Semaine de l'Astrophysique Française, Journées de la SF2A 2004
14 - 18 juin 2004, Paris

Expérience CODALEMA
Radiodétection des rayons cosmiques d'énergies extrêmes

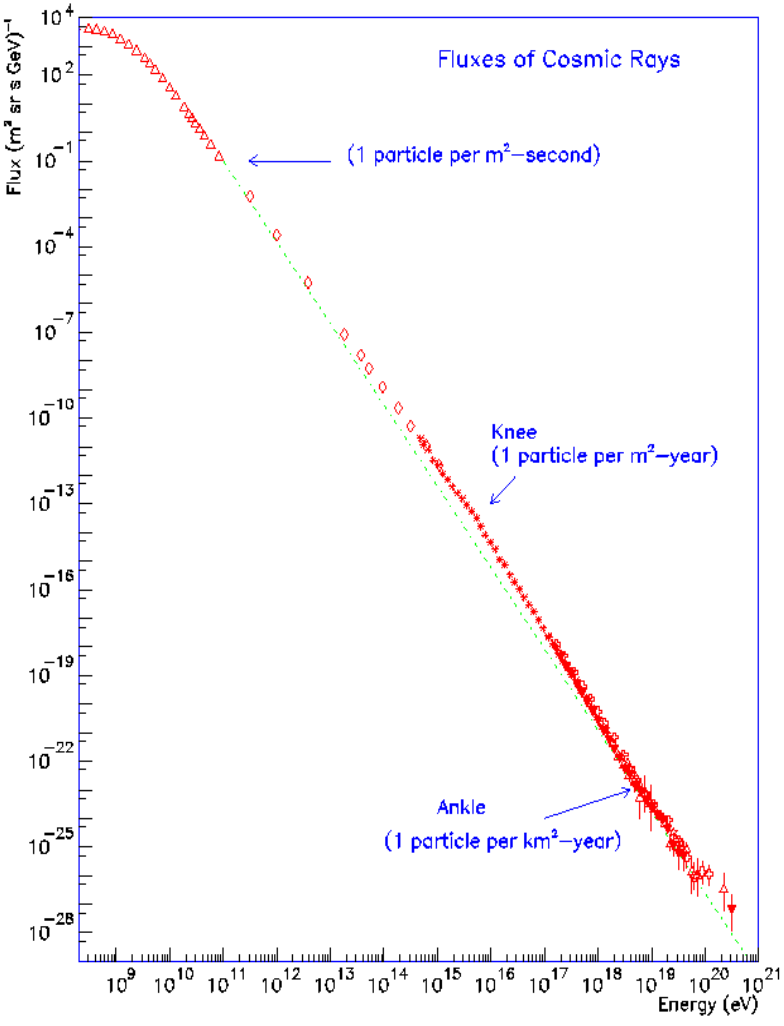
Olivier RAVEL

SUBATECH Nantes
Université de Nantes, In2p3, École des Mines de Nantes
P. Lautridou, D. Ardouin, A. Belletoile,
D. Charrier, R. Dallier, T. Gousset,
F. Haddad, A. Rahmani, O. Ravel.

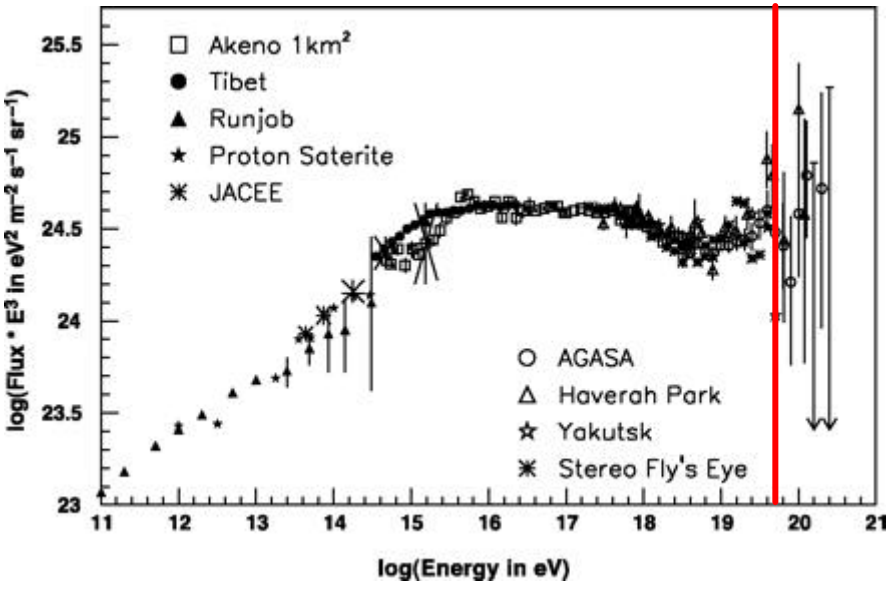
Observatoire de Paris-Meudon, Station de Nançay
NSU
A. Lecacheux, L. Denis

al Orsay
D. Monnier, P.Eschstruth

Motivations Physiques :
Étude des rayons cosmiques de très grande énergie



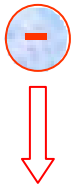
- taux de comptages des RC
- nature des RC (protons, noyaux…)
- coupure GZK (E_{RC}) ?
- processus d'accélérations
  - -top-down (nouvelle physique, GUT)
  - -bottom-up (sources célestes)



Origine et topologie du champ électrique

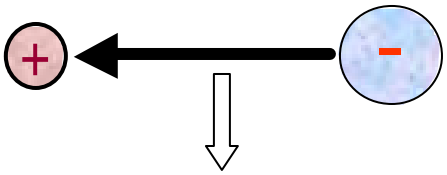
- Excès de charges négatives

  ~ 10% e^- / e^+



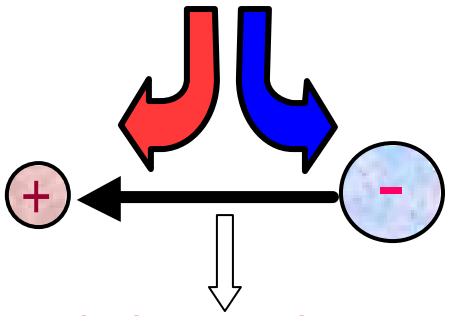
- Effet géomagnétique F=qVxB

  ➡ moment dipolaire

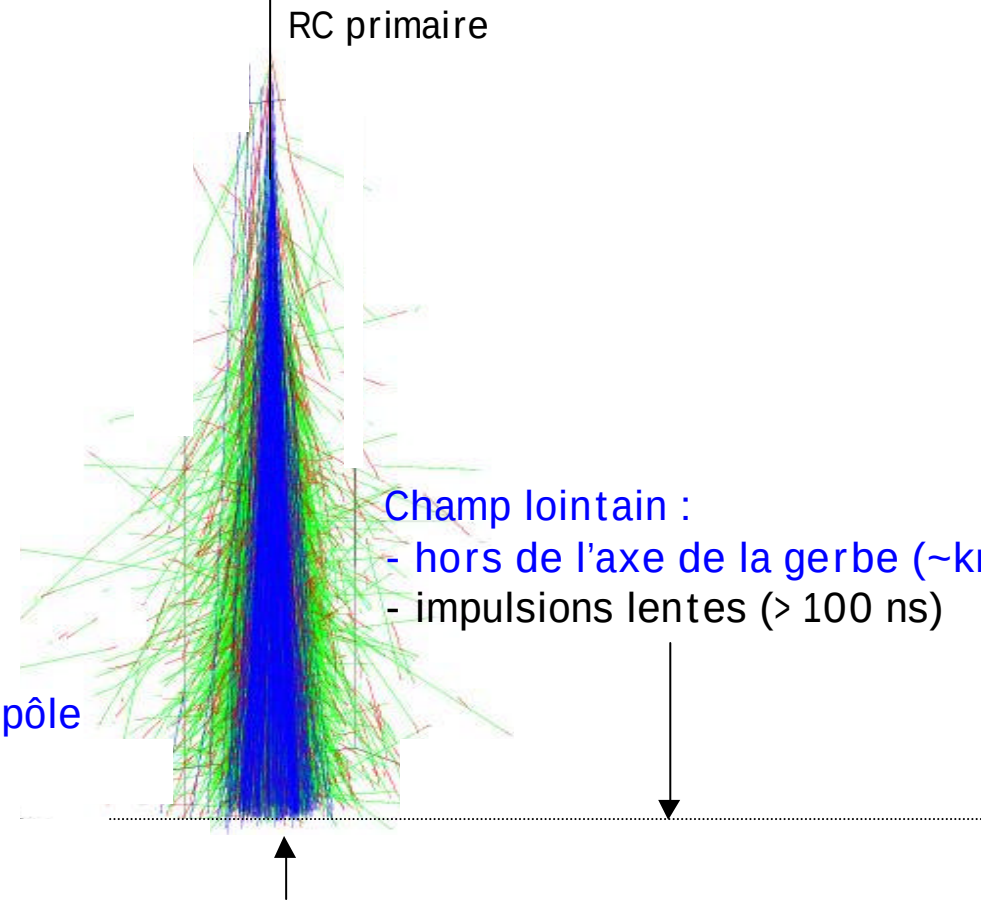


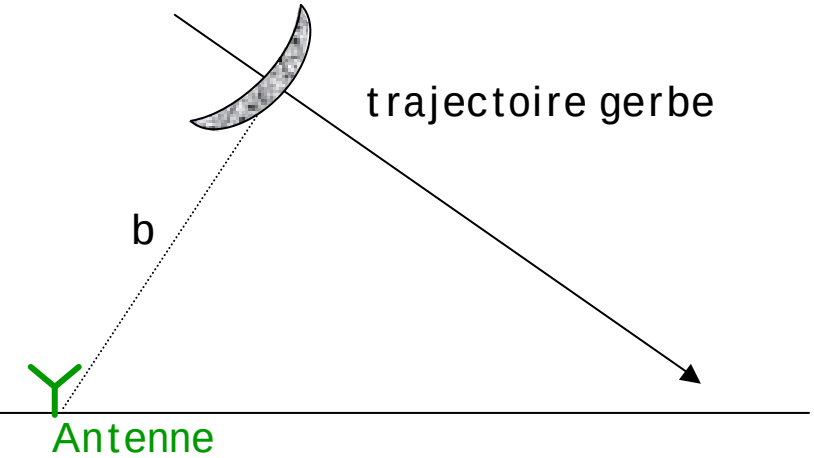
➡ Courant transverse d'alimentation du dipôle

(D.A. SUPRUN et al., astro-ph/0211273)



- Emission Synchrotron
  - Cerenkov radio

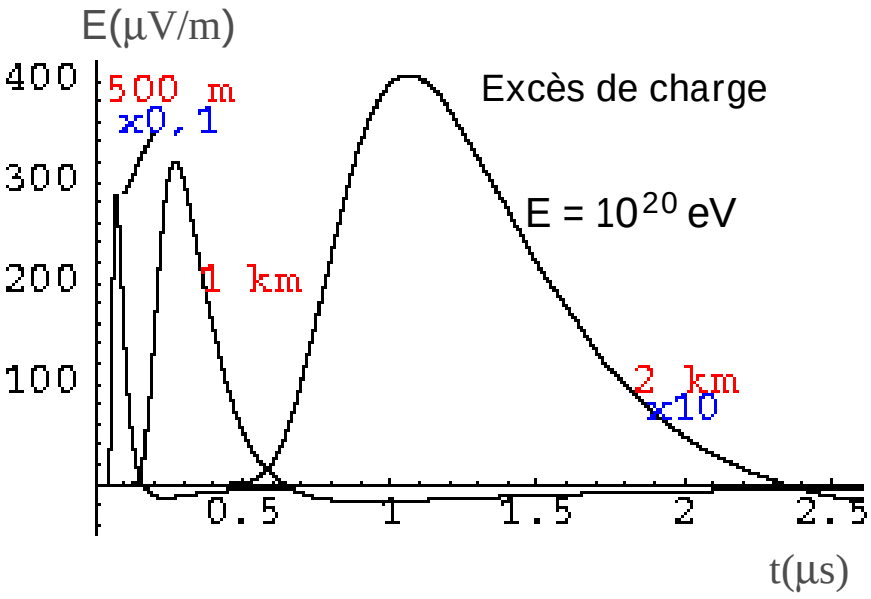




•Simulation théorique

- Informations contenues dans la forme du signal
  - amplitude => énergie
  - durée => paramètre d'impact (b)

Ref: T.Gousset et al, in press Astroparticle Phys



•Mesures expérimentales

- Analyse temporelle du signal
- Reconstitution de la trajectoire par triangulation entre plusieurs antennes

0.5 MHz < f < 100 MHz

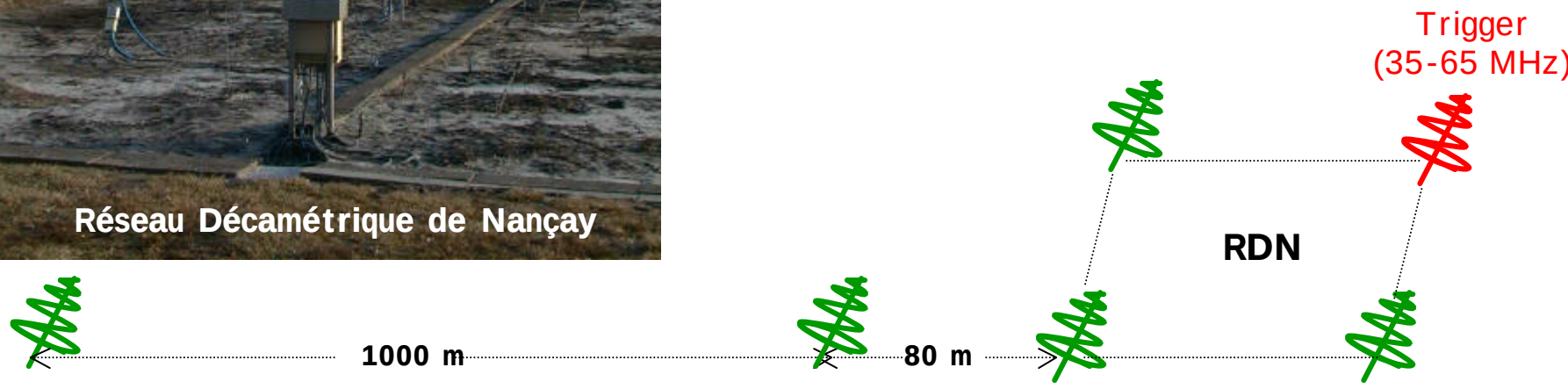
CODALEMA

Antennes spirales Log-périodiques 1 - 100 MHz
du Réseau Décamétrique de Nançay

Utilisation de 6 antennes dédiées

- ampli 35 dB (pied d 'antenne)
- câble blindé (150m) & fibre optique
- filtrage analogique (f > 500 kHz)

- trigger sur un signal radio (seuil en amplitud
- numérisation (ADC 8 bits, 500 MSample/s)
- PC Acquisition



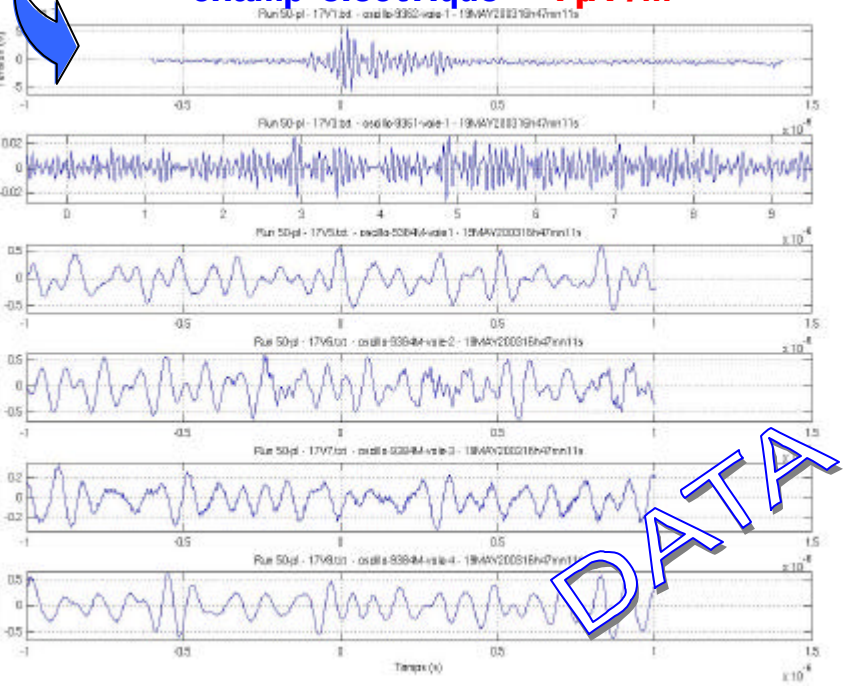
Mise en service mars 2003

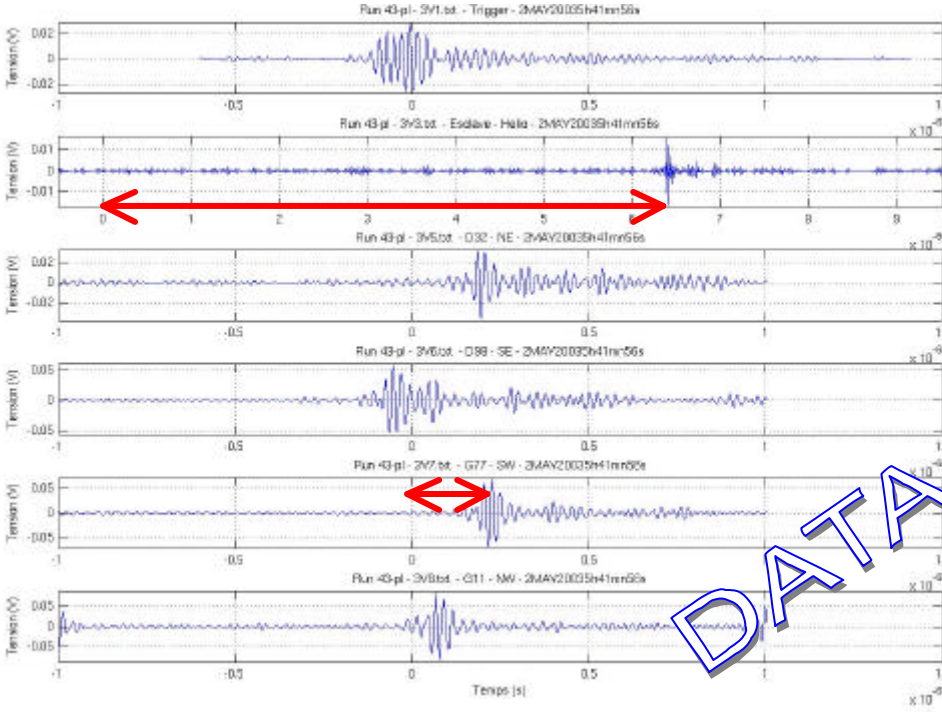
DAQ

Impulsions radio en coïncidence sur 6 antennes

Seuil trigger: 2 mV / 56 = 35 µV
(Hauteur effective antenne :5 m)
=> champ électrique = 7µV/m

« candidat gerbe »





Signaux bruts → filtrage numérique 35-65 MHz

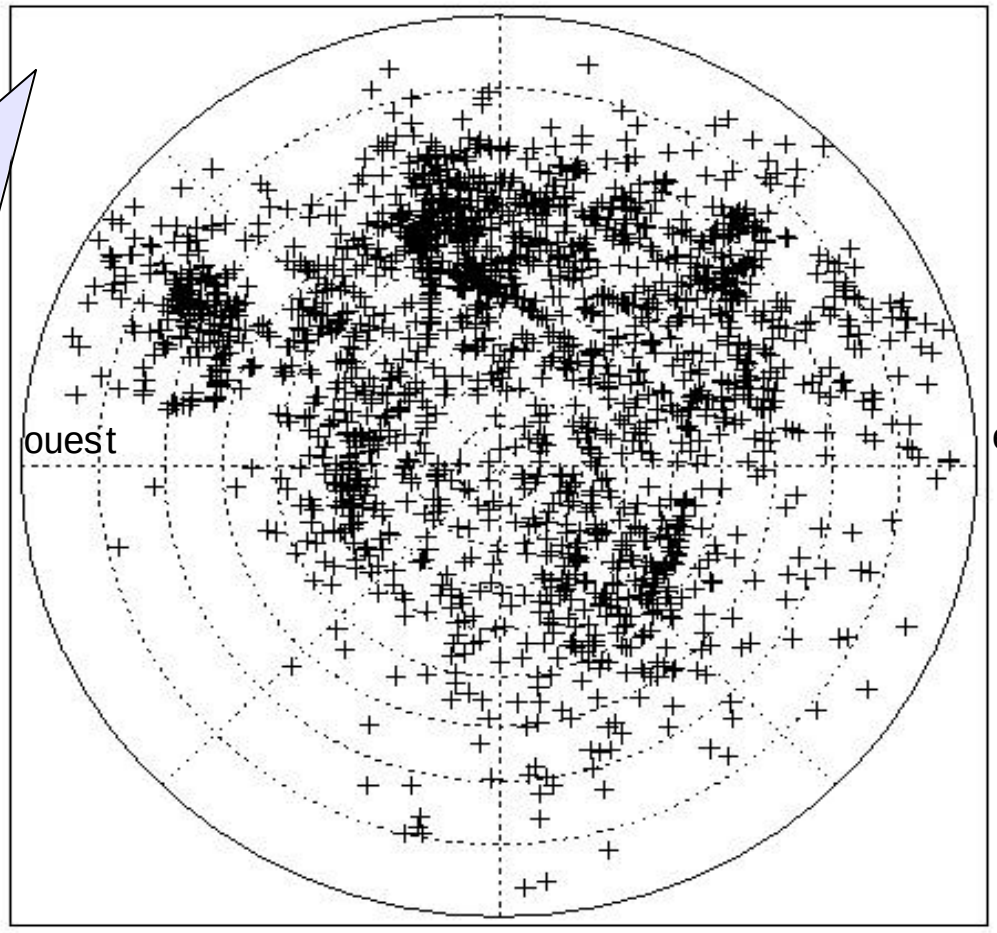
Mesure des temps d'arrivée de l'impulsion

↓

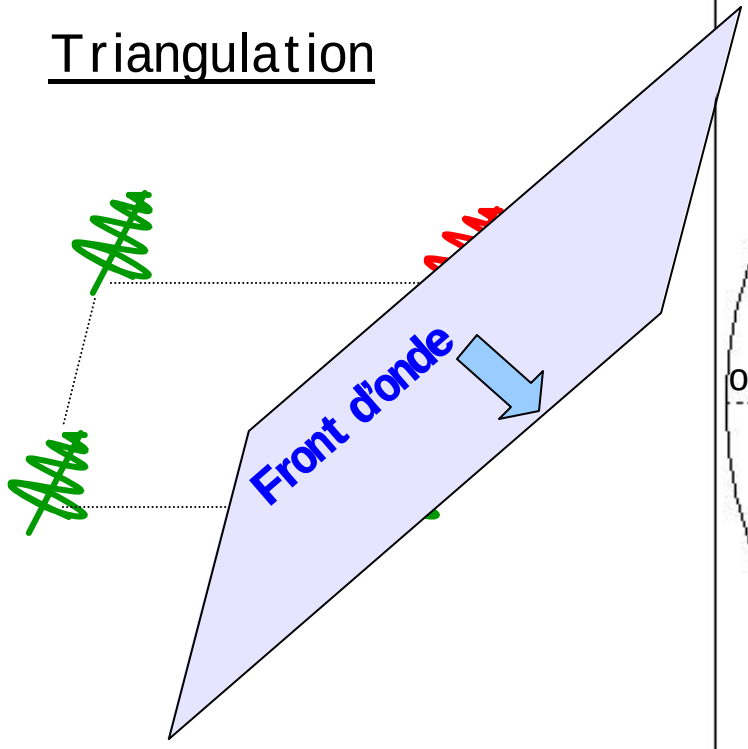
Localisation par triangulation

Cumul des évènements enregistrés par CODALEMA
(6 antennes en coïncidences)

2000 évènements
6 mois de run



Triangulation

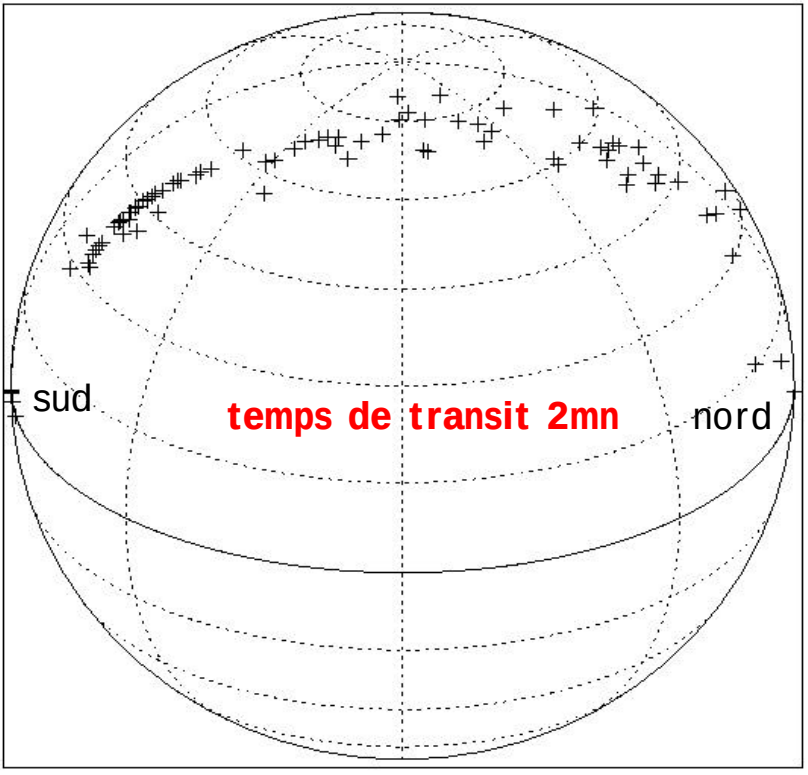


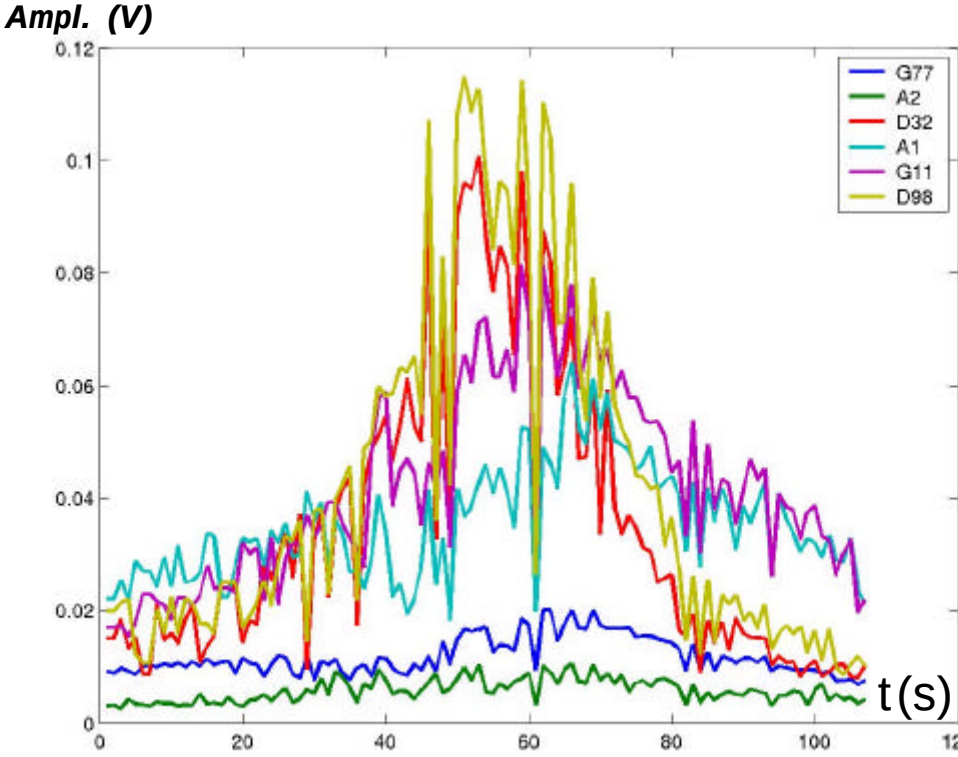
Reconstruction du front d'onde

Tests de la triangulation grâce à des sources anthropiques

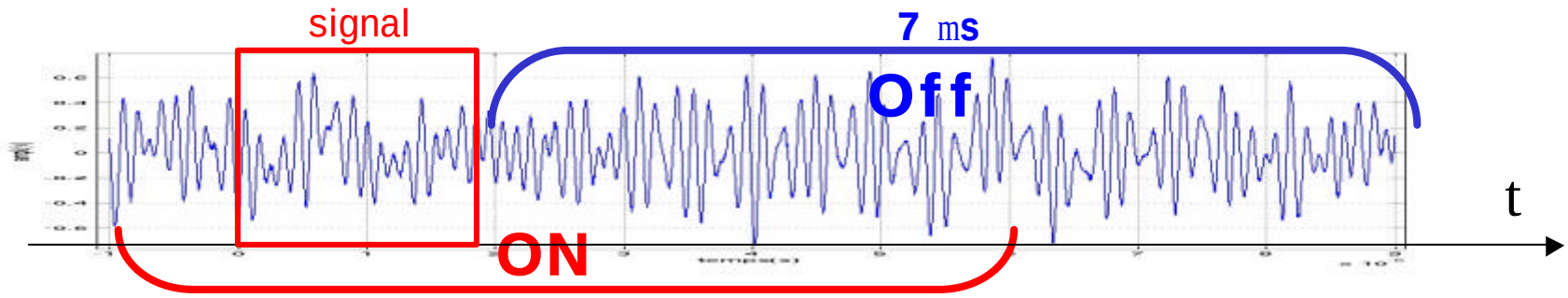
- émetteurs
- avions

Exemple de trajectoire reconstruite



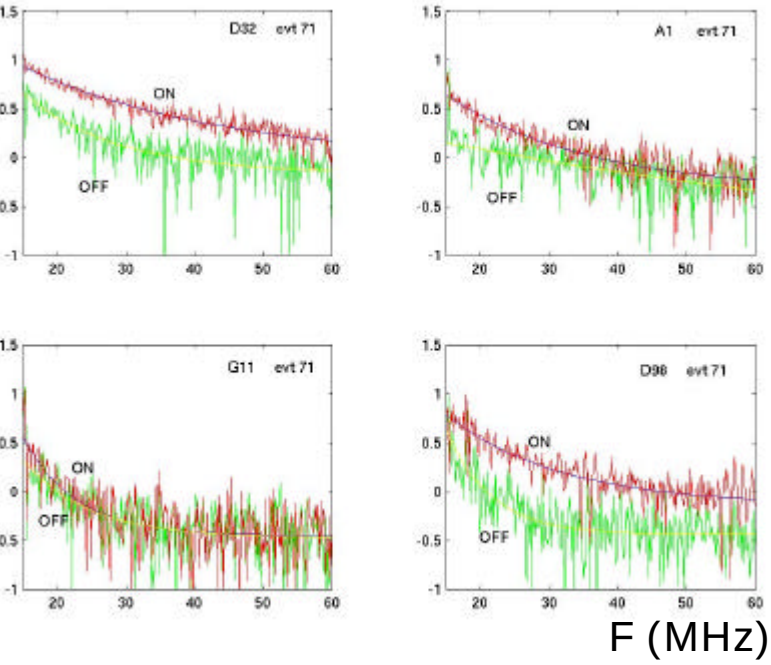


Analyse On-Off

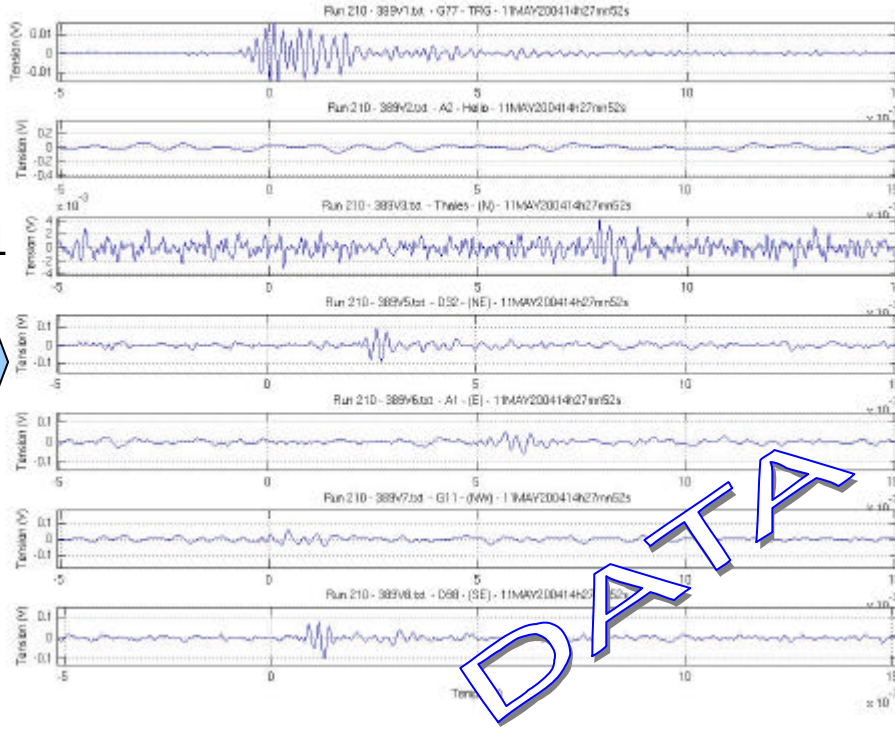


FFT

Un des évènements « candidat gerbe



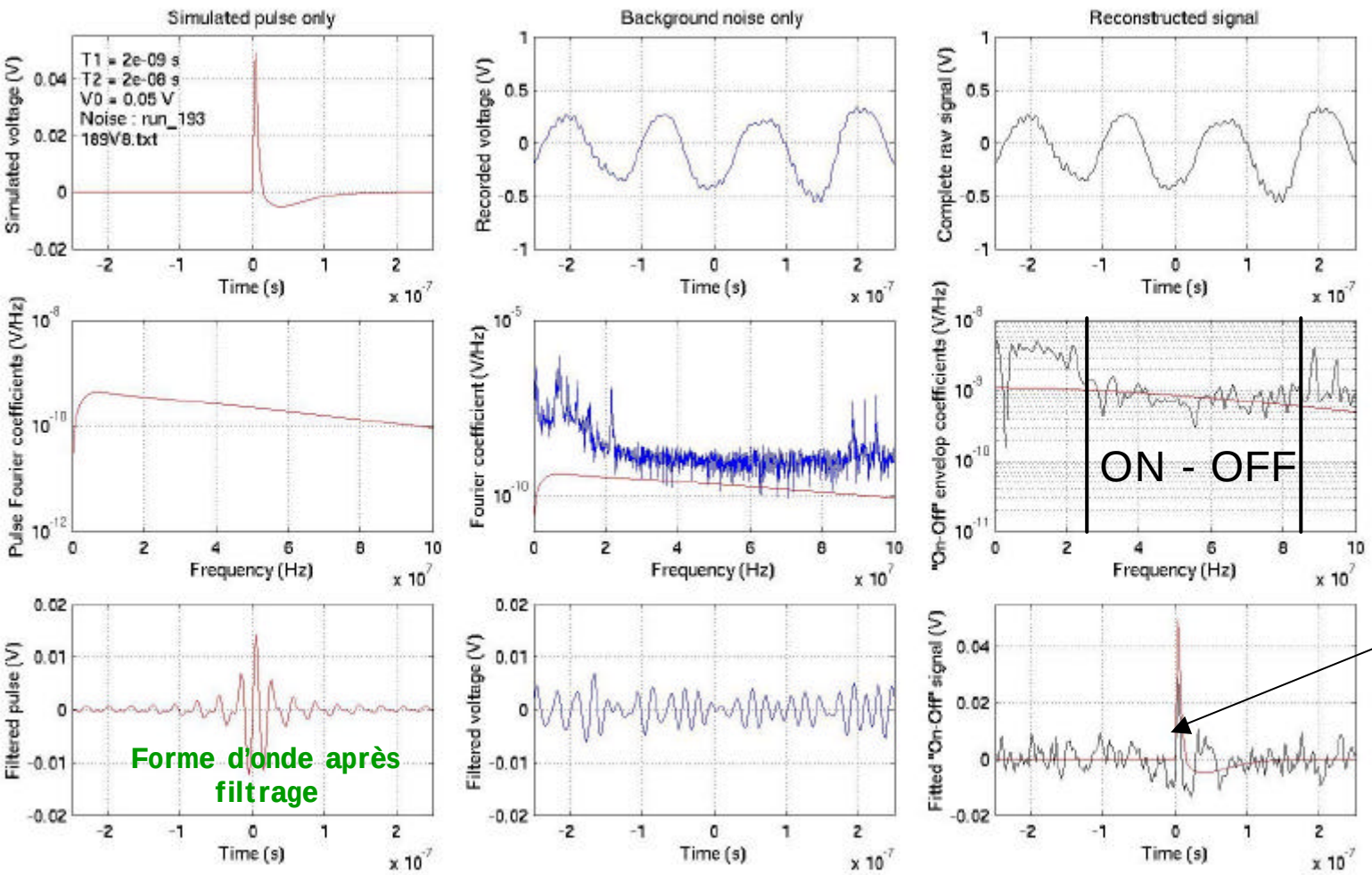
FFT^{-1}



Ref : A.Belletoile rapport de DEA 2004

Simulation d'une impulsion rapide (Cerenkov)

Impulsion de 20 ns | **Bruit** | Signal reconstruit



Forme d'onde départ

Spectre de fréquence

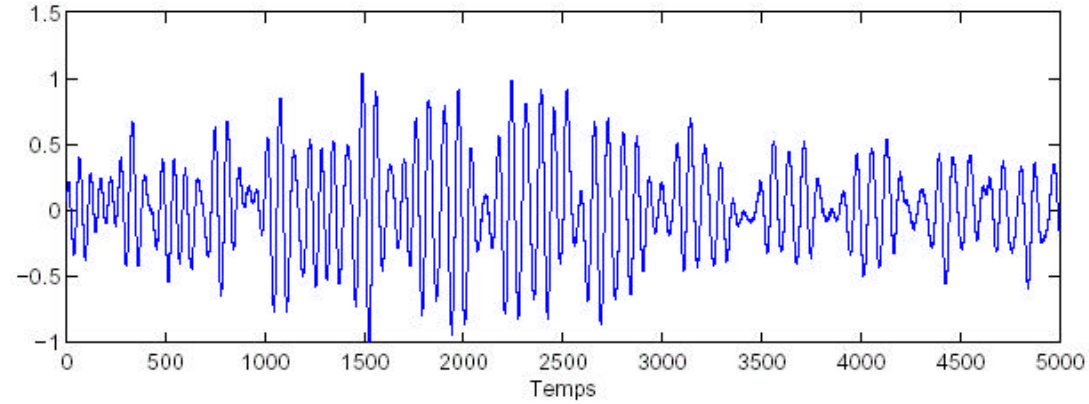
Impulsion reconstruite

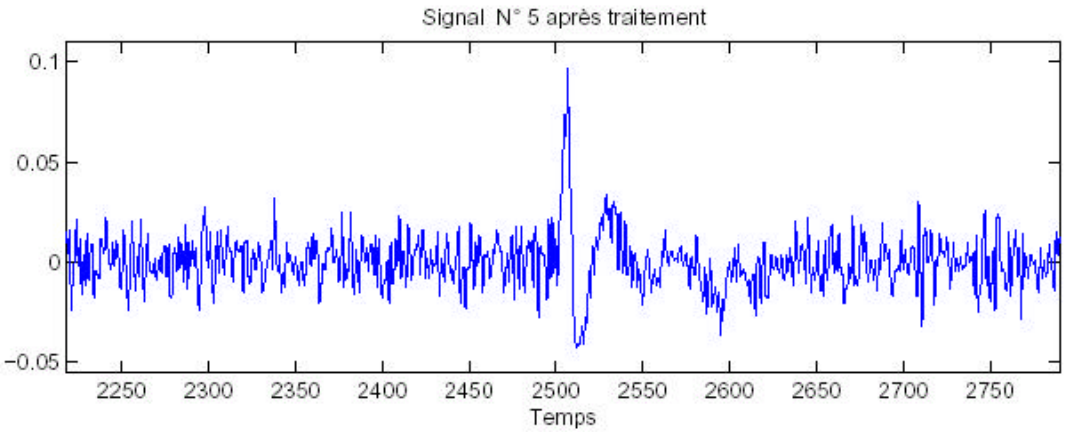
Simulation

Ref : A. Belletoile rapport de DEA 2004

Autres outils de traitement du signal développés

- Filtrage adaptatif optimal :





Ref : G. Plantier
ESEO Angers

- ondelettes

Ce que CODALEMA nous a appris…

- **Trigger sur impulsion radio : OK**
- **Sensibilité de détection : 4s du bruit du ciel** (seuil de 2 mV)
- **Coïncidences observées: OK**
- **Signatures impulsionnelles observées : OK**
- **Localisation et identification de sources par triangulation : OK**
- Radioastronomie impulsionnelle (Soleil, Jupiter) ?

- **Instrument maîtrisé**
- **Outils d'analyse opérationnels :**

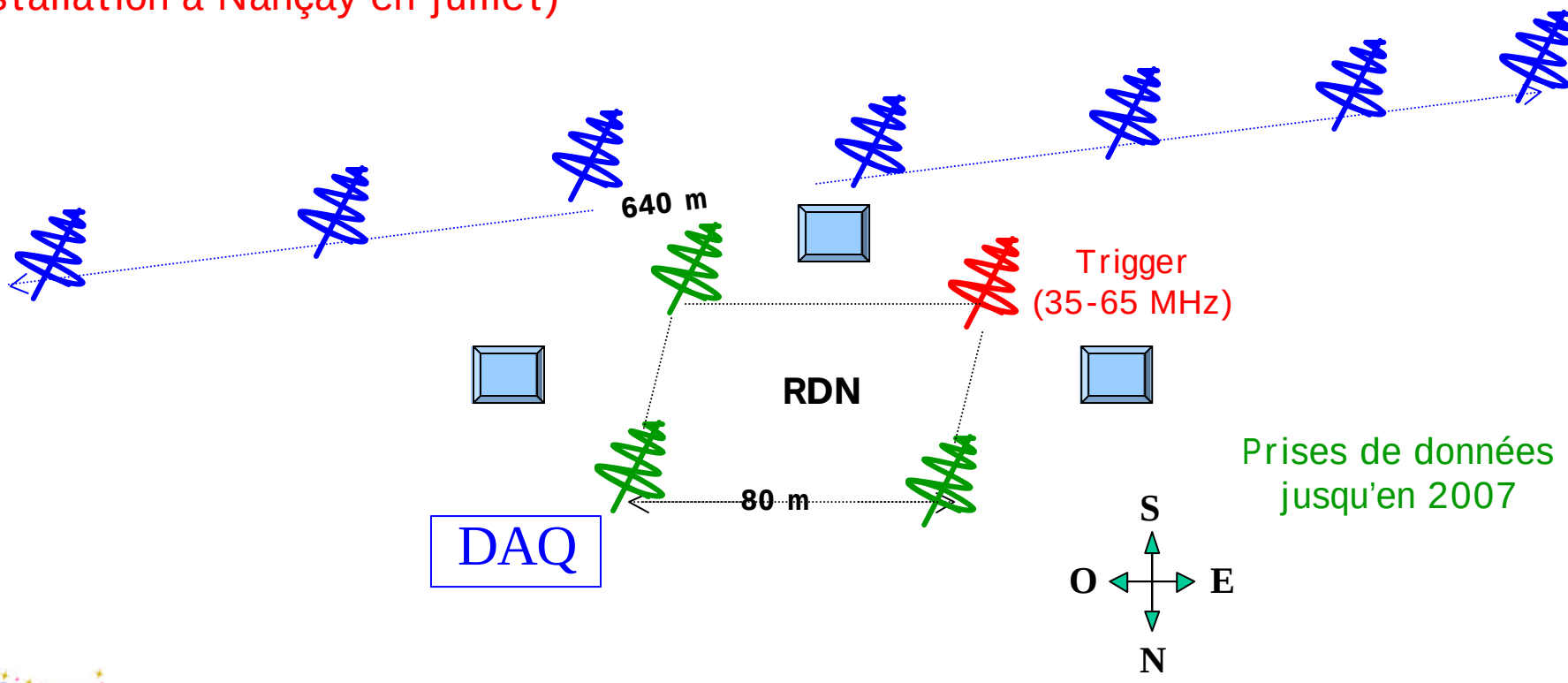
Confirmer les « candidats gerbes »

Évolution de CODALEMA en 2004

Plus grand volume de détection, analyse en amplitude de la tache Cerenkov radio
=> Ligne de 7 antennes (en cours d'installation à Nançay)

Meilleur sensibilité (bruit du ciel = bit significatif) => ADC 12 bits

Coïncidences particules-impulsions radio => 3 scintillateurs (1.5 x 1.5 m^2)
nstallation à Nançay en juillet)



mini-RAP

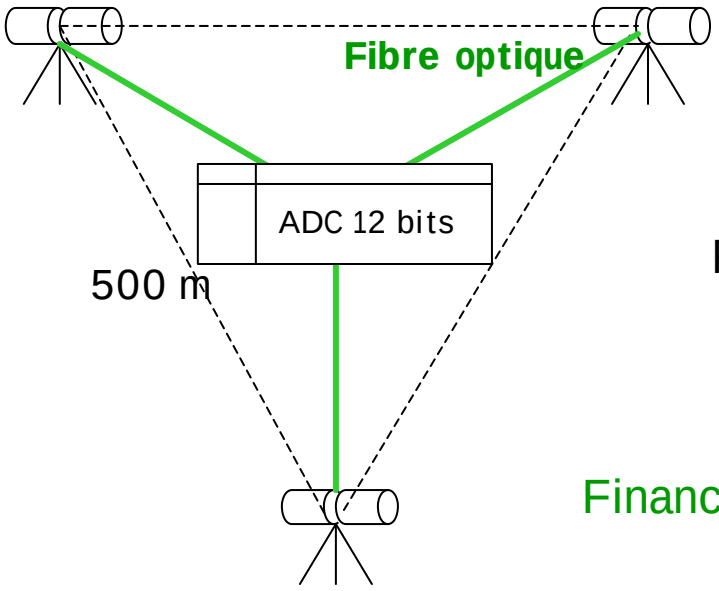
mini Réseau d' Antennes Portative

Objectif :

Confronter les mesures radio en provenance de gerbes

&

les mesures des grands détecteurs de gerbes (Auger, Hires, …)

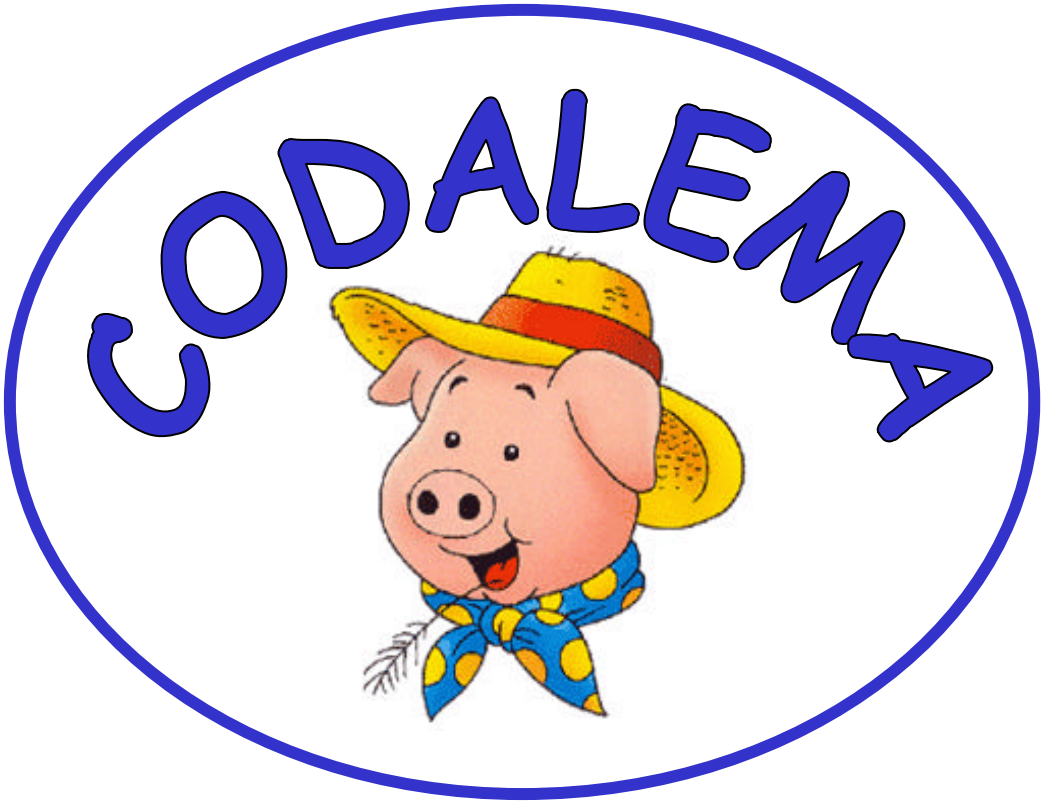


- Dipôles courts actifs 10kHz-1 GHz

R & D : Développement d'ampli analogique(ASIC

Financement : ACI « JC »Ministère de la Recherche

Outil fondamental pour la mise au point de
la radiodétection dans le cadre de futurs grands projets de détecteur de RC


CODALEMA