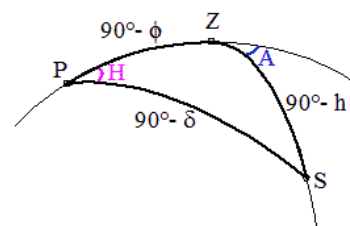


TriSph  
--o0o--  
Version du 14 novembre 2014

Yvon Massé  
[yvon.masse@sfr.fr](mailto:yvon.masse@sfr.fr)



## SOMMAIRE

1	Présentation	2
2	Rappels généraux	3
2.1	Triangle sphérique	3
2.2	Triangle plan	3
2.3	Applications pratiques	3
2.4	Application à la gnomonique	4
3	Droits d'utilisation	5
4	Installation/désinstallation	5
4.1	Avec installateur sous Windows	5
4.2	Version portable sous Windows ou GNU/Linux	5
4.3	Application sous Mac OS X	5
4.4	Fichiers sources	5
5	Options de fonctionnement	6
6	Structure du fichier de configuration	6
7	Divers	7
7.1	Unités	7
7.2	Saisie des valeurs en degrés et heures	8
7.3	Copier/coller des valeurs	8
8	Modules complémentaires	8
8.1	Principe	8
8.2	Éphémérides du Soleil	9
8.2.1	Présentation	9
8.2.2	Convention de signe	9
8.2.3	Avertissement concernant les fuseaux horaires	10
8.2.4	Saisie de la date et l'heure de l'ordinateur	10
8.2.5	Éphémérides	10
8.3	Hauteur du Soleil	11
8.4	Projection gnomonique	11
8.4.1	Présentation	11
8.4.2	Convention de signe	12
9	Résolutions de problèmes classiques	12
9.1	Heure de passage au méridien du Soleil	12
9.2	Point astronomique au Soleil	13
9.2.1	Hauteur réelle du Soleil	13
9.2.2	Calcul de l'angle horaire de Soleil	13
9.2.3	Calcul de la latitude	13

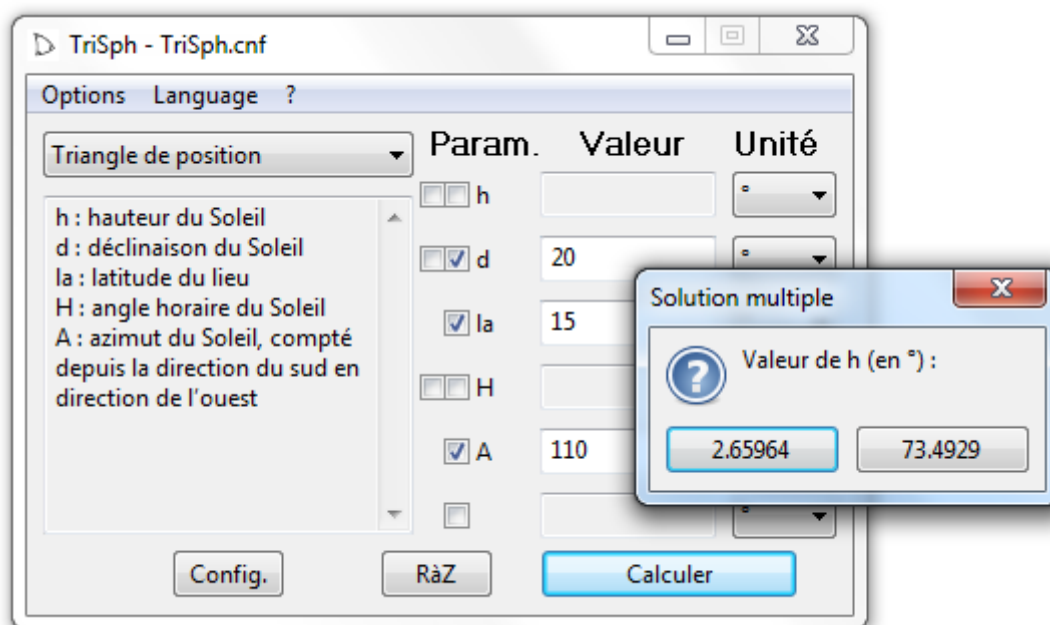
9.3 Heures de coucher et lever du Soleil-----	14
9.3.1 Hauteur réelle du Soleil-----	14
9.3.2 Valeur approchée de la déclinaison-----	15
9.3.3 Valeur approchée de l'heure-----	15
9.3.4 Itération-----	15
9.4 Inclinaison/déclinaison d'une surface plane-----	16
9.4.1 Direction du Soleil dans le repère local-----	17
9.4.2 Direction du Soleil dans le repère cadran-----	18
9.5 Prière islamique de l'Asr-----	19
9.5.1 Hauteurs du Soleil à la culmination-----	20
9.5.2 Longueur de l'ombre à la culmination-----	21
9.5.3 Hauteur apparente du Soleil au début de l'Asr-----	21
9.5.4 Heure du début de l'Asr-----	22
10 Historique des versions-----	23

## 1 Présentation

TriSph permet de résoudre les triangles sphériques et les triangles plans. Un fichier de configuration modifiable par l'utilisateur (voir § 6 p. 6) permet d'affecter des mnémoniques aux différents paramètres du triangle, d'afficher soit leur véritable valeur soit une valeur complétée et enfin de définir les angles sur 360°. Un encadré permet de documenter les différents paramètres.

Trisph est fourni avec un fichier de configuration rassemblant les principaux triangles sphériques utilisés en gnomonique (voir § 2.4 p. 4).

La version V8oct12 de TriSph fonctionne sous Windows 95/98/Me, NT/2000, XP Vista et 7. À partir de la version V10nov12, TriSph est compilé sous [Lazarus](#), compilateur multiplateforme, ce qui lui permet d'être porté sous GNU/Linux et Mac OS X.

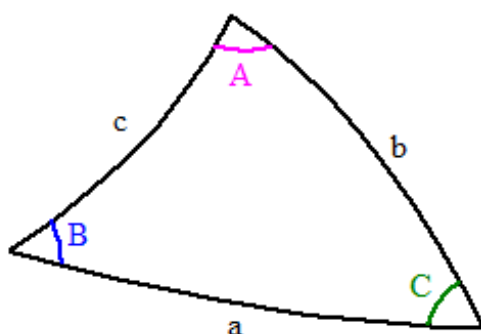


## 2 Rappels généraux

### 2.1 Triangle sphérique

Le triangle sphérique se trace sur une sphère de rayon unité. Il est constitué de trois sommets reliés entre eux par 3 portions de grand cercle. Un grand cercle est un cercle dont le centre correspond au centre de la sphère.

La longueur des côtés du triangle s'exprime en unités angulaires, elle est comprise entre 0 et  $180^\circ$ . Les angles aux sommets du triangle sont, eux aussi, compris entre 0 et  $180^\circ$ . On peut donc mesurer sur un triangle 6 valeurs angulaires.



La trigonométrie sphérique démontre que pour calculer toutes les valeurs d'un triangle sphérique, il faut en connaître 3 quelconques, côtés ou angles, sur les 6 ; on a ainsi 20 cas de figure. Par permutation, on peut ramener ce nombre à 6 cas. Enfin la trigonométrie sphérique établit, à l'aide du triangle dit polaire, une dualité entre les côtés et les angles, ce qui permet de diviser ce nombre par 2. Au bilan, pour résoudre un triangle sphérique, il faut savoir traiter les 3 cas suivants :

- les 3 côtés sont connus (a, b et c)
- 2 côtés et l'angle entre les côtés sont connus (a, b et C)
- 2 côtés et l'angle à l'extrémité d'un côté sont connus (a, b et A)

### 2.2 Triangle plan

Comme pour le triangle sphérique, on peut déterminer toutes les valeurs d'un triangle plan (généralement appelé simplement *triangle* mais ici il est nécessaire de préciser) à partir d'un minimum de valeurs. Les triangles plans ne présentent pas la dualité côtés/angles propres aux triangles sphériques mais, en contrepartie, ils ont une propriété bien connue qui établit que la somme des angles est égale à  $180^\circ$ .

De façon générale, comme pour les triangles sphériques, il faut connaître 3 valeurs, côtés ou angles, pour déterminer les autres valeurs. L'exception à cette règle est le cas où les 3 angles sont connus, seul le rapport entre les côtés peut alors être établi. Dans ce cas TriSph propose une solution avec le premier côté à 1 m et invite l'utilisateur à remplacer la saisie d'un angle par celle d'un côté.

### 2.3 Applications pratiques

La trigonométrie sphérique est un outil mathématique essentiel dans les disciplines suivantes :

- astronomie

- gnomonique
- navigation
- géographie

En trigonométrie sphérique, nous l'avons vu, les angles comme les côtés sont toujours compris entre 0 et 180°, la taille maximale des triangles ainsi définis est d'une moitié de la sphère.

Dans la pratique, pour couvrir la sphère entière, il est nécessaire d'associer deux triangles. Le passage d'un triangle à l'autre se fait généralement par l'extension de la valeur des angles. Ainsi, par exemple, en gnomonique la sphère céleste est constituée des demi-sphères orientale et occidentale, les angles (azimut, angle horaire, etc.) propres à la première sont positifs tandis que ceux affectés à la seconde sont négatifs. Le choix de la valeur d'un des angles impose donc un triangle et par suite la valeur des autres angles.

En fonction des conventions utilisées, l'extension de la valeur des angles peut se faire soit vers les valeurs négatives, comme dans l'exemple précédent, soit vers des valeurs supérieures à 180°, c'est le cas de l'azimut des navigateurs qui est compté de 0 à 360° en partant du nord vers l'est.

Dans TriSph, la variable globale Grot permet de définir le contexte de travail :

Valeur de Grot	Contexte de travail
0	Trigonométrie sphérique ou plane
1	Application pratique : triangle 1
-1	Application pratique : triangle 2

## 2.4 Application à la gnomonique

La sphère des gnomonistes est la sphère céleste locale. Sur celle-ci, on peut placer les 4 points fondamentaux suivants :

- Le pôle nord P
- Le zénith Z
- Le soleil S
- La normale au cadran K

On peut ainsi tracer 4 triangles différents :

- PZS, appelé triangle de position : il fait le lien entre les coordonnées horaires (angle horaire/déclinaison) et les coordonnées locales (azimut/hauteur).
- PZK : il permet de calculer les paramètres du Cadran Horizontal Équivalent.
- ZSK : il fait le lien entre les coordonnées locales et les coordonnées sur le cadran. Par ailleurs, la connaissance de ces coordonnées permet de déterminer l'orientation du cadran (inclinaison/déclinaison gnomonique).
- PSK : il fait le lien entre les coordonnées horaires et les coordonnées sur le cadran.

Enfin, la résolution du triangle constitué des points P et K ainsi que d'un côté de 90° permet de calculer la position des lignes horaires.

### **3 Droits d'utilisation**

La version V8oct12 de TriSph est un gratuiciel. Vous pouvez le copier, le communiquer à vos amis et l'utiliser gratuitement.

À partir de la version V10nov12, TriSph ouvre ses sources et passe sous licence MIT (voir le fichier Licence.txt).

Malgré tout le soin apporté à la vérification de ce programme, il se peut que certains bogues aient échappé à mon attention. Si vous constatez un quelconque dysfonctionnement, n'hésitez pas à m'en faire part : je m'appliquerai à apporter les modifications nécessaires. Je serai aussi très attentif aux propositions d'amélioration des utilisateurs s'ils expriment un besoin particulier.

### **4 Installation/désinstallation**

La dernière mise à jour de TriSph est téléchargeable à :

<http://yvon.masse.perso.sfr.fr/trisph/>

#### **4.1 Avec installateur sous Windows**

Le fichier d'installation Windows a été compilé par le gratuiciel Inno Setup de Jordan Russell (<http://www.jrsoftware.org/>). Après téléchargement du fichier, double-cliquer dessus et répondre aux questions.

Désinstaller TriSph comme toutes les applications Windows, soit par l'entrée *Désinstaller* du Menu démarrer, soit par le Panneau de configuration *Ajout/Suppression de programme*.

#### **4.2 Version portable sous Windows ou GNU/Linux**

Décompresser l'archive après son téléchargement. Le programme (*TriSph.exe* pour Windows et *TriSph* pour GNU/Linux) se trouve à l'intérieur du répertoire décompressé et se lance quand on double-clique dessus. Pour faciliter le lancement, on peut mettre en place un ou plusieurs raccourcis.

Pour désinstaller, supprimer simplement le répertoire du programme et les éventuels raccourcis.

#### **4.3 Application sous Mac OS X**

Ouvrir l'image disque après son téléchargement et déplacer l'application *TriSph* qui se trouve à l'intérieur vers le dossier *Applications*.

#### **4.4 Fichiers sources**

Décompresser les fichiers sources dans un répertoire. Sous Lazarus, ouvrir le fichier projet TriSph.lpi et compiler le programme. La version V14nov14 a été compilée dans les configurations suivantes :

OS	Version de Lazarus
Windows 7	0.9.30.4
Ubuntu 10.04	0.9.30-0
OS X	0.9.30.4RC3

## 5 Options de fonctionnement

Le menu principal de TriSph permet de mettre en place les options de fonctionnement.

L'entrée *Options* permet de définir :

- Le rayon utilisateur pour l'utilisation des unités *Au* et *Cu*
- Le fichier de configuration
- Le logiciel à utiliser quand on clique sur le bouton *Config.* pour éditer le fichier de configuration
- L'éventuelle option du logiciel d'édition

L'entrée *Language* permet de sélectionner la langue de l'interface.

## 6 Structure du fichier de configuration

Le fichier de configuration est un fichier de type texte encodé UTF8 modifiable avec un simple éditeur de texte. On peut l'ouvrir et le modifier avec le bouton *Config.*

La première ligne du fichier de configuration indique sa version par le mot *TriSphX* où *X* est le numéro de version. L'absence de cette ligne signifie que le numéro de version est 0. La compatibilité des différentes versions est rappelée dans le tableau ci-dessous.

Version de TriSph	Version du fichier de configuration
V8oct12	0
V10nov12	0
V13janv13	0 ou 1
V11déc13	0 ou 1
V21août14	0 ou 1
V14nov14	0 ou 1

Le fichier de configuration est ensuite découpé en paragraphes par des lignes composées uniquement de trois tirets (---).

Le début de chaque paragraphe doit comporter dans l'ordre les lignes suivantes :

- La première est le titre du paragraphe tel qu'il apparaît dans la boîte de sélection de l'application.
- La seconde liste dans l'ordre les mnémoniques des côtés et des angles séparés par une virgule. Les 3 premiers doivent être les côtés. Les 3 suivants doivent être, dans le même ordre, les angles opposés aux côtés. L'appel des modules complémentaires se fait aussi dans cette ligne, voir à ce sujet le § 8 p. 8.
- La troisième est une chaîne de 6 caractères :
  - Les 3 premiers correspondent aux côtés. Si un seul de ces caractères est L, le triangle est considéré plan. Sinon le caractère O indique que le côté doit être complémenté à 90° et le caractère N (ou tout autre caractère) retourne le résultat sans modification.
  - Les 3 derniers caractères correspondent aux angles. Le caractère O indique que l'angle doit être complémenté à 180° et le caractère N (ou tout autre caractère) retourne le

résultat sans modification.

- La quatrième est une chaîne de 3 caractères qui définissent le contexte de travail et les valeurs possibles des angles conformément au tableau ci-dessous.

	<b>P (ou autre)</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>
<b>Trigonométrie</b>	]0°, 180°[				
<b>Triangle 1</b>		]0°, 180°[	]0°, 180°[	]-180°, 0°[	]180°, 360°[
<b>Triangle 2</b>		]180°, 360°[	]-180°, 0°[	]0°, 180°[	]0°, 180°[

S'il y a au moins un caractère différent de Q, R, S ou T dans la chaîne (R ou S pour les 2 premières versions de TriSph), le contexte de travail est la trigonométrie sphérique et tous les angles doivent être compris entre 0 et 180°.

- La cinquième liste dans l'ordre les symboles des unités séparés par des virgules (uniquement dans la version n°1 du fichier de configuration). Attention : les symboles sont sensibles à la casse. Dans certains cas, l'utilisation de majuscule ou minuscule correspond à des unités différentes (voir § 7.1 p. 7).
- La sixième liste dans l'ordre les valeurs initiales séparées par des virgules (uniquement dans la version n°1 du fichier de configuration).

La suite du paragraphe comporte le texte reporté dans l'encadré de l'application. L'insertion de commentaires ne peut se faire que dans cette partie. Une ligne de commentaire doit commencer par un point-virgule.

## 7 Divers

### 7.1 Unités

<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>
°	Degré. L'angle droit bout à 90°...
°°	Degré. Les résultats sont exprimés en valeurs sexagésimales sous la forme : degré°minute°seconde.
rad	Radian. L'angle droit est égal à $\pi/2$ rad
gr	Grade. L'angle droit fait 100 gr
m	Mètre
Km	Kilomètre = 1000 m. C'est aussi l'arc d'un centième de grade sur terre
M	Mille marin = 1852 m. Arc d'une minute de degré sur terre. Le mille marin est au degré ce que le kilomètre est au grade
Au	Arc utilisateur. Arc calculé avec le rayon utilisateur
Cu	Corde utilisateur. Corde calculée avec le rayon utilisateur
h	Heure. L'angle droit fait 6 h

Symbole	Unité
hv	Heure vraie. 12 h correspond à 0°, 13 h à 15°, 14 h à 30°, etc. Les valeurs inférieures à 12 h correspondent à des valeurs négatives, ainsi 11 h correspond à -15°, 10 h à -30°, etc.

## 7.2 Saisie des valeurs en degrés et heures

Les angles en degrés peuvent être saisis soit en valeur décimale (exemple : 6,23°, saisir dans ce cas 6.23), soit en valeur sexagésimale (exemple : 6° 13' 48", il faut alors séparer chaque valeur par °, c'est-à-dire saisir 6°13'48), soit...un mélange des deux, c'est-à-dire que les degrés, minutes et secondes d'arc peuvent avoir des valeurs décimales. Ainsi TriSph accepte la saisie : 6.1°6.2°96 et en déduit la valeur 6,23°.

Pour les angles en heures, le principe est le même avec le séparateur 2 points (:) au lieu de °.

## 7.3 Copier/coller des valeurs

Toutes les valeurs de TriSph, qu'elles soient configurées en entrée ou en résultat, peuvent être sélectionnées et copiées dans le presse-papier. Cette possibilité est très pratique pour reporter les valeurs des paramètres d'une occurrence de TriSph à une autre. Cette règle ne s'applique toutefois pas à Mac OS X qui ne peut copier que les valeurs configurées en entrée.

# 8 Modules complémentaires

## 8.1 Principe

Les modules sont des programmes indépendants qui effectuent des calculs complémentaires et spécifiques sur les angles de TriSph. Ainsi chaque côté ou angle de TriSph peut être commun avec un module complémentaire. La valeur concernée est alors précédée d'une case à cocher supplémentaire pour pouvoir la définir en entrée du module. Cette case à cocher permet aussi de faire réapparaître la fenêtre du module complémentaire quand celle-ci a été fermée.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> h	-0°50'33.36	°
<input checked="" type="checkbox"/> d	-16.6347	°
<input checked="" type="checkbox"/> la	49	°
<input checked="" type="checkbox"/> H	07:14:43	hv

Dans le cas ci-contre :

- h et d peuvent être calculés par des modules complémentaires ou saisis par l'utilisateur et ils sont en entrée de TriSph.
- H peut être calculé par TriSph ou saisi par l'utilisateur, il est aussi en entrée d'un module complémentaire.

Les modules répondent à la même logique que TriSph, c'est-à-dire que si un nombre suffisant de paramètres sont renseignés, quels qu'ils soient, le module calcule les autres paramètres.

L'appel du module se fait en rajoutant, dans le fichier de configuration, à la suite du mnémonique concerné, le caractère ~ suivi d'un code à 2 caractères défini par le tableau suivant :



Code	Module appelé	Angle
Ah	Éphémérides du Soleil	Angle horaire du Soleil
dc	Éphémérides du Soleil	Déclinaison du Soleil
hr	Hauteur du Soleil	Hauteur réelle du Soleil
st	Projection gnomonique	Site
Az	Projection gnomonique	Azimut

Chaque module utilise des conventions, notamment de signe, qui lui sont propres. La configuration de TriSph doit donc être compatible avec cette convention pour chaque valeur commune avec le module appelé.

## 8.2 Éphémérides du Soleil

### 8.2.1 Présentation

Ce module permet de résoudre les éphémérides du Soleil. Les deux paramètres qui peuvent être mis en commun avec TriSph sont l'angle horaire et la déclinaison. *Éphémérides du Soleil* a aussi la particularité de fournir certaines valeurs, dans la mesure où elles restent significatives, même si tous les paramètres nécessaires à leur calcul ne sont pas réunis. C'est par exemple le cas de la déclinaison du Soleil qui peut être donnée à partir uniquement d'une date.

*Éphémérides du Soleil* permet ainsi de traiter notamment les problèmes suivant :

- Convertir les heures vraies en heures légales et vice-versa
  - Trouver une date en fonction de la déclinaison du soleil
- ou des cas plus originaux :
- Trouver la longitude terrestre en fonction uniquement de la déclinaison et de l'angle horaire du Soleil
  - Déterminer une date en fonction de l'équation du temps

### 8.2.2 Convention de signe

Le module *Éphémérides du Soleil* utilise la convention de signe suivante :

- Fuseau horaire : valeur à ajouter à l'heure UTC pour obtenir l'heure légale. En France, le fuseau horaire a pour valeur 1 en hiver et 2 en été.
- Longitude (terrestre) : positive à l'ouest du méridien de Greenwich, négative à l'est.
- Angle horaire : angle compté à partir du méridien sud, positif l'après-midi, négatif le matin.
- Déclinaison : positive pour l'hémisphère boréal (nord), négative pour l'hémisphère austral.

### **8.2.3 Avertissement concernant les fuseaux horaires**

Le module *Éphémérides du Soleil* ne considère que les fuseaux horaires entiers et compris entre -12 et +12. Par ailleurs, il ne prend pas en compte leur corrélation avec la longitude, ainsi il peut fournir comme solution le fuseau 1 pour la longitude de Washington alors que cela n'a aucun sens. Enfin, aucune fonction automatique ne modifie le fuseau en fonction du changement d'heure été/hiver.

### **8.2.4 Saisie de la date et l'heure de l'ordinateur**

Une étoile (\*) dans le champ de saisie de la date ou de l'heure permet d'entrer respectivement la date et l'heure de l'ordinateur.

### **8.2.5 Éphémérides**

Le module *Éphémérides du Soleil* n'utilise qu'une seule fonction, `ephe()`, pour le calcul des éphémérides. Cette fonction donne la déclinaison du Soleil et l'équation du temps en fonction du temps universel. Tous les calculs du module font appel à `ephe()`, si bien que pour augmenter la précision des résultats il suffit uniquement de modifier ou compléter cette fonction.

La précision actuelle est de l'ordre de 1/100 de degré sur la période de 2010 à 2030, un peu plus sur la période acceptée par ce module : de 1900 à 2099. L'étape suivante, pour gagner en précision, est d'introduire la correction de nutation.

La fonction `ephe()` est reproduite ci-dessous pour montrer à quel point il est facile d'obtenir une précision suffisante avec un minimum de constantes et de calculs.

```
function ephe(jr, hr: Real; ts: Teph): Real;
const
  kl = 0.01720279; // Vitesse angulaire de la longitude moyenne en radian/jour
  jl = 43912.043;  // Date centrale de la période d'utilisation où la longitude moyenne
                                     est nulle
  km = 0.017202;   // Vitesse angulaire de l'anomalie moyenne en radian/jour
  jm = 44199.46;   // Date centrale de la période d'utilisation où l'anomalie est nulle
  e = 0.0167;      // Excentricité de l'orbite terrestre
  ob = 0.4091;     // Obliquité de l'écliptique en radian
var
  ju, m, l, s: Real;
  x, y: Real;
begin
  ju := jr + hr/360;
  m := km*(ju - jm); l := kl*(ju - jl);
  s := l + 2*e*Sin(m) + 1.25*Sqr(e)*Sin(2*m);
  case ts of
    sLs: Result := RadToDeg(ArcTan2(Sin(s), Cos(s))); // Longitude écliptique
    sDc: Result := RadToDeg(ArcSin(Sin(ob)*Sin(s)));  // Déclinaison
    sAh0: begin
      x := Cos(s); y := Cos(ob)*Sin(s);
      Result := RadToDeg(ArcTan2(Sin(l)*x - Cos(l)*y, Cos(l)*x + Sin(l)*y));
    end;
  end;
end;
```

### 8.3 Hauteur du Soleil

Param.	Valeur	Unité
Soleil	Centre	
<input type="checkbox"/> H. inst.		°
<input checked="" type="checkbox"/> Collim.	0	°
<input checked="" type="checkbox"/> H. œil	0	m

RàZ      Calculer

Ce module permet de calculer la hauteur réelle du Soleil à utiliser par TriSph en fonction de la hauteur, observée ou mesurée (paramètre *H. inst.*), soit du centre du Soleil soit de son bord inférieur ou supérieur.

Trois corrections sont prises en compte dans ce module :

- la réfraction atmosphérique qui dépend directement de la hauteur observée
- la collimation ou erreur introduite par l'instrument de mesure, généralement un sextant. La collimation (paramètre *Collim.*) est ajoutée à la valeur lue sur l'instrument
- la dépression de l'horizon : en mer l'horizon visuel, qui sert de référence à la mesure de hauteur, s'affaisse quand l'œil de l'observateur s'élève au-dessus de l'eau. Cette correction dépend du paramètre *H. œil* qui doit être exprimé en mètre.

Lorsque les paramètres *Collim.* et *H. œil* sont nuls, ce qui est le cas à l'appel du module, seule la correction de réfraction est appliquée.

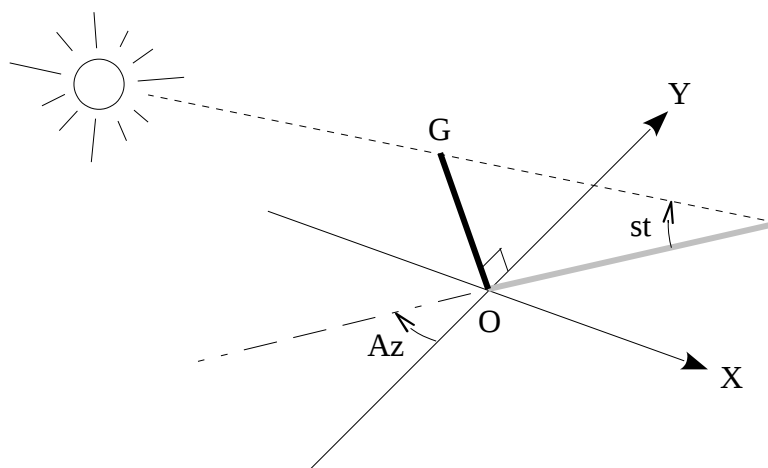
### 8.4 Projection gnomonique

#### 8.4.1 Présentation

Mathématiquement, la projection gnomonique est la projection centrale d'une sphère sur un plan, le centre de projection étant le centre de la sphère. Les gnomonistes utilisent couramment cette projection quand ils tracent, sur un cadran plan, des lignes qui seront parcourues par l'ombre d'un œilleton ou l'extrémité d'un gnomon, ces derniers accessoires matérialisent en fait le centre de projection. Le module *Projection gnomonique* s'inscrit dans cette application pratique : il fait correspondre les coordonnées de la sphère, site (st) et azimuth (Az), avec les coordonnées cartésiennes sur le plan, X et Y, conformément au graphique ci-dessous. Le paramètre *H. Gnom.* correspond à la longueur OG.

Param.	Valeur
<input type="checkbox"/> H. Gnom.	
<input type="checkbox"/> X	
<input type="checkbox"/> Y	

RàZ      Calculer



### 8.4.2 Convention de signe

Le module *Projection gnomonique* ne considère que les angles sites strictement positifs, c'est-à-dire au-dessus du plan de projection. L'azimut est compté positif du côté des X négatifs, comme sur la figure ci-dessus, et négatif du côté des X positifs.

L'unité des paramètres *H. Gnom.*, *X* et *Y* est au choix de l'utilisateur, elle doit uniquement être la même pour tous ces paramètres.

## 9 Résolutions de problèmes classiques

Ce chapitre a pour but de montrer la souplesse et l'intérêt didactique de TriSph dans la résolution de problèmes variés faisant intervenir la position du Soleil.

### 9.1 Heure de passage au méridien du Soleil

Cette heure est utilisée par les gnomonistes pour déterminer la direction nord/sud avec une grande précision, bien supérieure à l'indication d'une boussole même si elle est corrigée de la déclinaison magnétique. Seul le module *Éphémérides du Soleil* est nécessaire pour obtenir cette heure. On peut l'activer avec, par exemple, la configuration *Système écliptique/équatorial*.

Mettre la valeur de l'angle horaire à 0 puis renseigner :

- le jour
- le fuseau horaire en vigueur
- la longitude du lieu

L'heure cherchée est donnée en pressant le bouton *Calculer*.

Param.	Valeur	Unité
Année	2013	
<input checked="" type="checkbox"/> Jour	8/11	8 nov.
<input type="checkbox"/> Heure	12:35:45	12:35:45
<input checked="" type="checkbox"/> Fuseau	1	
<input checked="" type="checkbox"/> Longit.	-2	°
<input checked="" type="checkbox"/> Ang. hor.	0	°
RàZ	Calculer	

## 9.2 Point astronomique au Soleil

La connaissance de la hauteur du Soleil à un instant donné permet de définir, sur la surface terrestre, un cercle sur lequel l'observateur est situé. En ne considérant qu'une toute petite partie locale de ce cercle, on peut la confondre avec une droite qui, dans la méthode classique de détermination du point en mer, s'appelle *droite de hauteur*. Du reste, cette méthode est un savant dosage de calcul et de tracé graphique pour définir cette droite sur une carte avec la particularité d'initier la procédure par une position approchée (pour plus de détails, voir ce site qui est particulièrement intéressant : <http://navastro.free.fr/chrono.htm>, la partie historique qui se trouve ici : [http://navastro.free.fr/histoire\\_dh.htm](http://navastro.free.fr/histoire_dh.htm) est aussi digne d'intérêt). L'utilisation de TriSph nous permettra cependant de résoudre ce problème d'une façon différente qui, en principe, permettra de calculer tous les points du cercle. Toutefois, en ne s'intéressant qu'à 2 points proches de la position estimée, on pourra tracer la droite de hauteur.

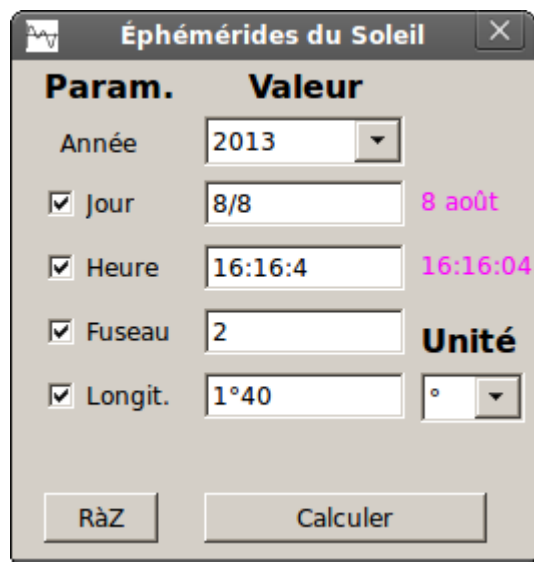
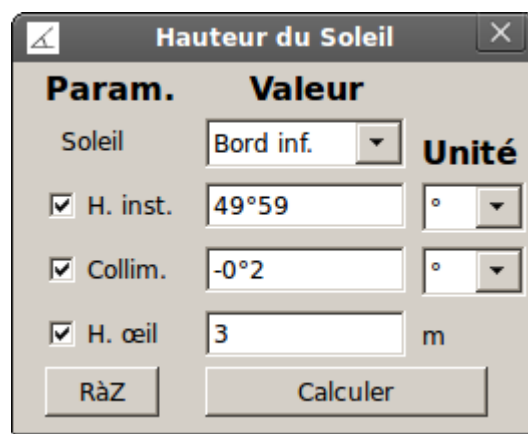
La configuration utilisée est *Triangle de position*.

### 9.2.1 Hauteur réelle du Soleil

Sélectionner *Bord inf.* et renseigner le module *Hauteur du Soleil* avec :

- La hauteur mesurée
- La collimation du sextant
- La hauteur au-dessus de l'eau à laquelle est effectuée la mesure

puis presser le bouton *Calculer*.



### 9.2.2 Calcul de l'angle horaire de Soleil

Dans le module *Éphémérides du Soleil*, renseigner :

- le jour
- l'heure de la mesure
- le fuseau horaire dont l'heure est affectée
- une longitude proche du point où l'on est supposé être

Presser ensuite le bouton *Calculer* du module.

### 9.2.3 Calcul de la latitude

Dans la fenêtre principale de TriSph, sélectionner en entrée les résultats obtenus et presser le bouton *Calculer*. Deux latitudes sont proposées, elles correspondent à l'intersection du cercle et du méridien dont on a renseigné la longitude. Choisir la latitude qui correspond au point estimé. Avec la longitude on obtient un premier point sur la carte. En introduisant une longitude différente et en reprenant les calculs, on obtient une nouvelle latitude ce qui donne un second point. On peut alors

tracer la droite de hauteur qui passe par ces 2 points.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> h	50.1517	°
<input checked="" type="checkbox"/> d	15.9828	°
<input type="checkbox"/> la	46°26'5.04	°
<input checked="" type="checkbox"/> H	14:03:47	h
<input type="checkbox"/> A	50.49	°
<input type="checkbox"/>	33.5794	°

### 9.3 Heures de coucher et lever du Soleil

Pour avoir une valeur précise (et tout à fait théorique car en pratique deux paramètres fondamentaux ne sont pas contrôlés : la hauteur de l'horizon et la réfraction atmosphérique pour les hauteurs faibles, cette dernière est fortement liée aux conditions météorologiques), il faut procéder par itération. On définira, dans un premier temps, la hauteur réelle du Soleil à l'instant *coucher* ou *lever*. Avec la date, on déterminera ensuite une valeur approchée de la déclinaison, ce qui permettra alors de définir une heure approchée pour ensuite affiner la déclinaison et ainsi de suite. Ces différentes étapes sont détaillées ci-dessous, la configuration utilisée est *Triangle de position*.

#### 9.3.1 Hauteur réelle du Soleil

On définit généralement les instants lever et coucher du Soleil comme l'apparition et la disparition de son bord supérieur à l'horizon, ce dernier étant considéré confondu avec le plan horizontal.

Pour prendre en compte cette condition (l'utilisateur peut toutefois définir sa propre condition) et calculer la hauteur réelle du Soleil il faut, dans le module *Hauteur du Soleil*, sélectionner *Bord sup.* et mettre toutes les valeurs à 0. Presser ensuite le bouton *Calculer* du module.

Param.	Valeur	Unité
Soleil	Bord sup.	
<input checked="" type="checkbox"/> H. inst.	0	°
<input checked="" type="checkbox"/> Collim.	0	°
<input checked="" type="checkbox"/> H. œil	0	m

Param.	Valeur
Année	2013
<input checked="" type="checkbox"/> Jour	8/11 8 nov.
<input type="checkbox"/> Heure	
<input checked="" type="checkbox"/> Fuseau	1
<input checked="" type="checkbox"/> Longit.	-2

Unité: °

RàZ Calculer

### 9.3.2 Valeur approchée de la déclinaison

Dans le module *Éphémérides du Soleil*, renseigner :

- le jour
- le fuseau horaire en vigueur
- la longitude du lieu

et presser le bouton *Calculer* du module.

### 9.3.3 Valeur approchée de l'heure

Dans la fenêtre principale de TriSph, renseigner la latitude du lieu et cocher les résultats obtenus précédemment en entrée de TriSph, puis presser le bouton *Calculer*. Choisir la valeur de H (angle horaire) en fonction l'instant à calculer : lever ou coucher. Sélectionner ensuite le résultat de l'angle horaire en entrée du module *Éphémérides du Soleil* et presser le bouton *Calculer* de ce module pour obtenir l'heure approchée.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> h	-0.8426	°
<input checked="" type="checkbox"/> d	-16.6347	°
<input checked="" type="checkbox"/> la	49	°
<input checked="" type="checkbox"/> H	07:14:43	hv
<input type="checkbox"/> A	-65.1986	°
<input type="checkbox"/>	-38.4303	°

Config. RàZ Calculer

### 9.3.4 Itération

Presser alternativement les boutons *Calculer* de la fenêtre principale de TriSph et du module *Éphémérides du Soleil*. Au bout de 2 à 3 cycles les valeurs ne changent plus ce qui signifie que le résultat définitif est atteint. L'heure du lever/coucher se trouve dans le module *Éphémérides du Soleil*.

## 9.4 Inclinaison/déclinaison d'une surface plane

L'inclinaison et la déclinaison gnomonique d'une surface plane sont les 2 paramètres fondamentaux qui déterminent son orientation et qui sont utilisés pour calculer le cadran solaire qui sera installé dessus. De nombreuses méthodes ont été proposées pour mesurer ces paramètres indépendamment, la trigonométrie sphérique montre toutefois qu'on peut les obtenir en même temps si on peut déterminer une même direction exprimée dans le repère local (site/azimut) et dans le repère de la surface plane (« hauteur » au dessus de la surface/direction par rapport à la ligne de plus grande pente).

La direction qui vient naturellement à l'esprit du gnomoniste est celle du Soleil. D'une part, il sait la calculer dans le repère local et, d'autre part, il utilise couramment un outillage dénommé *planchette* qui lui permet de mesurer la direction du Soleil dans le repère d'un plan en relevant la position de l'ombre d'un gnomon.



*Utilisation de la planchette :*

- *L'axe des X doit être horizontal, la ligne œillette-point O doit être perpendiculaire à la planchette.*
- *Relever la position de l'ombre de l'œillette dans le repère OXY et l'heure correspondante.*



### 9.4.1 Direction du Soleil dans le repère local

Sélectionner la configuration *Triangle de position*. Dans le module *Éphémérides du Soleil*, renseigner tous les champs et appuyer sur le bouton *Calculer*.

Param.	Valeur	Unité
Année	2003	
<input checked="" type="checkbox"/> Jour	21/8	21 août
<input checked="" type="checkbox"/> Heure	14:18	14:18:00
<input checked="" type="checkbox"/> Fuseau	2	
<input checked="" type="checkbox"/> Longit.	-2°6'20'	°

RàZ Calculer

Dans la fenêtre principale, renseigner la latitude et sélectionner la déclinaison et l'angle horaire en entrée. Presser alors le bouton *Calculer*, on obtient ainsi l'azimut et la hauteur réelle du Soleil. Pour obtenir la hauteur apparente, sélectionner la hauteur en entrée du module *Hauteur du Soleil*.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> h	52.7858	°
<input checked="" type="checkbox"/> d	12.1531	°
<input checked="" type="checkbox"/> la	49°3'20'	°
<input checked="" type="checkbox"/> H	12:23:11	h
<input type="checkbox"/> A	9.40001	°
<input type="checkbox"/>	6.28567	°

Config. RàZ Calculer

Dans ce module, si besoin sélectionner le centre du Soleil et mettre à zéro la collimation et la hauteur de l'œil. Appuyer ensuite sur le bouton *Calculer* et copier le résultat obtenu dans le presse-papier.

#### 9.4.2 Direction du Soleil dans le repère cadran

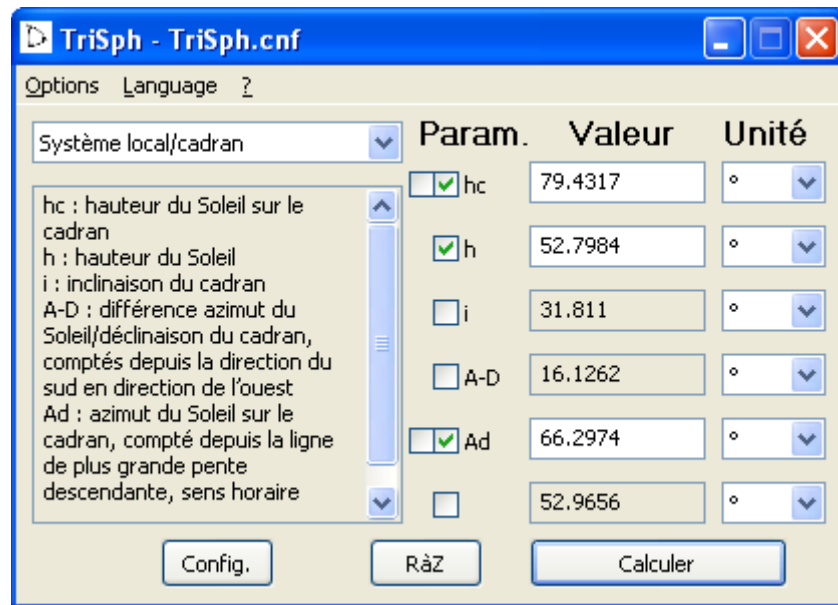
Ouvrir une nouvelle occurrence de TriSph et sélectionner la configuration *Système local/cadran*. Dans la fenêtre principale, activer la hauteur du Soleil en entrée et coller la valeur calculée précédemment.

Renseigner ensuite les valeurs de la planchette dans le module *Projection gnomonique* et presser le bouton *Calculer* de ce module.

Dans la fenêtre principale, sélectionner en entrée les résultats obtenus à l'étape précédente (hc et Ad) et appuyer sur le bouton *Calculer*. TriSph fournit alors directement l'inclinaison de la surface plane toutefois, dans certains cas, 2 valeurs d'inclinaison peuvent être proposées : choisir alors la valeur appropriée. La déclinaison s'obtient en effectuant la différence entre l'azimut du Soleil A calculé au chapitre précédent et le résultat A-D (D étant la déclinaison du mur, on a  $D = A - (A - D)$ ). Dans cet exemple nous obtenons :

$$D = 9,40001 - 16,1262 = -6,72619$$

Soit une déclinaison de  $6,73^\circ$  à l'est.



## 9.5 Prière islamique de l'Asr

D'après l'école shaféite, le début de l'Asr est le moment où l'ombre d'une personne est égale à la longueur de son ombre à la culmination du Soleil plus sa propre hauteur. En inscrivant ce précepte dans un contexte purement astronomique, dans lequel l'ombre est portée sur un plan parfaitement horizontal, on peut calculer cet instant avec une grande précision. Les différentes étapes qui doivent s'enchaîner sont les suivantes :

- Calcul de la hauteur réelle du Soleil à sa culmination
- Calcul de sa hauteur apparente en prenant en compte la réfraction
- Calcul de la longueur de l'ombre pour une hauteur unité
- Calcul de la hauteur apparente du Soleil quand la longueur de l'ombre augmente d'une unité
- Calcul de la hauteur réelle du Soleil au début de l'Asr
- Calcul de l'heure correspondante. On utilisera la méthode itérative décrite pour le calcul du lever/coucher du Soleil (voir § 9.3 p. 14)

### 9.5.1 Hauteurs du Soleil à la culmination

Sélectionner la configuration *Triangle de position* et, dans le module *Éphémérides du Soleil*, renseigner :

- la date
- le fuseau horaire
- la longitude du lieu

Param.	Valeur
Année	2013
<input checked="" type="checkbox"/> Jour	11/12 11 déc.
<input type="checkbox"/> Heure	
<input checked="" type="checkbox"/> Fuseau	1
<input checked="" type="checkbox"/> Longit.	-2°20'23

Unité: °

RàZ Calculer

Dans la fenêtre principale, sélectionner l'angle horaire en entrée à la fois de TriSph et du module *Éphémérides du Soleil* puis lui donner une valeur légèrement supérieure à 12 hv (TriSph ne peut accepter 12 hv ou 0 hv qui ne sont pas dans le domaine de définition de la trigonométrie sphérique). Appuyer sur le bouton *Calculer* du module *Éphémérides du Soleil* qui donne alors la déclinaison du Soleil. Sélectionner cette valeur en entrée de TriSph et renseigner la latitude. Presser alors le bouton *Calculer* pour obtenir la hauteur réelle du Soleil et sélectionner cette valeur en entrée du module *Hauteur du Soleil*.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> h	18.1191	°
<input type="checkbox"/> d	-23.0317	°
<input checked="" type="checkbox"/> la	48°50'57	°
<input checked="" type="checkbox"/> H	12:0:0.1	hv
<input type="checkbox"/> A	0.0004	°
<input type="checkbox"/>	0.00029	°

Config. RàZ Calculer

Param.	Valeur	Unité
Soleil	Centre	
<input type="checkbox"/> H. inst.	18.1689	°
<input checked="" type="checkbox"/> Collim.	0	°
<input checked="" type="checkbox"/> H. œil	0	m

RàZ      Calculer

Dans ce module, si besoin sélectionner le centre du Soleil et mettre à 0 les paramètres *Collim.* et *H. œil*. Appuyer sur le bouton *Calculer* pour obtenir la hauteur apparente du Soleil. Sélectionner et copier le résultat obtenu dans le presse-papier.

### 9.5.2 Longueur de l'ombre à la culmination

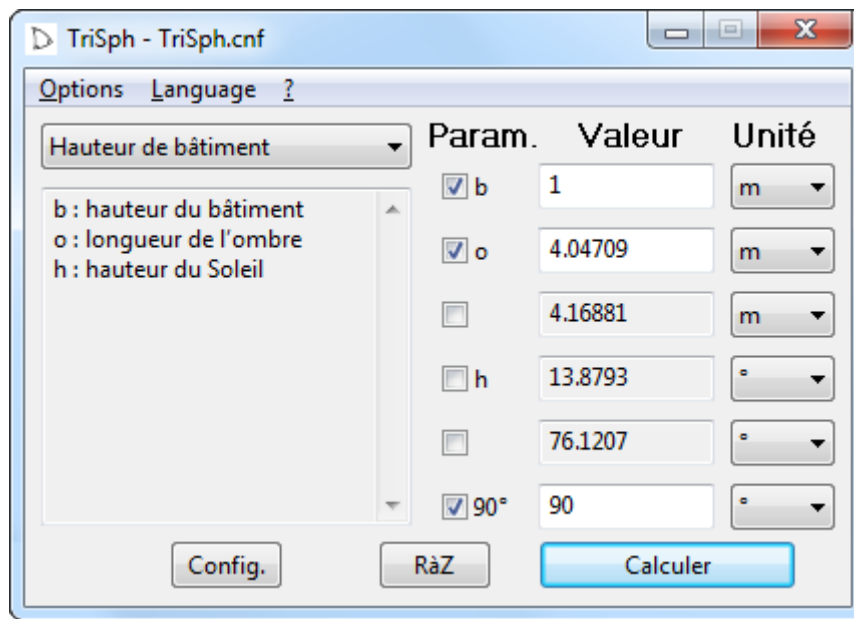
Lancer une seconde occurrence de TriSph et sélectionner la configuration *Hauteur de bâtiment*. Coller la hauteur apparente du Soleil et entrer la valeur 1 pour la hauteur du bâtiment. Appuyer sur le bouton *Calculer* pour obtenir la longueur de l'ombre à la culmination du Soleil.

Param.	Valeur	Unité
<input checked="" type="checkbox"/> b	1	m
<input type="checkbox"/> o	3.04709	m
<input type="checkbox"/>	3.20699	m
<input checked="" type="checkbox"/> h	18.1689	°
<input type="checkbox"/>	71.8311	°
<input checked="" type="checkbox"/> 90°	90	°

Config.      RàZ      Calculer

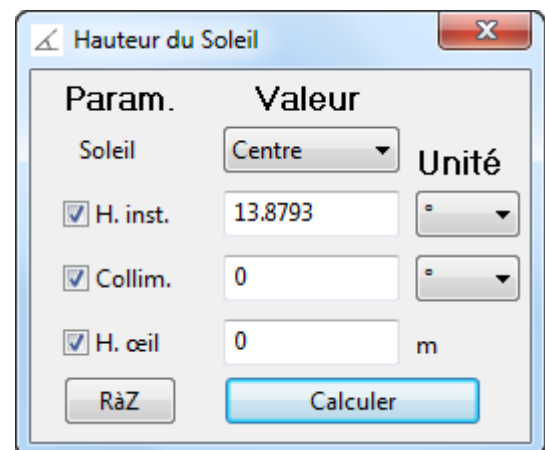
### 9.5.3 Hauteur apparente du Soleil au début de l'Asr

Sélectionner la longueur de l'ombre en entrée et l'augmenter d'une unité. Passer la hauteur du Soleil en résultat et lancer le calcul. On obtient la hauteur apparente du Soleil au début de l'Ars, sélectionner et copier cette valeur dans le presse-papier.



#### 9.5.4 Heure du début de l'Asr

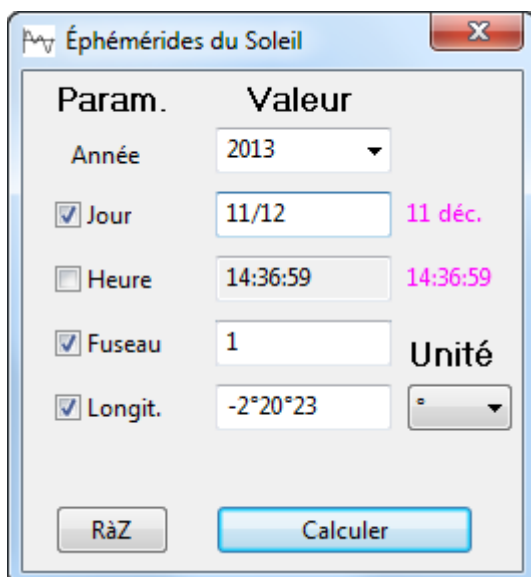
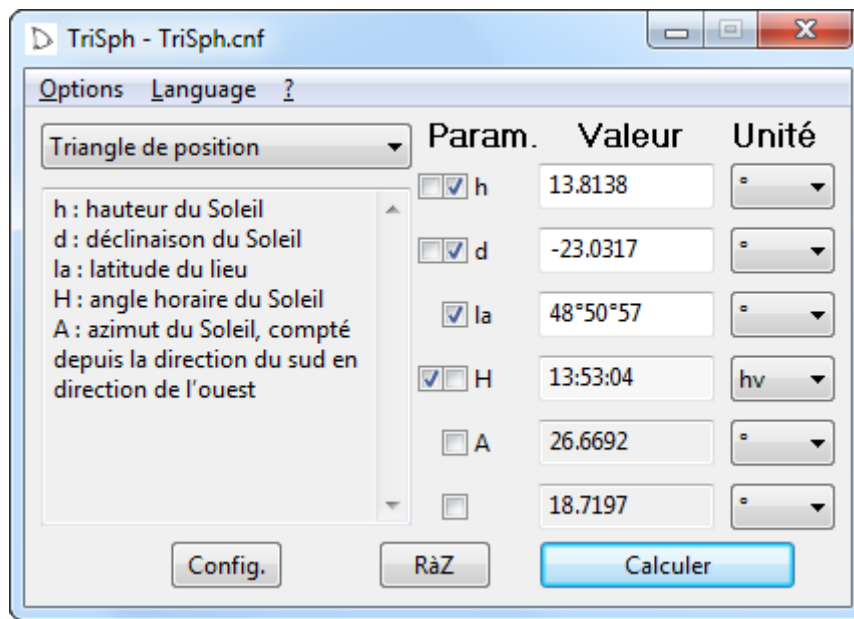
Dans la module *Hauteur du Soleil* déjà ouvert, sélectionner le paramètre *H. inst.* en entrée et coller la hauteur apparente du Soleil



Dans la fenêtre principale, modifier l'affectation des paramètres en sélectionnant :

- h en résultat du module *Hauteur du Soleil* et en entrée de TriSph
- H en résultat de TriSph et en entrée du module *Éphémérides du Soleil*

Appuyer ensuite sur le bouton *Calculer* du module *Hauteur du Soleil* pour obtenir sa hauteur réelle. Presser ensuite le bouton *Calculer* de la fenêtre principale et choisir l'angle horaire de l'après-midi.



Presser alors alternativement les boutons *Calculer* du module *Éphémérides du Soleil* et de la fenêtre principale jusqu'à ce que les valeurs ne changent plus. On obtient alors l'heure du début de l'Asr.

## 10 Historique des versions

Version du 14 novembre 2014 :

- Gestion des options plus simple par le menu principal
- Mise en paquet de l'application pour Mac
- Amélioration de la lecture des unités du fichier de configuration
- Fichier MaConf.cnf pour se faire la main

Version du 21 août 2014 :

- Version multilingue
- Gestion de la liste des unités depuis le fichier .lng
- Nouvelles unités impériales : yd et mi
- Correction de bogues mineurs

- Erreur dans les calculs de correction de hauteur
- Saisie de rayons utilisateur strictement positif
- Erreur d'unité pour certains messages de ResEph

Version du 11 décembre 2013 :

- Ajout des modules *Éphémérides du Soleil*, *Hauteur du Soleil* et *Projection gnomonique*
- Résolution des triangles plans
- Modification du fichier de configuration pour exploiter les précédentes nouveautés
- Utilisation d'un fichier d'initialisation .ini
- Mise à jour de la documentation avec description détaillée de résolutions complexes
- Boîte de sélection pour solution multiple plus conviviale
- Quatre nouvelles unités
- Introduction du rayon utilisateur pour les unités Au et Cu
- Compilation pour GNU/Linux et OSX
- Correction de bogues mineurs
  - Mauvaise interprétation des saisies sexagésimales entre 0 et -1°
  - Chemin de recherche du fichier de configuration sous GNU/Linux

Version du 13 janvier 2013 :

- Différentes unités sélectionnables
- Unités et valeurs initiales configurables
- Gestion des angles de 180 à 360°
- Gestion correcte des valeurs aux limites
- Affichage des valeurs arrondies
- Deux nouveaux triangles dans le fichier de configuration
- Correction de bogues mineurs
  - Format sexagésimal
  - Sélection des triangles non éditables
  - Installation Windows permettant l'édition du fichier de configuration

Version du 10 novembre 2012 :

- Compilé sous Lazarus
- Adaptations pour fonctionner sous GNU/Linux
- Passage de ce fichier au format pdf
- Simplification de la résolution a, b et A
- Corrections mineures

Version du 8 octobre 2012 :

- Version initiale