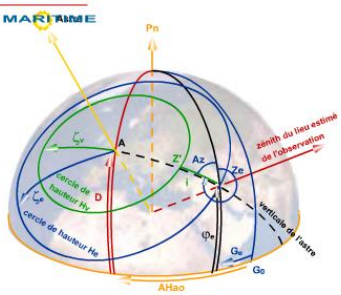
Auteur: Professeur de l'enseignement maritime H.Baudu
herve.baudu@supmaritime.fr
Version validée département Navigation:
- 1.0 septembre 2016

ENSM
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE MARITIME



- Principe
- Cercle de hauteur
- Courbe de hauteur
- Droite de hauteur
- Pratique
- Exemple
- Ho 249

Droite de hauteur

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas des cours proposés , et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni des conséquences liées à la mise en oeuvre des informations et schémas contenus dans ce cours. La diffusion de ce support est soumise à l'autorisation de l'auteurs et ne doit, en aucun cas servir à des fins commerciales.

page d'accueil

www.traitedemanoueuvre.fr

Traité de Manœuvre

Accueil | Ouvrages | App Colregs | Cours | Code Polaire | News | Contact

COURS DE NAVIGATION

Cours de navigation L1, L2 et L3

En version Pdf:

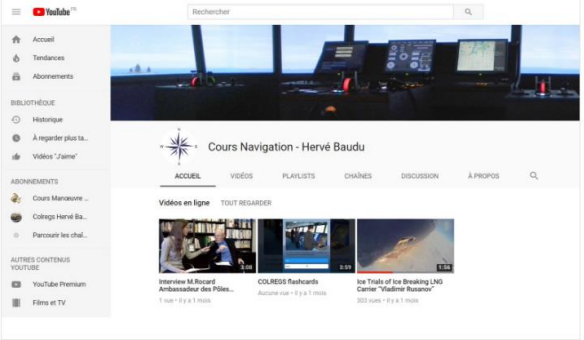
En cours de rédaction pour les versions .pdf

1. Cours de Navigation L1:
2. Cours Navigation L2:
3. Cours de Navigation L3:

En version Flash:

Vous pouvez télécharger les fichiers des cours de Navigation en Flash.swf sur votre PC et les lire avec le plugin Flash player ou Internet (uniquement sur PC). Pour cela, décompresser les fichiers ZIP à télécharger ci-dessous. Mettre tous les fichiers L1, L2 et L3 dans un même dossier pour bénéficier des liens à partir de la page « passerelle.swf » (vous pouvez également mettre les fichiers Colregs – voir menu « Cours Colregs »):

Cours sur Youtube: Cours de navigation Hervé Baudu



Droite de hauteur
- Principe

ENSM
H.Baudu

But

L'objectif de la droite de hauteur est de positionner le navire.

La comparaison entre une hauteur calculée H_e à partir d'un point estimé (φ_e, Ge) et la hauteur observée H_v à l'heure TU donne directement un lieu géographique.

Les éléments nécessaires au moment de l'observation:

1. Eléments observés:

- **hauteur vrai H_v de l'astre au sextant**
- **heure Tcp de l'observation au chronomètre**
- **azimut de l'astre Az**

coordonnées horizontales

2. Eléments des Ephémérides nautiques:

- **Déclinaison D de l'astre**
- **Angle horaire Ahao de l'astre à Greenwich**

coordonnées horaires

3. Eléments estimés:

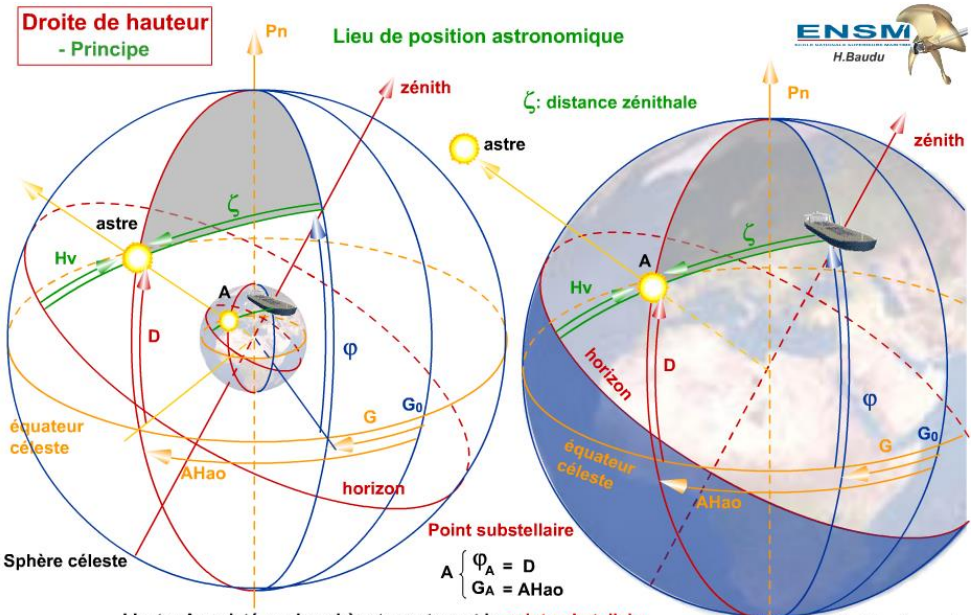
- **position estimée du bâtiment φ_e et Ge**

coordonnées géographiques

Droite de hauteur
- Principe

ENSM
H.Baudu

Lieu de position astronomique



L'astre A projeté sur la sphère terrestre est le point substellaire.
A l'instant TU, il a pour coordonnées:

- **AHao et D (EN)**

Droite de hauteur
- Principe

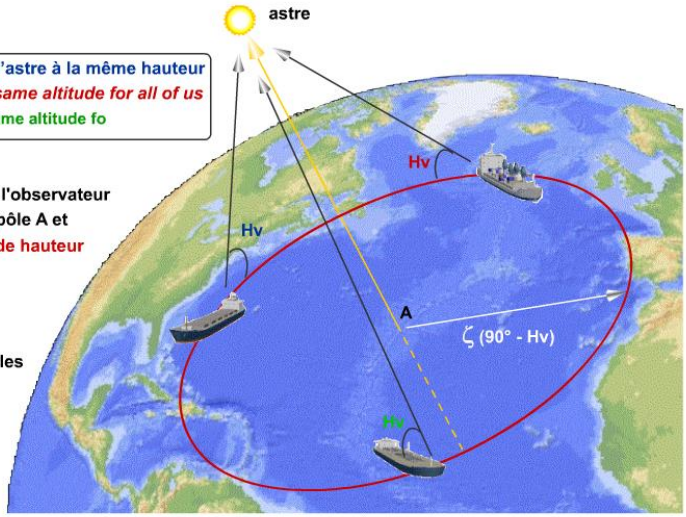
H.Baudu

Cercle de hauteur

Nous observons l'astre à la même hauteur
the star is at the same altitude for all of us
the star is at the same altitude fo

L'ensemble des positions de l'observateur est le cercle de la sphère de pôle A et de rayon ζ (90° - Hv): cercle de hauteur

Exemple:
1' d'arc sur Terre = 1 mille
pour Hv = 40°; ζv = 3000 milles



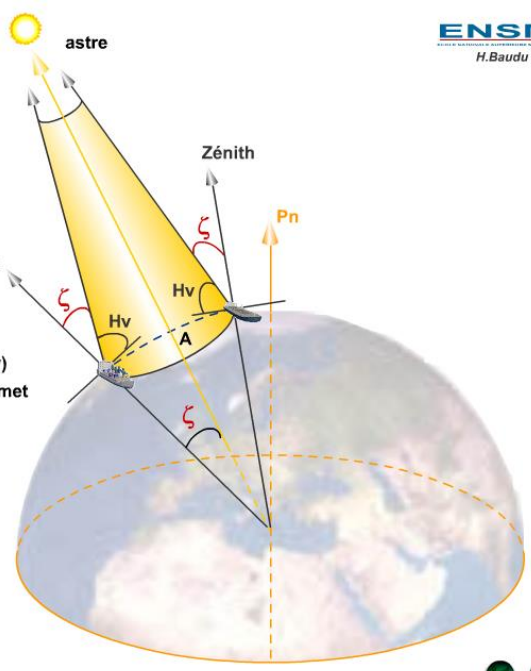
Droite de hauteur
- Principe

H.Baudu

Cercle de hauteur

Autre expression du cercle de hauteur:

Le cercle de hauteur de rayon ζ (90° - Hv) est l'intersetion du cône ayant pour sommet le centre de la Terre.

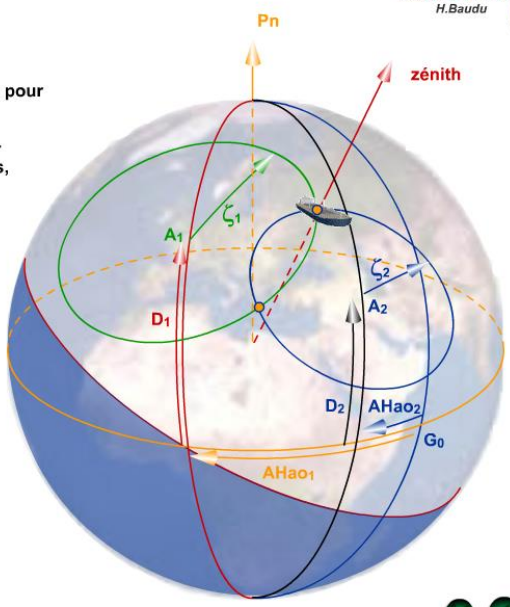


Droite de hauteur
- Principe

H.Baudu

Cercle de hauteur

Un seul cercle de hauteur n'est pas suffisant pour déterminer la position;
Il faut une deuxième observation simultanée.
L'intersection des 2 cercles donnant 2 points, on lève le doute en prenant le point le plus proche du point estimé.



Points substellaires

$A_1 \begin{cases} \varphi_A = D_1 \\ G_A = AHao_1 \end{cases}$

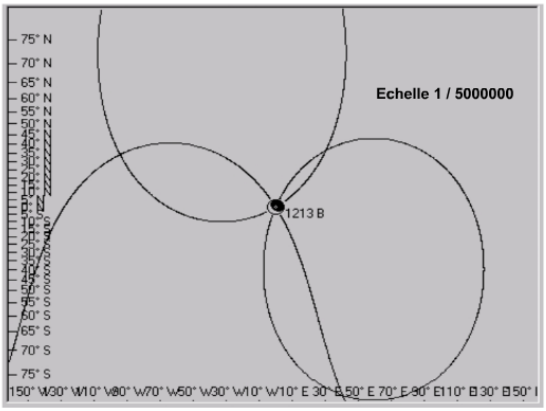
$A_2 \begin{cases} \varphi_A = D_2 \\ G_A = AHao_2 \end{cases}$

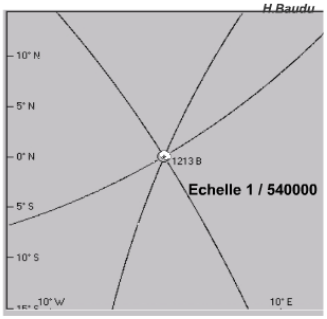
Droite de hauteur
- Principe

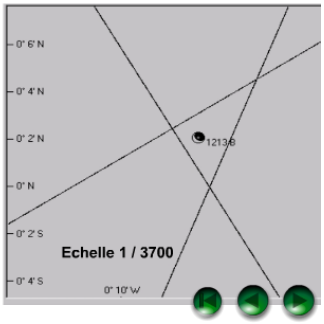
H.Baudu

Courbe de hauteur

La courbe de hauteur est l'image du cercle de hauteur sur une carte en projection Mercator. On ne va exploiter que la portion de courbe de hauteur qui est à proximité de notre position estimée.



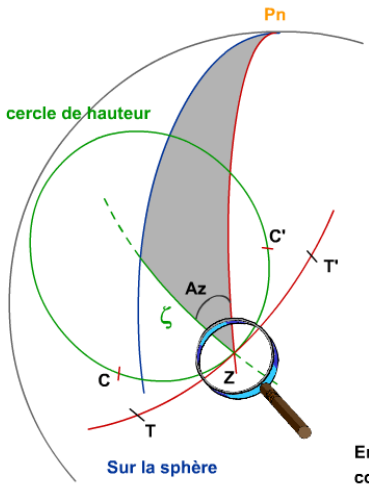


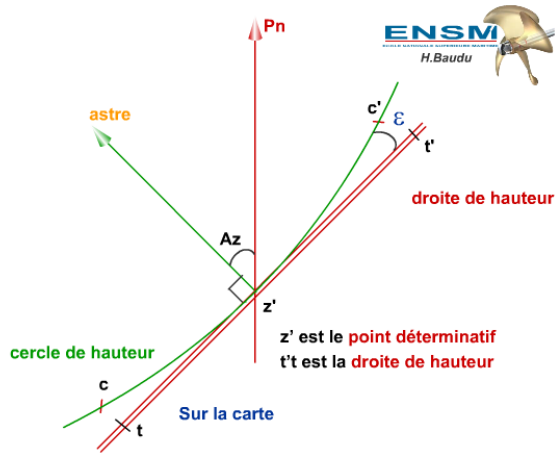


Représentation de 3 courbes de hauteur avec trois astres

Droite de hauteur
- Principe

Droite de hauteur





z' est le point déterminatif
t't est la droite de hauteur

- c'z'c assimilable à un arc de cercle de grand rayon
- la tangente t't à l'arc cc' en z'correspond à T'T sur la sphère
- au voisinage de z' l'arc cc' est confondue à la tangente

En raison de l'aplatissement de la courbe, on peut confondre courbe et tangente pour un ε < à 1 mille: $\begin{cases} \varphi_A < 60° \\ Hv < 80° \\ z' / t < 30 \text{ milles} \end{cases}$

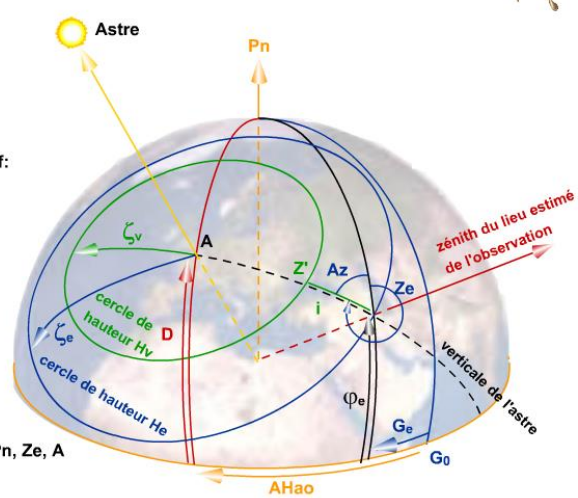
Droite de hauteur
- Principe

Droite de hauteur:

Méthode du vertical estimé dite de Marcq de Saint Hilaire

Pour tracer une droite de hauteur sur la carte, il faut déterminer Z' point déterminatif:
- sur la courbe de hauteur
- voisin de Ze (mais < à 30 milles)
- sur le vertical estimé

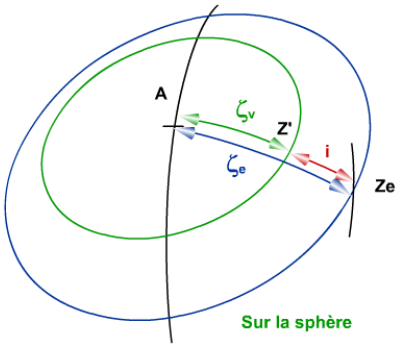
Pour définir Z' il faut:
- la direction Ze Z' (azimut de l'astre)
- la distance Ze Z'

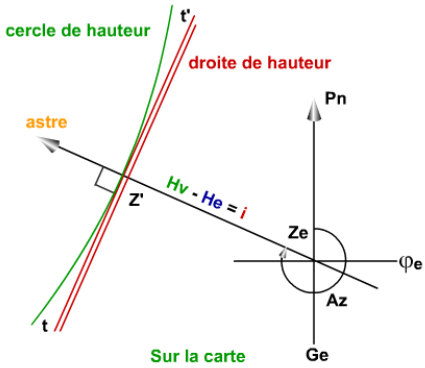


Au moment de l'observation, on a:
- les éléments du triangle de position Pn, Ze, A
  - . position estimée (φ_e , Ge)
  - . position de A (Ahao, D)
- les éléments du cercle de hauteur:
  - . Hv de A

Droite de hauteur
- Principe

Intercept et azimut

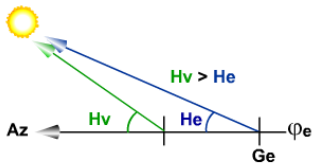


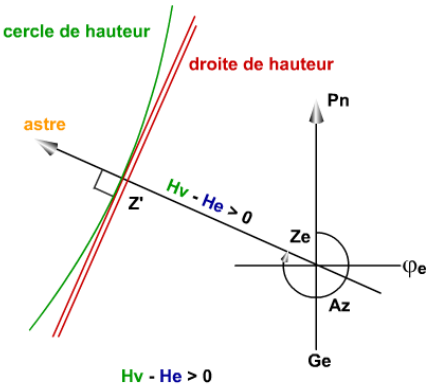


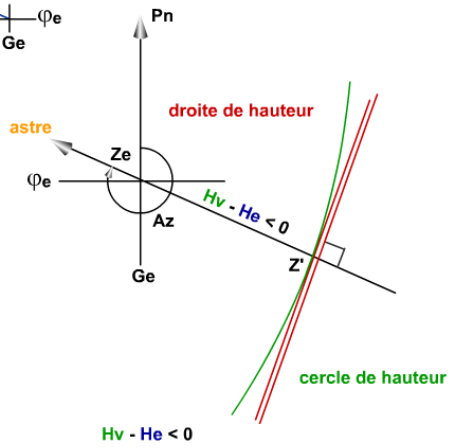
Distance Ze Z' = ζ_e - ζ_v compté algébriquement de Ze vers A
Or Ze Z' = (90° - He) - (90° - Hv) = Hv - He = i
i est appelé l'intercept

Droite de hauteur
- Principe

Intercept et azimut







À partir du point estimé, tracer l'azimut:
- on reporte i dans le sens de l'AZ si Hv - He > 0 soit si i > 0
- on reporte i dans le sens opposé si Hv - He < 0 soit si i < 0

Droite de hauteur
- Principe

ENSM H.Baudu

Intercept:

Hv est obtenu par la mesure au sextant affectée des corrections aux hauteurs
He est obtenu par le calcul:

$$He = \text{Arcsin}\,(\sin \varphi_E \,.\, \sin D + \cos \varphi_E \,.\, \cos D \,.\, \cos P_E)$$

Azimut:

L'azimut est mesuré avec le compas, la précision dépend de la hauteur de l'astre
Az est obtenu par le calcul:

$$Az = \text{Arctan}\left(\frac{\sin P_E}{\tan D \,.\, \cos \varphi_E - \sin \varphi_E \,.\, \cos P_E}\right)$$

avec $Z = Az$ si $180° < AH_{AGE} < 360°$ (Astre à l'Est)
$Z = 360° - Az$ si $0° < AH_{AGE} < 180°$ (Astre à l'Ouest)

Point auxiliaire:

De façon à faciliter les calculs et l'entrée dans les tables des éphémérides nautiques, on prend un Ze simple voisin de la position estimée.

Droite de hauteur
- Pratique

* - AVa et D dans pages permanentes des EN
- ΔAH = interpolation linéaire ou tables d'interpolation générales des EN

ENSM H.Baudu

Opérations pratiques

Pour tracer une droite de hauteur sur la carte marine:

Noter l'heure TU → Ahao, D et AVa* (EN) — Point auxiliaire φ_e, G_e

hauteur de l'astre Hi
+
correction des hauteurs (EN)
=
hauteur vrai Hv

Calcul des coordonnées horaires de l'astre P_E

Astres errants:
D interpolé pour TU d'observation
$Ah_{A0} + \Delta AH^* = AH_{AP}$
$AH_{AGe} = AH_{AP} - Ge$
$P_E = AH_{AGe}$ si $AH_{AGe} \leqslant 180°$
$P_E = 360° - AH_{AGe}$ si $AH_{AGe} \geqslant 180°$

Astres fixes:
D interpolé pour TU d'observation
$Ah_{S0} + \Delta AH^* = AH_{SP}$
$AH_{SGe} = AH_{SP} - Ge$
$AH_{AGe} = AH_{SGE} + AV_A$
$P_E = AH_{AGe}$ si $AH_{AGe} \leqslant 180°$
$P_E = 360° - AH_{AGe}$ si $AH_{AGe} \geqslant 180°$

P_E, G_e et D

Calcul des éléments de la droite de hauteur: He et Az

$$He = \text{Arcsin}\,(\sin \varphi_E \,.\, \sin D + \cos \varphi_E \,.\, \cos D \,.\, \cos P_E)$$

$$Az = \text{Arctan}\left(\frac{\sin P_E}{\tan D \,.\, \cos \varphi_E - \sin \varphi_E \,.\, \cos P_E}\right)$$

$Z = Az$ ou
$Z = 360° - Az$

$i = Hv - He$

construction

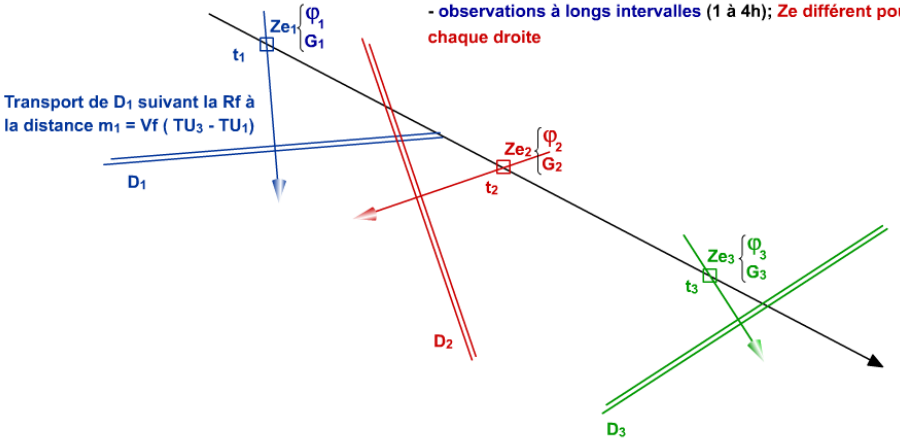
rew arrière play stop avant

Droite de hauteur
- Pratique

H.Baudu

Détermination du point astronomique

Pour obtenir un point, il faut au moins observer un 2ème astre.
L'intersection des 2 lieux va définir cette position:
- observations à longs intervalles (1 à 4h); Ze différent pour chaque droite



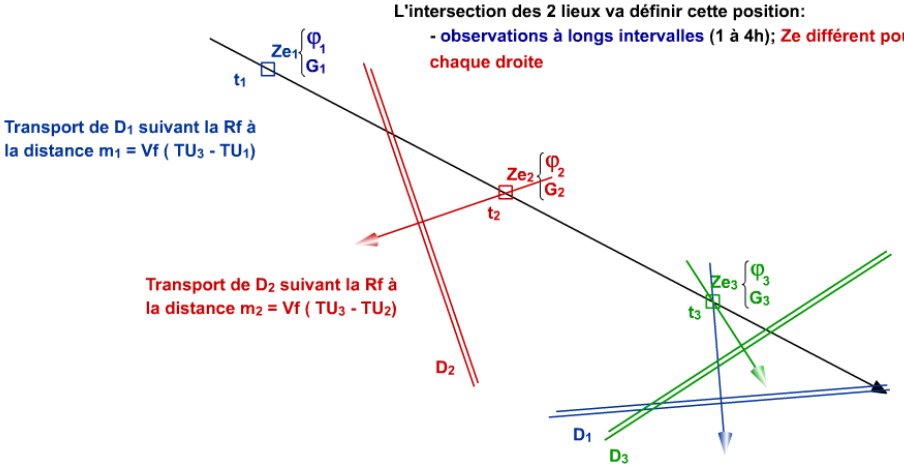
rew arrière play stop avant

Droite de hauteur
- Pratique

H.Baudu

Détermination du point astronomique

Pour obtenir un point, il faut au moins observer un 2ème astre.
L'intersection des 2 lieux va définir cette position:
- observations à longs intervalles (1 à 4h); Ze différent pour chaque droite



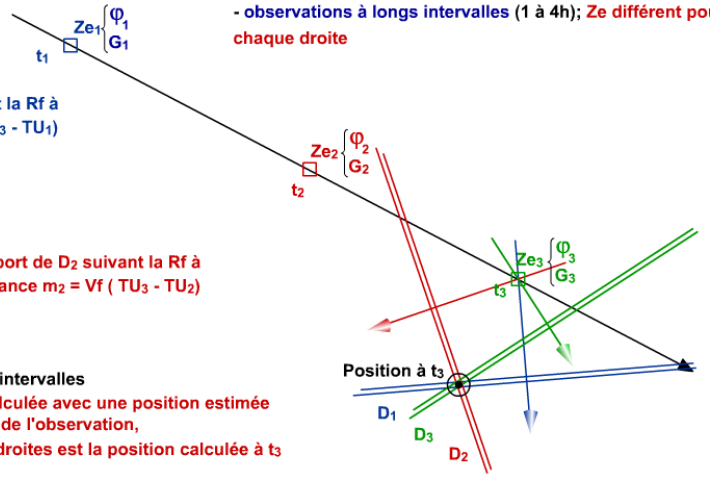
rew arrière play stop avant

Droite de hauteur
- Pratique

H.Baudu

Détermination du point astronomique

Pour obtenir un point, il faut au moins observer un 2ème astre.
L'intersection des 2 lieux va définir cette position:
- observations à longs intervalles (1 à 4h); Ze différent pour chaque droite



Transport de D_1 suivant la Rf à la distance $m_1 = Vf\ (TU_3 - TU_1)$

Transport de D_2 suivant la Rf à la distance $m_2 = Vf\ (TU_3 - TU_2)$

Observation à longs intervalles
Chaque droite est calculée avec une position estimée distincte au moment de l'observation,
L'intersection des 3 droites est la position calculée à t_3

rew arrière play stop avant

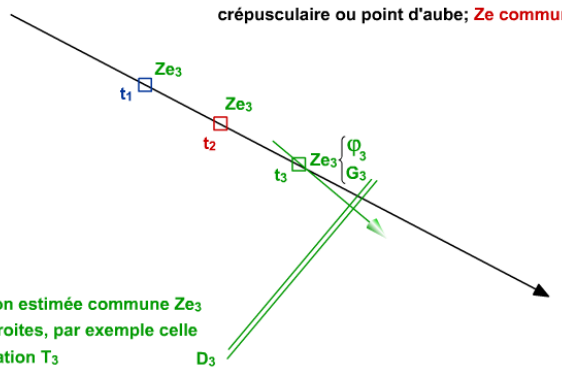
Droite de hauteur
- Pratique

H.Baudu

Détermination du point astronomique:

point d'étoiles

Pour obtenir un point, il faut au moins observer un 2ème astre.
L'intersection des 2 lieux va définir cette position:
- observations à courts intervalles (qq minutes): point crépusculaire ou point d'aube; Ze commun aux 3 droites



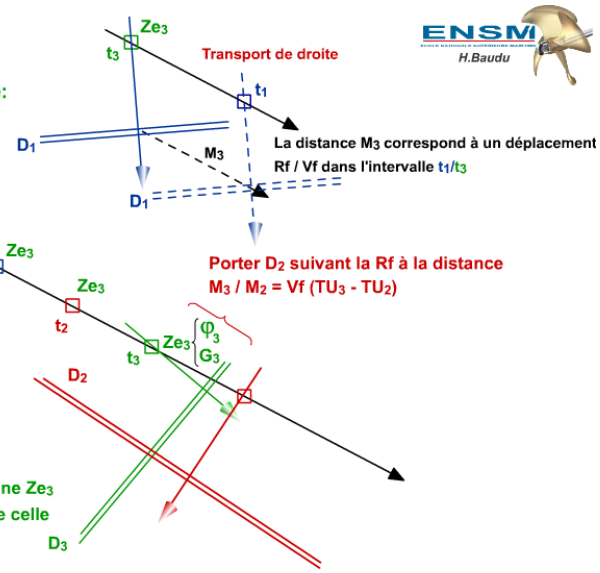
On adopte une position estimée commune Ze_3 pour le calcul des 3 droites, par exemple celle de la dernière observation T_3

rew arrière play stop avant

Droite de hauteur
- Pratique

Détermination du point astronomique:

point d'étoiles



Transport de la 2ème droite à TU_3:
$((TU_3 - TU_2) \times Vf) / 60 = X,XM$

Porter D_2 suivant la Rf à la distance
$M_3 / M_2 = Vf (TU_3 - TU_2)$

si > 0 transporter dans le sens de la Rf
si < 0 transporter à l'opposé de la Rf

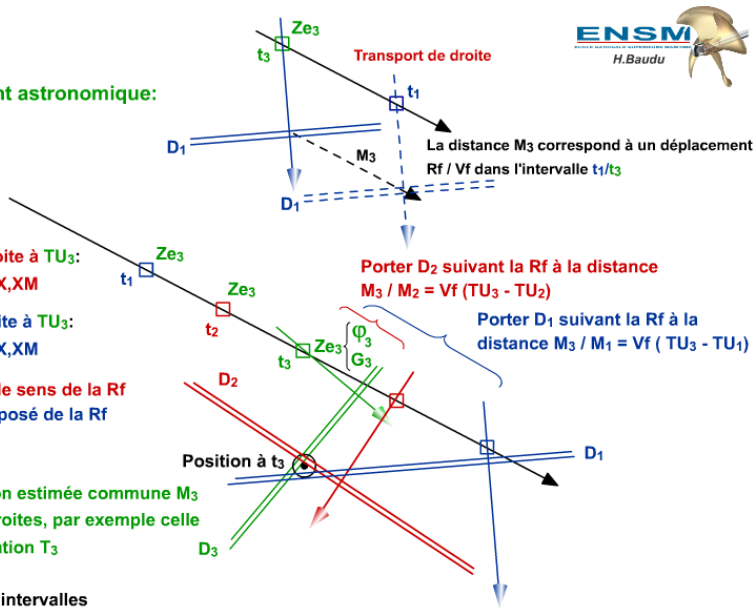
On adopte une position estimée commune Ze_3 pour le calcul des 3 droites, par exemple celle de la dernière observation T_3

rew arrière play stop avant

Droite de hauteur
- Pratique

Détermination du point astronomique:

point d'étoiles



Transport de la 2ème droite à TU_3:
$((TU_3 - TU_2) \times Vf) / 60 = X,XM$

Transport de la 1ère droite à TU_3:
$((TU_3 - TU_1) \times Vf) / 60 = X,XM$

Porter D_2 suivant la Rf à la distance
$M_3 / M_2 = Vf (TU_3 - TU_2)$

Porter D_1 suivant la Rf à la distance $M_3 / M_1 = Vf (TU_3 - TU_1)$

si > 0 transporter dans le sens de la Rf
si < 0 transporter à l'opposé de la Rf

On adopte une position estimée commune M_3 pour le calcul des 3 droites, par exemple celle de la dernière observation T_3

Observation à courts intervalles
L'intersection des 3 droites est la position calculée à t_3

rew arrière play stop avant

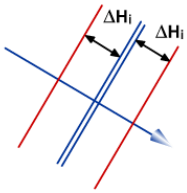
Droite de hauteur
- Pratique

H.Baudu

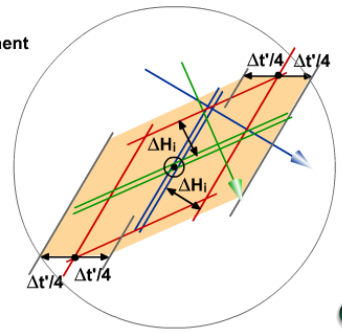
Incertitudes

Il peut y avoir 2 types d'incertitudes liées à la mesure de la hauteur:

- incertitude sur la hauteur mesurée (H_i +/- ΔH_i), sur la carte cela se traduit par une incertitude sur l'intercept i



- incertitude sur l'heure de la mesure Δt => incertitude sur le centre du cercle de hauteur.

Sachant que 4s de temps équivaut à 1' de longitude, on dilate la zone d'incertitude de $\Delta t'/4$ de longitude vers l'Est et vers l'Ouest.

Pour éviter de travailler avec une forme difficilement transportable, la zone d'incertitude totale est assimilée à un cercle.