

Astronomie de l'invisible

- Historique,
- Spectre électromagnétique,
- Ordres de grandeurs,
- Instruments, Principes des radiotélescopes

ENFIN UNE IMAGE LABORIEUSEMENT OBTENUE

- Sources de rayonnements radio extraterrestres
- Avantages et inconvénients de la radioastronomie
- Quelques domaines accessibles aux associations aux amateurs et réalisations

HISTORIQUE DE L'ASTRONOMIE DE L'INVISIBLE A TRAVERS SES PERES FONDATEURS

- 1860 James Clarke MAXWELL Fondements mathématiques des rayonnements électromagnétiques
- 1880 Heinrich HERTZ Mise en évidence expérimentale des rayonnements électromagnétiques
- 1896 ROENTGEN Découvre les rayons X
- 1900 Henri BECQUEREL Découvre les rayonnements corpusculaires
- 1901 Charles NORDMAN Tentatives infructueuses pour découvrir le rayonnement radio du Soleil
- 1900 Max PLANCK Loi d'émission du corps noir
- 1912 Victor HESS Découvre en ballon les rayons cosmiques

- 1932 JANSKY
Bruit de fond galactique en ondes décamétriques
Il a donné son nom à l'unité de mesure de la puissance reçue
- 1936 James Stanley HEY
Découvre les réflexions des ondes radio sur les traînées météoritiques
- 1938 Grote REBER
Carte du rayonnement de la voie lactée en ondes métriques et décimétriques
- 1942 J.S. HEY
Constata le rayonnement du soleil en ondes décimétriques
- 1950 CISRO Joseph PAWSEY
Inventa l'interféromètre radio
- 1951 E.M. PURCELL
Découvre le rayonnement de l'hydrogène sur 21 cm de longueur d'onde
- 1953 CISRO Bernard MILLS
Inventa l'interféromètre en croix

- 1955 FRANKEN et BURKE

Découvrent le rayonnement décamétrique de JUPITER
- 1962

Images RADAR de la planète VENUS
- 1963 WEINREB

Découvre l'émission MASER de la molécule OXYDRYLE OH
- 1963 Réseau de satellites VELA

Découvre les sursauts GAMMAS
- 1965 Arno PENZIAS Robert WILSON

Découvrent le rayonnement fossile à 3 °K
- 1967 Jocelyn BELL Antony HEWISH

Découvrent les pulsars
- 1970 Maintenant

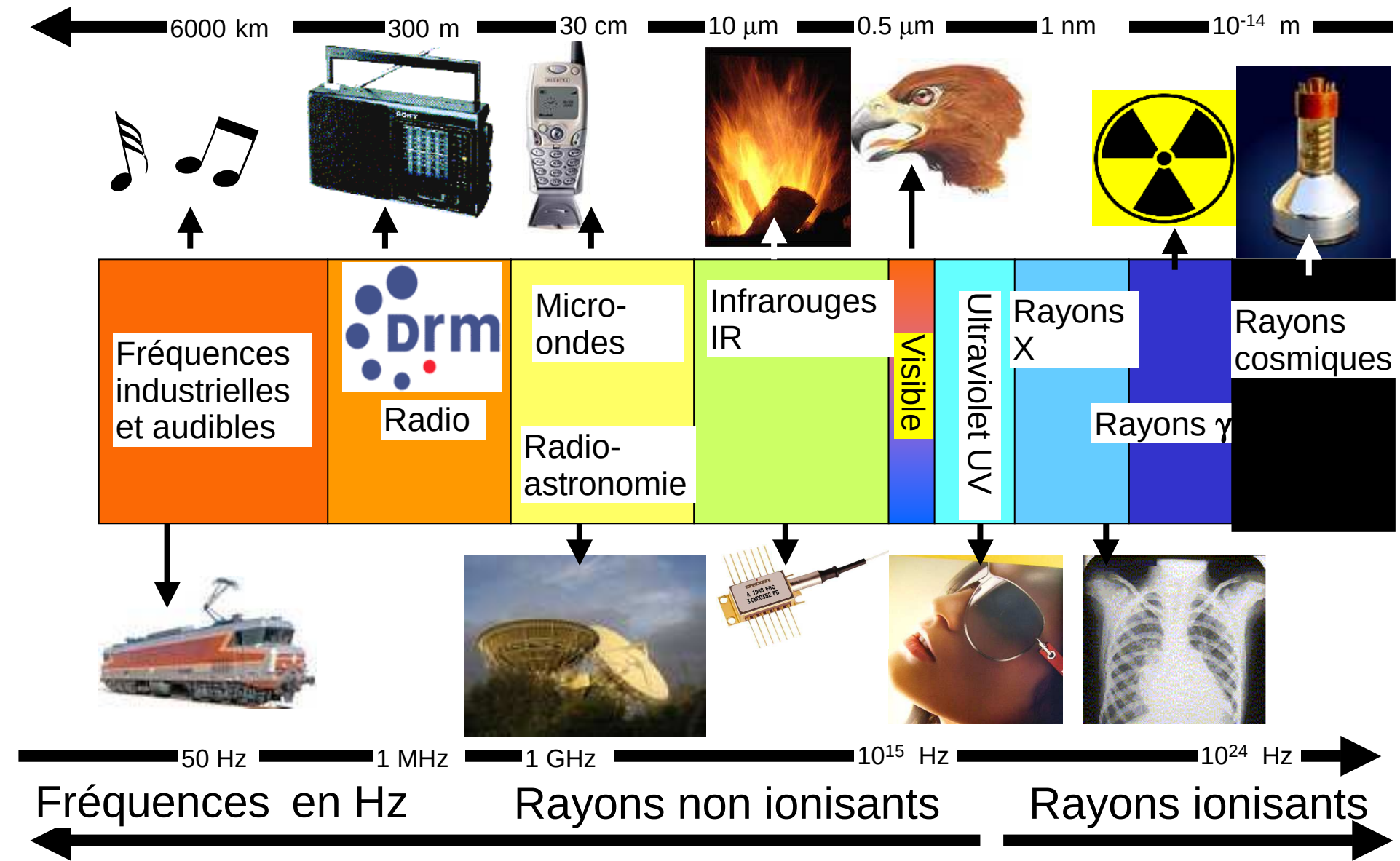
Etude des molécules en ondes millimétriques
- 1970 Maintenant

Sondes interplanétaires pour l'étude des rayonnements électromagnétiques à basse fréquence et des rayonnements ionisants et corpusculaires
- 1980 Maintenant

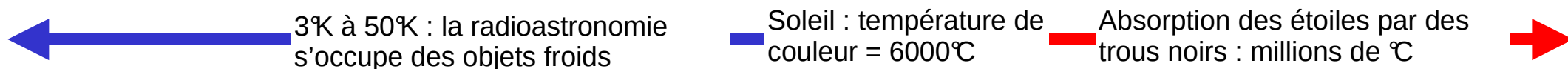
Interférométrie à très longue base synthèse et super synthèse d'ouverture
- 1990 Maintenant

Satellite COBE et ses successeurs Isotropie du rayonnement fossile à 3 °K

Le spectre électromagnétique



Température des sources d'après les lois d'émission du corps noir de Planck



QUELQUES CHIFFRES ASTRONOMIQUES et ordres de grandeurs

Unité de mesure de puissance reçue en radio-astronomie : JANSKI :

FLUX de 1.10^{-26} W / m² / Hz Symbole : Jy

C'est une valeur très faible : environ 100 000 fois plus faible que le niveau de réception des réémetteurs de télévision terrestre

N.B. “Quelque chose” en radioastronomie, c'est la plupart du temps un peu plus de bruit que dans la zone d'à côté. On comparera des températures de bruit et on recherchera des contrastes. Du fait de la faible résolution des instruments uniques, une direction visée ne donnera qu'un point d'image. D'où l'intérêt des antennes multiples en réseaux avec des déphasages pour générer des balayages spatiaux qui recréent des images point par point.

Exemples de flux mesurés sur la terre

Soleil calme (F = 1500 MHz) S = 900 000 Jy ; si sursauts, le flux est multiplié par 1000

Cassiopee (F = 1500 MHz) S = 2000 Jy (Reste de Supernovae)

Quasar (F = 400 MHz) S = 10 Jy (Extragalactique.)

Pulsar.....(F = 70 MHz) S = 10 Jy (Etoile à neutrons d'origine galactique)

Sensibilité maximum : meilleure que le millième de JANSKI avec des réseaux composés de nombreuses antennes.

On comprend que pour recevoir des signaux aussi faibles, il faudra des très grandes antennes et beaucoup d'astuces pour améliorer la sensibilité.

Rapports Signal sur Bruit et astuces pour mesurer quelque chose

En haute fidélité (HI-FI , disque CD) : $S/B = +90$ dB soit un milliard en puissance

En Télévision : $S/B = +40$ dB soit 10 milles en puissance

En radioastronomie : $S/B = -30$ dB soit 1/1000 en puissance : très difficile à mesurer

Astuces .

1) Pour détecter quelque chose avec des signaux aussi faibles, on est obligé de faire des comparaisons à la manière d'une balance. La mesure consiste alors à chercher l'équilibre entre un étalon et ce que l'on mesure. Quand on veut mesurer grossièrement une masse on peut se contenter de mesurer l'allongement d'un ressort étalonné auquel on a suspendu la masse. Dans ces conditions le moindre défaut de vieillissement du ressort, dérive thermique donnera une fluctuation de mesure plus grande que 1/1000. Avec une balance perfectionnée on est capable de mesurer une fluctuation de 1 / 1000 000 et c'est la qualité de l'étalon qui donne la qualité de la mesure.

2) On améliore encore la détectabilité en augmentant le temps de mesure à la manière des poses photographiques. En astronomie visible on fait couramment des poses de 10h.

3) Pour détecter les pulsars, on utilise l'astuce des détecteurs à porte pour ne rendre sensible le détecteur que pendant la fenêtre de temps où il reçoit du signal.(Cf détection synchrone)

4) Pour la détection des rayonnements ionisants qui ont assez d'énergie pour décomposer les molécules de l'air, c'est à dire les rayonnements de longueur d'onde plus petite que les ultraviolets, la notion de sensibilité perd son sens, les capteurs comptent les particules individuelles c'est le cas des rayons cosmiques

Caractéristiques de quelques sources de rayonnement en radioastronomie

On distingue les sources thermiques (Loi d'émission du corps noir de Planck : Fond du ciel à 3°K) des autres sources plus puissantes non thermiques.

JUPITER : Distance moyenne = 750 Millions de km à partir du Soleil

Puissance = 1 million de kW sur une bande de fréquences vers 20 MHz

Phénomène = Maser cyclotronique dans le tore de plasma du satellite Jovien IO

SOLEIL : Distance/Terre = 150 Millions de km

Puissance = 1 Milliard de milliards de kW sur la totalité du spectre électromagnétique

Phénomène = Emission thermique de la couronne solaire

PULSARS : Distance = Quelques milliers d'années lumière

Diamètre = 10 km environ

Puissance = Quelques milliards de milliards de kW dans la bande des ondes métriques

Champ magnétique = mille milliards de GAUSS

Vitesse de rotation = 1 à 1000 tours par seconde

Stabilité de rotation = 1 milliardième à 1 millionième de milliardième -> Etalon de temps

Phénomène = émission synchrotron des électrons relativistes

QUASARS : Distance = Quelques milliards d'années lumière avec un fort décalage vers le rouge

Puissance = Quelques milliards de milliards de milliards de milliards de kW

Phénomène = Rayonnement synchrotron des particules d'une galaxie absorbée par un trou noir supermassif

Molécules dans toutes les galaxies : Hydrogène rayonnant à 1420 MHz,
Oxyde de carbone CO rayonnant à 115 GHz etc..

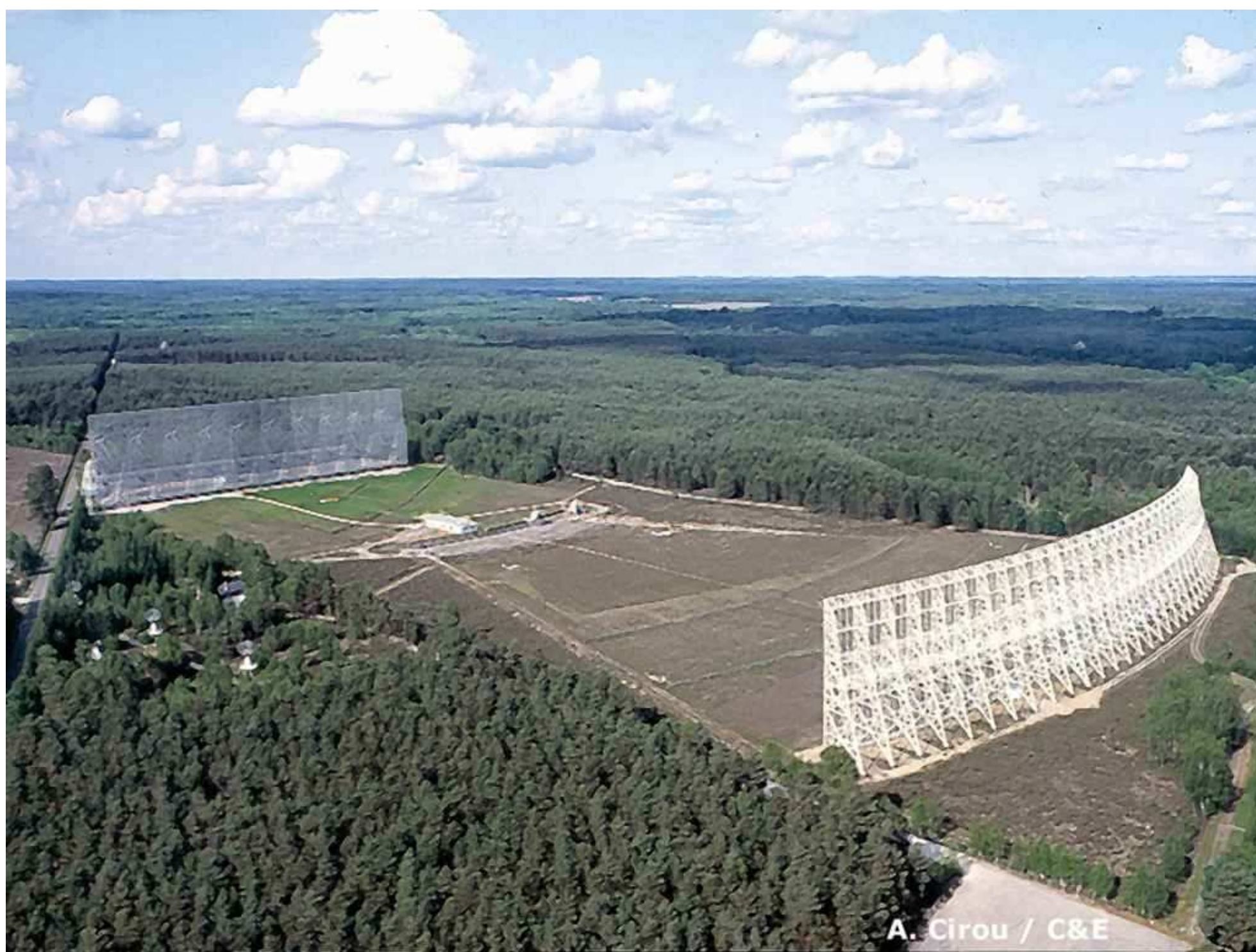
Les sources sont étendues : fond du ciel : TOUT le ciel ; parfois très puissantes mais elles sont loin, loin, loin !!!

PRINCIPES DES RADIOTELESCOPES

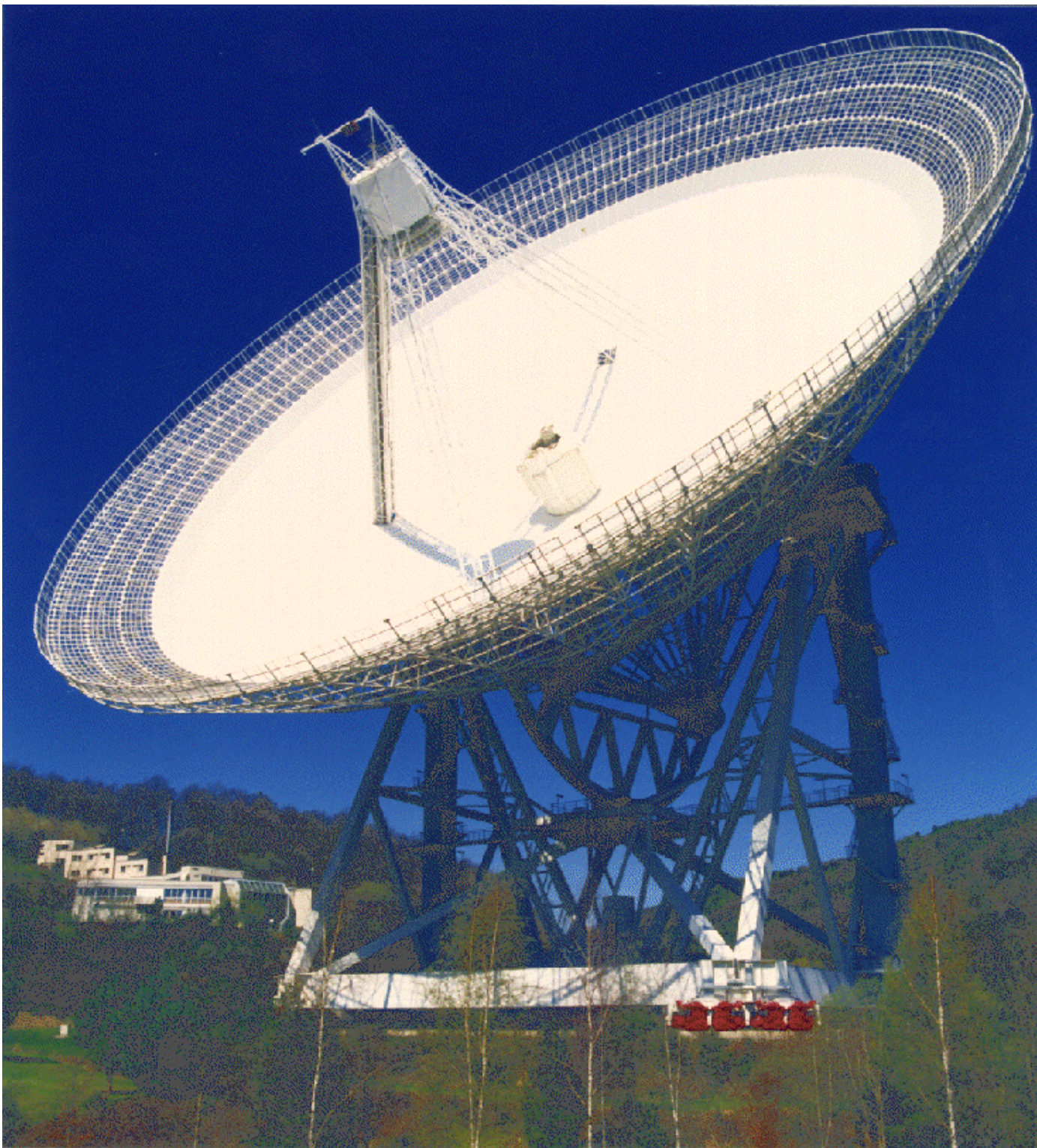
1) ANTENNE UNIQUE Cf. Télescope optique



Parabole fixe avec foyer mobile Exemples ARECIBO D=300 m



NANCAY surface : 6000 m² ; un grand réflecteur plan permet de viser en site



1.2) Parabole orientable en site et azimuth (Monture alt- azimutale)

Exemple

EFFELSBURG en
Allemagne avec un
diamètre de 100 m

Parabole orientable en
angle horaire
(Monture
équatoriale)

Exemple : Parabole de
réception de T.V. par
satellite orientable

RESEAUX D'ANTENNES

Amélioration du pouvoir séparateur et de la précision du positionnement par le principe de l'interférométrie et de la recomposition d'images par synthèse de FOURIER.

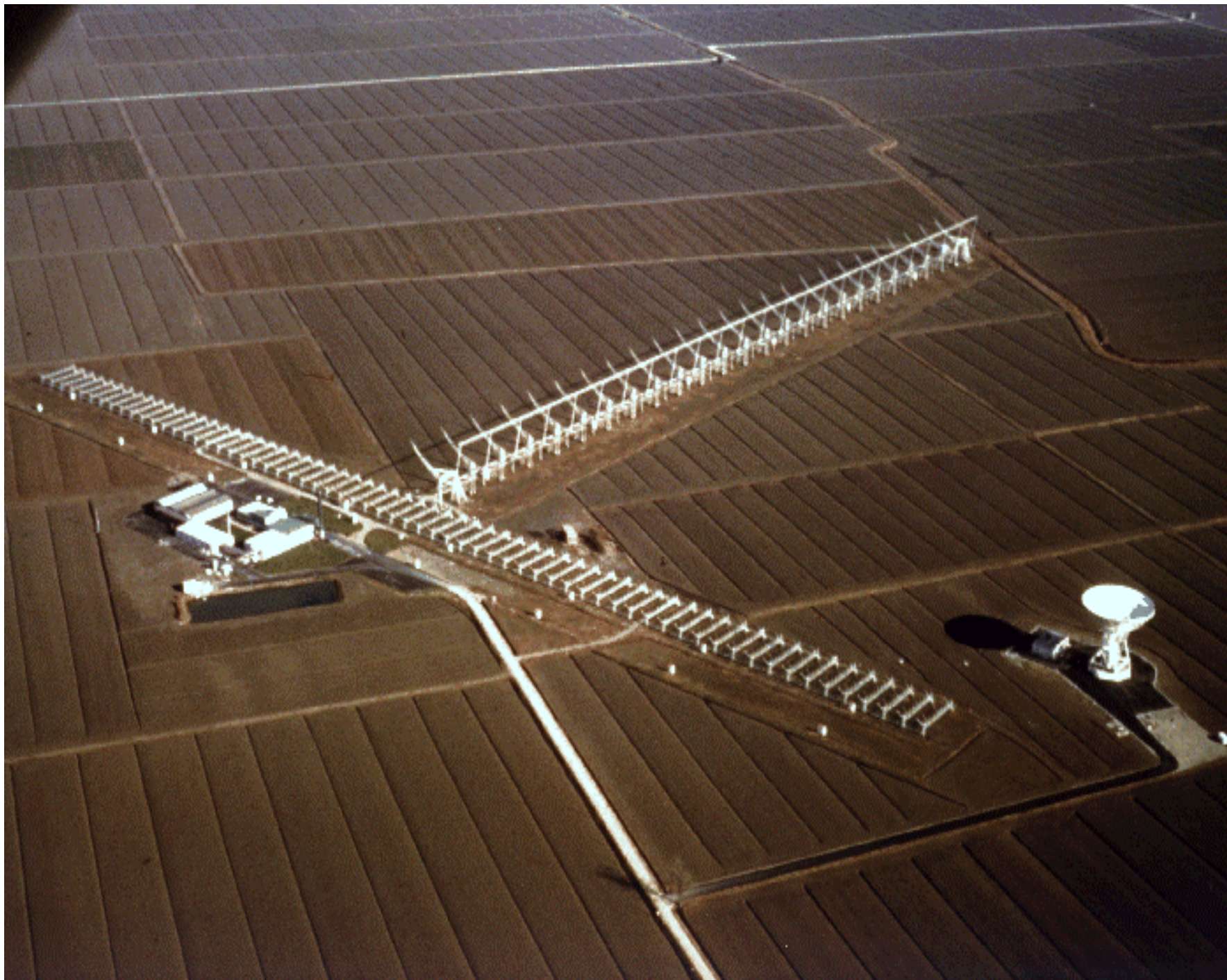
On distingue les réseaux avec un espacement entre antennes fixe et des déphasages entre les signaux d'antennes variables qui permettent le positionnement d'objets ponctuels, et les réseaux avec antennes mobiles (base variable) qui permettent de plus d'obtenir des images d'objets étendus

Réseau d'antennes fixes selon 1 alignement

Par exemple un alignement NORD SUD avec des déphasages variables entre les antennes combiné avec le défilement de la voûte céleste de l'EST vers l'OUEST permet d'embrasser la totalité du ciel en 24 heures

Réseau d'antennes fixes selon deux alignements ou CROIX de MILLS

Permet de viser n'importe quelle direction au moyen de déphasages convenables entre les antennes.



Radiotélescope de BOLOGNE avec une longueur de 600 m Vue du ciel



Réflecteur cylindro-parabolique orientable en site avec foyer mobile
Exemple : Radiotélescope de BOLOGNE avec une longueur de 600 m



Spécifications de la croix de Mills de l'Observatoire de MOLONGLO : Australie

Taille de l'antenne : 778 m x 12 m soit 9000 m²

Fréquence centrale : 843 MHz c'est la bande de la télévision

Bande passante : 3 MHz comme pour la télévision.

Polarisation : circulaire

Gamme angulaire : -90 deg à -30 deg

Champ angulaire : 43" x 43" : cela correspond aux gros cratères sur la lune

Sensibilité : 0.5 - 1 mJy : 100 000 fois mieux que le poste de TV

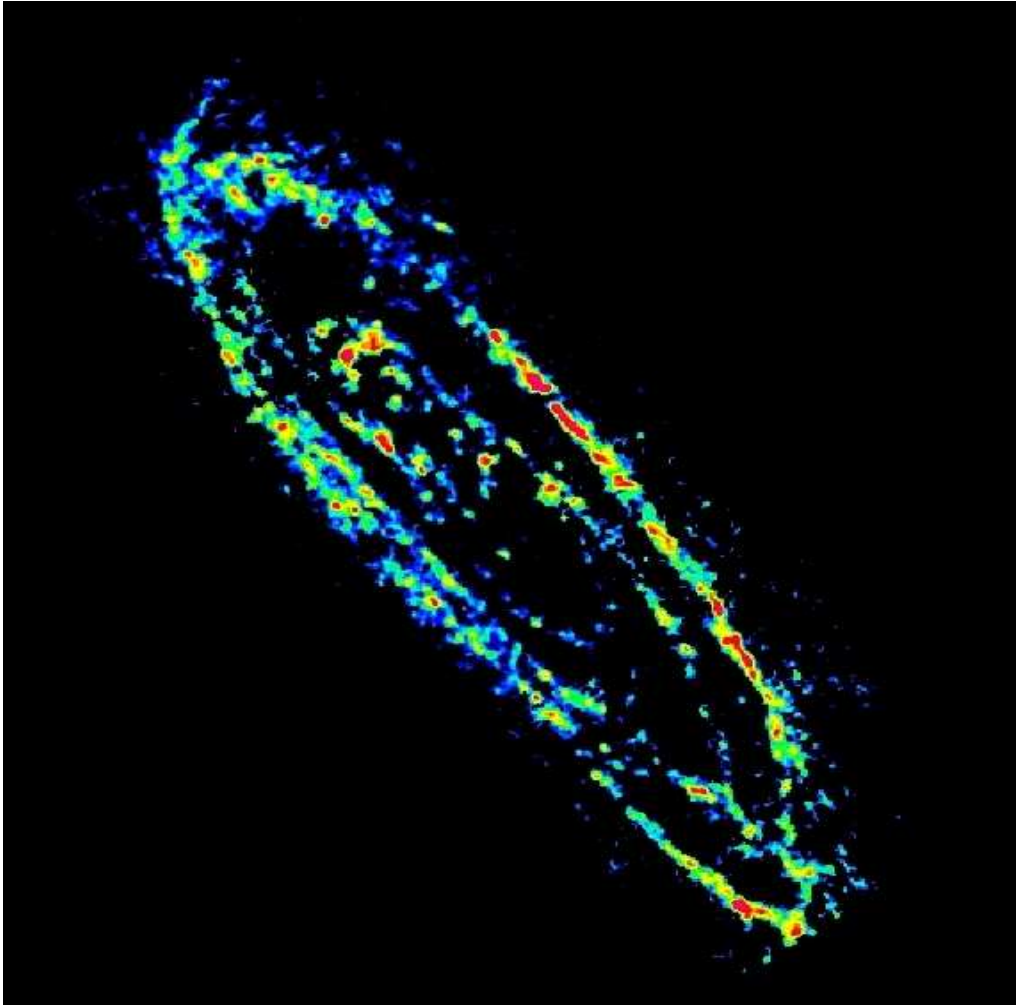
Réseau à base variable : Synthèse d'ouverture

En profitant de la rotation de la Terre ; on réalise la super synthèse d'ouverture.



Exemple : V.L.A. Very Large Array du Nouveau Mexique

ENFIN UNE IMAGE LABORIEUSEMENT OBTENUE



Galaxie d'Andromède observée à 115 GHz soit une longueur d'onde de 2,6 mm pour cartographier la molécule d'oxyde de carbone. Enregistrement pendant 800 h par le réseau interférométrique de l'IRAM du PICO VELETA près de Grenade Espagne, Données traitées à Grenoble.



Galaxie d'Andromède observée en lumière visible.

Distance : 2,5 millions d'années lumière,
Nombre d'étoiles : 400 milliards,
La lumière visible vient des étoiles dont la température de surface est d'environ 5000°C.
La lumière radio invisible vient de gaz froids à -220°C et où se forment les nouvelles étoiles

AVANTAGES DE L'ASTRONOMIE DE L'INVISIBLE

1) Les observations peuvent être effectuées quelque soient les conditions météorologiques et quelque soit le moment de la journée car l'atmosphère diffuse très peu les rayonnements RADIO. Donc pas de site privilégié. De plus les observations peuvent être cumulées pendant des centaines d'heures.

Exceptions : Rayonnements millimétriques, infrarouge et télescopes à effet CERENKOV

2) La précision mécanique des surfaces réflectrices est plus faible que celle nécessaire en astronomie optique. Des matériaux peu nobles peuvent être utilisés. Les pulsars ont été découverts avec des fils de téléphone accrochés à des poteaux.

3) Le contrôle de la phase dans les réseaux d'antennes permet de viser des objets sans nécessiter un déplacement de capteurs.

4) L'utilisation des techniques de la radio permet intrinsèquement l'analyse de spectre avec une très grande résolution, d'où des mesures aisées de vitesse grâce à l'effet DOPPLER.

5) Certains objets ayant une grande importance pour l'astrophysique ne peuvent être mis en évidence que grâce aux techniques de la radioastronomie ou de l'astronomie de l'invisible. Principalement :

5.1) Les objets froids comme le rayonnement fossile à 3 °K ou l'hydrogène neutre à 20 °K.

5.2) Les rayonnements d'objets très chauds comme la couronne solaire vers 1 million de °K ou les gaz des disques d'accrétion entourant les trous noirs portés à des millions de degrés émettant en rayonnement X.

5.3) Les rayonnements des futures étoiles.

5.4) Les rayonnements non thermiques des pulsars, quasars.

5.5) Les objets cachés dans le domaine optique par des poussières peuvent alors être détectés par exemple centre de notre galaxie, et des ondes du type RADAR peuvent même " éclairer " la surface de Vénus.

5.6.) La grande agilité des spectrographes de la radioastronomie permet d'envisager la recherche de signaux provenant d'éventuelles intelligences extraterrestres : programme SETI

INCONVENIENTS DE L'ASTRONOMIE DE L'INVISIBLE

- 1.) Nécessité d'avoir un site non perturbé au point de vue parasites radio, sachant que certaines perturbations sont quasiment impossibles à éliminer comme tous les émetteurs terrestres et même les satellites artificiels .
- 2.) Les flux d'énergie disponibles sont en général beaucoup plus faibles que ceux disponibles dans le domaine optique, d'où la nécessité de grands collecteurs.
- 3.) La dimensions des collecteurs dans le domaine de la radioastronomie est trop faible devant la longueur d'onde ce qui impose des réseaux d'antennes et des calculs complexes pour reconstituer les images. Par contre dans le domaine des rayonnements ionisants, les notions de miroir et de lentille n'existent plus, et de plus la détection est indirecte.
- 4.) Grandes difficultés pour trouver un intérêt esthétique aux documents obtenus et pour favoriser la communication avec le grand public. Peu de domaines identifiés où les amateurs pourraient rendre service. Il n'y a pas d'équivalents de comètes ou d'étoiles doubles ou variables.
- 5.) Les récepteurs en ondes millimétriques sont à la limite des possibilités de la technologie et nécessitent des systèmes de refroidissement sophistiqués .
- 6.) Les rayonnements corpusculaires ont leur composition modifiée lors de leur traversée de l'atmosphère.

EXPERIENCES A LA PORTEE DES ASSOCIATIONS OU D AMATEURS

Les expérimentations n'ont d'intérêt que si un enregistrement continu est effectué, et si des mesures de référence peuvent être obtenues.

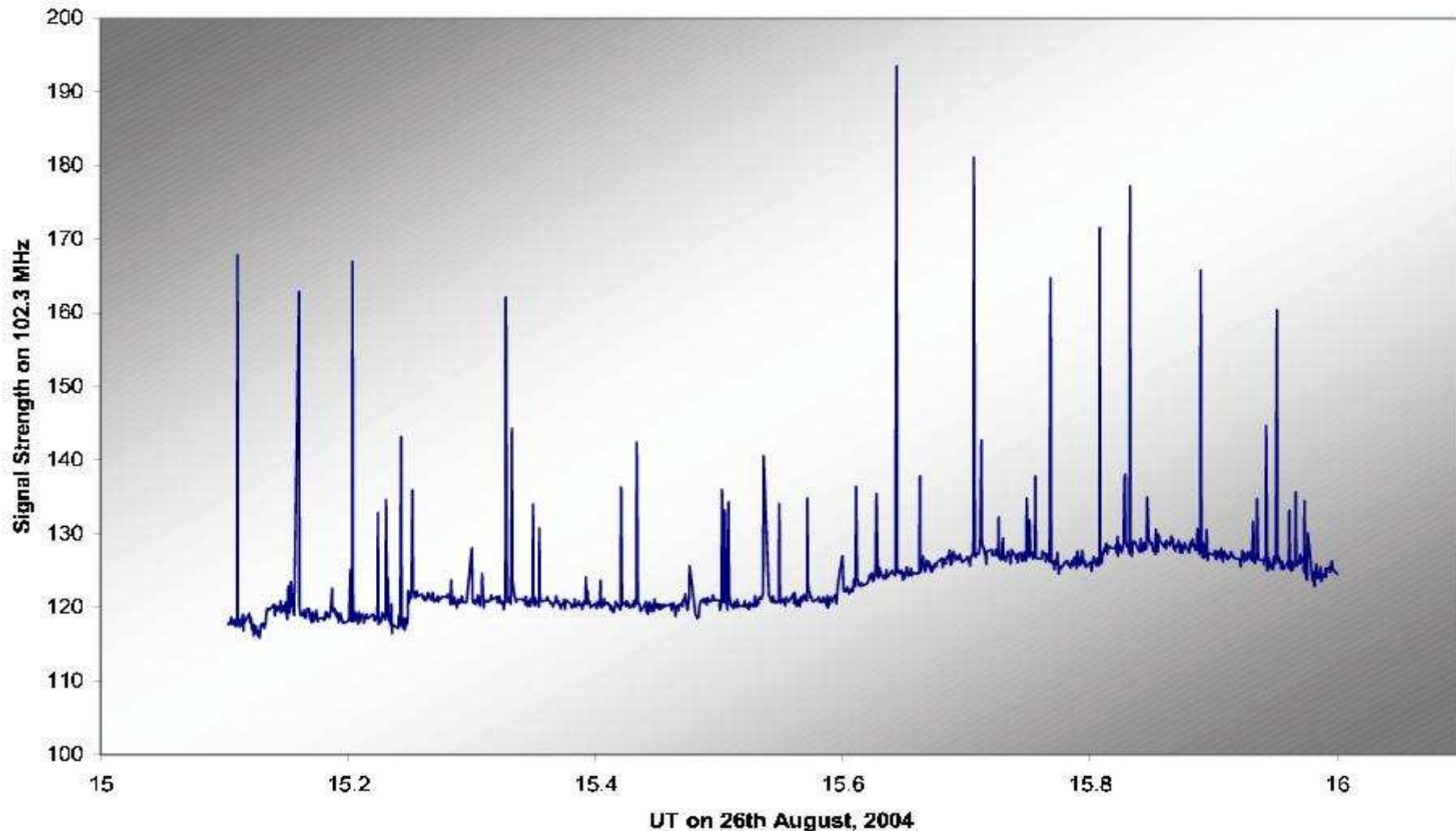
Beaucoup d'informations sont disponibles surtout en anglais sur Internet

- . Association RADIO OBSERVATIONS de Pleumeur Bodou**
- . SARA**
- . SETI**
- . Groupement Français pour l'Observation et l'Etude du Soleil**
- . Amateur Radio Astronomy Web Ring**
- . Radiotelescope Lucie**

1) Traînée météoritiques (Meteor scatter)

Sursauts de réception des émetteurs lointains reçus dans la gamme de la radio F.M.
Les traînée météoritiques : vaporisation des météorites qui arrivent à grande vitesse dans la haute atmosphère se comportent comme des réflecteurs à très haute altitude qui décuplent pendant quelques dizaines de secondes la portée des stations de radio FM.

Meteor Echoes



2) Mesure de la distance TERRE - LUNE (E.M.E)

Phénomènes d'échos obtenus sur la lune en utilisant du matériel de radioamateur dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques. Le magnétron des fours à micro-ondes peut être envisagé.



3) Raie Hydrogène à 1420 MHz

Utilisation de paraboles prévues pour la réception des satellites de télévision directe dans la bande C (4GHz).

Le récepteur est soit le démodulateur satellite, soit un "scanner".

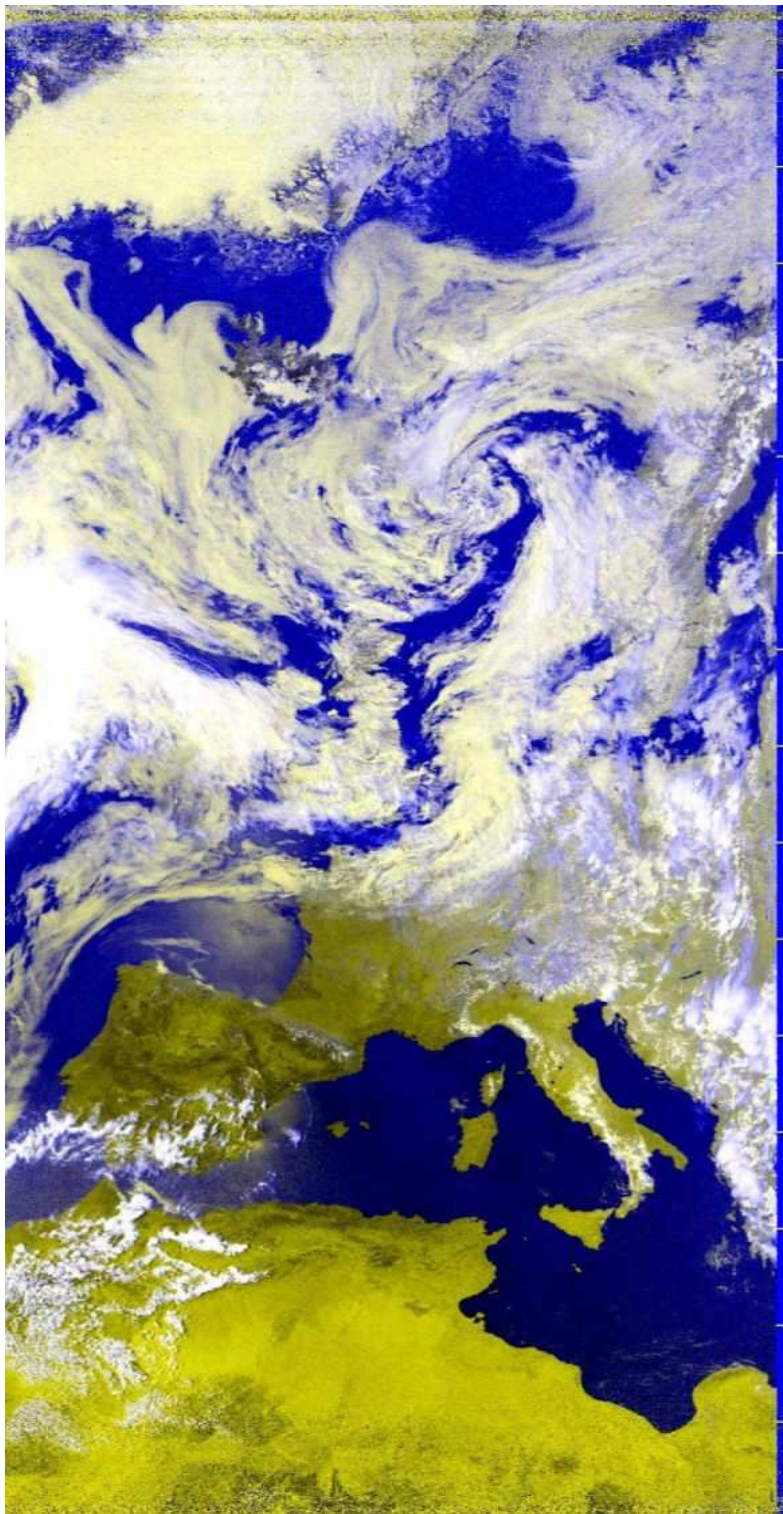


4) Rayonnement du soleil à 4 GHz et 11/12 GHz

Utilisation des installations de réception de satellites de télévision directe dans les bandes C et KU pour recevoir le rayonnement de la couronne solaire et mesurer l'activité des perturbations solaires.



SOLAR TRANSIT
FREQ → 4 GHz
BEAMWIDTH 2°
2.6 METRE DISH
I.F. BANDWIDTH 35 MHz

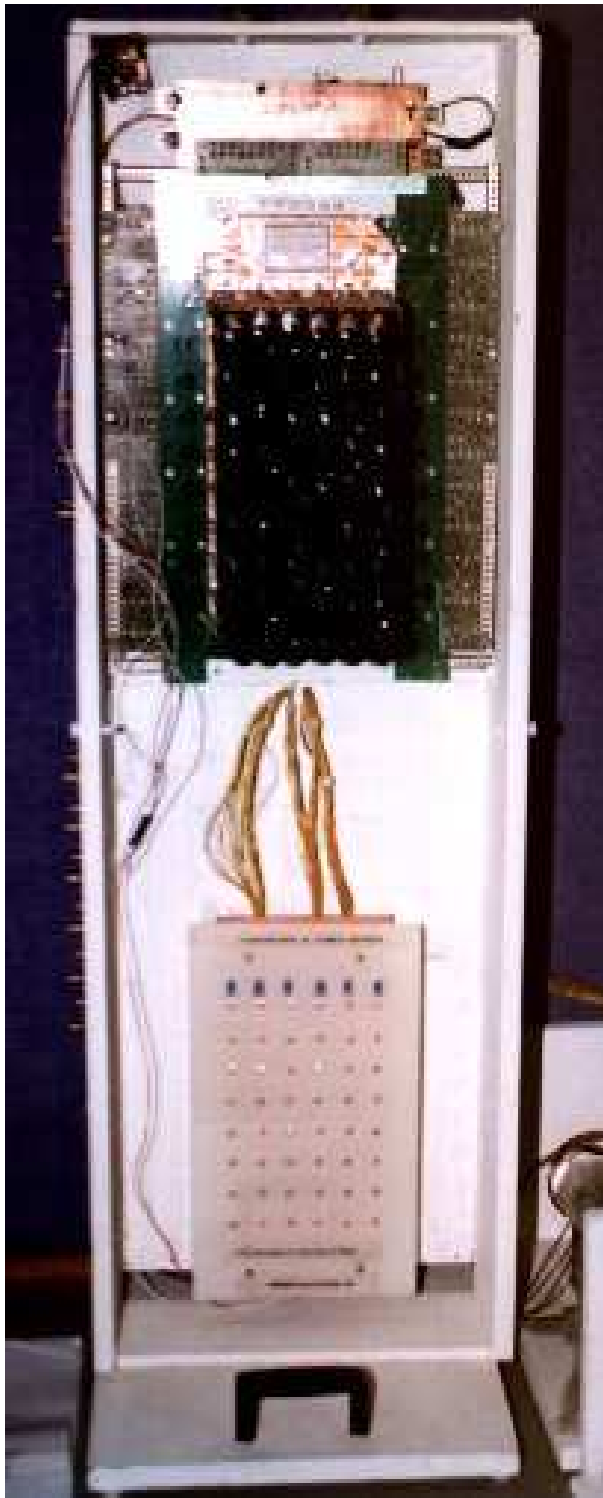


5) Réception des images des satellites météorologiques

Les stations de réception des satellites météorologiques sont disponibles à bas prix. Elles permettent de recevoir les satellites défilants à 137 MHz et les satellites géostationnaires à 1690 MHz.

Il est facile de voir les éruptions de l'ETNA

Noaa14 15:28. 01 July 1999 Vue de l'Europe



6) Rayonnement cosmique

Utilisation d'appareils de détection des rayonnements ionisants :
Tubes de GEIGER-MULLER (FAIT)

L'hodoscope réalisé et montré ci-contre est une version modernisée de celui conçu par Louis Le Prince Ringuet dans les années 1930,

La difficulté technique est l'élimination des détections parasites dues à la radio-activité du potassium du verre des tubes. Il a fallu utiliser un dispositif de détection de coïncidences.

- Scintillateur à eau (Effet CERENKOV) et détection des impulsions lumineuses par photomultiplicateur
- Chambre à brouillard permanent où des vapeurs d'alcool méthylique sursaturantes se condensent lors du passage des corpuscules.
- Projet de détection des particules dans les cellules de transistors MOS. En cours d'étude de faisabilité.

7) Rayonnement décimétrique de JUPITER + IO

Utilisation de récepteur de radioamateur et d'antenne directive vers 20 MHz.

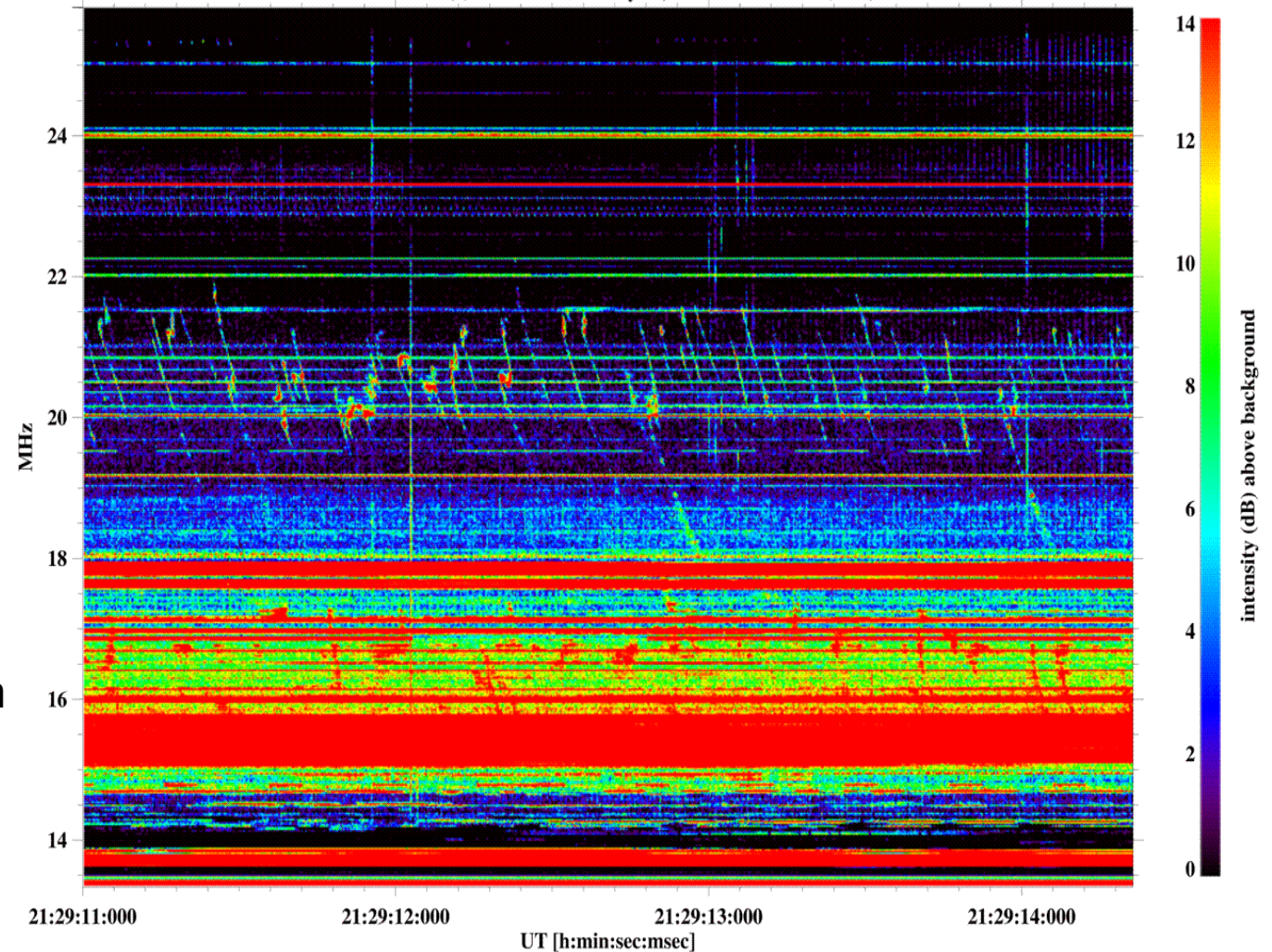


Un projet pédagogique d'envergure mondiale soutenu par la NASA JOVE permet de réaliser à peu de frais et avec des moyens d'amateurs une station de réception complète des émissions de Jupiter : récepteur + antenne

Site : <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/>

Jan_17_21_29_11_2002.dsp

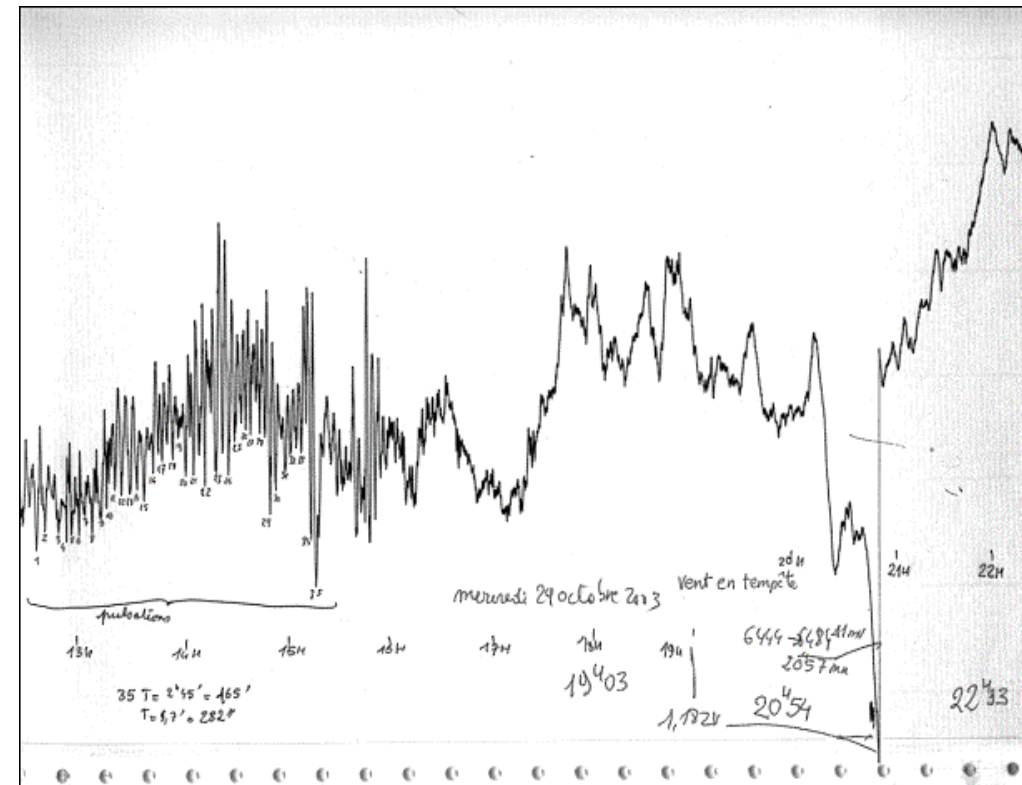
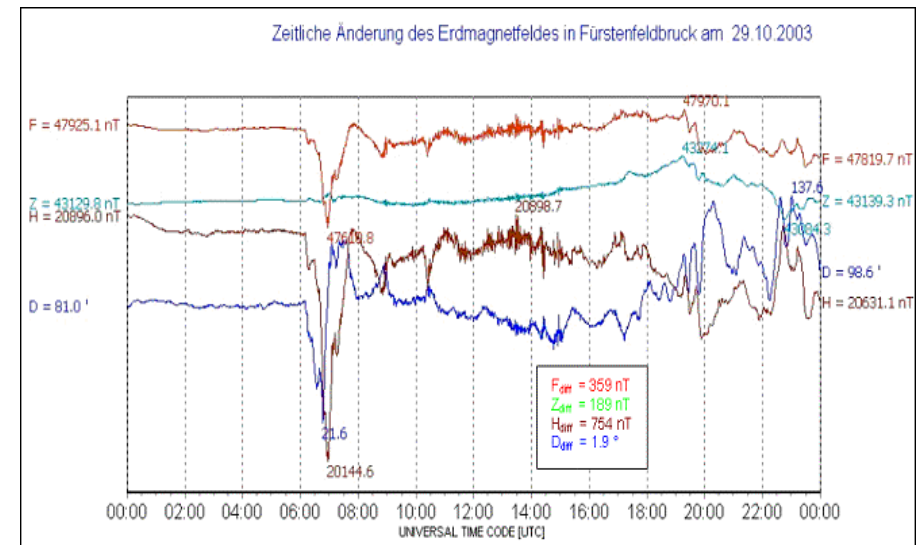
(1) Graz on January 17, 2002 res. = 4ms (DSP)



8) Perturbations du champ magnétique terrestre liées avec l'activité solaire

- Utilisation d'un magnétomètre à protons du type de ceux utilisés par les chercheurs de trésors. Les protons des molécules d'eau contenues dans une bouteille oscillent à une fréquence proportionnelle à la valeur du champ magnétique terrestre.
- Utilisation d'un magnétomètre à vanne de flux. FAIT

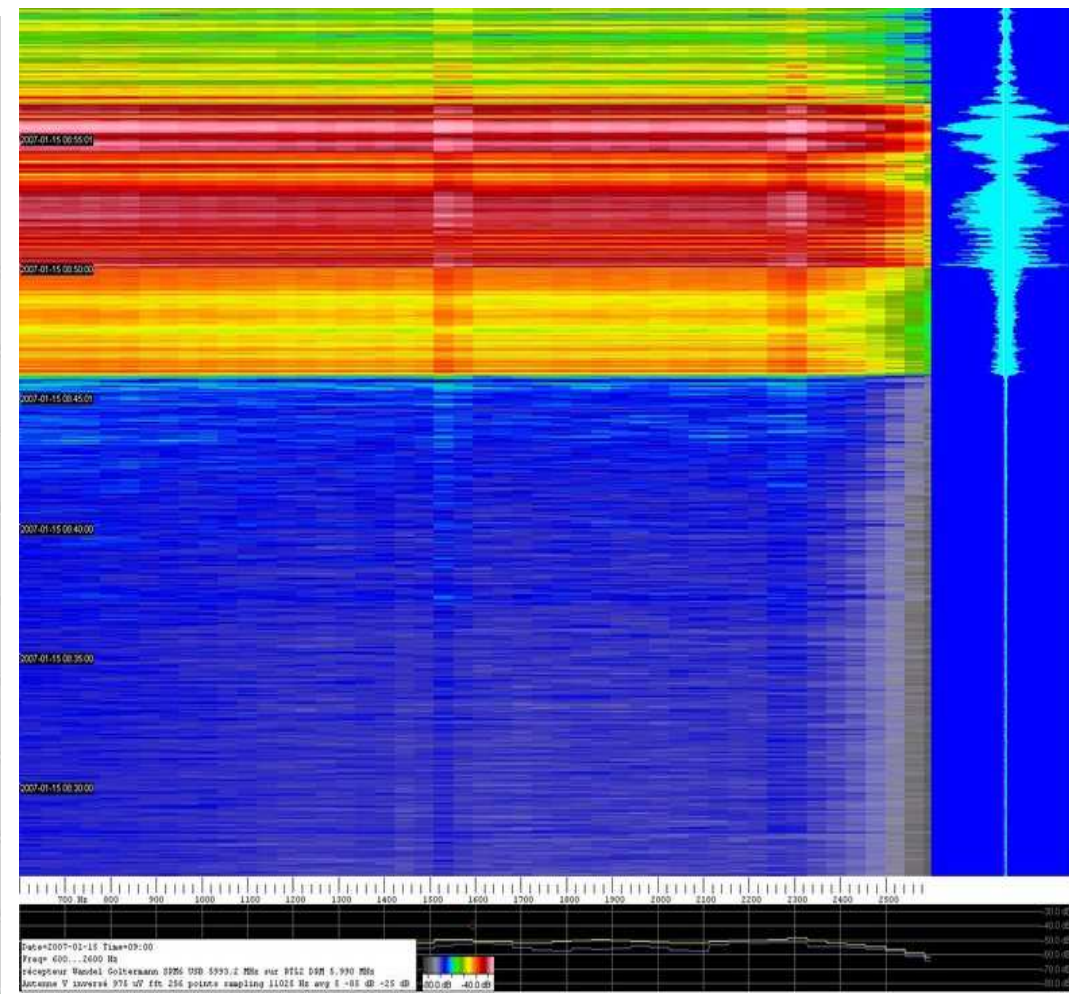
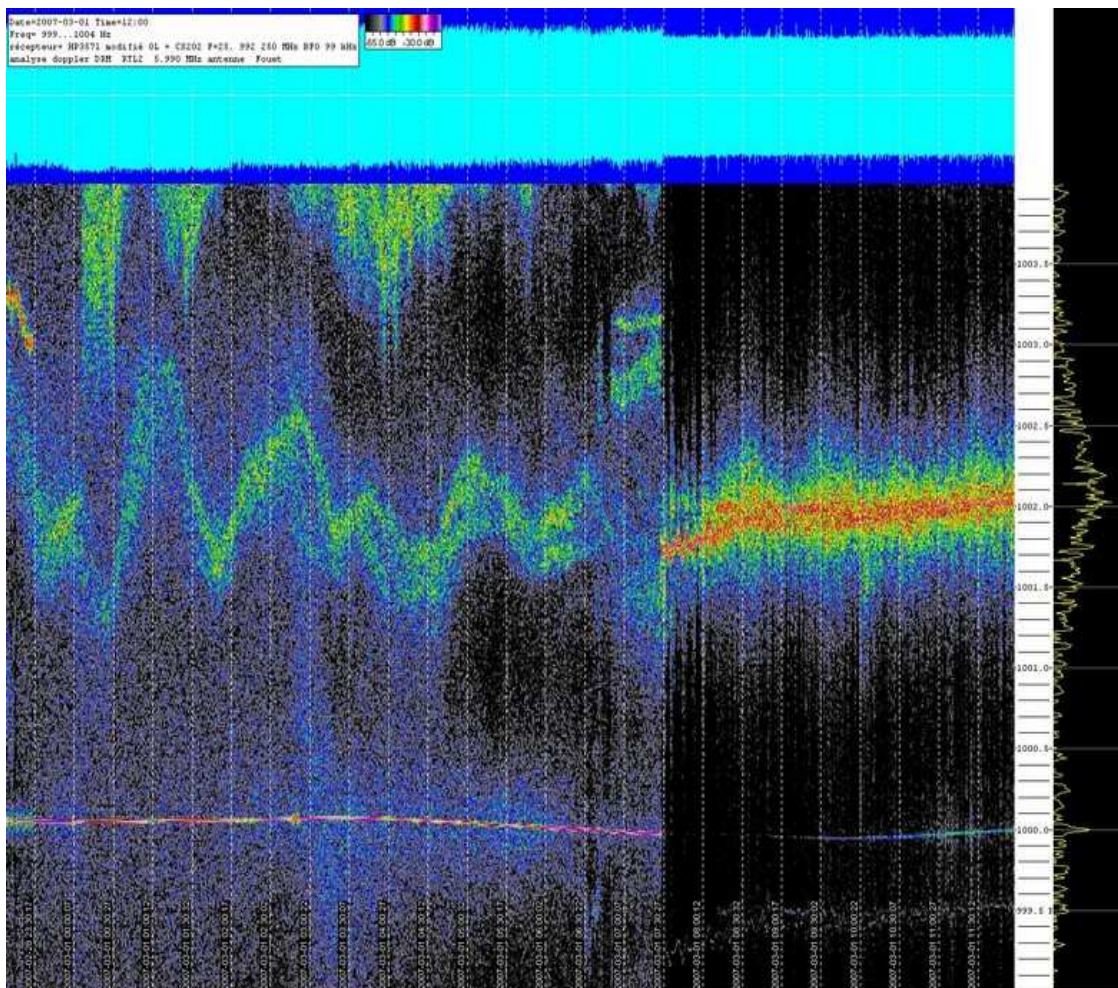
Un matériau magnétique à très haute perméabilité est saturé par le champ magnétique terrestre. On mesure le champ antagoniste qui désature ce matériau. L'aurore boréale du 30 octobre 2003 a été ainsi détectée.



9) Mesures de la propagation des ondes myriamétriques et décamétriques en relation avec l'activité du soleil

Utilisation d'amplificateur accordés à grand gain et d'antennes cadre pour les ondes myriamétriques. Utilisation de récepteur à ondes courtes pour les ondes décamétriques. En cours avec la mesure de perturbations Doppler de porteuse de référence dans les émissions de radio DRM de la station RTL à 5,990 MHz.

L'enregistrement ci-dessous montre la transition nuit-jour avec deux types d'analyse spectrale. Le début du jour se caractérise par deux trajets ionosphériques reconnaissables par un dédoublement des raies avec battements et un très fort renforcement du signal,



10) Mesure de l'opacité de l'ionosphère par surveillance continue du niveau du bruit galactique (RIOMETRE)

Un récepteur sensible et stable mesure tous les jours le bruit de fond dû au rayonnement synchrotron de la galaxie pour plusieurs fréquences autour de 30 MHz.

Si l'ionosphère est non perturbée les courbes sont superposables d'une journée sur l'autre ; en cas d'éruption solaire, les signaux galactiques ne sont plus superposables.

Données téléchargées depuis l'observatoire finlandais :

Sodankylä Geophysical Observatory: geophysical measurements and research since 1914.

SGO, located 120 km north of the Arctic Circle in Finland, is an independent department of the University of Oulu,

