



Le radar transhorizon à onde de ciel

« NOSTRADAMUS »

Département Électromagnétisme et Radar (DEMR)

Unité Radar Basse Fréquence (RBF)

J-Ph. Molinié, J-F Degurse , V. Rannou

Présenté par S. Azarian



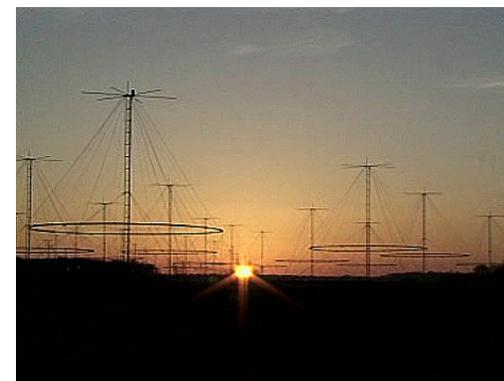
retour sur innovation

L'Onera et le DEMR

L'Onera est le centre français de la recherche aéronautique, spatiale et de défense, il met ses compétences au service des agences de programmes, des institutionnels et des industriels.

Les missions de l'Onera

- Anticiper les ruptures technologiques pour **préparer l'avenir**
- Favoriser les **transferts vers l'industrie**
- Réaliser et mettre en œuvre des **moyens d'expérimentation et de simulation**
- **Fournir à l'industrie** des expertises de haut niveau
- **Expertiser pour l'État** les grands choix technologiques de demain
- **Former** des ingénieurs et des chercheurs



Radar NOSTRADAMUS



Radar GRAVES



Radar aéroporté SETHI

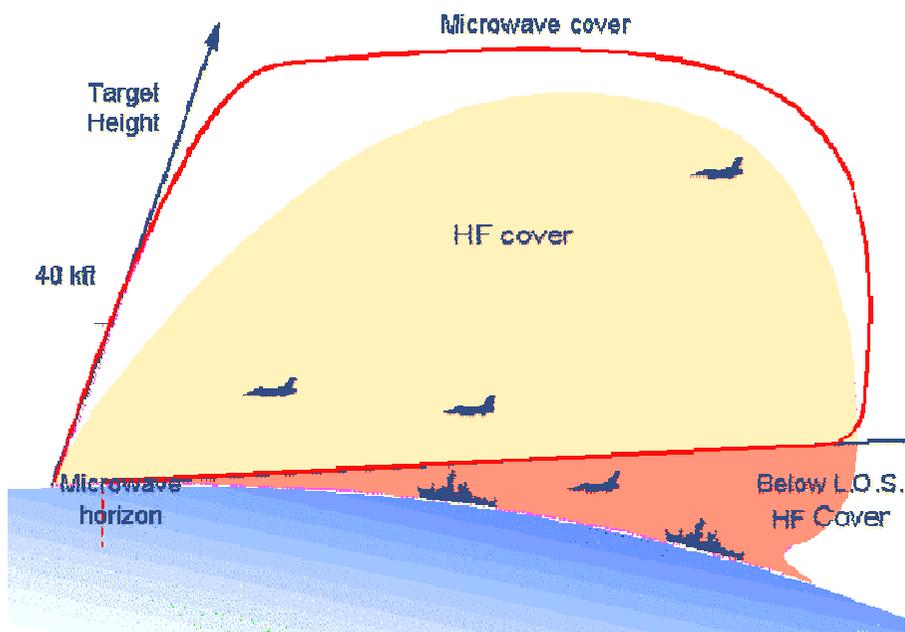
Chiffres clés 2012

- **2109** salariés dont **263** doctorants et post-doctorants
- **107** recrutements
- **243 M€** de budget
- **53 %** d'activité sur contrats
- **8** centres
- **DEMR** : 150 personnes environ

Radar Transhorizon: Terminologie

Utilisation de la gamme HF (3 – 30MHz)

Onde de surface



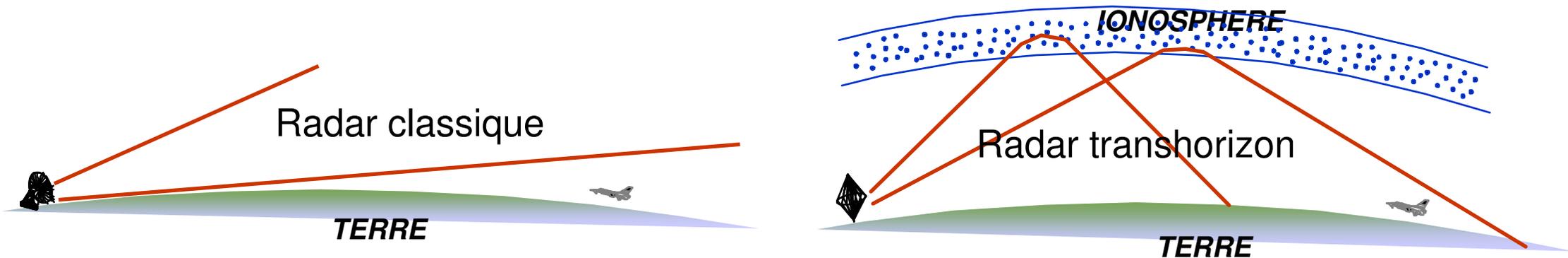
Propagation à la surface de la mer
Onde en polarisation verticale

Onde de ciel

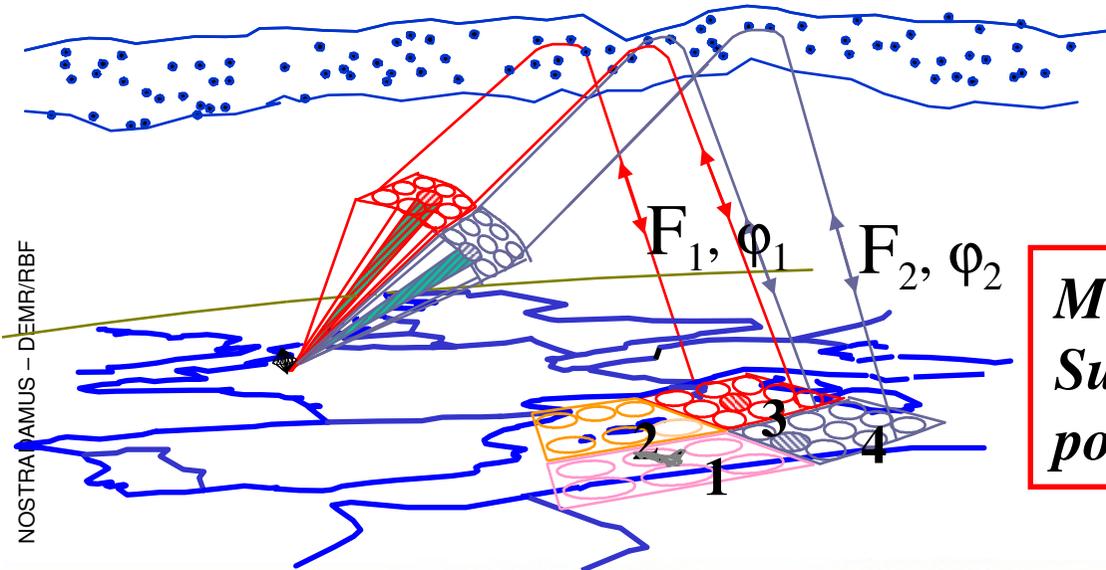


Réfraction dans les couches ionosphériques

Intérêts des radars transhorizons à onde de ciel



- Détection à grande distance
- Détection Toute Altitude (y compris très basse)
- Pas de Furtivité en Basse Fréquence



*Mission d'un radar transhorizon:
Surveillance de secteur à grande distance
pour l'alerte précoce*

Quelques contraintes

- **Résolution angulaire ($\theta = \lambda/D$)**
→ Réseau antenne de grandes dimensions (réseau phasé)
- **Occupation spectrale (variations bruit et interférences)**
→ Agilité de fréquence et réduction des interférences
- **Fort écho de fouillis (sol / mer)**
→ Détection des cibles mobiles (filtrage Doppler)
- **Distance parcourue par l'onde \neq distance au sol**
→ Connaissance de la propagation (sondage ou modélisation)
- **Variation temporelle et spatiale de l'ionosphère**
→ Agilité fréquence / élévation du radar

Radars transhorizons dans le monde

USA : 3 radars OTH situés autour du golfe du Mexique

Surveillance du trafic aérien toutes altitudes

Australie : 3 radars OTH

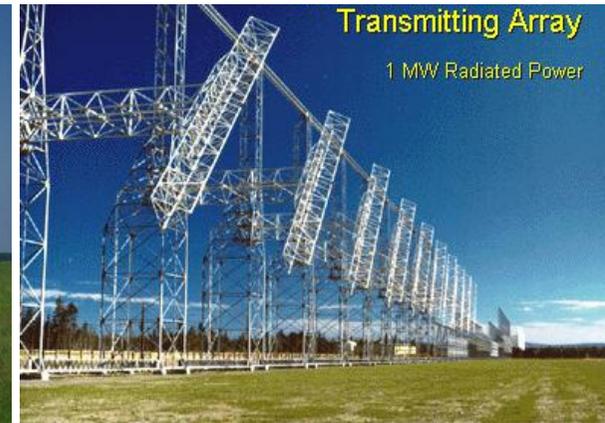
Surveillance du nord de l'Australie

Russie : 1 radar DUGA (Vladivostok)

Surveillance de la mer du Japon

Chine

Surveillance de Taiwan ?

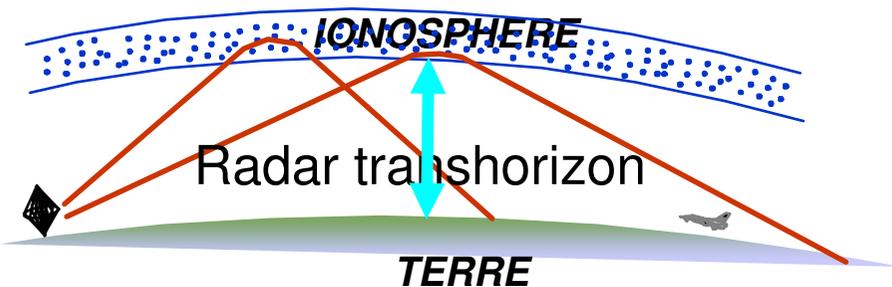


Réception

← 200 km →

Émission

Réseau linéaire -> Sondeurs verticaux



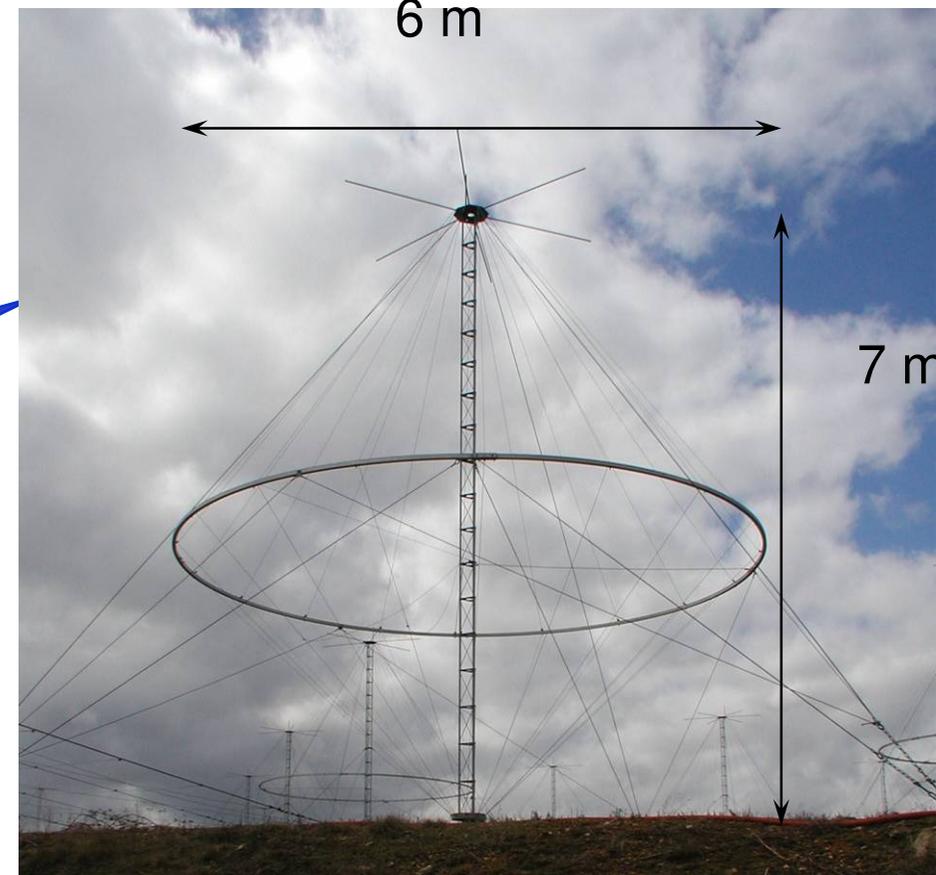
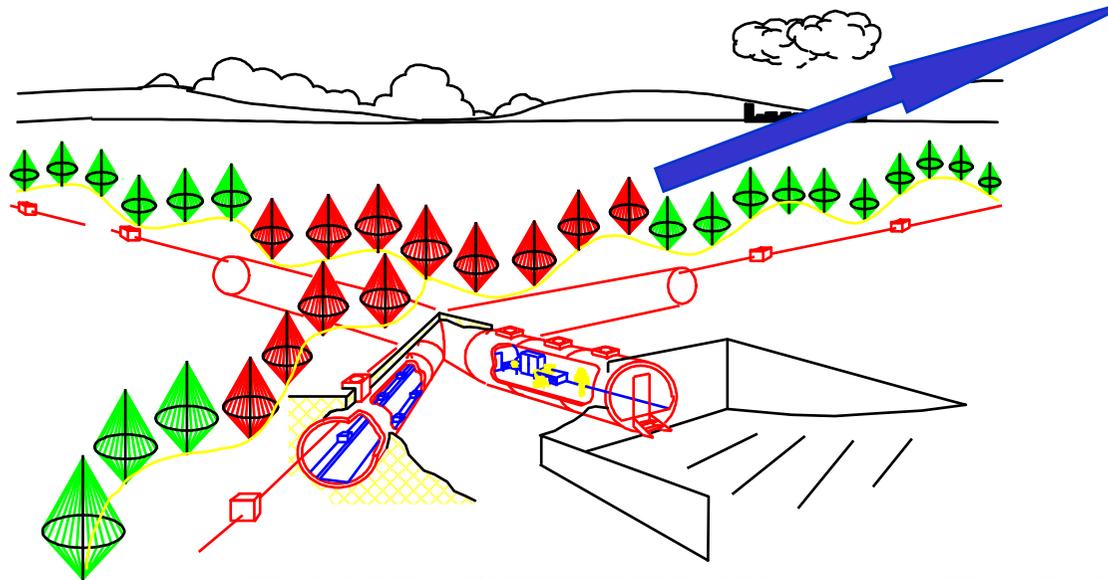
NOSTRADAMUS: Un concept original de Radar Transhorizon

Réseau Monostatique Surfaccique (2 D)

Omnidirectionnel en Azimut - Focalisation en élévation

Auto-calibrage (sans sondeurs externes)

Limitation des multi-trajets



NOSTRADAMUS : RTH Monostatique Omnidirectionnel

Le système NOSTRADAMUS

Réseau

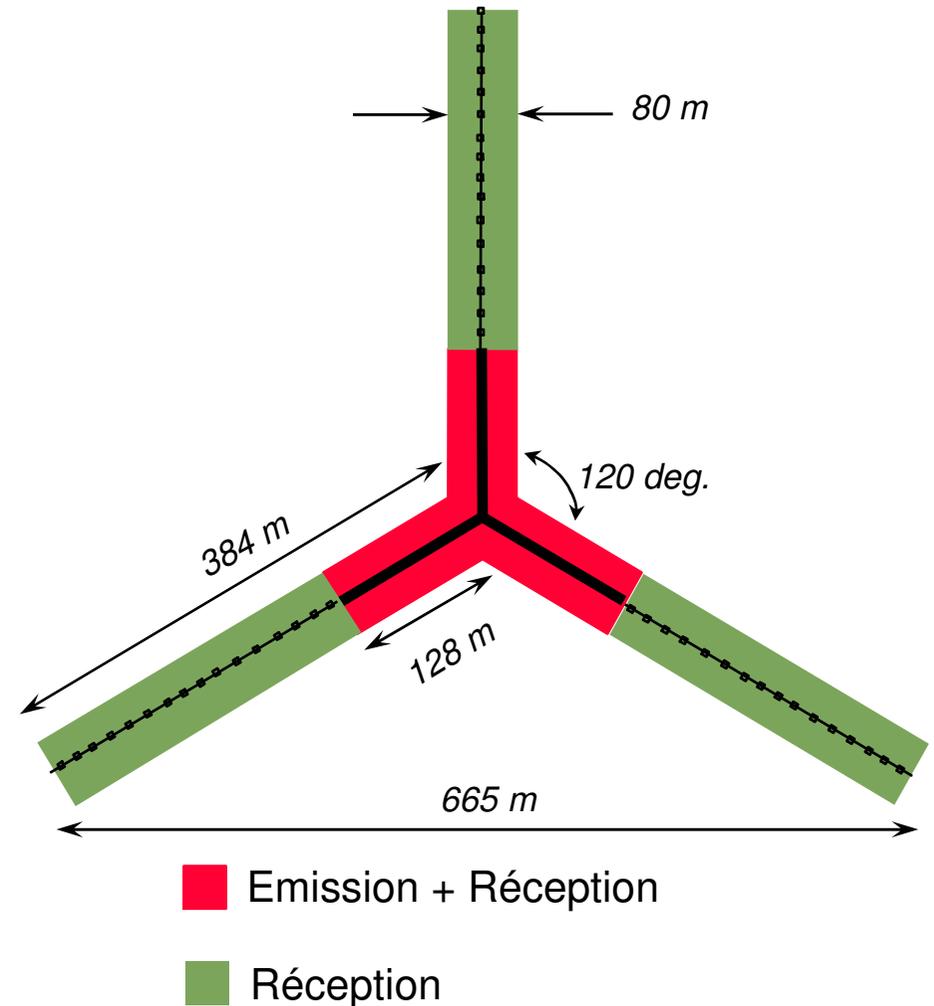
- 96 antennes biconiques par bras
- 32 en émission-réception par bras
- 64 en réception seule par bras

Emission

- 96 (3x32) émetteurs
- Interface de contrôle : gain et phase
- Impulsion codée

Réception

- 288 (3x96) antennes
- 18 sous-réseaux, 18 récepteurs
- Interface de contrôle : gain et phase
- Formation de faisceaux par le calcul

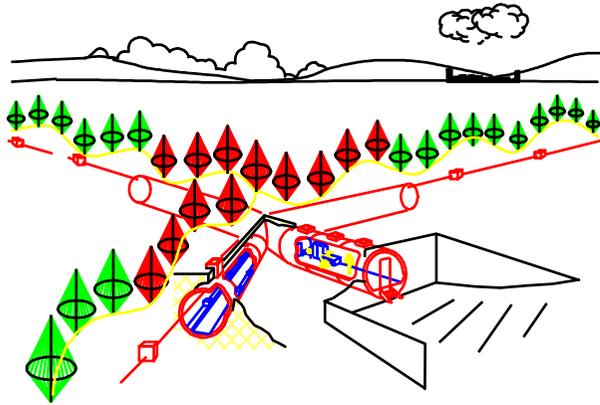


Le radar transhorizon NOSTRADAMUS

Base de Crucey



Le radar transhorizon NOSTRADAMUS



Principe



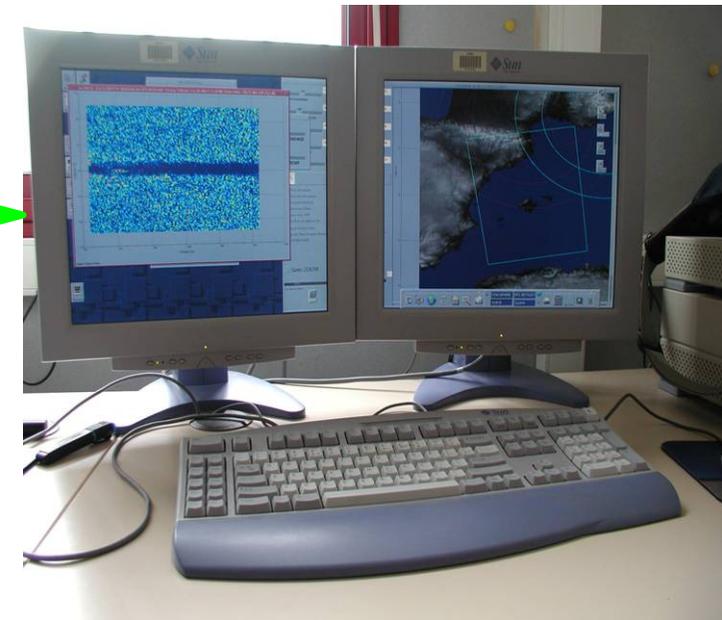
Les 3 galeries techniques



Réseau d'antennes



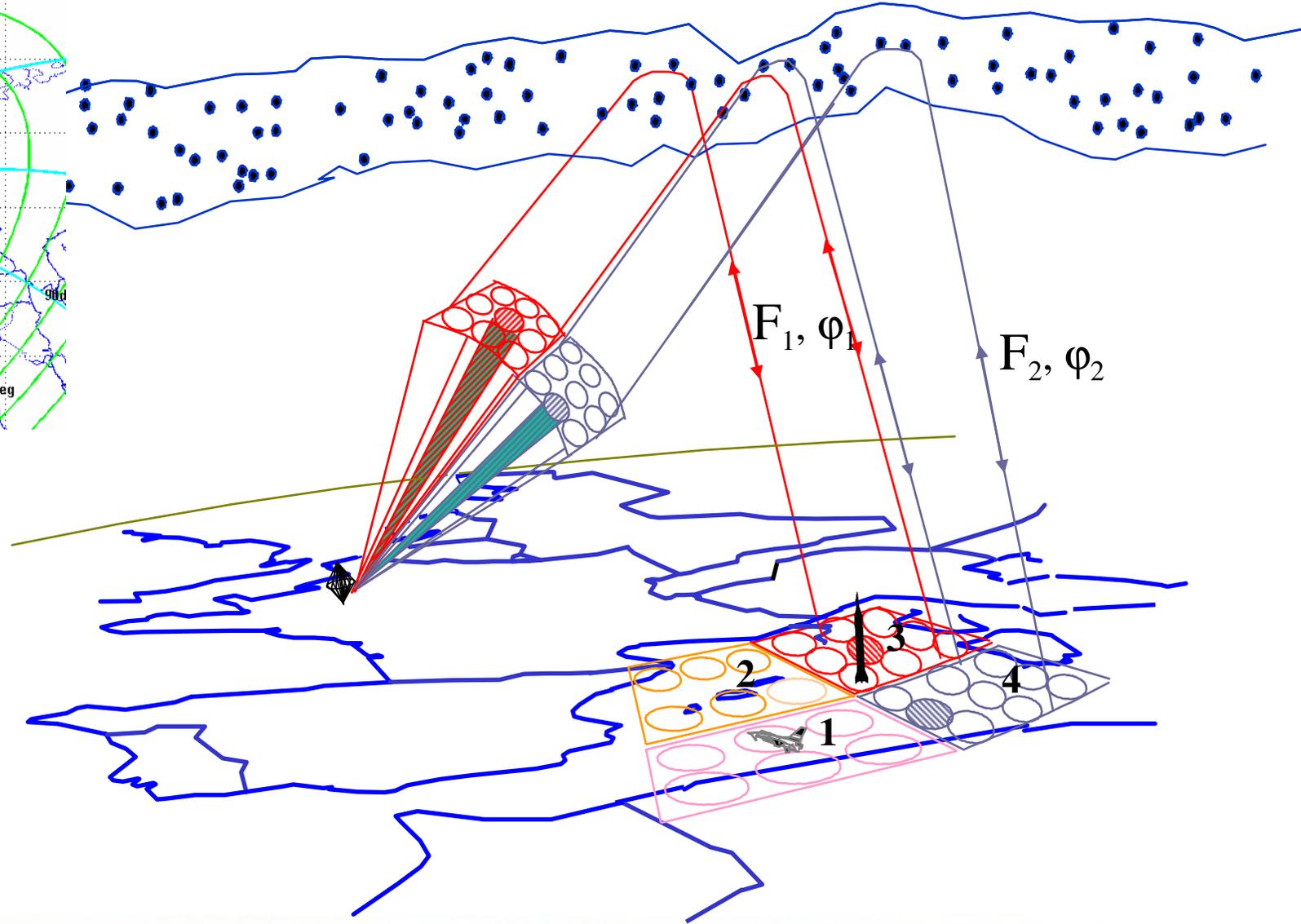
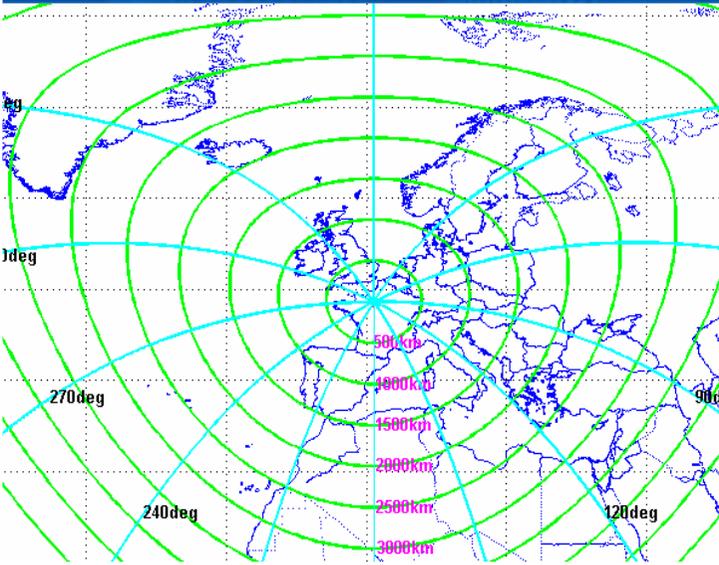
Bâtiment technique



Postes de contrôle et visualisation à distance, sans moyens annexes

Data link
(control & command)

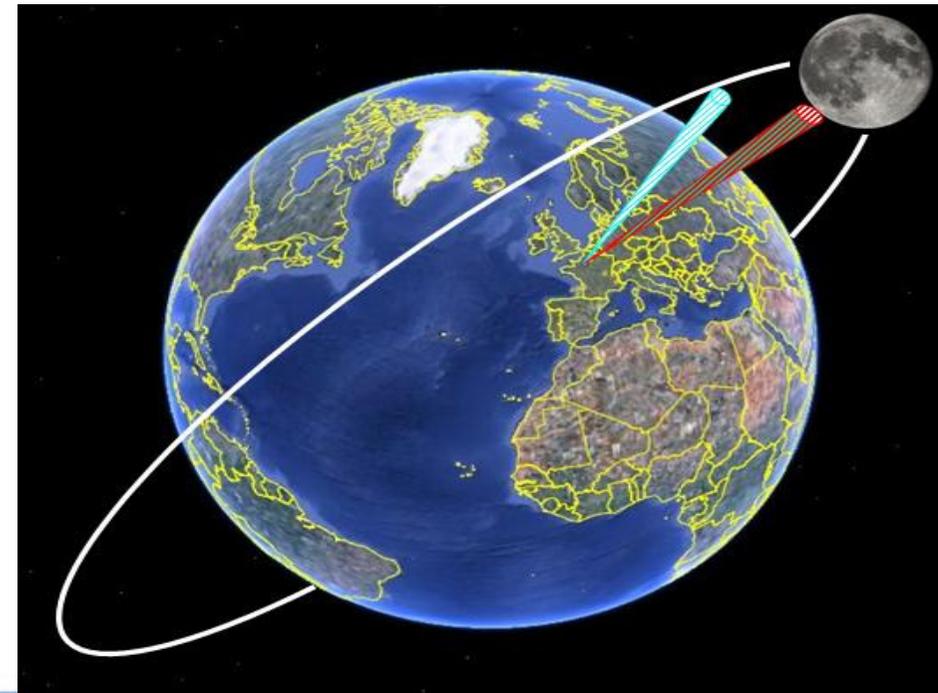
NOSTRADAMUS : Surveillance d'un secteur



NOSTRADAMUS - DEMIR/RBF

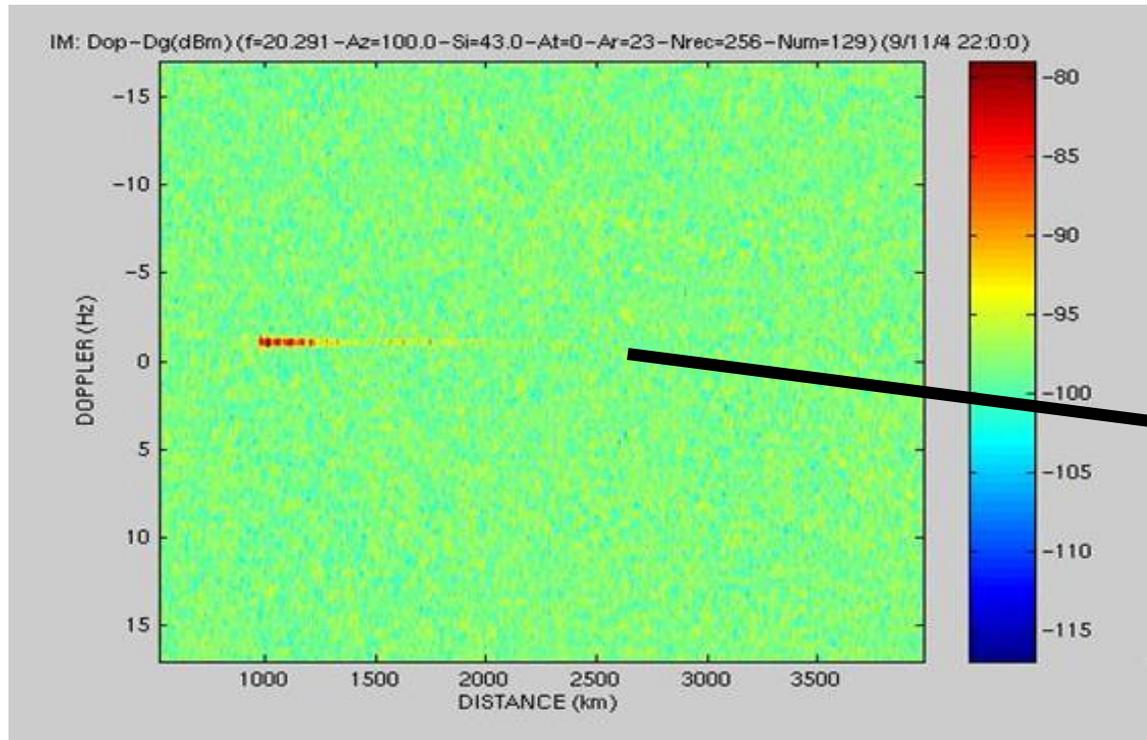
Détection de la Lune

- La lune est entièrement comprise dans un faisceau de réception
- Pointage dans une direction fixe (azimut/élévation)
- Détection du passage de la Lune dans le faisceau
- Fréquence radar : 20,5MHz (traversée de l'ionosphère et biais faible de nuit)
- Mesure ambiguë en distance
 - $T_e = 3\text{ms}$
 - $B = 20\text{kHz}$, soit une résolution en distance radiale de 7,5km
 - $T_{\text{Recu}} = 30\text{ms}$, soit un facteur de forme $FF = 1/10$
 - Intégration cohérente de 256 récurrences, soit $T_{\text{int}} = 7,68\text{s}$
 - Début porte de numérisation $\text{Deb_num} = 3,5\text{ms}$, soit 525km
 - Fin porte de numérisation $\text{Fin_num} = 29,5\text{ms}$, soit 3975km

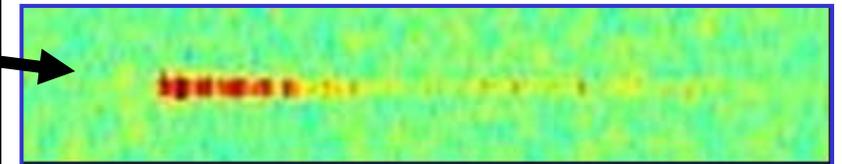


Détection de la Lune

Image Doppler-distance radiale pour le faisceau orienté vers la Lune

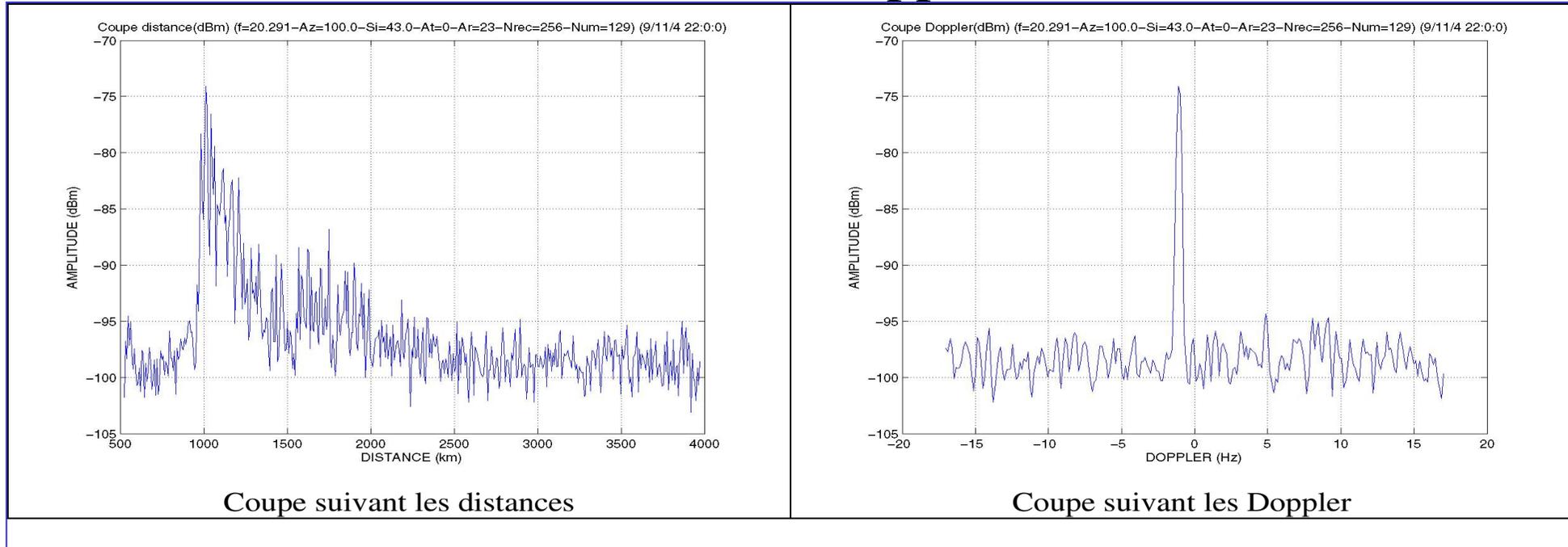


Décalage Doppler faible



Détection de la Lune

Profils suivant les distances et les Doppler



Applications:

Calibration du radar (localisation, bilan)

Étude des biais ionosphériques

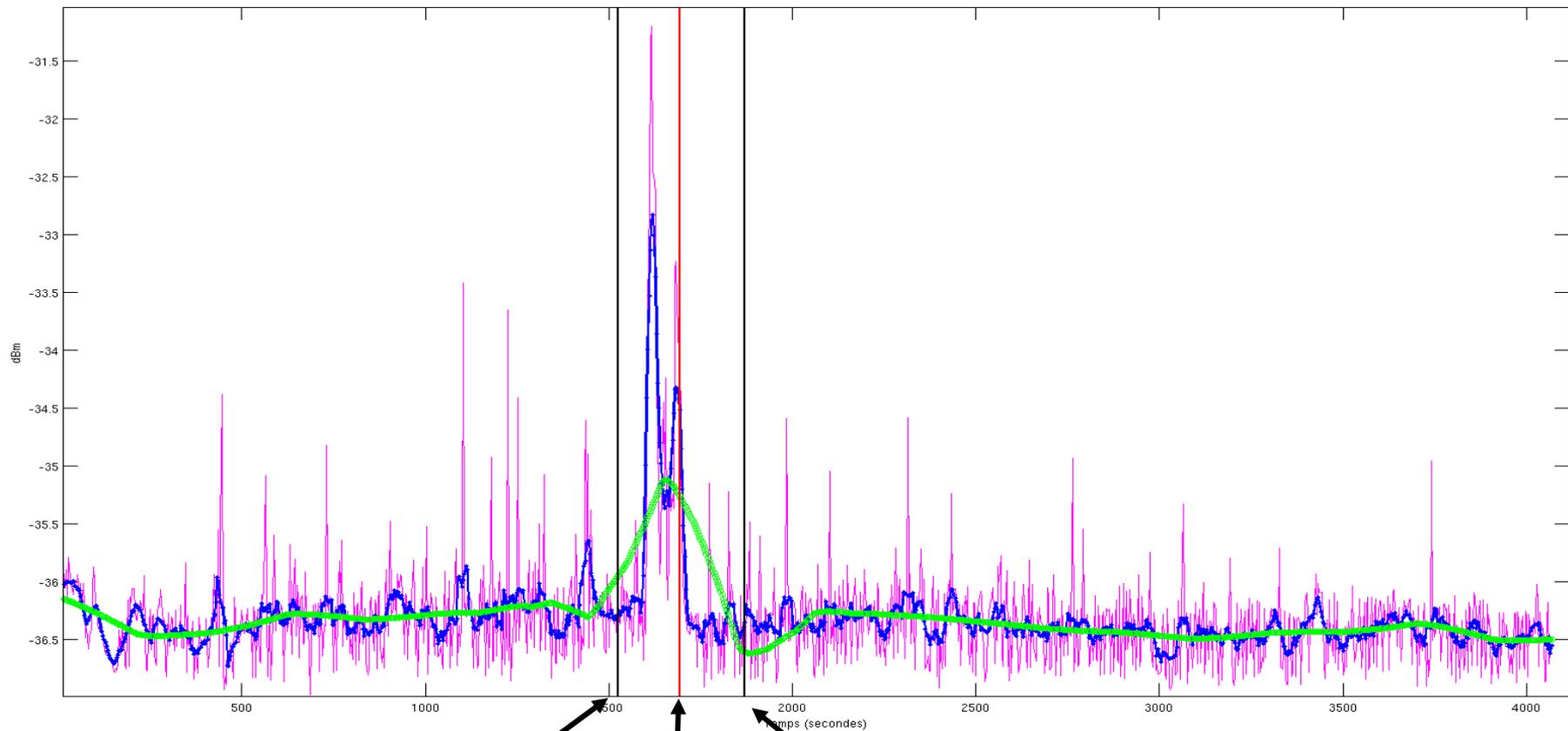
Imagerie de la Lune par technique ISAR

Étude de la réflectivité de la Lune (pénétration de la HF dans le régolite)

Écoute du Soleil

- Mesure du bruit généré par le Soleil
 - En réception seule à 25,6MHz (mode transionosphérique)
 - Le soleil est entièrement compris dans un faisceau de réception
 - Pointage dans une direction fixe (azimut/élévation)
 - Détection du passage du Soleil dans le faisceau
-
- Expérimentation le 14/10/2011 de 11h 10' à 12h 20' TU
 - Pas de remontée du bruit de fond lors du transit du Soleil dans le faisceau
 - Présence de bursts dus à des éruptions solaires
 - Localisation dans la couronne

Écoute du Soleil – 14 oct 2011

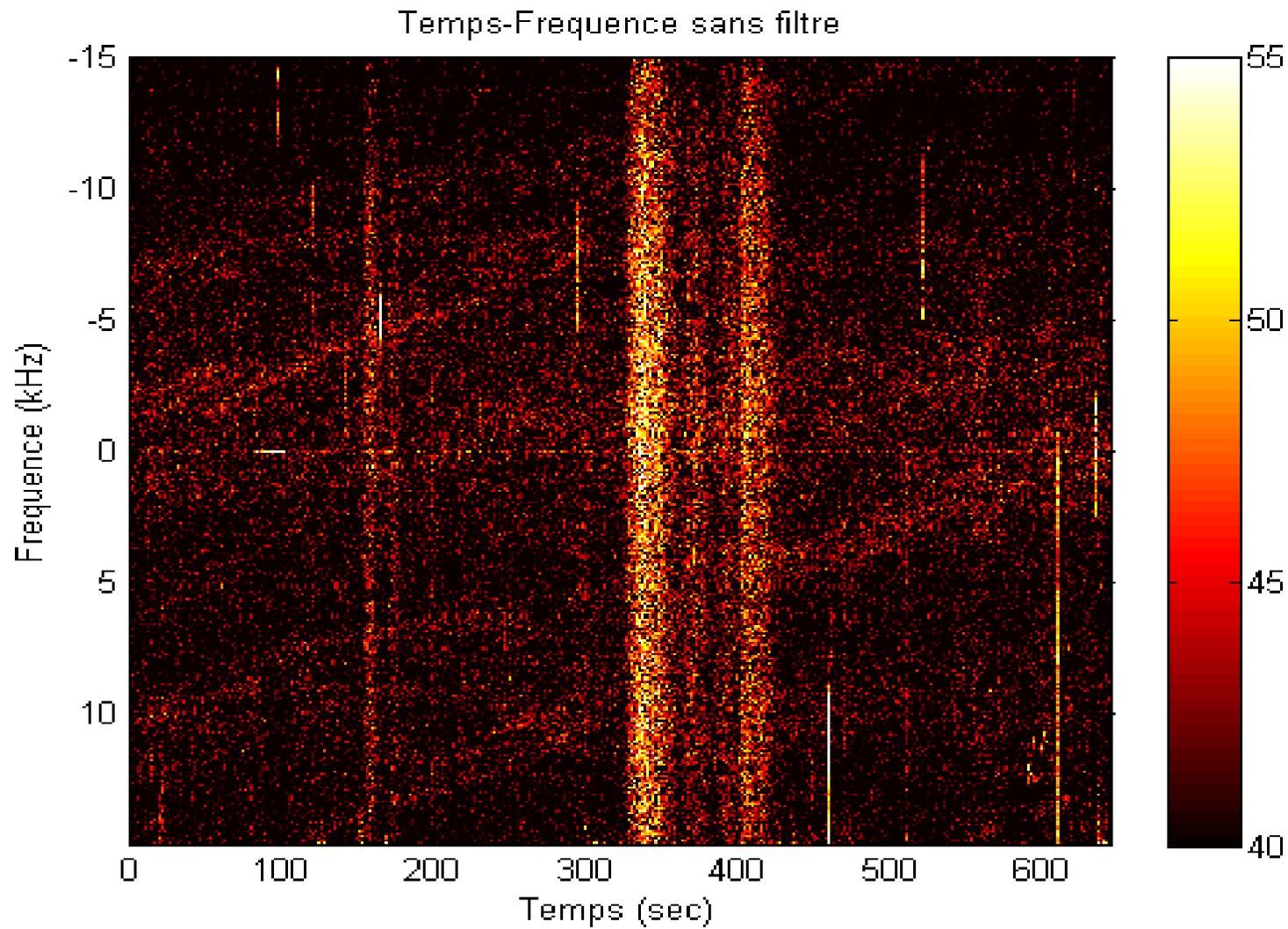


Entrée du disque solaire
dans le faisceau

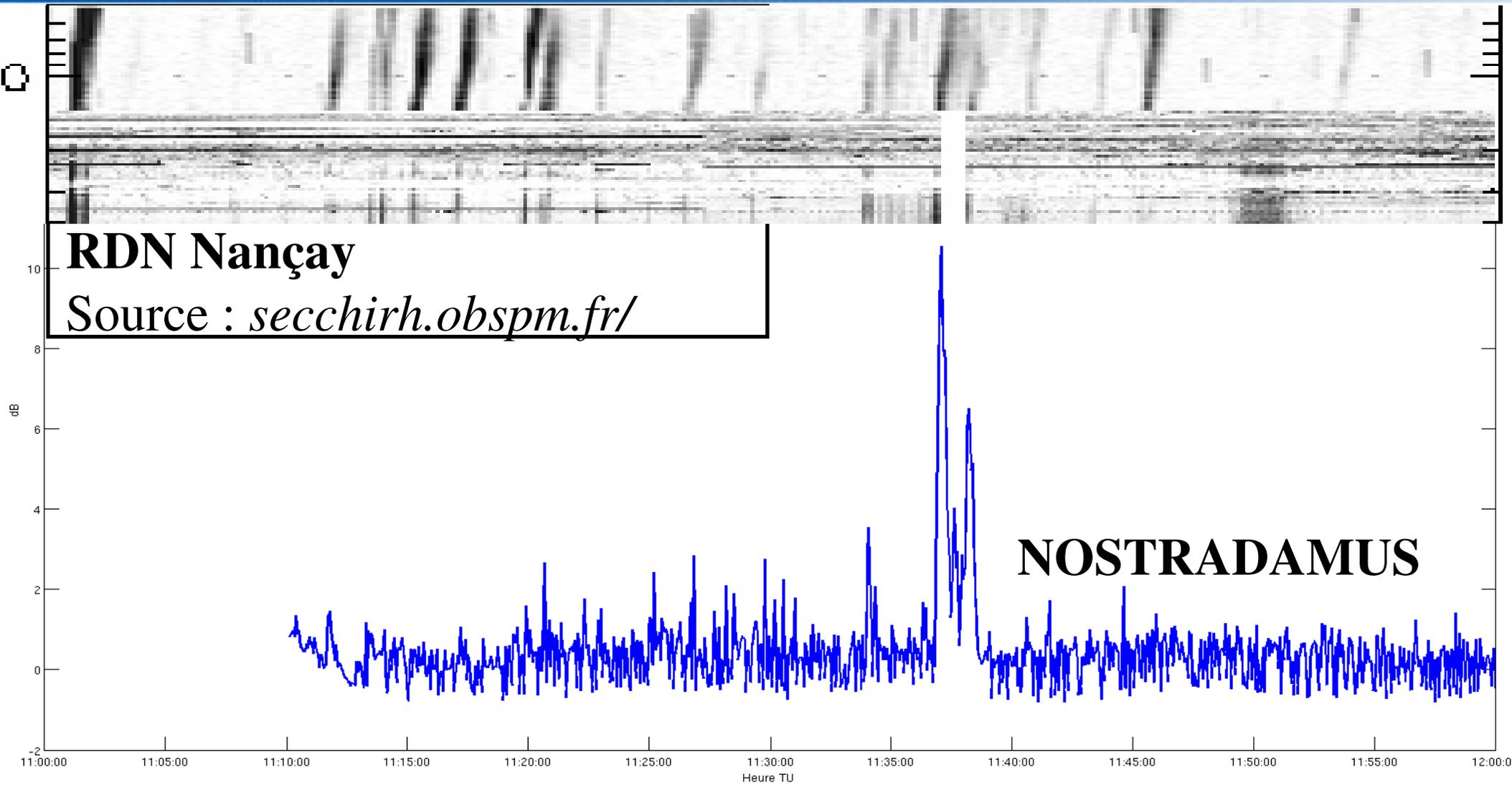
Disque solaire
au centre du faisceau

Sortie du disque solaire
du faisceau

Écoute du Soleil – 14 oct 2011



Observation du 14 / 10 / 2011



Écoute du Soleil

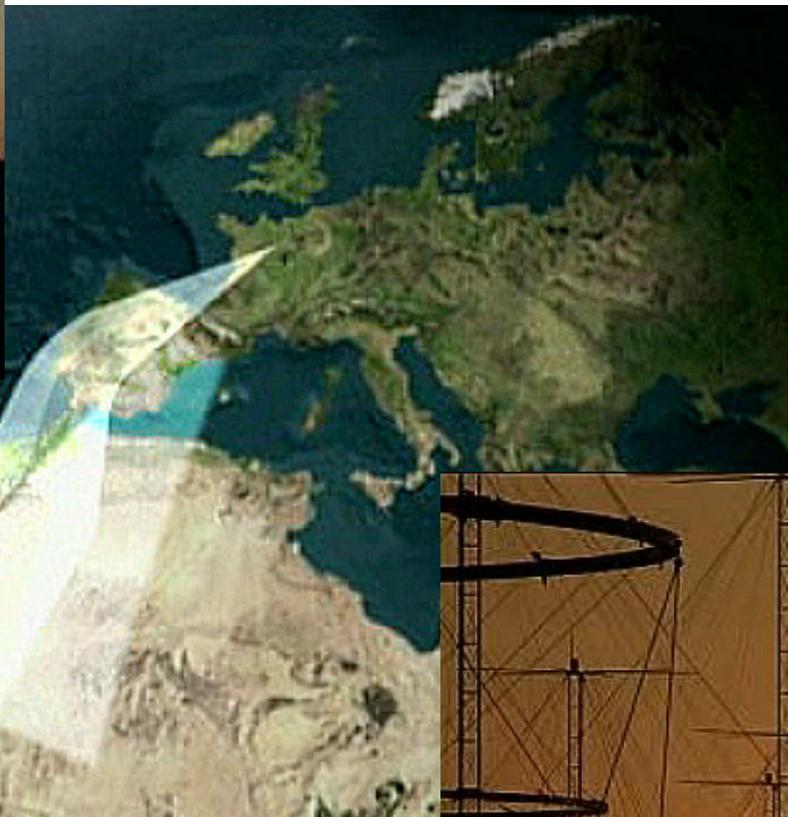
- Corréler les mesures effectuées par Nostradamus avec d'autres moyens de mesures (observatoire de Nançay, satellite SOHO...).
- Mesures en mode poursuite du Soleil

Applications:

Mesures de bruits ou bursts générés par des objets spatiaux (Jupiter, Pulsar...)

Conclusion

- Quelques exemples d'applications en astronomie et radioastronomie avec NOSTRADAMUS:
 - Mesures radar sur la Lune,
 - Mesures radar d'une éruption solaire (CME)
 - Écoute du Soleil (bruit, éruption),
 - Écoute de Jupiter,
 - Détection de sources OAM,
 - Écoute de pulsars,
 - Détection de rayons cosmiques,
 - Intégration de Nostradamus dans des réseaux de capteurs
 - ...



Merci de votre attention
Des questions ?