

1^{er} SEPTEMBRE 2016

Réunion céleste

**OBSERVER ET COMPRENDRE
L'ÉCLIPSE ANNULAIRE DE SOLEIL**



SCIENCES REUNION
CENTRE DE CULTURE SCIENTIFIQUE,
TECHNIQUE & INDUSTRIELLE



SOMMAIRE

Éditos

Édito de Claude Catala, président de l'Observatoire de Paris	3
Édito de Thierry Terret, recteur de l'académie de La Réunion	4
Édito de Gilbert Hoarau, président de Sciences Réunion	5
Édito de Michel Vignand, président de l'Association Astronomique de La Réunion	6
Édito de Théodore Hoarau, président de MUTA Solaire, Mutualité de La Réunion	6

1. Observer l'éclipse du 1^{er} septembre 2016

Où observer l'éclipse du 1 ^{er} septembre et à quelle heure ?	7
Que verra-t-on pendant l'éclipse à La Réunion ?	8
Comment se déroulera l'éclipse à La Réunion ?	9
Est-il dangereux d'observer une éclipse de Soleil ?	10
Quelles solutions adopter pour observer une éclipse en toute sécurité ?	11
Aller plus loin que l'observation : comment photographier une éclipse ?	16

2. Comprendre l'éclipse du 1^{er} septembre 2016

Qu'est-ce qu'une éclipse de Soleil ?	21
Quand la Lune passe-t-elle entre la Terre et le Soleil ?	23
À quel moment le Soleil a-t-il rendez-vous avec la Lune ?	25
En quoi consiste une éclipse de Soleil sur Terre ?	26
Quels sont les différents types d'éclipse de Soleil ?	28
Quelles sont les différentes étapes d'une éclipse de Soleil ?	30
Quel autre type d'éclipse peut-on observer ?	31
Combien y a-t-il d'éclipses en une année ?	33



Claude Catala

Président
de l'Observatoire de Paris

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Catala', with a large checkmark-like flourish to the left.

Les éclipses de Soleil sont l'un des phénomènes célestes les plus spectaculaires. Avant qu'on n'en comprenne le mécanisme et qu'on puisse les prédire avec certitude et précision, les éclipses de Soleil faisaient l'objet d'un mélange d'émerveillement étonné et de frayeurs irrationnelles. Il a donc fallu attendre de disposer d'un bilan précis des éclipses survenues sur Terre pour se rendre compte qu'il s'agissait d'un phénomène régulier et ainsi cesser d'y voir quelque chose de surnaturel et en élucider le mystère.

À partir du moment où les éclipses de Soleil sont devenues prédictibles, elles ont pu être utilisées à des fins scientifiques, favorisant ainsi les progrès dans notre compréhension de l'univers. Prédire une éclipse permet de s'y préparer et de se donner les moyens de l'exploiter. Parallèlement à la prédiction des éclipses futures, il est possible de calculer les éléments des éclipses passées, et de s'en servir éventuellement à des fins historiques.

Les éclipses de Soleil, auxquelles il convient de rajouter celles de la Lune, des satellites de planètes comme Jupiter, ou encore les éclipses mutuelles de systèmes binaires d'étoiles, ont ainsi joué un rôle important dans l'histoire des sciences, voire dans l'histoire tout court.

Observer une éclipse, comme celle qui traversera l'île de La Réunion le 1^{er} septembre 2016, en prenant bien sûr toutes les précautions requises pour ne pas mettre ses yeux en danger, c'est donc non seulement assister à un spectacle rare et impressionnant, mais c'est aussi l'occasion de se souvenir qu'il s'agit d'un phénomène ayant joué et jouant encore un rôle considérable dans la progression du savoir.

Le livret que vous allez découvrir vous donnera tous les éléments nécessaires pour observer cette éclipse dans les meilleures conditions et comprendre pleinement ce que vous verrez. Remercions à cet effet le service édition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides de l'Observatoire de Paris pour sa forte et remarquable contribution à la réalisation de cet ouvrage.

Bonnes observations !



Thierry Terret

Recteur de l'académie
de La Réunion
Chancelier des universités



« Le Soleil a rendez-vous avec la Lune », chantait le poète pour décrire l'éclipse de Soleil, phénomène qui a toujours fasciné les hommes. Rare dans une région donnée, La Réunion aura la chance de se trouver pratiquement sur la ligne de centralité de celle qui se produira le jeudi 1^{er} septembre 2016.

De l'étude des mythes du « dieu » Soleil aux lois de la mécanique céleste, des activités pédagogiques pluridisciplinaires favorisent la préparation de l'observation de ce phénomène. Elles sont propres à développer le sens de l'observation, à susciter la curiosité, à développer l'esprit critique et à contribuer ainsi à la mise en place d'une véritable démarche scientifique. Avons-nous encore conscience de l'apport de l'astronomie dans notre quotidien, l'alternance du jour et de la nuit, le nom des jours de la semaine, la durée de 7 jours de cette semaine, le nom des mois, le cycle des saisons, la durée de l'année solaire... Autant de sujets qui peuvent être mis en perspective dans l'histoire des sciences.

À l'heure de la conférence de Paris sur le changement climatique, c'est également l'occasion de prendre conscience, qu'à l'échelle du système solaire, nous vivons sur une tête d'épingle sans zone habitable à des milliards de kilomètres à la ronde, et ainsi de rappeler l'importance d'une gestion durable de notre planète, la Terre.

Je remercie tous nos partenaires, la Mutualité de La Réunion, l'Observatoire de Paris, l'Observatoire astronomique des Males et Sciences Réunion, qui se mobilisent pour mettre à la disposition des enseignants de l'académie des outils pour valoriser pédagogiquement cet événement exceptionnel.

J'invite donc toutes les écoles élémentaires et les établissements scolaires de l'académie, en liaison avec les corps d'inspection, à mettre en place des activités, dans toutes les disciplines, propres à susciter l'enthousiasme des élèves, à leur donner envie d'observer dans de bonnes conditions, en respectant les règles de sécurité, ce rendez-vous du Soleil et de la Lune pour notre plus grand plaisir.



Gilbert Hoarau

Président
de Sciences Réunion

Rendez-vous sur l'écliptique... Terre, Lune, Soleil parfaitement alignés sur ce « lieu où se produisent les éclipses », ce rendez-vous, banal au niveau de la planète (plusieurs éclipses se produisent par an), mais rare en un lieu donné, a toujours fasciné les hommes, leur inspirant terreur, crainte, superstition... Ils ne doutaient pas de leur nature divine comme les autres phénomènes ayant pour théâtre le ciel, la foudre, manifestation de la colère de Zeus ou Jupiter, les météores, messagers des dieux...

Même si la compréhension du mouvement des planètes accompagnées de leurs satellites autour du Soleil a démystifié ces rendez-vous, il sera intéressant d'étudier ces explications qui ont leur place dans l'histoire des idées scientifiques. Cette éclipse de Soleil du 1^{er} septembre 2016 pourra donc donner lieu à de nombreuses activités pédagogiques autour du Soleil et de la Lune. Les activités scientifiques auront une place privilégiée tant les questions seront nombreuses.

Soyez curieux et observez, développez votre esprit critique, mettez en place une véritable démarche scientifique. Prenez du plaisir à construire des instruments simples d'observation de cette belle leçon de chose qui se produira sous vos yeux.

Cependant, l'immensité du cosmos, le mystère qui entoure ce rendez-vous ne manqueront pas d'aiguiser votre imagination et vous vous pencherez sur ces civilisations qui ont été bâties autour de l'adoration du Soleil : Incas, Aztèques, Égyptiens... Étudiez les contes, mythes et légendes qui leur permettaient d'expliquer le monde qui les entoure... Laissez-vous emporter par cette magie de la Lune grignotant le Soleil jusqu'à le faire disparaître en lui laissant juste un anneau d'or. Comme le poète, chantez, rimez, bâtissez des « Stars Peace » sur la rencontre avec des créatures venues d'ailleurs. Gardez intacte cette capacité à vous émerveiller.

Puisse ce livret vous aider à concilier les activités scientifiques permettant de comprendre le phénomène et de l'observer en toute sécurité, et la libération de votre imagination face à ce spectacle grandiose offert par la nature.

Merci à tous ceux qui ont participé à sa réalisation.
Belle éclipse et bon usage !



Michel Vignand

Président de l'Association
Astronomique de La Réunion



Aucune éclipse annulaire de Soleil n'a été observée à La Réunion depuis au moins 160 ans et aucune ne le sera dans les 180 ans à venir. Cela suffit à démontrer la rareté d'un tel phénomène en un lieu donné et l'intérêt de son observation par le plus grand nombre de Réunionnais. L'Association Astronomique de La Réunion et l'Observatoire des Makes préparent activement l'événement, tant sur le plan matériel que sur le plan pédagogique. Ils accueilleront touristes et grand public au « village-éclipse » spécialement aménagé à l'étang du Gol par la mairie de Saint-Louis. La présente brochure est le fruit du partenariat qui unit notre observatoire d'amateurs et l'IMCCE, institut de l'Observatoire de Paris. Comme en 2001 et 2004, Sciences-Réunion s'est associée à nous pour éditer et diffuser ce fascicule. Enfin, un grand merci à la Mutualité de La Réunion qui a rendu possible l'acquisition de « lunettes-éclipse », ainsi que la parution de la présente brochure : 250 000 lunettes-éclipse seront ainsi offertes au rectorat pour nos scolaires et tous les enseignants recevront un exemplaire de cet ouvrage. À chacun, au niveau qui est le sien, de faire le maximum pour assurer le succès de l'observation de l'éclipse annulaire du 1^{er} septembre 2016, source de vocations.

Le Soleil nous est familier, mais il nous demande beaucoup d'humilité.

Pour qu'il reste un ami, il ne faut pas le regarder dans les yeux. Ça, tous les Réunionnais le savent.

Le Soleil est indispensable à la vie et à la vue.

Au moment de l'éclipse, on pourra oser le regarder avec des lunettes adaptées. Avant et après l'éclipse, il ne faudra plus le regarder, mais il faudra toujours porter des lunettes solaires.

Avec MUTA Solaire, la Mutualité de La Réunion sensibilise tous les Réunionnais et surtout les enfants sur la nécessité de porter des lunettes solaires.

Le Soleil est une chance, conservons-la.



Théodore Hoarau

Président de MUTA Solaire
Mutualité de La Réunion



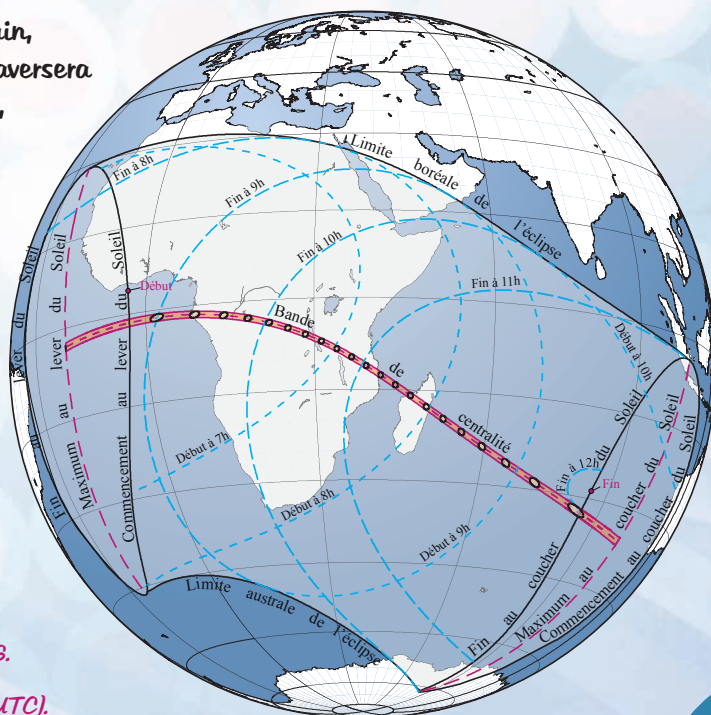


? Où observer l'éclipse du 1^{er} septembre et à quelle heure ?

La **bande de centralité** est le chemin que décrit l'**ombre** de la Lune (pour une éclipse totale) ou son **prolongement** (pour une éclipse annulaire) sur la Terre. Sa largeur avoisinera les **100 km** pour l'éclipse annulaire du 1^{er} septembre. L'**anneau solaire** sera **seulement visible depuis les lieux traversés par cette bande de centralité** : une partie du sud de l'Afrique, Madagascar et **la presque totalité de La Réunion**.

Après le continent africain, la bande de centralité traversera le canal du Mozambique, au sud des Comores et de Mayotte, puis Madagascar, de Majunga à Tamatave.

La bande de centralité couvrira **une grande partie de La Réunion** et passera au sud de l'île Maurice.



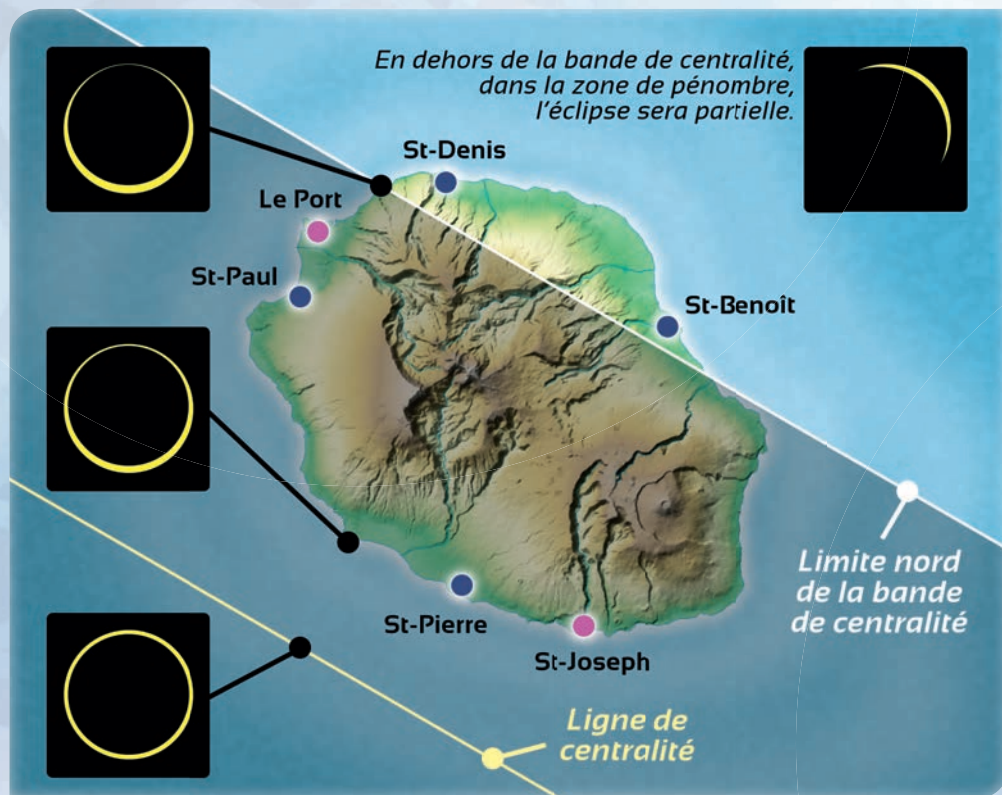
Carte de l'éclipse annulaire de Soleil du 1^{er} septembre 2016. Les instants sont donnés en Temps universel coordonné (UTC).

? Que verra-t-on pendant l'éclipse à La Réunion ?

Comme le montre la carte ci-dessous, toute La Réunion ne verra pas l'anneau solaire. La ligne de centralité passe à environ 15 km au sud-ouest de l'île. De la côte allant de la pointe du Gouffre aux plages de Saint-Pierre, un anneau presque régulier sera visible ; en s'écartant de cette zone, l'anneau sera de plus en plus irrégulier. Au-delà de la limite nord, l'éclipse sera partielle. Au maximum de l'éclipse, le Soleil sera occulté à 94% sur l'ensemble des terres couvertes par la bande de centralité.



Représentation schématique du Soleil occulté à 94%.



Bande de centralité sur l'île de La Réunion.

? Comment se déroulera l'éclipse à La Réunion ?

L'éclipse commencera à l'instant du premier contact de la Lune avec le disque solaire et sera d'abord visible au nord-ouest de l'île. Les instants exacts des contacts varieront en fonction des lieux d'observation. Dans la bande de centralité, voici les horaires approximatifs en heure locale (les horaires précis sont donnés en p. 34 pour les villes principales de l'île – il n'y a pas de 2^e et 3^e contact au nord de la bande de centralité) :

- Premier contact entre 12 h 22 (Le Port) et 12 h 24 (St-Joseph) ;
- Deuxième contact entre 14 h 08 et 14 h 10 ;
- Maximum de l'éclipse entre 14 h 09 et 14 h 11 ;
- Troisième contact entre 14 h 09 et 14 h 12 ;
- Quatrième contact entre 15 h 42 et 15 h 43.



La durée totale de l'éclipse sera d'environ **3 h 19 min**. La durée de la phase centrale variera de 0 à 2 min 45 s (à Saint-Pierre).



*Bande de centralité et positions de l'ombre de la Lune toutes les minutes.
Les instants sont donnés en Temps universel coordonné (UTC).*

? Est-il dangereux d'observer une éclipse de Soleil ?

Contrairement à certaines croyances ou propos alarmistes dans certains pays, une éclipse n'est **dangereuse que pour les yeux**. Mais il est **aussi dangereux d'observer une éclipse que de regarder le Soleil sans protection**. Personne ne prend d'ailleurs le risque de regarder le Soleil directement un jour normal. L'éclipse, aussi exceptionnelle et spectaculaire soit-elle, ne doit donc pas conduire à **l'imprudence** en pensant que le Soleil est moins dangereux ce jour-là parce qu'il est en partie masqué.



Le risque le plus grave est de devenir **aveugle**. Mais le rayonnement du Soleil peut avant cela entraîner des **lésions plus ou moins sérieuses**, de l'inflammation légère à la cécité partielle. Le risque est d'autant plus élevé que les lésions sont **indolores**, que ce soit à l'œil nu ou à travers un appareil, et que les rayons les plus dangereux (ultraviolets et infrarouges) sont **invisibles pour l'œil**.

Pour cette raison, il ne faut **en aucun cas regarder le Soleil à travers un quelconque objectif** qui concentrerait les rayons du Soleil directement sur la rétine. Il faut aussi **protéger impérativement les appareils d'observation**.



? Quelles solutions adopter pour observer une éclipse en toute sécurité ?

Il existe deux méthodes qui permettent d'observer une éclipse de Soleil sans prendre de risque :

1. Utiliser des protections adaptées, pour l'œil ainsi que pour les divers instruments d'observation.

Les lunettes spéciales éclipse



Ces lunettes sont **peu coûteuses**, il est facile de s'en procurer et simple de les utiliser. Il s'agit de lunettes souples à monture en carton garnies de mylar aluminé ou de polymère noir. On peut les trouver chez les revendeurs spécialisés : opticiens, associations d'astronomie ou dans les magazines spécialisés. Elles doivent être agréées et porter le label CE.



L'inconvénient du mylar est sa **fragilité** : les lunettes sont à manipuler avec de grandes précautions pour ne pas en altérer la surface, car des rayures ou des plis, aussi minimes soient-ils, suffisent à **laisser passer les rayons solaires**, dangereux même à faibles doses ; il est donc fortement recommandé de **n'utiliser les lunettes qu'une seule fois** ! Les lunettes en **polymère noir** sont beaucoup plus résistantes aux dégradations : le polymère a été traité dans la masse et ne possède pas de revêtement de surface qui puisse être altéré.

Le verre de soudure



Un autre filtre sûr pour les yeux est **le verre utilisé dans la fabrication des masques de soudeur** (grade 14 minimum pour assurer une absorption suffisante du rayonnement), que l'on trouve chez les vendeurs spécialisés en matériel de soudure .



D'autres filtres peuvent convenir, mais sont plus difficiles à se procurer ou à mettre en œuvre en toute sécurité. Sauf observateur aguerri et compte tenu des risques encourus, il est préférable de **ne pas tenter d'expériences approximatives !**

Les filtres à proscrire



- ❌ Les lunettes de soleil, même superposées !
- ❌ De vieilles radiographies : il est peu probable qu'elles soient suffisamment bien noircies sur une surface assez grande.
- ❌ Des matériaux noircis artisanalement, à la flamme de bougie par exemple.

Les filtres d'instruments



Tout matériel d'observation, comme les jumelles, les télescopes ou les appareils photo, **doit être protégé grâce à un filtre adéquat**, pour éviter des dégâts à l'appareil, mais surtout pour **protéger l'œil** qui pourrait se trouver derrière la lentille. Une lentille concentre beaucoup plus de rayons solaires que ne peut le faire l'œil : **les risques de lésions en observant à travers un appareil sont décuplés** et les lésions **beaucoup plus graves** que pour une observation directe à l'œil nu.



Sur tous les instruments qui seront utilisés (jumelles, appareils photo, lunettes et télescopes), **il faudra protéger l'objectif par un filtre adapté placé à l'avant de l'instrument.**



Surtout ne pas utiliser de filtres qui se vissent à l'oculaire et qui sont parfois vendus avec des lunettes et télescopes bas de gamme : ces filtres peuvent ne pas résister à la concentration des rayons qui les échauffent intensément !

Il faut donc **s'équiper d'un filtre de taille égale à celle de l'objectif** auprès d'un magasin spécialisé qui puisse garantir la qualité du filtre, la bonne dimension pour ne laisser passer aucun rayon et la fixation solide pour que le filtre ne puisse pas tomber au cours de l'observation. **Il est impératif qu'un adulte surveille en permanence le bon maintien du filtre sur l'instrument.**

2. L'observation par projection est la seconde méthode à appliquer pour ne risquer aucun des dangers déjà décrits. Bien adaptée à l'observation en groupe, cette méthode est facile à mettre en œuvre pour un coût très faible. Voici quelques expériences à réaliser.

Les feuilles de papier



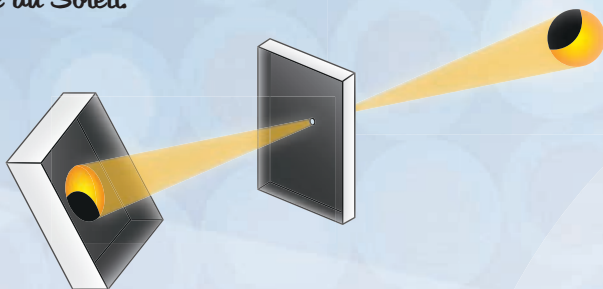
Munissez-vous de deux feuilles de papier cartonné (plus maniable que le papier ordinaire en raison de sa rigidité). La première feuille, percée d'un petit trou, est positionnée perpendiculairement à la direction du Soleil ; la seconde feuille est placée parallèlement à la première. Éloignez d'environ 50 cm la seconde feuille de la première et observez dessus l'image du Soleil.



La boîte à chaussures



Perciez le couvercle d'une boîte à chaussures quelconque et maintenez-le à environ 50 cm de la boîte. L'image du Soleil sera plus nette et plus lumineuse que sur la feuille de papier, car les bords de la boîte formeront une ombre plus prononcée dans le fond de la boîte, augmentant ainsi le contraste avec l'image du Soleil.



La projection multiple



On peut aussi assister à la **multiplication de la projection de l'image du Soleil** à travers plusieurs ouvertures, en utilisant par exemple le feuillage d'un arbre (image de gauche), une passoire (en haut à droite) ou les doigts croisés (en bas à droite).



Le solarscope



Le solarscope est un **instrument en kit muni d'une lentille**. C'est un **télescope solaire** très simple à installer et à régler, solide et peu encombrant (45 cm de long et 60 cm de haut pour un poids d'un kilo). Il permet d'observer le Soleil, ses taches, les passages de planètes devant le Soleil et les éclipses. Il permet aussi d'effectuer diverses mesures des mouvements célestes dans le cadre de travaux pratiques. Son prix très abordable (autour de 90 euros) en fait **un télescope parfait pour s'initier à l'observation du Soleil** et pour former des débutants sans risque.



Les télescopes amateurs et professionnels



Avec ces instruments, il est aussi possible d'observer le Soleil par projection en disposant un écran blanc à une certaine distance derrière l'oculaire. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'utiliser de filtre côté objectif, mais l'utilisation doit être rigoureuse : le pointage du Soleil devra se faire à tâtons, sans utiliser ni l'oculaire ni le chercheur, qui devra être retiré : quand l'ombre du tube optique est minimale sur l'écran de protection, l'image du Soleil apparaît sur l'écran de projection. Le dispositif devra bien évidemment rester sous haute surveillance pour s'assurer que personne ne glisse l'œil entre l'instrument et l'écran !



? Aller plus loin que l'observation : comment photographier une éclipse ?

Photographier une éclipse de Soleil est tout à fait possible, même si votre mémoire sera plus marquée par ce que vous aurez vécu en direct. Il ne faut donc pas que le temps consacré à la prise de vue l'emporte sur le temps d'observation, surtout au milieu du phénomène. Une bonne préparation technique et des répétitions s'avèrent donc nécessaires. Quel que soit le matériel utilisé, il doit être protégé par un filtre adapté ; vos yeux le seront par la même occasion. Ce filtre doit pouvoir se positionner au plus près de l'objectif.

//////////////// LE MATÉRIEL NÉCESSAIRE //////////////////

- ☒ Lunettes spéciales éclipse (1)
- ☒ Filtre pour objectif photo (2)
- ☒ Filtre pour lunette (3)
- ☒ Filtre pour télescope (4)



-1-

-2-

-3-

-4-

Les dimensions de l'image du Soleil visible dans l'objectif, ainsi que celles des détails visibles comme les taches solaires, sont **proportionnelles à la grandeur de la focale** ; il faut donc prendre quelques précautions :

- à partir de 200 mm de focale, il est conseillé de **fixer l'appareil photo sur un pied stable**, cela permet de suivre le Soleil plus facilement ;
- à partir de 1000 mm de focale, il est préférable d'avoir **une monture motorisée plutôt qu'un simple pied photographique** : si ce n'est pas le cas, vous passerez votre temps à suivre le Soleil à travers l'instrument au lieu de profiter du spectacle.

Un dernier conseil : disposer **un carton de protection autour du tube de l'objectif** vous permettra de bien orienter l'appareil. Le Soleil sera en effet bien positionné dans le champ lorsque le tube de l'objectif ne produira plus aucune ombre sur le carton.

////////////////////// **LES RÉGLAGES** ////////////////////////

- ✓ **La mise au point** : certains appareils se régleront seuls sur le Soleil malgré le filtre de protection. Pour d'autres, il faut que vous puissiez régler manuellement la distance pour avoir le maximum de netteté. La présence de taches solaires est alors bien utile pour faire la mise au point.
- ✓ **La sensibilité** : plusieurs amateurs conseillent des sensibilités basses, au voisinage de 100 iso. Travailler entre 200 iso et 400 iso permet également des temps de pose assez brefs.
- ✓ **Le diaphragme** : il n'est pas nécessaire d'ouvrir le diaphragme au maximum, la quantité de lumière étant suffisante. Un bon compromis se situe autour de $f/8$ et $f/11$.
- ✓ **Le temps de pose** : les essais alliant sensibilité, diaphragme et vitesse vous indiqueront le temps de pose adéquat. Attention à la surexposition qui produit un Soleil blanc. Là aussi, les taches solaires sont bien utiles pour être prêt le jour de l'éclipse : il est recommandé de réaliser plusieurs essais à des vitesses différentes afin de sélectionner à l'avance celle qui donne la plus belle image, où les taches sont bien visibles.

J'aime le Soleil,

Jeudi 1^{er} septembre 2016,
ce jour là, je porte obligatoirement
mes lunettes spéciales
éclipse MUTA Solaire



Je peux regarder
l'éclipse en toute sécurité !

je me protège!



Les autres jours de l'année, je porte des lunettes solaires !

Les yeux des enfants sont extrêmement vulnérables face au Soleil, car plus perméables à la lumière que ceux des adultes. Leurs pupilles s'ouvrent plus et leurs tissus sont moins riches en pigments. Ils ont également moins le réflexe de se protéger de l'éblouissement.

Le tableau des indices de protection des verres solaires

Pictogrammes	Indications d'utilisations	Transmission spectre visible	Transmission UVA bronzants	Transmission UVA brûlants	
0	 Réduction très limitée des rayons du Soleil	80 à 100 %	80 à 100 %	8 à 10 %	À ÉVITER
1	 Réduction limitée des rayons du Soleil	43 à 80 %	43 à 80 %	4,3 à 8 %	
2	 Utilisation générale	18 à 43 %	18 à 43 %	1,8 à 4,3 %	
3	 Haute protection contre les rayons du Soleil	8 à 18 %	4 à 9 %	0,4 à 0,9 %	INDICES DE PROTECTIONS RECOMMANDÉES
4	 Très haute protection contre les rayons du Soleil et interdit pour la conduite automobile	3 à 8 %	1,5 à 4 %	0,15 à 0,4 %	



Avant 1 an, 90% des UVA et 50% des UVB parviennent à la rétine.

À 10 ans, 60% des UVA et 25 % des UVB atteignent encore la rétine.

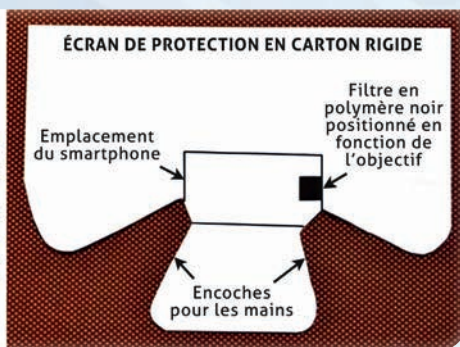
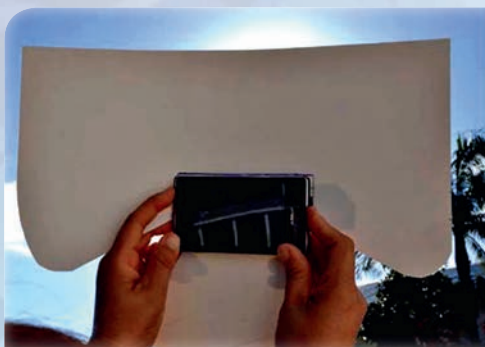


Les lunettes de soleil pour toute la famille !

Le cas des smartphones et tablettes



Il est tout à fait possible d'utiliser les smartphones et tablettes pour photographier l'éclipse, à condition d'utiliser un système de protection adéquat. La fabrication d'un écran de protection adapté à l'appareil utilisé est pour cela une solution simple à mettre en œuvre : il faudra surtout et impérativement placer un filtre en polymère noir devant l'objectif. L'image obtenue sera bien évidemment petite, mais le Soleil éclipé sera bien visible.



Le rythme des prises de vue



Au cours des phases partielles de l'éclipse du 1^{er} septembre 2016, de 12 h 20 min à 14 h 00 min, puis de 14 h 20 min à 15 h 40 min, une prise toutes les 20 minutes est suffisante.

Autour de la phase centrale, vous pouvez accélérer le rythme de prise de vue, mais il faudra alors faire attention à ne pas rater les 2^e et 3^e contacts, ainsi que le maximum de l'éclipse. Il est donc fortement recommandé de préparer soigneusement l'événement, en notant à l'avance ces instants précis pour le lieu où vous vous trouverez, afin d'écrire votre programme de prises de vue.

2

COMPRENDRE

l'éclipse du 1^{ER} SEPTEMBRE 2016



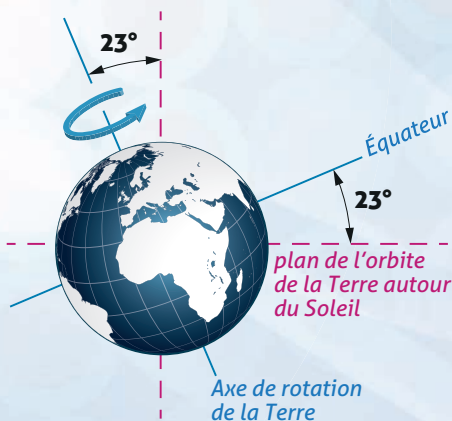
? Qu'est-ce qu'une éclipse de Soleil ?

Une éclipse de Soleil est le phénomène qui se produit lorsque la Lune masque le Soleil, quand elle « passe » entre la Terre et le Soleil. Il faut ainsi que la Terre, la Lune et le Soleil soient correctement alignés. Pour comprendre et prédire le phénomène des éclipses, il faut alors connaître la position et les mouvements de ces trois astres les uns par rapport aux autres.

La Terre, notre planète



La Terre se situe à environ 150 millions de kilomètres du Soleil. C'est la valeur de l'unité astronomique (ua) avec laquelle on mesure les distances dans le système solaire. La Terre tourne sur elle-même en un peu moins de 24 h : c'est cette rotation qui produit l'alternance du jour et de la nuit. Notre planète tourne sur elle-même autour d'un axe incliné d'environ 23° par rapport à l'axe perpendiculaire au plan de son orbite autour du Soleil et passant par le centre de la Terre. Le plan contenant l'équateur, qui divise la Terre en deux hémisphères nord et sud, est donc lui aussi incliné selon le même angle par rapport au plan de l'orbite de la Terre autour du Soleil.



Distance moyenne Terre-Soleil = 1 ua = 149 597 870 700 mètres

Les saisons sur Terre

La Terre tourne autour du Soleil en une année, suivant un mouvement appelé **révolution** : c'est ce mouvement combiné à l'inclinaison de la Terre qui explique l'alternance des saisons sur Terre et les durées inégales du jour et de la nuit selon la période de l'année. Si l'axe de rotation de la Terre était perpendiculaire au plan de son orbite autour du Soleil, tous les lieux du globe seraient toujours exposés au Soleil de la même façon : il n'y aurait donc pas de saisons !

Le repère géocentrique

La Terre tourne 366,24 fois sur elle-même pendant qu'elle fait le tour du Soleil en 365,24 jours. Mais sur Terre, on ne perçoit pas ces mouvements et en regardant le ciel, ce sont le Soleil et les étoiles qui semblent tourner autour de la Terre : on appelle cela le **déplacement apparent des astres**. C'est pour cette raison qu'en astronomie, on représente le mouvement des astres dans un repère géométrique dont le centre de la Terre est l'origine. Ainsi, les explications sont plus proches de ce que nous percevons. C'est ce qu'on appelle le **repère géocentrique**, par opposition au **repère héliocentrique** où le centre du Soleil est l'origine du repère.

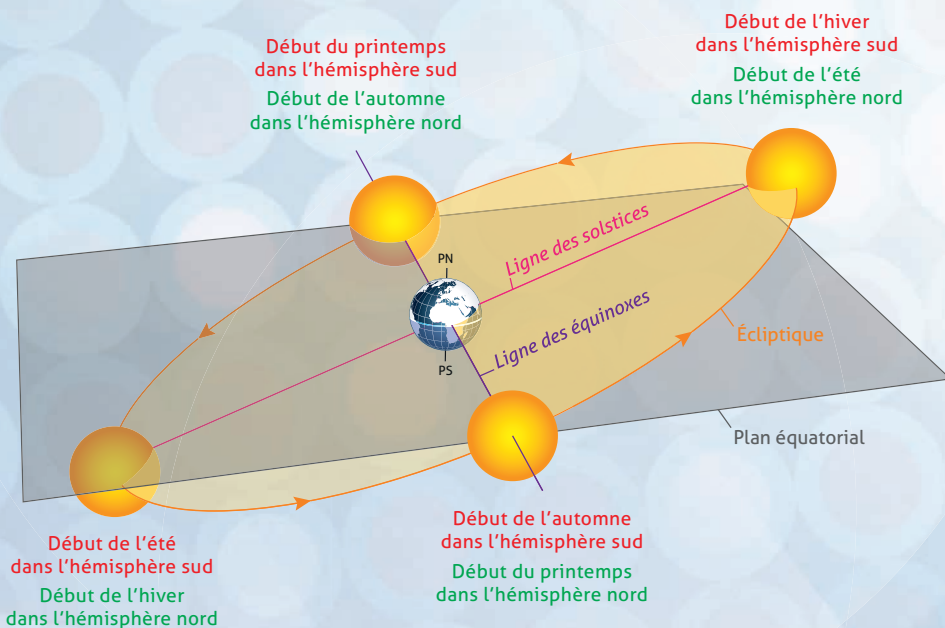


Schéma de la trajectoire apparente du Soleil

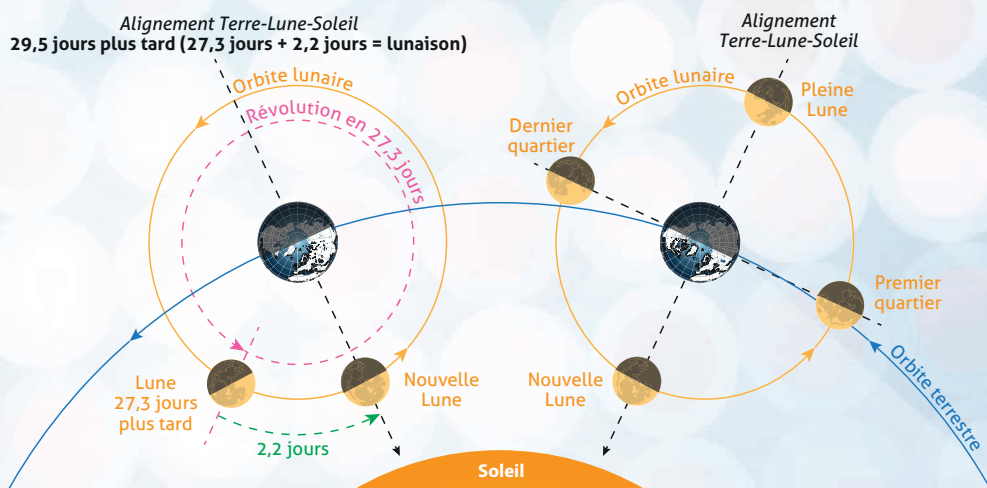
En raison de l'inclinaison du plan de l'orbite de la Terre autour du Soleil, appelé « écliptique », par rapport au plan équatorial, défini par l'équateur terrestre, les saisons sont inversées entre les deux hémisphères nord et sud de la Terre.

La Lune, notre satellite



La Lune se situe à environ **380 000 km de la Terre**. Elle tourne autour de notre planète tout en tournant sur elle-même en **27,3 jours** : c'est pourquoi on ne voit toujours que la même face de la Lune.

Au cours de sa rotation autour de la Terre, la Lune présente **plusieurs phases** : le premier quartier, la pleine Lune, le dernier quartier et la nouvelle Lune, en fonction de sa position par rapport au Soleil. Le retour à une même phase se fait en **29,5 jours environ** : cette durée de révolution s'appelle **une lunaison**.



? Quand la Lune passe-t-elle entre la Terre et le Soleil ?

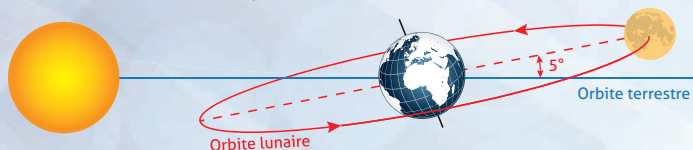
C'est tous les **29,5 jours**, au moment de la **nouvelle Lune**, que la Lune passe entre la Terre et le Soleil et qu'il peut donc se produire une éclipse. Toutefois, il n'y a pas d'éclipse à chaque nouvelle Lune : **le Soleil, la Lune et la Terre ne sont pas toujours parfaitement alignés**. La danse céleste apparemment bien organisée des astres comporte quelques « anomalies » qui rendent difficile cet alignement !

Les « anomalies »



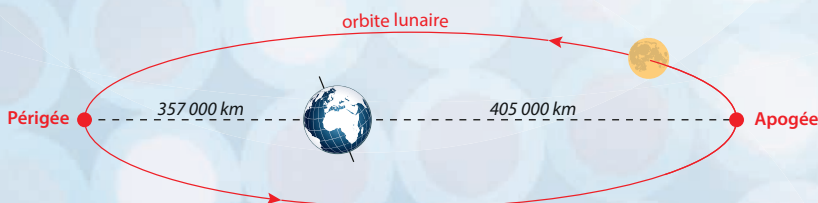
L'inclinaison de l'orbite de la Lune

La trajectoire de la Lune autour de la Terre est **légèrement inclinée d'un angle de 5°** par rapport à celle de la Terre autour du Soleil (ou, ce qui revient au même, par rapport au déplacement apparent du Soleil autour de la Terre). La Lune a donc **moins de possibilités** de se trouver exactement à la bonne position pour masquer le Soleil.



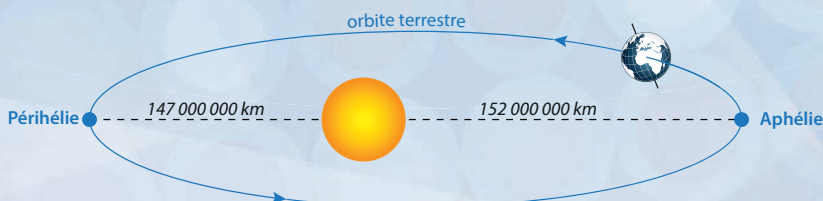
La variation de la distance Terre-Lune

L'orbite de la Lune ne décrit pas un cercle parfait autour de la Terre, mais une **ellipse**. La Lune ne se trouve donc **pas toujours à la même distance de la Terre** : elle peut se trouver entre 357 000 km au plus près de la Terre (périgée) et 405 000 km au plus loin de la Terre (apogée).



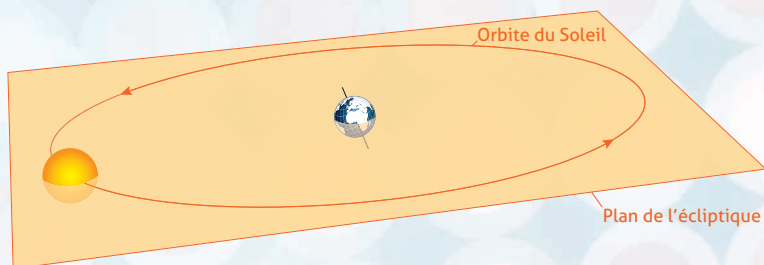
La variation de la distance Terre-Soleil

De la même façon, l'orbite de la Terre ne décrit pas un cercle parfait autour du Soleil, mais une **ellipse**. La Terre peut se trouver entre 147 000 000 km au plus près du Soleil (périhélie) et 152 000 000 km au plus loin du Soleil (aphélie).

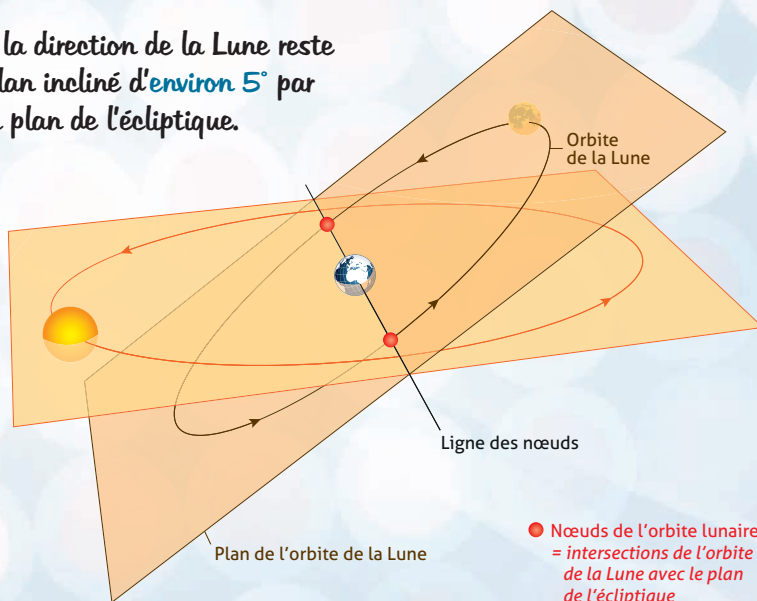


? À quel moment le Soleil a-t-il rendez-vous avec la Lune ?

Dans un repère géocentrique, la direction du Soleil, lorsqu'il parcourt son orbite, reste dans un plan appelé **plan de l'écliptique**, car c'est lorsque la Lune se trouve aussi dans ce plan que les éclipses peuvent se produire.



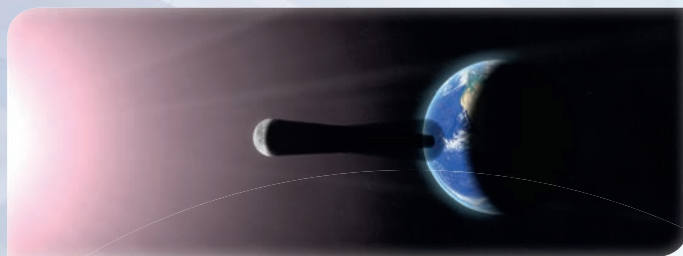
De même, la direction de la Lune reste dans un plan incliné d'**environ 5°** par rapport au plan de l'écliptique.



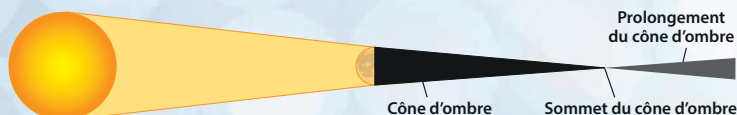
Dans ces conditions, le plan de l'orbite du Soleil et celui de l'orbite de la Lune se croisent suivant une ligne appelée **ligne des nœuds**. Le Soleil croise cette ligne **deux fois par an** : c'est à ce moment, à condition que ce soit la nouvelle Lune, que le Soleil, la Lune et la Terre peuvent être alignés et qu'une éclipse de Soleil peut se produire.

? En quoi consiste une éclipse de Soleil sur Terre ?

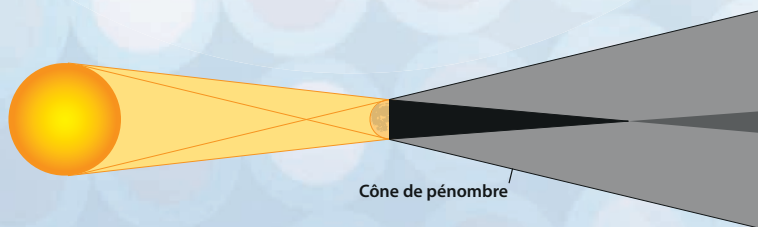
Sur Terre, la Lune projette une **zone d'ombre** qui correspond à la zone d'où est visible l'éclipse. Cette ombre est causée par la Lune qui intercepte les rayons du Soleil.



Là où les rayons du Soleil ne passent plus, il se crée une **zone d'ombre en forme de cône** jusqu'à un certain point (sommet du cône d'ombre). Au-delà de ce point se forme une **zone de pénombre : le prolongement du cône d'ombre**.



Autour du cône d'ombre, il y a une **zone de mi-ombre** qui laisse passer seulement une partie des rayons du Soleil : c'est **le cône de pénombre**.



Il y a une éclipse de Soleil lorsque la Terre rencontre le cône d'ombre, le prolongement du cône d'ombre ou le cône de pénombre. C'est **la variation de la distance Terre-Lune** qui explique que la Terre peut passer soit dans le cône d'ombre soit dans le prolongement du cône d'ombre : le diamètre apparent de la Lune peut alors être **supérieur, égal ou inférieur** à celui du Soleil.

Les tailles apparentes



Bien qu'étant très éloignés l'un de l'autre, le Soleil et la Lune peuvent nous apparaître **aussi grands l'un que l'autre** s'ils se trouvent dans un rapport distance-taille équivalent : ils ont alors **le même diamètre apparent**. La Lune peut ainsi masquer complètement le Soleil. C'est le même phénomène qui nous fait percevoir deux objets de tailles différentes aussi grands l'un que l'autre si leur éloignement réciproque est égal à leur différence de taille.



Un ballon et une balle de tennis
à la même distance
(le ballon est deux fois plus gros) :
*le diamètre apparent du ballon
est deux fois plus grand
que celui de la balle*



Le ballon et la balle de tennis
à une distance différente
en rapport avec leur différence de taille
(le ballon est deux fois plus loin) :
*ils ont le même diamètre apparent
alors qu'ils n'ont pas la même taille*

Ce même phénomène de perspective nous fait voir deux objets de même taille **plus petits ou plus grands l'un par rapport à l'autre** selon leur distance respective à l'observateur.



Deux balles de tennis
de même taille à la même distance :
elles ont le même diamètre apparent



Les mêmes balles de tennis
à deux distances différentes :
*elles n'ont plus le même diamètre apparent
alors qu'elles ont toujours la même taille*

Si la distance entre les deux objets n'a pas le même rapport que leur différence de taille, alors **les diamètres apparents ne sont pas les mêmes**.



Le ballon et la balle de tennis
sont **trop éloignés** l'un de l'autre



Le ballon et la balle de tennis
sont **trop proches** l'un de l'autre

La variation du diamètre apparent de la Lune entraîne ainsi des éclipses de de Soleil de types différents.

? Quels sont les différents types d'éclipse de Soleil ?

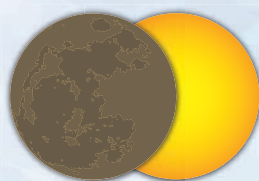
De la Terre, un observateur peut voir plusieurs types d'éclipse de Soleil : une éclipse **totale**, une éclipse **annulaire** ou une éclipse **partielle**. Ce qui distingue ces éclipses est l'importance de la partie occultée du Soleil.



Éclipse totale



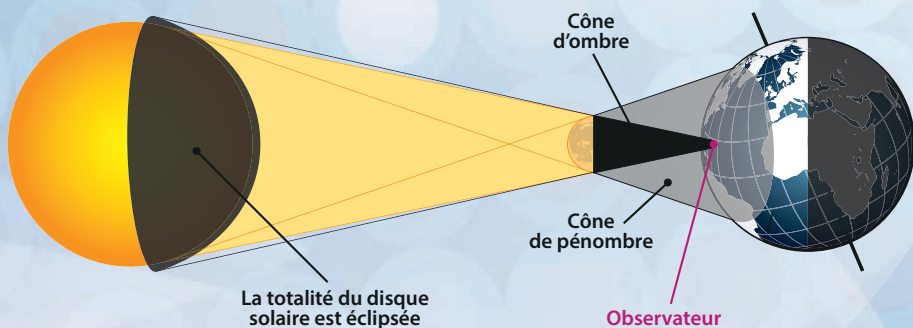
Éclipse annulaire



Éclipse partielle

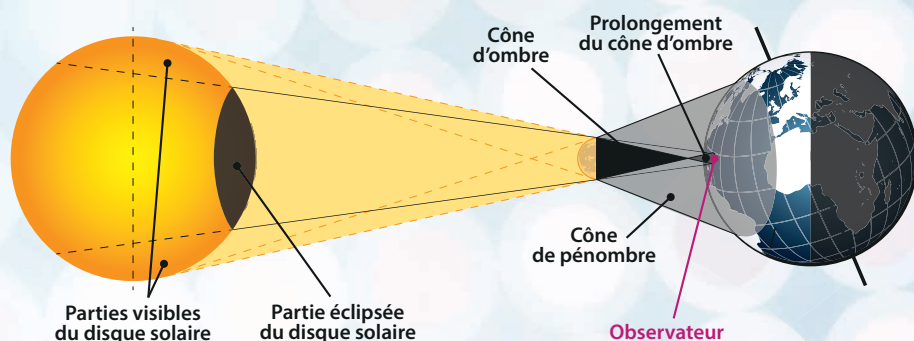
L'éclipse totale

Le Soleil a un diamètre de **1 390 000 km** et la Lune un diamètre de **3 500 km**. Si la Lune a un diamètre apparent **égal ou supérieur** à celui du Soleil, il se produit une éclipse totale. Le Soleil et la Lune peuvent ainsi avoir le même diamètre apparent en raison d'une heureuse coïncidence : le Soleil est **400 fois plus gros que la Lune** et peut ainsi être masqué exactement par le disque lunaire lorsqu'il est **400 fois plus loin de la Terre que ne l'est la Lune**. Lorsque la surface terrestre rencontre le cône d'ombre, pour un observateur situé dans ce cône d'ombre, la surface du Soleil est complètement occultée par la Lune.



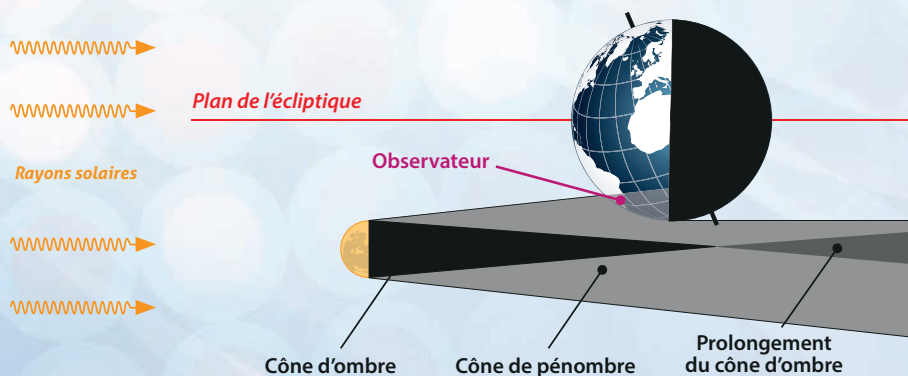
L'éclipse annulaire

Si la Lune apparaît **plus petite** que le Soleil, on assiste alors à une éclipse annulaire. Lorsque la surface terrestre rencontre le prolongement du cône d'ombre, pour un observateur situé dans ce prolongement du cône d'ombre, la surface du Soleil n'est pas complètement occultée par la Lune : **un anneau de Soleil déborde du disque lunaire.**



L'éclipse partielle

Si la Lune n'est **pas suffisamment bien alignée** avec la Terre et le Soleil, **ni l'ombre de la Lune ni son prolongement ne touchent la Terre** : d'aucun point de la surface de la Terre ne sera visible une éclipse totale ou annulaire. Un observateur placé dans le cône de pénombre assiste à une éclipse partielle.



? Quelles sont les différentes étapes d'une éclipse de Soleil ?

Les éclipses de Soleil se déroulent en **plusieurs phases** en fonction du type d'éclipse. La Lune passe petit à petit devant le Soleil (de gauche à droite dans l'hémisphère sud et de droite à gauche dans l'hémisphère nord, selon une trajectoire apparente variable), le masque en partie et/ou totalement, puis continue son chemin en quittant le Soleil progressivement. **Cela correspond aux instants où l'observateur entre et sort des cônes de pénombre et d'ombre.**

Les phases d'une éclipse totale

Une éclipse totale commence par une **phase partielle** après le premier contact, puis passe par une **phase de totalité** quand la Lune cache entièrement le Soleil, puis par une **nouvelle phase partielle** lorsque le Soleil commence à réapparaître, jusqu'au dernier point de contact (les pointillés figurent le disque solaire masqué).



Les phases d'une éclipse annulaire

Une éclipse annulaire commence aussi par une **phase partielle** avant de passer par le début de la **phase annulaire** quand la Lune entre entièrement à l'intérieur du disque solaire, puis se produit une **phase centrale** où l'anneau solaire est visible tout autour du disque lunaire. La phase annulaire s'achève quand la Lune commence à sortir du disque solaire et la phase partielle lorsque la Lune quitte complètement le Soleil.



Les phases d'une éclipse partielle

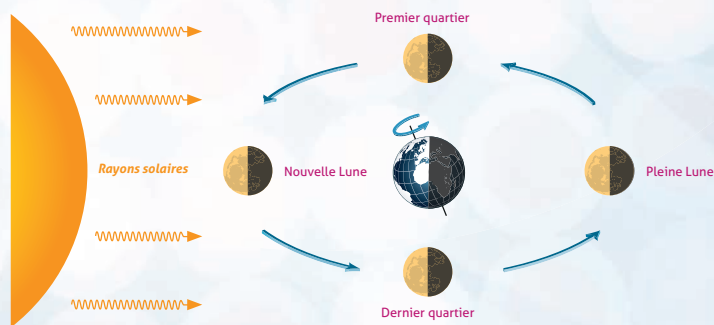
Dans le cas d'une éclipse partielle, il n'y a qu'une seule phase. La phase partielle commence au moment où la Lune entre en contact avec le Soleil et se termine au moment où elle quitte le dernier point de contact avec le Soleil.

ASPECT DANS L'HÉMISPHERE SUD

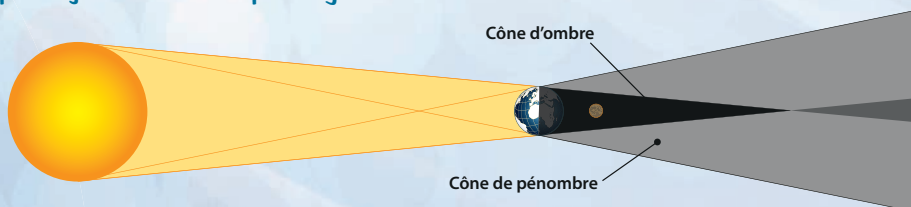


? Quel autre type d'éclipse peut-on observer ?

Il existe un autre type d'éclipse : les **éclipses de Lune**. Pour observer une éclipse de Lune, la Lune doit être en phase de « **pleine Lune** », c'est-à-dire qu'elle doit être située **derrière la Terre** qui alors intercepte les rayons du Soleil.



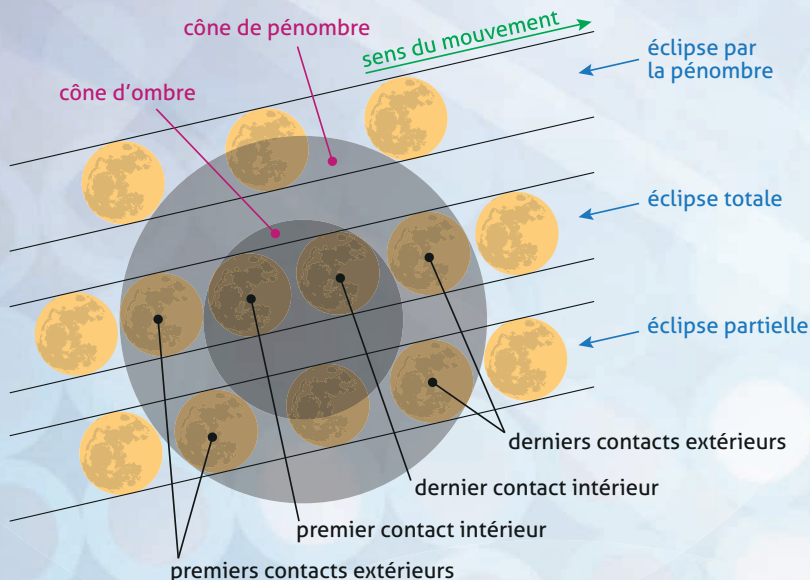
Comme pour les éclipses de Soleil, il se produit une éclipse de Lune lorsque le Soleil, la Terre et la Lune sont alignés et que la Lune passe dans le cône d'ombre ou dans le cône de pénombre de la Terre. En raison de sa faible distance à la Terre, la Lune ne passe jamais dans le prolongement du cône d'ombre de la Terre.



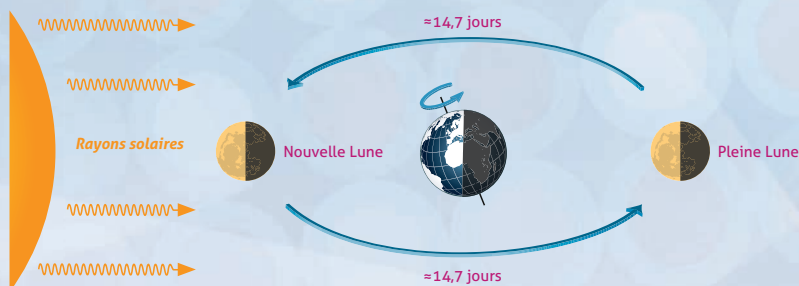
Les types d'éclipses de Lune



On peut assister à une **éclipse par la pénombre** quand la Lune entre dans le cône de pénombre produit par la Terre, et à une **éclipse partielle ou totale** selon que la Lune entre entièrement ou partiellement dans le cône d'ombre de la Terre.



Une éclipse de Lune peut se produire **juste avant ou juste après une éclipse de Soleil**. En effet, la configuration favorable à une éclipse de Soleil, c'est-à-dire un alignement du Soleil, de la Lune et de la Terre, est également favorable à une éclipse de Lune, c'est-à-dire un alignement du Soleil, de la Terre et de la Lune, **14,7 jours avant ou 14,7 jours après** l'éclipse de Soleil, période qui s'écoule entre la nouvelle Lune et la pleine Lune.

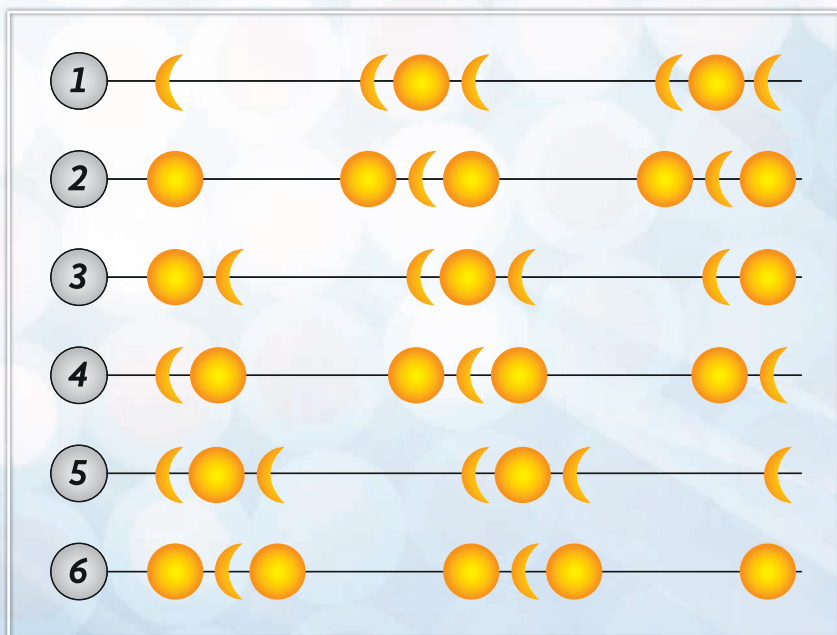


? Combien y a-t-il d'éclipses en une année ?

Le Soleil passe *coupe la ligne des nœuds* tous les 173 jours, ce qui offre les conditions nécessaires pour qu'une éclipse ait lieu. Il peut y avoir au maximum *trois passages* du Soleil aux nœuds en une année : un en tout *début* d'année, un en *milieu* d'année et un en *fin* d'année.

À la *nouvelle Lune* et à la *pleine Lune*, au plus proche des instants du passage du Soleil par la ligne des nœuds, il y a *obligatoirement une éclipse de Soleil et une éclipse de Lune*. Mais, parfois, il peut y avoir *jusqu'à trois éclipses* : deux éclipses de Soleil de part et d'autre d'une éclipse de Lune, ou deux éclipses de Lune de part et d'autre d'une éclipse de Soleil.

Il y a donc *au minimum quatre éclipses par an*, deux de Soleil et deux de Lune, et *au maximum sept éclipses*, dont au moins deux de Soleil et deux de Lune, les trois autres pouvant être quelconques.



Les six cas possibles d'une année à sept éclipses.

Les circonstances locales à La Réunion



Le tableau ci-dessous donne, pour les villes principales de La Réunion, les circonstances locales de l'éclipse du 1^{er} septembre 2016 en Temps universel (ajouter 4 heures à UTC pour obtenir le temps légal à La Réunion).

	Premier contact	Deuxième contact	Maximum de l'éclipse	Troisième contact	Quatrième contact	Durée de la phase centrale
<i>Bras-Panon</i>	8 h 23,4 min	—	10 h 10,7 min	—	11 h 42,4 min	—
<i>Cilaos</i>	8 h 23,2 min	10 h 08,4 min	10 h 09,5 min	10 h 10,5 min	11 h 42,3 min	2 min 7,6 s
<i>La Possession</i>	8 h 22,4 min	10 h 08,5 min	10 h 09,2 min	10 h 09,5 min	11 h 42,2 min	0 min 55 s
<i>Le Port</i>	8 h 22,3 min	10 h 08,3 min	10 h 09,1 min	10 h 09,5 min	11 h 42,1 min	1 min 17 s
<i>Les Trois-Bassins</i>	8 h 22,4 min	10 h 08,1 min	10 h 09,2 min	10 h 10,3 min	11 h 42,2 min	2 min 19 s
<i>Le Tampon</i>	8 h 23,4 min	10 h 08,5 min	10 h 10,3 min	10 h 11,2 min	11 h 42,4 min	2 min 31 s
<i>L'Étang-Salé</i>	8 h 23,8 min	10 h 08,2 min	10 h 09,4 min	10 h 10,6 min	11 h 42,3 min	2 min 44 s
<i>St-André</i>	8 h 23,3 min	—	10 h 10,1 min	—	11 h 42,4 min	—
<i>St-Benoît</i>	8 h 23,5 min	—	10 h 10,1 min	—	11 h 42,5 min	—
<i>St-Denis</i>	8 h 22,5 min	—	10 h 09,3 min	—	11 h 42,2 min	—
<i>Ste-Marie</i>	8 h 24,0 min	—	10 h 09,4 min	—	11 h 42,3 min	—
<i>St-Joseph</i>	8 h 24,3 min	10 h 08,6 min	10 h 10,2 min	10 h 11,4 min	11 h 42,5 min	2 min 40 s
<i>St-Louis</i>	8 h 23,2 min	10 h 08,3 min	10 h 09,5 min	10 h 11,1 min	11 h 42,3 min	2 min 44 s
<i>St-Paul</i>	8 h 22,3 min	10 h 08,2 min	10 h 09,2 min	10 h 10,1 min	11 h 42,2 min	1 min 57 s
<i>St-Pierre</i>	8 h 23,4 min	10 h 08,4 min	10 h 09,6 min	10 h 11,2 min	11 h 42,4 min	2 min 45 s

PARTENAIRES



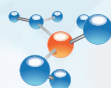
61 Avenue de l'Observatoire,
75014 Paris
01 40 51 22 21
www.obspm.fr



AGORA Observatoire des Makes
18 Rue Georges Bizet, Les Makes
97421 La Rivière
02 62 37 86 83
www.ilereunion.com/observatoire-des-makes

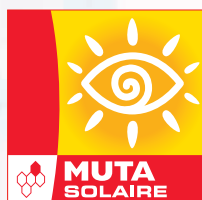


perrigault.sfm@wanadoo.fr
www.ilereunion.com/observatoire-des-makes/aar



SCIENCES REUNION
CENTRE DE CULTURE SCIENTIFIQUE,
TECHNIQUE & INDUSTRIELLE

3 rue Serge Icard
97490 Sainte-Clotilde
02 62 92 24 39
www.sciences-reunion.net



14, Boulevard doret
97400 Saint-Denis
02 62 94 77 00
www.reunion.mutualite.fr



Rectorat de La Réunion
24, avenue Georges Brassens
CS 71003
97743 Saint-Denis Cedex 9
www.ac-reunion.fr

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage est une création originale du Service édition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE). Cet institut de l'Observatoire de Paris construit, fournit et publie les éphémérides de l'ensemble des corps du système solaire. Son expertise en matière de mécanique céleste fait de lui la source publique officielle des éphémérides françaises et l'un des partenaires majeurs des agences spatiales pour les grands projets internationaux.

Direction éditoriale – Sylvie Lemaître
Direction scientifique – Patrick Roher, Pascal Descamps
Maquette et infographie – Yohann Gominet

Avec la participation de Michel Vignand, co-auteur de la première partie de cet ouvrage.
Remerciements à tous ceux qui, par leur lecture attentive, leurs remarques et suggestions, ont permis d'améliorer le contenu de ce document.

CRÉDITS DES ILLUSTRATIONS (par page, de haut en bas, de gauche à droite)

Photo de couverture : Beboy – 7 : P. Roher/Y. Gominet – 8 : Y. Gominet – 9 : P. Roher/Y. Gominet
10 : Y. Gominet – 11 : CC BY Arches National Park – 12 : U.S. Air Force – 13 : N. Brown
14 : Y. Gominet – 15 : CC BY-SA 2.0 Casaubon Belbo Diotallevi * CC BY-SA 3.0 Brocken Inaglory *
CC BY 2.0 David O. * J. Berthier – 16 : CC BY-SA 2.1 Luis Fernández García * M. Vignand
20 : M. Vignand – 21 à 27 : Y. Gominet – 28 à 33 : P. Roher/Y. Gominet.

J'aime le Soleil, je me protège !



Photo : David Dijoux

Nos yeux sont très sensibles au Soleil
et nous devons les protéger.
Ceux des enfants sont encore plus vulnérables :
jusqu'à l'adolescence, ils ne bénéficient
d'aucune protection naturelle.

Dans les régions tropicales comme la nôtre,
l'index ultraviolet (UV) est très élevé,
toute l'année et sur toute l'île
(en bord de mer, dans les hauts,
mais également en ville).

Pour protéger mes yeux, j'ai le réflexe UV !

L'OMS ajoute à l'échelle des index UV
les recommandations suivantes :

- 1-2** > Il est tout de même conseillé de porter
des lunettes de soleil
- 3-5** > Il est conseillé aux enfants de porter
des lunettes de soleil
- 6-7** > Il est conseillé de porter des lunettes
de soleil quel que soit l'âge
- 8-10** > Il est conseillé de porter des lunettes
de soleil quel que soit l'âge
- 11+** > Il est conseillé de porter des lunettes de
soleil de haute protection quel que soit l'âge



1 et 2	Faible
3 à 5	Modéré
6 et 7	Fort
8 à 10	Très fort
11 et +	Extrême



Les lunettes de soleil pour toute la famille !

SAINT-DENIS • SAINT-PAUL • SAINT-GILLES • LE TAMPON