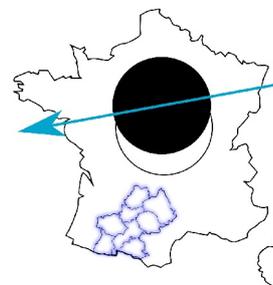


Objectifs du document

Dans le cadre de l'éclipse de Soleil du 20 mars 2015 (partielle en France), ce document propose aux enseignants des écoles et établissements scolaires :

- Une **présentation du phénomène** (horaires et circonstances de l'éclipse) ;
- Un **résumé des connaissances** niveau enseignant concernant le phénomène d'éclipse de Soleil et de phases de la Lune ;
- Des **fiches d'activité**, des **pistes**, des **conseils** autour de la problématique "**Comment observer l'éclipse ?**". Ces activités sont adaptables depuis l'école primaire jusqu'au lycée.



Note : Ce document a été rédigé initialement pour le département des Hautes-Pyrénées. Les circonstances de l'éclipse varieront légèrement sur le territoire métropolitain. Des indications seront fournies dans les chapitres correspondants pour connaître les circonstances locales du phénomène.

Sommaire

Objectifs du document	1
1.Présentation du phénomène	2
1.1.Présentation.....	2
1.2.Éclipses visibles depuis la France.....	2
1.3.Circonstances de l'éclipse du vendredi 20 mars 2015.....	3
2.Pourquoi observer l'éclipse à l'école	4
2.1.Les programmes scolaires.....	4
2.2.Les démarches d'investigation.....	5
3.Fiche connaissances enseignant : les éclipses	6
3.1.Les acteurs : Soleil, Terre et Lune.....	6
3.2.Distinction entre éclipse de Lune et éclipse de Soleil.....	6
3.3.Aspects des éclipses de Soleil.....	7
3.4.La "saison des éclipses".....	7
4.Pré-requis : les phases de la Lune	9
5.Comment observer l'éclipse : fiches d'activités	10
5.1.Sommaire synoptique des fiches.....	10
5.2.Modélisations du phénomène d'éclipse de Soleil.....	11
5.3.Préparation de l'observation de l'éclipse avec Stellarium.....	14
5.4.Comment ne PAS observer l'éclipse : méthodes à éviter.....	15
5.5.Observation à l'aide d'un sténopé.....	16
5.6.Observation à l'aide d'une écumoire (!).....	19
5.7.Observation à l'aide d'un sténopé à miroir.....	20
5.8.Observation par projection (Solarscope, Sunspotter, ...).....	21
5.9.Observation par projection (jumelles, lunette, ...).....	22
5.10.Observation à l'aide d'un filtre solaire.....	23
5.11.Mesure de la luminosité et de la température au cours de l'éclipse.....	24
5.12.Suivre l'éclipse sur Internet (webcams, photos satellites, ...).....	26
5.13.Éclipses et astronomie dans les Arts.....	29
5.14.Histoires d'éclipses.....	30
5.15.Concours "Découvrir l'Univers" 2015.....	31
6.Bibliographie – Sitographie	32
7.Annexes	33
7.1.Ligne des nœuds (précision).....	33

1.3. Circonstances de l'éclipse du vendredi 20 mars 2015

Cette éclipse aura lieu un jour d'école, le vendredi 20 mars 2015 et se déroulera sur toute la matinée.

Dans les Hautes-Pyrénées, la Lune commencera à "grignoter" le disque solaire à 9h12 (heure légale). Ce dernier sera alors dans une direction est-sud-est à 22° au-dessus de l'horizon.

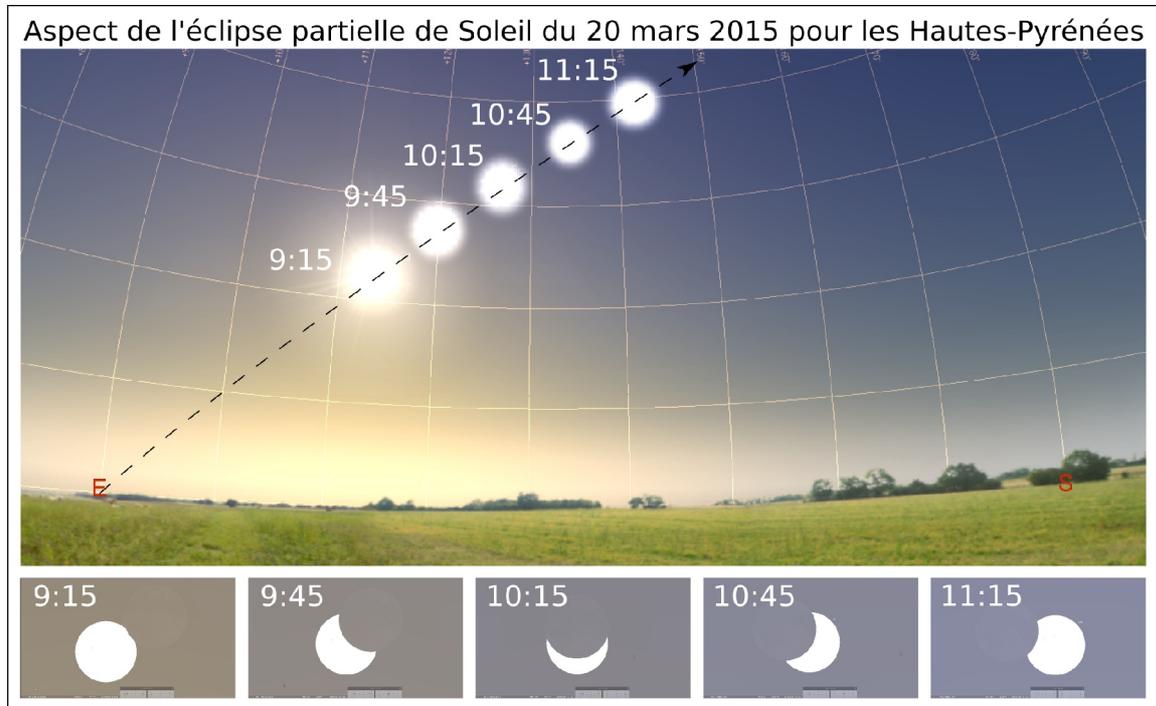
Le degré d'obscurat¹ du Soleil sera de 69% (maximum de l'éclipse) vers 10h17 (heure légale), dans la direction sud-est et à 32° au dessus de l'horizon.

Puis la Lune s'éloignera du centre du disque solaire jusque vers 11h28 (heure légale), moment de fin de l'éclipse (direction sud-sud-est, à 41° au-dessus de l'horizon).

Voici ci-dessous la simulation de l'éclipse (à l'aide du logiciel gratuit Stellarium²) montrant son aspect toutes les demi-heures. Cet aspect reste globalement valable pour tout le grand sud-ouest de la France. A noter que c'est en Bretagne que le degré d'obscurat¹ sera le plus fort pour la France, à 81.5%.

Note : l'observation du disque solaire éclipse nécessitera une météo favorable. Cependant, même en cas de mauvais temps, d'autres types d'activités pourront être réalisés (voir sommaire des fiches, page 10).

	Heure (H ^{tes} -Pyr.)	Direction	Hauteur sur l'horizon
Début de l'éclipse	9h12	E-S-E	22°
Max. de l'éclipse	10h17	S-E	32°
Fin de l'éclipse	11h28	S-S-E	41°



Pour connaître les **circonstances locales de l'éclipse pour votre localité** ailleurs dans l'Académie de Toulouse ou en France, deux possibilités s'offrent à vous :

- Utiliser le logiciel Stellarium comme indiqué ci-dessus, en prenant garde à bien modifier les coordonnées géographiques du lieu d'observation ;
- Se reporter au site de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides) sur lequel figurent une **note détaillée sur l'éclipse ainsi que des cartes** :

http://www.imcce.fr/langues/fr/ephemerides/phenomenes/eclipses/soleil/html/mars2015_generalite.php

1 On parle de "degré d'obscurat¹" pour désigner ainsi le pourcentage de la surface du disque solaire occulté par la Lune.

2 Logiciel à télécharger sur <http://stellarium.org/>

2. Pourquoi observer l'éclipse à l'école

2.1. Les programmes scolaires

Le phénomène des éclipses n'est pas mentionné en tant que tel dans les programmes d'enseignement de l'école primaire de 2008. Il apparaît dans le programme de Physique de 5^{ème} :

"Ombre propre. Ombre portée. / Description simple des mouvements pour le système Soleil – Terre – Lune. / Phases de la Lune, éclipses. / Interpréter le phénomène visible par un observateur terrestre dans une configuration donnée du système simplifié Soleil-Terre-Lune. "

Si les éclipses ne sont pas au programme du Cycle 3, c'est justement parce qu'il est rare d'en observer mais quand on a la chance de le faire, c'est une bien belle façon d'illustrer le ballet à trois corps Soleil-Terre-Lune. Le programme de Cycle III donne les clés essentielles pour appréhender de manière succincte le phénomène.

	Cours élémentaire deuxième année	Cours moyen première année	Cours moyen deuxième année
Le ciel et la Terre	<p>Lumières et ombres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Connaître les conditions d'obtention d'une ombre. - Savoir qu'à plusieurs sources lumineuses correspondent plusieurs ombres. <p>Vocabulaire : lumière, ombre, écran, source lumineuse.</p> <p>Le mouvement de la Terre (et des planètes) autour du Soleil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en lien l'évolution de la durée du jour au cours de l'année et les saisons. - Définir les termes équinoxe, solstice. - Savoir que le Soleil est une étoile, centre d'un système solaire constitué de planètes dont la Terre. - Différencier étoile et planète, planète et satellite (exemple : la Lune, satellite naturel de la Terre). <p>Vocabulaire : saison, planète, étoile, système solaire, satellite naturel, rotation, révolution.</p>	<p>Lumières et ombres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Savoir expliquer la variation de la forme de l'ombre d'un objet en fonction de la distance source lumineuse/objet et de la position de la source lumineuse. - Mobiliser ses connaissances sur Lumières et ombres pour expliquer et comprendre le phénomène d'alternance du jour et de la nuit. <p>Le mouvement de la Terre (et des planètes) autour du Soleil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Repérer et comprendre le mouvement apparent du soleil au cours d'une journée et son évolution au cours de l'année. - Connaître le sens et la durée de rotation de la Terre sur elle-même. - Savoir interpréter le mouvement apparent du Soleil par une modélisation. - Connaître la contribution de Copernic et Galilée à l'évolution des idées en astronomie. <p>Vocabulaire : solstice, équinoxe, sens et axe de rotation, inclinaison, points cardinaux.</p>	<p>Lumières et ombres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mobiliser ses connaissances sur Lumières et ombres pour comprendre et expliquer le phénomène de phases de la Lune. <p>Le mouvement de la Terre (et des planètes) autour du Soleil</p> <ul style="list-style-type: none"> - Différencier les planètes du système solaire (caractéristiques, ordres de grandeur) <p>Vocabulaire : planète gazeuse / rocheuse.</p> <p>Le mouvement de la Lune autour de la Terre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Connaître les différentes phases de la Lune, savoir que ces phases se reproduisent toujours dans le même ordre et la même durée. - Savoir que les phases de la Lune s'expliquent par la révolution de la Lune autour de la Terre. - Comprendre les phases de la Lune par une modélisation. <p>Vocabulaire : nouvelle lune, pleine lune, premier / dernier quartier.</p>

En outre, l'observation d'un phénomène naturel aussi rare qu'une éclipse de Soleil (même partielle) peut pleinement se justifier et s'intégrer dans une démarche d'investigation telle que formulée dans le nouveau **Socle commun de connaissances, de compétences et de culture de 2014** (extraits) :

Domaine 1: les langages pour penser et communiquer

- Utiliser des langages scientifiques

L'élève acquiert les bases de langages scientifiques qui lui permettent de formuler et de résoudre des problèmes, de traiter des données dans toutes les disciplines.(...)

Il utilise des représentations d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels, comme les schémas, croquis, maquettes, patrons, figures géométriques...

Domaine 4: l'observation et la compréhension du monde

L'élève est curieux, se pose des questions, et sait rechercher des réponses pertinentes. Il est familiarisé avec la démarche scientifique qui se donne pour objectif d'expliquer le monde (...) selon une approche rationnelle (...).

Cette démarche, mise en valeur par la pratique de l'observation et de l'expérimentation, développe à la fois l'esprit critique et la rigueur, le goût de la recherche et de la manipulation, ainsi que la curiosité et la créativité.

- Se poser des questions et chercher des réponses

L'élève sait observer et décrire des phénomènes naturels; il s'interroge sur leurs causes. (...)
 L'élève s'empare de la question ou du problème à résoudre. Il sait extraire, organiser et traiter l'information utile. Il manipule, tâtonne, explore plusieurs pistes, fait des essais, formule des hypothèses et émet des conjectures.
 - Expliquer, démontrer, argumenter
 L'élève a appris à manipuler, mesurer, calculer, expérimenter, argumenter et mobiliser différentes formes de raisonnement (par analogie, par déduction logique...) en fonction des besoins. Il sait émettre, tester et éprouver des hypothèses.
 L'élève sait exploiter et communiquer les résultats de mesures ou de recherches en utilisant un langage précis qui repose aussi sur la maîtrise des unités, des grandeurs et la notion d'incertitude.

Enfin, l'observation de ce phénomène devra amener les élèves à comprendre certaines règles de sécurité élémentaires : de manière naturelle, quiconque dirige ses yeux vers le Soleil va rapidement détourner le regard. Cependant, le jour de l'éclipse, le soleil sera au cœur de toutes les attentions et il est important de bien préparer cet événement : les moyens d'observation utiliseront exclusivement des filtres adaptés ou bien des moyens indirects (qui ne font pas orienter le regard vers le Soleil) et qui permettront de suivre pleinement et sans risque le phénomène. L'objet de ce dossier pédagogique est justement de détailler ces méthodes d'observation de l'éclipse en toute sécurité (fiches chapitre 5).

Rappel de sécurité élémentaire

Ne **JAMAIS** regarder directement le soleil partiellement éclipsé (éclipse annulaire ou phase partielle d'une éclipse), sous peine de **dommages irréversibles de l'œil.**



2.2. Les démarches d'investigation

On veillera à dérouler les activités proposées au chapitre 5 en suivant les principes de la démarche d'investigation.

Une structuration possible de cette démarche peut, par exemple, prendre la forme suivante (à adapter selon le niveau des élèves) :

1) On se demande ?
 ... données initiales, problème, ... menant à une question productive nécessitant une investigation ...

2) On pense ☺○○○
 ... formuler une/des hypothèse(s) ...

3) On essaie ✋
 ... mettre en place l'investigation : expérimentation, recherche documentaire, modélisation, observation, tri, classement, ...

4) On remarque 👓
 ... interprétation de l'investigation menée en 3) ...

5) On sait ☺★
 ... conclusion, structuration ... qui peuvent être suivis d'un entraînement ou d'une remise en œuvre.

Approfondissement : "La démarche d'investigation, comment faire en classe ?" par Edith Saltiel.

<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe>

3. Fiche connaissances enseignant : les éclipses

3.1. Les acteurs : Soleil, Terre et Lune

Avant de décrire le phénomène d'éclipse, il est important d'appréhender les tailles et distances comparées du Soleil, de la Terre et de la Lune :

	Diamètre
Soleil	1 392 000 km
Terre	12 756 km
Lune	3 475 km

Distance Terre-Soleil (moyenne) : 149 597 871 km

Distance Terre-Lune (moyenne) : 383 398 km

Calculons le rapport de taille entre le Soleil et la Lune : $RT_{S-L} = 1\,392\,000 / 3\,475 = 400$

Calculons maintenant le rapport entre les distances Terre-Soleil et Terre-Lune : $RD_{S-L} = 149\,597\,871 / 383\,398 = 390$

On constate que la Lune est environ **400 fois plus petite que le Soleil**, mais qu'elle est aussi environ **400 fois plus proche de nous** que ne l'est le Soleil : cette configuration exceptionnelle nous fait percevoir l'image du Soleil de la même taille que celle de la Lune. On dit que les diamètres angulaires des deux astres sont comparables.

Dans la réalité, ces diamètres angulaires varient légèrement puisque les distances Terre-Lune et Terre-Soleil varient (en raison des orbites elliptiques de la Lune et de la Terre. On comprend donc que, sous certaines conditions, la Lune puisse cacher le disque solaire. En revanche, dans certains cas, la Lune sera trop éloignée de la Terre pour cacher entièrement le disque solaire (Illustration 1).

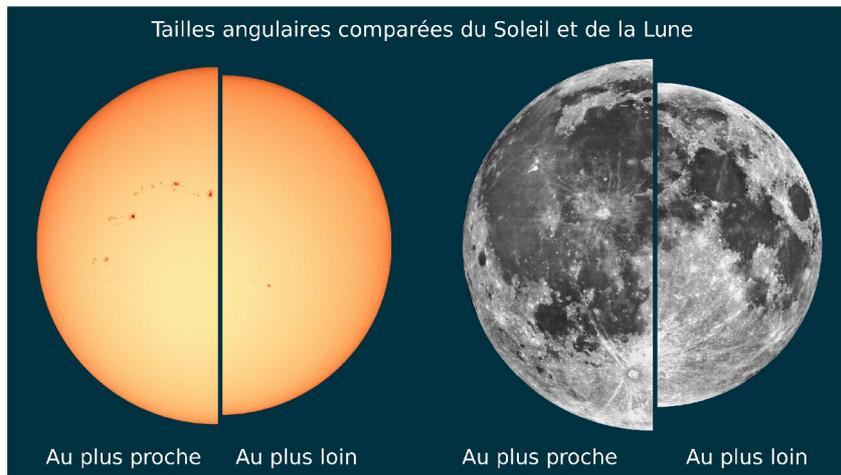


Illustration 1: Tailles angulaires comparées du Soleil et de la Lune en fonction des distances maximum et minimum Terre-Soleil et Terre-Lune.

3.2. Distinction entre éclipse de Lune et éclipse de Soleil

On désigne par **éclipse de Lune** le passage de la Lune dans le cône d'ombre portée de la Terre. Lors d'une éclipse de Lune, cette dernière ne disparaît pas totalement mais revêt un aspect rougeâtre. En effet, une partie de la lumière solaire est rougie par l'atmosphère terrestre (qui diffuse la lumière bleue) et suffisamment déviée (par phénomène de réfraction) pour atteindre la Lune (Illustration 2).

On désigne par **éclipse de Soleil** le phénomène lors

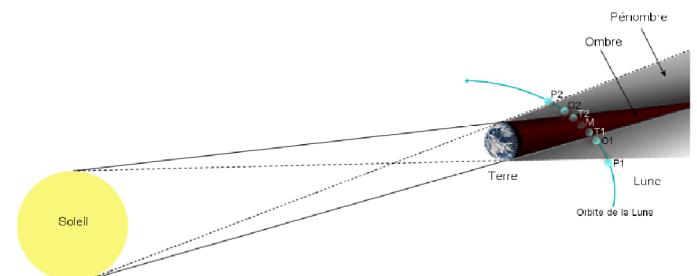


Illustration 2: Représentation schématique d'une éclipse de Lune (échelles non respectées).

duquel la Lune cache (en partie ou totalement) le Soleil. On devrait plus précisément parler d'**occultation du Soleil** par la Lune (Illustration 3).

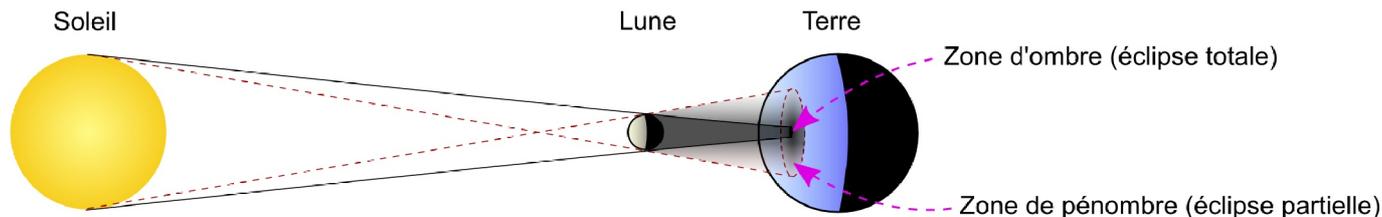


Illustration 3: Représentation schématique d'une éclipse de Soleil (échelles non respectées).

Sur cette même illustration, on distingue la zone d'ombre portée par la Lune qui se limite sur Terre à une petite surface (quelques dizaines à quelques centaines de km) d'où le Soleil se verra totalement occulté par la Lune (éclipse totale).

En revanche, la Lune occultera seulement une partie du Soleil depuis une zone plus vaste nommée zone de pénombre (éclipse partielle). Enfin, depuis une partie de la Terre, le décalage Soleil-Lune sera tel qu'aucune éclipse, même partielle, ne sera visible.

3.3. Aspects des éclipses de Soleil

L'illustration 4 montre les différents aspects d'éclipses de Soleil, vus depuis la Terre, selon différentes configurations Terre-Lune :

- L'éclipse totale, vue depuis la zone d'ombre portée de la Lune (couronne solaire visible)
- L'éclipse annulaire, lorsque la distance Terre-Lune est trop importante pour que l'ombre de la Lune atteigne la surface de la Terre.
- L'éclipse partielle, vue depuis une zone de pénombre. Lors de toute éclipse totale ou annulaire, il y a forcément une phase partielle.

Notons que les échelles de tailles et de distances ne sont pas respectées sur ces illustrations.

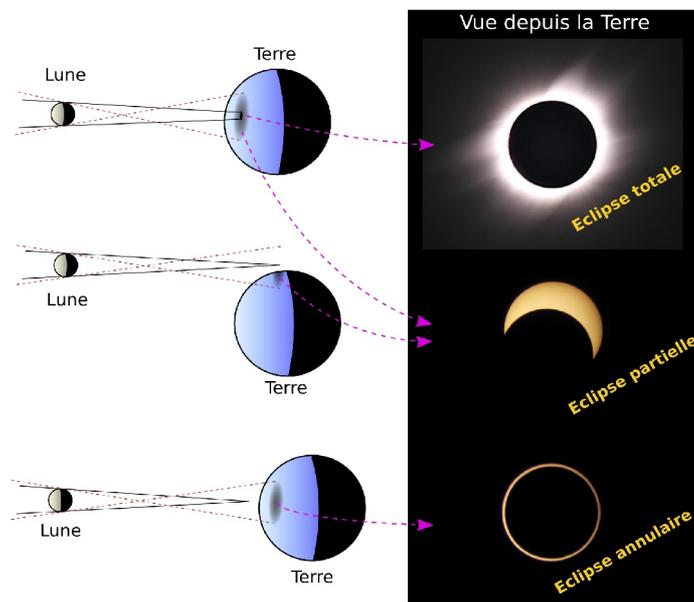


Illustration 4: Aspects de différentes éclipses de Soleil.

3.4. La "saison des éclipses"

Sachant que la durée de révolution de la Lune autour de la Terre est d'environ 29 jours, on pourrait se demander pourquoi il n'y a pas une éclipse de Soleil à chaque nouvelle Lune. De fait, lorsqu'on consulte une liste des éclipses de Soleil, on se rend compte qu'elles sont séparées d'environ 6 mois (tableau ci-dessous).

Date	Type
20 mars 2015	Totale
13 septembre 2015	Partielle
9 mars 2016	Totale
1 septembre 2016	Annulaire
26 février 2017	Annulaire
21 août 2017	Totale
15 février 2018	Partielle
13 juillet 2018	Partielle
11 août 2018	Partielle
6 janvier 2019	Partielle
2 juillet 2019	Totale
26 décembre 2019	Annulaire

Ce phénomène s'explique par l'inclinaison du plan de l'orbite lunaire P_L par rapport au plan de l'orbite terrestre (ou plan de l'écliptique, noté P_E). Cette inclinaison d'environ 5° est suffisante pour que, la majorité du temps, le cône d'ombre de la Nouvelle Lune n'atteigne pas la surface de la Terre mais passe soit au-dessus, soit au-dessous.

Pour qu'il y ait éclipse, il est nécessaire que la ligne d'intersection (nommée ligne des nœuds et notée LdN) entre les deux plans P_L et P_E soit dirigée (à quelques degrés près) vers le Soleil. Ce phénomène intervient globalement tous les six mois (Illustration 5) : on parle alors de "saison des éclipses", au cours de laquelle on a généralement une voire deux éclipses de Soleil et de Lune.

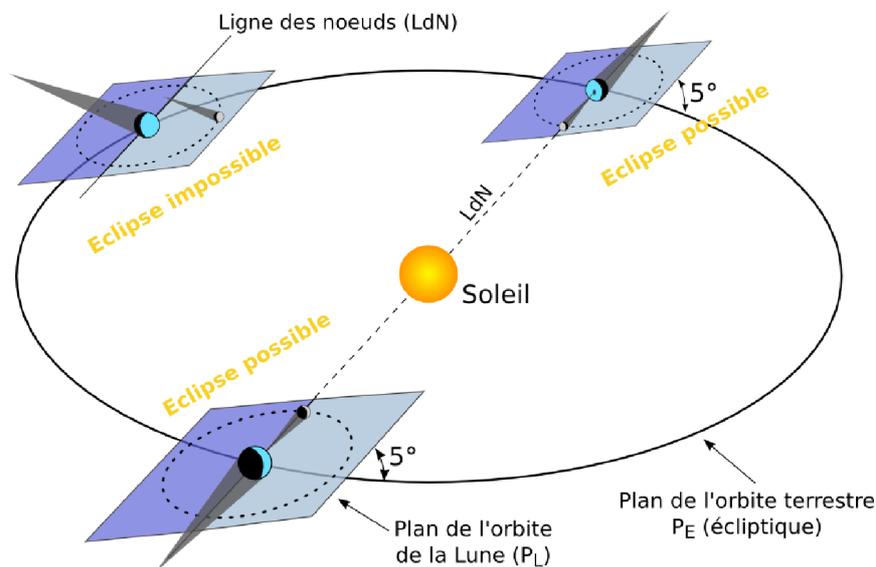


Illustration 5: Inclinaison du plan P_L de l'orbite de la Lune et ligne des nœuds (ligne pointillée).

Note : Une précision au paragraphe ci-dessus est apportée en annexe (chapitre 7.1)

En outre, les schémas présentés jusqu'à présent sont trompeurs puisque aucune échelle de taille et de distance n'a été respectée. L'illustration 6, elle, respecte les échelles et montre bien que l'ombre de la Lune est un très fin "pinceau" : il suffit effectivement que la Lune soit légèrement décalée par rapport au plan de l'écliptique pour qu'aucune ombre ne se projette sur la Terre. A l'échelle de cette illustration 6, le Soleil serait situé à 400 fois la distance Terre-Lune, soit à 56 mètres et aurait environ 50 cm de diamètre.

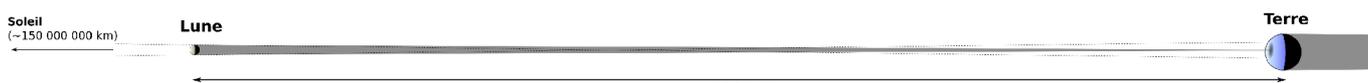


Illustration 6: Représentation schématique d'une éclipse de Soleil (échelles respectées).

On peut également se représenter le système Terre-Lune à l'aide de petites sphères : si la Terre avait la taille d'une balle de ping-pong, la Lune aurait celle d'une bille de verre ($\sim 1\text{cm}$ de diamètre) et serait située à environ 1m de la Terre.

4. Pré-requis : les phases de la Lune

Aux cycles I et II, l'éclipse du 20 mars 2015 pourra être abordée en tant qu'événement exceptionnel dont l'explication pourra se limiter au passage de la Lune devant le Soleil.

Au cycle III en revanche ainsi qu'au collège, avant d'aborder le phénomène d'éclipse proprement dit, et afin d'y mettre davantage de sens, les élèves pourront aborder le mouvement de la Lune autour de la Terre et les phases de la Lune.

Une proposition de progression a été faite par l'équipe Sciences du département du Lot à l'occasion de l'Année Mondiale de l'astronomie en 2009. Cette progression en 4 séances est disponible en ligne à l'adresse ci-dessous. En voici le résumé :

LE MOUVEMENT DE LA LUNE AUTOUR DE LA TERRE

La Lune, notre satellite naturel. Quand peut-on voir la Lune ? Sous quels aspects ?

À partir de l'observation et du questionnement des enfants sur la présence de la Lune pendant la journée et des différents aspects de celle-ci au cours du mois, chercher à comprendre pourquoi la Lune se présente sous différents aspects.

Recueil de représentations initiales.

Modélisation en deux temps : élèves « intégrés » à la maquette puis « extérieurs » à celle-ci.

Confrontation au savoir établi.

Prolongement (voir fiche n°6)

Maquette à l'échelle Terre/Lune (travail en mathématique sur les grands nombres, les échelles et les proportions)

Fiches n°5 et n°6 + annexes à télécharger :

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lotec/Sciences/publierCDromAMA/page2.html>

Cette progression permettra d'aboutir à une maquette telle que celle de l'illustration 7, permettant aux élèves de faire le lien entre la position de la Lune autour de la Terre et l'aspect de la Lune vue depuis la Terre, au cours d'une lunaison.

Cette maquette permet d'observer qu'à certains moments (lors de la nouvelle Lune), notre satellite peut cacher le Soleil : il y a éclipse de Soleil. Un apport documentaire (Illustrations 5 et 6 par exemple) permettra de faire comprendre pourquoi ce phénomène ne se reproduit pas à chaque lunaison.

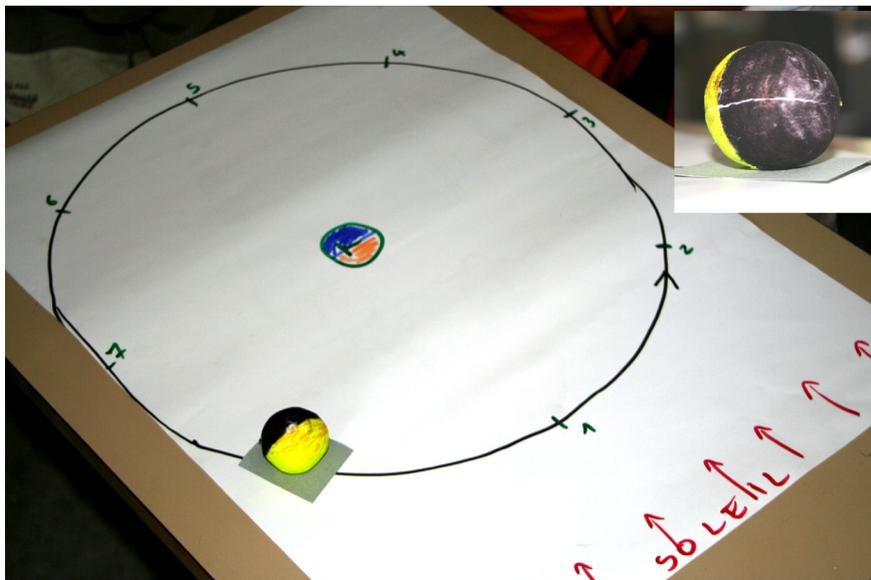


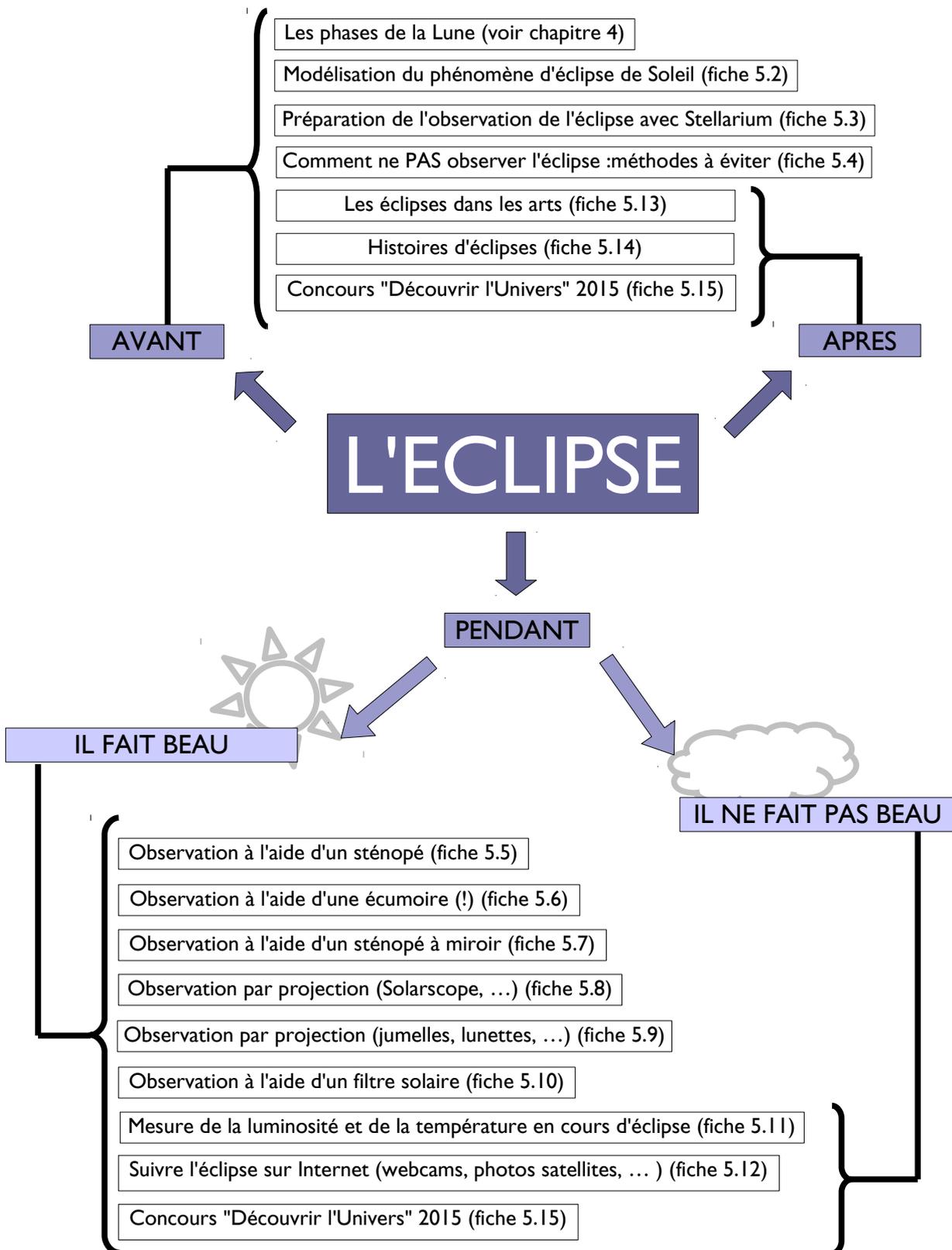
Illustration 7: Exemple de maquette Terre-Lune permettant d'observer la phase en fonction de la position de la Lune autour de la Terre (en médaillon : le dernier croissant tel que vu de la Terre pour cette même position) – École d'Aragnouet.

5. Comment observer l'éclipse : fiches d'activités

5.1. Sommaire synoptique des fiches

Afin de guider la lecture des différentes fiches d'activités, voici une vue synoptique des fiches, selon le moment (avant, pendant ou après l'éclipse), et selon ... la météo (où l'on voit que des activités pourront être réalisées même si la météo est mauvaise le jour de l'éclipse).

Note : il ne s'agit pas, bien entendu, de réaliser **toutes** les activités proposées : **un choix doit être fait** en fonction des objectifs poursuivis. En particulier les chapitres 5.5 à 5.7 développent des activités essentielles pour l'observation.



5.2. Modélisations du phénomène d'éclipse de Soleil

Un pré-requis à cette activité pour les élèves est simplement de savoir que la Lune tourne autour de la Terre, et qu'elle passe parfois devant le Soleil.

a) Superposition Lune-Soleil

L'objectif de cette modélisation est de faire comprendre aux élèves comment un astre de petite taille (la Lune) peut en cacher un de plus grande taille (le Soleil).

La situation déclenchante peut être par exemple :

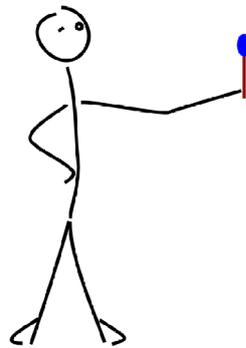
- une photo d'éclipse annulaire (montrant que les diamètres apparents de la Lune et du Soleil sont semblables ;
- une simulation Stellarium à la date d'une éclipse de Soleil : la silhouette de la Lune est visible et l'on constate qu'elle a la même taille apparente que le Soleil. Une petite recherche (dictionnaire) permettra de trouver leurs diamètres réel (en km) et de constater qu'ils sont en revanche très différents !

Comment alors une "petite" Lune peut-elle cacher un "gigantesque" Soleil ?!

Après émissions de leurs idées par les élèves, on peut par exemple proposer à de petits groupes d'élèves le défi suivant : superposer un petit disque de carton de quelques cm de diamètre (représentant la Lune) au contour du Soleil dessiné au tableau (Illustration 8).

Plusieurs constatations pourront être faites par les élèves :

- Il est nécessaire de fermer un œil pour n'avoir qu'un seul point de vue ;
- en pliant le bras (en rapprochant la Lune), le Soleil est davantage recouvert ;
- en étendant le bras (en éloignant la Lune), le Soleil n'est plus totalement recouvert ;
- pour une même position, en modifiant la taille de la Lune, le Soleil est plus ou moins recouvert.



Une fois la bonne position trouvée pour chacun, on pourra simuler une éclipse en faisant passer la Lune devant le Soleil, l'observateur représentant la Terre.

Illustration 8: Superposition apparente d'un disque (Soleil) par un autre (Lune).

b) Modélisation Soleil-Terre-Lune à l'échelle

On peut choisir d'approfondir la question précédente en proposant de réaliser un modèle Soleil-Terre-Lune à l'échelle qui permettra aux élèves (dont l'œil tient le rôle de la Terre) d'occulter le Soleil grâce à la Lune.

Ceci suppose un travail sur les grands nombres qui constituent les éléments de ce système (Illustration 9)

	Réel En km (arrondi)	A l'échelle 1 000 000 km Correspondent à 1m	A l'échelle Distance terre-soleil Correspond à 100 m
Diamètre du Soleil	1 400 000	1,4 m	93 cm
Distance Terre-Soleil	150 000 000	150 m	100 m
Diamètre de la Terre	12 800	1,28 cm	9 mm
Distance Terre-Lune	380 000	38 cm	25 cm
Diamètre de la Lune	3 500	3.5 mm	2.5 mm

Illustration 9: Diamètres et distances du système Soleil-Terre-Lune à deux échelles différentes.

La première échelle proposée (colonne du milieu) est la plus simple : un mètre dans la maquette correspondra à un million de kilomètres dans la réalité (donc 1mm correspondra à 1000km). Il s'agira donc de faire rechercher aux élèves les tailles et distances respectives des astres.

On aboutira au modèle suivant nécessitant tout de même 150m d'étendue : le soleil pourra être peint sur une grande feuille sous la forme d'un disque de 1.40m et la Lune placée au bout d'un cure-dents sous la forme d'une boule de pâte à modeler de 3 à 4mm de diamètre placée à l'extrémité d'un tube de 38cm de long. La Terre n'est autre que l'œil de l'observateur (12mm étant la taille approximative de l'iris, à l'ombre du tube).

On peut déjà placer côte à côte les représentations des trois astres et mettre en évidence l'immense taille du Soleil, 110 fois plus grand que la Terre et 400 fois plus grand que la Lune.

Puis en se plaçant à 150m du Soleil, l'observateur muni de son tube pourra occulter l'image du Soleil avec la petite sphère représentant la Lune (Illustration 10).

Il est possible d'adopter une échelle légèrement différente où la distance Soleil-Terre mesurera 100m. Cette nouvelle échelle (colonne de droite dans l'illustration 9) nécessitera un calcul de proportionnalité.

[activité inspirée de l'article de Filomena Coscarella - Cahiers Clairault n°131]

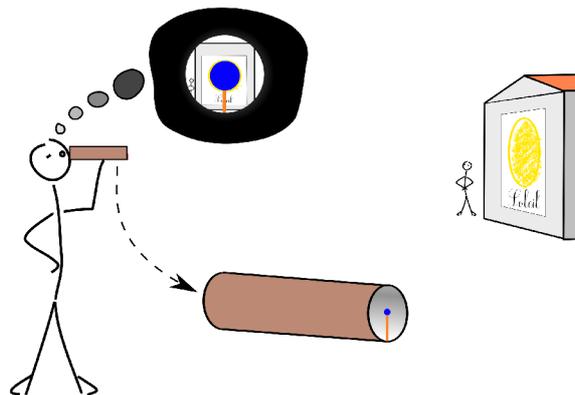


Illustration 10: Simulation d'une éclipse de Soleil, à l'échelle. La Lune est représentée par une petite sphère de 3 à 4mm (en bleu) et occulte un Soleil de 1.40m placé à 150m.

c) Modélisation Terre-Lune à l'échelle

Il est également possible de modéliser l'ombre de la Lune sur la Terre en utilisant le "vrai" Soleil comme source lumineuse (de préférence bas sur l'horizon). Pour cela, en se basant sur les tailles et distances du système Soleil-Terre-Lune, on observera que :

- la Lune est environ 3 à 4 fois plus petite que la Terre;
- la Lune est éloignée de la Terre d'environ 30 diamètres terrestres.

Il suffira alors de choisir un globe terrestre puis de trouver une sphère 3 à 4 fois plus petite (représentant la Lune) que l'on placera à une distance équivalente à 30 diamètres du globe, à l'extrémité d'une baguette par exemple. Relier Terre et Lune par un fil de longueur adéquate facilitera le positionnement.

Ainsi, un globe de 10cm pour la Terre, et une Lune de 3cm placée à 3m permet de simuler de manière réaliste une éclipse de Soleil avec ombre et pénombre visibles (illustration 11). On pourra remarquer que la zone d'ombre a une étendue limitée sur Terre : cela confirme le fait qu'une éclipse ne soit pas observable depuis l'ensemble d'un hémisphère. En outre, étant donnée la précision requise, les élèves auront vite compris pourquoi une éclipse est un phénomène rare !



Illustration 11: Simulation réaliste de l'ombre de la Lune lors d'une éclipse de Soleil (Image CLEA).

[activité issue de l'article de Jean-Luc Fouquet et Pierre Causeret - Cahiers Clairault n°131]

[Voir aussi une fiche d'activité identique : http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lotec/Sciences/publierCDromAMA/Fiches%20PDF/Fiche06_atelier_AMA_Terre_Lune2.pdf]

d) Modélisation : pourquoi ne voit-on pas l'éclipse totale depuis la France ?

En utilisant l'illustration p.13, à imprimer et découper, on observera au préalable avec les élèves la carte de l'éclipse, où la bande de totalité est bien visible, puis on réalisera le dispositif représenté sur cette même illustration, en précisant aux élèves que les échelles ne sont pas respectées.

On pourra alors demander aux élèves de positionner correctement la Lune (sur un support mobile) et le Soleil afin d'obtenir une éclipse totale depuis la bande de totalité (orifice du haut, à proximité de l'Islande).

On leur demandera alors de prévoir, selon eux, (et de dessiner, en justifiant leur réponse) ce qu'ils verront en plaçant leur œil sur l'orifice situé sur la France, puis sur celui situé au Gabon. Les réponses pourront être validées aussitôt en réalisant l'observation : on aura bien une éclipse partielle vue depuis la France... et aucune éclipse vue depuis le Gabon. Les distances différentes de la Lune et du Soleil modifient les perspectives, même pour ce modèle ne respectant pas les échelles.

Éclipse totale du Soleil le 20 mars 2015

Copyright P.Rocher - IMCCE - Observatoire de Paris

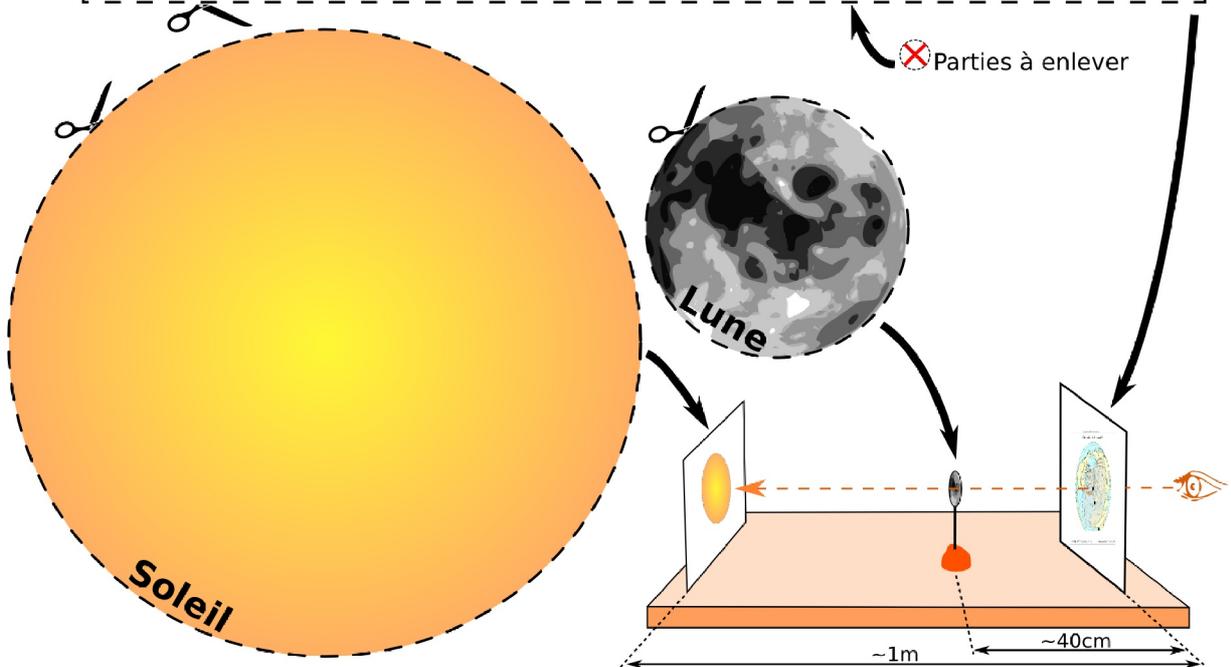
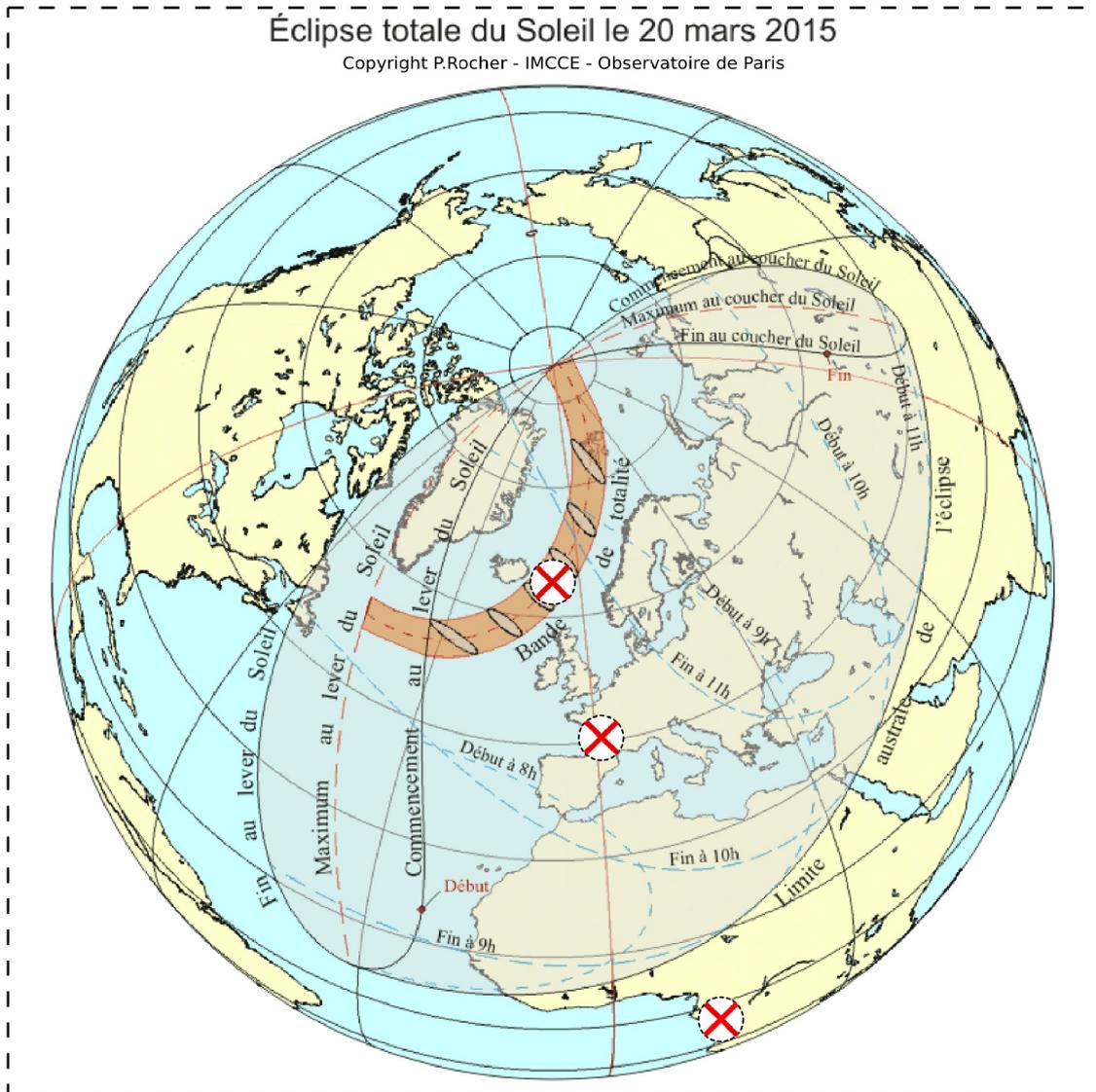


Illustration 12 Modèle à imprimer, découper puis assembler comme indiqué (distances approximatives).

5.3. Préparation de l'observation de l'éclipse avec Stellarium

L'objectif de cette activité est de vérifier à l'avance que l'éclipse sera bien visible depuis le lieu choisi (qu'elle ne sera pas cachée par un bâtiment, un arbre, ...).

On propose d'utiliser une version modifiée du **bâton de Jacob** (ou "arbalétrille"). Cet instrument inventé probablement au XIV^{ème} siècle (Illustration 13) servait à déterminer l'angle séparant deux astres ou bien l'angle entre un astre et l'horizon (d'où, appliqué à l'étoile polaire, on pouvait en déduire la latitude du lieu).



Illustration 13: Utilisation d'un bâton de Jacob.

Le logiciel Stellarium fournit les informations nécessaires pour déterminer la position du Soleil tout au long de l'éclipse. En affichant la date de l'éclipse puis en cliquant sur le Soleil, apparaissent diverses données chiffrées en haut à gauche de l'écran (Illustration 14). La ligne intitulée "Az/Haut" fournit l'azimut (c'est à dire la direction dans le plan horizontal par rapport aux points cardinaux) et la hauteur (c'est à dire l'angle entre l'horizon et le centre du disque solaire). Ces deux valeurs sont fournies en degrés, minutes, secondes d'arc.

Concernant l'azimut, on pourra se contenter de repérer sur une vue générale au jour de l'éclipse la direction du Soleil à un instant donné (exemple : direction Est-Sud-Est au début de l'éclipse, vers 9h15). Cette direction pourra ensuite être facilement reportée sur le lieu d'observation à l'aide d'une boussole.

C'est pour visualiser la hauteur du Soleil à un instant donné que l'on pourra utiliser une version simplifiée du bâton de Jacob (Illustration 15). En faisant glisser un bâton vertical le long d'une règle tenue horizontalement, il sera possible de viser différentes hauteurs. Le tableau 16 donne la correspondance entre la hauteur du Soleil (en degrés) et la distance à laquelle maintenir le bâton vertical (qui doit ici mesurer 10 cm).

Par exemple, le jour de l'éclipse vers 9h15, la hauteur du Soleil sera égale à 22° environ. Pour visualiser cette hauteur avec le dispositif, il faut tenir le bâton sur la règle horizontale à 25 cm de l'œil (et dans la direction E-S-E) : les élèves pourront alors vérifier la visibilité du Soleil à cet instant de l'éclipse.

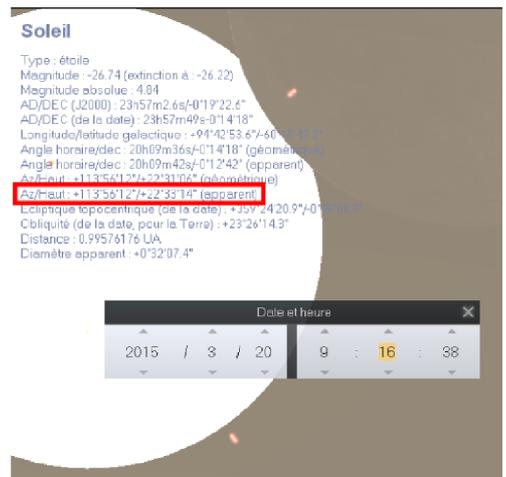


Illustration 14: Capture d'écran de Stellarium.

En outre, une simulation en temps réel par Stellarium permettra aux élèves de réaliser le caractère lent du phénomène.

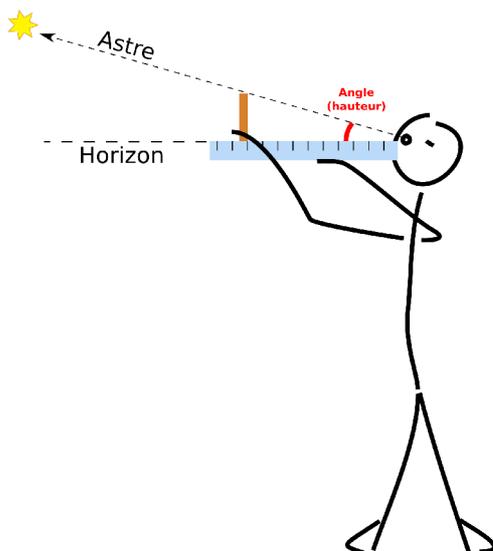


Illustration 15: Version simplifiée du bâton de Jacob.

Hauteur du Soleil (en degrés)	Distance Œil-bâton vertical (en cm)
14	40
16	35
18	31
20	27
22	25
24	22
26	21
28	19
30	17
32	16
34	15
36	14
38	13
40	12
42	11
44	10

Illustration 16: Tableau de correspondance angle / distance œil-bâton vertical pour un bâton de 10cm.

5.4. Comment ne PAS observer l'éclipse : méthodes à éviter

Afin d'observer directement le Soleil partiellement éclipsé, il est indispensable de ne laisser arriver jusqu'à l'œil qu'une part infime de la lumière solaire. Ceci **interdit toute utilisation non filtrée de jumelles, lunettes, télescopes !**

On considère qu'un filtre solaire idéal laissera passer seulement 0.001% du flux lumineux (soit 1/100 000^{ème}), ce qui correspond à une densité de 5 (notation utilisée en optique puisque $10^{-5} = 1/100\ 000$)

Note : Des méthodes d'observation recommandées figurent à partir du chapitre 5.5.



Les négatifs photographiques voilés ou les "radios" médicales : théoriquement, un film photographique noir et blanc argentique voilé permet de filtrer convenablement la lumière du Soleil grâce à ses sels d'argent. Néanmoins, il est très difficile de connaître le taux de filtration qui peut n'être pas suffisant. En outre, les films couleurs ou diapositives voilés ne contiennent pas de sels d'argent mais seulement des colorants qui ne filtrent pas le rayonnement infrarouge, d'où un danger notoire !



Les verres fumés à la flamme d'une bougie : procédé antique et ne procurant absolument pas la protection nécessaire !



La réflexion de l'image sur une surface liquide ou sur une vitre : On peut lire des récits relatant l'observation du Soleil partiellement éclipsé en regardant son reflet dans l'eau d'une bassine (comme pendant l'éclipse du 19 avril 1912 sur Paris). Ce procédé ne filtre pas suffisamment le flux lumineux puisque un reflet sur l'eau laisse passer environ 2% de la lumière (4% sur le verre), soit un facteur de 1/50, ce qui reste 2000 fois trop lumineux que le facteur "idéal" de 1/100 000 !



Une superposition de lunettes de soleil : comme ci-dessus, un verre de lunettes de soleil ne filtre pas suffisamment ... il faudrait en superposer un grand nombre pour espérer atteindre le taux voulu.



Les CD-ROM ou disquettes : ils ne sont pas conçus pour un usage optique et les procédés industriels peuvent varier et ne pas fournir un taux de filtration adéquat.



Les filtres gélatine (type filtre photo Wratten[®]) : le substrat gélatine ne filtre pas correctement le rayonnement infrarouge, d'où un danger réel !

Rappel de sécurité élémentaire

Ne **JAMAIS** regarder directement le **soleil partiellement éclipsé** (éclipse annulaire ou phase partielle d'une éclipse), sous peine de dommages irréversibles de l'œil.



5.5. Observation à l'aide d'un sténopé

a) Apport théorique

Un sténopé est un dispositif très simple, forme primitive d'appareil photo : il s'agit d'un trou de très petit diamètre réalisé sur la face d'une boîte. Par projection (trajet rectiligne de la lumière) une image inversée du paysage ou d'une source lumineuse va se former sur la face opposée au trou (Illustration 17).

Du fait de la petite taille du trou, l'image formée sera généralement assez peu lumineuse... sauf si la source est très intense comme le Soleil : on aura alors une image aisément observable.

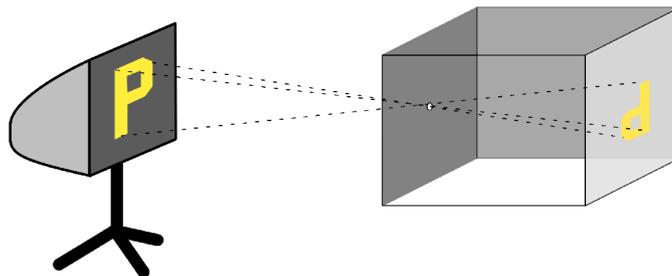


Illustration 17: Principe de formation d'une image inversée par un sténopé.

L'un des principaux avantages du sténopé est que l'image est formée à l'opposé du Soleil, on ne regarde donc pas directement le Soleil.

Quelques constatations peuvent être faites par expérimentation (toujours selon une démarche d'investigation) concernant le diamètre du trou et la distance de projection :

- Plus on augmente le diamètre du trou, plus l'image sera lumineuse... mais en contrepartie elle deviendra plus floue. A l'inverse, si l'on désire une image nette, on aura intérêt à diminuer le diamètre du trou (dans une certaine limite, l'image devenant trop ténue).
- Plus on augmente la distance entre le trou et la surface (la feuille) sur laquelle est projetée l'image, plus cette dernière est grande. Dans le cas du Soleil, pour une distance trou-image de 1m, le diamètre du Soleil sur la feuille sera d'environ 1cm. Par proportionnalité si l'on souhaite par exemple un Soleil de 3cm de diamètre il sera nécessaire d'éloigner la feuille de 3m, etc...
- Pour une distance de projection d'environ 1m, ne pas dépasser quelques mm de diamètre pour le trou (voir tableau page 18)

b) Activités élèves

Les deux premières activités sont réalisables dès les cycles I ou II afin de prendre en main "l'instrument" sténopé.

La troisième activité peut être proposée au cycle III et permet de davantage entrer dans le principe du sténopé.

Que voit-on avec un sténopé ? (étape 1)

Cette petite activité, réalisable dès le cycle I ou II, reprend les étapes essentielles d'une démarche d'investigation : "On se demande (données initiales, problème), On pense (hypothèse), On essaie (expérimentation), On sait (interprétation, conclusion)"

1. On se demande :

L'enseignant montre un sténopé (un carton avec un petit trou – illustration 18) et demande aux élèves ce qu'il va se passer si on le met au Soleil.

2. On pense :

Les élèves formulent leurs représentations initiales en utilisant le vocabulaire adapté (éclairé, lumière, ombre, ...), avec l'aide de l'enseignant si besoin.

3. On essaie :

Les élèves testent (un sténopé pour deux élèves par exemple). Ils voient une tache de lumière au milieu de l'ombre du carton lorsqu'ils orientent correctement le carton (face à la source lumineuse).

4. On sait : la lumière ne passe pas à travers le carton (il est opaque) mais elle passe à travers le trou. Quand on éclaire le sténopé, on voit l'ombre du carton et la lumière qui passe à travers le trou.



Illustration 18: Sténopé réalisé dans un carton.

Que voit-on avec un sténopé ? (étape 2)

1. On se demande :

Que se passe-t-il si l'on expose le sténopé à la lumière d'une lampe puissante (lampe halogène, projecteur à LED, ...) ?

2. On pense :

Les élèves formulent leurs représentations initiales en utilisant le vocabulaire adapté (lumière, ombre, ...)

3. On essaie :

On voit encore une tache de lumière au milieu de l'ombre du carton. On teste de nouveau au Soleil et on s'aperçoit que la tache de lumière est différente.



sténopé à 1 trou (halogène)



sténopé à 2 trous (soleil)

4. On sait : la forme de la tache lumineuse dépend de la source de lumière. Avec le Soleil, on voit un rond (disque) ; avec une lampe halogène, on voit un rectangle (réflecteur) avec un trait très lumineux (ampoule).

A ce stade, les élèves sont prêts à observer l'éclipse de Soleil avec un sténopé : s'ils observent un croissant à la place d'un disque, ils doivent en déduire que le Soleil n'est plus rond ! Ils devront alors répondre à une autre question : pourquoi le Soleil avait-il la forme d'un croissant ? ...

Comment observer une éclipse sans danger ?

Cette démarche sera davantage adaptée au cycle III.

1. Questionnement : « Comment observer une éclipse de Soleil sans danger ? »

Recueillir les représentations initiales des élèves. Discuter des dangers liés à l'observation du Soleil.

2. Émission d'hypothèses à partir d'une photo

Photo de la projection de l'ombre de mains au Soleil (Illustration 19)

- cette photo a été prise lors d'une éclipse partielle;
- on voit des croissants de Soleil qui sont projetés sur la feuille de papier.



Illustration 19: Projection de l'ombre de mains au Soleil.

3. Conception de l'investigation

On va reproduire le dispositif des photos ci dessus pour vérifier que c'est bien l'image du Soleil qui est projetée sur la feuille de papier. Si on le fait hors éclipse, on ne devrait pas voir des croissants mais des disques se projeter sur la feuille.

4. Expérimentation 1

En éloignant la feuille et/ou en resserrant les interstices des doigts, on voit bien apparaître des ronds de lumière à la place des interstices entre les doigts (Illustration 20).

5. Expérimentation 2

On peut utiliser une feuille avec des trous différents à la place des mains. On observe également des ronds de lumière dans l'ombre de la feuille (Illustration 21). On peut aussi changer de source lumineuse (lampe puissante de type halogène).



Illustration 20: Expérimentation n° 1

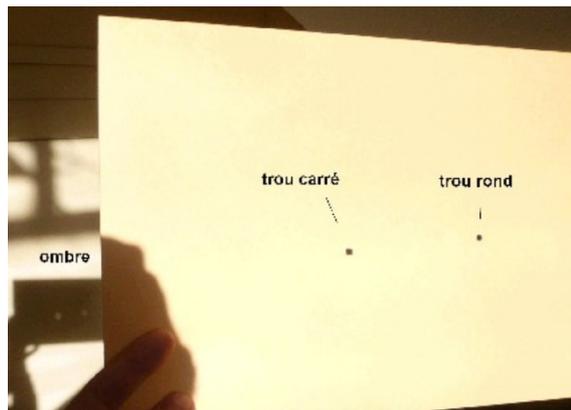


Illustration 21: Expérimentation n° 2

6. Conclusion

Il est effectivement possible d'observer le Soleil (sans danger !) en projetant son image à travers un petit trou que l'on appelle le sténopé.

Si l'enseignant le désire, les élèves peuvent poursuivre l'investigation en se demandant pourquoi on observe la projection du Soleil. Sinon, il peut présenter aux élèves un article encyclopédique décrivant le sténopé (confrontation avec le savoir établi). L'illustration 17 montre le trajet des rayons lumineux depuis la source lumineuse (l'objet), en passant par le trou (le sténopé) jusqu'à l'écran sur lequel se projette l'image inversée de l'objet. Le système sténopé/écran constitue une chambre noire.

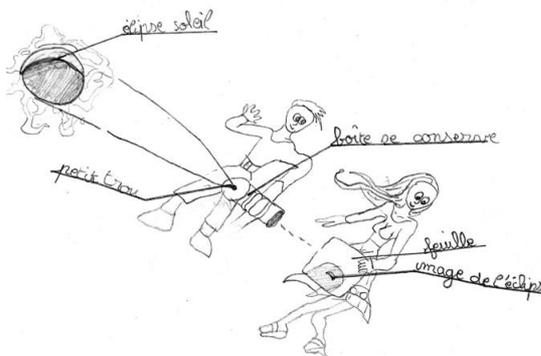


Illustration 22: Illustration d'un élève de CMI - Ecole Teyseyre - Cahors 2005

L'usage du sténopé peut trouver des prolongements artistiques à l'aide d'ustensiles parfois insolites : voir le chapitre 5.6 "Observation à l'aide d'une écumoire (!)".

En complément, le tableau suivant donne les diamètres optimaux des trous du sténopé selon la distance de projection (c'est l'ordre de grandeur du trou qui compte, dans la pratique ils peuvent être légèrement plus grands pour garantir une image assez lumineuse).

Distance de projection	Diamètre optimal du sténopé	Diamètre de l'image du Soleil formée
20cm	0.5mm	2mm
50cm	0.8mm	5mm
1m	1.1mm	1cm
2m	1.6mm	2cm
10m	3.6mm	10cm
15m	4.4mm	15cm

5.6. Observation à l'aide d'une écumoire (!)

Comme vu au chapitre 5.5, tout objet perforé peut réaliser un sténopé. En observant attentivement les taches lumineuses sous un arbre ou derrière un store perforé, on se rend effectivement compte qu'elles sont souvent circulaires ... rien d'étonnant puisqu'il s'agit de l'image du Soleil.

Lors d'une éclipse, ces taches vont naturellement avoir la forme du Soleil éclipse, à l'image des croissants de Soleil qui ont été obtenus lors de l'éclipse de 2005 sous les arbres de l'école du Pic du Midi de Bagnères de Bigorre, les interstices entre les feuilles jouant le rôle de sténopés (Illustration 23) .

Les élèves pourront se munir d'une écumoire ou de tout ustensile perforé (à condition que les trous ne soient pas trop rapprochés pour éviter le chevauchement des images) comme sur l'illustration 24.



Illustration 23: Croissants de Soleil dans une cour d'école.

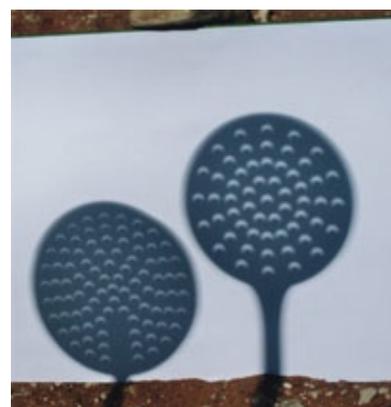


Illustration 24: Ombre de deux écumaires durant une éclipse partielle (photo Yves Courtel - SAF)

Rien n'interdit de "jouer" avec les sténopés pour, par exemple, écrire un mot avec le Soleil éclipse comme sur l'illustration 25 montrant l'ombre d'une feuille A4 sur laquelle un mot a été écrit en perforant la feuille à l'aide d'un petit clou. Les idées sont multiples et ne demandent qu'à être développées avec l'imagination des élèves : écrire l'heure (pour reconstituer les aspects de l'éclipse aux différents moments), écrire des mots évoquant l'éclipse, des impressions ressenties sur le moment, etc...

On peut également faire remarquer que le contour des ombres revêt un aspect étrange lors de l'éclipse comme sur l'illustration 26.

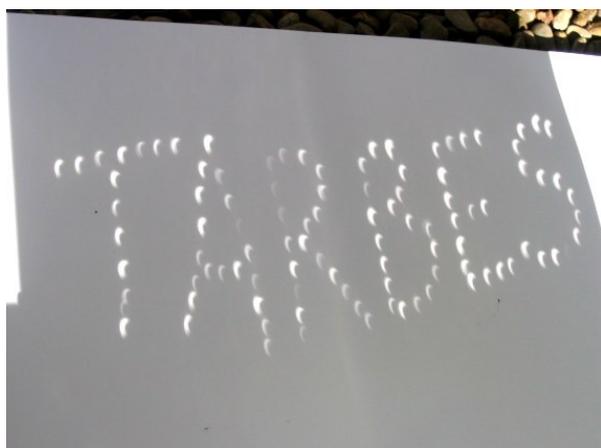


Illustration 25: Ombre d'une feuille perforée de petits trous et projetant un mot (éclipse du 3 octobre 2005 à l'école Wallon de Tarbes).

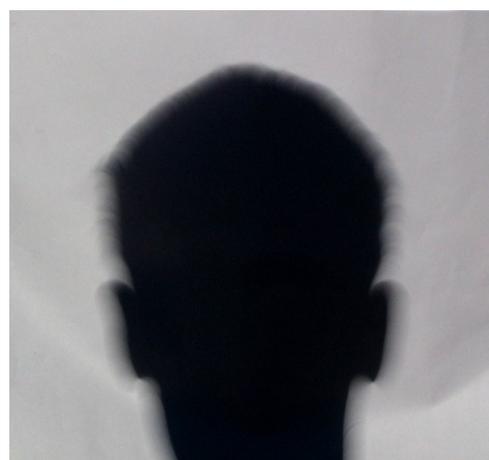


Illustration 26: Ombre de la tête au contour étrange lors de l'éclipse du 3 octobre 2005.

5.7. Observation à l'aide d'un sténopé à miroir

Le principe du sténopé a cependant une limite : la taille de l'image formée par le trou reste généralement modeste. Ainsi, un enfant tenant à bout de bras son sténopé obtiendra au sol une image du Soleil dont le diamètre ne dépassera pas 2 cm environ (avec 2 mètres de distance sténopé-feuille).

Il s'agit donc de trouver une astuce pour augmenter la distance trou-image...

- Première idée qu'évoqueront sans doute les élèves : monter sur un support (chaise, escabeau), ou bien tenir le sténopé au bout d'un long mat (ce test peut être réalisé), ...
- Deuxième idée pouvant être testée : utiliser un miroir pour "replier" le faisceau et projeter l'image du Soleil non plus au sol mais sur un mur à l'ombre. C'est le principe du sténopé à miroir schématisé sur l'illustration 27. La feuille perforée est simplement posée sur le miroir. Afin que l'image soit suffisamment lumineuse et pour une distance au mur d'une dizaine de mètres, un diamètre de l'ordre du centimètre est adéquat (Illustration 28). A une telle distance (10m), le diamètre du Soleil sera d'environ 10 cm.

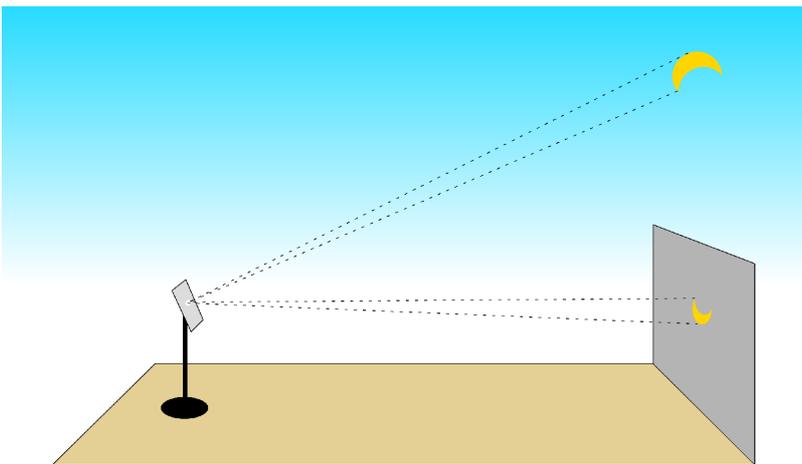


Illustration 27: Principe d'un sténopé à miroir.

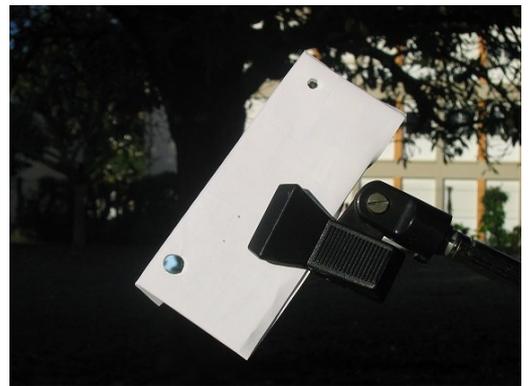


Illustration 28: Exemple de miroir muni de deux sténopés de tailles différentes.

L'image fournie peut être projetée sur un mur à l'ombre, voire sous un préau ou dans un bâtiment afin qu'elle soit davantage contrastée. L'illustration 29 montre les deux images projetées contre un mur par les deux trous du sténopé à miroir visible sur l'illustration 28, lors de l'éclipse partielle du 3 octobre 2005, à l'école Henri Wallon (Tarbes). On voit particulièrement bien que le trou le plus petit donne une image moins intense mais plus nette. Ici, la taille des images était d'environ 10cm : il était ainsi facile de repasser cette forme sur une feuille posée contre le mur, ce qui aura permis aux élèves de reconstituer a posteriori le passage de la Lune devant le Soleil tout au long de l'éclipse (en n'oubliant pas de noter l'heure sur la feuille).



Illustration 29: Image fournie par un sténopé à miroir (2 trous).

A noter que selon la direction de projection de l'image, le Soleil sera légèrement déformé. Afin d'obtenir l'image la moins déformée, on a intérêt à ce que le support sur lequel l'image est projetée soit le plus perpendiculaire possible au faisceau provenant du miroir.

Également, lors du dessin il faudra être rapide puisque la course apparente du Soleil fait se décaler l'image.

5.8. Observation par projection (Solarscope, Sunspotter, ...)

Un Solarscope est un dispositif spécialement conçu pour permettre d'observer le Soleil sans risque oculaire : l'image formée par un objectif est projetée via un miroir convexe sur une paroi de l'appareil. Elle peut être photographiée (Illustration 30) ou bien encore dessinée (plus délicat car en appuyant le crayon, l'image risque de se décaler).



Illustration 30: Images du Soleil à différents stades d'une éclipse partielle.

Divers modèles sont disponibles pour 50 à 90€ environ.

Achat possible via les sites suivants ou sur place :

- <http://www.solarscope.com/>
- Magasin La clef des étoiles (Toulouse) <http://www.laclefdesetoiles.com/find.php?s=solarscope>

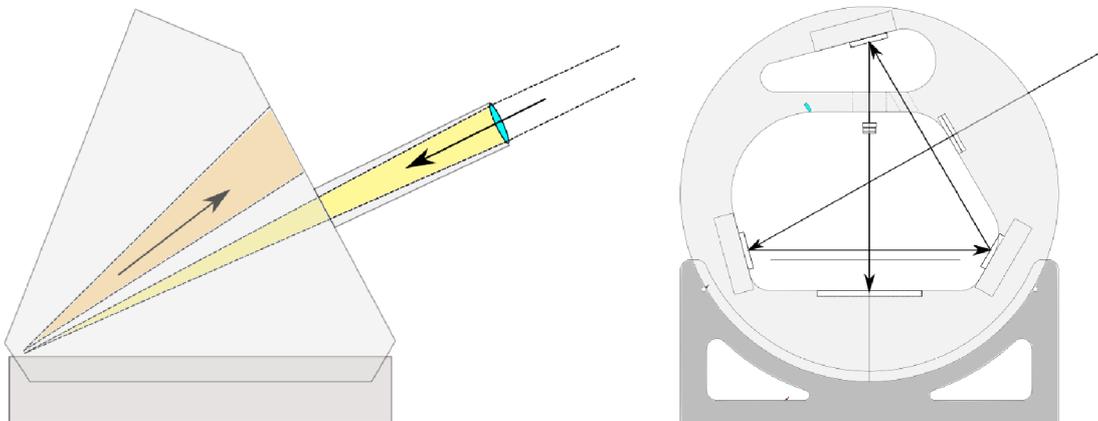


Illustration 31: Principe de fonctionnement du Solarscope (à gauche) et du Sunspotter (à droite) qui n'est autre qu'une lunette repliée en trois.

5.9. Observation par projection (jumelles, lunette, ...)

Il est également possible de projeter l'image du Soleil à l'aide par exemple d'une paire de jumelles (dont on aura bouché l'un des deux objectifs pour ne conserver qu'une image). Néanmoins quelques précautions doivent être prises !

Il est recommandé de préparer cette expérience en dehors de la présence des élèves puisqu'il est nécessaire de placer un tube de protection avant qu'elle soit utilisée en classe.

Fixer les jumelles sur un pied photo, et les braquer en direction du Soleil en s'aidant de l'ombre portée des jumelles.

En plaçant un papier à environ 50 cm derrière l'oculaire, on voit l'image du disque solaire, en général floue.

Il est alors nécessaire de tourner la mise au point de l'oculaire de la jumelle afin que le bord solaire soit bien net.

On peut reculer encore le papier de manière à agrandir l'image, toujours en réglant la mise au point (en contrepartie, l'image sera moins brillante).

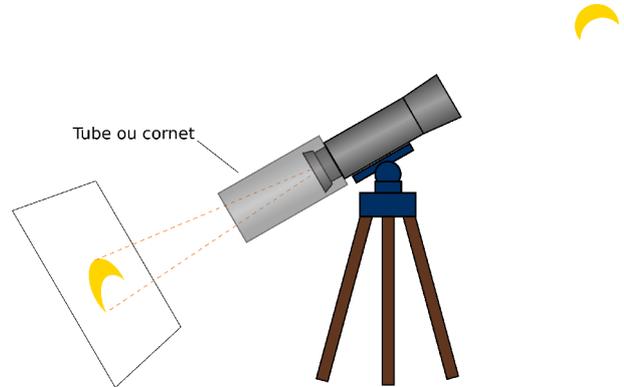


Illustration 32: Principe d'une observation par projection.

La précaution à prendre absolument est d'empêcher quiconque de pouvoir mettre directement l'œil à l'oculaire de la jumelle : il est alors indispensable de placer un tube de carton ou un cornet assez long (~20 à 30cm) et large (~10 à 15cm de diamètre) au niveau de l'oculaire (Illustration 32). En effet au delà de cette distance, l'image du Soleil est suffisamment peu concentrée pour n'être plus dangereuse ... ce qui ne doit pas empêcher de prévenir les élèves : on ne s'approche pas de l'oculaire ! Un tel dispositif doit être utilisé sous la supervision permanente d'un adulte.

Le même dispositif peut être utilisé derrière une lunette astronomique, avec la même précaution : ne pas permettre d'approcher l'œil à plus d'une trentaine de centimètres derrière l'oculaire.

Attention également à la petite lunette de visée (appelée "chercheur") souvent fixée sur le tube d'une lunette astronomique : elle doit absolument rester parfaitement bouchée (voire même démontée pour s'affranchir de tout risque).

5.10. Observation à l'aide d'un filtre solaire

Un autre moyen d'observer la phase partielle d'une éclipse est d'utiliser des "lunettes éclipses" : il s'agit généralement de lunettes en carton munies d'un filtre (polymère noir ou Mylar) qui doivent comporter la certification CE.

Au travers de ces lunettes, le Soleil apparaît généralement de couleur orangée ou bleutée (couleur due à la matière du filtre). A noter qu'il est déconseillé de réutiliser d'anciennes lunettes éclipses : elles peuvent avoir subi des rayures qui auront éventuellement endommagé la couche protectrice. De ce point de vue, les filtres en polymère sont moins fragiles que les filtres en Mylar.

On peut les commander en ligne sur divers sites tels que celui-ci :

<http://www.astronome.fr/produit-filtres-solaires-lunettes-eclipse-thousand-oaks-optical-559.html>



Illustration 33: Observation de l'éclipse du 3 octobre 2005 à l'école maternelle de Montferrat (Var) - Image CLEA

Il est également possible d'utiliser un verre de masque de soudeur (Illustration 34) : choisir dans ce cas uniquement un filtre de grade 14 (correspondant à une densité de 5.4, soit une transmission de $1/250\,000^{\text{ème}}$).

Un dispositif agréé, le Viséclipse, consiste en un tel filtre de verre monté dans un carton circulaire, ce qui permet de le tenir sans risque de coupures (Illustration 35).



Illustration 34: Verre de masque de soudeur.



Illustration 35: Utilisation d'un Viséclipse (image ASCT)

Enfin, certaines lunettes astronomiques sont fournies avec un filtre solaire : le seul filtre garantissant une protection totale est celui qui se place en avant de l'objectif (dit "filtre à l'ouverture"). En revanche, **les filtres se vissant à l'oculaire sont à proscrire absolument** (risque de surchauffe et d'éclatement du verre).

Si une lunette astronomique est utilisée, comme exposé au 5.9, attention à la petite lunette de visée (appelée "chercheur") souvent fixée sur le tube de la lunette : elle doit absolument rester parfaitement bouchée (voire même démontée pour s'affranchir de tout risque).

5.1.1. Mesure de la luminosité et de la température au cours de l'éclipse

Sachant qu'au maximum de l'éclipse le Soleil sera occulté à 70% (Hautes-Pyrénées), on peut se poser la question de savoir si une baisse de luminosité sera perceptible : fera-t-il plus sombre au maximum de l'éclipse ? De même, on peut supposer que cette baisse de luminosité entraînera une baisse des températures : sera-t-elle perceptible ?

Après avoir formulé cette problématique avec les élèves, il se pose le problème de mesurer la luminosité ambiante.

Voici plusieurs solutions possibles :

- **Utilisation d'un luxmètre (ou d'un posemètre photographique)**

Ce type d'appareil était très utilisé à l'apogée de la photographie argentique. Il fournit une indication de la luminosité ambiante sous la forme d'une échelle exprimée en EV (*Exposure Value*). Cette unité peut être conservée telle qu'elle pour tracer une courbe de son évolution, du début à la fin de l'éclipse (toutes les 10 minutes par exemple). Les mesures pourront être faites avec le posemètre dirigé vers le Soleil, mais aussi à l'opposée, devant un mur uni par exemple (Illustration 36).

L'écart constaté entre le maximum et la fin de l'éclipse devrait être de quelques EV (un écart d'un EV correspond à une différence de luminosité d'un facteur 2 : si l'on passe de 15 à 12 EV, alors on a eu une baisse de luminosité de 8 fois).

Ces mesures pourront être comparées aux luminosités relevées hors éclipse en différents endroits (préau, salle de classe, ...).



Illustration 36: Utilisation d'un posemètre photographique. L'intensité lumineuse mesurée est ici de 12 EV.

- **Utilisation d'une photorésistance ou d'une photodiode**

Il est aussi possible de réaliser des mesures de luminosité selon une unité arbitraire en utilisant une photorésistance ou une photodiode (Illustration 38), reliée à un multimètre sur le calibre adéquat : mesure en Ohms pour la photorésistance (Illustration 38), mesure en Volts pour la photodiode.



Illustration 38: Photorésistance (en haut) et photodiode (en bas).

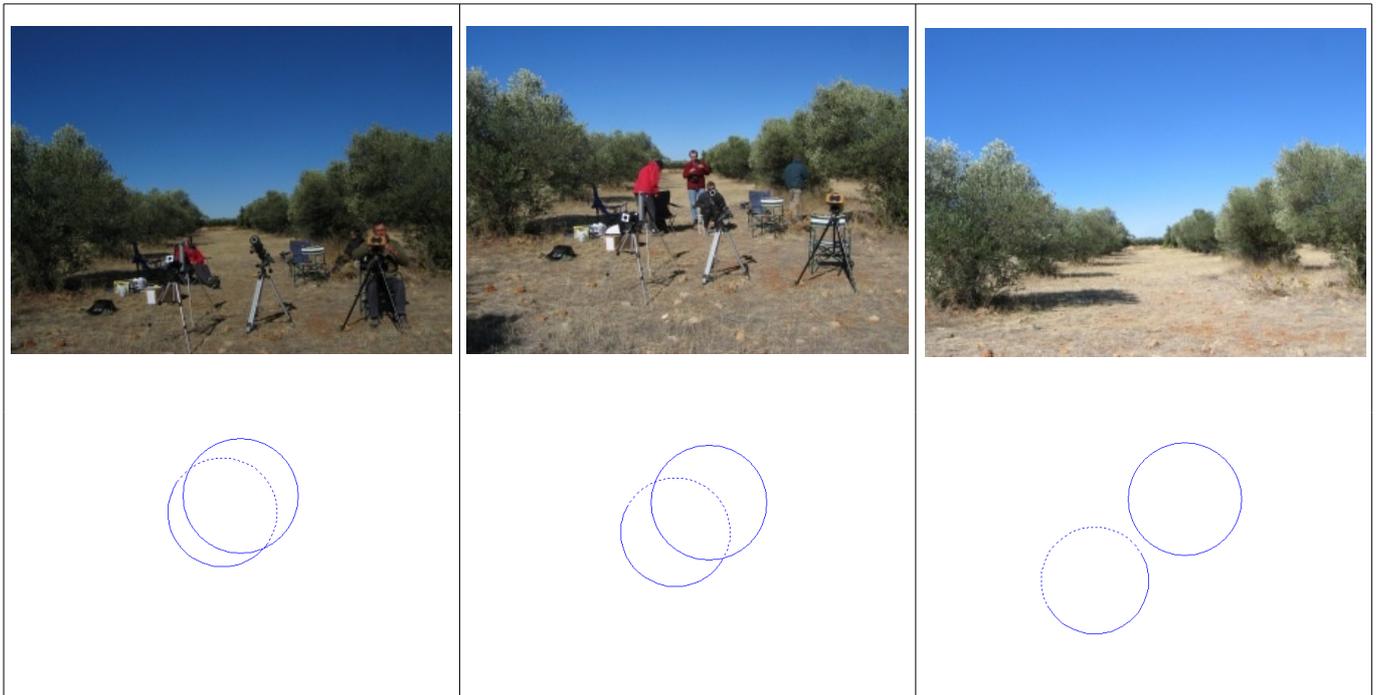


Illustration 37: Principe de mesure de la luminosité à l'aide d'une photorésistance.

– **Prises de vue photographiques**

Si l'on dispose d'un appareil photo muni d'une fonction manuelle (afin de fixer le temps de pose et l'ouverture de l'objectif), il est possible de réaliser des poses à intervalles réguliers (sur pied photo de préférence).

Ci-dessous, trois images prises à différents moments de la fin de l'éclipse annulaire du 3 octobre 2005 en Espagne. On y voit clairement la différence d'éclairement entre le soleil fortement éclipsé (à gauche) et le soleil après la fin de l'éclipse (à droite).



– **Mesures à distance (Pic du Midi, METAR Ossun, ...)**

Sur la page de la webcam du Pic du Midi (Illustration 39), il est possible d'obtenir en direct la température ainsi que le rayonnement (donc l'intensité lumineuse du Soleil).

<http://www.picdumidi.com/web/fr/12-webcam.php>

Divers sites Internet fournissent également les relevés météorologiques des balises METAR (METeorological Aerodrome Report).

Les conditions météorologiques, en ce moment

Les données météo sont actualisées toutes les 10 minutes, et sont fournies par le laboratoire d'aérodologie du Pic du Midi.

<p>Température : -7.9 °C</p>	<p>Humidité : 95 %</p>	<p>Direction du vent : Est</p>	<p>Vitesse du vent : 15 km/h</p>
<p>Pression atmosphérique : 711.9 hPa</p>	<p>Rayonnement : 150 W/m²</p>	<p>Ozone : 47 ppb</p>	<p>CO₂ : -9999 ppb</p>

Illustration 39: Site Internet de la webcam du Pic du Midi.

5.12. Suivre l'éclipse sur Internet (webcams, photos satellites, ...)

Faute de pouvoir se rendre sur la ligne de centralité de l'éclipse, où cette dernière sera totale, il est tout de même possible de chercher à voir ce qui sera perçu sur place. De quelle couleur sera le ciel ? Fera-t-il totalement nuit ? ...

Une première étape pour les élèves consiste à identifier les territoires sur lesquels passera l'éclipse, soit en utilisant la carte de l'IMCCE (Illustration 40), soit en se servant du logiciel Google Earth dans lequel il est possible d'afficher directement la trajectoire de l'éclipse, à rechercher sur le site de Xavier Jubier :

http://xjubier.free.fr/site_pages/SolarEclipsesGoogleEarth.html

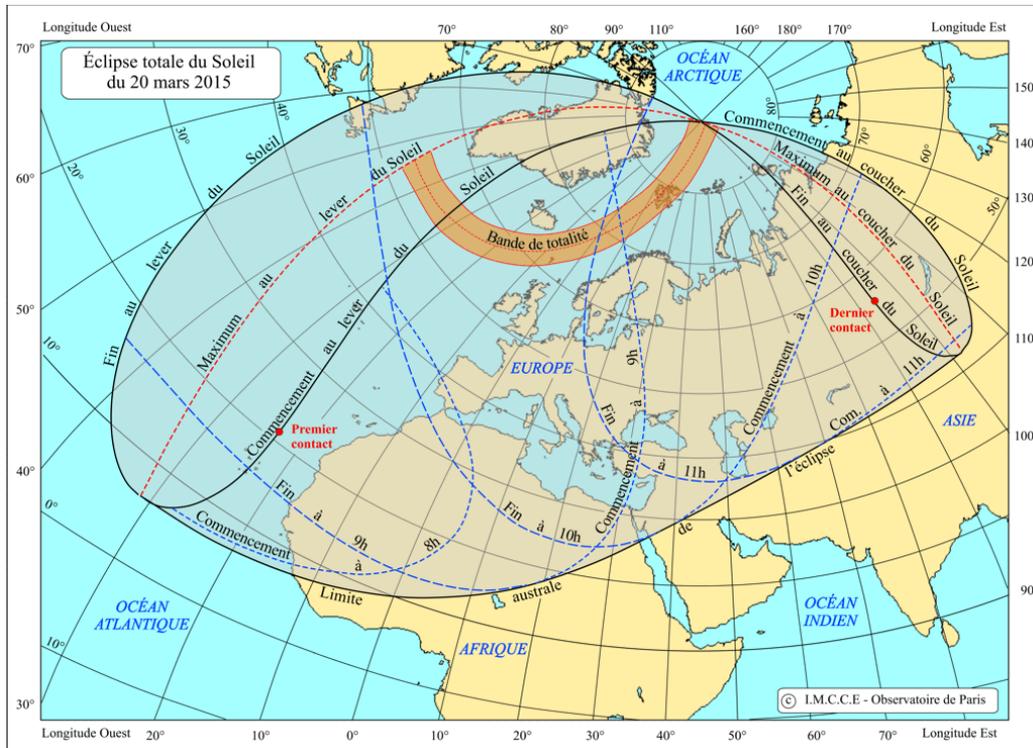


Illustration 40: Carte générale de l'éclipse - IMCCE

Ils devraient trouver que l'éclipse sera totale depuis les Îles Féroé ainsi que depuis l'archipel du Svalbard (Spitzberg, Norvège).

Comment alors "voir" cette éclipse totale à distance ?

- Utiliser un annuaire des webcams de Norvège sélectionner "View region" : Svalbard

<http://www.webcamsinnorway.com/webcams.php>

- Utiliser un annuaire des webcams mondiales :

<http://fr.webcams.travel/map/?country=FR>

Il est alors possible de sauvegarder à intervalle régulier les images des webcam qui sont généralement rafraîchies toutes les minutes (en mentionnant l'heure de prise de vue dans leur nom de fichier). On devrait assister à la lente venue de l'ombre puis à l'obscurité profonde durant les 2 minutes (environ) de totalité. Il est possible de reconstituer a posteriori le "film" de l'éclipse en accéléré.

Se référer aux horaires sur la page suivante pour connaître l'instant du maximum de l'éclipse.

Note : pour réaliser le "film" de l'éclipse, utiliser des logiciels spécifiques tels que Photolapse ou VirtualDub.



Illustration 41: Webcam de l'aéroport de Ny-Ålesund (Svalbard).

Plus proche de nous, une démarche similaire sera possible avec la caméra "ciel entier" du Centre de Recherches Atmosphériques de Campistrous (Illustration 43) :

<http://www.aero.obs-mip.fr/parc-instru/dynamiqueatmosphérique/rapace>

Le jour de l'éclipse, son rythme de prise de vue sera de une image par minute et il devrait être possible de voir la baisse de luminosité ambiante sur les Hautes-Pyrénées.

Le tableau suivant donne les heures de début, maximum et fin de l'éclipse pour les territoires situés sur la ligne de centralité (heure légale française):

	Horaires (heure légale française)				
	Début de l'éclipse partielle	Début de l'éclipse totale	Maximum de l'éclipse	Fin de l'éclipse totale	Fin de l'éclipse partielle
Tarbes	9h11	<i>Pas d'éclipse totale</i>	10h17	<i>Pas d'éclipse totale</i>	11h28
Îles Féroé	9h39	10h40m53s	10h41m59s	10h43m05s	11h47
Svalbard (Spitzberg)	10h12	11h10m55s	11h12m09s	11h13m23s	12h12

On remarque que l'heure du maximum de l'éclipse totale n'est pas la même sur les Îles Féroé et au Svalbard : l'ombre de la Lune sur Terre met bien un certain temps à voyager du premier au second lieu ...

Autre idée d'exploitation : prendre contact avec une école sur l'un des deux archipels ...

On pourra également tenter de suivre le voyage de l'ombre de la Lune sur notre planète, et une fois des modélisations faites (voir activité 5.2), partir à la recherche de l'ombre de la Lune, vue depuis des satellites d'observation (Illustration 42).

Quelques sites consultables :

- Vue satellite de l'Europe <http://www.sat24.com/>
- Données Eumetsat <http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/IMAGERY/VIS006/BW/WESTERNEUROPE/index.htm>
- Planisphère satellite NASA http://www-pm.larc.nasa.gov/cgi-bin/site/showdoc?docid=22&domain=composite_global&lkdomain=Y



Illustration 43: Image "ciel entier" de l'instrument RAPACE à Campistrous (65).

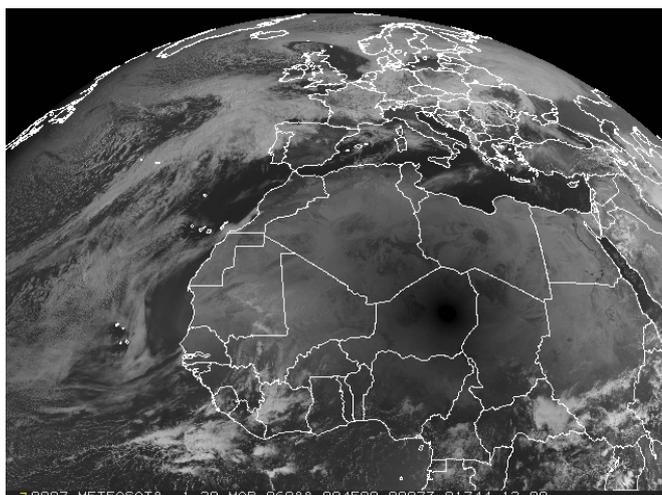


Illustration 42: Ombre de la Lune sur le Niger lors de l'éclipse du 29 mars 2006- Image Météosat.

Enfin, si l'on s'attache à l'observation du Soleil éclipsé lui-même, plusieurs observatoires solaires diffusent des images régulièrement. On peut citer :

- L'instrument CLIMSO, au Pic du Midi de Bigorre
- Le spectrohéliographe et la tour solaire de l'Observatoire de Meudon
- Le radiohéliographe de Nancy

Tous visibles à partir de la page suivante :

<http://bass2000.obspm.fr/home.php?lang=fr>

- L'instrument USET de l'Observatoire Royal de Belgique :

<http://sidc.oma.be/uset/>

- Les lunettes solaires de l'Observatoire de Kanzelhöhe (Autriche)

<http://cesar.kso.ac.at/>

Sur ce dernier site, lorsque des observations sont en cours, l'image du Soleil est rafraîchie très régulièrement

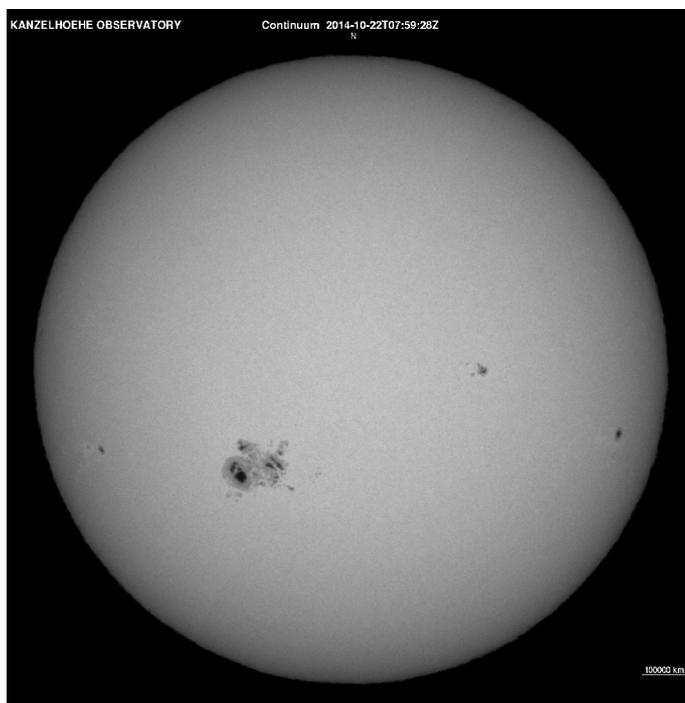


Illustration 44: Exemple d'image du Soleil (hors éclipse) de l'Observatoire de Kanzelhohe.

5.13. Éclipses et astronomie dans les Arts

Voici quelques liens possibles avec les arts du son ou les arts visuels, en rapport avec les éclipses, l'astronomie, l'ombre et la lumière ...

a) Arts visuels

Voici différentes pistes explorant le thème de l'ombre et de la lumière :

- Les **théâtres d'ombre** depuis la tradition asiatique jusqu'aux réalisations contemporaines
- Les œuvres de **Rembrandt**, **Georges de la Tour**, **Picasso**, ...
- Les œuvres de **Diet Wiegman**, de **Tim Noble et Sue Webster** ou de **Kumi Yamashita** : d'apparence informe ou aléatoires, elles révèlent leur aspect (et celui de leur ombre) une fois éclairées de manière adéquate.



Illustration 45: Théâtre d'ombre balinais.



Illustration 46: Dirty white trash, with gulls (1998), Tim Noble et Sue Webster



Illustration 47: Untitled (child), Kumi Yamashita

b) Arts du son

- **György Ligeti**, "Lux aeterna, Atmosphères, Aventures" (in "2001 : a Space Odyssey", bande originale du film de Stanley Kubrick)
- **Olivier Messiaen** "Des canyons aux étoiles "
- **Eric Tanguy** "Eclipse"
- **Hugues Dufourt** "Saturne"
- **Petros Karelis F.Miroglio** "Kronos"
- **Karlheinz Stockhausen**, "Licht"
- **Gustav Holst**, "The planets"
- **Pink Floyd** "Eclipse" in *Dark side of the Moon*
- **Gérard Grisey**, "Les Espaces acoustiques ; Le Noir de l'Etoile" Les percussions de Strasbourg
- **Nicolas Reeves** "Cloudharp" (Harpe à nuages : installation transformant la structure des nuages en sons et musique)

5.14. Histoires d'éclipses

Le dossier en ligne de Delphine Filippi et Emmanuel Di Folco (LAMAP) expose quelques légendes liées aux éclipses à travers le monde, ainsi que des "histoires d'éclipses" sous la forme d'anecdotes historiques, où l'on découvre par exemple que certaines éclipses ont pu changer le cours de batailles ...

Les Aztèques attribuaient ainsi les éclipses au combat entre Quetzalcóatl, le serpent à plume et Tonatiuh, le dieu-Soleil (Illustration 48).

En Égypte, une interprétation similaire était faite puisqu'il s'agissait de l'attaque du serpent Apophis envers le dieu-Soleil, Ra.

Dans les pays scandinaves, il s'agissait de deux gigantesques loups, Sköll ("répulsion") et Hati ("haine") pourchassant le Soleil et la Lune et finissant par les dévorer.

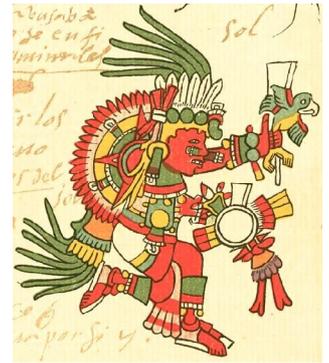


Illustration 48: Le dieu-Soleil Tonatiuh.

22 octobre 2137 avant J.-C., Chine : L'éclipse solaire de Ho et de Hi.

"Un antique manuscrit chinois relate que les frères Ho et Hi, astronomes à la cour de l'empereur, furent exécutés pour ne pas avoir été à la hauteur de leur tâche... Mais les versions diffèrent quant à la nature de leur faute : pour les uns, ils auraient été incapables de prédire la date exacte du phénomène ; pour les autres, ils l'auraient correctement annoncée mais, ivres morts le jour en question, ils auraient omis de convoquer les archers et les tambourinaires chargés d'effrayer le dragon qui, selon la légende, allait tenter d'avalier le disque solaire..."

28 mai 585 avant J.-C. : Une éclipse met fin à une guerre

La plus célèbre éclipse de l'Antiquité eut lieu durant une bataille opposant les Mèdes et les Lydiens. D'après Hérodote (1.74) : "*Lors de la sixième année, une bataille eut lieu, lors de laquelle, après que le combat eut commencé, le jour devint soudain la nuit. Et ce changement dans le jour, Thalès de Milet en avait prévenu les Ioniens et en avait fixé le temps en l'année où il s'opéra. Les Lydiens et les Mèdes cependant, quand ils virent que le jour s'était transformé en nuit, cessèrent de combattre et furent résolus à faire la paix.*"

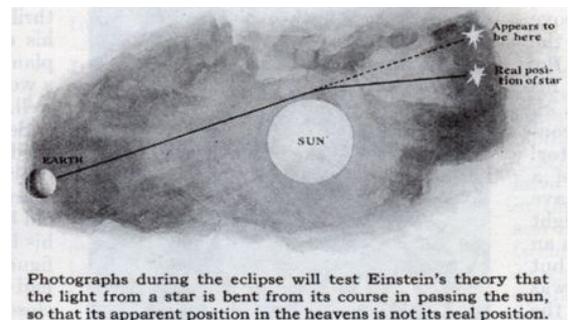
22 mai 1724, Paris : L'éclipse solaire de Louis XV.

"Ce jour-là, à Versailles, le jeune roi Louis XV âgé seulement de quatorze ans, fut certainement très impressionné par le spectacle de cette éclipse totale qui concerna la région parisienne. A ses côtés, un memorialiste de l'Académie royale des Sciences, nota : "*Dans l'instant que le Soleil fut entièrement couvert, ce furent des ténèbres profondes, différentes de celles de la nuit (...). On vit le Soleil, Mercure et Vénus sur la même ligne droite (...). Les oiseaux effrayés à l'ordinaire cessèrent de chanter et recherchèrent des retraites*". Pour la région parisienne, ce fut donc la dernière éclipse totale du millénaire puisque le 11 août 1999, la bande de totalité se situant plus au nord, les parisiens ne virent qu'un soleil éclipsé à 99%... Pour eux, il faudra attendre l'éclipse totale du 3 septembre 2081, soit plus de 350 ans après celle de Louis XV !"

29 mai 1919, Brésil et Afrique : L'éclipse solaire d'Albert Einstein

Plus proche de nous, dans l'histoire contemporaine, on peut citer l'éclipse qui, en 1919, propulsa définitivement Albert Einstein à l'avant-scène grâce aux observations de Eddington :

" Cette éclipse totale de Soleil fut utilisée pour confirmer de façon spectaculaire la nouvelle théorie de la relativité générale proposée par Einstein en 1915. Des mesures prouvèrent que le trajet des rayons lumineux issus d'une étoile proche de l'astre éclipsé, étaient déviés par le puissant champ de gravité de ce dernier. Cela signifiait que la gravitation n'était plus correctement décrite par la loi de l'attraction universelle de Newton, mais devait s'interpréter comme la manifestation d'une " courbure " sous-jacente de l'espace-temps, engendrée par les corps massifs. Bien que le public ne comprit rien à cette nouvelle théorie, Einstein devint presque du jour au lendemain le savant le plus populaire du monde. " **[Éclipses, Les rendez-vous célestes]**



Sources à consulter :

- <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11708/1-histoires-d-clipse>
- **Éclipses, Les rendez-vous célestes**, de S. Brunier et J.P. Luminet, éd. Bordas 1999

5.15. Concours "Découvrir l'Univers" 2015

La Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique SF2A organise un concours intitulé "Découvrir l'Univers" : il vise à promouvoir l'Astronomie auprès des écoles maternelles et élémentaires, collèges et lycées.

L'édition 2015 s'adresse exclusivement aux établissements scolaires de la Région Midi-Pyrénées.



L'éclipse du 20 mars 2015 constitue un événement rêvé afin de faire participer sa classe à ce concours !

Page du concours : <http://decouvrirlunivers.sf2a.eu/>

Les objectifs

Le concours s'adresse à des classes entières de tous niveaux (maternelle au lycée général ou professionnel), encadrées par un professeur. Il peut également s'inscrire dans le cadre des activités périscolaires. **Les classes participantes établissent un projet pédagogique totalement libre (artistique, visuel, manuel, scientifique...) sur le thème de l'Univers.** Le dossier déposé au concours doit présenter le projet, le travail des élèves et leurs réalisations, et les objectifs pédagogiques atteints. Un format numérique ou photographique peut être accepté si une description écrite n'est pas adaptée au projet.

Les modalités

Le concours 2015 est ouvert aux classes de la région Midi-Pyrénées.

Les inscriptions (incluant une description du projet envisagé) sont **ouvertes jusqu'au 1er décembre 2014.***

Les **dossiers seront déposés le 10 avril 2015 au plus tard.**

Nov. 2014	Dec. 2014	Janv. 2015	Fev.2015	Mars 2015	Avril 2015	Mai 2015	Juin 2015
	1/12 Limite d'inscription !			20/03 Éclipse !	10/04 Limite dépôt dossiers !	Présélection : Présentations devant jury	Remise des prix (journées SF2A)

Une pré-sélection a lieu à l'issue de laquelle un nombre restreint de projets sont retenus pour une **présentation devant un jury d'astronomes professionnels** (provenant pour partie de la SF2A et pour partie du comité local d'organisation) et de représentants de l'éducation nationale.

Ces présentations (qui ne doivent pas excéder 30 minutes) ont lieu **début mai**, et mobilisent le professeur et quelques élèves seulement.

Les lauréats (deux ou trois classes entières) sont invités à la **remise des prix, un mercredi après-midi pendant les journées de la SF2A en juin.** Les classes sont invitées à un événement associé (exposition, séance de planétarium, conférence, visite d'observatoire, etc...). Les prix eux-mêmes sont adaptés aux niveaux des classes (par exemple matériel d'observation).

Toutes les classes participantes reçoivent des supports pédagogiques. Le concours est soutenu par les éditeurs EDP Sciences et Bayard.

Contact

Pour toute demande de renseignement ou pour déclarer une candidature, merci d'envoyer un message à :

prix-ecoles@sf2a.eu

* La déclaration de candidature est informelle : un simple mail suffit, avec une brève description du projet envisagé.

6. Bibliographie – Sitographie

- Les Cahiers Clairault – N° 131 – Les éclipses – Septembre 2010 (Revue du CLEA, Comité de Liaison Enseignants Astronomes) :
- Site de l'IMCCE sur les éclipses (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) :
<http://www.imcce.fr/promenade/pages3/369.html>
Note détaillée sur l'éclipse :
http://www.imcce.fr/langues/fr/ephemerides/phenomenes/eclipses/soleil/html/mars2015_generalite.php
- Observation d'une éclipse de Soleil – Nicolas Morange – La main à la pâte :
<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/1174/observation-dune-clipse-de-soleil#2>
- Le mouvement de la Lune autour de la Terre - Fiches pédagogiques :
<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lotec/Sciences/publierCDromAMA/page2.html>
- Histoire d'éclipses – dossier La main à la pâte :
<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11708/1-histoires-d-clipse>
- Éclipses, Les rendez-vous célestes, de S. Brunier et J.P. Luminet, éd. Bordas 1999

- "La démarche d'investigation, comment faire en classe ?" par Edith Saltiel.
<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11324/la-d-marche-dinvestigation-comment-faire-en-classe>

- Stellarium, logiciel de simulation du ciel <http://stellarium.org/fr/>

- Matériel d'astronomie :
Magasin La clef des étoiles (Toulouse) <http://www.laclefdesetoiles.com/>
Magasin L'Astronome <http://www.astronome.fr/>

7. Annexes

7.1. Ligne des nœuds (précision)

Dans une première approximation (paragraphe 3.4), on a considéré que la direction de la ligne des nœuds était fixe dans l'espace. En réalité, le plan de l'orbite lunaire subit une lente rotation. La ligne des nœuds ne se retrouve pas face au Soleil exactement tous les six mois (ou 182.6 jours) mais tous les 173.3 jours (Illustration 50). Le plan de l'orbite lunaire tourne sur lui même en 18.6 ans environ : cette période est appelée un saros.

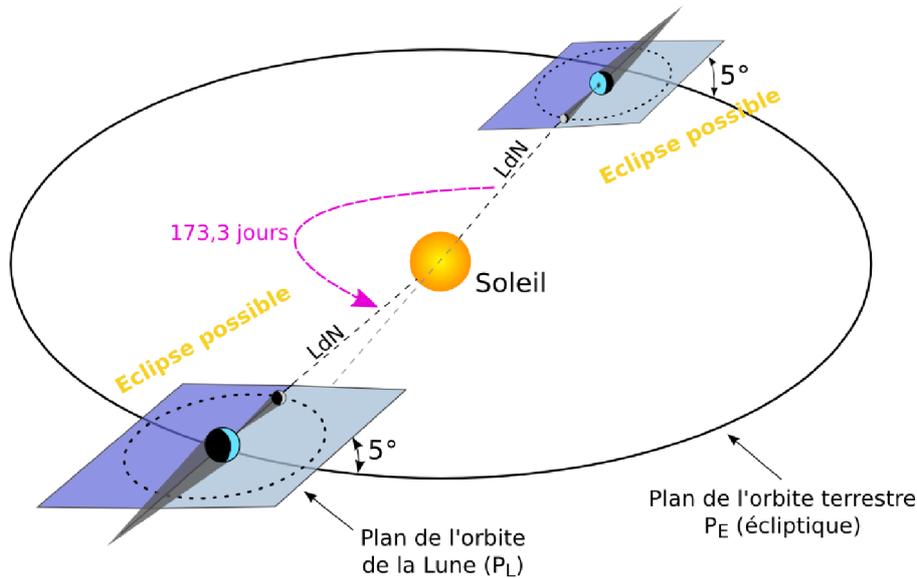


Illustration 49: Effet de la rotation du plan de l'orbite lunaire sur la périodicité des éclipses.

Après un saros, la géométrie Terre-Soleil-Lune est quasiment identique : la Lune présente la même phase et se situe au même nœud et à la même distance de la Terre. Si la date d'une éclipse est connue, alors une éclipse presque identique se produira un saros plus tard.

Exemple : l'éclipse totale du 11 août 1999 qui a eu lieu dans le nord de la France et l'éclipse totale du 21 août 2017 qui traversera les États-Unis sont deux éclipses aux caractéristiques presque identiques, à un saros d'intervalle (Illustration 50).

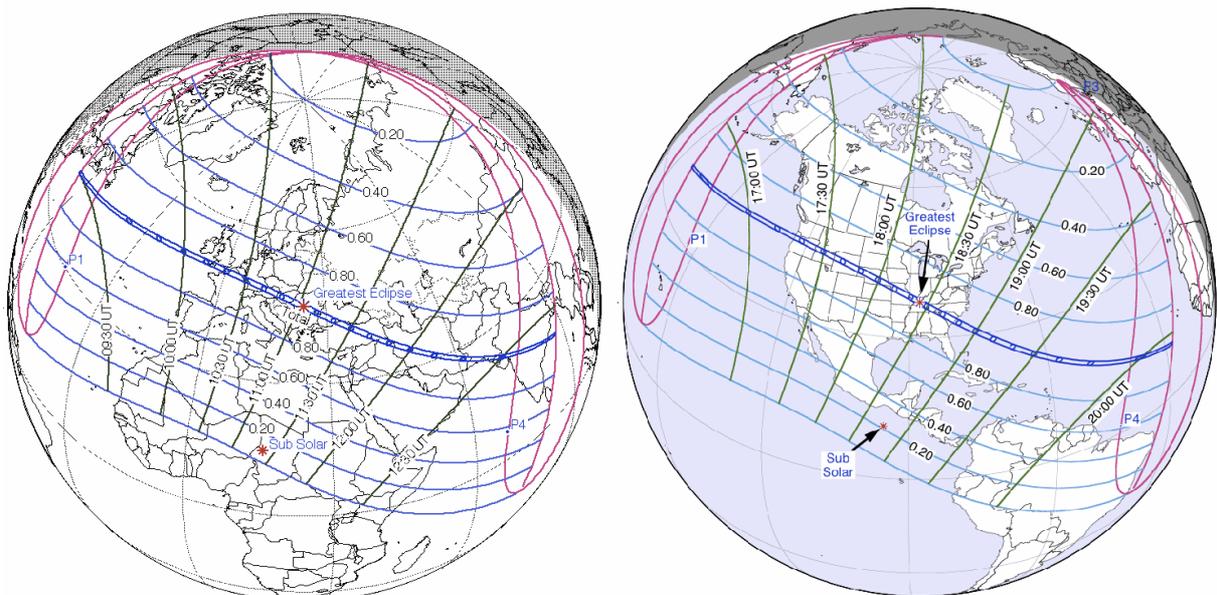


Illustration 50: Éclipses du 11 août 1999 (à gauche) et du 21 août 2017 (à droite). Images Fred Espenak, NASA's GSFC