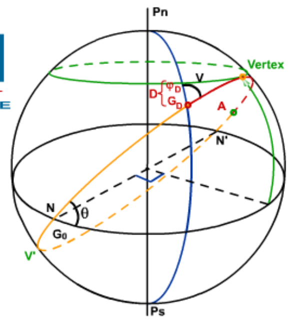
Auteur: Professeur de l'enseignement maritime H.Baudu
herve.baudu@supmaritime.fr
Version validée département Navigation:
- 1.0 septembre 2016

ENSM
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE MARITIME



Principe

Exercice

ORTHODROMIE

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:

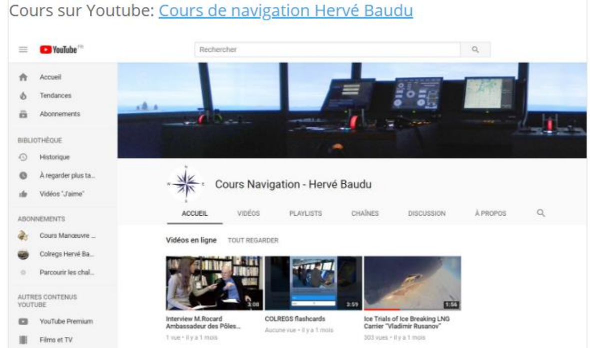
En cours de rédaction pour les versions .pdf

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



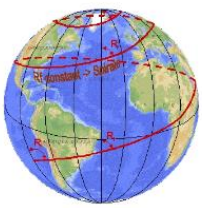
ORTHODROMIE
- Principe

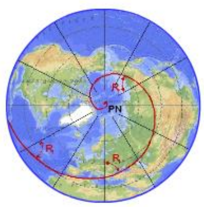
H.Baudu

Aspect de l'orthodromie sur la sphère terrestre

- Navigation par l'arc de grand cercle,
- Chemin le plus court entre 2 points sur la sphère, (utilisé par les ondes électromagnétiques par exemple),
- peu utilisée sous cette forme en navigation maritime car :
  . nécessite en théorie une variation continue de cap
  . représentation complexe sur le canevas Mercator
  . gain faible dans les latitudes de navigation courante

Aspect de la loxodromie sur la sphère terrestre





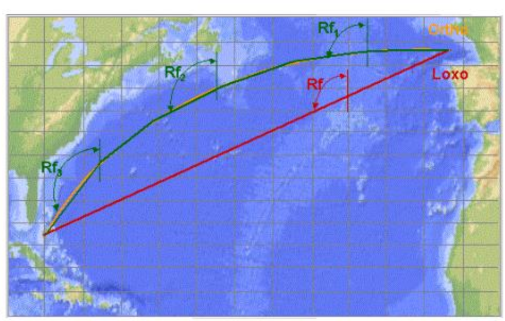
loxodromie: route suivie par un mobile dont le cap est constant
- Courbe ayant l'aspect d'une spirale s'entourant autour d'un pôle
- Route au 270° ou 090°: loxodromie parallèle à l'équateur
- Route au 000° ou au 180°: loxodromie, grand cercle méridien
- Les méridiens et l'équateur sont à la fois loxodromie et orthodromie.

ORTHODROMIE
- Principe

H.Baudu

Différence entre l'orthodromie et la loxodromie

L'orthodromie: chemin le plus court sur la sphère; changement de route constant; représentée par une courbe sur Mercator
La loxodromie: route droite sur la carte mais la plus longue, cap constant sur la carte.



Carte Mercator

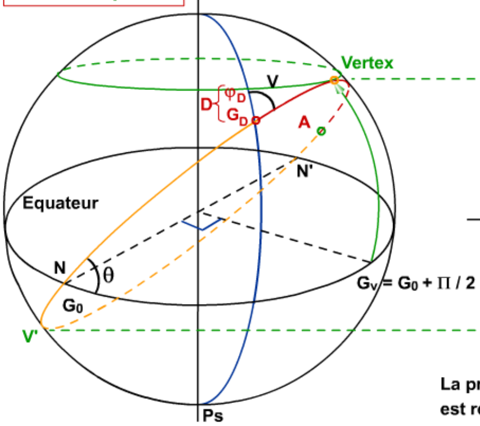
- Pour éviter le changement de route constant de l'orthodromie, le trajet de l'orthodromie est composé de tronçons de loxodromies successives. La longueur de ces tronçons dépendent de la vitesse de transit et de la latitude du voyage: tronçons d'environ 300 milles pour les latitudes moyennes,
- Dans l'Atlantique Nord, le gain réalisé atteint 4 %; 168 milles de Nantes à Cuba,
- Le navigateur doit résoudre 3 problèmes:
  . Distance orthodromique
  . Latitude extrême de l'orthodromie (vertex)
  . Angle de route du 1e tronçon de loxodromie

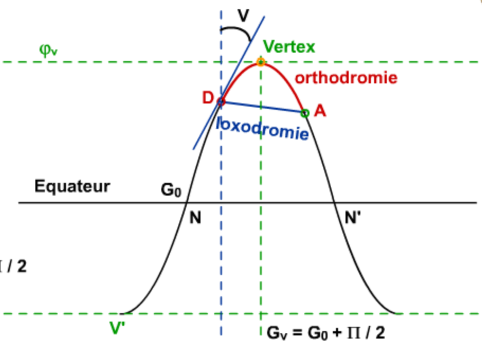
La loxodromie est donc la route ordinaire

ORTHODROMIE
- Principe

ENSM H.Baudu

L'orthodromie sur la sphère et sur la carte Mercator





La projection de l'arc de grand cercle sur la carte Mercator est représentée par une courbe d'allure sinusoïdale dont la concavité est tournée vers l'équateur.

- V: route ou relèvement orthodromique varie en fonction de G;
- Vertex V et V' : les points du grand cercle les plus proches des pôles
- Coordonnées du vertex:
  - . longitude $G_0 \pm \Pi/2$
  - . latitude $\pm\,\theta$ si $\theta < \Pi/2$ (maximum $\Pi/2$);
- La loxodromie est toujours comprise entre l'orthodromie et l'équateur.

ORTHODROMIE
- Principe

ENSM H.Baudu

Distance orthodromique entre 2 points

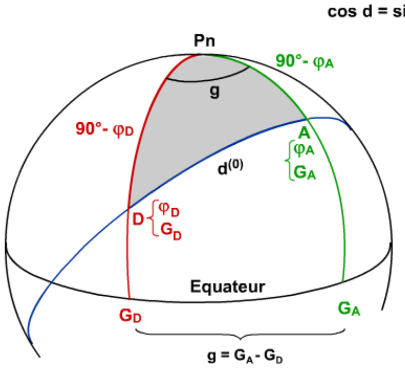
On utilise toujours le pôle Nord, même avec une orthodromie dans l'hémisphère Sud.

Ayant D $\begin{cases}\varphi_D \\ G_D\end{cases}$ et A $\begin{cases}\varphi_A \\ G_A\end{cases}$ on cherche la distance m qui sépare D de A

Formule fondamentale - calcul de m_0:

$\cos d = \cos(90° - \varphi_A) \cdot \cos(90° - \varphi_D) + \sin(90° - \varphi_A) \cdot \sin(90° - \varphi_D) \cdot \cos g$

$\cos d = \sin\varphi_A \cdot \sin\varphi_D + \cos\varphi_A \cdot \cos\varphi_D \cdot \cos g$



$$\boxed{\begin{array}{l} d(°) = \text{Arccos}\,[\sin\varphi_A \cdot \sin\varphi_D + \cos\varphi_A \cdot \cos\varphi_D \cdot \cos g] \\ m_0 = 60xd \end{array}}$$

calcul de g:

Angle au pole $g = G_A - G_D$

En fonction des conditions posées sur le signe de g' (différence entre longitudes Ouest, Est avec leur convention de signe), on définit l'angle au pole g avec son sens:

$g' = G_A - G_D$

Si $|g'| < 180°$ => $g = g'$

Si $g' \leqslant -180°$ => $g = g' + 360°$

Si $g' > 180°$ => $g = g' - 360°$

$$\boxed{\begin{array}{l} g > 0 \Rightarrow \text{route à l'Ouest} \\ g < 0 \Rightarrow \text{route à l'Est} \end{array}}$$

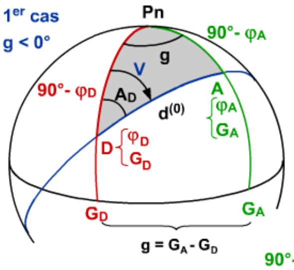
ORTHODROMIE
- Principe

H.Baudu

Angle de route initiale à suivre

A_D = angle au départ compris entre 0° et 180°
V = angle au départ compris entre 0° et 360°

1er cas
$g < 0°$



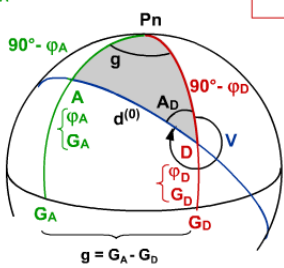
Formule fondamentale - calcul de A_D:

$$\cos(90° - \varphi_A) = \cos(90° - \varphi_D) \cdot \cos d + \sin(90° - \varphi_D) \cdot \sin d \cdot \cos A_D$$

$$\sin \varphi_A = \sin \varphi_D \cdot \cos d + \cos \varphi_D \cdot \sin d \cdot \cos A_D$$

$$\cos A_D = \frac{\sin \varphi_A - (\sin \varphi_D \cdot \cos d)}{\cos \varphi_D \cdot \sin d}$$

$$\boxed{A_D = \text{Arccos}\left(\frac{\sin \varphi_A - (\sin \varphi_D \cdot \cos d)}{\cos \varphi_D \cdot \sin d}\right)}$$



2ème cas
$g > 0°$

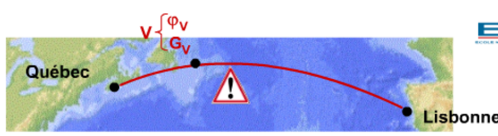
calcul de g:

$g = G_A - G_D$ (calculé précédemment)

Avec $g \leq 0°$: $V = A_D$

Avec $g > 0°$: $V = 360° - A_D$

ORTHODROMIE
- Principe



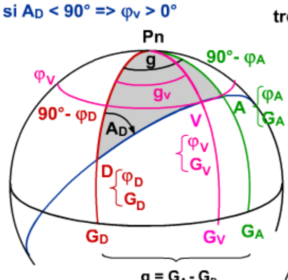
H.Baudu

Coordonnées du vertex

φ_V = latitude du vertex
G_V = longitude du vertex

1er cas
si $A_D < 90°$ => $\varphi_V > 0°$

- Le calcul des coordonnées du vertex est nécessaire pour parer les dangers dans les hautes latitudes (glaces, mauvais temps...);
- Les coordonnées du vertex ne sont pas necessairement comprises sur le tronçon entre les positions de départ et d'arrivée.

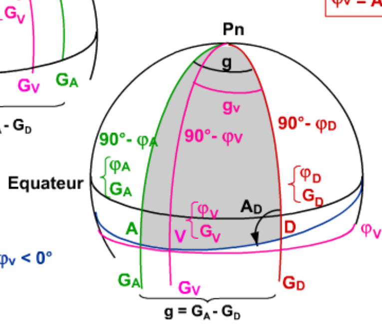


Calcul de φ_V:

$$\frac{\sin(90° - \varphi_V)}{\sin A_D} = \frac{\sin(90° - \varphi_D)}{\sin 90°} \Rightarrow \cos \varphi_V = \sin A_D \cos \varphi_D$$

$$\boxed{\varphi_V = \text{Arccos}\,[\sin A_D \cdot \cos \varphi_D]}$$

si $A_D < 90°$ => $\varphi_V > 0°$
si $A_D > 90°$ => $\varphi_V < 0°$
si $A_D = 90°$ => $\varphi_V = \varphi_D$



2ème cas
si $A_D > 90°$ => $\varphi_V < 0°$

calcul de Gv:

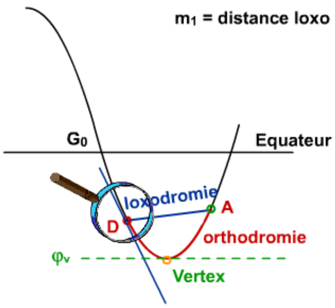
$$\boxed{g_V = |G_V - G_D| = \text{Arccos}\left(\frac{\tan \varphi_D}{\tan \varphi_V}\right)}$$

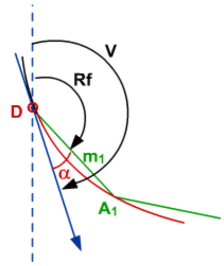
Si $g > 0°$ => $g_V > 0°$
Si $g < 0°$ => $g_V < 0°$
Alors:
$G_V = G_D + g_V$

ORTHODROMIE
- Principe

Route loxodromique à suivre pendant les m_1 premiers milles (environ 300M)

m_1 = distance loxo très proche de l'ortho; < à 300 Milles pour des latitudes moyennes





$Rf = V + \alpha$

avec $\alpha = \dfrac{m_1}{120} \cdot \sin V \cdot \tan \varphi_D$

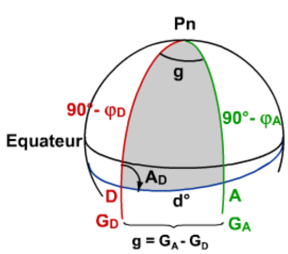
- α est appelée correction de Givry
- l'écart α entre V et Rf est négligeable tant que m_1 < à 300 milles

Dans la pratique, pour une vitesse de 20 nœuds en 24h, la navire parcourt 480 milles pour un navigation < à 60° de latitude. La différence loxo / ortho est inférieure à 1 mille. On adoptera des tronçons de loxo de 24h. Dans certains cas, on peut adopter des changement de routes tous les 10° de longitudes par exemple.

L'intérêt de la navigation orthodromique n'est donc valable que pour les traversées transocéaniques.

ORTHODROMIE
- Exemple

Exemple de calcul entre le Cap Horn et la Cap de Bonne Espérance



Cap Horn $\begin{cases} \varphi_D = 56°12'S \\ G_D = 066°54'W \end{cases}$ Le Cap $\begin{cases} \varphi_A = 34°22'S \\ G_A = 018°23'E \end{cases}$

$\begin{cases} \varphi_D = -56{,}200° \\ G_D = 66{,}900° \end{cases}$ $\begin{cases} \varphi_A = -34{,}367° \\ G_A = -18{,}383° \end{cases}$

Tous les calculs doivent être réalisés au millième de degré pour espérer une précision de l'ordre du mille pour les distances et de la minute d'angle pour les positions.

Distance orthodromique:

$g' = G_A - G_D$

$g' = -85{,}283°$ Si $|g'| < 180°$ => $g = g'$

g < 0 => route à l'Est; je traverse bien l'océan Atlantique Sud d'Ouest en Est

$d(°) = \text{Arccos}\,[\sin \varphi_A \cdot \sin \varphi_D + \cos \varphi_A \cdot \cos \varphi_D \cdot \cos g]$

$d = 59{,}546°$

$m_0 = 60 \times d$

m = 3573 milles

Angle de route initiale à suivre:

$A_D = \text{Arccos}\left(\dfrac{\sin \varphi_A - \sin \varphi_D \cdot \cos d}{\cos \varphi_D \cdot \sin d}\right)$

$A_D = 107{,}388°$

$g = G_A - G_D = -85{,}283°$ => Avec $g \leq 0°$ => $V = A_D$

$V = 107{,}388°$

Résultat cohérent, orthodromie avec concavité tournée vers l'équateur.

ORTHODROMIE
- Exemple

ENSM H.Baudu

Exemple de calcul entre le Cap Horn et la Cap de Bonne Espérance

Coordonnées du vertex:

φ_V = Arccos [sin A_D . cos φ_D]

φ_V = Arccos [sin (107,388°) . cos (- 56,2°)] = |57,935°|

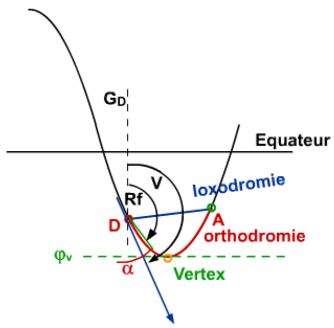
Si A_D > 90° => φ_V < 0° : φ_V = 57°56'S

$g_V = |G_V - G_D| = \text{Arccos}\left(\dfrac{\tan \varphi_D}{\tan \varphi_V}\right)$

g_V = 20,646°

Comme g = - 85,283° donc < 0° => g_V < 0° soit $G_V = G_D + g_V$

G_V = 66,9° - 20,646° = 46,254° soit G_V = 46°15'W



Route à suivre pendant les 18 premières heures de la traversée à une vitesse loch Vs de 17,5 nds:

$\alpha = \dfrac{m_1}{120} . \sin V . \tan \varphi_D$

$\alpha = \dfrac{18 \times 17{,}5}{120} . \sin (107{,}388°) . \tan (-56{,}2°)$

α = - 3,742°

Rf = V + α

Rf = 107,388° - 3,742° = 103,646° Rf = 103,5°

ORTHODROMIE
- Exemple

ENSM H.Baudu

Exemple de calcul entre le Cap Horn et la Cap de Bonne Espérance

Gain en distance par rapport à la loxodromie directe:

φ_A = - 34,367°
- φ_D = - 56,2°
ℓ ° = 21,833°

ℓ > 0 => N

Λ_A = - 36,635°
- Λ_D = - 68,257°
λ = 31,622°

$\Lambda\varphi° = \dfrac{180}{\pi} \times \ln\left[\tan\left(45° + \dfrac{\varphi}{2}\right)\right]$

G_A = - 18,383°
- G_D = + 66,9
g = - 85,283° *(déjà calculé)*

g < 0 => E

$\text{Rfq} = \tan^{-1}\left|\dfrac{g°}{\lambda}\right|$ Rfq = |69,656°|

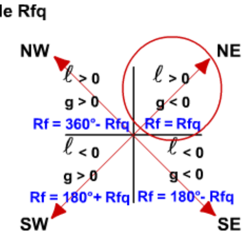
$m^m = \dfrac{60 . |\ell °|}{\cos \text{Rfq}}$ m^m = 3768M

$m^m - m_0$ = 3768 - 3573 = 195 milles de gain.

Rappel: en fonction du signe de ℓ° et g° chercher à définir un Rf par quadrant (ce calcul n'est pas nécessaire pour trouver m^m)

Route fond loxodromique:
- 4 Rf possible en fonction de Rfq

Rfq = N 69,656° E
Rf = 69,656° = 069,5°



Quitter