

INDICATEURS DE LA METEO SOLAIRE

INTERPRETATION DES PRINCIPAUX PARAMETRES SOLAIRES

Sources principales : NOAA, Observatoire de Paris, CNRS, SolarHam, ARRL, CqMag, Space Weather, HamQsl, N0NBH, W7RI, W4RQ...
 Depuis 2015 par F4FAP - version 15h mai 2019 • Document disponible sur le site du radio-club F4KIO, Rennes, sous l'onglet « HF » : ara35.fr

LE SOLEIL : vieux de 4,7 milliards d'années, brillera encore 5 milliards d'années • 333.000 fois la masse 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 ≈ 8 min, ses particules en 2 à 4 jours • Produit 400 millions de trillions* de joules chaque seconde • Champ magnétique 5000 fois supérieur à celui de la terre, influant jusqu'à 100-160 UA (tout le système solaire et au delà) • 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 fin du cycle 24 : 2008→2019).
LA TERRE : 1/109ème du diamètre solaire (≈ 12700 km) • Située à $\approx 150.000.000$ km du soleil (1 unité astronomique - UA) • Tourne autour du soleil à ≈ 30 km/sec. *Milliards de milliards.

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 $\geq 55^\circ$		G2
		7	140	Perturbation magnétique forte • Propagation HF fluctuante • Aurores aux lat $\geq 50^\circ$		G3
		8	240	Perturbation magnétique sévère • Black-out HF possible • Aurores aux lat $\geq 45^\circ$		G4
		9	400	Perturbation magnétique extrême • Black-out HF probable • Aurores aux lat $\geq 40^\circ$		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.

♣ Accessibilité théorique aux bandes radio selon les niveaux SN et SFU (SFI) - d'après N0NBH.

> 100	Propagation HF élevée (risque de Black-out radio R3 à R5 selon les conditions) ♣ SN 160→250, SFU 200→300 : jusque ≈ 6 m ♣ SN 105→160, SFU 150→200 : jusque ≈ 10 m, ouvertures 6 m	1 SFU (Solar Flux Unit) = 10000 Jy (Jansky) 10 ⁻²⁶ W/m ² /Hz	300 SFU (SFI) ↑↓ 60 SFU (SFI)
100	Propagation HF modérée ♣ SN 70→105, SFU 120→150 : jusque ≈ 10 m ♣ SN 35→70, SFU 90→120 : jusque ≈ 15 m		
0	Propagation HF mineure ♣ SN 10→35, SFU 70→90 : moyen jusque ≈ 20 m ♣ SN 0→10, SFU 64→70 : moyen jusque ≈ 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 • Corrélation avec : Flux X, 304A ($\approx \leq 110$ SFU) et 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	<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		
M1 → M9	$\geq 10^{-5}$ <10 ⁻⁴ Watt/m ²	Absorption HF (black-out) mineure à modérée côté jour	R1 à R2
X1 → ∞	$\geq 10^{-4}$ <10 ⁻³ Watt/m ²	Absorption HF (black-out) forte à extrême côté jour	R3 à R5
Super X	$\geq 10^{-3}$ Watt/m ²	Possible corrélation avec SN -et/ou- SFI élevés	

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 ► RADIATIONS

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

Bz -ou- MAG ► CHAMP MAGNETIQUE INTERPLANETAIRE Orientation du champ magnétique interplanétaire - IMF (champ magnétique du 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). S'aggrave selon la puissance du vent solaire • Imprévisible • Mâj 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 (nT - nano Tesla), 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 • 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 • Mâj horaire.

📖 Environ 5 % de l'énergie électromagnétique solaire est émise sous forme de rayonnements UV, classés en fonction de leur longueur d'onde : les UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) et UV-C (280-100 nm). La mesure relevée ci-dessus (304A ou 30,4 nm) est classée XUV (Rayonnement UV extrême). NOTE : l'instrument EVE à bord de SDO est plus récent (2010) et plus sensible aux changements d'intensités que l'instrument SEM de SOHO (1995). Par ailleurs, chacun de ces satellites n'a pas la même position par rapport au soleil.

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 • Mâj 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. NOTE : 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 • Mâj toutes les 15 min.

📖 Les aurores sont souvent vertes dans leurs parties basses (oxygène), rouges dans les parties hautes (oxygène et azote). Du bleu-violet peut également apparaître au sommet des aurores (hydrogène, azote et hélium), voire du rose, jaune et blanc à moyenne altitude, lors d'une puissante éjection solaire.

Aur Lat [Aurora Latitude] ► LATITUDE AURORALE Latitude d'apparition la plus basse calculée par le modèle Ovation • Valeur en degré de latitude (°) : de 67,5 à <45 • Mâj horaire.

📖 Certains sites fournissent une mesure en GW (Gigawatt) de la haute atmosphère terrestre, quantité d'énergie électrique transférée par les particules solaires nécessaire à l'apparition des aurores. Calcul de probabilité obtenu via le modèle Ovation (avec des mesures par satellites) : s'étale de <20 GW (très faible) à >100 GW (très forte). Mâj toutes les 5 min.

GeoMag Field [Geomagnetic Field] ► CHAMP GEOMAGNETIQUE Indication simplifiée 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) • Mâj 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 » • Mâj 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 généralement 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 • Mâj par NOAA/SWPC lorsqu'une CME est détectée.

📖 Les CME 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 et/ou 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) dans le vent solaire : <10 = faible, 10 à 20 = peu dense, >20 = dense à très dense • Corrélé à Ptn flux (-ou- Pf) et SW • Mesure faite par satellite • Mâj toutes les 10 à 30 min selon les sites.

📖 Les protons sont également d'origine galactique (extra-solaire), 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