

NAVIGATION ASTRONOMIQUE

Cosmographie: Rappels et Définitions

Par Bernard Guiot



Transat 2012

Pourquoi à l'heure des satellites et du GPS, s'intéresser à la Navigation astronomique et aux étoiles ?

- Pour se reconnecter à l'Univers et comprendre notre galaxie
- Pour le plaisir d'observer les étoiles et les constellations par une belle nuit de traversée
- Pour comprendre les mouvements des astres
- Pour le bonheur de calculer soi-même sa position
- Et si tout tombait en panne ? !

Sources:

1-Cours de navigation astronomique- Alain Ferrier -Centre nautique des Glénans- n° 66 « Glénans » 1972

2- Etoiles et Pont Astro. Alain Grée- Voiles et voilier hors série 1996

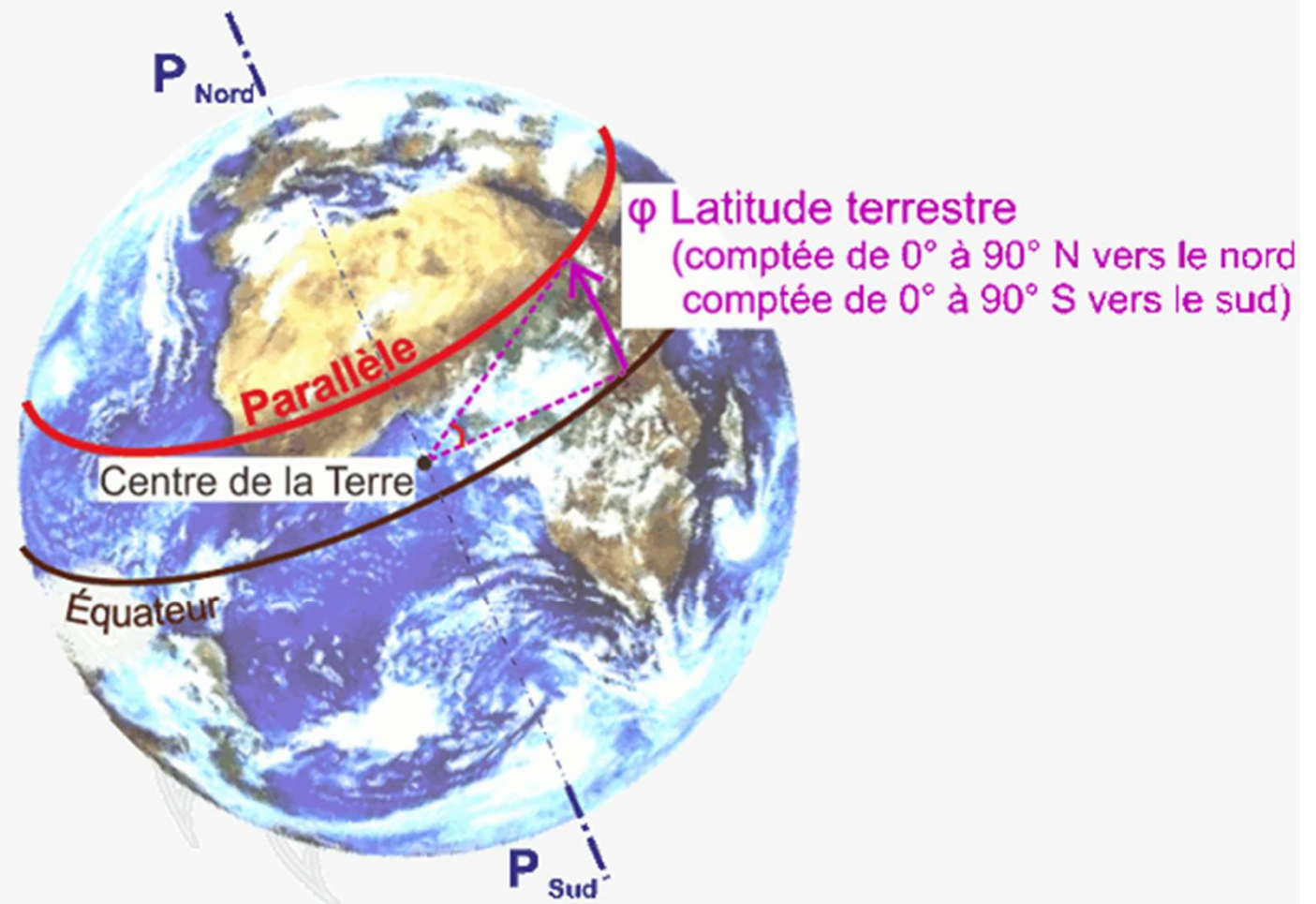
3- Mettre les voiles avec Antoine- Edition Arthaud 1983

4-Croquis astro : Association Méridienne Nantes. <http://www.meridienne.org/atelier/glossaire/>

5- Introduction au principe de la droite de hauteur - François Meyrier- stage GIC 2009

PARALLELE

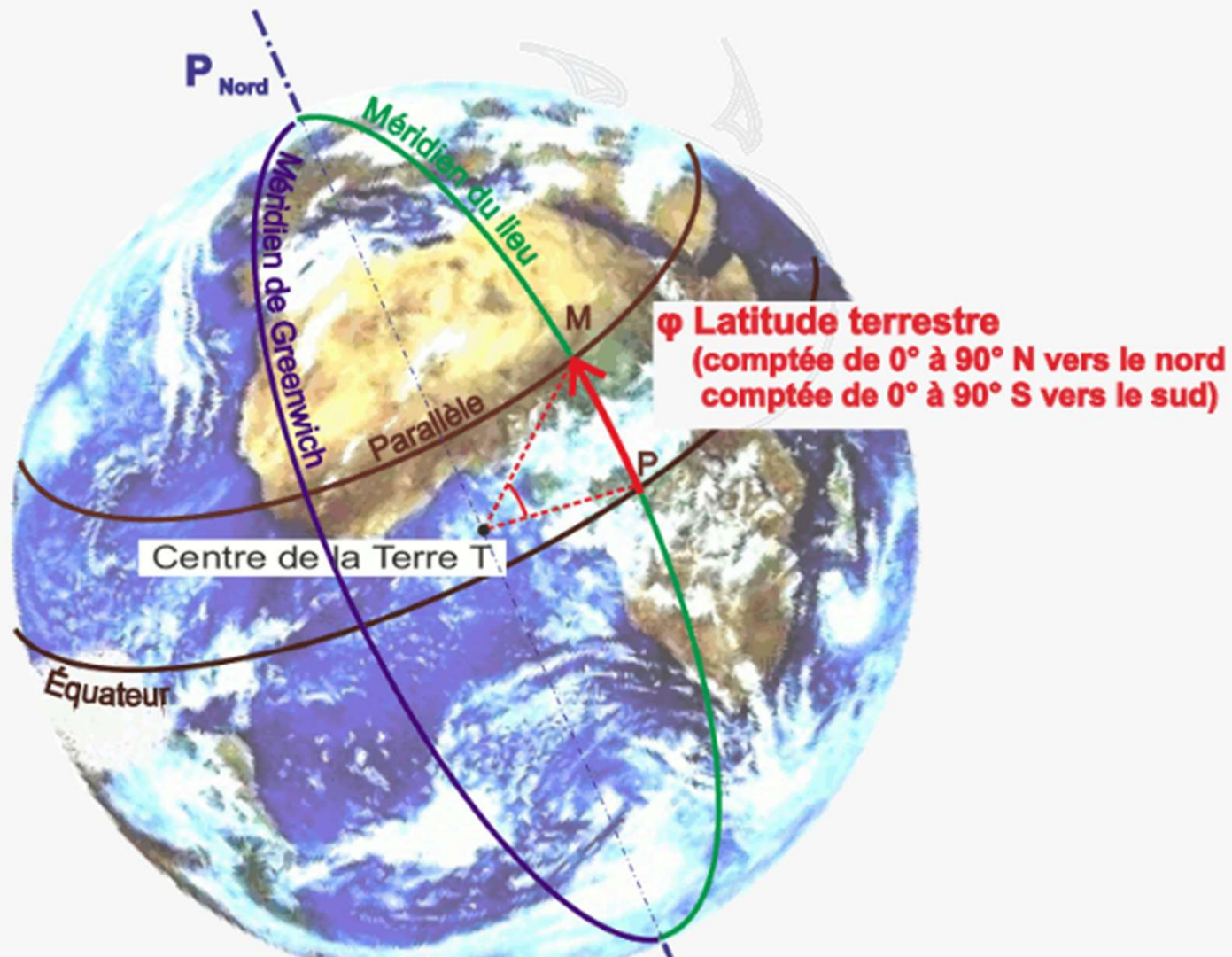
Un **parallèle** est un cercle situé dans un plan parallèle au **plan équatorial** sur la Terre ou sur la **sphère céleste**.
Un **parallèle** est caractérisé par la **latitude** commune à chacun de ses points. Tous les points d'un **parallèle** sont à la même **latitude terrestre** ou **céleste**.



LATITUDE

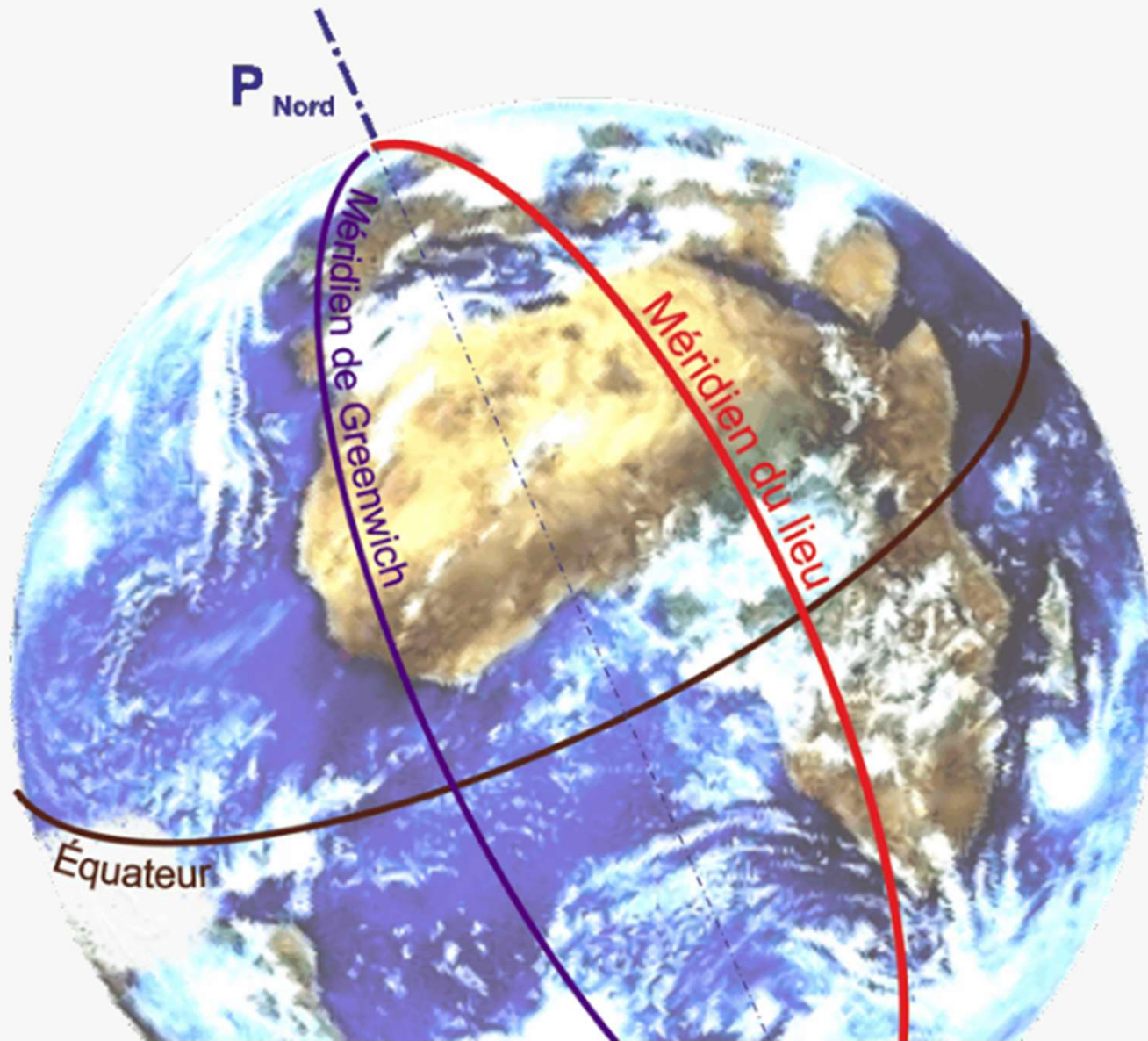
La **latitude terrestre** d'un lieu à la surface de la Terre est l'angle formé par le plan de l'**équateur** avec la **verticale** du lieu. Elle est comptée de 0° à l'**équateur** à 90° aux pôles. On précise si elle est Nord ou Sud.

Dans l'hémisphère Nord, c'est précisément la hauteur du **pôle céleste** Nord et approximativement la **hauteur** de l'Étoile Polaire.



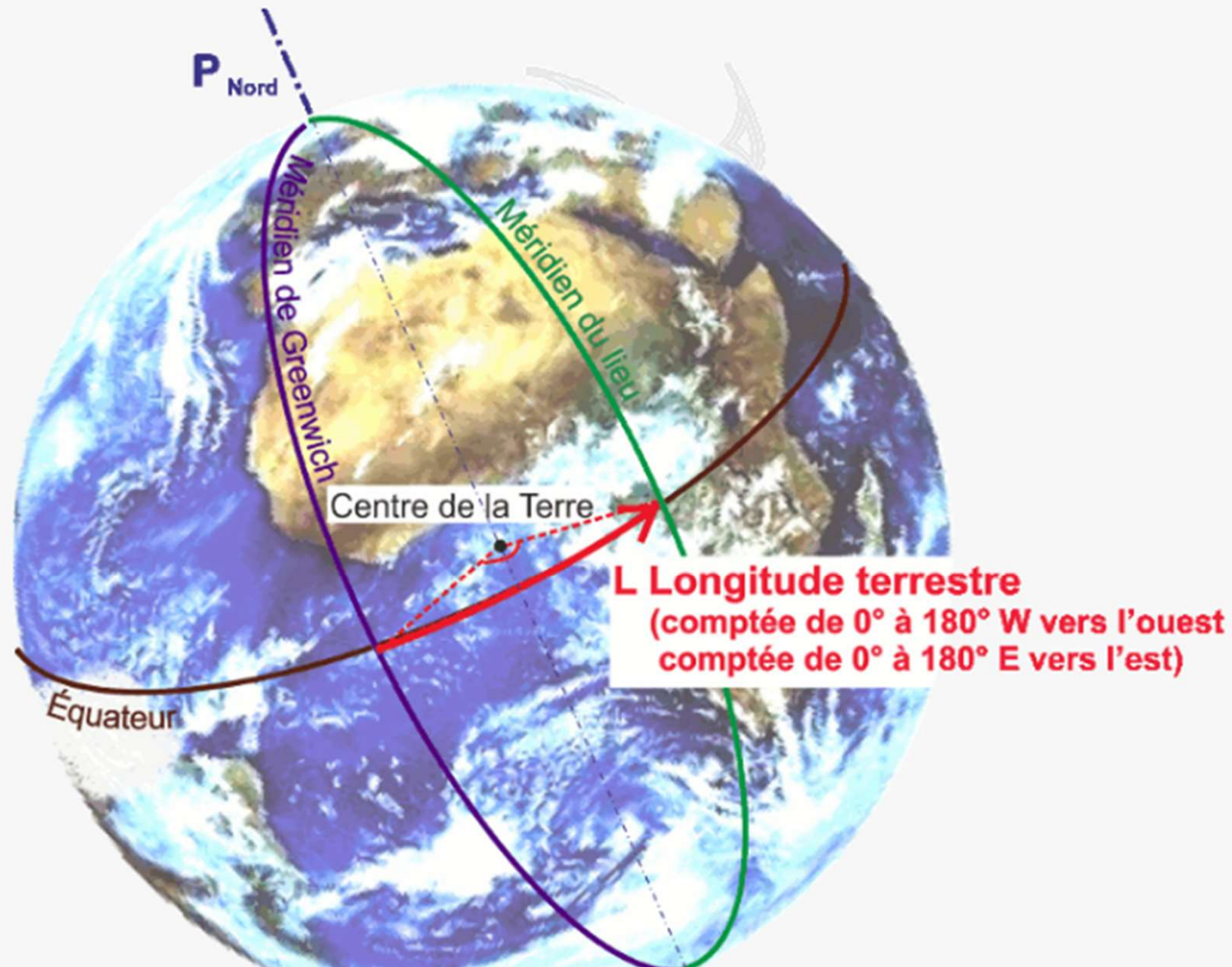
MERIDIEN

Le **méridien terrestre** en un lieu à la surface de la Terre est le demi-grand cercle sur la Terre passant par ce lieu, intersection de la surface terrestre avec un demi-plan limité par l'axe de la Terre.
Tous les points d'un même **méridien terrestre** ont la même **longitude terrestre**.




LONGITUDE

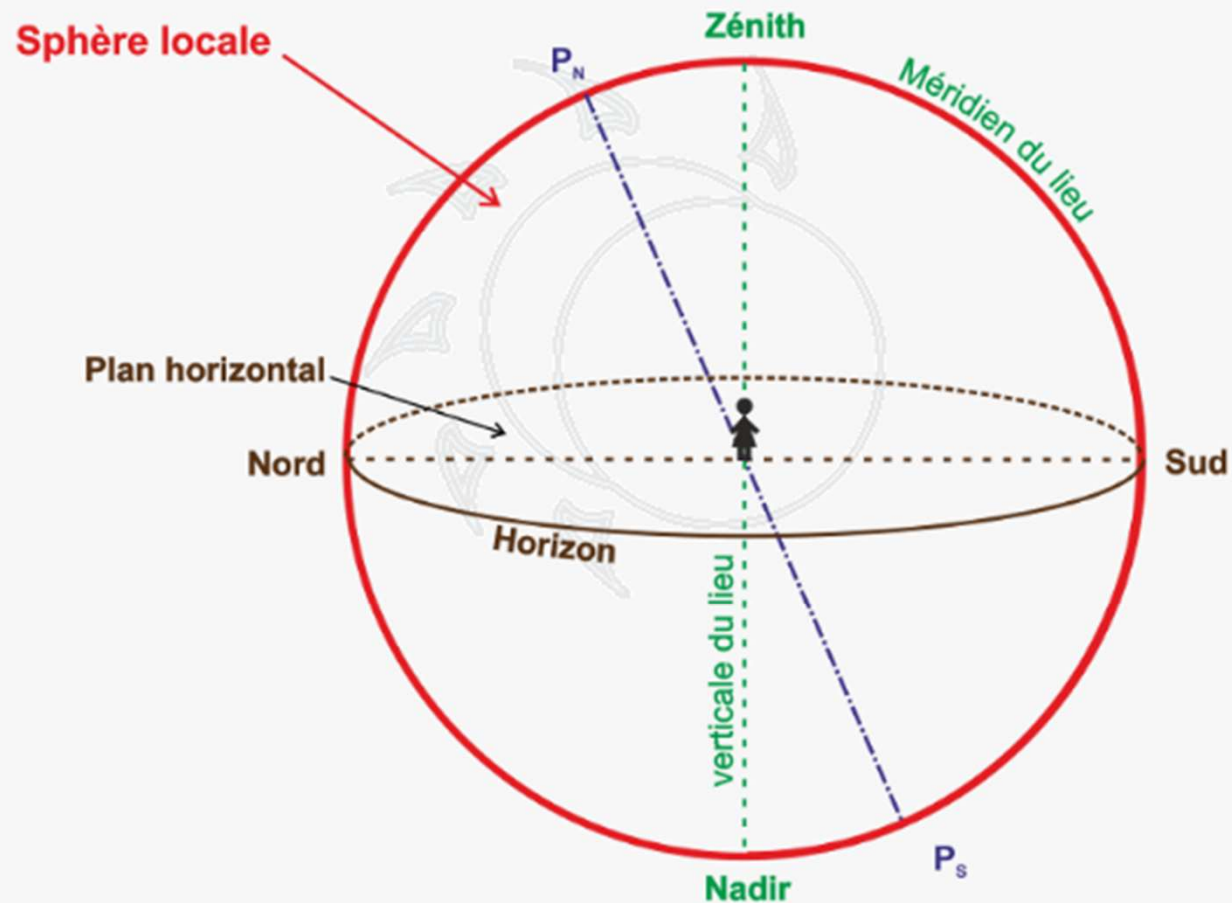
La **longitude** d'un lieu à la surface de la Terre est l'écart angulaire entre le **méridien** origine (**méridien** de Greenwich) et le **méridien** de ce lieu. Elle est comptée de 0° à 180° de part et d'autre du **méridien** de Greenwich. On précise si elle est Ouest ou Est.



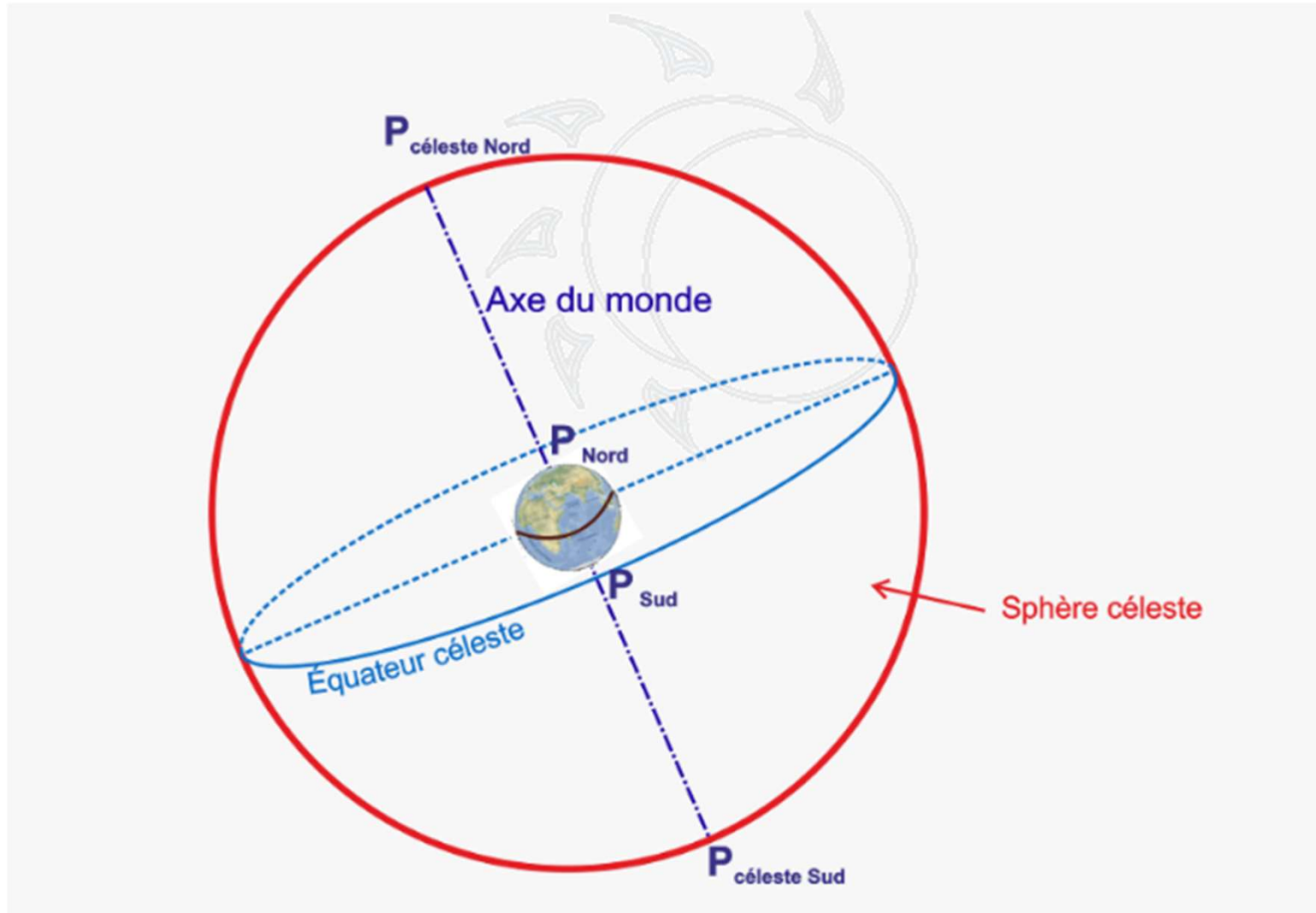
SPHERE LOCALE

La **sphère (céleste) locale** est semblable à la **sphère céleste** mais elle est centrée sur l'observateur. Le repérage sur cette sphère est lié aux éléments fixes et privilégiés du lieu que sont la **verticale** (diamètre), le **plan horizontal** (plan diamétral), le **méridien** (demi-grand cercle) et l'**horizon** (grand cercle).

Sur les schémas, la **sphère locale** est distinguée de la **sphère céleste** par la présence en son centre d'une petite silhouette  .



SPHERE CELESTE

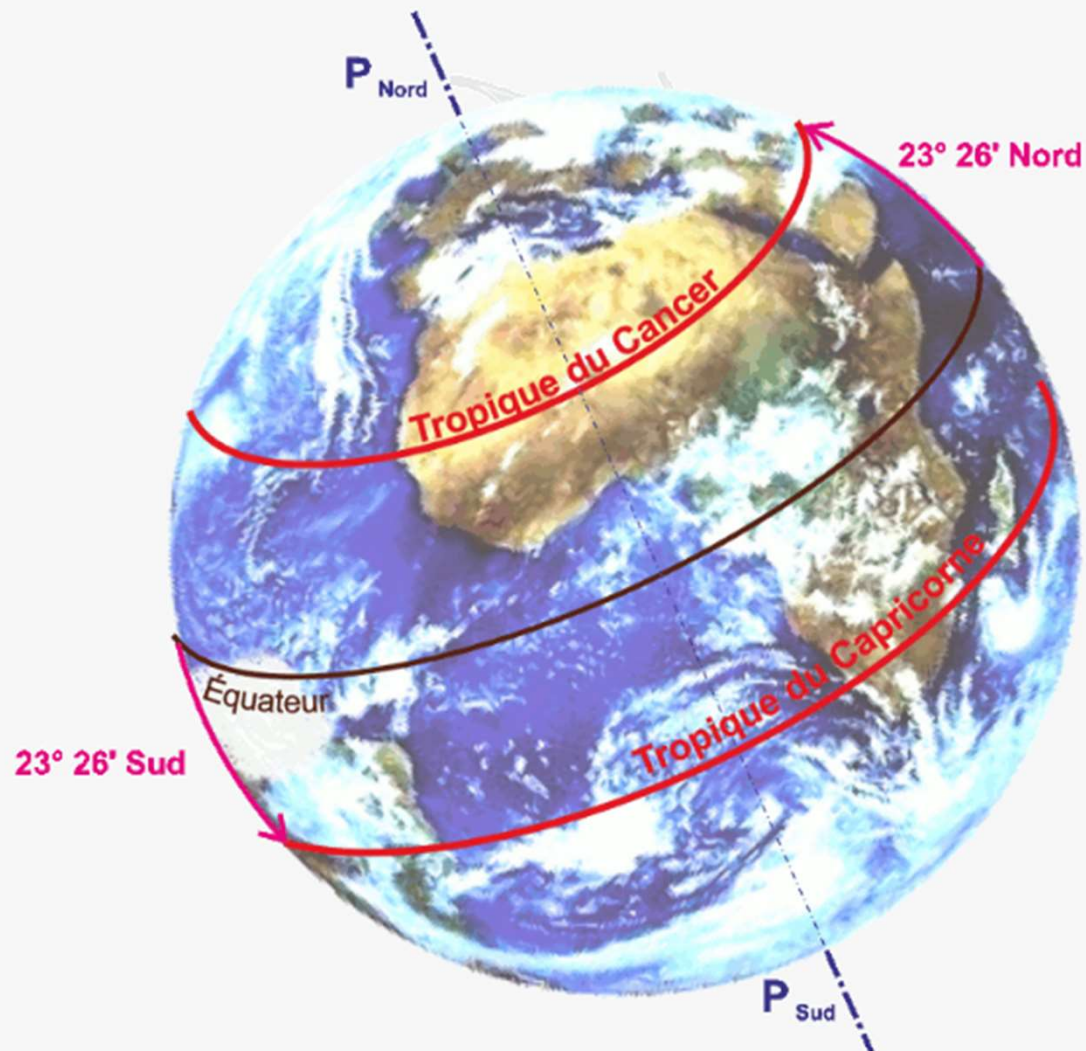


TROPIQUES

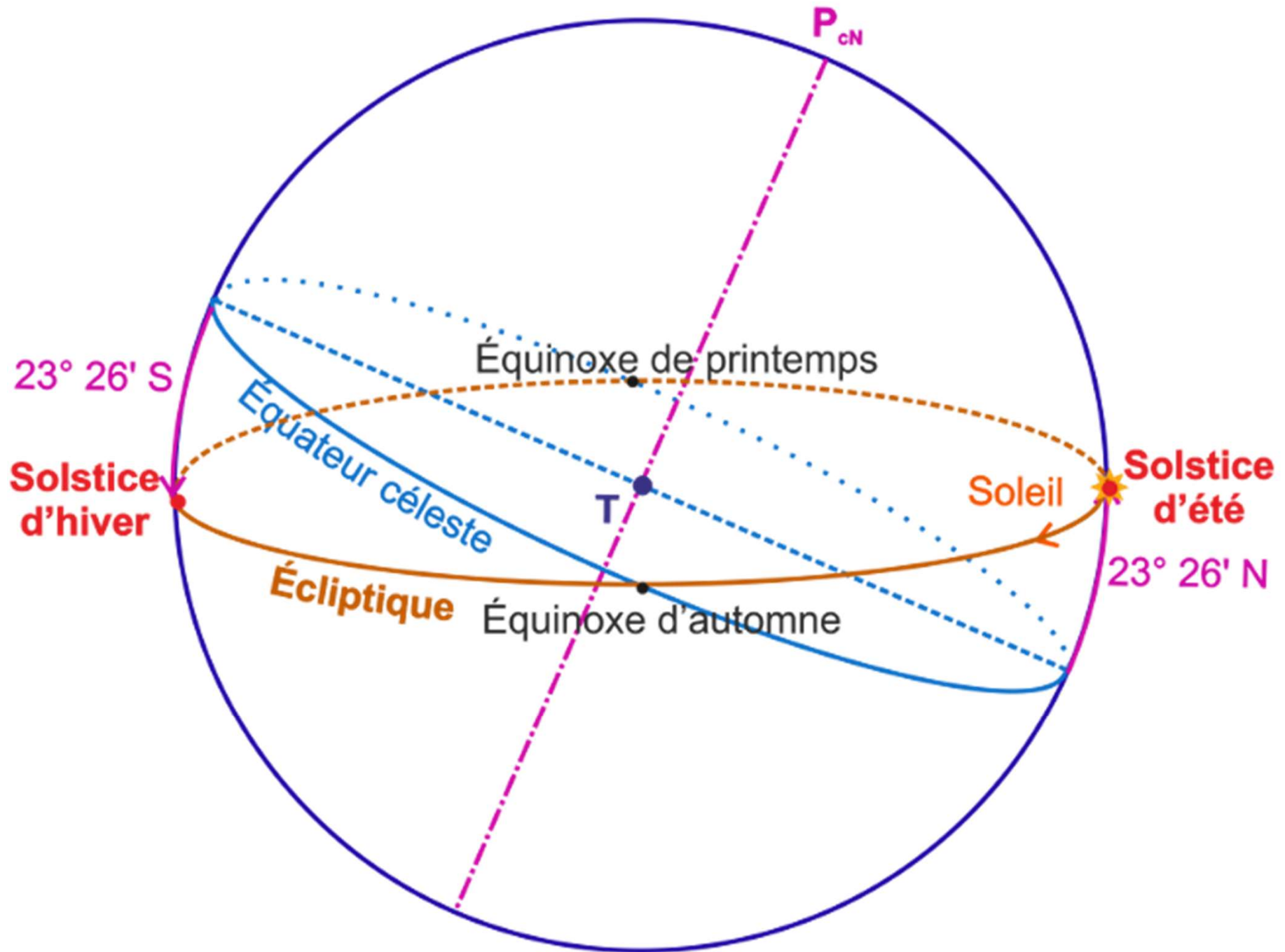
Les **tropiques** sont les deux **parallèles** terrestres de **latitudes** égales à l'**obliquité de l'écliptique** soit approximativement $+ 23^{\circ} 26'$ Nord et $23^{\circ} 26'$ Sud.

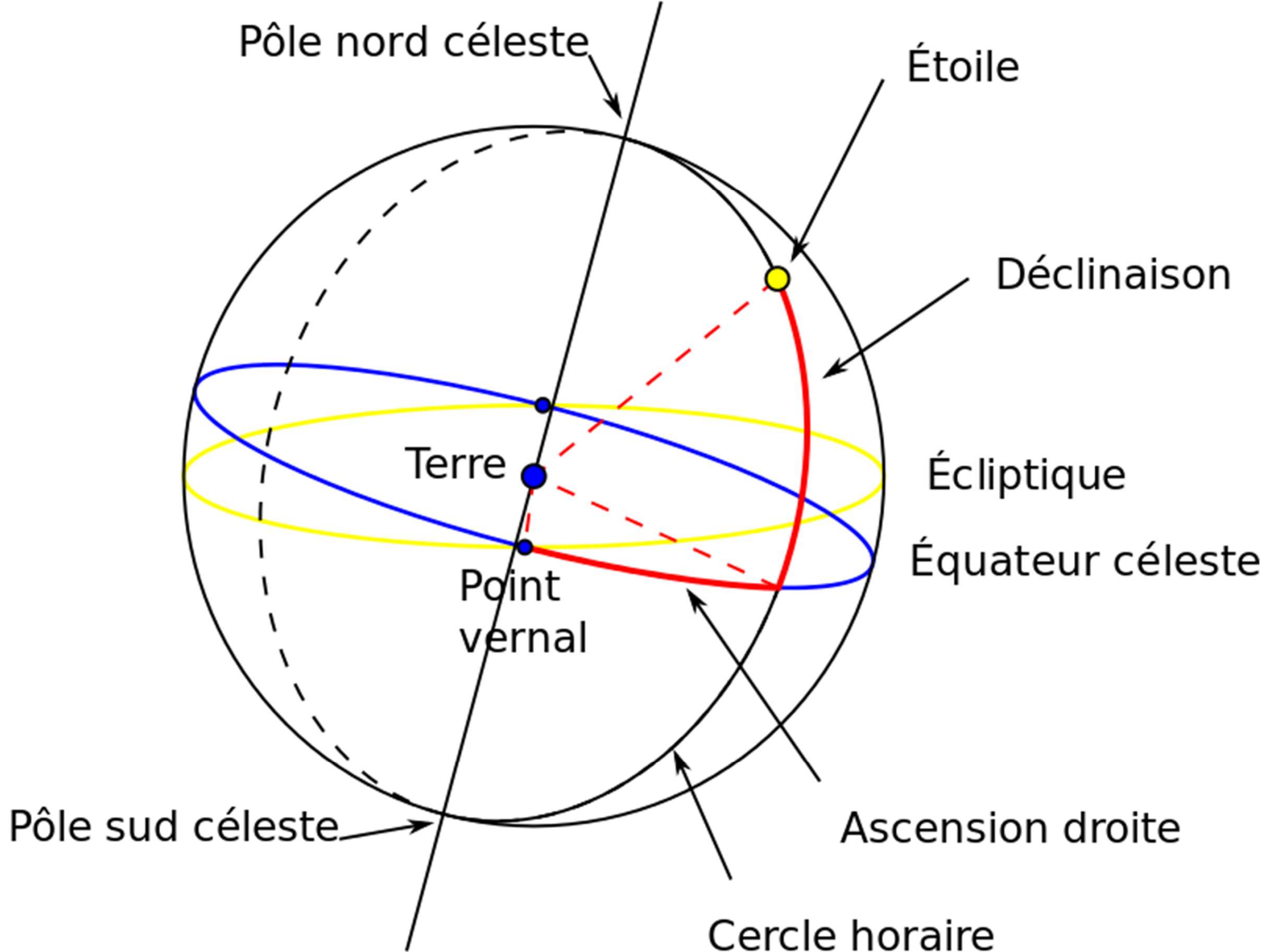
Le **tropique** de l'hémisphère Nord est le **tropique** du Cancer. Le **tropique** de l'hémisphère Sud est le **tropique** du Capricorne.

Dans la zone intertropicale ou équatoriale, comprises entre les deux **tropiques** le Soleil passe deux fois au **zénith** au cours de l'année. Mais pour les lieux situés sur les **tropiques** il ne passe qu'une seule fois au **zénith**, au **solstice** d'été sur le **tropique** du Cancer, et au **solstice** d'hiver sur le **tropique** du Capricorne.



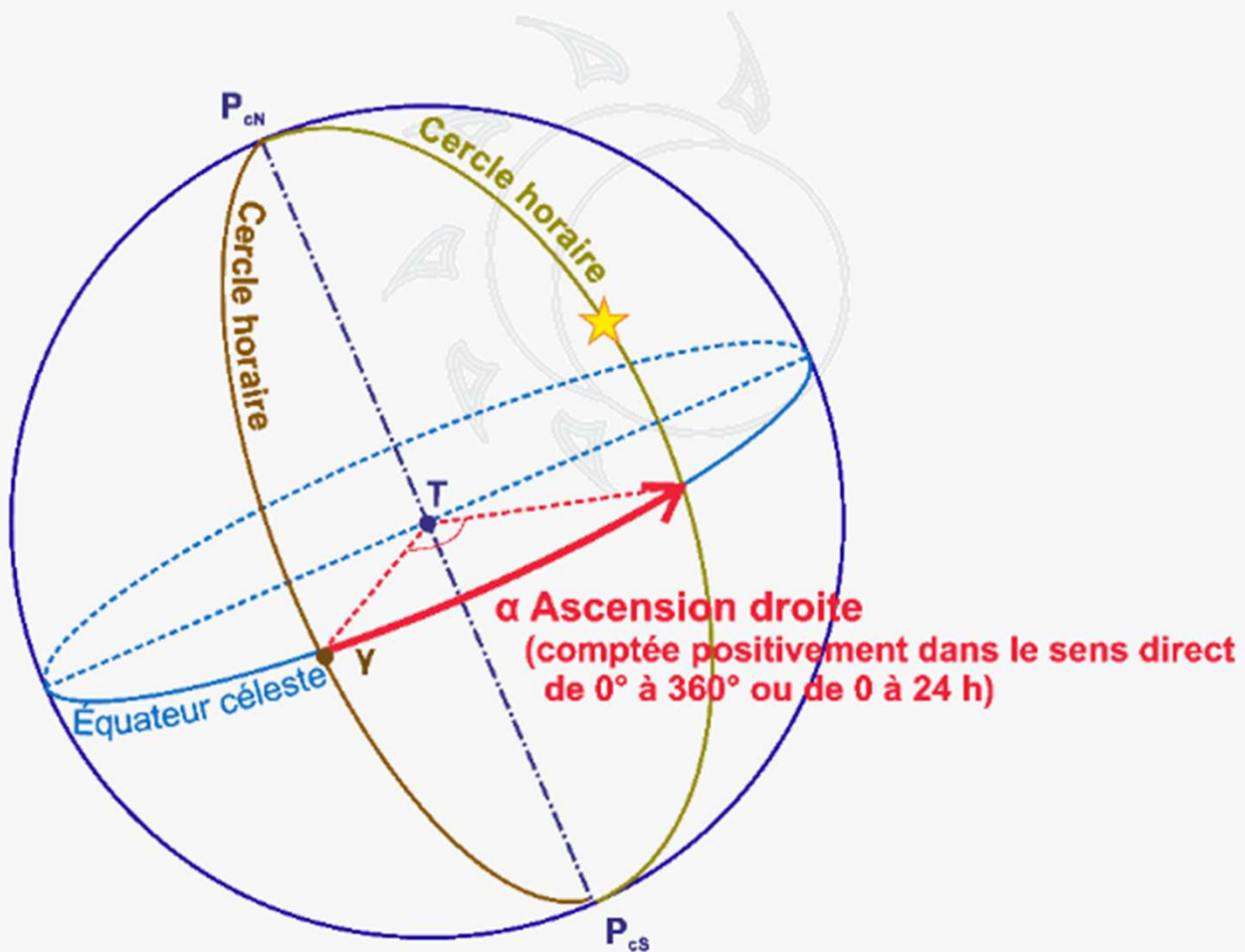
SOLSTICES





ASCENSION DROITE AR

L'**ascension droite** d'un **astre** est l'angle entre le **cercle horaire** du **point vernal** et celui de l'**astre**. Elle se compte en heures de 0 à 24 h (ou en degrés de 0° à 360°) sur l'**équateur céleste** dans le **sens direct** à partir du **point vernal γ**

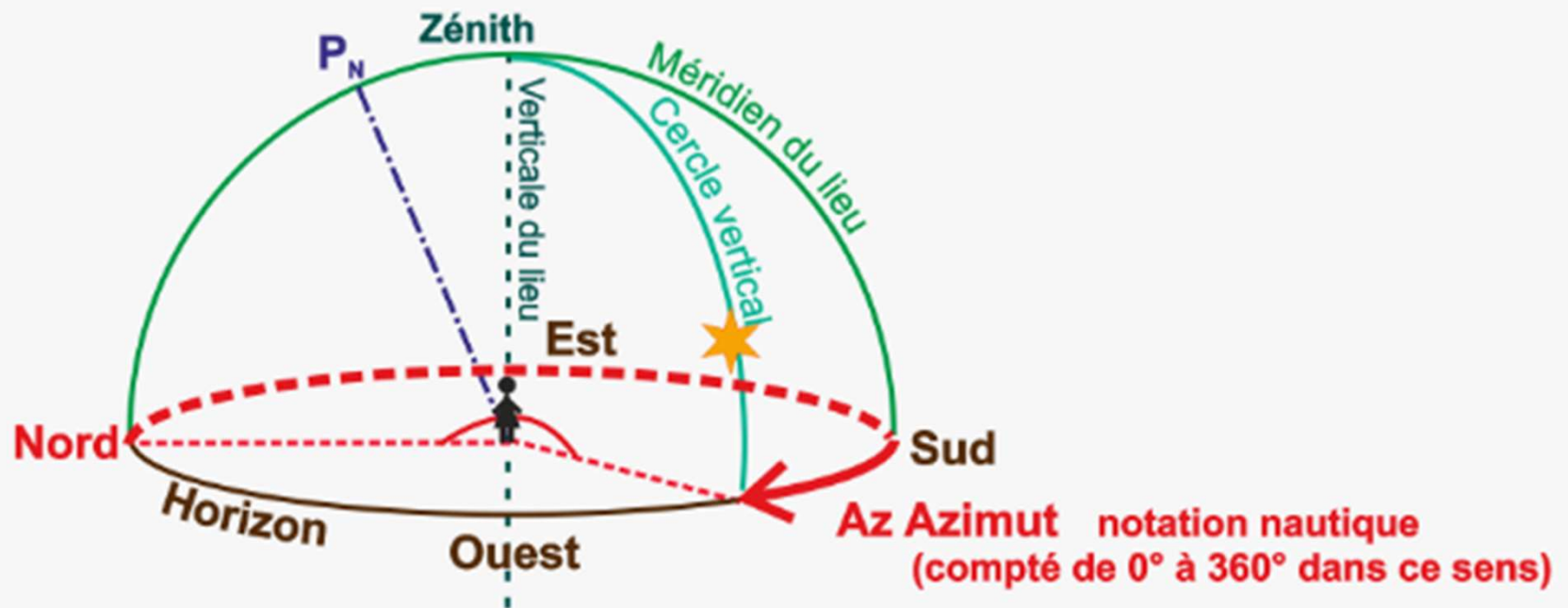


AZIMUT

L'**azimut** d'un **astre** est l'angle entre le **plan méridien** de l'observateur et le **cercle vertical** de l' **astre**.

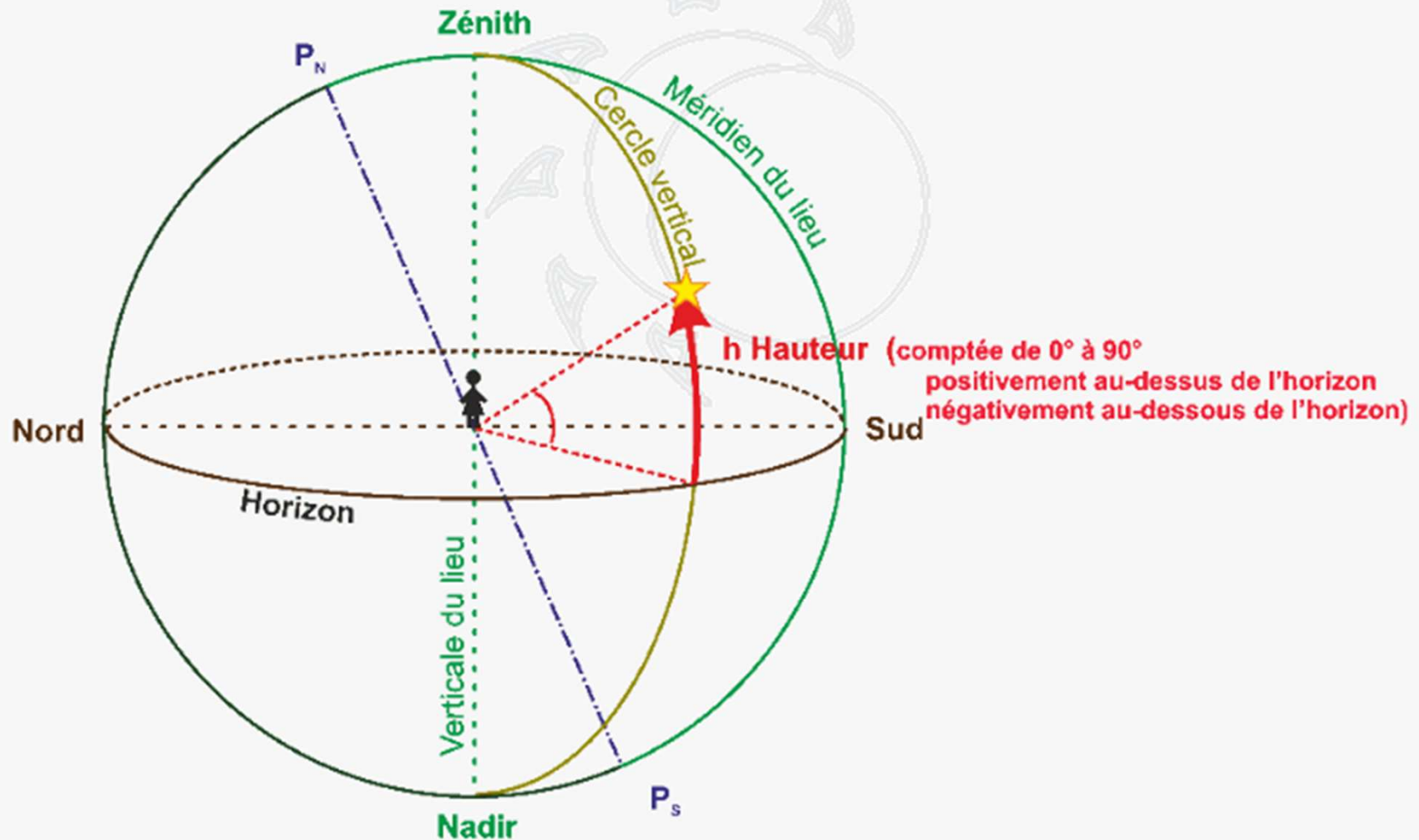
Il se compte de 0° à 360° à partir du point d'intersection de l'**horizon** avec la **méridienne** du lieu, dans le **sens rétrograde** sur l'**horizon** regardé du côté du **zénith**

Attention : par convention, ce point d'intersection



HAUTEUR d'un ASTRE

La **hauteur** d'un **astre** est l'angle entre le **plan horizontal** de l'observateur et la direction de visée de l'**astre**. Elle se compte de 0° à 90° à partir de l'**horizon** positivement au-dessus de l'**horizon** et négativement au-dessous.

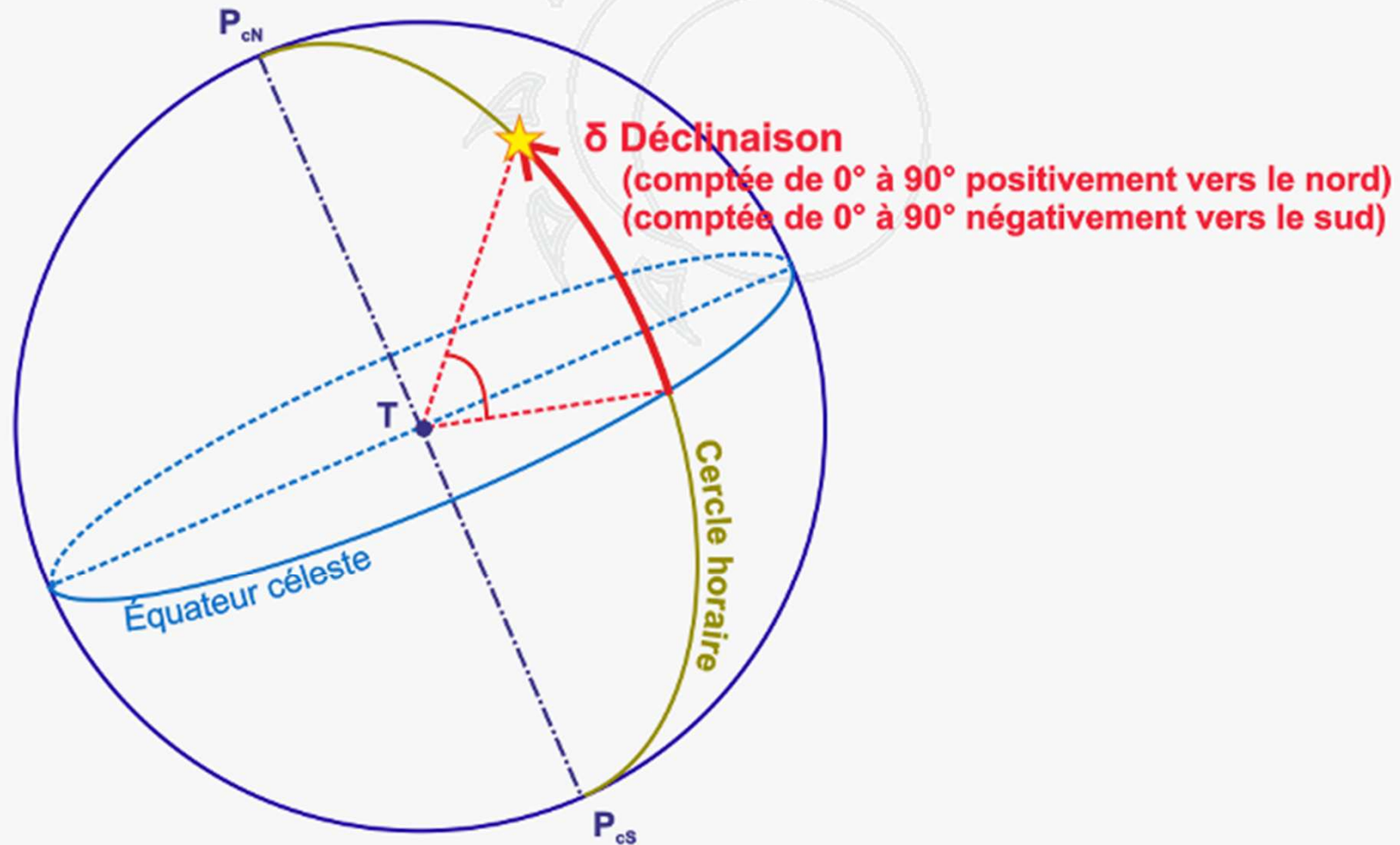


DECLINAISON

La **déclinaison** d'un **astre** est l'angle entre le **plan équatorial** et la direction de visée depuis le centre de la Terre.

Elle est comptée à partir du **plan équatorial** de 0° à 90° positivement vers le nord et négativement vers le sud.

La **déclinaison** du Soleil varie entre $+ 23^\circ 26'$ (**solstice** d'été pour l'hémisphère nord) et $- 23^\circ 26'$ (**solstice** d'hiver pour l'hémisphère nord). Elle est nulle aux **équinoxes** de printemps et d'automne. Elle croît donc du **solstice** d'hiver au solstice d'été et décroît du **solstice** d'été au solstice d'hiver.

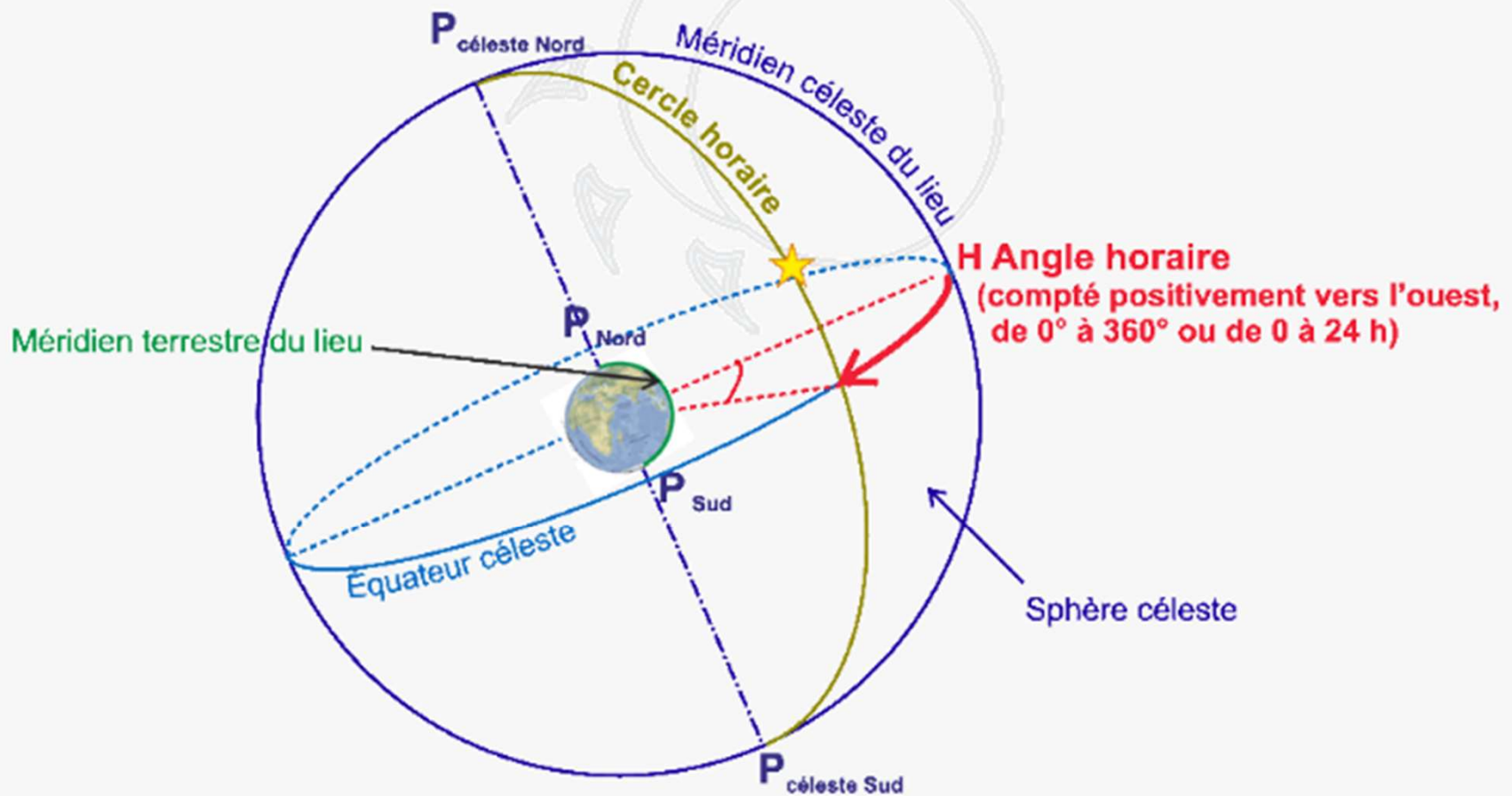


ANGLE HORAIRE origine d'un astre: AHao

En un lieu à la surface de la Terre (hors des pôles), l'**angle horaire** d'un **astre** est l'angle entre le **méridien céleste** du lieu et le **cercle horaire** de l'**astre**, compté sur l'**équateur céleste** positivement vers l'ouest à partir du **méridien**, de 0 à 24 heures ou de 0° à 360° .

L'**angle horaire** d'un **astre** représente la durée entre le passage de cet **astre** au **méridien** du lieu de l'observation et sa position au moment de l'observation.

En fait, un cadran solaire mesure l'**angle horaire** du Soleil.



Symboles des angles horaires

Angle horaire du Soleil à Greenwich.

Astre concerné : le Soleil.

Terminologie française : AHvo (Angle horaire vrai zéro à Greenwich).

Terminologie anglo-saxonne : GHA (Greenwich hour angle).

Angle horaire local du Soleil.

Astre concerné : le Soleil.

Terminologie française : AHvg (Angle horaire du Soleil vrai au lieu G).

Terminologie anglo-saxonne : LHA (Local hour angle).

Angle horaire de l'astre à Greenwich.

Astres concernés : Lune, planète, étoiles.

Terminologie française : AHao (Angle horaire de l'astre à Greenwich).

Terminologie anglo-saxonne : GHA (Greenwich hour angle).

Angle horaire local de l'astre.

Astres concernés : Lune, planète, étoiles.

Terminologie française : AHag (Angle horaire local de l'astre).

Terminologie anglo-saxonne : LHA (Local hour angle).

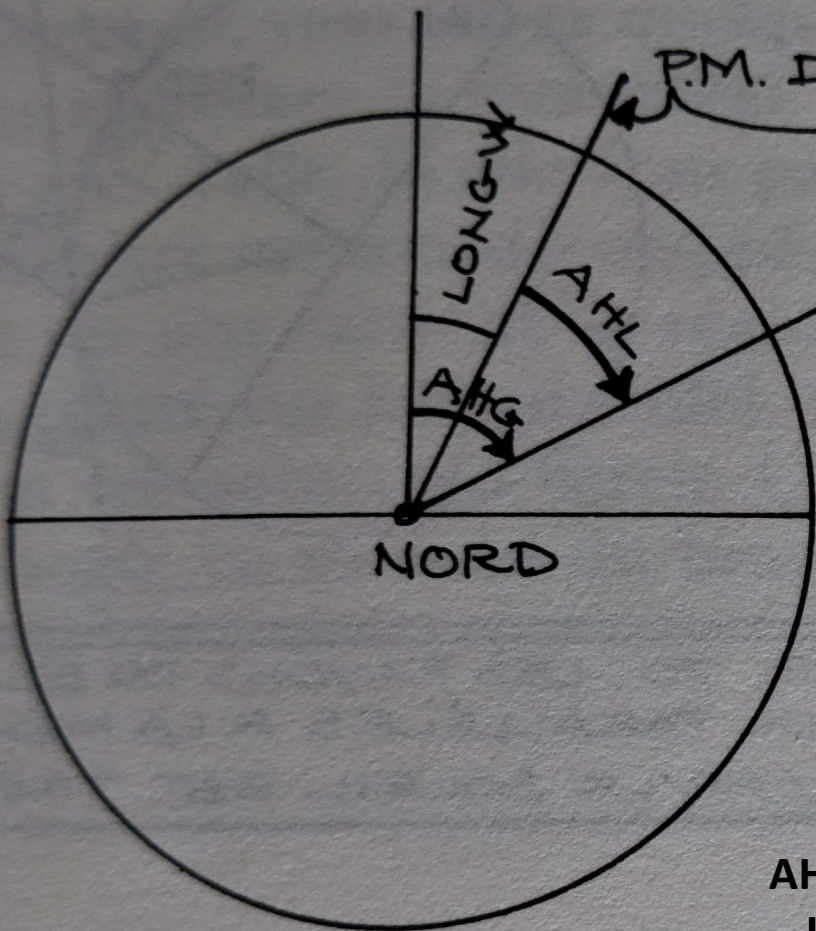
Angle horaire sidéral à Greenwich.

Élément concerné : le point vernal.

Terminologie française : AHso (Angle horaire sidéral à Greenwich).

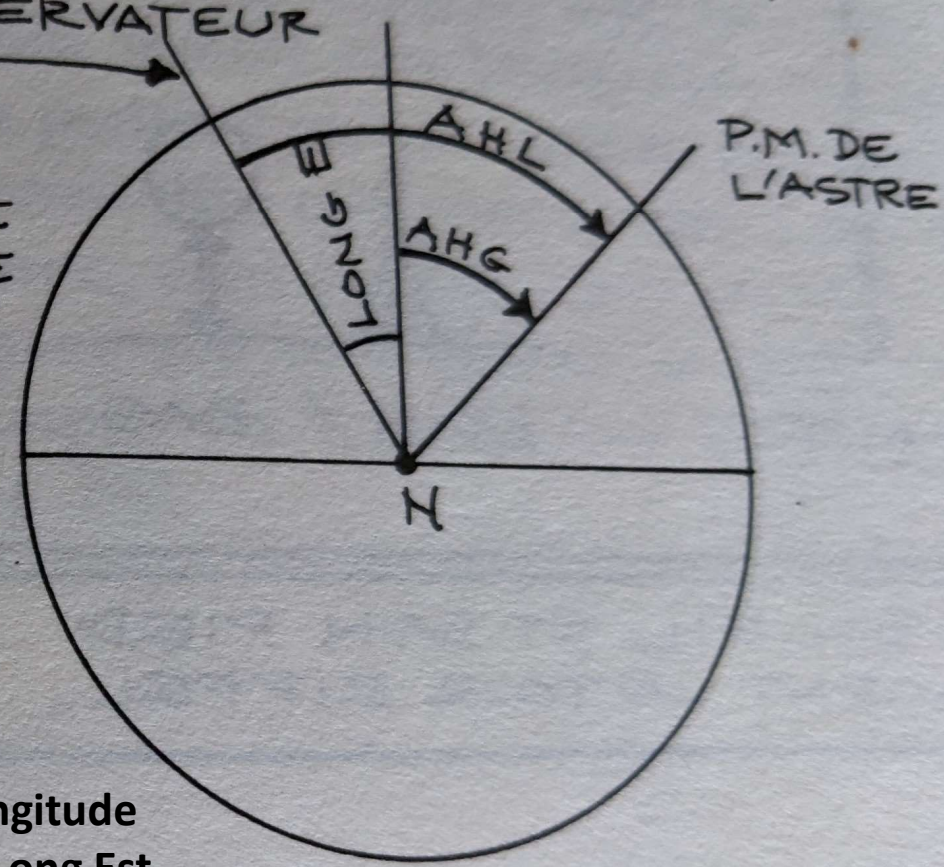
Terminologie anglo-saxonne : SHA (Sideral hour angle).

PLAN MÉRIDIEN DE GREENWICH



LONGITUDE W

P.M. DE GREENWICH



LONGITUDE E

$$AHL = AHG + - \text{Longitude}$$

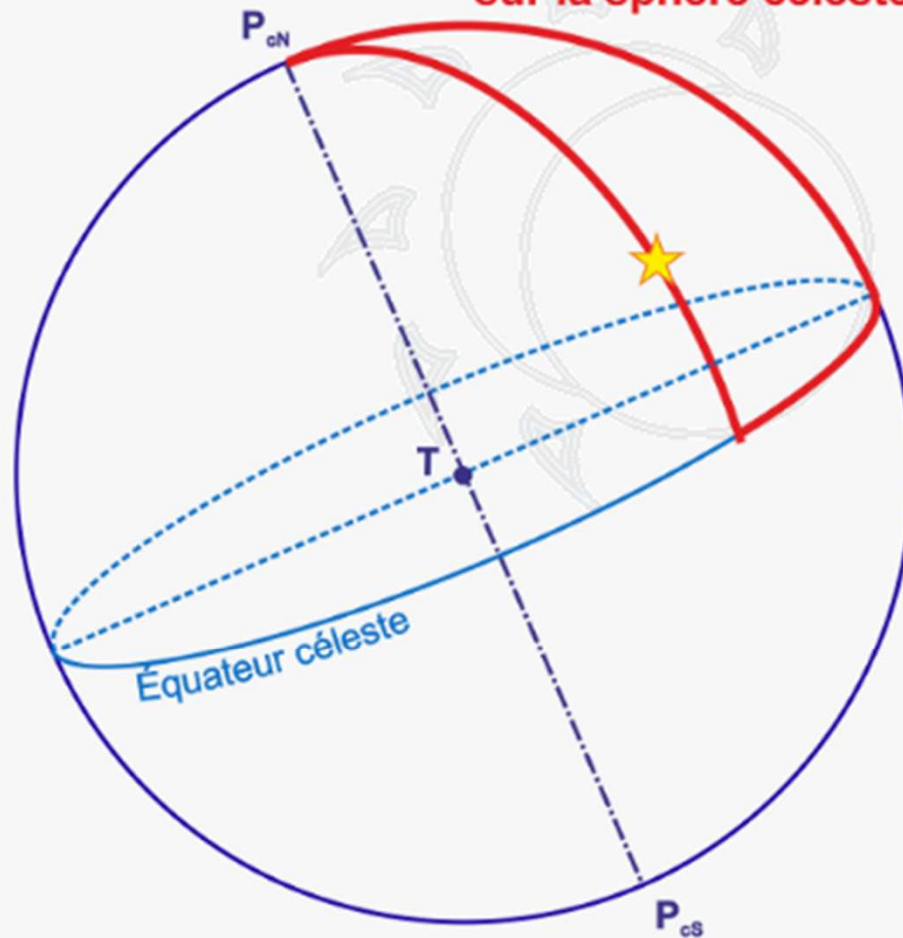
$$- \text{Long Ouest} / + \text{Long Est}$$

- EST-CE PLUS, OUEST-CE MOINS, JE ME DEMANDE BIEN..

TRIANGLE SPHERIQUE

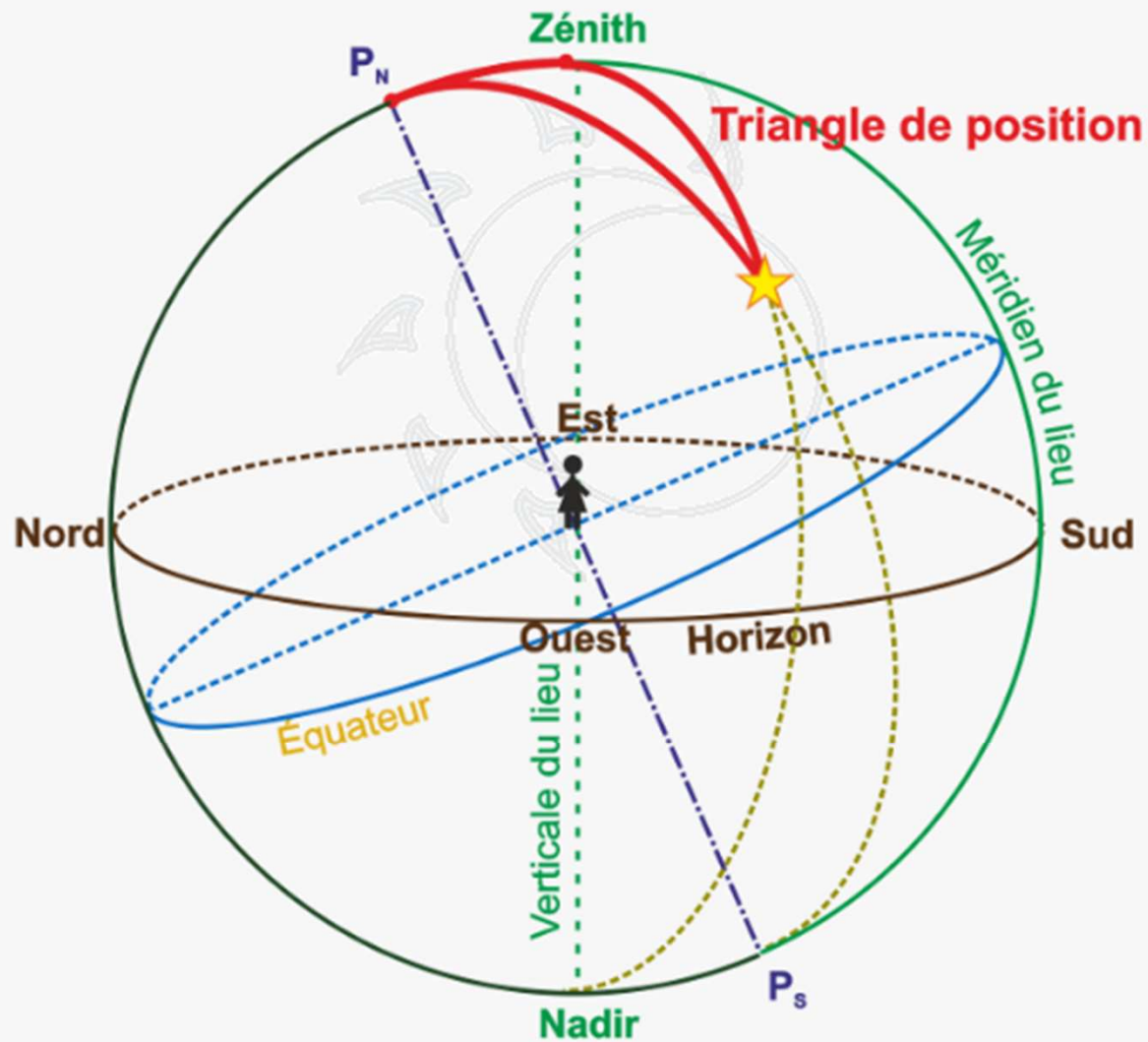
Un **triangle sphérique** est un triangle tracé sur une sphère et dont les côtés sont des arcs de grands cercles.

Un exemple de triangle sphérique sur la sphère céleste



TRIANGLE de POSITION d'un Astre

Le triangle de position d'un astre est le triangle sphérique de la sphère céleste locale dont les sommets sont l'astre, le pôle céleste et le zénith.



Triangle de Position

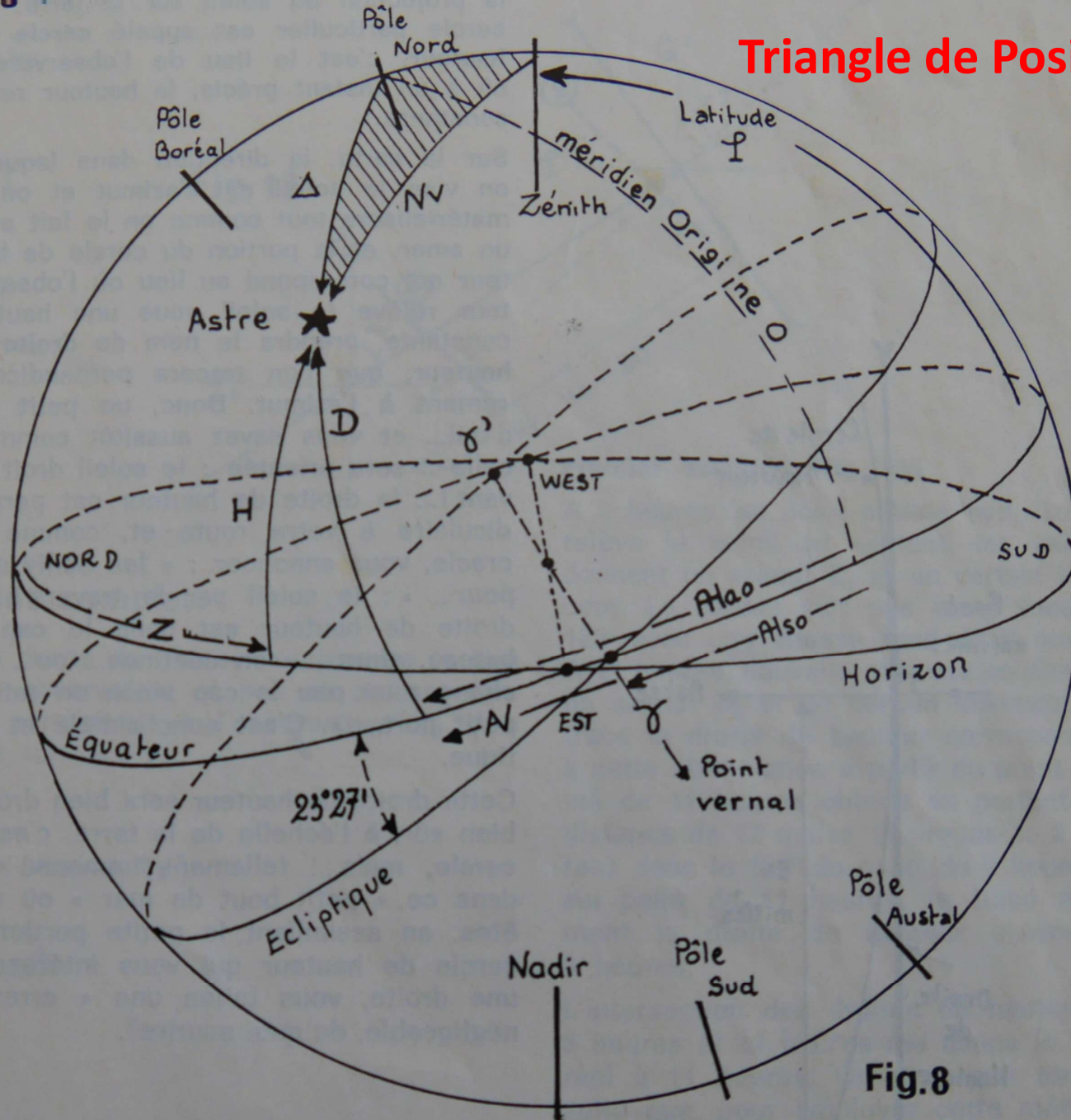


Fig. 8

Dans ce triangle de position, hauteur et azimut sont donnés par les formules :

$$\sin H_e = \sin \varphi_E \cdot \sin D + \cos \varphi_E \cdot \cos D \cdot \cos P, \text{ d'où } H_e.$$

$$\cotg Z \cdot \sin P = -\sin \varphi_E \cdot \cos P \pm \operatorname{tg} D \cdot \cos \varphi_E, \text{ d'où } Z.$$

La trigonométrie sphérique établie les relations entre les 3 côtés du *triangle de position* mis en évidence sur la fig. ci-dessus et nous donne les formules suivantes:

- **Le** est notre latitude estimée.
- **D** est la déclinaison à l'heure TU de l'observation. On en extrapole les éléments à partir des Ephémérides , comme pour la méridienne.
- **P** enfin est l'*angle au pôle* lié à LHA que nous déduisons de GHA trouvé dans les éphémérides, par la relation suivante :
- $P = 360^\circ - \text{LHA}$ si on observe l'astre avant son passage au méridien.
- $P = \text{LHA}$ après le passage de l'astre au méridien .

$$\text{Sin. Hc} = (\text{Sin. Le} \times \text{Sin. D}) + (\text{Cos. Le} \times \text{Cos. D} \times \text{Cos. P})$$

$$\text{Cos. Z} = \frac{\text{Sin. D} - (\text{Sin. Le} \times \text{Sin. Hc})}{\text{Cos. Le} \times \text{Cos. Hc}}$$

LA DROITE de HAUTEUR

Au cours d'une traversée le navigateur s'efforce de maintenir au mieux une estime dont la précision malgré tout se dégrade d'heure en heure pour toutes les raisons que l'on imagine : barreur inattentif, courants traversiers, dérive due au vent, à la mer etc...

L'idée de la **droite de hauteur** dite droite de Marc (du nom de son inventeur l'amiral Marc de St Hilaire), est la suivante :

Au *moment TU favorable* (exprimé en heures, minutes et secondes) qu'il choisit pour faire un relevé de la hauteur du soleil (mais le principe reste le même pour les planètes, les étoiles, la lune) le navigateur est en possession:

- De sa latitude estimée L_e
- De sa longitude estimée G_e

Au moyens de tables que sont les **EPHEMERIDES** dans lesquelles il entre grâce à ce *moment TU* précis de l'observation, L_e et G_e , et ensuite à l'aide de **FORMULES MATHÉMATIQUES** simples à résoudre de diverses manières, il calcule la hauteur H_c sous laquelle l'astre devrait être vu . Par comparaison avec la hauteur sous laquelle cet astre est effectivement vu (H_o corrigé des erreurs que nous connaissons pour devenir H_v) il obtient l' **INTERCEPT** exprimé en minutes d'arc, c.à.d. en milles qui le situe soit plus près soit plus loin que prévu *dans la direction de l'astre observé* .

Synthèse de la méthode

1-Avec le sextant , à une heure donnée, notée à la seconde près, on mesure la **hauteur H_i** du soleil (**Hauteur instrumentale**).

On procède aux corrections instrumentales, ce qui donne la **hauteur observée H_o** .

On procède aux corrections non instrumentales, ce qui aboutit à la **hauteur vraie H_v** .

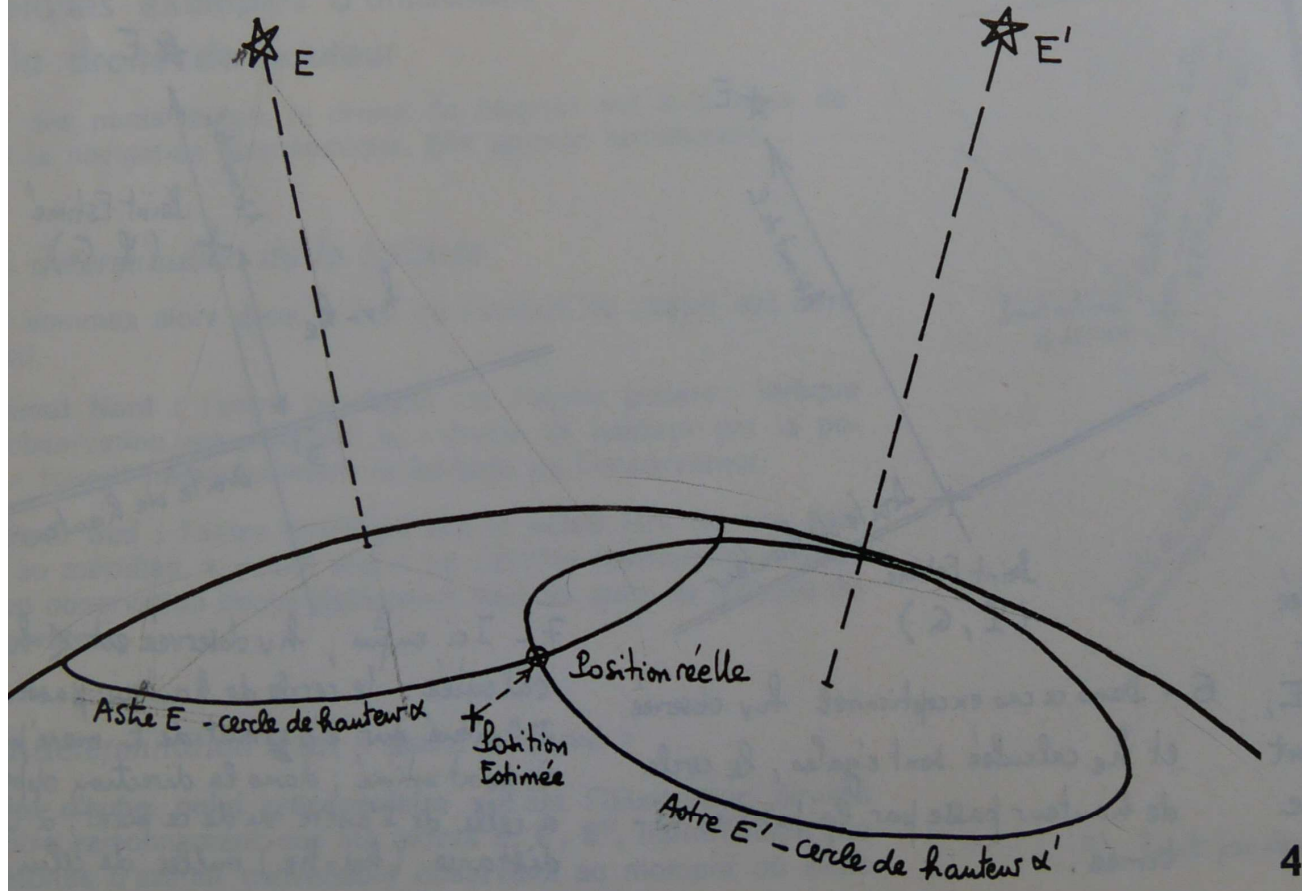
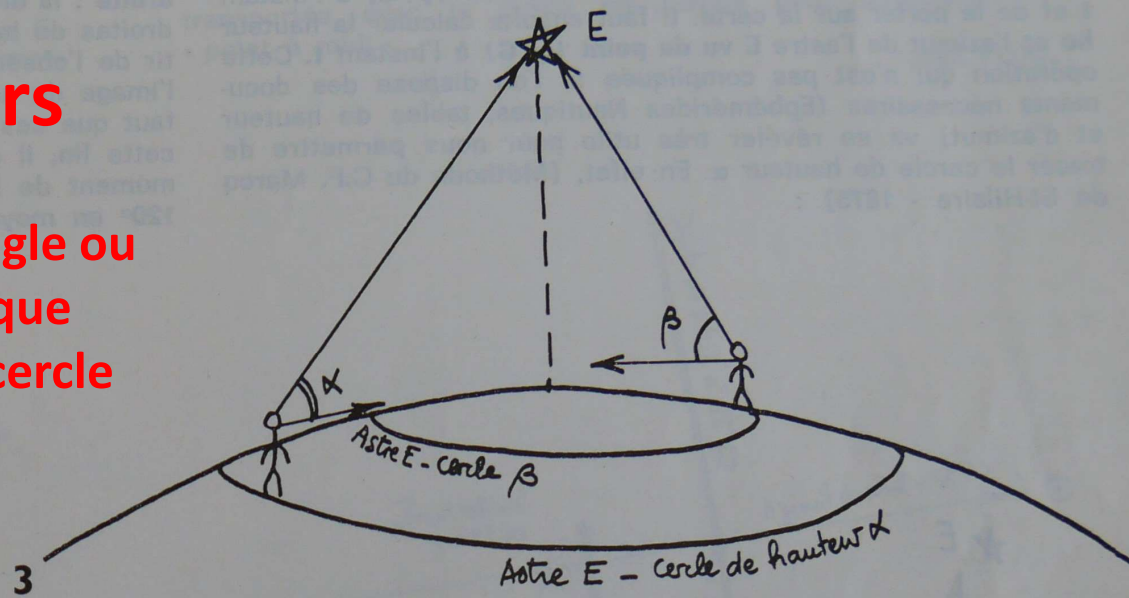
2-Avec les Tables, on calcule l'**Azimut du soleil Z** , et à **quelle hauteur calculée H_c** , on le verrait si l'on était au point estimé, à la même heure.

3- Intercept: La mesure faite au sextant H_o , comparée à celle calculée H_c , nous indiquera si l'on est plus près ou plus loin, ce que l'on appelle l'**intercept**.

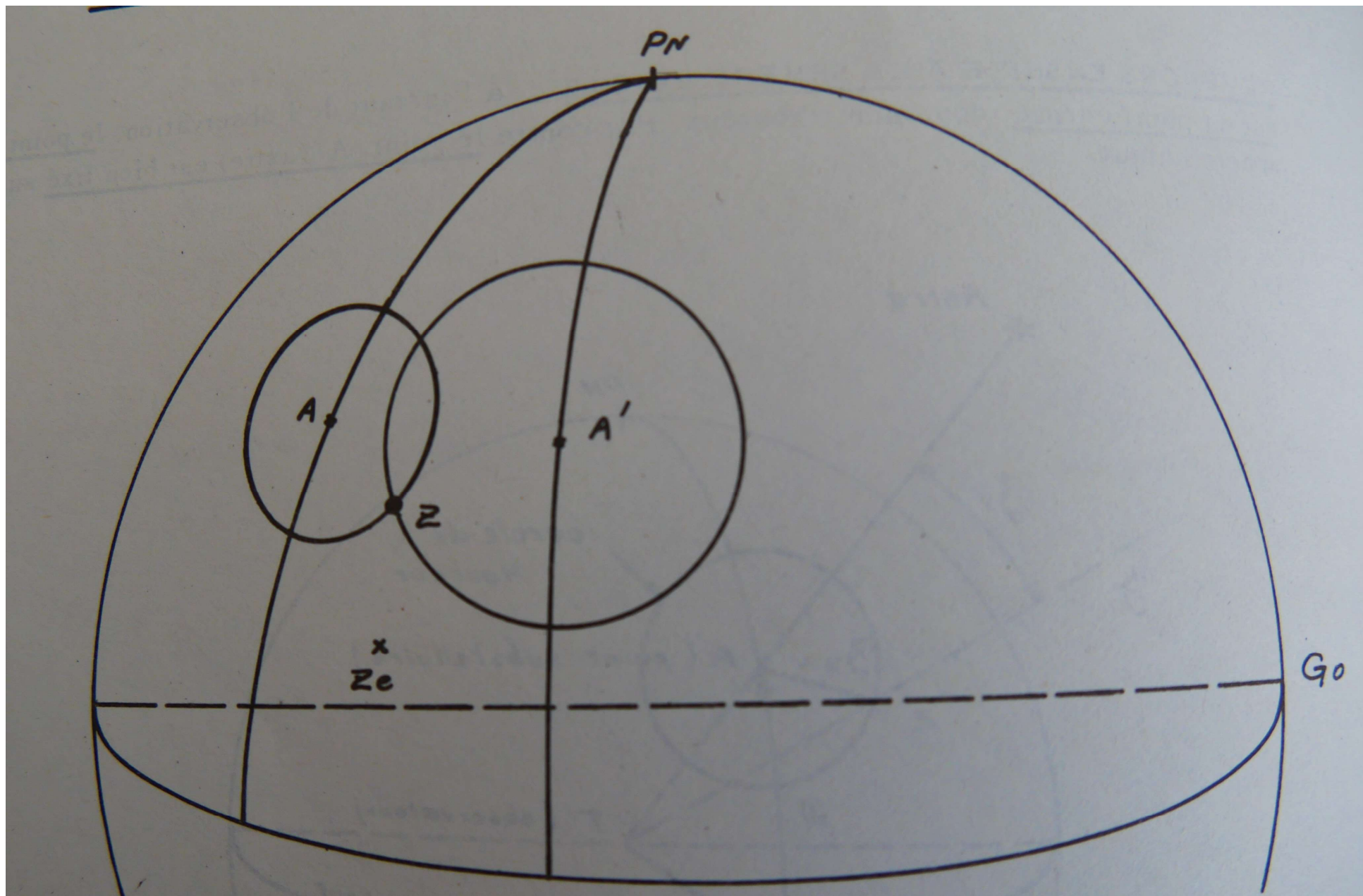
$$I = H_o - H_c$$

Droites de hauteurs

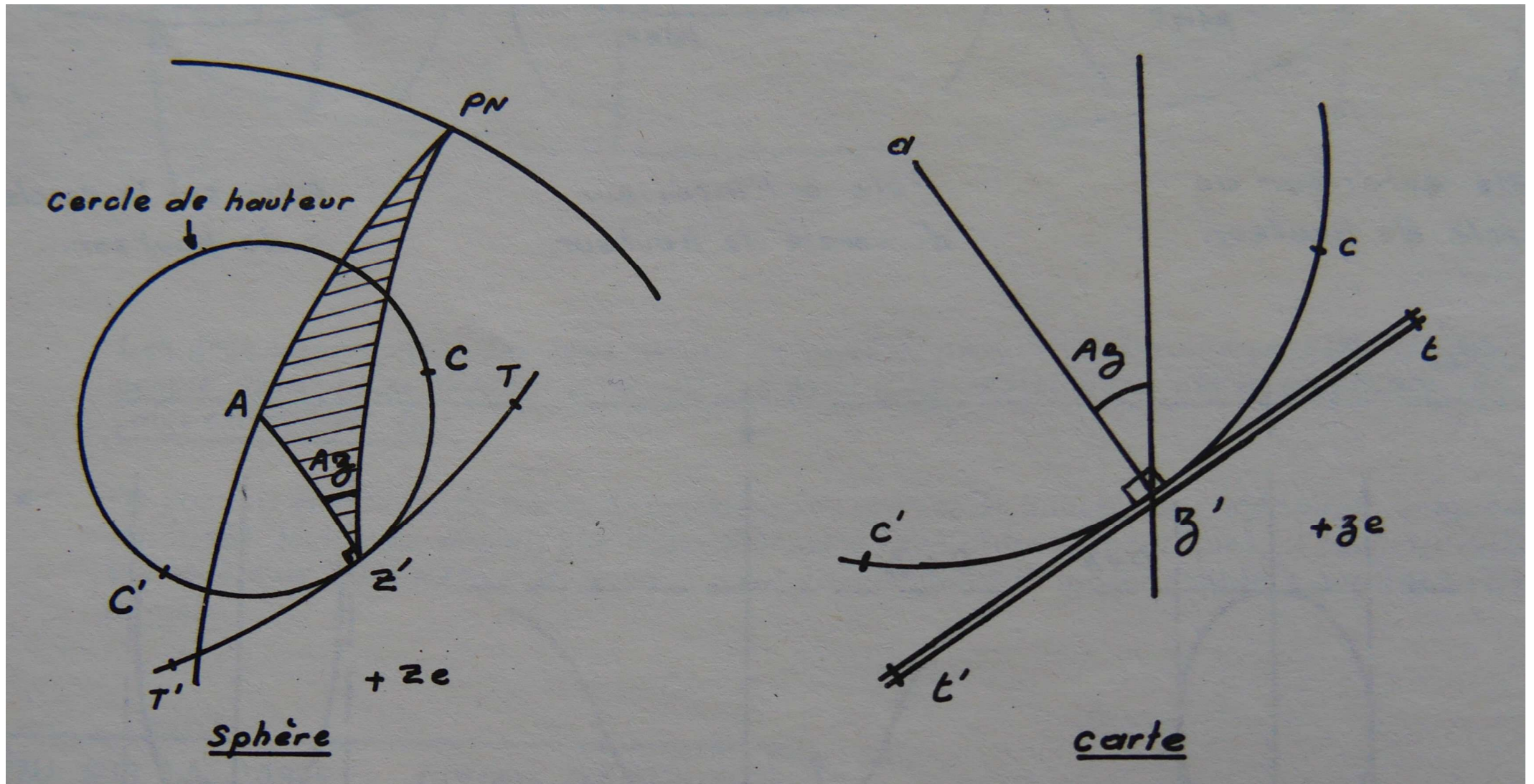
Vous mesurez le même angle ou la même hauteur, quelle que soit votre position sur le cercle



Cercles de hauteurs: pour fixer la position du navire sur la sphère unique, il suffit d'avoir à un instant TC0, deux observations d'astres convenablement choisis, ou deux mesures du soleil à un certain intervalle.



Du cercle de hauteur à la Droite de hauteur



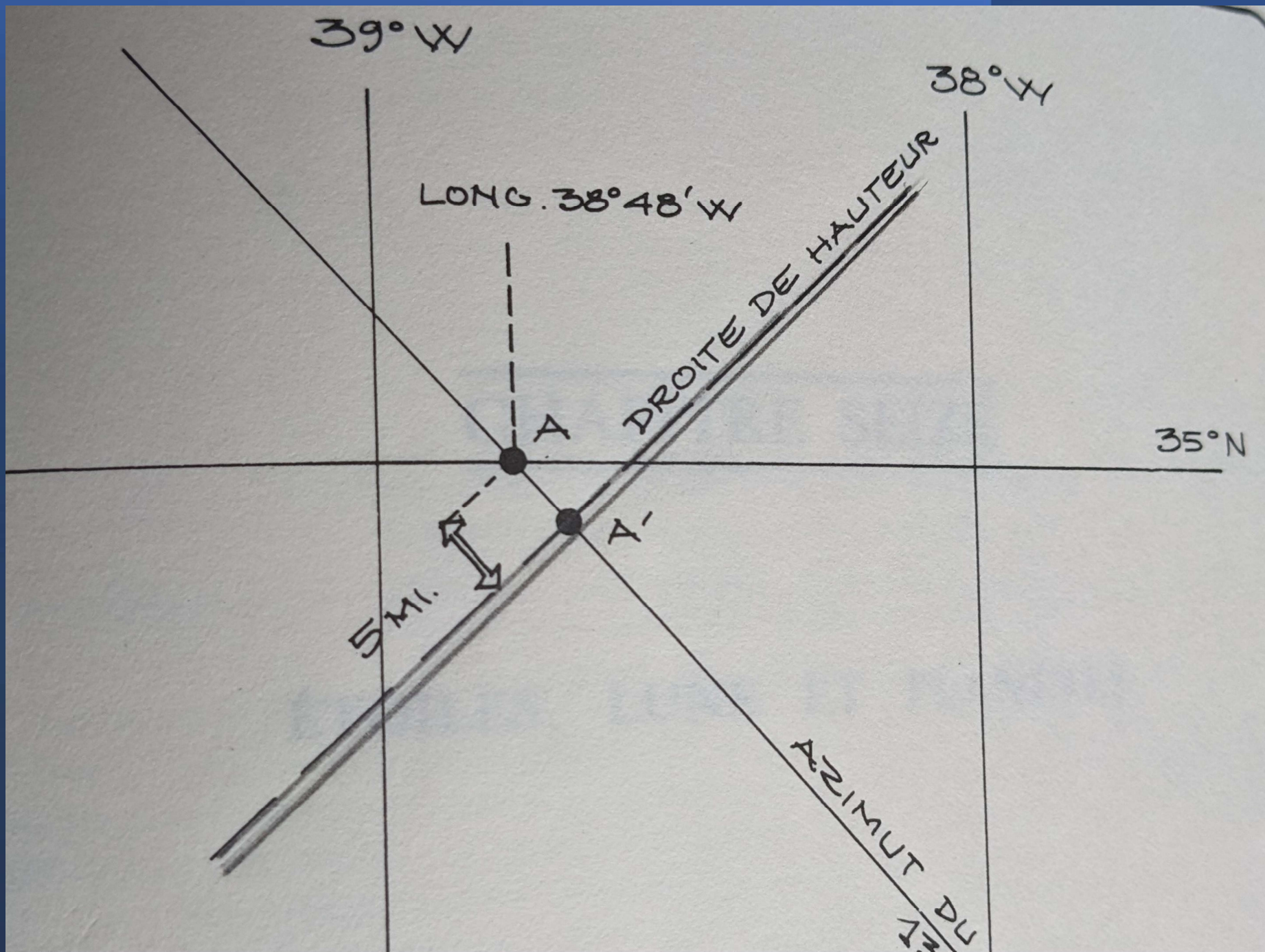
Intercept = Ho- Hc

- Il est normal et commun de trouver une différence entre hauteur observée et hauteur calculée.
- Si le sextant donne une mesure plus grande de 5' par ex, on est sur la droite de hauteur, 5 Milles plus près de l'astre.
- Si le sextant donne une mesure plus faible de 3' par ex, on est sur la droite de hauteur, 3 M plus loin de l'astre.
- La droite de hauteur est perpendiculaire à l'azimut Z.
- Par convention, on trace la droite de hauteur avec 2 traits, sur la carte.

• Tracé de la droite de hauteur

- -On porte le point arbitraire A, défini par sa latitude (35°N) et sa longitude ($38^{\circ} 48'\text{W}$)
- -Par ce point on trace l'azimut 138° et on marque d'une flèche, indiquant la direction du pied du soleil.
- -On trace le point A' situé à 5 Milles PLUS PRES du pied du soleil(donc vers la flèche à 5 M de A).
- -Par A', on trace la perpendiculaire à l'azimut, et l'on sait que à l'instant de la visée, on se trouvait sur cette droite.
- Par convention on trace la droite de hauteur par un double trait.

- -Quand on refait une visée 2 h plus tard, on transporte la droite de hauteur de la distance parcourue selon le cap vrai suivi. Les 2 droites de hauteurs se coupent alors, ce qui vous donne votre position



10' Longitude 4° ouest

50'

40'

3° 30'

Latitude nord

49°

50'

45'

Droite 1 de 10 h 52 min 11 s
transportée à 12 h 24 min 57 s

Cap 280°

9M

Le 18 juin 96 - 10 h 52 min 11 s
Loch 8412 M - CC 275°

Point arbitraire I
49° nord - 03° 46' ouest

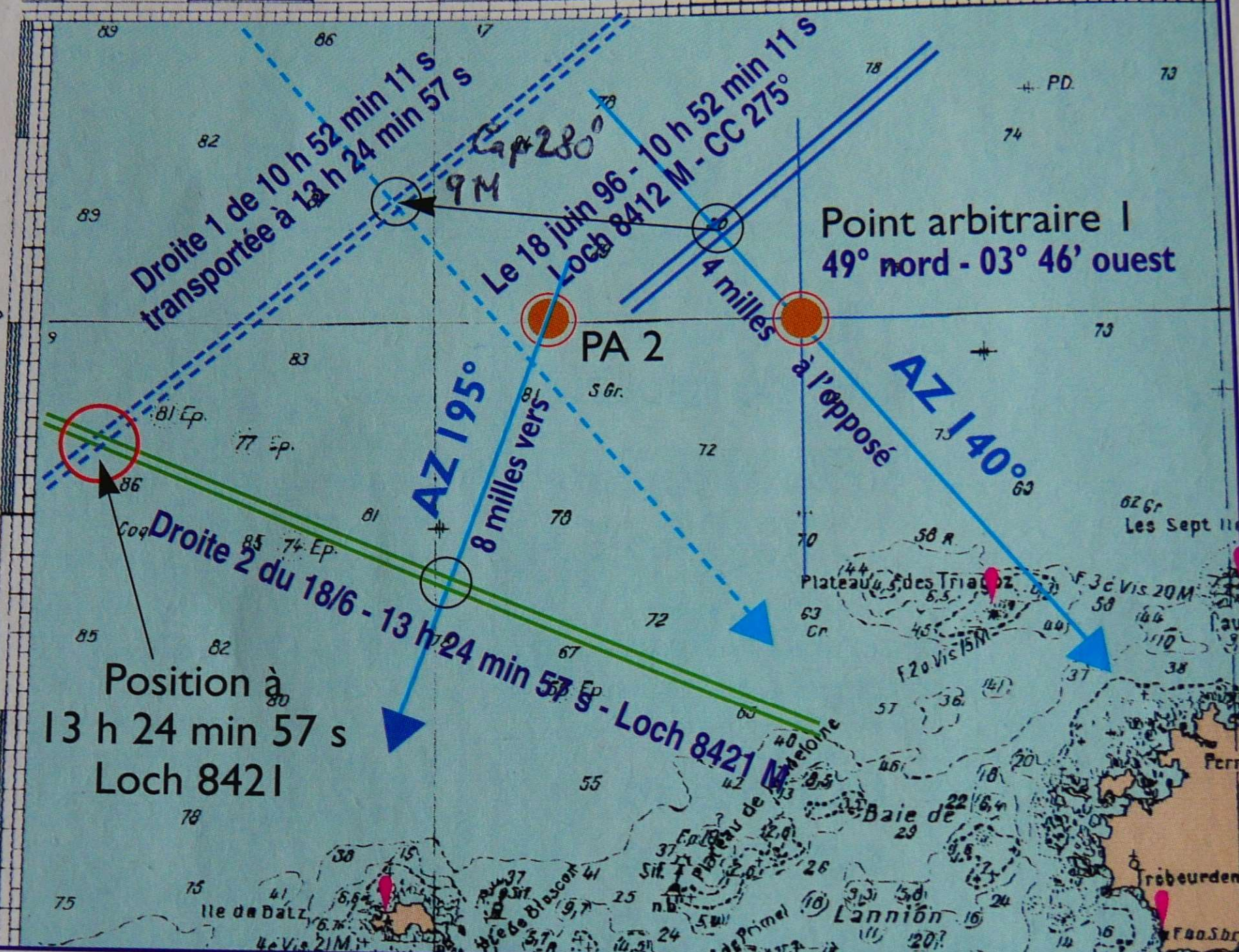
PA 2

AZ 195°
8 milles vers

AZ 140°
à l'opposé

Droite 2 du 18/6 - 13 h 24 min 57 s
Loch 8421 M

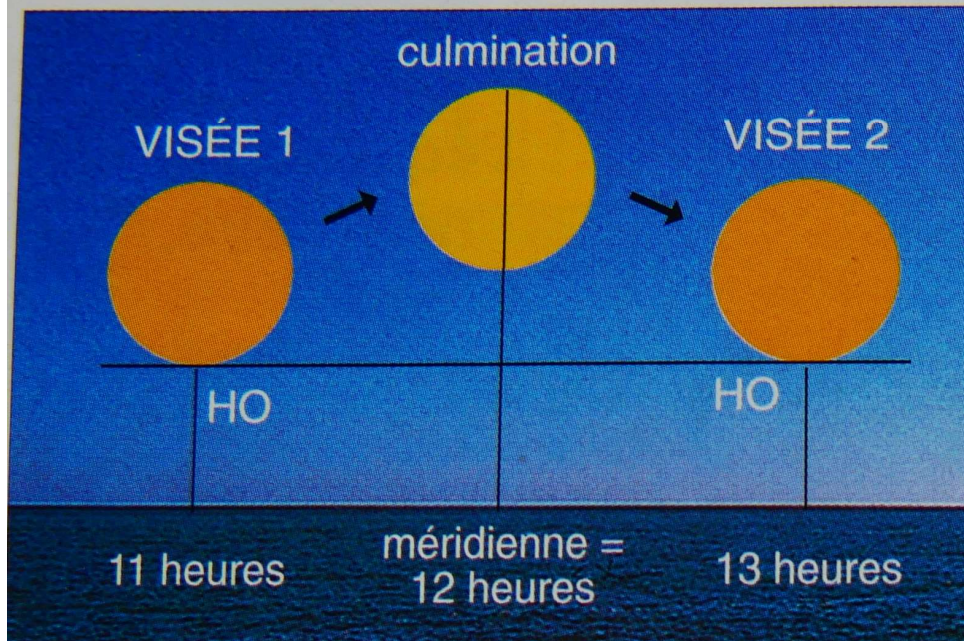
Position à
13 h 24 min 57 s
Loch 8421



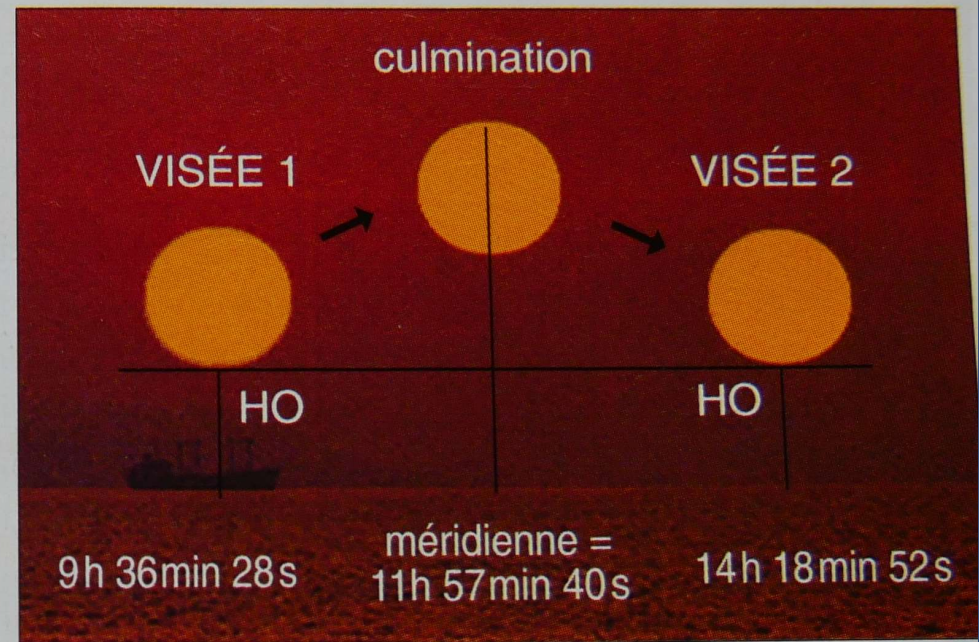
Plateau des Trias
F. 3 c Vis 20 M
F. 20 Vis 15 M
Baie de Meloine
Ile de Datz
Lannion
Trebeurden
Fao Sbr

LONGITUDE à LA MERIDIENNE

Pendant la phase d'ascension du Soleil, on réalise une première visée en notant l'heure UT. Laissant le sextant calé sur cette mesure H_0 , on surveille la descente de l'astre vers l'horizon.



Lorsqu'il repasse à la même hauteur H_0 , on note l'heure UT au chrono. À égale distance horaire des deux temps observés se situe l'instant précis de la culmination du Soleil.





LONGITUDE A LA MÉRIDIENNE

DATE

18 Juin 96

Conversion des mesures horaires en mesures d'arc (pour la ligne 8)

1 h = 15°	5 h = 75°	1 mn = 0° 15'	5 mn = 1° 15'	2 sec = 0' 5	10 sec = 2' 5
2 h = 30°	6 h = 90°	2 mn = 0° 30'	10 mn = 2° 30'	4 sec = 1' 0	20 sec = 5' 0
3 h = 45°	7 h = 105°	3 mn = 0° 45'	20 mn = 5° 00'	6 sec = 1' 5	30 sec = 7' 5
4 h = 60°	8 h = 120°	4 mn = 1° 00'	30 mn = 7° 30'	8 sec = 2' 0	40 sec = 10' 0

ligne	élément calculé et opération	signe	mesure
1	HAUTEUR OBSERVÉE (Ho) : relever la hauteur du Soleil 1 ou 2 heures avant sa culmination. Caler le sextant sur cette mesure.	➔	47° 32'
2	HEURE UT DE LA 1^{re} VISÉE : heure chrono (en temps universel) à l'instant de la visée ayant fourni la hauteur HO notée en ligne 1.	➔	10 h 05 m 11 s
3	HEURE UT DE LA 2^e VISÉE : heure chrono à l'instant où le Soleil repasse à cette hauteur HO (ligne 1) après sa culmination.	+	14 h 15 m 33 s
4	SOMME DES 2 TEMPS : additionner les heures de la première visée (notée en ligne 2) et de la seconde visée (en ligne 3).	=	24 h 20 m 44 s
5	HEURE DE LA CULMINATION : diviser par deux le résultat de la ligne 4 pour obtenir l'heure UT du passage du Soleil à la méridienne.	=	12 h 10 m 22 s
6	T. PASS. À GREENWICH : inscrire le temps de passage du Soleil à Greenwich, fourni par l'Almanach de <i>Voiles</i> ou les Éphémérides.	-	12 h 01 m 10 s
7	LONGITUDE EN TEMPS : retrancher T. Pass. à Greenwich (ligne 6) de l'heure de la culmination (ligne 5).	=	00 h 09 m 12 s
8	CONVERSION EN DEGRÉS convertir le résultat précédent en utilisant le tableau abrégé présenté en haut de cette grille ou sur celui présenté dans ce chapitre (plus détaillé).	longitude en temps	longitude en degrés
		00 heures	= 00° 00'
		09 minutes	= 02° 15'
	12 secondes	= 00° 03'	
9	LONGITUDE À LA MÉRIDIENNE (G) : additionner les trois lignes du résultat précédent. Heure de culmination > T. Pass = longitude ouest. Heure de culmination < T. Pass = longitude est.	=	02° 18' W du E