

Histoire de l'Astronomie

1^{ère} partie

Les difficultés de l'astronomie

- Les distances
- La complexité de l'univers
- Notre statut de mortel
- Nous sommes là depuis très peu de temps.

Lune : 1.3 seconde lumière

**Soleil: 8 minutes lumière (1 unité astronomique ou UA
= 150 millions de km)**

Pluton: 5.5 heures lumière

Proxima Centauri: 4.2 années lumière

Centre de notre voie lactée: 26000 années lumière

Galaxie d'Andromède: 2.6 million d'années lumière

Horizon cosmique: 44 milliards d'années lumière

Comment malgré tout progresser dans la connaissance de notre univers

- L'observation
- La modélisation
- L'imagination
- Le progrès scientifique dans tous les domaines
- L'humilité
- Le droit de se tromper

Contenu du cours (1^{ère} partie)

La nécessité

- Le Calendrier (version civile)
- Le calendrier (version astronomique)
- La cartographie (La longitude)
- La cartographie (La terre étalon)
- L'équation du temps (le temps étalon)

Le calendrier

Version Civile

Dans les temps anciens

- On ne sait quand les sociétés humaines ont commencé à compter les jours et peut-être établir des calendriers (préhistoire?)
- Avant d'avoir un calendrier ce sont les religieux qui donnaient les dates importantes
- Les générations anciennes ignoraient tout de l'univers et de son fonctionnement, ils n'avaient que les astres pour se repérer.

La nécessité d'un Calendrier

- Jusqu'à une date récente le clergé sonnait l'heure et tenait le calendrier de la paroisse (Religion et science astronomique intimement liés?)
- Compter exactement les jours de l'année est difficile

Calendrier Lunaire de 354j

- Seul repère commun à tout le monde: le rythme des cycles planétaires tout particulièrement de la Lune (29.5 j).
- Premier calendrier (mésopotamien): 12 mois de 29 et 30 jours alternativement = 354 jours
- Les Fêtes reculaient de 10 jours chaque année
- **Calendrier encore utilisé de nos jours dans le monde musulman**

Calendrier Lunaire de 354j

Avantages

- Pas de complications dû à l'incommensurabilité des cycles terrestres, lunaires et solaires

Inconvénients

- Pas de date fixe en ce qui concerne tout ce qui est lié au soleil et en premier lieu les cycles agricoles dont les dates avancent d'année en année

Corrections au calendrier

- Assyriens, Hébreux, Perses, Grecs etc.. Prirent l'habitude de rajouter 1 mois lunaire chaque **année** (décision prise par les prêtres si le printemps n'était pas au rendez-vous)
- En chine: on rajoutait 7 mois lunaires au total tous les 19 ans (Cycle de Saros)
- **Problème: on ne sait jamais à l'avance si un mois doit être « plein » ou « cave » ou si une année a 12 ou 13 mois**

On savait décrire les mouvements de la lune donc on aurait pu planifier cela des années à l'avance. Mais alors quid du pouvoir du clergé?

Cas des Egyptiens

- Adorateurs du Soleil: calendrier fondé sur une année solaire dès l'ancien empire (2500 av JC)
- 12 mois de 30 jours + 5 jours festifs chaque année , les « jours epagomènes » (inconvenient: les lunaisons prennent de l'avance sur le calendrier)
- Trop court de $\frac{1}{4}$ j/an = glissement du calendrier (1mois/siècle, 1 an en 1500 ans). Cela n'a jamais été corrigé malgré la connaissance du décalage y compris sous les Ptolémée et au moment de la Bibliothèque d'Alexandrie.

Les Romains

- Ont adopté le calendrier Grec
- Les « pontifes » jouaient avec le calendrier (années de 330j par exemple = 10% d'impôts en plus) et de plus chaque peuple de l'empire avait son calendrier
- En 46 av J.C. César y mit bon ordre (conseillé par Sosigène ramené d'Alexandrie). La dernière année fut donc prolongée de 80j pour rattraper le décalage.
- **Calendrier « Julien »: 6 mois « fastes de 31j, 5 de 30 et le dernier (février) de 29j plus un jour intercalaire tous les 4 ans inséré en février** (Juillet et Aout font référence à Jules et Auguste et ont 31j, février perdant 1j)

Calendrier actuel

- Calage avec l'année solaire n'était pas encore résolu: Au bout de 15 siècles, 10 jours de décalage
- Sixte 4 au début du 16^{ème} consulte un astronome, réunion du concile en 1545, application par **Grégoire** le 4/10/1582 (la date qui suivit fut 15/10/1582)
- Décision: suppression de l'année bissextile au début de chaque siècle, sauf tous les 400 ans. (365.2524j au lieu de 365.2522 vrais) Affirmation du pouvoir catholique face à la réforme?

Application du Calendrier Gégorien

- **Actuellement universellement accepté**

- Mais: Eglise Orthodoxe garda le calendrier Julien jusqu'en 1918 (révolution d'octobre en novembre), la grèce jusqu'en 1926
- La Turquie Laïque changea aussi en 1926 alors que l'Egypte l'avait déjà fait en 1875.
- Le Japon s'aligna en 1873 et la Chine en 1929

Le Calendrier

Version Astronomique

Années, Saisons et Climats

- L'année solaire avait été accessible à l'observation dès l'antiquité au moyen d'un « **Gnomon** »
- On date:
 - Le solstice d'hiver (jour le plus court=ombre la plus longue à midi)
 - Le solstice d'été (jour le plus long=ombre la plus courte à midi)
 - Latitude du lieu aux équinoxes et aux solstices par différence avec l'inclinaison de l'écliptique
- Utilisation: Année solaire, alignement des temples (pyramides?..) etc..

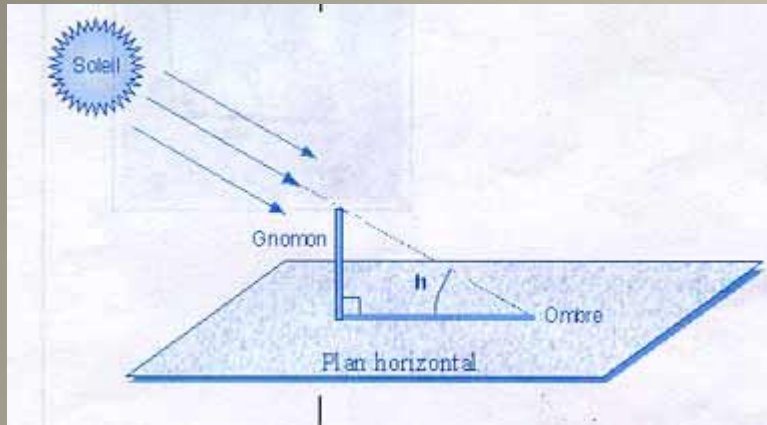
Equinoxe et Solstice

- Equinoxe (Aequinoctium: égal et nuit) Evènement astronomique qui se produit lorsque le centre du soleil est exactement à la verticale d'un point de l'équateur de la Terre. Deux équinoxes: l'un vers le 20 ou 21 mars, l'autre vers le 22 ou 23 septembre
- Solstice (solsticium: soleil et s'arrêter): Evènement astronomique qui se produit lorsque la position apparente du soleil vu de la terre atteint son extrême méridional ou septentrional (Deux solstices: l'un vers le 20 ou 21 juin, l'autre vers le 21 ou 22 décembre)

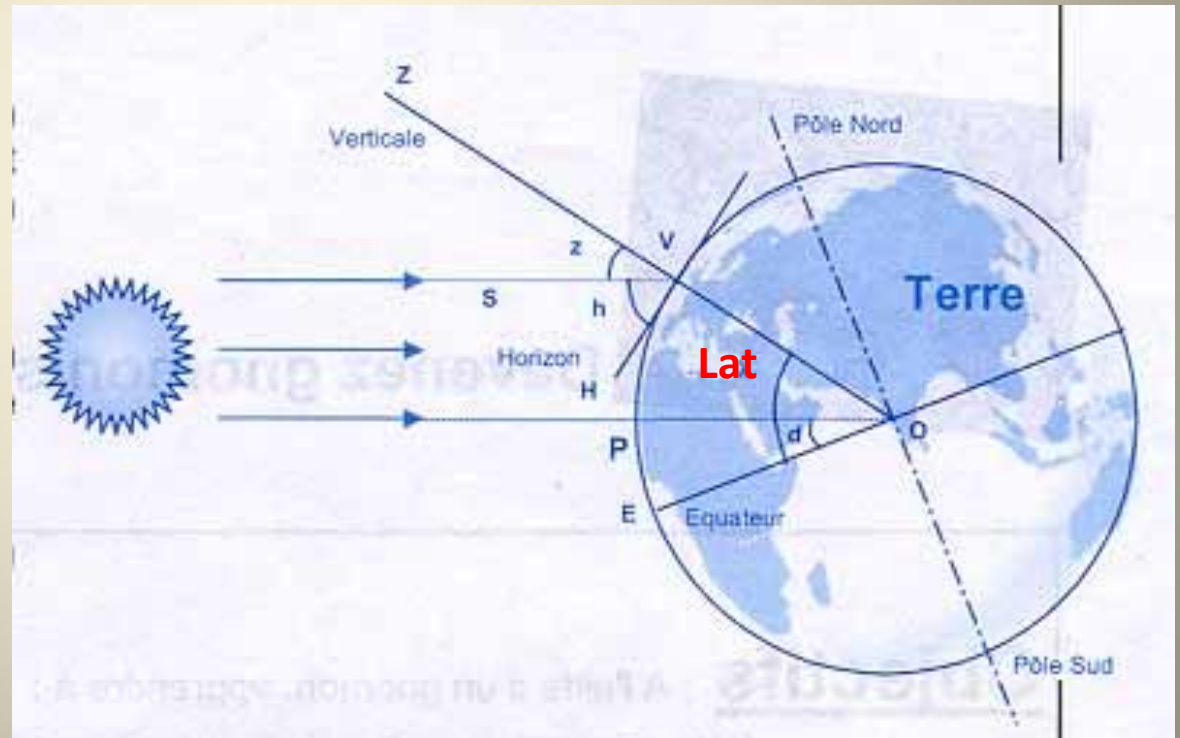
Le gnomon et son fonctionnement



été



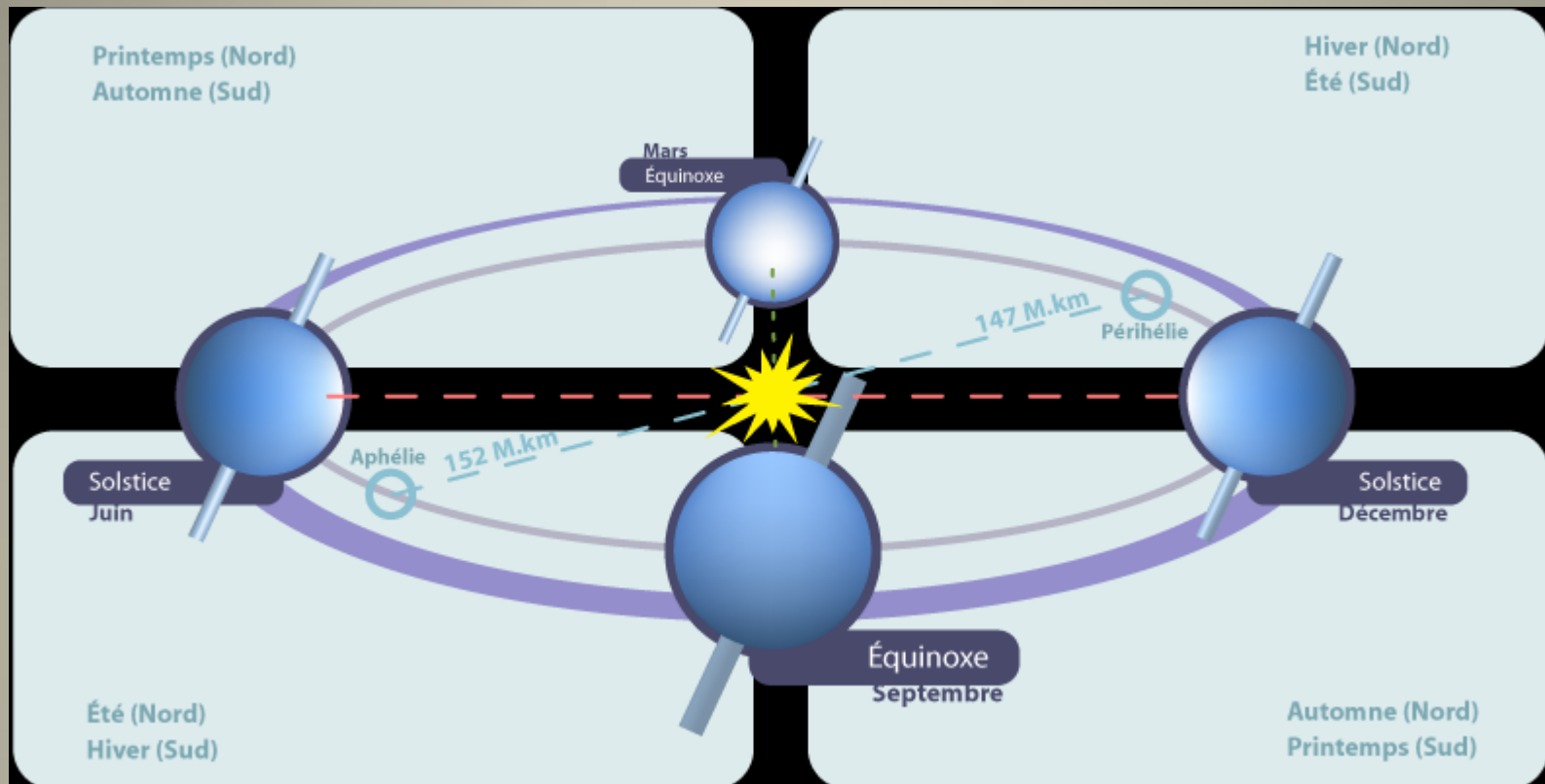
Mesure de la Latitude d'un lieu



$$Z=90-h=Lat-d$$

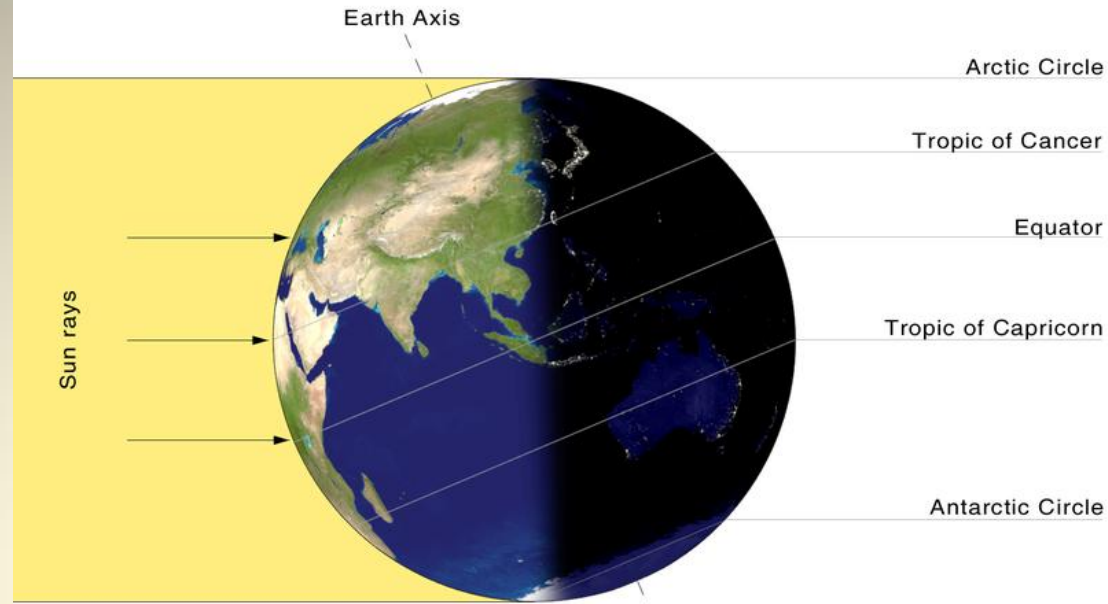
$$\text{Donc Lat}=90-h+d$$

A l'équinoxe $d=0$ et $Lat=90-h$

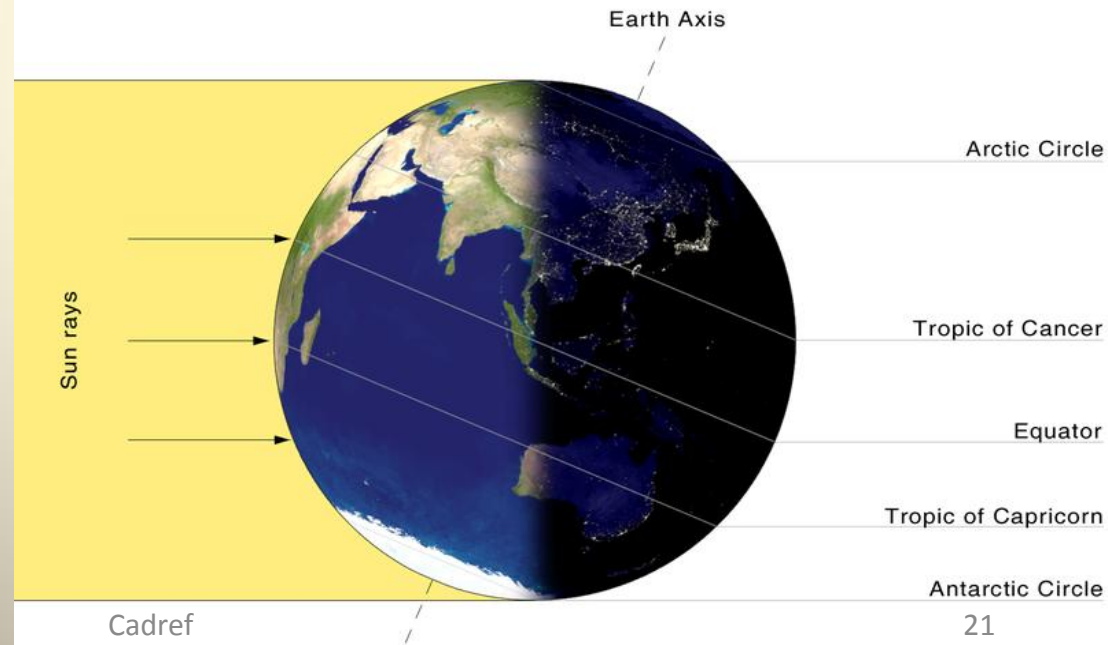


Axe de la terre incliné de 23.44 degrés par rapport au plan de son orbite

Illumination de la Terre par le soleil lors du solstice de juin



Illumination de la Terre par le soleil lors du solstice de décembre

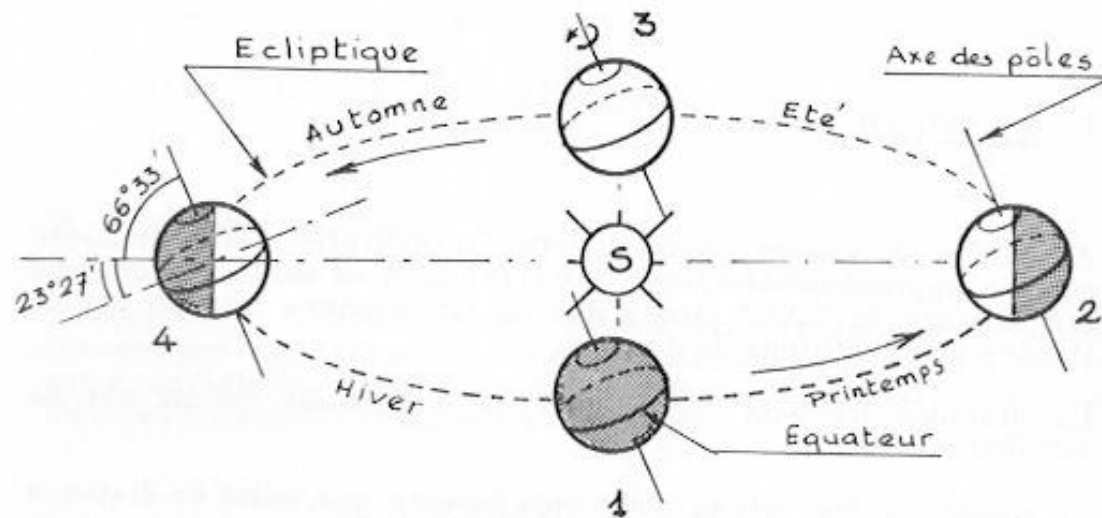


Deuxième méthode

- **Noter d'un endroit précis (toujours le même) la direction de lever et de coucher du soleil, de la lune, de planètes ou d'étoiles**
- Pour le soleil ces directions vont et viennent entre deux points: les solstices (Ex: Alignements de Stonehenge en Angleterre = calendrier en dur; ou encore les « Roues médicinales » en Amérique du sud)
- **Autres Alignements** : Ex: Les mayas avaient développé un calendrier basé sur les cycles du soleil et de la Lune mais aussi sur Vénus (période de 584j), cycles qui se resynchronisaient tous les 52 ans. Les égyptiens utilisaient aussi les étoiles. Ainsi le Lever Héliaque de Sirius annonçait la crue du Nil. Autre ex: Stonehenge avec ses nombreux alignements

Troisième méthode (développée par les grecs au II^{ème} siècle)

- **La sphère Armillaire utilisée comme instrument d'observation** (connue en chine, très populaires au moyen age, utilisée entre autres par Tycho Brahe et d'autres)
- L' écliptique est inclinée de 23.5 degrés (Anaximandre) et coupe l'équateur céleste aux points équinoxiaux ou points vernaux (point vernal équinoxe de printemps)
- Permet par exemple de déterminer le moment exact des équinoxes et donc la longueur de l'année tropique



1. EQUINOXE DE PRINTEMPS
2. SOLSTICE D'ETE
3. EQUINOXE D'AUTOMNE
4. SOLSTICE D'HIVER

La terre autour du soleil

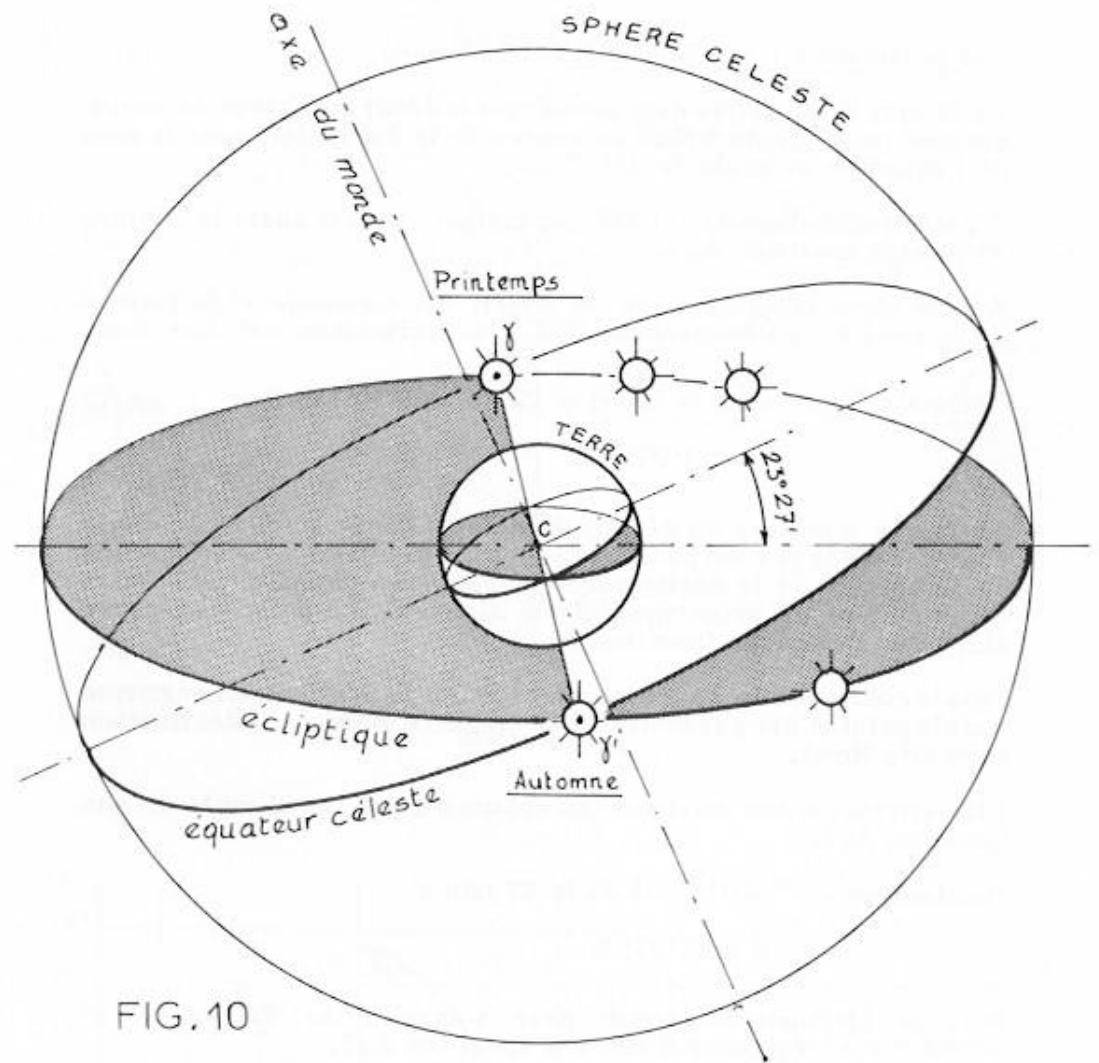


FIG.10

Ecliptique et Equateur Céleste

LES COORDONNEES EQUATORIALES

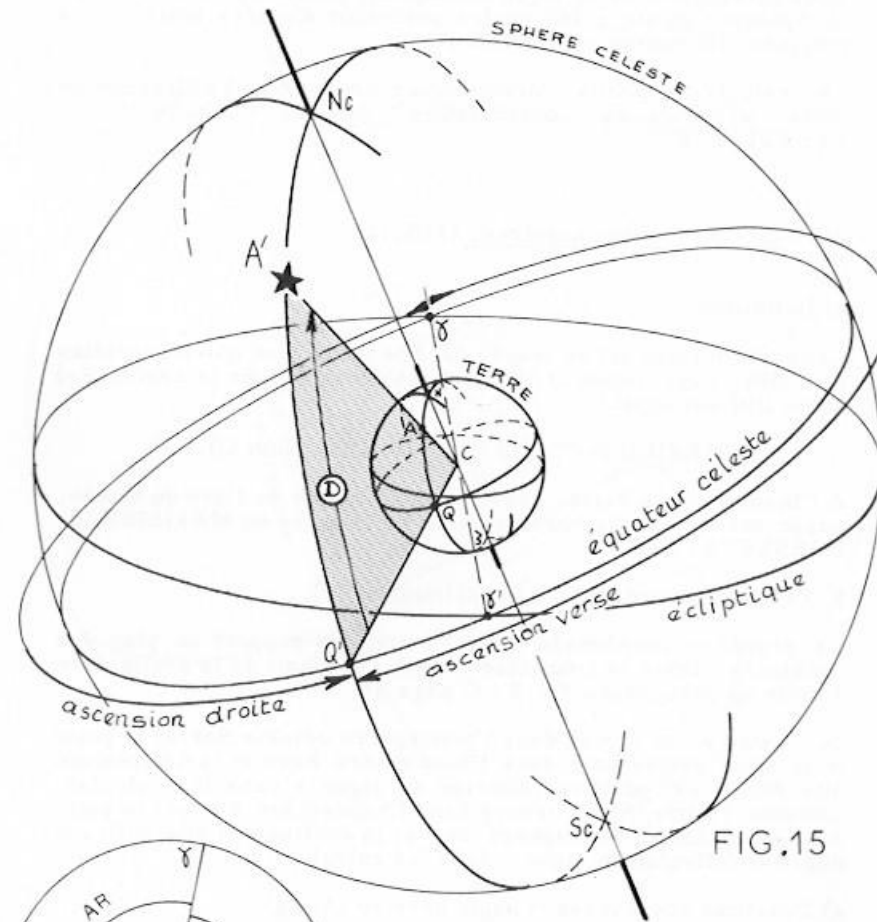


FIG.15

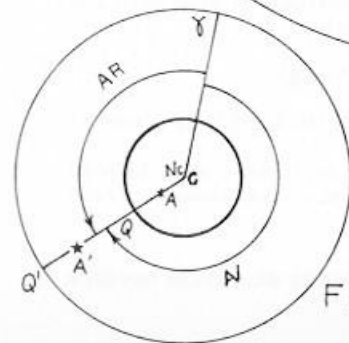
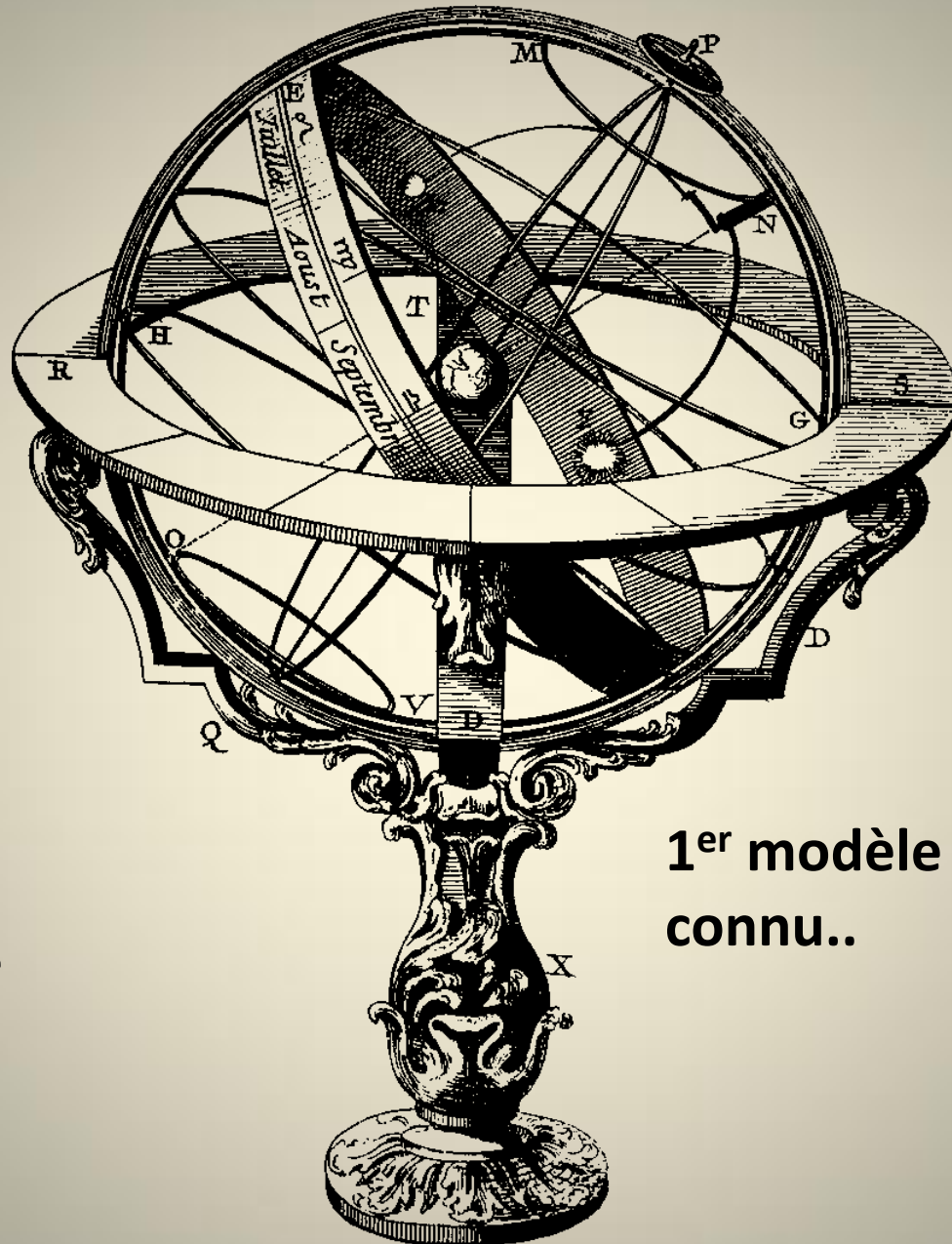


FIG.16

$$AR = 360^\circ - AV$$

$$AV = 360^\circ - AR$$



Sphère armillaire

1^{er} modèle de l'univers connu..

Utilisation des éclipses de Lune

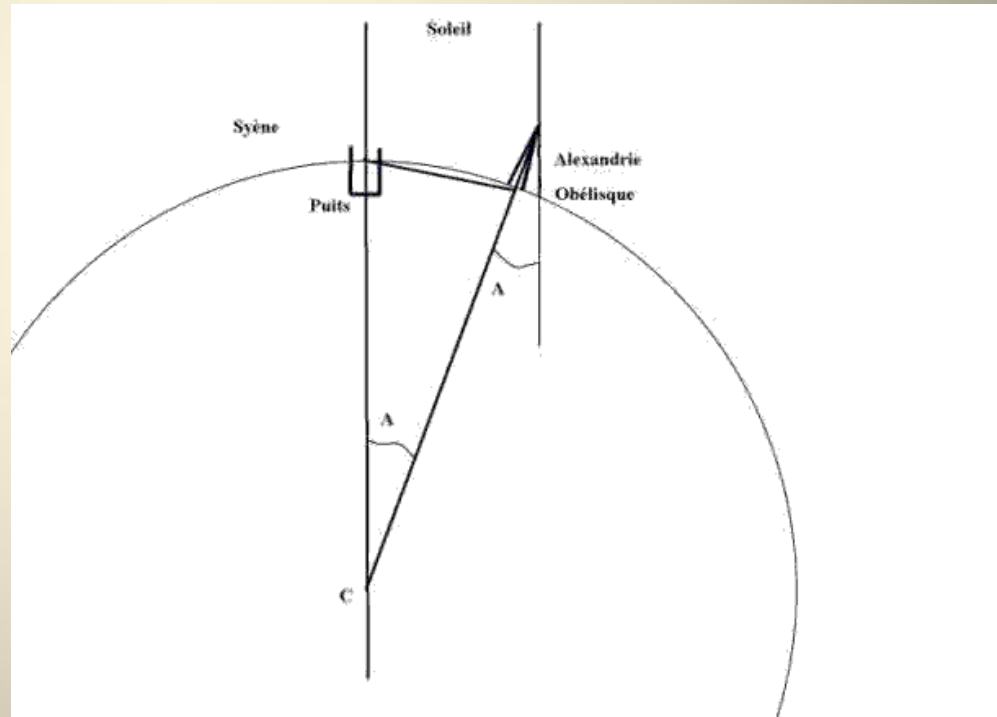
Eclairée de face par le soleil elle passe dans la pénombre et l'ombre de la Terre

- Hipparque de Nicée au III^{ème} siècle
 - Méthode pour mesurer la longitude (création d'éphémérides des éclipses de lune pour six siècles)
 - Evaluation de la taille et de la distance de la Lune
 - Mesure précise de l'année solaire (longitude écliptique du soleil a permis de reconstituer la trajectoire du soleil sur le ciel)
 - Mesure de « l'anomalie » du soleil (écart de la trajectoire du soleil à un mouvement circulaire)
 - Découverte de la précession des équinoxes (différence entre année tropique par la sphère armillaire et l'année sidérale par les éclipses de lune de $\frac{1}{4}$ h par an.)

Calcul du rayon de la Terre par Eratosthène (3^{ème} siècle av J.C.)

Le jour du solstice d'été,
à Syène, le soleil éclaire
le fond du puits; A
Alexandrie le même jour
le gnomon indique un
angle A

L'angle mesuré est de
1/50 de cercle.
La distance Syène-
Alexandrie est de 790
km



Circonférence terrestre = 39500 km; Rayon Terrestre = 6300 km (valeur actuelle 6378 km)

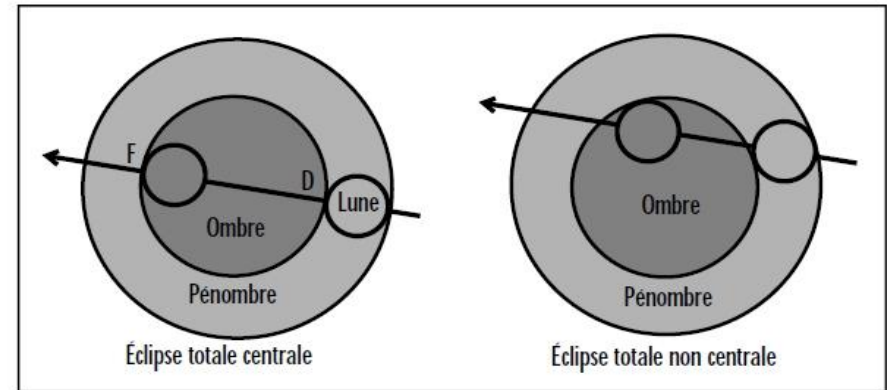
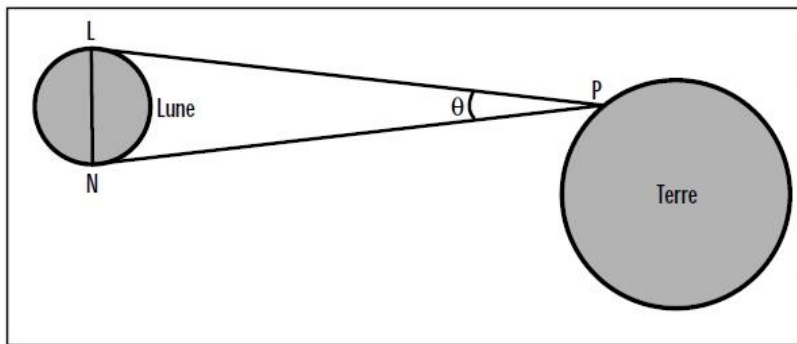
Distance Terre-Lune par Aristarque de Samos (début du 3^{ème} av J.C.)



Calcul Naif: On mesure la durée d'une éclipse de lune: la longueur que doit parcourir la Lune dans l'ombre est de 12 800 kilomètres. Si la durée est de 4 heures, on déduit que la vitesse de déplacement de la Lune sur son orbite est de $12\ 800/4 = 3\ 200$ km par heure. Or la Lune a besoin d'un mois (708 heures) pour faire un tour complet autour de la Terre. Donc la longueur de cette circonférence est $708 \times 3\ 200$, c'est-à-dire 2 265 600 kilomètres. D'où le rayon de l'orbite cherchée : 360 000 kilomètres

Distance Terre Lune (bis)

Autre méthode



Le diamètre apparent de la lune peut se reporter trois fois dans le disque d'ombre. Le diamètre de la lune est alors de $12800/3 = 4267$ km. Or son diamètre apparent est de 0.5 degrés donc $D = 4267/\text{tang}(0.5) = 490000$ km valeur trop élevée. L'ombre de la terre est un cône pas un cylindre (le diamètre de la lune se reporte en fait 4 fois dans 12800 km et $D=370000$ km)

Hipparque a utilisé une méthode plus sophistiquée qui a donné des résultats plus précis. Valeur actuelle: 384401 km

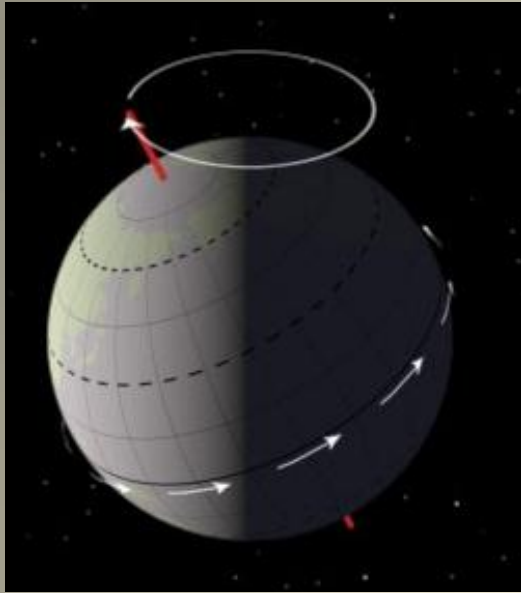
« La sphère des fixes avait elle-même un marche lente qui, comme celle des planètes, est en sens contraire du mouvement (diurne, c'est-à-dire, dû à la rotation de la terre) par lequel tout le ciel est entraîné » (Ptolémée)

Cette marche lente (1 tour en 26000 ans) qui prit le nom de **précession** (avance) des équinoxes résulte de ce que l'axe de la terre décrit très lentement un cone comme celui d'une toupie (découverte aussi par les chinois en 500)

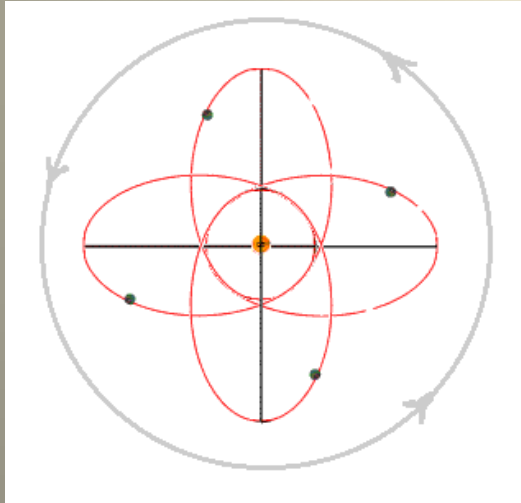
Nécessité d'avoir des cartes du ciel dont les coordonnées sont datées

Pourquoi les saisons ne sont pas toujours identiques (20^{ème} siècle)

Le système solaire obéit à un régime chaotique, y compris les orbites planétaires et les paramètres orbitaux de toutes les planètes prises individuellement

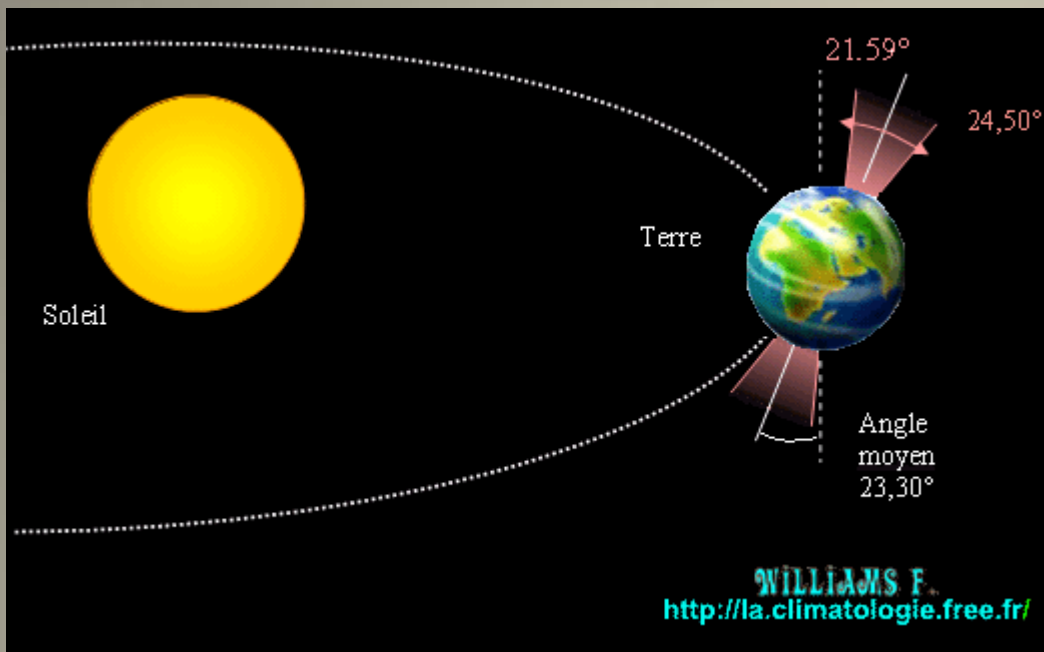


A cause de la non-sphéricité de la terre le soleil et la lune font précesser l'axe de la rotation de la terre (période 25 800 ans)

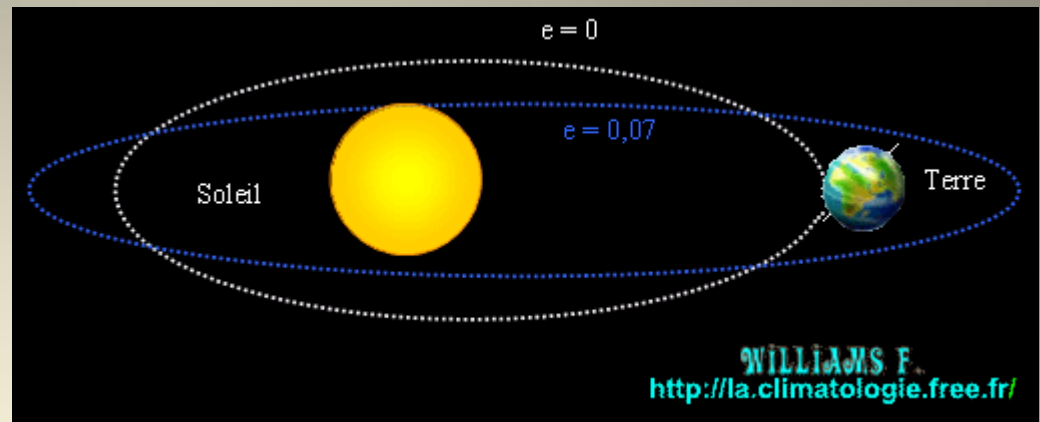
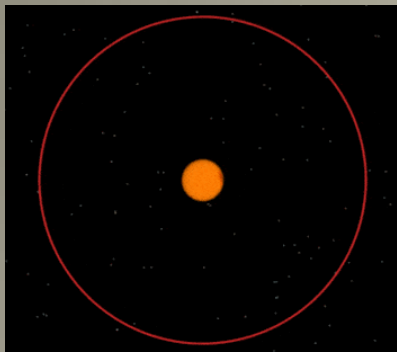


Rotation du plan de l'orbite (précession du périhélie) avec une période de 21000 ans.

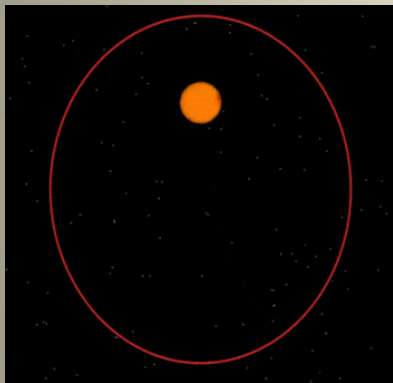
Actuellement, solstice d'été proche de l'aphélie (été tempérés et hiver moins froids pour l'hémisphère Nord; inverse pour le Sud)



L'obliquité de la terre varie entre 22° et $24^\circ 50'$ (actuellement $23^\circ 26'$) avec une période de 45000 ans. Origine: l'attraction de toutes les planètes et corps du système solaire



Excentricité nulle de l'orbite terrestre

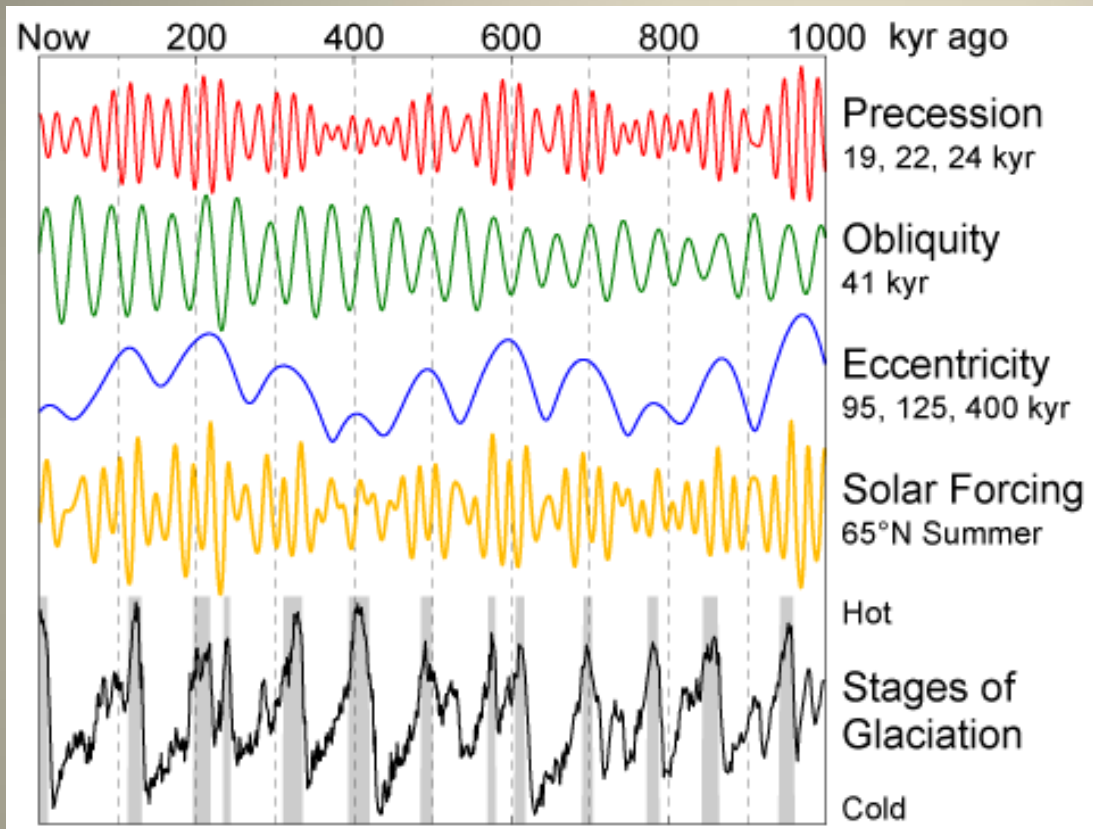


Excentricité maximale

L'attraction gravitationnelle des autres planètes tend à déformer le mouvement elliptique de la terre autour du soleil (e varie entre 0 et 0.06. Actuellement = 0.017)

L'excentricité est l'un des facteurs les plus importants dans les changements climatiques naturels puisque la Terre au périhélie peut recevoir de 20 à 30% d'énergie de plus qu'à l'aphélie.

Conséquence: Les Cycles de Mylankovic



- Variation de l'énergie solaire reçue sous les hautes latitudes au cours de l'année
- Différences de température entre continents et océans à cause de l'albédo
- Variations sur les changements de saison
- Différences de température entre les hémisphères