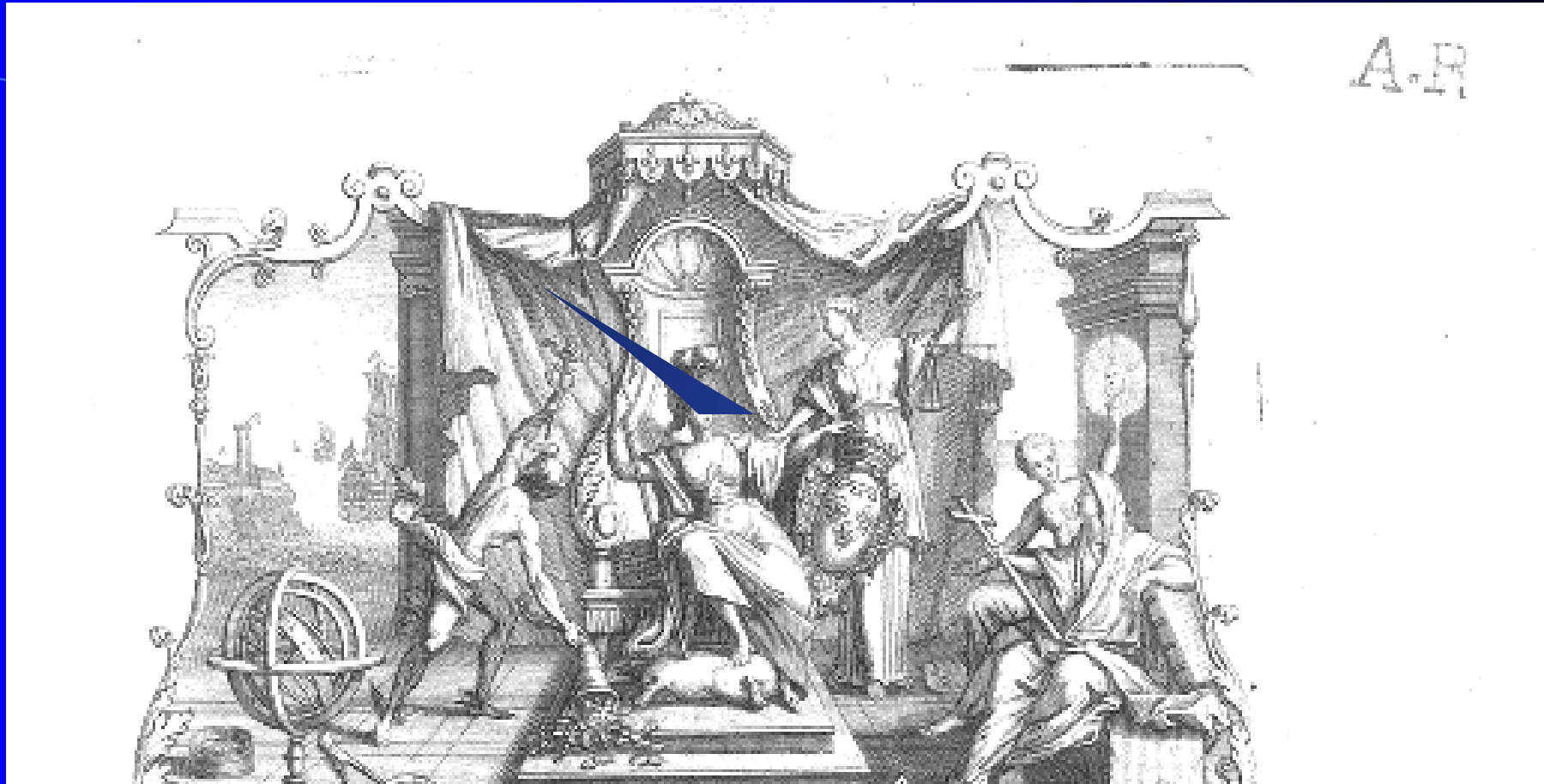


HISTOIRE DE LA NAVIGATION ASTRONOMIQUE



Cours électif de culture générale: Technologie et science de l'homme
ESCEM Tours et Poitiers
Bernard Bouchet



LA vraie astronomie

« On poursuit avec ardeur les découvertes des satellites pour le calcul de longitudes et l'on négligea entièrement l'astronomie véritable ...Ce qui fait dire avec exagération, mais avec une apparence de raison, que cet observatoire avait été toujours complètement inutile à l'astronomie. »

Jean Baptiste Delambre,

Directeur de l'observatoire de Paris (1804-1822)

PRESENTATION

Les grandes étapes de la navigation
Les enjeux politiques et économiques

Aspects théoriques et scientifiques de la navigation
Les grandes étapes de la navigation astronomique

Les méthodes travers quelques textes
 Les satellites de Jupiter
 Les distances lunaires
 La droite de hauteur
Evolution de l'instrumentation et des moyens de calcul

Conclusion

Les grandes étapes de la navigation

L'ANTIQUITE la navigation pré astronomique

- Les Phéniciens(XII avant J-C)
- Les Carthaginois (IV avant J-C)
- Hipparque (190 avant J-J)
- Les Vikings(IX)
- Primitifs polynésiens

LE MOYEN AGE

- La boussole(XI)
- Progression par la polaire
- Les tables Alphonsines (1272)
- Les portulans(XIV)

LA RENAISSANCE

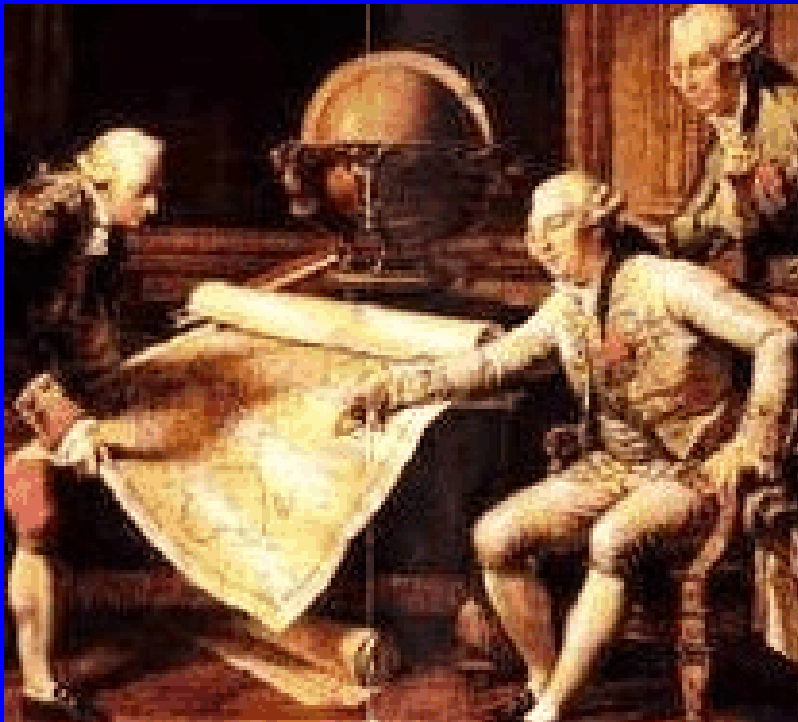
- Navigation par la polaire et la culmination
- Déclinaison magnétique(vers 1500)
- Projection de Mercator(1569)

LE XVIII et XIX siècle

- La longitude par les distances lunaires (1750 1775)
- La longitude par le chronomètre de marine (1761 1768)
- La droite de hauteur(1837 1875)

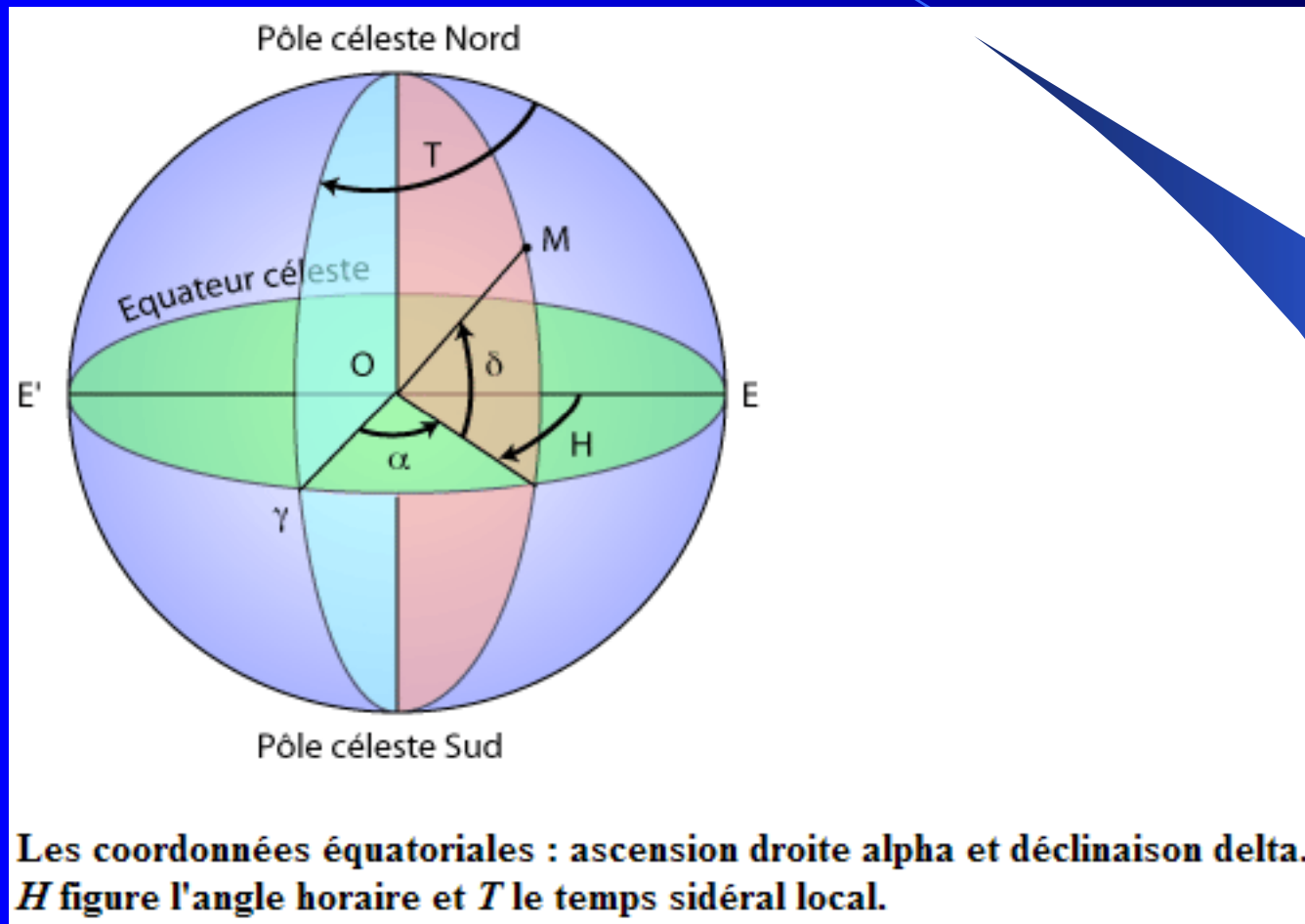
Les enjeux politiques et économiques

L'astronomie au service de la navigation

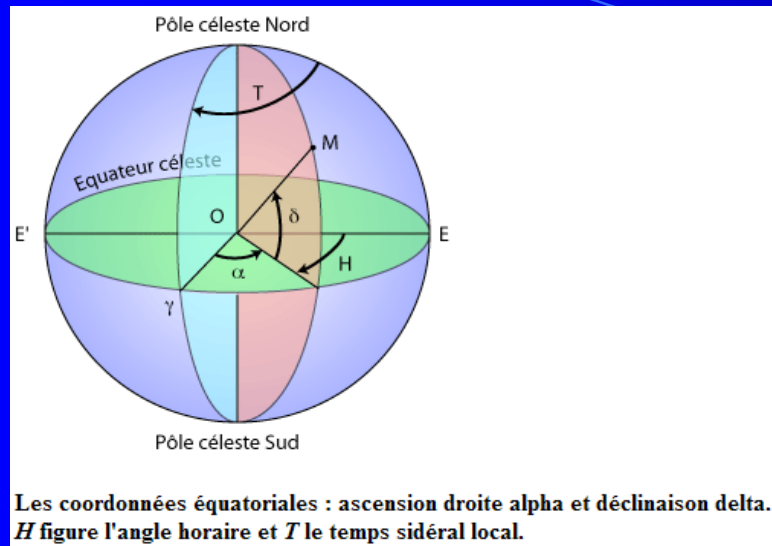


- Découverte et partage du monde
 - 1453 Chute de Constantinople
 - 1487 B. Dias: Cap de Bonne Espérance
 - 1492 C. Colomb: Découverte de l'Amérique
 - 1494 Traité de Tordesillas
 - 1498 Vasco de Gama, les Indes par l'Est
 - 1520 Magellan , les Indes par l'Ouest
(tour du monde)
- Épopée coloniale et mondialisation
- Paroxysme des enjeux au XVIII^e
 - 1766 1769 Bougainville (tour du monde)
 - 1768 1780 Cook (trois tours du monde)
 - 1785 Lapérouse
 - 1795 Le bureau des longitudes
- Coût et besoin de précision

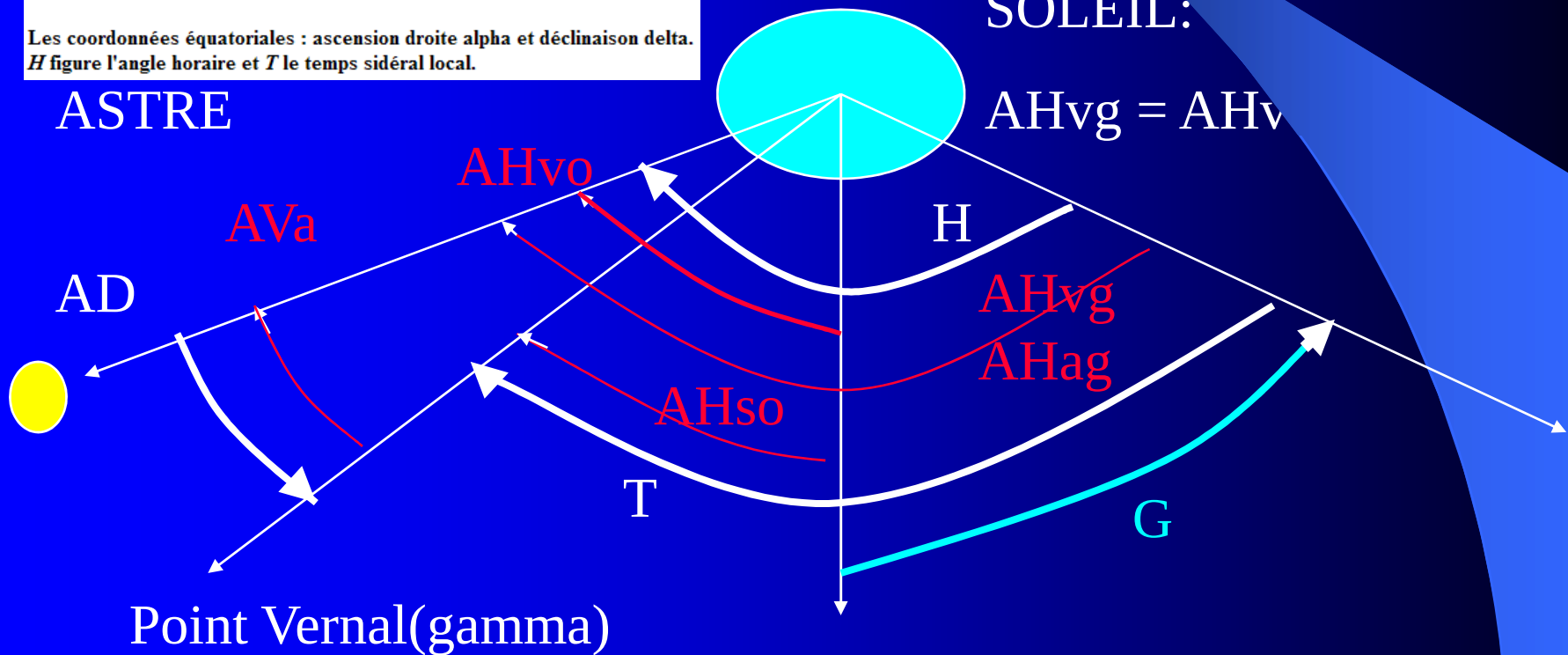
Aspects théoriques et scientifiques de la navigation astronomique



LES ANGLES HORAIRES



ASTRE



$$H = T - AD(\alpha)$$

$$AD = - AVa$$

ETOILES:

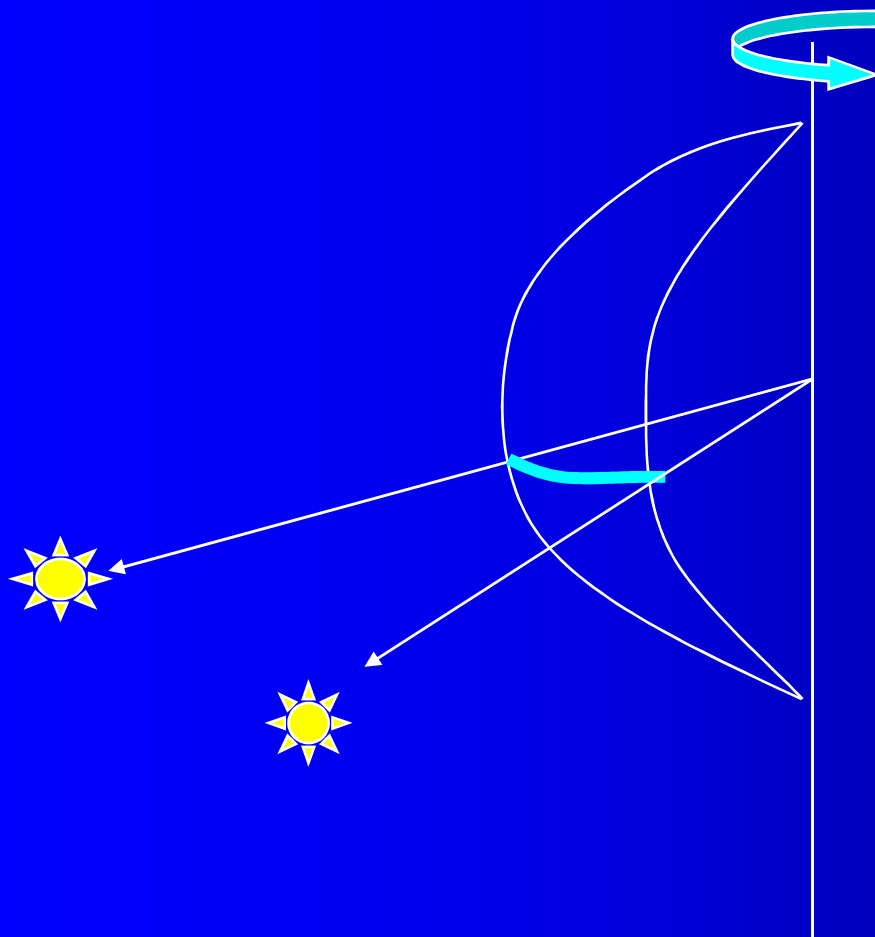
$$AHag = AHso + AVa - G$$

SOLEIL:

$$AHvg = AHv$$

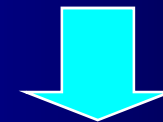
Méridien de GREENWICH

LES HEURES LOCALES et les LONGITUDES



- 24 Heures : 360°
- 1 Heure : 15°
- 1 Minute : 15'
- 4 secondes : 1" (1" = 30.48m)

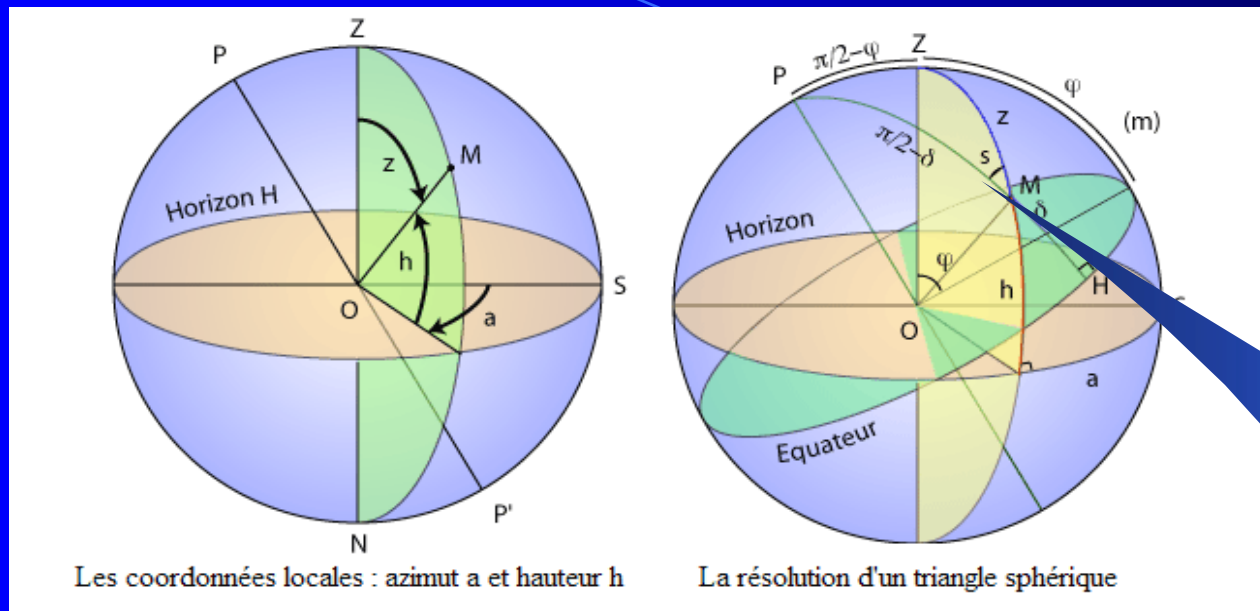
**Différence heures locales
(* 15)**



Différence Longitudes

Heure locale méridien origine = heure TU

La formule fondamentale



$$\sin h = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos AH$$

AH est l'angle horaire = $Aho(TU) + G(Longitude)$

$$\sin a = \sin AH \cdot \cos D / \cos h$$

Coordonnées astre
Prédiction = Ephémérides

Heure TU

LONGITUDE

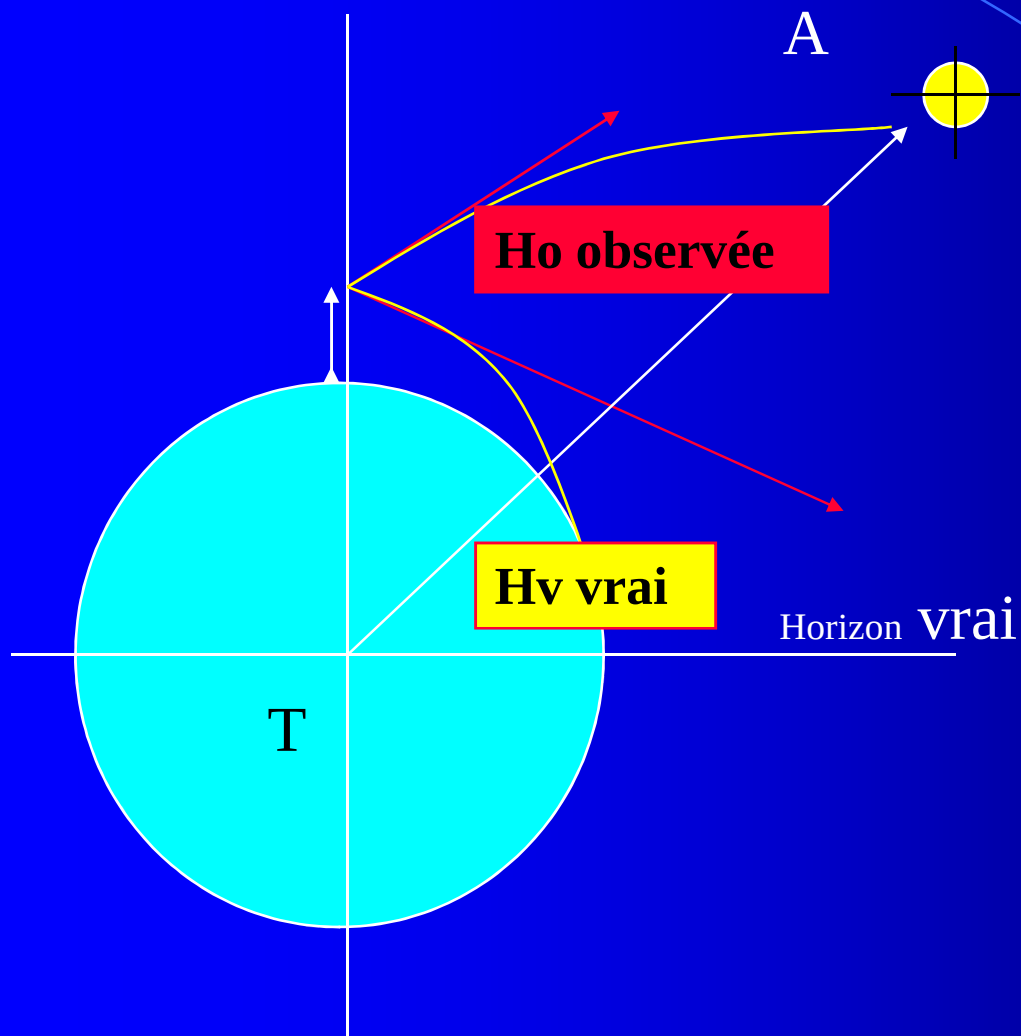
Hauteur

CALCULS

Heure locale

Latitude

L'observation des hauteurs



- REFRACTION

- Enter $H_o < 20^\circ$

- DEPRESSION de l'horizon

- Liée à l'élévation

- PARALLAXE

- Importante pour la lune

- EX: (correction + $\frac{1}{2} D$)

.. H_o élévation OEIL

.. 2m 10m

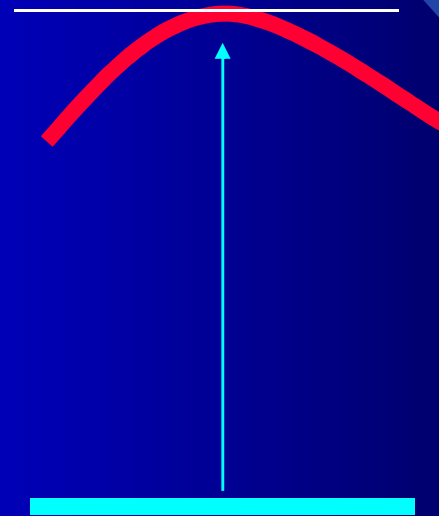
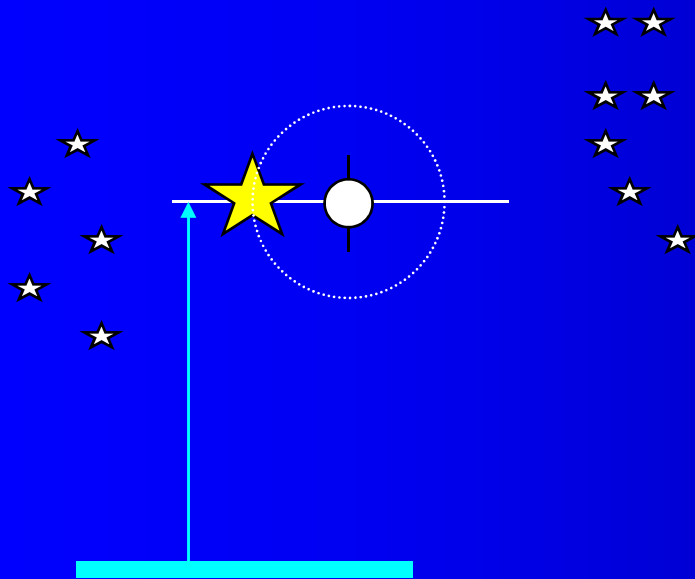
– 6° 5' 2'

– 15° 10' 7'

– 50° 13' 10'

Les grandes étapes de la navigation astronomique

la navigation à l'estime
la latitude et la direction



$$\sin h = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos AH$$

$$AH = 0$$

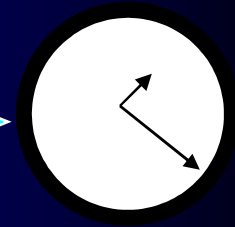
$$L = 90^\circ - h + D$$

Les grandes étapes de la navigation astronomique

Le calcul de la longitude

Chronomètre de marine

Heure TU par observation
d'événements connus
datés en heure TU



Coordonnées astre à TU

$$\sin h = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos AH$$

AH est l'angle horaire = Aho(TU) + G(Longitude)

Hauteur

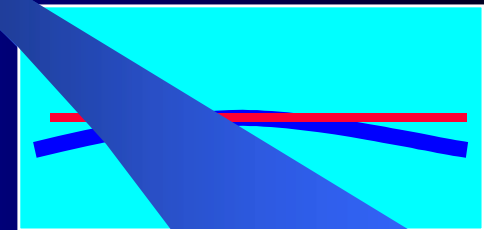
Longitude

Latitude¹²

LA MERIDIENNE

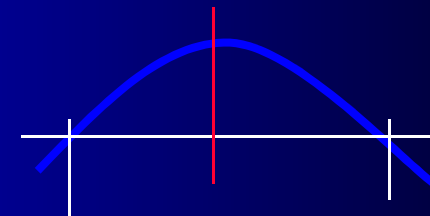
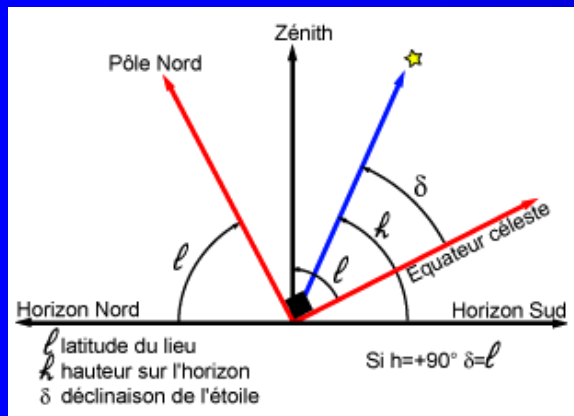
● LA LATITUDE PAR LA CULMINATION

- UNE PRATIQUE ANCIENNE Sans montre
- Le cas particulier de la polaire
- Au passage au méridien $AH = 0$
- $\sin h = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D$
- $h = 90 - L + D$ $L = 90 - h + D$



● LA LONGITUDE PAR LA MERIDIENNE

- $AH = 0 = AH_0 + Tu + G$, mais Tu est difficile
- Hauteurs correspondantes $Tu = (t_1 + t_2)/2$



NOTA: Déclinaison magnétique: lever et coucher 13

Le problème de la longitude

Distance lunaire contre chronomètre

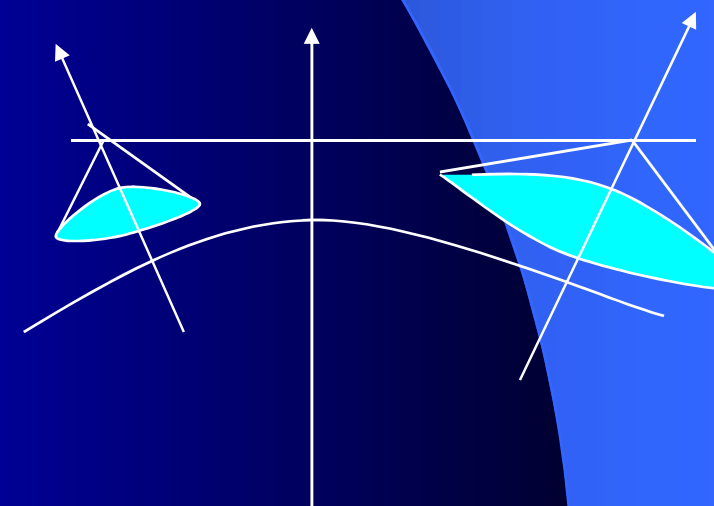
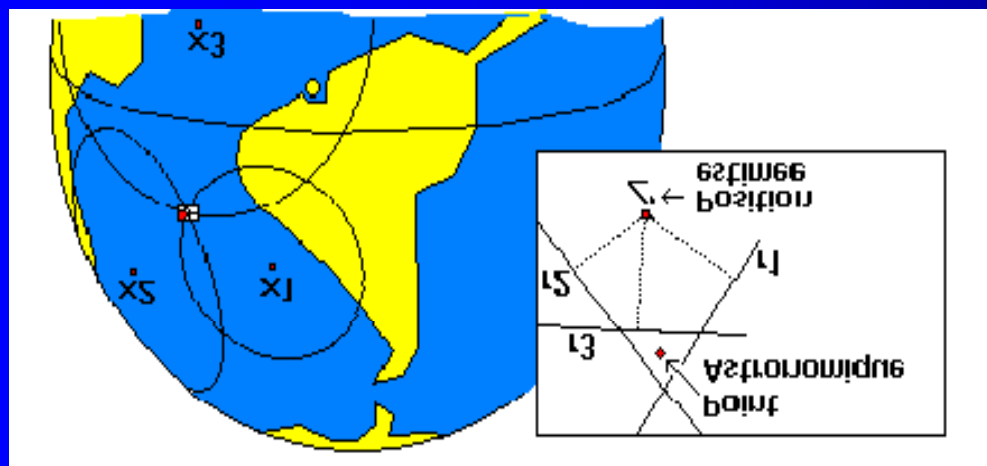
- L'issu décisif
 - 1714 *Longitude Act* (30')
 - 1750 Première mise en œuvre opérationnelle des distances lunaires
 - 1755 Tables de Mayer sur la Lune
 - 1761 *La connaissance des temps* donne les positions lunaires
 - 1761 Harrison, voyage de 5 mois par Madère et la Jamaïque : variation de 53s une erreur de 28' de longitude avec N°4, permettant le voyage de Cook en 1768
 - 1767 *Nautical Almanach* par Maskelyne (distances à dix étoiles , 3heures)
 - 1768 Le Roy, voyage de 5 mois en atlantique obtint des résultats comparables
 - 1771 1772 Campagne scientifique de la frégate « Flore »
 - 1773 Harrison reçoit le prix
 - 1775 Berthoux produit une montre N° 8 meilleure que celle de Le Roy
 - 1775 *La connaissance des temps* donne les distances lunaires

Méthodes par lieux géométriques

Les grandes étapes de la navigation astronomique



Les droites de hauteurs

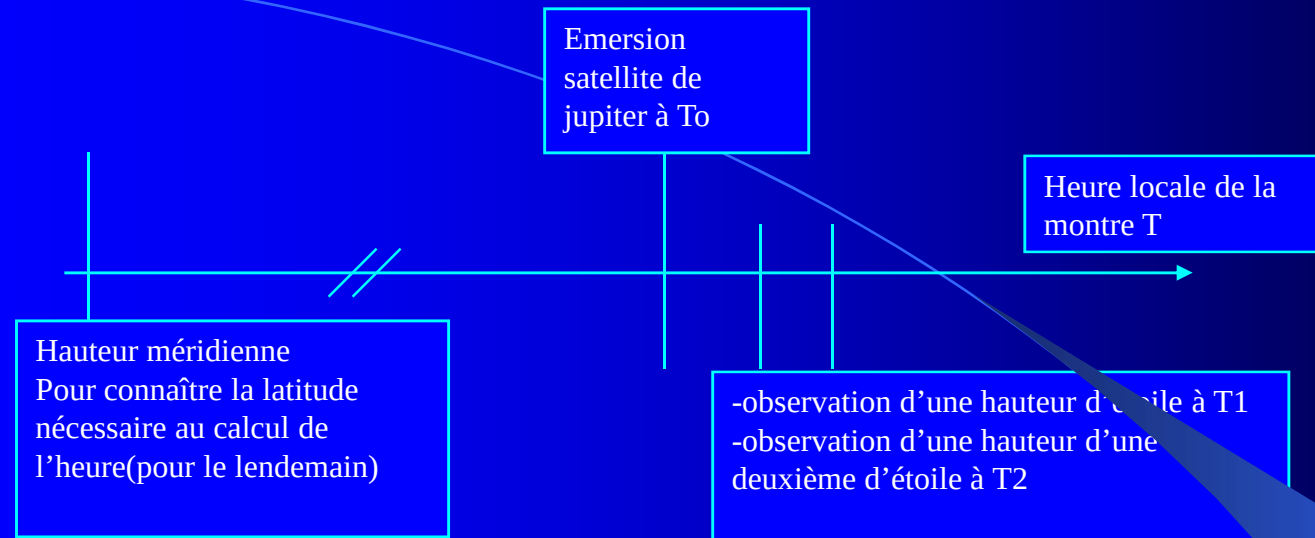


Cercles de hauteurs et plan des sommets

La longitude par les satellites de Jupiter avec La Condamine

- Le calcul de la longitude(1745) : « J'observai d'abord la hauteur méridienne du soleil dans une île vis-à-vis de la grande embouchure du Napo. Je trouvai 3deg 45' et 24 minutes de latitude australe. Enfin j'observai le 22^e soir l'émersion du premier satellite, et je pris aussitôt la hauteur de deux étoiles pour en conclure l'heure, Les intervalles des observations furent mesurés avec une bonne montre ; de cette manière, je pus me dispenser de monter et de régler une pendule, ce qui n'eut guère été possible et qui eu demandé du temps. Je trouve par le calcul la différence des méridiens entre Paris et l'embouchure du Napo de quatre heures trois quarts. Cette détermination sera plus exacte quand on aura l'heure de l'observation actuelle en quelque lieu dont la position en longitude soit connue et où cette émersion ait été visible ».

La Condamine



Embouchure du Rio Napo et de l'Amazone :

La Condamine (1745) : Latitude = $3^{\circ} 24'$ Longitude = $68^{\circ} 55'$ (quatre heures et trois quarts)

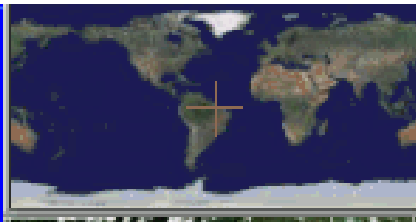
Google earth : Latitude = $3^{\circ} 28'$ Longitude = $72^{\circ} 44'$

L'erreur de 4° est surprenante, Les prédictions des phénomènes étaient-elles insuffisantes ou indisponibles ?

Le Para (actuelle ville de Belém) éclipse de Lune

La Condamine (1745) : Latitude = $1^{\circ} 28'$ Longitude = $48^{\circ} 40'$ (trois heures et 24 minutes)

Google earth : Latitude = $1^{\circ} 28'$ Longitude = $48^{\circ} 30'$

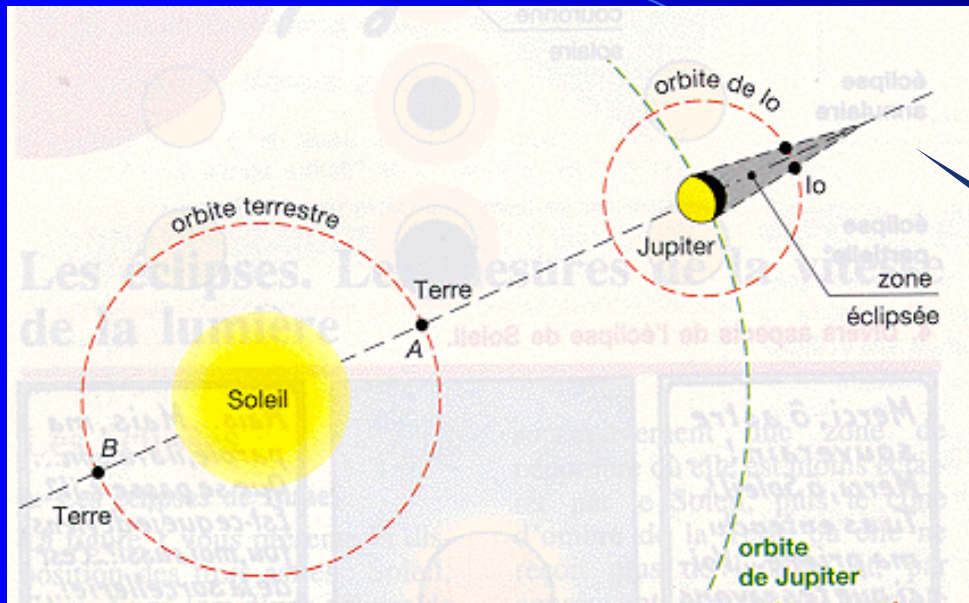


● Le Para (actuelle ville de Belém) **éclipse de Lune**

- La Condamine (1745) : Latitude = $1^{\circ} 28'$ Longitude = $48^{\circ} 40'$
(trois heures et 24 minutes)
- Google earth : Latitude = $1^{\circ} 28'$ Longitude = $48^{\circ} 30'$

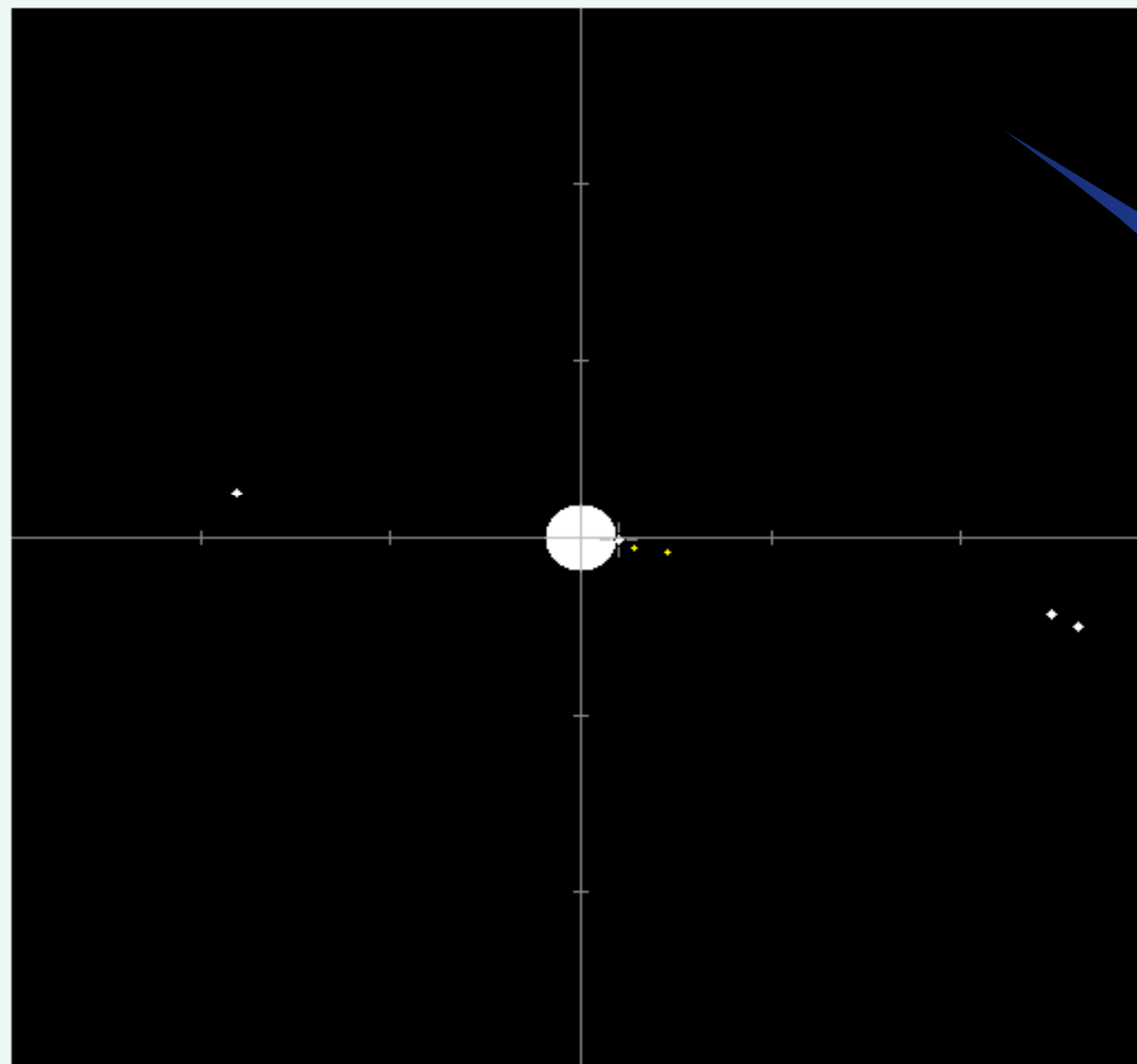


Les satellites de Jupiter



- Mais sans contexte c'est J D Cassini après 15 ans d'acharnement qui obtient en 1666 une table pour les quatre satellites avec l'année le mois le jour et l'heure (la minute ?) de :
- « leur entrée devant ou derrière le disque de Jupiter, de leur sortie du même disque de l'entrée et de la sortie de leurs ombres, de leurs immersions dans l'ombre, de leurs émerisions et de leur plus grande élongation ».

Mise en œuvre longitude par satellite de Jupiter



IMCCE/SAI. Natural Satellites
Ephemeride Server. MULTI-SAT.

Satellites of Jupiter

Reference body:

Jupiter

Marked satellite:

Io

Epoch of equator and equinox J2000

Differential coordinates

Refresh

With 12' x 12'

One time step of 1.0000 days

☐ Back

☒ Non

☐ Forward

Marked satellite:

J1 Io

Center of the field:

$\alpha = 19^{\text{h}} 14^{\text{m}} 57.985^{\text{s}}$

$\delta = -22^{\circ} 31' 4.00''$

N
E + W
S

[Coordinates and magnitudes](#)

Present field : 12' x 12'

Time moment: 2008 7 9 22 10 0.00 (UTC)

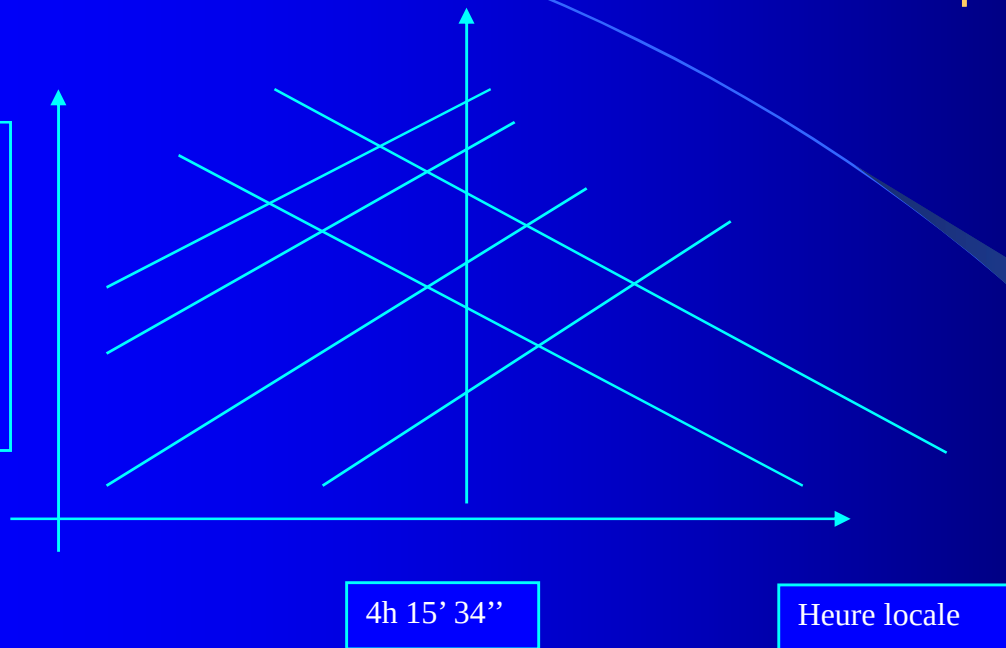
Observatory: Geocenter

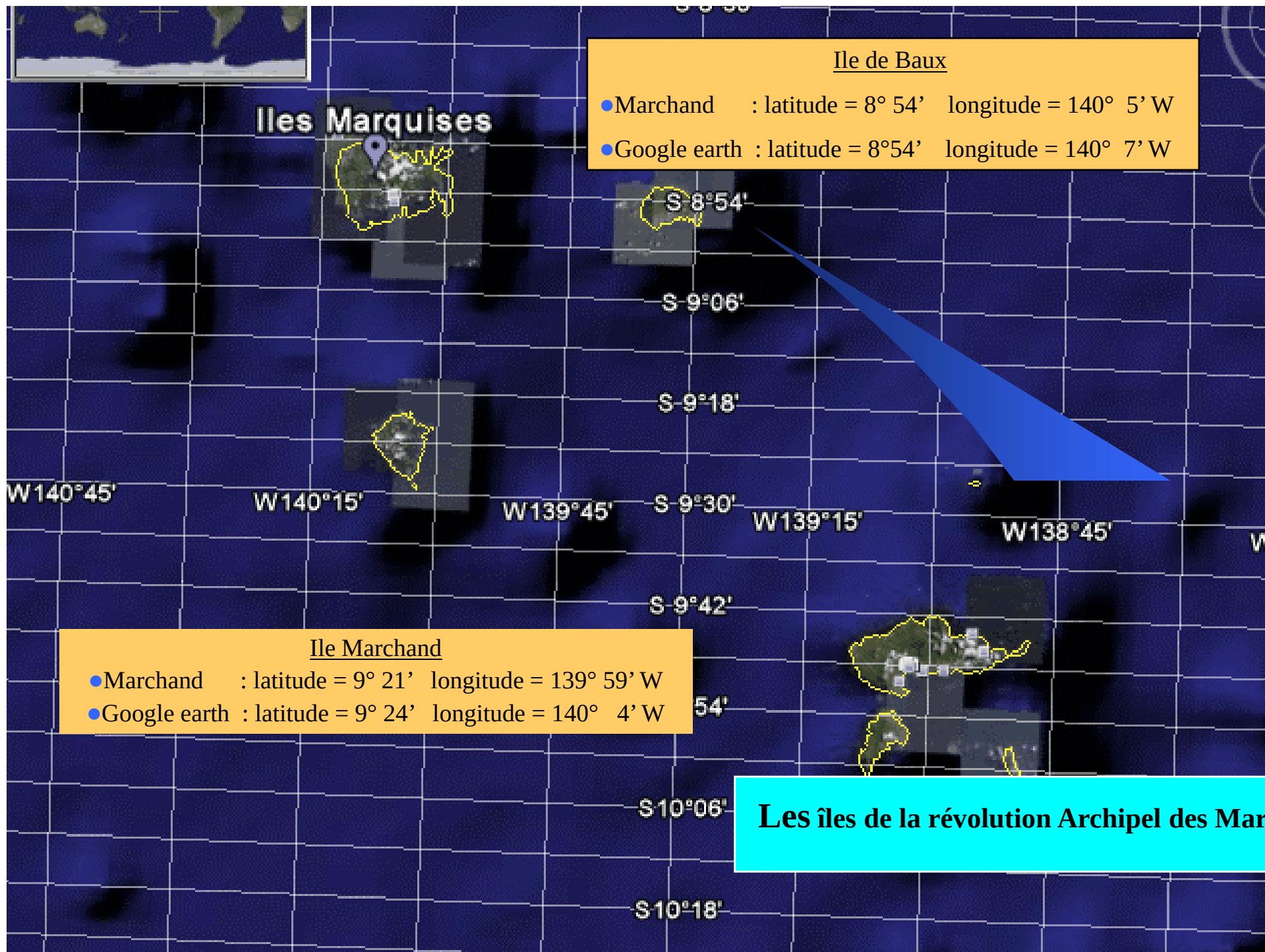
La longitude par les distances lunaires avec le capitaine Marchand

- Du vendredi 10 au samedi 11 juin 1791 :
- « Dans l'après midi nous observâmes Mr Chanzy et moi huit suites de cinq (quatre) distances chacune du soleil à la Lune, et dans la soirée nous observâmes également deux du soleil à la lune à Régulus et deux autres de la Lune à Antares, ce qui croisait nos observations. Les ayant toutes rapportées à 4heure 45' 34'' PM, nous optimes les résultats suivants moyens : $-136^{\circ} 12' 55''$...Notre longitude déduite des observations faites l'avant-veille, se trouvait dans ce moment de $135^{\circ}20'$. Comme il serait impossible de douter de la justesse de tant d'observations croisées, faites avec le plus grand soin et calculé avec la plus grande rigueur, on peut en conclure qu'il existait un courant qui nous portait... »

Le capitaine Marchand

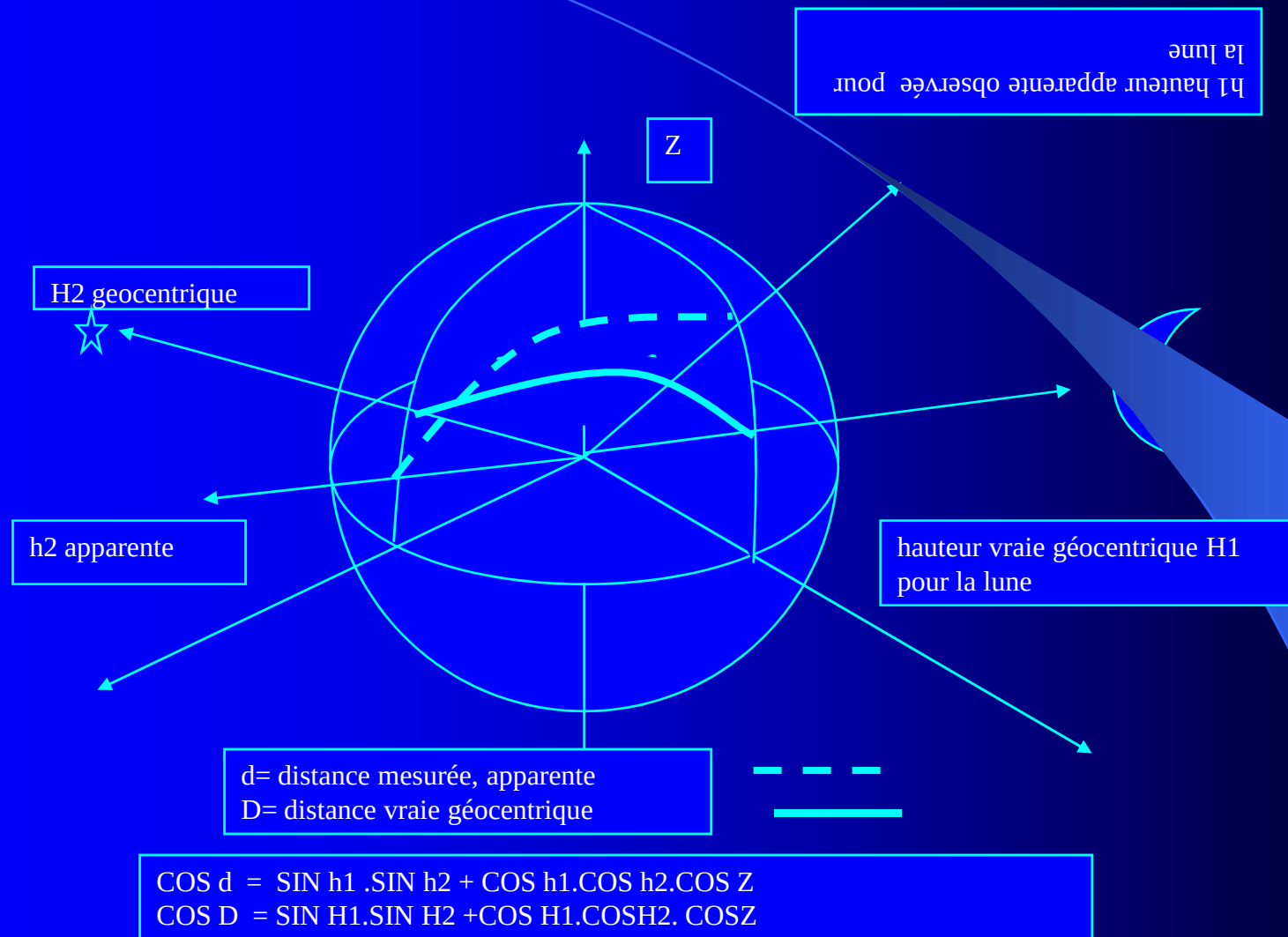
Distances
lunaires
observées et
extrapolées
pour une même
heure locale





CORRECTION DE LA PARALLAXE

Le capitaine Marchand



La droite de hauteur :

Le capitaine Summer(1843)

- *« Ce résultat semblait assez en accord avec l'estime, mais comme je doutai de la latitude, j'ai recommencé le calcul de l'observation avec une latitude de 10' plus au Nord que celle que l'estime, ce qui plaça le navire dans l'est nord est et à 27 milles marins du point précédent. J'ai recommencé à nouveau avec une latitude de 20' plus au nord que celle de l'estime ce qui plaça le navire dans l'est nord est et encore 27 milles marins plus loin. Ces trois positions étaient sur une même ligne dans la direction du phare de Smalls. Il m'apparut soudain que la hauteur que j'avais observée devait être la même, au même instant, aux trois points calculés, au phare de Smalls et à la position du navire. »*

LA DROITE DE HAUTEUR

UNE DECOUVERTE EXPERIMENTALE

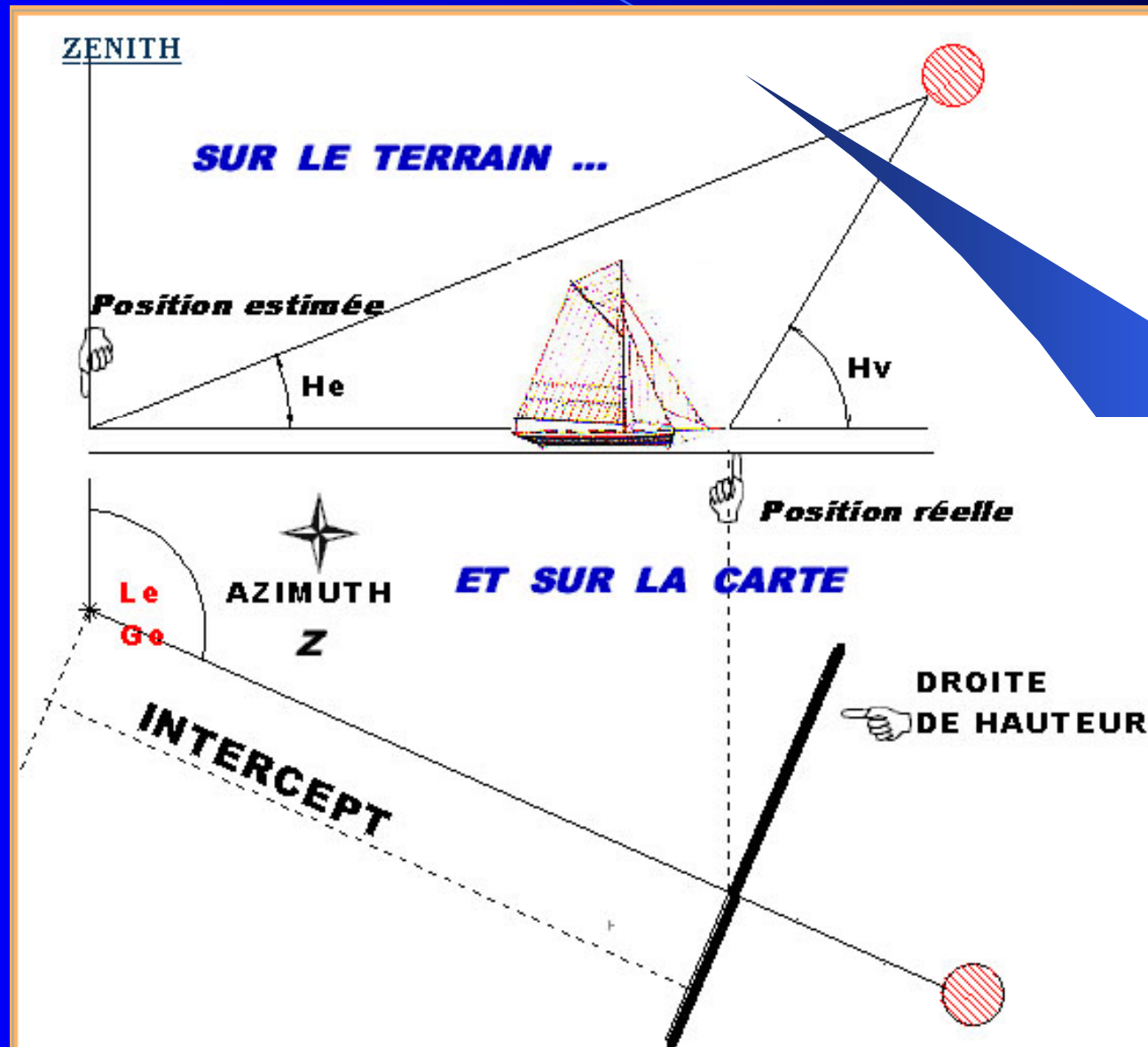


- La méthode du parallèle estimé
 - Estimation de la Latitude Le
 - Calcul de G par la formule:
 - $\sin hv \text{ mesurée} = \sin Le \cdot \sin D + \cos Le \cdot \cos D \cdot \cos(AHo + Tu + G)$
- La méthode de Summer (1843)
 - Estimation de la Latitude
 - Une droite par 2 points
 - 2 calculs de longitude (pour 2 latitudes)
- La méthode de Marcq (1875)
 - Une position estimée(Le, Ge)
 - La position estimée n'a pas besoin d'être exact
 - 1 calcul de la hauteur estimée par:
 - $\sin he \text{ estimée} = \sin Le \cdot \sin D + \cos Le \cdot \cos D \cdot \cos(Aho + Tu + Ge)$
 - L'intercept: $I = hv - he$
 - Une droite par un point et une direction

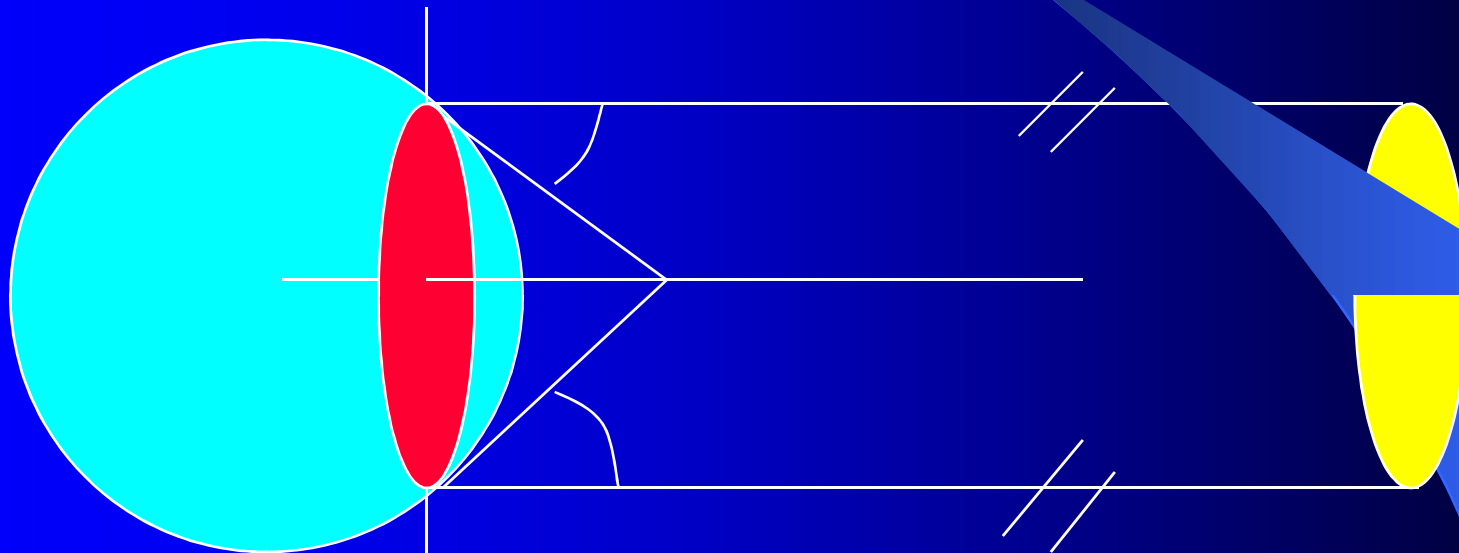


PRINCIPE DE LA DROITE

(cours de navigation astronomique navastro)

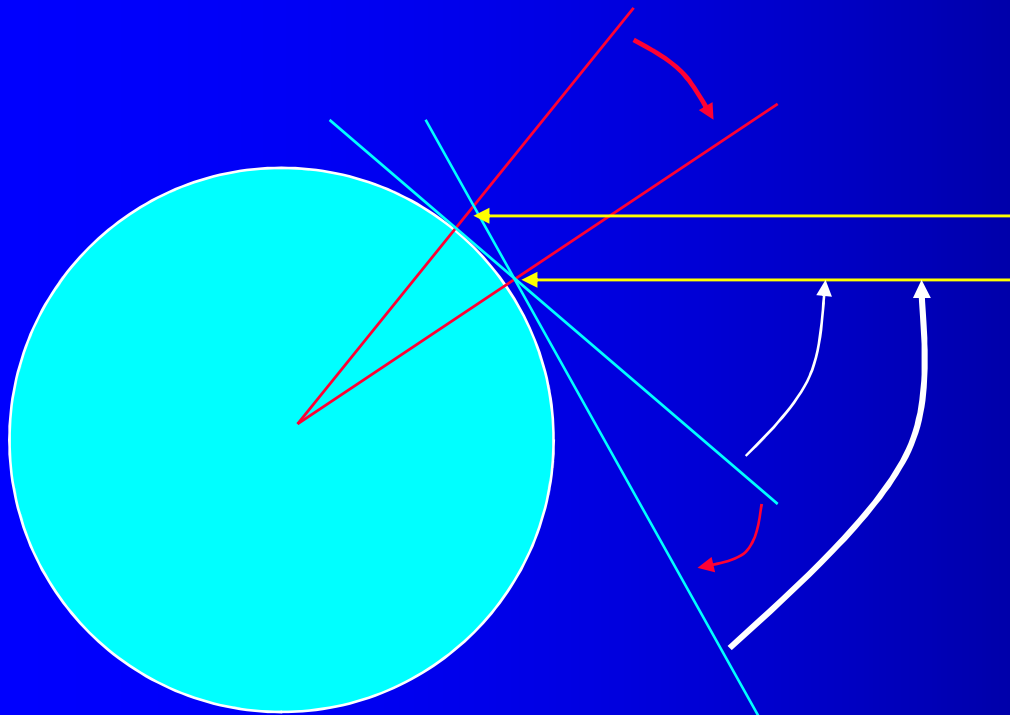


LE CERCLE DE HAUTEUR



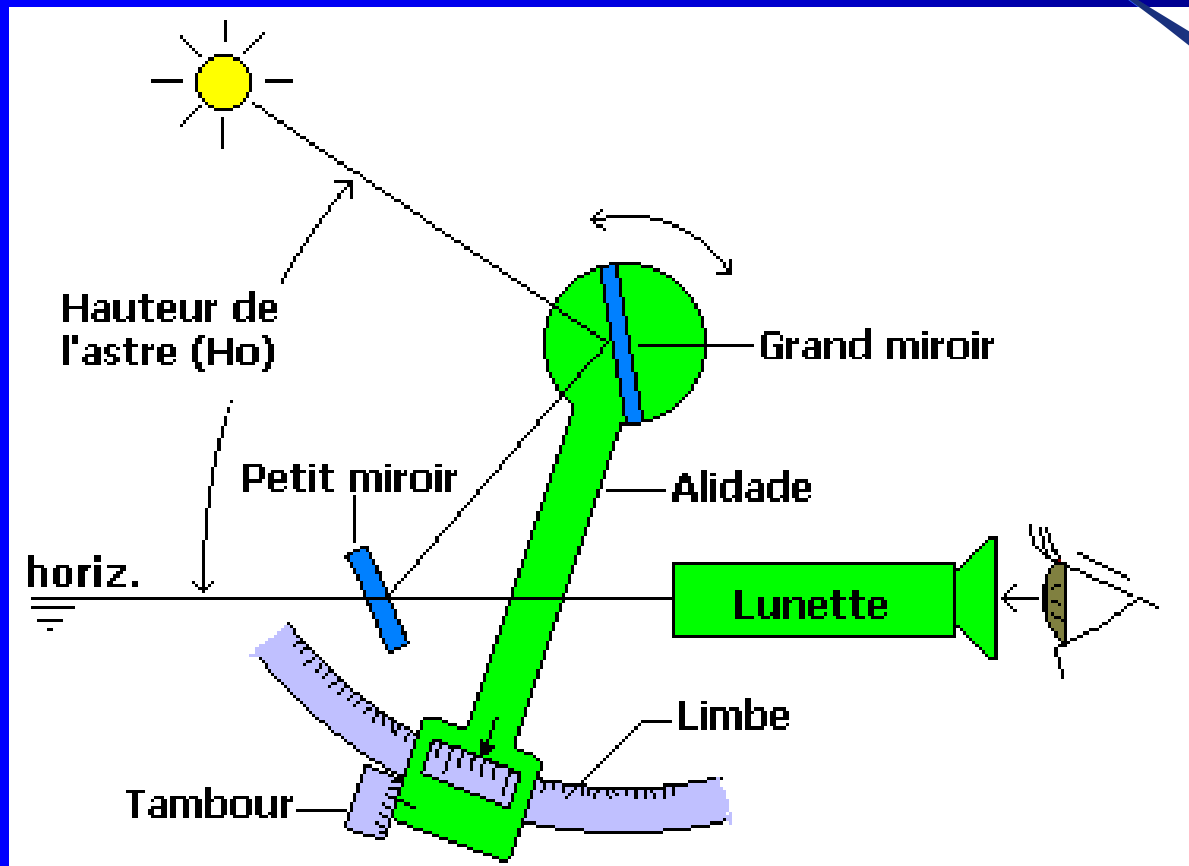
- Le lieu d'égale hauteur est un cercle sur le globe terrestre (cône tangent, axé sur l'astre et de demi ouverture $90^\circ - h$)
- Ce lieu peut être confondu avec une droite localement (normale à la direction de l'astre)

HAUTEUR ET POSITION



- Le plan vertical passant par l'astre génère un grand cercle sur le globe
 - Par définition une minute d'arc au centre correspond à un Mille Nautique (1852m) sur un grand cercle
 - Lorsqu'on se rapproche de l'astre e MN, la hauteur augmente de e minutes d'arc
 - Une différence de hauteur implique une différence de position

Evolution de l'instrumentation (de l'astrolabe au cercle à réflexion) **LE SEXTANT**



- Précision: 1'
- L'horizon artificiel

(Navigator software)



Evolution des MOYENS DE CACUL (des logarithmes au calculateur)

METHODES	Automatique(éphémérides)	Semi- automatique	Manuelle
MOYENS	-calculateur de navigation -calculette programmable -PC portable (Navastro,almicantarat)	-Ephemerides -calculette(trigo)	-Ephemerides -tables de calcul (logarithmes) américaines H.O.249 Dieumegard et Bataille
EVALUATION	Très rapide et confortable	Facile,mais risques d'erreur	Entraînement obligatoire Assez long et fastidieux

NOTA:système embarqué(poursuite automatique,couplage centrale inertielle)

CONCLUSION

- L'ouverture du monde
- Enjeux stratégiques
- De l'astrolabe au GPS
- La recherche sur l'histoire de la navigation astronomique
- Une pédagogie à découvrir
- Musée et histoire de la navigation astronomique



POUR EN SAVOIR PLUS

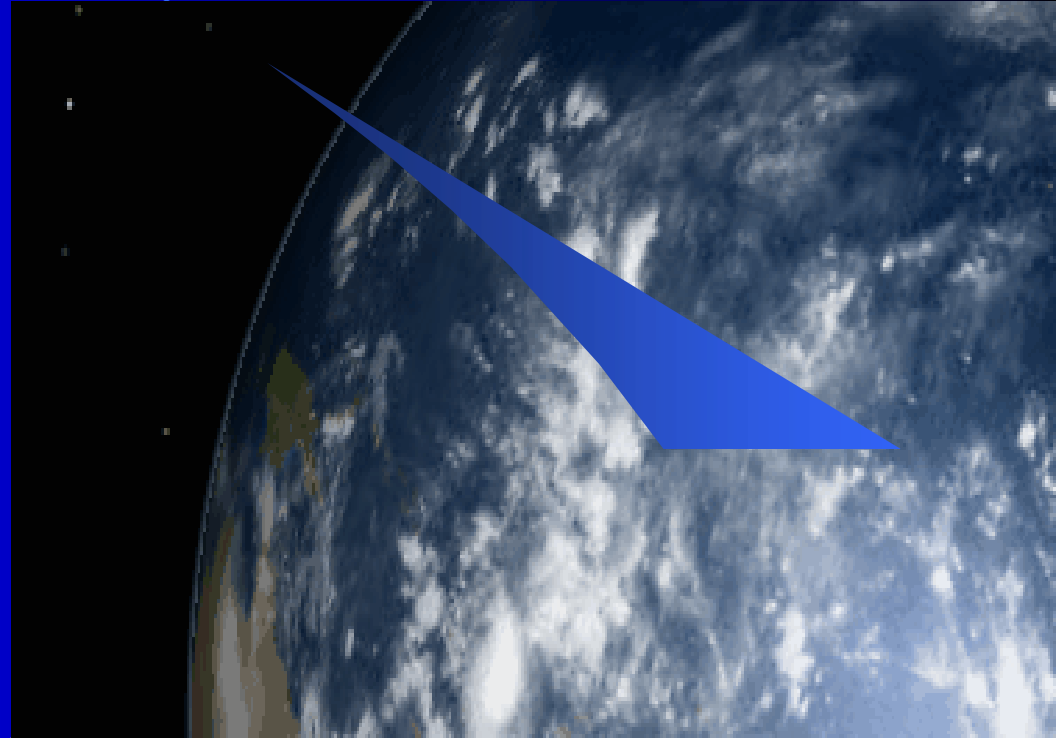
- Navigation astronomique simplifiée par l'amiral Sacaze EMOM
- Une histoire du point en mer par andré Gillet BELIN
- Longitude par Dava Sobel
- Histoire du point astronomique en mer par J.J. SEGERIC
- Navigation astronomique (programmation) De Philippe POSTH ,Deneb Edition
- La navigation astronomique de Philippe BOURBON,institut océanographique
- Relations de voyage (La Condamine, Bougainville, Lapérouse, Marchand, Humbold)
- Le calcul des longitudes,Vincent Julien,presse universitaire de Rennes
- Ephémérides Nautiques par le Bureau des longitudes,EDINAUTIC
- Logiciels libres Navastro; Almicantarat; Astrolab

NAVIGATION ASTRONOMIQUE



Bernard BOUCHET
DUOP/2008

COMMENT SE POSITIONNER ?

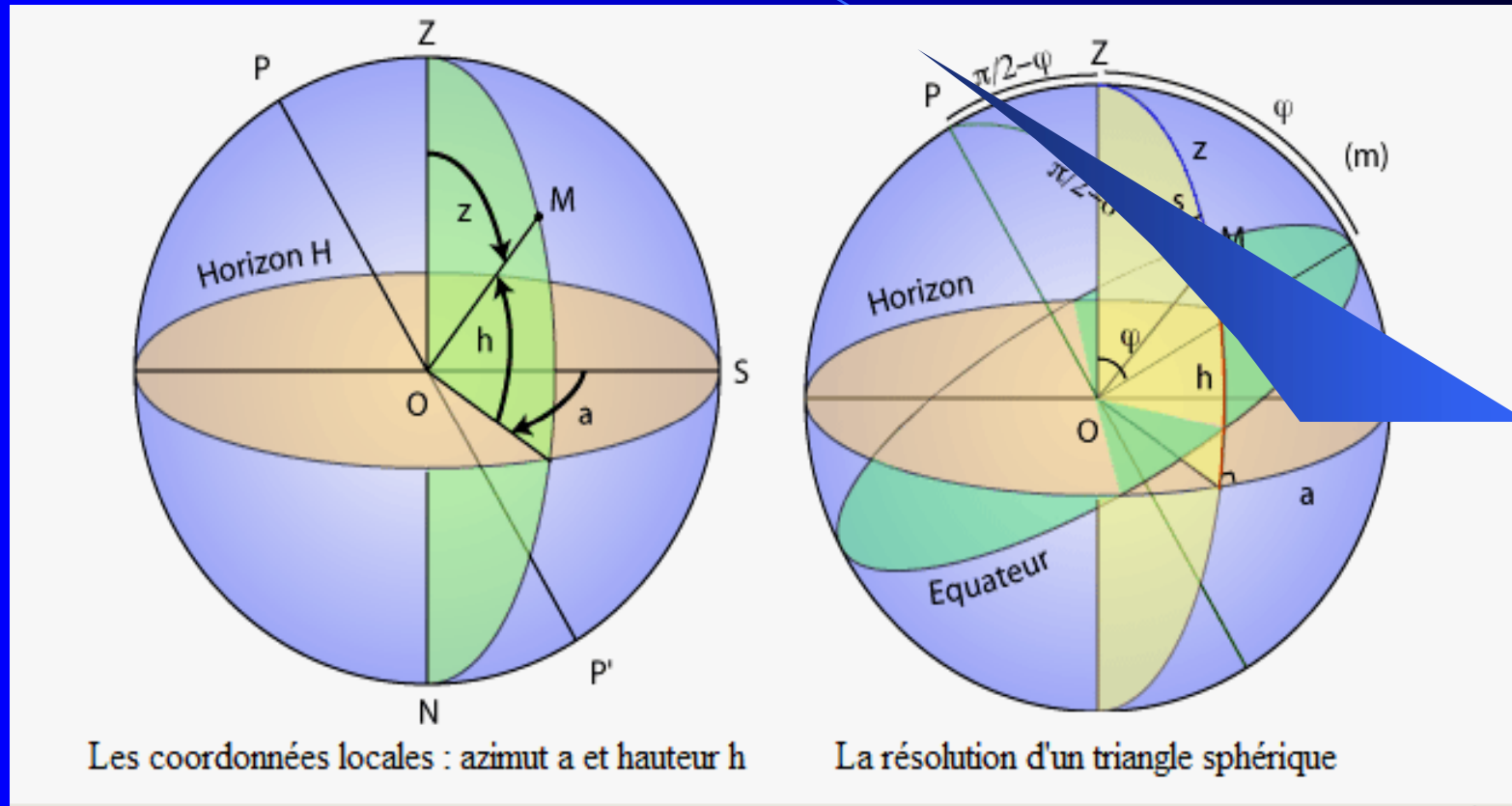


- UNE MONTRE
- UN SEXTANT
- LES EPHÉMERIDES
- DES MOYENS DE CALCUL
- ET ...UNE CARTE (latitude, longitude)
- ET ... QUELQUES NOTIONS D'ASTRONOMIE

NOTIONS D'ASTRONOMIE

TRIANGLE DE POSITION : La formule fondamentale

(J.E.Arlot,imcce)

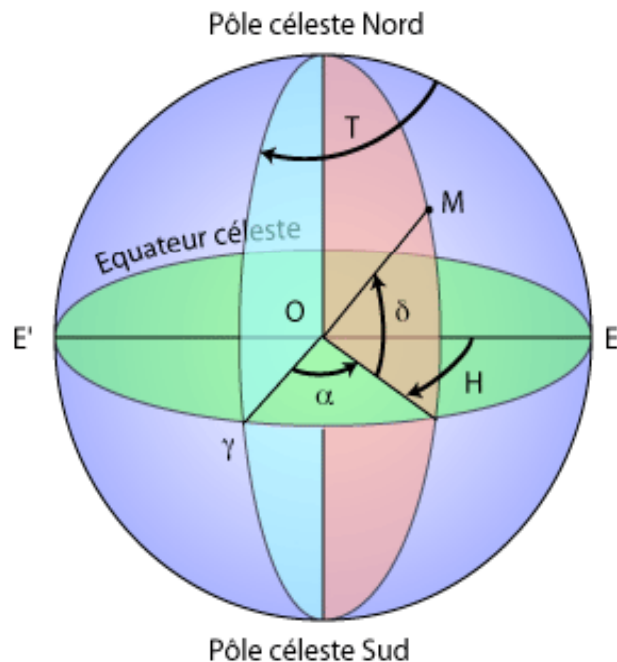


- $\sin h = \sin L . \sin D + \cos L . \cos D . \cos AH$

- $\sin a = \sin AH . \cos D / \cos h$

– (Azimut : a, Hauteur : h, Latitude phi: L, Déclinaison delta: D)

COORDONNEES équatoriales



Les coordonnées équatoriales : ascension droite alpha et déclinaison delta.
H figure l'angle horaire et T le temps sidéral local.

(J.E.Arlot,imcce)

– LES ASTRONOMES

- G fixe de l'observatoire
- $T = TSL(\text{horloge})$
- $T = T_0(0hTu)$
- $G = (24h)/(23h56m4s)$
- $H = T - \alpha$

– LES NAVIGATEURS

- G variable du mobile
- AH de l'astre à Tu à Greenwich
 - ETOILES
- $AHag = \{AHso + Ava\} - G$
 - SOLEIL et astres errants
- $AHvg = AHvo - G$

LES EPHEMERIDES : Angle Horaire et Déclinaison

soleil,lune,venus,mars,Jupiter,saturne et 81 étoiles <2,8

Angle Horaire local du soleil vrai,de la planète,de la lune au lieu de longitude G à Tu	Angle Horaire du soleil vrai à Greenwich à Tu	+ longitude Comptée positive à l'est	Nota: Une minute d'arc 4s de temps
AHvg =	AHvo (soleil) ou AHao (planètes,lune)	+ G	
Éphémérides (AH et Déclinaison)	-valeurs journalières pour chaque heure(soleil,planètes,lune) -table d'interpolation pour Tu (spécifiques pour soleil,planètes,lune)		
Angle Horaire local De l' étoile au lieu de longitude G à l'heure Tu	Angle horaire sidéral du point vernal à Greenwich Temps sidéral à Greenwich à Tu	+ longitude Comptée positive à l'est	+Ascension verse (= - ascension droite)
AHag =	AHso	+G	+AV
Éphémérides (AH et Déclinaison)	-valeurs journalières pour chaque heure -table d'interpolation pour Tu (étoiles)		-pour chaque étoile

LES ANGLES HORAIRES

$$H = T - AD(\alpha)$$

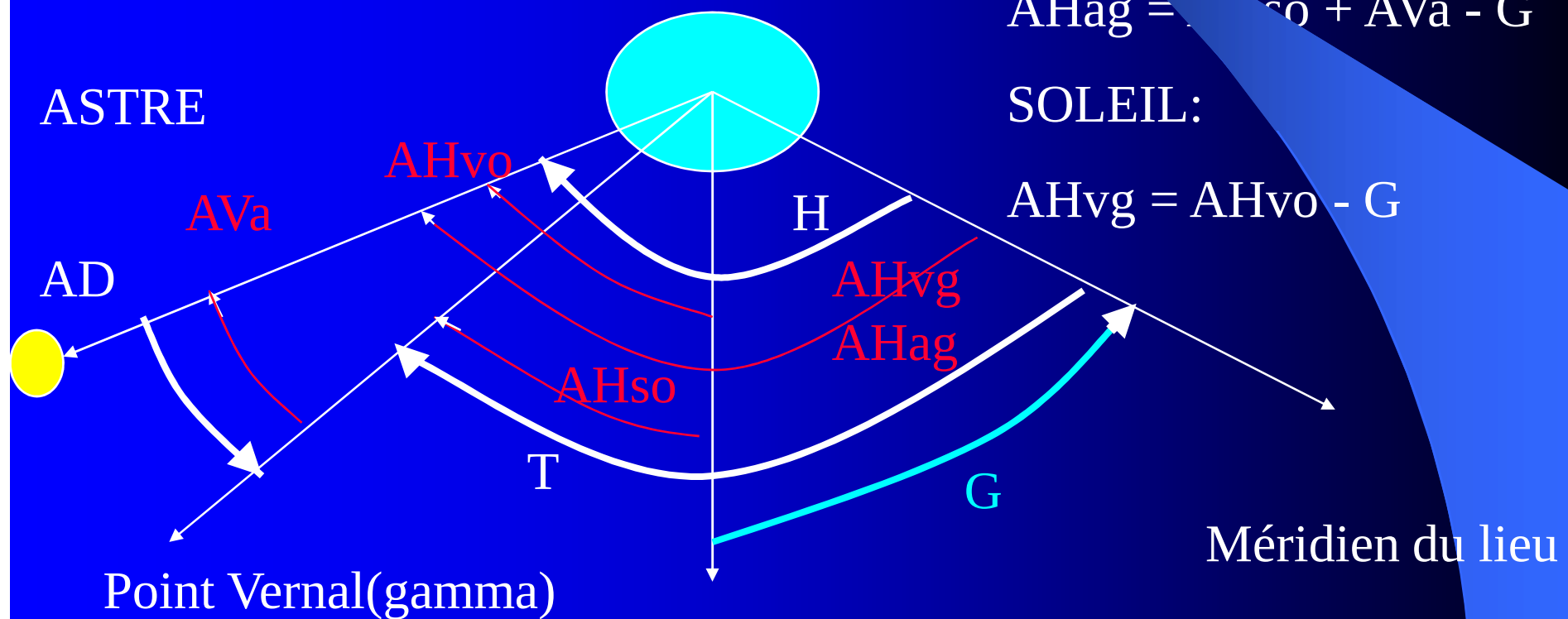
$$AD = - AVa$$

ETOILES:

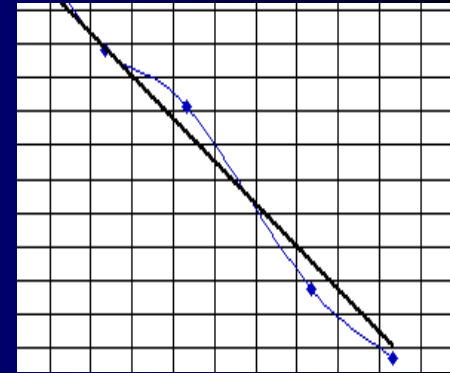
$$AHag = \dots + AVa - G$$

SOLEIL:

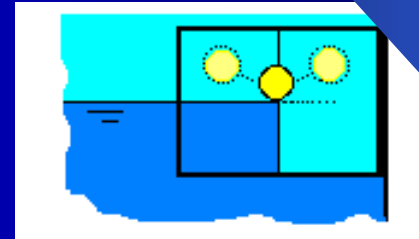
$$AHvg = AHvo - G$$



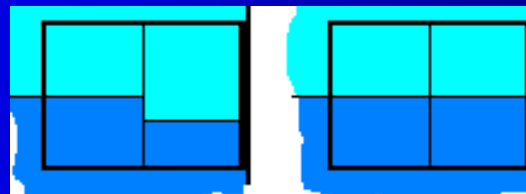
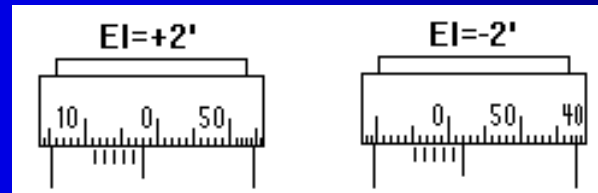
LES MESURES



- MONTRE QUARTZ CALEE SUR TOP HORAIRE
- BALANCEMENT DU SEXTANT
- SERIE DE MESURES
- LES CORRECTIONS



- LA COLLIMATION
- TABLES DES CORRECTIONS (soleil, étoiles et planète, lune)



$$1h = 15^\circ$$

$$1mn = 15'$$

$$4mn = 1^\circ$$

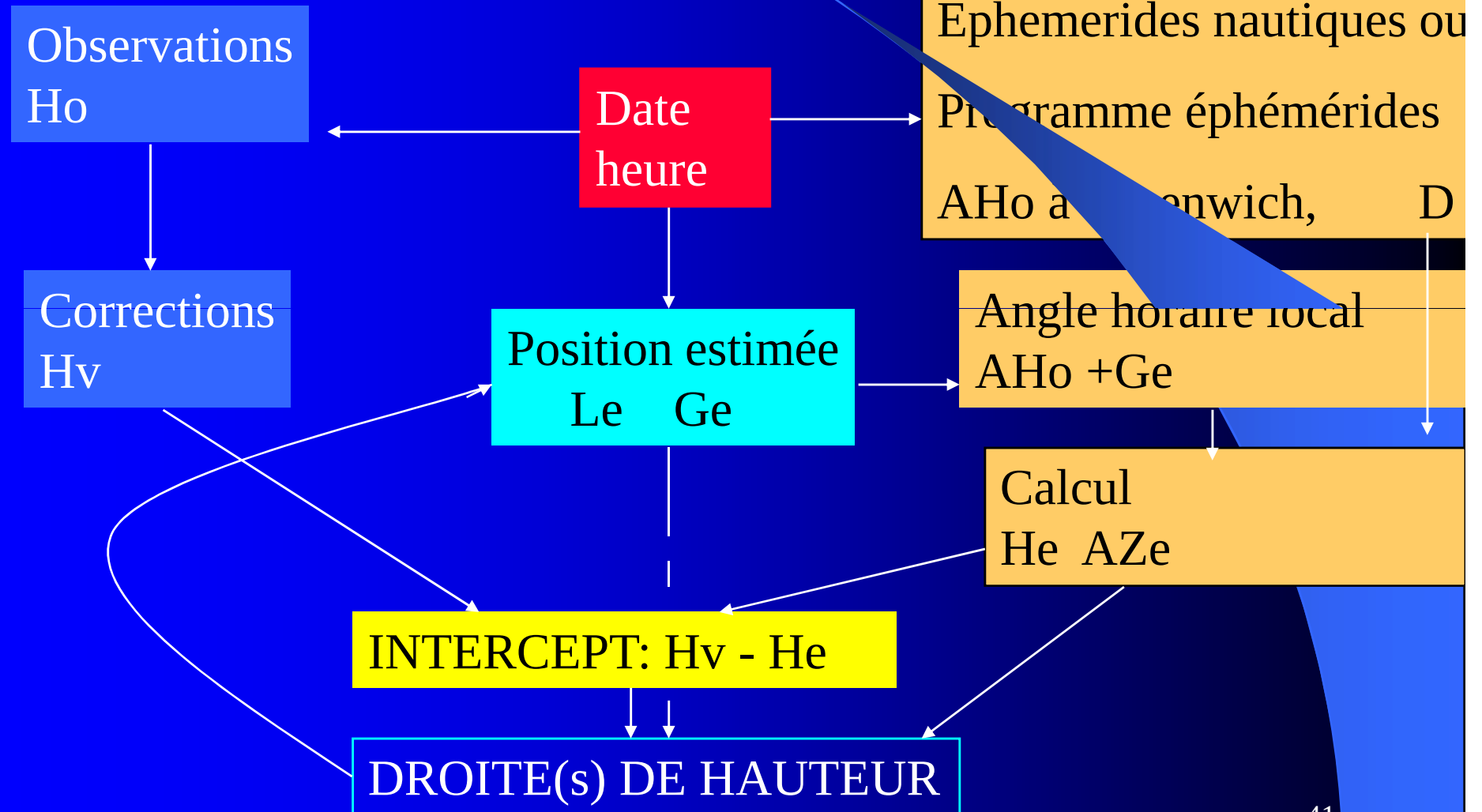
$$4s = 1'$$

SHEMA GENERAL

Observations

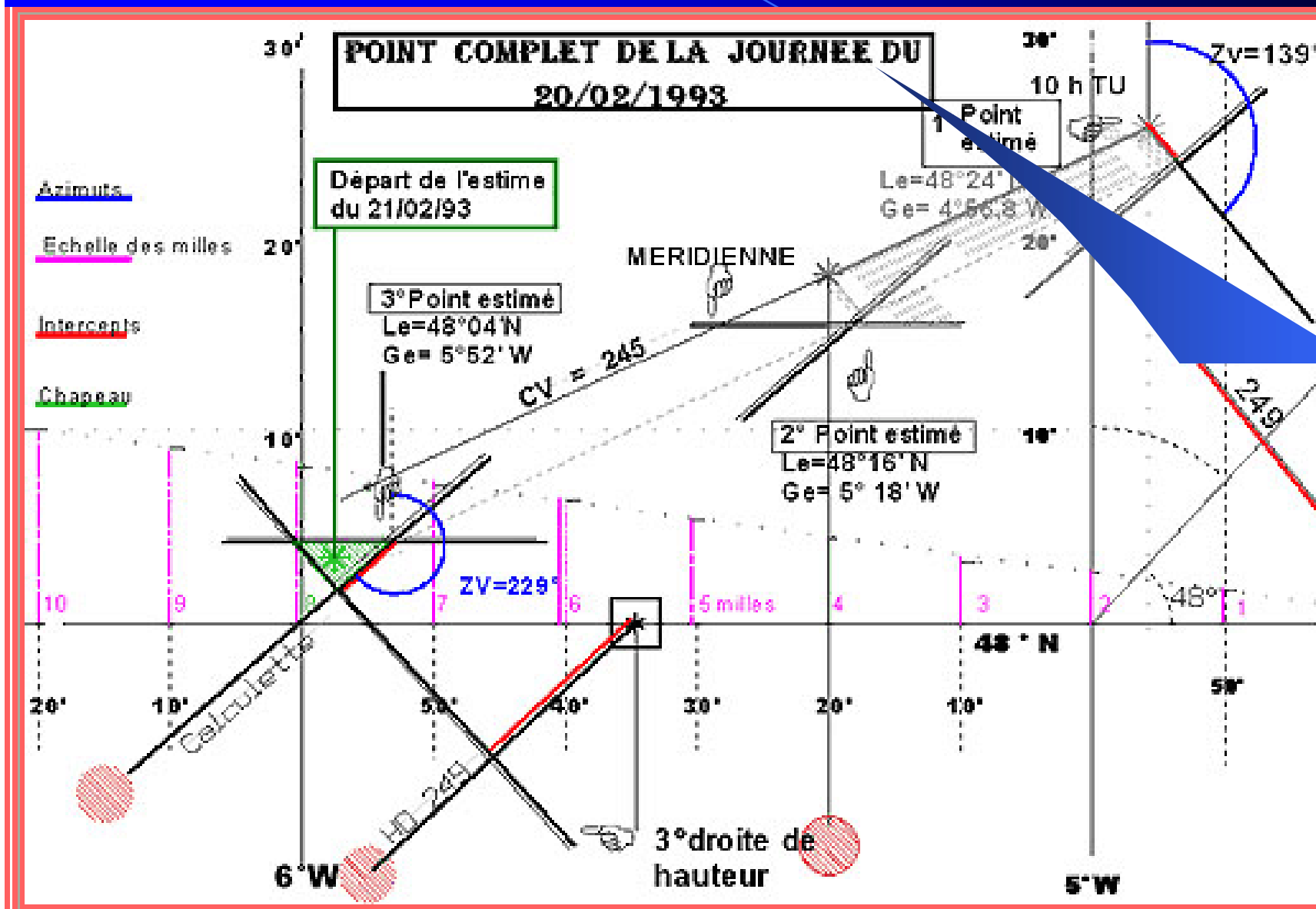
navigation

calculs

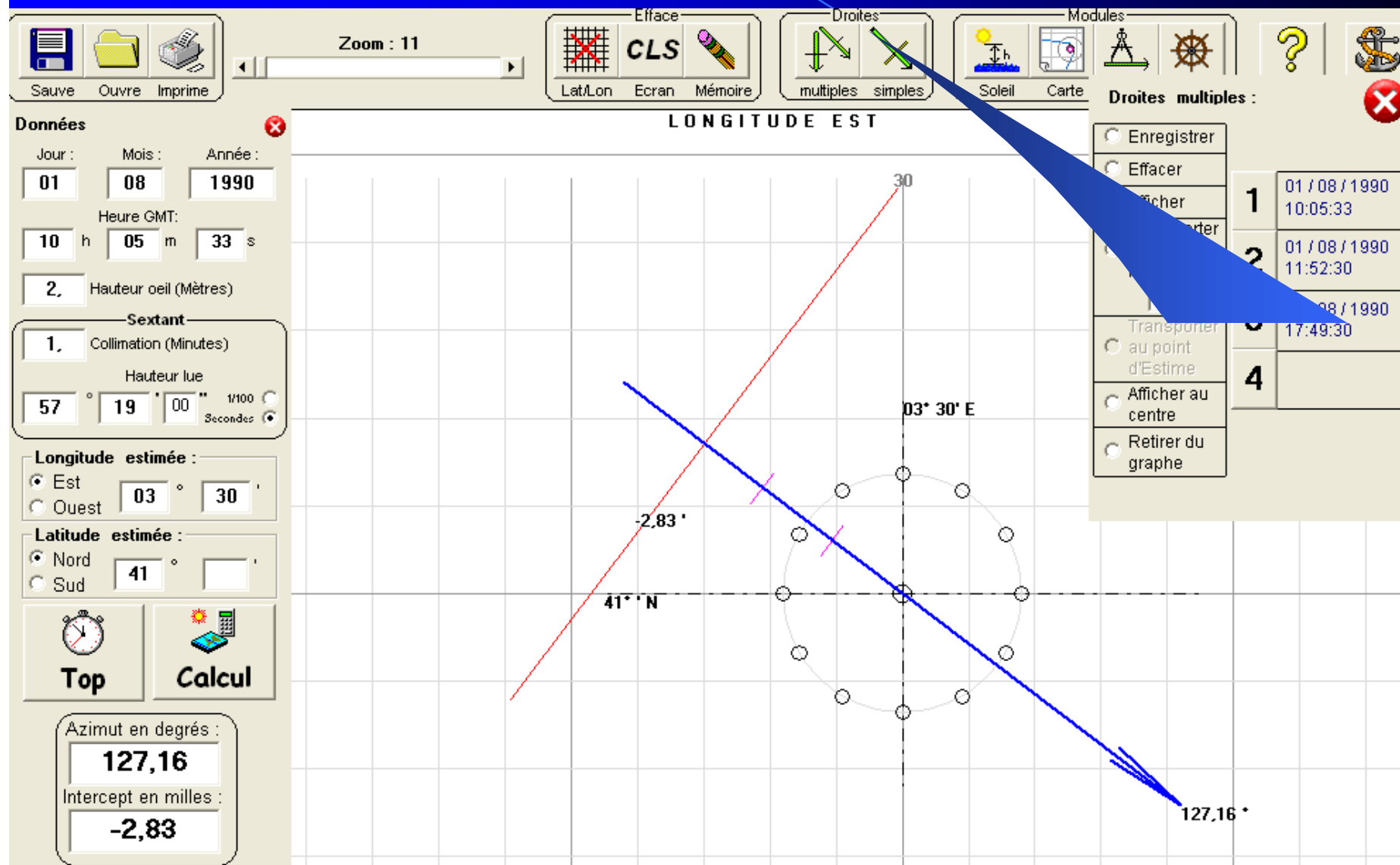


LE POINT COMPLET

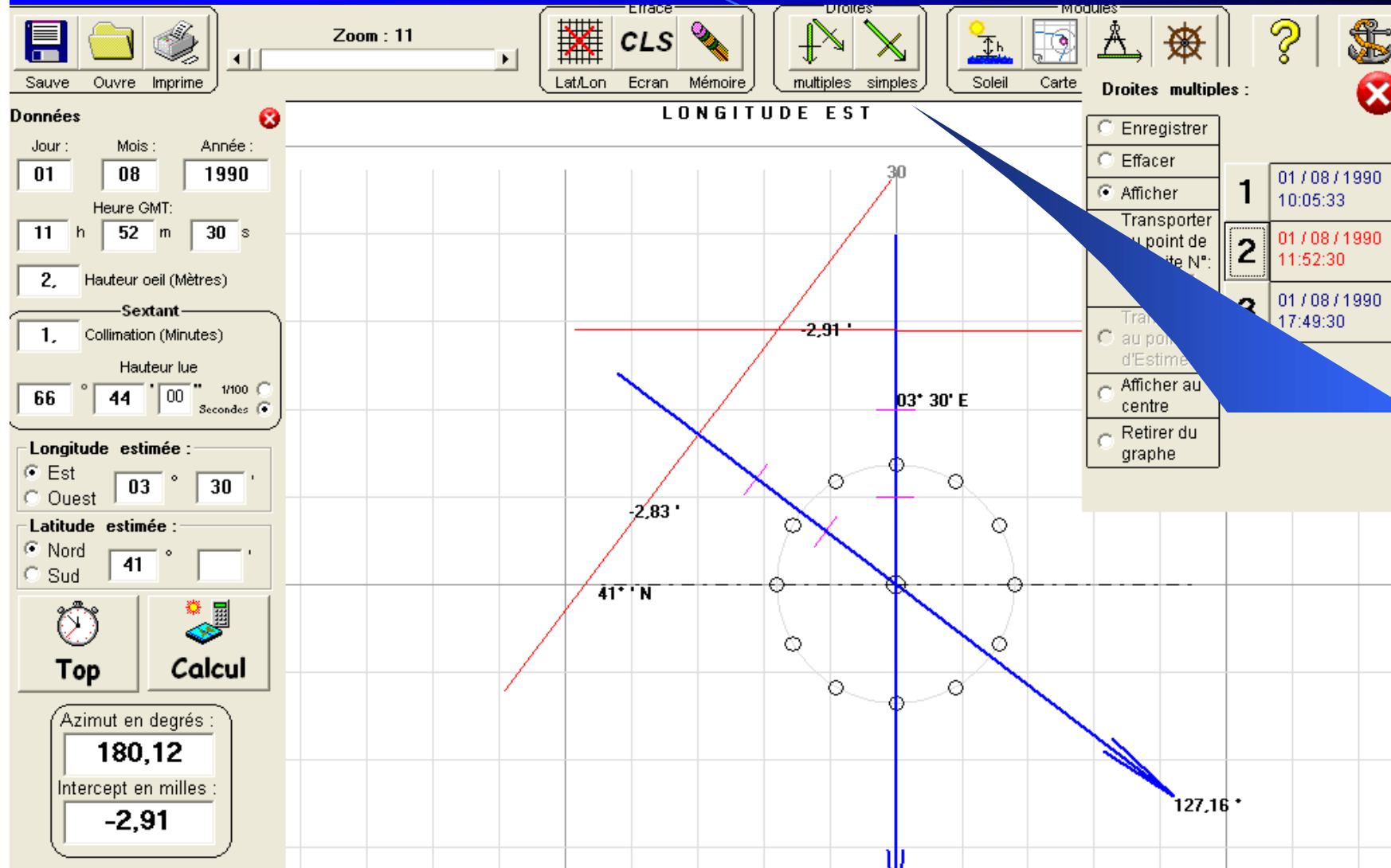
transfert de la droite (cours navigation astronomique navastro)



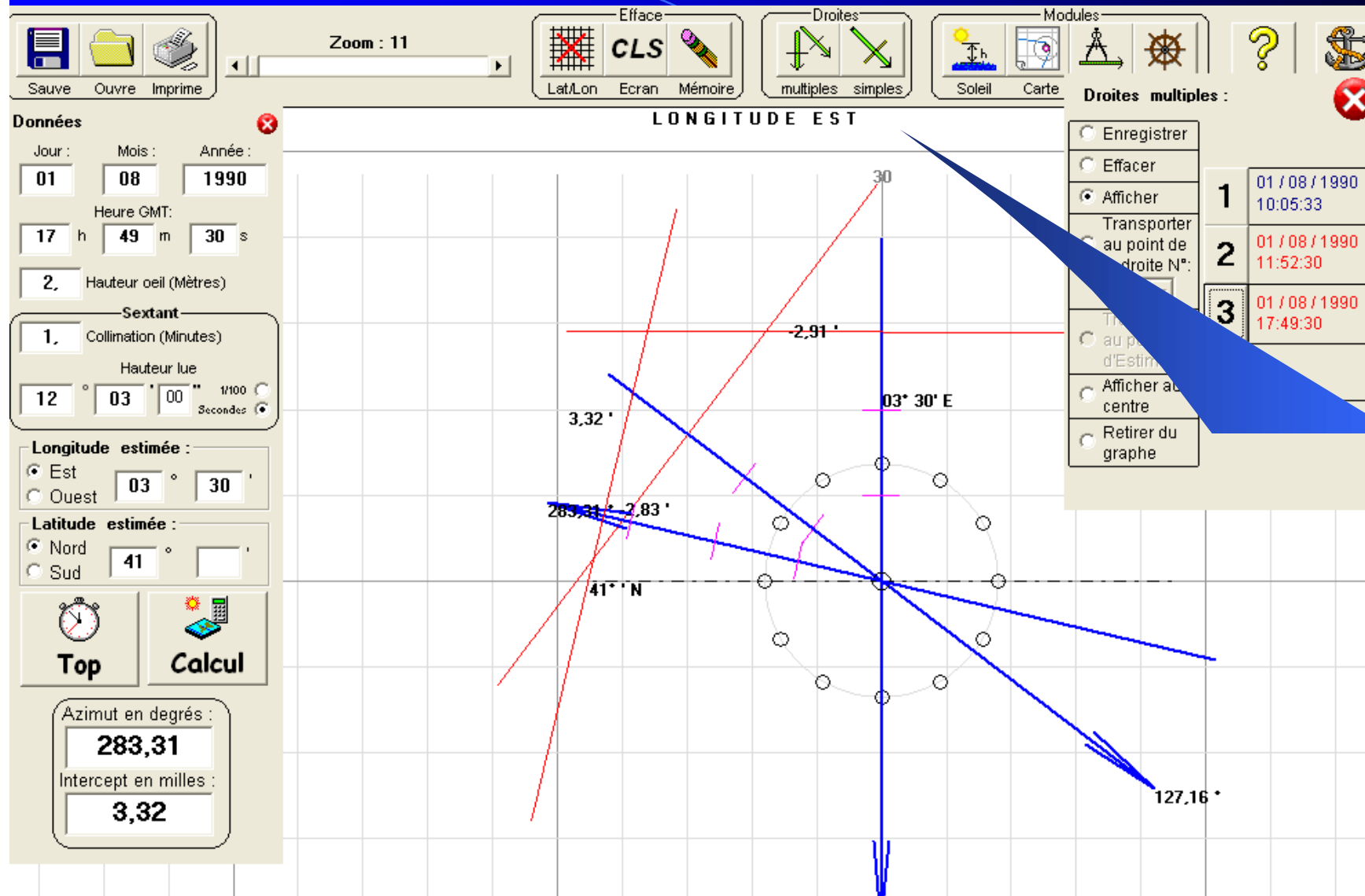
UNE DROITE (navastro)



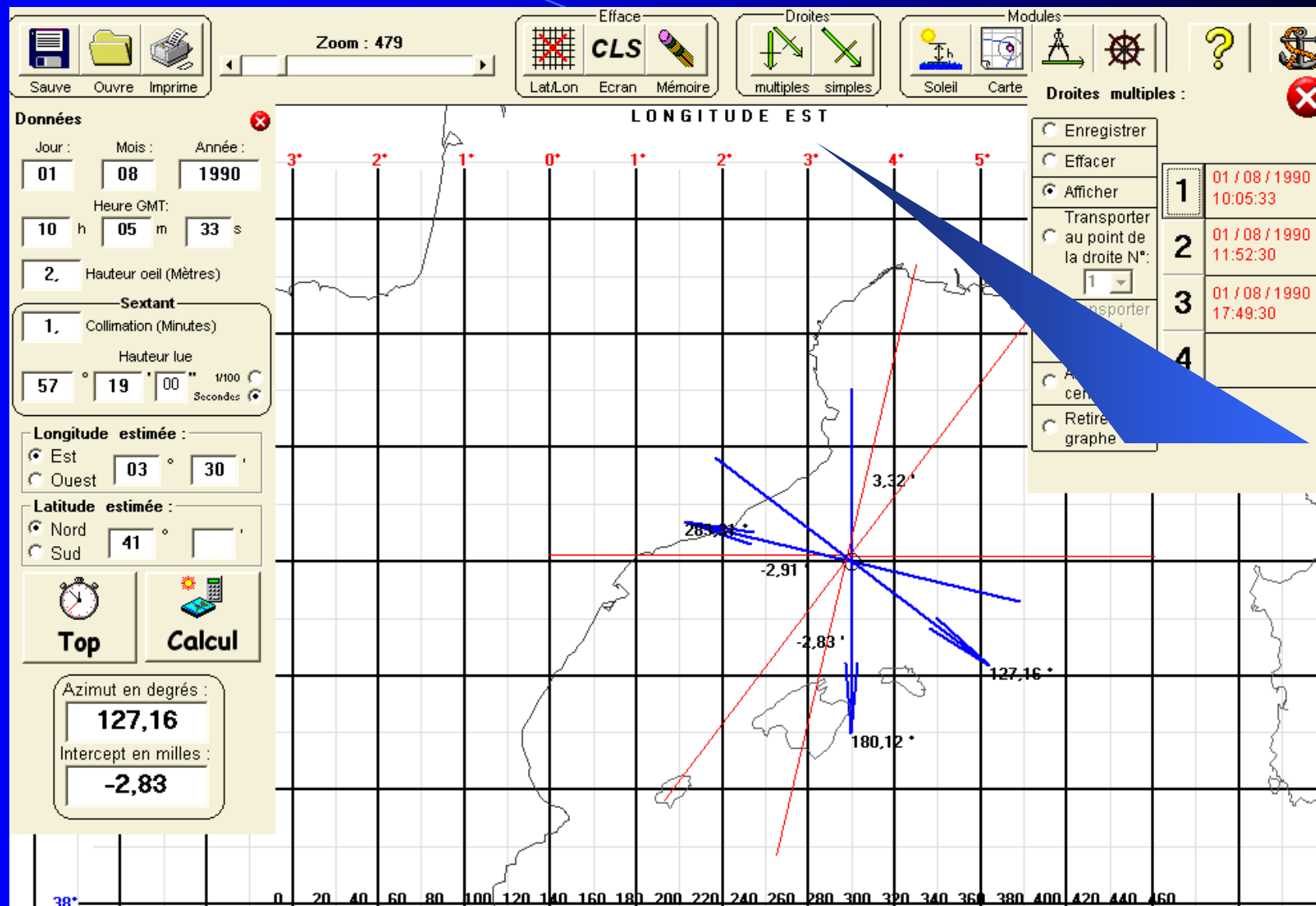
DEUX DROITES



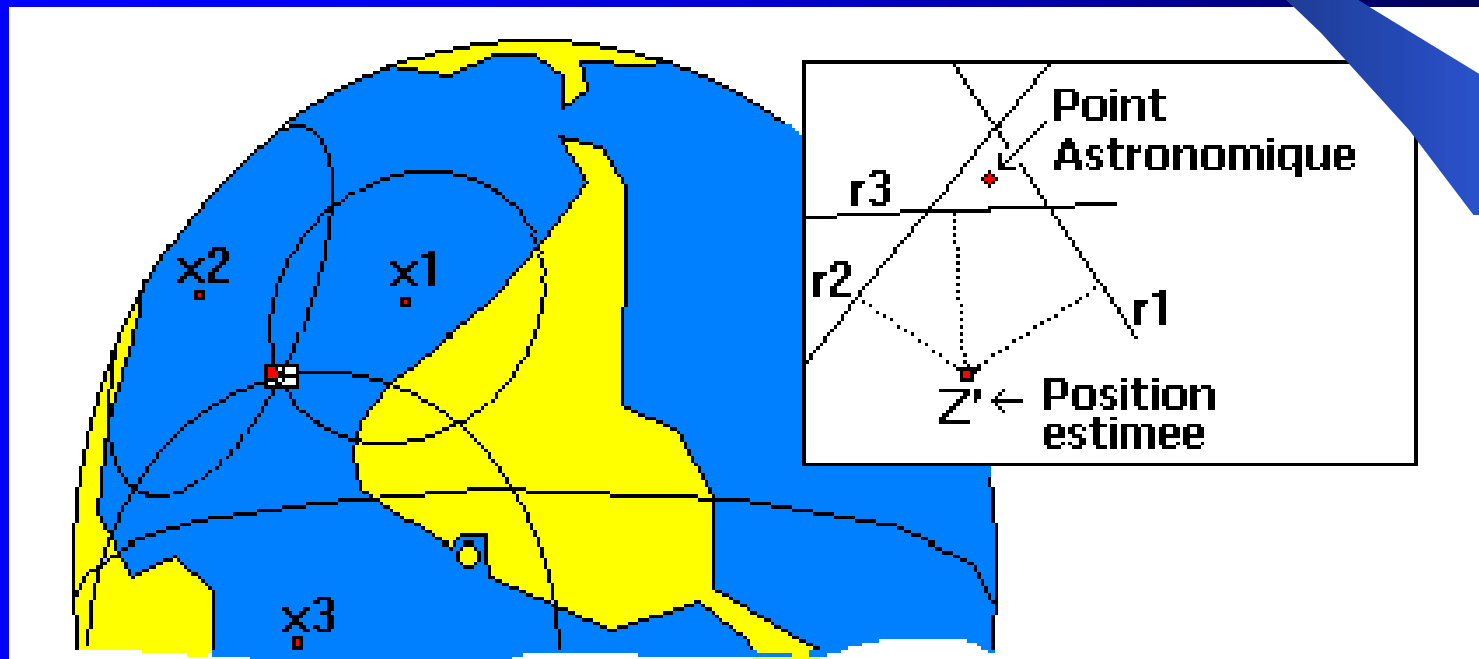
TROIS DROITES: l'incertitude



SAINT PIERRE DE ROME ?



NOUVELLE METHODE par lieu géographique: le plan des sommets



- Les sommets des cônes de hauteurs définissent un plan tangent au lieu d'observation: position estimée peu utile

RESOLUTION DES CERCLES DE HAUTEURS (almicantarat)

1- Assumed position

- ☒ Manual
- ☐ E.P. (updated at shoot time)

Latitude 41 ° 00.00 N
Longitude 003 ° 30.00 E

2- Choose a celestial body

- ☒ Sun
 - ☐ Moon
 - ☐ Planets
 - ☐ Stars

Choose on the map of the sky

3- Shoot Now

10/03/2008 21:26:29 Z

SHOOT NOW

Average altitude

01/08/1990 12 h 52 mn 30 s A ▼

4- Determining true altitude

Sextant altitude 66 ° 45

Modifier la table d'excentricité

Excentricity

Index error -0

11:11:44 **11:11:44**[illegible]

5- Add to the list

6- Results

Method used : Astrid

Date and time of celestial fix : 01/08/1990 12:52:30 A

Latitude : 41°02.53 N Longitude : 003°27.15 E

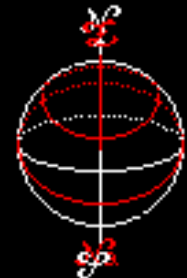
Pool of error in nautical miles : 0.69

Bears **320** from estimated position ;

Distance from estimated position : 3.32

Change an altitude

Delete an altitude



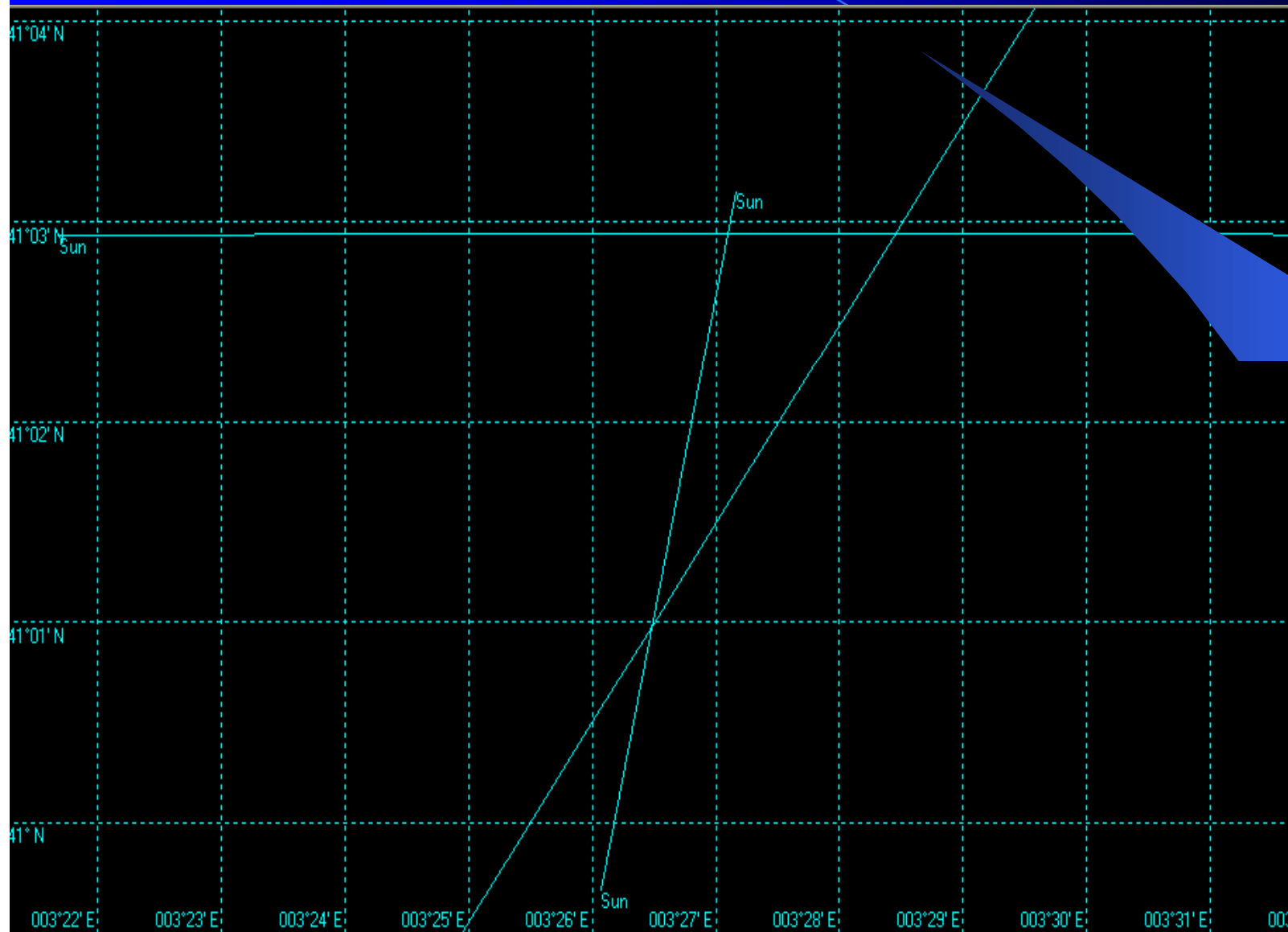
Copy the list

Delete the list

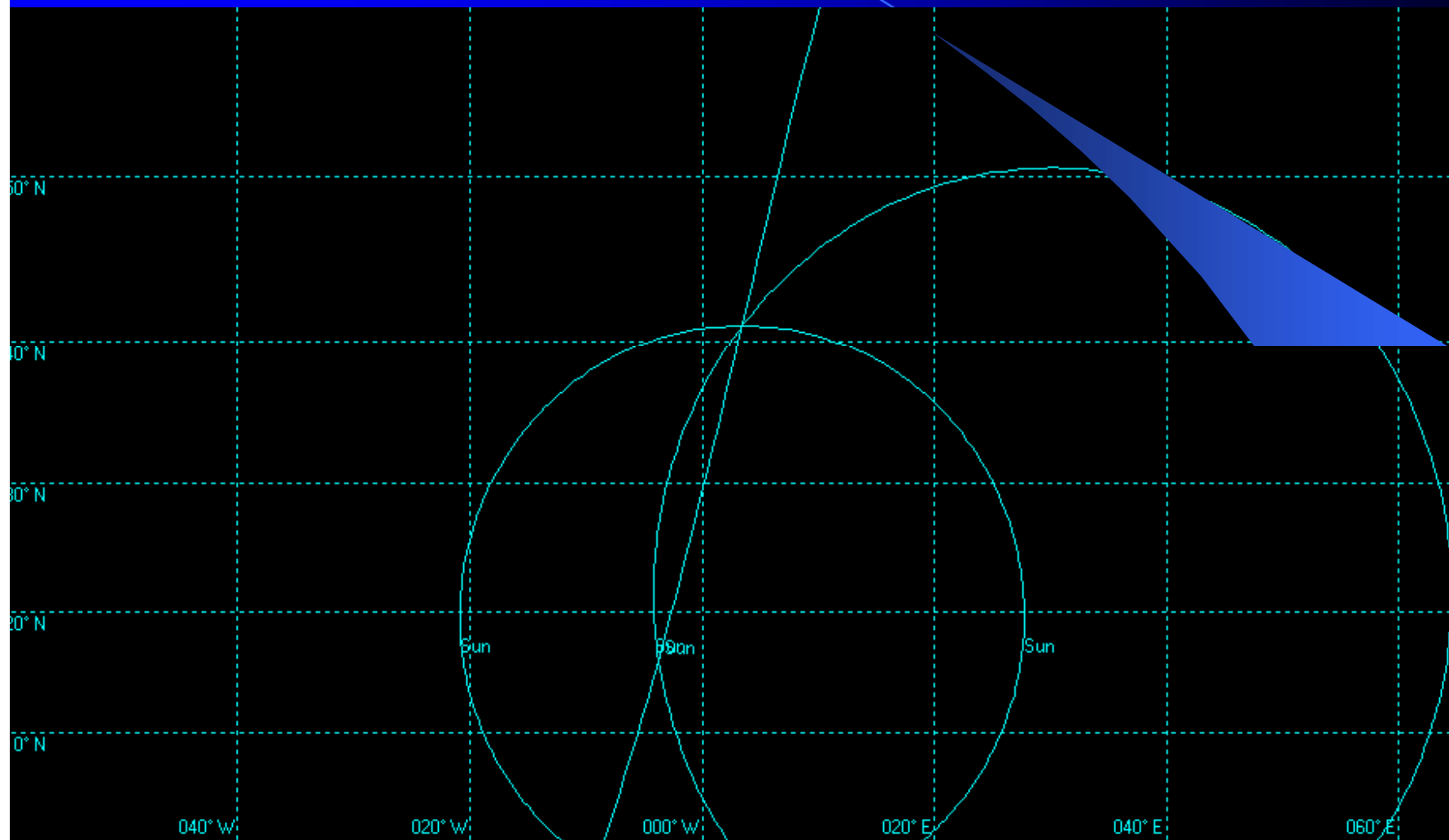
Open a list

Save the list

CERCLES DE HAUTEURS (almicantarat)



LES CERCLES (almicantarats)



BILAN et PERSPECTIVES

- Une étape majeure dans l'histoire de la navigation astronomique
- Dispositions stratégiques et réglementaires
- Évolution des méthodes de calcul automatique
- Un outil pédagogique pour l'initiation à l'astronomie, à l'histoire de l'astronomie
- Le bonheur de naviguer sous la voûte céleste