

Le Soleil en panne

Activité magnétique en berne, vents solaires qui s'essoufflent... Notre Soleil connaît une baisse de régime tout à fait anormale. Au point de menacer la Terre d'un refroidissement durable? C'est toute la question...

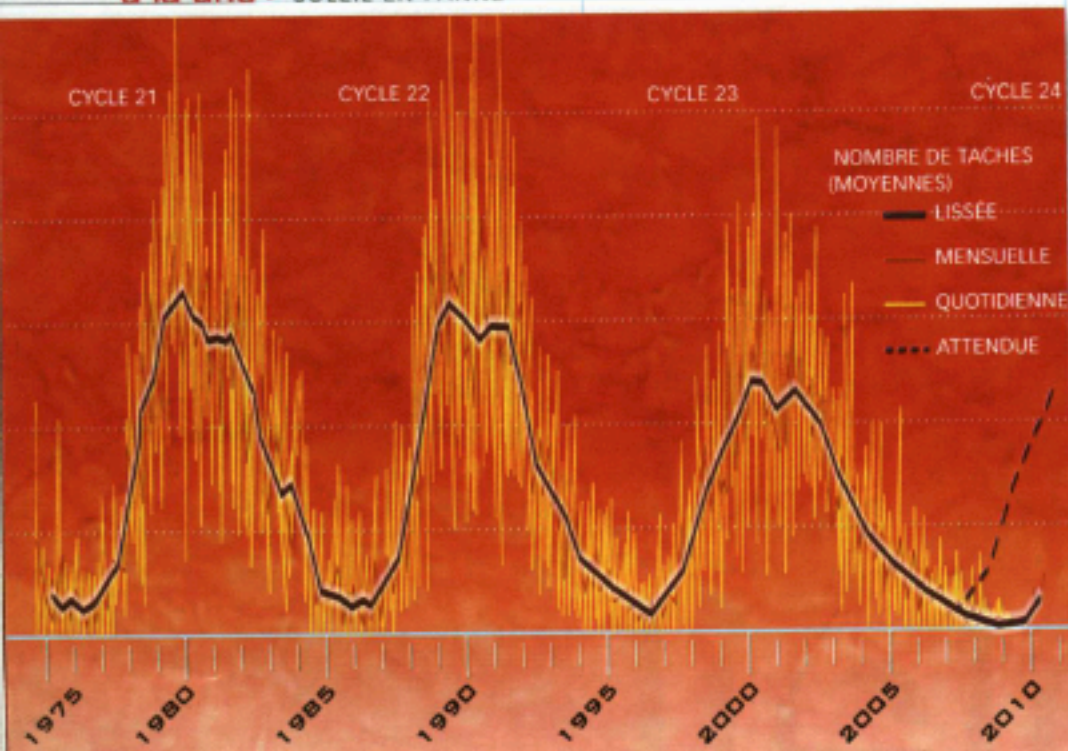
Sommes-nous à l'aube d'une nouvelle perturbation climatique?

Par Cécile Bonneau,
Boris Bellanger et
Mathilde Fontez

Elle était apparue le 4 janvier 2008 sur les images satellite. Un grain noir minuscule – à peine la taille de la Terre... – mais bien visible à la surface du Soleil, à 30° de latitude Nord. Et c'était plutôt une bonne nouvelle: elle était la première tache solaire depuis plusieurs années à se montrer dans cette région de l'étoile. Baptisée AR10981, elle fut présentée aux avertis comme

le signe que tous attendaient: de telles taches témoignant de l'activité magnétique du Soleil, notre astre entrait comme prévu dans son 24^e cycle. Mais voilà: le 6 janvier, la tache se résorbait. Et quelques semaines plus tard, il fallut déchanter: alors que d'autres taches auraient dû apparaître, aucune ne succéda à AR10981. A peine une deuxième s'esquissa-t-elle au →

SOHO/ESA/NASA



Le cycle 24 en retard de deux années

Le nombre de taches parsemant le Soleil augmente et diminue selon un cycle régulier de 11 ans. Les physiciens s'attendaient donc à voir le cycle 24 démarrer au début de l'année 2008 (courbe en pointillés). Mais le minimum solaire s'est étendu, avec deux années exceptionnellement calmes.

→ mois d'avril... puis plus rien. Au lieu de se consteller progressivement de zones sombres, signes de sa vitalité magnétique, le Soleil poursuit sa léthargie pendant toute l'année 2008, restant même parfaitement immaculé 265 journées entières. Une situation inédite depuis l'année 1913! Pis, elle perdura en 2009: 262 jours sans tache. Ce n'est finalement qu'à la mi-décembre 2009 que des taches daignèrent enfin faire des apparitions régulières. Depuis, tout au long de l'année 2010, le cycle 24 semble avoir repris son cours. Mais timidement: "Les signes sont incontestablement plus faibles qu'au début des deux cycles précédents", constate Janet Luhmann physicienne à l'université de Californie, à Berkeley. Ce qui déconcerte les scientifiques.

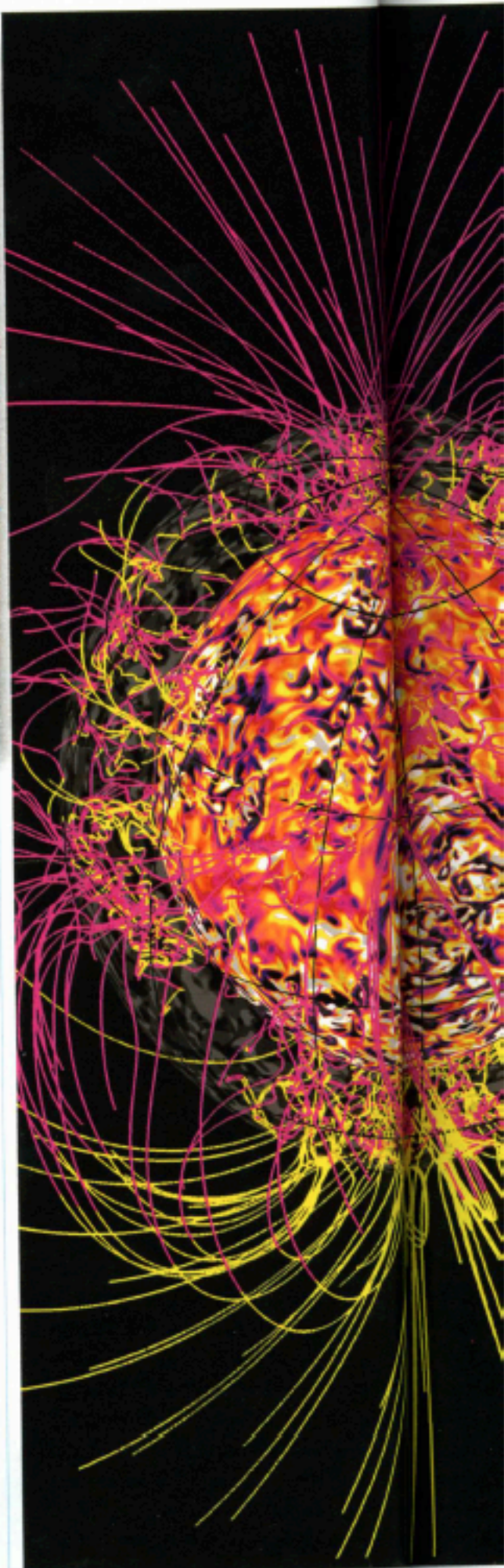
Car le Soleil ne les avait pas habitués à un tel comportement. Les relevés établis depuis le XVII^e siècle montrent que tous les onze ans, notre astre rejoue inlassablement le même

scénario: quelques taches piquettent d'abord ses pôles; puis elles se font de plus en plus nombreuses au fil des mois, jusqu'à atteindre un maximum, environ quatre ou cinq ans après la première tache; leur nombre diminue ensuite petit à petit, tandis qu'elles se cantonnent progressivement à la région équatoriale; un minimum est alors atteint et le Soleil reste calme pendant une année à peu près.

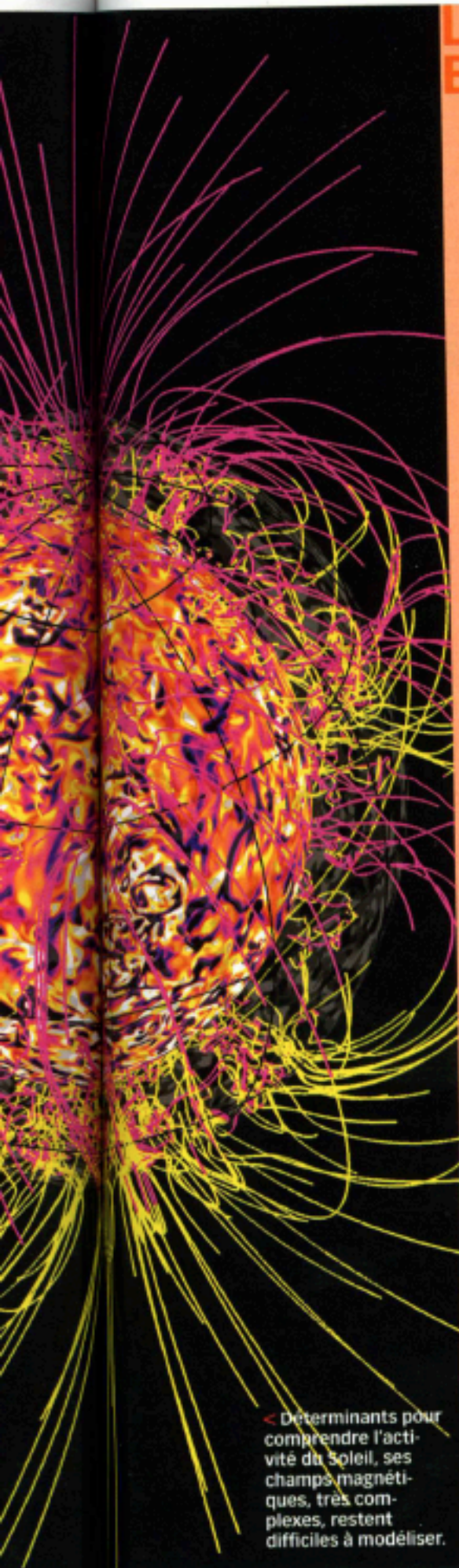
FONCTIONNEMENT MYSTÉRIeux

Sauf cette dernière fois, donc: avec sa somnolence de trois ans, le cycle 23, initié en mai 1996, s'est étiré sur treize ans au lieu de onze. Cette irrégularité serait-elle le signe que notre étoile est malade? Gravement? Auquel cas, cela pourrait-il avoir des conséquences pour le système solaire? Et sur Terre?

Le problème, c'est que le fonctionnement du Soleil reste en grande partie mystérieux. Certes, les principes généraux qui gouvernent cette gigantesque boule de feu sont →



LE SOLEIL : UNE MACHINE ENCORE BIEN MYSTÉRIEUSE



« Déterminants pour comprendre l'activité du Soleil, ses champs magnétiques, très complexes, restent difficiles à modéliser.

Le Soleil est un gigantesque réacteur thermonucléaire : en son cœur se produisent en permanence des réactions de fusion, lors desquelles les atomes d'hydrogène fusionnent pour se transformer en hélium, tout en libérant une énergie considérable, que les particules de lumière (photons) emportent en partie. 4 millions de tonnes de matière se transforment ainsi en lumière à chaque seconde.

Densité phénoménale

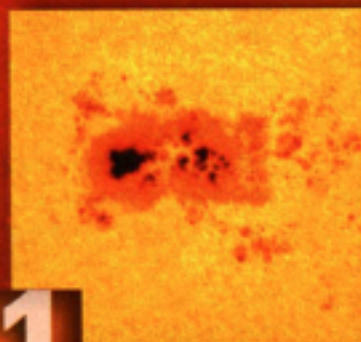
La température qui règne dans cette sphère est infernale : 15 millions de degrés. Et la densité y est phénoménale : 14 fois celle du plomb. Autour du cœur nucléaire, une zone dite "radiative", très dense elle aussi, s'étend jusqu'aux deux tiers du rayon du Soleil et tourne sur elle-même en 26 jours. Les photons issus du cœur s'y propagent lentement, transmis d'atome en atome. Plus éloignée du centre, voici la zone "convective" : une région moins dense qui tourne sur elle-même avec une vitesse variable : 25 jours à l'équateur, 35 aux pôles ! Elle s'étend jusqu'à la photosphère, c'est-à-dire la surface du Soleil, où la température n'atteint plus que 5000 à 6000 °C. C'est ici que l'énergie dégagée par le cœur se transforme en mouvement. "Pour simplifier : ce qui est chaud monte en surface et ce qui est refroidi descend. Des mouvements de convection formant des rouleaux se mettent ainsi en place",

décrit Allan Sacha Brun. Et c'est là que réside l'origine de l'activité magnétique du Soleil ! Car il faut savoir qu'à ces températures, la matière n'est ni solide, ni liquide... ni même gazeuse. Elle forme un plasma, soit un gaz très agité dans lequel les atomes sont entourés d'une mer d'électrons. Or, lorsque des particules chargées électriquement sont en mouvement, elles forment un courant électrique qui induit un champ magnétique. L'ensemble des mouvements des particules au sein du Soleil (convection, rotation différentielle) crée donc des champs magnétiques très complexes et fluctuants, qui à leur tour entretiennent et orientent la circulation du plasma ! L'ennui, c'est que l'organisation et la dynamique de ces champs magnétiques se jouent principalement dans une strate plutôt mal comprise du Soleil : la tachocline, une couche mince à la lisière des zones convective et radiative. "Elle est soumise à des contraintes extrêmes puisqu'elle se trouve à l'interface de zones qui ne tournent pas aux mêmes vitesses", explique Allan Sacha Brun. C'est là que le champ magnétique s'installe, mais aussi qu'il se distord pour crever momentanément la surface de l'étoile, donnant naissance aux éphémères taches solaires. Car celles-ci apparaissent lorsqu'une ligne de champ magnétique forme une boucle qui transperce en deux en-

droits la surface du Soleil. En ces endroits, les mouvements du plasma sont ralentis ; la température diminue donc, ce qui abaisse la luminosité et crée des taches. Vue de loin, la résultante des champs développés dans la zone convective est un simple champ vertical, dont la direction (Nord ou Sud) change de sens... tous les 11 ans ! Une inversion qui correspond au moment du maximum solaire : lorsque l'astre est couvert de taches. Or, si les simulations des physiciens parviennent à reproduire cette inversion, sa périodicité leur échappe...

Sur la bonne piste...

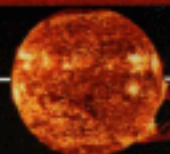
"Ce qui est difficile à comprendre, c'est que les mouvements convectifs à l'origine du champ magnétique se retournent très vite, en 30 jours à peu près, alors que le cycle dure plus de 4000 jours, expose Allan Sacha Brun. Dans nos modèles nous obtenons des cycles de 500 jours..." Un écart qui n'empêche pas les chercheurs d'être sur la bonne piste. "En fait, nos modèles donnent une bonne idée du scénario qui se joue à l'intérieur du Soleil, reprend Allan Sacha Brun, mais il nous reste à prendre en compte des rétroactions qui ont sans doute un rôle crucial". Toujours est-il que malgré ces progrès, il reste impossible de reproduire le fonctionnement normal d'un système aussi complexe et chaotique qu'une étoile. Quant à reproduire ses irrégularités...



Quasiment absentes en 2008 et 2009, elles ne réapparaissent que très timidement depuis un an, et leur champ magnétique interne, en décroissance, laisse envisager leur disparition!

1

DES TACHES SOLAIRES QUI SE RARÉFIENT p. 58



LES 3 ANOMALIES DU SOLEIL

Depuis la fin du dernier cycle solaire, le Soleil montre des signes inhabituels de faiblesse. Taches raréfiées, vents moins intenses, et spectre lumineux dérégulé : plusieurs indices témoignent d'un bouleversement des habitudes de notre étoile. A l'origine de ces anomalies, probablement un dérèglement de l'activité magnétique du Soleil. De quoi permettre aux scientifiques de mieux saisir, à terme, des mécanismes mal compris.

→ compris et, inutile de s'inquiéter, notre étoile ne s'éteindra pas avant cinq bons milliards d'années, avec ou sans taches solaires. Ce n'est donc pas demain que le Soleil ne se lèvera pas à l'horizon... Pour autant, les physiciens sont bien en peine de décrire dans le détail l'origine de ces cycles, dont ils ne parviennent même pas à expliquer

la durée (voir encadré). Les voici donc totalement démunis pour élucider leur éventuel dérèglement et même en saisir la portée!

Alors quoi? Eh bien, faute d'explication théorique, les scientifiques en sont réduits à chercher sur la courbe des cycles précédents une configuration similaire susceptible d'éclairer leur

lanterne. Et que révèle cette comparaison? "Elle montre qu'un tel minimum est rare mais pas complètement hors norme : cela s'est déjà produit dans le passé", décrit Allan Sacha Brun, chercheur au Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Ce qui n'est pas très rassurant : notre situation actuelle ressemble furieusement à celle qui se produisit à la fin du XVIII^e siècle, juste avant une période de faible activité du Soleil, s'étalant de 1790 à 1830 et baptisée "minimum de Dalton". Or ce minimum se trouve corrélé avec une période de refroidissement climatique marqué! Pis : si le Soleil ne retrouve pas

SCHWESER/NASA - SPL/COGNOME

2
S
S

sa v
rep
ner
de
sola
et l
du
alo
Pou
les
éve
pas
dél
(vo
P
poi

3 UN SPECTRE LUMINEUX QUI S'AFFOLE p. 62

Ultraviolets en chute libre et lumière visible en augmentation: le Soleil semble avoir envoyé un rayonnement inhabituel sur la Terre ces dernières années.

2 DES VENTS SOLAIRES QUI S'ESSOUFFLENT p. 60

Plus faibles et plus équatoriaux que d'habitude, les vents de particules issus de la couronne du Soleil ont présenté un comportement inédit lors du dernier minimum solaire.

sa vigueur, il pourrait éventuellement reproduire dans les décennies qui viennent la configuration du "minimum de Maunder", une période de calme solaire extrême survenue entre 1645 et 1715 et qui coïncide avec le milieu du "petit âge glaciaire" que connurent alors l'Europe et l'Amérique du Nord. Pour les astrophysiciens comme pour les climatologues, la question d'une éventuelle panne de notre étoile n'est pas que de pure forme: de la réponse dépend en partie notre futur climat (voir article p. 64)...

Pour l'heure, "il est encore trop tôt pour se prononcer, mais une chose

est certaine: nous vivons une époque unique!", assène Thierry Dudok de Wit, chercheur au Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace, à Orléans.

D'AUTRES BIZARRERIES...

Surtout que le nombre de taches n'est pas la seule anomalie à suggérer que notre étoile pourrait bien être dérégulée: d'autres phénomènes semblent également s'être comportés de façon bizarre lors du dernier minimum. En particulier, les vents solaires, ces immenses flux de particules très énergétiques,

éjectés de la couronne, n'ont pas eu tout à fait l'allure habituelle. Par ailleurs, certaines mesures, encore à confirmer, indiquent que la nature de la lumière émise par le Soleil, notamment sa proportion d'ultraviolets, aurait été extravagante lors de la phase descendante du dernier cycle. Taches, vent solaire, spectre lumineux... autant de phénomènes mystérieux et anormaux qui mettent aujourd'hui les scientifiques au défi de les élucider (voir pages suivantes). Pour savoir au plus vite si, oui ou non, notre Soleil est en train de tomber en panne. **C.B.**