

LOFAR

~~The~~ A Low-Frequency Array

et le consortium FLOW

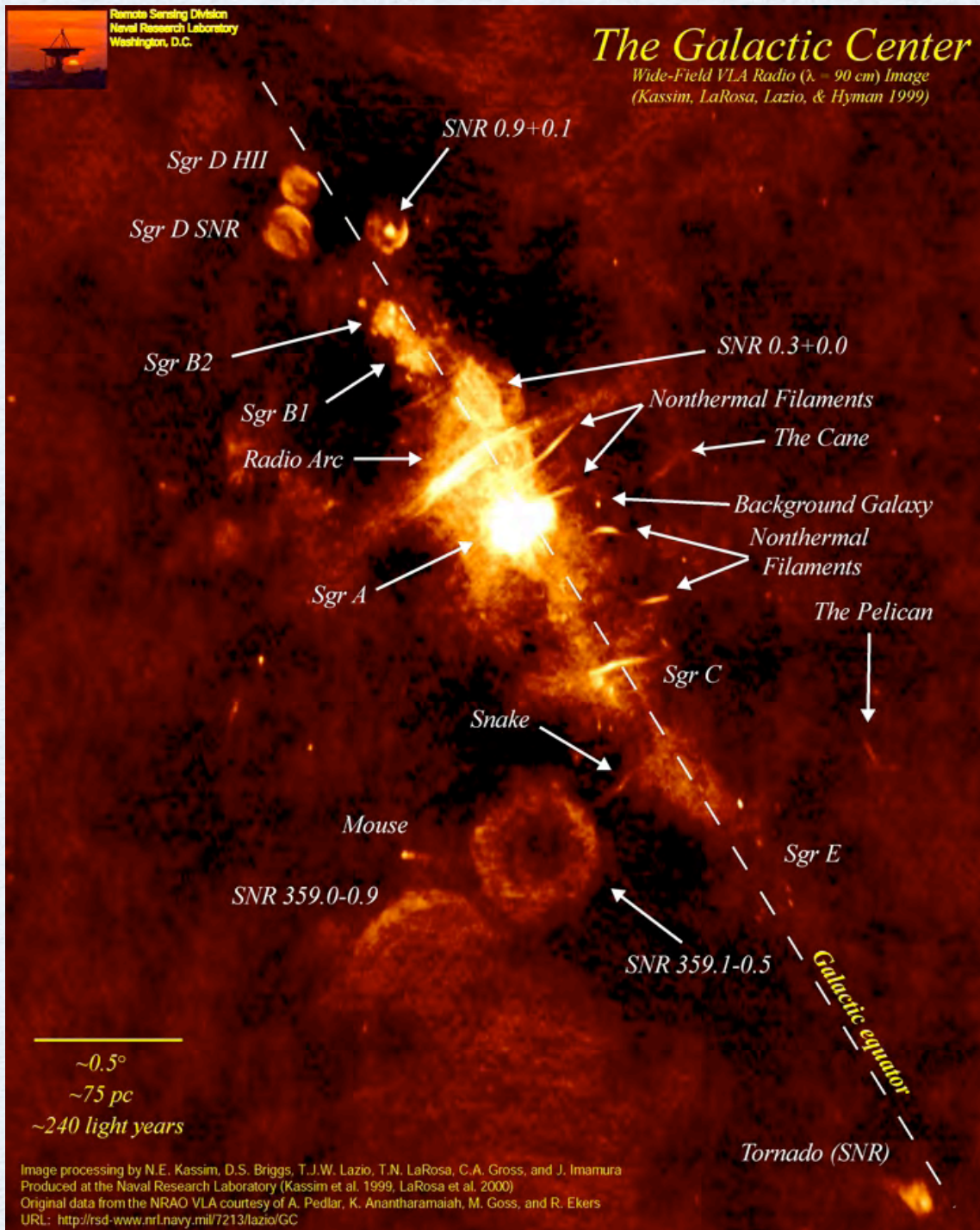
Michel Tagger



Ce que LOFAR ne verra pas...

... mais hommage à des progrès lents et méthodiques en radio-astronomie basse fréquence ...

Kassim et al. : Centre Galactique @ 90 cm



Discovery Channel
+ Mark Morris :

Voyage au centre de la
Galaxie

historique

- longue collaboration NL + USA (+ France)
- concept LOFAR
- opportunité : financement régional (Drenth) + national en Hollande
- → LOFAR hollandais, ~ 75 M€

un Interféromètre de Réseaux Phasés

$\Delta f = (10)30\text{--}240$ MHz (1.25 - 10 à 30 m)

$A_e \sim 200000$ m², Cœur + Stations concept novateur et précurseur : $\sim 10^4$ antennes très simples
+ traitement massif centralisé (BlueGene)

Frequency dependent Array Performance (Initial array)

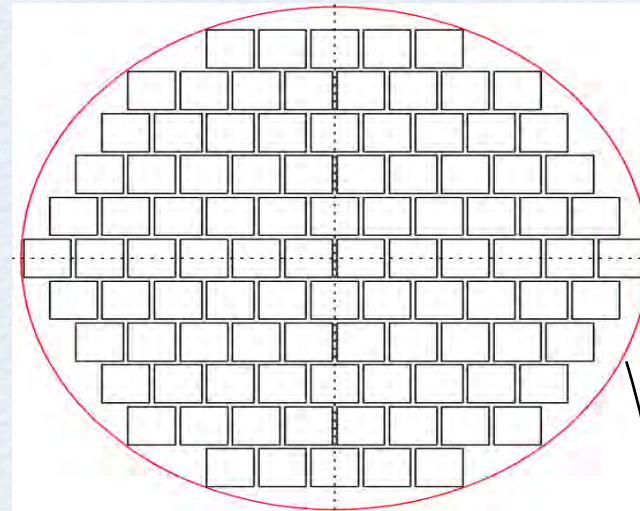
Frequency	Point Source Sensitivity ^(b)		Effective Collecting Area		Beam Size	
	VC	Full Array	VC	Full Array	VC	Full Array
30 MHz	4.8 mJy	2.0 mJy	7.9×10^4 m ²	1.9×10^5 m ²	21'	25"
75 MHz	3.3 mJy	1.3 mJy	1.2×10^4 m ²	3.0×10^4 m ²	8.3'	10"
120 MHz	0.17 mJy	0.07 mJy	7.9×10^4 m ²	1.9×10^5 m ²	5.2'	6.0"
200 MHz	0.15 mJy	0.06 mJy	2.9×10^4 m ²	6.9×10^4 m ²	3.1'	3.5"

+ polarisation

^(b) Sensitivity quoted for 1 hour integration time, 2 polarizations and 4 MHz bandwidth

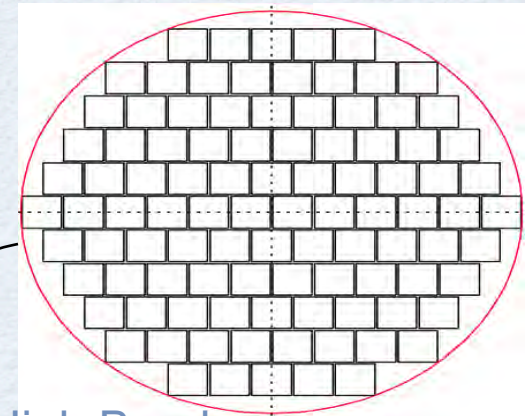
LOFAR = ~ 100 stations
des antennes très simples...

96 tuiles HF + 96 antennes BF



Low Band

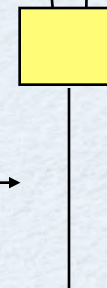
60 m



High Band

50 m

+ liaison 3 Gbit/sec



corrélées par un ordinateur central:

IBM BlueGene, 27 Tflops (= 2/3 de TERA), 0.5 Tbits/s en entrée...

Subsystems: Blue Gene/L



➤ 6 racks

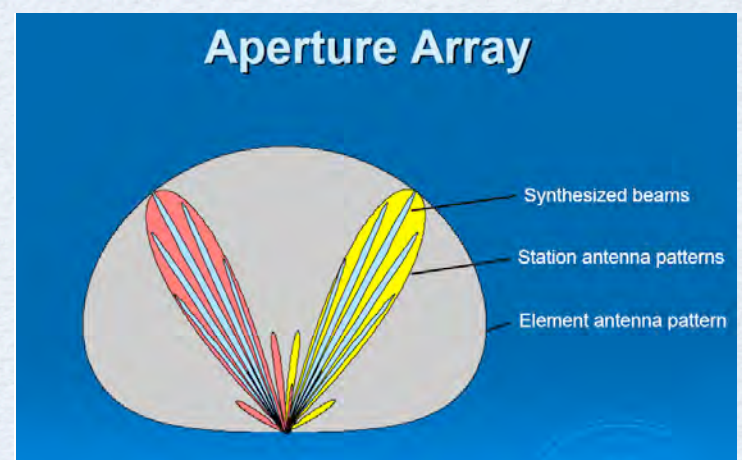
- 128 IO nodes and 1024 compute nodes per rack
 - Internal Tree and Torus (175 MB/s * 6 directions)
 - Compute node
 - Dual core
 - 512 MB RAM
 - IO node
 - 1 GbE connection
 - Connected to 8 compute nodes
 - Diskless
- 1 Service Node (p650 + DB2)
- 8 Front-End nodes for development



Sockets on Tree

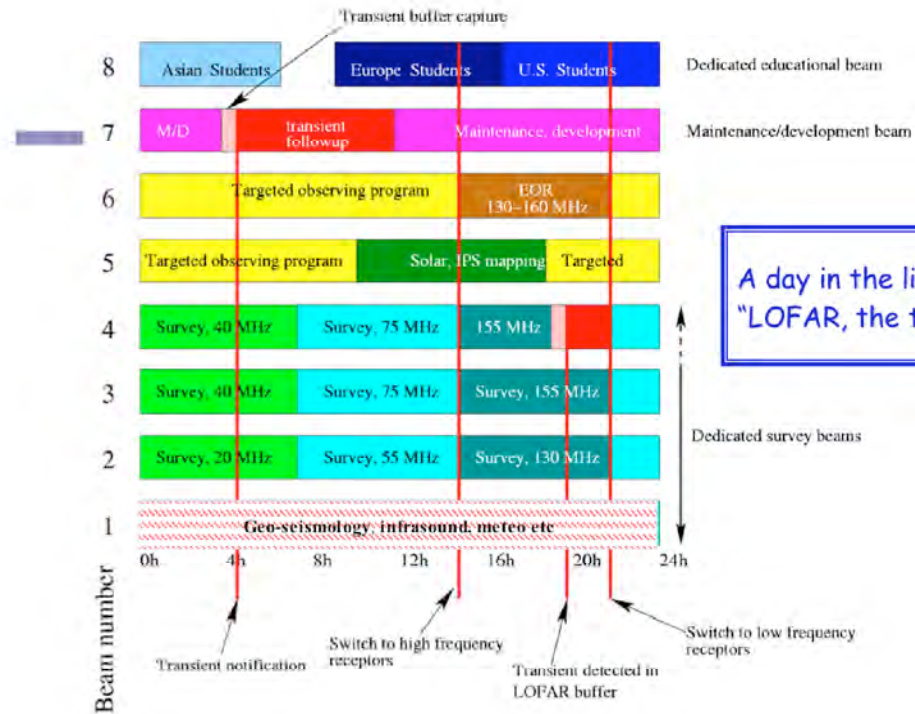


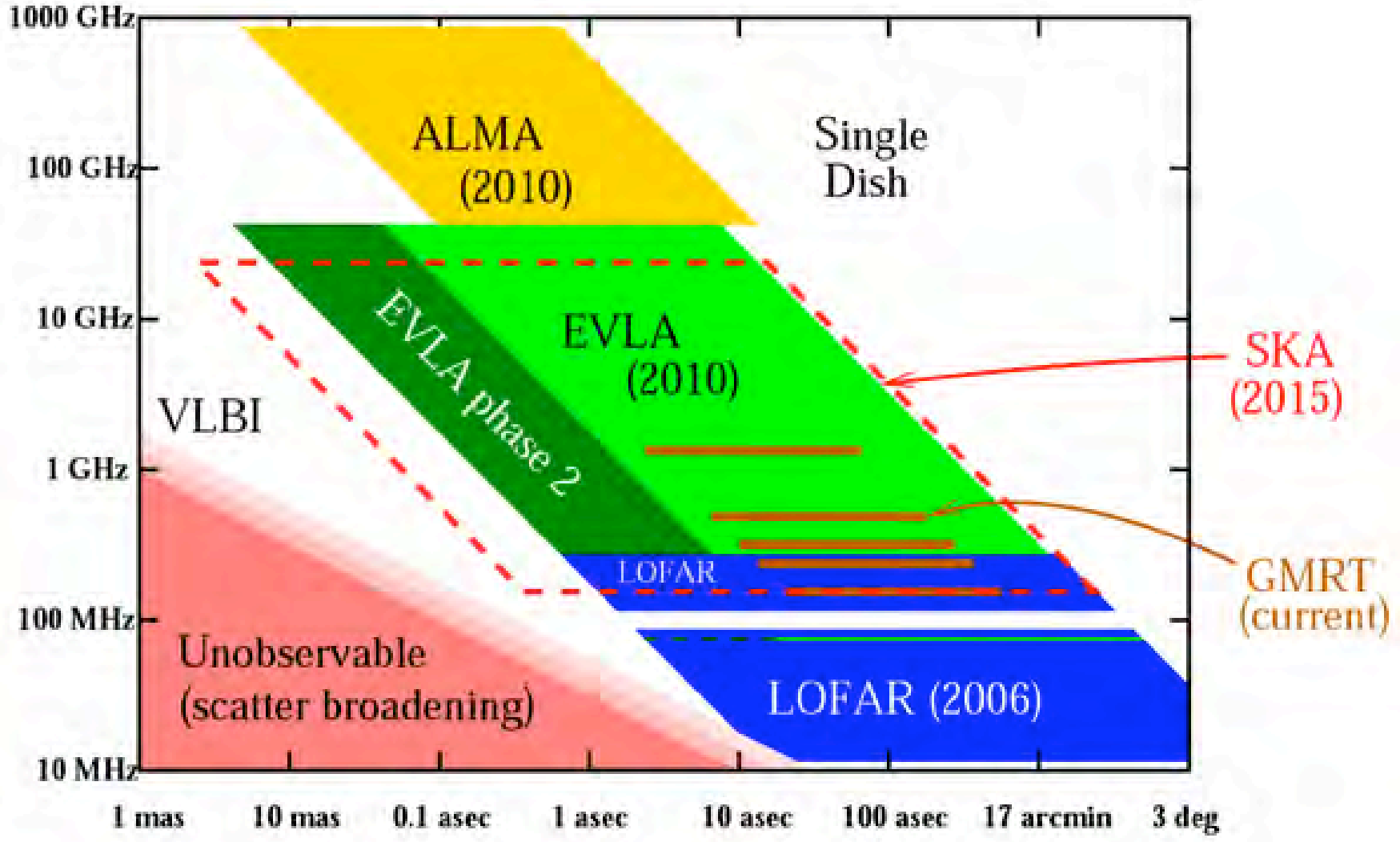
synthèse d'ouverture :



modes d'observation diversifiés :

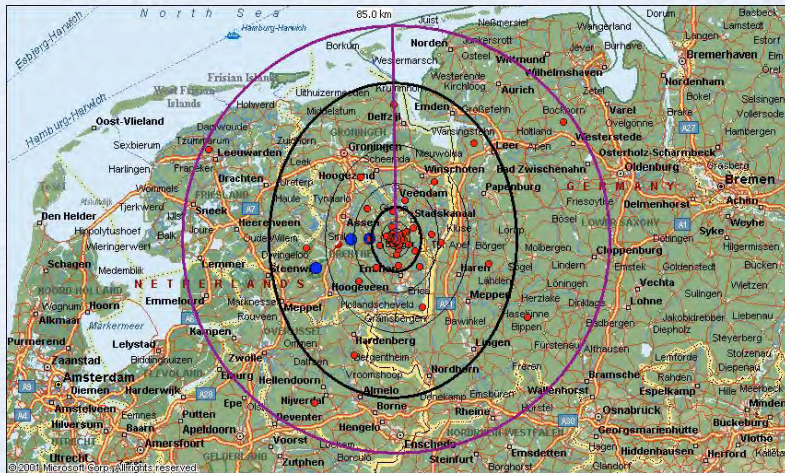
- jusqu'à 8 pointages simultanés,
- repointage, changement de fréquence instantanés
- all-sky monitor
- pointage a posteriori à partir d'un buffer des données
- ...



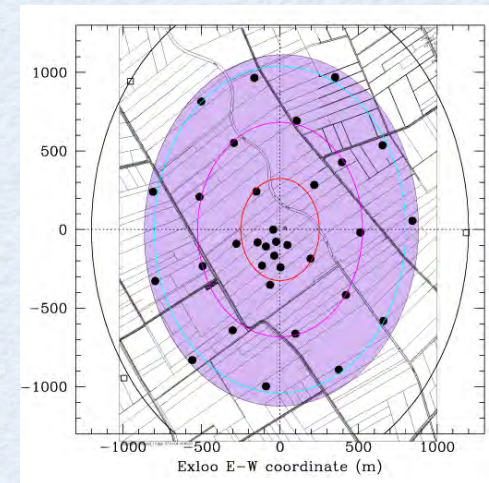


Calendrier du Projet

- 1/2006 Formation des SWG :
(ex. : Transients Key Project :
(1) Jets (2) Pulsars
(3) (exo)Planètes (PI P.Zarka) (4) Étoiles/Flare star
- 1^{ère} Station Cœur (CS-1) 2007
- 2007 : Début de fonctionnement, 2009 : Fonctionnement final



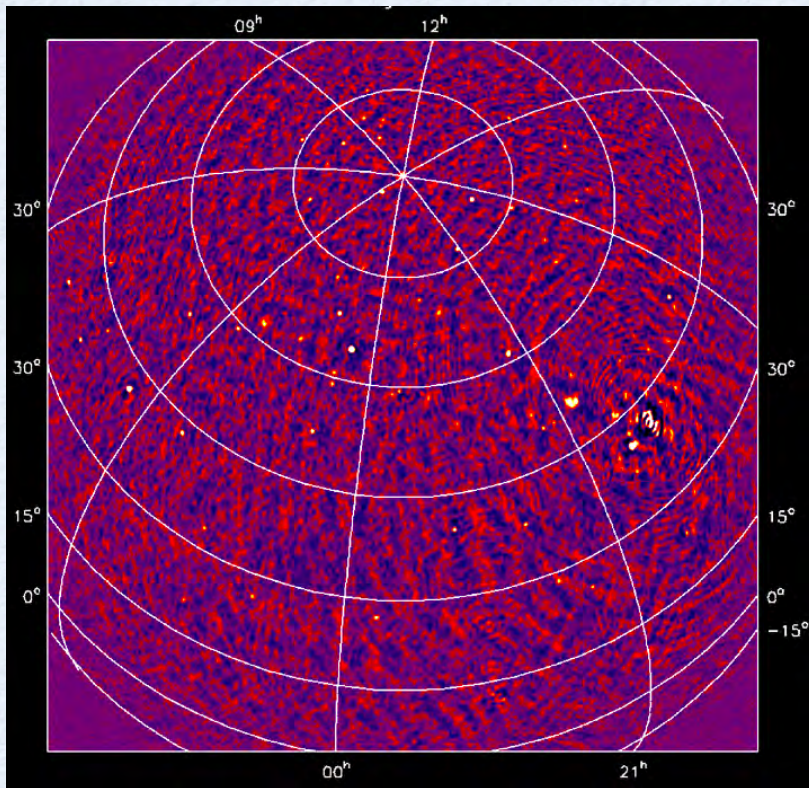
77 stations en
Hollande + stations
étendues dans
d'autres pays



2006+ : Expansion Européenne = Allemagne (GLOW : 4 à 12 stations),
UK (3-4) , France (1), Suède (1 ?), Pologne (1 ?),
Italie

première lumière, Avril 2007

Core station 1, éclatée en sous-stations

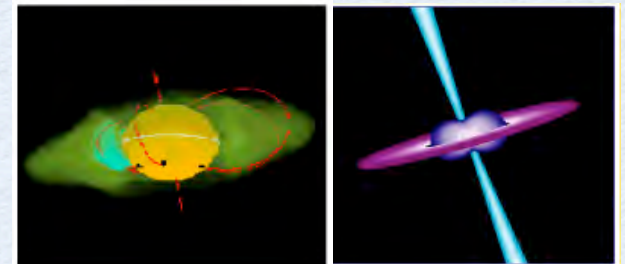
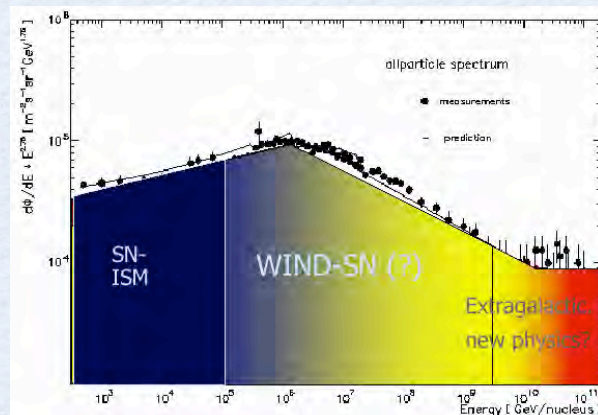
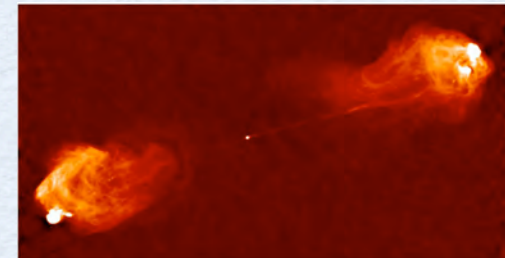
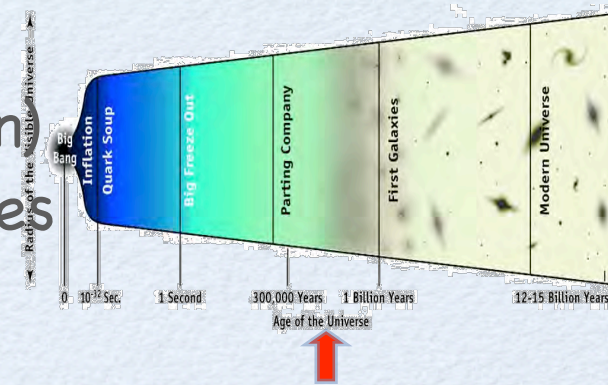


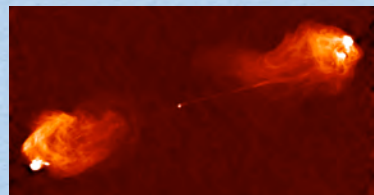
résolution $.5'$

Cyg A soustraite,
40 sources
identifiées

objectifs scientifiques

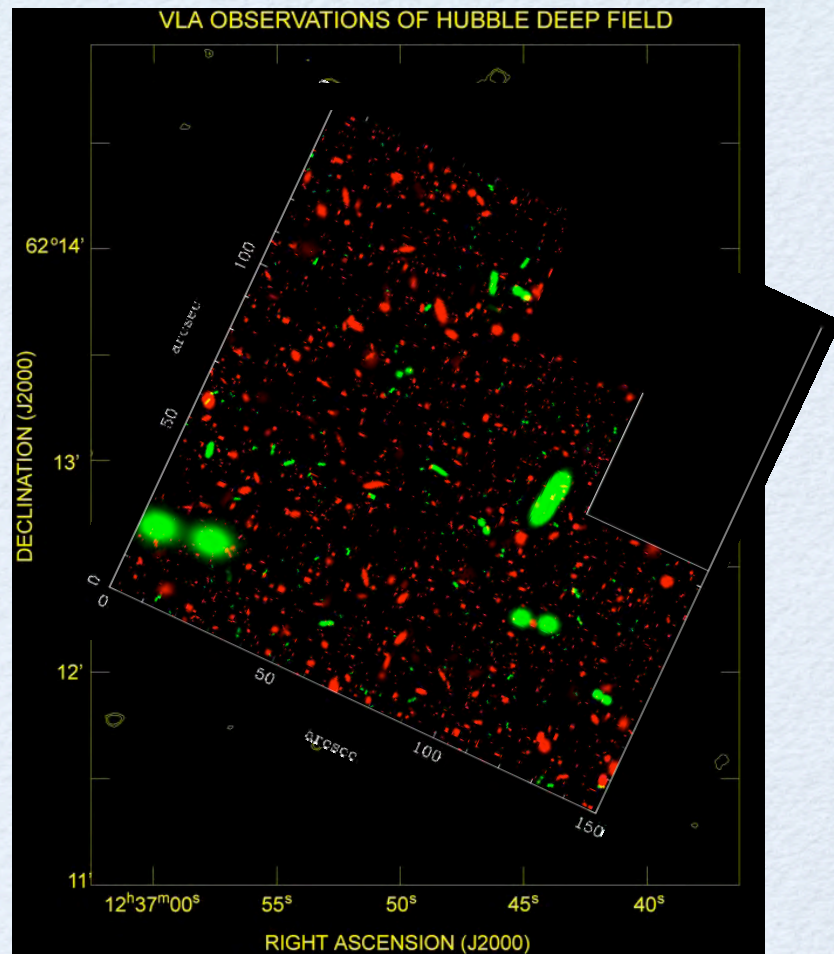
- cosmologie / réionisation (Groningen)
- surveys profonds all-sky/galaxies (Leiden)
- transitoires : sources variables/sporadiques (Amsterdam)
- rayons cosmiques (Nijmegen)
- magnétisme galactique (Bonn ?)
- physique solaire & spatiale (Potsdam ?)





champs profonds : des millions de nouvelles sources

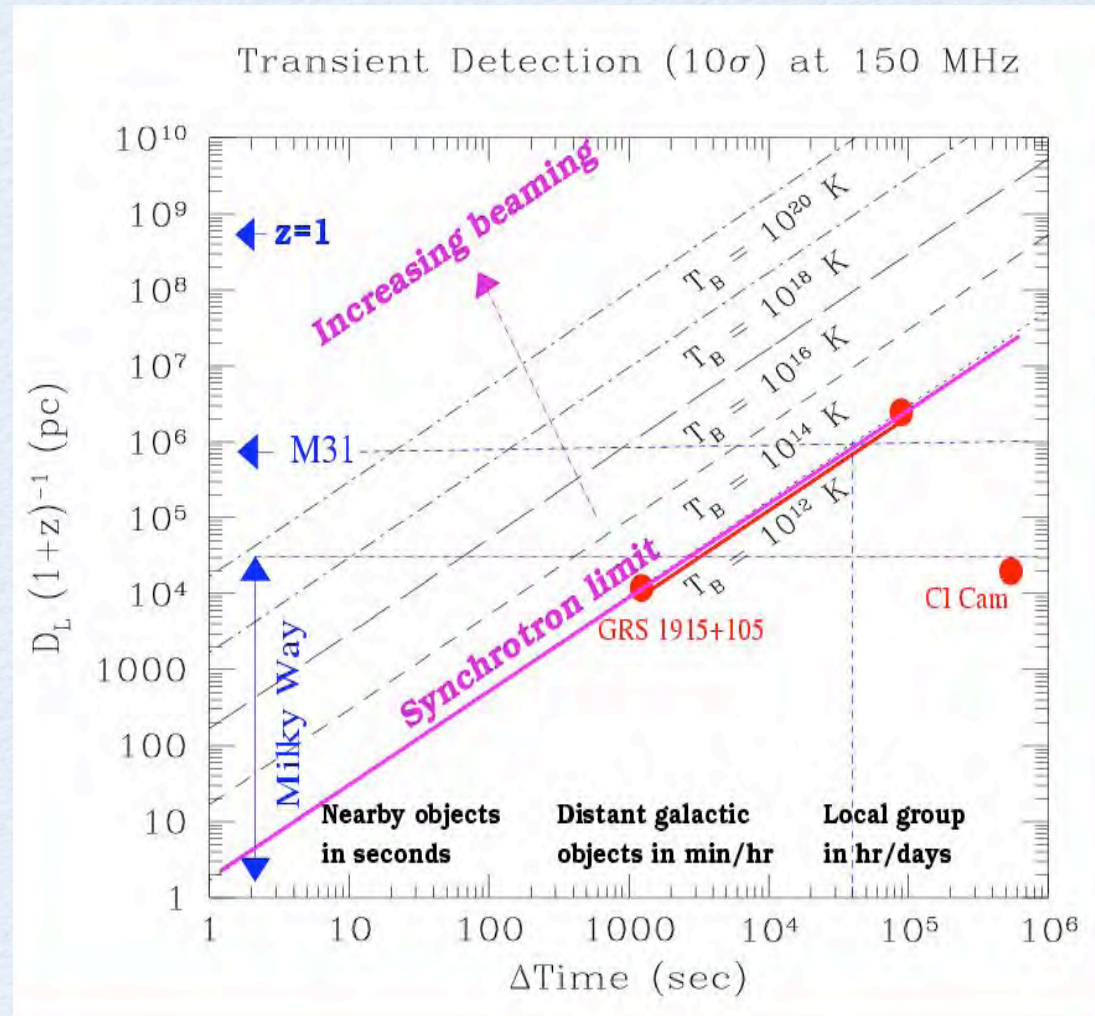
- télescope à grand champ pour les surveys
- moniteur du ciel entier pour la détection des transitoires
- > 100 millions de nouvelles sources attendues :
 - étoiles et planètes
 - galaxies à formation d'étoiles
 - trous noirs actifs
 - premiers objets de l'Univers
 - ???



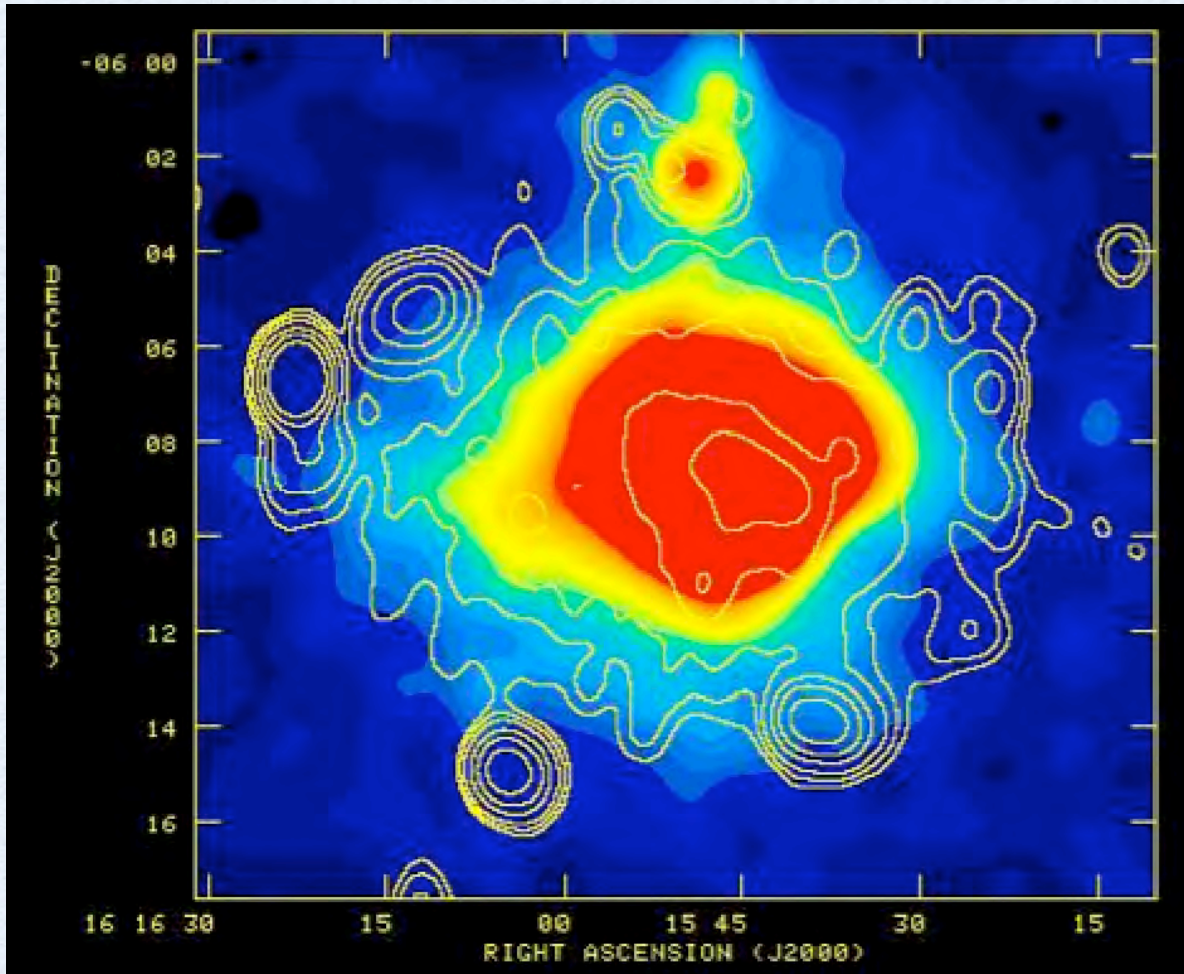
HDF/Simulated radio deep field.

Transitoires

- sources
Synchrotron
compactes
AGN, binaires X,
GRBs
- processus
cyclotron &
coherents
étoiles & planètes
- scintillation
toutes les sources
compactes



gaz chaud dans les amas de galaxies

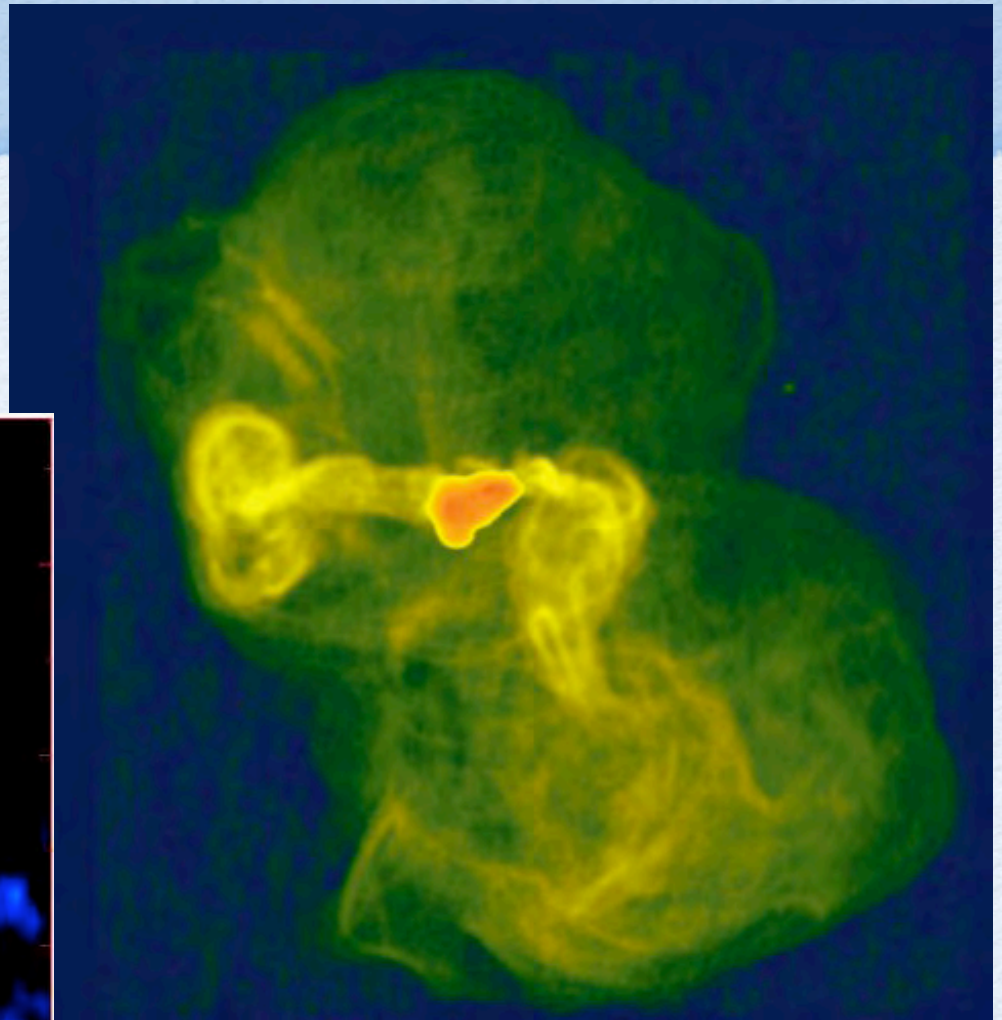


L'amas A2163
vu en X
(couleurs) et
radio à 21 cm
(contours)

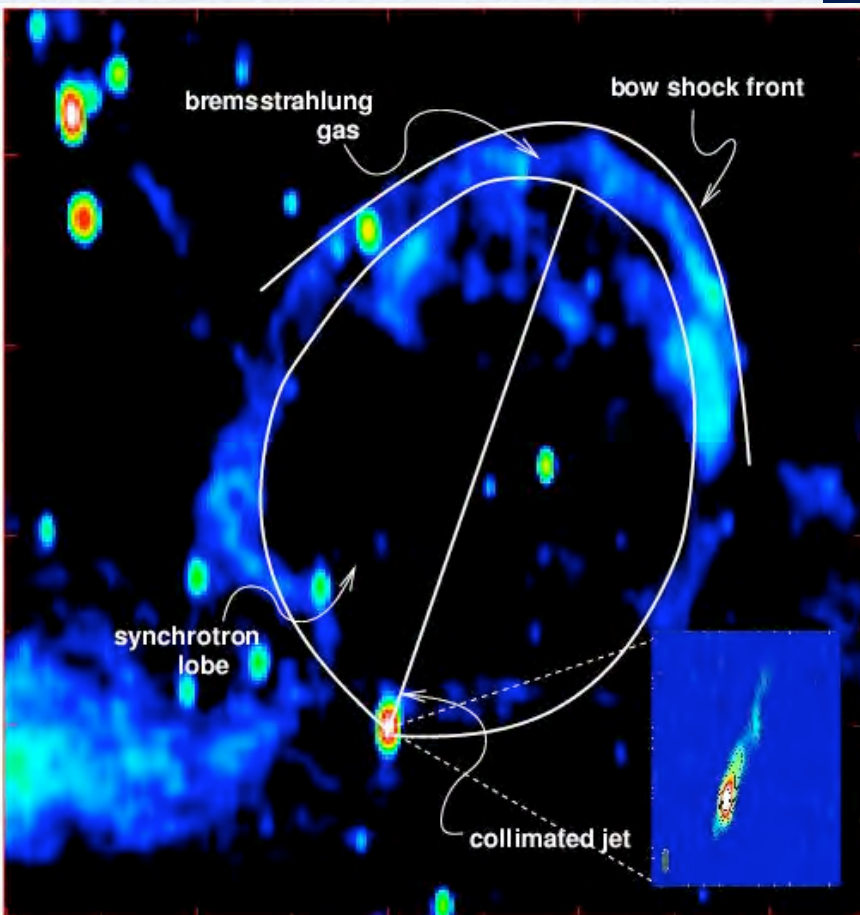
-> halos et
reliques

jets

VLA 90 cm: bulles
produites par le jet de
M87 (plus d'énergie
que le jet X !)

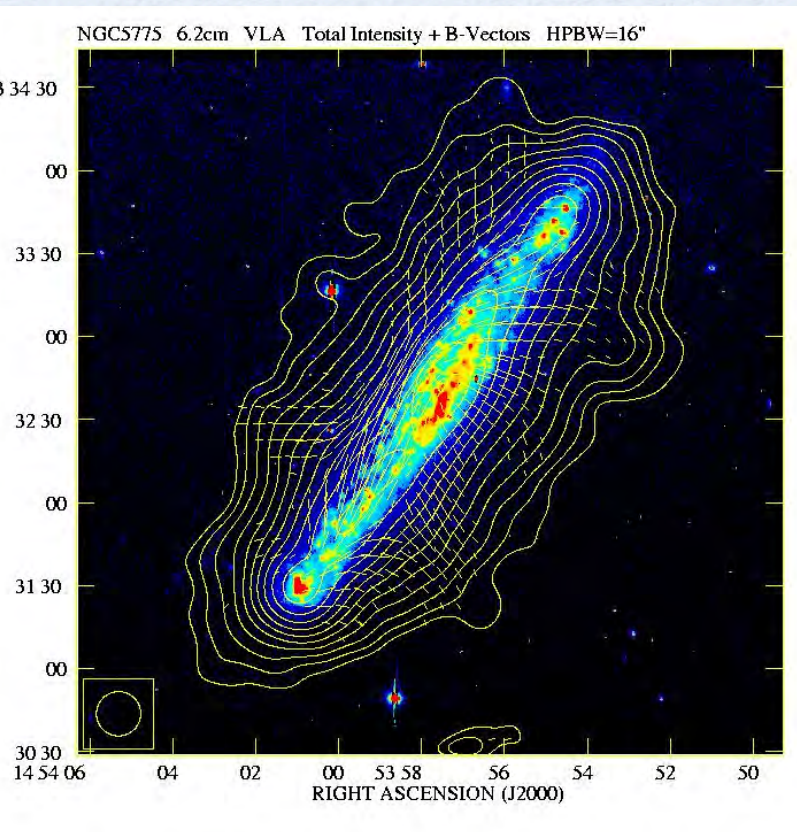


idem pour Cyg X1 (Westerbork 21 cm)



halos galactiques : champ magnétique

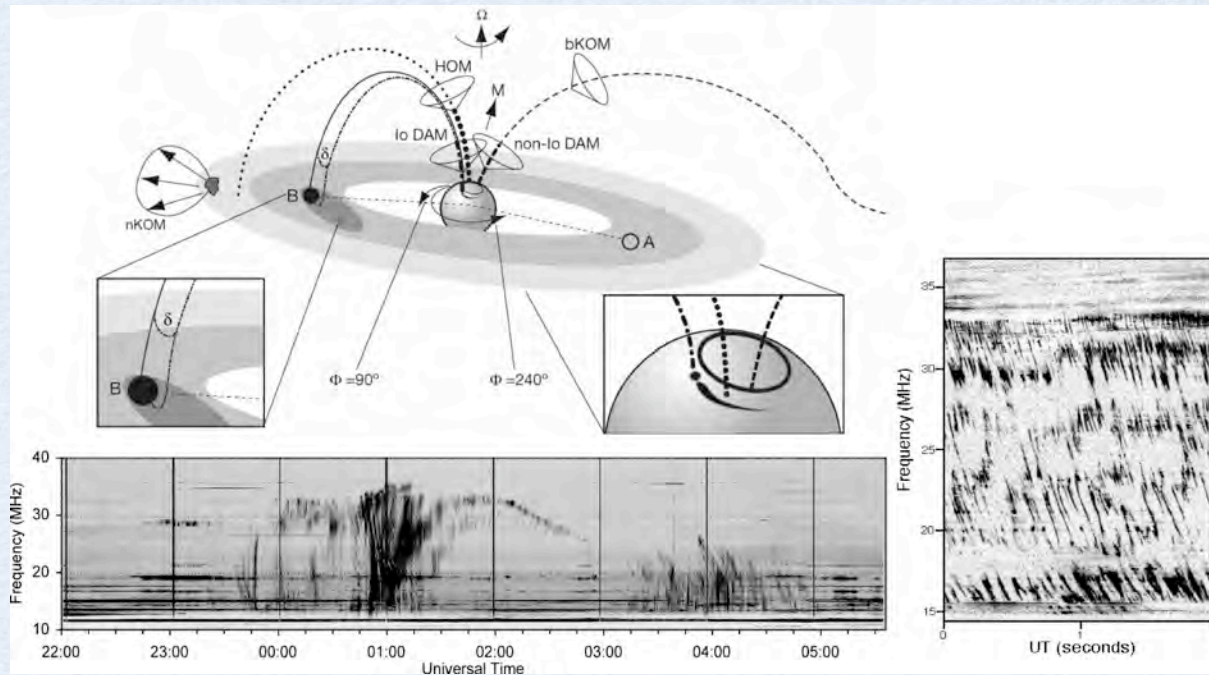
NGC 5775, intensité et polarisation



M51, HST+VLA+Effelsberg



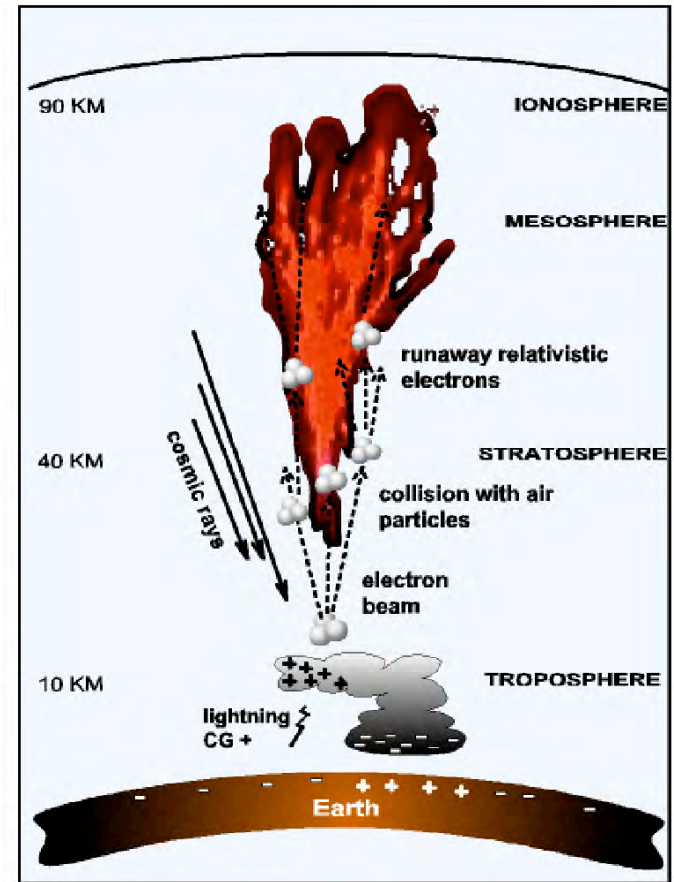
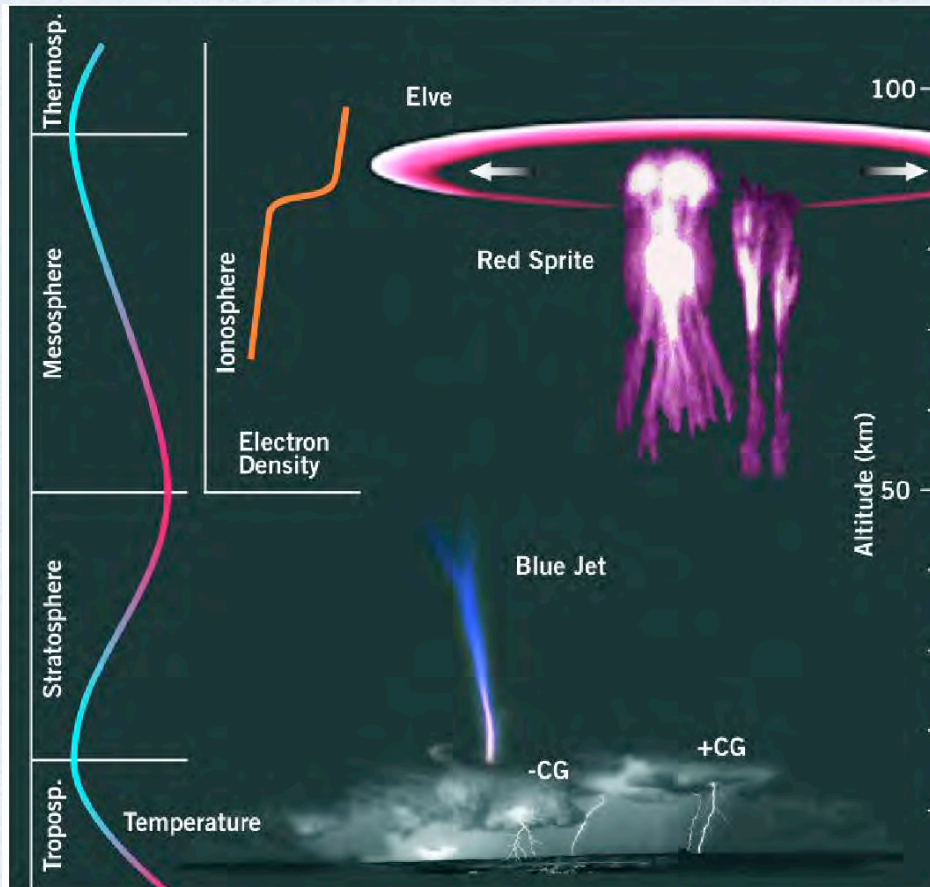
planètes et exoplanètes



Emission radio de Jupiter
+ autres planètes géantes

... + exoplanètes ?

phénomènes atmosphériques



sprites, jets, elves... → en liaison avec le microsat Taranis

autres applications: géophysique, agronomie

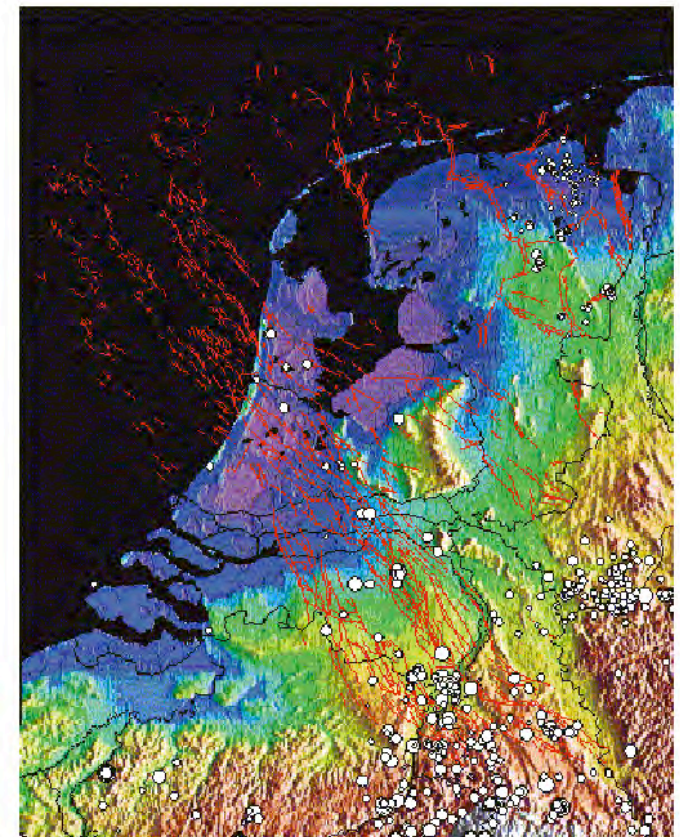
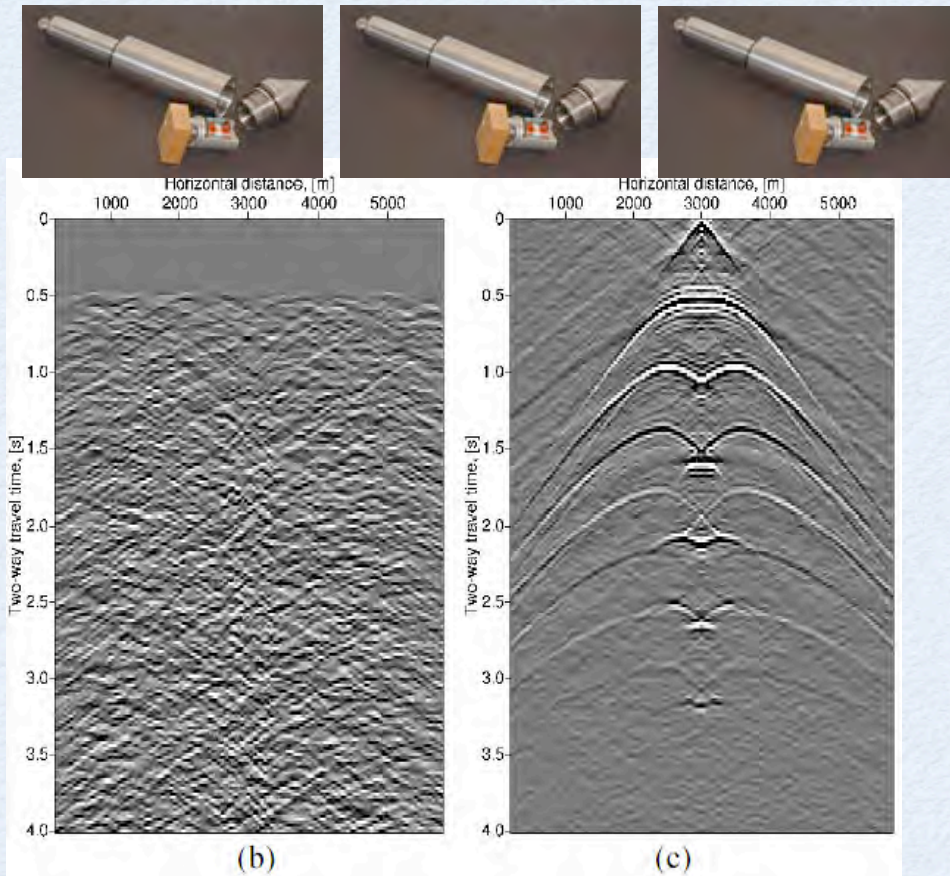


Figure 3.2 Geologic Netherlands. White circles are earthquake epi-centres.

LOFAR = réseau de senseurs,
infrastructure...

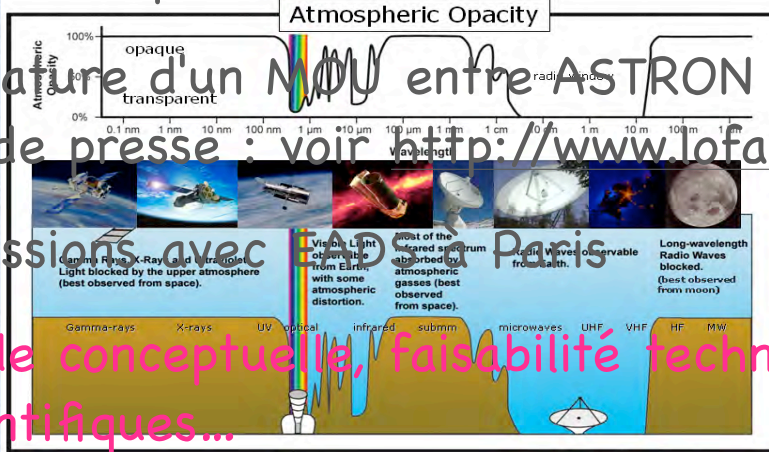
...et pour rêver :

LOFAR - Lune ?

- "gapfiller" lunaire dans la planification de l'ESA (programme AURORA)
- EADS-Space -> étude conceptuelle, horizon ~ 2013 - 2015
- 1 Ariane 5 -> 1 tonne de C.U. scientifique sur la Lune
- possibilité d'un LOFAR très basse fréquence sur la face cachée
- 1 lander + antennes dispersées ~ 1 station LOFAR



- mars 2006 : signature d'un MOU entre ASTRON et EADS (communiqué de presse : voir <http://www.lofar.org>)



- juin 2006 : discussions avec EADS à Paris
- ... à suivre ! étude conceptuelle, faisabilité technique, objectifs scientifiques...

Lofar en France

- première proposition **Prospective INSU 2003**
- développements génériques en **RFI mitigation**
- campagne VLBI BF (**encore en cours**)
- poursuite de discussions (Ph. Zarka, P.I. de "Planets and exo-planets")
- visite de l'O.P. à ASTRON 1/2006 : station LOFAR à Nançay ?
- atelier scientifique CIAS-Meudon 28-29/3/2006
- proposition INSU/IN2P3/Obs-PM : 10/2006
- **argumentaire scientifique FLOW**

argumentaire scientifique FLOW

- cosmologie, formation des structures
- amas de galaxies
- dynamique et champ magnétique des galaxies, notre Galaxie
- Noyaux Actifs de Galaxies
- binaires X, microquasars, restes de supernovae
- pulsars, plerions (pulsar wind nebulae)
- étoiles en formation
- planètes
- exoplanètes
- physique solaire
- phénomènes atmosphériques (Sprites -> Taranis)
- IAS, APC, LESIA, GEPI, LERMA, LATT, LAM, LAOG, LLR,
LPTA, AIM...

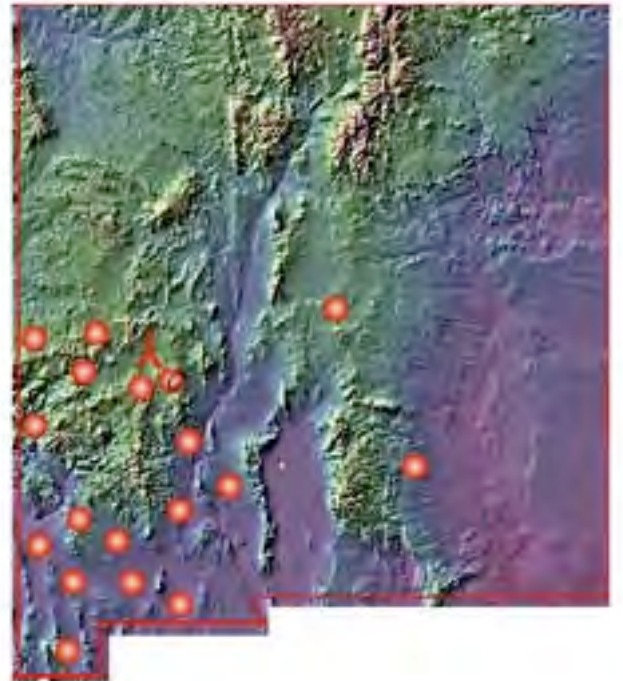
complément idéal de nombreux instruments au sol et dans l'espace

financements et projets

- Budget total : ~ 700 k€ / 3 ans
- financements acquis en 2007
 - INSU (100 k€) = feu vert
 - Programme Astroparticules (39 k€)
- demandes à Observatoire de Paris, P2I
- but : commande en 2007,
mise en service 2009
- négociations sur le retour scientifique
- pré-étude d'une station étendue

nos cousins d'Amérique...

- LWA : NRAO/NRL/... : 10-88 MHz
 - 52 stations, 13000 antennes
 - Phase 0 : 74 MHz au VLA (1998)
 - phase 1 2004-2006 : 2 stations de "developpement"
 - first light, Oct 2006 : 16 dipoles



nos autres cousins

- MWA : MIT + CFA + CSIRO
- sur le site de Milleura
- 8000 dipoles, 80-300 MHz (500 tuiles de 16)
- en 2005 tests 2 tuiles
- ???

vers une station étendue ?

OBSERVING MODES :

- **InterFerometric Mode** [IFM] : (u,v) maps images,
dt = 1 to several sec.
- **Radio Sky Monitor Mode** (VC only) [RSMM] :
multiple beams
-> wide field monitoring with better time resolution
- **Tied Array Mode** (Virtual Core + surrounding stations) [TAM]
-> pencil beam, high time resolution, dynamic spectra
- **Incoherent Integration Mode** (Virtual Core + stations) [IIM]
-> broad beam, high time resolution, dynamic spectra

interest of a second Virtual Core ?

- in quiet ionospheric periods
 - additional long baselines with high weight (sensitivity) in IFM
 - > high angular resolution on weak sources
- in perturbed ionospheric periods
 - post-detection correlation (intensity interferometry) in TAM & IIM
 - > decorrelation of ionospheric effects and of local RFI (more advantageous at LF)
 - > better sensitivity for detection weak or transient sources
- independent of ionosphere
 - increases the capabilities of RSMM, TAM, IIM

LOFAR Super Station

- original instrumental development
- local use possible (when not used by LOFAR), local data center training, etc.
- LF only ?
- modest additional cost / standard station ?
- interest of European participants ?

LOFAR Super Station

- feasibility study in Nançay
- choice of antennae, configuration...
- need for a specific science case
- european/International contributions ?
- workshop fall 2007
- funding request possible in march 2008 (ANR)