

INDICATEURS DE LA METEO SOLAIRE

COMPILATION ET INTERPRETATION DES PRINCIPAUX PARAMETRES SOLAIRES

Sources : NOAA, Observatoire de Paris, CNRS, SolarHam, ARRL, eHam, CqMag, SpaceWeather, HamQsl, NONBH, W7RI, W4RQ...
Par F4FAP - version 14d, janvier 2019 • Document disponible sur le site du radio-club F4KIO, Rennes : ara35.fr

LE SOLEIL : vieux de 4,7 milliards d'années, brillera encore 5 milliards d'années • 333.000 fois la masse de de la terre • 1.303.000 fois plus volumineux que la terre • Composé principalement de 3/4 d'hydrogène et 1/4 d'hélium • Brûle 620 millions de tonnes d'hydrogène chaque sec • Envoie sa lumière vers la terre en \approx 8 min, ses particules en 2 à 4 jours • Produit 400 millions de milliards de milliards de joules chaque seconde • Champ magnétique 5000 fois supérieur à celui de la terre • Rotation : 26 j à l'équateur, 37 j aux pôles • 5500°C en surface, 15.000.000°C au cœur • Représente à lui seul 99,8 % de la masse du système solaire • Cycle solaire moyen : 11 ans (actuellement cycle 24 : 2008→2019). **LA TERRE** : 1/109ème du diamètre solaire • Se trouve à \approx 150.000.000 km du soleil • Tourne autour du soleil à \approx 30 km/sec.

A*, K*-ou- Ap*, Kp* -ou- A Index*, K Index* ► INDICATEURS GEOMAGNETIQUES PLANÉTAIRES

Effet des particules du vent solaire sur le Champ Magnétique Terrestre (CMT) • Kp - composante horizontale planétaire du CMT mesurée sur 3h (Màj 8 fois/j) • Ap* - niveau d'instabilité planétaire du CMT mesuré sur 24h (Màj 1 fois/j) • Corrélés avec Bz • Un indicateur Kp élevé associé à un indicateur Ap bas = perturbation brutale dans le CMT • *Parfois libellé *Planetary -ou- Plntry*.

Kp*	Ap*	1	3	Calme	G0
		2	7	Instable, dégradation	
		5	48	Perturbation magnétique mineure • Aurores aux latitudes élevées (>65°)	G1
		6	80	Perturbation magnétique modérée • Aurores aux lat \geq 55°	G2
		7	140	Perturbation magnétique forte • Propagation HF fluctuante • Aurores aux lat \geq 50°	G3
		8	240	Perturbation magnétique sévère • Black-out HF possible • Aurores aux lat \geq 45°	G4
		9	400	Perturbation magnétique extrême • Black-out HF probable • Aurores aux lat \geq 40°	G5

Geomagnetic storm ► PERTURBATION DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

Statistique (en jours) durant un cycle solaire moyen (11 ans) : G1 = 900, G2 = 360, G3 = 130, G4 = 60, G5 = 4.

SN [Sunspot Number] -ou- SSN [Smoothed Sunspot Number] ► TACHES SOLAIRES MOYENNÉES

Agissent sur l'ionisation des couches F • Corrélation >97% avec SFI • Màj quotidienne • Voir aussi à SunSpots.

♣ Accessibilité théorique aux bandes radio selon les niveaux SN et SFU (SFI) - d'après NONBH.

> 100	Propagation HF élevée (risque de Black-out radio R3 à R5 selon les conditions) ♣ SN 160→250, SFU 200→300 : jusque \approx 6 m • SN 105→160, SFU 150→200 : jusque \approx 10 m, ouv 6 m	1 SFU (Solar Flux Unit) = 10000 Jy (Jansky)	300 SFU (SFI) ↕ 60 SFU (SFI)
100	Propagation HF modérée ♣ SN 70→105, SFU 120→150 : jusque \approx 10 m • SN 35→70, SFU 90→120 : jusque \approx 15 m		
0	Propagation HF mineure ♣ SN 10→35, SFU 70→90 : moyen jusque \approx 20 m • SN 0→10, SFU 64→70 : moyen jusque \approx 40 m		

SFI [Solar Flux Index] -ou- SF -ou- F10.7 index ► FLUX RADIO SOLAIRE CORRIGÉ SUR 10,7cm/2800 MHz

Bonne indication de l'ionisation de la couche F2 : plus le SFU est élevé, plus l'ionisation et la MUF (Max Usable Frequency) sont élevées • Voir aussi à MUF • Corrélation avec : flux X, 304A (\approx \leq 110 SFU), SN (>97%) • Peut dépasser 300 SFU (record de 55000 en juin 1991) • Màj 3 fois/j.

X-Ray -ou- XRY ► FLUX X

Influence principalement la couche D • Conséquence des éruptions solaires (solar flares) • Màj 8 fois/j • Mesuré par sat GOES •

Statistique en nombre d'occurrences durant un cycle solaire moyen (11 ans) : M1 = 2000, M5 = 350, X1 = 175, X10 = 8, X20 = 1.

A1 → A9	Mesure physique : Watt par m ²	<10 ⁷ Watt/m ²	Incidence nulle à faible côté jour	---
B1 → B9		\geq 10 ⁷ <10 ⁶ Watt/m ²		
C1 → C9		\geq 10 ⁶ <10 ⁵ Watt/m ²	Absorption HF (black-out) mineure à modérée côté jour	R1 à R2
M1 → M9		\geq 10 ⁵ <10 ⁴ Watt/m ²		
X1 → ∞		\geq 10 ⁴ <10 ³ Watt/m ²		
Super X		\geq 10 ³ Watt/m ²		

Radio blackout ► BLACK-OUT RADIO

Provoqué par le flux X • Statistique en nbre de jours de black-out durant un cycle solaire moyen (11 ans) : R1 = 950, R2 = 300, R3 = 140, R4 = 8, R5 < 1.

Ptn Flx -ou- Pf ► NIVEAU DE RADIATION

Influence principalement la couche E • Rayonnement des protons chargés présents dans le vent solaire • Moyenné sur 5 min • Mesuré par sat GOES •

Statistique en nombre d'occurrences durant un cycle solaire moyen (11 ans) : S1 = 50, S2 = 25, S3 = 10, S4 = 3, S5 < 1.

S1	Mesure physique : MeV (Méga-électron-Volt) 10 MeV = 1 PFU (Proton Flux Unit) **Dès S2, risque pour la santé à haute altitude et latitudes élevées (source NOAA).	>10 PFU	Rayonnement solaire mineur
S2**		>100 PFU 10 ²	Rayonnement solaire modéré
S3**		>1000 PFU 10 ³	Rayonnement solaire fort • Propagation HF régions polaires dégradée
S4**		>10000 PFU 10 ⁴	Rayonnement solaire sévère • Black-out HF régions polaires possible
S5**		>100000 PFU 10 ⁵	Rayonnement solaire extrême • Black-out HF régions polaires probable

Bz -ou- MAG ► CHAMP MAGNETIQUE INTERPLANETAIRE Orientation du champ magnétique interplanétaire (IMF) depuis le soleil • De 50 nT à -50 nT (nano Tesla) • Valeur positive : même direction que la magnétosphère terrestre (vers le nord) • Valeur négative (dès -10nT) : faiblesse de la magnétosphère terrestre (tendance sud), corrélée avec la puissance du vent solaire • Imprévisible • Màj horaire.

📖 Le champ magnétique interplanétaire (IMF) comporte trois composantes : Bx, By et Bz (champ tridimensionnel). Bz qui représente la direction nord-sud de l'IMF (donc perpendiculaire au plan de l'écliptique) est l'un des paramètres les plus importants pour l'activité aurorale terrestre, activité mesurée depuis le satellite ACE. Un indice Bz négatif indique que l'IMF est en « phase » avec celui de la terre (car leurs polarités sont opposées), facilitant ainsi la pénétration des particules du vent solaire dans l'atmosphère terrestre. Ces particules sont alors transportées sur les lignes du champ magnétique terrestre où elles entrent en collision avec des atomes d'oxygène et d'azote, rayonnent et émettent de la lumière, généralement dans les zones polaires.

Bt ► CHAMP MAGNETIQUE INTERPLANETAIRE Valeur calculée symbolisant la force totale de l'IMF (Bx, By et Bz) • Plus la valeur de Bt est élevée (en nano Tesla - nT), meilleures sont les conditions géomagnétiques : <10 nT = perturbé, ≥20 nT = calme, >30 nT = très calme.

304A ► ULTRA VIOLET Intensité relative du rayonnement solaire ultra violet sur la longueur d'onde de 304 angströms (30,4 nm) • De 0 à ∞ • Minimum solaire moyen ≈ 134. Maximum solaire moyen ≈ 200 ou plus • **Responsable pour ≈ la moitié de l'ionisation de la couche F2** (l'autre moitié est le fait des protons et électrons du vent solaire, ainsi que du flux X) • Corrélation partielle avec SFI (≈ ≤110 SFU) • « @SEM » indique une mesure du satellite SOHO • « @EVE » indique une mesure du satellite SDO • L'instrument EVE à bord de SDO est plus récent et plus sensible aux changements d'intensités (2010) que l'instrument SEM de SOHO (1995). De plus, chacun de ces satellites n'a pas la même position par rapport au soleil • Màj horaire.

Ef -ou- Elc Flx [Electron Flux] ► FLUX D'ELECTRONS Densité d'électrons chargés présents dans le vent solaire • De 0 à ∞. Plus le paramètre est élevé (donné en nombre de particules / cm².s.sr), plus l'ionosphère est influencée • **Agit principalement sur la couche E et la magnétosphère** • Mesuré par sat GOES • Moyenné sur 5 min.

SW [Solar Wind] ► VENT SOLAIRE En km/sec (vitesse moyenne : ≈ 450 km/sec) • Varie en vitesse et en température selon l'activité solaire** • **Influence l'ionosphère proportionnellement à sa vitesse** • Mesuré par satellite • Màj toutes les 10 à 30 min selon les sites.

📖 Flux hypersonique de plasma brûlant peu dense, constitué essentiellement d'ions, protons, électrons et de noyaux d'hélium (près de 95 % de ce flux est constitué de protons et d'électrons). Le soleil émet perpétuellement près de 1 million de tonnes de matière par seconde dans le milieu interplanétaire. Ces particules chargées sont éjectées de la haute atmosphère du soleil.

**A noter qu'il existe deux types de vent solaire : le vent « lent » (≈ 300 km/sec) qui varie peu en fonction du cycle solaire, ne dépend pas de l'activité du soleil et se situe plutôt dans le plan équatorial, et le vent « rapide » (≈ 500 à 800 km/sec) qui dépend fortement du cycle solaire et de l'activité du soleil, provenant des latitudes élevées.

Aurora -ou- Aur [Aurora] ► AURORES Probabilité d'apparition d'aurores (N/n = x) • « N » est quantifié de 0 à 10 (<2 = probabilité faible) • Plus « N » et « x » sont élevés (« n » faible), plus la probabilité d'apparition augmente (pouvant aller jusqu'aux latitudes basses) • **Indique l'état d'ionisation des couches F dans les régions polaires** • Màj toutes les 15 min.

Aur Lat [Aurora Latitude] ► LATITUDE AURORALE Estimation de la latitude d'apparition la plus basse • Valeur (en ° de latitude) : de 67,5 à <45 • Màj horaire.

GeoMag Field [Geomagnetic Field] ► CHAMP GEOMAGNETIQUE Indication basée sur l'indice « Kp » qui indique l'état du champ magnétique terrestre : inactive (inactif), very quiet (très calme), quiet (calme), unsettled (instable), active (actif), minor storm (perturbation mineure), major storm (perturbation majeure), severe storm (perturbation sévère) ou extreme storm (perturbation extrême) • Les indications les plus élevées peuvent être la cause d'un black-out HF et/ou d'aurore(s) • Màj toutes les 3 heures.

Sig Noise Lvl [Signal Noise Level] ► NIVEAU DE BRUIT Valeur calculée • Indique la valeur en unités de « S mètre » du niveau de bruit généré par l'interaction du vent solaire avec l'activité géomagnétique terrestre • NoRpt signifie « No report » • Màj toutes les 30 min.

MUF [Maximum Usable Frequency] ► FREQUENCE MAXIMUM UTILISABLE Valeur de 0 à 100 MHz • Donne la MUF depuis l'un des 11 sites de mesure dans le monde (le site d'où provient la mesure est indiqué) • NoRpt signifie « No report ».

📖 La MUF n'assure pas une garantie de succès en communications HF. Une règle empirique consiste à n'utiliser qu'un coefficient de 80 à 90% de la MUF, voire moins. Par ailleurs, la MUF d'un site n'est pas représentative pour l'ensemble du globe.

CME [Coronal Mass Ejection] ► EJECTION DE MASSE CORONALE Donne une prévision de date et heure UTC de l'impact terrestre d'une éruption solaire • Couleur graduelle selon la sévérité : vert→jaune→rouge • Màj par NOAA/SWPC lorsqu'une CME est détectée.

📖 Ce sont des bulles de plasma produites dans la couronne solaire, souvent liées à une éruption solaire. Ces énormes nuages (jusqu'à plusieurs dizaines de rayons solaires), constitués de centaines de millions de tonnes d'électrons et de protons, se superposent au vent solaire, voyagent à travers l'espace (100 à 2500 km/sec) et, s'ils croisent la terre, perturbent la magnétosphère terrestre. Outre l'apparition dans le ciel d'aurores boréales ou australes, ces phénomènes peuvent occasionner des pannes du réseau électrique, dégrader ou interrompre les transmissions radio, endommager ou détruire des satellites, provoquer des pannes à bord des avions, soumettre les personnes à bord à un excès de radiations, etc.

Proton density ► DENSITE DE PROTONS Mesuré en nombre de protons par centimètre³ (p/cm³) : <10 = faible, 10 à 20 = peu dense, >20 = dense à très dense • Corrélé à Ptn flux (-ou- Pf) et SW • Mesure faite par satellite • Màj toutes les 10 à 30 min selon les sites.

📖 Sont également d'origine galactique (extrasolaire), et comptent pour environ 90 % du flux total de particules. Ces protons ont une énergie souvent plus élevée et une intensité beaucoup plus uniforme et stable que ceux provenant du Soleil (généralement associés aux CME).

SunSpots ► TACHES SOLAIRES 8 classes de tâches solaires selon leur durée de vie, évolution, complexité, structure, et polarité.

Les 4 principaux types de tâches :

- Classe -	- Description -	- Influence -
α - Alpha	Champ magnétique unipolaire inorganisé.	Menace faible.
β - Beta	Champ magnétique bipolaire avec division simple de la polarité.	Flux X de classe C, possiblement M.
γ - Gamma	Région complexe dans laquelle les polarités négatives et positives sont irrégulièrement distribuées de manière à ne pouvoir être classées comme des région bipolaires.	---
δ - Delta	Fort champ bipolaire entre tâches.	Peuvent être très actives - produisent les éruptions solaires les plus intenses. Fort potentiel pour des flux X de classe M à X.

📖 Le nombre de tâches solaires est compté quotidiennement, générant le « Nombre Relatif International de Wolf » qui permet d'évaluer l'activité du soleil en complément de la mesure radioélectrique sur 10,8 cm (2800 MHz) et d'une mesure photographique. Un autre classement existe, divisant les tâches en 60 catégories selon la surface, l'aspect et la polarité.