

# RADIO DÉTECTION DES GRANDES GERBES COSMIQUES

IN2P3  
**SUBATECH**

IN2P3 - Université de Nantes -  
Ecole des Mines de Nantes

[www.univ-nantes.fr](http://www.univ-nantes.fr)



R. Dallier

T. Gousset E. Morteau

F. Haddad O. Ravel

P. Lautridou C. Roy

**OBSERVATOIRE DE PARIS-  
MEUDON-NANCAY**



L. Denis

A. Lecacheux


C. Rosolen

**UN PROJET PLURIDISCIPLINAIRE**

# Etudier la particule primaire (énergie, direction, nature) en mesurant le champ électrique induit par la gerbe atmosphérique

**Historiquement :** effet Askar'yan (1965), expérience de T.C. Weekes (1966)

**Arrêt en 1970 :** difficultés d'interprétation et de détection  
+ succès d'autres techniques



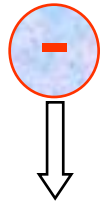
**Redécouverte :** preuve du principe sur accélérateur (D. Saltzberg, 2000)

**En 2000 :** expérience sur CASA-MIA (K.Green et al., 2003, N.I.M. A, 498)  
**Pour 2004 :** LOPES (H. Falcke et al., 2003, Astropart. Phys., 19 )

# Origine et topologie du champ électrique

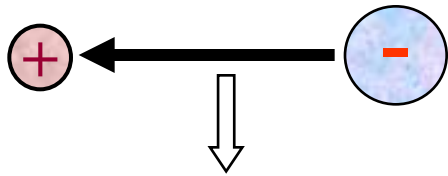
Identifiés en 1970

- Excès de charge  $\sim 10\% e^- / e^+$

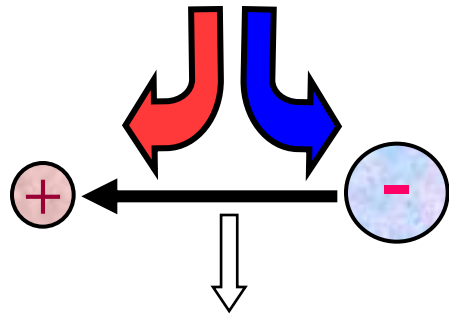


- Effet géomagnétique  $F=qV \times B$

→ moment dipolaire



→ Courant transverse d'alimentation du dipôle  
(D.A. SUPRUN et al., astro-ph/0211273)



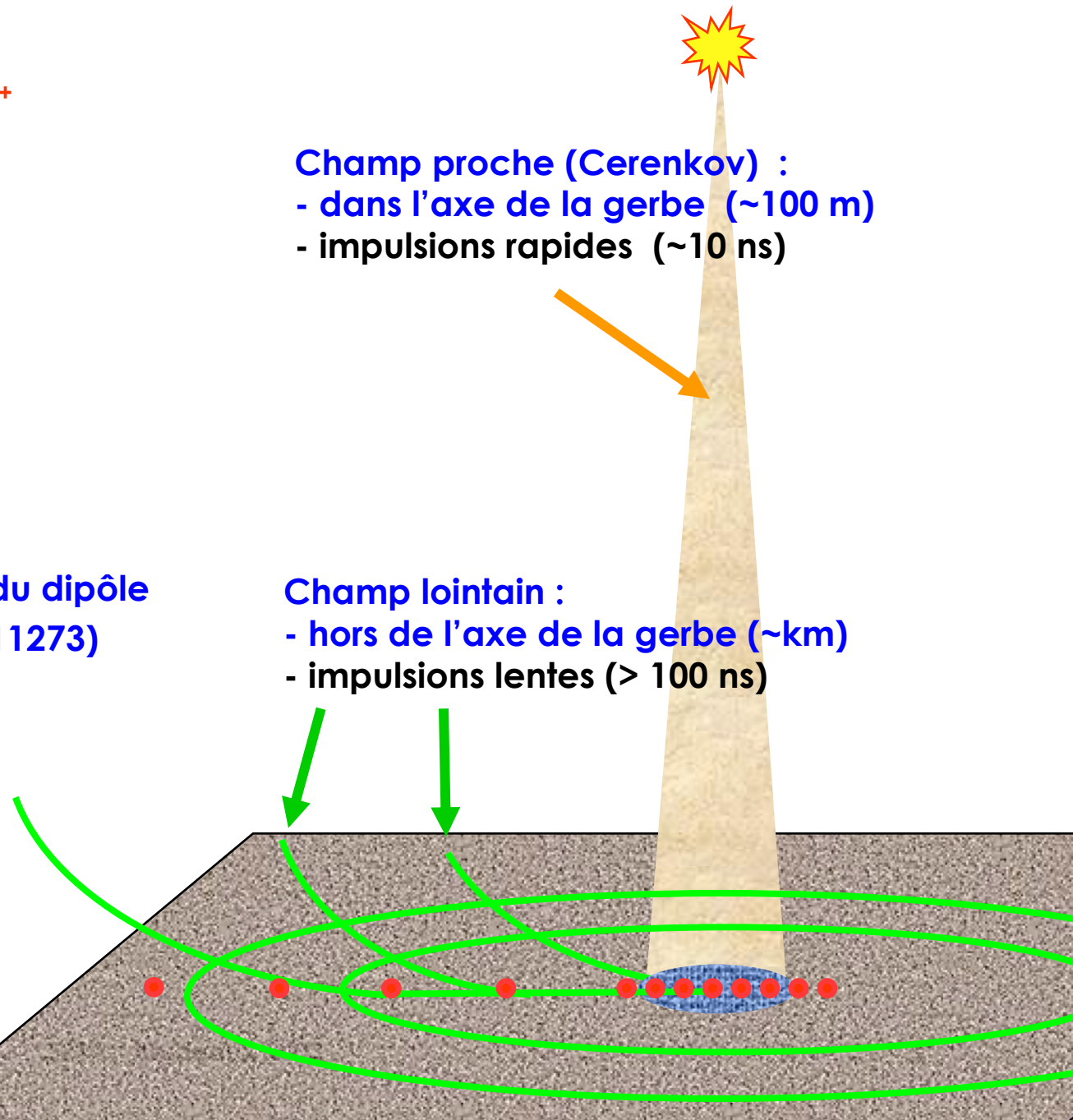
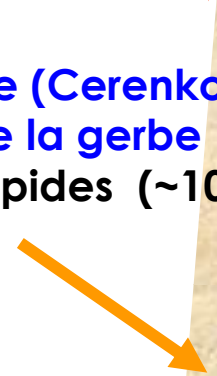
- Emission Synchrotron
- Cerenkov

Champ proche (Cerenkov) :

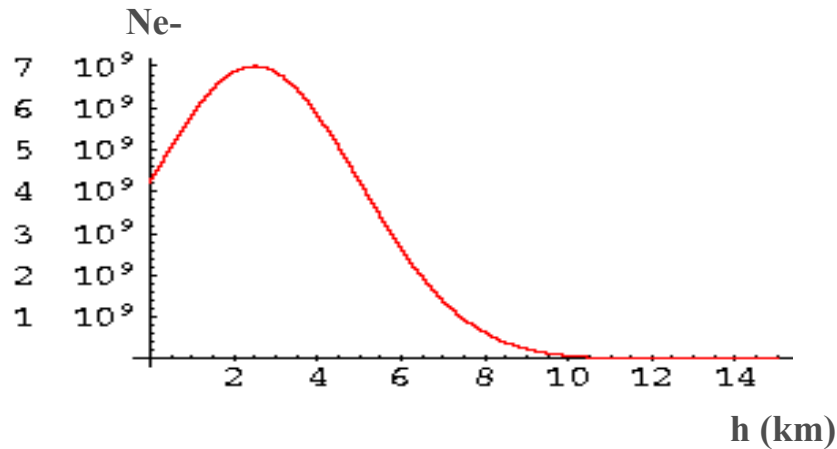
- dans l'axe de la gerbe ( $\sim 100$  m)
- impulsions rapides ( $\sim 10$  ns)

Champ lointain :

- hors de l'axe de la gerbe ( $\sim$  km)
- impulsions lentes ( $> 100$  ns)



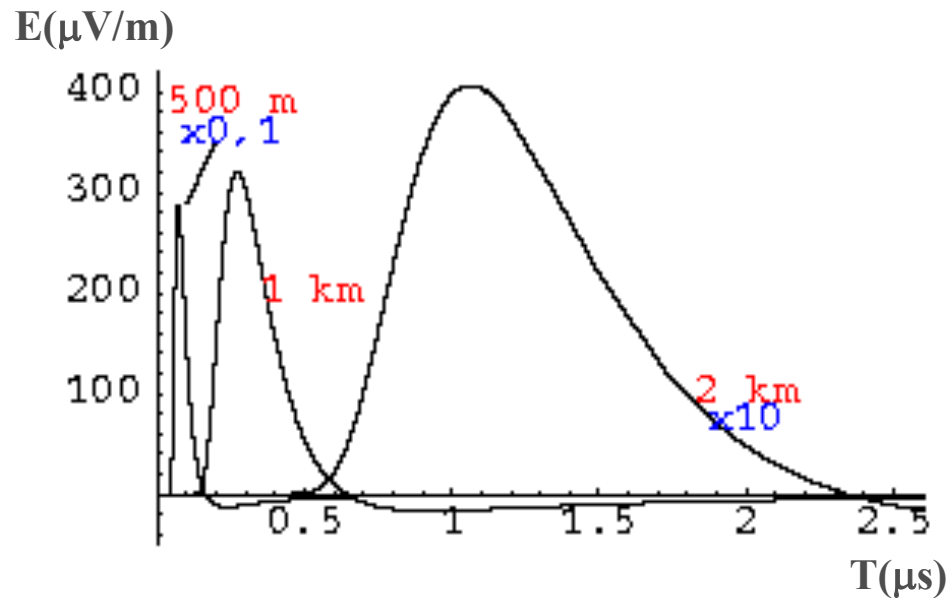
# Exemple de formes d'onde dues à l'excès de charge



## • Simulations simplifiées du champ :

- gerbe verticale :  $E = 10^{20}$  eV
- excès de charge : 10 %  $\Rightarrow 0.7 \cdot 10^{10}$  e-

$$E(t,r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{t'} Q(t') (1-\beta^2) \frac{(\vec{n}-\vec{\beta})}{R^2 |1-\vec{n}\cdot\vec{\beta}|^3} \pm Q'(t') \frac{(\vec{n}-\vec{\beta})}{c.R(1-\vec{n}\cdot\vec{\beta})^2}$$



## • Mesure de la forme d'onde :

- Amplitude  $\Rightarrow$  Energie
- Durée  $\Rightarrow$  Paramètre d'impact
- Forme  $\Rightarrow$  Identification du primaire

## • Reconstruction de la trajectoire : triangulation par (au moins) 3 antennes

# Aspects expérimentaux

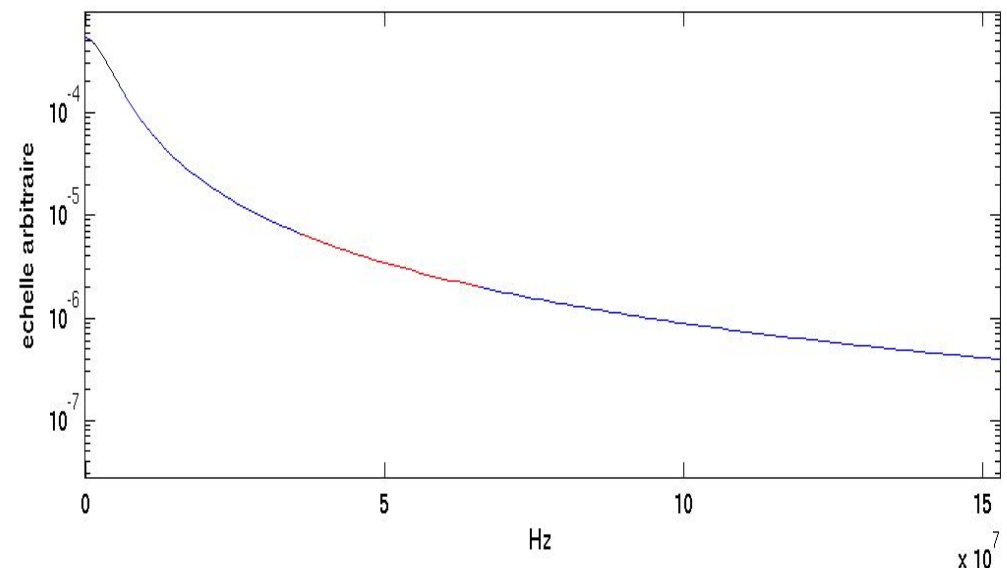
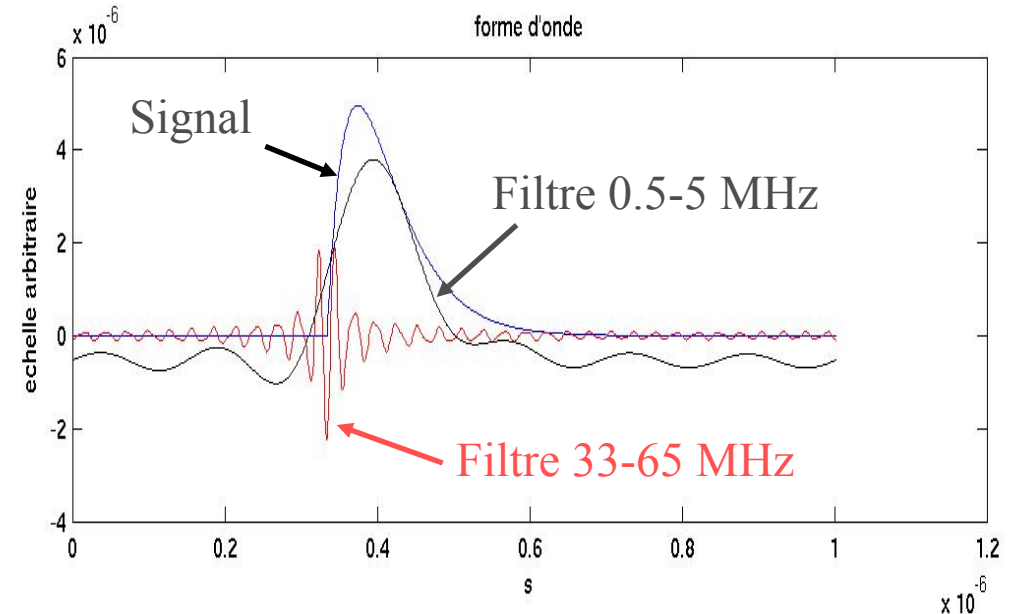
- Trouver et tester le capteur adapté

- Bande passante 1-100 MHz
- Sensibilité  $1\mu\text{V/m}$
- Réponse impulsionnelle
- Détection omnidirectionnelle
- Polarisation en 3D (pol. E-W dominante)

- Maîtriser les effets de filtrage et d'amplification

- Trouver les systèmes de codage et de déclenchement

- Flash ADC + Edge Trigger





# Objectifs en 2002 : trouver un détecteur et évaluer le bruit

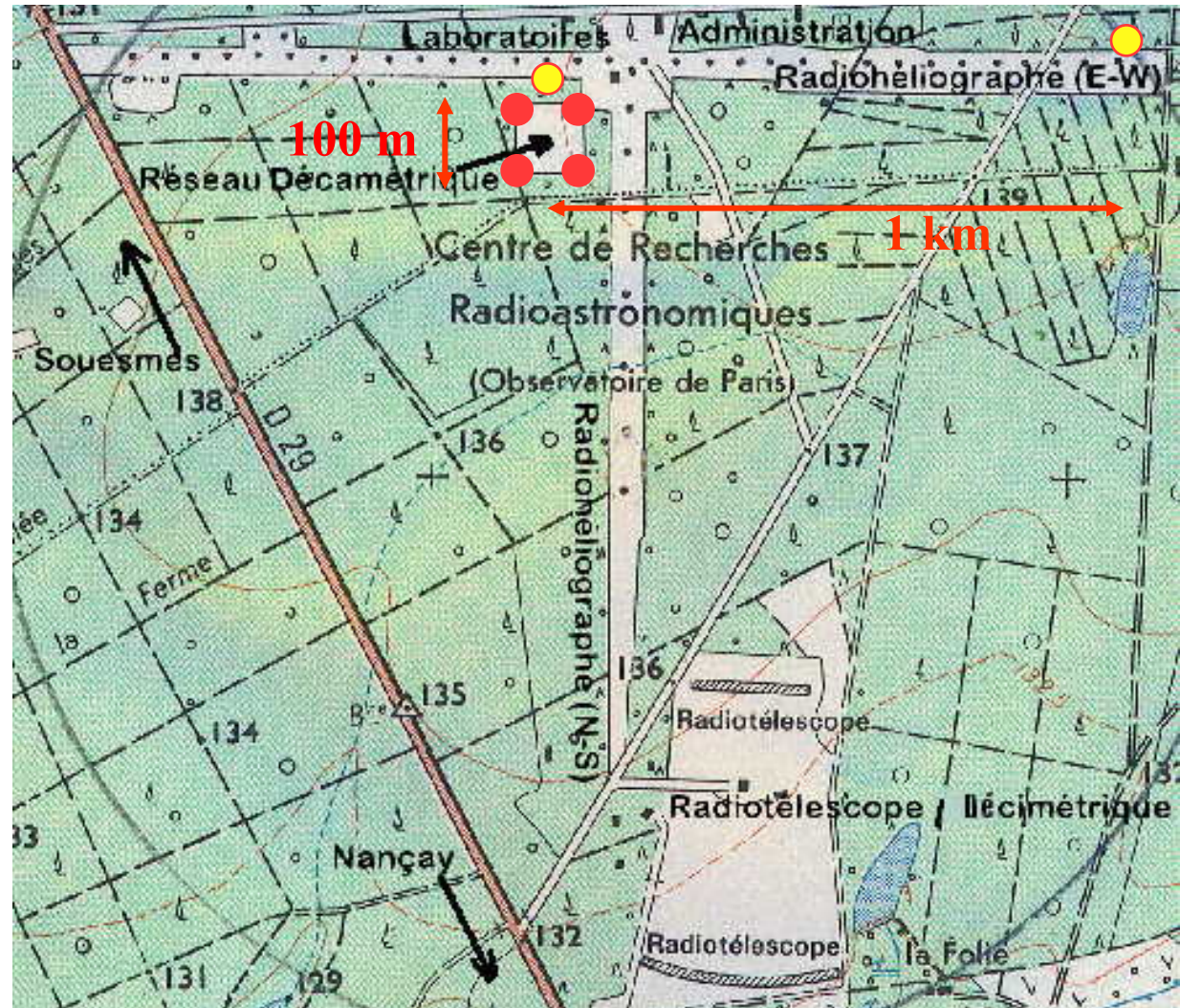
- **Choix d'un détecteur :**  
Réseau Décamétrique de Nançay
- **Evaluation :**
  - du bruit
  - de la réponse impulsionnelle
  - du seuil et du taux de trigger
  - Identification des transitoires parasites (origine anthropique ou naturelle)





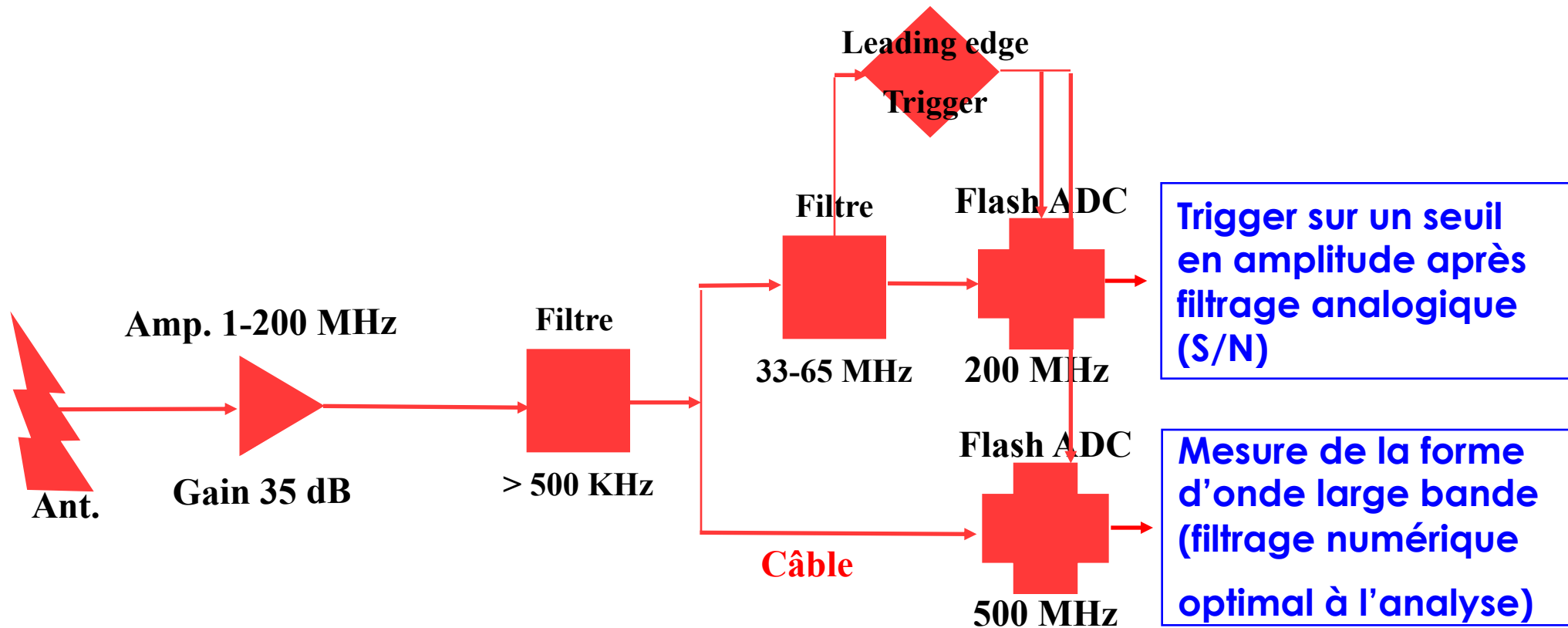
# Objectif 2003 : expérience démonstrateur au RDN

- **Validation du concept**
- **Configuration :**
  - **Triangulation (carré de 100x100m)**
  - **Trigger (une des antennes)**
  - **Longue base (1 km)**
- **Détection, identification et analyse de signaux (pendant l'année 2003)**



**Evaluer le potentiel de la méthode, banc d'essai**

# Configuration électronique actuelle à Nançay



Importance du seuil :

détecter basses énergies “proches”  $\Leftrightarrow$  détecter hautes énergies “lointaines”

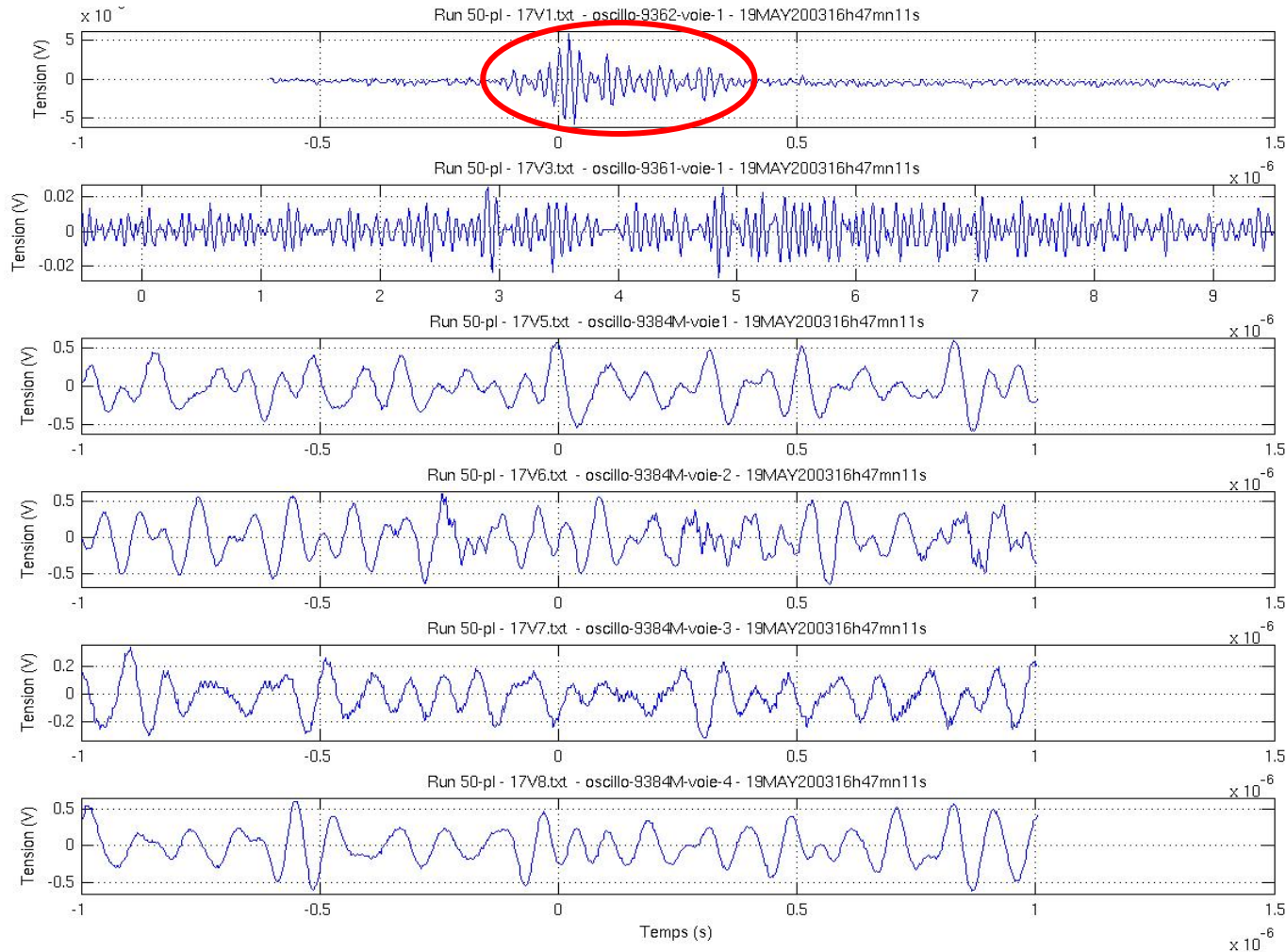


# Évènement typique à large bande

Trigger

1 km

4 coins



⇒ Le signal transitoire est masqué par les émetteurs de radiodiffusion

# Traitement des données large bande

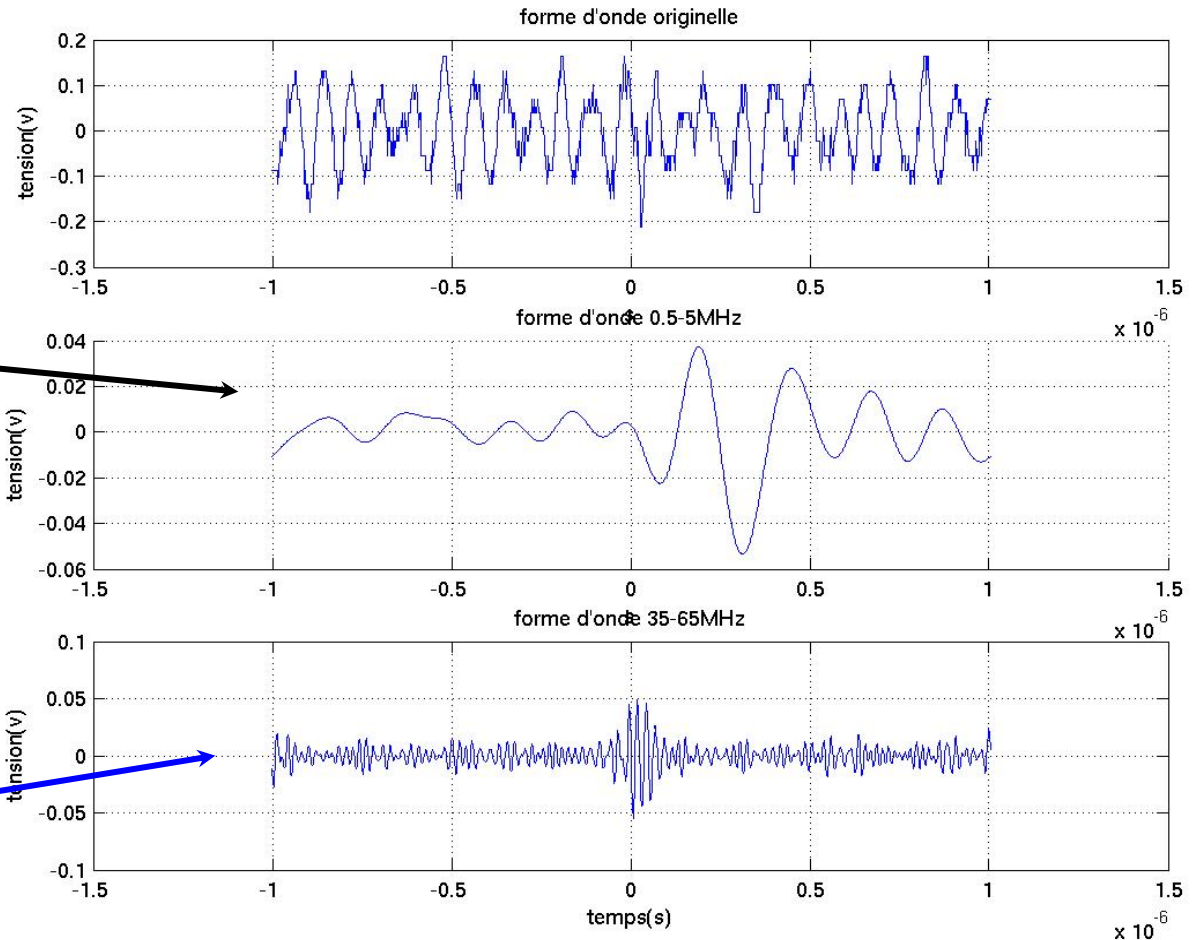
Filtrage "rectangulaire"  
numérique



- Bande 0.5-5MHz

- contribution observable dans certains cas
- mais électronique encore mal adaptée

- Bande 35-65MHz



Le signal transitoire sort du bruit



Comparable aux simulations numériques

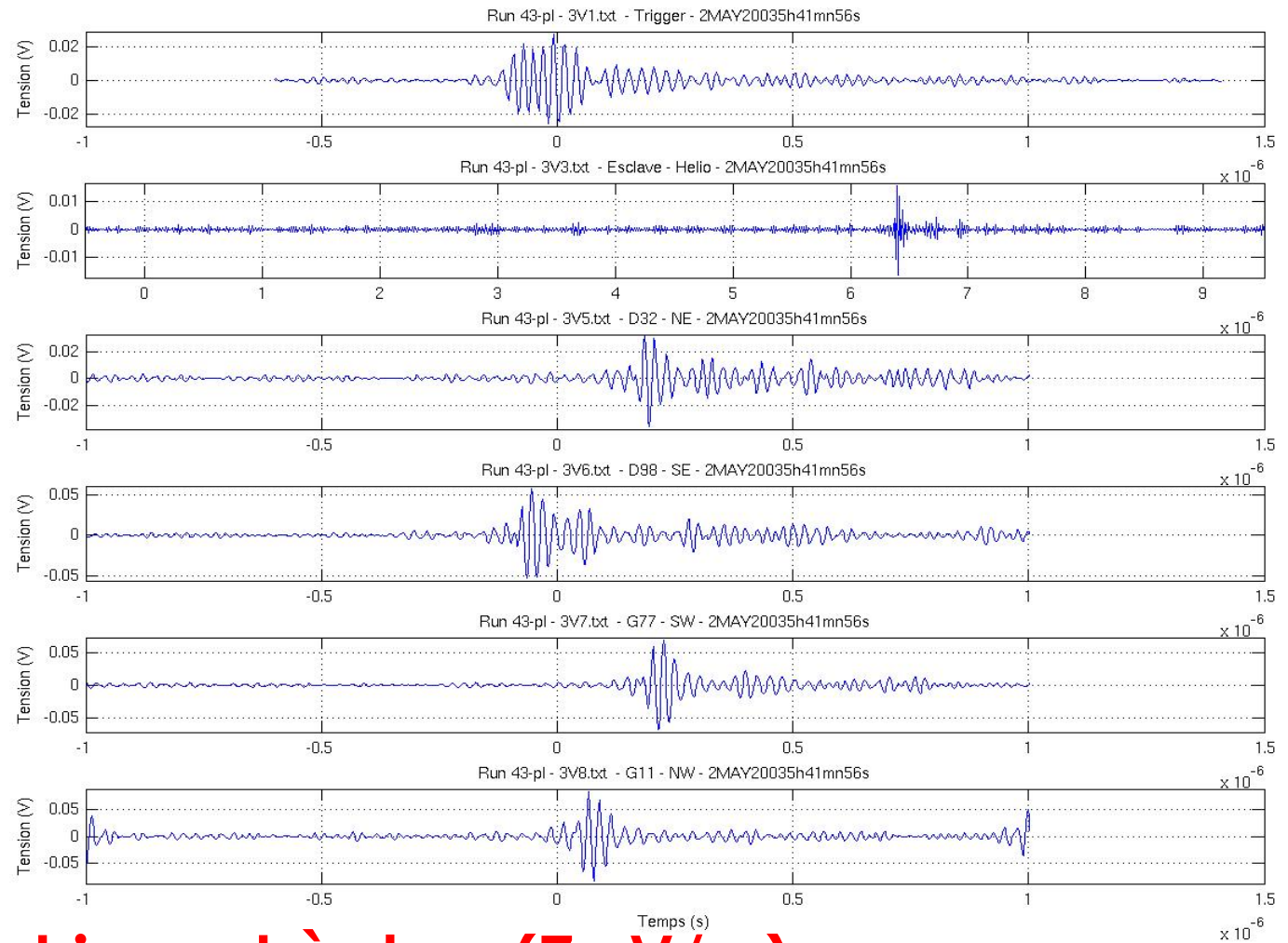
# Recherche des coïncidences

## Trigger analogique

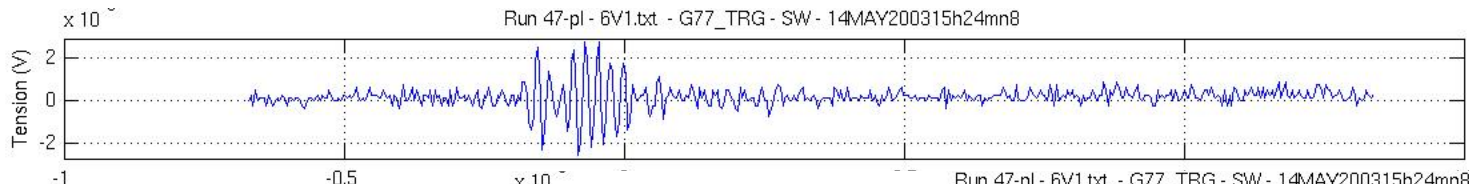
Filtrage numérique  
bande 35-65MHz

- Temps de vol cohérents avec la propagation d'une onde

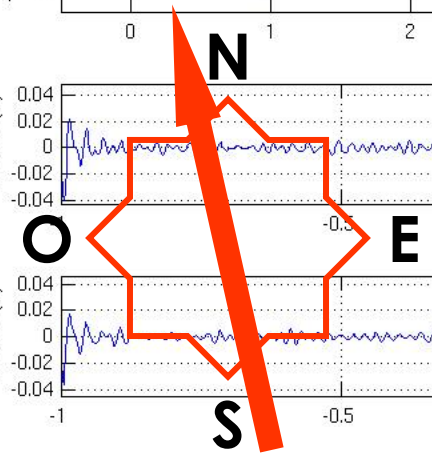
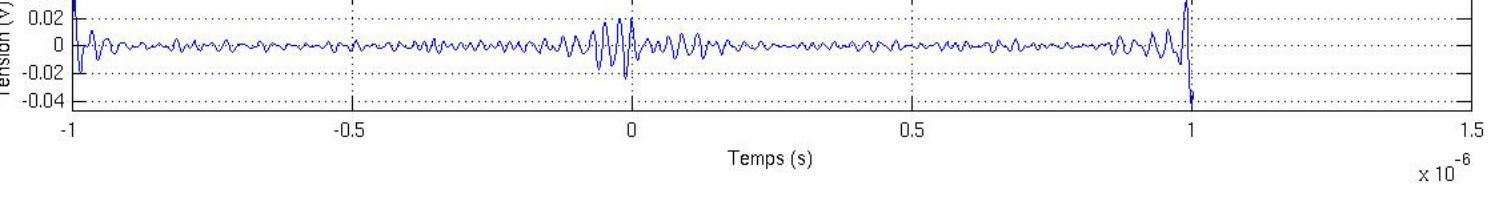
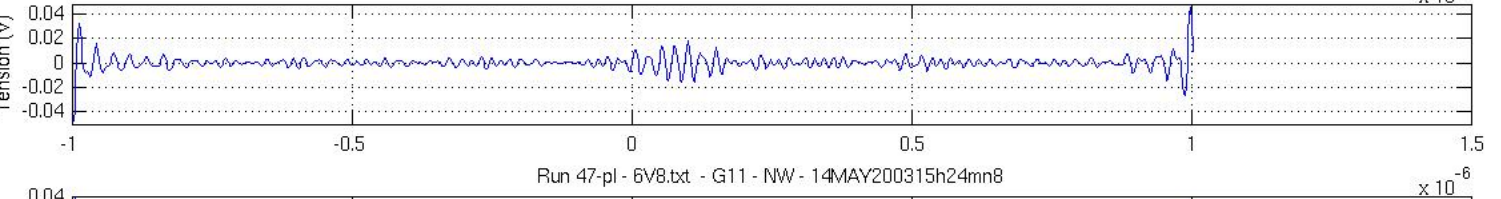
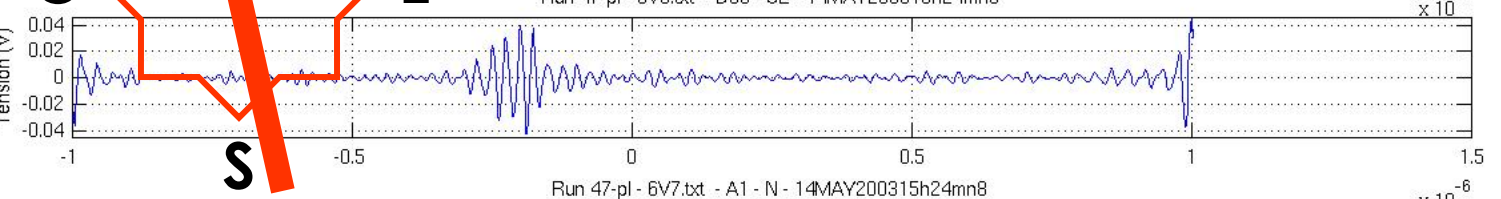
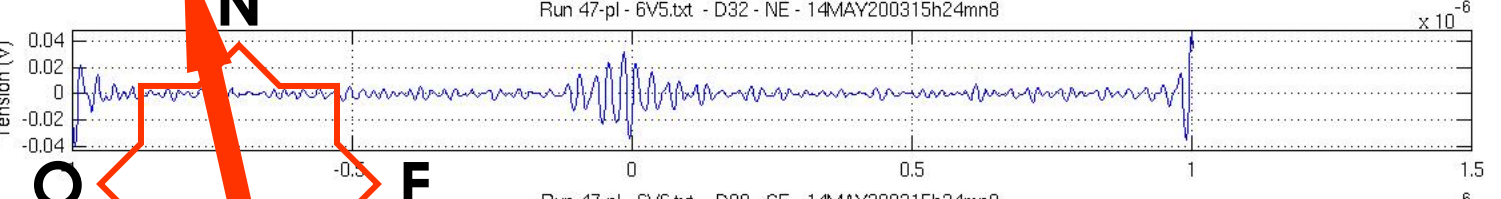
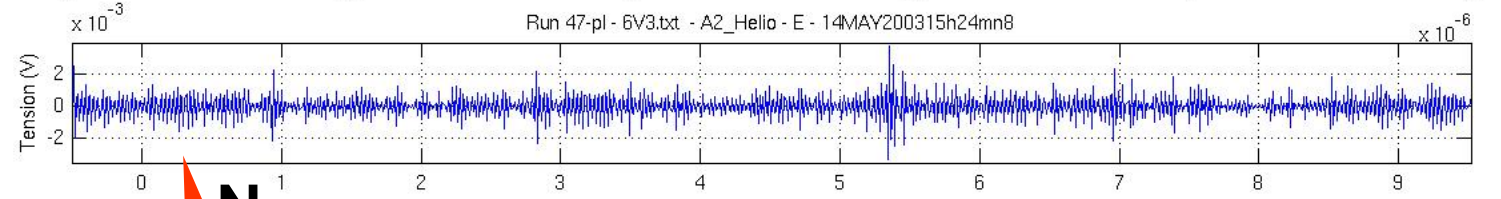
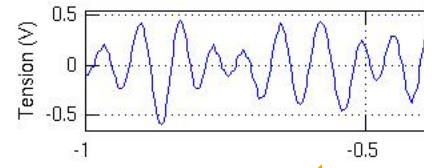
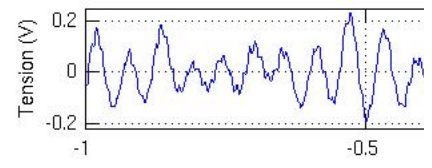
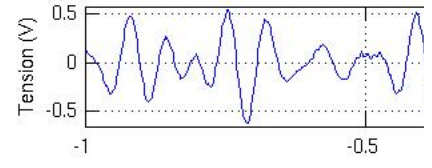
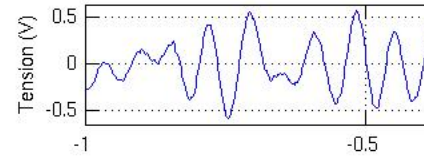
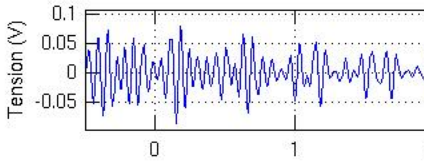
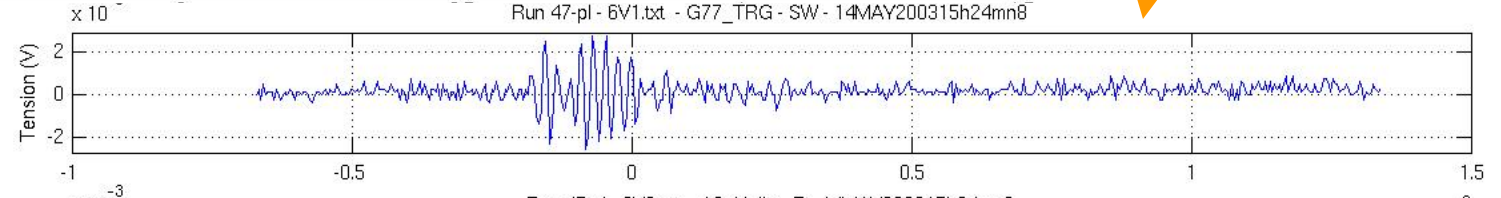
- Bon SNR => seuil de trigger très bas ( $7 \mu\text{V/m}$ )
- Signal observé sur de grandes distances (1km)





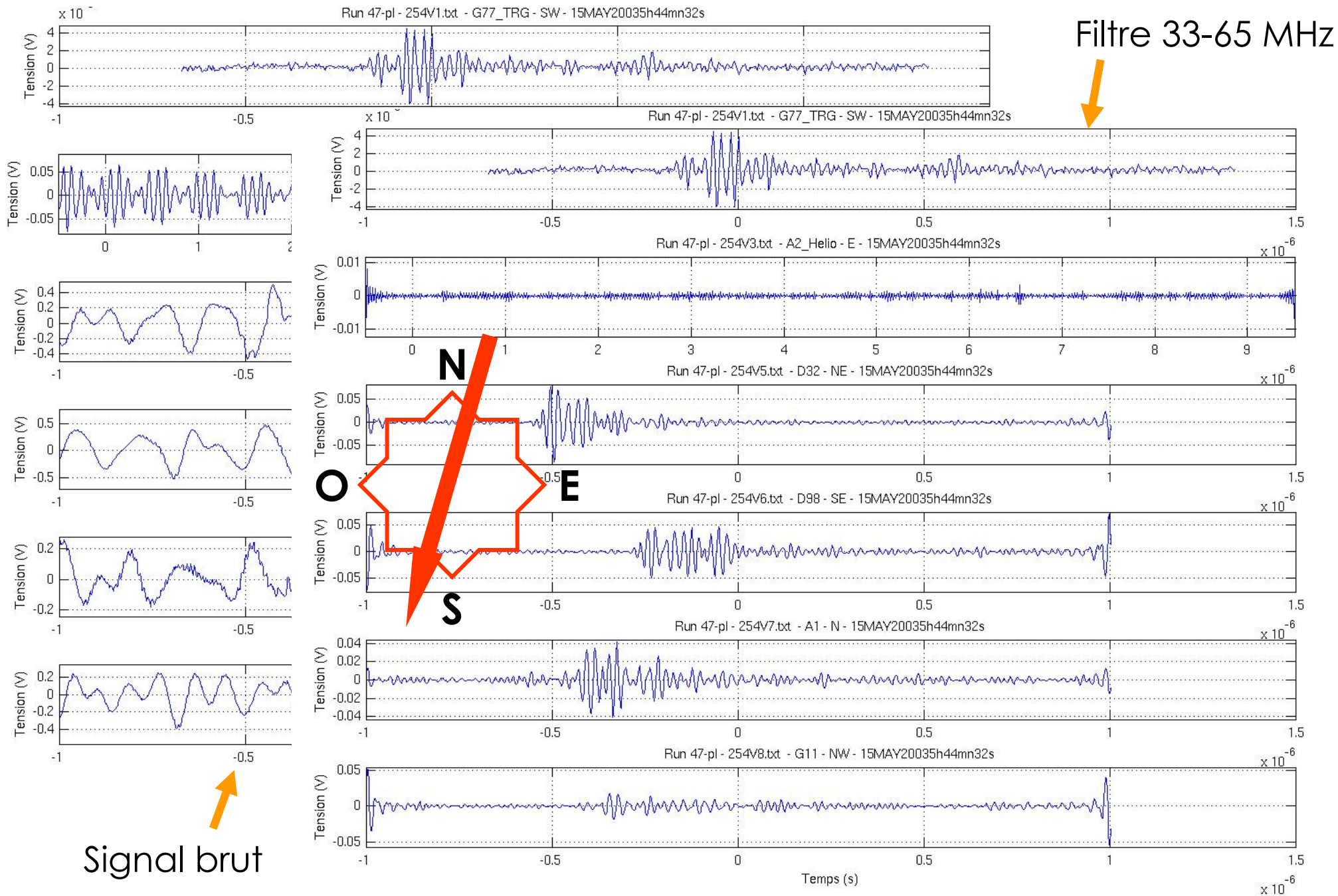


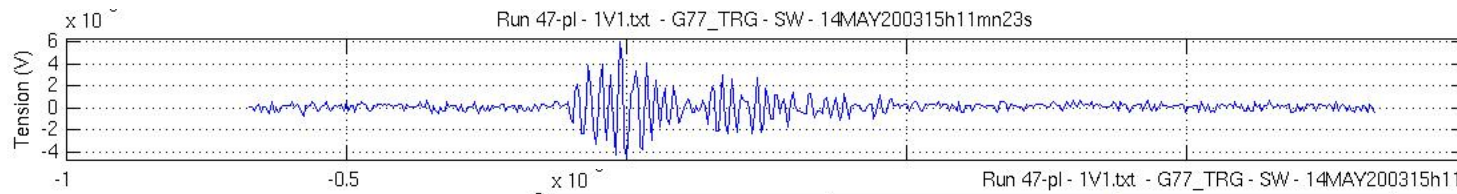
Filtre 33-65 MHz



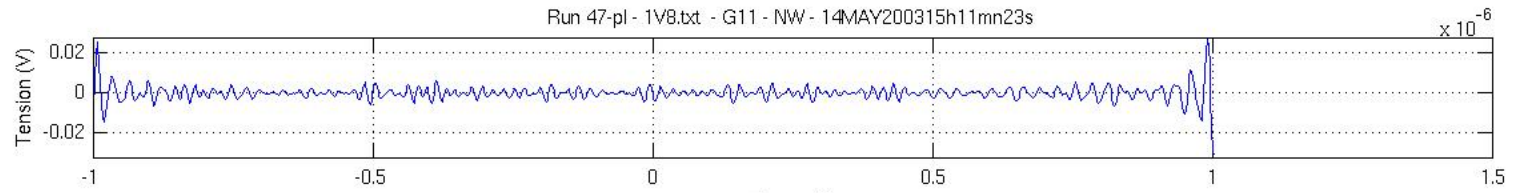
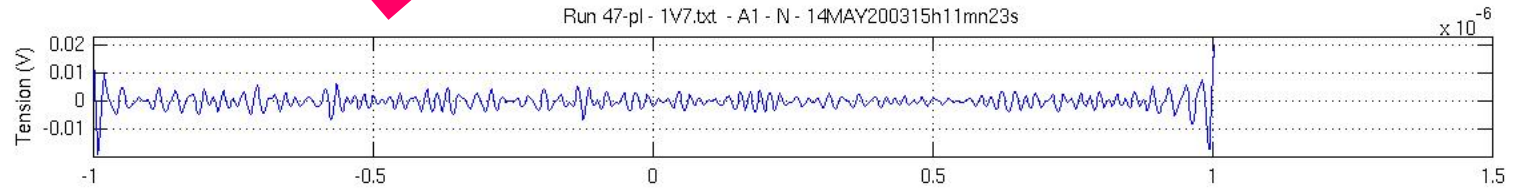
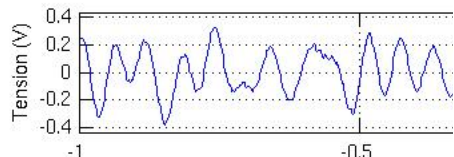
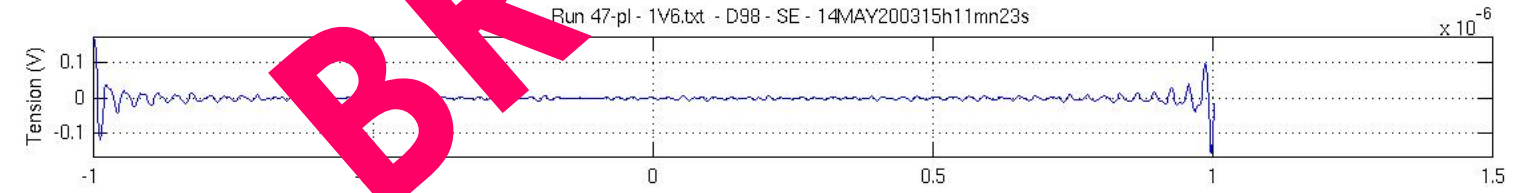
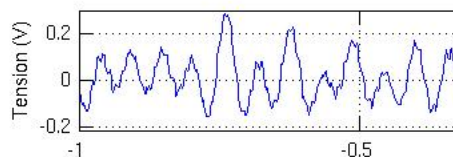
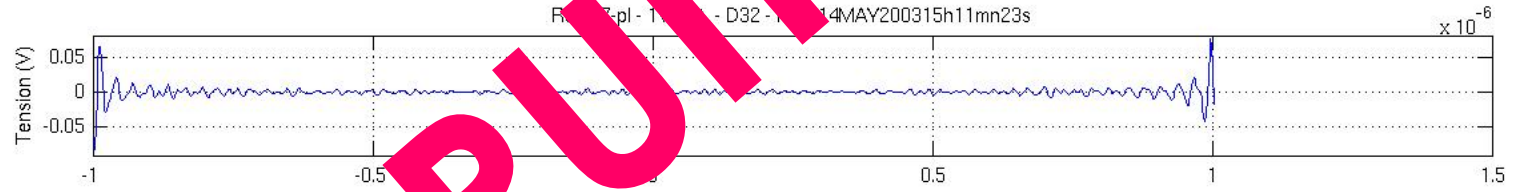
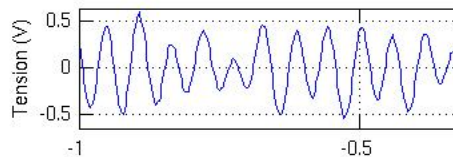
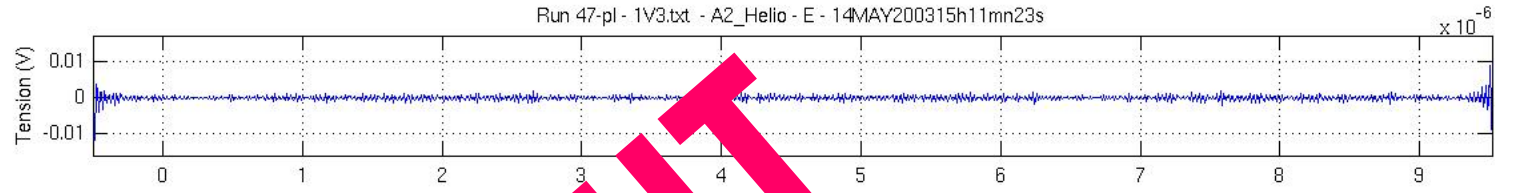
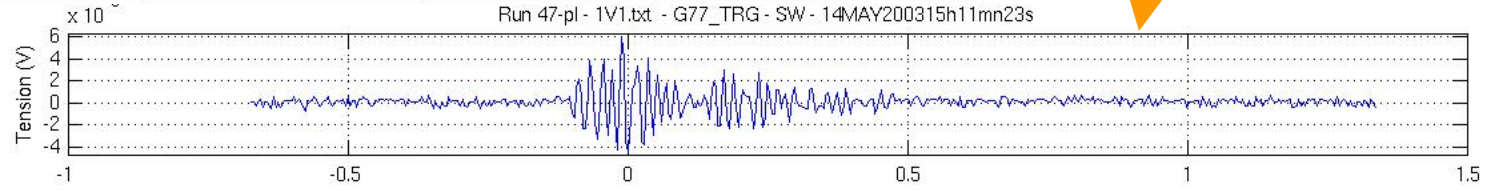
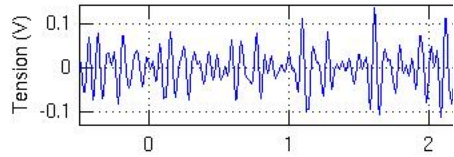
Signal brut







Filtre 33-65 MHz



**BRUIT**

Signal brut



# Résultats très préliminaires

- Seuil Trigger :  $2 \text{ mV} / 56 = 35 \text{ } \mu\text{V}$  - Hauteur effective d'antenne : 5 m  
=> Seuil en champ électrique :  $E = 7 \text{ } \mu\text{V/m}$

Nombre de détecteurs touchés	1 (antenne trigger seule)	5 (antennes RDN)	6 (RDN + antenne 1 km)
Taux d'évènements par heure	12,5	2	0,5

(En supposant  $S = 1 \text{ km}^2$  =>  $E \text{ gerbe} \sim 10^{16} \text{ eV}$ )

## Confirmation rapide ?

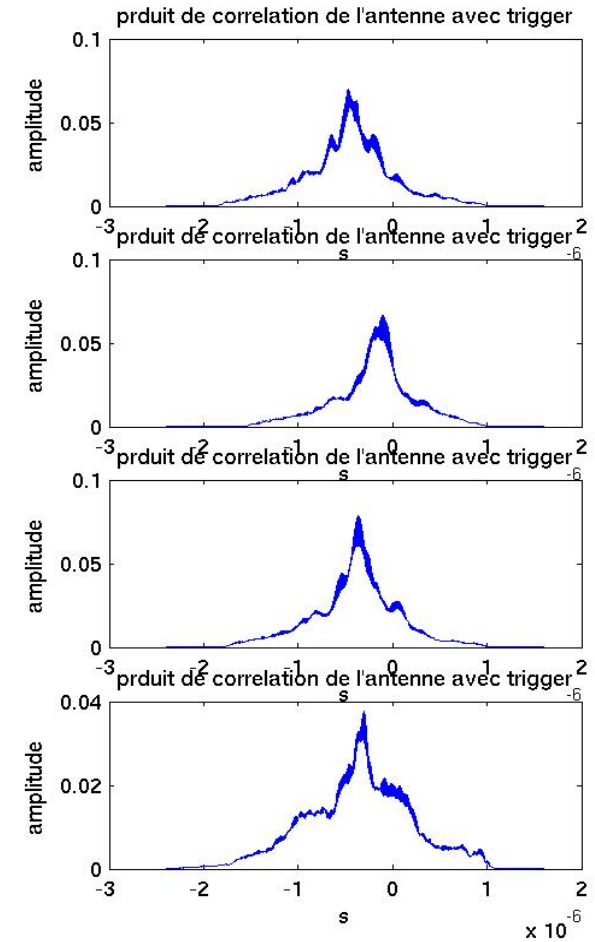
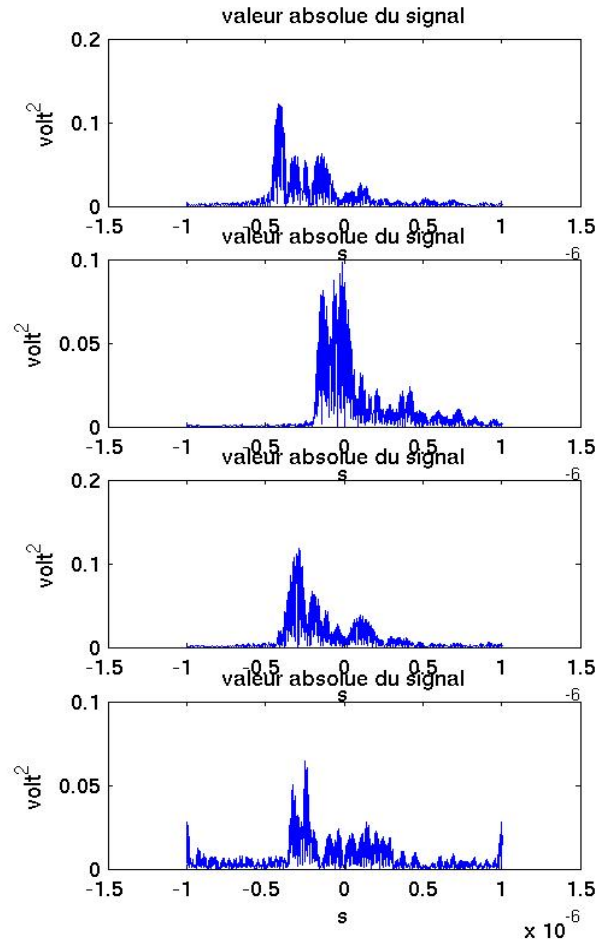
- En abaissement le seuil =>  $1 \text{ } \mu\text{V/m}$  ( $\sim 10^{15} \text{ eV}$  ?)
- En corrélant avec un signal impulsionnel BF (0.5-6 MHz)
- En augmentant la dimension du réseau pour localiser la tache Cerenkov

# Analyse automatisée des temps d'arrivée

- **Produit de corrélation**

$$C_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1^*(t) \cdot s_2(t + \tau) \cdot d\tau$$

- **Produit réalisé entre le trigger et chacune des antennes**



- **Etiquetage relativement robuste**

- **Précision de l'ordre de 10ns (soit 3m lumière)  $\Rightarrow \Delta\theta = 20'$**



# Et l'avenir ?

Des incertitudes ... mais un fort potentiel

## Des **COMPETENCES** et des **LIENS** entre 2 **COMMUNAUTES**

- ⇒ **Modèle théorique** : Théoriciens de SUBATECH
- ⇒ **Système de détection** : SUBATECH (IN2P3-Univ de Nantes-EMN),  
Obs. Paris-Meudon (INSUE), Station de Nançay (INSUE)
- ⇒ **GdR PCHE & RADAC (IN2P3-INSUE)**

## NOTRE COLLABORATION EST OUVERTE ...

### Objectifs après 2003

- ⇒ **Modélisations théoriques , Mini-réseau, Mesures en coïncidence avec détecteur de particules (2003-2005) => Dipôles courts**
  - ⇒ **Vers un grand réseau ? ... (2006)**

# Vers une nouvelle technique d'observation impulsionnelle & basée sur un réseau numérique phasable ?

- **Astroparticules :**

  - Imageur radio Cerenkov (cycle utile **100%**)

- **Astronomie : le ciel impulsionnel ?**

  - Imagerie décimétrique impulsionnelle  
(**s'affranchir de la turbulence**)

  - Emissions solaires impulsionnelles, ...

