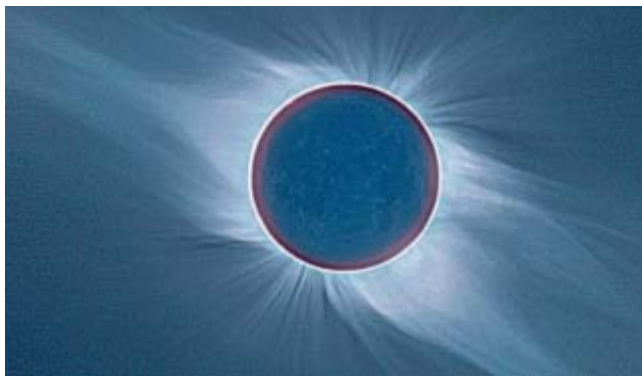




Institut d'astrophysique de Paris - CNRS

9. LE CHAMP MAGNÉTIQUE SOLAIRE ÉVOLUE selon un cycle de 11 années. Sa forme est rendue visible par le plasma coronal. Elle est relativement régulière en période de faible activité, comme le montre l'image prise lors de l'éclipse totale de février 1998 (à gauche, image prise par Christian Viladrich, Institut d'astrophysique de Paris). On y distingue un pôle

magnétique Nord et un pôle magnétique Sud bien marqués. Lorsque le Soleil est proche de son maximum d'activité, comme c'était le cas en août 1999 (à droite), le champ magnétique solaire présente une structure beaucoup plus chaotique (image IAP-CNRS). Sur l'image de 1998, on distingue la surface de la Lune, éclairée par le clair de Terre.

Toutefois, les ondes magnétohydrodynamique ne peuvent être totalement négligeables. Des observations optiques à très haute résolution effectuées au télescope suédois de La Palma, aux Canaries, ont montré que les mouvements de matière s'effectuent sur une multitude d'échelles temporelles différentes. De même, les observations du champ magnétique photosphérique effectuées par les sondes *Yohkoh* et *SOHO* ont révélé que les lignes de champs forment une «moquette» dont les poils de différentes hauteurs oscilleraient rapidement.

Par ailleurs, il est peu vraisemblable que les nanoéruptions puissent chauffer le plasma contenu dans les trous coronaux. Dans ces régions, les lignes de champ s'ouvrent dans l'espace plutôt que de se refermer en boucle sur le Soleil ; elles ne confinent pas le plasma coronal et une reconnexion à la base d'un trou aurait pour effet d'éjecter la matière dans l'espace interplanétaire plutôt que de la chauffer. Les astronomes ont cherché, dans la lumière émise par ces régions, la signature de mouvements ondulatoires, par exemple des fluctuations périodiques de leur éclat ou des décalages des raies spectrales dus à l'effet Doppler. Cette recherche est difficile parce que les ondes magnétohydrodynamiques incriminées ont probablement des périodes très courtes, de l'ordre de quelques secondes seulement. Or, à l'heure actuelle, les instruments embarqués sur les satellites sont trop lents pour pouvoir les mettre en évidence. C'est pour cette raison que les instruments au sol restent incontournables.

Depuis les années 1980, on utilise des détecteurs ultrarapides au sol pour repérer d'éventuelles modulations de la lumière coronale durant les éclipses. Les

analyses des meilleures observations font apparaître des oscillations ayant des périodes de une à deux secondes. Serge Koutchmy, de l'Institut d'astrophysique de Paris, a mis en évidence des oscillations dont les périodes sont de 43, 80 et 300 secondes. C'est cette même recherche des oscillations rapides de la lumière coronale qui nous a conduits à Chabla, une petite ville bulgare des bords de la mer Noire, pour suivre l'éclipse d'août 1999. Notre instrument est constitué d'une paire de caméras CCD à lecture rapide, sensibles à la fois à la lumière blanche et aux raies spectrales vertes produites par le fer fortement ionisé. Pendant les 2 minutes et 23 secondes d'éclipse totale, l'instrument a réalisé 44 clichés par seconde, qui ont révélé des oscillations localisées en règle générale le long des structures en boucles. Leurs périodes vont de deux à dix secondes. Ailleurs, cependant, notre instrument n'a détecté aucune oscillation. Nous en concluons que des ondes magnétohydrodynamiques sont vrai-

semblablement présentes, mais qu'elles ne sont ni suffisamment fréquentes ni assez intenses pour jouer le rôle principal dans l'échauffement de la couronne.

Ainsi, grâce aux récentes observations par satellites et à la mise en œuvre de systèmes d'imagerie rapide au sol pendant les éclipses, un des plus anciens paradoxes de l'astrophysique semble être levé. Après avoir intrigué les astronomes pendant plus d'un demi-siècle, le mystère de la température anormalement élevée de la couronne solaire semble élucidé, même si les contributions respectives des ondes magnétohydrodynamiques et des nanoéruptions restent à préciser. Toutefois, un mystère en cache souvent un autre. Alors que l'astrophysique semble entrée dans l'ère des objets exotiques, tels que les trous noirs et la matière sombre, le plus ancien des objets célestes connus, avec la complexité de son système de couches, de son champ magnétique et de son dynamisme bouillonnant, n'a pas livré tous ses secrets.

Bhola DWIVEDI, professeur de physique à l'Université Banaras de Varanasi, en Inde, travaille sur le télescope à ultraviolets SUMER, embarqué sur le satellite *SOHO*. Kenneth PHILLIPS dirige le groupe de recherche solaire du Laboratoire Rutherford Appleton de Didcot, en Angleterre.

Kenneth PHILLIPS, *Guide to the Sun*, Cambridge University Press, 1992.

Klaus WILHELM et al., *The Solar Corona above Polar Coronal Holes as Seen by SUMER on SOHO*, in *Astrophysical Journal*, vol. 500, n° 2, pp. 1023-1038, juin 1998.

Serge KOUTCHMY et Pierre GUILLERMIER, *Éclipses totales*, Masson, 1998.

Serge BRUNIER et Jean-Pierre LUMINET, *Éclipses, les rendez-vous célestes*, Bordas, 1999.

Serge KOUTCHMY et Pierre GUILLERMIER, *Les éclipses de Soleil*, in *Pour la Science*, n° 259, p. 70, mai 1999.

Carolus SCHIJVERB et Alan TITLE, *Today's Science of Sun, Parts 1 and 2*, vol. 101, n° 2, pp. 34-39, février 2001 ; n° 3, pp. 34-40, mars 2001.

Leon GOLUB et Jay PASACHOFF, *Nearest Star : The Exciting Science of Our Sun*, Harvard University Press, 2001.

James BURCH, Pierre LANTOS et Tahar AMARI, *Les fureurs du Soleil*, in *Pour la Science*, n° 284, juin 2001.

Demandez votre invitation ! Réservé aux abonnés

À l'occasion des fêtes de fin d'année, Pour la Science a sélectionné pour ses abonnés des invitations spéciales dans des hauts lieux de la culture et de la science.

Profitez de cette offre exclusive !

Faites votre choix et renvoyez-nous vite votre bulletin de réservation !

1 Cité des Sciences et de l'Industrie

Vous pouvez le jour de votre choix visiter les expositions permanentes et, dans la limite des places disponibles, assister à un spectacle au planétarium, au cinéma Louis-Lumière ou découvrir le sous-marin Argonaute.

2 Musée du quai Branly

Cette invitation vous donne accès aux collections permanentes du musée, ainsi qu'à l'exposition « Teotihuacan, Cité des Dieux » (jusqu'au 24 janvier 2010).

3 Muséum National d'Histoire Naturelle

Cette invitation vous donne accès à l'exposition permanente de la Grande Galerie de l'Évolution qui met en scène des milliers d'animaux. Plus vrais que nature, ils racontent l'étonnante histoire de l'évolution.

SCIENCE

Bulletin de réservation

À retourner au plus vite sous enveloppe affranchie à : Pour la science – Service Marketing – 8 rue Férou – 75278 Paris cedex 06

Je choisis et **je réserve 1 exposition** parmi les 3 proposées :

Numéro de l'exposition : _____ Musée : _____

Mes coordonnées (pour l'envoi des invitations) :

Mon numéro d'abonné : _____

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____ Tél : _____

Email : _____

Date limite de réservation : le 10/01/10

En partenariat avec :



MUSÉUM NATIONAL
D'HISTOIRE NATURELLE



* musée du quai Branly
LA OÙ DIALOGUENT LES CULTURES

Attention : offre valable dans la limite des invitations disponibles. 2 invitations par exposition.

Si vous souhaitez profiter de cette invitation, vous pouvez vous abonner à Pour la Science : rendez-vous sur les encarts brochés de votre revue.

La biologie virtuelle

WAYT GIBBS

L'informatique vole au secours de la biologie pour traiter la masse considérable des informations, pour modéliser des systèmes biologiques et pour prévoir leur comportement.

Les ingénieurs en aéronautique connaissent les propriétés d'un futur avion avant même la construction du premier prototype, car ils disposent de simulations fiables. Les physiciens des particules prévoient certains résultats d'expériences grâce à la théorie du modèle standard. Les prévisions météorologiques reposent sur des modèles de l'atmosphère terrestre. Les exemples abondent, sauf dans un domaine : la biologie.

Depuis 50 ans, le réductionnisme prévaut : la plupart des organismes vivants ont été décortiqués, disséqués en éléments toujours plus petits – des organismes aux organes, des tissus aux cellules, des cellules aux molécules, des chromosomes à l'ADN et aux gènes. On connaît tous – ou presque tous – les éléments constitutifs de la vie, mais les données se sont accumulées et elles constituent aujourd'hui une énorme masse d'informations, surtout depuis le séquençage du génome humain, il y a quelques mois. Que faire d'une telle liste de composés et de leurs propriétés spécifiques ? Peut-on comprendre le fonctionnement d'une cellule à partir de celui de ses constituants ? Dans un mouvement inverse d'intégration, l'informatique et les simulations tentent de rassembler toutes les pièces du puzzle biochimique en un ensemble cohérent. Grâce à la biologie virtuelle, nommée aussi biologie *in silico*, on accéderait ainsi à des propriétés émergentes, encore inconnues, et l'on vérifierait l'adage : «Le tout est plus que la somme des parties.»

Toutefois, bien que prometteuse, la modélisation en biologie n'en est qu'à ses balbutiements : il ne suffit pas d'introduire dans un ordinateur toutes les informations disponibles sur un être humain pour dénouer les mystères de la médecine. Cependant, des simulations ont déjà fait la preuve de leur utilité. Aussi, après avoir examiné les contraintes que rencontrent les biologistes dans leurs modélisations, nous exposerons quelques-uns de leurs succès, tels le décodage des mécanismes d'infection d'une bactérie par un virus et la génétique du développement d'une patte de drosophile.

Un terrain miné

Par manque de données, les premiers modèles biologiques étaient éloignés de la réalité. Par ailleurs, ils étaient seulement qualitatifs, c'est-à-dire fondés sur les relations qui unissent les molécules entre elles, par exemple, comment telle molécule interagit avec telle autre pour en donner une troisième.

Dans les années 1990, des méthodes mathématiques nouvelles ont été mises au point. Elles ont permis de prendre en compte des paramètres quantitatifs, tels la cinétique des réactions ou les coefficients de diffusion. Parallèlement, la puissance des ordinateurs a augmenté et, aujourd'hui, on peut exécuter des modélisations complexes sur un ordinateur de bureau. Par exemple, avec un microprocesseur courant de 800 mégahertz, un algorithme peut simuler 10^{10} réactions par jour, soit 100 minutes de la vie d'un système biologique, où 100 réactions ont lieu environ

