

<b>Thème 3 - La Terre, un astre singulier</b>	<b>Chapitre 4 - La forme de la Terre</b>	1ère Enseignement scientifique
<u>Sommaire et Savoirs-faire exigibles</u>		

## Introduction

Tout d'abord, nous nous intéresserons à la mise en évidence faite par Aristote de la forme sphérique de la Terre, encore controversée de nos jours et basée notamment sur l'observation des éclipses lunaires et des astres. Nous étudierons dans un second temps la mesure de la longueur d'un méridien par deux méthodes différentes. La première est employée dès l'Antiquité par Ératosthène alors que la deuxième est utilisée par Delambre et Méchain vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, qui utilise la triangulation. Après un rappel sur la latitude et la longitude, nous donnerons les distances entre deux points situés sur un même méridien ou un même parallèle.

## Sommaire

- le cours sur la forme de la Terre
- une fiche La terre est sphérique
- une fiche Longueur d'un méridien
- les exercices du chapitre

## Ce qu'il faut savoir faire (partie physique chimie) :

Savoir-faire	Fiche	Exercice(s)
Calculer la longueur du méridien terrestre par la méthode d'Eratosthène.	Fiche 2	
Calculer le rayon de la Terre à partir de la longueur du méridien.	Fiche 2	
Calculer une longueur par la méthode de triangulation utilisée par Delambre et Méchain.	Fiche 2	
Calculer la longueur d'un arc de méridien et d'un arc de parallèle.	Fiche 2	2
Comparer, à l'aide d'un système d'information géographique, les longueurs de différents chemins reliant deux points à la surface de la Terre.	Cours	2



## T3Ch4 - La forme de la Terre

### I Forme de la terre

#### I.1 Aristote et le « traité du Ciel »



Aristote (384-322 av. J.-C.), philosophe grec et disciple de Platon (428-348 av. J.-C.) est le premier à avancer et justifier que la Terre est de forme sphérique. En effet, dans son ouvrage le « traité du Ciel », il avance notamment que :

- Lors d'une éclipse de Lune, ce qui limite l'ombre de la Terre présente sur la Lune est une ligne incurvée, ce qui signifie que la surface de la Terre est sphérique.



- Les astres se trouvent à des distances très éloignées devant les dimensions de la Terre.
- Il se rend compte qu'en se déplaçant du Sud vers le Nord, on ne peut pas voir un astre partout, ce qui encore une fois, s'interprète bien par une forme sphérique de la Terre.

#### I.2 Les éclipses lunaires (facultatif)

Animation - Vidéo sur les éclipses lunaires



<https://www.youtube.com/watch?v=Zp5YlhBckQk>

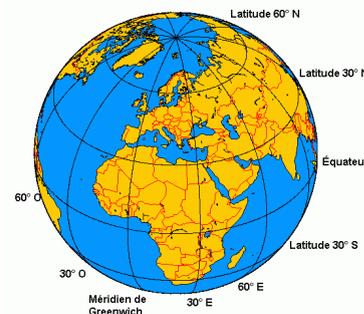
### II Longueur d'un méridien

#### II.1 Qu'est-ce qu'un méridien ?

Cercle méridien

On appelle **cercle méridien** ou méridien, l'intersection avec la Terre d'un plan qui contient l'axe de rotation de la Terre.

En 1884, c'est le méridien passant par l'Observatoire Royal de Greenwich de Londres qui est pris comme référence. Un méridien est repéré par l'angle (sa longitude) qu'il fait par rapport au méridien de Greenwich, dans le plan de l'équateur. On ajoute « E » s'il est à l'est ou « O » s'il est à l'ouest de ce dernier.



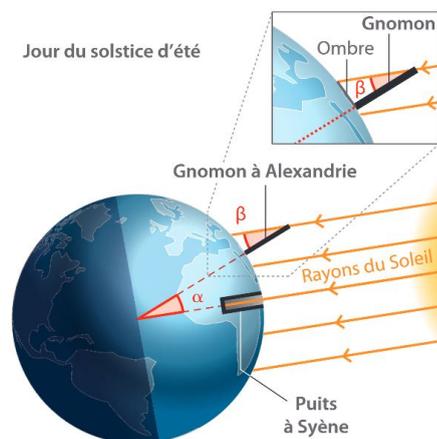
## II.2 Méthode d'Ératosthène

### Animation - Calcul de la longueur du méridien terrestre par Ératosthène



<https://www.youtube.com/watch?v=ZvnQoONgYZg>

Ératosthène est un astronome, géographe, philosophe et mathématicien de l'antiquité (276-194 av. J.-C.) qui après a le premier déterminé la longueur du méridien terrestre. A l'époque, il entend parler de la ville de Syène (Assouan en Égypte), dans laquelle, lors du solstice d'été à midi un bâton planté dans le sol n'a pas d'ombre ou de manière équivalente, le fond d'un puits est entièrement éclairé, les rayons solaires arrivant donc verticalement à ce lieu.



Sur une carte, il remarque que sur le même méridien où se situe la ville de Syène, se situe également la ville d'Alexandrie (à une latitude plus élevée), dans laquelle il remarque en utilisant un gnomon (tige utilisée pour faire une ombre) que cette fois une ombre apparaît. Il décide de mesurer l'angle  $\beta$  entre un rayon du Soleil et le gnomon et dont on s'aperçoit qu'il correspond également à la latitude d'Alexandrie.

Il trouve \_\_\_\_\_. À partir de là et en approximant l'arc de cercle (portion du méridien) reliant sur la surface du globe Syène à Alexandrie à un simple segment, il est capable de déterminer la longueur  $L$  totale du méridien.

En effet en utilisant le fait qu'on doit retrouver  $360^\circ$  en faisant le tour du cercle :

Cette valeur est une très bonne approximation du méridien terrestre (environ \_\_\_\_\_ km).

## II.3 Méthode de la triangulation utilisée par Delambre et Méchain

### II.3.1 Historique

En parallèle de la révolution française a lieu la « révolution métrique » : le 26 mars 1791, l'Assemblée nationale décrète que « l'unité de longueur sera la dix millionième partie du quart du méridien terrestre. ».

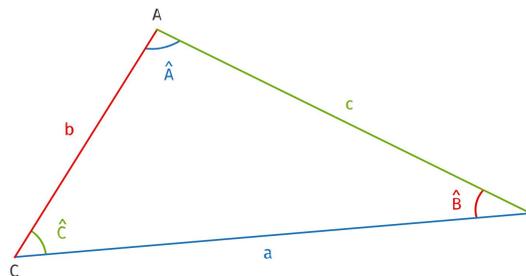
C'est ainsi que Jean-Baptiste Delambre (1749-1822) et Pierre Méchain (1744-1804), deux astronomes de renom français, se lancent dans la mesure de la portion de méridien passant par Paris et reliant Dunkerque à Barcelone à partir de 1791.

En 1799, ils annoncent qu'ils y sont parvenus en utilisant la méthode de mesure par triangulation et loi des sinus. Il trouvent alors une distance entre Dunkerque et Barcelone de 551 475,4 toises (ancienne unité).

### II.3.2 Loi des sinus et méthode de mesure par triangulation

#### Maths : Loi des sinus

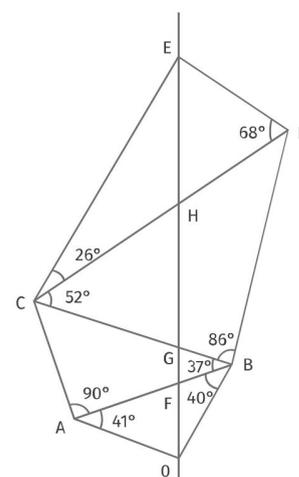
Dans un triangle ABC tel que celui de la figure on a :



#### Maths : Méthode de mesure par triangulation

La méthode utilise la connaissance d'une base notée ici AB de longueur connue ainsi que deux angles de valeurs mesurées au préalable. On peut ensuite en déduire la longueur BC.

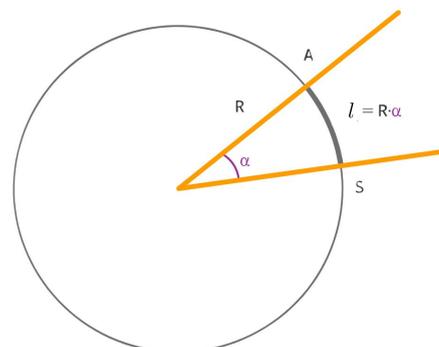
À partir de cela, on peut déterminer toutes les longueurs du triangle et passer à un autre triangle dont on connaît alors une longueur et dont on peut mesurer les angles par visée à l'aide d'un cercle répétiteur (mesure d'angle entre deux points observables).



### II.4 Détermination du rayon de la Terre

#### Maths : longueur d'un arc de cercle d'angle $\alpha$

La longueur d'un arc de cercle s'exprime :



où  $R$  représente le rayon du cercle,  $\alpha$  l'angle de l'arc de cercle, exprimé en radians.

#### Maths : Passer d'un angle en degrés à un angle en radians

Pour passer d'un angle en degrés à un angle exprimé en radians, il suffit de multiplier par  $\frac{\pi}{180}$ .

Passer d'un angle en radians à un angle exprimé en degrés se fait en multipliant l'angle par  $\frac{180}{\pi}$ .

Exercice de cours - Détermination du rayon terrestre  $R_T$ 

Sachant qu'Ératosthène a mesuré un angle  $\alpha = 7,2^\circ$  entre la verticale passant par Syène et celle passant par Alexandrie ainsi qu'un arc de cercle de longueur  $l = 780$  km, déterminer  $R_T$ , la valeur du rayon terrestre.

---

### III Se repérer sur Terre

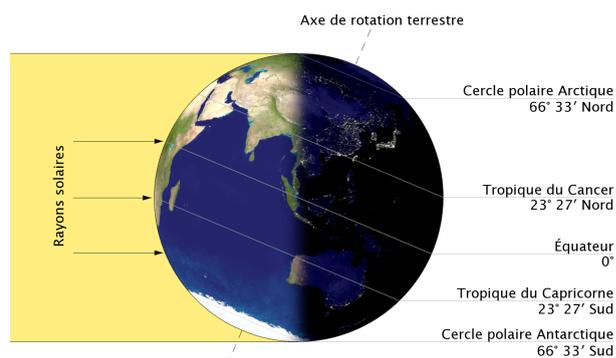
#### III.1 Cercles méridiens et cercles parallèles

Sur Terre, nous sommes amenés à utiliser deux types de **lignes imaginaires** : nous avons déjà défini ce qu'était un cercle méridien précédemment, nous introduisons ici les cercles parallèles :

#### Cercles parallèles

Les **cercles parallèles** ou parallèles sont les intersections des plans parallèles au plan équatorial avec la Terre.

Chaque parallèle peut être repéré par sa latitude.

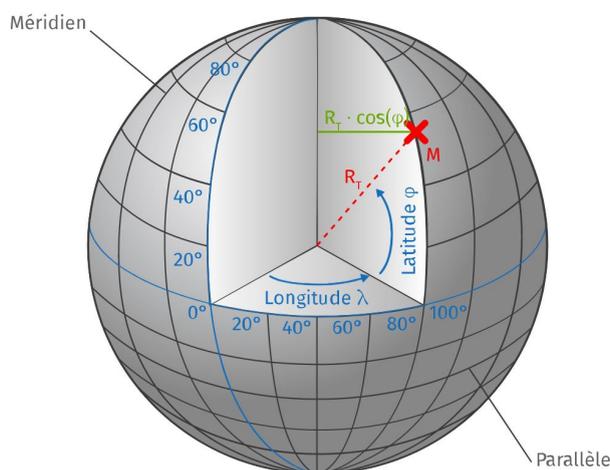


## III.2 Coordonnées géographiques

### III.2.1 Coordonnées d'un point $M$ à la surface de la Terre

Un point  $M$  à la surface de la Terre peut être décrit/repéré par sa :

- latitude  $\varphi$  : angle entre la verticale passant par le point  $M$  et le point équatorial,
- longitude  $\lambda$  : angle entre le méridien de Greenwich (de référence) et le méridien passant par le point  $M$ .



### III.2.2 Distance entre deux points situés sur un même méridien

Distance entre deux points situés sur un même méridien (formule redonnée en devoir)

La longueur de l'arc de cercle entre deux points situés sur un même méridien et de latitudes respectives  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  est :

$$d = R_T \times |\varphi_2 - \varphi_1|$$

### III.2.3 Distance entre deux points situés sur un même parallèle

Distance entre deux points situés sur un même parallèle (formule redonnée en devoir)

La longueur de l'arc de cercle entre deux points situés sur un même parallèle à une latitude  $\varphi$  et de longitudes respectives  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  est :

$$d = R_T \times \cos(\varphi) \times |\lambda_2 - \lambda_1|$$

<b>Thème 3 - La Terre, un astre singulier</b>	<b>Chapitre 4 - La forme de la Terre</b>	1ère Enseignement scientifique
<u>Fiche 1 - La terre est sphérique</u>		

Les interrogations sur la forme de la Terre remontent à la nuit des temps. Les premières hypothèses la supposent plate mais très vite, la sphéricité s'est imposée.

### Quelles observations ont permis d'aboutir à cette certitude?

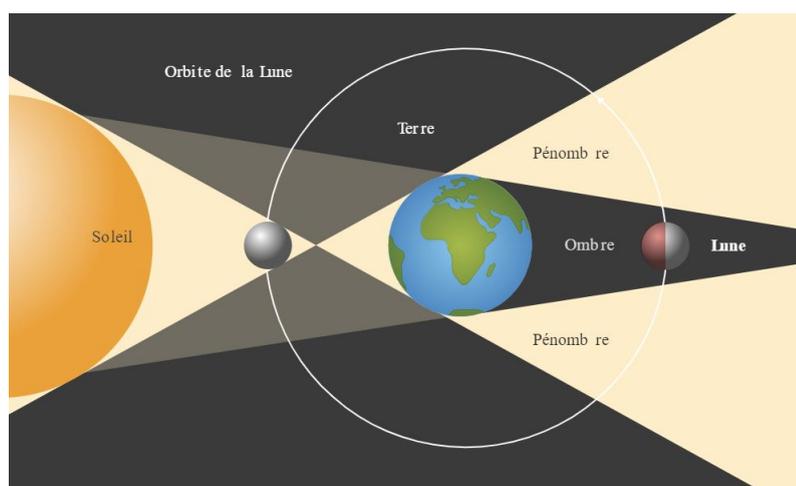
#### Document 1 - Aristote et la Terre ronde

La sphéricité de la Terre est admise dès l'Antiquité par Aristote (384-322 av. J.-C.), philosophe grec, disciple de Platon (428-348 av. J.-C.). Contrairement à une idée reçue, ce n'est pas Galilée (1564-1642) qui, le premier, a fait ce constat.

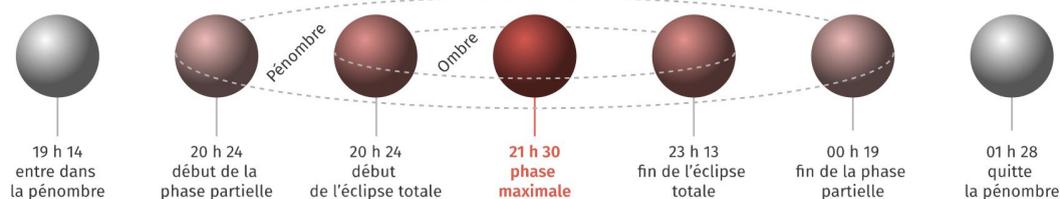
En effet, Aristote avance des arguments physiques et empiriques. Il s'appuie sur la forme circulaire de l'ombre portée de la Terre sur la Lune lors des éclipses. Il fait aussi état des changements observés dans l'aspect du ciel lorsqu'on va du Nord vers le Sud : des étoiles apparaissent, d'autres disparaissent.

De plus, Aristote pense que la Terre résulte de l'agglomération de ces composants sous l'effet d'une tendance naturelle des objets à se diriger vers un point central, de sorte que pour des raisons de symétrie et d'équilibre, elle ne peut posséder d'autres formes que sphérique. Dans son *Traité du ciel* (livre II, chapitre 14), Aristote mentionne une estimation du périmètre de la Terre et insiste sur la petitesse de cette longueur par rapport aux distances des corps cosmiques. Quelques années plus tard, Ératosthène (276-194 av. J.-C.) détermine avec plus de précision la longueur de méridien terrestre.

#### Document 2 - L'éclipse de Lune du 27 juillet 2018



En traversant l'atmosphère terrestre, les rayons du Soleil sont filtrés par l'atmosphère de la Terre, ce qui donne une couleur rouge à la Lune qu'on appelle Lune de sang pour l'occasion. Ce phénomène a été observable depuis la France, particulièrement à l'est du pays et sur l'île de La Réunion.



Document 3 - Apparence de la Lune à différents instants d'une éclipse



A l'aide des documents ci-dessus et de vos connaissances, répondre aux questions suivantes :

1. **Doc. 1.** En quoi les arguments avancés par Aristote sont qualifiés d'« empiriques » ?
2. **Doc. 2.** Quelles observations confortent Aristote dans l'idée que la Terre est sphérique ?
3. **Doc. 3.** Sur le document 3, trouver les sept formes de la Lune correspondant au déroulement de l'éclipse du document 2, en les légendant avec les numéros correspondants.

## Réponses

<b>Thème 3 - La Terre, un astre singulier</b>	<b>Chapitre 4 - La forme de la Terre</b>	1ère Enseignement scientifique
Fiche 2 - Longueur d'un méridien		

A l'aide d'un simple bâton ou par la méthode de triangulation sont effectuées les premières mesures du méridien terrestre.

### En quoi consiste les méthodes utilisées pour mesurer la longueur du méridien terrestre?

#### Document 1 - Les mesures d'Ératosthène

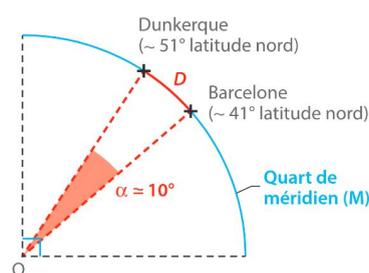
C'est à la bibliothèque d'Alexandrie qu'un papyrus a attiré l'attention d'Ératosthène. Il y a lu qu'à Syène, ville frontière au Sud, située près des premières chutes du Nil, à peu près sur le tropique du Cancer, le 21 juin à midi, un bâton planté à la verticale n'avait pas d'ombre. Il se pose alors la question suivante : pourquoi au même moment, beaucoup plus au Nord, à Alexandrie, un autre bâton, lui, en projette une (le Soleil étant à peu près à  $7,2^\circ$  du zénith) ?



Il suppose que le Soleil est assez éloigné pour que ses rayons frappent la surface terrestre en faisceaux parallèles. Ératosthène ne trouve qu'une seule réponse à sa question : la surface de la Terre est courbe ! Ce constat lui a permis de faire le calcul du rayon de la Terre après avoir mesuré la distance qui séparait Syène d'Alexandrie. Une légende raconte qu'il aurait déterminé cette distance en comptant des pas réguliers de chameaux et que ces mêmes chameaux auraient parcouru 5 000 stades égyptiens. La longueur d'un stade est de 157,5 m.

#### Document 2 - Mesure du méridien par Delambre et Méchain

Delambre et Méchain mesurent avec précision la longueur d'une portion du méridien terrestre passant par Dunkerque, Paris et Barcelone, en toises, unité de l'époque. Ils partent chacun de Paris dans des directions opposées. C'est par une succession de mesures d'angles qu'ils parviennent à mesurer la distance Dunkerque-Barcelone puis ensuite l'arc du méridien entre ces deux villes. Leurs résultats donnent alors une valeur du mètre fixée à 0,513 074 toise.

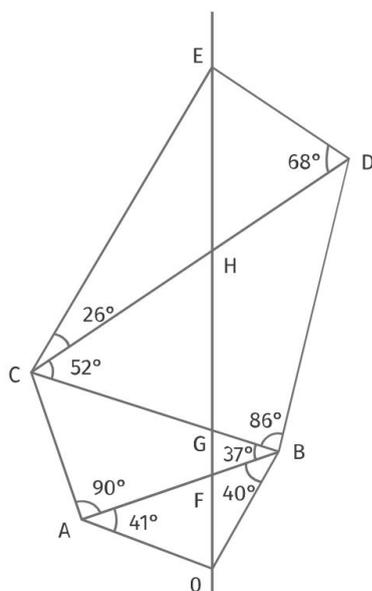


Ils rencontrent de nombreuses difficultés, car la période (Terreur) n'est pas propice aux déplacements avec un appareil de mesure inhabituel, un cercle répétiteur (un pied pour des mesures à hauteur d'homme, un cercle gradué et deux lunettes de visée).

Delambre rencontre des problèmes avec les gardes nationaux locaux, peu coopératifs et intéressés. Pendant une année, il ne peut pas travailler. Méchain a plus de chance au début mais en 1793, l'Espagne déclare la guerre à la France et ses mesures deviennent plus compliquées à réaliser. Il constate au final une anomalie de quelques secondes d'arc qui le poussera à cacher ses mesures.

## Document 3 - Méthode de mesure par triangulation

La méthode consiste à mesurer précisément une base  $AB$ . La base est alors l'origine d'une opération de triangulation. À partir des extrémités  $A$  et  $B$  de cette base, Delambre et Méchain visent un point  $C$  éloigné et mesurent les angles  $\widehat{CAB}$  et  $\widehat{CBA}$ . Ils en déduisent la distance  $BC$  en utilisant les relations du triangle. Celle-ci constitue alors la base d'un nouveau triangle dont le sommet est  $D$ .



À l'aide des documents ci-dessus et de vos connaissances, répondre aux questions suivantes :

- Doc. 1.** Tracez un cercle de rayon  $R_T$  (rayon de la Terre). Positionnez Syène et Alexandrie sur ce cercle qui caractérise un méridien terrestre (on admet qu'un méridien passe exactement par les deux villes). Schématisez les rayons solaires arrivant au même moment sur le bâton vertical placé à Alexandrie et sur celui placé à Syène. Indiquez l'angle cité dans le texte et en déduisez-en celui de l'arc de cercle limité par les deux villes.
- Doc. 1.** On note  $SA$  la distance entre Syène et Alexandrie. Calculez cette distance avec les mesures d'Ératosthène.
- Déduisez-en la longueur du méridien terrestre, le méridien étant un cercle passant par les deux pôles.
- Déterminez alors le rayon terrestre  $R_T$  par la méthode d'Ératosthène.
- Comparez cette valeur à celle estimée aujourd'hui à environ 6 371 km.
- Doc. 2 et 3.** Quel protocole expérimental ont utilisé Delambre et Méchain pour mesurer la distance Dunkerque-Barcelone?
- Doc. 3.** À l'aide de la carte, évaluez cette distance en mètres
- Doc. 3.** Sur le schéma présentant la triangulation, sachant que l'on connaît la distance  $AB = 11$  km, que les angles déterminés par triangulation sont indiqués et les angles manquants à mesurer avec un rapporteur, calculez la longueur  $OE$  représentant une portion de méridien.

<b>Thème 3 - La Terre, un astre singulier</b>	<b>Chapitre 4 - La forme de la Terre</b>	1ère Enseignement scientifique
<u>Fiche 2 - Longueur d'un méridien</u>		

## Réponses



<b>Thème 3 - La Terre, un astre singulier</b>	<b>Chapitre 4 - La forme de la Terre</b>	1ère Enseignement scientifique
<u>Feuille d'exercices</u>		

### Exercice 1 - Distances géographiques

- Réalisez un schéma représentant la demi-sphère Nord de la Terre et positionnez Monaco et Berne, ainsi que leurs latitudes et longitudes. Faites apparaître l'arc du cercle entre ces villes sur le schéma.
- Calculez la plus courte distance qui les sépare. On précise que le rayon de la Terre  $R_T = 6370$  km.



- En constatant que Monaco et Pisa sont sur le même parallèle, calculez la distance qui les sépare le long de ce parallèle.
- Ces distances calculées permettent-elles de savoir s'il est plus court d'atteindre Pisa ou Berne depuis Monaco?

Données :

Ville	Latitude $\varphi$	Longitude $\lambda$
Monaco	$43,7^\circ\text{N}$	$7,4^\circ\text{E}$
Berne	$46,9^\circ\text{N}$	$7,4^\circ\text{E}$
Pise	$43,7^\circ\text{N}$	$10,4^\circ\text{E}$

### Exercice 2 - Détermination du rayon de la Lune (si nous avons le temps)

Aristarque de Samos (310-230 av. J.-C.) a observé les éclipses de Lune (passage de la Lune dans l'ombre de la Terre). Il a constaté que le diamètre de la Lune pouvait se reporter trois fois dans le disque d'ombre de la Terre.

- Schématisez le Soleil, la Terre et les trois positions de la Lune dans l'ombre de la Terre.
- Déduisez-en l'expression du rayon de la Lune en fonction du rayon  $R_T$  de la Terre.
- La durée d'une éclipse de Lune est de 4 heures. Quelle est la vitesse de déplacement de la Lune sur son orbite en fonction du rayon de la Terre?
- Sachant que la Lune a besoin d'environ 1 mois (700 heures) pour faire un tour complet sur son orbite autour de la Terre, quelle est la longueur de l'orbite de la Lune autour de la Terre en fonction du rayon de la Terre?
- Calculez alors la distance Terre-Lune sachant que le rayon de la Terre est de 6 370 km.

