L'astrolabe planisphérique en classe

Introduction

L'objet est exposé sur le bureau depuis la veille. Le professeur salue la classe, tente de faire taire le brouhaha, puis annonce le thème du jour : l'électricité. Des doigts se lèvent en s'agitant. Des élèves l'interpellent directement: « C'est quoi là sur le bureau ? »
« C'est un astrolabe. » Puis il reprend le fil du cours, qui va bien devoir commencer.

« Et alors, c'est tout ? »

« Si vous voulez, nous en parlerons un jour. »

Les élèves rejouent souvent la scène de l'étonnement et de la curiosité qu'inspire l'astrolabe depuis l'Antiquité. Les savants de l'Orient musulman publièrent à son sujet des centaines de traités dès le VIII^{e} siècle. Les traducteurs éclairés de l'Occident latin le découvrirent dans la péninsule ibérique musulmane du Moyen Age. Depuis longtemps, l'astrolabe planisphérique réjouit l'œil par l'harmonie de ses lignes, suscite la curiosité par le savoir mathématique dont il procède, ainsi qu'une certaine fascination pour ces astronomes grecs qui l'ont imaginé.

Présentation de l'instrument

Traiter de l'astrolabe en classe n'est pas chose aisée car l'instrument paraît complexe. Afin d'éviter certaines difficultés lors de la prise en main de l'instrument, j'en ai réalisé une version informatique qui sera le support de cette présentation.

C'est l'instrument transdisciplinaire par excellence. On peut mener son étude en classe à tous les niveaux du secondaire. En sixième, afin d'illustrer le cours d'histoire sur la civilisation grecque, au cycle central du collège en complément du cours sur la lumière en sciences physiques, ou des mesures d'angles en mathématiques. Ou encore en classe de troisième comme prolongement du cours de trigonométrie.

Au lycée, il peut faire l'objet d'une présentation dans la partie Univers du cours de sciences physiques de seconde. On peut également mener une étude approfondie en MPS, TPE ou en groupe restreint dans le cadre de l'accompagnement personnalisé.

Pour appréhender l'astrolabe, il n'est pas nécessaire d'en maîtriser la théorie. On remarque vite que les élèves en comprennent intuitivement le fonctionnement à partir de quelques exemples. Ils découvrent ensuite, en fonction de leur niveau, les notions d'astronomie, de mathématiques et d'histoire qui lui sont associées.

C'est donc à partir d'exemples commentés que je vous propose de partir à la découverte de l'instrument. Je donnerai en fin d'article des références qui permettent d'aller plus loin. Vous trouverez également des contacts pour vous procurer de vrais instruments.

Rappelons que l'astrolabe s'appuie sur un modèle dépassé: le géocentrisme. Il permet pourtant de faire des prévisions d'une remarquable exactitude. Ce n'est pas le moindre de ses charmes.

La version informatique de l'astrolabe que je présente ici peut être utilisée librement. Rendez-vous à cette adresse :

https://www.fredpeuriere.com/astro/astrolabe.html

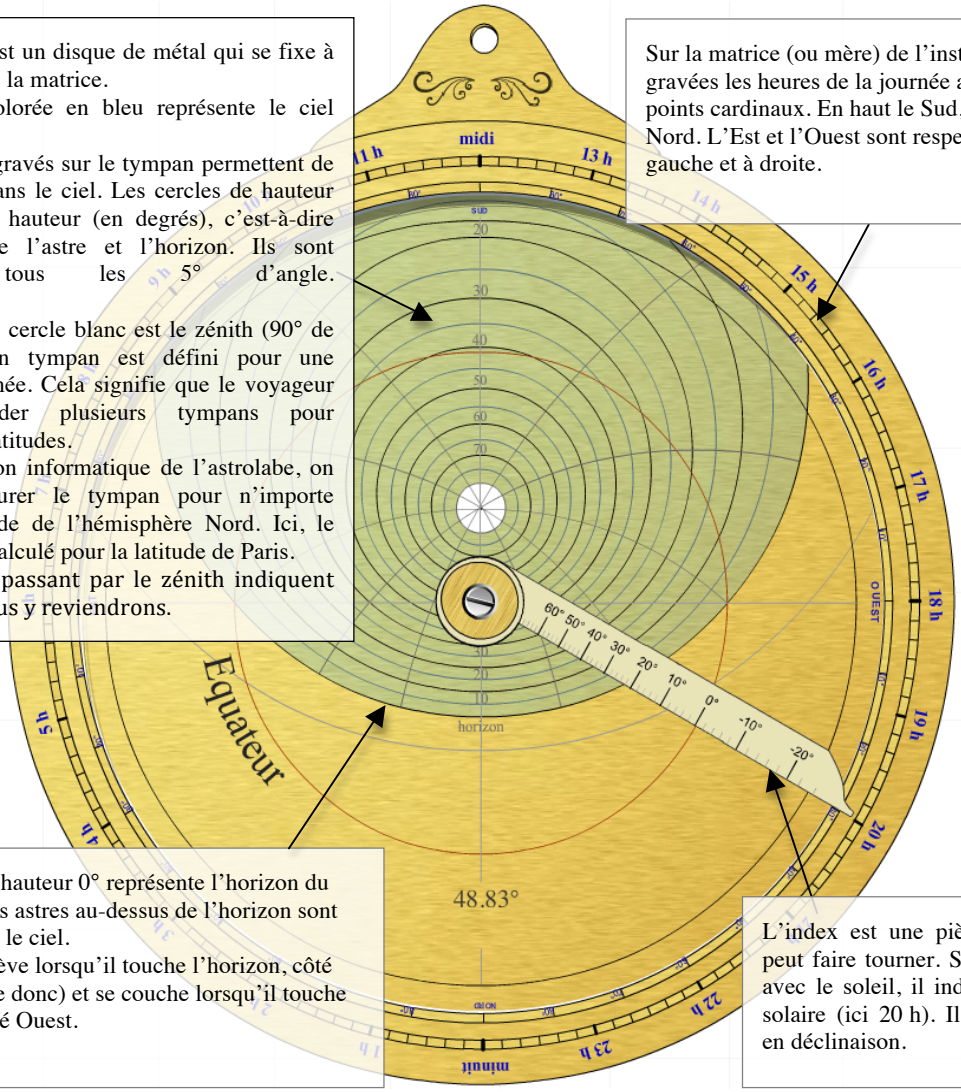
« Monsieur, on peut en parler tout de suite ? »

« Bon, c'est d'accord. Allons-y. »

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 tympans 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 sont respectivement à gauche et à droite.

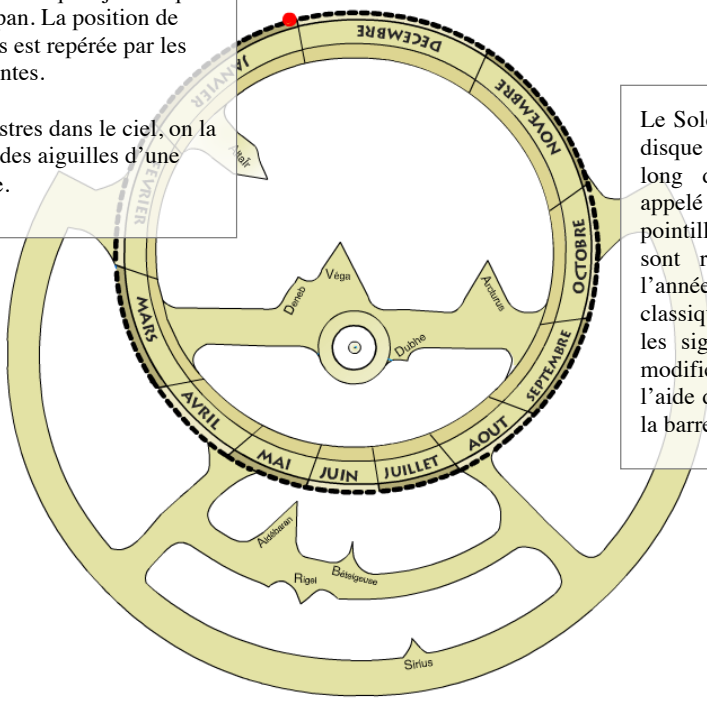


Ce cercle de hauteur 0° représente l'horizon du lieu. Seuls les astres au-dessus de l'horizon sont visibles dans le ciel.
Un astre se lève lorsqu'il touche l'horizon, côté Est (à gauche donc) et se couche lorsqu'il touche l'horizon côté Ouest.

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



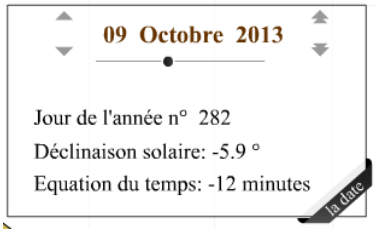
Le Soleil est représenté par le petit disque rouge. Il se déplace tout au long de l'année sur un cercle appelé écliptique représenté ici en pointillés. Les positions du Soleil sont repérées par les mois de l'année. Sur les astrolabes classiques, le repérage se fait avec les signes du zodiaque. On peut 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

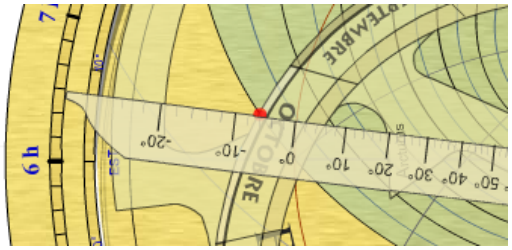
☆ *A quelle heure le soleil se lève-t-il à Paris le 9 octobre ?*

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.

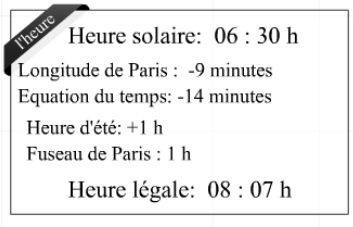


Nous sommes à Paris, il faut donc utiliser un tympan pour la latitude de la capitale. C'est ici le réglage par défaut. Le soleil se lève côté Est. Il se trouve donc exactement sur le cercle de hauteur 0° (l'horizon) du côté gauche de l'astrolabe.

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 6 h 30 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). Vous trouverez de amples explications dans l'article sur le nocturlabe. Pour épargner aux élèves de trop longues explications, l'ordinateur convertit automatiquement l'heure solaire en heure légale dans le cadre « la date » : **Le soleil se lève donc à 08 h 07 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.

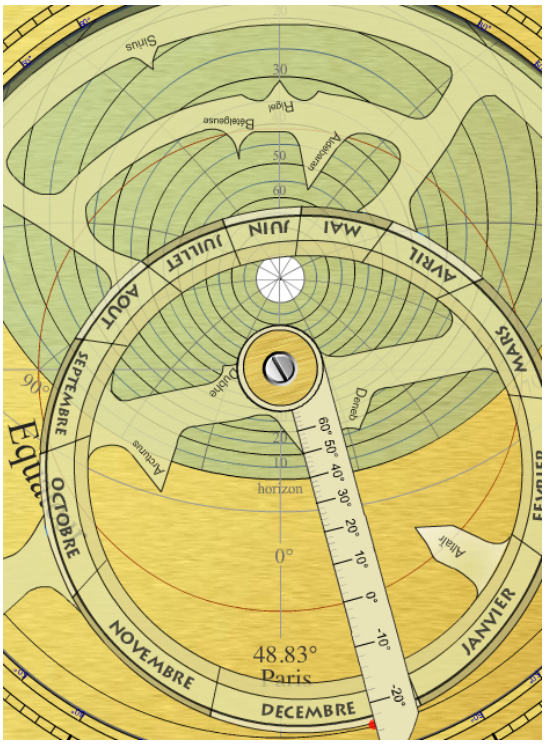
☆ *Quelle est l'heure du coucher du soleil à Paris le jour de l'équinoxe de printemps ?*

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 18 h 00 heure solaire, 18 h 59 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 23 h 00 heure solaire, 23 h 50 heure légale.



Observez l'araignée, elle nous donne à voir la configuration du ciel de Paris le soir de Noël à 23 h 00. 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 00 h 30 solaire (1 h 20 légale). A cette heure c'est Sirius qui passera au méridien sud, à presque 25° de hauteur. Vérifiez-le.

- **L'espace**

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

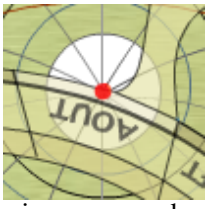
Configurez l'astrolabe à la latitude de Paris et positionnez le soleil à la date du 21 juin. Placez-le ensuite sur le méridien sud en tournant l'araignée. En effet, à midi solaire, par définition, le soleil passe au méridien sud (azimut 180° donc). Sa hauteur est maximum. Pour lire la hauteur du soleil plus facilement, passez votre souris sur l'icône « voir le tympan »: **La hauteur du soleil vaut un peu moins de 65°.**

* A *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.

☆ *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 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°, qu'on appelle le zénith.

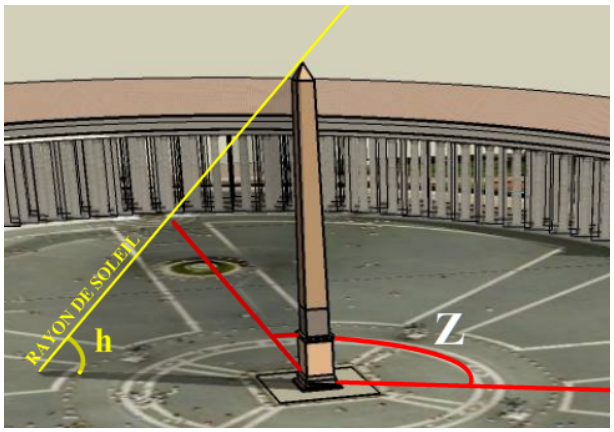


Tournez l'araignée jusqu'à ce que son bord extérieur, l'écliptique, touche le point qui correspond au zénith sur le tympan, au centre du disque blanc. Avec le bouton glissière du cadre « la date » cherchez la position du soleil qui correspond à ce point. Renouvelez la manipulation en tournant l'araignée pour trouver la deuxième solution : **A Dakar, le soleil passe au zénith le 17 août et le 30 avril.** Sous le soleil, exactement.

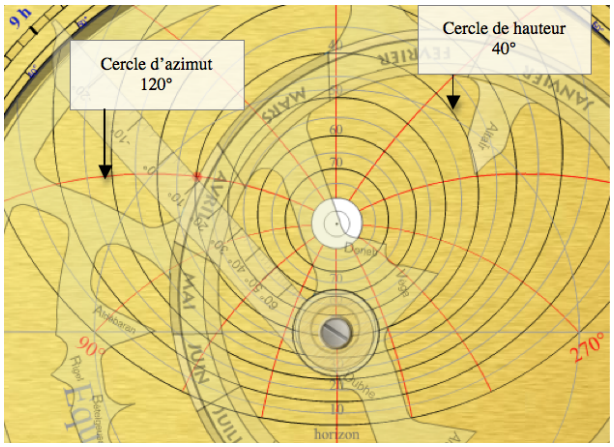
- **L'énigme de la place Saint-Pierre**

Un exemple intéressant d'utilisation de l'astrolabe. Rendez-vous à l'adresse :
https://www.fredpeuriere.com/astro/

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



Aide à la résolution : Longueur de l'ombre : 3 cm à la règle correspondent à 30 m. On en déduit la hauteur du soleil : 40° (dans le triangle rectangle). Azimut du soleil déterminé avec le rapporteur: 120°. Une définition simple de l'azimut du Soleil : l'angle des rayons solaires avec le nord géographique.
Cliquez ensuite sur « résolution avec l'astrolabe ». On cherche à faire coïncider le cercle écliptique de l'araignée avec l'intersection du cercle de hauteur 40° et du cercle d'azimut 120°. Les cercles d'azimut sont en rouge et gradués tous les 30°. En modifiant la date, amenez le Soleil sur ce point.



On trouve deux solutions : Le 11 avril (à un jour près) à environ 10 h 25 (légale) et le 2 septembre à la même heure.

Remarquez que la graduation de l'index donne une déclinaison du Soleil d'un peu plus de 8° (voir calcul un peu plus loin).

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 10 h 35 légale avec l'astrolabe. On trouve 40°.

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. fi: Latitude du lieu
- delta : déclinaison. C'est l'angle entre les rayons solaires et l'équateur. Elle varie de -23,4° le jour du solstice d'hiver à +23,4° 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 ». On peut lire directement la déclinaison du Soleil sur l'index. Il suffit de l'aligner sur le disque solaire.
- 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° à midi solaire, 15° à 13 h, 30° à 14 h, 90° à 18 h, 180° à minuit, etc.
- Z est l'azimut du soleil.

Ces formules ne font pas partie des programmes de Lycée mais leur utilisation permet d'utiliser le calcul trigonométrique dans le cadre de notre étude.

Revenons sur deux problèmes résolus avec l'astrolabe :

☆ *L'énigme de la place Saint-Pierre :*

Hauteur du soleil : 40°, azimut: 120°, latitude du Vatican : 41,9°. Utilisons la deuxième formule pour connaître la déclinaison du soleil :

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

On trouve: $\delta = 8{,}29°$, soit 8°17'.

La lecture d'une table de déclinaison (que vous pouvez retrouver dans l'animation « énigme de la place Saint-Pierre » dans la rubrique « résolution par le calcul ») confirme les dates trouvées avec l'astrolabe : entre le 11 et le 12 avril et entre le 1er et le 2 septembre.

☆ *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°. Latitude de Paris : 48,8°. 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°. 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 :

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

$$\sin h = \cos(\varphi - \delta), \qquad \cos(90° - h) = \cos(\varphi - \delta)$$

Donc : $90° - h = \varphi - \delta$.

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

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

Dès la fin du XVe 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.

Compléments:

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

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 et 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/RELIE/Cadrans/activpedago/TextesCours/WebAstrolabe/Astrolabe.htm

L'auteur :

Frédéric PEURIERE est professeur de sciences physiques au Lycée français de Lisbonne.

Ancien professeur relais au musée des Arts et Métiers pour l'académie de Paris, il continue de faire partager sa passion pour l'astronomie ancienne et l'histoire des sciences en animant des stages de formation pour les enseignants.