



10 Protubérance solaire observée le 25 avril 2007 en H α par Hinode

Dans la couronne, bien isolée par le champ magnétique, se trouve du plasma relativement froid (~10 000°) que l'on appelle protubérance. Hinode a mis en évidence les structures ultrafines 200 km qui peuvent donner l'illusion de rideaux suspendus dans la couronne (fig. 10). Il faut toutefois se méfier des effets de perspective car à l'heure actuelle aucun mécanisme physique ne peut les interpréter. Ces filets quasi verticaux s'expliqueraient plutôt par la présence de piles de lignes de champs horizontaux avec des petits creux les uns sur les autres où se condense la matière (affaire à suivre). ■

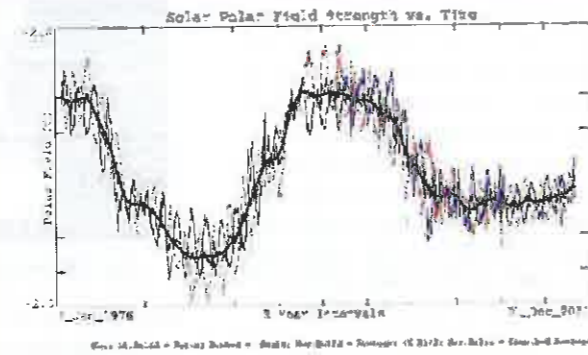
1. Le corps noir est un corps idéal dont le rayonnement ne dépend que de sa température. L'énergie totale qu'il émet est proportionnelle à la puissance 4 de sa température et le maximum de son spectre se décale vers le bleu quand la température augmente.

2. DERNIÈRES NOUVELLES DU CYCLE 24

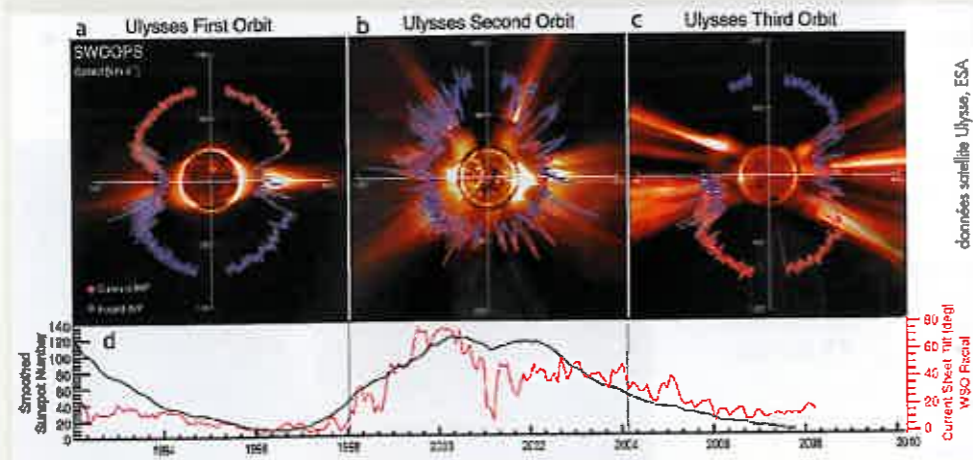
Depuis maintenant deux années le cycle 24 a débuté pour le Soleil, sauf que la majorité des scientifiques avaient prédit qu'il aurait dû commencer il y a pratiquement 4 ans ! Pourquoi le Soleil est-il en « retard » de 2 ans ? Quelles sont les conséquences d'une transition lente entre le cycle 23 et 24 pour la dynamique interne et externe du Soleil ? Est-il possible de comprendre sa longue léthargie, avec plus de 500 jours sans tache solaire à sa surface sur la période 2008-2009, à partir des processus physiques à l'origine de son magnétisme et de l'émergence de flux ?

Précisons d'abord en quoi la transition entre les cycles 23 et 24 a été différente de la précédente (entre les cycles 22 et 23 vers 1996).

● Le cycle 23 a duré quasiment 13 ans soit presque deux ans de plus qu'anticipé par les prédictions. Ce cycle a de plus été relativement faible avec un nombre de Wolf (*i.e.* une quantité basée sur le nombre de taches et régions actives permettant d'évaluer l'activité) maximal 120, comparé avec un nombre de l'ordre de 160 pour les cycles 21 et 22 et une longueur de cycle proche des « traditionnels » 11 ans (fig. A).



A Évolution du champ polaire au cours des 3 derniers cycles (données Wilcox Observatory). On note le maintien d'un champ polaire faible sur la dernière décennie.



B Evolution de la couronne et du vent solaire au cours des 15 dernières années. On remarque la structure complexe de la couronne lors du dernier minimum.

● La couronne du Soleil n'est jamais revenue sur une configuration simple, dipolaire avec une couche de courant neutre régulière. Elle est restée complexe alors même que peu de taches étaient à la surface du Soleil (fig B).

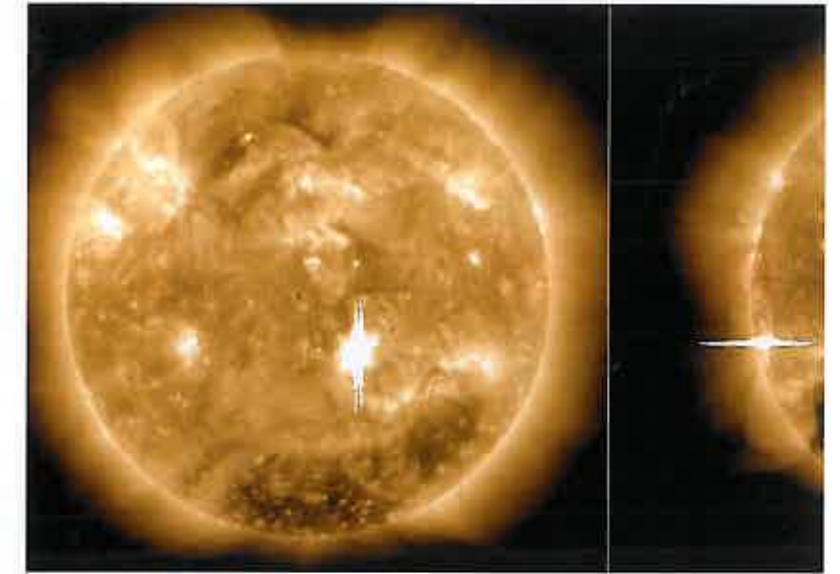
● Le vent solaire est particulièrement lent et l'amplitude du champ polaire faible (fig B).

● Le démarrage du cycle 24 est peu intense et le Soleil devrait atteindre son maximum vers 2014, car observationnellement plus un cycle croît lentement plus tard il atteindra son (relativement plus faible) maximum (effet dit de Waldmeier) (fig. C).

2. Les éruptions solaires

Les éruptions solaires se déclenchent dans la couronne de notre étoile. Ce sont les événements les plus violents de tout le Système solaire. En une dizaine de minutes, ces phénomènes convertissent une part de l'énergie magnétique de la couronne en mouvements à grande échelle du plasma de la couronne, en accélération de particules, et en rayonnements couvrant tout le spectre électromagnétique, depuis les ondes radio jusqu'aux rayons X, en passant par l'infrarouge, le visible et l'ultraviolet (fig. 1). Pour les éruptions les plus importantes, les énergies ainsi libérées sont de l'ordre de quelques dizaines de yottajoules, c'est-à-dire plusieurs fois 10^{25} joules. ●●●

1 La première éruption solaire de classe X du cycle 24, observée le 15 février 2011 en extrême ultraviolet, de face par Solar Dynamics Observatory (SDO), et par le côté par STEREO. Les détecteurs ont été saturés par l'éruption.



Qu'est-ce que ces observations impliquent pour notre compréhension actuelle du magnétisme et de la dynamo solaire ?

Remarquons d'abord que le cycle du Soleil a varié de 8 à 14 ans au cours des 3 derniers siècles et son amplitude est déjà passée par des faibles valeurs (cycle 16 par exemple). Il n'est donc pas si surprenant que cela arrive à nouveau. Pour les modèles de dynamo solaire, leur capacité à prédire le cycle 24 est encore faible bien que des modèles récents reproduisent maintenant cette tendance d'un cycle 24 lent et peu intense après ajustement des paramètres pour prendre en compte les dernières observations. On suppose que c'est dû aux processus de transport (turbulence, circulation méridienne) entre la surface et la base de la zone convective, nécessaires pour amener le flux magnétique dans la tachocline (lire p. 30) pour organiser le champ magnétique et établir le cycle de 11 ans. Ceux-ci en étant moins intenses peuvent ralentir le cycle. La présence d'un champ polaire (et par extension d'un champ poloidal global) faible peut également produire moins de flux magnétique à la base de la zone convective et donc avoir pour conséquence que moins de taches solaires émergent. En effet des simulations numériques démontrent que le champ toroïdal doit être assez intense (au-dessus d'un seuil) pour émerger jusqu'à la surface du Soleil. Il est donc possible comme durant le minimum de Maunder que la dynamo et le cycle de

11 ans opèrent mais que sa manifestation de surface soit faible. En effet certains indicateurs, comme la variation de la fréquence des ondes acoustiques solaires par l'influence du champ magnétique interne sur celles-ci, observés par les expériences d'héliosismologie à bord du satellite SoHO, montrent que le cycle 24 a pu commencer normalement vers fin 2007. Un certain découplage entre magnétisme interne et externe est donc possible. Cependant la transition entre les cycles 23 et 24 ne semble pas être du même type que durant la période du minimum de Maunder et ceci pour au moins deux raisons : a) même si moins intense que pour le début des cycles 22 et 23, le cycle 24 depuis le début de 2011 est clairement actif et b) l'activité est présente dans les deux hémisphères (dominance dipolaire du champ magnétique), alors que durant le grand minimum précédent seul l'hémisphère Sud l'était (impliquant une forte composante quadrupolaire). Pour conclure, la nature dynamique (intrinsèquement chaotique) du Soleil est donc vraisemblablement à l'origine de la modulation de la période et de l'amplitude du cycle 23 et de la lenteur du départ du cycle 24.

Par conséquent le champ global est faible actuellement à cause d'une modulation dynamique de la dynamo solaire, ce qui, couplé à la structure complexe de la couronne, implique un vent globalement plus lent. Encore une fois le Soleil nous apprend à nous méfier de modèles trop simplistes. S. Brun et J.-P. Zahn ●

C Le nombre de taches solaires lors des trois derniers cycles avec un zoom sur la transition entre les cycles 21 et 22, 22 et 23 et 23 et 24 (données SIDC, complétées par Lief Svalgaard). On remarque la faiblesse et la lenteur de la reprise du cycle 24.

