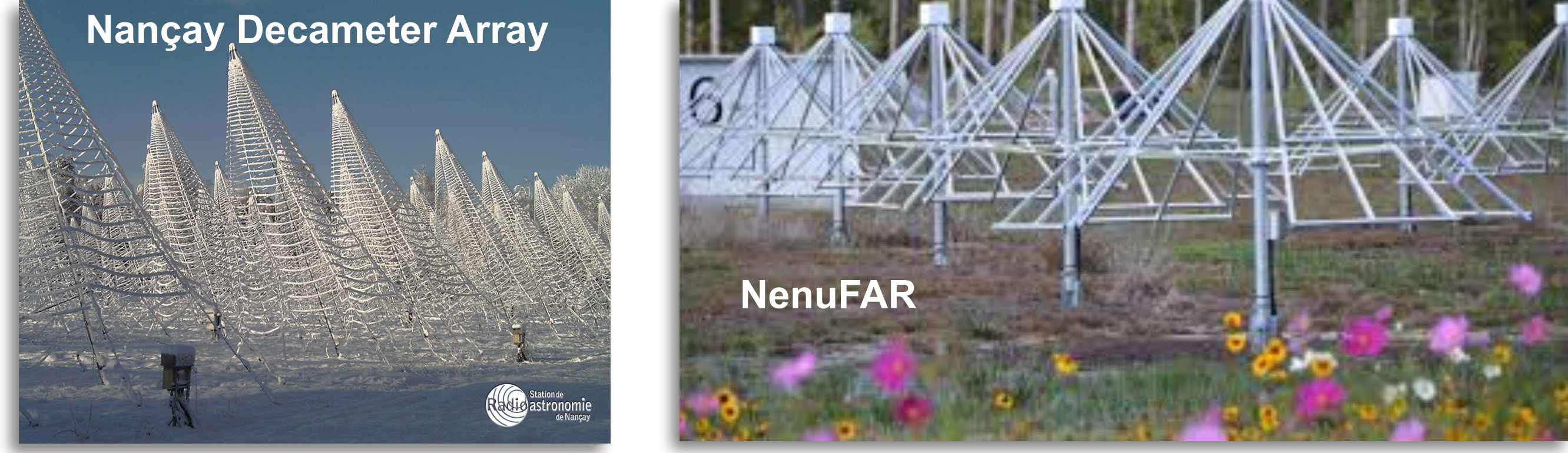


L. Lamy^{1,2,3}, P. Zarka^{1,2}, G. Kenfack², C. Viou², C. Louis⁴, B. Ceconi^{1,2}, A. Loh^{1,2}, A. Duchêne³, L. Debisschop¹, S. Aicardi⁵, E. Mauduit^{1,2}, C. Briand^{1,2}, N. Vilmer^{1,2}, S. Masson^{6,2}, S. Musset⁷, E. Carley⁴, S. Yerin⁸, J. Girard^{1,2}, J.-M. Griessmeier^{9,2} and the NDA/NenuFAR teams

¹LESIA, Obs. de Paris, PSL; ²Obs. radio de Nançay, Obs. de Paris, Univ. Orléans; ³LAM, Pythéas, Aix Marseille Univ.; ⁴DIAS, Univ. Dublin; ⁵DIO, Obs. de Paris; ⁶LPP, Obs. de Paris; ⁷ESA, ESTEC; ⁸Radioastronomy Institute of Karkhiv; ⁹LPC2E, Univ. Orléans, France.

RESUME

Des observations décimétriques (DAM, 10-80 MHz) de la magnétosphère de Jupiter et de la couronne solaire sont menées au long cours depuis la forêt de Sologne grâce à deux radiotélescopes complémentaires de l'Observatoire radio de Nançay (USN) : (1) le Réseau Décimétrique de Nançay (ou NDA pour Nançay Decameter Array) et (2) NenuFAR (en cours de construction). Sont donnés ci-dessous quelques exemples de travaux récents menés par les équipes de ces instruments.



RESEAU DECAMETRIQUE DE NANÇAY

Le NDA est un réseau phasé de 144 antennes polarisées circulairement G/D, correspondant à une aire effective $A_{eff} \sim 3500m^2 @ 25 \text{ MHz}$ qui observe quotidiennement **Jupiter** (10-40 MHz) et le **Soleil** (10-80 MHz) depuis 1978, formant la plus longue base d'observations radio basse fréquence (BF) au monde de ces objets. (Lamy et al., 2018). Il est labellisé dans le SNO3 « Radiotélescopes BF de Nançay ».

BASE DE DONNEES NUMERIQUES

Les données numériques basse résolution (récepteur *Routine*, Table 1) acquises depuis 1990 sont rendues publiques sitôt leur acquisition en trois formats (binaire et format standard CDF ou FITS) avec des scripts de lecture IDL et Python à l'adresse : <https://www.obs-nançay.fr/reseau-decametrique/>

Les données *Routine* sont également distribuées via le service labellisé **SNO5 MASER**, et lisibles/combinables aux d'autres jeux de données en ligne avec des outils interactifs de l'Observatoire Virtuel (Figure 1). Les données des autres récepteurs (notamment *NewRoutine* et *Mefisto*, voir tableau Figure 1) ont été mises en base à un format FITS standard et ouvertes à la communauté en 2023.

L'équipe NDA a également développé un outil de prédiction interactif des probabilités de Jupiter : <https://jupiter-probability-tool.obspm.fr> (Ceconi et al., 2023)

FIGURE 1

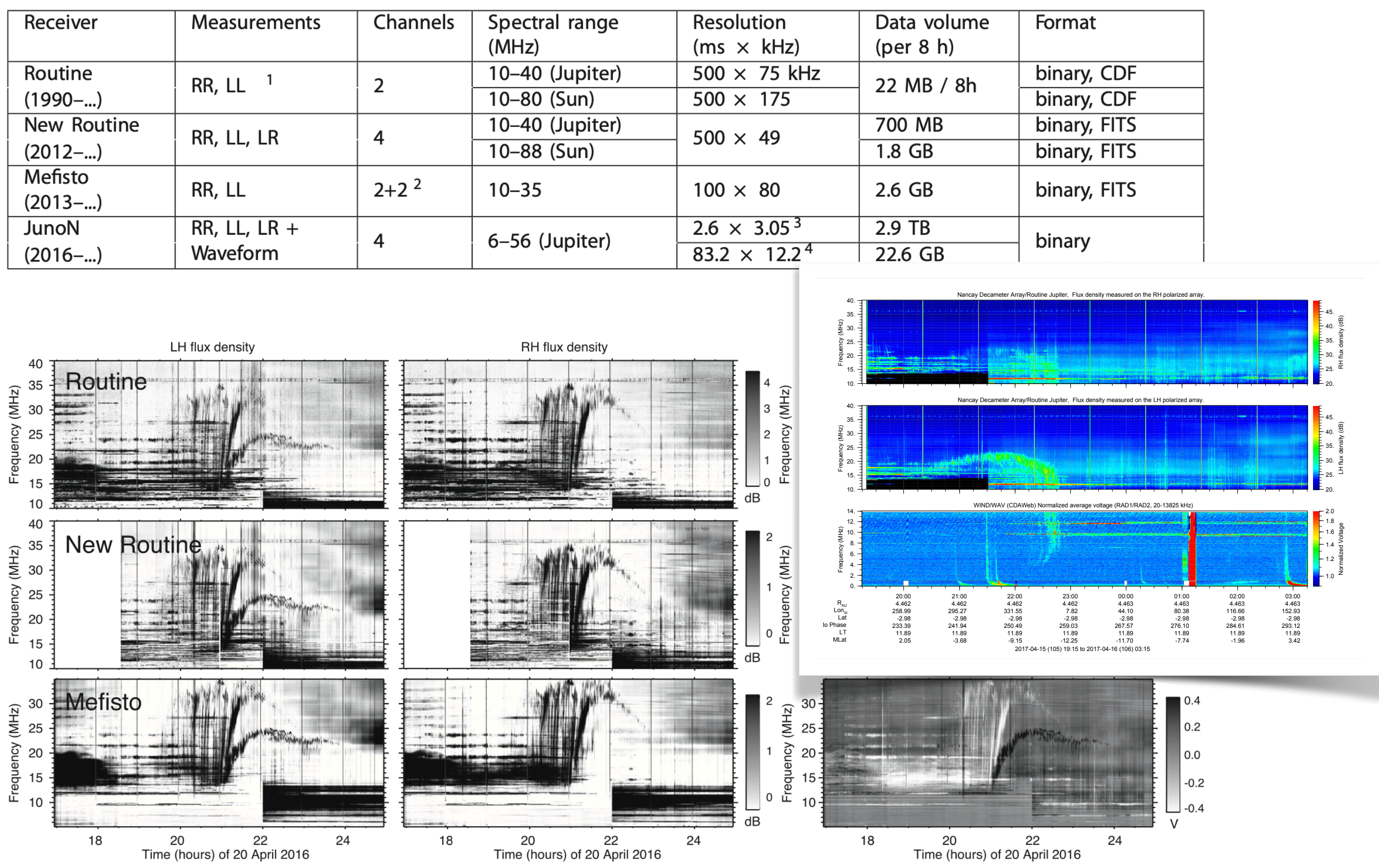


Figure 1 : (Haut) Récepteurs NDA en opération. (Bas) Spectres dynamiques acquis simultanément par 3 des 4 récepteurs sur Jupiter. (Encart couleur) Observations NDA (10-40 MHz) et Wind/Waves (0-13 MHz) de Jupiter lues avec le logiciel Autoplot.

FIGURE 2



Figure 2 : Deux décennies d'archives décimétrique de Nançay numérisées.

NUMERISATION DES ARCHIVES ANALOGIQUES

Les données NDA sur la période 1978-1990 et celles de son aïeul le NDI (pour Nançay Decameter Interferometer) pour 1970-1978 étaient acquises de manière analogique. Notre équipe a récemment inventorié et numérisé à haute résolution ~ 1500 bobines de 35-mm, correspondant à 45km de film, archivées à l'Observatoire de Meudon. Les données sont documentés et accessibles en ligne : <https://archives-decametriques.obspm.fr> (Lamy et al., 2023).

JOUVENCE DE L'ELECTRONIQUE

Un autre chantier important consiste à révoquer entièrement l'électronique (de pointage et d'acquisition du signal) d'origine du télescope. Ce travail en cours, menée par une équipe technique renouvelée, devrait aboutir en 2024. Il permettra de pérenniser les observations au long cours de Jupiter et du Soleil pendant la prochaine décennie et de fournir un soutien sol aux missions spatiales d'exploration de l'héliosphère.

NENUFAR

Le radiotélescope NenuFAR, dont la gamme spectrale couvre 10-88 MHz, est un instrument inter-disciplinaire qui peut à la fois se connecter à LOFAR à basse fréquence (Low Band Antenna) et observer tout seul en mode réseau phase ou interféromètre. Il compte actuellement ~ 80 mini-réseaux (sur 102 prévus) de 19 antennes chacun, soit 1520 antennes correspondant à $A_{eff} \sim 47700m^2 @ 25 \text{ MHz}$ (Zarka et al., 2021). NenuFAR est labellisé comme précurseur du Square Kilometer Array (SKA) dans le SNO3 SKATE.

Pendant la phase Early Science (2019-2022), des observations de Jupiter et du Soleil sont acquises régulièrement au travers de deux Key Projects « **Soleil** » et « **Jupiter** ». La figure 3 donne quelques exemples de spectres dynamiques NenuFAR de ces deux sources acquises avec le récepteur UnDysPuTed. Les données sont gérées au travers du centre de données de Nançay. <https://nenufar.obs-nançay.fr/en/astronome/>

FIGURE 3

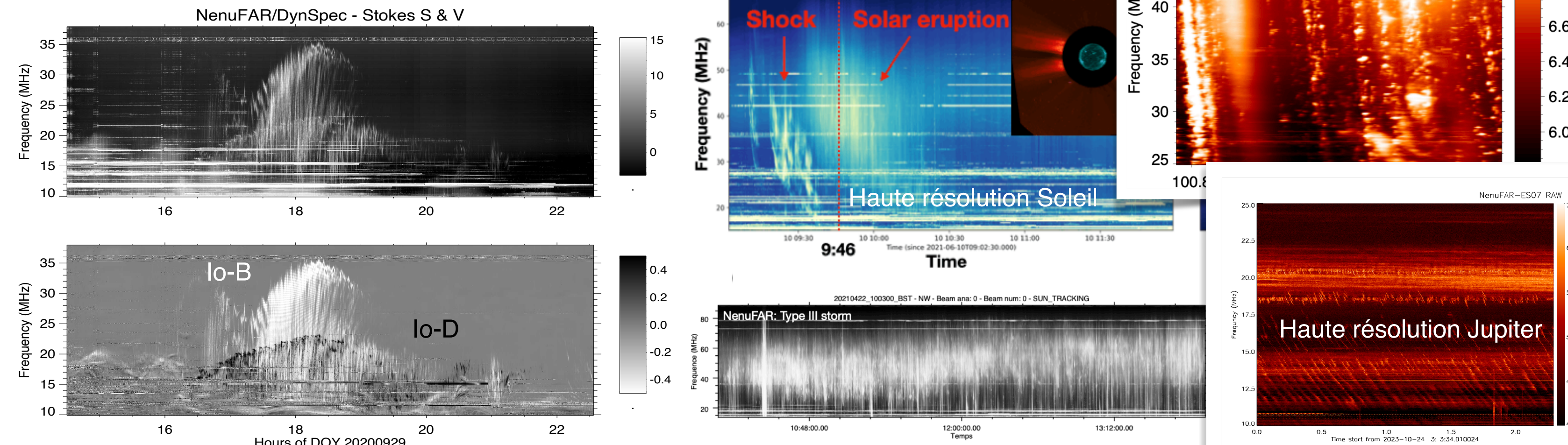


Figure 3 : Spectres dynamiques des émissions radio jovienne et solaire.

SOUTIEN SOL AUX MISSIONS HELIOSPHERIQUES

- * **NDA** : Jupiter est cible prioritaire sauf pendant les périhéliees PSP. Un exemple d'observations combinées NDA/Solo/Wind est fourni à la figure. 4. Pendant les périodes Juno, toutes les émissions joviennes sont enregistrées par JunoN à résolution maximale.
- * **NenuFAR** : Jupiter est observé plusieurs jours autour de chaque périhéliee.

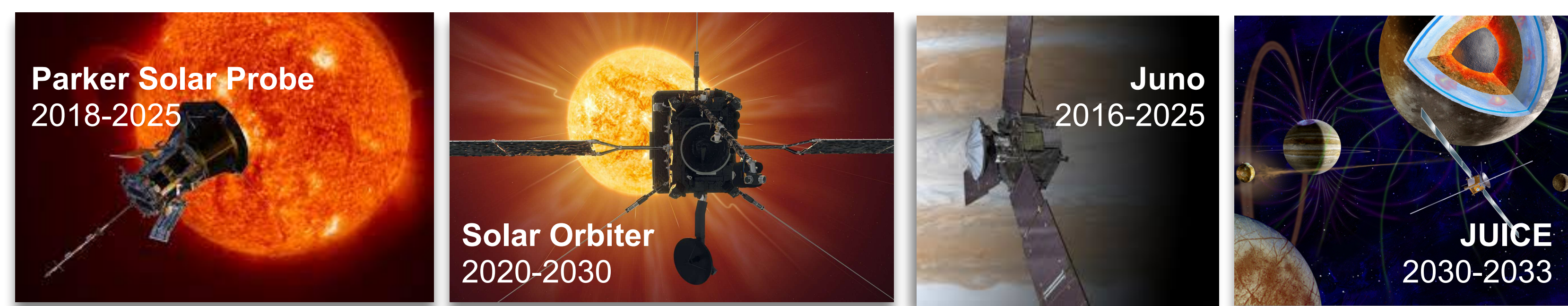


FIGURE 4

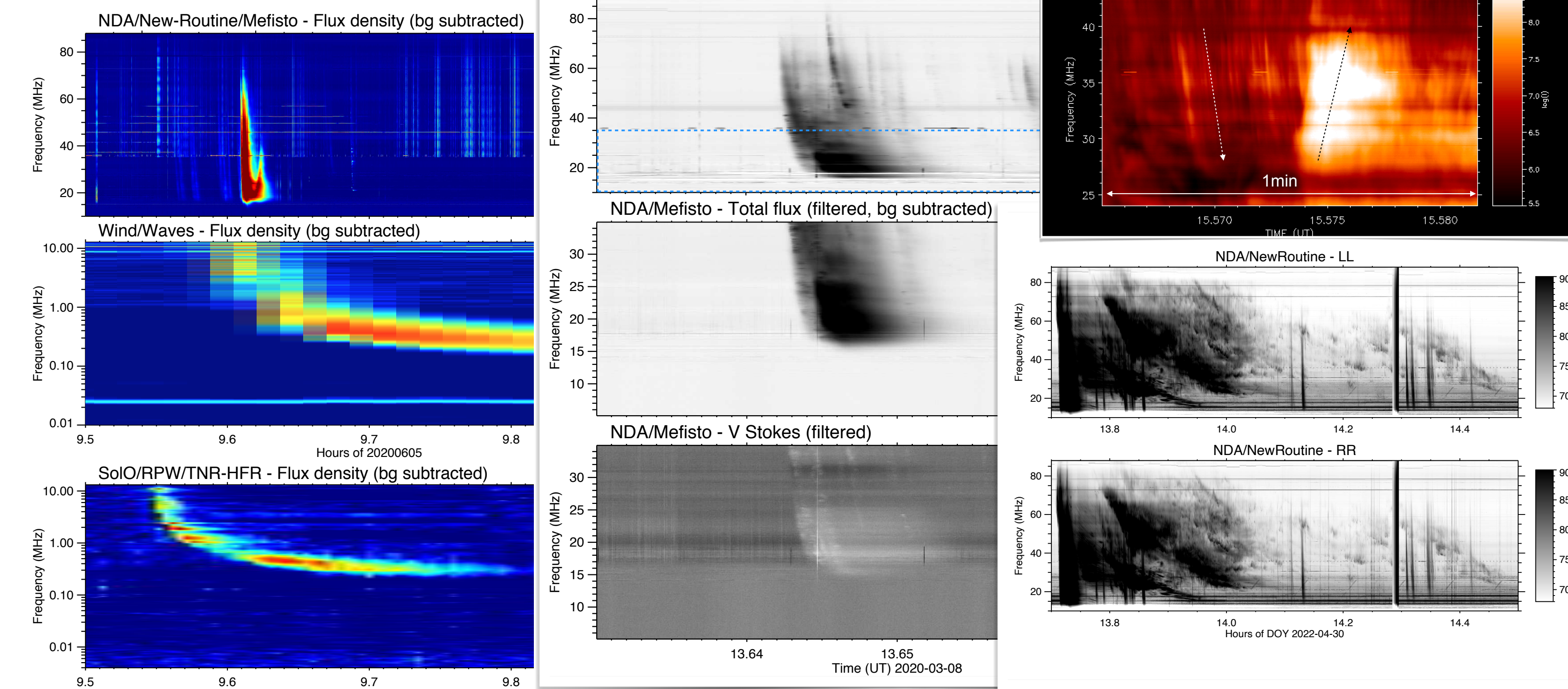


Figure 4 : Exemples d'observations NDA du Soleil acquises en soutien aux sondes solaires.

QUELQUES RESULTATS RECENTS

- * **Soleil** :
 - Etude d'un U-burst solaire (2ème utilisation des données Mefisto) (Zhang et al., submitted)
 - Etude des 'solar radio spikes' avec LOFAR et le NDA (1ère utilisation du récepteur Mefisto) (Clarkson, Vilmer et al., 2021)
 - Observation NenuFAR de la propagation d'un choc à travers le plasma turbulent de la couronne solaire, illustré à la figure 5 (Carley, Ceconi et al., 2021)

- * **Jupiter** :
 - Détection automatisée d'émissions Joviennes par machine learning (Aicardi et al., in prep.)
 - Etude statistique de l'effet de déclinaison sur la visibilité des émissions joviennes (Jâcome, Zarka et al., 2023, in prep.)
 - Découverte de structures fines dans les émissions décimétriques joviennes induites par Ganymède ou non-induites par les lunes avec le NDA (1ère utilisation du récepteur JunoN) (Mauduit, Zarka et al., 2023)
 - Etude du diagramme d'émission des émissions décimétriques liées à Io, Europe et Ganymède avec Juno, le NDA et NenuFAR (Lamy, Colombari et al., 2022, Lamy et al., 2023)
 - Numérisation des catalogues d'observation NDA de Jupiter (Ceconi et al., 2023)
 - Découverte des émissions DAM contrôlées par Europe avec le NDA (Zarka et al., 2018)
 - Analyse statistique de 26 ans d'observations Jupiter du NDA (Marques, Zarka et al., 2017)
 - Observation/simulations des émissions Io-DAM avec Juno/NDA/Wind (Louis, Lamy et al., 2017).

FIGURE 5

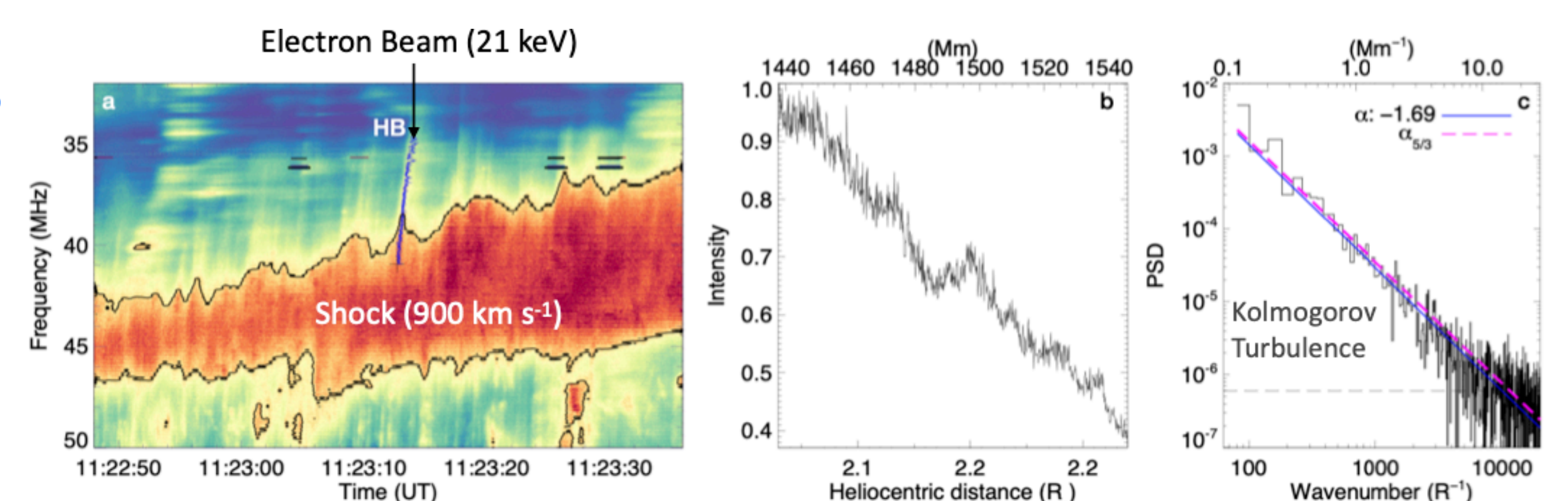


Figure 5 : Observation NenuFAR d'un choc dans la couronne solaire (Carley et al., 2021).