

# Radioastronomie Amateur

## Observation du Soleil

## Emission radio non thermique



# Observation du Soleil

## Emission radio non thermique

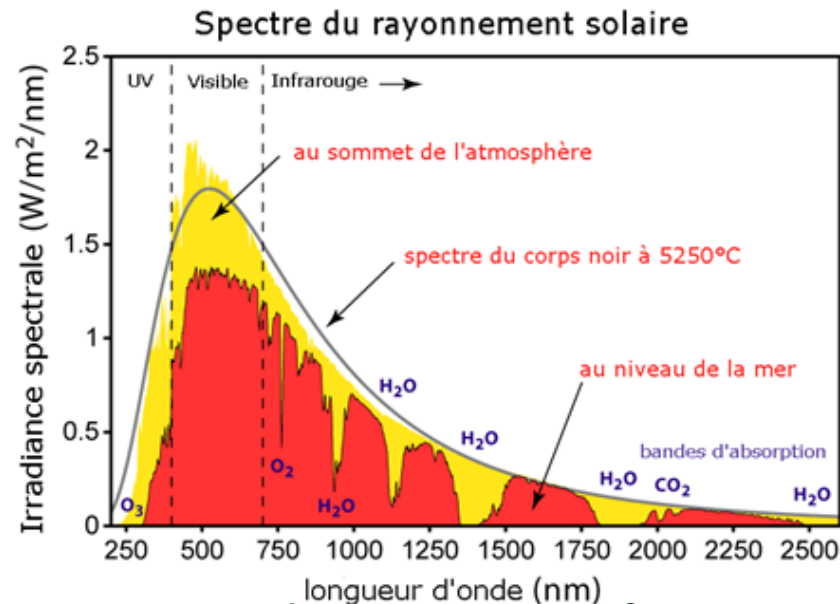
### Sommaire

- ❑ Soleil
  - Rayonnement
- ❑ Emission radio thermique (info)
- ❑ Emission radio non-thermique (sujet)
  - Principaux évènements
- ❑ Radiotélescope utilisé
  - Description Antenne / Récepteur / Traitement
- ❑ Premiers résultats
  - Observations
- ❑ Références

# Soleil

## ☐ Rayonnement continu et très complexe

- ✓ Principalement dans les UV, Visible et IR, X, Gamma...

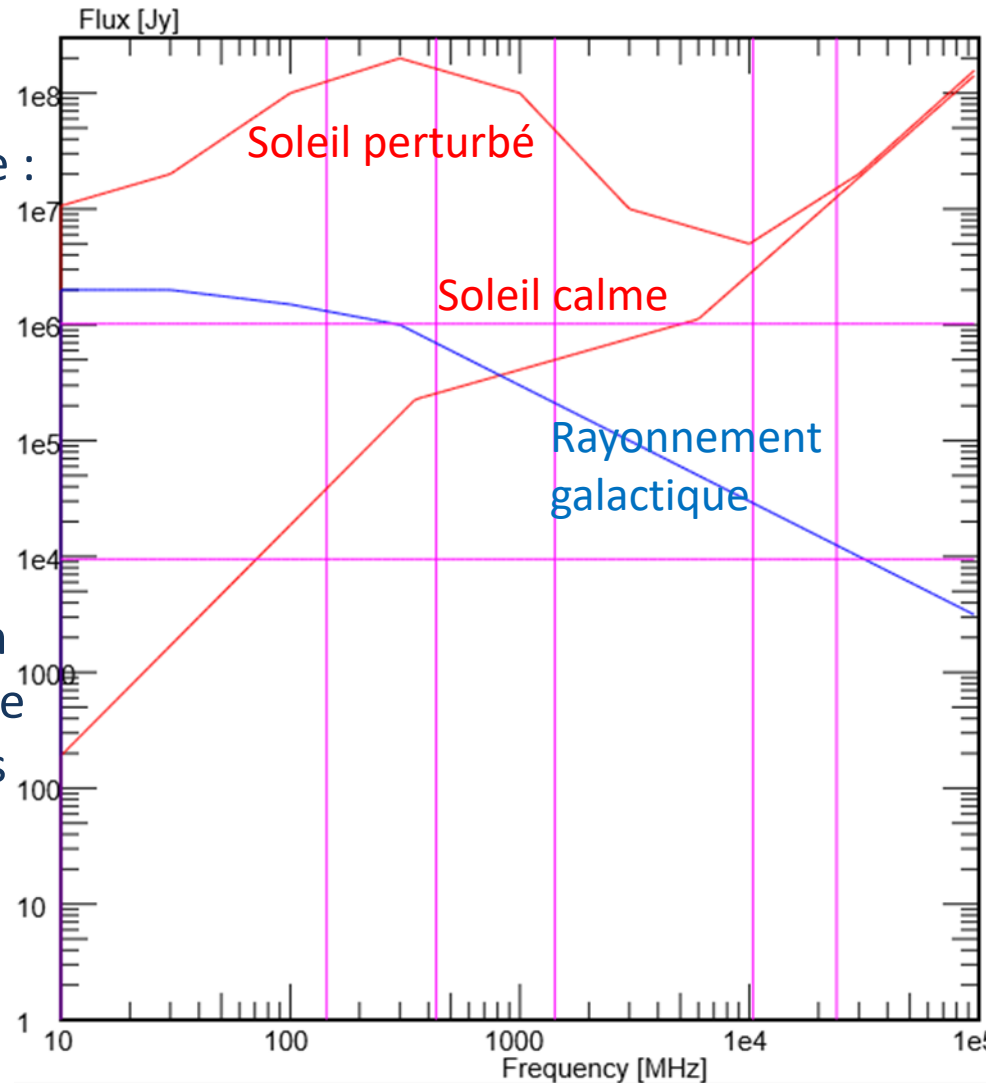


- ✓ Le rayonnement radio est une infime partie du rayonnement solaire et il est observable depuis la Terre
- ✓ La base de données BASS2000 recense les mesures de différents observatoires sur différentes longueurs d'onde.

# Soleil

## ☐ Rayonnement radio

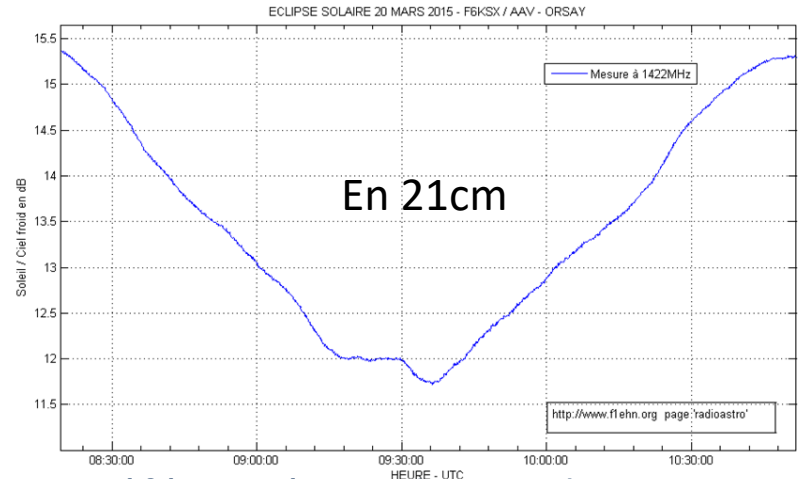
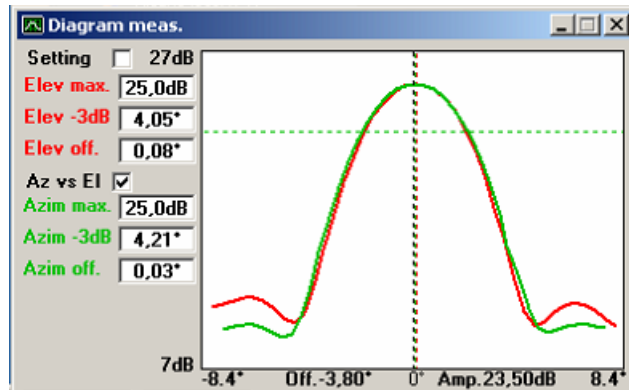
- ✓ Rayonnement thermique : gaz ionisé à forte température et rayonnement type corps noir
- ✓ Rayonnement non-thermique dû l'excitation du plasma de la couronne solaire par des particules accélérées (éjection / éruption)



# Soleil

## ☐ Rayonnement thermique (pour information)

- ✓ Les principales observations amateur montrent le transit du soleil devant un radiotélescope (température)
- ✓ Observation d'éclipse solaire (la prochaine n'est pas pour tout de suite). Ici 30 Mars 2015 =>

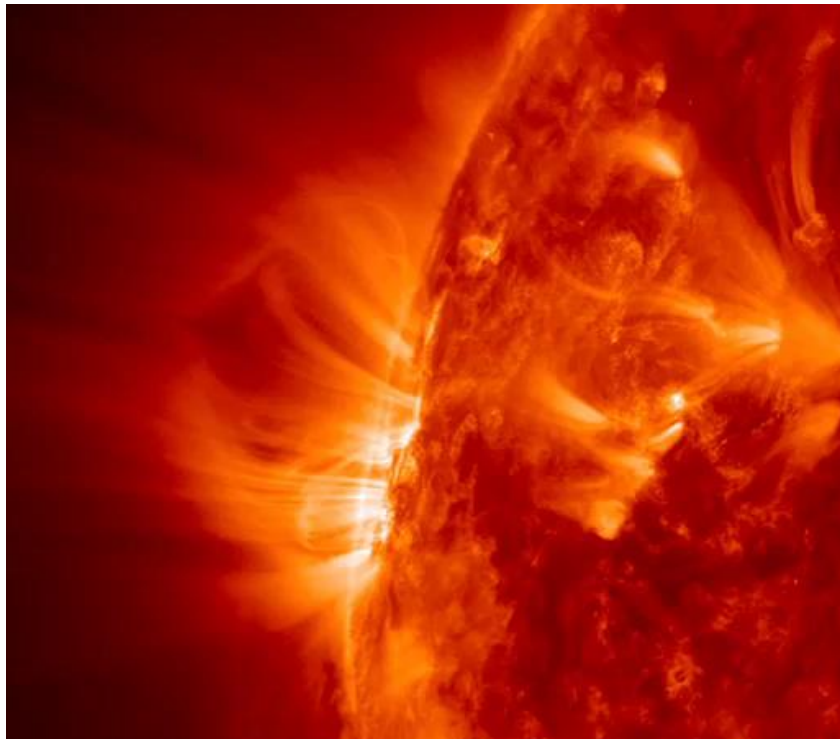


- ✓ Le rayonnement radio (flux) est référencé par de nombreux observatoires et le soleil est un très bon étalon thermique pour un radiotélescope amateur (=> calibrage de la température d'antenne). Solution peu onéreuse pour un amateur, permet également un relevé de diagramme d'antenne (figure de gauche).

# Soleil

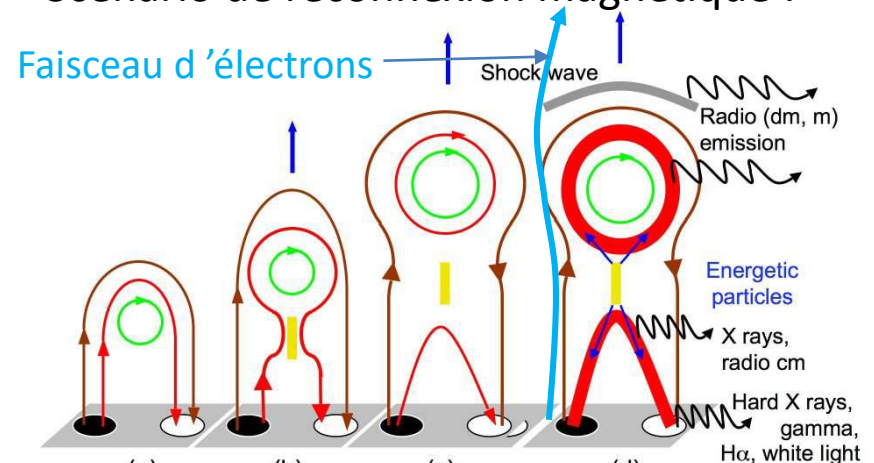
## ☐ Rayonnement non-thermique (sujet du jour)

- ✓ A la suite d'une éjection / éruption (Burst) intense, des électrons de haute énergie en complément d'un jet de matière s'élèvent dans la couronne solaire (magnéto-plasma hautement ionisé).



Solar Dynamics Observatory (SDO, NASA)

- ✓ Ejection d'une structure magnétique vers la haute couronne et l'espace IP
- ✓ Formation de nouvelles boucles magnétiques au-dessous de la structure éjectée
- ✓ Scénario de reconnexion magnétique :



K.-L. Klein 40 ans NDA Nançay 4/10/2017

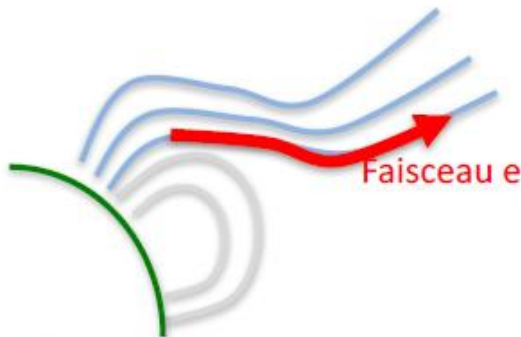


# Soleil – Rayonnement non-thermique

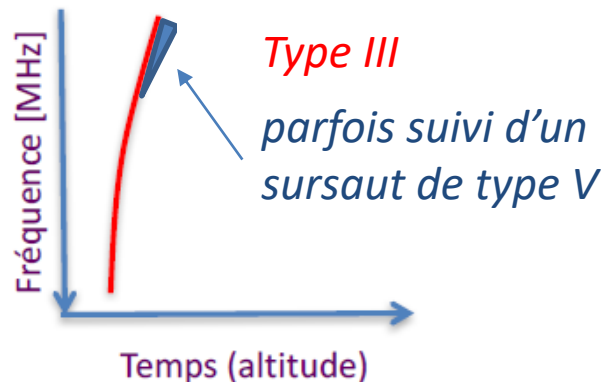
## ☐ Sursauts radio

- ✓ Rayonnement à la fréquence du plasma  $f_p$ . Cette fréquence diminue comme la densité électronique avec la distance au soleil.

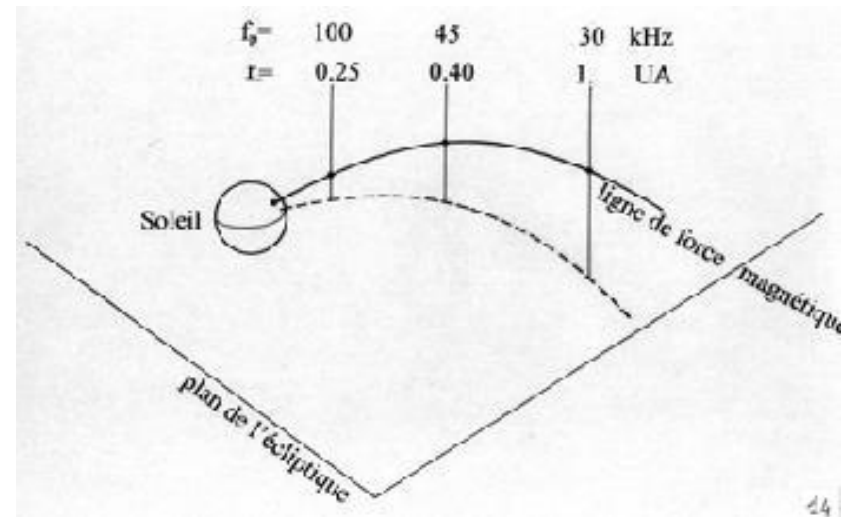
L'excitateur se propage dans la couronne ou boucles en expansion (CME)



Forme du spectre dynamique



$f_p = 9 * \sqrt{N_e}$  avec  $f_p$  en kHz et  $N_e$  étant la densité du plasma en électrons par  $\text{cm}^3$

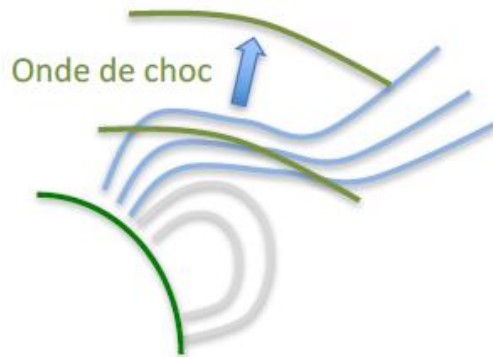


L'éloignement rapide lors de l'éjection provoque donc cette décroissance rapide de fréquence. Les fréquences  $< f_p$  ne sont pas propagées,

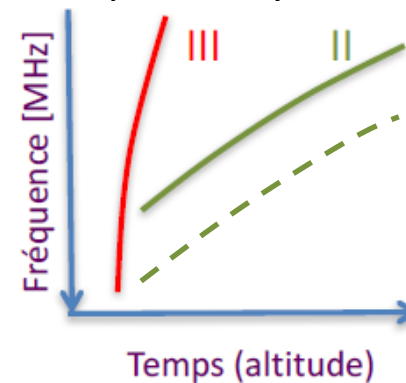
# Soleil – Rayonnement non-thermique

## ☐ Sursauts radio (suite)

- ✓ Le jet de matière en mouvement relativement plus lent, mais tout de même supérieur à la vitesse du son, crée une onde de choc, Rayonnement à la fréquence du plasma  $f_p$  et parfois à  $2*f_p$ . Sa pente est plus lente ( $<1$  MHz/s).



Forme du spectre dynamique





# Soleil – Rayonnement non-thermique

## ☐ Sursauts radio – Classification (selon OBSPM)

**Type I** (orages) : continuum + succession de sursauts brefs (inférieurs à 1 sec), associés à des taches de fort champ magnétique. Ils durent de quelques heures à quelques jours. Leur mécanisme de production n'est pas compris.

**Type II** : ondes de choc engendrées par une éruption chromosphérique et se propageant de la couronne au milieu interplanétaire (à  $v \approx 1000$  km/s). Ils dérivent lentement des hautes vers les basses fréquences, en plusieurs minutes. On les attribue à des oscillations de plasma provoquées par le passage de l'onde de choc.

**Type III** : éjection de faisceaux d'électrons énergétiques (relativistes,  $v \approx 100000$  km/s ou  $c/3$ ) dans la couronne, puis dans le milieu interplanétaire. Ils dérivent des hautes vers les basses fréquences en quelques secondes, et sont également attribués à des oscillations de plasma (provoquées par le passage du faisceau).

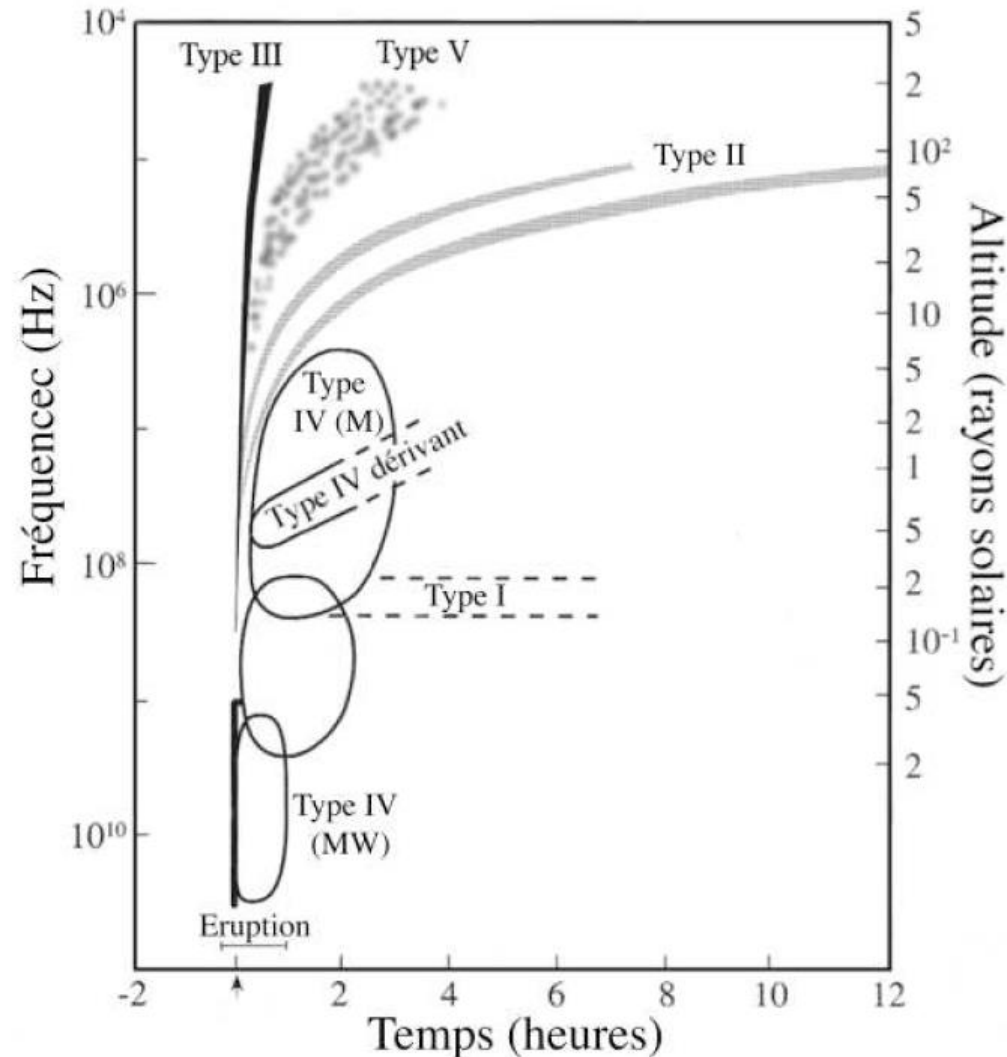
**Type IV** : émission synchrotron d'un paquet d'électrons au sommet d'une arche magnétique coronale ou dans une bulle de plasma en mouvement à  $v \approx 100$  km/s. Ce sont les seuls sursauts très polarisés. Ils durent de quelques minutes à quelques heures.

**Type V / U** (ou de type N) = attribués à des électrons de haute énergie piégés dans des arches coronales magnétiques et y effectuant des rebonds sur les miroirs magnétiques aux pieds des arches.

<https://www.obs-nancay.fr/Etude-des-sursauts-radio-engendres.html>

# Soleil – Rayonnement non-thermique

## ☐ Sursauts radio – Classification



# Radio Télescope ORSAY – AAV / ARRL

## ☐ Antenne type LWA (Long Wavelength Array) - NenuFAR

- Don de la Station de Radioastronomie de Nançay
- <https://nenufar.obs-nancay.fr/>
- Bande : 10 MHz / 85 MHz, bi-polarisation, couverture hémisphérique





# Radio Télescope ORSAY – AAV / ARRL

## ❑ Récepteur (Numérique Large bande)

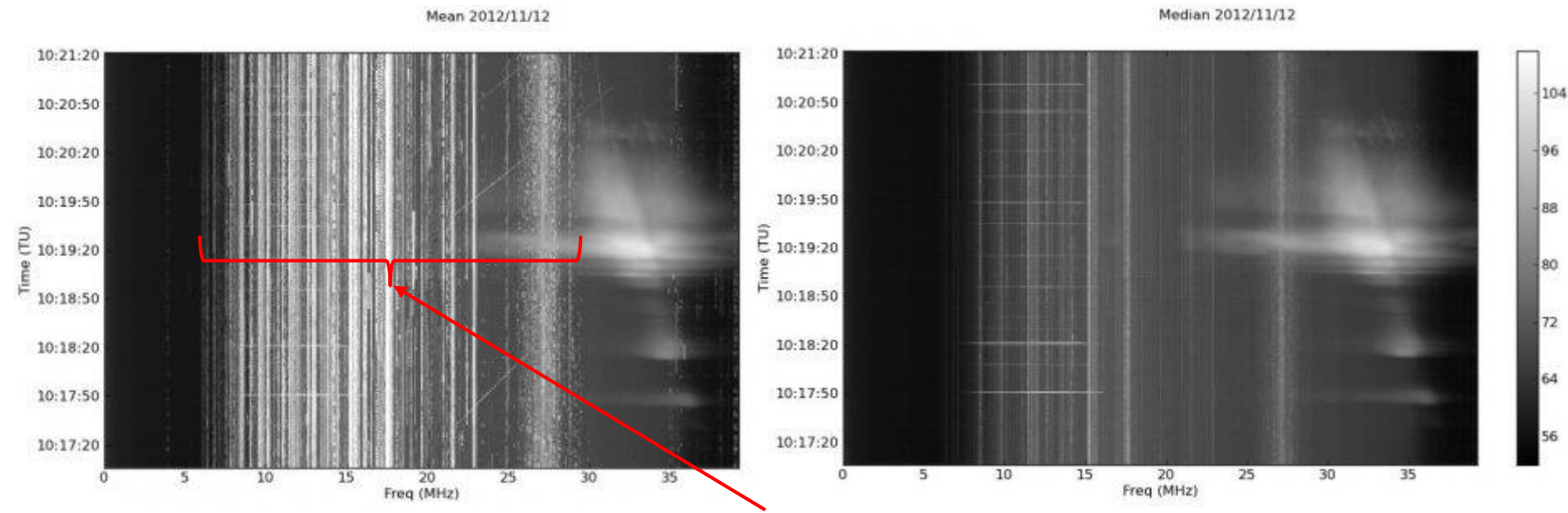
- Version 1 : 10 / 52 MHz, Version 2 : 15 / 80 MHz en développement
- Développement basé PC (inspiré de travaux Personnels & Nançay)



# Radio Télescope ORSAY – AAV / ARRL

## ☐ Traitements

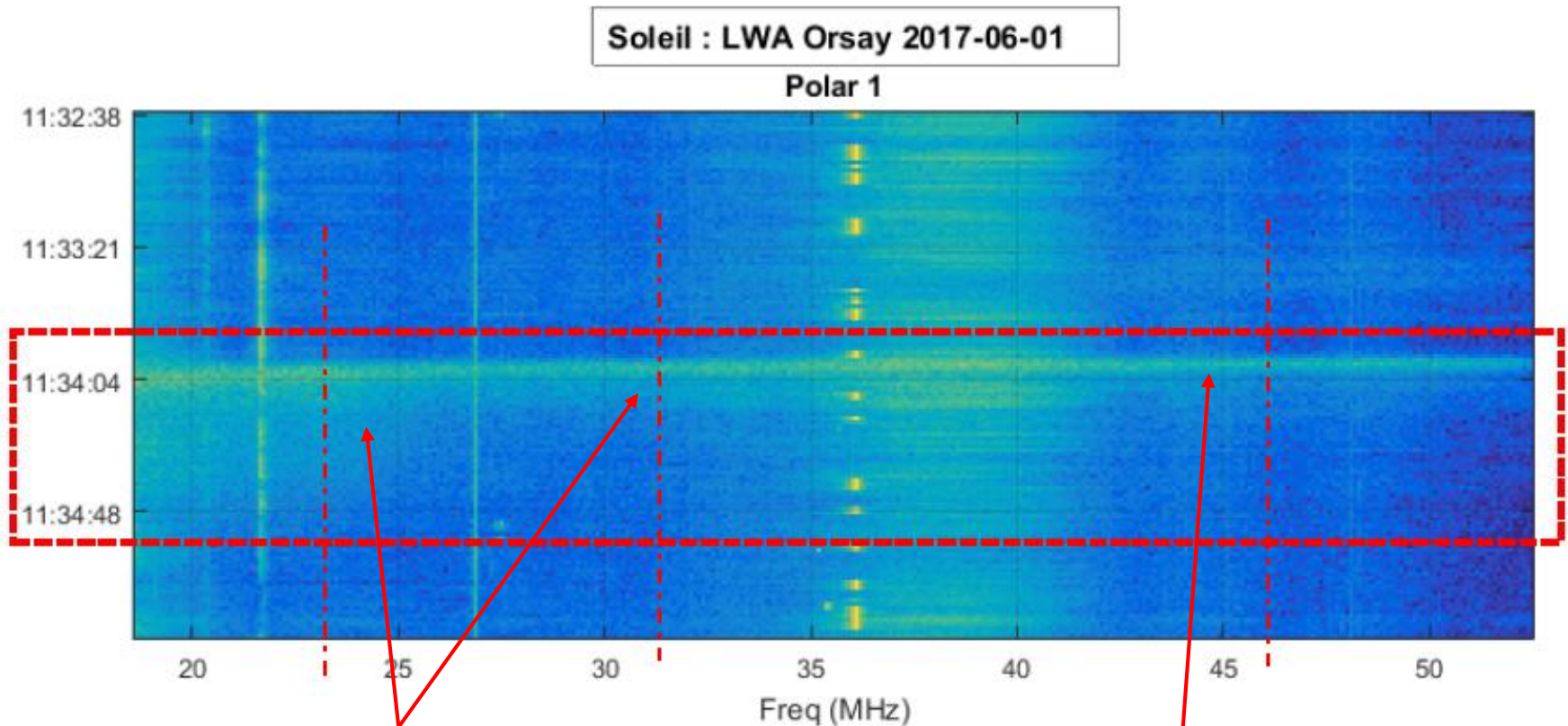
- Récepteur numérique (après numériseur ICS, conversion & filtrage)
- Analyse fréquentielle / spectrale par FFT (Transformée de Fourier rapide) séquentielles (rafraichissement 0,5 sec)
- Filtrage numérique type MEFISTO (Nançay) pour limiter les RFI\*



\*RFI : Interférences RF de niveau très élevé en IDF

# Radio Télescope ORSAY – Résultats

- ☐ Eruption solaire type III suivie d'un type V



## Type V

Elargissement aux fréquences basses.  
Voir coupes planche suivante

## Type III

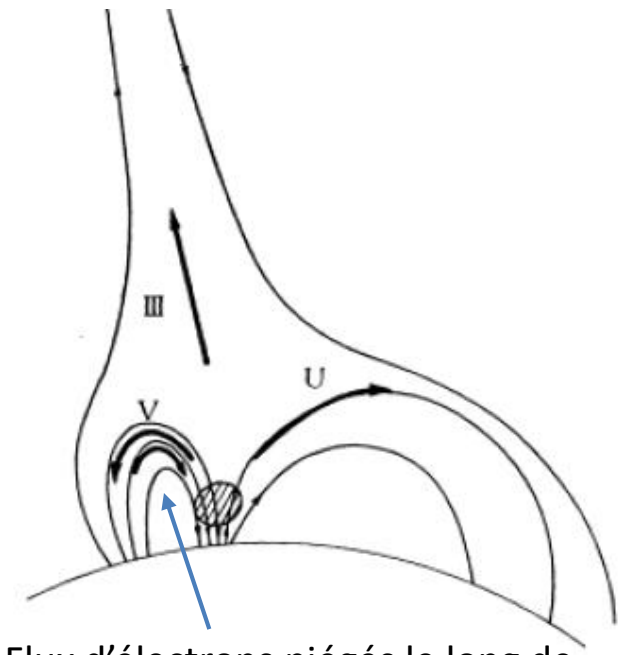
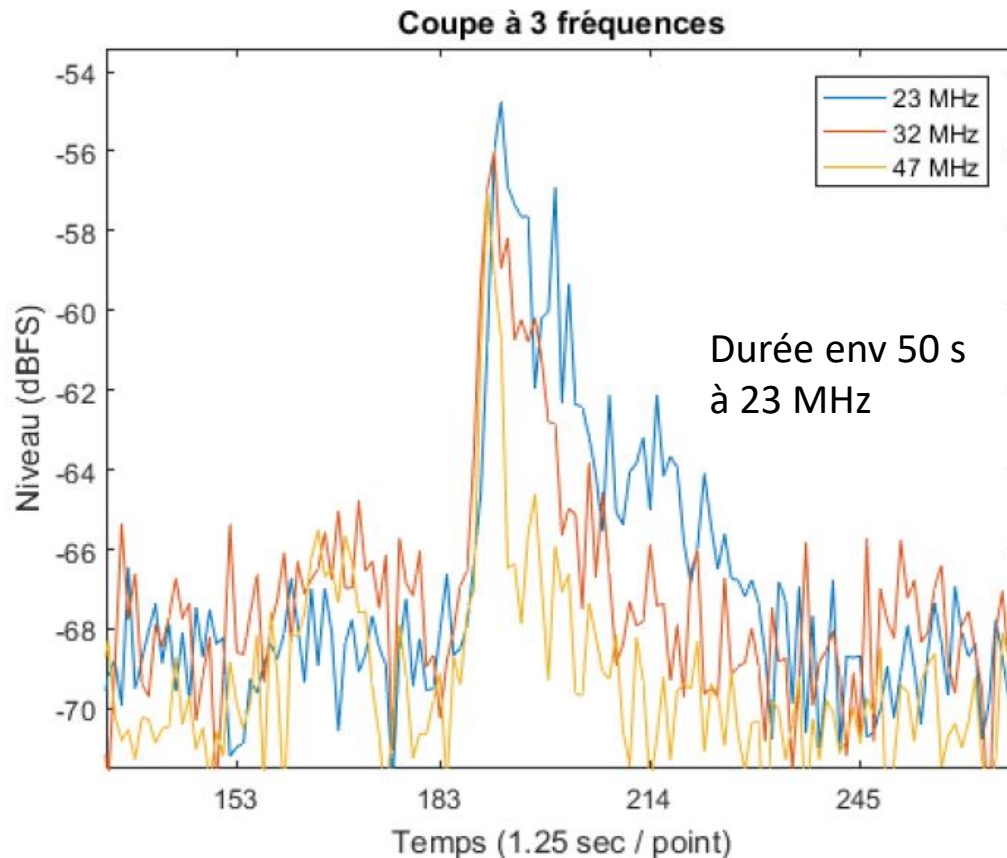
Grande variation de fréquence et très rapide  
montrant l'éloignement rapide du soleil



# Radio Télescope ORSAY – Résultats

## ☐ Eruption solaire type III suivie d'un type V (suite)

- Coupes montrant l'élargissement lié au type V
- A partir de ces mesures, il est alors possible de détailler la dynamique du phénomène à l'origine (éruption). Prochaine étape ...

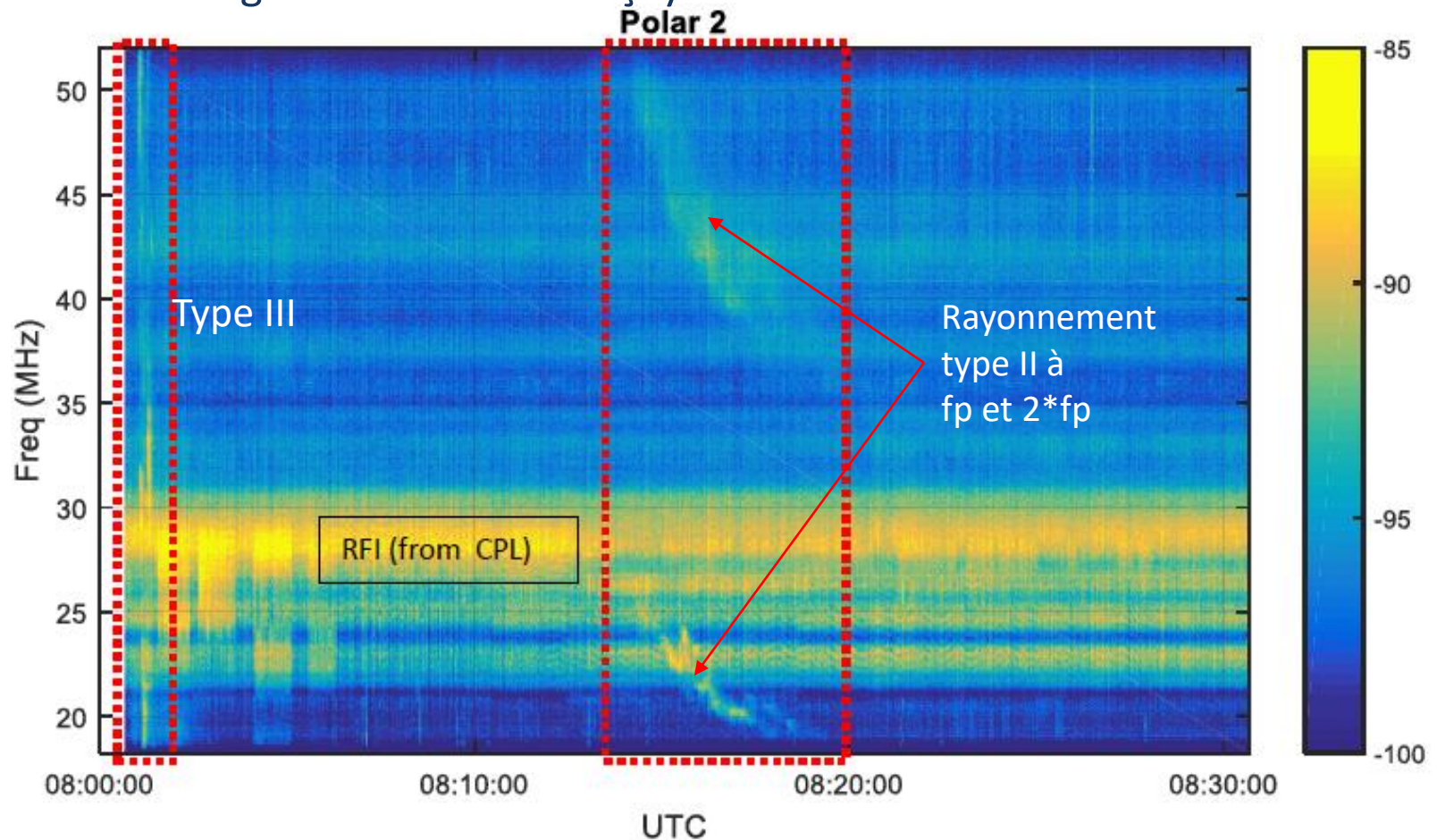


Flux d'électrons piégés le long de  
lignes de champ magnétique dont la  
direction de rayonnement varie

# Radio Télescope ORSAY – Résultats

## ☐ Eruption solaire type II

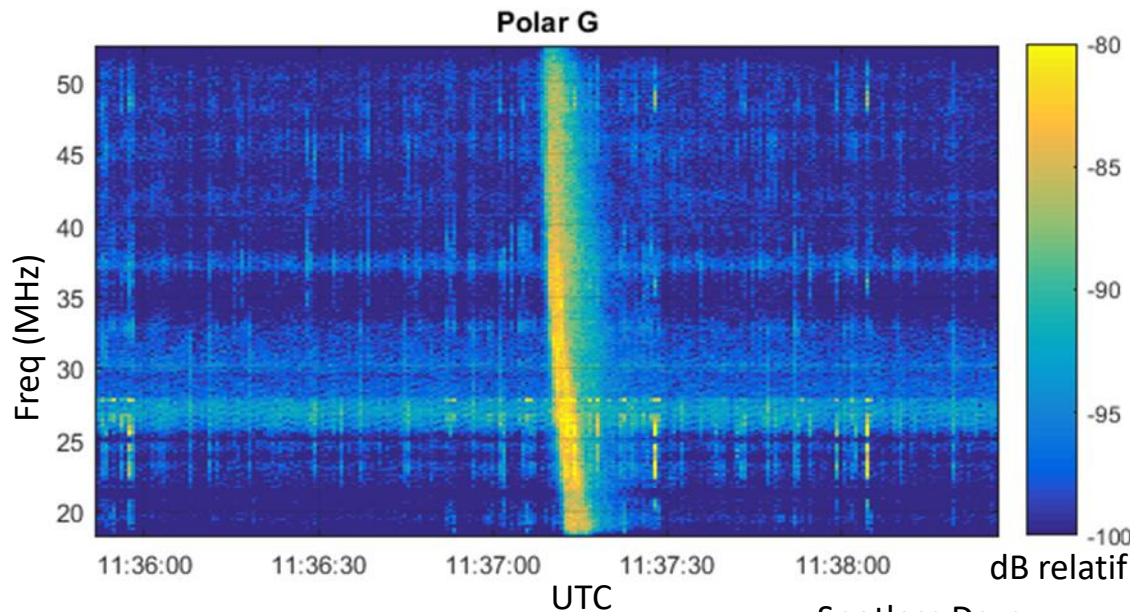
- Enregistrement 2018 03 30 (sans traitement MEFISTO)
- Figure au format Nançay -DAM



# Radio Télescope ORSAY – Résultats

## ☐ Eruption solaire type III – Evènement récent

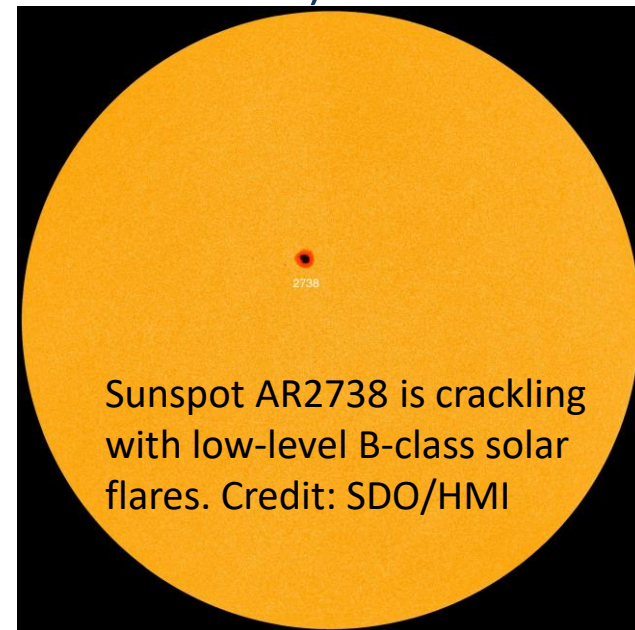
- Enregistrement 2019 03 13 (avec traitement MEFISTO)
- Evènement lié à la tache AR2738



Activité très basse depuis 2 ans montrant le minimum d'activité solaire

### Spotless Days :

2019 total: 69 days (58%)  
2018 total: 221 days (61%)  
2017 total: 104 days (28%)  
2016 total: 32 days (9%)  
2015 total: 0 days (0%)  
2014 total: 1 day (<1%)

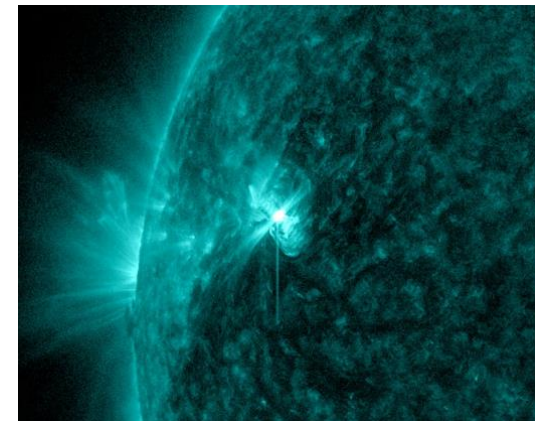
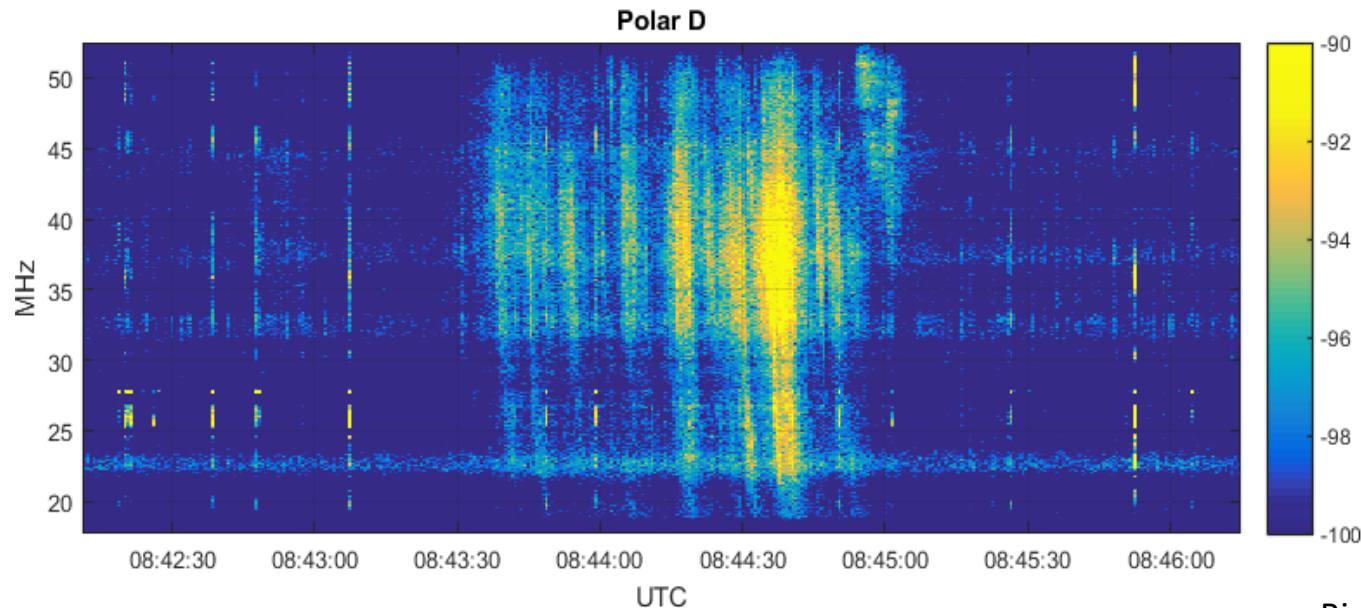




# Radio Télescope ORSAY – Résultats

## ☐ Eruption solaire type III – Evènement récent

- Enregistrement 2019 05 06 (série d'évènements type III => type VI)
- Evènement lié à la tache AR2740



Big sunspot AR2740 is turning toward Earth and crackling with solar flares. NASA's Solar Dynamics Observatory recorded the extreme ultraviolet flash on May 6th:

<http://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=06&month=05&year=2019>

# Observation du Soleil

## Emission radio non thermique

### ☐ Références pour aller plus loin

- ✓ Installation Antenne LWA

[http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages\\_radioastro/Images\\_Docs/Installation\\_LWA-NenuFAR.pdf](http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages_radioastro/Images_Docs/Installation_LWA-NenuFAR.pdf)

- ✓ Eruption solaire du 1<sup>er</sup> Juin 2017

[http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages\\_radioastro/Images\\_Docs/Detection\\_Burst\\_solaire\\_Type\\_III\\_V\\_LWA.pdf](http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages_radioastro/Images_Docs/Detection_Burst_solaire_Type_III_V_LWA.pdf)

- ✓ Evènements radio solaires du 20 Mars 2018

[http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages\\_radioastro/Images\\_Docs/Solar%20Radio%20Events%20%2030%20Mars%202018.pdf](http://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages_radioastro/Images_Docs/Solar%20Radio%20Events%20%2030%20Mars%202018.pdf)

- ✓ Sursaut radio solaire par C, Caroubalos

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00215260/document>

- ✓ Observations radio multi-spectrales de la couronne solaire par K-L KLEIN

[https://www.obs-nancay.fr/IMG/pdf/emissions\\_radio\\_solaires\\_klein.pdf](https://www.obs-nancay.fr/IMG/pdf/emissions_radio_solaires_klein.pdf)

- ✓ Rayonnement solaire – Wikipedia

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire)

- ✓ Base de données solaires BASS2000

<http://bass2000.obspm.fr/home.php>

- ✓ Etude des sursauts radio (OBSPM)

<https://www.obs-nancay.fr/Etude-des-sursauts-radio-engendres.html>

- ✓ Site F1EHN – Page radioastro

<http://www.f1ehn.org>

*Merci de votre attention...*