DECROIX Charles
PIETTE Ferdinand
ZIMMER Benoit

Rapport de TIPE

Mai 2007

Sommaire :

Introduction p 3

I- Présenter les différents repères p 4 à 7

1) Coordonnées équatoriales p 4 à 6
   A. Le point vernal
   B. L'ascension droite
   C. La déclinaison
2) Coordonnées Horizontales p 6 - 7
   A. L'azimut
   B. La hauteur

II- Calculs sans prendre en compte le temps p 8 à 16

1) Définir les hypothèses p 8
2) Un astre se levant exactement à l'est p 8 à 10
3) Généralisation pour tous les astres P 10 à 16
   A. Calcul de l'azimut
   B. Calcul de la hauteur

III- Le temps P 17 à 19

1) Problème lié au temps p 17 - 18
   A. Heure solaire.
   B. Heure sidéral.
   C. Décalage Heure sidéral/ Heure solaire.
2) Calcul de l'heure sidéral p 18
3) Calcul de l'angle phi p 19

IV- Organisation du logiciel p 20

1) Choix du catalogue
2) Élaboration de la partie calcul
3) Mise en place de l'interface graphique
4) Mise en place des dessins des constellations

Conclusion P 21

Bibliographie P 22

Annexe P 23 à 42

Introduction :

L'astronomie est un sujet encore peu connu pour nous élèves de MPSI. Intéressé par cette discipline nous avons décidé d'y consacrer notre TIPE.

Le choix de sujet en rapport avec l'astronomie est assez vaste.
Il va de l'étude des supernovæ à celle de la théorie de la relativité restreinte, en passant par les pulsars ou même par la création d'un télescope.

Nous avons préféré un sujet plus concret qui peut nous servir : Le positionnement des astres dans le ciel.

Le but du TIPE est de déterminé la position d'un astre dans le ciel par rapport à un observateur terrestre à une heure donnée.

Il y a pas mal d'application à ce problème :

On peut, connaissant la position d'une étoile, déterminer le lieu où nous nous trouvons. On appelle ça le Point Astronomique.
Ce sont les navigateurs qui utilisaient cette méthode pour trouver leur chemin en pleine mer, lorsqu'ils étaient trop loin des côtes.

On s'en sert aussi pour dresser des cartes du ciel afin de connaître la position d'une étoile dans le ciel et de pouvoir ainsi la trouver facilement a l'œil nu ou avec un petite lunette.

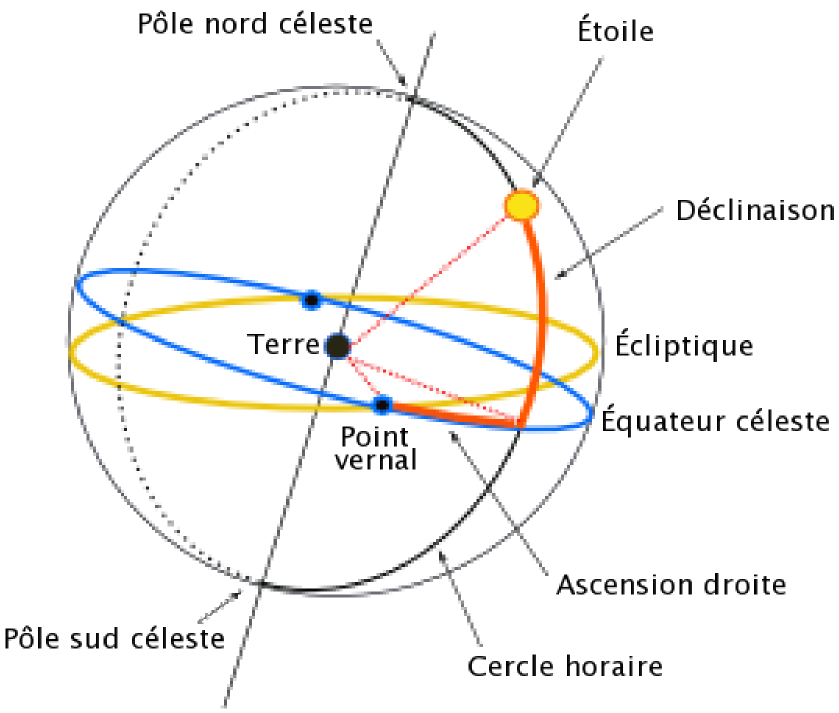
Suite à nos recherches, nous avons décidé de prendre cette application pour illustrer ce projet.
Comme nous sommes passionnés d'informatiques, nous avons donc élaboré un logiciel qui génère la carte du ciel à un endroit et un moment donnée.

I- Présenter les différents repères

1) Coordonnées équatoriales

En astronomie, on utilise le système de coordonnées équatoriales. Ce système est très utilisé pour le repérage des objets célestes en dehors du système solaire (étoiles, galaxies, etc.), relativement immobiles par rapport à la Terre.

C’est un repère sphérique représentant la sphère céleste. Il est centré sur la terre et supposé fixe par rapport aux étoiles.
Ce système utilise comme plan de référence la projection sur la sphère céleste de l'équateur de la Terre. On appelle cette projection l'équateur céleste.



A. Point vernal

L’équateur céleste coupe le plan de l’écliptique sous un angle de 23°27’ en deux points diamétralement opposés appelés points d’équinoxes et dont l’un est appelé point vernal.

Le point vernal correspond à la position qu‘occupe le soleil par rapport à la terre au moment de l‘équinoxe de printemps. A cette date, la durée du jour est égale à celle de la nuit.

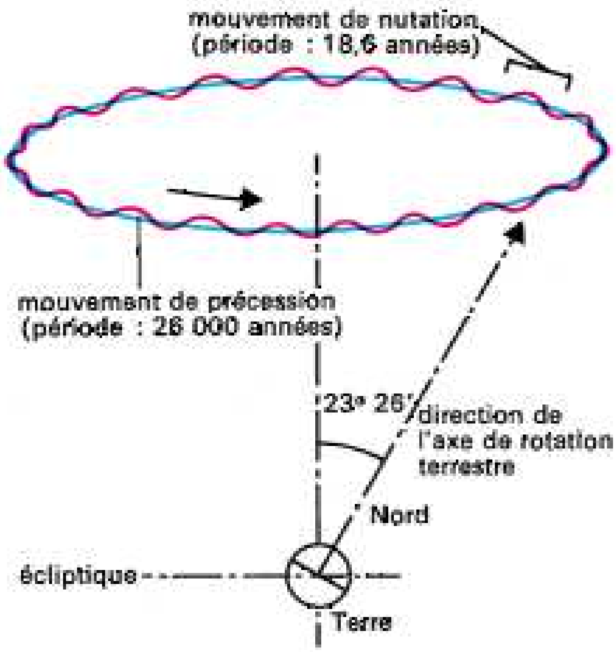
La position de ce point change avec les mouvements de précession et de nutation de l'axe de rotation de la Terre.

- L'équateur céleste est la projection de l'équateur terrestre sur la sphère céleste.

- L'écliptique est le grand cercle sur la sphère céleste représentant la trajectoire annuelle du soleil vue de la Terre (c'est le plan de l'orbite de la Terre).

- De même que l'axe d'une toupie qui tourne décrit un cône sous l'action de la pesanteur, l'axe de rotation de la Terre décrit, en 25 800 ans environ, sous l'action des forces d'attraction de la Lune et du Soleil, un cône dont le demi-angle au sommet est de 23° 26´. C'est le phénomène général de la précession

- La nutation est due à l'attraction conjuguée du Soleil et la Lune et se traduit par une oscillation de l'axe de rotation de la Terre autour de sa position moyenne.



Le méridien (grand cercle imaginaire tracée la sphère céleste, passant par les pôles) du point vernal sert de référence dans le système de coordonnées équatoriales.
Il est défini comme le méridien zéro pour la mesure des ascensions droites. L'Ascension droite du point vernal est donc $\alpha = 0$ h.
Étant situé sur l'équateur céleste, la déclinaison du point vernal est par définition $\delta = 0°$.

Nous allons maintenant définir ce qu'est l'ascension droite et la déclinaison.

B. L'ascension droite

Le cercle formé par l'équateur céleste est divisé en 24 heures (soit des divisions de 15 degrés chacune).
L'angle mesuré entre la projection de l'objet sur ce cercle et le point vernal (en partant vers l'est de ce point) s'appelle l'ascension droite. Elle s'exprime donc en heures, minutes, secondes.
L'ascension droite correspond à la longitude sur Terre.

C. La déclinaison

C'est l'angle formé entre l'équateur céleste et l'étoile.
Elle se mesure en degrés, que l'on compte de 0° à 90°, positive pour les objets situés dans l'hémisphère Nord et négative pour les autres.
L'axe des pôles de ce système coïncide donc avec l'axe de rotation de la Terre. Le pôle Nord est matérialisé par une étoile fixe : l'étoile polaire.
La déclinaison équivaut à la latitude sur la Terre.

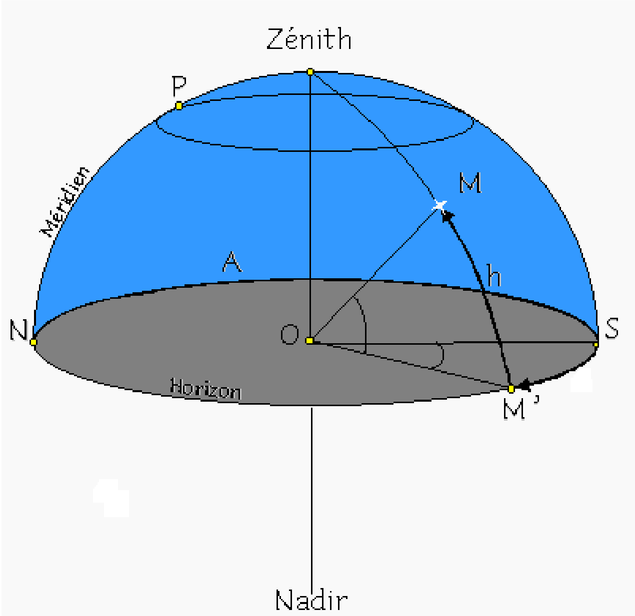
Par exemple, α Ursae Minoris (l'étoile polaire), qui est située pratiquement dans l'axe de rotation de la Terre a une ascension droite de 2h31min et une déclinaison de 89°15'.
Bételgeuse, la géante rouge de l'épaule gauche d'Orion est située à 5h55min d'ascension droite et 7°24' de déclinaison.
À noter que la ceinture d'Orion est située très près de l'équateur céleste qui coupe la constellation en deux. Elle aura donc un mouvement apparent plus rapides que les étoiles situé plus vers les pôles.

Dans le cas d'objets qui ont un mouvement propre détectable, comme les comètes, ou les étoiles proches, on est obligé de prendre en compte le temps pour le calcul de l'ascension droite et de la déclinaison.

2) Coordonnées Horizontales

Le système de coordonnées horizontales, ou système local, est un système de coordonnées célestes utilisé en astronomie attaché à un observateur terrestre.
Cela divise le ciel en deux hémisphères, celui du haut, que l'on peut voir, et celui du bas qui est caché par la Terre sous nos pieds.
Le pôle de l'hémisphère « du haut » s'appelle le zénith. Le pôle de l'hémisphère qui nous est invisible s'appelle le Nadir.
Le système de coordonnées horizontal est fixé à la Terre, et non pas aux étoiles.

L'observateur est situé au centre du repère et l'astre, donc on recherche les coordonnées, se situe sur voûte céleste. L'horizon est utilisé comme le plan de référence et les coordonnées utilisées pour repérer la position d'un objet M sont l’azimut et la hauteur.



A. L’Azimut

C’est l’angle formé entre le Nord et la projection de l’étoile sur le plan (M’/m).
Les azimuts sont calculés en degrés (de 0° a 360°), de ce fait, nous allons trouver plein Nord, le 0°, puis a l'Est 90°, puis au Sud l'azimut 180 ensuite à l'Ouest l'azimut 270° puis enfin nous revenons au Nord avec l'azimut 360° ou 0°.

B. La hauteur

C’est l'angle situé dans un plan vertical entre l’horizon et l’étoile. Cet angle, exprimé en degrés, est généralement compris entre 0° et 90° (zénith). C'est le complément algébrique de la distance zénithale (h = 90° - z).
Quand l’astre est sous l’horizon l’angle va de 0 à - 90° (vers le nadir).

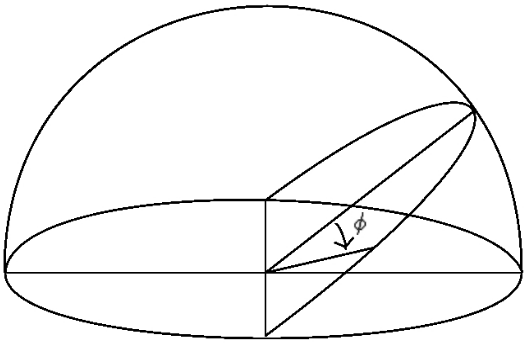
On se rend compte qu'une coordonnée fournie dans ce référentiel, n'est valable que pour un lieu donné et pour un instant précis. La position de l’astre changeant avec le temps (l'astre semblant dériver dans le ciel) et avec la position de l’observateur, puisque le système horizontal est défini par son horizon. On a donc l'altitude et l'azimut d'un objet qui changeront en fonction de l’heure et de l'endroit où l'observateur est situé.

Les coordonnées horizontales sont très utiles pour déterminer les heures du lever et du coucher d'un objet céleste. Un objet qui se lève possède une altitude de 0 degrés et un azimut plus petit que 180 degrés ; un objet qui se couche possède une altitude de 0 degrés et un azimut plus grand que 180 degrés.

II- Calculs sans prendre en compte le temps

1) Définir les hypothèses

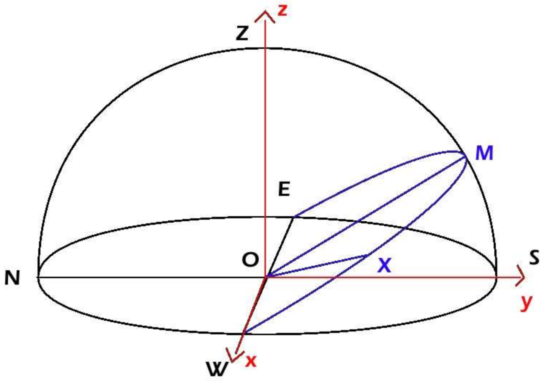
Dans un premier temps, pour simplifier le problème, nous n'avons pas pris en compte le temps ni l'ascension droite. Nous avons plutôt introduit un angle qui se calcule en fonction de ces 2 données, l'angle ϕ.
Cet angle mesure l'écart entre la position d'une étoile et le passage au méridien de cette étoile par rapport au centre du cercle de la trajectoire de l'étoile.



2) Un astre se levant exactement à l'est et se couchant exactement à l'ouest

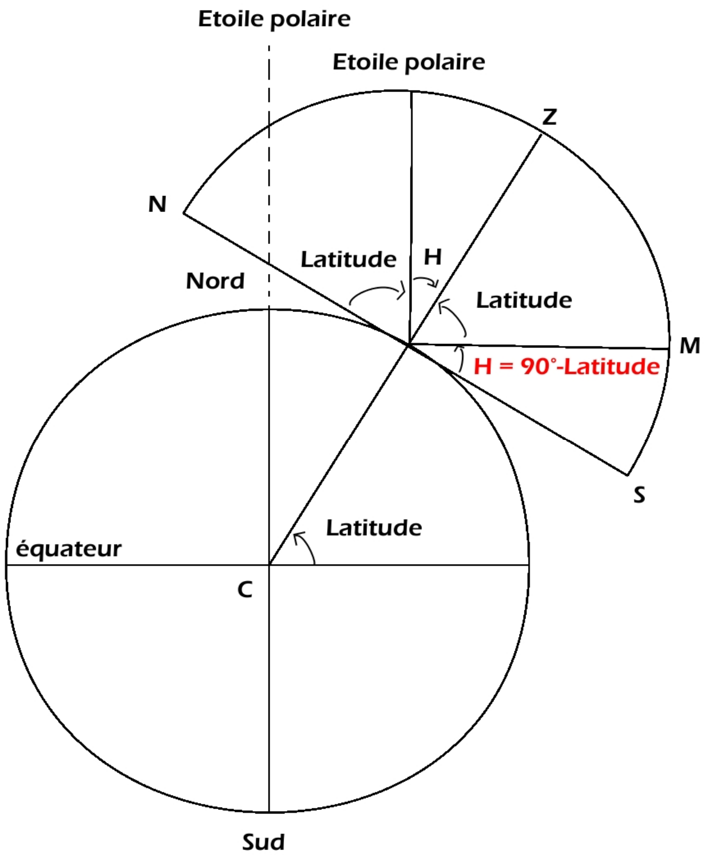
Tout d'abord, nous allons calculer la hauteur et l'azimut d'un astre se levant exactement à l'est et se couchant exactement à l'ouest.

Je vais définir maintenant des données qui seront valables pour tout l'exposé.



O correspond à l'observateur
Z au zénith
N E S W, les 4 points cardinaux (Nord, Est, Sud et Ouest)

M est la position de l'étoile passant au méridien (dans le plan SOZ)
Enfin, $(O,\overrightarrow{OW},\overrightarrow{OS},\overrightarrow{OZ})$ est un repère en coordonnées cartésiennes.
On appelle H la hauteur du point M
H est facilement calculable.



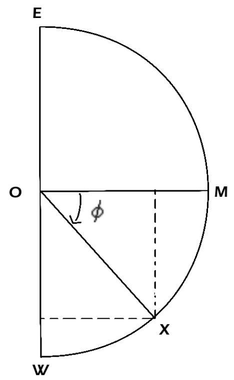
Calculons maintenant les coordonnées de M dans le repère cartésien.

$$\overrightarrow{OM} = \cos H.\overrightarrow{OS} + \sin H.\overrightarrow{OZ} + 0.\overrightarrow{OW}$$

Ce qui nous donne :

$$\overrightarrow{OM} = \begin{pmatrix} 0 \\ \cos H \\ \sin H \end{pmatrix}$$

Appelons X, la position de la même étoile pour ϕ quelconque



La trajectoire de l'étoile formant un plan, nous pouvons donc écrire

$$\overrightarrow{OX} = \cos\phi.\overrightarrow{OM} + \sin\phi.\overrightarrow{OW}$$

Ce qui nous donne :

$$\overrightarrow{OX} = \sin\phi.\overrightarrow{OW} + \cos H.\cos\phi.\overrightarrow{OS} + \sin H.\cos\phi.\overrightarrow{OZ} \Rightarrow \overrightarrow{OX} = \begin{pmatrix} \sin\phi \\ \cos H \cos\phi \\ \sin H \cos\phi \end{pmatrix}$$

Nous pouvons maintenant calculer l'azimut θ et la hauteur h d'une étoile se levant exactement à l'est.

On a $\tan\theta = \frac{x}{y}$ et $\cos\theta = \frac{y}{\sqrt{[\sin^2\phi + \cos^2\phi.\cos^2 H}}$

Comme l'arccosinus est défini sur [0, π] et que l'azimut θ est compris entre 0 et 2π, on a

$$0 \leq \phi \leq \pi \Rightarrow \theta = \arccos\left(\frac{\cos\phi.\cos H}{\sqrt{\sin^2\phi + \cos^2\phi.\cos^2 H}}\right)$$
$$\pi < \phi \leq 2\pi \Rightarrow \theta = 2\pi - \arccos\left(\frac{\cos\phi.\cos H}{\sqrt{\sin^2\phi + \cos^2\phi.\cos^2 H}}\right)$$

De la même manière, nous pouvons en déduire la hauteur h

$$\sin h - z - \cos\phi.\sin H$$

$$h = \arcsin(\cos\phi.\sin H)$$

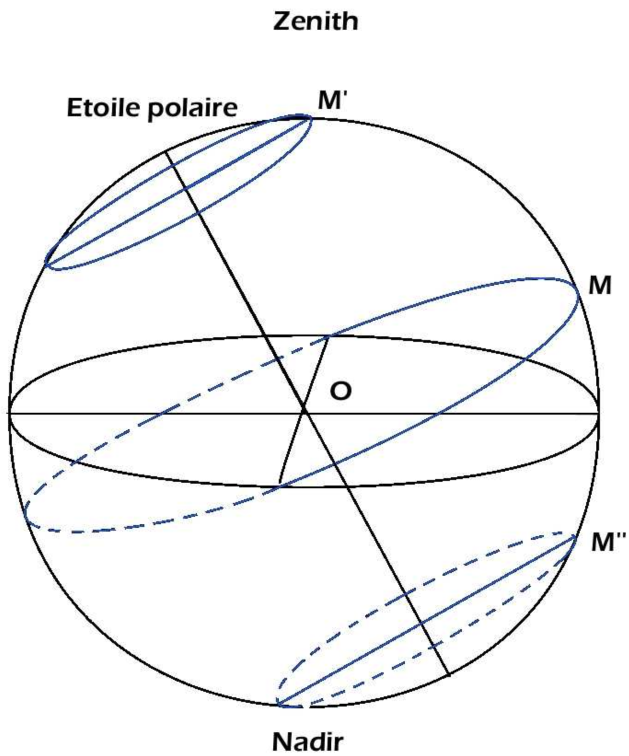
Comme l'arcsinus est défini sur [-$\frac{\pi}{2}$, $\frac{\pi}{2}$] et que la hauteur h doit être dans cette intervalle, il n'y a pas de problème de signe.

3) Généralisation pour tous les astres

Nous allons maintenant généraliser pour un astre ne se levant pas forcement à l'est.

Dans le cas précédent, le centre du cercle de la trajectoire de l'astre coïncidait avec l'observateur.
Mais maintenant, celui-ci est mobile et se déplace selon l'axe OP.

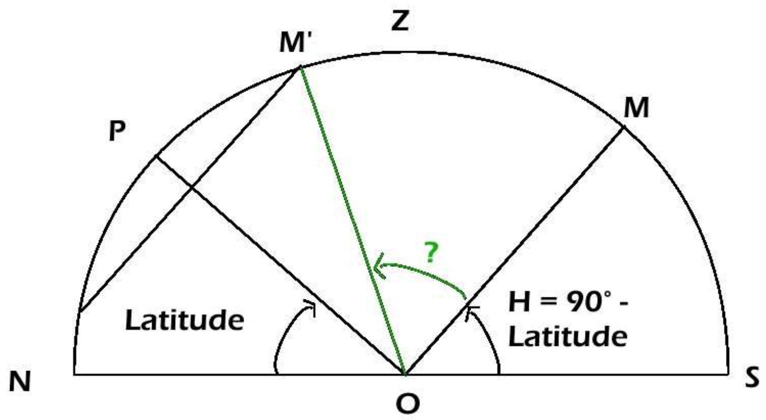
O désignant toujours l'observateur et P, l'étoile polaire que l'on suppose exactement au nord.
Nous appellerons O', le centre de ce cercle. ¢ Sera donc mesuré à partie de O'.



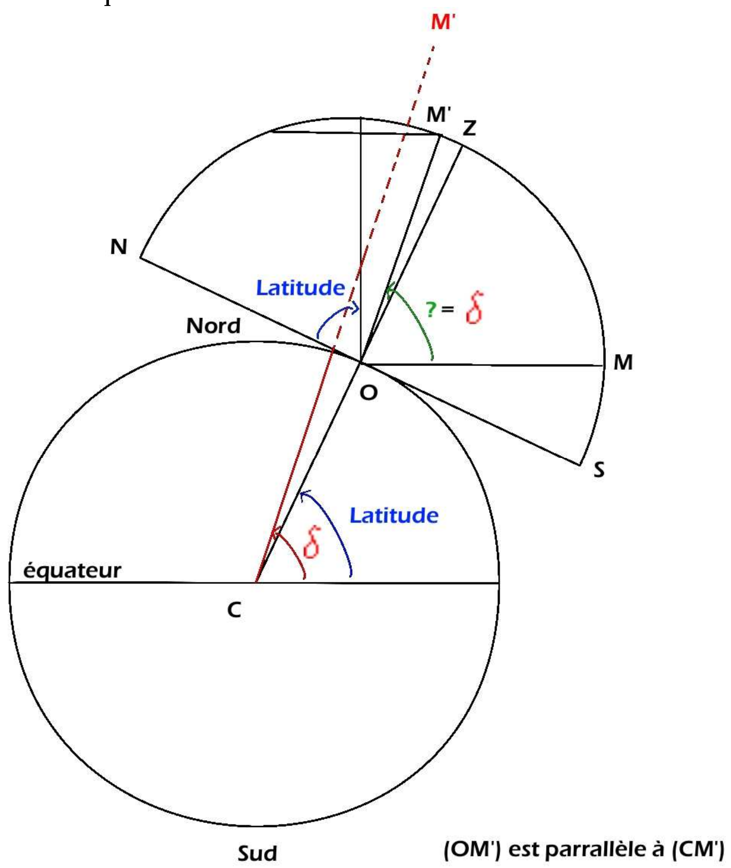
A. Calcul de l'azimut

Pour calculer l'azimut, il faut donc réussir à projeter ce cercle sur la surface de la terre (ou plus exactement sur l'horizon de l'observateur), ce qui nous donnera une ellipse, puis utiliser le théorème d'Al-Kashi.

Pour débuter, il nous manque un angle, celui en vert sur le dessin ci-dessous :



Cet angle, n’est autre que la déclinaison de l’astre noté δ



La distance O’M’ est le rayon de la trajectoire de l’astre. On peut la calculer par projeté orthogonal

$$OM' = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

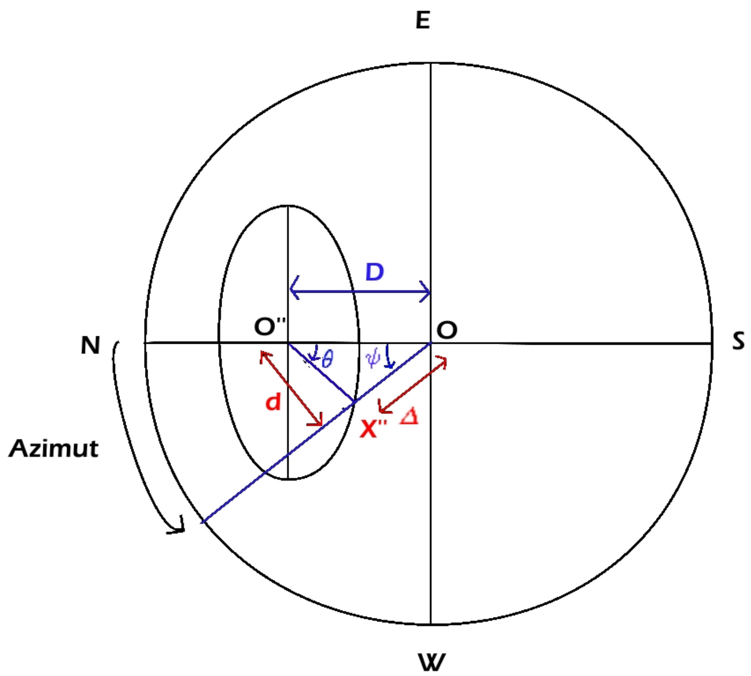
De même, calculons OO’

$$OO' = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

Enfin, calculons D, la distance du projeté orthogonal de O’ sur l’horizon (noté O’’) à l’observateur O

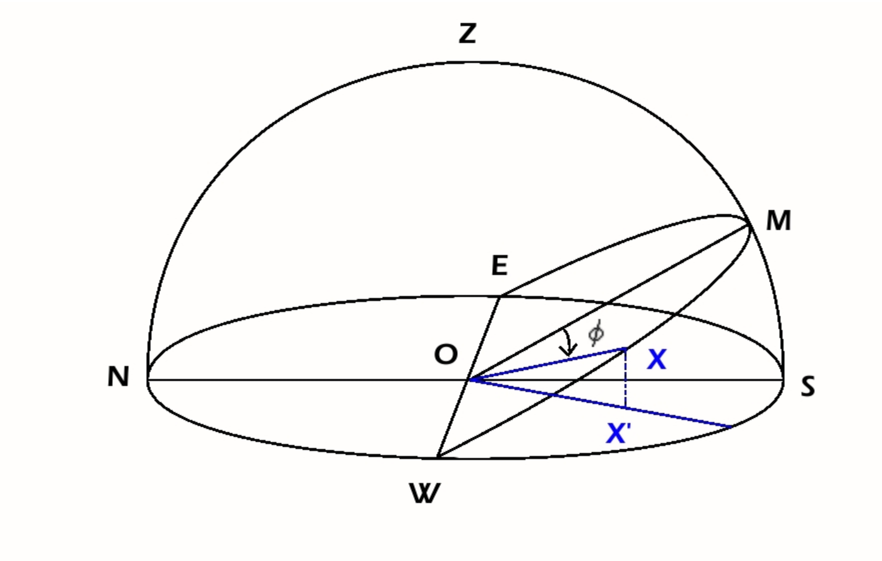
$$\cos L = \frac{D}{OO'} \Rightarrow D = \cos L . \cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

Jusque là, tout va bien.
Nous allons faire une vue de l’horizon par dessus pour visualiser ce qui nous reste à calculer



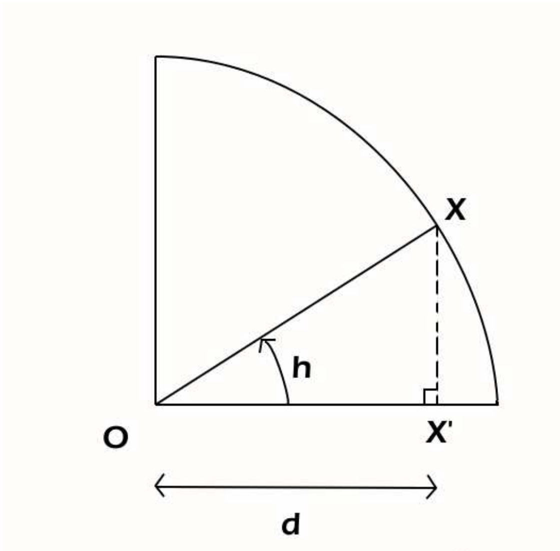
X’ est le projeté de X sur l’horizon
Il nous faut donc encore calculer d et Δ pour en déduire l’Azimut ψ

Pour calculer d, revenons au cas précédent à savoir que l’étoile se lève à l’est.



d est la distance 0X' (X' n'appartenant pas au cercle de l'horizon)

Voici une coupe selon OXX'



$$d = \cos(h).OM$$

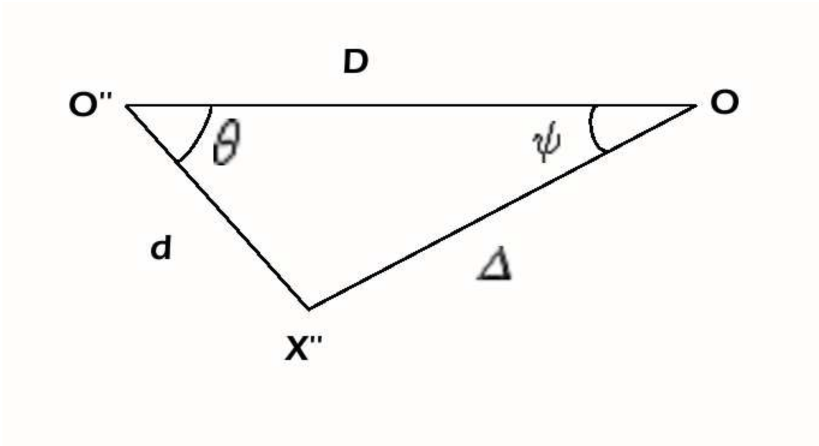
Maintenant, revenons au cas actuel qui n'est pas si différent de ce cas particulier.
En effet, h correspond alors à la hauteur de l'astre si l'on considère O' comme l'observateur !

Comme ici $OM' \neq 1$

On a

$$d = \cos(h).\sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

Maintenant, il nous reste à appliquer 2 fois le théorème d'Al-Kashi pour obtenir l'azimut



$$\Delta^2 = d^2 + D^2 - 2.d.D.\cos\theta \rightarrow \Delta = \sqrt{d^2 + D^2 - 2.d.D.\cos\theta}$$

$$d^2 = \Delta^2 + D^2 - 2.\Delta.D.\cos\psi \Rightarrow \psi = \arccos\left(\frac{\Delta^2 + D^2 - d^2}{2.\Delta.D}\right)$$

Comme l'arc cosinus est défini sur [0, π] et que l'azimut doit être compris entre 0 et 2π, on a

$$0 \leq \phi \leq \pi \rightarrow Azimut - -\psi$$

$$\pi < \phi \leq 2\pi \rightarrow Azimut - \psi$$

B. Calcul de la hauteur

Pour la hauteur, nous n'avons pas trouvé de formules qui la donne directement. Nous avons donc dû recourir à une petite astuce.

Nous pouvons calculer la hauteur z d'un astre X par rapport à un observateur placé en O'. Il suffit de se ramener au modèle de l'étoile se levant à l'est.

$$\overrightarrow{OX} = \begin{pmatrix} \sin\phi \\ \cos H \cos\phi \\ \sin H \cos\phi \end{pmatrix}_{(0',x',y',z')}$$

$$z = \cos\phi.\sin H$$

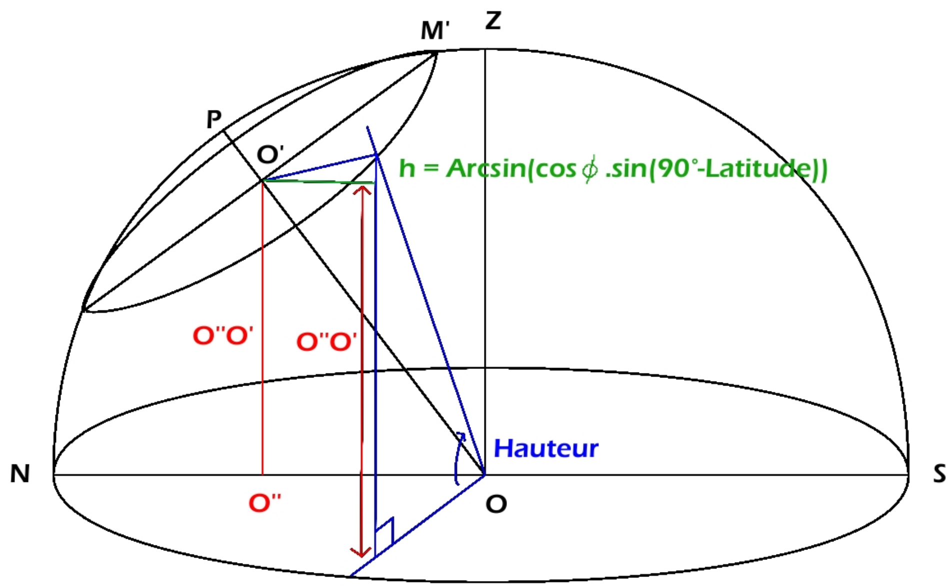
$$z' = \cos\phi.\sin H.O'M'$$

$$z' = \cos\phi.\sin H.\sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) = \sin h$$

Une fois cette valeur trouvé, pour trouver la distance de l'étoile au sol, il faut trouver la distance O'O''

Comme on connaît OO', nous pouvons en déduire O'O''

$$O'O'' = OO'.\sin L = \sin L.\cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$



Pour avoir la hauteur de l'astre, il n'y a plus qu'à prendre l'Arc sinus de la somme de ces 2 valeurs.
La hauteur et l'Arc sinus étant défini sur le même intervalle, il n'y a pas de problème de signe.

$$Hauteur = \arcsin\left(\sin L.\cos\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right) + \cos\phi.\sin H.\sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)\right)$$

III- Le temps

1) Problème lié au temps

A. Heure solaire

Tout d'abord il faut définir le temps solaire apparent et le temps solaire moyen :

Le temps solaire apparent est basé sur le jour solaire, qui est la durée entre deux retours successifs du Soleil au méridien local.
Cette durée change tout au long de l'année pour deux raisons :

- L'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique
- L'excentricité de l'orbite de la Terre.

À cause de ces particularités, les jours solaires apparents sont plus courts en juin qu'en décembre.
Le temps solaire moyen est basé sur un soleil moyen fictif qui se déplacerait à vitesse constante tout au long de l'année.
Sa durée vaut 24 heures tout au long de l'année.

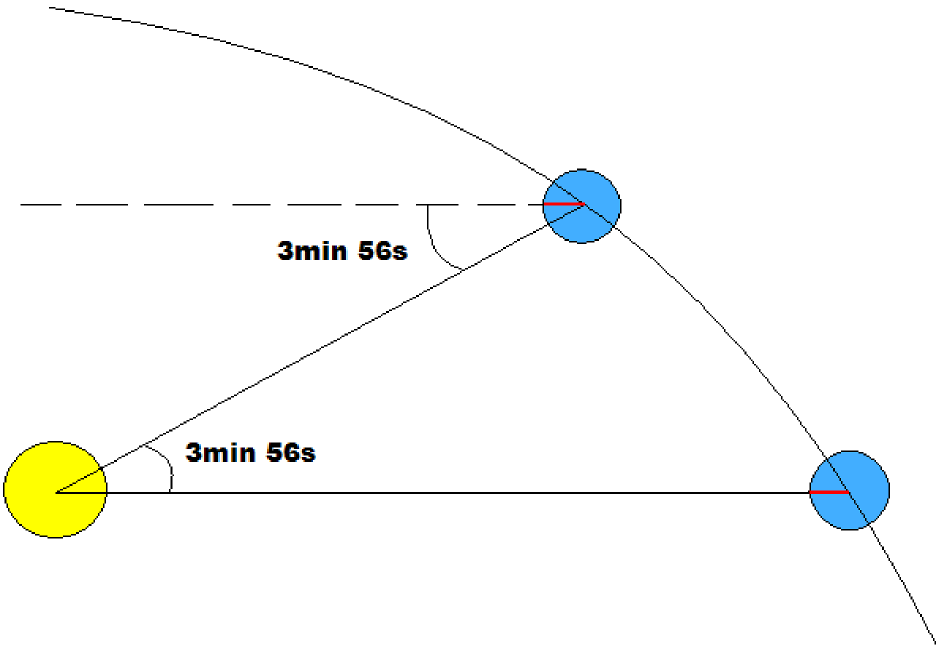
B. Heure sidéral

Maintenant il nous reste à définir l'heure sidéral pour expliquer les problèmes liés au temps :
Par définition, il est 00 h 00 sidérale quand le méridien céleste du point vernal (Ascension droite = 00 h 00) passe au méridien de l'observateur.
Le 21 mars, jour de l'équinoxe de printemps, le soleil occupe la position du point vernal : quand il passe au méridien (12 h 00 solaires), il est 00 h 00 sidéral.

C. Décalage Heure sidéral/ Heure solaire

L'heure solaire se décale de l'heure sidérale d'environ 4 minutes par jour (1° d'arc).
Cette différence d'environ 4 minutes est due au faite qu'en une année, la Terre effectue environ 365 tours sur elle-même par rapport au Soleil, mais effectue aussi un tour complet autour du Soleil.
Donc, par rapport aux étoiles, 365 jours solaires équivalent à 366 jours sidéraux.

Les jours sidéraux sont donc un peu plus courts que les jours solaires. La période réelle de l'orbite terrestre étant de 365,2564 jours solaires, la durée exacte du jour sidéral est de : 365,2564/ (365,2564+1) = 0,9972697 jour solaire, soit 23h 56m 4s.



2) Calcul de l'heure sidéral

Pour calculer l'heure sidérale il faut définir une date de référence où on la connaît, ensuite il faut calculer le nombre d'heure qui sépare cette date de la date choisi puis ramener le résultat sur 23h 56min 4sec.

Pour notre TIPE nous avons décidé de prendre le jour Julien comme date de référence.

Le jour Julien correspond au 1er janvier de l'an -4712. Cette date correspond au commencement simultané de trois cycles du comput ecclésiastique. En astronomie le jour Julien est le moment universelle utilisé par tous les astronomes car il est antérieur a tout évènements astronomique connu.

Pour calculer le jour julien à partir d'une date conventionnelle, on a besoin de l'heure, du jour, du mois, de l'année et de l'heure.
Pour la réalisation du logiciel, nous admettrons les calculs du jour julien.

3) *Le calcul de l'angle Phi*

Au début de la partie II, nous avons défini un angle Phi pour simplifier les calculs. Cet angle phi englobe toutes les variables qui ont rapport au temps.

Pour conclure les calculs de l'azimut et de la hauteur, il ne nous reste plus qu'à calculer cet angle.

Phi prend en compte 3 variables : l'ascension droite, l'heure sidérale et la longitude.

Prenons un cas simple où la longitude vaut 0 (on se situe sur le méridien de Greenwich) et l'ascension droite vaut 0.
Dans ces conditions, phi est facilement calculable et vaut la valeur de l'heure sidérale converti en degré.

- Maintenant, ajoutons l'ascension droite dans les calculs.

On déduit des calculs précédent sur l'angle Phi que si on se situe à Greenwich (longitude = 0) et au passage au méridien de l'astre (conférer la définition de l'ascension droite) :

Ascension droite (AD) = Heure sidéral (HS)

De plus on sait qu'à cette position Phi = 0.
On choisit HS = 2 heures
Or AD = HS à Greenwich et au passage au méridien de l'astre, cela implique que AD = 2 heures.
On convertit AD et HS en degrés.
Ainsi on trouve (à Greenwich) **Phi = HS - AD** = 0°

Il faut donc retrancher l'ascension droite à l'heure sidérale pour obtenir phi à Greenwich.

- Enfin, ajoutons la longitude.

Comme les étoiles se déplacent d'est en ouest pour un observateur sur Terre, ça veut dire que la Terre tourne d'Ouest en Est.
Donc si un observateur se trouve à l'est du méridien de référence, il est décalé dans le sens de rotation de la Terre. Il faudra ajouter sa longitude à l'angle phi.
Donc s'il se situe à l'ouest, il est situé dans le sens inverse de la rotation de la Terre. On retranche la longitude.

Comme par convention, on dit que la longitude Ouest est comptée positivement et à l'est, négativement, il faut retrancher la longitude à l'angle phi.

Ce qui nous donne au final :

Phi = Heure sidérale - Ascension droite - Longitude

IV- Organisation du logiciel

1) Choix du catalogue

Pour réaliser le logiciel, il nous fallait un catalogue d'étoile avec au minimum l'ascension droite, la déclinaison de l'astre.
Nous avons trouvé sur internet un catalogue en téléchargement libre qui entrait dans nos critères avec plus de 1600 étoiles.

2) Élaboration de la partie calcul

Nous avons voulu avoir un moteur de calcul puissant et rapide. C’est pourquoi nous avons choisi un langage de bas niveau. Notre choix s’est porté sur le C car c’est un langage très populaire qui nous était déjà familier.

3) Mise en place de l’interface graphique

Nous n’avons pas voulu faire l’interface graphique en C, car, nos connaissance étant limité, il nous aurait été beaucoup très difficile de faire ce que nous voulions !
Notre choix s’est donc porté sur un langage de plus haut niveau : Liberty Basic.
C’est un langage basique qui permet de gérer notamment l’interface graphique.
Ce qui fait la force de ce langage, c’est non seulement qu’il est facile et agréable à manipuler mais aussi qu’il permet de faire des appels d’API window, ce qui le rend donc très puissant.
Cela nous arrangé donc car le C nous donne la possibilité de créer des DLL (Bibliothèques dynamique). Ces DLL continent les API.

L’interface graphique à donc était faite en BASIC et le moteur de calcul en C dans une DLL.

Pour dessiner les étoile, il nous fallait convertir la hauteur et l’azimut en 2D pour la projeté sur un plan (nous avons intégré les calculs à la DLL)
Il nous était impossible d‘utiliser les projection orthogonales car il y a des problèmes de déformations sur les bords. La carte était donc illisible. Nous avons utilisé une autre méthode qui respectait plus les proportions.

4) Mise en place des dessins des constellations

Pour dessiner les constellations, il nous fallait créer une base de données avec les numéros des étoiles à relier. C’est un travail long et fastidieux, sans réel intérêt pour le TIPE. C’est pourquoi nous nous sommes contentés de répertorier quelques constellations principales afin de pouvoir se repérer dans le ciel.

Conclusion :

En conclusion sous sommes ravis d'avoir choisi ce sujet car il était très intéressant.
Ce TIPE nous a beaucoup apporté.
Tout d'abord il nous a permis d'apprendre les notions de base en astronomie : le fonctionnement du système solaire, les différents repères utiles pour pouvoir se repérer ainsi que tout le vocabulaire qui va avec.

Il nous a aussi permis de revoir une des bases élémentaires des mathématiques qui est la trigonométrie.

Il nous a également posé quelques problèmes comme :

- Réussir a calculé la position d'une étoile dans le ciel.
Certains calculs d'angles n'étaient pas évidents à cause changements de repère (thème abordé en physique cette année) et des différentes projections.

- En informatique, où nos programmes ne marchaient pas du premier coup et il a donc fallu chercher des solutions.

Nous avons également pu développer nos capacités à organiser un travail en groupe.

Enfin ce TIPE a appris des nouvelles choses à chaque personne du groupe :
Benoit a développé ses connaissances en C, et a appris les bases de l'astronomie.
Charles a pu s'initier à la programmation en C, et développé ses connaissance en astronomie
Ferdinand

Bien qu'il y ait des approximations (La négligence de la précession et de la nutation), notre recherche constitue une base de calcul solide qui nous permettra de nous pencher sur des problèmes plus complexes comme le positionnement du soleil et des planètes qui n'ont pas une ascension droite et une déclinaison fixe.
En effet, celles-ci dépendent du temps, ce qui complique considérablement les calculs.
Ce pourrait très bien être un autre sujet de TIPE.

Nous tenons à remercier Monsieur Loncke pour avoir vérifié nos calculs et Monsieur Harbonnier pour les documents qu'il nous a apportés.

Bibliographie

Sites web

http://media4.obspm.fr/public/IUFM

http://www.pensifs.com/sciences/terre-soleil/parcours-globe-terrestre.php

http://www.cafe.rapidus.net/algauthi

http://perso.numericable.fr/noipierr/site_web/suite.htm

http://fr.wikipedia.org/wiki

Livres

Le point astronomique de Claude Asken (éditions *Chiron)*

Annexe :

$$Azimut = \frac{\sin\left(hs - l - 2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right)}{\left|\sin\left(hs - l - 2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right)\right|}.\left(\arccos\left(\frac{\cos L.\sin\delta - \frac{2.\cos\left(\arcsin\left(\cos\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\cos L\right)\right).\cos\delta.\mathrm{coss}\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\sin L}{\sqrt{\sin^2\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right)+\cos^2\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\sin^2 L}}}{2.\sqrt{\cos^2 h.\cos^2\delta+\cos^2 L.\sin^2\delta-\frac{2.\cos\left(\arcsin\left(\cos\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\cos L\right)\right).\cos\delta.\mathrm{sinn}\delta.\cos L.\cos\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\sin L}{\sqrt{\sin^2\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right)+\cos^2\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\sin^2 L}}}}\right)\right)$$

$$Hauteur = \arcsin\left(\sin L.\sin\delta+\cos\left(hs-l-2.\pi.\frac{ad-12.3600}{24.3600}\right).\cos L.\cos\delta\right)$$