

POINTER UN ASTRE SELON SES COORDONNÉES HORIZONTALES



(par Alain Leraut, membre de l'Association Astronomique de l'Indre)

Exemple de monture alt-azimutale, réalisée par Yann Fournereau, selon le modèle de Jean Texereau

SOMMAIRE

<i>Sujets</i>	<i>pages</i>
Généralités sur les montures équatoriales et azimutales	3
Coordonnées horizontales	4
Les coordonnées équatoriales : qu'est-ce que c'est ?	5
Le point zéro des coordonnées équatoriales	6
Pendant la nuit, nous voyons le ciel changer	7
Cohérence des unités	8
Tout plein de zéros	9
Quelques formules de conversion	10
Trois images avant d'aborder les formules	11
Organisation des calculs selon le formulaire de Jean MEEUS	13
Utilisation de Python Astropy	20
Avec Stellarium	21
Avec Cartes du Ciel (Skychart)	22
Utilisation d'un site web	23
Conclusions et lectures	24

Remerciements

Merci aux relecteurs bienveillants qui m'ont signalé les erreurs, approximations, phraséologies inadaptées...

En particulier : Michel Brialix, Jacques Fonty.

Pointer un astre selon ses coordonnées horizontales : Azimut et hauteur.

1.

Les astronomes amateurs qui pratiquent la photographie à longue pose utilisent des montures équatoriales... parce qu'ils n'ont guère de choix, dans l'état actuel des techniques accessibles au commun des mortels.

La monture est le plus souvent de type allemande, c'est à dire dotée de contrepoids (voir ci-dessous à gauche, une image non commerciale) :



Les télescopes Celestron ont fait connaître les montures à fourche, qui elles, sont dépourvues de cette masse d'équilibre (ci-contre à droite, un bricolage d'amateur) :

Le télescope T400 de l'AAI, installé sous la coupole à Jeu-les-Bois, est fixé sur une monture à fourche.

Les montures allemandes vendues dans les commerces spécialisés, conçues pour être peu encombrantes et faciles à assembler sur le terrain, sont populaires.



2.

Pour qui ne pratique que l'observation visuelle, une monture alt-azimutale, beaucoup plus simple, est tentante : plus de moteurs, d'électronique, de batterie, de Goto qui part en quenouille... Dans le cas d'un télescope de Newton, l'oeil accède à l'oculaire de la façon la plus confortable possible. Mais attention : plus de suivi automatique. Il faut observer rapidement avant de recentrer l'image dans l'oculaire.

3.

Dans cette situation, on peut partager les astronomes amateurs(euses) en deux « groupes » :

- Celles et ceux qui parviennent à pointer « à vue », en se repérant sur le ciel à l'oeil nu et au chercheur.

- Les autres.

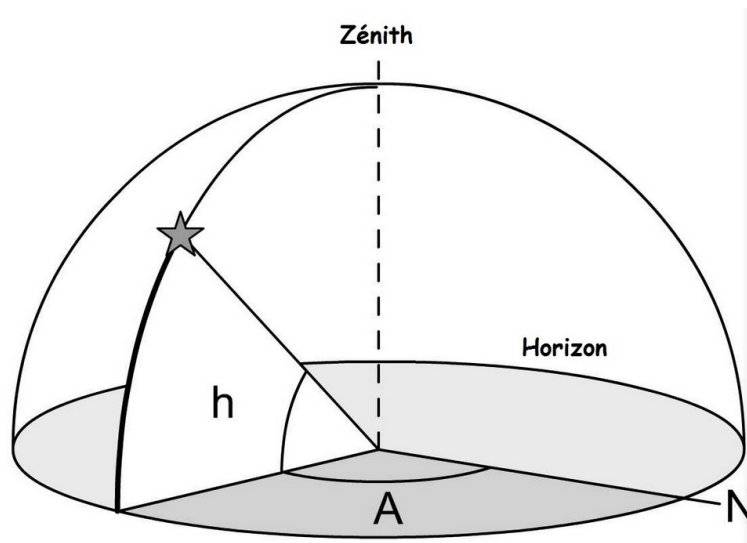
À ceux-là, il faut apporter une solution de secours : le pointage aux coordonnées, selon l'azimut et la hauteur.

Mais ces coordonnées, il faut se les procurer, à l'aide d'un logiciel existant ou par calcul.

Les pages suivantes proposent diverses approches pour obtenir l'azimut et la hauteur d'un astre.

Coordonnées horizontales

(appelées aussi alt-azimutales)



Définition de Wikipedia

Les coordonnées horizontales sont la [hauteur](#) (h) et l'[azimut](#) (A). La hauteur varie de 0° ([horizon](#)) jusqu'à 90° ([zénith](#)) et l'azimut est un cercle divisé en 360° établi sur le [plan horizontal](#) à partir du Nord (N), ou du Sud (S), suivant les utilisateurs.

Dans ce qui suit, l'azimut sera calculé à partir du Sud, considéré comme le point zéro. Les angles seront croissants en direction de l'Ouest et comptés de 0 à 360 degrés.

Important

Le système de coordonnées alt-azimutales est **un système local**.

Cela signifie que les coordonnées du lieu (latitude et longitude) vont être prises en compte dans les formules de calcul.

Les quantités et leurs règles d'usages sont définies par des organismes internationaux et on peut, en général se fier aux formulaires de calculs établis par les « autorités scientifiques » reconnues.

Dans le cas qui nous intéresse, il existe pourtant une exception.

Le cas des longitudes

La norme internationale prescrit que les longitudes sont définies en prenant comme origine le méridien de Greenwich et qu'elles sont comptées positivement en allant vers l'Est.

(Les bibliothèques de fonctions informatiques, écrites en Fortran, C, C++... et exploitables en Python via la bibliothèque Astropy respectent cette norme).

Jean MEEUS, auteur de nombreux formulaires très utilisés par les amateurs, compte les longitudes positivement vers l'Ouest !!!

(voir : *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs* édité par la SAF, mais aussi le gros livre en anglais *Astronomical Algorithms*).

Les coordonnées équatoriales : qu'est ce que c'est ?

1.

C'est l'histoire d'un petit garçon bien sage qui veut envoyer une lettre au Père Noël.

« Tu connais son adresse ?

- Heueue...

- Non ! Ne dessine pas un mouton..

- Par contre, si tu veux écrire à l'étoile Albireo, je peux te donner son adresse.

- Vraiment ?

- Oui. C'est :

Ascension droite 19 heures 30 minutes

Déclinaison +27 degrés 30 minutes. »

Voir ci-contre une capture effectuée depuis « Cartes du Ciel ». Les coordonnées équatoriales sont encadrées en rouge.

2.

Depuis l'Antiquité gréco-romaine, les humains ont essayé d'imaginer un système de repérage des astres capable de représenter la voute céleste.

Celui qui s'est imposé, parce qu'il n'est pas lié à un seul endroit sur la Terre, est le système de coordonnées équatoriales.

Exemple pour Albireo :

* Les lignes courbes parallèles à l'équateur permettent de repérer la déclinaison (ici +20°, +30°...), le zéro correspond à l'équateur. Vers le Nord les valeurs sont marquées du signe plus, vers le Sud elles sont marquées du signe moins.

* Les lignes horaires vont d'un pôle de la sphère céleste à l'autre. Elles sont marquées ici par des heures (ici 22h00, 21h00...).

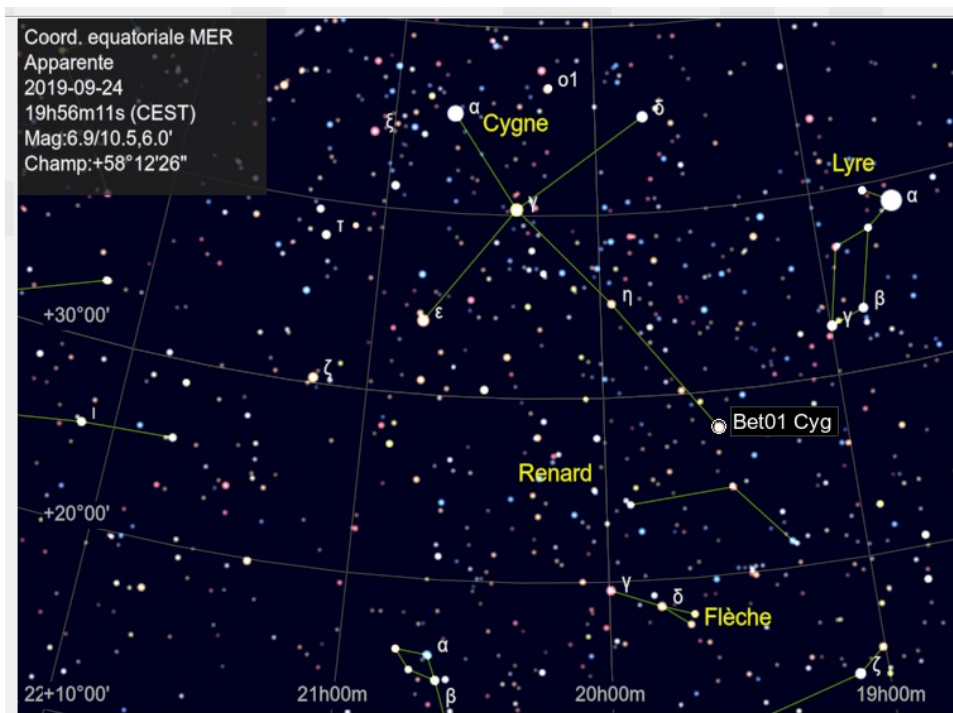
Le point zéro est un peu particulier.

On l'appelle le **point vernal**.

Voir dans Wikipédia cet article que le plus grand nombre est incapable de comprendre et de retenir :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_coordonn%C3%A9es_%C3%A9quatoriales

Détails
Centrer l'objet
Voisinage
F
Etoile double
BET01 Cygni
Information du catalogue: Étoiles
Extended Hipparcos Compilation
Magnitude visuelle: 3.05
HD: 183912
BD: BD+27 3410
HIP: 95947
HR: 7417
Indice de couleur: 1.09
Magnitude bleue: 4.14
Classe spectrale: K2II
Mouvement propre en ascension droite: -2 [mas/y]
Mouvement propre en déclinaison: -1 [mas/y]
Parallaxe: 7.5 [mas]
Distance: 434.9 années-lumière
Composant: AC
Nom commun: Albireo
Numéro de Flamsteed: 6
Bayer: Bet01
Constellation: Cygne
Vitesse radiale: -24.07 [km/s]
Magnitude I: 2.15
Coordonnées: Apparente
Apparente AR: 19h31m30.741s DE:+28°00'22.19"
Moyenne de la date AR: 19h31m31.036s
DE:+28°00'07.97"
Astrométrique J2000 AR: 19h30m43.281s
DE:+27°57'34.87"



Le point zéro des coordonnées équatoriales

Dans le monde parfait des idéologues, peuplé de « *il n'y a qu'à* » et de solutions simplistes, les repères sont fixes, les ressources terrestres illimitées, la Terre tourne rond et l'argent coule en quantités infinies de fontaines placées aux quatre coins du monde.

Toutes ces affirmations sont vraies, sauf une. Vous allez être très déçus : la Terre ne tourne pas rond. Et cela a une conséquence contrariante : certains repères ne sont pas fixes...

1.

La précession des équinoxes est expliquée ici de façon souvent compréhensible :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A9cession_des_%C3%A9quinoxes

En langage approximatif : l'axe de rotation de la Terre « se balade » parmi les étoiles (en 26000 ans tout de même) et il s'ensuit que l'équateur (qui lui est perpendiculaire)... se balade aussi.

Conséquence : au moment du printemps astronomique le point zéro de l'année appelé point vernal : https://fr.wikipedia.org/wiki/Point_vernal ne « vise » pas exactement la même étoile que l'année d'avant. Un petit décalage de toutes les coordonnées équatoriales en découle.

Ceci étant, ce décalage est petit. Dans les catalogues d'étoiles, on donne les coordonnées pour un « moment de référence » appelé équinoxe, suivi du numéro d'une année.

L'équinoxe de référence actuel est celui de l'an 2000 (dans l'encadré rouge de la page précédente nous avons « J2000 » pour le rappeler). Le précédent a longtemps été l'équinoxe 1950.

Il est possible de déterminer, par calcul, les coordonnées d'une étoile pour un autre moment. Mais, plus la date est éloignée de l'équinoxe de référence, moins ce sera précis.

Voir ci-contre les coordonnées l'albireo pour l'équinoxe 2000, mais aussi pour la date d'aujourd'hui.

Coordonnées: Apparente
Apparente AR: 19h31m30.741s DE: +28°00'22.19"
Moyenne de la date AR: 19h31m31.036s
DE: +28°00'07.97"
Astrométrique J2000 AR: 19h30m43.281s
DE: +27°57'34.87"

Pour résumer :

Les coordonnées équatoriales varient lentement au fil du temps.

Il est possible de les calculer pour une date donnée, sous réserve de savoir combien de temps s'est écoulé depuis le dernier catalogue de référence.

Le *point vernal*, ici entouré en rouge :
Déclinaison = 0°
Ascension droite = 0



Pendant la nuit, nous voyons le ciel changer

C'est ce qu'on appelle le **mouvement diurne** (https://fr.wikipedia.org/wiki/Mouvement_diurne). Nous avons appris que ce n'était pas les étoiles qui se déplaçaient, mais que c'était la Terre, sur laquelle nous vivons, qui tourne sur elle-même.

L'expérience du pendule de Foucault, réalisée à l'AAI par Rémi, met en évidence le mouvement de rotation de la Terre.

Conséquence : pendant la nuit, le point vernal se déplace dans le ciel, et (si l'on veut bien imaginer qu'il est la racine sur laquelle s'ancrent toutes les étoiles) le reste du ciel avec lui.

Mise en évidence avec Stellarium

27 septembre 2019
0 heure 55 minutes, temps local
Lieu : Châteauroux

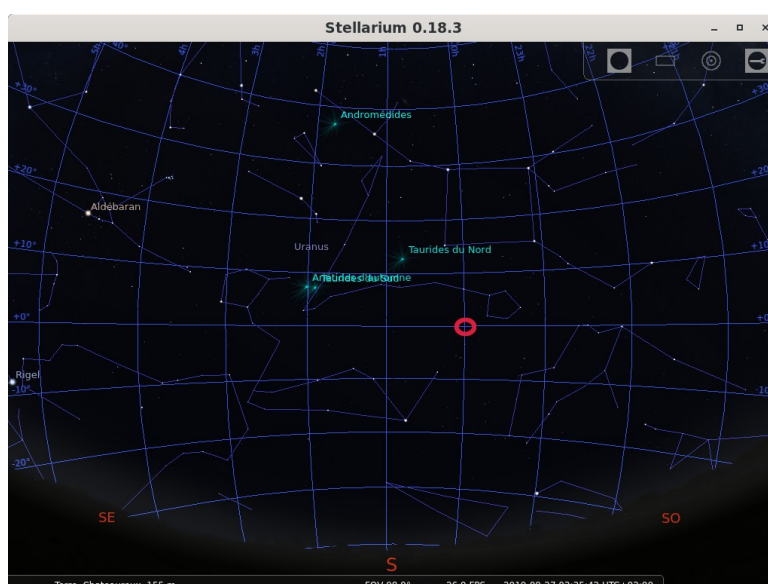
Le point vernal est mis en évidence par le cercle rouge.

Remarquer la direction du Sud, marquée par la lettre S rouge



27 septembre 2019
2 heure 45 minutes, temps local
Lieu : Châteauroux

Le point vernal s'est déplacé à cause du mouvement diurne.



COHÉRENCE DES UNITÉS :

le premier écueil, les premières décisions

1.

Les ordinateurs calculent... Ils additionnent, soustraient, multiplient.
Mais pas toujours à la façon des humains. Ils ont leurs manières.
Ils se fatiguent moins vite (que les humains).

2.

Les ordinateurs calculent. Mais ils ne savent utiliser que les nombres entiers et les nombres à virgules.
Par exemple additionner 7,528697145 et 12,61478... sera fait en un éclair.
Mais ajouter 3 heures 12 minutes à 6 heures 2 minutes 12 secondes...
générera une erreur.
L'ordinateur ne sait pas utiliser les données sexagésimales (voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Système_sexagésimal).
Par contre, on peut lui demander, par programme, de convertir du sexagésimal en décimal...
Ensuite, il pourra réaliser l'addition.

3.

Les ordinateurs savent utiliser les fonctions (trigonométriques) sur les angles.
Mais seulement dans une unité que le non-mathématicien ne connaît pas bien : **le radian**.
Ce n'est pas grave : on peut toujours convertir les degrés en radians, les heures minutes secondes en radians... il suffit d'utiliser des programmes de conversion.
On pourra aussi écrire des programmes qui convertissent dans l'autre sens pour afficher des résultats que l'on saura interpréter.

4.

Le temps, ce sont des jours, heures, minutes, secondes...
Nous avons appris qu'un jour égale 24 heures, qu'une heure égale 60 minutes...
En conservant des notations ancestrales, les humains ont conservé leurs racines... mais cela complique certains calculs.
En astronomie, on repère le « moment d'un phénomène », par un nombre décimal, appelée « jour julien ».
Tout calcul du temps passé entre deux phénomènes se traduira par la différence entre deux jours juliens...
Conséquence : toute date devra être convertie dans ce format.

Feuille de route 1 :

- Pour tout ce qui se rapporte au temps → jours juliens.
- Pour tout ce qui se rapporte aux angles → degrés décimaux.
- Pour tous calculs trigonométriques → conversion en radians → puis retour aux degrés pour la suite des calculs. Cela oblige à faire quelques conversions supplémentaires... mais on sera plus à même d'interpréter les résultats intermédiaires.
- Pour afficher les résultats → degrés décimaux (puisque l'on va utiliser des couronnes graduées en degrés).

Tout plein de « zéros »

La première chose à comprendre, quand on veut se lancer dans les calculs astronomiques, c'est qu'il faut connaître tous les « zéros ».

Zéros ?

Oui : les points de départ. Ceux qui permettent de définir le « connu », le « connu initial » (curieuse formulation).

À partir de là, en utilisant une « recette », on parvient à « trouver » (prévoir, calculer avec une certaine incertitude) le résultat attendu pour un autre moment, un autre lieu que ceux où tout était connu.

Les zéros que nous avons

Le point vernal, qui définit l'origine des « adresses des étoiles ». Nous avons appris que ce zéro varie lentement, en fonction du temps.

Le temps. Nous admettrons que les « jours juliens » constituent une échelle de dates successives, exprimée sous forme de nombres décimaux.

Un de ces jours juliens est désigné comme le « jour repère » pour la période qui nous intéresse.

Jour julien d'origine : 1^{er} janvier 2000 à midi (selon le calendrier grégorien).

Il porte le numéro 2 451 545, 0

Celui qui manque

Il nous manque un zéro : celui qui marque le point de la Terre où « tout commence ».

Ce point est représenté sur l'image de droite :

C'est le méridien d'origine, placé à l'observatoire de Greenwich, en Angleterre.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Observatoire_royal_de_Greenwich



Maintenant que nous avons tout le nécessaire, il devient possible d'expliquer l'ordre et la logique des calculs. Mais avant, voyons comment convertir certaines valeurs.

Quelques formules de conversion

1.

Degrés, minutes, secondes en degrés décimaux.

Les valeurs sont données sous la forme DD : MM : SS.ss

Exemple 07 : 03 : 36.0 pour 7 degrés 3 minutes et 36 secondes.

Équivalences : un degré = 60 minutes ; une minute = 60 secondes ; un degré = 3600 secondes.

Formule à appliquer :

Degrés décimaux = $DD + (MM / 60) + (SS / 3600)$

Remarque : si DD est négatif, il faut multiplier le résultat obtenu par -1, c'est à dire changer son signe.

2.

Ascension droite en heures, minutes et secondes en degrés décimaux.

Les valeurs sont données sous la forme HH : MM : SS.ss

Exemple 12 : 11 : 54.3 pour 12 heures 11 minutes et 54,3 secondes.

Équivalences : une heure = 60 minutes ; une minute = 60 secondes ; un degré = 3600 secondes.

À la fin, on multiplie le résultat par 15 (parce qu'une heure vaut 15 degrés).

Formule à appliquer :

Degrés décimaux = $(HH + (MM / 60) + (SS / 3600)) * 15$

3.

Calcul du jour julien d'une date du calendrier des deux calendriers juliens ou grégoriens

La date est donnée sous la forme YYYY - MM - jour

Exemple 2019 - 09 - 18 pour le 18 septembre (9ème mois) 2019

(remarque : la fonction int() retourne la valeur entière d'un nombre décimal en respectant son signe).

Soit MM = mois, YYYY = année, jour = numéro du jour

Si $MM > 2$

alors an = YYYY et mois = MM

sinon an = YYYY - 1 et mois = MM + 12

Calcul du correctif entre les deux calendriers :

determinant = $YYYY + MM / 100 + jour / 10000$

Si determinant ≥ 1582.1015 :

alors A = int(an / 100) et B = $2 - A + \text{int}(A / 4)$

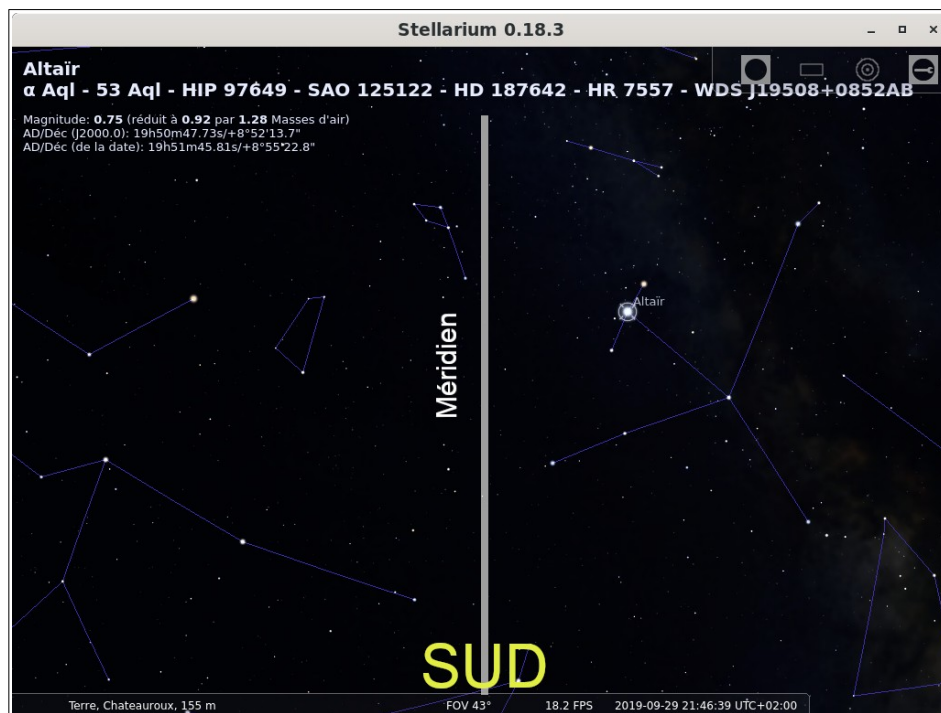
sinon B = 0

Calcul du jour julien

Jour_Julien = $\text{int}(365.25 * an) + \text{int}(30.6001 * (mois + 1)) + jour + 1720994.5 + B$

TROIS IMAGES AVANT D'ABORDER LES FORMULES

Voici une simulation du ciel pour le 29 septembre 2019 à 21 heures 45 minutes, heure civile.



Le méridien (le plan qui contient la direction du Sud tel qu'on la connaît localement) passe au milieu de l'image.

La page suivante montre deux façons pour repérer une même étoile : avec les coordonnées équatoriales puis avec les coordonnées alt-azimutales.

Gardons bien à l'esprit qu'il s'agit de la même étoile, au même moment, vue depuis le même lieu.

La même représentation du ciel avec les coordonnées équatoriales



Ascension droite entre 19 heures et 20 heures. Déclinaison entre $+5^\circ$ et $+10^\circ$.

La même représentation avec les coordonnées alt-azimutales



Azimut entre 190° et 200° . Hauteur entre 50° et 55° .

Les coordonnées ne sont qu'un moyen pour retrouver un même objet.

ORGANISATION DES CALCULS

Selon le formulaire de Jean MEEUS

Sources

Ouvrages destinés initialement aux calculatrices programmables :

1. Calculs astronomiques à l'usage des amateurs, par Jean Meeus, édité par la SAF – 1986
Cet ouvrage prend l'équinoxe 1950 comme référence.
2. Calculs astronomiques à l'usage des amateurs, par Jean Meeus, édité par la SAF – réédition dans les années 2000.
Cet ouvrage prend l'équinoxe 2000 comme référence. Actuellement en réédition.

Ouvrage destiné aux micro-ordinateurs, dont le formulaire permet, en principe, d'atteindre une plus grande précision.

1. Astronomical Algorithms, édité par Willmann-Bell, Inc.
Ouvrage en anglais. Peut se trouver en occasion.

Remarques

Les pages qui suivent reprennent la logique des formules de Jean Meeus, mais pas leur syntaxe. Il s'agit d'une interprétation personnelle qui utilise un autre langage, une autre représentation des calculs (la symbolique des langages informatiques est devenue plus banale et plus simple qu'au temps de Jean Meeus).

Ceci étant, à la fin, les opérations effectuées seront les mêmes.

Utilisation de fonctions, représentation.

Une fonction peut être vue comme une sorte d'automate qui, quand on lui fournit une ou des valeurs dans un format convenable (*signifie : valeur que la fonction sait traiter*), retourne un résultat juste.

Dans le texte qui suit, les fonctions seront représentées ainsi :

le_resultat = ma_fonction(valeur)	Une seule valeur attendue, entre parenthèses
le_resultat = ma_fonction(valeur1, valeur2)	Deux valeurs attendues, passées entre parenthèses.

Par exemple, si l'on dispose d'une fonction appelée :
additionne_deux_nombres(nombre1, nombre2)

et que l'on pose :

resultat = additionne_deux_nombres(8, 7)

alors **résultat** sera égal à 15.

Le trait de soulignement « _ » assure la continuité des noms, l'espace étant un séparateur.

Organisation des calculs et application à un exemple

Soit à calculer l'azimut et la hauteur de l'étoile Altaïr,
le 29 septembre 2019, à 21 heures 45 minutes 33 secondes (heure civile),
pour la ville du Poinçonnet
(longitude Est : 1 degré 43 minutes 11 secondes et
latitude Nord : 46 degrés 45 minutes 52 secondes),
sachant que ses coordonnées équatoriales pour l'équinoxe 2000 sont :
ascension droite : 19 heures 50 minutes 47.7 secondes,
déclinaison : +08 degrés 55 minutes, 18.21 secondes.

1.

Pour ne pas se noyer : tout lire. Chaque mot a de l'importance.

Nous avons des heures « de temps » des minutes « de temps » mais aussi « d'angles », de même pour les secondes.

Des histoires d'Est, de Nord et nous savons que cela va entraîner des valeurs positives ou non...

Commençons par noter tout ceci de façon moins ambiguë, en associant chaque valeur avec un nom symbolique, en respectant les formats d'entrée (qui seront plus faciles à traiter informatiquement).

Jour = 2019-09-29	Les dates seront toujours entrées de cette façon.
Heure = 19:45:33	19 heures et non 21 : il faut entrer l'heure en temps universel. Nous sommes encore en heure d'été alors il faut enlever 2 aux heures.
Longitude = -1:43:11	Jean Meeus compte les longitudes positives vers l'Ouest
Latitude = 46:45:52	Pas de signe moins : valeurs positives vers le Nord.
ascension_droite = 19:45:33	Heures, minutes de temps, secondes de temps.
Declinaison = +08:55:18.21	Degrés, minutes d'angles, secondes d'angles.

2.

Conversions

<i>Expressions</i>	<i>Valeurs après calculs</i>
jour_julien = calcul_jour_julien(Jour)	2458755,5
fraction_jour_en_heures = sexagesimal_decimal(Heure)	19.759166666666665 (attention en heures décimales)
longitude_en_degres = sexagesimal_decimal(Longitude)	-1,7197222222222224
latitude_en_degres = sexagesimal_decimal(Latitude)	46,76444444444444
ascension_droite_en_degres = sexagesimal_decimal(Ascension_droite) * 15	297.69875

declinaison_en_degres = sexagesimal_decimal(Declinaison)	8,921725
---	----------

3.

Calcul du temps sidéral de Greenwich

Encore une désignation qu'on se prend dans la tête. Respirons un grand coup...

Rappelons-nous : les zéros.

Le méridien de Greenwich est un d'eux. Le point vernal est le second.

Calculer le temps sidéral signifie ici : de combien de degrés faut-il faire tourner le point vernal par rapport à la position de référence ?

Calculer le temps sidéral de Greenwich à 0 heure TU

Le résultat s'exprime en heures et décimales.

3.1. On commence par calculer une variable intermédiaire désignée par la lettre « T » :

$$T = (\text{jour_julien} - 2415020.0) / 36525$$

Dans l'exemple :

$$T = (2458755,5 - 2415020,0) / 36525 = 1,1974127310061602$$

3.2. On utilise cette valeur pour calculer le nombre d'heures décimales qui se sont écoulée depuis une date de référence.

$$\text{jours_en_heures} = (6.6460656 + (2400.051262 * T) + (0.00002581 * T * T))$$

Dans l'exemple :

$$\text{jours_en_heures} = (6.6460656 + (2400.051262 * T) + (0.00002581 * T * T)) = 2880.4980387925084$$

3.3. Calculer le temps sidéral de Greenwich à l'heure dite.

Il faut maintenant faire intervenir l'heure.

$$\text{plus_heures} = 1.002737908 * \text{fraction_jour_en_heures}$$

Dans l'exemple :

$$\text{plus_heures} = 1.002737908 * 19.759166666666665 = 19.813265447156667$$

Il n'y a plus qu'à additionner : `jours_en_heures + plus_heures` puis retirer autant de fois 24 heures qu'il est nécessaire pour parvenir à un nombre d'heures inférieur à 24 (cette opération existe, on l'appelle « modulo de » et l'exprime par le signe « % »).

Le résultat est associé à une variable provisoire :

$$\text{provisoire} = (\text{jours_en_heures} + \text{plus_heures}) \% 24$$

Dans l'exemple :

$$\text{provisoire} = 20.311304239664878 \text{ heures et décimales.}$$

Comme les résultats doivent être convertis en degrés, on va multiplier provisoire par 15.

Pourquoi 15 ?

Parce que le résultat obtenu est une ascension droite (sous forme décimale).

Or, dans le cas des coordonnées équatoriales, une heure vaut 15°

$$\text{temps_sideral_greenwich} = \text{provisoire} * 15$$

Dans l'exemple :

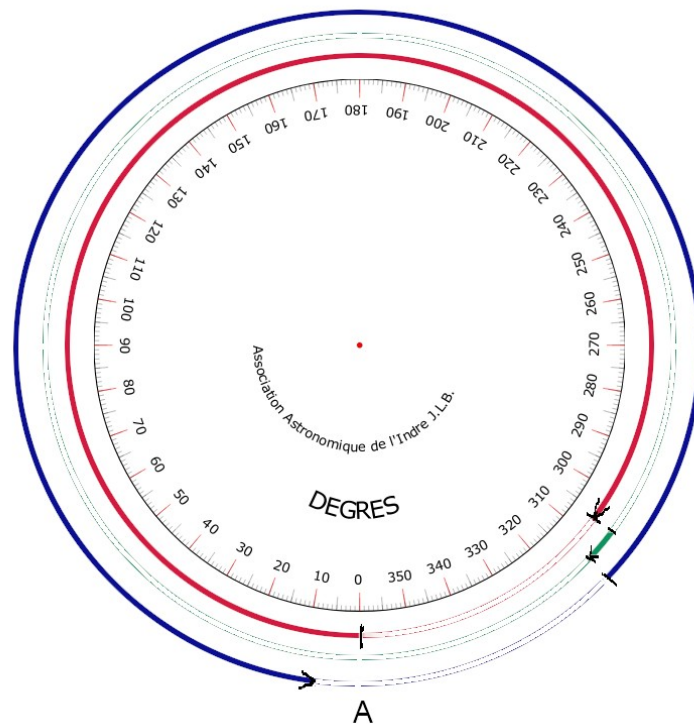
$$\text{temps_sideral_greenwich} = 304.66956359497317 \text{ degrés.}$$

4. Calcul de l'angle horaire

4.1. Pour comprendre la suite, il faut **imaginer** que nous disposons d'une monture équatoriale avec un axe d'ascension droite sur lequel est fixé un cadran gradué en degrés.

En position « initiale » le repère de rotation (marqué ici par le haut de la lettre A) est en face du 0 du cadran.

Quand nous faisons tourner l'axe, le cadran se déplace devant le repère, qui, lui, est fixe.



À la suite du calcul du temps sidéral de Greenwich, nous faisons tourner l'axe (et l'instrument qui est solidaire) de 304,... degrés. Cette rotation est symbolisée sur l'image par la **courbe rouge**.

Pour pouvoir pointer l'instrument sur Altaïr, il faut maintenant effectuer deux rotations complémentaires :

1. Une rotation qui correspond au décalage du (méridien du) Poinçonnet par rapport au méridien de Greenwich (représenté ici par la **courbe verte**).
2. Une contre rotation correspondant à l'ascension droite de l'objet (représenté ici par la **courbe bleue**).

Remarquons que si la somme des rotations dépasse 360°, l'angle calculé devra être ramené dans l'intervalle 0° à 360° (par une opération « modulo de », signe %).

Le résultat obtenu, par calculs ou par une opération manuelle (manipulation de la monture) s'appelle l'**angle horaire**.

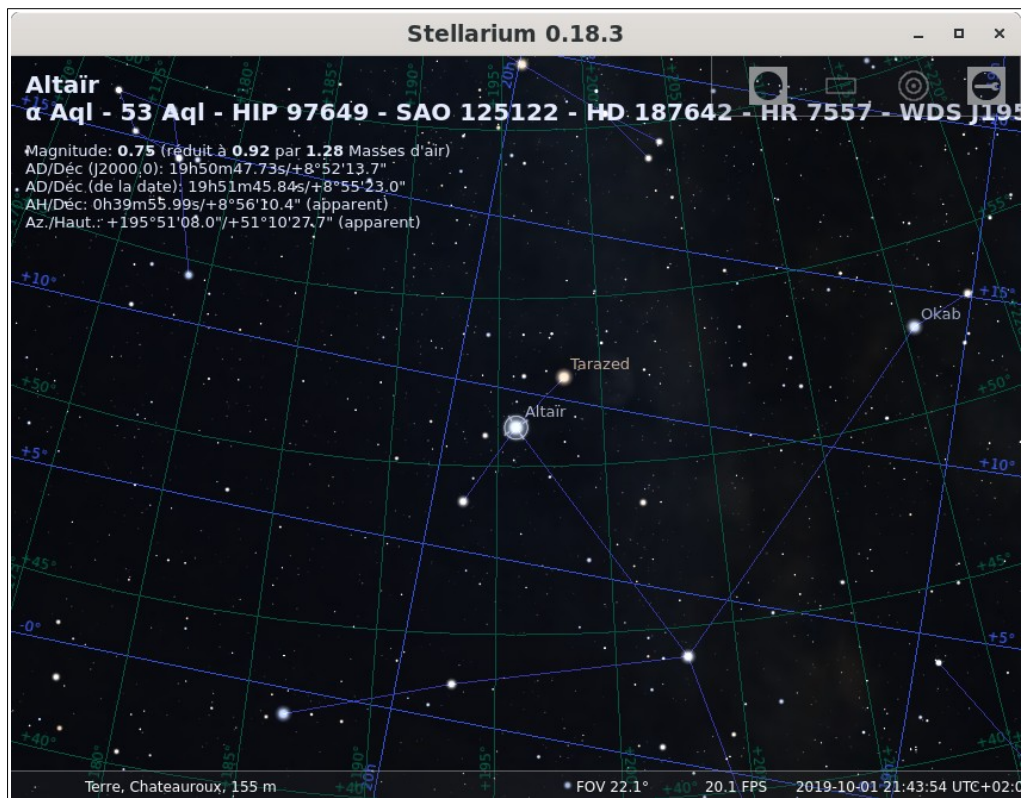
$$\text{angle_horaire} = \text{temps_sideral_greenwich} - \text{longitude_en_degres} - \text{ascension_droite_en_degres}$$

Dans l'exemple :

$$\begin{aligned} \text{angle_horaire} &= 304,66956359497317 + 1,719722222222224 - 297,69875 \\ &= 8,690535817195382 \text{ degrés} \end{aligned}$$

5. L'azimut et la hauteur

Avant d'aller plus loin, observons la capture suivante faite depuis Stellarium.



Autour d'Altair s'entrecroisent deux systèmes de coordonnées :

- En bleu, les coordonnées équatoriales (ascension droite et déclinaison).
- En vert, les coordonnées horizontales (ou alt-azimutales) : azimut et hauteur.

C'est le même ciel sur lequel nous, humains, avons plaqué deux logiques de repérage.

Nous avons vu, au paragraphe précédent, que les calculs se faisaient autour de l'ascension droite (donc des repères équatoriaux).

Dans la dernière étape, nous allons effectuer un changement de repères (par rotation) dans un espace à trois dimensions... passant des repères bleus aux repères verts.

Le mouvement ressemble à celui que peut faire la main « englobante » autour d'une boule de pétanque.

Si l'idée est simple à concevoir (si on y parvient), la réalité des calculs est une « vraie tuerie ».

À cause de cela, ils ont été morcelés (page suivante) en faisant intervenir des variables supplémentaires, telles que : premier_terme, numerateur... cela permet en plus de vérifier que l'on a bien calculé.

Remarque

Ces calculs « compliqués » ne sont pas spécifiques à l'astronomie ni à Jean MEEUS. Ce sont des formules classiques de trigonométrie sphérique. Des outils bien rôdés, en quelque sorte.

5.1. Azimut

Rappel des variables et valeurs utilisées :

Les fonctions sin() tan() et cos() calculent les valeurs des sinus, tangente et cosinus des angles passés en paramètres.

La fonction radians(angle_en_degres) convertit l'angle en radians, ce qui permet le calcul des fonctions sinus, tangente et cosinus.

La fonction atan2() prend deux arguments et donne en radians la valeur de l'azimut, **dans le bon cadran.**

La fonction degrees() convertit en degrés un angle passé en radians.

Variables utilisées	Rappel de leurs valeurs en degrés
angle_horaire	8,690535817195382
latitude_en_degres	46,76444444444444
declinaison_en_degres	8,921725

Détail du formulaire et résultats successifs

Formulaire	Résultats des calculs
numérateur = sin(radians(angle_horaire))	0,15109753762646885
premier_terme = cos(radians(angle_horaire)) * sin(radians(latitude_en_degres))	0,7201791705699216
second_terme = tan(radians(declinaison_en_degres)) * cos(radians(latitude_en_degres))	0.10753415281559246
denominateur = premier_terme - second_terme	0.6126450177543292
azimut_en_radians = atan2(numérateur, denominateur)	0.24180577209694826
azimut_en_degres = degrees(azimut_en_radians) + 180	193.85445020305738

Remarques :

- On ajoute 180 degrés parce qu'en France, la direction de référence est le Sud.
- Si à la suite de cette opération, la valeur est toujours négative, on ajoute 360 degrés.

5.2. Hauteur

La fonction `asin()` donne, en radians, l'angle dont on connaît le sinus. On l'appelle en général arc sinus.

Formulaire	Résultats des calculs
<code>premier_terme = sin(radians(latitude_en_degres)) * sin(radians(declinaison_en_degres))</code>	0.11298618452106136
<code>second_terme= cos(radians(latitude_en_degres)) * cos(radians(declinaison_en_degres)) * cos(radians(angle_horaire))</code>	0.6689422060799325
<code>les_deux = premier_terme + second_terme</code>	0.7819283906009938
<code>hauteur_en_radians = asin(les_deux)</code>	0.8977533447533083
<code>hauteur_en_degres =degrees(hauteur_en_radians)</code>	51.43747769811773

5. Et la réponse est...

(en degrés et décimales, qui conviennent bien pour l'usage avec des cadrans pas trop grands).

Azimut : 193, 85 soit 194 degrés.

Hauteur : 51,4 ° soit 51,5 degrés

UTILISATION DE PYTHON ET ASTROPY

Le langage de programmation informatique Python est très utilisé dans divers contextes :

- en milieu scolaire,
- pour développer des sites web,
- dans les universités et centres de recherche,
- dans les observatoires et labos d'astronomie.

Au fil du temps, des extensions (appelées bibliothèques de fonctions) ont été ajoutées au langage. Le monde de la Science étant plus « partageur » que celui de l'entreprise, un grand nombre de ces bibliothèques sont libres d'accès et gratuites.

La bibliothèque « Astropy » développée par et pour les astronomes est dans cette situation. Seul obstacle à son usage : il faut lire une abondante documentation en anglais. Voici un exemple d'usage, toujours avec l'étoile Altaïr.

```
#!/usr/bin/python3
# -*- coding:utf-8 -*-

# Expérimenter Astropy pour Altaz
'''
https://docs.astropy.org/en/stable/generated/examples/coordinates/plot\_obs-planning.html#sphx-glr-generated-examples-coordinates-plot-obs-planning-py
'''

from astropy import units as u
from astropy.coordinates import SkyCoord, AltAz , EarthLocation
from astropy.time import Time

poinconnet = EarthLocation(lat=46.76444*u.deg, lon=1.71972*u.deg,
height=145*u.m)
time = Time('2019-09-29 19:45:33')

altair = SkyCoord.from_name('altair')
altair_altaz = altair.transform_to(AltAz(obstime=time,location=poinconnet))
print(altair_altaz.az, altair_altaz.alt)
```

Et la réponse est

Azimut : 193d 29m 00.4533s soit 193,5 degrés
Hauteur : 51d 28m 34.0056s soit 51,5 degrés

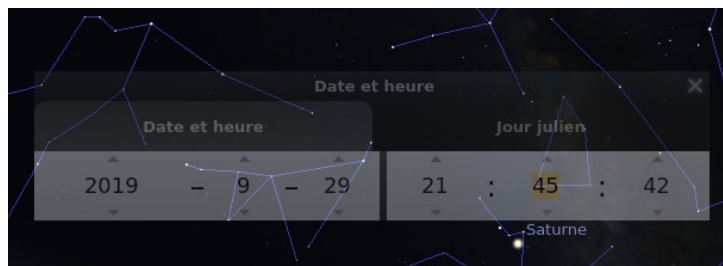
Seule contrainte ici : le programme doit pouvoir accéder à Internet pour charger les coordonnées d'Altaïr (et d'autres objets que l'on souhaite pouvoir pointer). Dans le cas d'une solution embarquée (en rase campagne) sans internet, il faut ajouter un peu de code pour charger les coordonnées dans un fichier quand on est à la maison... pour exploiter les données du fichier quand on est « sur le terrain ».

AVEC STELLARIUM

1. Définir la date et l'heure.

Attention : entrer la date en temps civile et non en heures TU.

Ici, on entrera :



2. Définir les informations qui seront affichées.



3. Résultats obtenus :

Les valeurs cherchées sont sur la ligne Az/Haut :

Azimut : 193° 22minutes, soit 193,5 degrés (en arrondissant).

Hauteur : +51° 26 minutes, soit +51,5 degrés en arrondissant.



AVEC CARTES DU CIEL (SKYCHART)

1. Définir la date et l'heure

Menu Configuration / Date et heure

Date / Heure

Heure Simulation Animation

☐ Utilise l'heure du système (TU)

☐ Rafraichit tout les 60 Secondes

Date: 2019 9 29 AD BC

Heure: 21 45 33 CEST (TU+02:00:00)

JD: 2458756.323299 2019-09-29 19:45:33 TU

2. Clic-droit sur l'étoile Altaïr

Choisir la ligne qui commence par
« À propos de l'étoile... »

3. Résultats obtenus

Azimut : 193° 28 minutes, soit 193,5 degrés
(en arrondissant).

Hauteur : +51° 29 minutes, soit +51,5 degrés
(en arrondissant).

Détails

Centrer l'objet Voisinage F

Nom: AIP
Constellation: Aigle
Vitesse radiale: -26.6 [km/s]
Magnitude I: 0.6

Coordonnées: Apparente
Apparente AR: 19h51m44.204s DE:+08°55'26.89"
Moyenne de la date AR: 19h51m44.771s DE:+08°55'18.21"
Astrométrie J2000 AR: 19h50m47.713s DE:+08°52'13.56"
Ecliptique L: +302°03'11" B:+29°18'19"
Galactique L: +47°44'51" B:-08°54'39"

Visibilité pour l'observatoire:
Le Poinçonnet 2019-09-29 21h45m33s (CEST)
Temps Universel: 2019-09-29T19:45:33
JD=2458756.32330

Heure sidérale locale: 20h25m32s
Angle horaire: 00h33m48s
Azimut: 193°28'40"
Hauteur: +51°29'31.3"
Hauteur géométrique: +51°28'45.3"

Masse d'air: 1.3
Lever: 14h31m00s Azimut: 76°17'
Transit: 21h11m49s +52°10'
Coucher: 03h56m34s Azimut: 283°43'

Plus d'informations:
Recherche par nom: [Simbad](#), [NED](#), [HyperLeda](#),
Recherche par position: [Simbad](#), [NED](#), [HyperLeda](#),

UTILISATION D'UN SITE WEB

1. Adresse

http://xjubier.free.fr/site_pages/astronomy/coordinatesConverter.html

2. Page du site

Voir capture ci-contre.

3. Réponses

Azimut : $199,87^\circ$ soit 200 degrés

Hauteur : $61,98^\circ$ soit 62 degrés.

Le site corrige les effets de l'atmosphère, ce qui explique peut-être les écarts.

Convertisseur de Coordonnées Equatoriales vers Horizontales

Coordonnées Géocentriques Equatoriales (J2000 JNow)

Ascension Droite 19 h 45 m 33 s

Déclinaison 19 ° 50 ' 47.7 ''

Date et Heure en Temps Universel Coordonné (UTC)

Date 29 9 2019

Heure 19 h 45 m 33 s

Coordonnées de l'Observateur

Latitude 46 ° 45 ' N

Longitude 1 ° 43 ' E

Indiquez ci-dessus les coordonnées géographiques du lieu d'observation.
Le [Convertisseur Lat/Lon DMS<->DD] peut vous y aider.

Coordonnées Géocentriques Horizontales (avec réfraction)

Hauteur 61,98° 61,99°

Azimut 199,87° 199,87°

Coordonnées Topocentriques Horizontales (étoiles)

Hauteur (avec réfraction) 61,99°

Azimut 199,87°

Jour Julien 2458756,32330

Temps Sidéral Moyen à Greenwich 20,31103

Temps Sidéral Local 20h18m39,72s

20,42548

20h25m31,72s

Mise à jour

Cela étant, l'entrée des informations est assez laborieuse.

Compte-tenu des résultats moins exacts, je vous conseille les méthodes précédentes.

UNE APPLICATION ANDROID

Conçue pour accompagner un dispositif électronique, cette application pour terminaux Android est librement téléchargeable.

Son nom est **SynScan Pro**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.skywatcher.synscanapppro&hl=fr>

(Il faut la charger depuis votre terminal mobile et non depuis un ordinateur, ce qui suppose que vous ayez un « compte Google », ce que certains refusent).

Après quelques vérifications :

- Il faut introduire les coordonnées du lieu d'observation ou activer la détection du lieu via le GPS de l'appareil (si celui-ci est activé dans le menu configuration).
- L'application donne alors les coordonnées horizontales (azimut et hauteur) selon les mêmes conventions que Stellarium et Cartes du Ciel.
- La liste des objets présents dans la mémoire est très importante et inclut aussi les objets Messier, Caldwell, NGC et IC. Les amateurs d'amas et nébuleuses devraient se régaler.
- Quelques étoiles doubles aussi parmi les "classiques".
- Mars, Venus, Uranus.
- Il est également possible de se faire une liste d'objets personnels, en fonction de ses propres affinités (variables par exemple).
- Par contre, les objets très mobiles : comètes, astéroïdes... ne semblent pas prévus.
Peut-être faudra-t-il repérer avant, avec Carte du Ciel ou Stellarium, l'étoile qui est proche (au moment de l'observation) de la comète ou l'astéroïde et qui figure dans la base de données de l'application.
Par exemple, si la comète est proche d'Altaïr, on utilisera les coordonnées de cette étoile.

CONCLUSION ET LECTURES

1. Conclusion

Selon le nombre d'observations que vous effectuez dans l'année, en utilisant une monture alt-azimutale, la solution adoptée sera sans doute différente.

1. Peu d'observations, et très occasionnellement : préférer Stellarium ou Cartes du Ciel, ou l'application pour smartphone.
2. Observations fréquentes et durant une à deux heures : le temps (jour et heure) changera constamment pendant que vous serez sur le terrain.
Une solution avec un ordinateur (éventuellement un Raspberry Pi) avec un programme Python Astropy semble raisonnable. L'application Androïd est également une bonne solution.
3. Si vous êtes dans la situation 2, qu'en plus vous voulez utiliser un des manuels de Jean MEEUS, une solution sans Astropy est tout à fait adaptée à vos envies.

Dans tous les cas, vous trouverez de l'assistance à l'Association Astronomique de l'Indre (AAI) : nous avons des programmes déjà écrits et testés.

2. Lectures

2.1. Monture azimutales :

<https://www.webastro.net/noctua/les-diff%C3%A9rents-mat%C3%A9riels/la-monture-dobson-r48/>

2.2 Formulaires :

https://cral-perso.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/docu_astro/reperage/reperage.pdf

Rédigé, de bonne foi, pour l'AAI, par Alain Leraut – Octobre 2019.

AAI : <http://aai.free-hosting.fr>

(en phase de relecture).