FONDATION La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE

Cycles 3 et 4

L'astrolabe d'Abu Behr Ibn Yussuf

Une séquence du projet *Les découvertes en pays d'Islam*

Résumé

Inventé par les Grecs, puis perfectionné par les savants des pays d'Islam, l'astrolabe a eu de multiples applications du IV^{e} au XVII^{e} siècle, en particulier pour déterminer l'heure, de jour comme de nuit, afin de repérer la hauteur des étoiles ou du Soleil dans le ciel et de s'orienter. Une recherche documentaire, suivie de la fabrication d'une maquette d'astrolabe, permet ici aux élèves de se familiariser avec l'histoire et les différentes pièces de cet instrument. À l'aide de cette maquette, les élèves vont s'initier à deux utilisations de cet instrument. La première concerne l'utilisation astronomique de l'astrolabe, « le preneur d'étoiles », la seconde son utilisation pour déterminer la hauteur d'une tour, par exemple.

L'astrolabe

D'al-Khwârizmî à al-Zarqâlî,
l'astrolabe devient le roi des instruments 68
Philippe Dutarte

L'astrolabe ou le ciel à portée de la main 83
Hélène Merle

Texte pour enfants 101
Anne Fauche

Ce chapitre est plus particulièrement réservé aux classes de collège. Les éléments historiques et pédagogiques présentés sont cependant très utiles aux maîtres pour concevoir une séquence d'astronomie adaptée à leurs élèves et aux programmes de l'école primaire.

D'al-Khwârizmî à al-Zarqâlî, l'astrolabe devient le roi des instruments

Les astrolabes produits en pays d'Islam, de l'Inde à l'Andalus, du VIII^e^ au début du XX^e^ siècle, sont des chefs-d'œuvre d'orfèvrerie qui, encore actuellement, croisés dans les musées, exercent une véritable fascination. Au-delà de la beauté mystérieuse de l'instrument, c'est à un véritable trésor de science et de culture auquel on a affaire et c'est à un voyage dans l'histoire des sciences et des peuples que nous invite l'astrolabe.

Né de la représentation géométrique grecque du ciel aux alentours du II^e^ siècle avant J.- C.[1], l'astrolabe simule, par projection, le mouvement des astres, Soleil et étoiles, tel que nous le percevons. Il permet alors de mesurer le temps et de résoudre certains problèmes d'astronomie, mais aussi d'astrologie, l'influence des astres étant généralement admise malgré la désapprobation des théologiens et des philosophes.

Astrolabe de Mahmud ibn Shawqa al-Baghdadi, fait à Bagdad en 1306-1307 (Institut du monde arabe, Paris, inv. n° AI 86-14)

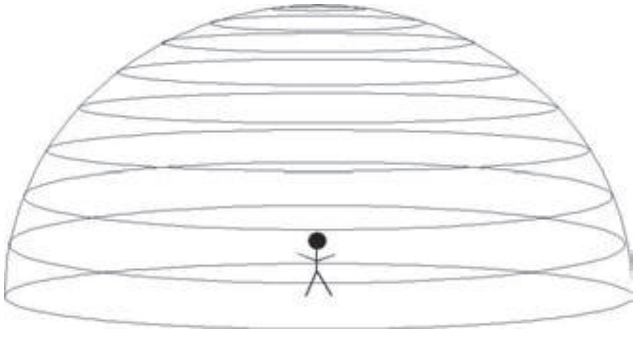
Selon le spécialiste de l'histoire des instruments astronomiques David King[2], reprenant une information du bibliographe arabe du xe siècle Ibn an-Nadîm, le premier astronome arabe qui fabriqua un astrolabe fut Muhammad al-Fazari, qui vivait à Bagdad dans la seconde moitié du viiie siècle. Dès son introduction dans le monde islamique, l'astrolabe y trouve un terrain particulièrement propice à son développement, pour des raisons à la fois religieuses et politiques. La religion musulmane fait sans doute de cette région du monde la seule à cette époque à avoir un besoin aussi prononcé de mesures du temps et de l'espace, ayant recours à l'astronomie pour les heures des prières, l'orientation vers La Mecque ou la fixation du calendrier. Par ailleurs, les premiers califes financent les recherches, la construction d'instruments ou d'observatoires qui permettent de mieux appréhender les vastes espaces de leur empire et de décrypter les messages célestes. L'engouement des hommes de pouvoir pour l'astrologie bénéficie à la science. C'est dans ce cadre qu'au ixe siècle, le grand savant al-Khwârizmî, fondateur de l'algèbre comme nouvelle discipline, apporte trois innovations essentielles à l'astrolabe : les lignes d'azimut, pour s'orienter, le « carré des ombres », pour la mesure de distances inaccessibles, et le quadrant des sinus, pour effectuer des calculs trigonométriques. On peut dire qu'alors l'astrolabe devient le roi des instruments de mathématiques, aux multiples fonctionnalités, car à la mesure du temps s'ajoutent alors l'orientation dans l'espace, facilitant la cartographie, les mesures topographiques et le calcul mécanique des coordonnées astronomiques ou des fonctions trigonométriques. Plus qu'un instrument de mesure, l'astrolabe est un instrument de calcul.

Cependant, l'astrolabe n'est pas tout à fait « universel ». Ses tracés dépendant de la latitude du lieu (angle que fait au centre de la Terre le lieu d'observation avec l'équateur, au nord ou au sud), il est nécessaire, lors de grands déplacements dans la direction nord-sud, de changer une de ses pièces avant de pouvoir s'en servir. La recherche d'un astrolabe universel, utilisable à toutes les latitudes, prend sa source dans les « tables d'horizon » qui apparaissent au Moyen-Orient aux ixe et xe siècles et aboutit au xie siècle avec son invention à Tolède, en Andalus, sous deux formes, par Ibn Khalaf et al-Zarqâlî (Azarquiel pour les Latins du Moyen Âge). Toutefois,

l'astrolabe universel n'éclipse pas l'astrolabe planisphérique classique. S'il est bien adapté pour résoudre certaines questions, comme les changements de coordonnées, il correspond moins bien à la vision que l'observateur a du ciel et ne couvre pas les mêmes usages. Nous y reviendrons.

Si l'astrolabe a achevé sa carrière d'instrument scientifique il y a plusieurs siècles de cela, son étude ouvre, nous le verrons, une porte très actuelle sur l'histoire des sciences et la pratique des principes astronomiques et géographiques.

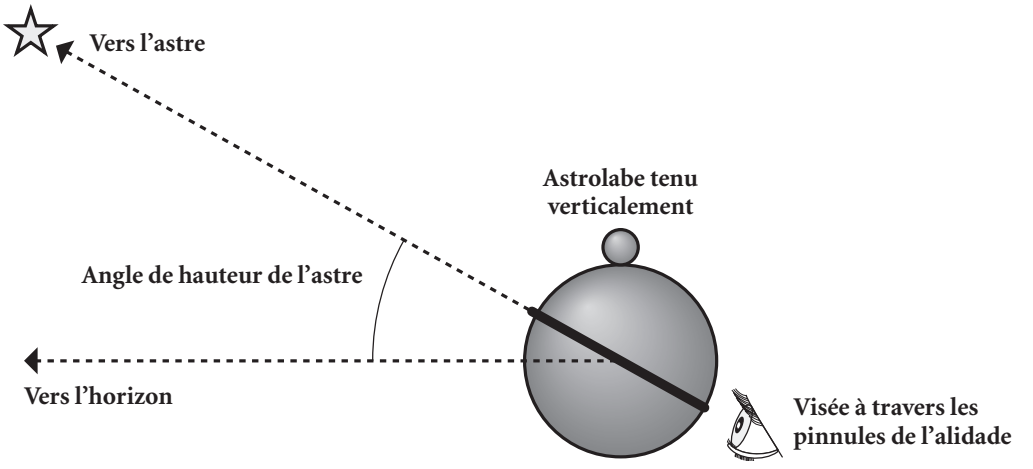
Prendre les astres



Cercles de hauteur, de l'horizon au zénith, représentés sur la sphère locale

« Astrolabe » est un mot d'origine grecque qui se traduit, littéralement, par « preneur d'astres » : en grec, *astron* signifie « astre » et *labê* dérive du verbe *lambanein*, qui signifie « prendre ». Ce que l'astrolabe prend aux astres, c'est l'angle de hauteur, ou d'altitude, qu'ils font avec l'horizon par rapport à l'observateur. L'angle de hauteur est l'une des deux coordonnées locales (l'autre est l'angle d'azimut) qui permettent de repérer les astres dans le ciel : depuis 0° de hauteur, correspondant au niveau de l'horizon (à peine visible dans le meilleur des cas), jusqu'à 90° de hauteur, correspondant à la verticale de l'observateur, au-dessus de sa tête (point nommé « zénith »). En imaginant une grande demi-sphère centrée sur l'observateur, la « sphère locale », comme à la figure ci-dessus, on peut se figurer les cercles de hauteur, par exemple tous les dix degrés.

Pour mesurer l'angle de hauteur d'un astre, on utilise le dos de l'astrolabe que l'on tient alors verticalement. Une règle de visée, l'alidade (nommée *dioptron*, « dioptre », en grec), glisse sur un rapporteur gradué de 0 à 90°. Pour « prendre une étoile », on tient l'astrolabe bien verticalement par son anneau de suspension et on tourne l'alidade de façon à viser l'astre à travers les deux pinnules (on désigne ainsi les petits trous de visée), voir la figure suivante. On lit ensuite l'angle de hauteur grâce au rapporteur gradué sur le bord de l'astrolabe.



Mesure à l'astrolabe de la hauteur d'une étoile

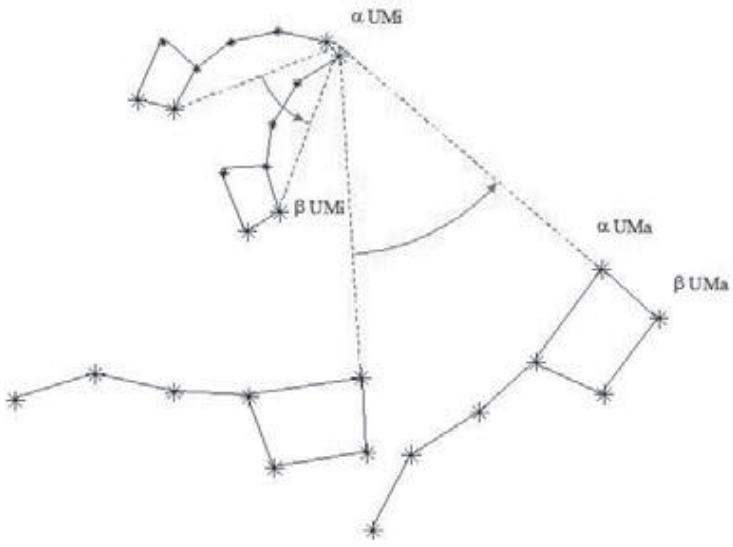
Pour prendre le Soleil, la procédure est un peu différente, puisqu'on ne peut le viser directement sauf à se brûler les yeux. On va donc le « peser », selon l'expression des navigateurs portugais, en tournant l'alidade pour faire passer les rayons lumineux à travers les trous des pinnules de sorte que se superposent les deux ronds lumineux formés au sol.

Une fois la mesure de l'angle de hauteur effectuée, il s'agit de la reporter sur la face astronomique de l'astrolabe, pour placer le ciel dans la position apparente qui est la sienne au moment de l'observation. La représentation géométrique du ciel et de ses mouvements apparents, qui figure sur la face de l'astrolabe, permet d'exploiter la mesure d'angle qui vient d'être faite. L'étoile, qu'il faut bien sûr connaître, dont on vient de mesurer la hauteur, devra être figurée sur la face astronomique de l'instrument.

Le joyau de la géométrie grecque

Au cours du temps, pour un observateur situé à un point fixe de la Terre, les astres semblent tourner autour du pôle céleste (point du ciel situé à la verticale du pôle terrestre et dans l'axe de rotation de la Terre). Il en est ainsi la nuit, où l'on peut voir les constellations tourner autour du pôle, mais aussi le jour, où le Soleil semble se déplacer.

On peut alors, comme les Grecs, se figurer les astres placés sur une sphère, la « sphère céleste », centrée sur le centre de la Terre et en rotation autour de cette dernière. Dans ce modèle, le mouvement des étoiles et du Soleil est donc simulé à l'aide de deux sphères, la sphère locale fixe, où figurent les cercles



Rotation apparente des Ourses autour du pôle Nord céleste au cours de la nuit

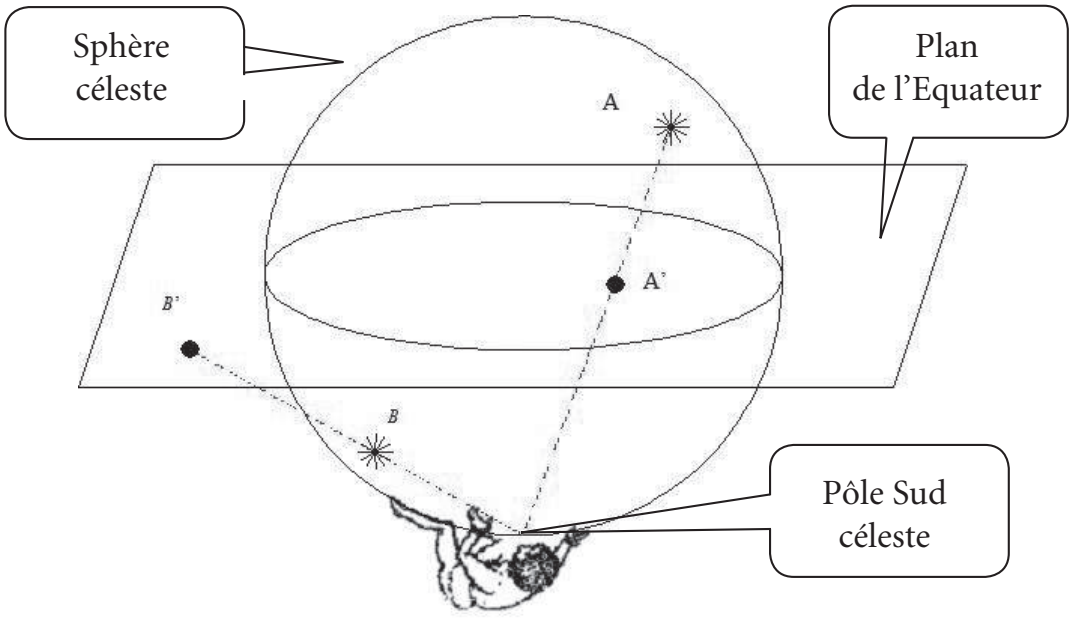
de hauteur, et la sphère céleste, en rotation sur l'axe des pôles, où figurent les étoiles et le Soleil (ci-contre).

Sphère locale fixe et sphère céleste en rotation

Il ne faut pas croire que cette vision des sphères soit périmée. On sait certes qu'elle ne correspond pas à la réalité (les étoiles ne sont pas à la même distance de la Terre, situées sur une sphère en rotation), mais elle est toujours très utile pour le repérage des astres et la définition de leurs coordonnées. La face astronomique de l'astrolabe correspond à une projection de ces deux sphères. L'instrument permet donc, « à plat », de simuler le mouvement apparent des astres. C'est beaucoup plus pratique pour voyager, plutôt que de s'encombrer avec des sphères fragiles, et c'est aussi moins coûteux à fabriquer.

Le principe de cette mise à plat des sphères est celui d'une projection stéréographique. Moins barbare qu'il n'y paraît, il s'agit d'une projection visuelle assez simple. Imaginez votre œil situé au pôle Sud céleste (voir la figure ci-contre) et regardez depuis cet endroit les étoiles situées aux points A et B de la sphère céleste. Les projections A' et B' de ces étoiles seront

situées aux points où les rayons visuels rencontrent le plan de l'équateur céleste. On remarque que plus un astre est proche du pôle Sud, plus sa projection est éloignée du centre de l'équateur. On ne projette pas une sphère sans quelques dommages et l'astrolabe planisphérique ne peut pas figurer entièrement le ciel.

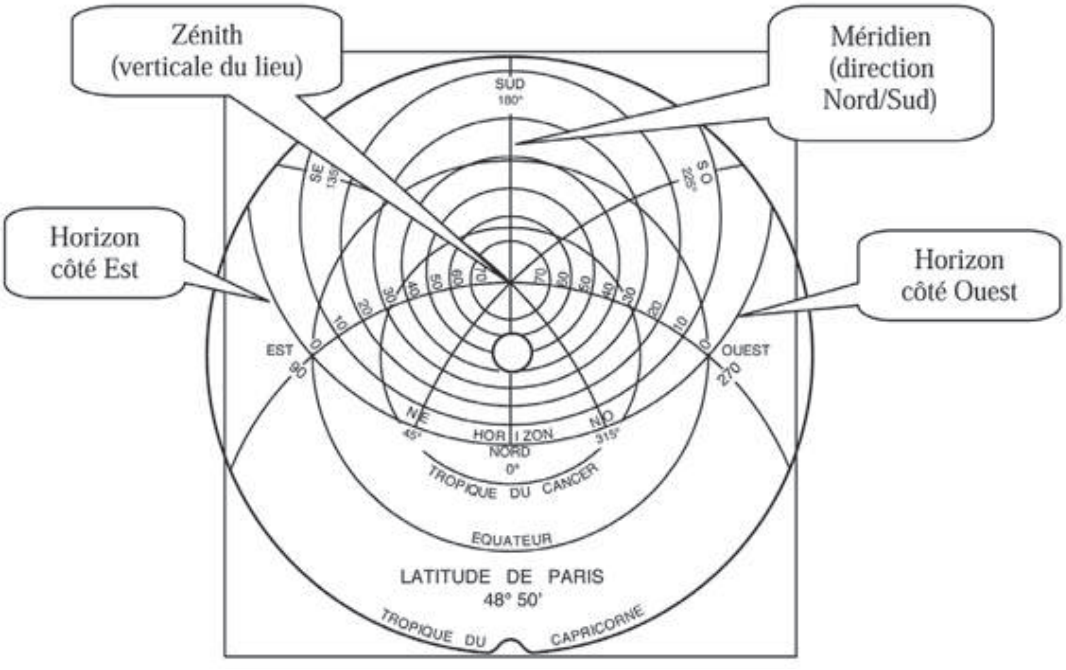


Projection stéréographique de pôle Sud sur le plan de l'équateur

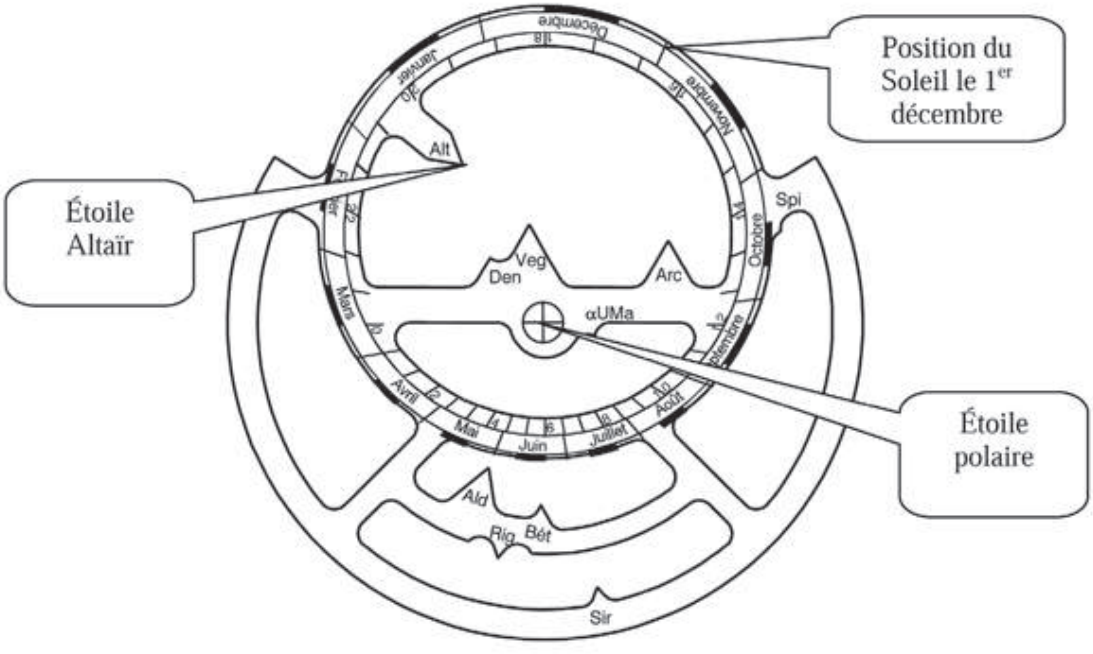
Une des propriétés importantes de cette projection est de représenter les cercles de la sphère par des cercles sur le plan (ou par des droites lorsqu'il s'agit de cercles passant par le pôle Sud). Cette propriété mathématique facilite grandement la construction de l'astrolabe car il est simple de tracer un cercle. Le principe de la projection stéréographique est dû à Hipparque, vers 150 avant notre ère ; l'instrument lui-même a peut-être été décrit pour la première fois par Théon d'Alexandrie (vers 375).

La projection des deux sphères donne naissance aux deux pièces qui constituent la face astronomique de l'astrolabe. La sphère locale donne le tympan (voir la figure en haut page 74), tracé pour une latitude d'observation donnée et qui est fixe. Figurent en particulier sur le tympan le cercle d'horizon et les arcs de hauteur (d'altitude), jusqu'au zénith. La sphère céleste donne l'« araignée » (voir la figure en bas page 74), ainsi nommée en raison de sa forme de toile ajourée, carte céleste en rotation autour du pôle céleste Nord (à peu de chose près, le centre de l'araignée

correspond à l'étoile Polaire). Les étoiles sont fixes les unes par rapport aux autres. C'est à cette carte des étoiles que correspondent les pointes. Le Soleil, lui, est en mouvement annuel apparent par rapport aux étoiles. Sa position est indiquée sur l'araignée par la date du calendrier.



Tympan d'astrolabe pour la latitude de Paris

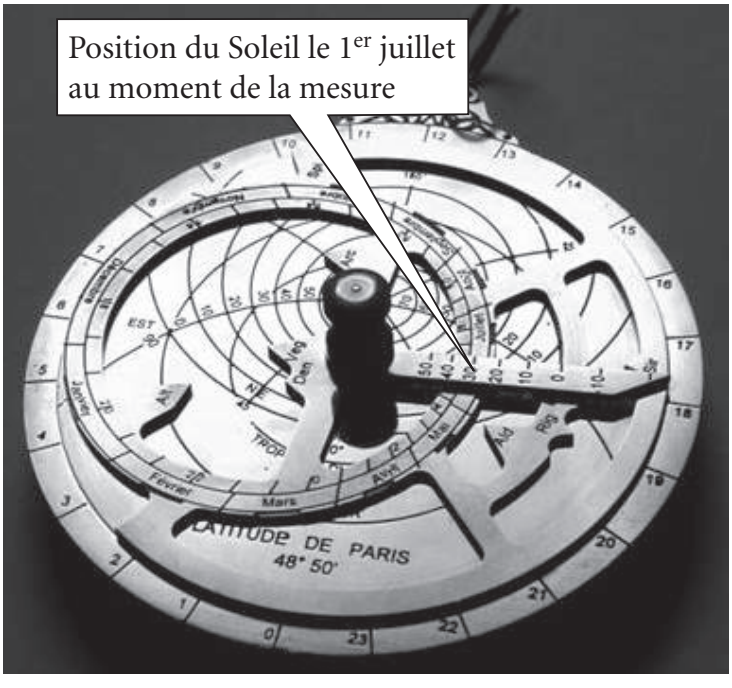


Araignée d'astrolabe. Les pointes figurent des étoiles très brillantes, la position du Soleil correspond aux dates du calendrier

Mesurer le temps

La première chose que permet l'observation du ciel est la mesure du temps. La position du Soleil dans le ciel permet d'avoir une idée de l'heure. On sait qu'à midi (solaire), il atteint sa hauteur maximale. La position des étoiles la nuit permet aussi d'avoir l'heure, les bergers et les marins le savent bien. Ce sera la première fonction de l'astrolabe que de fournir l'heure en utilisant l'angle de hauteur du Soleil ou d'une des étoiles figurant sur l'araignée et mesurée préalablement. Le ciel paraissant effectuer sa rotation en vingt-quatre heures, le bord de l'astrolabe est ainsi gradué en vingt-quatre heures, avec 12 heures (midi) dans la direction du sud. Prenons deux exemples (il est plus facile de suivre ces exemples à l'aide d'une maquette d'astrolabe, telle que celle que l'on peut fabriquer, par impression, à partir du site Internet de ce livre ou par photocopie des pièces données en annexe du texte pédagogique).

Supposons que l'après-midi du 1er juillet, on mesure le Soleil à 20° de hauteur. On prend alors la face astronomique de l'astrolabe et on tourne l'araignée pour amener la date du 1er juillet (position du Soleil par rapport aux étoiles ce jour-là) sur le cercle de hauteur 20°. Comme il y a deux positions possibles (et deux instants de la journée où le Soleil est à 20° d'altitude), on se place dans la moitié ouest du tympan puisque la mesure est faite l'après-midi. Le ciel est maintenant en position, tel qu'il était au moment de la mesure. Une aiguille mobile amenée sur la position du Soleil (date du 1er juillet) indiquera alors l'heure (solaire) sur le bord de l'instrument. Si l'on est à la latitude de Paris (en utilisant le tympan correspondant), on lira alors 17 h 45 sur le bord.

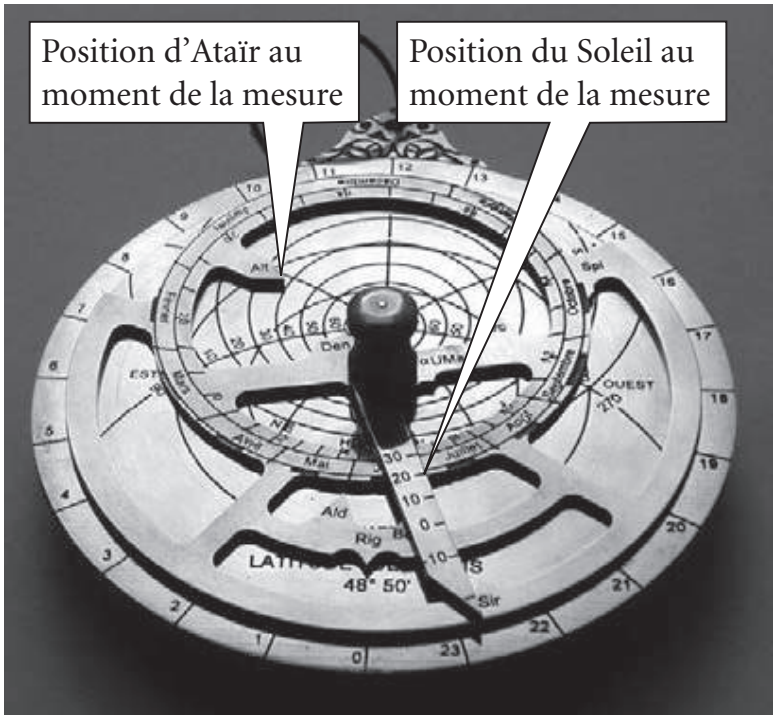


Détermination de l'heure le jour

La nuit, la procédure est analogue. Supposons que l'on soit la nuit du

1er juillet et que l'on ait mesuré l'étoile Altaïr à 40° de hauteur dans la moitié est du ciel. On tourne l'araignée pour amener le ciel en position, c'est-à-dire pour que la pointe figurant Altaïr soit sur le cercle de hauteur 40° du côté est. L'heure (solaire) est donnée par le Soleil qui, la nuit, est sous l'horizon. On amène l'aiguille sur la date du 1er juillet, correspondant à la position du Soleil sous l'horizon, et elle indiquera l'heure sur le bord de l'instrument. Si le tympan est celui de la latitude de Paris, on lira l'heure solaire : 22 h 50.

L'utilisation de l'astrolabe pour la détermination de l'heure, ainsi que pour la résolution de certains problèmes astronomiques ou astrologiques, comme la détermination de la durée du jour ou celle de l'ascendant astrologique, est présente dans le plus ancien traité de l'astrolabe qui nous soit parvenu, celui écrit à Alexandrie vers 550 de notre ère par Jean Philopon, dit le Grammairien. Il n'y a rien encore en revanche sur les utilisations possibles de l'astrolabe pour s'orienter ou pour topographier, pas plus que dans le traité postérieur de l'évêque Sévère Sebokht, écrit en syriaque au VIIe siècle. Il faudra attendre l'introduction de l'astrolabe dans le monde islamique, où, on l'a dit, l'instrument trouvera un terrain favorable, et chercher dans les traités d'al-Khwârizmî pour voir apparaître plusieurs innovations importantes que nous avons déjà signalées.



Détermination de l'heure la nuit

Al-Khwârizmî et l'astrolabe

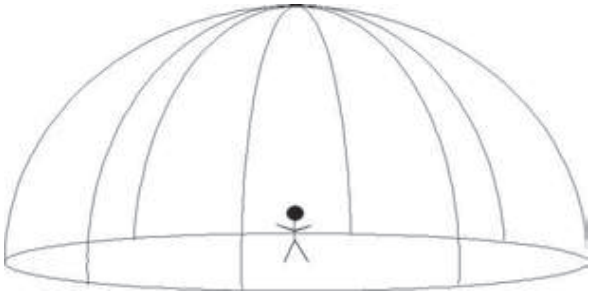
Le mathématicien et astronome al-Khwârizmî est célèbre comme étant le fondateur de l'algèbre. Il est moins connu qu'il fut aussi un grand astronome,

préoccupé de questions pratiques et d'instruments, en particulier de l'astrolabe[3]. On connaît peu de chose de la vie d'Abu 'Abdallah Muhammad ibn Musa al-Khwârizmî (né avant 800 et mort après 847). Son épithète « al-Khwârizmî » semble indiquer qu'il est originaire de la province de Khwarizm, aujourd'hui en Ouzbékistan. Sous le calife al-Ma'mun, qui règne de 813 à 833, al-Khwârizmî devient membre de la célèbre « maison de la Sagesse » (*Bayt al-Hikma*) fondée à Bagdad par Harun al-Rashid, père d'al-Ma'mun et fameux personnage des *Mille et Une Nuits*.

C'est dans ce cadre qu'il écrit ses principaux traités : son livre d'algèbre, *al-Kitab al-Mukhtasar fi hisah al-jabr wa-l-muqabala*, son livre sur le calcul indien, mais aussi des tables astronomiques, *Zij al-sindhind*, inspirées par des tables indiennes, ainsi qu'une Géographie fournissant des listes de longitudes et de latitudes de lieux. Al-Khwârizmî est l'auteur de deux ouvrages sur l'astrolabe, l'un sur la fabrication de l'instrument, l'autre sur son usage. C'est dans ce dernier ouvrage qu'apparaissent pour la première fois à notre connaissance les utilisations innovantes que sont la détermination de l'azimut et l'usage du carré des ombres.

Lignes d'azimut et orientation dans l'espace

Les arcs d'azimut tracés sur la sphère locale relient le zénith aux différents points cardinaux. L'angle d'azimut, que les astronomes mesurent à partir du sud (les marins et les topographes, à partir du nord), donne, avec l'angle de hauteur, les coordonnées locales des objets dans le ciel.



Arcs d'égal azimut sur la sphère locale

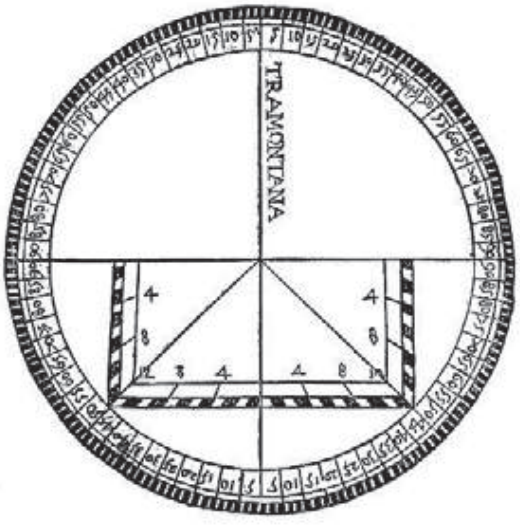
L'ajout, sur le tympan de l'astrolabe, des arcs d'égal azimut permet alors de s'orienter. Il s'agit d'une innovation importante, pour les voyageurs, mais aussi pour les fidèles qui doivent, pour leur prière, connaître la direction de La Mecque. Cette orientation est plus précise que celle fournie par une boussole, la déviation entre le Nord géographique et le Nord magnétique étant en effet variable, aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Dans son traité sur l'astrolabe, al-Khwârizmî décrit comment utiliser l'instrument pour déterminer l'azimut du Soleil. Prenons un exemple. Supposons que l'on veuille s'orienter d'après la position du Soleil le 1er avril à la latitude de Paris alors qu'il est 14 h 30 en heure solaire. On place l'aiguille de l'astrolabe à 14 h 30, puis on pivote l'araignée de façon à amener la graduation du 1er avril sous l'aiguille. On constate que le Soleil, c'est-à-dire la graduation du 1er avril, se situe sur la ligne d'azimut sud-ouest. À cet instant, le Soleil indique donc la direction sud-ouest.

On peut alors retourner l'astrolabe et utiliser son dos à l'horizontale pour s'orienter. On se servira des graduations en degrés situées sur le bord pour indiquer les directions et l'alidade servira d'aiguille, comme une boussole (sauf qu'il s'agira des véritables directions géographiques et non des directions magnétiques de la boussole). Si l'on convient que la graduation angulaire située sous l'anneau de suspension représente la direction du sud, le sud-ouest correspond à 45° à sa droite. Puisque le Soleil est dans la direction sud-ouest, on place l'alidade sur cette graduation 45° et, en tenant toujours l'astrolabe horizontalement et sans toucher l'alidade, on le tourne jusqu'à ce que l'alidade soit dans la direction du Soleil. L'azimut du Soleil est alors en place et l'astrolabe orienté. Tous les azimuts sont corrects et on peut, en tournant seulement l'alidade, viser des détails du paysage dans les azimuts souhaités.

Le carré des ombres

Le carré des ombres (généralement un double carré, voir la figure ci-contre dont les côtés des carrés font 12 unités et sont gradués 4-8-12) est un élément habituel figurant au dos des astrolabes à partir du IXe siècle. Al-Biruni rapporte que certains attribuent son invention à al-Khwârizmî. De fait, le texte d'al-Khwârizmî, qui dans son traité commence par : « Si vous

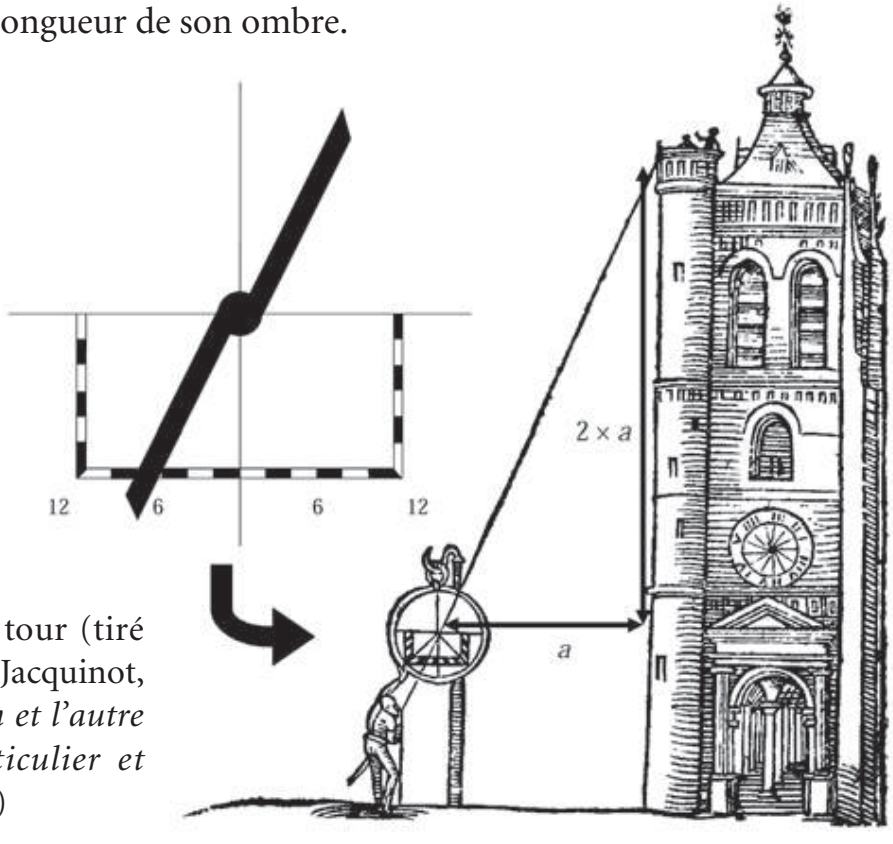


Double carré des ombres
au dos d'un astrolabe (tiré de Cosimo Bartoli, *Del modo di misurare*, 1564)

voulez déterminer l'ombre de la hauteur et sa construction », constitue sans doute la toute première apparition du carré des ombres dans la littérature de l'astrolabe.

La dénomination « carré des ombres » fait allusion aux mesures analogues que l'on obtient à l'aide de l'ombre d'un bâton, un gnomon, planté verticalement dans le sol. Le carré des ombres de la figure page précédente correspondrait à un gnomon mesurant 12 unités, mais c'est arbitraire (il en est ainsi dans le texte d'al-Khwârizmî).

Supposez que, par une journée ensoleillée, vous vouliez mesurer la hauteur d'un bâtiment dont vous pouvez mesurer l'ombre au sol. Les rayons du Soleil étant considérés comme parallèles, il vous suffit, pour connaître la hauteur du bâtiment, de connaître le rapport entre une chose verticale et son ombre. Prenez un bâton de 12 unités et tenez-le bien verticalement. Mesurez son ombre. Si, par exemple, celle-ci est de 6 unités, vous avez un rapport de 12/6 = 2. Vous en déduisez que la hauteur du bâtiment est égale à deux fois la longueur de son ombre.



Mesure d'une tour (tiré de Dominique Jacquinot, *L'Usage de l'un et l'autre astrolabe particulier et universel*, 1625)

Le recours à l'ombre est cependant bien contraignant et l'astrolabe permet de s'en passer. Il suffit de tenir l'astrolabe bien verticalement et de viser le bâtiment à travers les pinnules de l'alidade. Celle-ci indique, sur

le carré des ombres, le rapport entre une mesure verticale et une mesure horizontale, par exemple 12/6 si elle tombe sur la graduation 6 du carré. Il suffit alors de mesurer au sol la distance séparant le lieu de la visée du pied du bâtiment, puis de la multiplier par le rapport fourni par l'astrolabe, sans oublier de lui ajouter la distance entre le sol et l'œil de l'observateur.

Le quadrant des sinus

Le quadrant des sinus (*al-rub' al-mujayyab*) est un graphique souvent gravé sur un des quarts de disque au dos des astrolabes et qui permet de trouver le sinus et le cosinus des angles, mais aussi, avec l'aide de l'alidade, d'autres fonctions trigonométriques plus complexes comme celle donnant la déclinaison du Soleil en fonction de sa longitude (la déclinaison d'un astre est l'une de ses coordonnées équatoriales et la longitude d'un astre l'une de ses coordonnées écliptiques). Nous n'entrerons pas dans les détails, trop rapidement techniques ; l'essentiel est de comprendre que l'élaboration de ces graphiques, qui fournissent des solutions visuelles à des calculs complexes, va de pair avec le développement de la trigonométrie par les savants des pays d'Islam (notions de cosinus, de tangente, relations et formules). L'astronome du XIII^e^ siècle al-Marrâkushî en attribue la paternité à al-Khwârizmî, nommant le quadrant des sinus *al-jayb al-khwârizmî*, c'est-à-dire « le quadrant des sinus d'al-Khwârizmî », dans ce qui est d'ailleurs, semble-t-il, la première description de ce graphique qui se trouve dans le traité *Sur la construction et l'utilisation du quadrant des sinus* d'al-Khwârizmî.

Après al-Khwârizmî, le grand savant al-Bîrûnî (973–1050), dans son *Traité de l'astrolabe*, ajoute aux tympans de l'instrument la ligne du crépuscule sous l'horizon (le jour commence à paraître lorsque le Soleil est sur cette ligne), ainsi que d'autres lignes indiquant les heures des prières musulmanes. Cependant, l'invention la plus notable après les innovations d'al-Khwârizmî est celle de l'astrolabe universel.

L'astrolabe universel

Pour obtenir un astrolabe dit « universel », on cherche à ne plus avoir qu'un seul tympan, et donc un seul instrument pour toutes les latitudes.

Les origines exactes de la recherche d'un astrolabe universel ne sont pas certaines, mais l'invention de l'instrument se fait en Andalus. Au XIe siècle, à Tolède, deux astronomes contemporains travaillent sur un astrolabe universel obtenu par projection stéréographique. Le premier, peu connu, est Ali Ibn Khalaf, qui nous a laissé ce témoignage :

« […] il arriva que je compris comment peut être fait un instrument [astrolabe] pour le monde entier, qui ne contiendrait pas plus d'un tympan et une araignée. Je lui ai donné le nom d'horizon universel, et l'ai réalisé pour mon seigneur le roi al-Ma'mun [de Tolède] (1037-1074) et ai fait ce livre […].[4] »

Il s'agit d'un tympan sur lequel est gravé le résultat d'une projection stéréographique particulière. Techniquement, il s'agit d'une projection stéréographique sur le plan du colure des solstices et dont le pôle de projection est situé au point vernal (au-delà de cette définition, trop technique, il importe de comprendre que l'astrolabe universel représente moins bien le ciel tel qu'il nous apparaît et que, pour cette raison, ne remplacera pas l'astrolabe planisphérique classique). Sur cet unique tympan « universel » tourne une araignée divisée en deux parties, une moitié constitue une carte des étoiles, l'autre moitié une toile de méridiens et de parallèles.

Plus célèbre, même de son temps, le second astronome est al-Zarqâlî (mort en 1100), né à Cordoue mais qui vécut surtout à Tolède. C'est un autodidacte, qui se fait d'abord connaître comme un habile fabricant d'instruments. Al-Zarqâlî conçoit sa « saphéa » (le terme *safiha*, en latin *saphaea*, désigne le tympan de l'astrolabe) avec la même projection stéréographique qu'Ibn Khalaf, mais en substituant à l'araignée une alidade munie d'un curseur avec un petit bras. De son traité sur la *Safiha az-Zarqâliyya*, on connaît plusieurs traductions. En 1263, Profatius de Montpellier (Ibn Tibbon) en rédige, avec l'aide de Jean de Brescia, une version latine à partir de sa traduction en hébreu. Cet astrolabe sera « retrouvé » cinq siècles plus tard par Gemma Frisius à Louvain, sous le nom d'astrolabe « catholique », soit « universel ».

Le destin de l'astrolabe

L'astrolabe est sans aucun doute l'instrument scientifique ayant connu la plus longue carrière, depuis la fin de l'Antiquité jusqu'aux débuts des Temps

modernes, témoin de ce que chaque civilisation a apporté à l'édifice de la science. Les savants des pays d'Islam en ont fait un instrument multifonctionnel qui, au-delà de la résolution des questions astronomiques et de la mesure du temps, permettait de s'orienter, de cartographier et d'effectuer de nombreux calculs trigonométriques. Le traité de l'astrolabe d'as-Sufi (903-986), qui, avec ses 386 chapitres, se voulait exhaustif, en donne ainsi plus de mille utilisations possibles. À partir du XVI^e^ siècle, les instruments se spécialisent et gagnent en précision. Dès le XVII^e^ siècle, l'astrolabe sera dépassé et progressivement remplacé, pour ses différents usages, par les horloges de précision (pour la mesure du temps), le sextant (pour les mesures de hauteur d'astres en mer), le théodolite à visée optique (pour la topographie), les instruments de calcul.

On a prêté à l'astrolabe d'immenses pouvoirs. En révélant les cieux, il devait dévoiler l'avenir et guérir les malades. Il possède en tout cas un vrai pouvoir pédagogique. Celui de nous enseigner l'histoire des sciences et de ceux qui l'ont faite, mais aussi de comprendre, en le manipulant, certains principes d'astronomie et de mathématiques. Ainsi peut-on conclure en citant le *Traité de la composition et fabrique de l'Astrolabe* de Johann Stöffler, qui s'adressait à ses lecteurs « en ne doutant aucunement, que ce ne leur soit chose fort agréable, & dont ils ne reçoivent fort grand plaisir [d'apprendre à connaître l'astrolabe] ; d'autant que ceci servira d'un vocabulaire à ceux, qui sont studieux en la discipline des Mathématiques, pour raison de la noble et haute inquisition de ses innumérables [innombrables] commodités, et usages ».

Bibliographie

1. François Charette et Petra G. Schmidl, « Al-Khwârizmî and Practical Astronomy in Ninth-Century Baghdad », *SCIAMVS – Sources and Commentaries in Exact Sciences*, n° 5, 2004, p. 101-198.

2. David A. King, *Islamic Astronomical Instruments*, Londres, Variorum Reprints, 1987, III, p. 49.

3. Otto Neugebauer, *History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlin-New York, Springer Verlag, 1975, II, p. 868-879.

4. Cité par Anthony J. Turner dans *The Time Museum*, t. I : *Time Measuring Instruments, Astrolabes, Astrolabe Related Instruments*, Rockford, The Museum, 1985

L'astrolabe
ou le ciel à portée de la main

Prérequis

La succession des jours et des nuits et le mouvement du Soleil au cours d'une journée, vu depuis la Terre, sont liés à la rotation de la Terre sur elle-même en vingt-quatre heures.

Objectifs notionnels

Au cours d'une nuit, on voit, depuis la Terre, les étoiles tourner autour de l'étoile Polaire : ce mouvement est lié à la rotation de la Terre sur elle-même autour de l'axe des pôles passant par l'étoile Polaire.

Au cours d'une journée, lorsque le Soleil se déplace d'est en ouest, sa hauteur varie et il culmine à midi solaire dans la direction du sud. Cette course du Soleil dans le ciel, vue depuis la Terre, varie au cours des saisons.

Au cours d'une année, on voit le Soleil se déplacer sur les constellations du zodiaque (appelées aussi « constellations de l'écliptique » car elles sont contenues dans le plan de rotation de la Terre autour du Soleil) : ce mouvement observé depuis la Terre est lié à la révolution de la Terre autour du Soleil.

Référence au programme de sciences et technologie du cycle 3 de l'école primaire

« Le ciel et la Terre : le mouvement de la Terre autour du Soleil ; la rotation de la Terre sur elle-même ».

Du IVe au XVIIe siècle, l'astrolabe a eu de multiples applications, en particulier pour déterminer l'heure, de jour comme de nuit, pour repérer la hauteur des étoiles ou du Soleil dans le ciel, pour s'orienter. Inventé par les Grecs, puis perfectionné par les savants des pays d'Islam, cet instrument revêtait par ailleurs une importance toute particulière pour les musulmans car il permettait de connaître l'orientation vers La Mecque pour les prières quotidiennes (voir le texte historique pour plus de détails).

Une recherche documentaire suivie de la fabrication d'une maquette d'astrolabe permettra aux enfants de se familiariser avec l'histoire et les différentes pièces de cet instrument. À l'aide de cette maquette, nous allons, comme l'a certainement fait al-Khwârizmî avec Nabil et Fadila (le maître fera lire le texte pour enfants en classe), les initier à deux utilisations de cet instrument. La première concerne l'utilisation astronomique de l'astrolabe, « le preneur d'étoiles », la seconde son utilisation pour déterminer la hauteur d'une tour par exemple. L'ensemble des activités nécessite dix à douze séances mais plusieurs d'entre elles sont indépendantes.

Recherche documentaire

Les élèves sont invités à rechercher diverses informations sur l'astrolabe : par qui a-t-il été inventé puis perfectionné ? à quoi sert-il ? quels sont les différents éléments qui le constituent[1] ?

On pourra déboucher sur une frise chronologique situant les périodes grecque puis islamique et montrer que cet instrument a été utilisé pendant une très longue période.

Les informations recueillies et synthétisées par la classe pourront être notées sur le cahier d'expériences.

Fabriquer un astrolabe

La recherche documentaire et l'animation présentée sur le site du projet permettent aux élèves de découvrir les différentes parties de l'astrolabe. On proposera à chaque élève de fabriquer son propre instrument à partir de ces différents éléments.

Matériel

Les élèves disposent chacun de diverses pièces photocopiées sur papier (dos et face de la matrice, tympan, aiguille et alidade) et de l'araignée photocopiée sur transparent (voir en annexe). Ils ont également une fiche bristol, de la colle en bâton, deux œillets, un trombone, une attache parisienne et un morceau de paille de 5 cm.

Fiche de fabrication

1. coller le dos de la matrice sur du bristol et découper le disque ;
2. découper la face de la matrice et la coller de l'autre côté du bristol ;
3. découper le tympan et le coller sur la face avant de la matrice, en alignant la direction du sud avec la graduation 12 de la matrice ;
4. coller l'aiguille et l'alidade sur du bristol puis les découper ;
5. découper le contour de l'araignée en suivant les pointillés (sur le transparent) ;
6. superposer ces éléments dans l'ordre : l'alidade, la matrice (tympan sur le dessus), l'araignée et l'aiguille, et maintenir ces éléments avec une attache parisienne au centre ;
7. coller un morceau de paille dans la longueur de l'alidade ;
8. perforer le trou pour la suspension et le renforcer avec des œillets ;
9. passer un trombone dans le trou.

Une fois l'objet fabriqué, une observation collective permettra de faire quelques constats et de soulever un certain nombre de problèmes.

Face arrière de la matrice

On y voit les douze mois de l'année représentés en cercle (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) ; pour chaque mois (avec un léger décalage), on lit le nom d'une constellation et les enfants reconnaîtront facilement les noms des « signes » du zodiaque des horoscopes. On voit également un demi-carré sur lequel on lit le mot « ombres » : à quoi sert-il ? L'alidade peut tourner et semble servir à viser grâce à la paille : pour quel usage ?

Face avant de la matrice

Sur le tympan sont dessinés beaucoup de cercles ; l'un d'eux en particulier

est gradué de 0 à 90° (même si les élèves ne connaissent pas la mesure des angles, on peut leur dire que les degrés permettent de mesurer des angles, qu'un angle droit mesure 90°). On lit : « latitude de Paris » ; cet astrolabe peut donc être utilisé en France métropolitaine, mais il serait faux au pôle Nord ou à l'équateur, comme on le précise dans l'animation. L'anneau extérieur est gradué sur vingt-quatre heures.

Araignée

Cette pièce possède des griffes qui représentent les étoiles les plus brillantes du ciel (voir l'animation) ; ces étoiles sont repérées par les premières lettres de leur nom et nous allons essayer de les identifier en observant sur la carte du ciel (voir en annexe) les étoiles les plus brillantes.

– « Sir » pour Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel ;

– « Ald » pour Aldébaran ;

– « Rig » pour Rigel, et « Bét » pour Bételgeuse, les deux étoiles les plus lumineuses de la constellation d'Orion, qui est bien visible pendant l'hiver ;

– « Arc » pour Arcturus ;

– « Den » pour Deneb, « Veg » pour Véga, « Alt » pour Altaïr, les trois étoiles du « triangle de l'été » que l'on observe haut dans le ciel à cette saison.

Cet exercice permet aux élèves de se familiariser avec le ciel en reconnaissant quelques étoiles et constellations grâce à la carte du ciel qui reproduit sur un plan le « dôme du ciel » évoqué par Nabil et Fadila. Pour utiliser l'astrolabe, il fallait bien connaître le ciel et les étoiles car c'étaient ces dernières qui permettaient de s'orienter ou de connaître l'heure la nuit. Le maître pourra organiser une observation du ciel pour compléter ce travail.

Après la lecture du texte pour enfants, on incitera les élèves à commenter, et éventuellement à questionner, le passage dans lequel Nabil et Fadila évoquent le mouvement des astres au cours de la nuit et l'immobilité de l'étoile Polaire. La présentation d'une photo d'un ciel nocturne prise avec un temps d'exposition très long permettra de visualiser ce mouvement des étoiles autour de l'étoile Polaire. Le maître aidera les élèves à interpréter ce phénomène par la rotation de la Terre sur elle-même : la Polaire est fixe pour

l'observateur terrestre car elle est sur l'axe de rotation de la Terre. Il pourra utiliser un globe terrestre transpercé par un axe : lorsque le globe tourne autour de son axe, les points de l'axe sont immobiles.

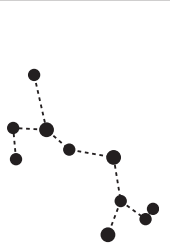
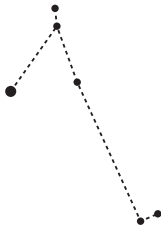
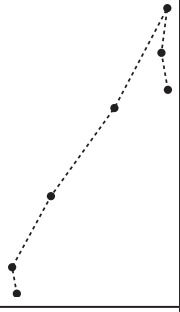
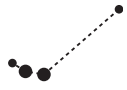
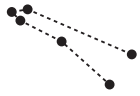
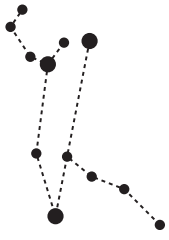
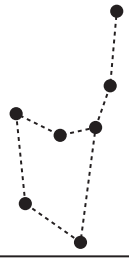
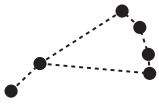
S'interroger sur le mouvement du Soleil au cours de l'année sur le fond des étoiles

Intéressons-nous maintenant à la position du Soleil sur l'astrolabe. L'animation nous dit qu'elle est représentée par un « calendrier » tout autour de l'araignée : nous observons effectivement un cercle gradué en mois sur l'araignée. Ainsi, au cours des mois, le Soleil se déplace et fait « le tour du ciel » en un an. Cette constatation peut être l'objet d'un premier questionnement : « Pourquoi les étoiles sont-elles toujours au même endroit sur l'araignée (les griffes de l'araignée) alors que le Soleil se déplace sur un cercle de mois en mois ? »

Les élèves observent à nouveau, comme sur le dos de la matrice, les différents mois représentés en cercle sur l'araignée. Le maître invite les élèves à observer le même calendrier sur la carte du ciel : derrière chaque mois, repéré par son numéro, on lit le nom d'une constellation du zodiaque. Par exemple, pour le mois de juin (6), on trouve la constellation du Taureau et c'est donc dans cette direction que se trouve le Soleil en juin. En juillet (7), le Soleil coïncide avec la constellation des Gémeaux, en août (8) avec celle du Cancer, etc. Ainsi, le Soleil coïncide chaque mois avec une constellation du zodiaque différente. En observant la carte du ciel et en s'aidant des dessins des constellations du Zodiaque fournis en annexe, les élèves pourront constituer le tableau ci-contre : pour chaque mois, ils colleront le dessin de la constellation correspondante avec son nom.

Remarques pour le maître : Le plan de l'écliptique, le plan de l'orbite terrestre autour du Soleil, passe par un certain nombre de constellations, appelées « constellations du zodiaque » ou « de l'écliptique »[2]. On demandera aux élèves d'utiliser la carte du ciel et non l'astrolabe pour remplir le tableau. Ils remarqueront peut-être le décalage d'un mois environ avec les noms portés sur le dos de la matrice de l'astrolabe. Ce décalage s'explique par le fait que les signes du zodiaque ont été définis au v^{e} siècle avant J.-C. et que le ciel

s'est modifié depuis du fait de la précession des équinoxes (lent changement de direction de l'axe de rotation de la Terre). De plus, le zodiaque avait été divisé en douze parties égales, alors que les constellations ont des étendues très différentes. Actuellement, les signes du zodiaque n'ont qu'un rapport lointain avec les constellations du zodiaque, mais cette différence ne sera pas expliquée aux enfants.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Sagittaire	Capricorne	Verseau	Poissons	Bélier	Taureau
					
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Gémeaux	Cancer	Lion	Vierge	Balance	Scorpion
					

Position du Soleil chaque mois par rapport
aux constellations du zodiaque

Les élèves pourront coller ce tableau sur leur cahier d'expériences et élaborer un petit texte. Par exemple : « Ce tableau indique le nom des constellations devant lesquelles le Soleil passe chaque mois : ainsi, en juin, le Soleil, pour un observateur terrestre, est devant la constellation du Taureau ; en juillet, le Soleil semble se déplacer vers l'est et se trouve devant la constellation des Gémeaux, et ainsi de suite. En un an, le Soleil revient à sa position initiale. »

Le maître incite les élèves à résoudre le problème (« Pourquoi le Soleil se déplace-t-il au cours de l'année sur le fond des étoiles ? ») et à comprendre ce

qui se passe réellement. Pour cela, chaque groupe d'élèves dispose de douze étiquettes préparées à l'avance représentant les constellations de l'écliptique (voir le document en annexe). Ils sont invités à les placer en cercle sur leur table (attention, une observation attentive de l'astrolabe montre que ces constellations se succèdent dans l'ordre des mois, mais dans le sens inverse des aiguilles d'une montre). Ensuite, ils doivent placer le Soleil (représenté par une balle de ping-pong) et la Terre (mini-globe terrestre taille-crayon par exemple) à leurs positions respectives au mois de juin et imaginer ce qui se passe ensuite au fil des mois (de juin à décembre, puis de décembre à juin).

Pour cela, il faut réfléchir à la position du Soleil et de la Terre par rapport aux étoiles : le Soleil est beaucoup plus près de la Terre que les étoiles ! Ensuite, il faut respecter les données du tableau : en juin, le Soleil coïncide avec la constellation du Taureau (c'est-à-dire que le Soleil se trouve dans la direction de cette constellation pour l'observateur terrestre). On ne peut donc pas voir le Taureau à cette période car cette constellation est dans le ciel en même temps que le Soleil, c'est-à-dire en plein jour ; par contre, à minuit, le même mois, on est « en face » de la constellation du Scorpion qui est bien visible dans le ciel.

La plupart des groupes placeront vraisemblablement la Terre au centre et feront tourner le Soleil autour de la Terre en un an pour expliquer que le Soleil coïncide chaque mois avec une constellation du zodiaque différente.

Un échange collectif permettra de confronter le modèle géocentrique, adopté par la majorité des groupes, et le modèle héliocentrique. Si tous les groupes ne pensent qu'au modèle géocentrique, il faudra leur demander de commenter leur production. Dès que les élèves réalisent qu'ils font tourner le Soleil autour de la Terre, ils réagissent rapidement face à ce qu'ils considèrent comme une « erreur ». En effet, la plupart d'entre eux savent que « c'est la Terre qui tourne autour du Soleil » et non l'inverse.

La confrontation des deux modèles est très intéressante et il faut expliquer aux élèves qu'ils sont tous les deux pertinents. Mais ils correspondent à deux points de vue différents : celui de l'observateur terrestre (pour lequel le Soleil fait le tour du ciel en un an) et celui d'un observateur qui serait placé sur le Soleil (pour lequel ce serait la Terre qui effectuerait une révolution autour du Soleil en un an).

Le déplacement du Soleil au cours de l'année sur les constellations du zodiaque est alors interprété comme un mouvement « apparent », comme le mouvement du Soleil d'est en ouest au cours d'une journée que les élèves ont déjà étudié.

Connaître l'heure (ou s'orienter) avec l'astrolabe

« Prendre les astres » avec l'astrolabe, cela signifie repérer leur hauteur, c'est-à-dire l'angle entre la direction de l'astre et le plan horizontal, cet angle étant compris entre 0° (lorsque l'astre est sur l'horizon, donc à peine visible) et 90° (lorsqu'il est au zénith, c'est-à-dire à la verticale de l'observateur). La mesure des angles n'est pas au programme de l'école élémentaire ; toutefois, les enfants de cours moyen peuvent utiliser le rapporteur reproduit sur l'astrolabe, de la même manière qu'ils utilisent le cadran gradué de la boussole. Attention : il faut savoir que pour un enfant, la hauteur du Soleil (ou d'une étoile) est assimilée le plus souvent à une distance et non à un angle. L'animation permet d'introduire une réflexion sur la nature de cette grandeur et constitue une bonne introduction à la notion d'angle.

La première activité peut consister à « prendre le Soleil », c'est-à-dire à relever la hauteur du Soleil à plusieurs moments de la journée avec l'astrolabe tenu verticalement, pour répondre à diverses questions : « À quel moment de la journée le Soleil est-il le plus haut dans le ciel ? À quelle saison ? Comment connaître sa hauteur avec notre astrolabe ? » Le maître peut alors laisser les enfants émettre des hypothèses avant de les renvoyer vers l'animation. Les enfants utiliseront l'astrolabe et en comprendront le principe : il faut diriger le plan de l'astrolabe vers le Soleil et faire pivoter l'alidade jusqu'à faire passer les rayons lumineux à travers la paille. On obtient alors sur le sol un rond lumineux. Attention : les élèves ne doivent pas fixer le Soleil, encore moins à travers la paille.

La construction d'un graphique (évolution de la hauteur en fonction de l'heure) montre que le Soleil monte dans le ciel jusqu'à 14 heures en été et jusqu'à 13 heures en hiver (c'est alors le midi solaire et le Soleil est dans la direction du sud, ce que l'on vérifiera avec une boussole) avant de redescendre vers l'ouest.

Ce travail pourra être reproduit plusieurs fois dans l'année, avec des relevés toutes les deux heures, pour que les enfants constatent que le Soleil monte plus ou moins haut dans le ciel selon la saison, mais qu'il culmine toujours dans la direction du sud à midi solaire. Attention, contrairement à ce que pensent souvent les élèves, le Soleil ne passe jamais au zénith en France métropolitaine, même le 21 juin lorsqu'il passe au plus haut (sa hauteur est alors d'environ 65 à 70° selon la latitude).

Pour expliquer la méthode, le maître pourra fournir le graphique déjà construit pour une certaine date et demander aux enfants de déterminer l'heure pour une valeur donnée de la hauteur du Soleil : avec le graphique, on obtient deux heures (une pour le matin et une autre pour l'après-midi). Par exemple, le 1er juillet (voir le graphique sur le site dédié au projet), si le Soleil est à 20° au-dessus de l'horizon, il est soit 6 h 15 si le Soleil vient de se lever vers l'horizon est, soit 17 h 45 s'il est en train de décliner vers l'ouest. Attention : il s'agit d'heures solaires, pour la latitude de Paris.

Avec l'astrolabe, pas besoin de tracer tous ces graphiques ! La détermination de l'heure lorsqu'on connaît la date est beaucoup plus facile : il suffit de faire tourner l'araignée pour amener la date du 1er juillet (position du Soleil par rapport aux étoiles ce jour-là) sur le cercle de hauteur 20°. Attention : il y a toujours deux possibilités (matin ou soir). L'aiguille mobile amenée sur la date du 1er juillet permet de lire l'heure sur le bord de l'instrument : si c'est l'après-midi, il est 17 h 45.

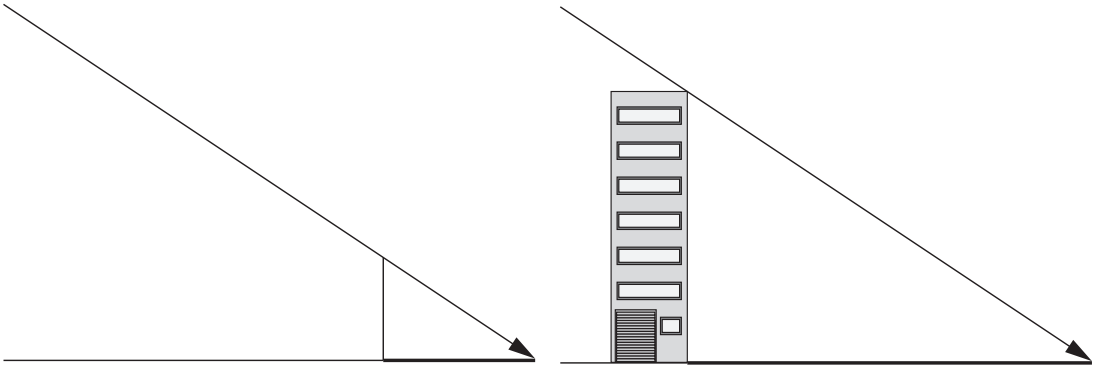
Plusieurs exercices de ce type permettront de familiariser les élèves avec cette utilisation de l'instrument. Il est toujours intéressant de comparer les résultats obtenus avec l'astrolabe et avec le graphique.

La nuit, on procède de façon analogue, mais c'est en visant des étoiles brillantes que l'on peut déterminer l'heure. C'est pour cette raison qu'il est très important de bien connaître le ciel lorsqu'on veut utiliser l'astrolabe.

Comment mesurer la hauteur de notre école avec l'astrolabe ?

Pour mesurer la hauteur d'un arbre ou d'un immeuble, une méthode consiste à mesurer son ombre un jour ensoleillé. La mesure de l'ombre

d'un gnomon (bâton planté verticalement) permet de connaître le rapport x entre la taille de ce gnomon et son ombre. Comme les rayons solaires sont parallèles entre eux, le rapport est le même entre la hauteur de l'immeuble et son ombre : connaissant la longueur de cette ombre, on peut en déduire facilement la hauteur de l'immeuble.



Hauteur de l'immeuble = longueur de l'ombre de l'immeuble × x.

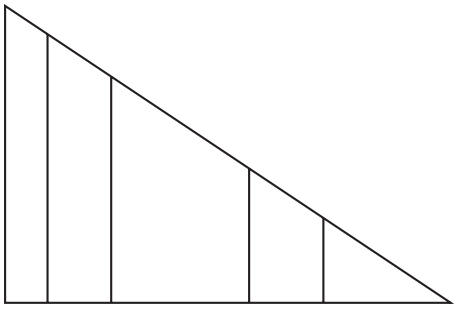
Par exemple, si le gnomon est deux fois plus grand que son ombre, $x = 2$, la hauteur de l'immeuble est deux fois plus grande que la longueur de son ombre.

Pour les élèves, on peut proposer un défi : « L'astrolabe nous a aidés à mesurer la hauteur du Soleil, mais pourrait-il nous être utile pour mesurer la hauteur de notre école ? »

Le terme sur l'astrolabe : « carré des ombres », incitera sans doute les élèves à proposer dans un premier temps une méthode utilisant l'ombre d'un bâton vertical sur le sol.

Chaque groupe dispose d'une planchette et d'une vis à tête plate, mais de longueur différente pour chaque groupe. Les enfants vont au Soleil, dessinent l'ombre de leur vis et mesurent sa longueur. Les élèves reportent l'ensemble des résultats dans un tableau de deux colonnes (longueur de la vis – longueur de l'ombre) sur leur cahier d'expériences. Les résultats sont analysés collectivement et les élèves remarquent que plus la vis est longue, plus l'ombre est longue ; on peut remarquer une relation de proportionnalité entre ces deux grandeurs.

Les élèves dessinent ensuite les diverses expériences à l'échelle, de profil. La comparaison de ces schémas montre que les triangles formés par la vis, l'ombre et les rayons du Soleil, même s'ils sont de tailles différentes, peuvent se superposer : les angles entre le sol et les rayons du Soleil sont égaux. C'est cet angle qui est appelé « hauteur du Soleil » !



Par analogie avec cette méthode des ombres, le dos de l'astrolabe porte un « carré des ombres » qui permet de déterminer des hauteurs par visée.

L'animation incite les élèves à utiliser l'astrolabe pour déterminer la hauteur d'un édifice. Mais comment utiliser le carré des ombres ? Les enfants seront invités à viser, depuis la cour de récréation, le sommet de plusieurs édifices (toit de l'école, pointe d'un clocher, sommet d'un château d'eau) à travers la paille. Ils vont remarquer que l'alidade est plus ou moins inclinée et que sa position peut être repérée par un nombre sur le carré des ombres ; le maître leur demandera de repérer ce nombre.

La comparaison des mesures montre qu'elles diffèrent, pour le même édifice, selon l'endroit d'où elles sont prises : « Quand je vise le toit de l'école, je trouve 2 quand je suis près du bâtiment et je lis 6 si je m'éloigne », par exemple.

En conservant la même position, les élèves constatent également que plus l'immeuble est haut, plus le carré des ombres donne une valeur faible : « Pour l'école je trouve 12 et pour la tour qui est plus haute on trouve 4. »

Si ces indications ne donnent donc pas directement une hauteur, à quoi servent-elles ?

Pour aider les élèves à comprendre le principe du carré des ombres, le maître portera sur le mur de l'école deux repères correspondant à des hauteurs de 6 et 12 m idéalement (sinon 3 et 6 m).

Les élèves doivent trouver où se placer pour quelques indications de l'alidade (4, 6, 8, 12 par exemple) et pour chacune d'elles, mesurer la distance entre la position de visée et le bâtiment à l'aide d'un décamètre, d'une chaîne d'arpenteur ou d'une corde sur laquelle figure une marque ou un nœud tous les mètres.

Le groupe-classe élaborera un tableau de mesures. Aux erreurs de mesure près, on obtiendra des résultats de cet ordre :

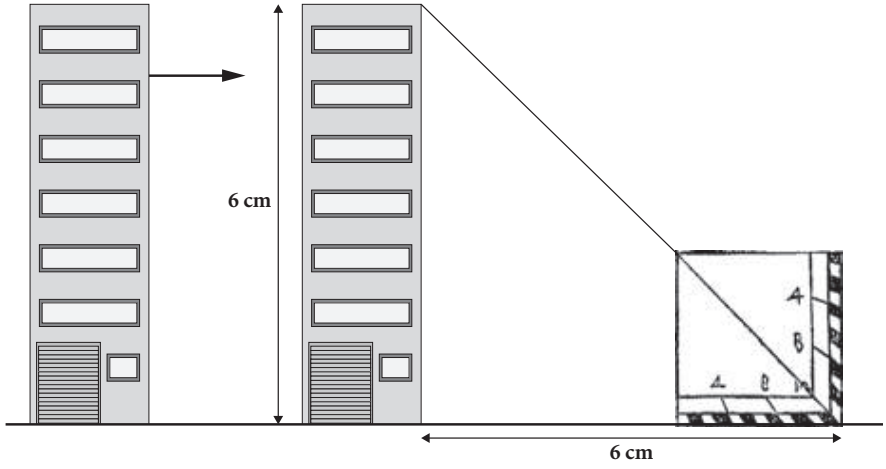
Indication de l'alidade	Distance au bâtiment Repère à 6 m de haut	Distance au bâtiment Repère à 12 m de haut
4	2 m	4 m
6	3 m	6 m
8	4 m	8 m
12	6 m	12 m

Les élèves remarqueront l'intérêt de la graduation 12 : « Si je lis 12 sur l'astrolabe, je suis à peu près à une distance de l'immeuble égale à sa hauteur. » Ainsi, si on ne connaît pas la taille de l'immeuble, il suffit alors de mesurer la distance à l'immeuble pour connaître sa hauteur. Si l'astrolabe indique 6, la distance est à peu près égale à la moitié de la hauteur.

Toutefois, ces remarques n'auront qu'un statut d'hypothèses car les valeurs mesurées seront vraisemblablement entachées d'erreurs importantes. On pourra réfléchir aux causes d'erreurs et montrer qu'elles peuvent avoir trois origines :
– l'instrument : notre maquette est en carton et peut se déformer, il y a du jeu sur l'alidade…
– le manipulateur : la corde n'est pas toujours bien tendue…
– la grandeur à mesurer : le sol n'est pas très plat…

Remarque pour le maître : Il faudrait tenir compte de la taille des enfants, ce qui compliquerait encore le problème, il faut simplement leur demander de faire les visées assis par terre pour diminuer cette source d'erreur.

Le passage par une schématisation peut aider à confirmer les hypothèses et pour simplifier, on supposera que la visée se fait à partir du sol. Les élèves sont donc invités à schématiser leurs expériences. Leurs productions sont comparées entre elles et, si nécessaire, au dessin page 79 du texte historique. Une schématisation de profil est ainsi mise au point collectivement. Les enfants disposent ensuite de plusieurs reproductions du carré des ombres et de plusieurs rectangles représentant un immeuble de 6 m de haut (bandelette de 6 cm de long). Ils doivent positionner la bandelette (l'immeuble) pour chaque indication de l'astrolabe (voir la figure ci-dessous pour la graduation 12).



Les élèves peuvent alors mesurer, sur cette schématisation, la distance à l'immeuble et la porter sur un tableau de mesures. Les erreurs seront moins importantes que lors des mesures dans la cour et le tableau de résultats plus facile à analyser.

Longueur du côté du carré des ombres[3]	Indication de l'alidade	Hauteur de l'immeuble	Distance entre le point de visée et l'immeuble
12	4	6 m	2 m
12	6	6 m	3 m
12	8	6 m	4 m
12	12	6 m	6 m

Les enfants remarquent l'égalité de certains rapports : par exemple 12/6 = 6/3, 12/4 = 6/2… Ils peuvent peut-être parvenir à dégager la loi générale :

le rapport entre la longueur du côté du carré des ombres (12) et l'indication sur l'alidade est égal au rapport entre la hauteur de l'immeuble (6) et la distance entre le point de visée et l'immeuble. Le maître placera ensuite quelques cibles à différentes hauteurs sur un mur et les élèves devront déterminer leur hauteur grâce au carré des ombres. La méthode la plus simple est bien sûr de régler l'alidade sur 12 et de se déplacer jusqu'à viser la cible, mais on pourra aussi proposer aux élèves une ou deux situations où cette méthode est impossible.

Les élèves pourront rédiger un mode d'emploi qu'ils noteront sur leur cahier d'expériences et testeront auprès d'une autre classe de l'école.

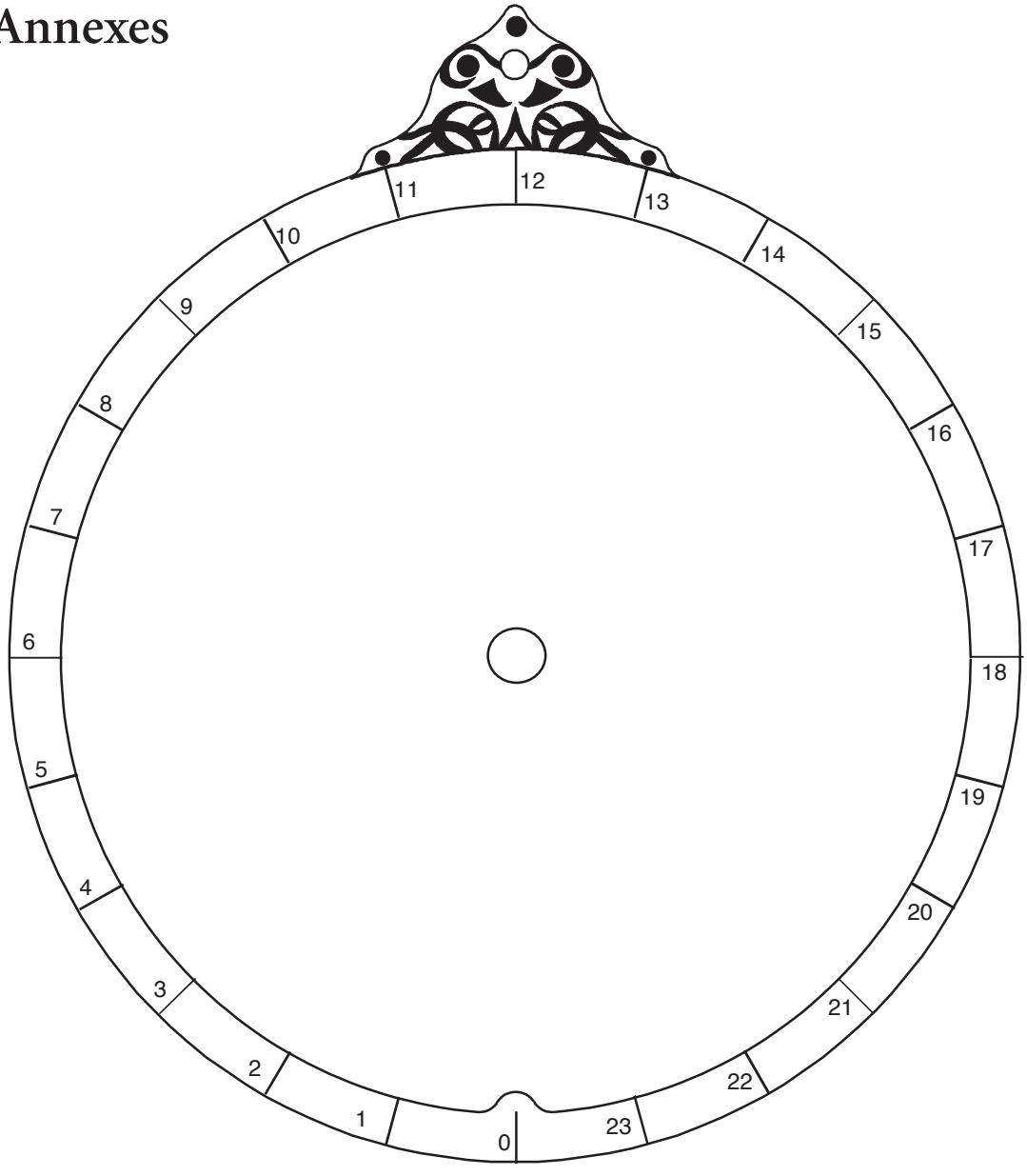
Conclusion

Les diverses activités proposées ont permis aux élèves de se familiariser avec l'astrolabe, de découvrir sa richesse et la variété de ses utilisations à travers deux exemples très différents. Au-delà des connaissances acquises sur le ciel, les élèves ont travaillé de nombreuses notions mathématiques : notion d'angle, mesure de longueurs, élaboration de tableaux de mesures, tracé et exploitation de graphiques… Ils ont été amenés à formuler divers problèmes et à les résoudre par des démarches d'investigation variées : observation, expérimentation, fabrication d'une maquette, modélisation.

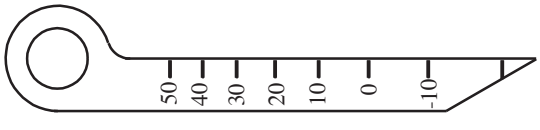
Notes

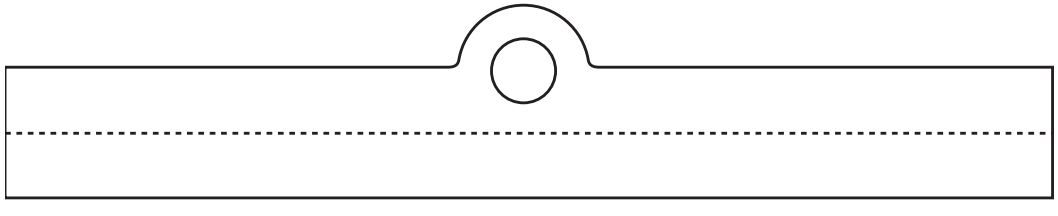
1. Il s'agit simplement de découvrir les différentes pièces de l'astrolabe, non d'étudier en détail les cercles gravés sur le tympan de l'astrolabe.
2. En fait, il existe actuellement treize constellations du zodiaque inégales. Pour plus de simplicité, on ne tiendra compte que des douze constellations correspondant au zodiaque traditionnel, Ophiuchus, la treizième constellation, n'en faisant pas partie.
3. Cette colonne sera renseignée pour faciliter la découverte de l'égalité de certains rapports

Annexes



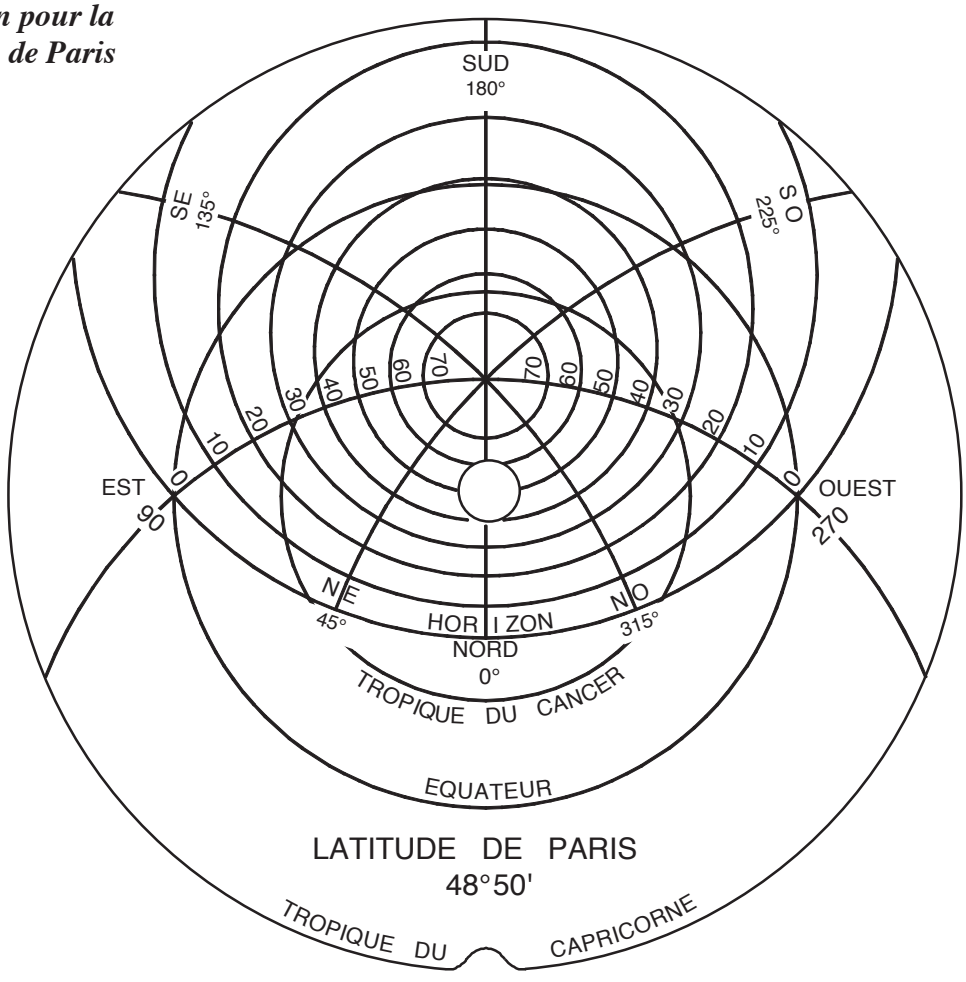
Matrice (face) et règle



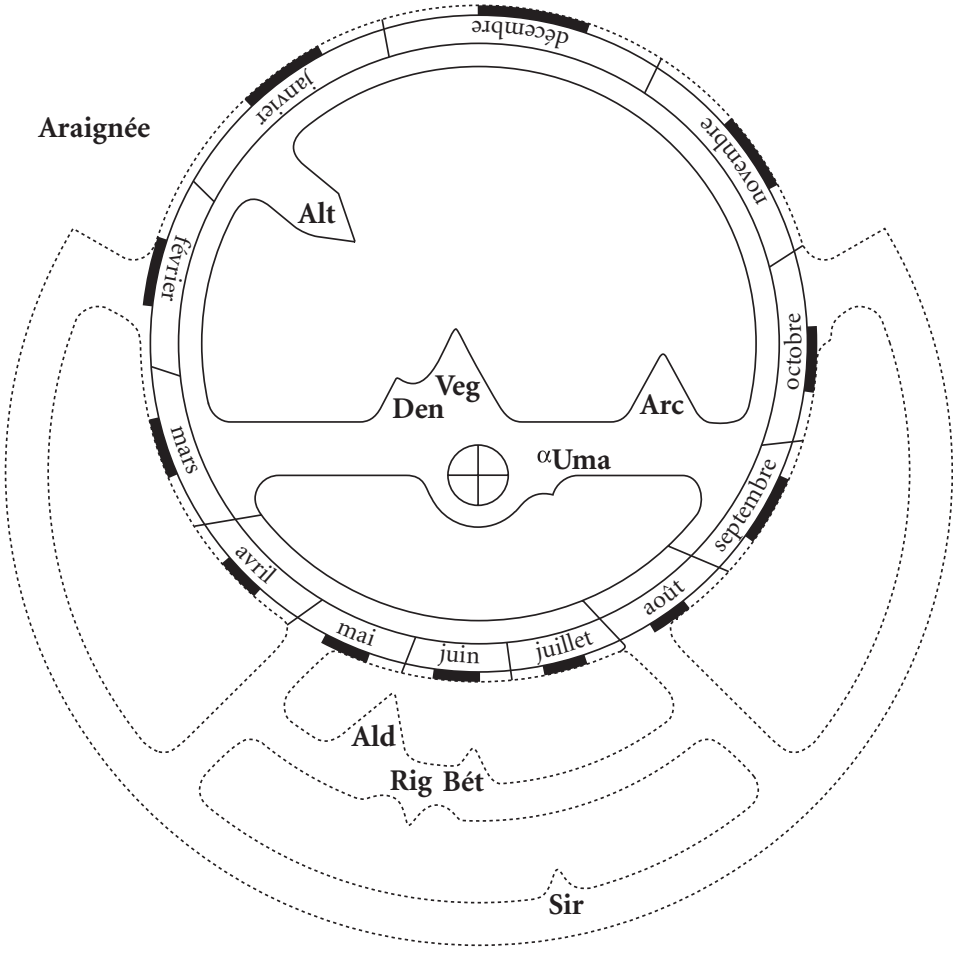


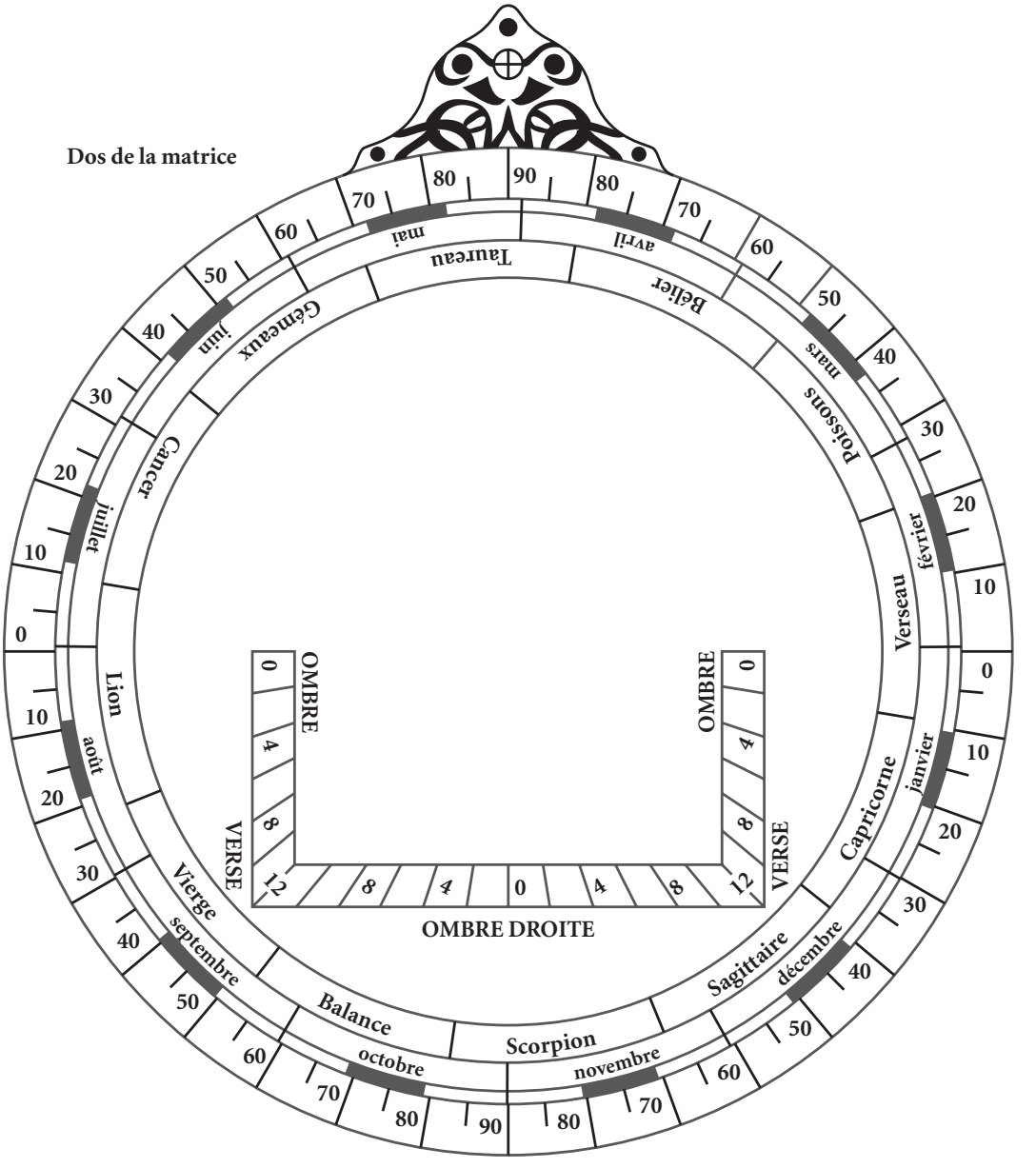
Alidade

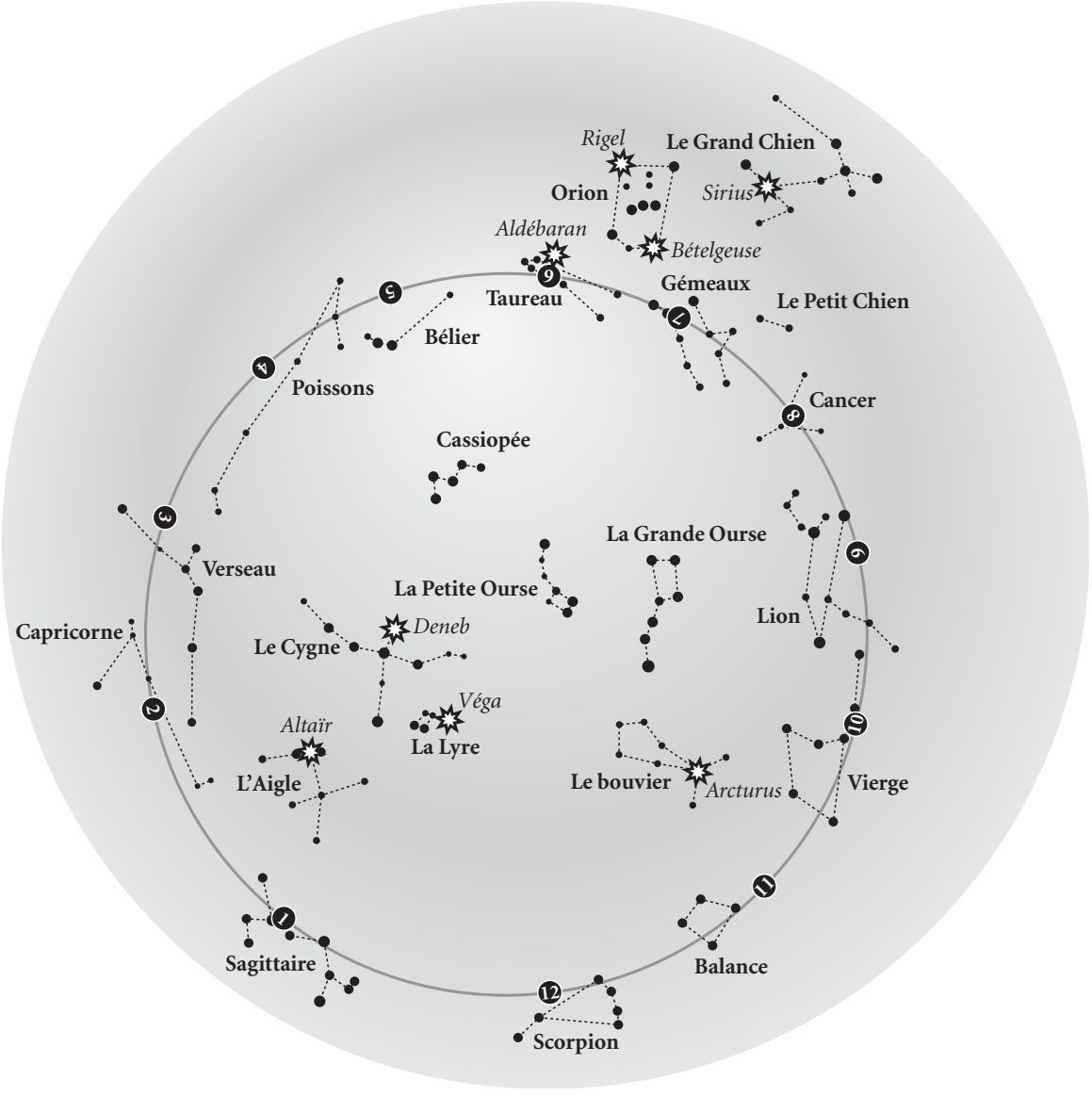
Tympan pour la latitude de Paris

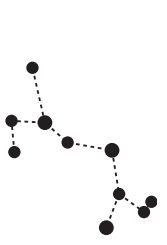
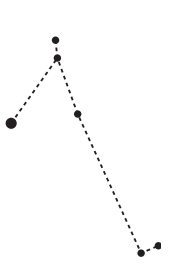
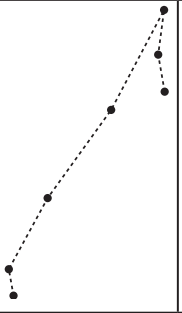
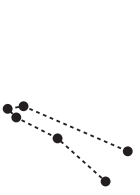
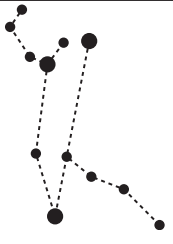
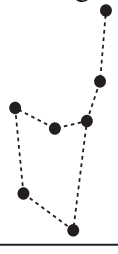
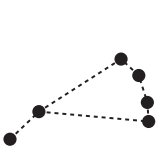


Araignée




Dos de la matrice
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
juillet
août
septembre
octobre
novembre
décembre
janvier
février
mars
avril
mai
juin
Cancer
Lion
Vierge
Balance
Scorpion
Sagittaire
Capricorne
Verseau
Poissons
Bélier
Taureau
Gemeaux
OMBRE
VERSE
0
4
8
12
OMBRE DROITE



Sagittaire	Capricorne	Verseau	Poissons	Bélier	Taureau
					
Gémeaux	**Cancer**	**Lion**	**Vierge**	**Balance**	**Scorpion**
					

Le jeu favori de Nabil et de sa sœur Fadila était de résoudre les énigmes qui surgissaient dès qu'ils se mettaient à observer ce qui se passait autour d'eux, ou en eux. Ils étaient d'autant plus passionnés qu'avec le temps, un peu de magie s'en mêlait, comme le jour où ils cherchèrent à capturer les étoiles…

Le soleil venait de se coucher. Allongés au bord du fleuve, Nabil et Fadila regardaient les étoiles s'allumer une à une dans le ciel, comme autant de signes que chacun pouvait interpréter à sa guise. Fadila rompit le silence d'une voix rêveuse :

— Plus le ciel devient sombre, plus on voit d'étoiles. Je me demande si quelqu'un a déjà essayé de les compter…

Puis elle s'anima soudain et s'assit pour mieux regarder tout autour d'elle :

— Nabil, où est passée la lune ?

Nabil grogna. Il aimait regarder le spectacle des étoiles et n'avait pas envie de bouger. Il répondit mollement à sa sœur :

— Elle doit bouder, comme tu sais si bien le faire parfois !

Fadila se vexa :

— C'est malin ! La lune ne doit pas encore être levée ! Tu crois peut-être que je ne sais pas que les astres tournent pendant la nuit ?

Ravi d'avoir réussi à agacer sa sœur à son tour, Nabil retrouva son entrain et reprit la parole :

— Et tu sais aussi, bien sûr, qu'il y a au milieu de toutes les autres une étoile qui ne bouge pas ?

Fadila fut surprise par la question, mais réagit très vite :

— S'il y en a une, elle est facile à trouver ! Il suffit de faire un dessin des étoiles, de revenir un peu plus tard en faire un autre, de comparer les deux et de voir quelle est l'étoile qui n'a pas bougé !

— Ça ne va pas être facile de dessiner le dôme du ciel sur un dessin plat ! Et puis comment seras-tu sûre qu'il s'agit de la même étoile d'un dessin à l'autre ?

Sous couvert de taquineries, Nabil posait à Fadila des questions qu'il se posait lui-même. Et Fadila, qui faisait mine de bouder, réfléchissait elle aussi. Elle finit par reprendre la parole :

— Si on réussissait à faire un modèle réduit du ciel, ce serait un peu comme si on avait capturé les étoiles…

Fadila s'interrompit. Du ciel venait de surgir un long défilé de personnages barbus portant turbans et enveloppés de longs manteaux qui tous tenaient suspendu à la main un disque de métal couvert d'inscriptions et muni de cercles et de tiges qui tournaient sous leurs doigts. Un murmure continu les accompagnait : « … viser… trouver la hauteur de l'étoile… savoir le jour et l'heure… calculer… »

Nabil et Fadila oublièrent leur querelle et les interpellèrent en chœur :

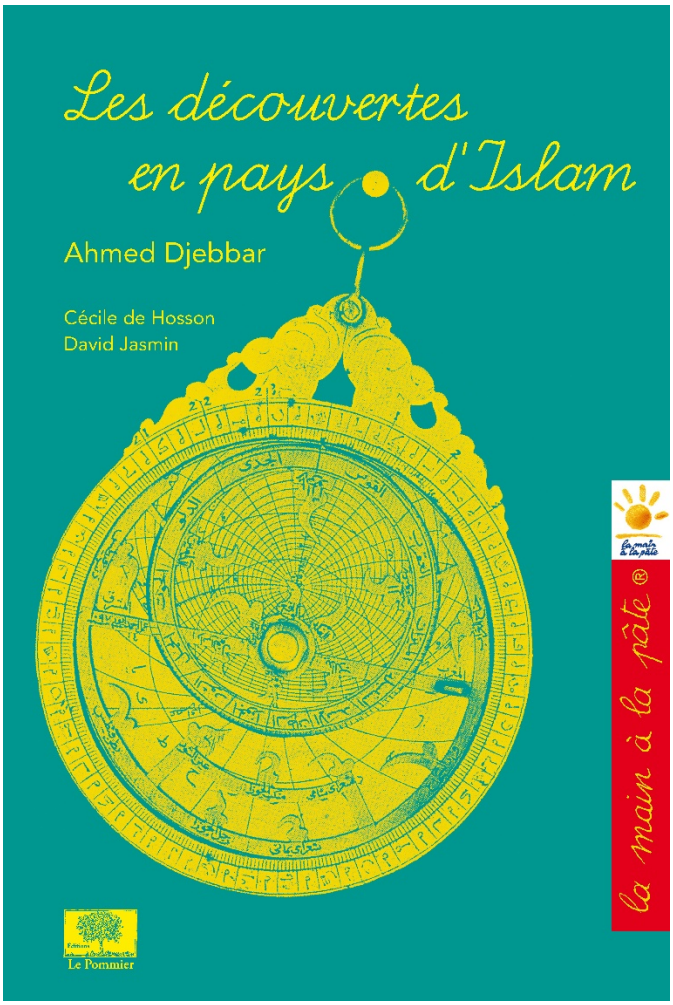
— S'il vous plaît, pourriez-vous nous apprendre à utiliser vos instruments ?

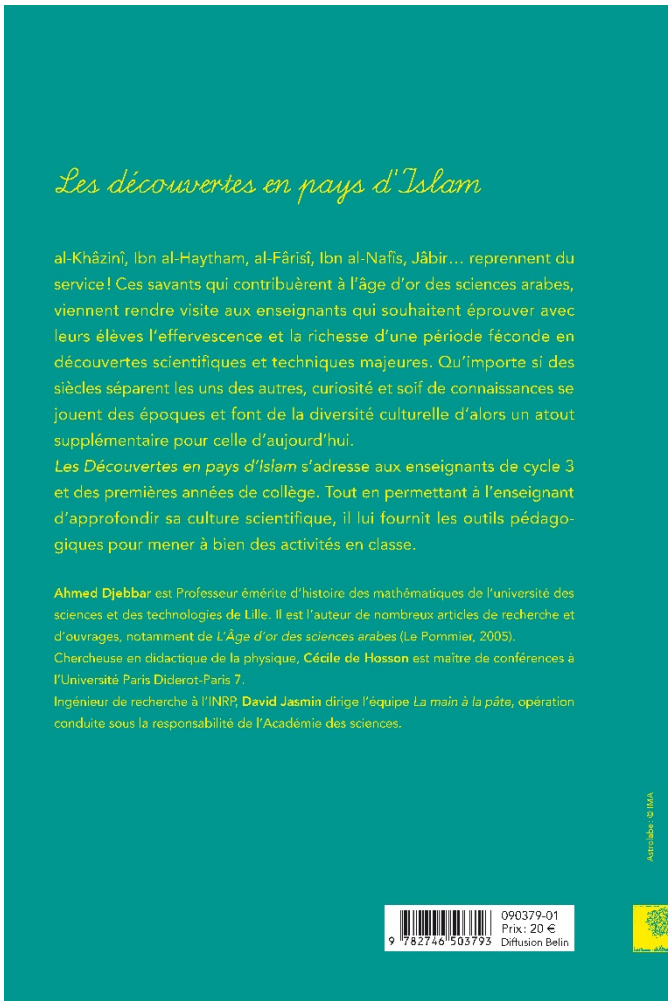
Les hommes se mirent alors en cercle et se concertèrent, puis l'un d'eux prit la parole :

— Je suis Abu Ja'far Muhammad ibn Musa al-Khwârizmî et je vous réponds au nom de tous. Nous sommes d'accord pour vous initier à l'astrolabe, mais juste avant le lever de lune car ensuite nous serons trop occupés. Venez maintenant !

Ce qui se passa ensuite ne nous est pas parvenu, c'était il y a si longtemps, la mémoire s'est perdue ! Il n'en reste pas moins que l'astrolabe, le « preneur d'étoiles » a longtemps circulé en terres d'Islam. Il permettait de connaître l'heure de jour comme de nuit, de s'orienter dans le désert, et de donner bien d'autres indications encore. Et d'une manière ou d'une autre, comme ces astronomes regroupés autour d'al-Khwârizmî ont autrefois initié Nabil et Fadila à son utilisation, ils accompagnent aujourd'hui tous ceux et toutes celles qui souhaitent eux aussi connaître ses secrets. D'une manière ou d'une autre…

Cette ressource est issue du projet thématique *Les découvertes en pays d'Islam*, paru aux Éditions Le Pommier.





Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques.

Fondation *La main à la pâte*
43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

FONDATION La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE