

CONSTRUCTION D'UN COSMOGRAPHE

Voici un exemple d'étude pluridisciplinaire que nous avons mené à bien, entre collègues de sciences physiques et de géographie, en classe de Seconde de lycée agricole, sur 12 heures environ, en trois séances de quatre heures. Ce sujet fait appel à des notions de géographie (mouvement de la Terre autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre) et à des notions de sciences physiques, comme le mouvement circulaire, les vitesses linéaire ou angulaire...

1. But de cette étude

1.1. Permettre aux élèves de mieux visualiser le mouvement de la Terre dans l'espace ; comprendre plus aisément certains phénomènes fondamentaux comme ceux des saisons, des éclipses, des phases de la Lune et de la précession des équinoxes. Par la suite, la maquette construite sera utilisée dans le cours de géographie afin de faciliter la compréhension de ces notions.

1.2. Permettre aux élèves de pouvoir "s'exprimer" librement, en dehors du contexte du cours, sur différents matériaux, bois ou métal, dans l'atelier du lycée. Certains sont heureux de montrer à leurs camarades de classe qu'ils ont l'habitude de faire du bricolage et qu'une perceuse ou une scie n'a pas de secret pour eux. D'autres, au contraire, plus gauches, prennent bien vite de l'assurance (quelques pièces peuvent être préfabriquées par des gens plus compétents).

2. Construction de la maquette

Quatre maquettes ont été réalisées dans la classe de 36 élèves. Les données de base étaient les suivantes :

- distance Terre, Lune : 356410 à 406740 soit 381 000 km en moyenne ;
- distance Soleil-Terre : 147 millions à 152 millions de km (périhélie, aphélie)
- révolution synodique de la Lune : 29 j 12 h 44 min (lunaison)
- précession des équinoxes : le point vernal rétrograde de 50",2 par an ;
- obliquité de l'écliptique : 23° 27' ;
- les noeuds de l'orbite lunaire rétrogradent, un tour en 18,6 ans ;
- diamètre du Soleil = 109 diamètres de la Terre ;
- diamètre de la Terre = 12 756 km ;
- diamètre de la Lune = 3 476 km = diamètre terrestre/3,64.

Si nous choisissons de représenter la Terre par une sphère de 4,5 cm de diamètre (taille crayon en forme de globe terrestre), les autres dimensions seront les suivantes : diamètre du Soleil = 5 m ; diamètre Lune = 1,22 cm ; distance Soleil, Terre = 529 m ; distance Terre, Lune = 1,35 m.

C'est irréalisable ; il faudra choisir diverses échelles, de telle sorte que dans un encombrement réaliste, le cosmographe fasse apparaître les phénomènes à l'observation directe - phases et éclipses de Lune - ou étalés sur des durées plus longues - précession des équinoxes et saisons.

L'ellipse décrite par la Terre a 149,6 millions de km de demi grand axe et 149,557 millions de km de demi petit axe. Si nous ramenons le demi grand axe noté (a) à 20 cm, le demi petit axe sera égal à 19,994 cm : sur la maquette, l'ellipse ne pourra être distinguée d'un cercle de 20 cm de rayon. Le Soleil, l'un des foyers de l'ellipse, sera à 4 mm du centre du cercle.

Ce petit décalage de 4 mm est réalisé, sur la maquette, par un percement excentré de certains trous (cf schémas de la "poulie fixe" et du "bras"). Ainsi, grâce à cette astuce, la Terre est plus proche du Soleil durant l'hiver (cela se voit à gauche du bras de métal ; il dépasse de la poulie fixe de 4 mm alors qu'en été, il est au ras de la poulie).

Sur la maquette, la distance Terre, Lune sera choisie égale à 11 cm environ ; ce qui nous donne trois échelles différentes, celle de la trajectoire de la Terre, celle de la trajectoire de la Lune (cent fois plus grande) et celle des diamètres des planètes.

3. Utilisation de la maquette

La construction ayant été réalisée par les élèves (durée du travail 8 heures environ), on utilise la maquette pour expliquer différents phénomènes. Les élèves se répartissent en quatre groupes devant chaque maquette et réfléchissent aux questions suivantes :

3.1. Comment peut-on dessiner une ellipse, à l'aide d'une plaque de bois, de deux punaises et d'un fil sachant qu'une ellipse est une courbe plane, fermée, dont chaque point est tel que la somme de ses distances à deux points fixes, appelés foyers, est constante ?

3.2. Comment est positionné l'axe terrestre, actuellement ? (par rapport au plan de l'écliptique représenté par la plaque de bois du cosmographe)

3.3. Prévoir les différentes phases de la Lune. En s'aidant du calendrier PTT de 1982 ou des Ephémérides, nous remarquons une éclipse totale de Lune, visible à Paris, le 30 décembre 1982. Mettre alors le cosmographe à jour et prévoir les phases de la Lune que nous observerons dans quelques jours pour savoir si nous verrons la Lune la nuit ou en plein jour.

3.4. Etudier les éclipses totales de Lune. Quelle durée sépare deux éclipses totales de Lune (les élèves essaient de comprendre sur la maquette puis vérifient leurs observations en consultant le calendrier : en 1982, éclipses de Lune les 9 janvier, 6 juillet et 30 décembre.

Quelle durée sépare une éclipse de Lune et une éclipse de Soleil ? Dates données par le calendrier pour les éclipses de Soleil en 1982 : 25 janvier, 26 juin, 20 juillet, 15 décembre.

3.5. Comment l'axe de la Lune est-il orienté par rapport au champ magnétique terrestre, c'est à dire comment peut-on s'aider de la Lune (pleine ou en croissant), la nuit ou le jour, pour s'orienter ?

Le cours de physique de Seconde ne comporte pas l'étude du magnétisme terrestre, mais des notions succinctes en seront données dans le cadre d'un travail en collaboration avec les collègues d'éducation physique. Cette étude débouchera sur l'apprentissage de l'orientation en s'aidant d'une carte et d'une boussole, en forêt par exemple.

Les élèves réfléchissent à toutes ces questions en s'aidant mutuellement par petits groupes. Ultérieurement, ils expliqueront à leurs camarades d'une autre classe comment fonctionne le cosmographe et quels sont les phénomènes qu'il permet de visualiser.

3.6. Réponses. a) Les élèves tracent différentes ellipses et voient ce qui les différencie les unes des autres. On définit les termes suivants : grand axe, petit axe, foyer, excentricité. On en déduit les couples suivants de paramètres qui sont nécessaires pour déterminer entièrement une ellipse: F, F' et a ; a et b ; e et a ; e et b . Sur l'ellipse de l'écliptique on positionne les saisons (axe des solstices et axe des équinoxes perpendiculaires l'un à l'autre).

b) Sur la maquette, les élèves orientent l'axe de la Terre par rapport au plan de l'écliptique. Au solstice de décembre, l'axe de la Terre est dans le plan perpendiculaire au plan de l'écliptique et passant par l'axe des solstices. Aux équinoxes, l'axe de la Terre se trouve dans le plan perpendiculaire au plan de l'écliptique et à l'axe des équinoxes. La précession de l'axe de la Terre est égale à 26 000 ans. On peut mettre en évidence

ce phénomène à l'aide d'une toupie. Il est dû à l'attraction de la Lune et du Soleil sur le bourrelet équatorial de la Terre ; il y a création d'un couple de forces qui tend à ramener ce bourrelet vers le plan de l'écliptique. A cause de ce phénomène, les saisons se déplacent, dans le plan de l'écliptique. Dans 13 000 ans par exemple l'équinoxe de printemps sera dans la position actuelle de celle d'automne et le solstice d'hiver dans celle actuelle d'été.

3.7. Comment mettre le cosmographe à jour ?

On se réfère pour cela à l'éclipse totale de Lune du 30 décembre 1982. Ce jour-là le Soleil, la Terre et la Lune sont sur le même axe. Cet axe est parallèle à la "ligne des noeuds"(cf planche C). Dans le cas d'une pleine Lune ordinaire, les trois corps ne sont pas alignés, la Lune est soit trop haute, soit trop basse par rapport à la Terre et nous n'observons pas d'éclipse.

On immobilise alors le disque en bois, qui comporte 19 trous (cf planches C et F), avec le cylindre tronqué, en bois, grâce à une petite goupille métallique. On fait alors décrire un tour au bras métallique Soleil-Terre du cosmographe, pour arriver au 30 décembre 1983. Mais alors, pendant ce temps, le plan de la trajectoire de la Lune a précédé de $360/18,6$ degrés. On déplace donc la goupille métallique d'un trou, en faisant tourner le cylindre tronqué d'un dix-neuvième de tour.

Ainsi, dans cette position du 31/12/83, on remarque que nous n'observons plus d'éclipse de Lune car la ligne des noeuds n'est plus parallèle à l'axe Terre-Lune.

Puis on déplace le bras métallique pour amener la Terre au jour J de 1984, date à laquelle nous faisons la mise à jour de la maquette. Ainsi, à la fin de chaque année, nous faisons tourner la ligne des noeuds de $1/19$ ème de tour par rapport à sa position précédente.

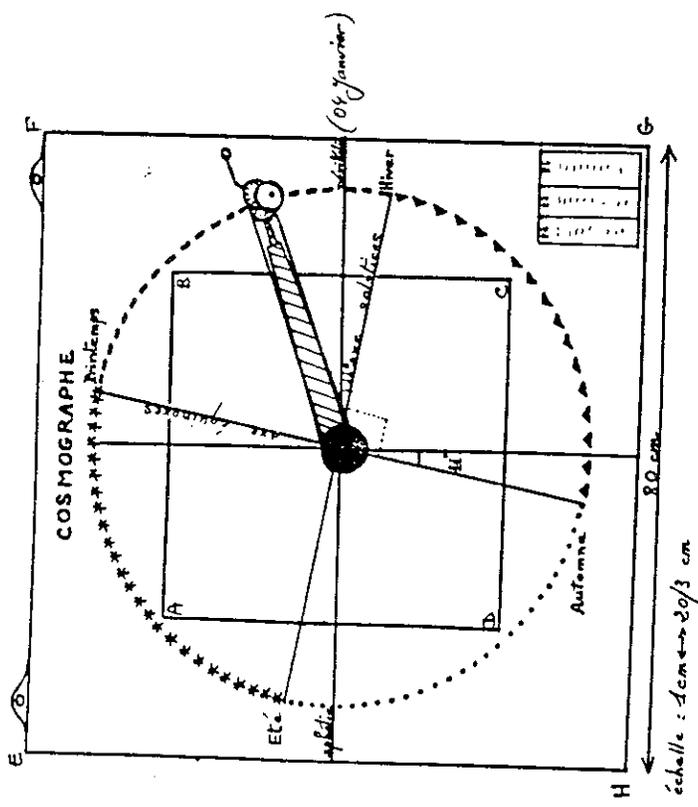
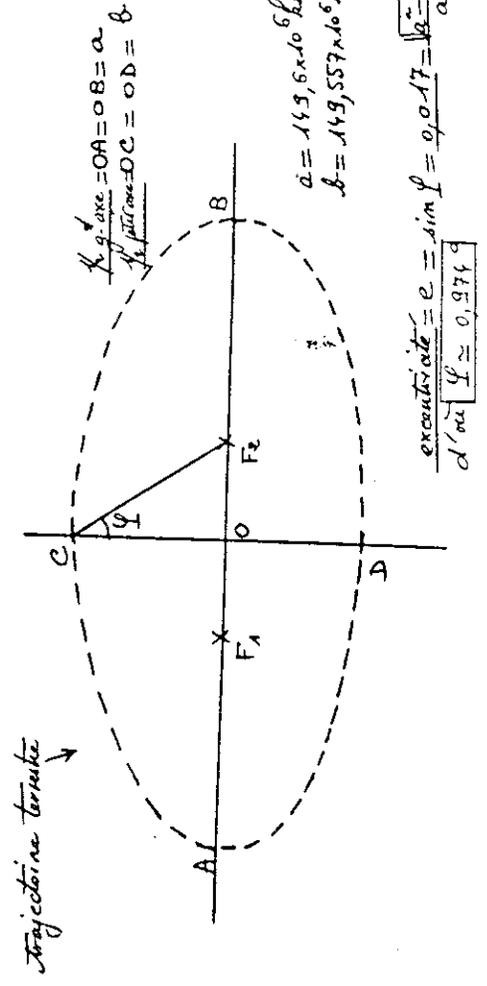
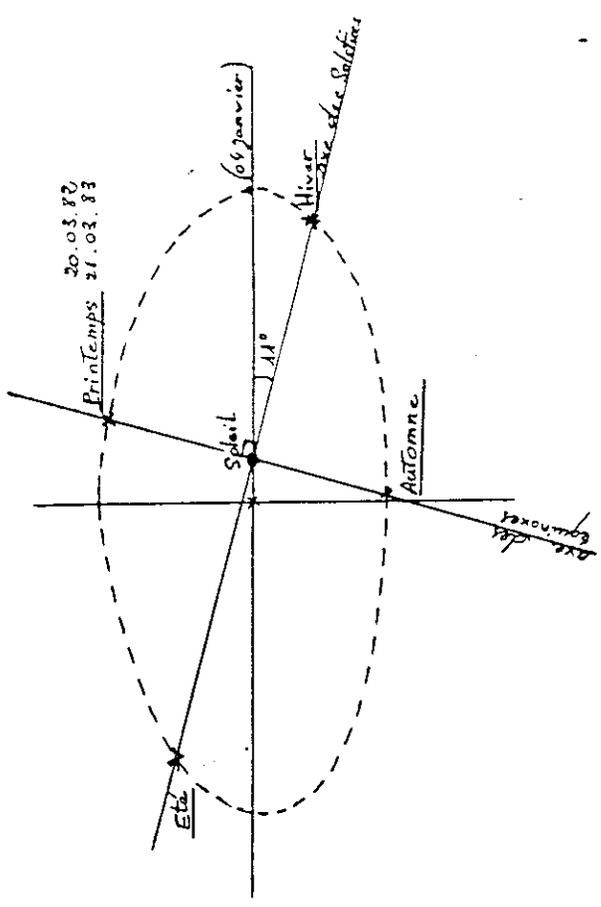
Remarquons que lors de son déplacement autour du Soleil, l'axe de la Terre reste parallèle à lui-même; grâce à une courroie de caoutchouc passée autour des deux poulies de bois, celle située sous le globe terrestre et celle située sous le Soleil.(Une transmission à chaîne serait plus fidèle mais elle est plus difficile à réaliser).

4. Comment s'orienter à l'aide de la Lune ?

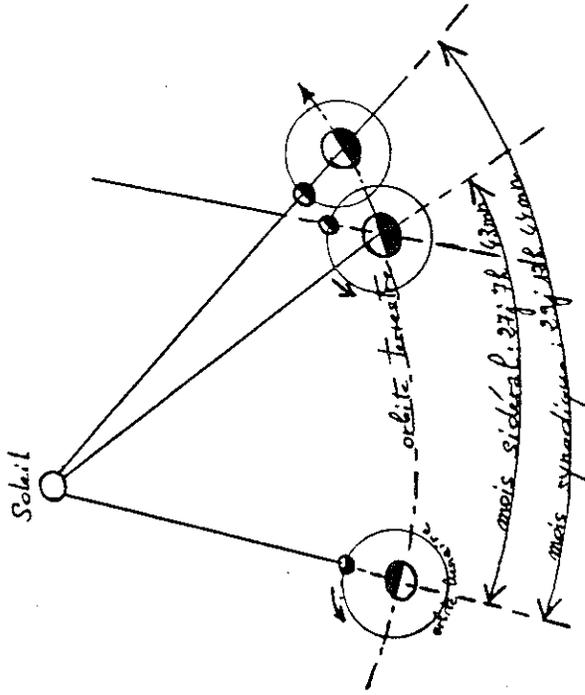
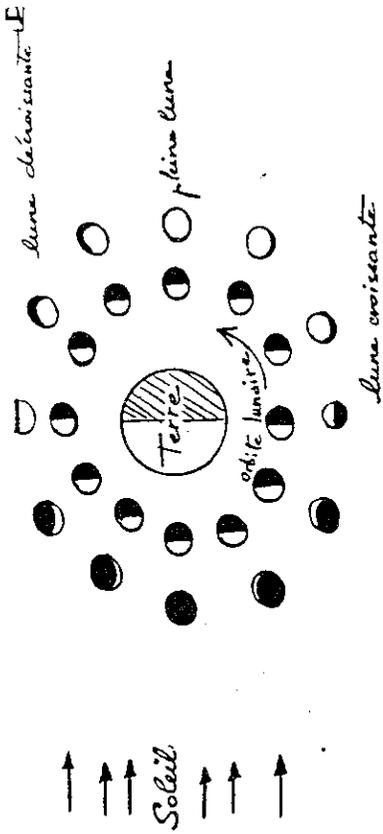
4.1. La Lune est éclairée par le Soleil : la Lune nous permet alors, la nuit, de retrouver la direction du Soleil. Connaissant la position du Soleil et l'heure solaire, nous pouvons en déduire où est le Nord, sachant que le Soleil se trouve au Sud à midi, à l'Ouest vers 18 h et au Nord à minuit.

4.2. Autre méthode. 4.2.1. Réflexions à partir de l'observation de la maquette
Branchons l'ampoule électrique qui représente le Soleil. Celui-ci éclaire la Lune. La ligne d'ombre sur la Lune (le terminateur) est dans un plan presque perpendiculaire au plan de l'écliptique, c'est à dire que la ligne qui passe par les deux cornes de la Lune lorsque nous observons celle-ci en quartier est presque perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Posons un petit aimant sur le petit globe terrestre à l'emplacement de la France. La surface de cet aimant matérialise alors le plan horizontal en ce lieu. Un axe métallique soudé à une petite plaque posée sur l'aimant (comme l'indique la figure) symbolisera donc la verticale en ce lieu ; un fil à plomb fixé à cet axe est alors perpendiculaire au plan de l'écliptique et il symbolise la ligne des cornes de la Lune. L'axe métallique et le fil à plomb forment un plan qui, soit rencontre le pôle nord géographique (c'est la situations aux solstices à midi ou minuit) soit passe à l'Est de ce pôle, soit à l'Ouest. C'est à dire que le vecteur AB passe soit par le pôle, soit à sa gauche soit à sa droite.

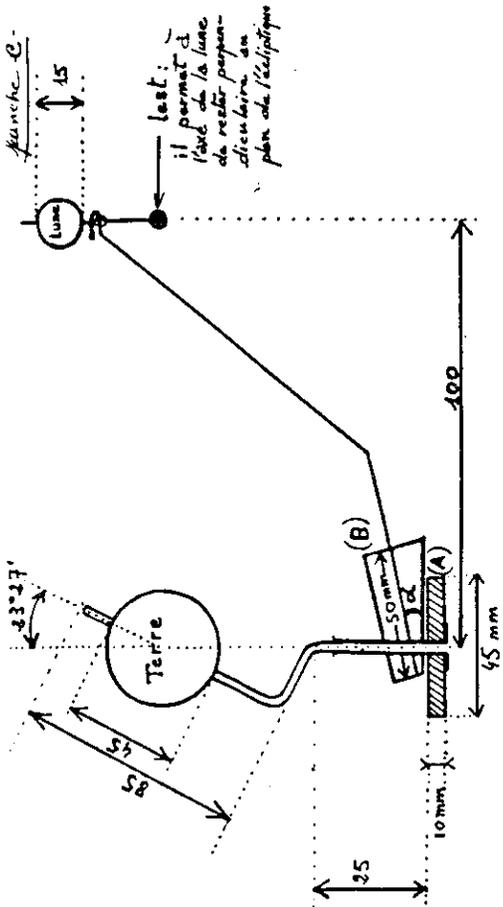


- centre de la maquette : soleil symbolise par une ampoule électrique.
- plaque metallique ABCD : elle est recouverte de vernis blanc ou de couleur sur lequel sont inscrites les caracteristiques du systeme solaire (dimensions, vitesses de rotation, periodes, precessions Terre et lune... et les definitions des saisons.
- plaque de bois EFGH : elle symbolise le plan de l'ecliptique. On peut y noter les diverses positions de la lune tout le long de l'annee, et les dates des eclipses, ce qui permet de faire le cosmographe à jour.
- bias metallique qui symbolise le rayon de la trajectoire de la Terre; il peut être immobilisé, grâce à quelques aimant dans une position quelconque.

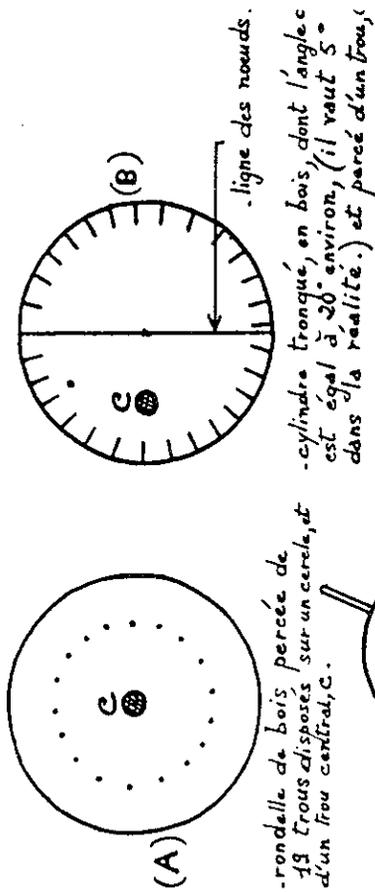


mois synodique : intervalle de Temps entre deux aspects successifs de la lune. (deux nouvelles lunes, par exemple. (29j 12h 44mn 8s))

mois sidéral : intervalle de Temps entre deux passages consécutifs par le pôle boréal de la lune même étoile. (29j 12h 43mn 11,5s)

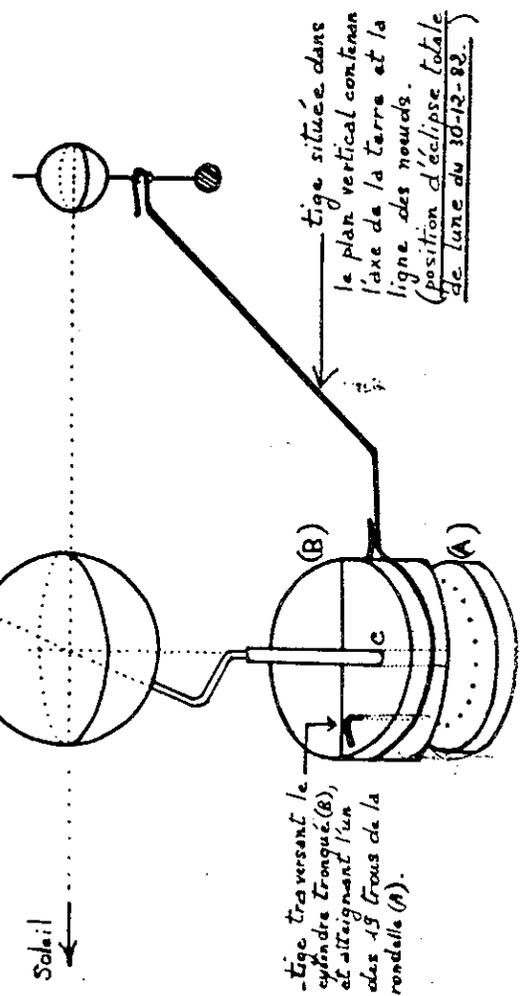


lest : il permet à l'axe de la lune de rester perpendiculaire au plan de l'écliptique



-rondelle de bois percée de 19 trous disposés sur un cercle, et d'un trou central, C.

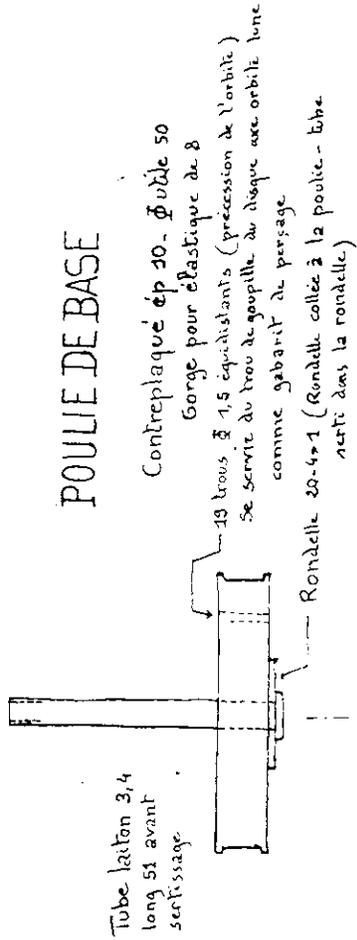
-cylindre tronqué, en bois, dont l'angle est égal à 30° environ, (il vaut 5° dans la réalité.) et percé d'un trou, C.



-tige traversant le cylindre tronqué (B), et atteignant l'un des 19 trous de la rondelle (A).

-tige située dans le plan vertical contenant l'axe de la terre et la ligne des nœuds. (position d'éclipse totale de lune du 30-12-83.)

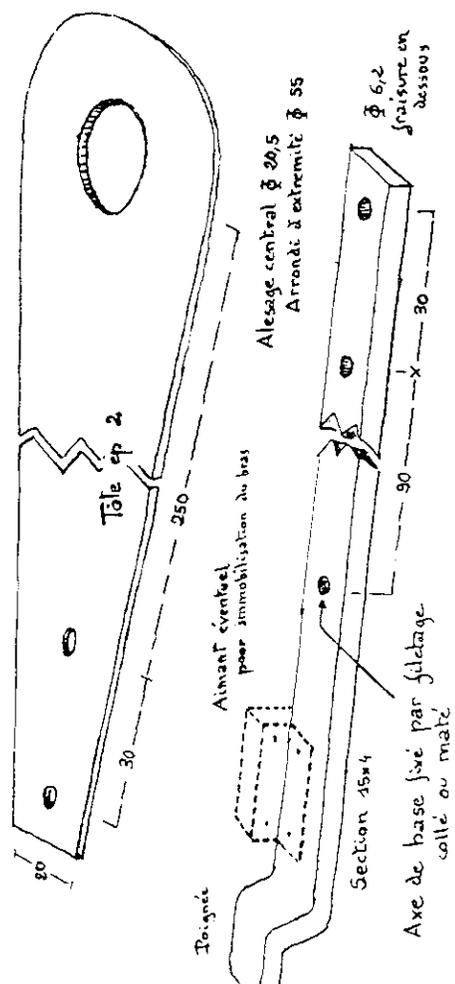
POULIE DE BASE



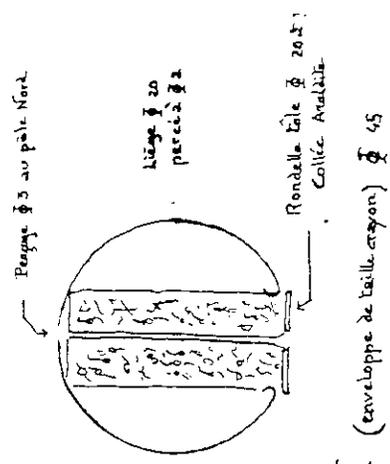
AXE DE BASE

ϕ 2,95 INOX ou LAITON (rodage à la toile émeri
d'un axe de ϕ 3 jusqu'à libre rotation de la
poulie.)

BRAS (long utile 370)

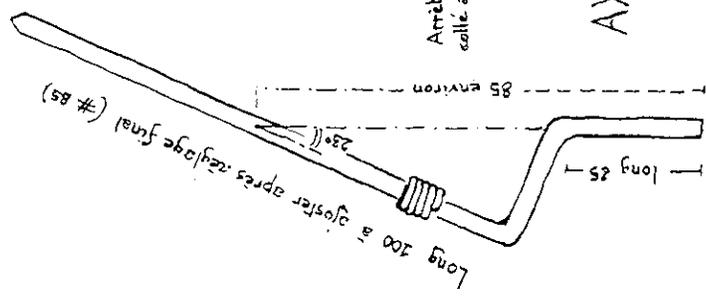


TERRE



Arrêt fil Cu ϕ 1
collé après réglage final.

AXE TERRE (fil Inox au laiton ϕ 3)



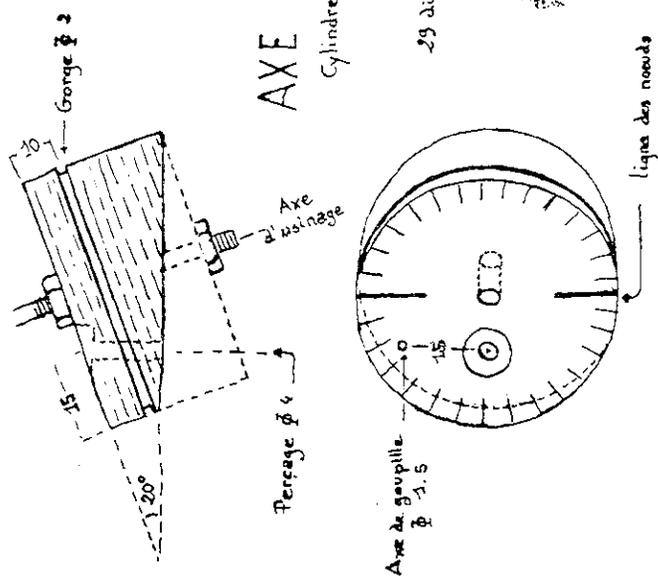
Dans l'ordre :

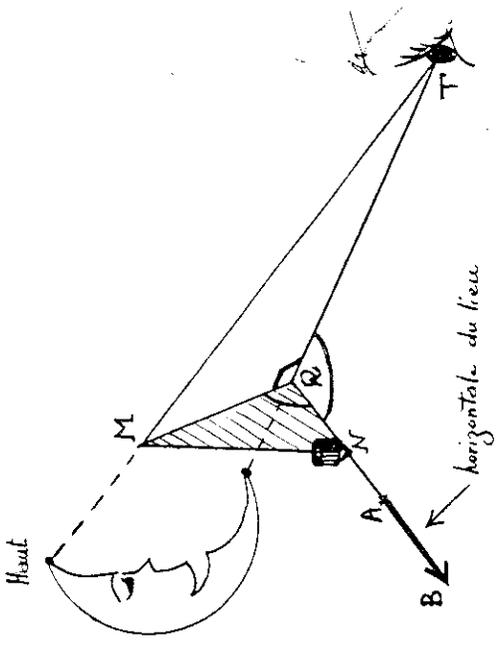
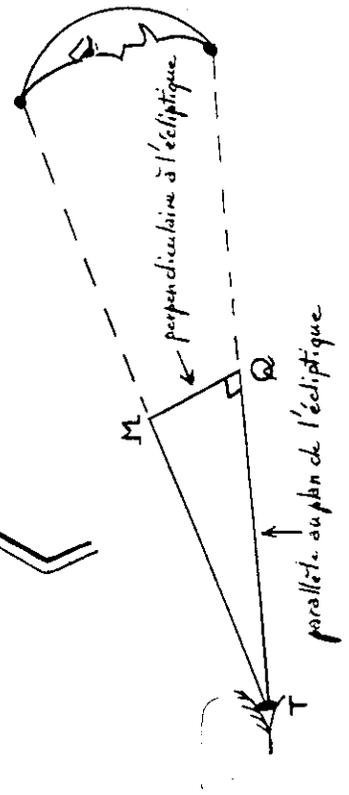
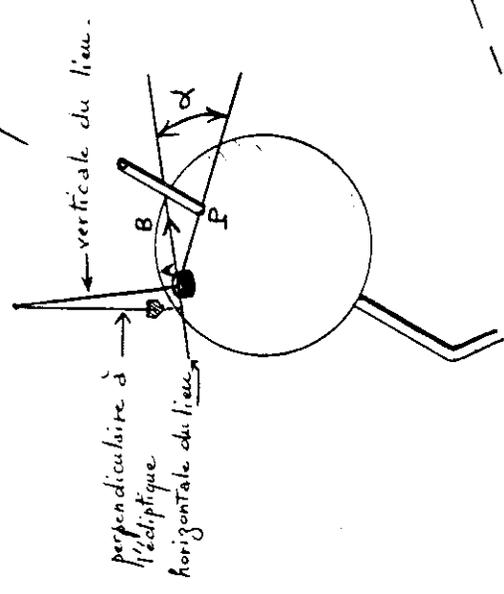
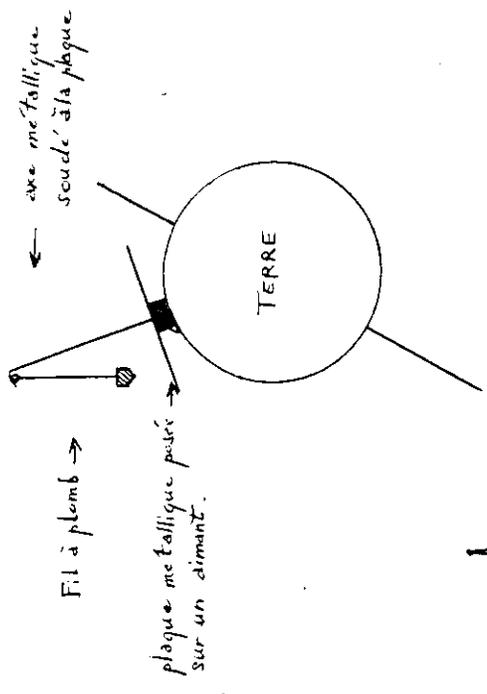
- Montage de l'axe à usinage.
- Calibrage du cylindre.
- Tracé de la gorge (avec scie à mét).
- Coupe biseau.
- Perçage ϕ 4 (axe) et ϕ 1,5 (gouille) les 2 verticaux.

AXE ORBITE LUNE

Cylindre ϕ 50 haut 30 contreplaqués collés

29 divisions égales sur la surface supérieure
(jours lunaires)





La perpendiculaire à l'écliptique, MQ , et la verticale du lieu (le fil à plomb MN) forment un plan (hachuré) qui définit le vecteur horizontal AB qui nous permet de connaître la direction du Pôle Nord Géographique en un lieu donné.

