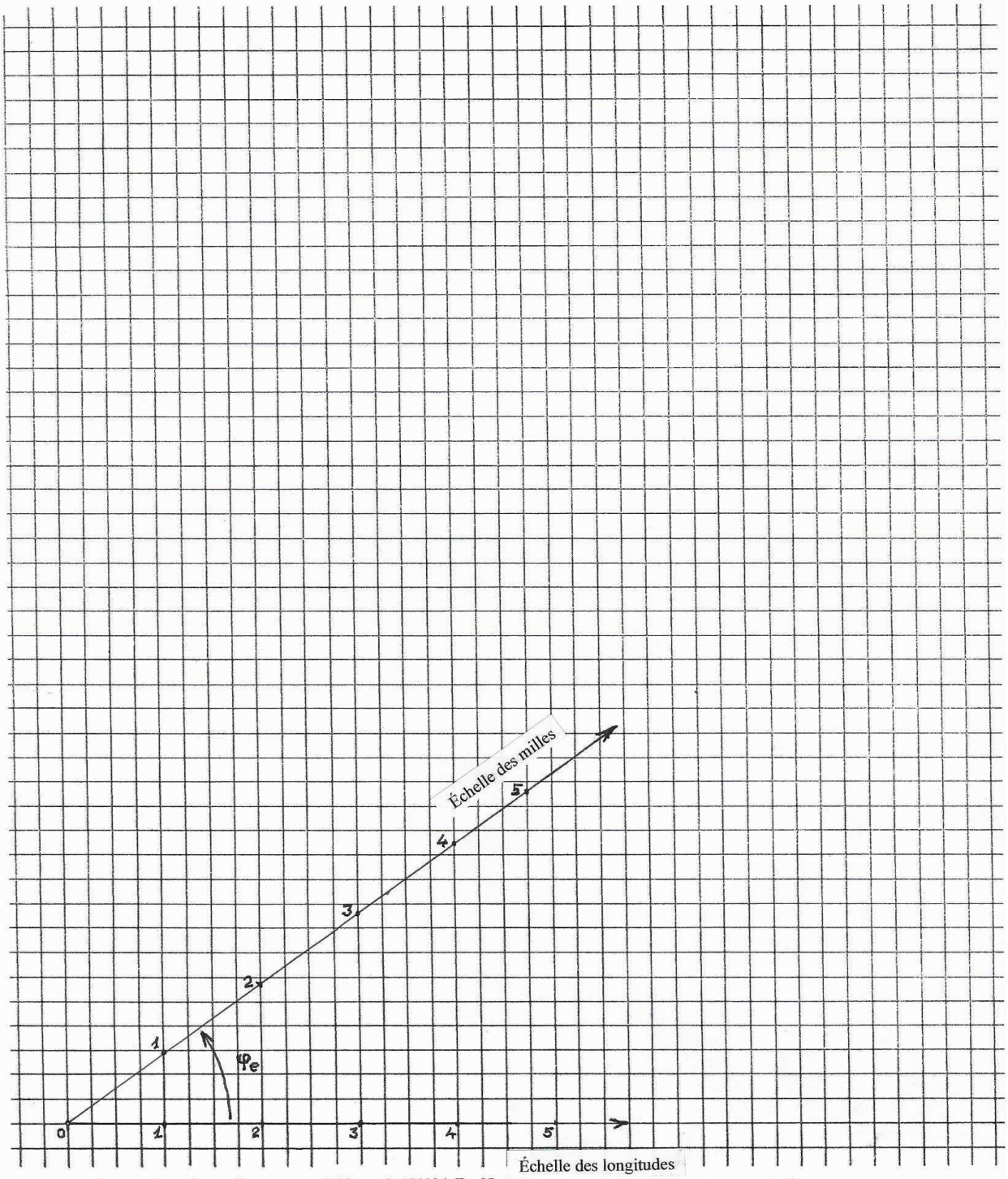
Le navigateur trace l'azimut de l'astre et reporte la valeur de l'intercept, à partir du point estimé, dans la direction opposée à celle de l'astre.

Cas n° 2 : Hv > He

Le navigateur trace l'azimut de l'astre et reporte la valeur de l'intercept, à partir du point estimé, dans la direction de l'astre.

Le navigateur effectuera ce tracé soit sur un modèle-type « Graphique du calcul » soit sur une simple feuille de papier quadrillé. Il commencera par établir une échelle des latitudes simplifiée en utilisant la latitude estimée φe (Exemple : Voir « Graphique du calcul » page suivante).

GRAPHIQUE DU CALCUL



Marine marchande. — Examens. — 1983. — 3 951324 T 95

V. Point à midi.

Aux débuts de la navigation océanique, le problème du point, c'est-à-dire la détermination de la latitude et de la longitude du navire, présente des difficultés très différentes.

Dès le XVe siècle, les marins ont pu aisément trouver leur latitude par des observations de passage au méridien (ou culmination) du Soleil. Ils en mesuraient la hauteur à cet instant grâce à l'astrolabe nautique, l'anneau astronomique, l'arbalestrille, etc. puis en déduisaient la distance zénithale (90° - hauteur).
Les astronomes calculaient des tables (éphémérides) fournissant la déclinaison du Soleil en fonction de la date. Par exemple, les tables Alphonsines, parues en 1252, étaient imprimées en 1483 à Venise puis en 1488, etc.

Le navigateur déterminait sa latitude méridienne en utilisant la formule suivante :

Latitude = Distance zénithale + Déclinaison (ou $\varphi = N + D$).

La détermination de la longitude du navire a été plus laborieuse. L'amélioration progressive des éphémérides de la Lune a permis au marin d'utiliser la méthode des « distances lunaires ». La solution est finalement venue de la mise au point et de la généralisation des chronomètres de marine.

C'est ainsi que, sur les journaux de bord (jusqu'en 1827), la rubrique « Point à midi » ne comportait que l'indication « longitude d'arrivée » alors que pour la latitude le marin avait le choix entre « latitude d'arrivée » (ou estimée) et « latitude observée ».

La découverte de la « droite de hauteur » a permis de mettre en œuvre la démarche exposée ci-après :

- en cours de matinée, le navigateur observe le Soleil et obtient une première droite ;
- il calcule ensuite l'heure à laquelle le Soleil passera au méridien du navire ;
- à l'heure indiquée, il observe la hauteur méridienne puis calcule la latitude méridienne grâce à la formule indiquée ci-dessus ;
- sur un graphique, il trace la latitude méridienne puis transporte la droite de hauteur du matin d'une quantité égale au chemin parcouru entre les deux observations (cet élément est fonction de la route et de la vitesse estimées du navire) ; l'intersection des deux droites fournit la position du navire à l'heure du passage du Soleil au méridien ;
- puis il transporte cette position en tenant compte du chemin parcouru entre 12 h 00 min (heure de la montre du bord) et l'heure de l'observation méridienne (toujours en fonction de la route et de la vitesse estimées du navire) ; cette dernière démarche lui permet d'obtenir ce que l'on appelle le «**Point à midi** ».

Il est important de noter que la précision de la position obtenue à l'heure de la méridienne est tributaire de la qualité des éléments pris en compte pour le transport de la droite du matin (route fond estimée et vitesse fond estimée).

Le navigateur calcule alors la distance qui le sépare de sa destination. Il soustrait cette valeur de celle calculée la veille à midi et obtient la route moyenne suivie et la vitesse moyenne du navire sur 24 heures.

Remarque *: Le point d'étoiles (voir & II) où les observations sont effectuées sur un bref intervalle de temps (dix à quinze minutes) est nettement moins affecté par les incertitudes sur le transport des droites ; c'est un point de bien meilleure qualité mais l'usage a conservé le « **Point à midi** » comme élément de référence dans la navigation astronomique.*

Le type de calcul nautique n° 13 (Point par deux hauteurs du Soleil, la deuxième étant observée au moment du passage au méridien estimé – Édition 1983) était utilisé pour la formation des officiers de la Marine marchande.
(Voir pages suivantes).

Remarque *: Pour la résolution des formules, l'élève-officier disposait des **Éphémérides nautiques** de l'année en cours ainsi que d'une **calculatrice électronique** à fonctionnement autonome, non programmable, non programmée, non imprimante avec entrée unique par clavier (Exemple : Marque CASIO, type fx-82B).*

13. (Durée 60 minutes). — **Point par deux hauteurs du Soleil, la deuxième étant observée au moment du passage au méridien estimé.**

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

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

φ_E = ..., G_E = ...

1° Déterminer les éléments de la droite de hauteur et calculer les coordonnées du point déterminatif Marcq.

2° Le navire faisant route au ..... du compas, W = ..., dér. = ..., vitesse = ... nœuds, courant nul, calculer l'heure T'_{CF} du prochain passage du soleil au méridien du point déterminatif transporté.

3° A l'heure T'_{CF} on a observé la hauteur du bord ..... du soleil H'_i ⊙ = ..., même erreur, même élévation. Déterminer le point à l'instant T'_{CF} (calcul ou graphique) et en déduire le point à midi du fuseau.

T_{CF} = ..., le	$\mathcal{H}_{VO}$ = ...	D_O = ...
f = ...	$\Delta\mathcal{H}$ = ...	ΔD = ...
T_{CP} app = ... le	$\mathcal{H}_{VP}$ = ...	D = ...
T_{CP} = ... le	G_E = ...	
	$\mathcal{H}_{VGE}$ = ...	
	P_E = ...	

CALCUL DE H_V — H_E ET DE Z_E.

Hi = ...	Formules utilisées :
+ ε = ...	
Ho = ...	$H_E = \sin^{-1}(\sin\varphi_E \cdot \sin D + \cos\varphi_E \cdot \cos D \cdot \cos P_E)$ $A_{ZE} = \tan^{-1}\left(\frac{\sin P_E}{\tan D \cdot \cos\varphi_E - \cos P_E \cdot \sin\varphi_E}\right)$
+ Correction = ...	φ_E = ...
H_V ⊖ = ...	D = ...
H_E = ...	P_E = ...
$H_V - H_E$ = ...	H_E = ...
	Z_E = ...

POINT DÉTERMINATIF Z' ET DROITE DE HAUTEUR.

Le point déterminatif Z' se trouve à ..... milles au ..... de Z_E.

		G_E
φ_E	Z_E	

COORDONNÉES DU POINT DÉTERMINATIF Z'.

R_F = ...	φ_E = ...	G_E = ...
m = ...	i = ...	g = ...
φ_M = ...	φ' = ...	G' = ...

HEURE T'_{CF} AU MOMENT DU PASSAGE AU MÉRIDIEN DU POINT DÉTERMINATIF TRANSPORTÉ.

Formules utilisées : $t = \frac{360° - AHvGE}{\gamma}$ ..... $\gamma_A = AH'vo - AHvo$ ..... $\gamma_N = \frac{-V_F \cdot \sin R_{F1}}{60 \cdot \cos \varphi_E}$

C_C	=	γ_A = ...	P_E = ...	t	=		
W	=	γ_N = ...	g = ...	T_{CP}	=	le	
C_V	=	γ = ...	P'_E = ...	T'_{CP} pass.	=	le	
dér.	=			f	=		
$R_{S1} = R_{F1}$	=			T'_{CF} pass.	=	le	

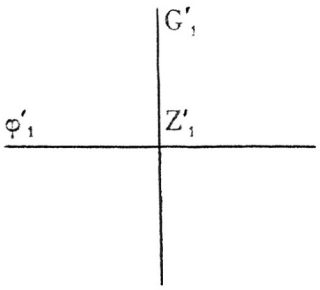
TRANSPORT DU POINT DÉTERMINATIF ET LATITUDE.

R_{F1}	=	φ'	=	G'	= .....
m_1	=	l_1	=	g_1	= .....
φ_{M1}	=	φ'_1	=	G'_1	= .....

D'_0	=	H'_i	=	N'_V	= .....
ΔD	=	$+\varepsilon$	=	D'	= .....
D'	=	H'_0	=	φ	= ..... à T'_{CF} = ... le .....
		$+C^{ion}$	=		
		$H'_{V\text{-}\ominus\text{-}}$	=		

CALCUL DES COORDONNÉES DU POINT A L'HEURE T_{CF}.

GRAPHIQUE A VUE



Formule utilisée : $g_2 = \frac{l_2}{\tan Z_E \cdot \cos \varphi'_1}$

φ	=	G'_1	= .....
φ'_1	=	g_2	= .....
l_2	=	G	= .....
Z_E	=		

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

POINT A MIDI DU FUSEAU.

$12 - T'_{CF}$	=	φ	=	G	= .....
m'_1	=	l_3	=	g_3	= .....
R_{F1}	=	φ_{midi}	=	G_{midi}	= .....
φ'_{M1}	=				

Point à midi T_{CF} le ..... φ_{midi} = ... G_{midi} = ...

Notations employées dans les calculs nautiques N° 13 et N° 15.

AV_A	Ascension verse d'une étoile.
AH_{AP} ou AH_{AO}	Angle horaire d'un astre au premier méridien.
AH_{AG}	Angle horaire d'un astre dans un lieu de longitude G.
AH_{SP} ou AH_{SO}	Angle horaire du point vernal au premier méridien.
AH_{SG}	Angle horaire du point vernal dans un lieu de longitude G.
AH_{SGE}	Angle horaire du point vernal dans un lieu de longitude estimée G_E.
AH_{VP} ou AH_{VO}	Angle horaire du soleil vrai au premier méridien.
AH_{VG}	Angle horaire du soleil vrai dans un lieu de longitude G.
AH_{VGE}	Angle horaire du soleil vrai dans un lieu de longitude estimée G_E.
A_{ZE}	Angle au zénith estimé (angle en Z du triangle de position estimée).
C_C	Cap au compas.
C_V	Cap vrai.
γ	Vitesse relative en longitude d'un astre par rapport au navire.
γ_A	Vitesse en longitude d'un astre.
γ_N	Vitesse en longitude d'un navire.
D	Déclinaison d'un astre.
D_O	Déclinaison d'un astre à une heure ronde T. U.
dér	Dérive
Δ_{AH}	Variation d'angle horaire.
Δ_D	Variation de déclinaison.
ε	Erreur instrumentale du sextant.
f	Numéro international du fuseau horaire.
φ	Latitude d'un lieu.
G	Longitude d'un lieu.
g	Changement en longitude.
H_E	Hauteur estimée d'un astre.
H_I	Hauteur instrumentale d'un astre.
H_V	Hauteur vraie d'un astre.
l	Changement en latitude.
m	Nombre de milles.
N	Distance zénithale d'un astre.
P	Angle au pôle d'un astre.
R_F	Route fond ; comptée de 0 à 360°.
R_S	Route surface ; comptée de 0 à 360°.
T_{CP}	Temps civil à Greenwich ou Temps universel.
T_{CF}	Heure du fuseau.
T_{CG}	Temps civil d'un lieu de longitude G.
V_F	Vitesse fond.
W	Variation du compas.
Z_V	Azimut vrai ; compté de 0 à 360°.
Z_E	Point estimé ou Azimut estimé compté de 0 à 360°.
Z'	Point déterminatif.
Z'_1	Point déterminatif transporté.
Z	Point observé.

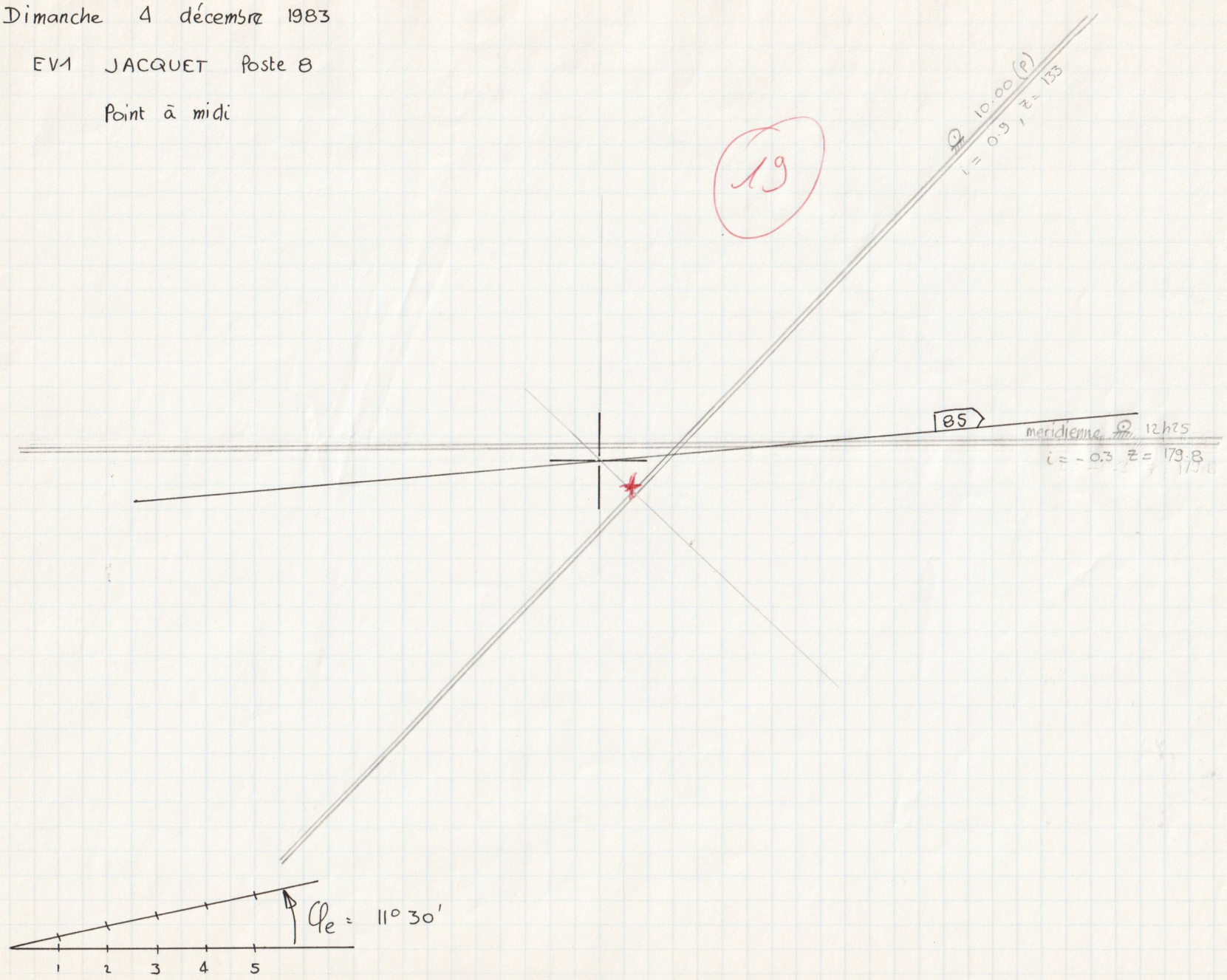
Remarque 1 *: Ces notations peuvent parfois différer de celles utilisées aux paragraphes II, III & IV.*

Remarque 2 *: Il peut être utile de consulter le « Glossaire » proposé par l'association Méridienne. On y accède par l'onglet « Atelier instrumental et documentaire ».*

Dimanche 4 décembre 1983

EV1 JACQUET Poste 8

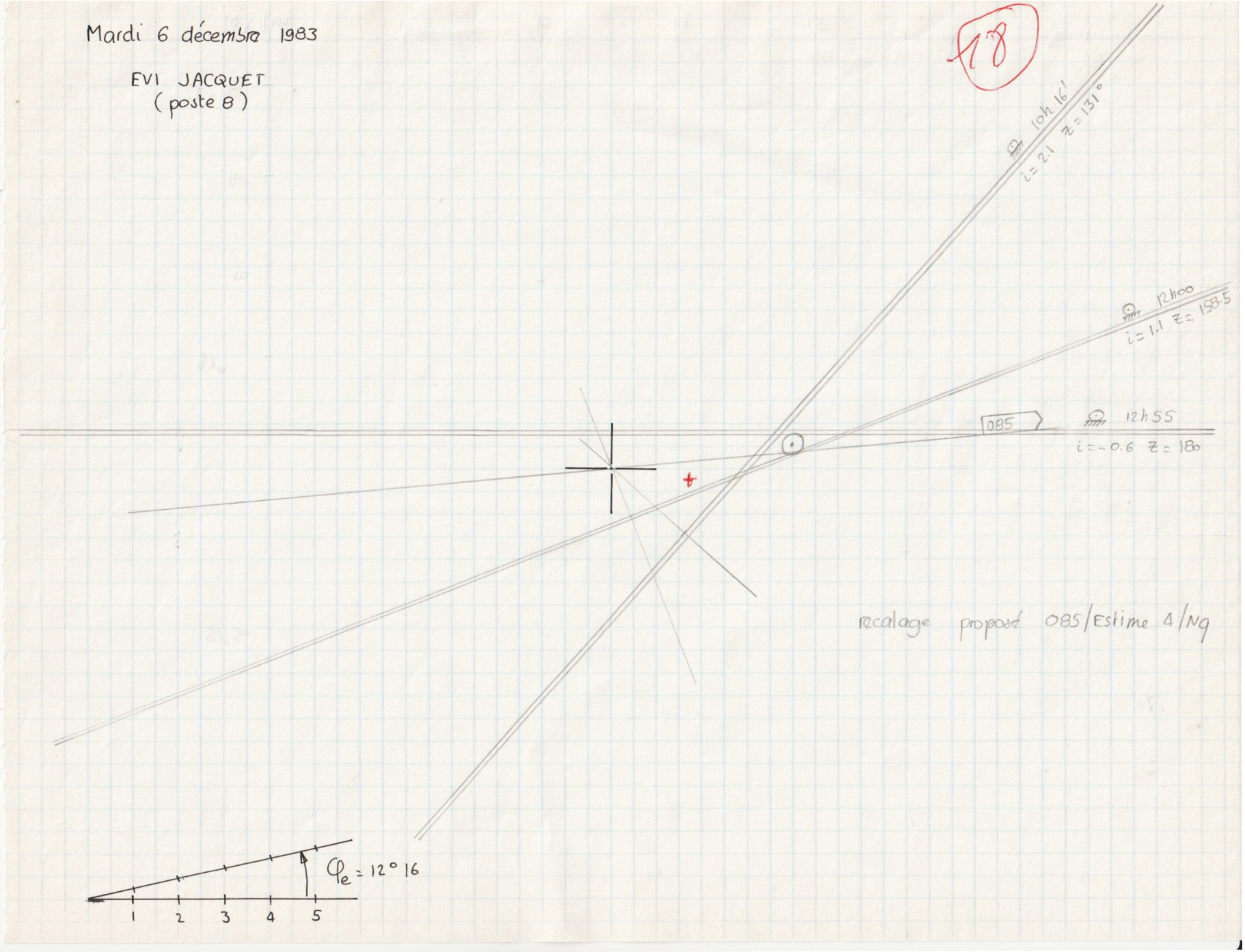
Point à midi



Mardi 6 décembre 1983

EVI JACQUET
(poste 8)

18



VI. Point d'étoiles.

Rappel de définitions :

« En astronomie, on appelle *crépuscule* la lueur, croissante avant le lever du Soleil, décroissante après son coucher, qui provient de l'éclairement des couches supérieures de l'atmosphère par les rayons de l'astre ... Dans le langage ordinaire, le mot crépuscule est réservé à la disparition du jour ; son apparition est appelée aube ou aurore.

Les différents crépuscules :

- *crépuscule civil* : Il commence le soir au coucher du Soleil et finit au moment où le centre de cet astre est abaissé de 6° au-dessous de l'horizon. Durant cette période, si le temps est clair, commencent à paraître les planètes et les étoiles de première grandeur. Le matin, les phénomènes sont inverses.

- *crépuscule nautique* : Il commence le soir au coucher du Soleil et finit au moment où le centre de cet astre est abaissé de 12° au-dessous de l'horizon. Durant cette période, si le temps est clair, commencent à paraître dans le sextant les étoiles de deuxième grandeur, en même temps que la ligne d'horizon est encore visible. Le matin, les phénomènes sont inverses.

- *crépuscule astronomique* : Il commence le soir au coucher du Soleil et finit au moment où le centre de cet astre est abaissé de 18° au-dessous de l'horizon. A ce moment, si le temps est clair, apparaissent les étoiles de sixième grandeur ; il fait nuit. Le matin, les phénomènes sont inverses. »

(Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1961 – Pages 52 à 56 – Paris- Gauthier-Villars Éditeur)
(Crédit : Bureau des Longitudes. https://site.bdlg.fr/presentation).

Les planètes Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, et les étoiles de première grandeur sont seules visibles à l'aube et au crépuscule civils. Il faut rappeler que, pour effectuer ses observations dans de bonnes conditions, le navigateur doit voir simultanément les astres et l'horizon de la mer. Dans des circonstances exceptionnelles, moyennant certaines précautions, avec un bon entraînement, il est possible d'observer de nuit, par temps clair.

Préparation du point d'étoiles.

Le navigateur expérimenté repère les étoiles en s'aidant de figures géométriques caractéristiques (le Grand chariot ou le W de Cassiopée pour trouver l'étoile Polaire), de leur magnitude, etc. qu'il a mémorisées (Voir le « Guide des étoiles » du Capitaine de vaisseau Pierre Sizaire).

Le navigateur débutant peut utiliser des planisphères célestes appelés « Identificateurs d'astres » ou « Star Finder and Identifier ». Pour les initialiser en fonction de sa position estimée, de la date et de l'heure, il utilise des Éphémérides nautiques. Il peut alors repérer les principales étoiles utilisables en navigation, visibles à cet instant, en direction (par rapport au Nord) et en hauteur (par rapport à l'horizon).

Les Éphémérides nautiques donnent les heures du lever et du coucher du Soleil ainsi que celles du début de l'aube et de fin du crépuscule civil. Ces éléments sont fournis en fonction de la latitude et exprimés en heure locale Tcg.

« Étant donné l'impossibilité de définir de façon rigoureuse les conditions les meilleures d'observation sur lesquelles influent souvent des facteurs très divers, on ne recherchera pas une précision rigoureuse dans la préparation d'une observation crépusculaire….

Les interpolations de ces phénomènes pour la date et la latitude pourront être faites à vue. …. ».

(Extrait de la page 34 des Éphémérides nautiques 2022).
(Crédit : Bureau des Longitudes. https://site.bdlg.fr/presentation)

Le type de calcul nautique n° 15 (Point par trois hauteurs d'étoiles à courts intervalles – Édition 1983) était utilisé pour la formation des officiers de la Marine marchande.
(Voir pages suivantes).

***Remarque** : Pour la résolution des formules, l'élève-officier disposait des **Éphémérides nautiques** de l'année en cours ainsi que d'une **calculatrice électronique** à fonctionnement autonome, non programmable, non programmée, non imprimante avec entrée unique par clavier (Exemple : Marque CASIO, type fx-82B).*

15. (Durée 60 minutes).

Le ..... (date locale), vers T_{CP} ....., le point estimé hauteurs suivantes d'étoiles et noté les heures T_{CP} correspondantes.

H'_i ..... = ... T'_{CP} = ...
H''_i ..... = ... T''_{CP} = ...
H'''_i ..... = ... T'''_{CP} = ...

Déterminer par graphique le point à l'instant de la troisième observation

---

T'_{CP} = ... le .....
f = ...

T_{CP} app. = ... le .....
T'_{CP} = ... le .....

$H'i$ = ...
$+ \varepsilon$ = ...

H'_o = ...
$+ C^{ion}$ = ...

H'_v = ...

Ah'_{SO} = ...
$\Delta Ah'$ = ...

Ah'_{SP} = ...
G_E = ...

Ah'_{SGE} = ...
Ah'_A = ...

Ah'_{AGE} = ...
P'_E = ...

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

$H''i$ = ...
$+ \varepsilon$ = ...

H''_o = ...
$+ C^{ion}$ = ...

H''_v = ...

FORMULES UTILISÉES. — CALCUL DES H_E : $H_E = \sin^{-1}(\sin\varphi_E . \sin D + \cos\varphi_E . \cos D . \cos P_E)$

φ_E = ...
D' = ...
P'_E = ...

H'_v = ...
H'_E = ...

$H'_v - H'_E$ = ... Z'_E = ...

φ_E = ...
D'' = ...
P''_E = ...

H''_v = ...
H''_E = ...

$H''_v - H''_E$ = ...

ÉLÉMENTS DE TRANSPORT
DE LA 1re ET DE LA 2e DROITE DE HAUTEUR

T'''_{CP} = ...
T'_{CP} = ...
t' = ...
m' = ...

T'''_{CP} = ...
T''_{CP} = ...
t'' = ...
m'' = ...

C_C = ...
W = ...
C_v = ...
dér = ...
$R_s = R_p$ = ...

— **Point par trois hauteurs d'étoiles à courts intervalles**

ayant pour coordonnées φ_E = ..., G_E = ..., on a pris, à courts intervalles, les ε = ..., élévation = ... mètres.

Le navire fait route au ..... du compas, W = ..., dérive = ..., vitesse = ... nœuds, courant nul.

dont on précisera l'heure T'''_{CF} (on traitera toutes les hauteurs avec le même point estimé).

$\text{Æ}''_{SO}$ = ...		$\text{Æ}'''_{SO}$ = ...
$\Delta\text{Æ}''$ = ...		$\Delta\text{Æ}'''$ = ...
$\text{Æ}''_{SP}$ = ...	T'''_{CP} = ... le	$\text{Æ}'''_{SP}$ = ...
G_E = ...		G_E = ...
$\text{Æ}''_{SGE}$ = ...	H'''_i = ...	$\text{Æ}'''_{SGE}$ = ...
$\text{Æ}''_A$ = ...	+ ε = ...	$\text{Æ}'''_A$ = ...
$\text{Æ}''_{AGE}$ = ...	H'''_0 = ...	$\text{Æ}'''_{AGE}$ = ...
P''_E = ...	+ C^{ion} = ...	P'''_E = ...
	H'''_V = ...	

CALCUL DES A_{ZE} : $A_{ZE} = \cos^{-1}\left(\frac{\sin D - \sin\varphi_E \cdot \sin H_E}{\cos\varphi_E \cdot \cos H_E}\right)$

φ_E = ...

D''' = ...

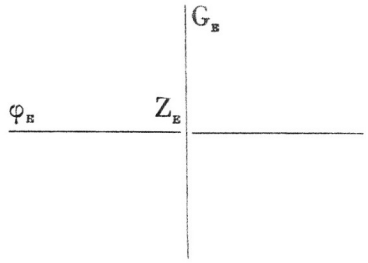
P'''_E = ...

H'''_V = ...

H'''_E = ...

Z''_E = ... $H'''_V - H'''_E$ = ... Z'''_E = ...

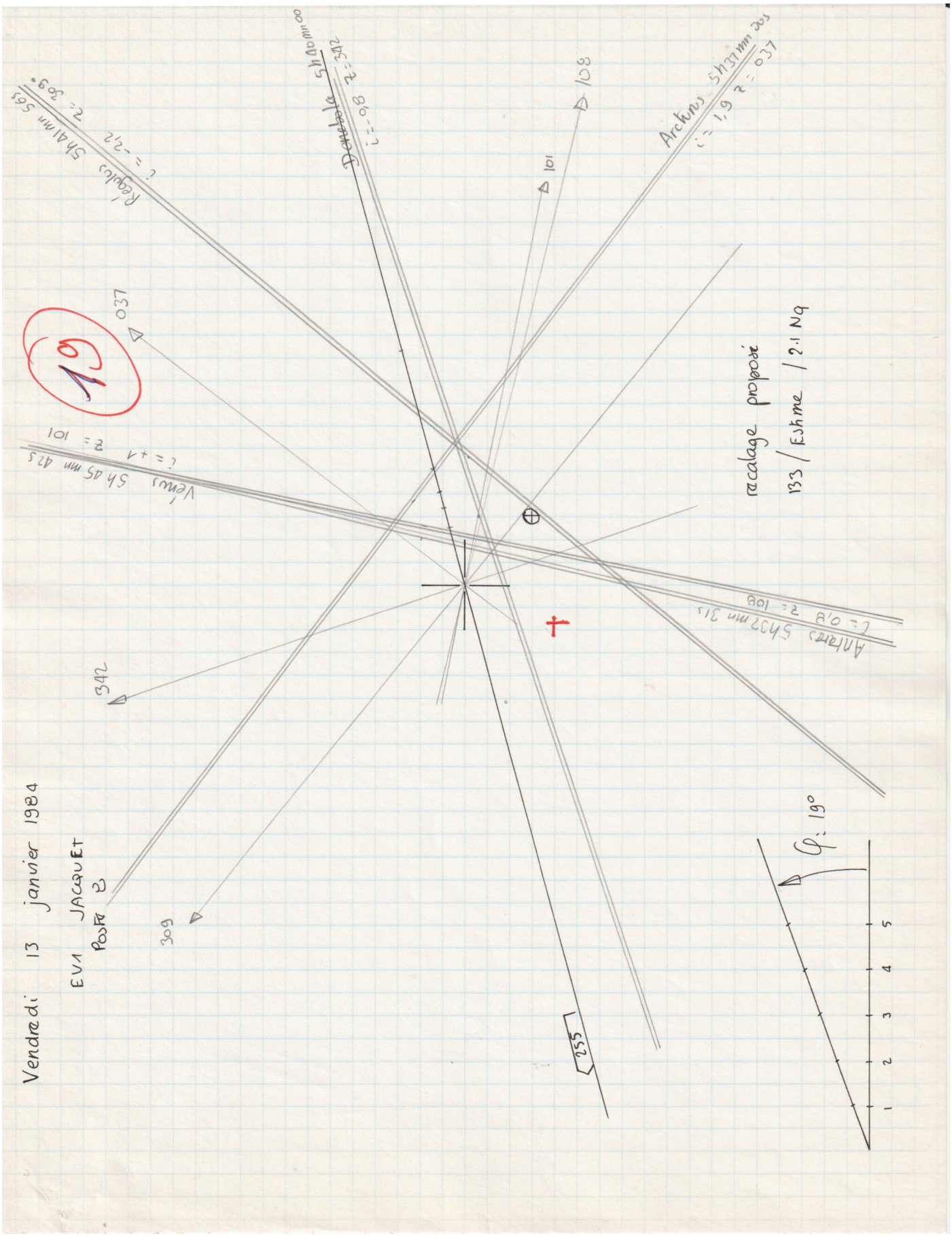
GRAPHIQUE À VUE ET POINT

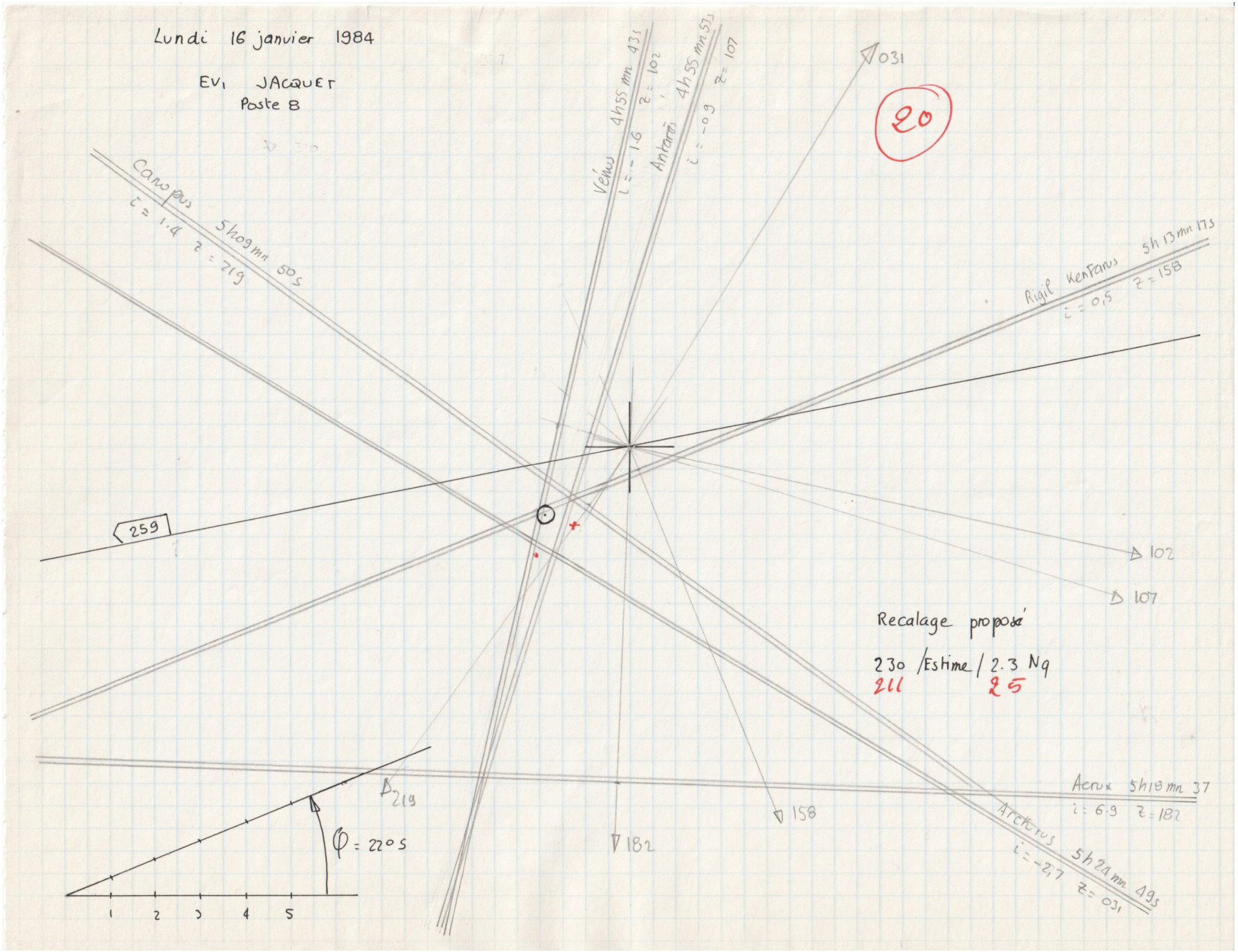


POINT (GRAPHIQUE)

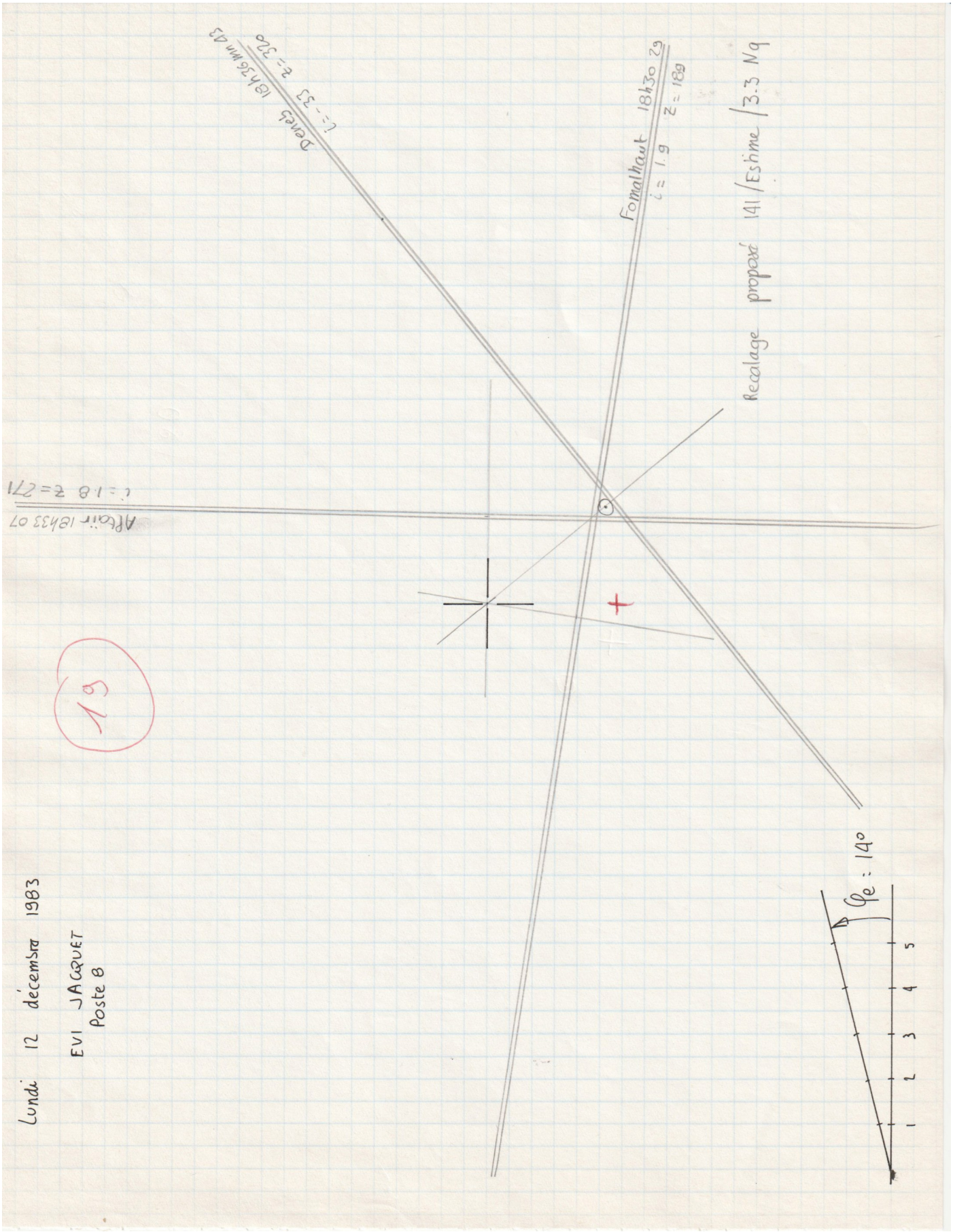
T'''_{CP} = ...	φ_E = ...	G_E = ...
f = ...	l = ...	g = ...
Point Z à T'''_{CF} = ...	φ = ...	G = ...

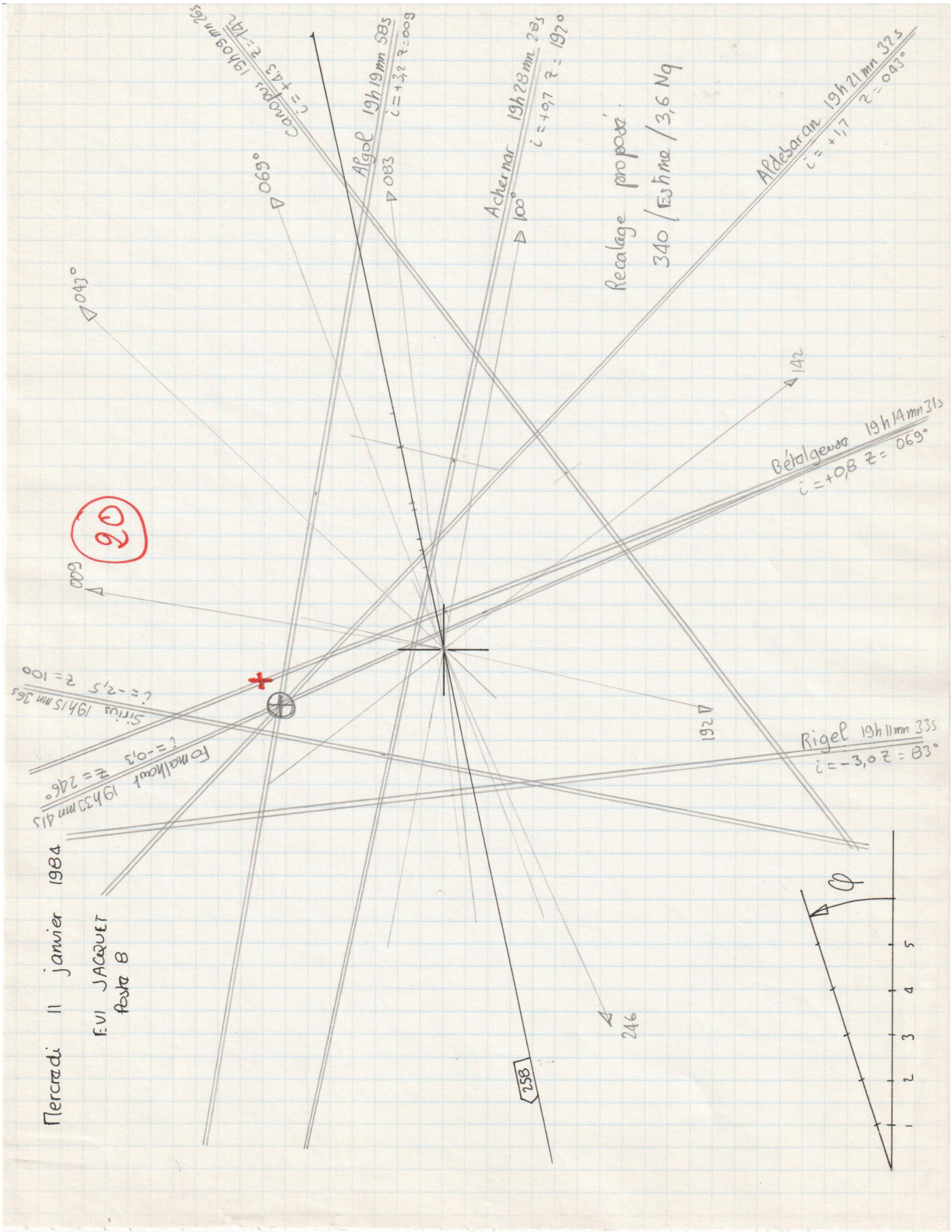
II.1. Point à l'aube.

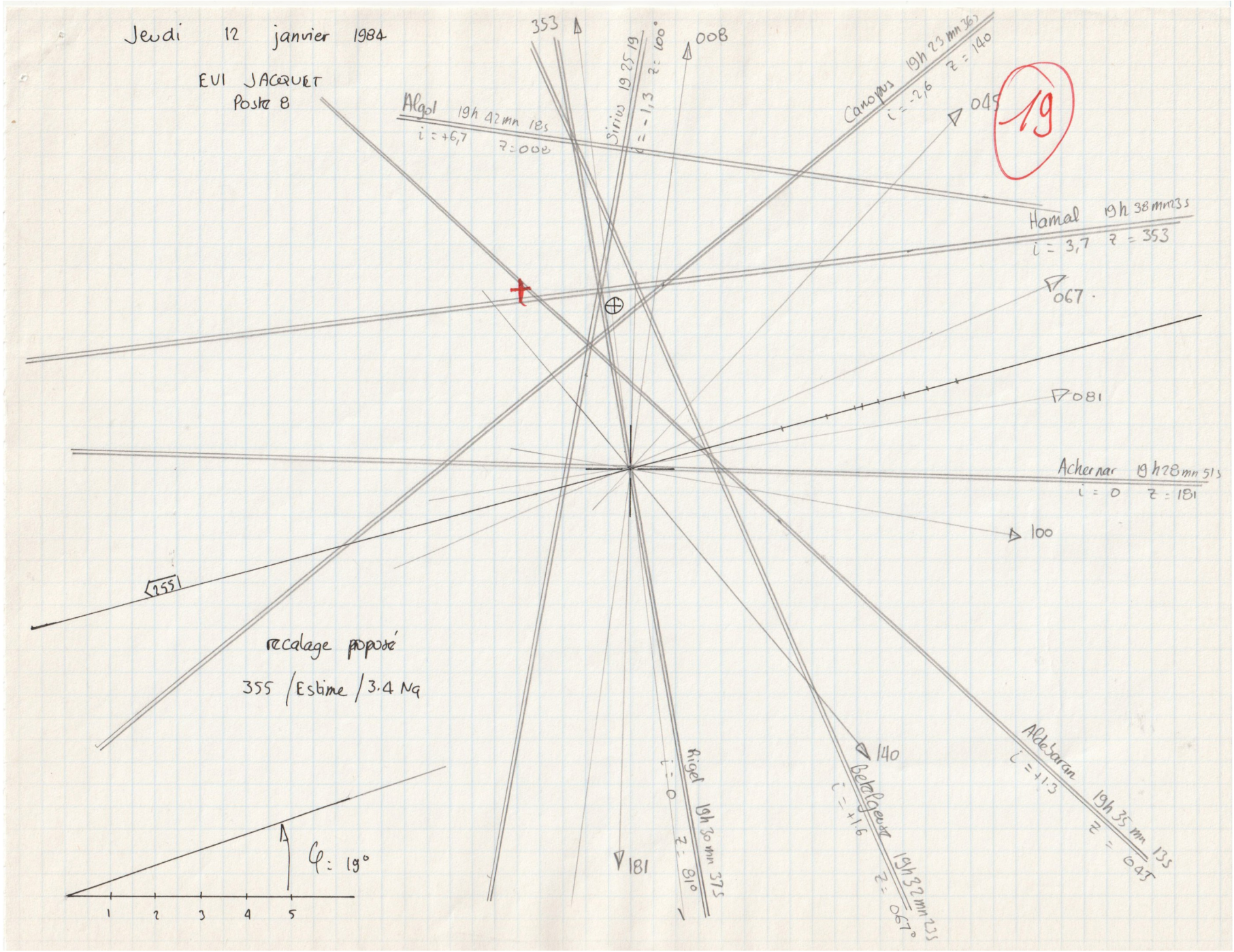



Lundi 16 janvier 1984
EV1 JACQUET
Poste 8
20
Canopus 5h09mn 50s
i = 1.4 z = 219
Vehus 4h55mn 43s
i = -1.6 z = 102
Antarès 4h55mn 53s
i = -0.9 z = 107
031
Rigil Kentaurus 5h13mn 17s
i = 0,5 z = 158
259
102
107
Recalage proposé
230 /Estime/ 2.3 Nq
211 25
Acrux 5h19mn 37
i = 6.9 z = 182
Arcturus 5h24mn 49s
i = -2,7 z = 031
158
182
219
φ = 22°S
1 2 3 4 5

II.2. Point crépusculaire.




Mercredi 11 janvier 1984
EVI JACQUET
Festa 8
Fomalhaut 19h33mn 41s
i = -0,3 Z = 246°
Sirius 19h15mn 36s
i = -2,5 Z = 100°
Canopus 19h09mn 26s
i = +4,3 Z = 141°
Algol 19h19mn 58s
i = +3,2 Z = 009
Achernar 19h28mn 28s
i = +0,7 Z = 192°
Recalage proposé
340 / Estimé / 3,6 Nq
Aldebaran 19h21mn 32s
i = +1,7 Z = 043°
Bételgeuse 19h14mn 31s
i = +0,8 Z = 069°
Rigel 19h11mn 33s
i = -3,0 Z = 83°
043°
069°
083
100°
142
192
246
258
600
20
1
2
3
4
5


Jeudi 12 janvier 1984
EVI JACQUET
Poste 8
19
353
008
045
067
081
100
140
181
355
Algol 19h 42mn 18s
i = +6,7 z = 008
Sirius 19 25 19
i = -1,3 z = 100°
Canopus 19h 23mn 36s
i = -2,6 z = 140
Hamal 19h 38mn 23s
i = 3,7 z = 353
Achernar 19h 28mn 51s
i = 0 z = 181
Aldebaran 19h 35mn 13s
i = +1,3 z = 045
Bellatrix 19h 32mn 23s
i = +1,6 z = 067°
Rigel 19h 30mn 37s
i = 0 z = 181°
recalage proposé
355 / Estime / 3.4 Ng
φ = 19°
1 2 3 4 5

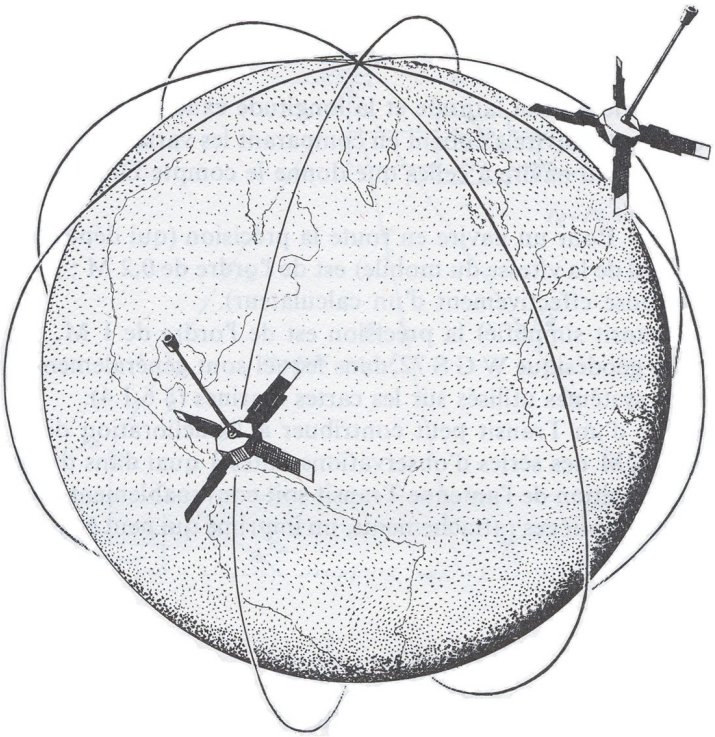
ANNEXE II.

Le système de navigation par satellites « TRANSIT ».

Principe : La localisation du navire s'effectue à partir d'une série de mesures de la vitesse relative satellite → navire.
C'est une application de l'effet Doppler.

Description : Ce système, développé aux États-Unis, baptisé « Transit » ou « Navy Navigation Satellite System » a été mis en service en 1964. Il comprend six satellites d'orbite polaire, sensiblement circulaire, et gravitant à une altitude d'environ 1 075 kilomètres. La durée d'une révolution est d'environ 1 h 47 min et celle du passage au-dessus de l'horizon, pour un navire, est d'environ 15 minutes. Les plans des orbites sont décalés pour assurer une couverture aussi homogène que possible de la Terre.

Pôle Nord



Orbites polaires des satellites de navigation

Ces satellites émettent deux fréquences, l'une de 150 MHz, l'autre de 400 MHz, très stables. Elles servent à transmettre un message permettant de connaître les éléments de l'orbite du satellite ainsi que des tops espacés de deux minutes.

Mesures : A la réception du message le navigateur est donc capable de connaître la position exacte du satellite à chaque top de deux minutes. Pour connaître sa propre position, il lui faut donc mesurer sa position relative par rapport au satellite.
Pour cela, le récepteur effectue une mesure de décalage en fréquence des porteuses (400 MHz et 150 MHz) dû à l'effet Doppler. On obtient, à la surface du globe, un lieu pseudo-hyperbolique ; en principe trois lieux, c'est-à-dire trois intervalles de deux minutes appartenant au passage d'un même satellite, permettent de déterminer la position du navire (en latitude et longitude). En pratique, on exploite de quatre à huit lieux.

Pour un navire en route, la précision est de l'ordre de 0,2 mille marin.

L'inconvénient du système « Transit » est qu'il ne délivre pas de point de façon continue. L'intervalle de temps entre les localisations est plus important à l'Équateur et diminue lorsque le navire se rapproche des pôles.

(Ce document reprend, pour l'essentiel, les informations figurant au chapitre 9 du GUIDE DU NAVIGATEUR – Édition 1977 – Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

Note : Le système « Transit » était utilisé à bord de la Jeanne d'Arc pour la localisation du navire. Ses indications servaient de référence pour apprécier la qualité des observations astronomiques réalisées par les officiers-élèves.

SOURCES.

Bureau des longitudes. Annuaire pour l'an 1961. Gauthier-Villars Éditeur – Paris.

Calculs nautiques. Arrêté fixant les types des calculs nautiques à utiliser au cours des examens de la Marine marchande (4 août 1981). Édition 1983 (Imprimerie Nationale. Marine Marchande – Examens – 1983. - 3 951324 T 95).

École Navale – Cours de navigation à l'usage des E. O. R.

Éphémérides nautiques 2022 – Bureau des longitudes. IMCCE. Edinautic. Paris.

LE CALVÉ Amédée. – Cours de Navigation – Tome second : Navigation astronomique – Paris – Éditions maritimes et coloniales – 1959.

MARGUET Frédéric. - Histoire générale de la navigation du XVe au XXe siècle - Société d'Éditions Géographiques Maritimes et Coloniales – Paris - 1931.

OLIVEAU Maurice – La navigation astronomique à la portée de tous. Éditions du Compas. Paris. 1977.

Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Guide du navigateur (Renseignements relatifs aux documents nautiques et à la navigation) – Édition 1977 – Paris.

SIZAIRE Pierre – Le guide des étoiles. Les grandes éditions françaises. Paris. 1975.