



MAGAZINE

LE SOLEIL CONNAÎT

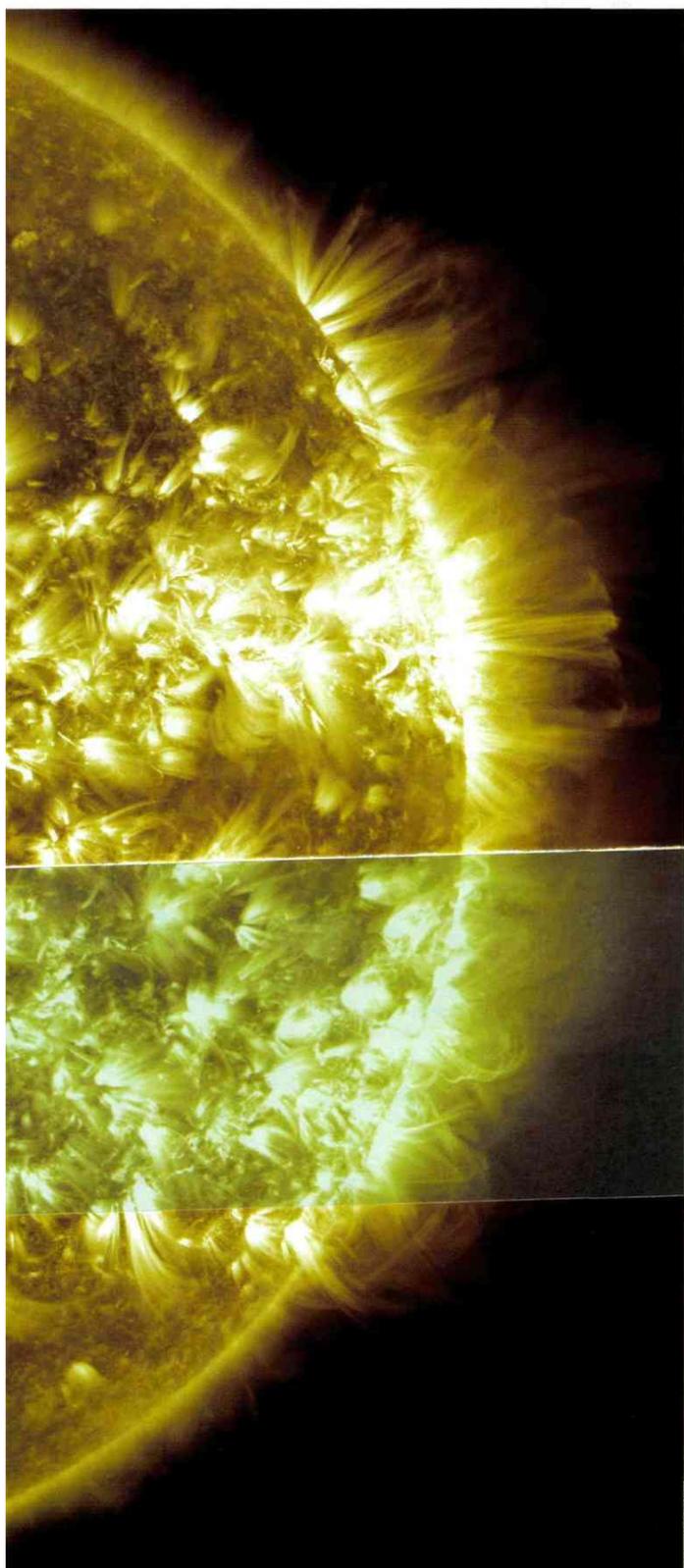
Après deux ans d'atermoiements, le maximum solaire est bien là. Mais il se démarque par sa faiblesse. Les astronomes ne s'en alarment pas, mais ils peinent à comprendre les détails du fonctionnement de notre étoile.

Sylvain Guilbaud

Cette photo est la somme de 25 clichés pris dans l'ultraviolet entre avril 2012 et avril 2013 par le satellite SDO. Elle révèle les zones du Soleil les plus actives, proches de l'équateur.



UN MINI-MAXIMUM



ENFIN ! Le maximum solaire est arrivé. Le nombre de taches sombres à la surface de notre étoile est le plus élevé depuis 2001, date du dernier pic d'activité du Soleil. Ces 13 années d'attente furent très longues, sachant que le cycle dure normalement 11 ans. Rien d'anormal pour Milan Maksimovic, astronome au Lesia⁽¹⁾ de l'observatoire de Paris : *"Le maximum est certes en retard de 2 ans, mais depuis que l'on observe les cycles solaires, soit presque trois siècles, leur durée varie entre 9 et 14 ans."*

Il n'empêche que ce cycle n° 24 (les astronomes les numérotent depuis 1760) est plutôt faible. Dean Pesnell, de la Nasa, parle même de "mini-max" : *"Il y a eu un premier sommet en novembre 2011, où nous comptons quelque 75 taches par mois. À présent, nous sommes dans un second pic, où il y en a en moyenne 90."* Ces chiffres sont faibles, comparés à la centaine de taches du maximum de 2001, qui était déjà très en dessous de celui de 1958, où plus de 200 taches constellaient la surface du Soleil ! Selon Guillaume Aulanier, de l'observatoire de Paris, ce petit maximum n'est pas malgré tout un phénomène isolé : *"Il y a déjà eu des maxima avec un nombre de taches aussi faible au début du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, par exemple. Quant au fait que le pic soit double, c'était déjà le cas pour plusieurs des cycles précédents."*

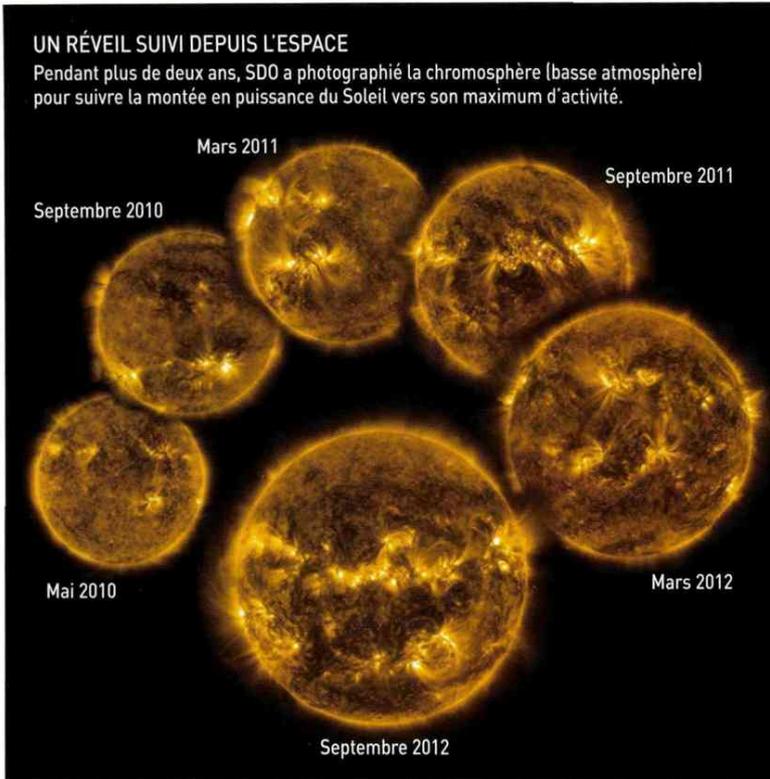
S'il y a autant d'agitation autour de ce maximum, cela tient sans doute au fait que, malgré tous les efforts des chercheurs, les mécanismes du cycle solaire restent en grande partie inexpliqués. Il existe bien des modèles prédictifs, à l'image de

EN CHIFFRES

11 ans

C'est l'intervalle moyen entre deux maxima solaires. Mais l'activité de notre étoile, mesurée par le nombre de taches à sa surface, connaît des cycles de durée assez variable : 9 ans pour les plus courts, et 14 ans pour les plus longs.





© NASA/SDO

UN RÉVEIL SUIVI DEPUIS L'ESPACE

Pendant plus de deux ans, SDO a photographié la chromosphère (basse atmosphère) pour suivre la montée en puissance du Soleil vers son maximum d'activité.

à partir des frottements qui ont lieu à l'interface entre la zone radiative et la zone convective (voir schéma ci-dessous). Ces mouvements turbulents engendrent des poches de gaz magnétique qui, comme des bulles, flottent et remontent vers la surface. Le champ magnétique qui émerge se déploie alors sous forme d'arches, entraînant une partie du plasma solaire avec elles. Les pieds de ces arches sont les taches solaires.

Migration des taches

Les taches apparaissent continuellement à la surface du Soleil, d'abord vers les hautes latitudes, puis près de l'équateur. Elles migrent ensuite, soit vers les pôles, soit vers la ceinture équatoriale, et participent avec d'autres processus à la bascule des pôles magnétiques : le pôle Nord devient le pôle Sud, et vice-versa, tous les 11 ans. "Les fondements du cycle solaire sont bien compris, commente Sacha Brun. Mais aujourd'hui, nous n'arrivons pas à reproduire la bonne périodicité dans nos modèles. Nous obtenons un cycle de un ou deux ans dans certains cas, 30 ou 40 ans dans d'autres cas."

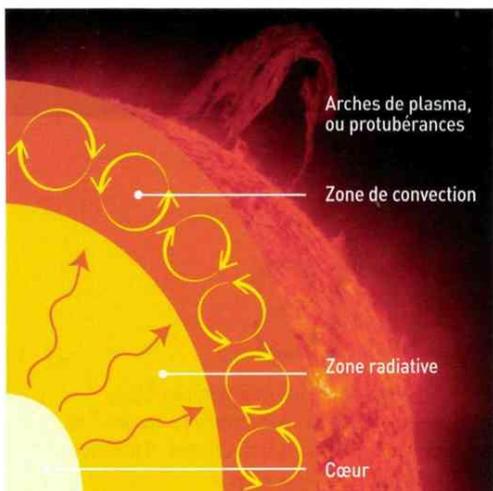
Connaître les ingrédients ne suffit pas, les physiciens doivent comprendre de manière très subtile comment tous les différents processus interagissent entre eux. Et il est impossible de traiter l'ensemble des paramètres à la fois. Avec son groupe au CEA, Sacha Brun vient de publier une des modélisations 3D les plus complètes du Soleil, qui ne prend néanmoins pas en compte le champ magnétique. "Simuler le Soleil est très complexe, poursuit l'astrophysicien. Nous avons 'découpé' numériquement notre étoile en un milliard de petits cubes. Dans chacun de ces cubes, le programme détermine la température, la densité, la vitesse des gaz. Cela aurait pris 1000 ans avec un ordinateur de bureau !"

La simulation décrit avec une grande précision les ondes de gravité qui se propagent dans la zone radiative, "de lointaines cousines des vagues

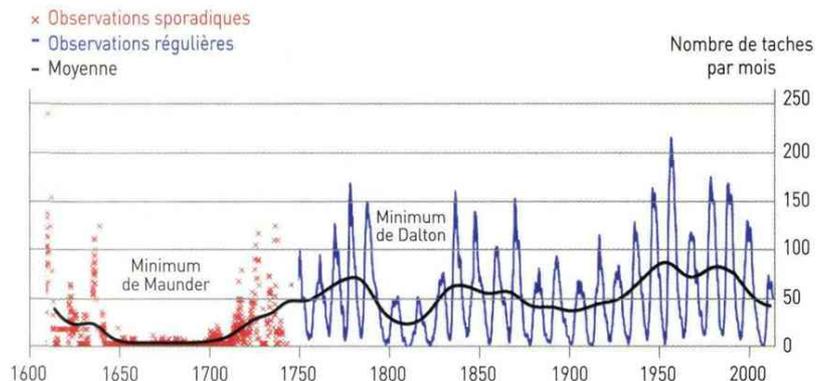
ceux qu'utilise Dean Pesnell. Mais "les paramètres sont ajustés à la main pour coller avec les observations, explique Sacha Brun, astrophysicien au CEA. Parfois ça marche, mais pas forcément pour les bonnes raisons. D'ailleurs quand on applique ces méthodes à d'autres étoiles que le Soleil, les résultats sont encore moins au rendez-vous."

Beaucoup de choses restent donc à comprendre dans la physique du Soleil. Notre étoile est une boule de plasma, c'est-à-dire de gaz électriquement chargé, en rotation sur elle-même. Or un fluide électrique en mouvement crée un champ magnétique : c'est l'effet dynamo. Ce champ magnétique naît, dans les profondeurs du Soleil,

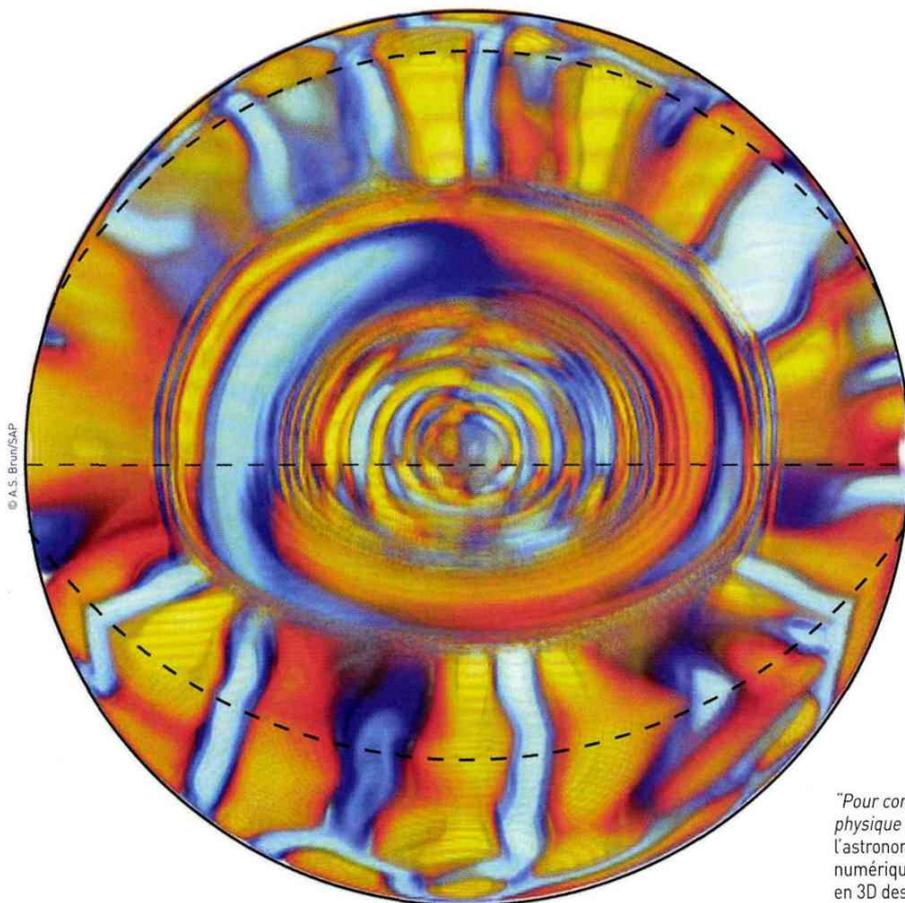
Le champ magnétique solaire naît de l'effet de cisaillement entre la zone radiative et la zone de convection, couche bien plus "bouillonnante". Ces mouvements turbulents entraînent le déploiement de gigantesques arches à la surface du Soleil, dont les taches sont les bases.



LES CYCLES SOLAIRES DEPUIS 1760



Le maximum du cycle 24 était en deçà du maximum précédent, en 2001. Et il est bien inférieur à l'activité observée en 1958, où on a compté plus de 200 taches certains mois.



© A.S. Brun/SaP

“La physique solaire actuelle ressemble un peu à la météorologie du XIX^e siècle.”

GUILLAUME AULANIER
Observatoire de Paris.

“Pour comprendre le Soleil, il faut faire le lien entre sa physique interne et les événements de surface”, note l’astronome Sacha Brun. Dans ce but, la simulation numérique est un outil précieux. Ici, une modélisation en 3D des ondes de gravité à l’intérieur du Soleil.

à la surface de l'eau”, ainsi que les interactions entre les différents processus physiques, qui ne sont pas forcément visibles quand on observe le Soleil. *“Pour comprendre le Soleil, il faut faire le lien entre sa physique interne et les événements de surface. Les taches solaires ne sont pas un ingrédient clé du cycle de 11 ans. Ce ne sont qu’une manifestation”,* assène Sacha Brun.

Tribulations magnétiques

“Cette approche de simulation globale est intéressante et similaire à la nôtre”, note Guillaume Aulanier. Avec ses collaborateurs, il tente de simuler les éruptions solaires. Ces sautes d’humeur de notre étoile expédient dans l’espace des grêles de particules accélérées et ont un impact considérable sur la Terre : aurores boréales, perturbations magnétiques, voire panne de satellites et des systèmes de communication ou encore coupures d’électricité. Or, les éruptions aussi suivent le rythme de 11 ans. *“Lors du minimum d’activité, il y a en moyenne moins d’une éruption par jour. Lors du maximum, il y en a trois ou quatre.”* Le cycle 24 est faible, les taches sont globalement plus petites et les éruptions moins intenses. Mais il y a des exceptions, comme celle du 25 février 2014, une des plus violentes éruptions de ces dernières années. Heureusement, le gaz n’a pas été expulsé en direction de la Terre. C’est la preuve que ces phénomènes sont tout

aussi difficiles à prévoir. Au niveau des régions qui entourent les taches, le plasma interagit avec les courants électriques qui circulent dans la couronne solaire. Il arrive alors que les courants s’accumulent dans des feuillets de 1 m de large, une taille minuscule devant celle des taches, qui dépasse la Terre en diamètre. Une telle situation est instable : les lignes du champ magnétique finissent par changer de configuration en libérant leur énergie par un flash intense. Ce sursaut lumineux est souvent accompagné par l’expulsion d’une quantité gigantesque de matière, jusqu’à 10 000 millions de tonnes, à plusieurs centaines de kilomètres par seconde. *“Ce que nous venons de comprendre par nos simulations, c’est que ces reconfigurations des lignes de champ ne sont pas brutales. Celles-ci se frôlent, glissent les unes sur les autres et échangent progressivement leur connexion”,* souligne Guillaume Aulanier. Mais ces échanges se produisent très vite, en l’espace de quelques minutes, une échelle de temps que les simulations n’arrivent pas à reproduire. *“La physique solaire d’aujourd’hui ressemble un peu à la météorologie du XIX^e siècle, compare le chercheur. Nous n’en sommes pas encore à un stade de connaissances physiques assez poussées pour prétendre faire des prédictions solides pour les cycles ou les éruptions.”*

(1) Lesia : Laboratoire d’études spatiales et d’instrumentation en astrophysique.

