

Calcul du lieu et de l'heure du passage du soleil au zénith : une activité pour SNT dans les lycées de la zone inter-tropicale

Christophe Declercq, INSPE de la Réunion, LIM, IREMI

24 novembre 2021

Introduction

La cartographie et la localisation, un des thèmes au programme de l'enseignement de Sciences Numériques et Technologie en classe de seconde, peut être traité en s'appuyant sur un événement astronomique local facilement observable : le passage du soleil au zénith.

Précisons d'abord quelques définitions (voir par exemple [3] pour plus de détails). Le **zénith** est la verticale du lieu d'observation, à ne pas confondre avec la culmination du soleil qui est, chaque jour, le moment où l'astre est le plus haut par rapport à l'horizon de l'observateur. Le passage du soleil au zénith est un phénomène plus rare. La **déclinaison** du soleil est la latitude du lieu où le soleil passe au zénith ; la déclinaison varie en fonction des saisons de $23^{\circ}26'N$ à $23^{\circ}26'S$.

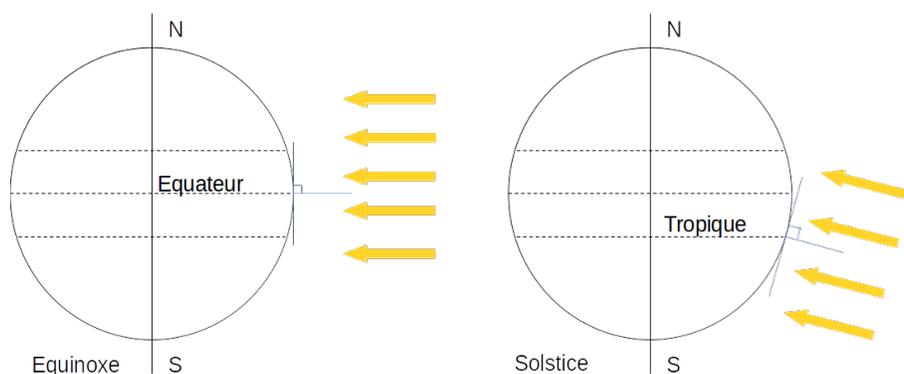


Figure 1: Passage du soleil au zénith à l'équateur et sur le tropique du Capricorne

A l'équateur, le soleil passe au zénith deux fois par an au moment des équinoxes :

à ces dates, la déclinaison du soleil est nulle, sa hauteur est de 90° à midi solaire local.

Le long du tropique du Capricorne (resp. Cancer), le soleil ne passe au zénith qu'une fois par an au moment du solstice d'été austral (resp. été boréal). A cette date précise, la déclinaison du soleil $23^\circ 26' S$ (resp. $23^\circ 26' N$) est égale à la latitude du lieu. La hauteur du soleil au moment de la culmination est de 90° , le soleil est "au dessus" du tropique.

Pour tous les lieux situés entre équateur et tropiques, le soleil peut passer au zénith, deux fois par an, les jours où la déclinaison du soleil est précisément égale à la latitude du lieu. Remarquons cependant que le soleil ne passe pas au zénith à chaque endroit chaque année. Il peut passer un jour 10 milles au nord et le lendemain 5 milles au sud permettant quand même à l'observateur de relever le soleil à une hauteur de $89^\circ 55'$ dans cet exemple.

Pour calculer la hauteur du soleil, précisons qu'elle est de 90° à l'équateur à l'équinoxe, et qu'elle est diminuée de la valeur de la latitude, mais augmentée de la valeur de la déclinaison (quand elle est de même signe que la latitude).

Ceci explique pourquoi le passage au zénith se produit quand latitude égale déclinaison. Cela explique aussi pourquoi hors de la zone inter-tropicale, il est inutile d'espérer un passage du soleil au zénith.

Deux problèmes complémentaires peuvent être résolus avec des élèves de seconde

- le calcul de la hauteur du soleil en un lieu donné le jour de l'année où le soleil culmine le plus haut.
- le calcul de la droite des lieux où le soleil passera réellement au zénith à proximité.

Calcul de la hauteur du soleil en un lieu donné

Nous choisissons pour l'exemple, le site de Bellepierre de l'INSPE de l'académie de la Réunion à Saint-Denis.

Une simple observation sur une carte (ou une cartographie en ligne comme OpenStreetMap) permet de relever les coordonnées géographiques du lieu, en degrés et minutes ou en degrés décimaux :

INSPE, site de Bellepierre	Degrés	Minutes	Degrés déc.
Latitude	20	53,60	20,893
Longitude	55	26,52	55,442

Une première activité peut être nécessaire pour convertir en degrés décimaux, qui seront utilisés pour la suite des calculs.

Il est ensuite nécessaire de consulter les éphémérides du soleil (que l'on peut

consulter dans [1]) à la recherche de la date où la déclinaison du soleil est la plus proche de la latitude.

Ephémérides du soleil	Déclinaison			T. pass (GMT)
Dates (heures GMT)	Degrés	Minutes	Degrés déc.	Méridien 0°
jeu. 25/11/2021 00:00	20	44,5	20,742	11:47:01
ven. 26/11/2021 00:00	20	56,1	20,935	11:47:20
sam. 27/11/2021 00:00	21	7,2	21,120	11:47:39

On constate qu'à cette période (avant le solstice) la déclinaison sud du soleil augmente chaque jour et qu'elle sera le plus proche de la latitude entre le jeudi 25/11 à 0h et le vendredi 26/11 à 0h.

A ce moment du calcul, il faut être vigilant car les déclinaisons sont données à 0h GMT (heure de Greenwich), ce qui oblige à interpoler pour calculer précisément cette déclinaison à l'heure du midi solaire local au moment où le soleil est le plus haut.

Connaissant la longitude, on peut calculer le décalage horaire du midi local qui est la traduction en temps de la longitude. Dans notre exemple, il suffit de diviser la longitude (55° E) par 15° (correspondant à 1h) pour obtenir le décalage en temps du moment de la culmination : 03h41mn46s. On peut expliquer cela simplement ainsi : situé 55° à l'est de Greenwich, le soleil culmine à la Réunion 3h41 avant Greenwich dont l'horaire de culmination est donnée dans les éphémérides par le **temps de passage**.

On a ainsi tous les éléments pour conclure les calculs. Les déclinaisons sont interpolées pour 8h GMT. Pour calculer le temps de passage local en heure locale, il suffit de retrancher du temps de passage à Greenwich, le décalage horaire du midi local dû à la longitude puis d'ajouter le décalage horaire officiel (GMT+4 à la Réunion) si on veut le résultat en heure locale. La hauteur est calculée par la formule : $90^\circ - \text{latitude} + \text{déclinaison}$. Si on obtient plus de 90, il faut remplacer la hauteur par : $180 - \text{hauteur}$.

Dates (heures GMT + 4)	Déclinaison	T. pass Loc	Hauteur soleil
jeu. 25/11/2021 12:00	20,806	12:05:15	89,913
ven. 26/11/2021 12:00	20,997	12:05:34	89,897

Il ne reste plus qu'à se préparer à l'observation : le jour indiqué tous les objets verticaux (poteaux, lampadaires, palmiers...) verront leur ombre disparaître à l'heure indiquée, si le soleil est au rendez-vous.

Calcul du lieu du passage au zénith.

Pour calculer, un jour donné, le lieu et l'heure précise du passage au zénith, il suffit de choisir une longitude (55° E par exemple) puis de calculer l'horaire précis où la culmination a lieu pour cette longitude, et de calculer par interpolation la déclinaison du soleil à cette heure précise. Le point situé à une latitude égale à cette déclinaison verra à cette heure là le soleil exactement au zénith.

Un deuxième calcul pour une latitude différente (54° E par exemple), permet alors de tracer la droite reliant tous les points qui pourront voir le passage du soleil au zénith ce jour là.

Ces calculs peuvent être représentés simplement sur une cartographie en utilisant le module `Folium` du langage Python.

Le programme suivant permet de générer une carte avec un marqueur pour le passage le plus proche de St Denis le 25/11 à 12:05 et la droite de passage au zénith du 25/11 :

```
import folium
carte = folium.Map(location=[-21.1, 55.5], zoom_start=10)
folium.Marker([-20.80678, 55.5],
              popup="Jeudi 25/11 12:04:58").add_to(carte)
folium.PolyLine([[[-20.8060, 57],[ -20.8076, 54]]],
                tooltip="Jeudi 25/11").add_to(carte)
```

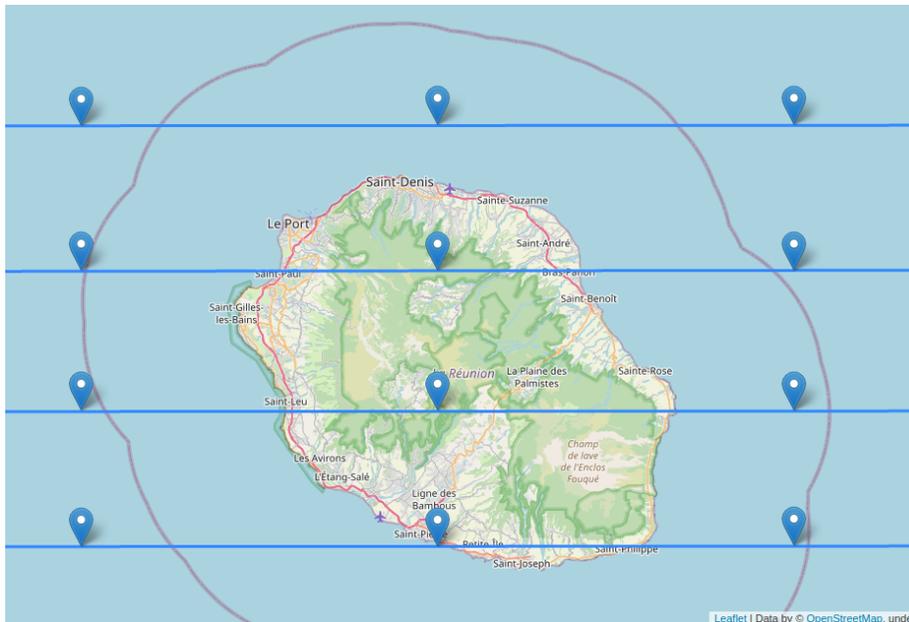


Figure 2: Passages du soleil au zénith à la Réunion du 25 au 28 novembre 2021

Sur la carte (voir figure 2), on a représenté du nord au sud, les droites de passage au zénith pour les 25/11 (au large de St Denis), 26/11 (à St Paul ou à Bras-Panon), 27/11 (à St Leu ou à Piton Ste Rose) et 28/11 (à St Pierre ou à St Philippe).

Les instruments d'observation du zénith

Pour vérifier les calculs et constater le passage du soleil au zénith en un lieu prévu à l'heure prévue, il faut se procurer ou construire un instrument dédié à cette vérification.

Les instruments utilisés habituellement en navigation (voir [2,4]) - octants, sextants - ne sont hélas pas efficaces pour mesurer des hauteurs proches du zénith. Un procédé optique beaucoup plus simple peut être utilisé.

Le style ou gnomon d'un cadran solaire, s'il est disposé parfaitement verticalement, suffit pour vérifier le zénith par la disparition de son ombre. Cependant si l'on veut une vérification précise, il faut construire un gnomon de grande hauteur et de petit diamètre.

On peut aussi utiliser la pesanteur du lieu pour disposer verticalement un tube suffisamment étroit et long, pour ne laisser passer les rayons du soleil qu'au moment précis du zénith.



Figure 3: Expérimentation réalisée le 24 novembre 2021 à St Denis de la Réunion

Les images (voir figure 3) ont été réalisées lors d'une première observation le 24 novembre 2021 à Saint Denis de la Réunion.

Des instruments anciens destinés à mesurer la distance zénithale d'étoiles reposaient sur ce principe d'un axe vertical et d'une lunette de visée. La visée n'est pas nécessaire dans le cas du soleil, sa lumière étant suffisante pour produire, selon le mécanisme utilisé, une ombre ou une tache lumineuse.

Conclusion

L'activité peut bien sûr être adaptée en fonction de lieu d'exercice, tant qu'il se situe dans la zone inter-tropicale, des Antilles à la Nouvelle-Calédonie en passant par la Polynésie Française ou Madagascar.

Les instruments de mesure peuvent être construits localement. N'hésitez pas à poster vos réalisations en commentaire de cet article !

Bibliographie

- [1] Ephémérides du soleil 2021, Almanach du Marin Breton. 2021.
- [2] Histoire universelle de la navigation. Tome 1, Les découvreurs d'étoiles, François Bellec. Editions de Monza
- [3] L'astronomie, Michel Marcelin. Hachette.
- [4] L'instrument de Marine, Jean Randier. Editions MDV.