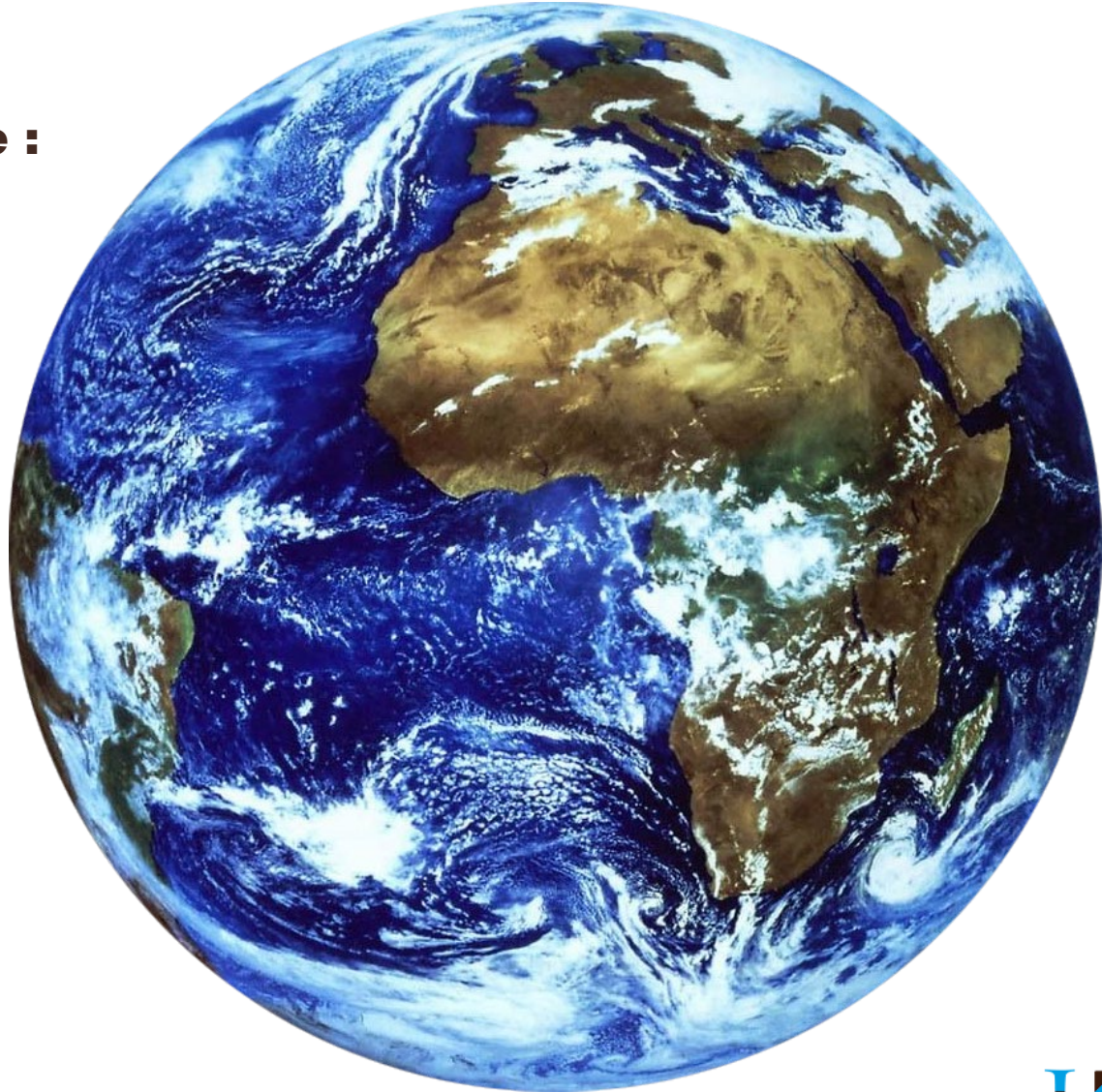


Notions de géodésie

Discipline pluridisciplinaire :

- Astronomie
- Géophysique
- Océanographie
- ...



Sébastien Zaragosi

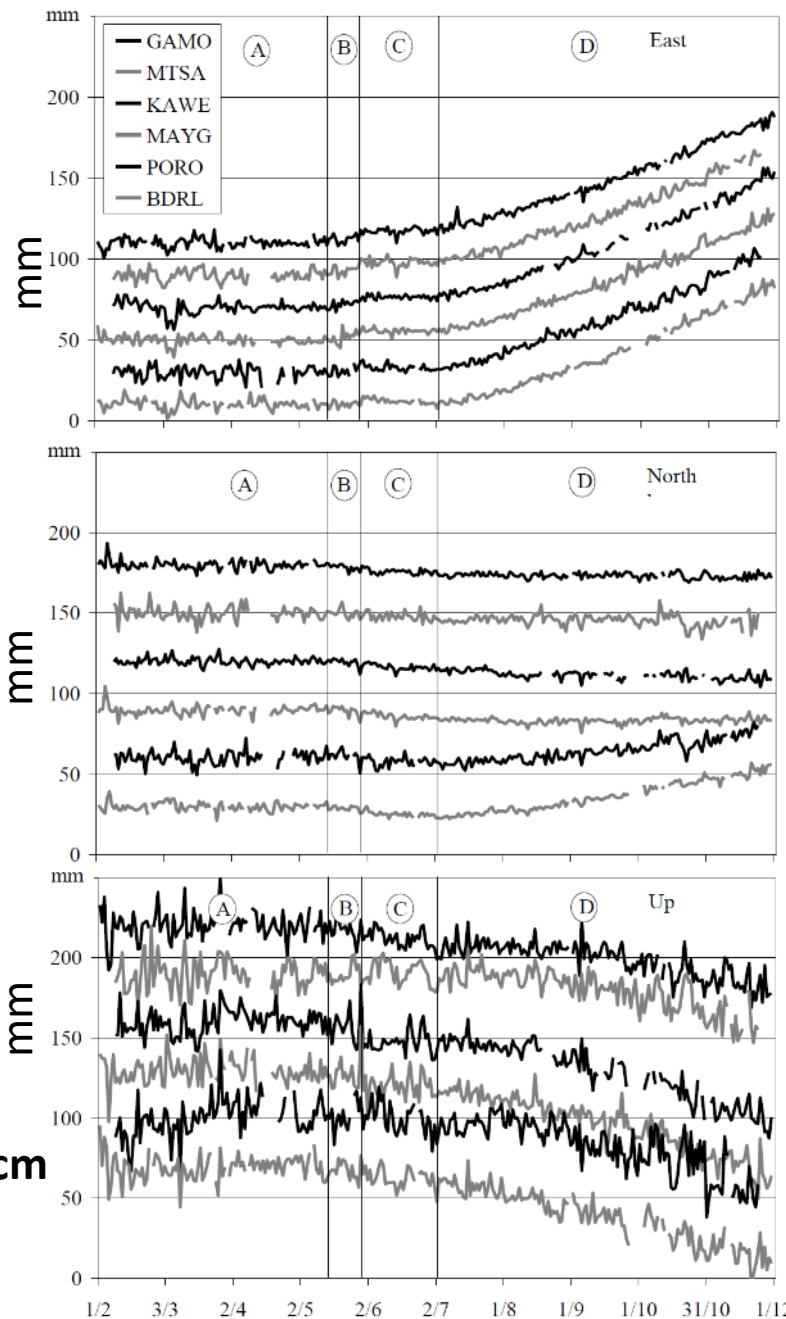
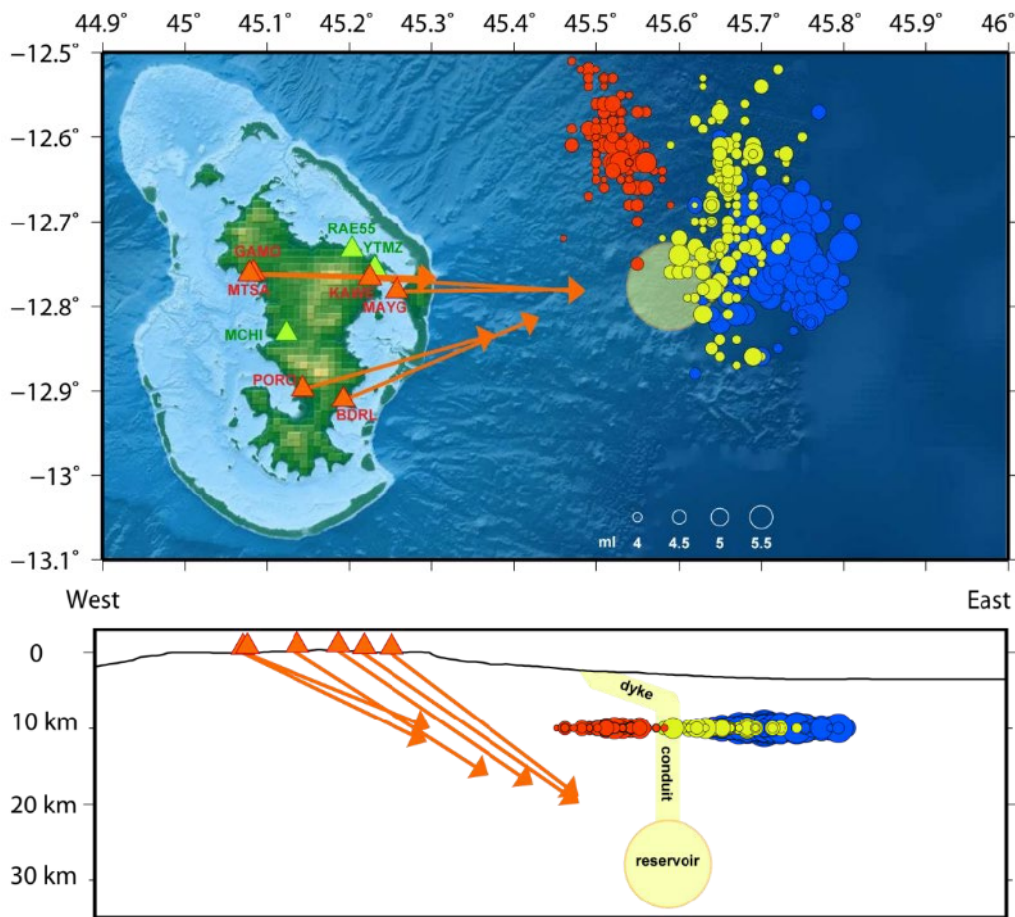
Université de Bordeaux

<https://www.geocean.net>

CRISE SISMO-VOLCANIQUE DE MAYOTTE

Station GPS IGN

Le déplacement du sol



Depuis Juillet 2018, l'île s'est déplacée vers l'est de **~21 cm** et elle s'est enfoncée de **~16 cm** (situation au 3/12/19)

Comment se positionner précisément sur une surface aussi complexe que la Terre ?

=> Géodésie

Science qui mesure et représente la forme, les dimensions et le champ de gravité de la Terre.

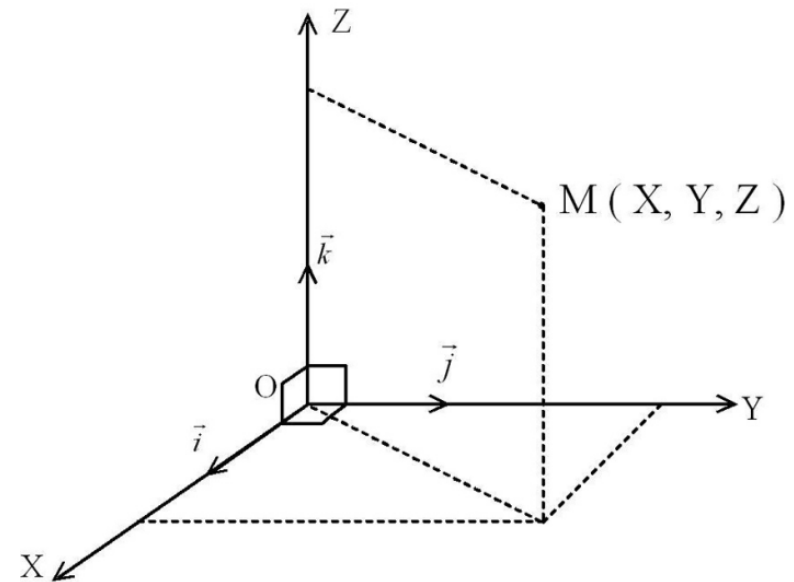


Les coordonnées cartésiennes géocentriques tridimensionnelles : X, Y, Z

Les coordonnées sont alors déclinées en X, Y et Z relatives aux 3 axes d'un repère ayant son origine au centre de masse de la Terre.

Avantages : X, Y, Z et la vitesse

Inconvénient : inutilisable pour représenter un point à la surface de la Terre



L'origine O : proche du centre de gravité de la Terre

L'axe OZ : proche de l'axe de rotation de la Terre

OXZ : plan méridien origine

OXY : plan de l'équateur

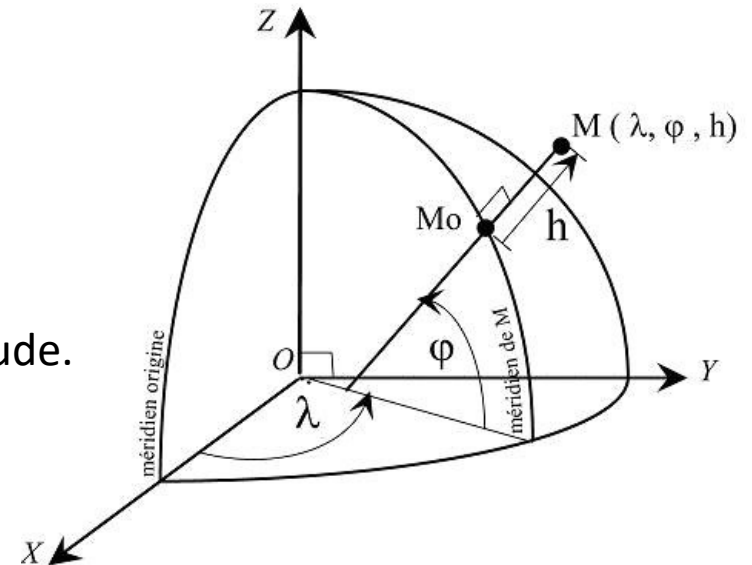
Les coordonnées géographiques : longitude, latitude, hauteur

λ (lambda) : longitude

ϕ (phi) : latitude

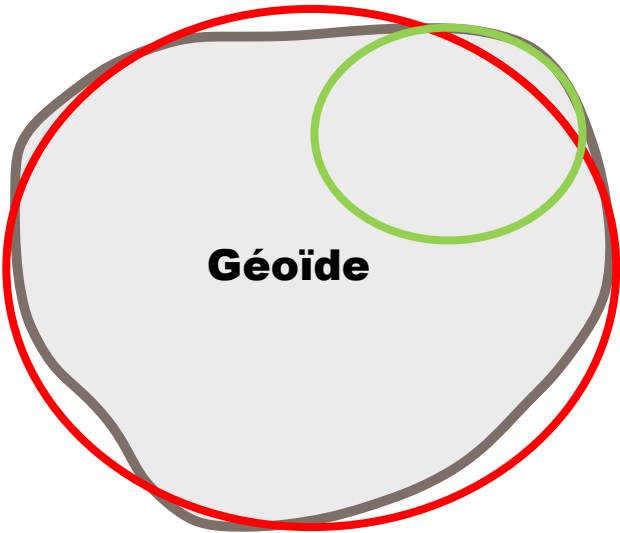
h : hauteur au dessus de l'ellipsoïde

Attention ne pas confondre hauteur ellipsoïdale et altitude.



Le géoïde :

Les surfaces sur lesquelles le potentiel de pesanteur est constant sont appelées surfaces équipotentielles. La surface moyenne des océans est une surface équipotentielle. Ainsi le géoïde correspond à la surface moyenne des océans. En fait, cette surface est difficilement accessible. Même sur les océans, où la houle, les marées peuvent être moyennées, les différences de température, de salinité, les vents, peuvent modifier le niveau moyen. Sous les continents, le géoïde n'est défini que d'une façon indirecte.



Ellipsoïde global

Ellipsoïde local

L'ellipsoïde :

L'ellipsoïde de révolution ("sphère aplatie aux pôles") est un modèle mathématique que l'on définit pour qu'il soit le plus près possible du géoïde. Il existe de nombreux modèles d'ellipsoïdes. Les **ellipsoïdes globaux** modélisent la totalité du géoïde, leur précision est moyenne à peu près partout ex: **IAG GRS 1980 (WGS84)**. Les **ellipsoïdes locaux** modélisent précisément une zone géographique particulière et ne peuvent pas être utilisés en dehors de cette zone ex: **Clarke 1880 IGN (NTF)**.

Système géodésique	Ellipsoïde associé
NTF	Clarke 1880 IGN
ED50	Hayford 1909
WGS84	IAG GRS 1980

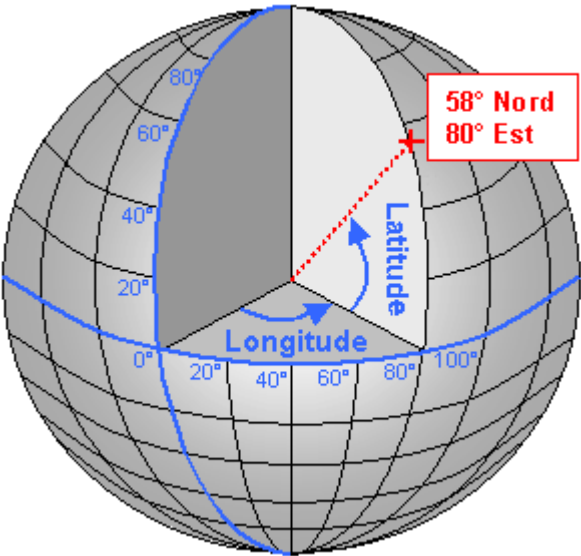
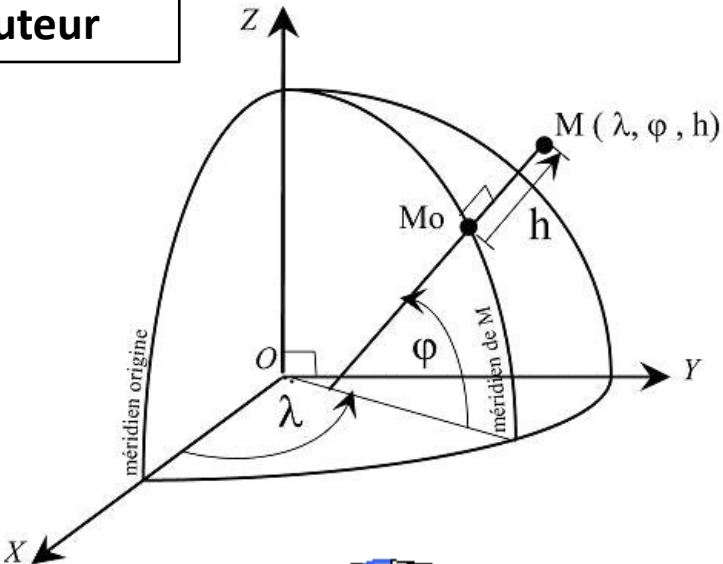
Les coordonnées géographiques : longitude, latitude, hauteur

- λ (lambda) : longitude
- ϕ (phi) : latitude
- h : hauteur au dessus de l'ellipsoïde

- Avantages : très pratique pour se repérer
- Inconvénients : impossible de faire des mesures

Système de coordonnées géographiques	Longitude	Latitude
NTF (méridien de Paris)	5°24'0" Est	48°36'00,0" Nord
NTF (méridien de Greenwich)	7°44'14,0" Est	48°36'00,0" Nord
ED50 (Greenwich)	7°44'16,4" Est	48°36'03,0" Nord
WGS84 (Greenwich)	7°44'12,2" Est	48°35'59,9" Nord

Source :IGN



Sources :
http://ressources.esrifrance.fr/genl_syst_coord.aspx
<http://geodesie.ign.fr/>

Coordonnées géographiques :

Notation des unités angulaires pour les latitudes et longitudes

degrés, minutes, secondes ($^{\circ} \text{ ' } ''$) exemple : $48^{\circ} 36' 36''$

degrés, minutes décimales ($^{\circ} \text{ '}$) exemple : $48^{\circ} 36.6'$

degrés décimaux ($^{\circ}$) exemple : 48.61°

W - -48.61

E + +30.92

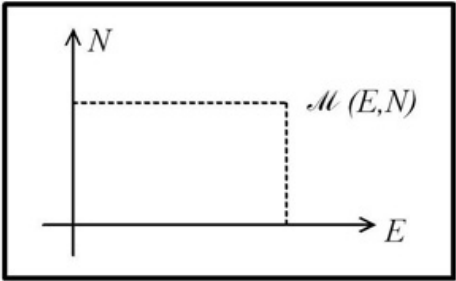
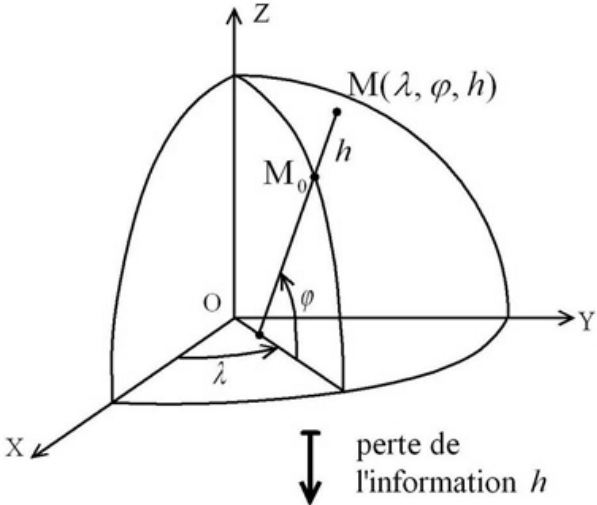
N + +20.32

S - -60.96

Les coordonnées planes : E, N (coordonnées projetés)

La conversion de positions géographiques d'une surface courbe sur une surface plane nécessite l'utilisation d'une projection cartographique. Une fois cette projection définie, la localisation d'un élément peut alors s'exprimer sous la forme de coordonnées planes à l'aide de deux valeurs linéaires : X, Y exprimées dans différentes unités : Mètres, Kilomètres, Miles nautiques, ...

Système de coordonnées projetées	X	Y
NTF - Lambert I Zone	997 960 m	114 185 m
NTF - Lambert II Etendu	998 137 m	2 413 822 m
ED50 - UTM fuseau 32 Nord	406 946 m	5 383 958 m
WGS84 - UTM fuseau 32 Nord	406 864 m	5 383 757 m
RGF93 - Lambert 93	1 049 052 m	6 843 777 m



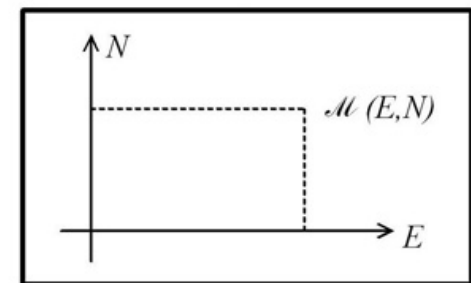
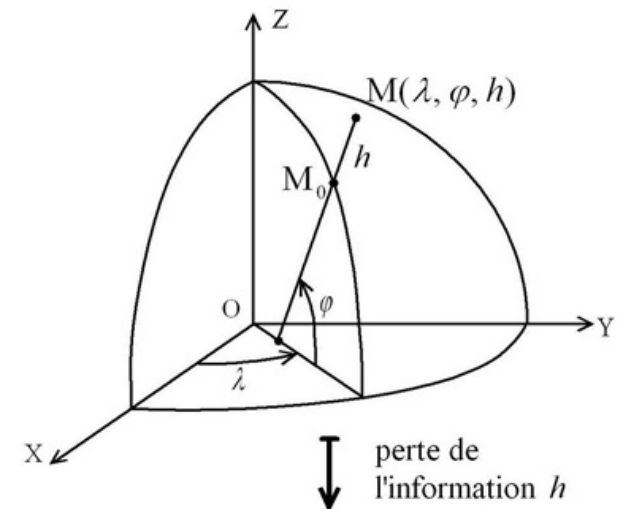
$$E=E(\lambda, \varphi)$$
$$N=N(\lambda, \varphi)$$

Les coordonnées planes : E, N (coordonnées projetés)

La conversion de positions géographiques d'une surface courbe sur une surface plane nécessite l'utilisation d'une projection cartographique. Une fois cette projection définie, la localisation d'un élément peut alors s'exprimer sous la forme de coordonnées planes à l'aide de deux valeurs linéaires : X, Y exprimées dans différentes unités : Mètres, Kilomètres, Miles nautiques, ...

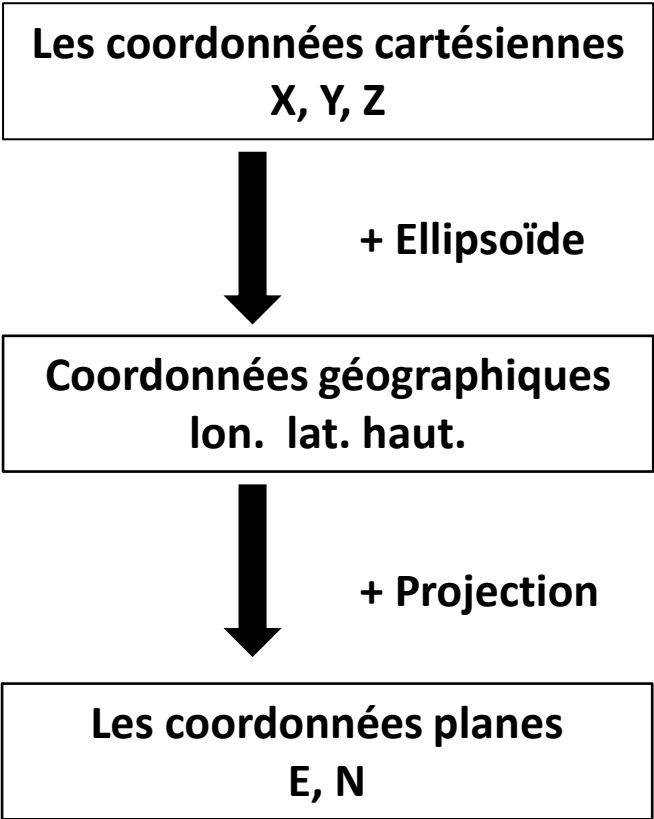
Avantages : représentation en plan, mesures possibles

Inconvénients : perte de l'information d'altitude



$$\begin{aligned} E &= E(\lambda, \varphi) \\ N &= N(\lambda, \varphi) \end{aligned}$$

Type de coordonnées	X,Y,Z	λ,ϕ,h	E,N
Unité angulaire		*	
Unité linéaire	*	*	*
Projection			*
Ellipsoïde		*	*

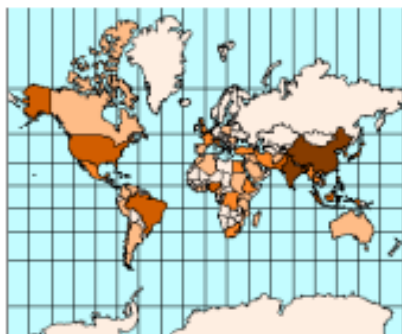


Processus de "mise à plat " des éléments situés sur l'ellipsoïde.

Il est important de définir le type et les paramètres d'une projection dans le but de:

- ✓ soit de conserver les surfaces (**projections équivalentes**).
- ✓ soit de conserver localement les angles (**projections conformes**).
- ✓ soit d'opter pour une représentation ne conservant ni les angles ni les surfaces (**projections dites "aphylactiques"**).

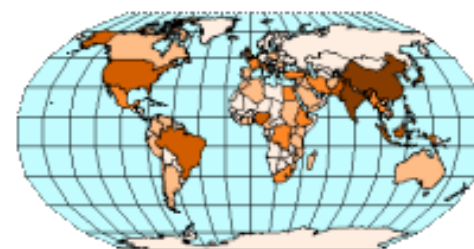
La plupart des projections utilisées en océanographie sont conformes. La cartographie à petite échelle utilise souvent des projections équivalentes.



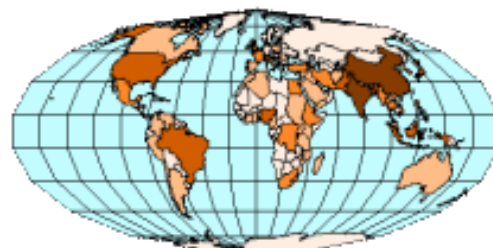
Projection Cylindrique
Exemple : UTM



Projection Conique Conforme
Exemple : Lambert II



Projection Pseudo-cylindrique
Exemple : Robinson



Projection Elliptique
Exemple : Mollweide



Projection Azimutale

Mercator : projection **conforme**, qui minimise l'altération de la forme. Les angles sont conservés (utilisation dans le domaine de la navigation maritime ex. UTM).

Mollweide : projection **équivalente**, ce qui veut dire qu'elle respecte les surfaces.

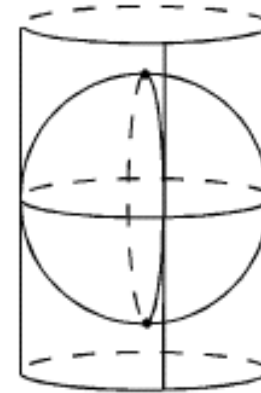
Conique Conforme : minimise l'altération des formes et des distances sur des régions limitées donc inutilisable pour couvrir l'ensemble de la surface terrestre. (ex. Lambert I, II, III, IV et 93)

Robinson : compromis pour une représentation globale de la surface terrestre mais ne préserve ni les distances ni les angles.

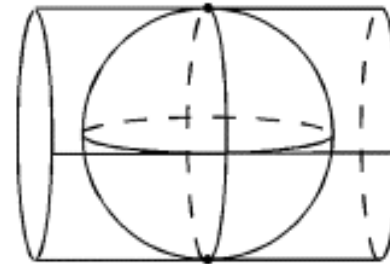
Projection azimutale est une projection **équidistante** utilisée pour représenter les pôles. pôle Nord.

Projection cylindrique:

La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant au modèle de la Terre.
(Exemple : Mercator, UTM, ...).



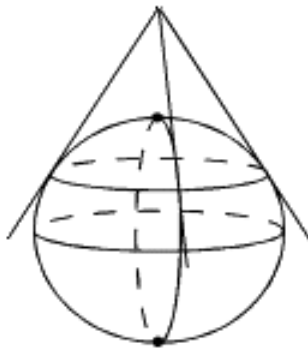
*Représentation
cylindrique directe
(Mercator)*



*Représentation
cylindrique transverse
(UTM)*

Projection conique:

La surface de projection est un cône tangent ou sécant.
(Exemple : Lambert, ...).



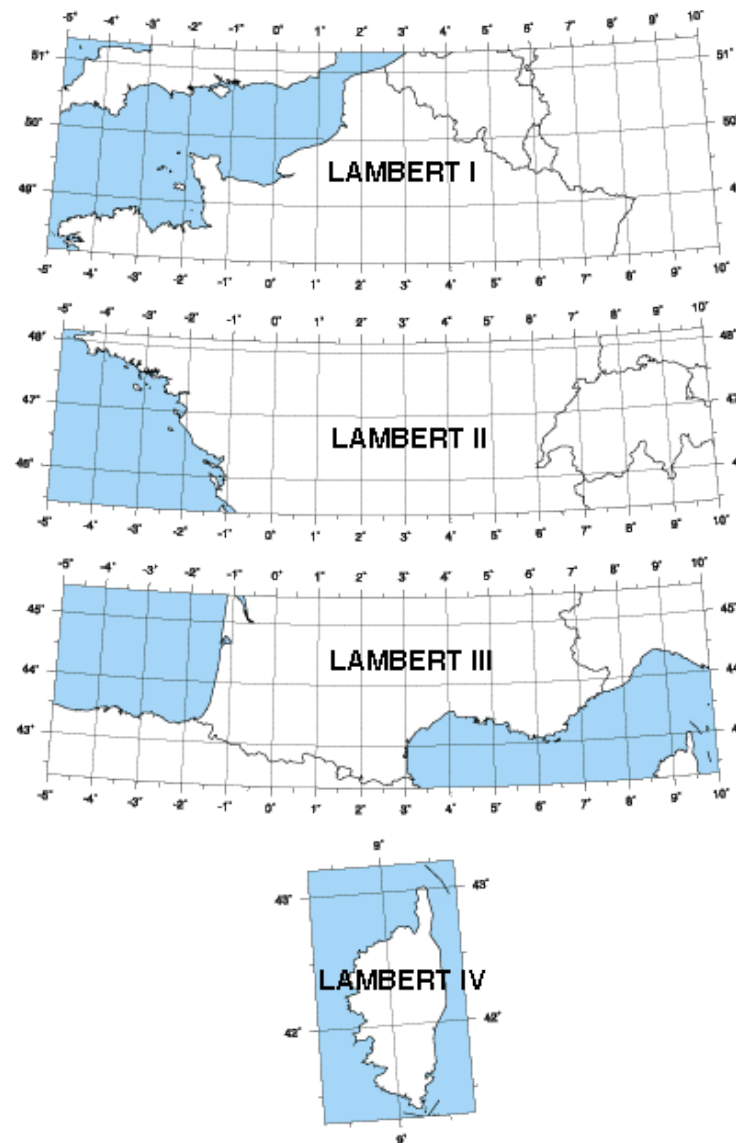
*Représentation
conique directe
tangente (Lambert)*

Le système LAMBERT

Système géodésique NTF:

- ✓Projection conique conforme Lambert
- ✓Ellipsoïde Clarke 1880 IGN

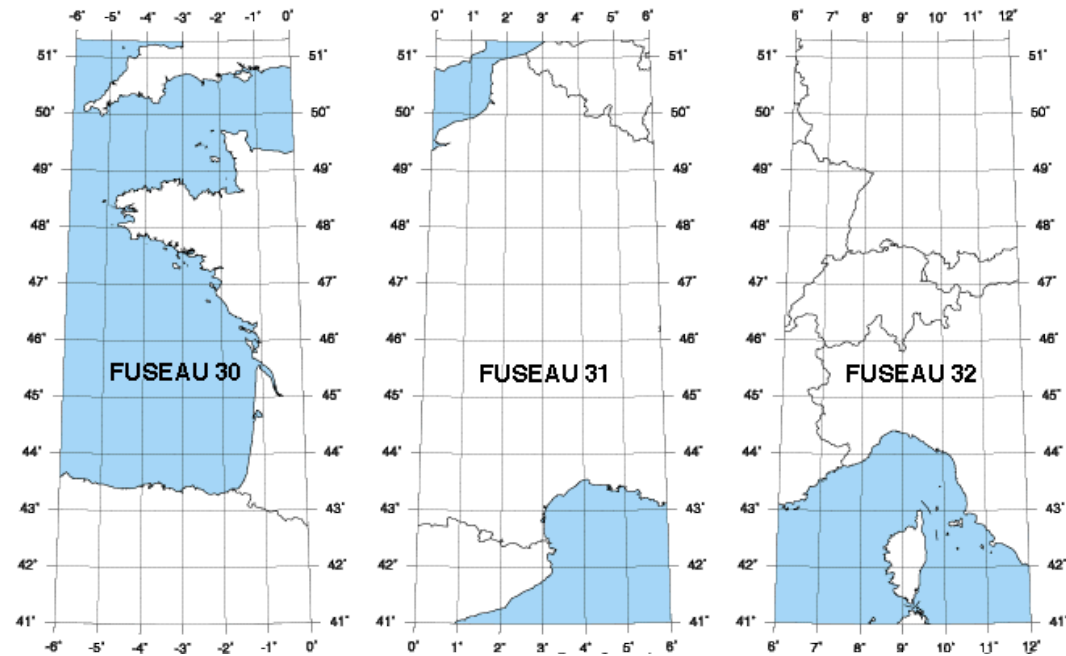
La projection réglementaire en France est une conique conforme de Lambert. Dans le but de minimiser les déformations, la France a été découpée en 4 zones Lambert I, II, III, IV (Corse). Une projection appelée "Lambert II étendu" couvre la France entière pour des besoins d'amplitude nationale.



Le système UTM

Système géodésique ED50:

- ✓Projection UTM
- ✓Ellipsoïde International (Hayford 1909)



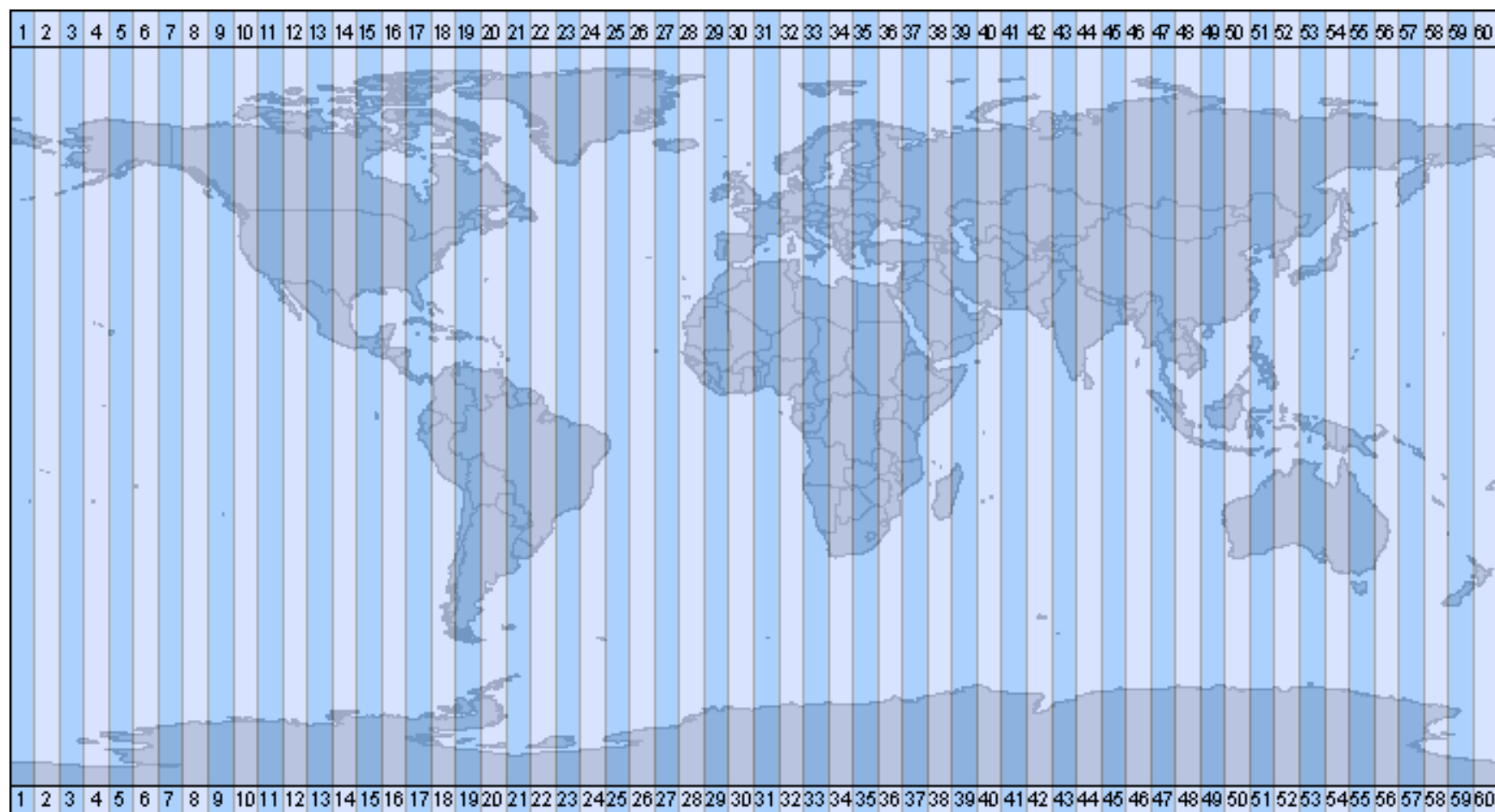
La projection cylindrique UTM (*Universal Transverse Mercator*) couvre le monde entier et est constituée de 60 fuseaux de 6 degrés d'amplitude en longitude.

La France est sur 3 fuseaux :

UTM Nord fuseau 30 : entre 6 degrés ouest et 0 degré Greenwich

UTM Nord fuseau 31 : entre 0 degré et 6 degrés est Greenwich

UTM Nord fuseau 32 : entre 6 degrés est et 12 degrés est Greenwich



Les fuseaux UTM

Sources :

http://ressources.esrifrance.fr/genl_syst_coord.aspx

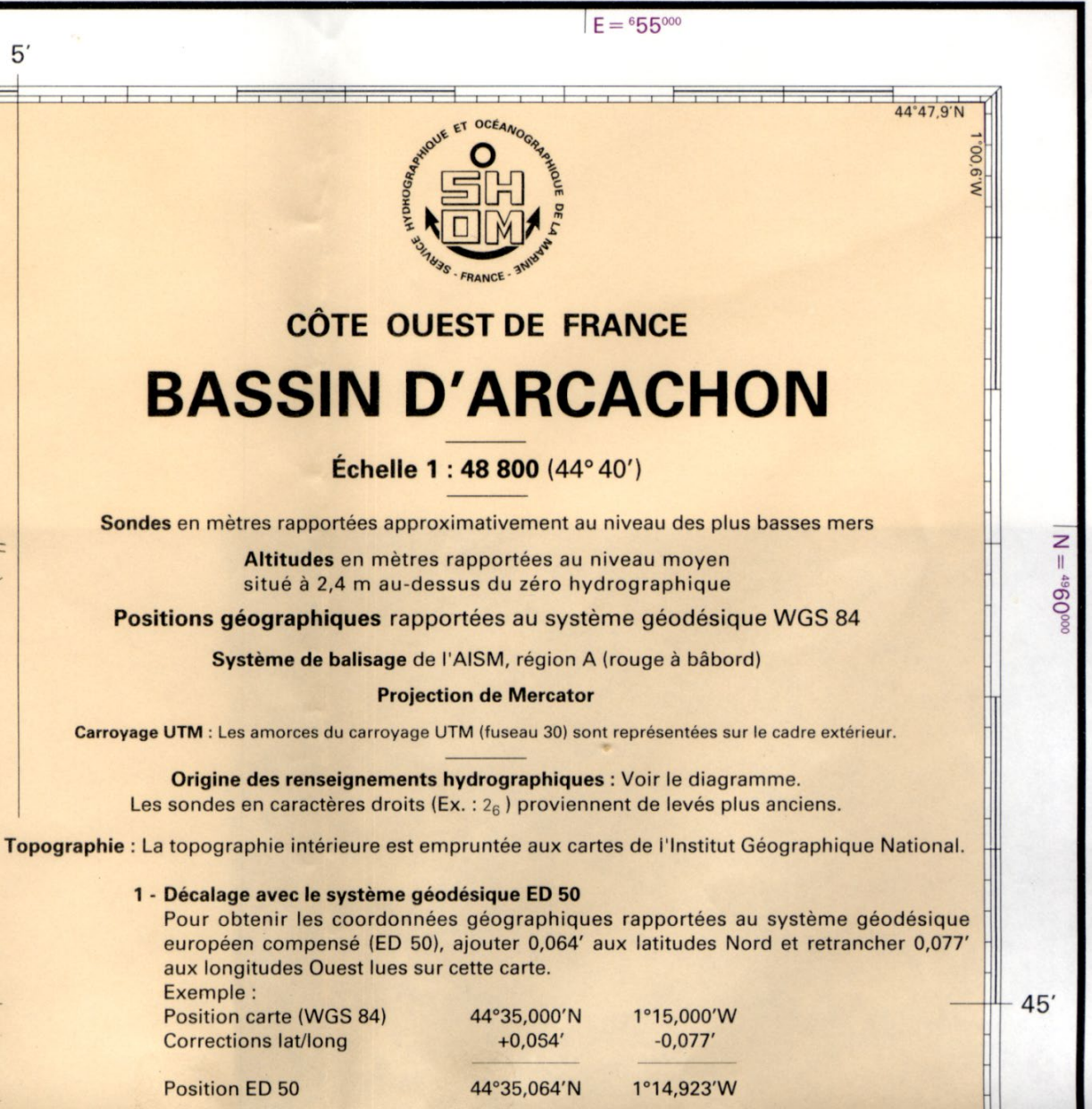
<http://geodesie.ign.fr/>

Le système WGS84

- ✓Projection Mercator (si projeté)
- ✓Ellipsoïde IAG GRS 1980

La projection **Mercator** associée au système géodésique **WGS84** est couramment utilisée en océanographie (SHOM, IFREMER,...). De plus le système GPS donne les coordonnées dans ce système.

Contrairement au systèmes Lambert et UTM qui présentent un certain nombre de zones prédéfinies vous devez dans le système WGS84 précisez vous même les caractéristiques de la projection avec entre autre le **méridien central** (0 si pas de précision) et la **latitude d'échelle conservée**. La projection Mercator ne conservant pas les distances, l'échelle de la carte n'est valable que le long de la latitude d'échelle conservée.



Réalisé et édité par l'Institut Géographique National, d'après des levés photogrammétriques complétés sur le terrain en 1967 . Révision de 1994

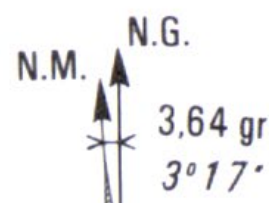
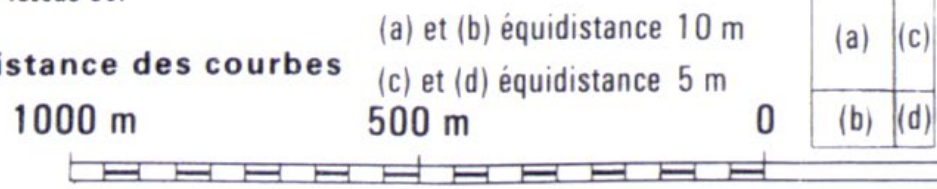
Ellipsoïde de Clarke 1880. Projection conique conforme de Lambert.

Origine des altitudes : niveau moyen de la mer à Marseille.

Les deux échelles de latitudes et longitudes du cadre et les deux chiffraisons kilométriques correspondent respectivement :

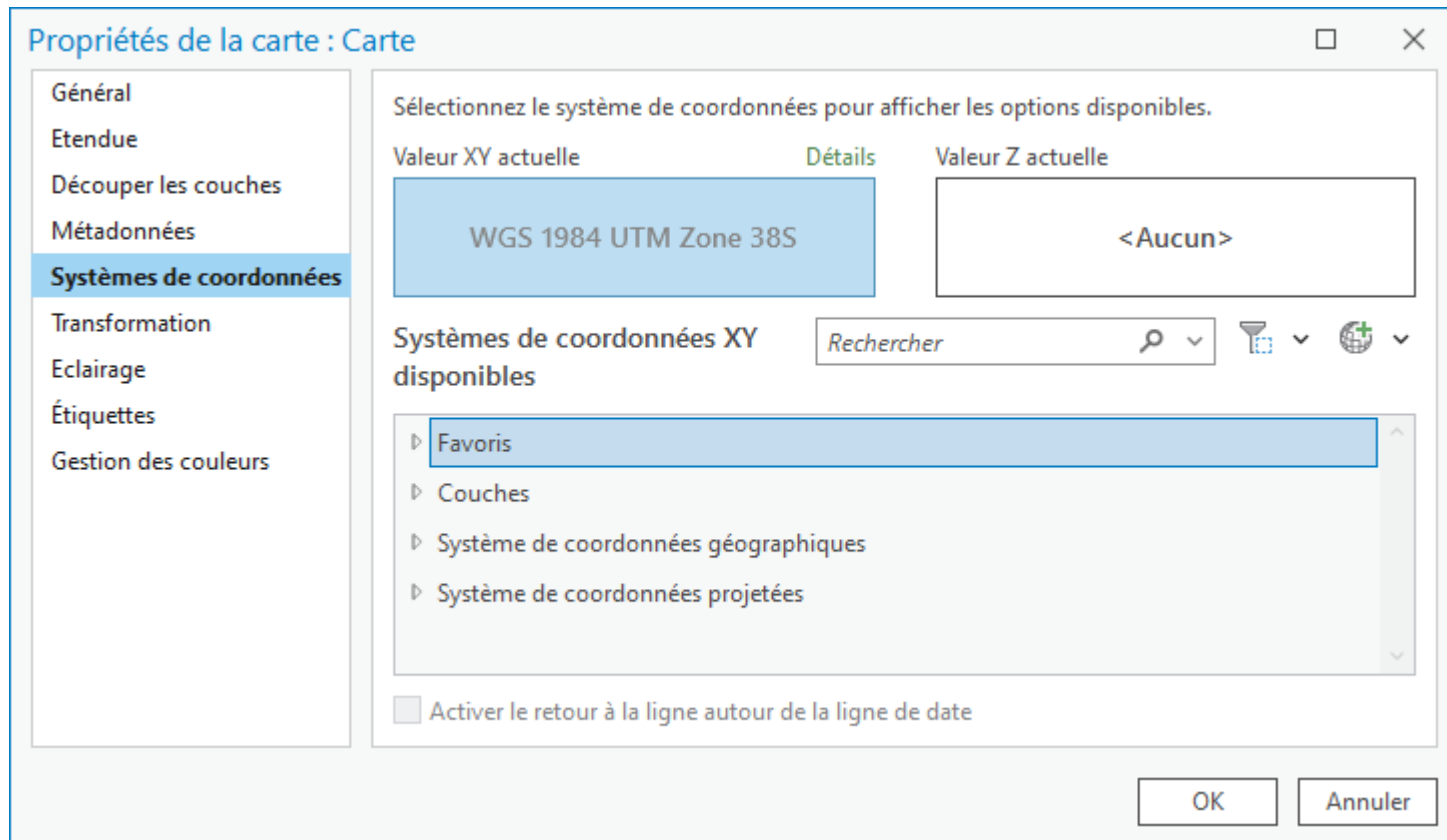
- vers l'intérieur, aux latitudes et longitudes en grades (longitudes référées au méridien de Paris) rapportées au système géodésique français NTF ; les amorces sont celles des quadrillages kilométriques Lambert zone III (chiffrées en noir) et Lambert zone II étendu (chiffrées en bleu) ;
- vers l'extérieur, aux latitudes et longitudes en degrés (longitudes référées au méridien international) rapportées au système géodésique mondial WGS84 ou RGF93 ; les chiffraisons bleues en italique en regard du quadrillage kilométrique sont des coordonnées Mercator Transverse Universel fuseau 30.

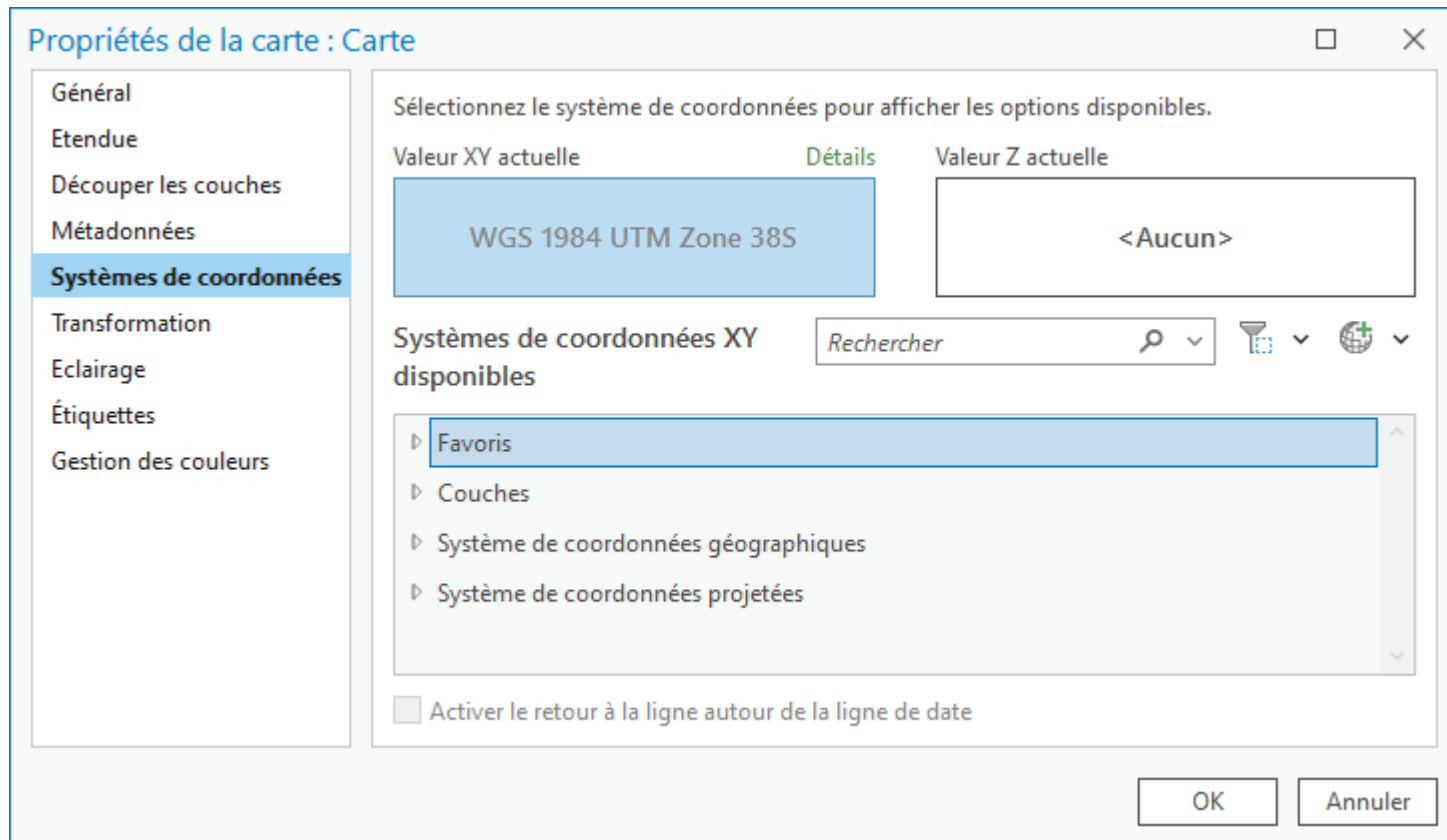
Équidistance des courbes

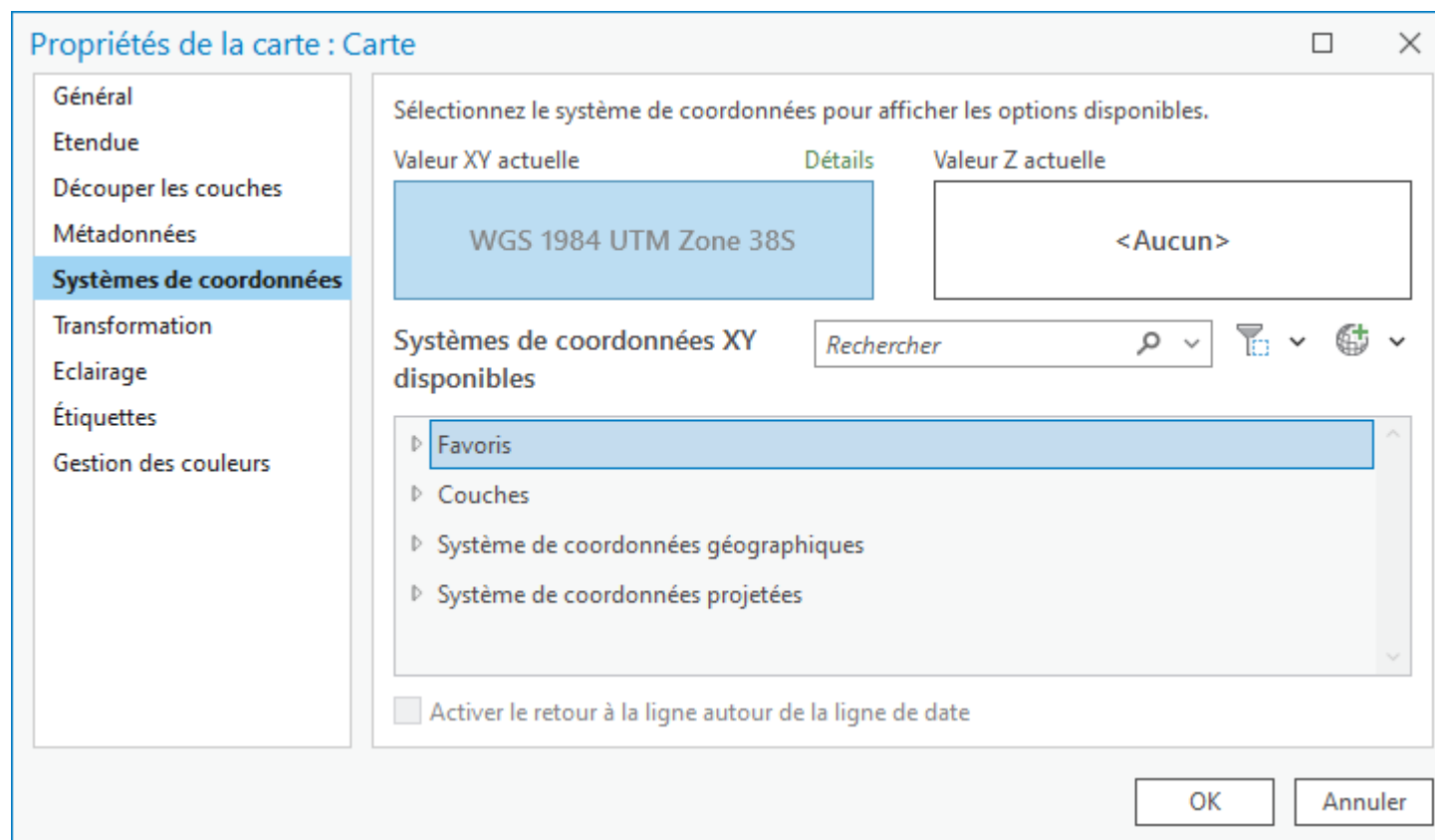


La déclinaison magnétique correspond au centre de la feuille, au 1^{er} janvier 1995. Elle diminue chaque année de 0,12 gr (0° 6')

1 km







Système de coordonnées géographiques : unités le degré (WGS84)

Système de coordonnées projetées : unités le mètre (UTM, Lambert, RGF93, WGS84-Mercator, ...)

Origine du mètre :

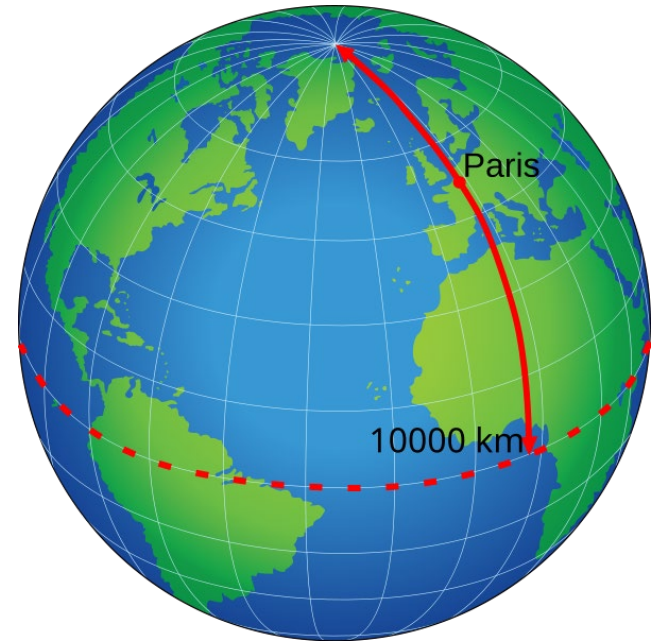
Avec la Révolution française de 1789 s'affirme le désir d'unifier les mesures et de s'affranchir de l'héritage de la féodalité.

En 1791, l'unité de mesure universelle de longueur est prise égale à un **dix-millionième de la distance entre l'équateur et le pôle Nord**, mesurée le long d'un méridien. Ce lien historique explique notamment l'importance de la géodésie dans la création du système métrique.

En 1799, après la mesure d'un arc de méridien entreprise par Jean-Baptiste Delambre et Pierre Méchain entre Dunkerque et Barcelone.

Définition actuelle du mètre :

Un mètre est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant $\frac{1}{299\,792\,458}$ de seconde.



MÈTRE



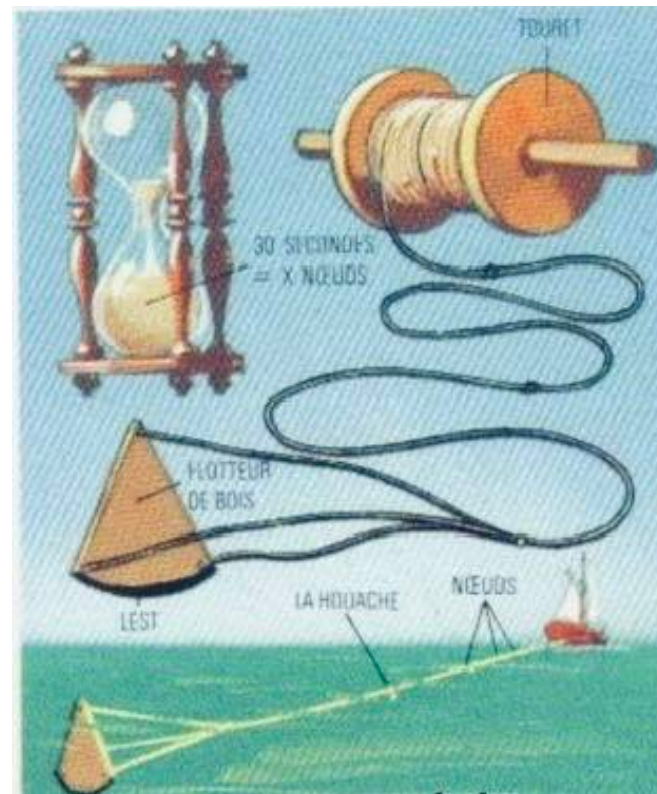
Ce mètre étalon de marbre fut commandé par la Convention nationale pour encourager l'usage du nouveau système métrique. Sur les seize mètres réalisés, entre 1796 et 1799, par le marbrier Corbel sur les dessins de l'architecte Chalgrin et placés dans les lieux les plus fréquentés de Paris, deux seuls subsistent aujourd'hui dans la capitale.

Origine du Nœud :

Le **nœud** (symbole kn, kt ou nd) est une unité de mesure de la vitesse utilisée en navigation maritime et aérienne. Un nœud est égal à un **mille marin par heure**, soit **1,852 km/h** ou 0,514 m/s.

Un nœud correspond à un **mille marin** (valeur moyenne d'une minute d'arc de méridien) par heure, donc approximativement une minute de latitude en une heure.

Dans la marine française, les nœuds étaient espacés de 47 pieds et demi soit 15 mètres et 43 centimètres et le sablier étalonné sur une période de 30 secondes (47 pieds et 3 pouces, soit 14,4 m, et 28 secondes dans la marine anglaise).



Origine du Mille :

Le mot *mille* vient du latin ***mille passus***, qui signifie « **mille pas** ». Mais le *passus* romain était un **double pas** : deux enjambées, soit environ **1,48 m**. Le mille romain faisait donc approximativement **1 480 m**.

Le mille marin a été conçu pour correspondre approximativement à **une minute d'arc de latitude** sur la Terre.

La différence d'origine avec le mille marin est donc fondamentale : **le mille terrestre vient historiquement de la marche et des unités romaines**, tandis que **le mille marin vient de la géométrie de la Terre et de la navigation**.

Origine du Mille :

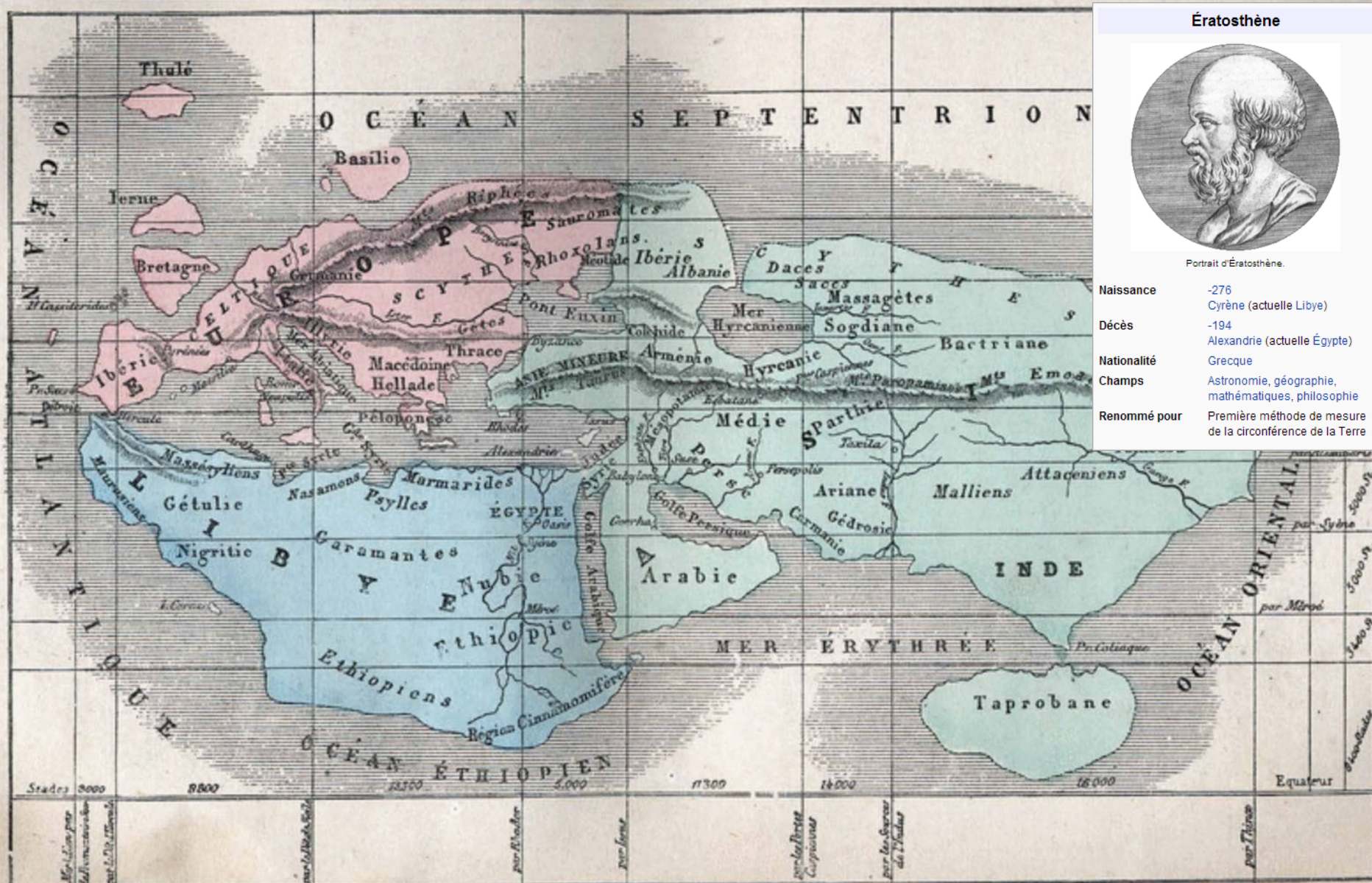
Type de mille	Valeur en mètres	Usage
Mille terrestre international (statute mile)	1 609,344 m exactement	Routes, distances terrestres aux États-Unis et au Royaume-Uni
Mille marin international (nautical mile)	1 852 m exactement	Navigation maritime et aérienne
Ancien mille marin britannique	1 853,184 m	Marine britannique, avant l'adoption du mille marin international
Ancien mille marin américain	≈ 1 853,249 m	États-Unis, avant 1954

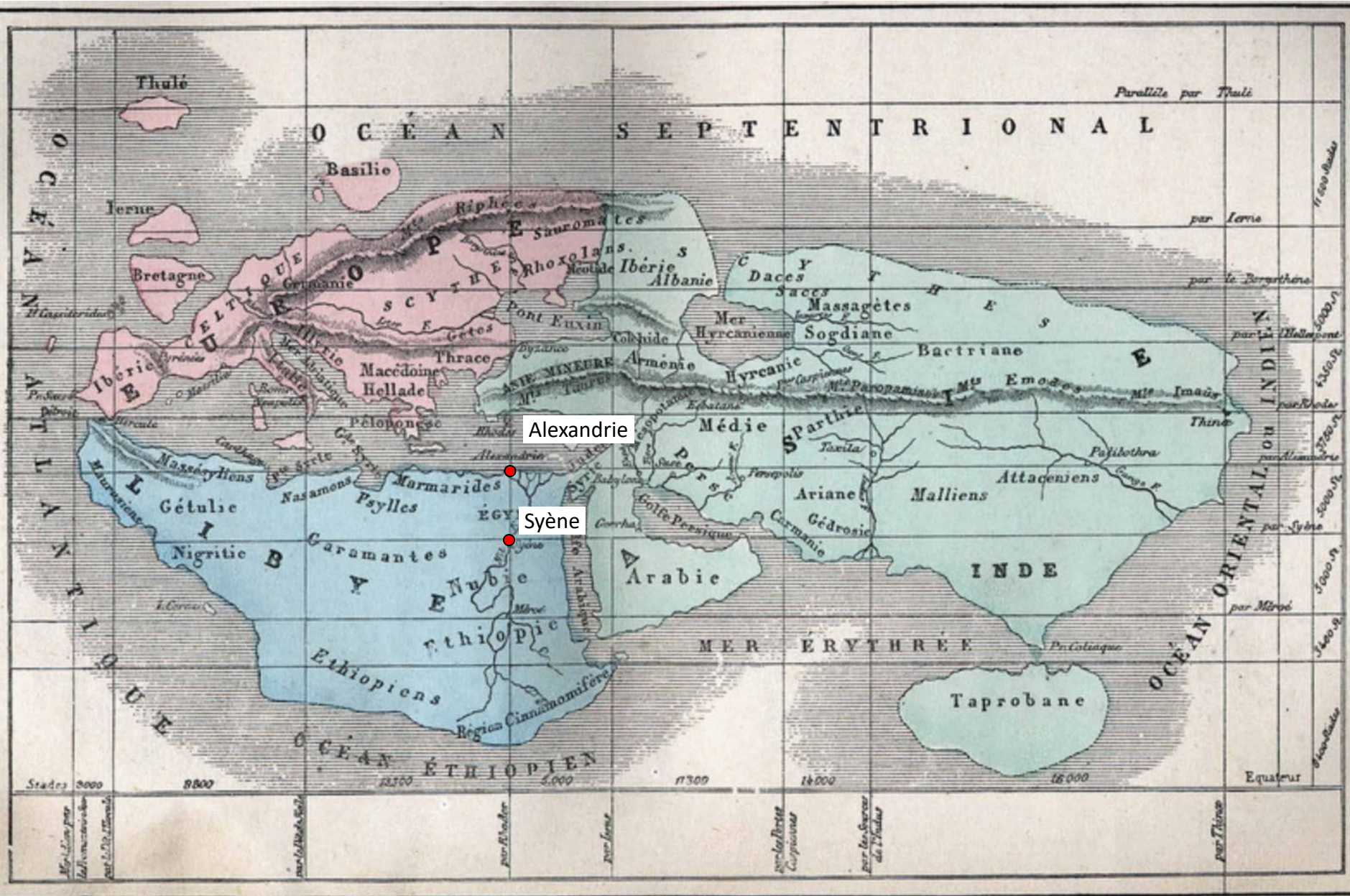
Eratosthène

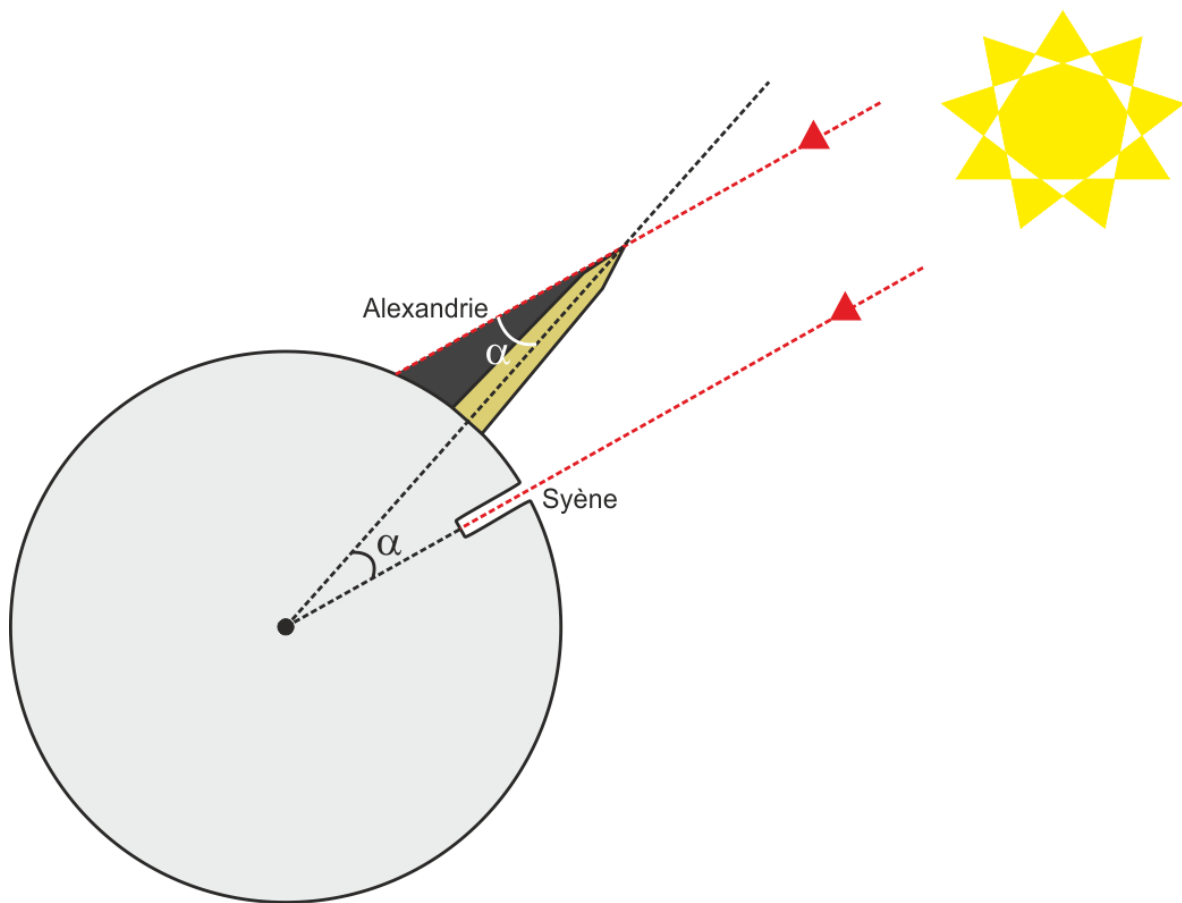


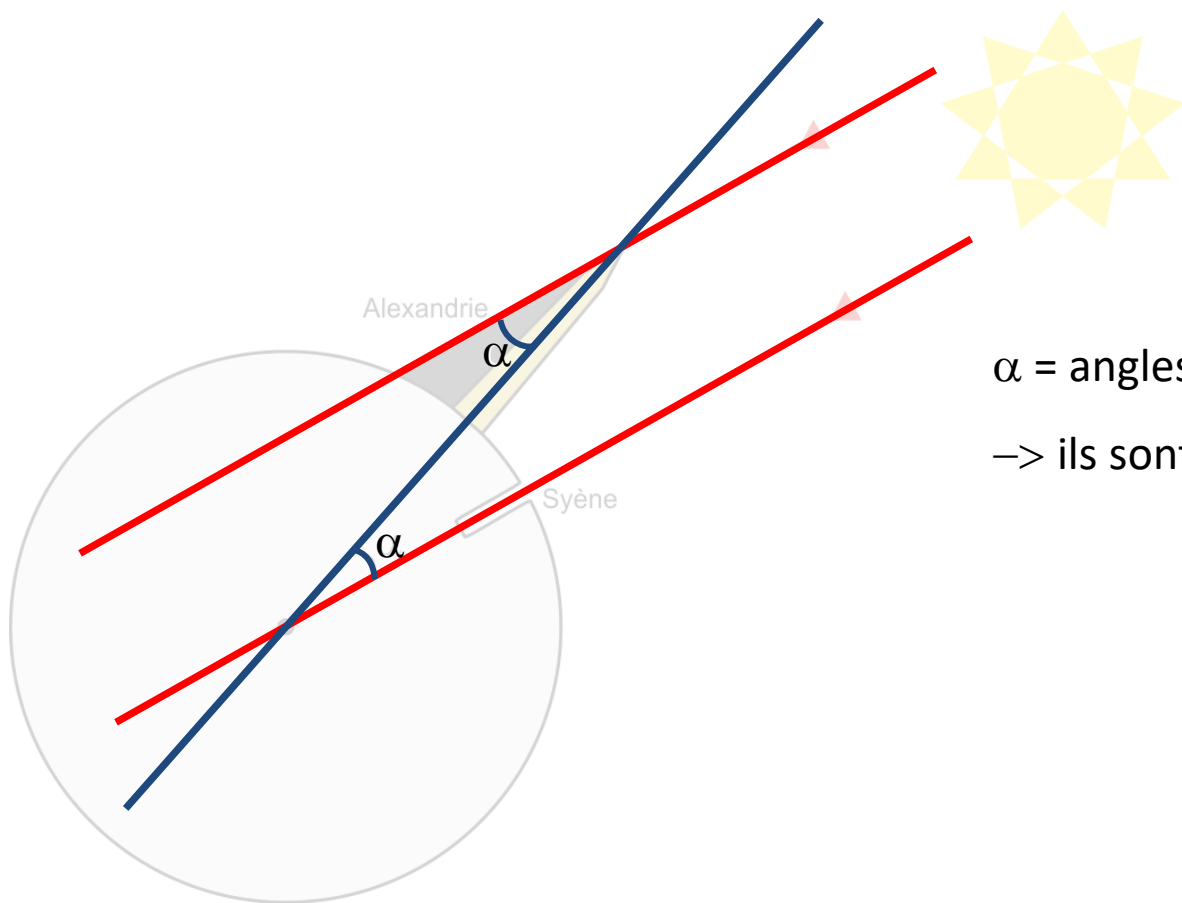
Portrait d'Eratosthène.

Naissance	-276 Cyrène (actuelle Libye)
Décès	-194 Alexandrie (actuelle Égypte)
Nationalité	Grecque
Champs	Astronomie, géographie, mathématiques, philosophie
Renommé pour	Première méthode de mesure de la circonférence de la Terre



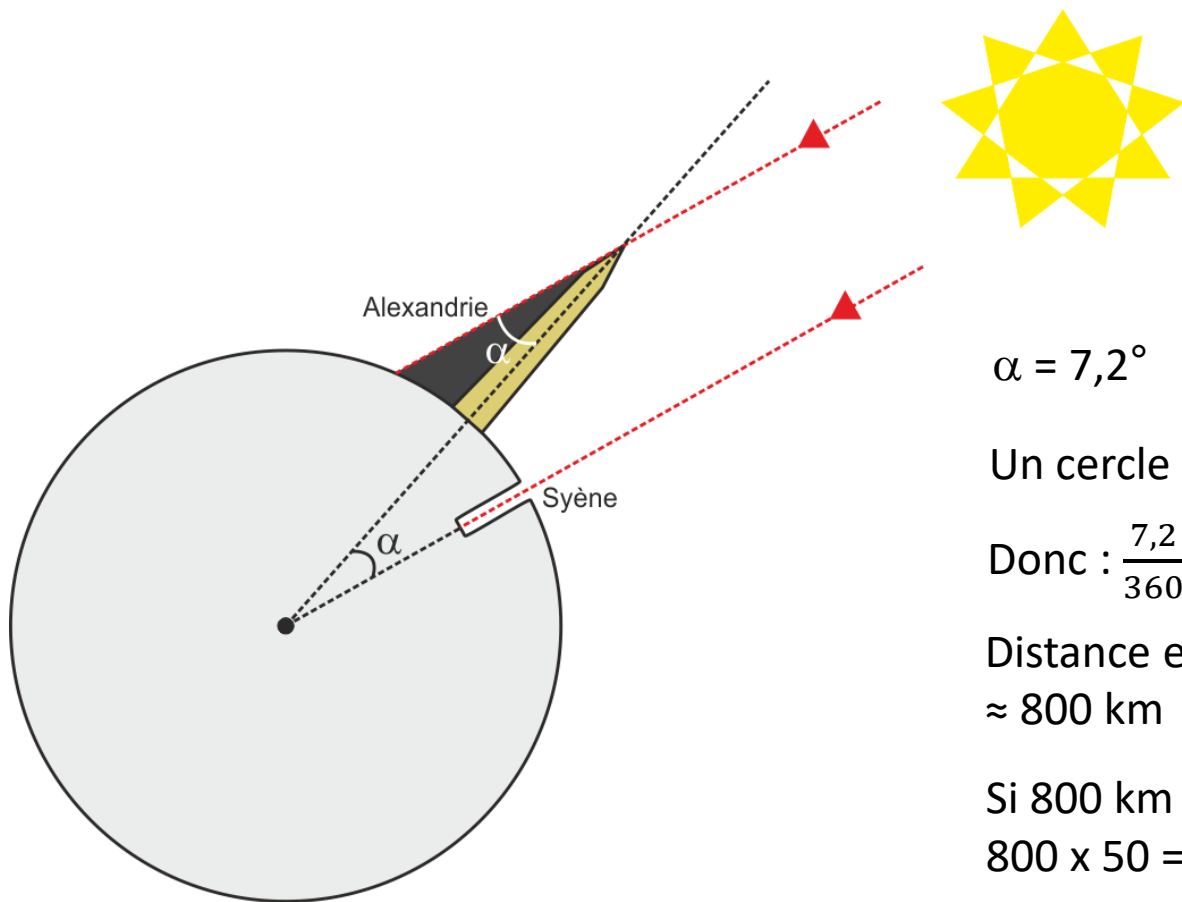






α = angles alternes - internes

→ ils sont identiques



$$\alpha = 7,2^\circ$$

Un cercle complet fait 360°

$$\text{Donc : } \frac{7,2}{360} = \frac{1}{50}$$

Distance entre Alexandrie et Syène :
 $\approx 800 \text{ km}$

Si $800 \text{ km} = 1/50$ du tour de la Terre :
 $800 \times 50 = 40\,000 \text{ km}$

Valeur réelle : $40\,075 \text{ km}$



La Lune se déplace dans le ciel de son diamètre toutes les heures

Aristarque de Samos

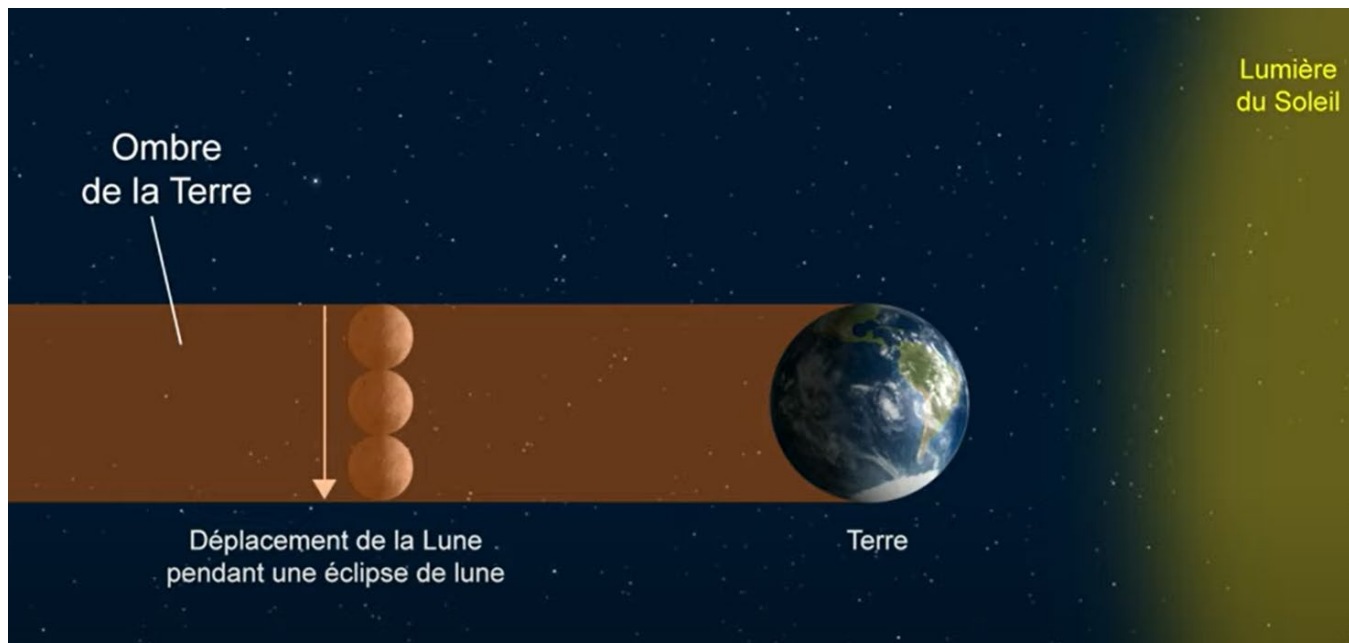


Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)





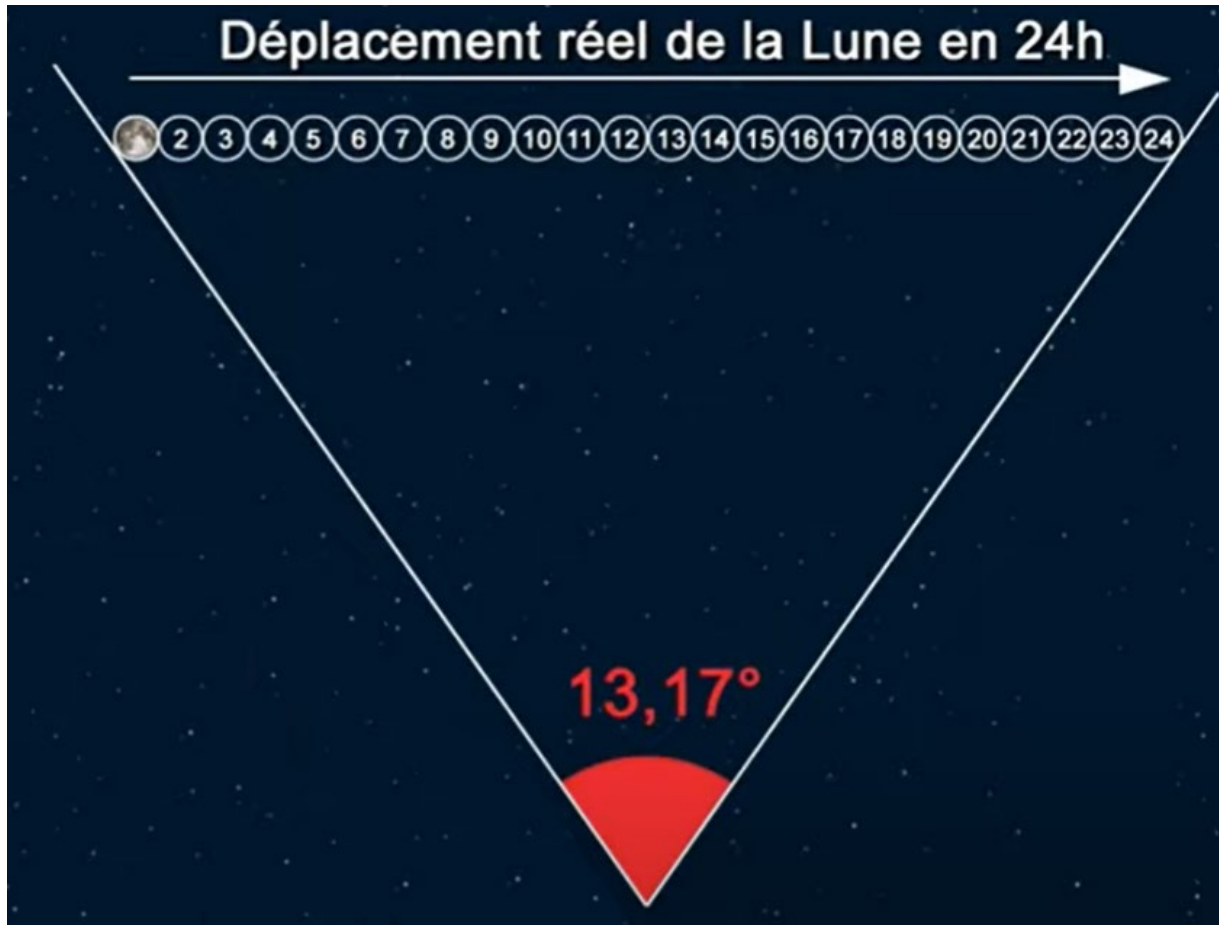
Aristarque de Samos	
	
Aristarque de Samos Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii ^e siècle)	
Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position
modifier	

Source : Wikipedia

La plus longue éclipse de Lune est de 3 heures
 La Lune est trois fois plus petite que la Terre.

Taille de la Lune
Taille de la Terre = 12 756 km
Taille de la Lune : $12\,756 / 3 = 4\,252 \text{ km}$
Valeur actuelle = 3 476 km

Déplacement réel de la Lune en 24h



Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

modifier



Diamètre apparent de la pleine lune :



$$13^\circ/24 = 0,54^\circ$$

Aristarque de Samos

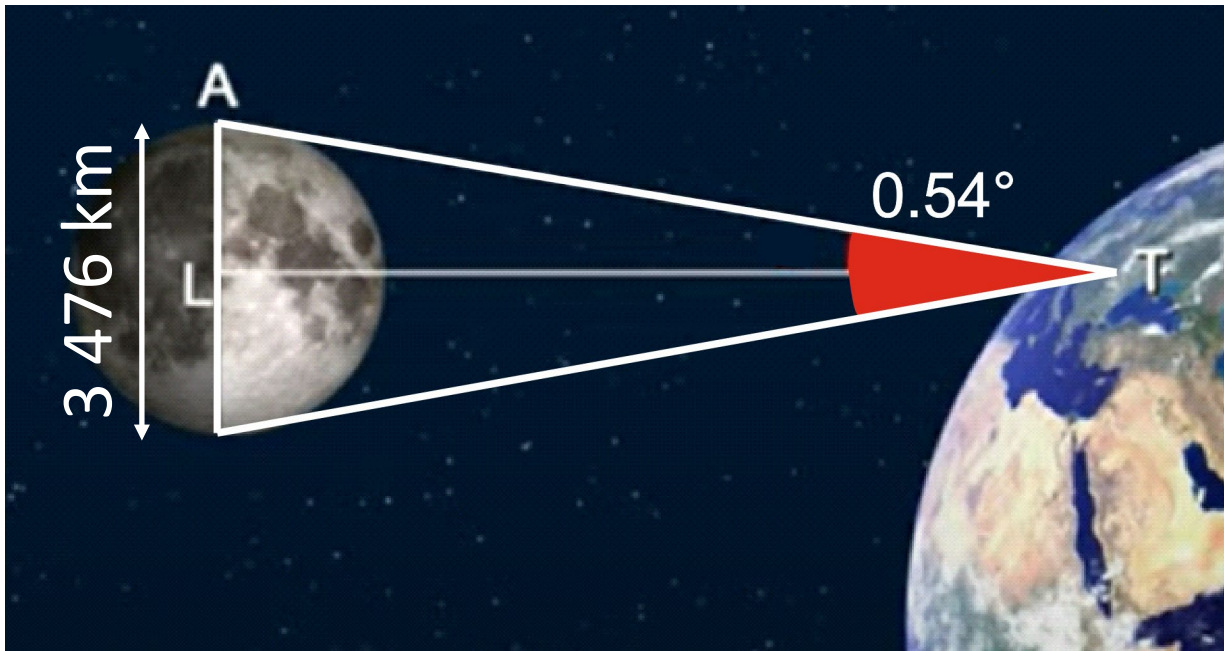


Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)





Aristarque de Samos



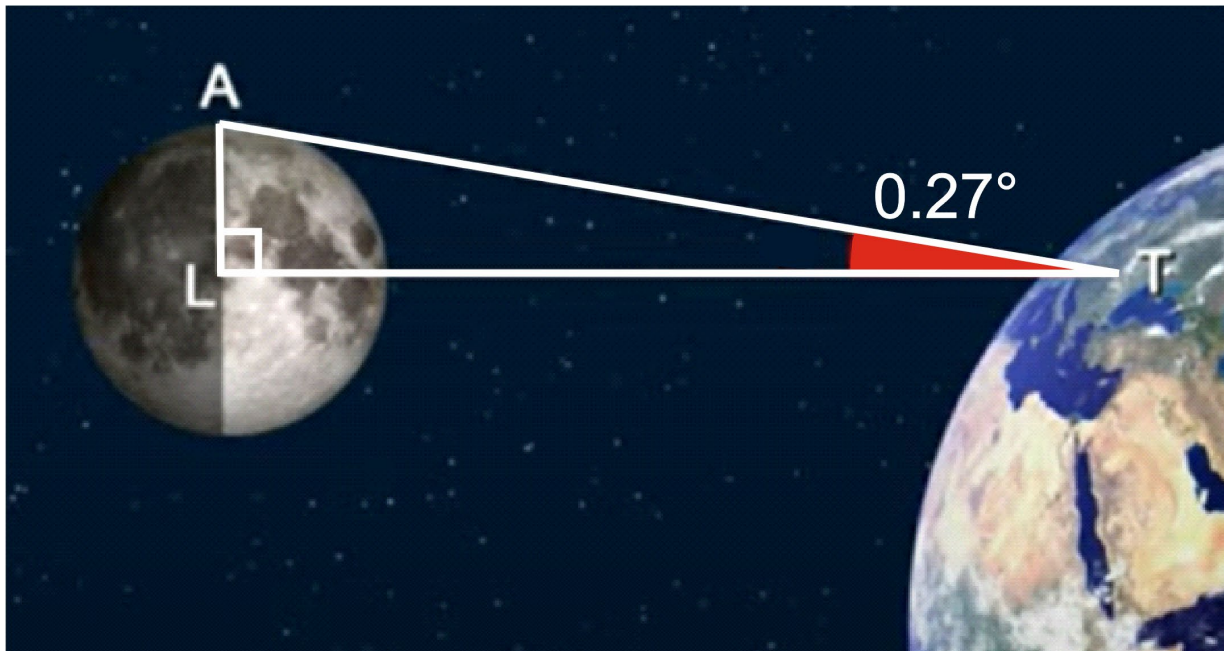
Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

modifier



Source : Wikipedia



$AL = \text{rayon de la Lune} = 3476 / 2 = 1738 \text{ km}$

$TL = \text{distance Terre - Lune} = ???$

$$\tan 0.27^\circ = \frac{1738}{TL} \quad TL = \frac{1738}{\tan 0.27^\circ} = 370\,000 \text{ km}$$

Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

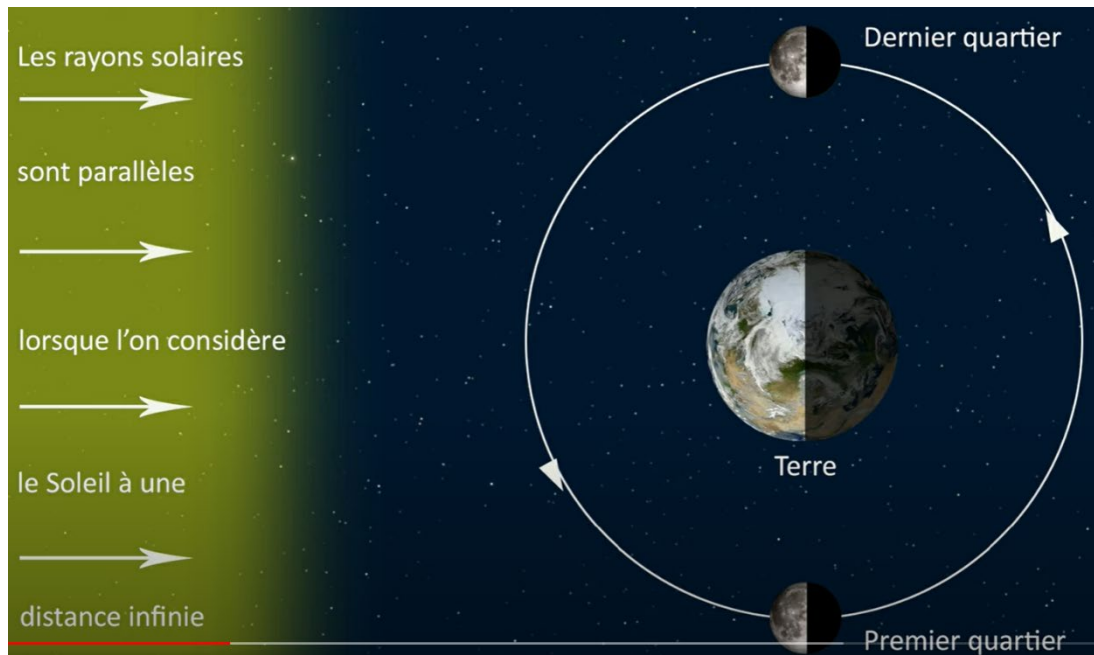
[modifier](#)



Source : Wikipedia







Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

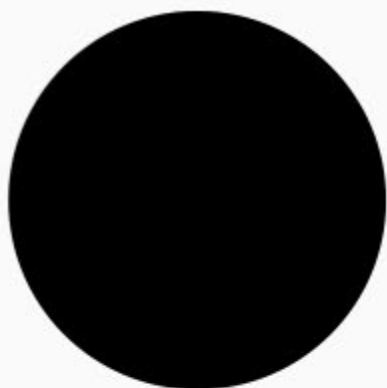
[modifier](#)



Source : Wikipedia



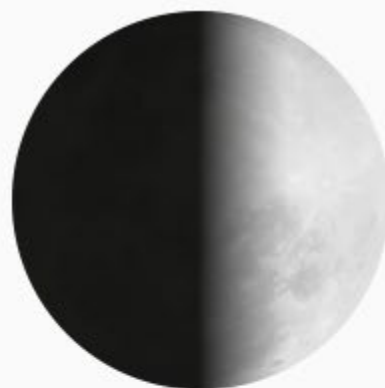
Crédit Photo : Adobe Stock



Nouvelle Lune



Premier croissant



Premier quartier



Gibbeuse croissante



Pleine Lune



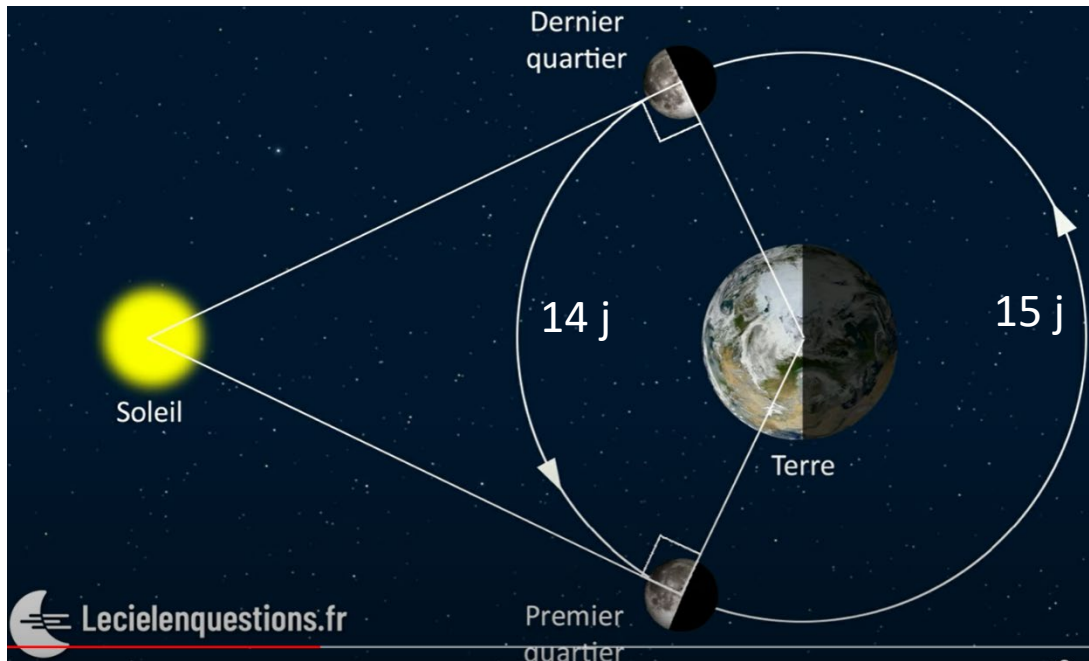
Gibbeuse décroissante



Dernier quartier



Dernier croissant



Aristarque de Samos



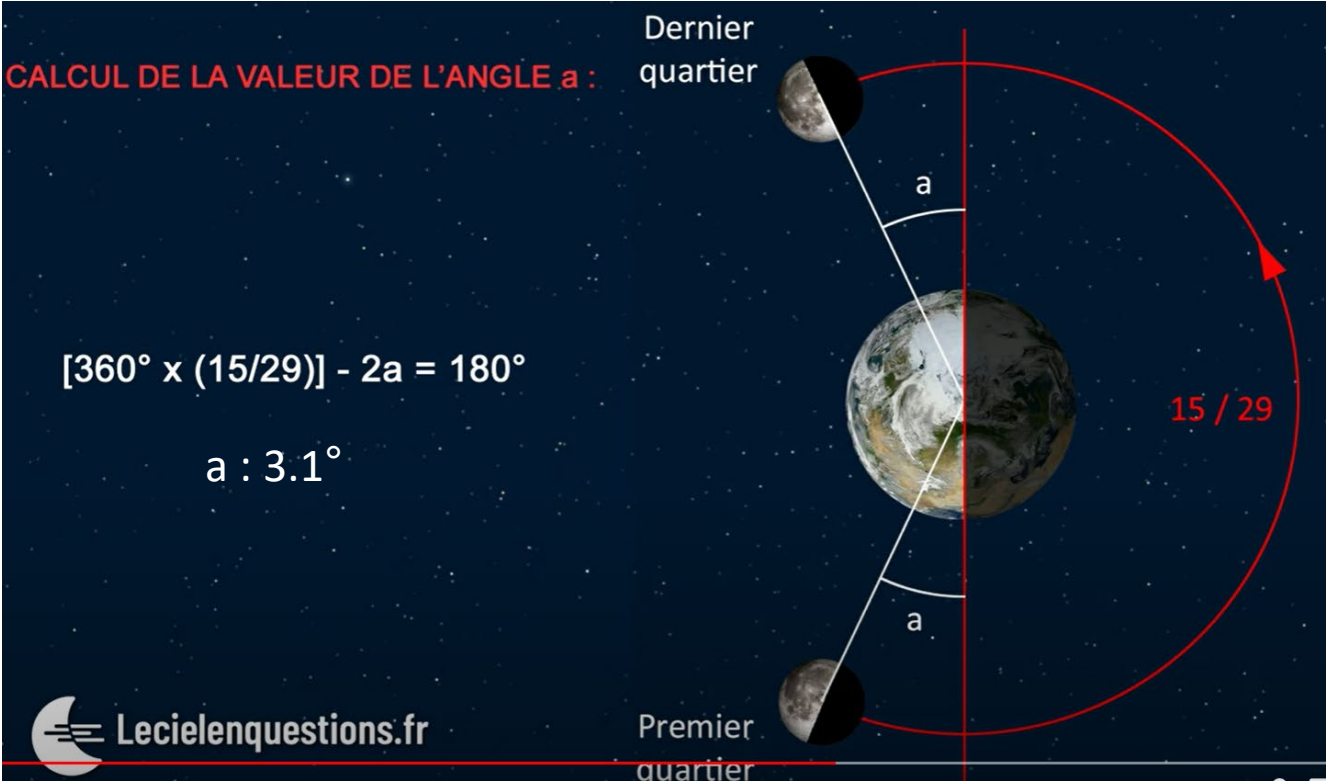
Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)



Source : Wikipedia



Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

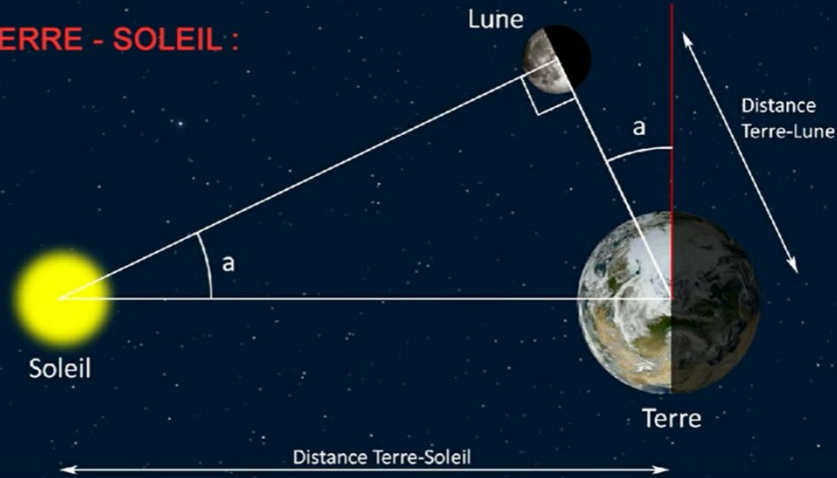
Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

modifier



Source : Wikipedia

CALCUL DE LA DISTANCE TERRE - SOLEIL :



$$\sin a = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}} = \frac{TL}{TS} \quad TS = \frac{TL}{\sin a} = \frac{384\,400}{\sin 3,1^\circ} = 7\,108\,000 \text{ km}$$

Valeur actuelle : 149 600 000 km

Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)



Source : Wikipedia

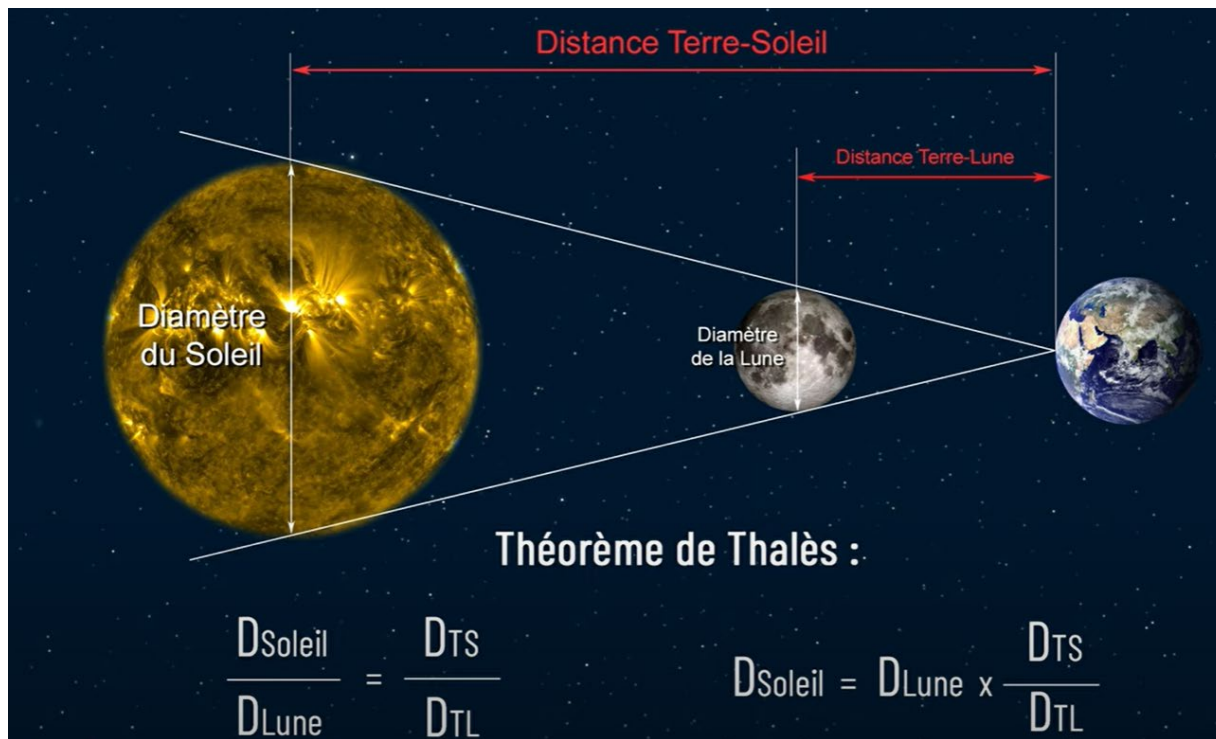




Distance Terre – Lune = 370 000 km

Distance Terre - Soleil = 149 600 000 km (7 108 000 km pour Aristarque)

Taille de la Lune : 3 476 km



Diamètre du Soleil = 1 392 000 km

Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)



Source : Wikipedia

Le système solaire



Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)



Ces grandes découvertes reposent sur :

- Des observations intelligentes
- Se poser les bonnes questions
- Avoir une idée simple
- Imaginer des expériences
- Utiliser des outils mathématiques basiques

Ératosthène



Portrait d'Eratosthène.

Naissance	-276 Cyrène (actuelle Libye)
Décès	-194 Alexandrie (actuelle Égypte)
Nationalité	Grecque
Champs	Astronomie, géographie, mathématiques, philosophie
Renommé pour	Première méthode de mesure de la circonférence de la Terre

Aristarque de Samos



Aristarque de Samos
Atlas céleste d'Andreas Cellarius (xvii^e siècle)

Naissance	v. 310 av. J.-C. Samos (actuelle Grèce)
Décès	v. 230 av. J.-C.
Nationalité	Grecque
Domaines	Astronomie, mathématiques
Renommé pour	Théorie de l'héliocentrisme, astronomie de position

[modifier](#)



Source : Wikipedia

Un Français sur 10 pense que la Terre est plate

Selon une nouvelle étude Ifop, plus de 9 % des Français croient "possible que la Terre soit plate et non pas ronde comme on nous le dit depuis l'école".

DE JULIETTE HEUZEBROC



Une étude menée par l'Ifop pour l'institut Jean Jaurès et l'observatoire Conspiracy Watch révèle que 79 % des Français adhèrent à au moins une des grandes théories du complot. Parmi celles-ci, l'étude montre que 9 % des français croient « possible que la Terre soit plate et non pas ronde comme on nous le dit depuis l'école ». Cette théorie n'est pas nouvelle et est très souvent le corolaire de la remise en cause de la conquête spatiale.