

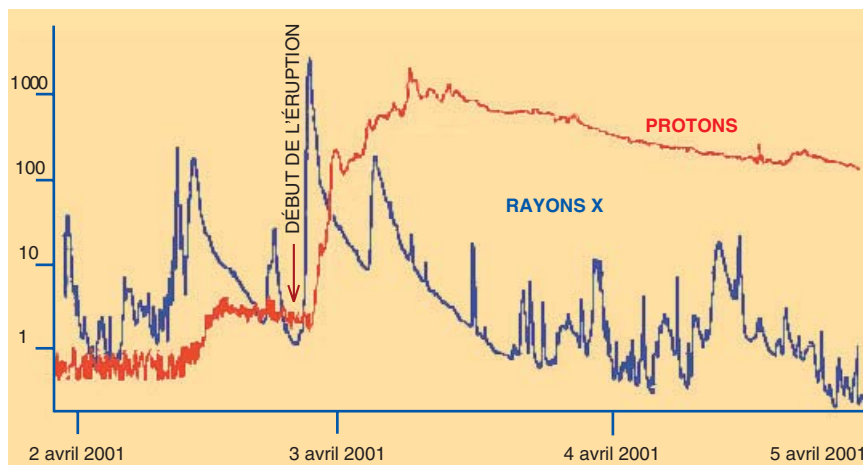
proposées. Elles diffèrent surtout par les hypothèses faites pour le calcul.

La plus simple consiste à calculer un champ potentiel ; dans ces modèles, on admet qu'aucun courant électrique ne circule (on néglige la présence du plasma coronal). Cela conduit à des configurations du champ magnétique simples, sans torsion ni cisaillement : malheureusement, cette approche n'apporte pas d'informations sur les possibles déclenchements d'éruptions, puisque l'énergie magnétique reste toujours minimale.

Il nous faut envisager des méthodes plus élaborées, où le champ magnétique et les courants électriques donnent une configuration stable, où toutes les forces sont en équilibre. Les méthodes disponibles aujourd'hui permettent aux astrophysiciens de calculer le champ magnétique à toutes les altitudes au-dessus des régions actives pour lesquelles on dispose de bonnes mesures du champ magnétique photosphérique et de son orientation. On peut alors, sur la base de critères quantitatifs, et non plus d'estimations empiriques, déterminer les régions où les éruptions risquent de se déclencher. Les calculs d'extrapolation ne donnent cependant que des solutions statiques et ne permettent pas de prévoir le moment de déclenchement de l'éruption. Pour y parvenir, il nous faudrait connaître l'évolution dynamique de la région concernée.

Une approche issue de la physique des plasmas, la magnétohydrodynamique (voir l'encadré des pages 58 et 59), fournit les équations nécessaires, sous certaines hypothèses, pour traiter le problème de l'évolution des structures magnétiques solaires. On peut alors suivre l'évolution des structures magnétiques coronales qui peuvent être à l'origine d'une éruption ou d'une éjection de matière coronale. Nécessitant une puissance de calcul considérable, ces méthodes ne sont pas encore opérationnelles, mais elles pourraient le devenir dans un futur relativement proche.

La prévision des éruptions solaires n'est qu'un exemple de l'utilisation des modèles récents élaborés pour la prévision de l'état de l'environnement terrestre. Pour que ces modèles soient utilisables, ils doivent tenir compte des interactions de tous les éléments qui interviennent dans les relations Soleil-Terre : l'activité solaire, le milieu interplanétaire, la magnétosphère terrestre, les ceintures



4. LES ÉMISSIONS DE RAYONS X (en bleu) et de protons (en rouge) ont été enregistrées par les satellites GOES, lors de l'éruption solaire du 2 avril 2001. On note que les premiers protons arrivent un peu après les premiers rayons X. Pour ces derniers, l'émission est de courte durée, puisqu'elle ne dure que quelques heures : c'est la durée de l'éruption solaire. Le flux des protons accélérés décroît plus lentement, car ils envahissent le Système solaire interne et il leur faut plusieurs jours pour s'en échapper.

de radiation (des zones, proches de la Terre, où les lignes de champ magnétique confinent des particules chargées, telles que des électrons ou des protons), sans oublier l'atmosphère terrestre.

Une approche globale des relations Soleil-Terre

La météorologie de l'espace ressemblera-t-elle un jour à la météorologie classique ? Grâce à une coopération internationale efficace, les météorologistes disposent d'une grande quantité de données d'observation, disponibles très rapidement par un échange permanent. Les observations sont faites d'une manière continue par des stations au sol et, aujourd'hui, par des satellites. La défaillance d'un de ces dispositifs de surveillance et d'un des satellites météorologiques entraîne son remplacement immédiat. Pour la prévision de l'activité solaire, de l'état du milieu interplanétaire et de l'état de l'environnement terrestre, ce n'est pas le cas aujourd'hui, car l'organisation globale est encore embryonnaire : seuls quelques satellites

opérationnels américains surveillent systématiquement le Soleil et l'environnement spatial. Les données disponibles par ailleurs le sont grâce aux stations d'observation au sol et aux satellites scientifiques, dont la durée de vie est limitée.

Au cours des dernières années, les agences spatiales et les industriels ont réalisé l'intérêt de prévoir la météorologie de l'espace. Ils préparent des programmes ambitieux de surveillance de l'environnement. Une meilleure utilisation des prévisions actuelles aurait sans doute évité la perte du satellite japonais ASCA, destiné à l'observation de l'Univers en rayons X. En effet, l'importante éruption solaire du 14 juillet 2000 et l'éjection coronale associée ont déclenché, le 15, un orage géomagnétique intense, qui a modifié l'orientation du satellite, dont les batteries solaires se sont déchargées. Or cet orage géomagnétique était aisément prévisible, l'heure même de son déclenchement aurait pu l'être ! En surveillant l'orientation du satellite et en anticipant les corrections nécessaires, on aurait sans doute évité de le perdre.

Pierre LANTOS est directeur de recherche, au CNRS, à l'Observatoire de Paris-Meudon. Tahar AMARI est directeur de recherche, au CNRS, au Centre de physique théorique de l'École polytechnique.

R. KIPPENHAHN, *Discovering the Secrets of the Sun*, éditions Wiley, Chichester, 1994.

P. LANTOS, *Le Soleil en face. Le Soleil et les relations Soleil-Terre*, Collection Culture scientifique, Masson, 1997.

T. AMARI, J.-F. LUCIANI, Z. MIKIC, J. LINKER, *A Twisted Flux Rope Model For Coronal Mass Ejections and Two Ribbon Flares*, in *Astrophysical Journal*, 2000, vol. 529, n° 1, pp. L49-L52, 2000.

K. KLEIN, G. TROTTET, P. LANTOS, J.-P. DELABOUDINIÈRE, *Coronal electron acceleration and relativistic proton production during the 14 juillet 2000 flare and CME*, in *Astronomy and Astrophysics*, à paraître.

La régulation de l'acidité dans l'organisme

LAURENT COUNILLON

Dans l'organisme, différentes réactions métaboliques libèrent des ions H^+ , qui rendent acides le contenu cellulaire et le sang. Tout excès ou tout déficit a des conséquences physiologiques graves, mais divers systèmes en contrôlent rigoureusement la concentration.

Le coup d'envoi va être donné. Les plongeurs sont prêts. Ils se concentrent. Un des concurrents adopte un rythme respiratoire rapide et profond. Comme beaucoup de plongeurs en apnée débutants, il pense qu'il pourra ainsi absorber un maximum d'oxygène et rejeter le plus possible de dioxyde de carbone, ce qui lui permettra de descendre plus profondément. Malheureusement, au moment où les autres candidats plongent, il s'écroule sur le pont du bateau. En fait, toute hyperventilation forcée crée d'abord une désorientation passagère, liée à une alcalinisation du sang (il devient basique), qui perturbe le fonctionnement des cellules cérébrales et risque d'aboutir à une syncope, voire à une noyade.

Cette scène, inspirée du film de Luc Besson, *Le grand bleu*, illustre les rôles multiples, mais souvent insoupçonnés, que joue l'acidité du sang. Dans des conditions normales, l'équilibre acido-basique de l'organisme est remarquablement stable, et ce n'est que dans certaines situations pathologiques, telles que les insuffisances rénales, respiratoires ou cardiovasculaires, que cet équilibre devient précaire. Lorsque les principaux systèmes de régulation de cet équilibre sont dépassés, des troubles qui perturbent le fonctionnement de toutes les cellules, des tissus, voire des organes, apparaissent.

Depuis Charles Davenport, dans les années 1950, on sait que l'équilibre acido-basique est fondamental pour

l'organisme, mais les mécanismes moléculaires de sa régulation n'ont été élucidés qu'au cours des 15 dernières années. Les progrès de la biochimie, de la pharmacologie et de la génétique ont permis l'identification des acteurs de cette régulation. Au sein des cellules, la régulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme est garantie par diverses protéines. Lorsqu'elles n'assurent plus leur rôle, l'équilibre est rompu et des conséquences néfastes surgissent dans tout l'organisme. Ces protéines régulatrices jouent un rôle vital et pourraient être des cibles thérapeutiques, à la fois pour assurer le maintien de l'équilibre acido-basique des fluides biologiques, et pour soulager certaines pathologies liées à une perturbation de cet équilibre.

On a également récemment découvert que des modifications de l'équilibre acido-basique jouent un rôle, c'est-à-dire de messenger qui avertit l'organisme de la présence d'un danger local : le cerveau est informé d'une région acidifiée par une sensation douloureuse.

L'équilibre acido-basique

La sensation d'acidité est familière : le goût du vinaigre ou du citron, ou l'irritation qu'entraîne le contact accidentel d'une substance acide avec la peau. Pour quantifier le caractère acide ou basique (on dit aussi alcalin) des solutions aqueuses, on utilise le pH, le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en protons hydratés, c'est-à-dire en ions H^+ (plus précisément H_3O^+ , mais, pour simplifier, nous utiliserons H^+). Ainsi, une solution aqueuse dont la concentration en ions H^+ est égale à 10^{-7} mole par litre a un pH égal à 7. En-dessous de 7, le pH de l'eau pure, la solution est acide (les principaux fluides biologiques ont un pH proche de 7). Au-dessus de 7, la solution est basique. Ce paramètre est important pour les êtres vivants, car les caractéristiques des molécules qui les composent et qui sont en solution dans l'eau, principal constituant de l'organisme, sont parfois modifiées lors des variations du pH. En effet, les biomolécules portent de nombreuses fonctions ionisables, des groupes chimiques

1. LA PRODUCTION DE DIOXYDE DE CARBONE dans les cellules, lors de la dégradation du glucose, entraîne l'apparition d'acide carbonique H_2CO_3 , qui se dissocie en HCO_3^- et H^+ . Les ions HCO_3^- s'accumulent dans les globules rouges et sont transportés, par le sang (a), jusqu'aux poumons. Là, les ions HCO_3^- se recombinaient avec des ions H^+ pour redonner de l'acide carbonique H_2CO_3 (b) ; sous l'action de l'anhydrase carbonique des globules rouges, cette molécule se dissocie en une molécule d'eau et une molécule de dioxyde de carbone, qui est éliminée dans l'air expiré. La respiration est une façon pour l'organisme de maintenir son équilibre acido-basique. Certains plongeurs en apnée débutants pensent qu'ils resteront plus longtemps sous l'eau s'ils enrichissent au maximum leur sang en oxygène : juste avant de plonger, ils respirent vite et profondément. Malheureusement, cette hyperventilation perturbe leur équilibre acido-basique et aboutit parfois à une syncope.