

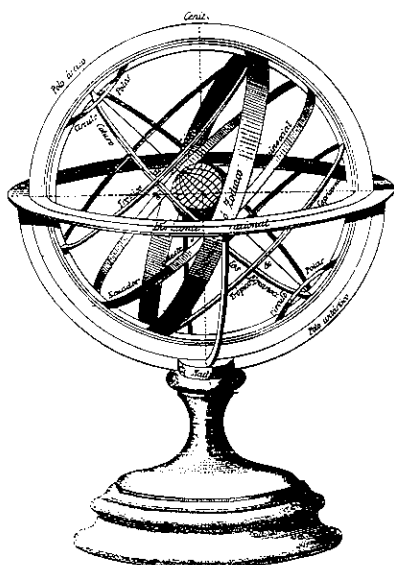
De l'intérieur et de l'extérieur

L'observation

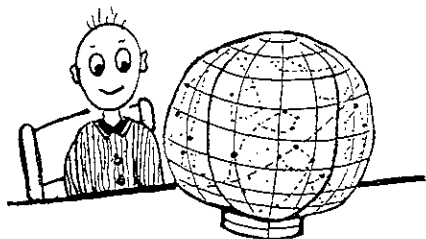
Les professeurs de sciences (physique, chimie, biologie, etc.) disent qu'il n'est pas possible de bien travailler au lycée sans laboratoire. Les professeurs d'astronomie ont de la chance : ils ont toujours un laboratoire d'Astronomie. Lycées et écoles ont toujours une cour de récréation : elle offre la possibilité d'activités pratiques d'Astronomie. Si nous avons le laboratoire, il faut que nous l'utilisions !

Mais le premier problème que rencontre le professeur, c'est la situation différente de la sphère céleste, décrite à l'intérieur de la classe d'astronomie et observée dehors, dans la cour de récréation.

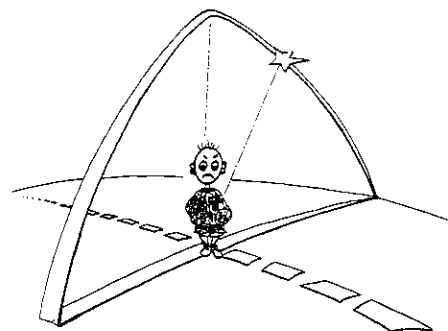
Quand on parle des méridiens et parallèles, des coordonnées de position, on présente des figures comme la sphère armillaire ci-dessous :



On peut parler sans aucune difficulté et les élèves peuvent aussi écouter sans difficulté : il n'y a pas de problème. Ces figures sont les mêmes que celles qu'ils ont étudiées en géographie : de l'extérieur.



Les problèmes commencent quand on passe à l'observation : il n'y a pas de lignes dans le ciel. Il n'est pas possible de voir l'axe de rotation et il n'est pas facile de s'orienter dans le ciel ! La principale difficulté est que l'étudiant est situé à l'intérieur de la sphère céleste ; cependant, on a donné toute l'information dans la classe en observant le ciel de l'extérieur de la sphère céleste. Alors, ce n'est pas facile de comprendre la nouvelle situation : de l'intérieur.

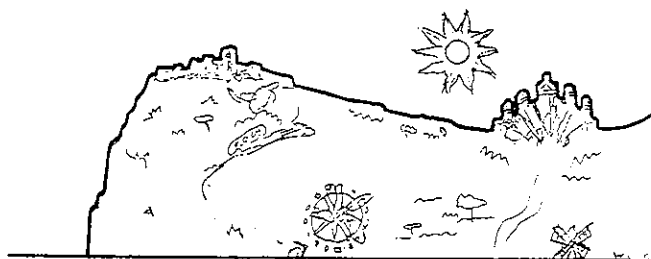


Après cette expérience, il faut changer notre présentation à l'école. Il est possible d'exposer l'introduction d'un point de vue intérieur à la sphère. Cette situation est plus conforme à la situation réelle pour observer, mais je pense qu'il n'est pas bon de se limiter à cette présentation : il est très important que nos étudiants puissent lire des livres d'astronomie et comprendre l'abstraction correspondant à l'observation de la sphère céleste depuis l'extérieur, ce qui est la situation classique dans la littérature scientifique. Dans cette situation, on peut envisager de construire un modèle pour les élèves de lycée qui permette de comparer les deux possibilités, de rendre "visibles" les lignes du ciel et les relier à leur horizon.

L'orientation

Le deuxième point à aborder avec les étudiants, c'est l'orientation. Dans un cours d'astronomie générale, il faut donner une information sur l'orientation. Il se peut que nos étudiants n'étudient jamais l'astronomie, qu'ils n'aient jamais besoin de connaissances d'astronomie dans leur vie quotidienne. Le minimum que l'on attend d'un cours d'astronomie est que les élèves puissent savoir où est le Nord, si le Soleil est là le matin ou dans la direction du sud-est, que la trajectoire du Soleil est au-dessus de l'horizon sud, que les planètes se meuvent au-dessus de cet horizon, qu'il n'est pas possible de voir Vénus à proximité de l'étoile Polaire... et en particulier qu'ils puissent comprendre la situation des diffé-

rents repères géographiques de leur village. Par exemple, nous utilisons un prospectus des fêtes de Barcelone avec l'horizon de la ville pour jouer avec les étudiants sur les différentes possibilités concernant les positions du Soleil, de la Lune et de quelques constellations par rapport à l'horizon. Les deux montagnes que nous voyons sont à peu près en position opposée, Nord-Sud, alors le Soleil peut être près de l'une, mais ne peut pas être près de l'autre.



Les étudiants ne voient pas de différence. Ils connaissent la théorie, mais la pratique que nous avons faite n'est pas suffisante.

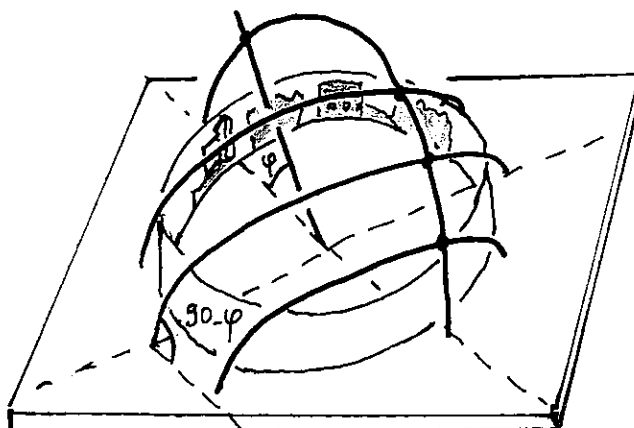
La solution que nous avons choisie est de construire un modèle destiné à résoudre ces difficultés et qui a permis de résoudre beaucoup d'autres questions, qu'il n'était pas possible d'imaginer au début.

Le modèle

Images de l'horizon.

On commence par prendre des photographies de l'horizon. Avec un appareil photo monté sur un trépied (dont on note bien la position) il est très facile de prendre un ensemble de photographies de l'horizon à partir d'un endroit de la cour de l'école si l'horizon y est bien dégagé dans toutes les directions (ou choisir un autre lieu adéquat). Il est très important de très bien sélectionner cet endroit, parce que l'idée est d'y situer le modèle pendant chaque observation. En prenant chaque photographie, il faut inclure une zone de recouvrement pour relier entre eux les tirages sur papier et obtenir l'horizon comme une chaîne continue de photographies. Une fois les photographies développées, nous pouvons les assembler l'une à la suite de l'autre, en formant un cylindre. On fixe le cylindre sur un cadre de bois à l'endroit que nous avons choisi pour faire les photographies. Il est très important de

disposer toutes les photographies bien orientées par rapport à l'horizon.



L'axe de rotation de la Terre

D'abord, on introduit l'axe de rotation de la Terre. Il y a deux possibilités : donner aux élèves la valeur de la latitude locale et introduire un fil de fer ayant cette inclinaison, ou, ce qui est préférable, déterminer l'inclinaison avec un instrument simple (à fabriquer avec une règle, un rapporteur et un fil à plomb). Il suffit de mesurer la hauteur de l'étoile Polaire, qui est égale à la latitude du lieu ϕ (fig. ci-dessus). Avec cette donnée, il devient possible de fixer l'axe de rotation du modèle. Comme le modèle est orienté par rapport à l'horizon, le prolongement du fil de fer permet de visualiser l'axe et de voir le Pôle Nord, où est l'étoile Polaire, et d'imaginer la position du point cardinal Nord. Il est ensuite facile d'introduire le point cardinal Sud. On peut ensuite matérialiser la droite Nord-Sud sur le modèle et aussi sur le sol de la cour (avec le procédé normal de détermination de la droite Nord-Sud). Ceci est très important parce que chaque fois que nous allons utiliser le modèle il faudra l'orienter. (On peut aussi déterminer la direction du Nord avec une boussole, mais ce n'est pas une très bonne idée de commencer en parlant de la déviation magnétique du Pôle, c'est au professeur de juger).

Le méridien.

L'objectif suivant est de situer le méridien du lieu. Le méridien local est très facile à définir, mais il n'est pas très simple pour les étudiants. Nous pouvons fixer un fil de fer qui passe par les points cardinaux Nord et Sud et l'axe de rotation de la Terre. Ce fil de fer est la matérialisation du méridien du lieu dans le modèle et permet d'imaginer sur le ciel la ligne du méridien local. C'est très facile à imaginer parce qu'il commence aux mêmes points que l'étudiant peut voir dans le modèle. Il commence sur la même maison que sur la photographie, mais sur l'horizon réel et après être passé au-dessus de la tête, il finira sur la même maison que celle que nous voyons sur le fil de fer sur l'horizon en photographie.

L'équateur.

Pour introduire l'équateur, c'est plus difficile. Une possi-

bilité est de dessiner sur la planche de bois du modèle la ligne perpendiculaire à la ligne Nord-Sud, qui est la ligne Est-Ouest. Cette solution est facile, mais n'est pas très intéressante pédagogiquement. Pour l'enseignement, il est préférable d'utiliser à nouveau la photographie. Nous pouvons replacer l'appareil photographique sur son trépied dans la même position (pour cette activité, il est important de connaître exactement la position initiale de l'appareil photo) et prendre une photographie au moment où le Soleil se lève et au moment où il se couche le premier jour du printemps ou de l'automne. Nous connaissons alors la position exacte des points cardinaux Est et Ouest dans l'horizon des photographies et évidemment dans l'horizon réel.

L'équateur est un fil de fer dans le plan orthogonal à l'axe de rotation de la Terre. Mais cette orthogonalité n'est pas facile à réaliser, parce que l'axe de rotation est incliné. En fait, les élèves peuvent observer l'inclinaison de l'équateur. Si nous considérons le Soleil comme une étoile (il est très important pour nous parce qu'il est le plus proche, mais son comportement n'est pas différent de celui des autres étoiles), il est possible d'obtenir l'inclinaison de la trajectoire des étoiles quand elles se lèvent et quand elles se couchent, en prenant deux photographies dans la direction du point cardinal Est et dans celle du point cardinal Ouest.

Il n'est pas possible de faire ces deux photographies à Barcelone ou en ville à cause de la pollution lumineuse. Il faut aller à la campagne, photographier avec un trépied, avec une durée d'exposition de 10 minutes, en utilisant un déclencheur souple. Il est très important que l'appareil photographique soit bien parallèle à l'horizon (utiliser un niveau pour cette opération).

Avec les deux photographies des points cardinaux Est et Ouest, on peut déterminer l'inclinaison des étoiles sur l'équateur et il est alors possible de bien placer le fil de fer de l'équateur. Nous connaissons les deux points où le fixer et aussi l'inclinaison ; on a fixé le fil de fer sur la planche en bois et il est fixé aussi sur le méridien local.

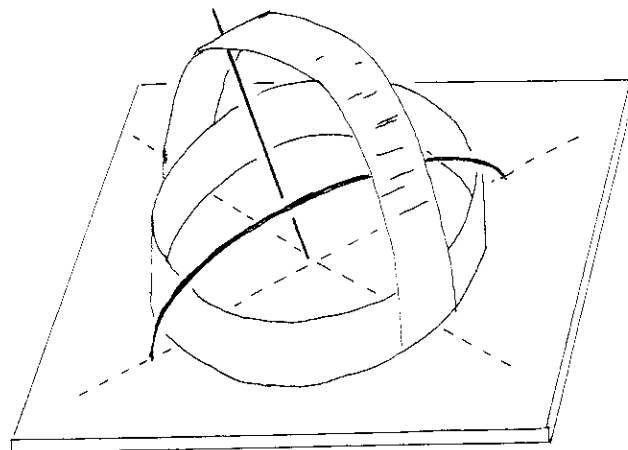
Les étoiles au méridien.

Je conseille de profiter de l'opportunité pour obtenir quelques photographies supplémentaires : par exemple, photographier la région de l'étoile polaire, pendant une quinzaine de minutes, puis la zone au-dessus et celle encore au-dessus (cette zone est l'équateur), et ainsi de suite, jusqu'à obtenir toute la région du méridien local (bien sûr, le méridien local du lieu où nous avons décidé de faire les photographies n'est pas le même que le méridien local de l'école ou du lycée, mais les élèves peuvent facilement comprendre le degré d'approximation de cette différence).

Quand nous avons obtenu toutes ces photographies, les étudiants peuvent construire une bande de méridien. Avec cette bande, ils peuvent mieux comprendre et traiter le mouvement de la sphère céleste autour de l'axe de rotation de la Terre. Il est très joli de voir que pour le même temps d'exposition, la trajectoire marquée par l'étoile change de longueur. Elle est minimale autour de l'étoile Polaire et maximale à l'équateur. Et la forme change aussi. A l'équateur la trajectoire a la forme d'une ligne droite. Au voisinage de la polaire les lignes sont courbes concaves et au-dessous de l'équa-

teur, elles sont courbes convexes. Si nous faisons des tirages photographiques plus grands, nous avons, à la reproduction, un ensemble que l'étudiant peut mettre au-dessus de sa tête : il peut ainsi mieux comprendre le mouvement.

Il est, bien entendu, également possible d'introduire sur le modèle la série de photographies correspondant au méridien local. Il suffit de faire quelques photocopies sur papier, et de faire un trou pour introduire le fil de fer de l'axe de rotation et voir que la ligne de l'équateur peut correspondre au fil de fer que nous avons comme équateur dans le modèle



L'idée est d'offrir en permanence avec le modèle les deux possibilités de visualiser la sphère céleste depuis l'intérieur et depuis l'extérieur.

Les tropiques.

Il est intéressant que les étudiants puissent observer que le Soleil ne se lève pas et ne se couche pas toujours au même endroit. Il y a beaucoup de livres qui disent que le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest chaque jour ! Ils peuvent voir que ce n'est vrai que deux fois par an, mais pas le reste du temps.

Si nous faisons deux nouvelles photographies le premier jour de l'hiver et le premier jour de l'été, quand le Soleil se lève et se couche, les étudiants peuvent voir que les situations extrêmes sont très différentes. La différence entre l'une et l'autre est très surprenante. Et nous pouvons aussi fixer les parallèles du Cancer et du Capricorne avec des photographies en utilisant à nouveau l'inclinaison de l'équateur, parce qu'ils sont parallèles. Avec un simple rapporteur, il est possible de vérifier que l'angle au centre entre le parallèle du Cancer et l'équateur est à peu près 23° , de même que celui entre l'équateur et le parallèle du Capricorne.

Ainsi les élèves peuvent voir pratiquement et simultanément, la sphère depuis l'intérieur (la sphère réelle) et aussi depuis l'extérieur (le modèle). Avec le modèle, les étudiants comprennent aussi mieux leur entourage, et les activités par rapport à l'orientation de l'école dans la cité changent vraiment. Tous peuvent voir la zone du mouvement du Soleil, entre les parallèles, que le mouvement se fait de la zone Est à la zone Ouest en passant par le Sud, et à quelle zone cela

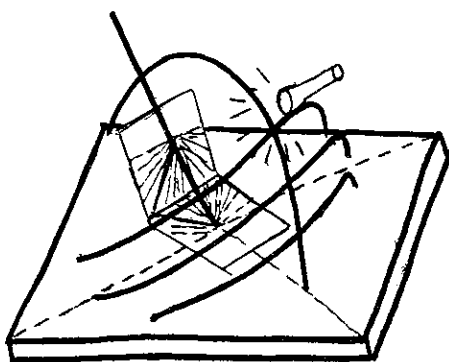
correspond dans l'horizon réel de la cité. Il n'y a pas de problèmes. L'orientation est devenue un jeu d'enfant...

Quelques prolongements

Les cadrans solaires.

Mais après cela, il y a encore de nouvelles possibilités du modèle, qui aident à améliorer la qualité de l'enseignement. Le modèle est un cadran solaire ! Il est fantastique pour exprimer simplement la construction d'un cadran solaire, à partir de l'horizon et du mouvement du Soleil. En premier lieu, il est très facile de voir que l'axe de rotation de la Terre devient le gnomon du cadran solaire.

Si nous matérialisons un plan équatorial et déplaçons une lampe de poche le long du tropique du Cancer, nous pouvons voir que l'ombre du gnomon (le fil de fer de l'axe de rotation) se forme sur le plan du cadran équatorial ; mais quand nous déplaçons la lampe le long du tropique de Capricorne, l'ombre se forme sur le dessous du plan.



Mais que nous prenions le plan équatorial, le plan horizontal ou le plan vertical orienté est-ouest, nous pouvons voir qu'il est la même heure sur tous les cadrans. Il est possible de voir les heures du matin et de l'après-midi pour le même gnomon. Les trois cadrans indiquent la même heure. Il est très facile de voir que la position des heures du matin et de l'après-midi est différente dans le cadran horizontal et dans le cadran vertical orienté. (Tous les professeurs ont eu l'expérience de mauvaise graduation des heures sur un cadran ; après cette expérience, la situation changera).

L'été et l'hiver.

Si nous déplaçons la lampe sur le tropique du Cancer et sur le tropique de Capricorne il est très facile de voir que le même faisceau lumineux de la même lampe produit différentes sections sur le plan horizontal. Depuis le tropique du Cancer, la section est plus proche d'un cercle que dans l'autre cas, où elle est bien elliptique. Les étudiants peuvent alors comprendre que le rayonnement est plus concentré dans la première situation, c'est-à-dire que la température superficielle

est plus grande en été ; il est aussi évident dans le modèle que le nombre d'heures d'insolation du Soleil est plus grand : ainsi, l'été est plus chaud que l'hiver.

En conclusion.

Ce modèle est utile pour exprimer la situation locale de la sphère céleste aussi bien pendant la journée que pendant la nuit, pour comprendre la situation du Soleil, ainsi que celle de toutes les planètes et de la Lune : leurs mouvements se font à peu près dans la même zone. Les étudiants peuvent comprendre facilement que Vénus ne peut jamais être à côté de l'étoile polaire. Le professeur en aura fini avec ce type de questions, parce qu'il devient évident pour les élèves que c'est complètement impossible, et si un étudiant disait une chose pareille, le reste des élèves rectifieraient rapidement, ayant très bien compris.

L'orientation dans la ville.

Nous avons parlé de l'orientation dans la cour de l'école et de l'horizon de la zone où elle est située. Mais il est très intéressant de généraliser cette situation à toute la ville en utilisant la carte de cette ville. Notre première intention est de relier l'orientation de la cour avec la ligne Nord-Sud. En deuxième lieu, de faire une relation plus générale ; chercher un bâtiment, une rue, le port (s'il y en a un) ou une construction faite par l'homme, en considérant l'orientation Nord-Sud ou Est-Ouest.

Par exemple, le modèle présenté a été construit par un groupe d'étudiants de la ville de Barcelone et plus particulièrement du quartier de l'Eixample. Tout le quartier fut dessiné par l'architecte Ildefons Cerdà, pendant la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, comme une grande collection géométrique de carrés, ressemblant à une grande plaque de chocolat. La diagonale des carrés est orientée dans la direction nord-sud. Dans cette situation, tous les appartements ont la possibilité d'avoir le Soleil ou bien le matin ou bien l'après-midi. Toutes les maisons furent construites avec une partie intérieure et une partie extérieure, avec vue sur la rue. La partie de l'appartement à l'extérieur a du Soleil pendant le matin, et la zone intérieure de l'appartement a du Soleil pendant l'après-midi.

Il y a aussi une rue sur la carte de Barcelone qui s'appelle "la Méridienne" et qui donne exactement la direction du méridien local (la droite Nord-Sud). Il y a aussi une autre rue qui s'appelle "Parallel", mais qui ne coïncide pas avec lui.

Cet exemple est très particulier à la cité de Barcelone, mais on peut chercher d'autres possibilités dans toutes les villes. Nous pouvons suggérer que la majorité des églises romanes sont orientées Est-Ouest : l'abside vers le lever du Soleil, à l'Est, et la porte vers l'Ouest. Un autre exemple sont les grandes maisons de la campagne, avec la façade principale au sud, pour avoir le plus grand nombre d'heures de Soleil. Peut-être êtes-vous dans votre ville près d'un bâtiment qui fut construit pour avoir la meilleure orientation, et vous pourrez le découvrir avec vos élèves. Jouer au détective est parfois très amusant...