

Regards croisés sur

# L'astronomie ancienne





# Table des matières

## ASTRONOMIE ANCIENNE

<b>DECOUVERTES</b> (trois voyages emblématiques) .....	<b>6</b>
<b>HAUTEUR DES ASTRES</b> (avec la polaire).....	<b>8</b>
La précession des équinoxes .....	10
<b>TRANSMISSIONS DE SAVOIRS</b> (dans la péninsule ibérique).....	<b>11</b>
<b>HAUTEUR DES ASTRES</b> (avec le Soleil) .....	<b>13</b>
Détermination du midi solaire .....	15
Démonstration de la formule avec la trigonométrie sphérique.....	17
<b>REFERENTIELS</b> (question de point de vue) .....	<b>19</b>
<b>L'ASTRONOMIE EN TERRES MUSULMANES</b> .....	<b>21</b>

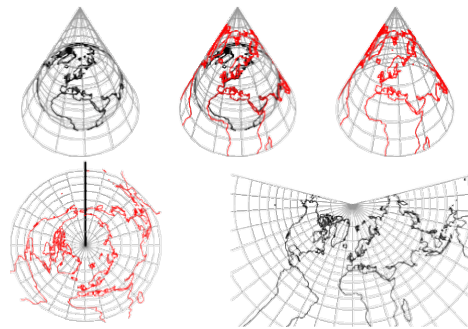
## L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE

<b>LA PROJECTION STEREOGRAPHIQUE</b> .....	<b>23</b>
<b>PRESENTATION DE L'INSTRUMENT</b> .....	<b>24</b>
<b>PROBLEMES RESOLUS</b> .....	<b>25</b>
<b>APPLICATIONS EN MATHEMATIQUES</b> .....	<b>27</b>
<b>RESSOURCES</b> .....	<b>28</b>
<b>APPLICATION PEDAGOGIQUE</b> .....	<b>29</b>





La carte du monde antique selon Ptolémée



### Planisphère d'Henricus Martellus (1489)

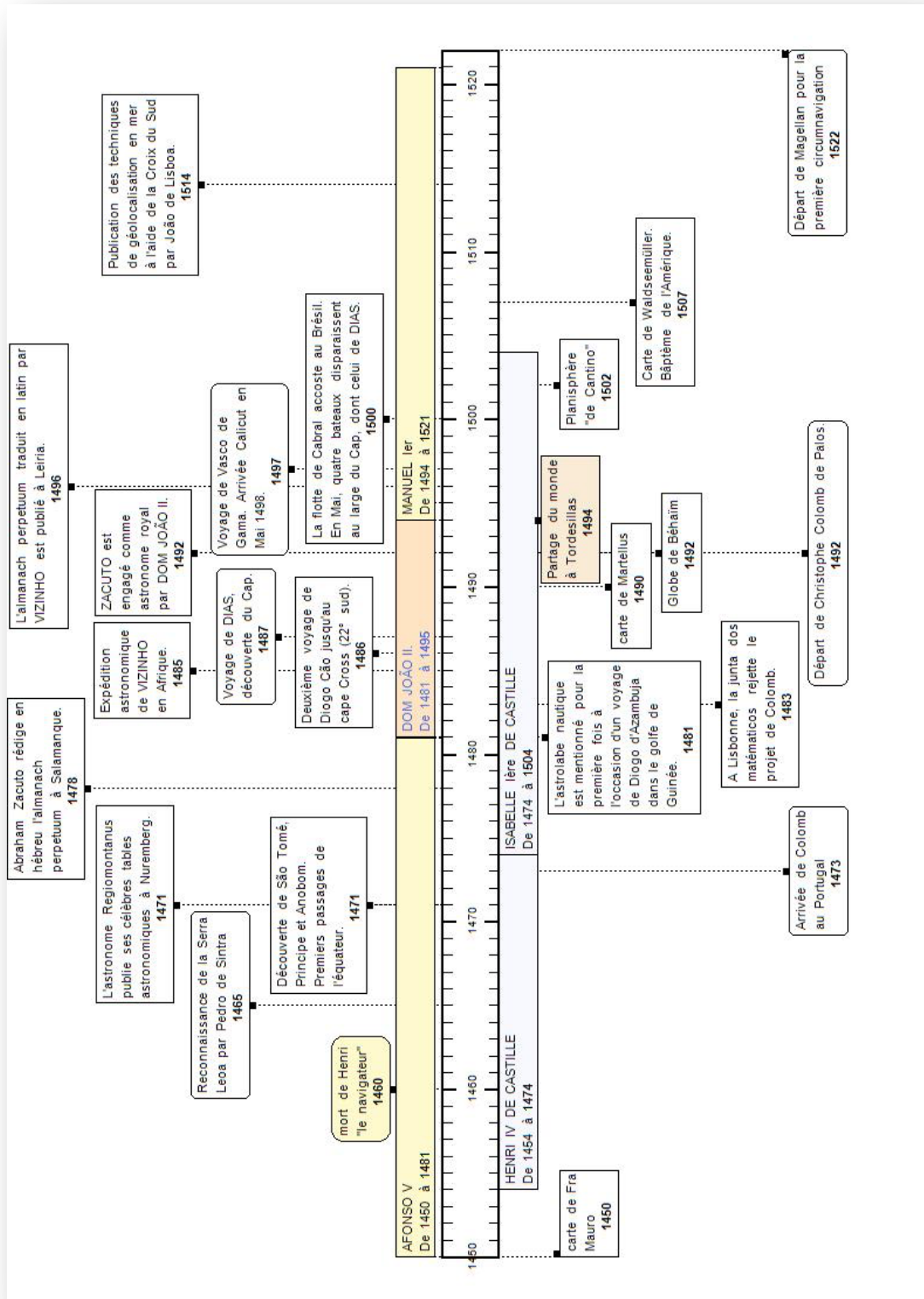
La carte dressée par Bartolomeu Colomb (le frère de Christophe) avec Dias sur le chemin retour du Cap de Bonne Espérance ne nous est jamais parvenue. Frappée du sceau du secret, elle fut certainement cachée voire détruite à Lisbonne.

Le cap apparaît pour la première fois après sa découverte sur cette carte de Henricus Martellus, géographe allemand qui la réalise à Florence vers 1489, juste après le retour de Dias. L'Afrique orientale est encore imprécise mais les progrès seront rapides après le voyage de Vasco da Gama. Il signale la mort de Diogo Cão au Cape Cross.

Elle est aujourd'hui conservée dans la British Library de Londres.

# Découvertes

## Trois voyages emblématiques



Chronologies des découvertes et des innovations scientifiques en Espagne et au Portugal (1460-1520)

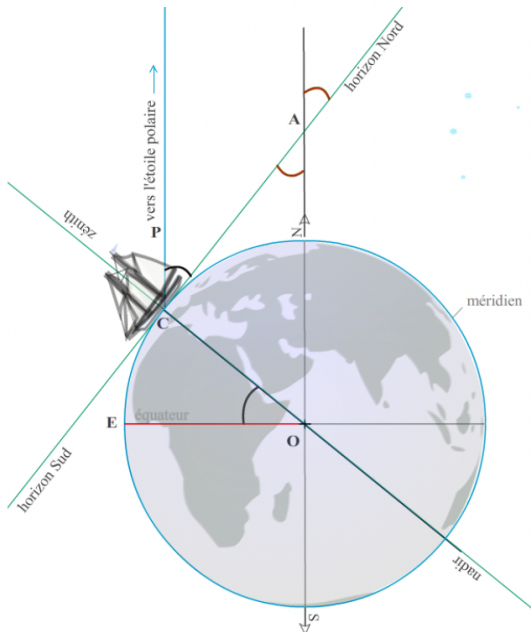
Réalisée sur <http://www.mytoolspace.net/>



# Hauteur des astres

Avec l'étoile polaire

**Résolution avec des outils de cinquième :** angles alternes internes, sommes des angles dans un triangle.



$\widehat{EOC}$  : latitude,

$\widehat{ACP}$  : angle mesuré par le navigateur

Les droites (CP) et (OA) sont parallèles.

Le triangle EOA est rectangle en O :  $\widehat{EOA} = 90^\circ$  et  $\widehat{COA} = 90^\circ - \widehat{EOC}$  (1)

Le triangle OCA est rectangle en C :  $\widehat{OCA} = 90^\circ$

Dans ce triangle :  $\widehat{OCA} + \widehat{COA} + \widehat{CAO} = 180^\circ$

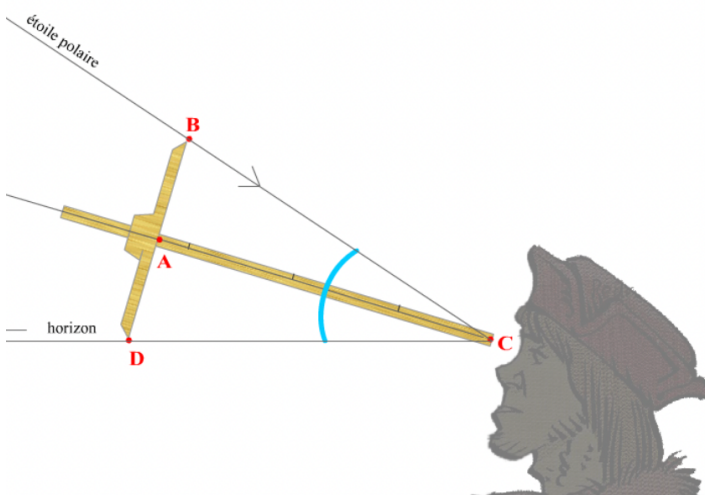
Donc :  $90^\circ + \widehat{COA} + \widehat{CAO} = 180^\circ$  et :  $\widehat{COA} + \widehat{CAO} = 90^\circ$  (2)

En combinant (1) et (2), on obtient:  $\widehat{EOC} = \widehat{CAO}$  (la latitude).

Or les angles  $\widehat{CAO}$  et  $\widehat{ACP}$  sont alternes internes et donc égaux.

On en conclut que :  $\widehat{EOC} = \widehat{ACP}$ , la latitude est bien l'angle entre la polaire et l'horizon.

## La balestilha



Le marteau a pour longueur :  $BD = 0,50$  m.

Sur l'animation, on constate qu'il se trouve à  $CA = 0,84$  m du point C.

Le triangle BAC est rectangle en A.  
On peut donc écrire :

$$\tan(\widehat{BCA}) = \frac{BA}{AC}, \quad \tan(\widehat{BCA}) = \frac{0,50}{2 \cdot 0,84}$$

Le calcul donne :  $\widehat{BCD} = \widehat{BCA} \cdot 2 = 33^\circ$  (arrondi au degré).

Bartolomeu Dias se trouve donc au large de l'île de Madère.





# La précession des équinoxes

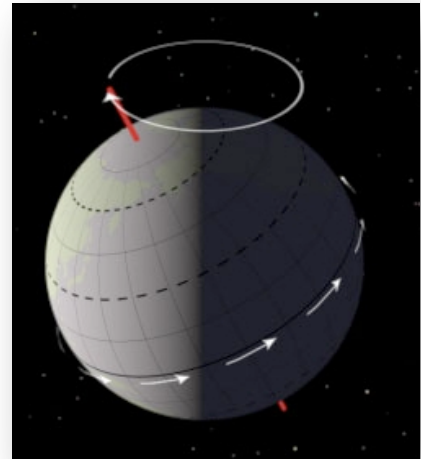
La polaire montre-t-elle exactement le nord ?

## La Terre comme une toupie :

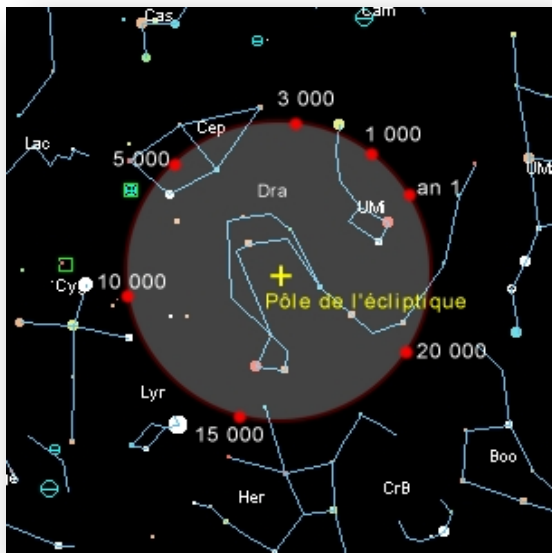
Au II<sup>e</sup> siècle avant J.-C. l'astronome **Hipparque** fait une découverte étonnante : l'axe de rotation terrestre décrit un lent mouvement *de précession* et dessine un cône dans l'espace, comme une toupie. La période de ce mouvement est de **26 000 ans**.

Dans son vocabulaire géocentrique c'est la sphère des étoiles qui est animée de ce mouvement.

Première conséquence : l'axe sud/nord de la Terre ne pointe pas toujours dans la même direction.



## Un ciel qui change :



Le cercle montre la variation de la direction du pôle nord céleste due au mouvement de précession.

On voit sur ce schéma que notre étoile polaire (entre 1000 et 3000 sur le cercle) ne nous montre **pas exactement le nord**.

Au **temps des découvertes**, la polaire était éloignée de 3,5° du pôle nord céleste. Il fallait donc ajouter des corrections aux mesures (*Regimento da Estrela do norte - Pedro Nunes*).

Actuellement cet angle n'est que de 0,7° pour atteindre le minimum de 0,4° en 2100. En l'an 14600, **Véga de la Lyre** sera notre nouvelle étoile polaire...

## Une influence sur le climat :

La précession a un effet sur **le climat** sur de très grandes échelles de temps. **Milutin Milankovitch** (1879-1958) a montré au début du siècle dernier l'influence des paramètres orbitaux de la Terre sur les changements climatiques.

# Transmissions de savoirs

Dans la péninsule ibérique

× Vers la numération de position. Les chiffres « arabes »

DATES	SOURCES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
976	ESPAGNE. Bibl. San Lorenzo del Escorial. Codex <i>Vigilanus</i> . Ms. lat. d. I.2, f° 9v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	
992	ESPAGNE. Bibl. San Lorenzo del Escorial. Codex <i>Aemilianensis</i> . Ms. lat. d. I.1, f° 9v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	
Avant 1030	LIMOGES. BN, Paris. Ms. lat. 7 231, f° 85v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
1077	Bibl. Vaticane. Ms. lat. 3 101, f° 53v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	Bernelinus <i>Abacus</i> . Bibl. de l'École de Médecine de Montpellier. Ms. 491, f° 79.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
1049 ?	Erlangen. Ms. lat. 288, f° 4.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	Bibl. de l'École de Médecine de Montpellier. Ms. 491, f° 79.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	Gerbertus. <i>Raciones numerorum Abaci</i> . FLEURY. BN, Paris. Ms. lat. 8 663, f° 49v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s. ? XII <sup>e</sup> s. ?	Boecius ( <i>sic</i> !). <i>Géométrie</i> LORRAINE. BN, Paris. Ms. lat. 7 377, f° 25v.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	Boecius ( <i>sic</i> !). <i>Géométrie</i> . British Museum. Ms. Harl. 3 595, f° 62.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	REGENSBURG (Allemagne). Bayerische Staatsbibl. Munich. Clm 12 567, f° 8.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
XI <sup>e</sup> s.	Boecius ( <i>sic</i> !). <i>Géométrie</i> . Chartres, Ms. 498, f° 160.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈
Début XII <sup>e</sup> s.	Bernelinus. <i>Abacus</i> . British Museum. Add. Ms. 17 808, f° 57.	I	𐤀	𐤁	𐤂	𐤃	𐤄	𐤅	𐤆	𐤇	𐤈

Evolution de la graphie des chiffres empruntés aux auteurs musulmans au Moyen Âge. Le zéro (*sifr*) peine à s'imposer (document : Wikimédia).

European (descended from the West Arabic)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Arabic-Indic	•	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
Eastern Arabic-Indic (Persian and Urdu)	•	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
Devanagari (Hindi)	०	१	२	३	४	५	६	७	८	९
Tamil		௧	௨	௩	௪	௫	௬	௭	௮	௯

Tracés actuels des « chiffres arabes » par rapport aux chiffres que certains pays arabes utilisent aujourd'hui (chiffres hindis) et les chiffres tels que tracés dans plusieurs écritures indiennes.

Dia declina		
Dō	S	m.
1	3	41
2	3	15
3	2	54
4	2	31
5	2	7
6	1	44
7	1	20
8	0	56
9	0	32
10	0	9
11	1	15
12	0	39
13	1	3
14	1	27
15	1	51
16	2	15
17	2	35
18	3	1
19	3	25
20	3	47
21	4	10
22	4	34
23	4	56
24	5	20
25	5	43
26	6	5

En 1571

Date rectifiée par le concile de Nicée en 325

Date fixée par Sosigène en ~ 45

Atlas de Fernão Vaz Dourado (1571)

# Hauteur des astres

Avec le Soleil

× Résolution de l'activité avec des outils de seconde : trigonométrie.

$$\phi = (90-h)+\delta$$

**Bartolomeu Dias** mesure le 12 novembre 1488 la hauteur du Soleil. La mesure avec l'astrolabe nautique donne :

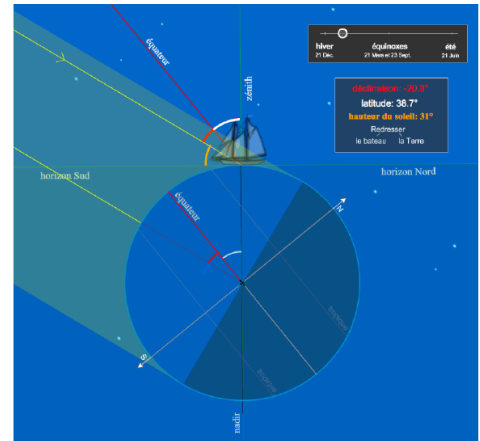
$h = 31^\circ$  (voir animation).

La table du règlement d'Evora donne une déclinaison de  $-20^\circ 17'$  (voir ci-dessous) soit :

$$\delta = -(20 + \frac{17}{60}) = -20,3^\circ \text{ (arrondi au dixième).}$$

On a donc :  $\phi = 90 - 31 - 20,3 = 38,7^\circ$  (nord).

Il se trouve bien à la **latitude de Lisbonne** et peut filer droit vers l'est pour entrer dans le Tage.



Anno do bisesto.

Dias do mes	Julho		Agosto		Setêbro		Outubro		Nouêbro		Dezêbro	
	Lugar do sol	Declinaçã	Lugar do sol	Declinaçã	Lugar do sol	Declinaçã	Lugar do sol	Declinaçã	Lugar do sol	Declinaçã	Lugar do sol	Declinaçã
	gr.	m. <sup>t</sup>	gr.	m. <sup>t</sup>	gr.	m. <sup>t</sup>	gr.	m. <sup>t</sup>	gr.	m. <sup>t</sup>	gr.	m. <sup>t</sup>
1	18	15	22	16	17	52	15	28	17	54	4	42
2	19	12	22	8	18	50	15	12	18	52	4	18
3	20	10	22	0	19	47	14	52	19	50	3	55
4	21	7	21	51	20	45	14	33	20	48	3	32
5	22	5	21	42	21	43	14	15	21	49	3	10
6	23	3	21	32	22	40	13	56	22	47	2	46
7	23	59	21	23	23	37	13	38	23	46	2	24
8	24	56	21	12	24	35	13	17	24	45	2	0
9	25	53	21	1	25	33	12	58	25	44	1	36
10	26	50	20	52	26	30	12	39	26	43	1	12
11	27	47	20	45	27	28	12	20	27	42	0	49
12	28	44	10 <sup>1)</sup>	27	28	26	12	0	28	41	0	26
13	29	41	20	15	29	24	11	40	29	40	0	2
14	—	38	20	4	—	22	11	18	—	39	0	22
15	1	35	19	51	1	2	10	57	1	38	0	46
16	2	33	19	37	2	20	10	36	2	37	1	10
17	3	30	19	25	3	18	10	15	3	37	1	34
18	4	28	19	11	4	16	9	54	4	36	1	57
19	5	25	18	57	5	14	9	33	5	35	2	21
20	6	23	18	42	6	12	9	11	6	35	2	45
21	7	21	18	27	7	10	8	50	7	34	3	8
22	8	18	18	13	8	9	8	27	8	33	3	30
23	9	17	17	57	9	7	8	5	9	32	3	54
24	10	14	17	40	10	5	7	43	10	31	4	18
25	11	12	17	25	11	4	7	22	11	30	4	42
26	12	9	17	10	12	2	7	0	12	29	5	5
27	13	6	16	54	13	1	6	37	13	28	5	28
28	14	3	16	36	33 <sup>2)</sup>	59	6	14	14	28	5	52
29	15	0	16	19	14	58	5	51	15	28	6	15
30	15	57	16	2	15	56	5	28	16	28	6	37
31	16	55	15	45	16	55	5	4	—	—	—	—

(<sup>1)</sup> 10 doit être 20. (<sup>2)</sup> 33 doit être 13<sup>o</sup> (<sup>3)</sup> 1 doit être 17. (<sup>4)</sup> 7 doit être 27. (<sup>5)</sup> 12 doit être 2. (<sup>6)</sup> Le numéro manque. (<sup>7)</sup> 26 doit être 16.

La table du règlement d'Evora (Bensaude)



## Quelle heure est-il à midi solaire?

La formule à appliquer :

$$HI = Hs \pm L + \text{Fuseau} + 1h \text{ (si heure d'été)} \pm Eq$$

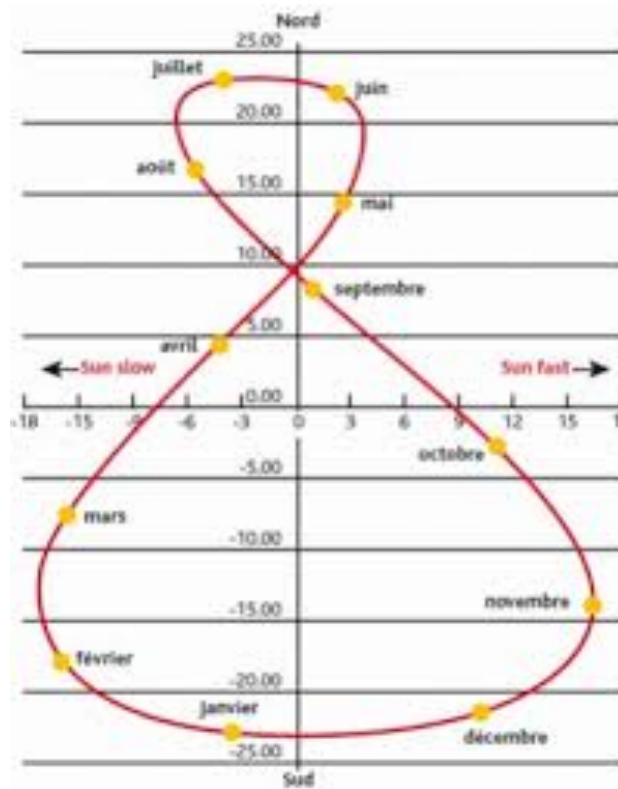
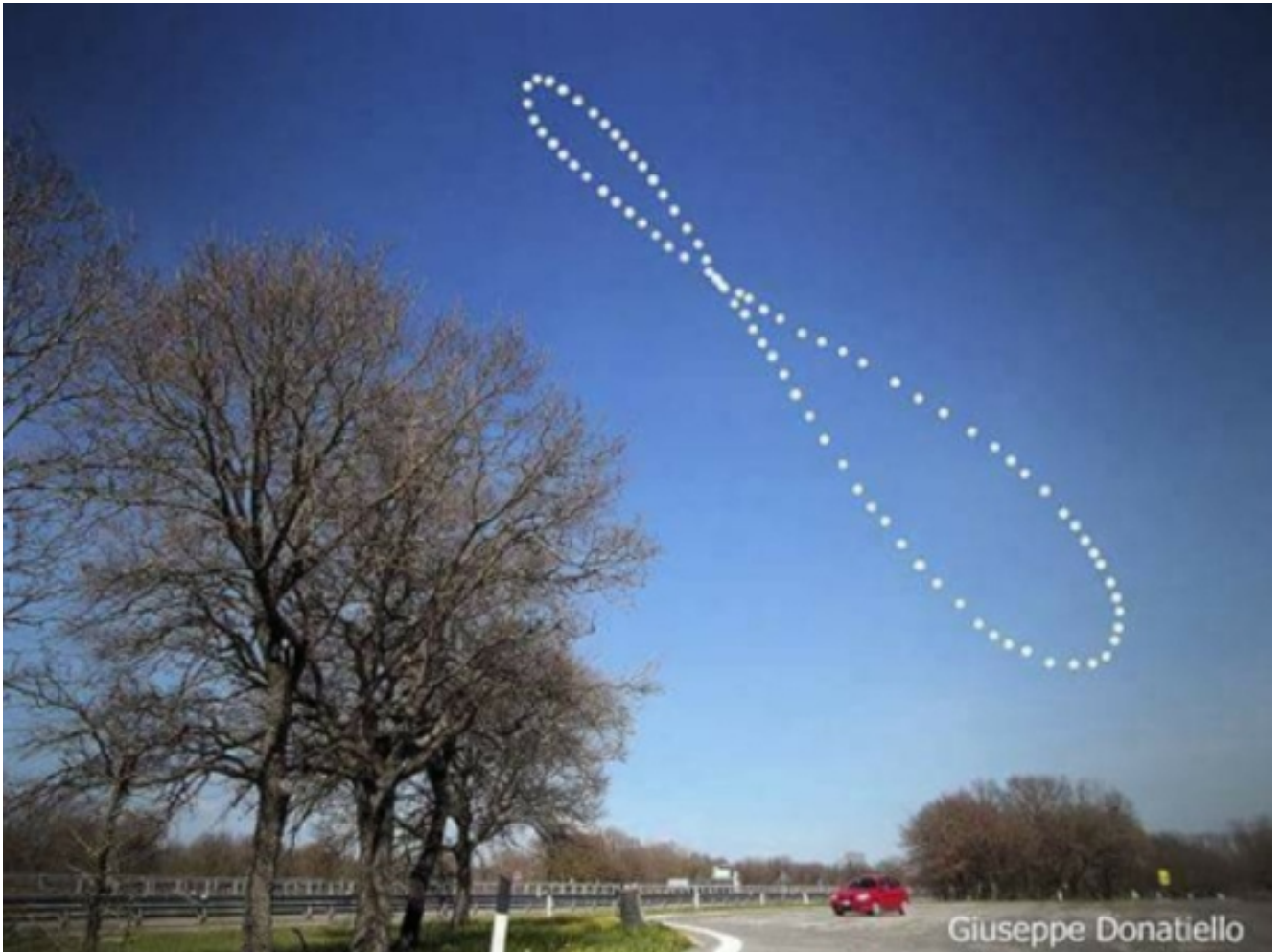
*HI : heure légale, celle de la montre.*

*Hs : heure solaire, celle pour laquelle il est midi lors du passage au méridien du soleil.*

*L : la correction en longitude, multiplier par 4 la longitude pour obtenir le décalage horaire solaire avec le méridien de Greenwich. Elle est négative à l'est et positive à l'ouest.*

*Eq : l'équation du temps.*

	Hs	L	Fuseau	heure d'été	Eq le 11/12	HI
<b>Madrid</b> $\lambda = 3,7^\circ$ ouest $\phi = 40,4^\circ$	12h	+3,7*4= 15 min (environ, on arrondit à la minute)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Lisboa</b> $\lambda = 9,1^\circ$ ouest $\phi = 38,7^\circ$	12h	+9,1*4=36 min (environ)	0	<b>+ 1h</b>	-7 min	<b>13 h 38</b>
<b>Valencia</b> $\lambda = 0,3^\circ$ ouest $\phi = 39,5^\circ$	12h	+0,3*4= 1 min (environ)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Paris</b> $\lambda = 8,6^\circ$ est $\phi = 48,8^\circ$	12h	-2,3*4=-9 min (environ)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Bilbao</b> $\lambda = 2,9^\circ$ ouest $\phi = 43,3^\circ$	12h	+2,9*4= 12 min (environ)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Alicante</b> $\lambda = 0,5^\circ$ ouest $\phi = 38,3^\circ$	12h	+0,5*4= 2 min	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Malaga</b> $\lambda = 4,4^\circ$ ouest $\phi = 36,7^\circ$	12h	+4,4*4= 18 min (environ)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	
<b>Barcelone</b> $\lambda = 2,2^\circ$ est $\phi = 41,4^\circ$	12h	-2,2*4=-9 min (environ)	+1 heure	<b>+ 1h</b>	-7 min	

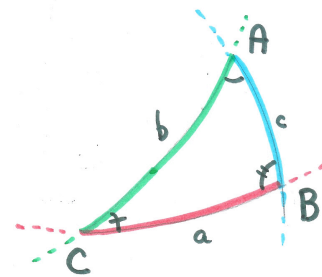
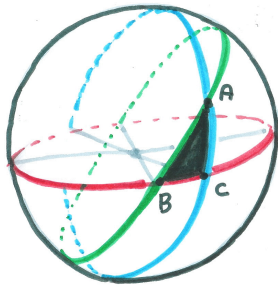




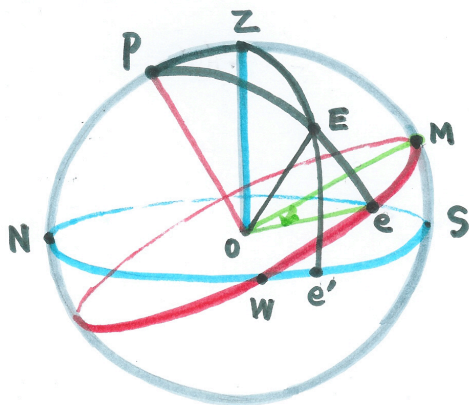
# Complément mathématique\*

La trigonométrie de la sphère

Voir aussi : <http://fredpeuriere.com/astro/sphere.swf>



Dans le triangle sphérique ABC, on peut écrire :  
 $\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A$



P est le pôle céleste,

Z est le zénith

E l'astre observé

On reconnaît :

en rouge, l'équateur céleste et en bleu clair, l'horizon.

- l'arc PN, la latitude  $\phi$  et PZ, la colatitude  $(90-\phi)$ .
- l'arc eE, la déclinaison  $\delta$ , et donc PE,  $90-\delta$ .
- l'arc e'E, la hauteur  $h$  de l'astre et donc ZE =  $90-h$ .
- Moe, en vert, est l'angle horaire\* (H)

Angle sphérique PZE, on aboutit à la relation :

$$\cos(h-90) = \cos(90-\phi) \cdot \cos(90-\delta) + \sin(90-\phi) \cdot \sin(90-\delta) \cdot \cos H$$

conduit à :  $\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos H$

$\phi$  : la latitude,  $\delta$  : la déclinaison,  $h$  : la hauteur du soleil sur l'horizon.

H est l'angle horaire de l'astre, il vaut  $0^\circ$  à midi solaire pour le Soleil (passage au méridien),  $15^\circ$  à 13 heures,  $30^\circ$  à 14 heures,  $90^\circ$  à 18 heures,  $180^\circ$  à minuit ( $15^\circ$  par heure).

Lorsque le Soleil passe au méridien, on a  $H=0^\circ$  et donc  $\cos H=1$ .

Et puisque  $\cos(A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$ , on peut écrire :

$$\sin h = \cos(\phi - \delta) \text{ ou } \cos(90-h) = \cos(\phi - \delta) \text{ et donc : } 90-h = \phi - \delta$$

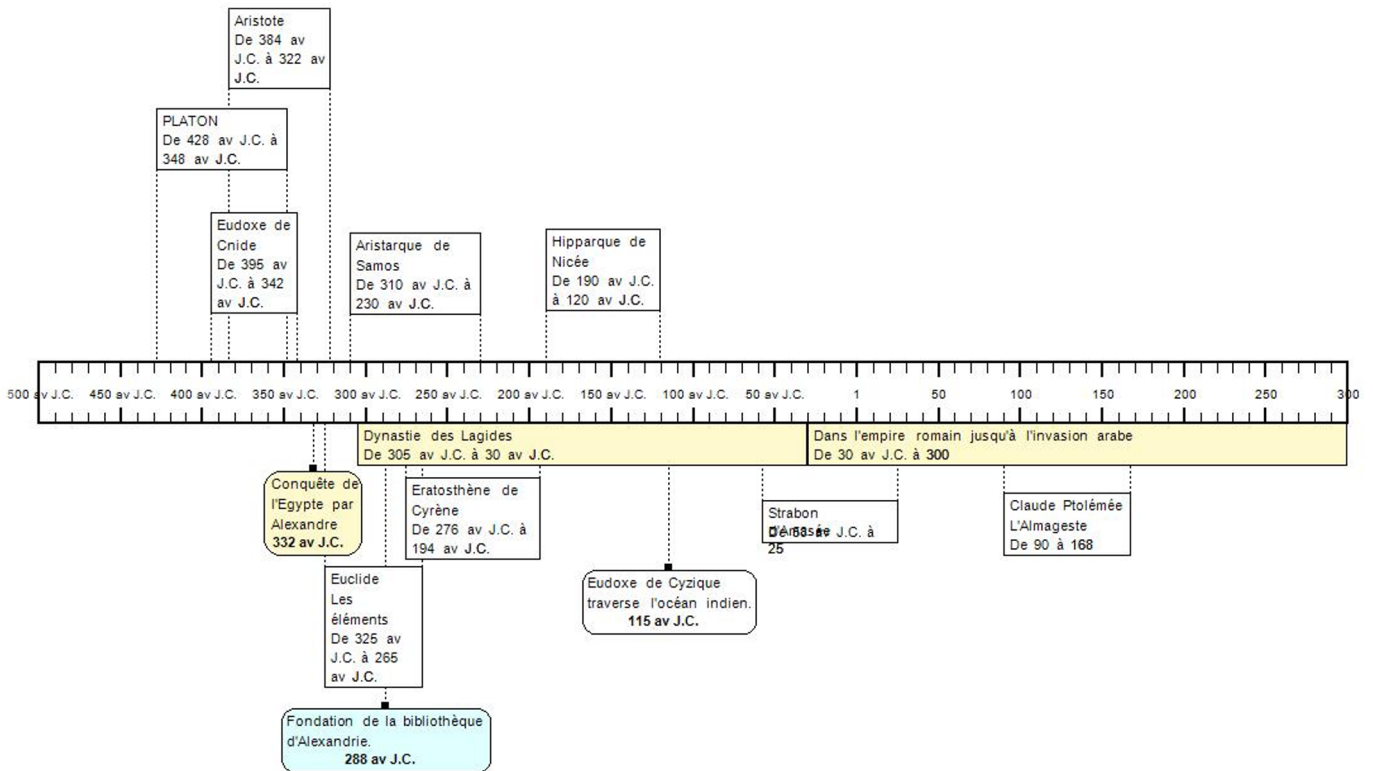
$$\phi = (90-h) + \delta$$



Rétrogradation de Mars en 2016

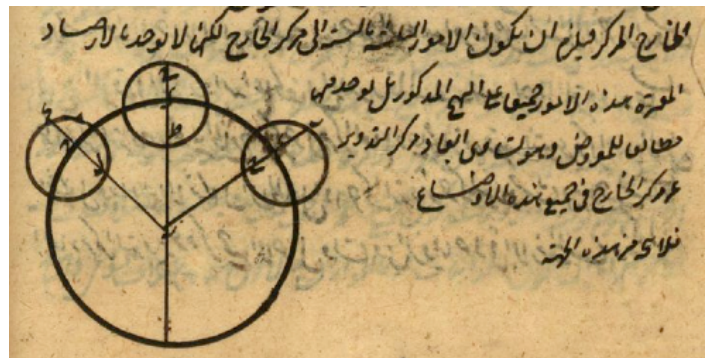
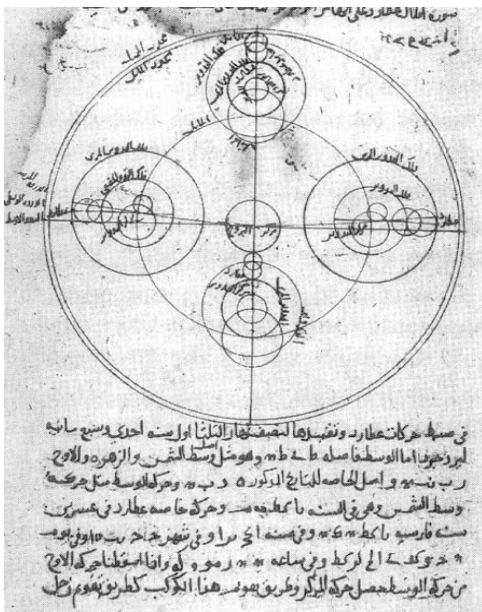
# Référentiels

## Question de point de vue



### Petite chronologie de l'astronomie grecque et alexandrine

Réalisée sur <http://www.mytoolspace.net/>



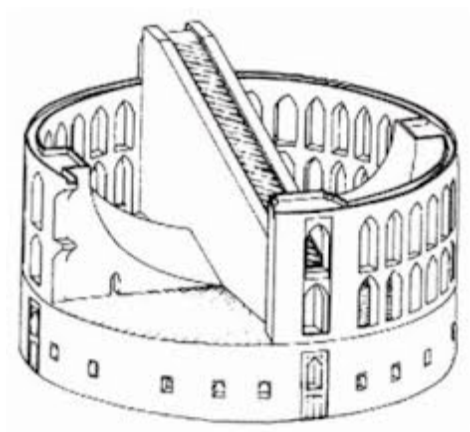
Les épicycles de Mars selon Al-Tūsi (XIII<sup>e</sup>)

Toute la complexité des mouvements de Mercure sur des épicycles imbriqués par Ibn Al-Shatir (XIV<sup>e</sup> siècle)

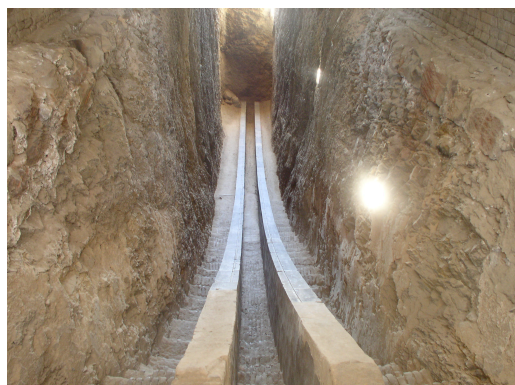
## Observatoire astronomique d'ULUGH BEG (1429)



Site actuel de l'observatoire à **Samarcande**



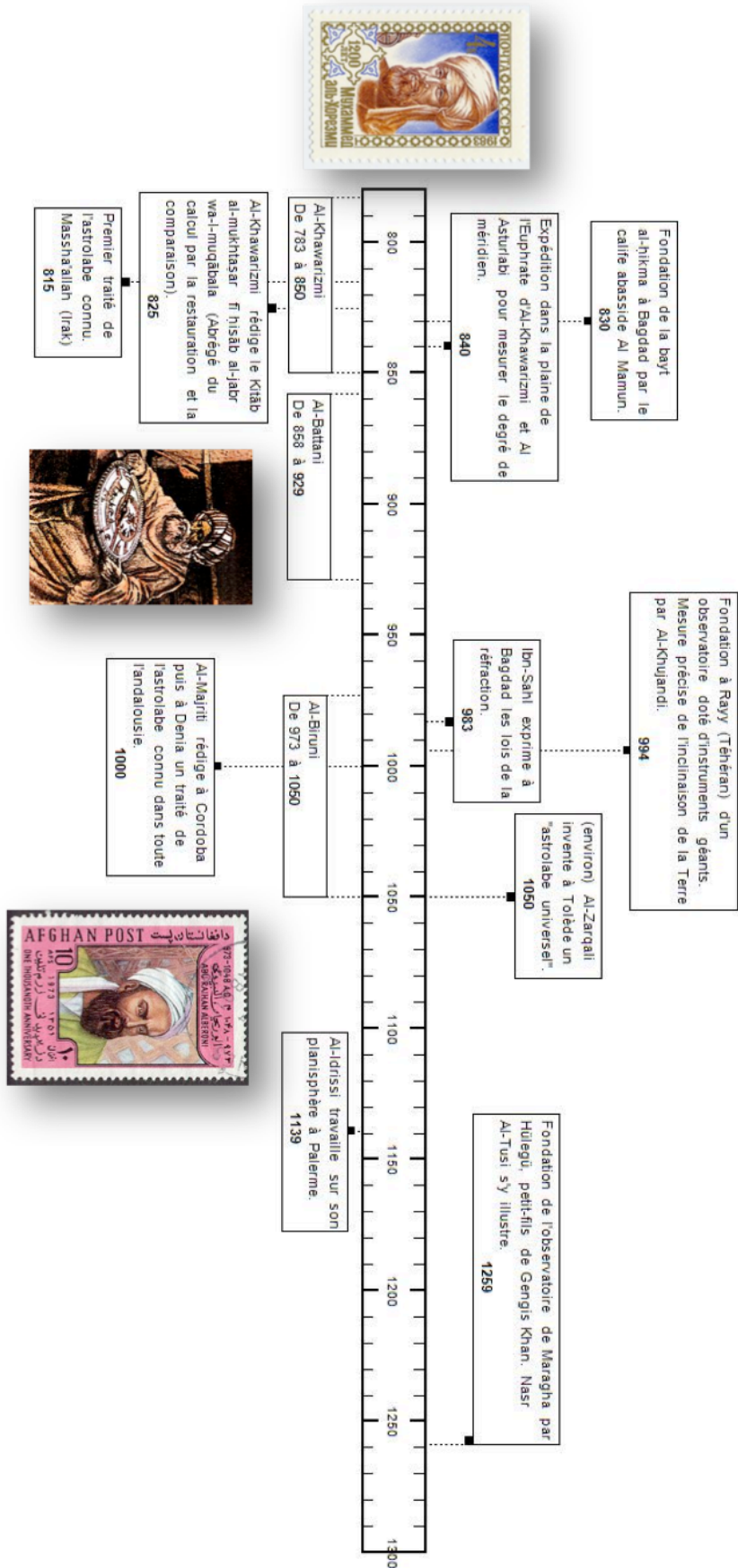
*Plan de l'observatoire*



*Intérieur*

# Astronomie

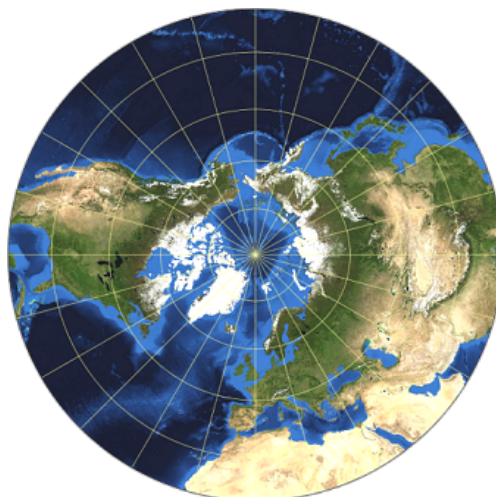
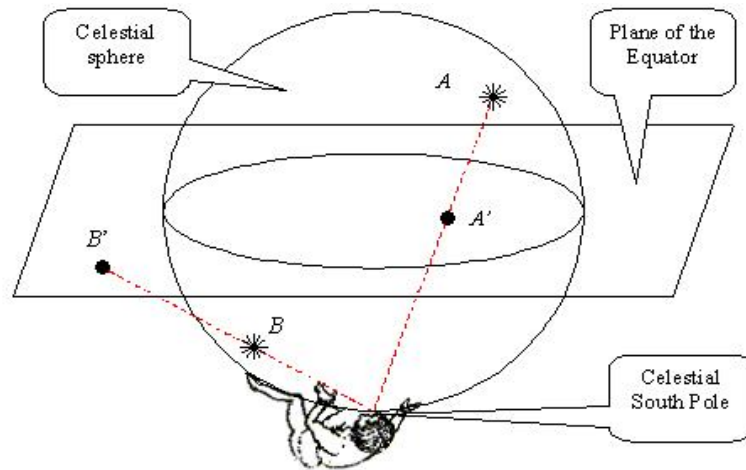
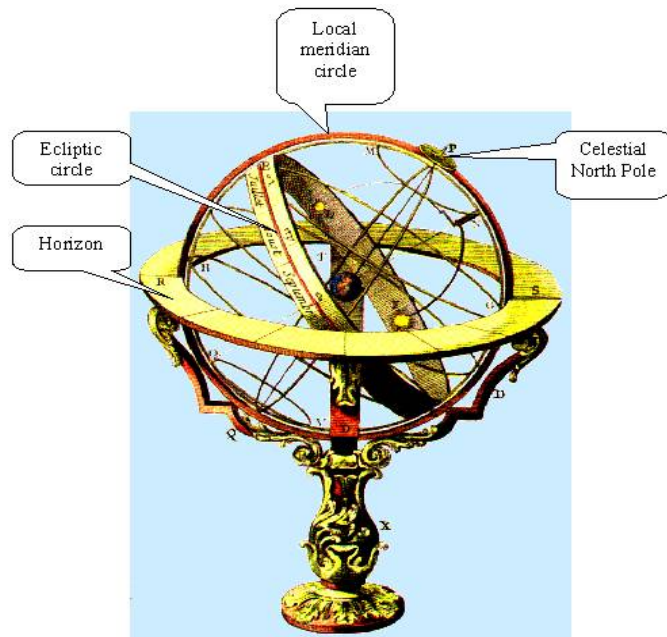
En terres musulmanes





# L'astrolabe planisphérique

Le preneur d'étoiles



Le tympan est un disque de métal qui se fixe à l'intérieur de la matrice.  
La partie colorée en bleu représente le ciel visible.

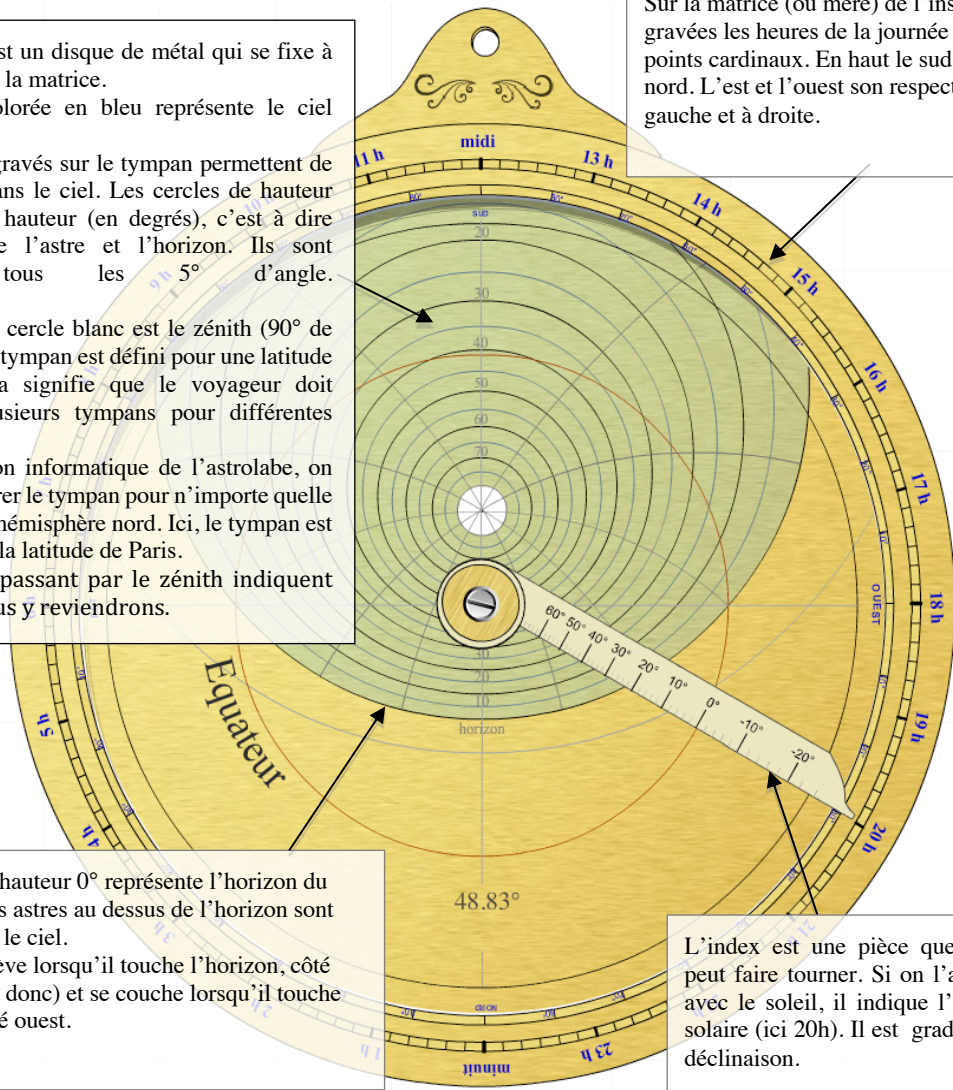
Les cercles gravés sur le tympan permettent de se repérer dans le ciel. Les cercles de hauteur indiquent la hauteur (en degrés), c'est à dire l'angle entre l'astre et l'horizon. Ils sont gradués tous les 5° d'angle.

Le centre du cercle blanc est le zénith (90° de hauteur). Un tympan est défini pour une latitude donnée. Cela signifie que le voyageur doit posséder plusieurs tympan pour différentes latitudes.

Sur la version informatique de l'astrolabe, on peut configurer le tympan pour n'importe quelle latitude de l'hémisphère nord. Ici, le tympan est calculé pour la latitude de Paris.

Les cercles passant par le zénith indiquent l'azimut, nous y reviendrons.

Sur la matrice (ou mère) de l'instrument sont gravées les heures de la journée ainsi que les points cardinaux. En haut le sud, en bas le nord. L'est et l'ouest son respectivement à gauche et à droite.



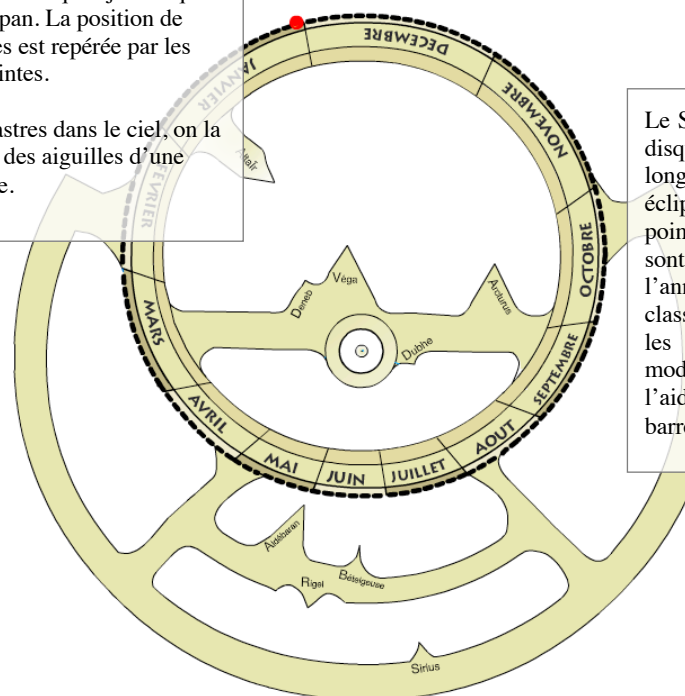
Ce cercle de hauteur 0° représente l'horizon du lieu. Seuls les astres au dessus de l'horizon sont visibles dans le ciel.

Un astre se lève lorsqu'il touche l'horizon, côté est (à gauche donc) et se couche lorsqu'il touche l'horizon côté ouest.

L'index est une pièce que l'on peut faire tourner. Si on l'aligne avec le soleil, il indique l'heure solaire (ici 20h). Il est gradué en déclinaison.

L'araignée est une pièce métallique ajourée qui vient se fixer sur le tympan. La position de certaines étoiles brillantes est repérée par les petites pointes.

Pour simuler la course des astres dans le ciel, on la fait tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.



Le Soleil est représenté par le petit disque rouge. Il se déplace tout au long de l'année sur un cercle appelé écliptique représenté ici en pointillé. Les positions du Soleil sont repérées par les mois de l'année. Sur les astrolabes classiques, le repérage se fait avec les signes du zodiaque. On peut modifier le type de graduation à l'aide de l'icône graduations de la barre de menu.

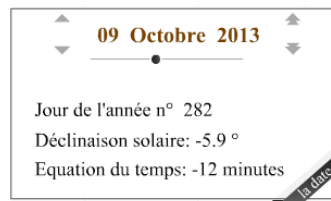


## Quelques problèmes résolus avec l'astrolabe:

### - Le temps

☆ *A quelle heure le Soleil se lève-t-il à Paris le 9 Octobre ?*

Nous sommes le 9 Octobre, il faut d'abord positionner le Soleil à cette date. Pour cela utilisez le bouton glissière dans le cadre « la date » comme indiqué ci-dessous. Utilisez les petites flèches pour ajuster. L'ordinateur calcule le rang du jour de l'année, la déclinaison du soleil et l'équation du temps pour cette date.

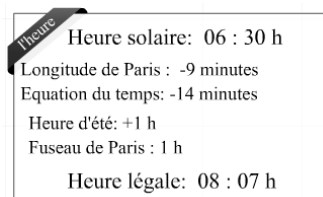


Nous sommes à Paris, il faut donc utiliser un tympan pour la latitude la capitale. C'est ici le réglage par défaut. Le Soleil se lève côté est. Il se trouve donc exactement sur le cercle de hauteur 0° (l'horizon) du côté gauche de l'astrolabe.

Tournez l'araignée pour bien positionner le Soleil.



Alignez l'index avec le centre du disque solaire. Lisez enfin l'heure sur le bord de l'astrolabe : Il est 6h30 du matin. Est-ce l'heure indiquée par notre montre ? Hélas non, ce serait trop simple ! L'astrolabe donne l'heure solaire\*.



L'heure indiquée par notre montre, l'heure légale diffère de l'heure solaire pour des raisons civiles (référence au méridien de Greenwich, heures d'hiver et d'été, fuseaux horaires) et astronomiques (l'équation du temps). Pour épargner les élèves de longues explications,

l'ordinateur convertit l'heure solaire en heure légale automatiquement dans le cadre « la date ».

### Le Soleil se lève donc à 08h07 en heure légale.

On peut bien sûr trouver un résultat légèrement différent. J'estime l'incertitude sur l'heure lue à plus ou moins deux minutes.

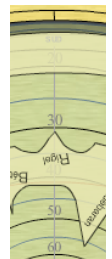
☆ *Quelle est l'heure du coucher du Soleil à Paris le jour de l'équinoxe de printemps ?*

On positionne le Soleil à la date du 20 Mars, jour de l'équinoxe de printemps. Tournez ensuite l'araignée pour que la position du Soleil coïncide avec le cercle de hauteur 0° (sur l'horizon) mais sur le bord ouest cette fois. Alignez l'index avec le centre du disque solaire. On lit :

### Le Soleil se couche à 18h00 heure solaire, 18h59 heure légale de Paris.

☆ *A quelle heure l'étoile Rigel de la constellation d'Orion passe-t-elle au méridien sud de Paris la veille de Noël ?*

Positionnez le Soleil à la date du 24 Décembre. Tournez ensuite l'araignée de manière à placer la pointe correspondant à l'étoile Rigel sur le méridien sud comme montré ci-contre. Alignez l'index avec le centre du disque solaire. On lit :



### Il est 23h00 heure solaire, 23h50 heure légale.

Observez l'araignée, elle nous donne à voir la configuration du ciel de Paris le soir cde Noel à 23h00. Le Soleil est couché, très en dessous de l'horizon. L'étoile Rigel est à 30° de hauteur, au sud exactement. Aldébaran du Taureau est plus haute dans le ciel, à environ 55°. Côté nord, l'étoile Dubhe de la grande ourse est à 45° de hauteur. Sirius, l'étoile la plus brillante de l'hémisphère nord, légèrement à l'est de Rigel, scintille à 20° de hauteur. Altaïr de l'aigle est couchée et Arcturus n'est pas encore levée. Elle le fera à 00h30 solaire (1h20 légale). A cette heure c'est Sirius qui passera au méridien sud. A presque 25° de hauteur. Vérifiez-le.

☆ *A quelles dates le Soleil se lève-t-il précisément à l'est ?*

Les cercles passant par le zénith sont appelés cercles d'azimut. Qu'est ce que l'azimut d'un astre ? C'est l'angle que fait cet astre avec le méridien nord. Si l'astre est exactement au nord son azimut est de 0°, à l'est il est de 90°, au sud, 180° et

à l'ouest  $270^\circ$ . On peut dire plus simplement que la hauteur repère l'astre verticalement et l'azimut horizontalement. Sur cet astrolabe, les cercles d'azimut sont représentés tous les  $30^\circ$ .

Vérifiez que le jour des équinoxes, l'azimut du soleil est de  $90^\circ$  (l'est) à son lever, et  $270^\circ$  (l'ouest) à son coucher, et ceci quelle que soit la latitude.

### - L'espace

☆ *Quelle est la hauteur du Soleil à midi solaire\* à Paris le jour du solstice d'été?*

Configurez l'astrolabe à la latitude de Paris et positionnez le Soleil à la date du 21 Juin. Placez le ensuite sur le méridien sud en tournant l'araignée. En effet à midi solaire, par définition, le soleil passe au méridien sud (azimut  $180^\circ$  donc). Sa hauteur est maximum. Pour lire la hauteur du soleil plus facilement, passez votre souris sur l'icône « voir le tympan ».

On lit : **La hauteur du soleil vaut un peu moins de  $65^\circ$ .**

\* à l'heure solaire, il est midi lorsque le soleil passe au méridien sud (parfois nord sous les tropiques et dans l'hémisphère sud), il atteint sa plus grande hauteur dans le ciel de la journée. Remarquez qu'à midi solaire, le 21 Juin à Paris, il est 13h53 sur nos montres.

☆ *A quelles dates notre ombre disparaît-elle sous nos pieds à Dakar?*

Il faut d'abord configurer l'astrolabe à la latitude de Dakar. Pour cela, cliquez sur l'icône « changer de latitude » dans la barre de menu. Vous pouvez aussi configurer l'astrolabe pour n'importe quel lieu de l'hémisphère nord en complétant la fenêtre « configuration du lieu ». En cliquant sur les points qui figurent sur la carte, l'astrolabe est configuré automatiquement pour la latitude de la ville qui correspond. Cliquez donc sur Dakar.

Si notre ombre disparaît, c'est que le soleil est à la verticale du lieu. Il faut donc trouver les deux positions du Soleil qui passent par le point de hauteur  $90^\circ$ , qu'on appelle le zénith.

Tournez l'araignée jusqu'à ce que son bord extérieur, l'écliptique touche le point qui correspond au zénith sur le tympan, au centre du disque blanc. Avec le bouton glissière du cadre « la date » cherchez la position du soleil qui correspond à ce point.



Renouvelez la manipulation pour trouver la deuxième solution.

**A Dakar, le Soleil passe au zénith le 17 aout et le 30 Avril.** Sous le Soleil, exactement.

Remarquez qu'au nord de la ceinture tropicale, le soleil ne passe jamais au zénith.

☆ *Que se passe-t-il à Tromsø (Norvège) le 21 Mai?*

A minuit (solaire) le Soleil touche l'horizon nord puis remonte dans le ciel.

**Jusqu'au 22 Juillet environ le Soleil ne se couche pas à Tromso.**

Remarquez que le Soleil ne se lève pas entre le 21 Novembre et le 21 Janvier environ.

☆ *A ma montre, il est 21h35. Je suis à Lisbonne un 1<sup>er</sup> Septembre, l'étoile Arcturus de la constellation du cocher est bien visible dans le ciel. Quelle direction nous montre-t-elle ?*

Configurez l'astrolabe pour la latitude de Lisbonne. Positionnez le Soleil à la date du 1<sup>er</sup> Septembre. Tournez ensuite l'index de manière à lire une heure légale de 21h35 dans le cadre « la date ». Il est presque 20h00 solaire. Tournez l'araignée pour aligner le Soleil avec l'index. On constate qu'Arcturus se trouve à  $30^\circ$  de hauteur. Sa position coïncide avec le cercle d'azimut  $270^\circ$ .

**Arcturus nous indique donc la direction ouest.**

Remarquez qu'à cet instant, l'étoile Véga de la Lyre est au zénith.

### - L'énigme de la place Saint Pierre

Un exemple intéressant d'utilisation de l'astrolabe. Rendez-vous à l'adresse : [astro.fredpeuriere.com](http://astro.fredpeuriere.com)

Cliquez sur « l'énigme la place Saint Pierre » et tentez de la résoudre !

*Solution* : Longueur de l'ombre : 3 cm à la règle correspondent à 30 m. Hauteur du Soleil :  $40^\circ$  (triangle rectangle). Azimut du Soleil :  $120^\circ$ . Sur l'astrolabe, on cherche à faire coïncider la position du Soleil avec l'intersection du cercle de hauteur  $40^\circ$  avec le cercle d'azimut  $120^\circ$ .

**On trouve deux solutions : Le 12 Avril (à un jour près) à environ 10h25 (légale) et le 2 Septembre à la même heure.**

## Quelques applications en mathématiques:

Voici quelques exemples de vérification des indications de l'astrolabe que l'on peut faire en cours de mathématiques.

### Au collège :

Nous sommes le 12 Mai à Paris. Les élèves cherchent la hauteur du Soleil à 10h35 légale avec l'astrolabe. On trouve  $40^\circ$ .

Ils mesurent ensuite la hauteur du Soleil à l'heure dite dans la cour :

- En utilisant une réplique d'instrument de mesure d'angle.
- En mesurant la longueur de l'ombre d'un objet de taille connue (un gnomon) posé verticalement sur le sol. On retrouve la tangente de l'angle dans le triangle rectangle (programme de troisième).

### Au Lycée :

L'astrolabe permet une résolution géométrique à la détermination d'angle.

La résolution analytique des problèmes résolus par l'astrolabe peut aussi se faire par les deux formules issues de la trigonométrie sphérique :

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos H$$

$$\sin \delta = \sin \varphi \times \sin h + \cos \varphi \times \cos h \times \cos Z$$

Elles s'appliquent à n'importe quel astre. Je prends ici le Soleil en exemple. Les angles sont en degrés.

- $h$  : hauteur du Soleil.  $\varphi$ : Latitude du lieu
- $\delta$  : déclinaison. C'est l'angle entre les rayons solaires et l'équateur. Elle varie de  $-23,4^\circ$  le jour du solstice d'hiver à  $+23,4^\circ$  le jour du solstice d'été. Elle est nulle aux équinoxes. Une table de déclinaison permet de relier la déclinaison du Soleil au jour de l'année. Sa valeur est calculée dans le cadre « la date ».
- $H$  : angle horaire. Il mesure l'angle que fait le Soleil avec le méridien sud. C'est une manière de déterminer l'heure solaire.  $H$  vaut  $0^\circ$  à midi solaire,  $15^\circ$  à 13h,  $30^\circ$  à 14h,  $90^\circ$  à 18h  $180^\circ$  à minuit etc.
- $Z$  est l'azimut du Soleil.

Cherchons à vérifier quelques résultats obtenus avec l'astrolabe.

☆ *L'énigme de la place Saint Pierre.*

Hauteur du Soleil :  $40^\circ$ , azimut:  $120^\circ$ , latitude du Vatican :  $41,9^\circ$ . Utilisons la deuxième formule pour connaître la déclinaison du soleil :

$$\sin \delta = \sin 41,9 \times \sin 40 + \cos 41,9 \times \cos 40$$

Ce qui donne :  $\delta = 8,29^\circ$ , soit  $8^\circ 17'$ .

La lecture d'une table de déclinaison que vous pouvez retrouver dans l'animation « énigme de la place Saint Pierre » confirme les dates trouvées avec l'astrolabe: Entre le 11 et le 12 Avril et entre le 1<sup>er</sup> et le 2 Septembre. Les tables de déclinaison peuvent aussi être consultées sur le site de l'institut de mécanique céleste.

☆ *Quelle est la hauteur du Soleil à midi solaire\* à Paris le jour du solstice d'été?*

On cherche  $h$ . A midi solaire :  $H=0$ . Le jour du solstice d'été, la déclinaison du Soleil vaut  $23,4^\circ$ . Latitude de Paris :  $48,8^\circ$ . On utilise la première relation :

$$\sin h = \sin 48,8 \times \sin 23,4 + \cos 48,8 \times \cos 23,4$$

On obtient :  $h = 64,6^\circ$ . Comparez au résultat obtenu avec l'astrolabe.

On peut aussi de manière plus élégante et pédagogique utiliser la relation :

$$\sin a \times \sin b + \cos a \times \cos b = \cos(a - b)$$

Lorsque  $H=0$ , c'est à dire à midi solaire, la première relation peut s'écrire :

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta = \cos(\varphi - \delta)$$

$$\sin h = \cos(\varphi - \delta), \quad \cos(90^\circ - h) = \cos(\varphi - \delta)$$

Donc :  $90^\circ - h = \varphi - \delta$ .

Ce qui donne :  $h = (90 - \varphi) + \delta$  à midi solaire.

Ou :  $\varphi = (90 - h) + \delta$

Dès la fin du XV<sup>e</sup> siècle, les marins portugais savent mesurer à midi la hauteur du soleil avec leur astrolabe nautique. A l'aide de cette formule et des tables de déclinaison calculées par les mathématiciens du roi dom João II, ils peuvent déterminer précisément leur latitude en mer et poursuivre loin des côtes leurs aventures. Jusqu'aux Indes.

## Quelques ressources:

### Où se procurer un astrolabe ?

<http://www.astrolabes.fr>

Brigitte Alix fabrique elle même de nombreux instruments. Elle propose notamment des petits astrolabes pédagogiques pour la latitude de votre choix.

<http://www.antiquus.es>

C'est un fabricant espagnol qui vend un très bel astrolabe en métal (mais seulement pour la latitude de Madrid) et une sphère armillaire de très bonne qualité. De beaux objets à exposer dans la classe.

[www.planetarium-provence.com/manifestations.htm](http://www.planetarium-provence.com/manifestations.htm)

L'association Planétarium Ventoux Provence fournit tous les gabarits et d'excellentes explications pour réaliser vous même un astrolabe planisphérique. De nombreux autres instruments anciens sont proposés. Un travail d'excellente qualité. Une bonne occasion de travailler avec le professeur de technologie.

### Un site et un livre :

Parmi toutes les sources disponibles sur le sujet, je propose :

- Un livre :

#### **Les instruments de l'astronomie ancienne** (Philippe Dutarte)

L'auteur passe en revue les instruments phares de l'astronomie ancienne avec rigueur et pédagogie. Un livre incontournable.

- Et un site :

Si vous voulez aller plus loin dans l'étude mathématique de l'astrolabe, **l'ENS de Lyon** a réalisé une étude mathématique très complète de l'instrument.

<http://www.ens-lyon.fr/RELJE/Cadrans/activpedago/TextesCours/WebAstrolabe/Astrolabe.htm>

# Application pédagogique

Mesure de latitude avec l'étoile polaire

---

*BARTOLOMEU DIAS attend le travail du futur astronome royal pour le jeudi 18 mai.  
Les aventures du Portugal vers l'inconnu sont à suivre ici : [www.fredpeuriere.com](http://www.fredpeuriere.com)*

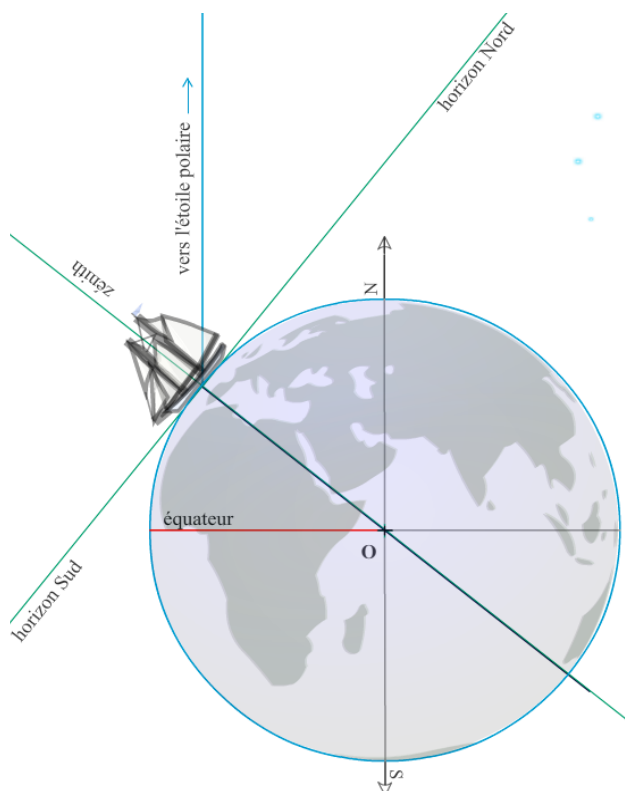
## ✓ LATITUDES

☞ Dans la rubrique « **LES DECOUVERTES** », déterminez sur la carte la latitude de Paris, Londres, Lisbonne, Tokyo et celle du cap de Bonne Espérance. Quelle est la latitude de l'équateur ?

.....

.....

☞ Dans la rubrique « **HAUTEUR DES ASTRES (1)** », rendez-vous au « **REGLEMENT DE L'ÉTOILE POLAIRE** ». Manipulez la figure puis légendez le schéma ci-dessous en montrant l'angle L (la latitude du bateau) et l'angle H (l'angle entre l'étoile polaire et l'horizon). On montrera en Mathématiques que ces deux angles sont toujours égaux.



☞ Quelle est votre latitude au pôle nord ? Où se trouve alors l'ÉTOILE POLAIRE dans le ciel ?

Quelle est votre latitude à l'équateur ? Où se trouve l'ÉTOILE POLAIRE dans le ciel ?

.....

.....

## ✓ LES VOYAGES DE DIAS ET VASCO DE GAMA

A l'heure de se lancer vers l'inconnu, la meilleure carte du monde connu reste celle de PTOLÉMÉE, dessinée à partir des mesures qu'il réalisa au III<sup>e</sup> siècle.



*La carte de PTOLÉMÉE*

Dans la rubrique « LES DECOUVERTES », revivez le voyage de BARTOLOMEU DIAS.

☞ Racontez-nous en quelques lignes le voyage de BARTOLOMEU DIAS (1487) et, à l'aide de la carte de PTOLÉMÉE dites-nous quelle fut sa grande découverte.

.....

.....

.....

.....

.....

Toujours dans la rubrique « **LES DECOUVERTES** », plongez-vous maintenant dans les aventures de VASCO DE GAMA.

☞ Expliquez les raisons qui ont poussé la flotte de VASCO DE GAMA (1498) à suivre une nouvelle route dans l'océan atlantique sud.

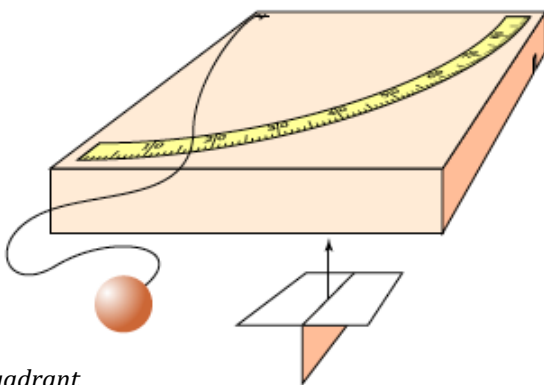
.....

.....

.....

.....

### ✓ MESURE DE LA LATITUDE DE LISBONNE



Votre quadrant

Avant de vous engager comme astronome de sa prochaine expédition, BARTOLOMEU DIAS veut tester vos qualités d'astronome. Il vous demande de mesurer la latitude de Lisbonne. Pour réussir votre mission, vous avez d'abord fabriqué votre propre quadrant. Maintenant c'est à vous de jouer !

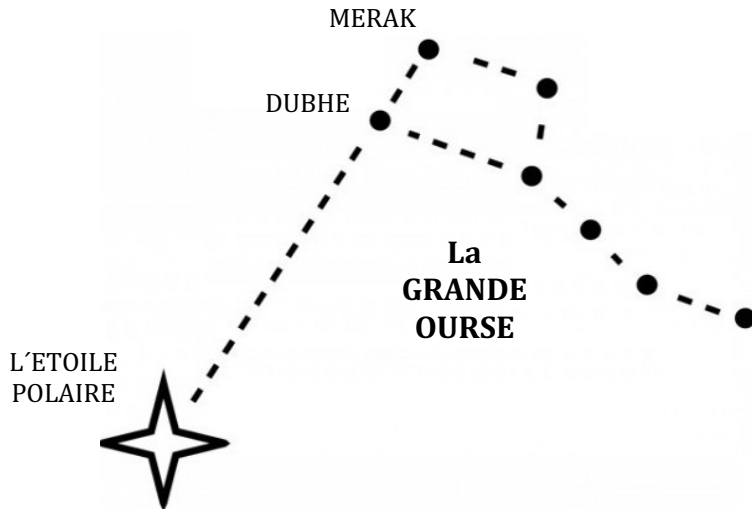
Pour commencer à comprendre le principe de la mesure, rendez-vous dans la rubrique la « **HAUTEUR DES ASTRES (1)** », puis : « **LES INSTRUMENTS DE MESURE** ». Choisissez le quadrant.

Après de nombreuses recherches, vous avez trouvé à la bibliothèque du TERREIRO DO PAÇO un livre d'astronomie qui explique le principe de la mesure :

- Au début d'une nuit sans nuage et sans pleine lune, vous devez d'abord trouver l'ÉTOILE POLAIRE en direction du nord géographique. Si vous ne pouvez pas la voir de chez vous, il faudra vous déplacer. Faites-vous aider d'un assistant.

- Repérez d'abord la constellation de la GRANDE OURSE. C'est une constellation de sept étoiles en forme de casserole. Voir le dessin en page suivante.

- Une fois la GRANDE OURSE repérée, vous allez pouvoir trouver facilement l'étoile Polaire : Commencez par repérer les deux étoiles MERAK et DUBHE. Imaginez une ligne les reliant. En direction du haut de la cuve, prolongez cette ligne d'une longueur équivalant à quatre ou cinq fois la distance séparant MERAK et DUBHE. Vous devriez alors tomber sur une étoile assez brillante : c'est L'ÉTOILE POLAIRE (Polaris en latin)



- Tenez votre quadrant verticalement, le fil doit être bien aligné sur graduation zéro. Visez ensuite l'étoile polaire à travers les deux trous, cette opération demande de la patience et de l'habitude. Prenez votre temps.
- Vous avez l'étoile polaire dans le viseur ? Maintenant, ne bougez plus ! Demandez à votre assistant de vérifier que le fil est bien vertical et demandez-lui de lire la valeur de l'angle mesuré. Reportez votre valeur dans le tableau. Recommencez cette mesure d'autres nuits, vous calculerez à la fin une valeur moyenne de toutes vos mesures.
- Si vous partez en voyage, n'oubliez pas de mesurer la latitude de votre destination avec votre quadrant ! Dans ce cas, indiquez vos résultats dans un autre tableau.



Mesure de la latitude avec le quadrant

TABLEAU DE MESURES		
Lieu de la mesure	Heure	Angle mesuré
VALEUR MOYENNE :		

✉ Rédigez enfin sur papier libre et en quelques lignes, un rapport de vos travaux à BARTOLOMEU DIAS.