

Quand on mesure l'émission d'une raie, on enregistre sa largeur, caractéristique de l'agitation thermique qui règne dans le milieu. À l'aide d'hypothèses sur l'équilibre thermodynamique des ions, on calcule par ailleurs la vitesse d'agitation due à la température. On constate alors que ces raies sont plus larges que ce qu'elles devraient être : autrement dit, une partie de l'agitation des ions de la couronne n'est pas due à l'agitation thermique, mais à un mouvement d'ensemble. Ce mouvement d'ensemble est engendré par des ondes magnétohydrodynamiques qui se déplacent en même temps que le champ magnétique solaire (on nomme ces vitesses «non thermiques»).

Lors d'une éclipse, on étudie les structures formées par ces ondes. La vitesse des ondes magnétohydrodynamiques varie en raison inverse de la densité du gaz où elles se propagent. Aussi, comme la densité de la couronne décroît très rapidement avec l'altitude, la vitesse de ces ondes devrait croître, d'où une augmentation attendue des vitesses non thermiques dans la largeur des raies d'émission. Cette augmentation n'a pas encore été observée, mais, lors de la prochaine éclipse, notre équipe de l'Institut d'astrophysique de Paris tentera de vérifier cette hypothèse.

Comment ces ondes se dissipent-elles? Vraisemblablement en raison de la viscosité magnétique : le plasma

est stratifié en densité, de sorte qu'il y a dissipation par «frottements magnétiques», analogue à la dissipation par frottement mécanique. On ignore encore où le plasma se magnétise, c'est-à-dire quand le rayon des particules qui tournent dans le champ magnétique solaire devient inférieur à la distance moyenne entre deux collisions ; lorsque le plasma est magnétisé, c'est le champ magnétique qui régit le mode de propagation des ondes.

Aucune bonne mesure n'a pu encore être faite lors d'éclipses, et les observations au coronographe de Lyot (à l'Observatoire de Sacramento Peak, au Nouveau-Mexique notamment) ne portent que sur la partie la plus interne de la couronne ; elles indiquent

Éclipse pratique

Le cône d'ombre de la Lune touchera les côtes française le 11 août 1999, à 10h 16 en temps universel (pour avoir le temps légal français, ajouter deux heures) et foncera vers l'Allemagne. Seulement dans la bande de centralité vous verrez l'éclipse totale ; partout ailleurs, elle ne sera que partielle.

Si vous décidez d'aller voir l'éclipse, où vous placer? Plus vous serez prêt de la ligne de centralité, c'est-à-dire de la ligne médiane de la bande de centralité, plus l'éclipse totale sera longue. Évitez de vous trouver trop près du bord de la bande de centralité, car vous risqueriez de manquer la totalité :

en raison des montagnes sur la Lune, le bord de la bande est mal défini. Ainsi, selon les estimations américaines, la ville de Nancy n'est pas dans la bande de centralité, alors que, selon le Bureau des longitudes, elle y est.

Installé sur le lieu d'observation, attendez l'heure du premier contact à partir duquel vous pourrez observer une éclipse partielle. Une heure durant, la Lune voilera petit à petit le Soleil, puis arrivera la phase de totalité.

Durant ces deux minutes, vous pourrez observer la couronne solaire dans toute sa splendeur. Ensuite, le disque solaire réapparaîtra petit à petit.

Tout cela, si le temps le permet ! Les statistiques météorologiques des régions françaises où passe l'éclipse montrent que les chances d'observer celle-ci dans sa phase de totalité ne sont que de une sur deux. Il est évidemment intéressant d'étudier la météo la veille et de se déplacer en conséquence. Attention tout de même à la circulation traditionnellement importante les jours d'éclipse.

En dehors de la bande de centralité, vous verrez une éclipse d'autant plus partielle que vous serez loin de celle-ci. À Paris, l'éclipse ne sera pas totale : le Soleil sera caché à 99,3 pour cent. Plus au Sud, à Marseille par exemple, il ne sera obscurci qu'à 80,6 pour

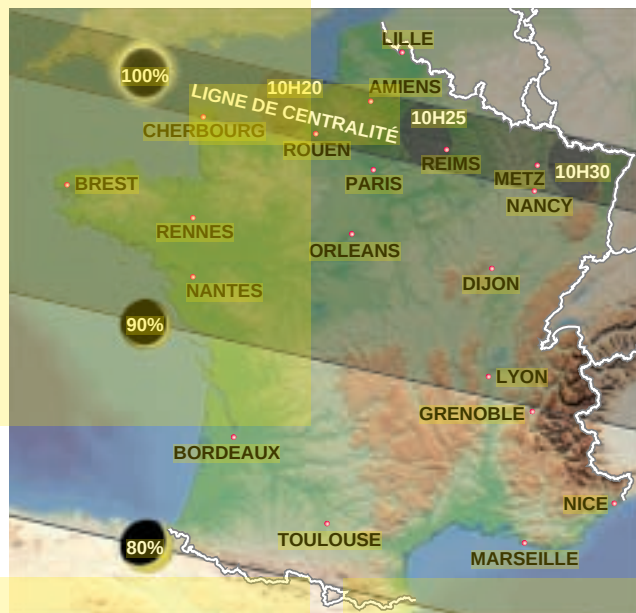
cent (voir la figure). Si, comme la majorité des gens vous observez l'éclipse sans instruments, n'oubliez pas de vous protéger les yeux (voir l'encadré de la page 76).

Pour ceux de nos lecteurs qui veulent immortaliser le spectacle sur une pellicule, quelques précautions s'imposent. L'obscurité sera importante durant la totalité. Aussi tous les réglages seront-ils anticipés. La mise au point devra être placée sur l'infini, le diaphragme sera réglé sur l'ouverture maximale ; le flash est bien entendu inutile.

Avec des objectifs standards, on devra se contenter de photographies d'ambiance. En revanche, avec des téléobjectifs dont la focale varie entre 105 et 800 millimètres, il est possible de réussir de splendides clichés de la couronne solaire. On opérera avec un film de sensibilité comprise entre 200 et 800 ISO, avec un temps de pose compris entre une seconde et un huitième de seconde, suivant l'ouverture de l'objectif. Pour des temps de pose aussi longs, l'appareil photographique devra être fixé sur le sol ou installé sur un trépied ; un déclencheur souple réduira également le «bougé».

Enfin, ceux qui disposent d'un caméscope pourront réaliser une vidéo de l'éclipse. Le caméscope sera placé sur un trépied stable. Durant les phases partielles, on prendra soin de protéger le capteur de la caméra CCD à l'aide d'un filtre placé devant l'objectif (un verre de soudeur, par exemple).

Durant la totalité, les caméscopes dont le seuil de sensibilité est faible (inférieur à deux lux) seront favorisés car le phénomène est faiblement lumineux. Le zoom sera réglé de manière que la couronne solaire apparaisse entièrement dans le champ (entre 8 et 16 fois). On n'oubliera pas d'ôter le filtre !



toutefois que la zone d'observation intéressante est située relativement loin du Soleil (à plus de un rayon solaire de la surface), zone révélée lors des éclipses totales. Ainsi, tout récemment, les données du spectromètre de

diagnostic coronal (CDS) à bord de l'observatoire spatial SOHO ainsi que d'autres expériences, ont montré des comportements différents des types d'ions du plasma (selon leur masse et leur charge).

Structures ultra-fines

Les structures qui apparaissent dans la couronne émanent de la chromosphère et de la région de transition entre la chromosphère et la couronne. À l'aide d'une caméra CCD, lorsque le recouvrement de la chromosphère par la Lune est bon, on distingue la hauteur des structures dans ces régions où la température est intermédiaire entre la faible température de la photosphère et la température élevée de la couronne. Dès la fin des années 1960, on distinguait des structures chromosphériques avec une résolution meilleure que deux secondes d'angle ; on obtient aujourd'hui des résolutions bien supérieures.

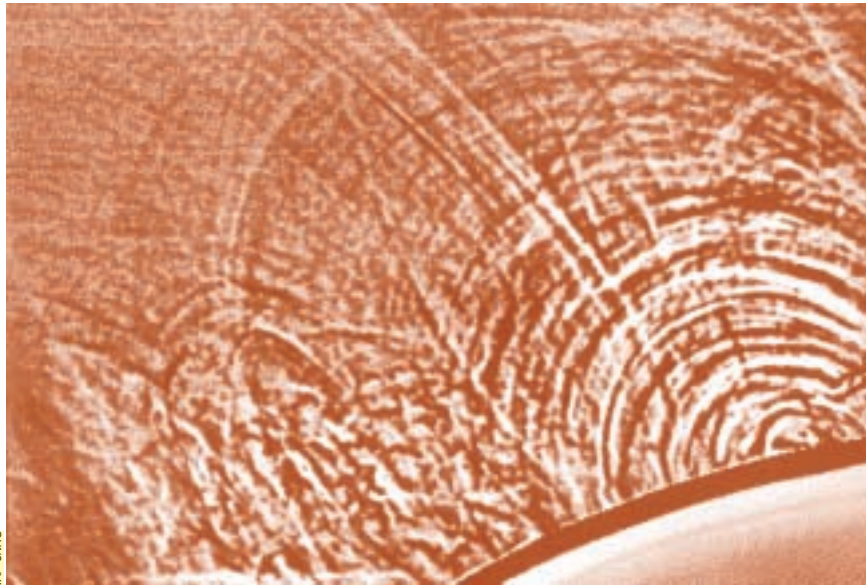
Ainsi, avec un télescope de 20 à 30 centimètres de diamètre équipé d'une petite caméra CCD, nous espérons une coupe de la région de transition entre la chromosphère et la couronne.

Outre l'image observée purement statique, les techniques modernes abordent la dynamique aux petites échelles, comme cela avait été tenté au foyer du télescope CFH de 3,60 mètres de diamètre, à Hawaii, lors de l'éclipse totale de 1991. En superposant plusieurs images, cette observation a révélé dans la couronne un enchevêtrement de structures (voir la figure 5). La plupart des structures ont une forme de boucle.

Lors de la même éclipse, l'observation de raies émanant de l'hydrogène a révélé pour la première fois de petites structures froides, très proches de la surface, au comportement parfois complètement nouveau. La plus petite structure mesurée avait une taille de 0,4 seconde d'angle, et sa durée de vie était de l'ordre d'une quarantaine de secondes seulement. Ces échelles de taille et de temps sont vraisemblablement proches des échelles où la turbulence domine, c'est-à-dire où les vitesses non thermiques sont grandes devant la vitesse propre du vent solaire. Autrement dit, avec quelques progrès dans la résolution, nous serons capables de voir directement la turbulence !

La dynamique à très petite échelle

Peut-on observer des phénomènes encore plus rapides, c'est-à-dire des structures qui varient en moins de 40 secondes ? Le bord Est du Soleil, lors de l'éclipse de 1991 a été observé à l'aide d'un caméra CCD. Nous avons enregistré 6 100 images durant 210 secondes,



5. LA MEILLEURE RÉOLUTION jamais obtenue pour une image de la couronne solaire en lumière blanche (la lumière diffusée par les électrons libres de la couronne). On distingue sur cette image un enchevêtrement de structures gazeuses dont la plupart ont la forme de boucles. Environ 400 clichés assez semblables ont été pris lors de l'éclipse de 1991 au foyer du télescope CFH de 3,60 mètres de diamètre, à Hawaii. Le traitement de ces images met en évidence les structures dont l'échelle est voisine de trois secondes d'angle. Des structures plus fines existent, mais elle ne ressortent pas sur cette image. La largeur de l'image correspond à environ 400 000 kilomètres sur le Soleil.

Attention les yeux !

Les éclipses de Soleil sont des spectacles naturels magnifiques dont les conséquences sur les observateurs imprudents peuvent être graves : après chaque éclipse de Soleil qui passe dans des lieux densément peuplés, on recense de nombreuses lésions oculaires, non que le Soleil soit plus dangereux lors des éclipses, mais parce que les gens regardent le Soleil plus longtemps, sans précautions particulières.

Durant toute la phase partielle, le Soleil émet presque autant de rayonnement que s'il n'était pas éclipsé. Sans protection oculaire, le danger est grand. La protection la plus sûre est le « verre de soudeur » de grade 14. Cette petite plaque de verre absorbant, que l'on trouve dans les bonnes quincailleries, vous permettra d'observer sans danger toutes les phases de partialité. Durant les deux minutes de la totalité, enlevez votre verre et admirez le spectacle à l'œil nu. Moins onéreuses, des lunettes filtrantes en polymère noir assureront une sécurité et un confort excellents. À défaut, vous pouvez utiliser du Mylar aluminé, à condition qu'il ne

soit pas craquelé ou fendu ; ou bien des filtres solaires spéciaux.

Les protections insuffisantes à proscrire absolument sont : les lunettes de soleil, même plusieurs paires superposées ; le verre noirci à la flamme d'une bougie ; les films couleurs ou les diapositives voilées (en revanche, on peut utiliser une double épaisseur de négatifs noir et blanc, entièrement voilés et développés, à condition que ceux-ci contiennent une émulsion argentique).

Enfin, si vous ne voulez pas regarder le Soleil directement, vous pouvez percer un trou dans un carton et projeter l'image du Soleil à travers le trou sur une feuille de papier.

Dans tous les cas, ne regardez jamais le Soleil partiellement éclipsé avec un instrument (jumelles, télescope) sans vous être assuré que celui-ci est équipé d'un filtre adéquat placé sur l'objectif (et non sur l'oculaire). **Les 500 premiers lecteurs qui nous enverront une enveloppe auto-adressée, affranchie au tarif normal, recevront une paire de lunettes en polymère noir distribuées par la Société astronomique de France.**