

Les éclipses de Soleil

PIERRE GUILLERMIER • SERGE KOUTCHMY

Spectacle naturel extraordinaire, les éclipses restent un moyen unique d'étudier la couronne, l'atmosphère chaude qui ceinture le Soleil.

Le 11 août 1999, vers midi, le Soleil disparaîtra durant deux minutes, révélant la couronne qui entoure le disque solaire. Si la compréhension des mouvements de la Lune et de la Terre a apaisé les peurs ancestrales, nous restons émus lors de ces rares instants où le Soleil prend un aspect insolite et terrifiant. Les éclipses sont des spectacles grandioses qui attirent des milliers de passionnés sur les sites d'observation privilégiés par le passage de l'ombre de la Lune en plein jour.

Les éclipses de Soleil résultent du passage de la Lune entre le Soleil et la Terre. L'ombre de la Lune se projette alors sur la Terre, créant une tache d'ombre qui se déplace à quelques milliers de kilomètres par heure. En un lieu donné de la Terre, il se produit une éclipse totale tous les 370 ans : le spectacle est rare. Une seule fois au cours du XX^e siècle, l'ombre d'une éclipse totale de Soleil a traversé la France : le 15 février 1961 (en 1912, il y eut une éclipse presque totale). L'éclipse du 11 août 1999, la dernière du millénaire, se produira, en France, au milieu de la journée : le Soleil sera donc haut sur l'horizon. Les circonstances de cet événement ont été calculées depuis longtemps à la seconde près et, au sol, au kilomètre près.

Révélatrices de l'extraordinaire précision de la mécanique céleste, les éclipses totales de Soleil dévoilent aussi des parties du Soleil autrement inaccessibles : la chromosphère et la couronne, atmosphères ténues de gaz chauds qui se déversent en permanence dans le milieu interplanétaire (voir la figure 1). Certes, avec les sondes spatiales ou les instruments de radioastronomie, on observe la couronne en continu, mais de nombreux astrophysiciens considèrent encore que les éclipses sont des moments privilégiés : ce sont des instants où les parties de la couronne révélées diffèrent de celles observées par les sondes.

Après avoir examiné les conditions d'une éclipse de Soleil, nous détaillons les phénomènes que l'on observe du sol et, notamment ceux que l'on doit attendre lors de l'éclipse du 11 août prochain. Enfin, nous verrons comment l'étude des éclipses nous renseigne sur les mécanismes de chauffage de la couronne et sur l'élaboration des structures observées.

Les conditions géométriques

L'orbite de la Lune autour de la Terre est une ellipse. Au cours de son mouvement autour de la Terre, la Lune vient se placer à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre, et elle est alors entièrement éclairée : c'est la pleine Lune. À l'inverse, lorsque la Lune se trouve entre la Terre et le Soleil, on ne voit plus sa face éclairée : c'est la nouvelle Lune. En éclairant une planète, le Soleil produit un cône d'ombre entouré de pénombre. Lorsque la Terre passe dans le cône d'ombre ou de pénombre de la Lune, il se produit une éclipse de Soleil : de la Terre, on ne voit plus du tout le Soleil (cône d'ombre) ou bien on n'en voit qu'une partie (cône de pénombre). Ainsi, les éclipses de Soleil se produisent au voisinage de la nouvelle Lune, lorsque la Lune est entre la Terre et le Soleil.

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse de Soleil à chaque nouvelle Lune, à peu près tous les mois ? Parce que l'orbite lunaire est inclinée de cinq degrés environ par rapport au plan de l'orbite de la Terre autour du Soleil (l'écliptique). L'orbite de la Lune coupe donc l'écliptique en deux points opposés nommés nœuds. Tantôt la Lune est au-dessous du plan de l'écliptique, tantôt au-dessus : elle n'intercepte alors pas la lumière du Soleil.

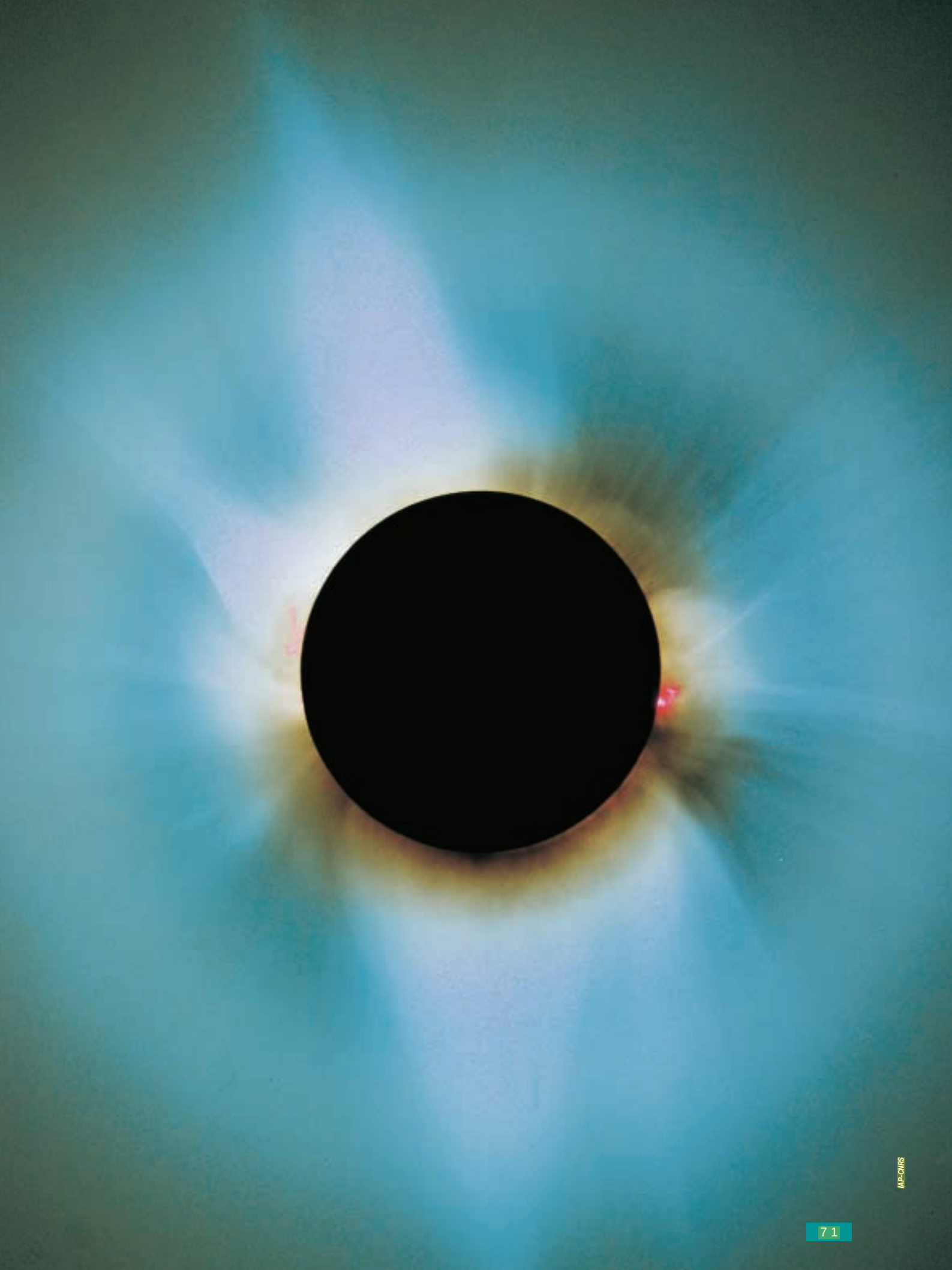
Pour qu'il y ait une éclipse de Soleil, il faut que deux conditions soient réunies : la Lune doit être nouvelle et

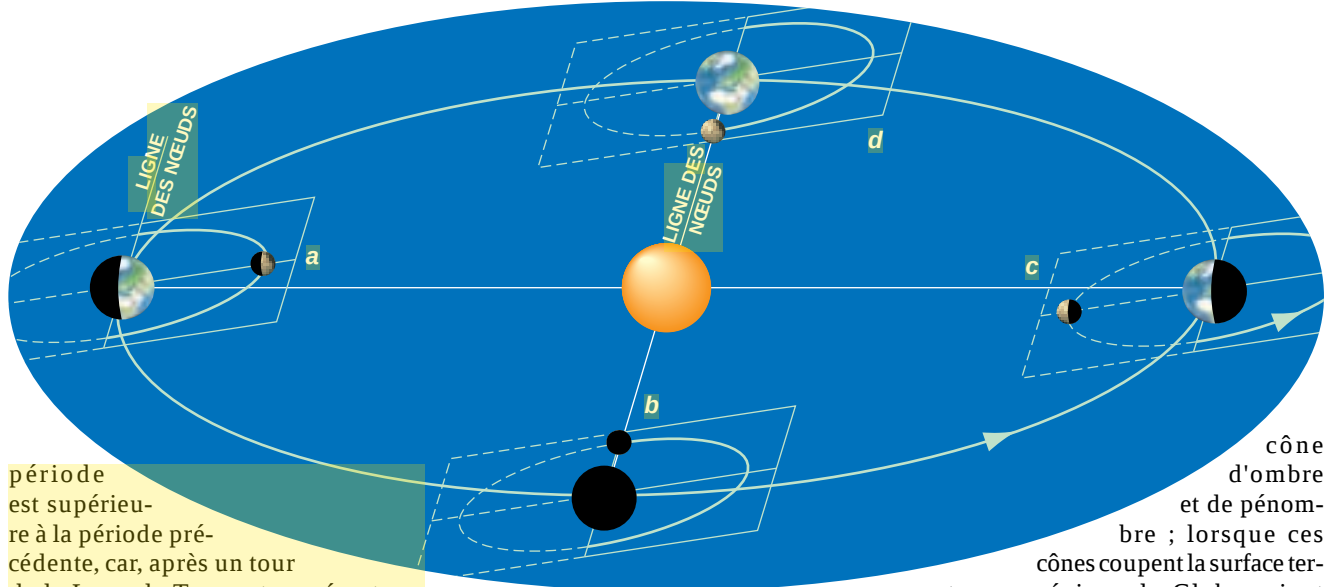
elle doit être au voisinage d'un nœud. Or, la ligne des nœuds est orientée vers le Soleil tous les six mois environ (voir la figure 2). Ainsi, tous les six mois il se produit une éclipse de Soleil, car, à la période de passage du Soleil au voisinage d'un nœud, il y a au moins une nouvelle Lune. Au même passage, on peut même avoir une seconde éclipse, car, à la lunaison suivante, le Soleil ne s'est parfois pas trop éloigné du nœud.

Chaque année, on observe de la Terre au moins quatre éclipses, dont nécessairement deux de Soleil et deux de Lune (les éclipses de Lune se produisent à la pleine Lune, lorsque la Terre est entre la Lune et le Soleil) ; le nombre maximum d'éclipses par an est de sept et, dans ce cas, il y aura encore deux éclipses de Soleil et deux éclipses de Lune ; pour les trois éclipses restantes, toutes les combinaisons sont possibles.

Outre cette périodicité annuelle, on peut calculer la période de retour des mêmes conditions d'une éclipse, c'est-à-dire quand la Lune sera au même nœud de son orbite avec la même phase. C'est la période entre deux éclipses identiques. La période de retour de la Lune au nœud ascendant de son orbite est de 27 jours 5 heures et 5 minutes. La période de lunaison, qui s'écoule entre deux phases identiques de la Lune, est égale à 29 jours 12 heures et 44 minutes, c'est par exemple la période entre deux nouvelles lunes. Cette

1. LE 11 JUILLET 1991, l'ombre de la Lune passe sur le site de l'Observatoire de Hawaii. À l'aide d'un télescope de 20 centimètres de diamètre, les astronomes prennent ce cliché de la couronne solaire. Un filtre neutre d'atténuation radiale absorbe fortement les zones brillantes, les plus proches de la surface solaire, de sorte que les zones faibles de la couronne, les plus lointaines, apparaissent. Celles-ci sont déviées par rapport au plan équatorial (horizontal) en raison des fortes éruptions du Soleil à cette période. Telles des langues de feu, deux protubérances de gaz s'échappent de la surface (en rouge).





période est supérieure à la période précédente, car, après un tour de la Lune, la Terre a tourné autour du Soleil, de sorte qu'environ deux jours supplémentaires sont nécessaires pour que la Lune retrouve sa position par rapport au Soleil. Le retour des mêmes conditions favorables à une éclipse se fera pour un multiple commun à ces périodes : c'est 223 lunaisons, soit 18 ans 10 jours (ou 11 jours si cette période s'étend sur cinq années bissextiles) et 8 heures. Cette période n'est pas un nombre exact de jours, et, la fraction de jour étant d'environ un tiers de jour (8 heures), les mêmes éclipses se reproduisent 18 ans et 10 jours après, mais avec un décalage en longitude d'environ 120 degrés.

Au cours de ce cycle, nommé Saros, on observe en moyenne le même nombre d'éclipses. Toutefois, en raison des irrégularités du mouvement de l'orbite lunaire, la succession du type des éclipses n'est pas conservée. Durant un Saros, il y a en moyenne 84 éclipses (42 de Soleil et 42 de Lune), qui se répartissent, pour les éclipses de Soleil, de la façon suivante : 14 éclipses partielles et 28 éclipses totales. On distingue des Saros pauvres, avec un petit nombre d'éclipses (78 éclipses), et des Saros riches, avec un grand nombre d'éclipses (94 éclipses).

Coïncidence cosmique

Lors d'une éclipse totale, le Soleil, caché derrière la Lune, disparaît. Ce phénomène est dû à une coïncidence : la Lune est 400 fois plus petite que le Soleil, mais elle est également 400 fois plus proche, de sorte que, vu de la Terre, leur diamètre apparent sont voisins. Les variations de diamètre apparent de ces deux astres résultent des variations de distance entre la Terre et le Soleil, ainsi qu'entre la Terre et la Lune (le diamètre apparent du Soleil est compris entre

2. LA LIGNE DES NŒUDS est l'intersection du plan de l'orbite terrestre autour du Soleil et du plan de l'orbite lunaire. Une éclipse ne peut se produire que lorsque la ligne des nœuds est orientée vers le Soleil. Si, vue de la Terre, la Lune passe au-dessus du Soleil (a), il faut attendre trois mois pour qu'elle puisse passer devant le Soleil (b). Trois mois plus tard, la Lune passe au-dessous du Soleil (c) et, trois mois plus tard encore, elle peut de nouveau passer devant le Soleil (d). Ainsi, il faut attendre environ six mois entre deux éclipses.

31' 31" et 32' 35", tandis que celui de la Lune est compris entre 29' 22" et 33' 31").

Dans son mouvement autour de la Terre, la Lune peut donc occulter totalement le Soleil un bref instant. L'éclipse est alors totale. Lorsque le diamètre apparent de la Lune est légèrement inférieur à celui du Soleil, il subsiste un anneau de lumière solaire autour du disque noir de la Lune : l'éclipse est annulaire. Lorsque le disque solaire n'est que partiellement masqué, l'éclipse est partielle.

Cette coïncidence est d'autant plus extraordinaire qu'elle est unique dans l'espace et dans le temps. Unicité spatiale, car la Terre est la seule planète du Système solaire sur laquelle les éclipses totales de Soleil existent. Unicité temporelle, car, en raison de l'éloignement progressif de la Lune dû à la dissipation par les marées, nous vivons les quelques millions d'années de l'histoire de la Terre où la distance Terre-Lune est exactement celle nécessaire au recouvrement total de l'astre du jour par la Lune. Il y a des millions d'années, la Lune, trop proche, cachait la couronne et, dans des millions d'années, trop éloignée, notre satellite ne cachera plus la totalité du disque solaire.

Les éclipses résultent ainsi d'un singulier jeu d'ombre et de lumière. La Lune, éclairée par le Soleil, projette un

cône d'ombre et de pénombre ; lorsque ces cônes coupent la surface terrestre, ces régions du Globe voient une éclipse de Soleil, totale là où passe le cône d'ombre, partielle là où passe la pénombre (voir la figure 3).

Combien de temps une éclipse dure-t-elle ? Cela dépend de l'alignement des astres, de leur distances et de la vitesse de la Lune sur son orbite, laquelle est minimale à l'apogée (lorsque la Lune est au plus loin de la Terre) et maximale au périgée (lorsque la Lune est au plus près). La durée maximale d'une éclipse de Soleil, c'est-à-dire la durée maximale pendant laquelle une partie de la Terre intercepte l'ombre ou la pénombre de la Lune est comprise entre 5h 15 pour une éclipse au périgée et 6h 15 pour une éclipse à l'apogée.

En un lieu donné de la Terre, la durée d'une éclipse totale, c'est-à-dire la durée pendant laquelle le Soleil est complètement masqué, varie selon les positions relatives des astres. Cette durée est longue lorsque la Terre est le plus loin du Soleil (le diamètre apparent du Soleil est alors le plus petit) et que la Lune est au plus près de la Terre (son diamètre apparent est alors le plus grand). Dans ce cas, l'ombre formée est maximale, et la phase de totalité dure 7 minutes et 30 secondes.

La trajectoire de l'ombre et celle de la pénombre lunaire sont des courbes de plusieurs milliers de kilomètres de longueur. La tache d'ombre a, au plus, un diamètre de 262 kilomètres et se déplace à la vitesse de 3 380 kilomètres par heure près des pôles et à la vitesse minimale de 1 706 kilomètres par heure à l'équateur. Le déplacement d'Ouest en Est de la tache résulte du fait que la vitesse de la Lune sur son orbite (3 600 kilomètres par heure), d'Ouest en Est, est bien supérieure à la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même, d'Est en Ouest (un point à l'équateur faisant un tour, soit