



# L'ombre qui viendra de l'Ouest

Daniel Toussaint

Sur la jetée du port de Fécamp, la statue de la "femme du pêcheur", qui guette anxieusement le retour de son marin de mari, a vu tant de fois le Soleil et la Lune plonger dans la mer qu'elle ne s'intéresse plus à ces phénomènes astronomiques. Pourtant, le 11 août 1999, en voyant surgir du large l'ombre de la Lune qui foncera sur elle à près de 3 000 km/h, nul doute qu'elle devra être fort surprise ... Pourquoi l'ombre viendra-t-elle de l'Ouest alors que les astres se lèvent plutôt vers l'Est, et pourquoi viendra-t-elle si vite ?

Les éphémérides de la SAF permettent de prévoir avec précision les horaires de l'éclipse. L'ombre de la Lune abordera la France par la pointe du Cotentin (maximum à Cherbourg à 12h 17min 01s en heure légale d'été) avant de s'éloigner vers l'Allemagne (maximum à Strasbourg à 12h 31min 41s). Ces 2 villes situées un peu au sud de la ligne où l'éclipse sera maximale bénéficieront du phénomène pendant respectivement 1min 36s et 1min 28s.

C'est peut-être l'occasion de proposer quelques exercices d'actualité à nos élèves (les plus simples sont accessibles en 3<sup>e</sup>, cependant, pour creuser les notions de repères, il est préférable d'attendre le lycée).

## Calcul de la vitesse moyenne de l'ombre à l'aide des éphémérides et d'un atlas.

Sur divers atlas, la distance Cherbourg-Strasbourg estimée à vol d'oiseau est de  $680 \pm 10$  km.

La durée de survol du centre de l'ombre entre ces deux villes est de  
12h 31min 41s - 12h 17min 01s  
= 14min 40s = 14,67min.

La vitesse moyenne de l'ombre entre ces deux villes est égale à la distance totale divisée par la durée soit :  
en km/min :  $680 / 14,67 = 46,35$   
et en km/h :  $46,35 \times 60 = 2780$

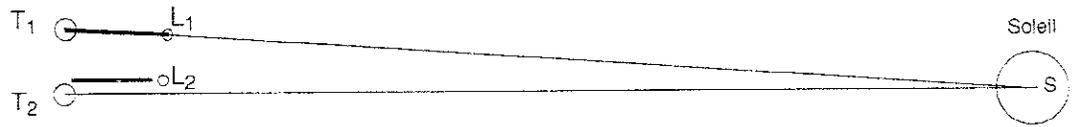
### Critique des résultats

Les documents<sup>1</sup> SAF estiment la vitesse moyenne de l'ombre à 2850 km/h. La différence entre ces deux résultats peut être due à l'imprécision de l'échelle des atlas consultés. Mais elle est sans doute aussi liée à la définition de la vitesse moyenne : l'ombre avancerait à vitesse constante si la Terre était plate, mais elle va plus vite au début et à la fin de sa rencontre avec une sphère.

Si la vitesse moyenne a été calculée sur toute la longueur de l'éclipse, elle est supérieure à la vitesse moyenne au dessus de la France.

## Les mouvements dans un repère héliocentrique :

Pour comprendre ce qui se passe, imaginons ce que "verrait" un observateur extra-terrestre situé au-dessus du pôle Nord du Soleil.



Le schéma n'est pas à l'échelle car les distances Terre-Soleil et Terre-Lune sont trop différentes et bien sûr, les cônes d'ombre sont invisibles.

Ce schéma permet de calculer la vitesse orbitale de la Terre qui effectue chaque tour d'orbite à 150 millions de km du Soleil en un an, tout en entraînant la Lune avec elle.

1 - Quand, à la Nouvelle Lune, la pointe de l'ombre de la Lune rencontre la Terre, une éclipse totale de Soleil se produit. Cette ombre a la forme d'un cône très allongé car le Soleil est beaucoup plus gros que la Lune.

2 - La Terre et la Lune circulent ensemble autour du Soleil, mais la Terre qui avance sur son orbite un peu plus vite que la Lune a dépassé l'ombre qui reste attachée à la Lune.

La vitesse orbitale de la Terre est donc égale au quotient de la circonférence (en km) par la durée (en h).

Vitesse orbitale =  $2\pi R / t$  soit en km / h :

$$(2 \times \pi \times 150.10^6) / (365,25 \times 24)$$

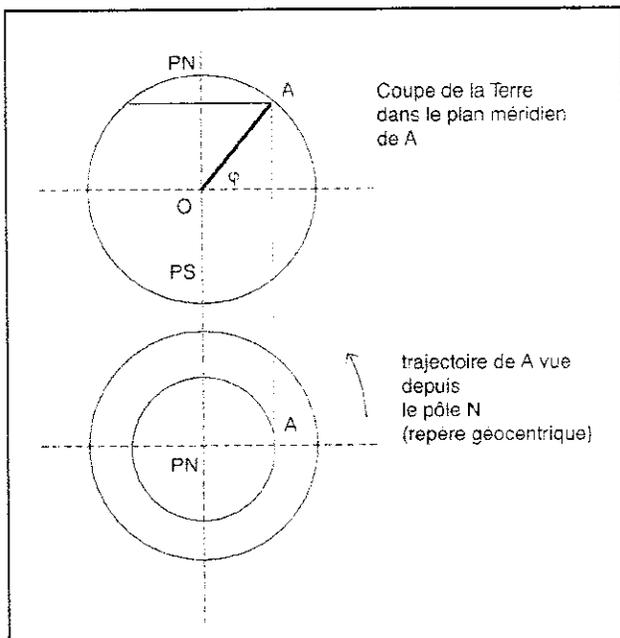
$$= 9,42.10^8 / 8,77.10^3 = 107\,500.$$

soit : 29,9 km/s.

La vitesse orbitale de la Lune ne diffère de celle de la Terre que de quelques milliers de km/h en plus ou en moins selon la phase de la Lune : en période de Pleine Lune, la Lune avance plus vite que la Terre, tandis qu'en Nouvelle Lune, c'est l'inverse (la différence entre les deux vitesses orbitales fait l'objet de l'exercice suivant).

## Les mouvements dans un repère géocentrique :

Si vous avez bien les pieds sur Terre, l'extra-terrestre qui vous renseigne est situé au-dessus du pôle Nord de la Terre et il repère les mouvements par rapport à la ligne Terre-Soleil. En effet, non seulement il "verrait" s'approcher le cône d'ombre de la Lune, mais en outre, il "verrait" la Terre tourner et la combinaison de ces deux mouvements rendra compte de ce qui se passe vraiment sur Terre.



### 1 - Vitesse du point A de latitude $\varphi$ , due à la rotation de la Terre.

Durée d'un tour de A sur le parallèle de latitude  $\varphi$  :

24h 00min.

Circonférence de la Terre à l'équateur :

40 000 km (d'après la définition originelle du mètre).

Longueur du parallèle passant par A : sur les schémas ci-contre le rapport des rayons est égal à  $\cos \varphi$ . Les longueurs des cercles étant proportionnelles aux rayons, cela s'applique aussi aux cercles.

Donc la distance parcourue par A en un tour (A pourrait être situé entre Chalons et Metz à la latitude  $49^\circ$  sur le passage de l'ombre de la Lune) est en km :

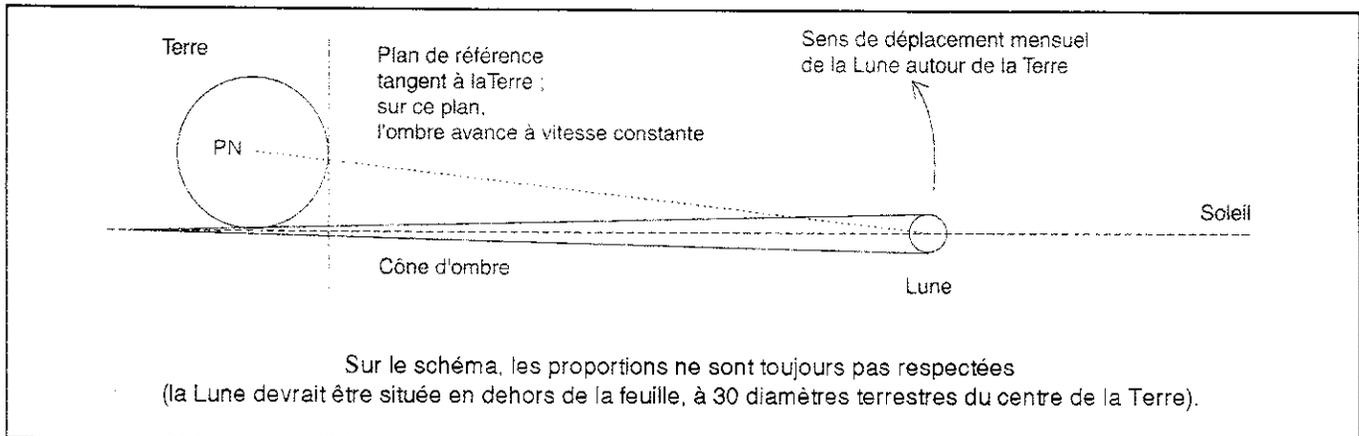
$$40\,000 \times \cos \varphi = 40\,000 \times \cos 49^\circ = 40\,000 \times 0,656$$

soit 26 240 km.

La vitesse de A autour de la Terre (dans le sens positif défini par la flèche) est donc en km/h :

$$(40\,000 \times \cos \varphi) / 24 \text{ soit } 1100 \text{ km/h.}$$

## 2 - Vitesse instantanée du cône d'ombre de la Lune.



### Approximations :

Bien que la Lune décrive pratiquement un cercle autour de la Terre, on peut considérer que la durée de l'éclipse est assez courte pour que le déplacement de la Lune s'effectue à vitesse constante sur un segment de droite parallèle au plan de référence représenté en pointillés.

Si l'éclipse a lieu au voisinage de midi solaire (ce qui est le cas en France le 11 août 1999), l'intersection du cône d'ombre avec le plan de référence n'est pas très différente de la trace réelle du cône d'ombre sur la Terre (ou ombre portée de la Lune sur la Terre).

### Données :

Rayon moyen de l'orbite lunaire : 384 400 km  
 Durée d'un tour de Lune (comptée par rapport au rayon Soleil-Terre) : 29,54 jours terrestres.  
 Vitesse de la Lune sur son orbite terrestre en km/h :  
 $(2\pi \times 384\,400) / (29,54 \times 24)$  soit 3 400 km/h.

## 3 - Ce que voit l'observateur terrestre situé en A (entre Chalons et Metz) :

Evidemment, il ne se rend pas compte qu'il avance vers l'Est à la vitesse de 1 100 km/h mais l'ombre de la Lune qui avance dans le même sens que lui le rattrape à la vitesse relative de :

$$3\,400 \text{ km/h} - 1\,100 \text{ km/h} = 2\,300 \text{ km/h.}$$

### Etude critique du résultat :

L'ordre de grandeur et le sens du déplacement sont corrects. Les résultats sont un peu sous estimés par rapport à la vitesse moyenne calculée entre Cherbourg et Strasbourg (2 780 km/h) et surtout par rapport à la vitesse moyenne proposée dans le document de la SAF (2 850 km/h).

La différence peut venir du fait que le maximum de l'éclipse n'a pas lieu à midi solaire, mais environ à 1 h 30 min plus tôt. Le point A doit encore se déplacer de  $22,5^\circ$  (au rythme de  $15^\circ$  à l'heure pour atteindre le plan de référence).

Sur Terre, l'ombre avance à  $3400 / \cos 22,5^\circ$  km/h soit 3700 km/h et rattrape le point A à la vitesse relative de  $3700 \text{ km/h} - 1\,100 \text{ km/h} = 2\,600 \text{ km/h}$ .

Pour s'approcher davantage de la valeur prévue par la SAF, il faudrait affiner le modèle, mais les complications apportées iraient à l'encontre de l'objectif visé qui est de rendre ce phénomène compréhensible pour un élève du secondaire.

### Note :

1 - Les données des exercices sont extraites de la plaquette réalisée par la SAF à l'occasion de l'éclipse et du n°111 (janvier 1997) de la revue "l'Astronomie".