

INDICATEURS DE LA METEO SOLAIRE

INTERPRETATION DES PRINCIPAUX PARAMETRES SOLAIRES

Available in english on ara35.fr

Sources principales : NOAA, Observatoire de Paris, CNRS, SolarHam, ARRL, CqMag, Space Weather, HamQsl, N0NBH, W7RI, W4RQ...
Depuis 2015 par F4FAP - v19 (août 2020) • 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 \approx 8 min, ses particules en 2 à 4 jours • Produit 400 millions de trillions* de joules chaque seconde • Champ magnétique interplanétaire (IMF - généré par le soleil), 5000 fois supérieur à celui de la terre, influant jusqu'à 100-160 UA (tout le système solaire et au delà) • Rotation moyenne : 26 j à l'équateur, 37 j aux pôles • 5500°C en surface, 15.000.000°C au cœur • Représente à lui seul 99,85 % de la masse du système solaire • Cycle solaire moyen : 11 ans - actuellement cycle 25 : 2020-2031. **LA TERRE** : 1/109ème du diamètre solaire (\approx 12700 km) • Située à \approx 150.000.000 km du soleil (1 unité astronomique - UA) • Tourne autour du soleil à \approx 30 km/sec. *Milliards x 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 (Maj 8 fois/j) • **Ap*** - niveau d'instabilité planétaire du CMT mesuré sur 24h (Maj 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 \geq55°	G2
		7	140	Perturbation magnétique forte • Propagation HF fluctuante • Aurores aux lat \geq50°	G3
		8	240	Perturbation magnétique sévère • Black-out HF possible • Aurores aux lat \geq45°	G4
		9	400	Perturbation magnétique extrême • Black-out HF probable • Aurores aux lat \geq40°	G5

Geomagnetic storm ► PERTURBATION DU CHAMP MAGNETIQUE 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 • Maj quotidienne ☺ Accessibilité théorique aux bandes radio selon les niveaux SN et SFU (SFI) - d'après N0NBH.

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	1 SFU (Solar Flux Unit) = 10000 Jy (Jansky) $10^{-26} \text{W/m}^2/\text{Hz}$	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		↑↓ 300 SFU (SFI)
> 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, ouvertures 6 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) • Maj 3 fois/j.

X-Ray -ou- XRY ► FLUX X

Influence principalement la couche D • Conséquence des éruptions solaires (solar flares) • Maj 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	$< 10^7 \text{ Watt/m}^2$	Incidence nulle à faible côté jour	
B1 → B9	$\geq 10^7 < 10^6 \text{ Watt/m}^2$		
C1 → C9	$\geq 10^6 < 10^5 \text{ Watt/m}^2$		
M1 → M9	$\geq 10^5 < 10^4 \text{ Watt/m}^2$	Absorption HF (black-out) mineure à modérée côté jour	R1 à R2
X1 → ∞	$\geq 10^4 < 10^3 \text{ Watt/m}^2$	Absorption HF (black-out) forte à extrême côté jour	R3 à R5
Super X	$\geq 10^3 \text{ Watt/m}^2$	<i>Possible corrélation avec SN -et/ou- SFI élevés</i>	

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- PI ► 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		$> 10 \text{ PFU}$	Rayonnement solaire mineur
S2*	Mesure physique : Méga-électron-Volt (MeV). 1 PFU (Proton Flux Unit) = 10 MeV. *Dès S2, risque pour la santé à altitudes et latitudes élevées (source NOAA).	$> 10^2 \text{ PFU}$	Rayonnement solaire modéré
S3*		$> 10^3 \text{ PFU}$	Rayonnement solaire fort • Propagation HF régions polaires dégradée
S4*		$> 10^4 \text{ PFU}$	Rayonnement solaire sévère • Black-out HF régions polaires possible
S5*		$> 10^5 \text{ PFU}$	Rayonnement solaire extrême • Black-out HF régions polaires probable

Bz -ou- MAG ► CHAMP MAGNETIQUE INTERPLANETAIRE Orientation du champ magnétique interplanétaire (IMF) • 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), généré par le soleil, 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.

Bi ► 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, soit 30,4 nm – nano mètre(s) (30,4 milliardième de mètre) • Quantifié de 0 à ∞. Mini solaire moyen ≈134. Maxi 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 sat SDO • Mâj horaire.

Environ 5 % de l'énergie électromagnétique solaire est émise sous forme de rayonnements UV, classés selon leur longueur d'onde : UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) et UV-C (280-100 nm). La mesure 304A est classée XUV (rayonnement UV extrême), transition électromagnétique vers les rayons X. NOTE : l'instrument EVE à bord de SDO est plus récent (2010) et plus sensible aux changements d'intensité 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 satellite 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 • Voir aussi à GW.

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 que 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).

GW -ou- GigaWatt ► PUISSANCE HEMISPHERIQUE Quantité d'énergie électrique transférée par les particules solaires générant des aurores • Probabilité calculée en GW par le modèle Ovation intégrant des mesures de vent solaire et d'IMF (Champ Mag Interplanétaire) pour les 30 à 60 prochaines min • Probabilité d'apparition : <20 GW (très faible), 20 à 50 GW (faible), >50 GW (moyenne), >100 GW (très forte) • Mâj ttes les 5 min.

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 -
<i>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</i>		
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.