



ORION : l'étude de l'univers radio depuis le cœur de la Sologne

Jean-Mathias Griessmeier, Baptiste Cecconi, François Tertre



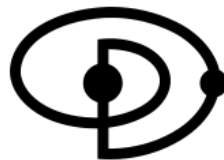
Webinaires mensuels de Découvertes de l'Enseignement
Supérieur, l'Innovation et la Recherche (DESIR)

18/02/2026

Qu'est-ce qu'ORION ?

Un Observatoire Radio International en région Centre-Val de Loire

- *Finaliser et d'exploiter scientifiquement NenuFAR, un radiotélescope révolutionnaire.*
- *L'ambition d'ORION est de positionner Nançay à l'avant-garde de la recherche en radioastronomie, en offrant une sensibilité et une couverture de fréquences inégalées.*
- *Projet CPER 2021-2027.*
- *Cofinancement:
Région Centre-Val de Loire, CNRS/INSU (Institut National des Sciences de l'Univers), Observatoire de Paris, Université d'Orléans et BRGM.*
- *Coût total de la subvention: 1.9 M€*

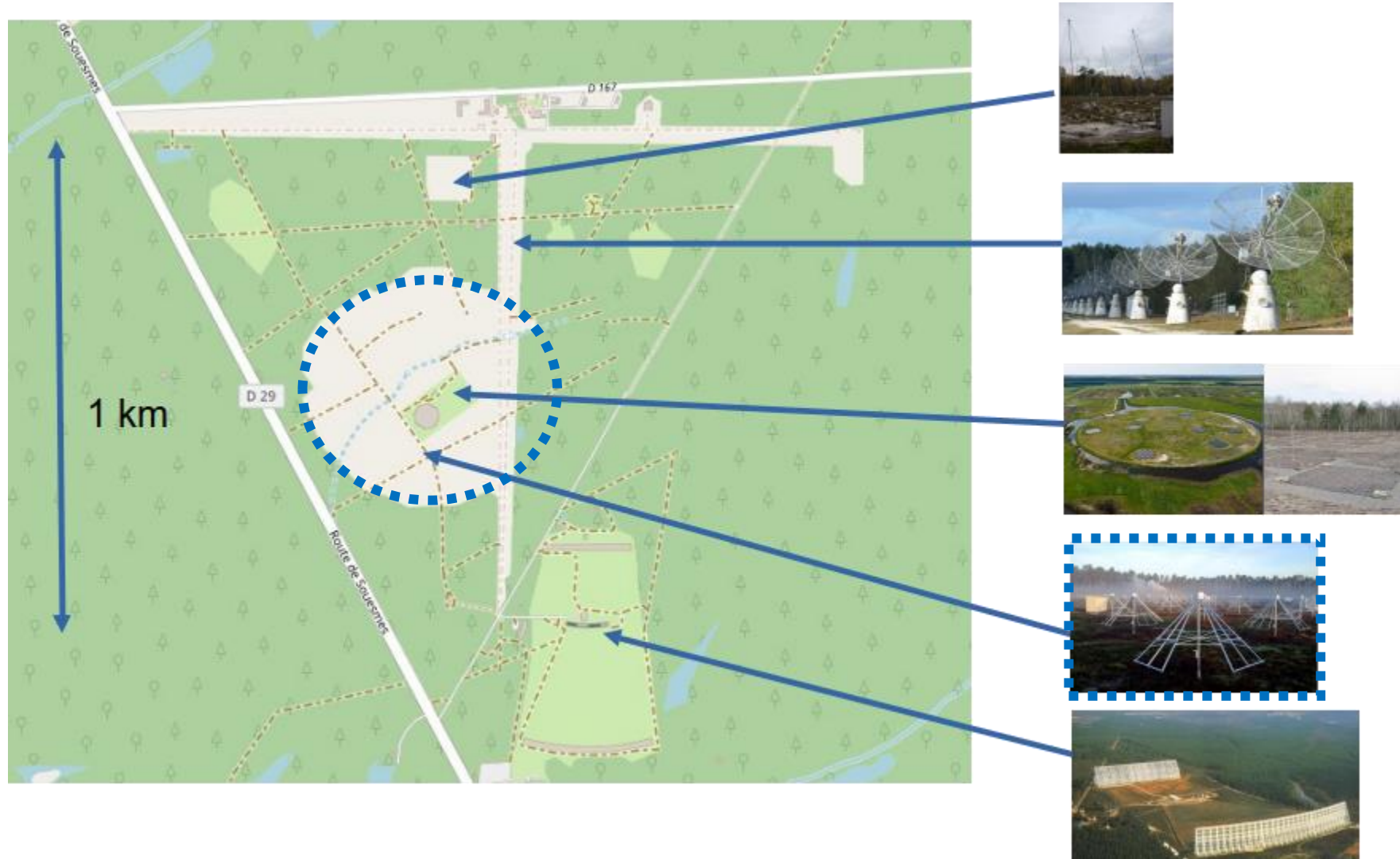


L'Observatoire Radioastronomique de Nançay (ORN)

- 3 tutelles:
Observatoire de Paris, CNRS, Univ. Orléans
- 150 ha
- 5 grands radiotélescopes (+ démonstrateurs)
- 41 ITAs + 1 enseignant-chercheur
- Un site de production de données scientifiques
- Convention avec le Pôle des Etoiles (centre visiteurs)
- ~30 chercheurs associés en France
- utilisateurs des instruments et données (France, Europe, Monde)



NenuFAR à l'ORN



NenuFAR : Un Géant des Basses Fréquences

- Au cœur du projet ORION se trouve **NenuFAR** (New Extension in Nançay Upgrading LOFAR).
- Situé à **Nançay**, à l'Observatoire Radioastronomique de Nançay
- NenuFAR est un réseau d'environ 2000 d'antennes phasées, capable de capter les ondes radio entre 10 MHz et 85 MHz. Cette fenêtre de fréquences, rarement accessible avec une telle puissance, ouvre des perspectives uniques pour l'exploration de l'univers.
- Un radio-télescope dit "numérique" (pointage numérique)



NenuFAR : Un Géant des Basses Fréquences



Télescope 3-en-1

Extension du réseau LOFAR

Radio imageur (interférométrie)

*Images du ciel radio, avec une
résolution temporelle moyenne (~1 seconde)*

Antenne simulée (réseau phasé)

*Spectres dynamiques à très haute résolution,
avec une seule direction de pointage.*



NenuFAR : Un Géant des Basses Fréquences

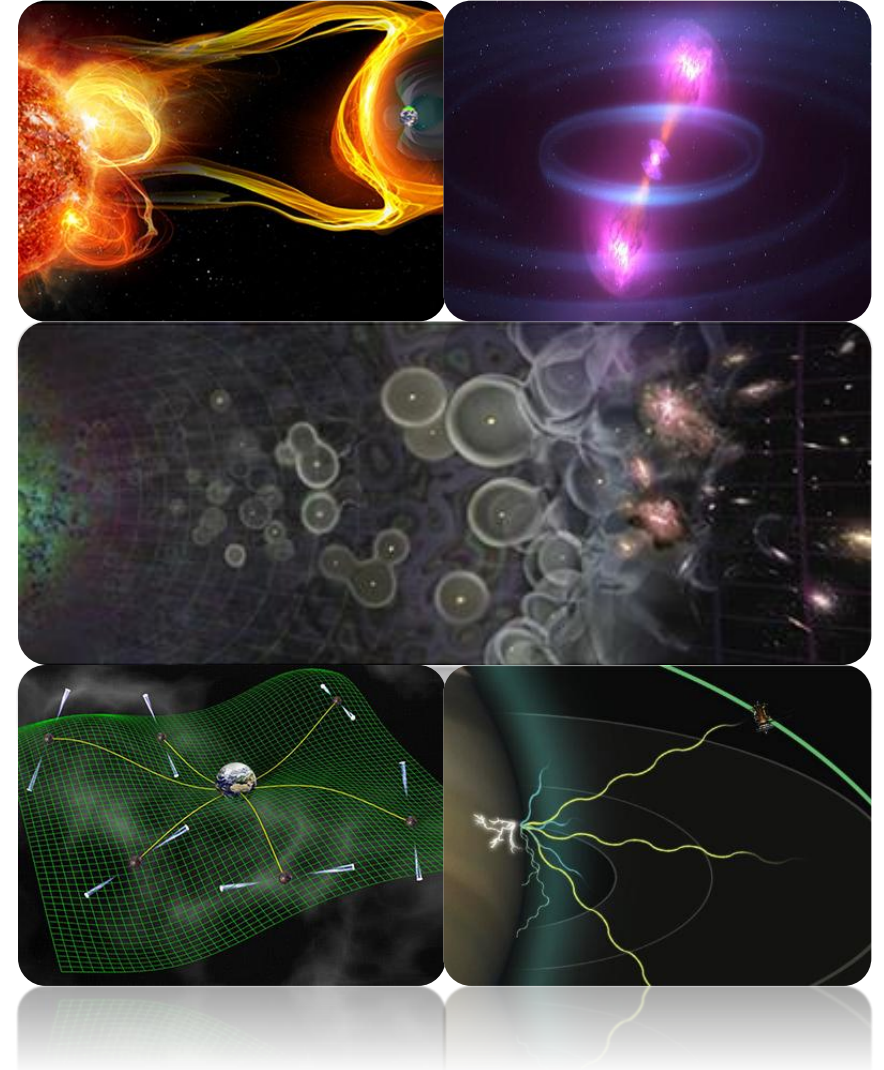
- NenuFAR est constitué de **~2000 antennes** groupées en 104 mini-réseaux de 19 antennes.
- NenuFAR possède plusieurs chaînes d'acquisition en temps réel, qui peuvent traiter **jusqu'à 2.5 Go/s** (Gigaoctets par secondes) sur des sessions d'observations de plusieurs heures.
- Si NenuFAR observait en continu, on récolterait plus de **100 Po*** de données... par an (une pile de 2 km de disques durs)!
- Production de données effective: **environ 3 Po par an.**

* 1 Pétaoctet = 1 million de Gigaoctets

Les Objectifs Scientifiques de NenuFAR

NenuFAR est conçu pour répondre à des questions fondamentales en astrophysique, notamment :

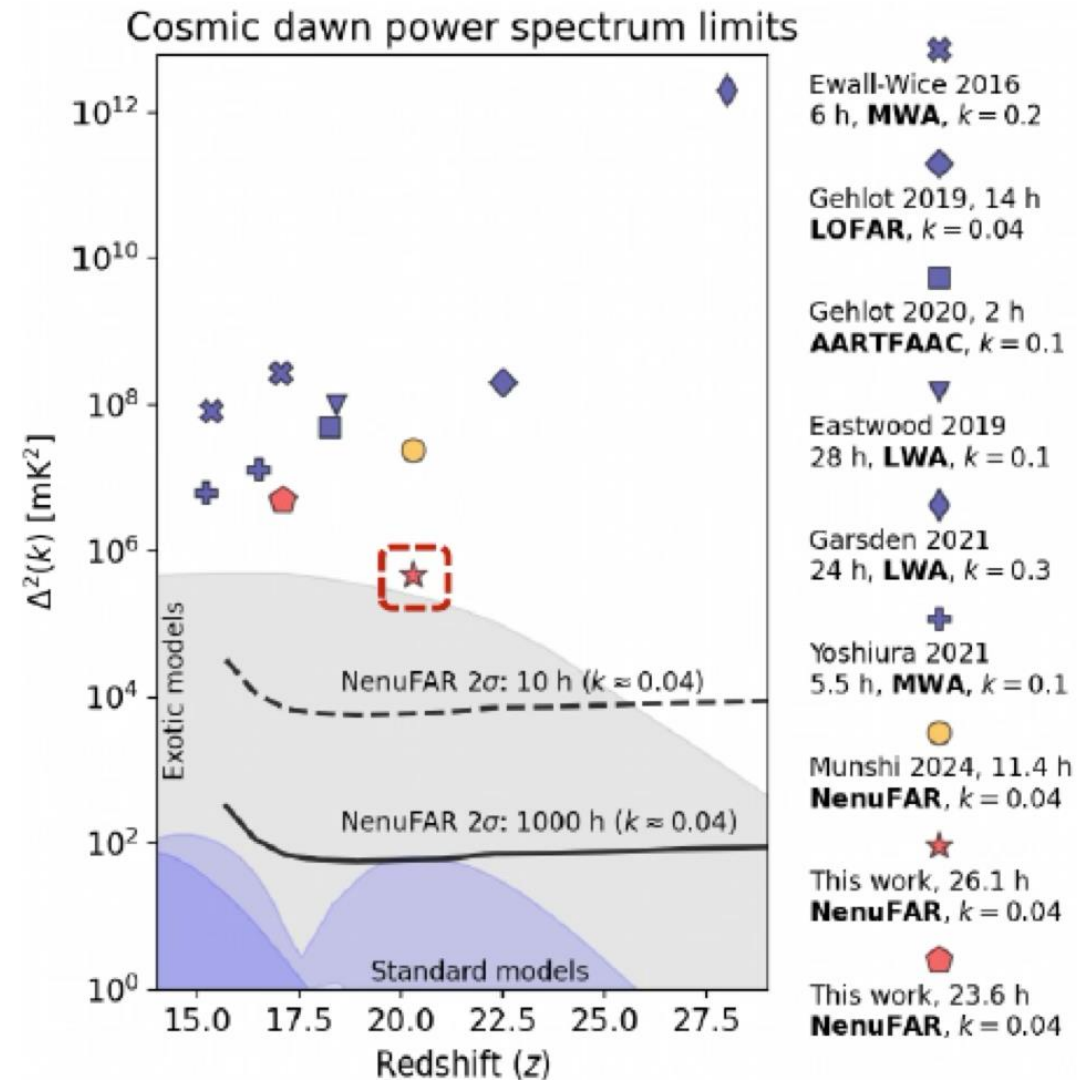
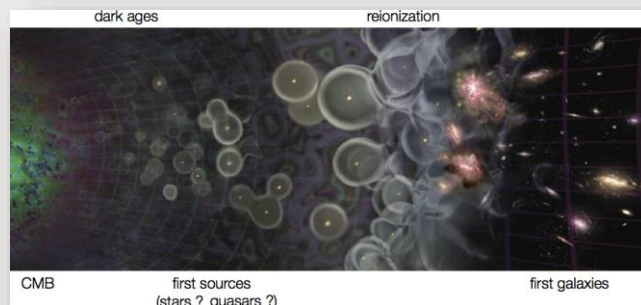
- **Détection d'Exoplanètes** : Identifier des exoplanètes en analysant les signaux radio émis par les exoplanètes ou leur étoile hôte.
- **L'Aube Cosmique** : Étudier la période initiale de formation des premières étoiles et galaxies.
- **Pulsars et Galaxies** : Analyser les propriétés de ces objets astrophysiques pour mieux comprendre les mécanismes physiques à l'œuvre dans l'univers.
- **Soleil, Héliosphère et Magnétosphères Planétaires** : Étudier les interactions entre le vent solaire et les planètes.
- **Transitoires astrophysiques** : Sursauts radio rapide, éclairs d'orages planétaires..



Résultats récents

L'aube cosmique

- Naissance des premières étoiles (400 millions à 1 milliards d'années après le Big Bang)
- Décalage vers le rouge, signature attendue autour de 50 MHz
- NenuFAR est un instrument extrêmement sensible.

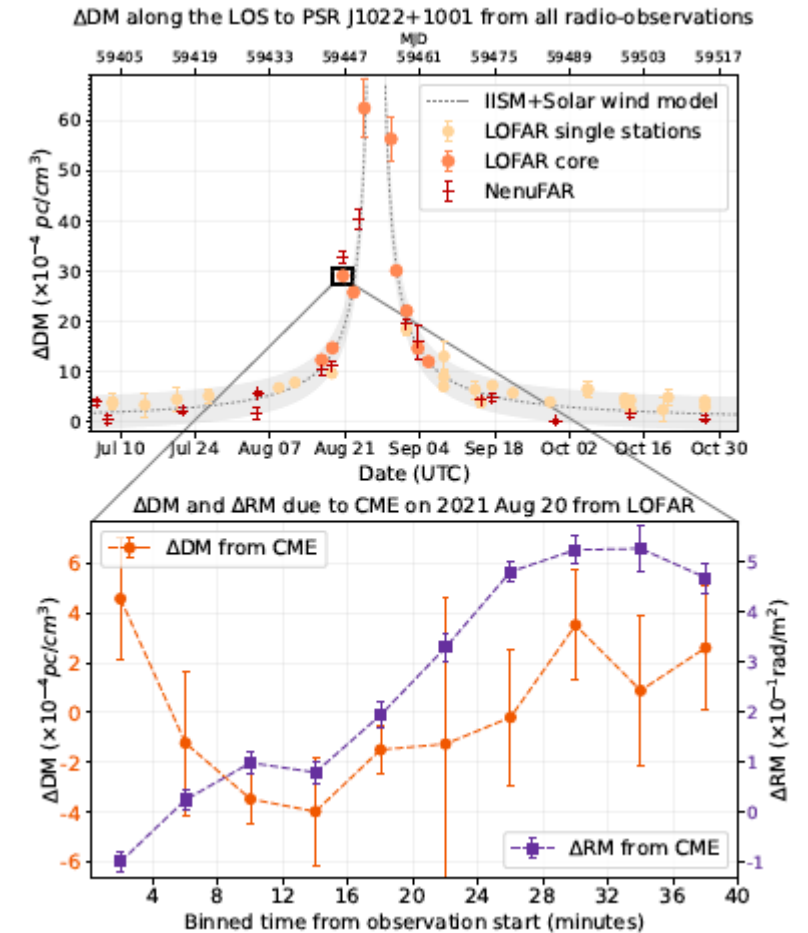
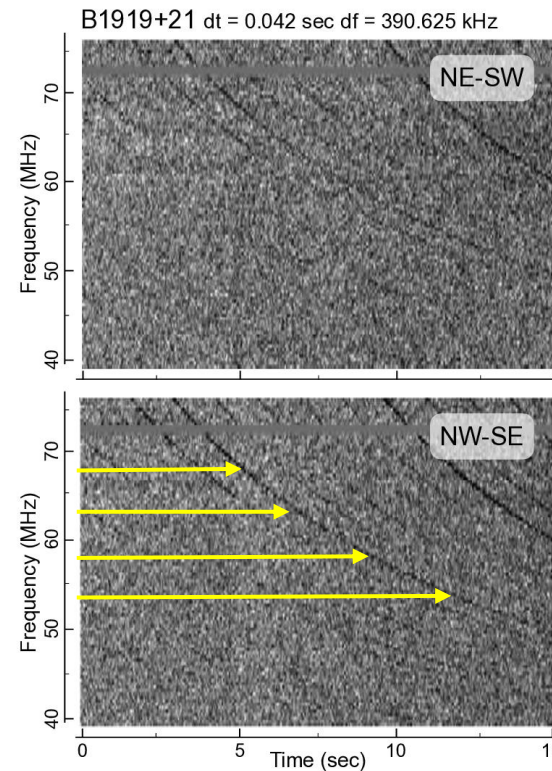
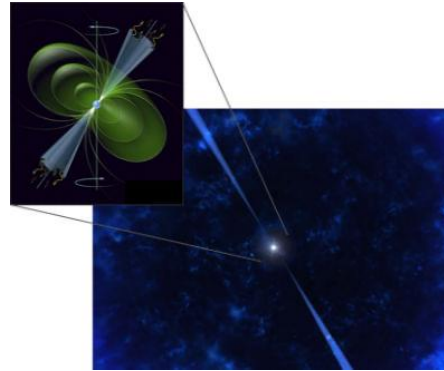


[Munshi et al., 2024]

Résultats récents

Pulsars

- Objets compacts en rotation rapide qui émettent des pulses radio réguliers
- Propagation dans notre galaxie => dispersion spectrale des pulses (basses fréquences arrivent moins vite que les hautes fréquences)
- Extrême précision:
 - données de références à l'international
 - mesure de l'effet du vent solaire



[Iraci et al., 2025]

Résultats récents *Observations du Soleil*

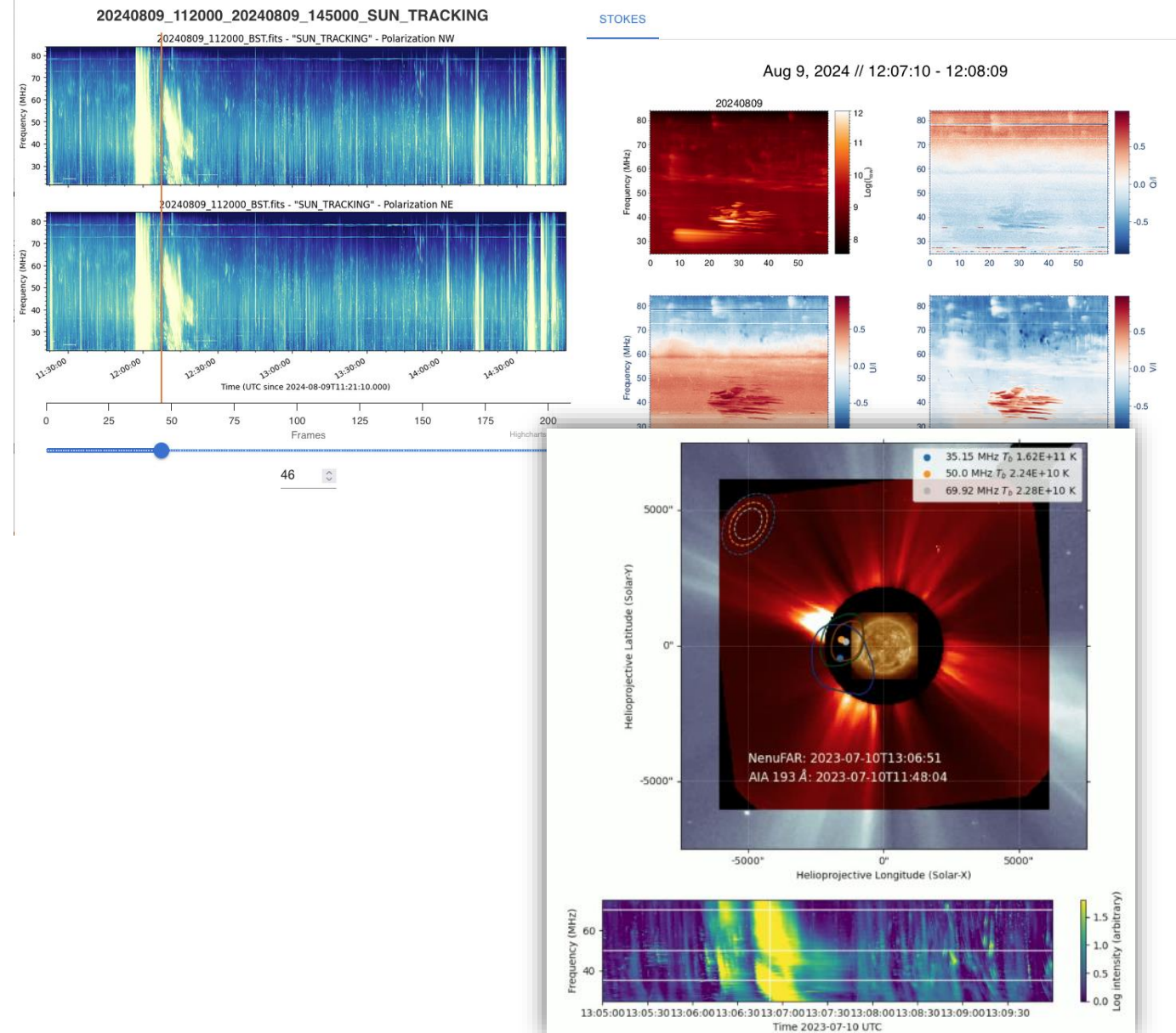
- Outils d'exploration des données Solaires de NenuFAR :
<https://nenusun.obspm.fr>
- Images à très basses fréquences et mesures haute résolution en spectre dynamique.



Financé par le projet européen
SOLAR (Contrat n° 101134999)



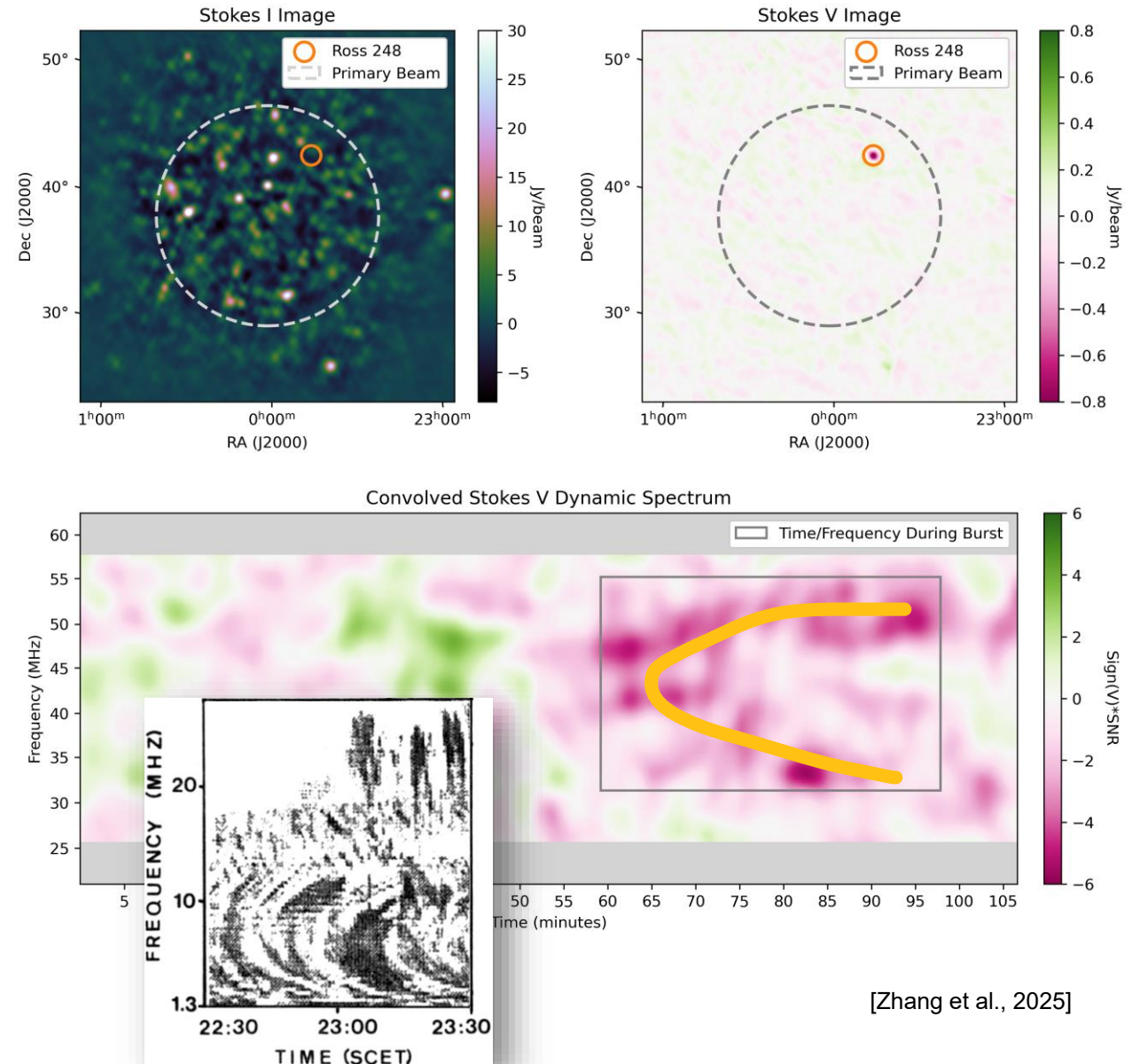
NENU-SUN



Résultats récents

Exoplanètes et Etoiles

- Détection directe d'émissions radio stellaires, voire d'exoplanètes
- Dans chaque image: reconstruction de l'information temporelle et spectrale.
- Confirmation des détections par une technique nouvelle de "ré-imagerie"
- Détection caractéristique !

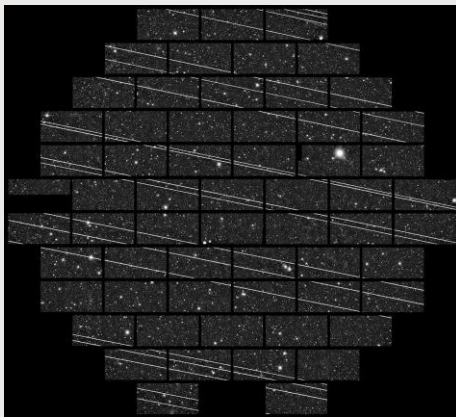


[Zhang et al., 2025]

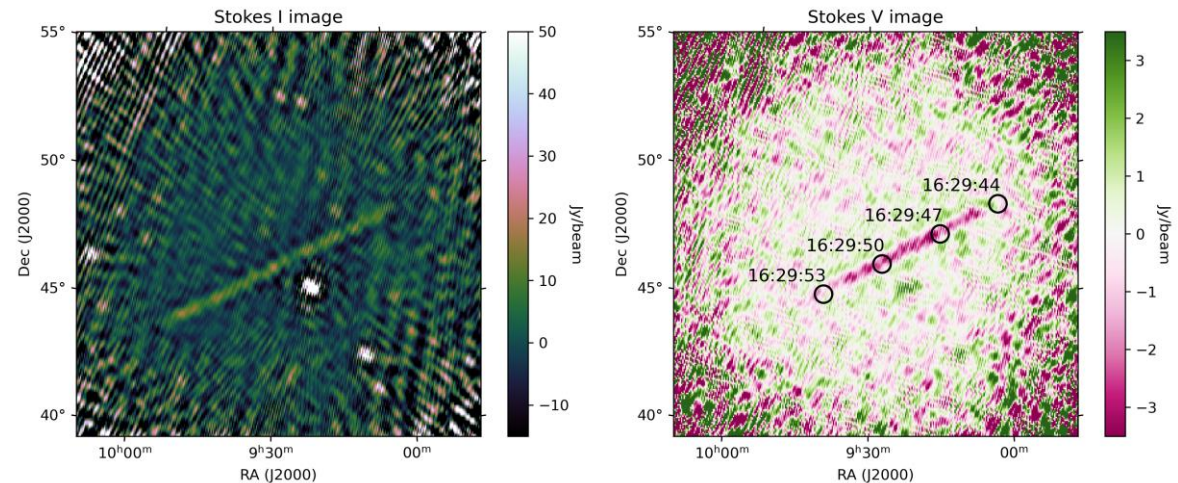
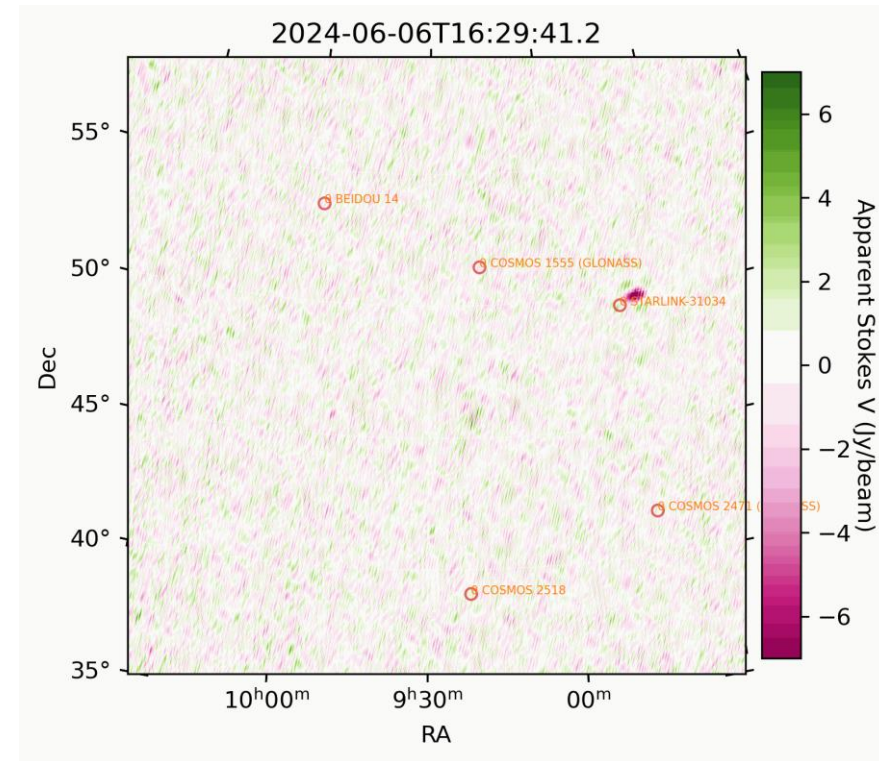
Résultats récents

Pollution Starlink

- La mega-constellation de satellites Starlink est aussi une source de pollution radio-fréquence
- En dehors des gammes radio autorisées
- discussions en cours avec Starlink

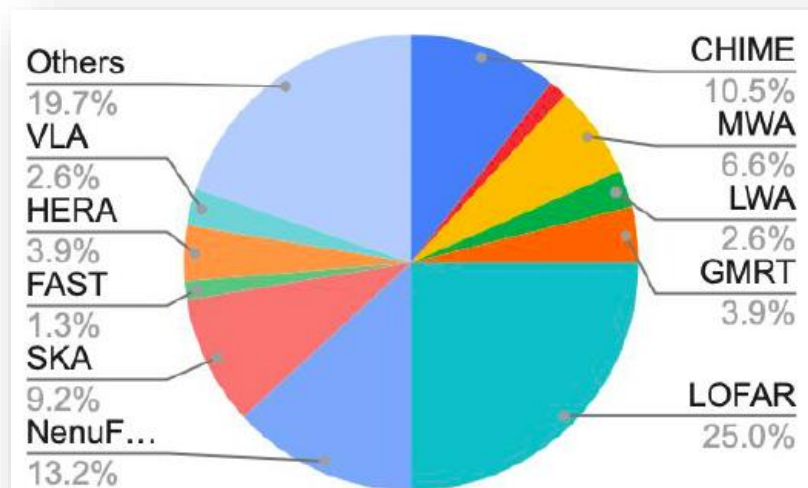


Trainées lumineuses de Starlink vues par un télescope au Chili (CTIO). ©UAI



Activité Scientifique

- 2024-25: 17 articles publiés/sous presse, 11 soumis, 8 actes
- 7 Thèses + 3 en cours, Stages (ouvriers à M2)
- Présentations à colloques: SALF-XI (Orléans, Déc. 2025)



Science at Low Frequencies XI

December 8-12, 2025
Orléans, France

CONFERENCE VENUE:
HÔTEL DUPANLOUP

EXCURSION:
NANÇAY RADIO OBSERVATORY

TOPICS:

- Transients
- New telescopes
- Cosmology
- Planets & exoplanets
- Radio stars
- Galaxies & Milky Way
- Sky surveys
- Solar physics
- Space weather
- and more...!

INVITED SPEAKERS:

- Laura Driessen (Sydney)
- Jason Hessels (UvA/McGill)
- Corentin Louis (Obs. Paris)
- Giulia Macario (SKAO)
- Antoine Marchal (ANU)
- Marc-Antoine Miville-Deschenes (ENS)
- Diana Morosan (Turku)
- Satyapan Munshi (RUG)
- Anna Nelles (ECAP)
- Shane O'Sullivan (UCM)
- Bobby Pascua (McGill)
- Mayuri Rao (Ramen)
- Jingye Yan 阎敬业 (NSSC)

SOC:

Cherry Ng (LPC2E/CNRS)
Greg Hellbourg (Caltech)
Katherine Mulray (Radboud)
Philippe Zarka (Obs. Paris)
Di Li (Tsinghua/NAOC)
Adèle Gorce (IAS/CNRS)
Yogesh Maan (NCRA – TIFR)
Wendy Williams (SKAO)
Christian Vocks (AIP Potsdam)
George Heald (SKAO)
Jennifer West (DRAO)

LOC:

Cherry Ng
Jean-Mathias Griesmeier
Clara Blanchard
Lucas Guillemot
Pauline Noé
Nathalie Rolland
Jingye Zhang
Fabian Jankowski

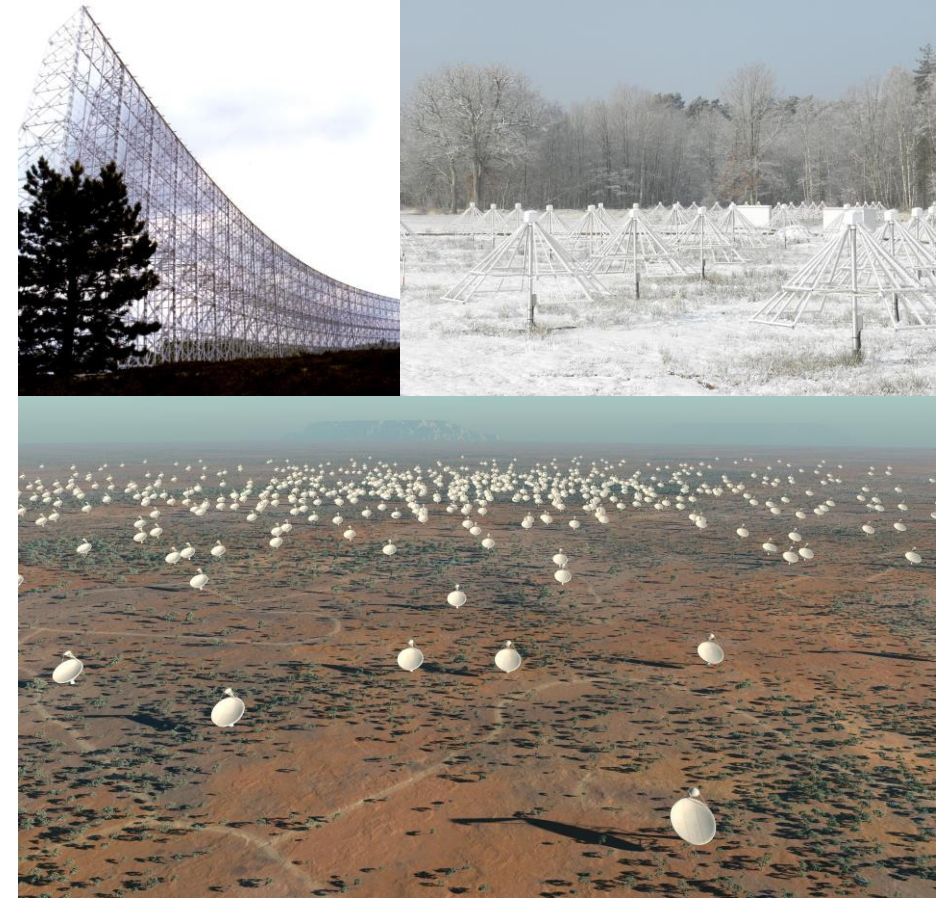


<https://salfconference.org/2025-11th-annual-science-at-low-frequencies-salf-conference/>

L'Importance des Données

L'Explosion du Volume et de la Complexité des Données

- **Grand Radio Télescope de Nançay**
ouverture: 1965
production de données: ~10-100 To/an
- **NenuFAR**
ouverture: 2019
production de données: 3 Po/an
- **Square Kilometer Array** (international)
ouverture: ~2032
production de données: 700 Po/an



L'Infrastructure Numérique d'ORION

Un Stockage de 3 Po et un Datacenter Distribué

Pour supporter la **quantité massive de données** générées par NenuFAR, le projet ORION s'appuie sur une infrastructure numérique performante.

Stockage : ORION a permis d'installer un volume de stockage de 3 Po à Nançay.

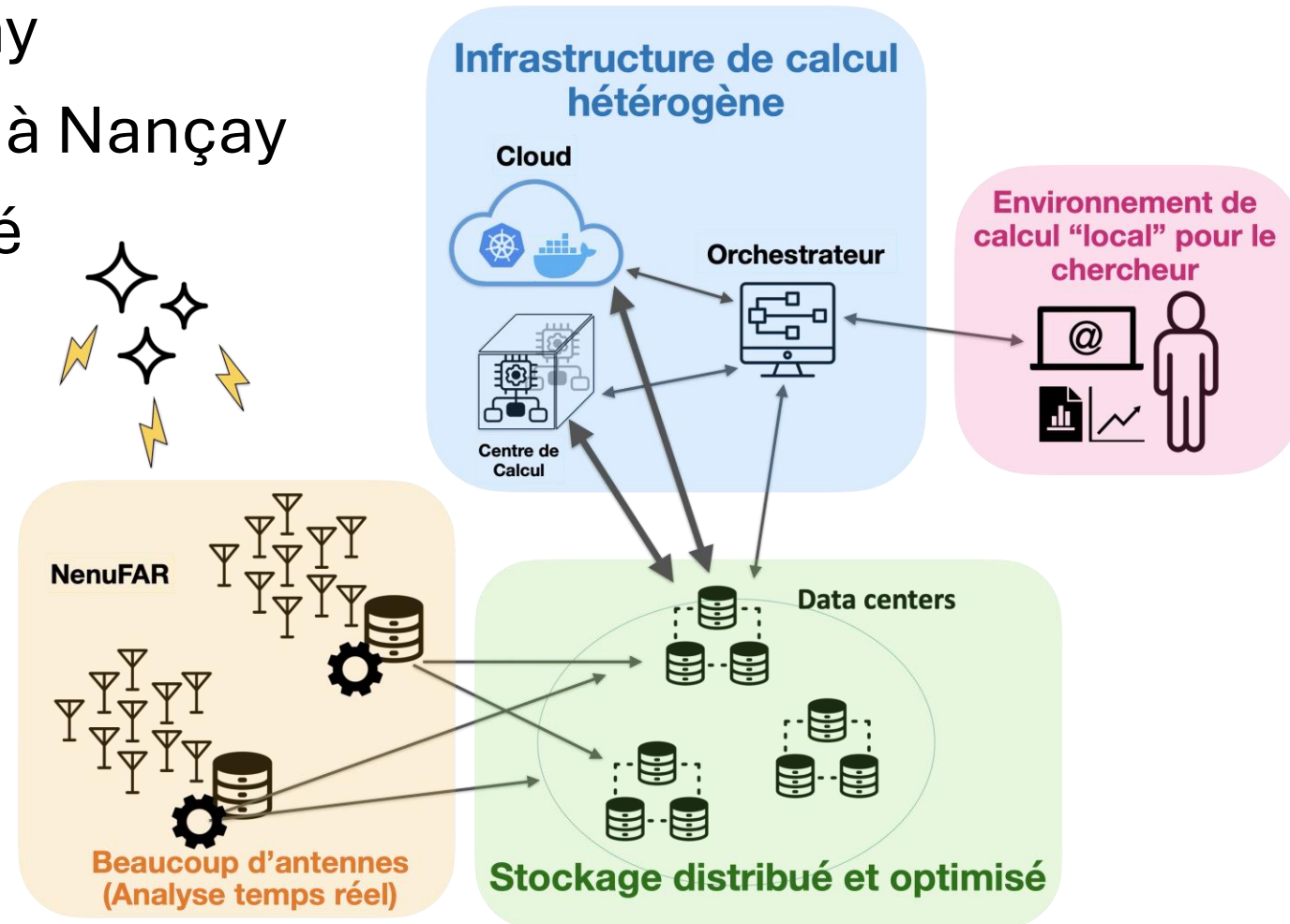
Datacenter Distribué : L'infrastructure de stockage sera distribuée entre deux sites :

- Le **DataCentre**, datacenter régional labellisé ESR, situé à Orléans (BRGM).
- L'**Observatoire de Paris** (à Meudon), contribuant à la redondance et à la disponibilité des données.

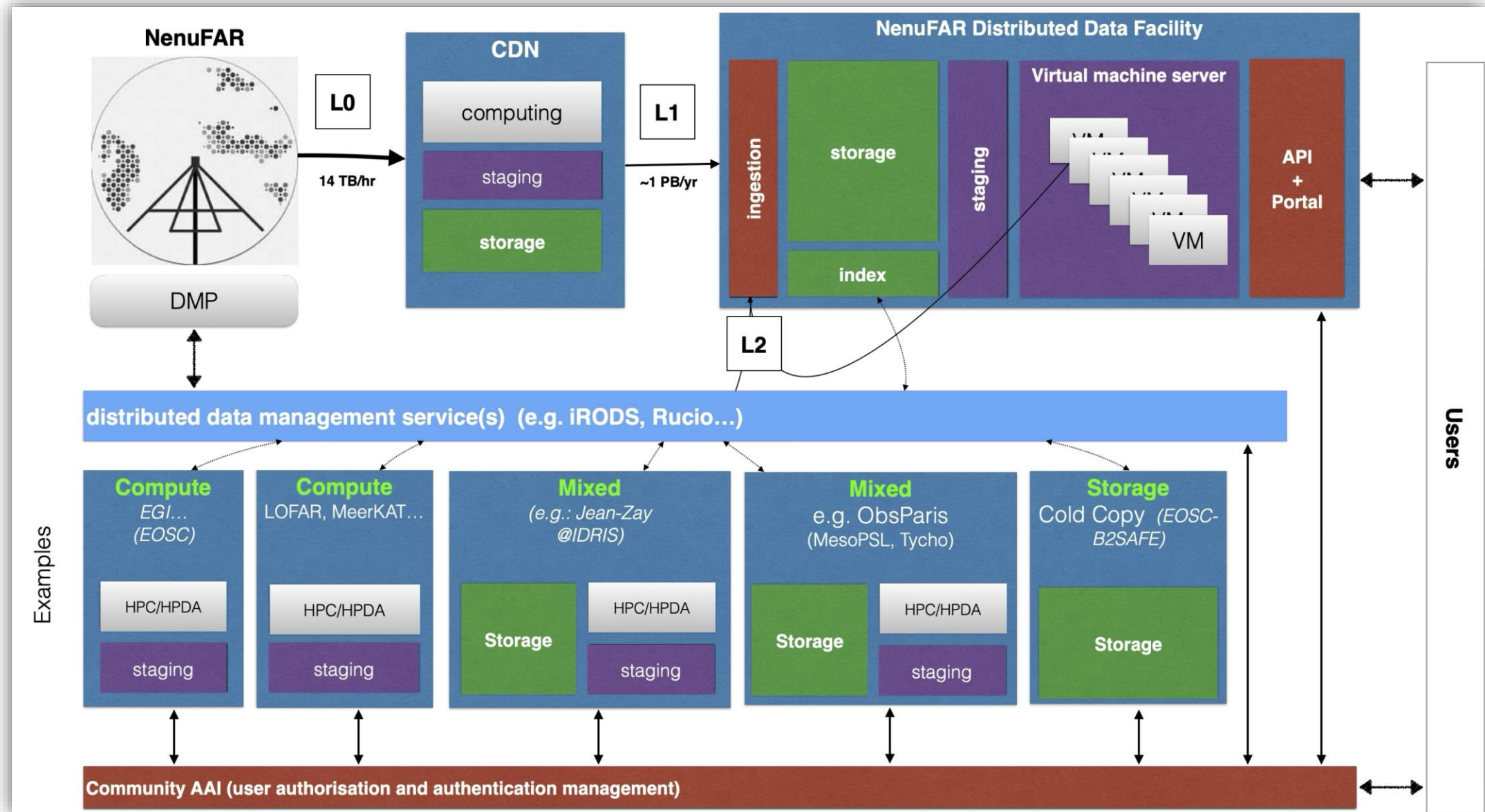
Solutions de Calcul : Ce datacenter distribué inclut des capacités de stockage « cloud » pour la gestion des données, ainsi que des moyens de calcul « cloud » et HPC (calcul haute performance) pour l'analyse des données.

Les Composantes du Système de Calcul

- Besoin de stockage à Nançay
- Besoin de calcul temps réel à Nançay
- Besoin de stockage distribué
- Besoin de calcul distribué
- Besoin d'orchestration de traitements complexe
- Besoin d'une interface simplifiée pour les chercheurs

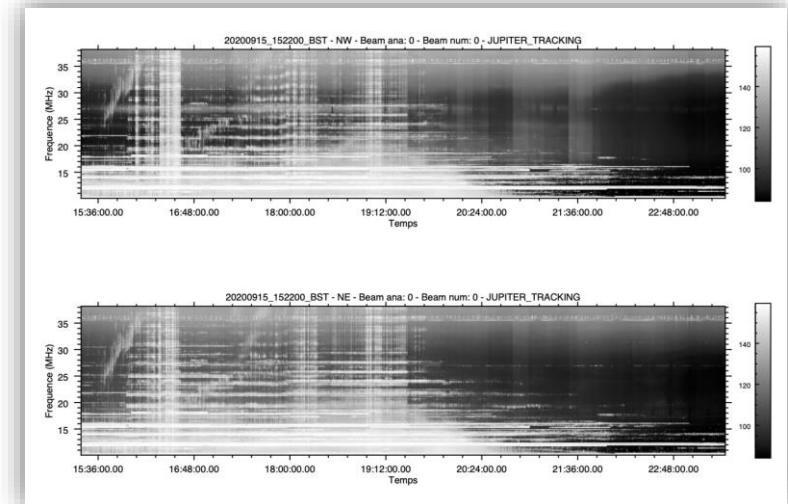


L'architecture cible du centre de données distribué



Science ouverte et diffusion des données

- Les données **NenuFAR** seront rendues publiques à travers ce centre de données.
- Support de **PADC** (Paris Astronomical Data Center), le centre de données de l'Observatoire de Paris, pour la mise en place des interfaces de recherche spécialisées, le référencement et les catalogues de métadonnées.
- Exemple de jeu de données NenuFAR publié:
 - Lamy, L., et al. (**2021**). *Determining the beaming of Io decametric emissions, a remote diagnostic to probe the Io-Jupiter interaction*. Supplementary material : NenuFAR Data (Version 1.0) [Dataset]. PADC. <https://doi.org/10.25935/E556-GM25>



L'univers radio « hébergé » dans le *datacenter régional ESR*

Rappel sur DataCentre

- Le datacenter régional labellisé ESR pour la région Centre-Val de Loire ;
- Proposant une offre de service à destination de la communauté ESR
 - IaaS (Stockage, serveurs virtualisés, sauvegardes, sécurité)
 - Hébergement sec
- Retrouvez le replay du webinaire DataCentre du 19 novembre 2025 sur <https://pu-cvl.fr/webinaires>

A presentation slide for DataCentre CVL. At the top is the DataCentre logo. Below it, the text reads: "Gagnez du temps, sécurisez vos travaux : l'offre DataCentre CVL expliquée". A row of logos follows: Université d'Orléans, Université de Tours, INSA, and brgm. At the bottom left is the DataCentre logo again. At the bottom right, it says "Webinaires mensuels de Découvertes de l'Enseignement Supérieur, l'Innovation et la Recherche (DESIR) 19/11/2025".
A presentation slide titled "DataCentre CVL, des services à dimension...". It lists "Régionale" services: "Etablissements d'enseignement supérieur, Laboratoires de recherche, Autres acteurs de la communauté ESR...". It lists "Nationale" services: "Intégration à des Infrastructures de Recherche, Intégration dans le réseau des autres datacenter labellisés MESR.". A red circle highlights the "ORN Observatoire des PSL" logo, with a red arrow pointing to it from the text "On est ici !". Other logos include Recor, MESoNET, PRO, JUNON, OneWater, h2o, EaSy Data, DATA TERRA, GÉORISQUES, and Refimeve+.

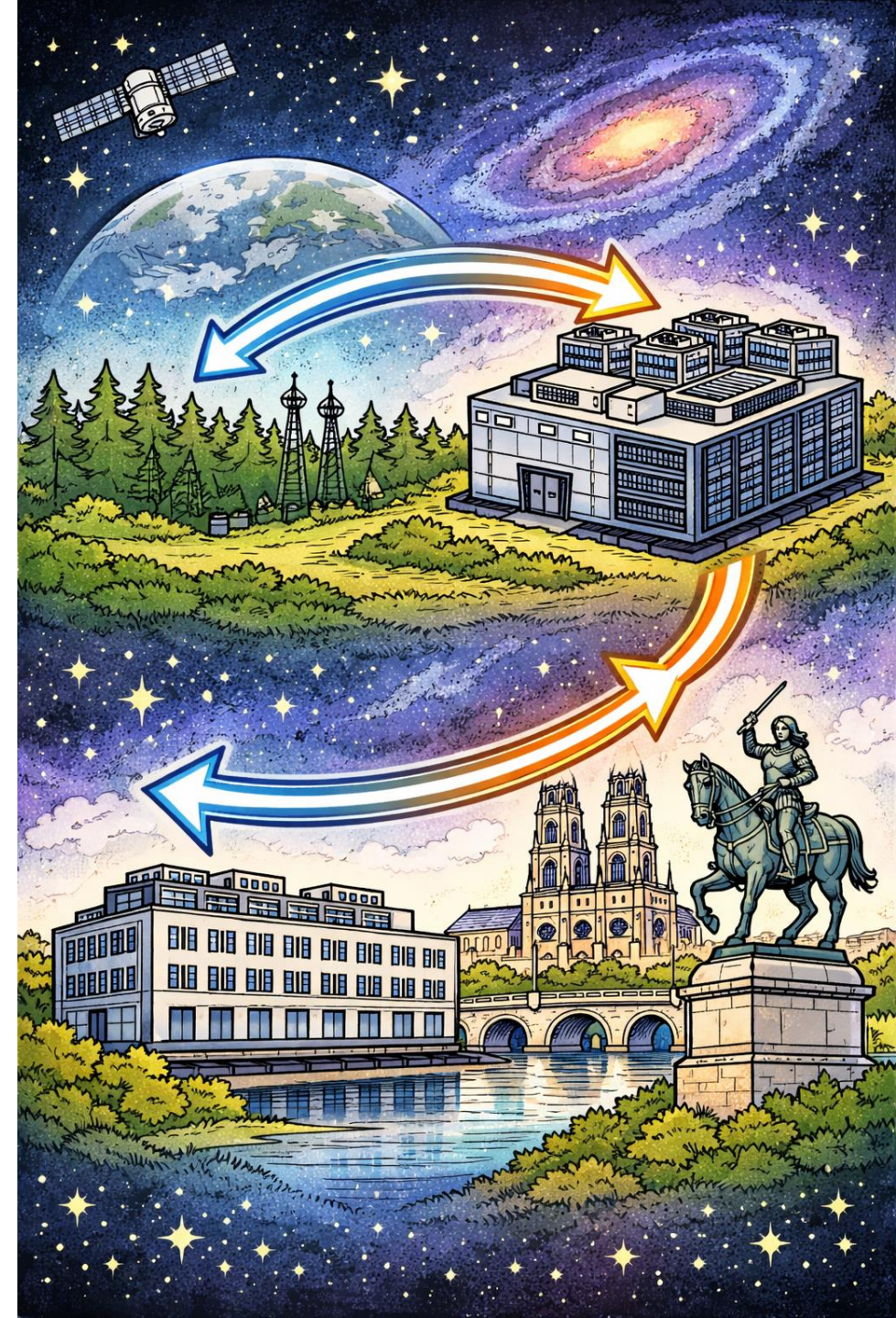
Partenariat et cycle de vie des données

Centre de Données de Nançay (CDN)

- Transformation des données brutes (L0) en données réduites (L1)
- Fourniture des métadonnées et protocoles
- Contenus des notebooks scientifiques

BRGM (DataCentre-Val de Loire)

- Hébergement et stockage des données
- Infrastructure de calcul et traitement
- APIs et portails d'accès sécurisés



Une architecture de stockage optimisée

18

**Machines acquises
aujourd'hui**

Création d'un cluster dédié
pour Orion

En complément du cluster
Stockage Objet DataCentre

Extension de l'offre de
service

8:3

Erasure Coding

Solution choisie pour
optimiser la capacité en
fonction des moyens

Ratio entre capacité utile et
capacité brut de 72,7%

Perte de 3 nœuds possibles

6 Po

Capacité à terme

Capacité utile disponible
une fois les investissements
réalisés

Stockage objet scalable et
interopérable

Avec une possibilité
d'extension future

Choix d'un schéma d'erasure coding 8:3 privilégiant la densité de stockage, avec déploiement de passerelles S3 pour accès objet et Virtual Server F5 pour équilibrage de charge.

Une infrastructure de calcul mutualisée et en évolution

Cluster HPC Saphir

- Une infrastructure mutualisée
 - Acquisition conjointe avec l'ANR Equipex+ GaïaData, CPER Orion, In-kind BRGM
- 24 nœuds (16 Thin, 6 Fat, 1 GPU, 1 Visu)
- Réseau InfiniBand jusqu'à 200 Gbps
- Système de fichiers GPFS de 387 TB
- Portail de service Open OnDemand

Cluster Cloud-native

- Infrastructure cloud-native pour workflows dynamiques et conteneurisation scientifique
- Nœuds Fat et nœuds Thin
- Cluster Kubernetes
- *Acquisition en cours...*



Bénéfices pour la Recherche

Accélération des Découvertes Scientifiques

- L'infrastructure numérique d'ORION permettra aux chercheurs de
 - **Analyser des volumes de données massifs** avec une vitesse sans précédent.
 - **Mener des simulations complexes** pour modéliser les phénomènes astrophysiques.
 - **Collaborer à distance** avec d'autres chercheurs du monde entier.
 - **Développer de nouvelles techniques d'analyse de données** pour exploiter pleinement le potentiel de NenuFAR.

Impact du Financement CPER

Un Investissement pour l'Avenir

Le financement CPER ORION a permis de financer :

- **Contribution à la construction de NenuFAR.**
- **L'acquisition et l'intégration du matériel de stockage (Nancay).**
- **La mise en place du datacentre distribué (Orléans).**
- **Le développement des compétences numériques nécessaires à l'exploitation d'ORION.**
- **Le soutien à la recherche et à la formation dans le domaine de l'astronomie numérique.**

Positionnement stratégique pour la participation au futur centre de données distribué mondial du Square Kilometer Array (SKA Regional Center Network).