

RADIO DÉTECTION DES GRANDES GERBES COSMIQUES

SUBATECH

IN2P3 - Université de Nantes -
Ecole des Mines de Nantes

www.univ-nantes.fr



**OBSERVATOIRE DE PARIS-
MEUDON-NANCAY**



R. Dallier
T. Gousset
F. Haddad
P. Lautridou

E. Morteau
O. Ravel
C. Roy


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



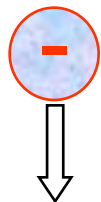
Redécouverte : preuve du principe sur accélérateur (D. Saltzberg, 2000)

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

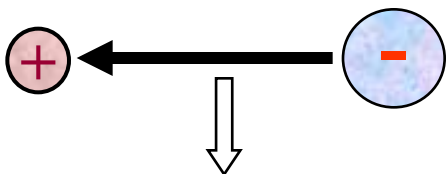
Identifiés en 1970

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

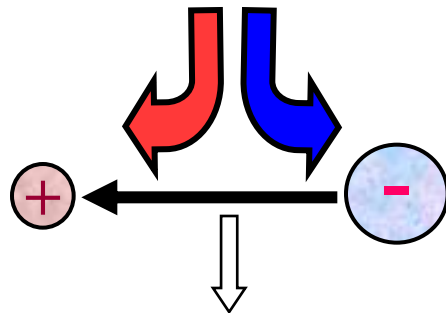


- Effet géomagnétique $F=qV \times B$

→ moment dipolaire



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



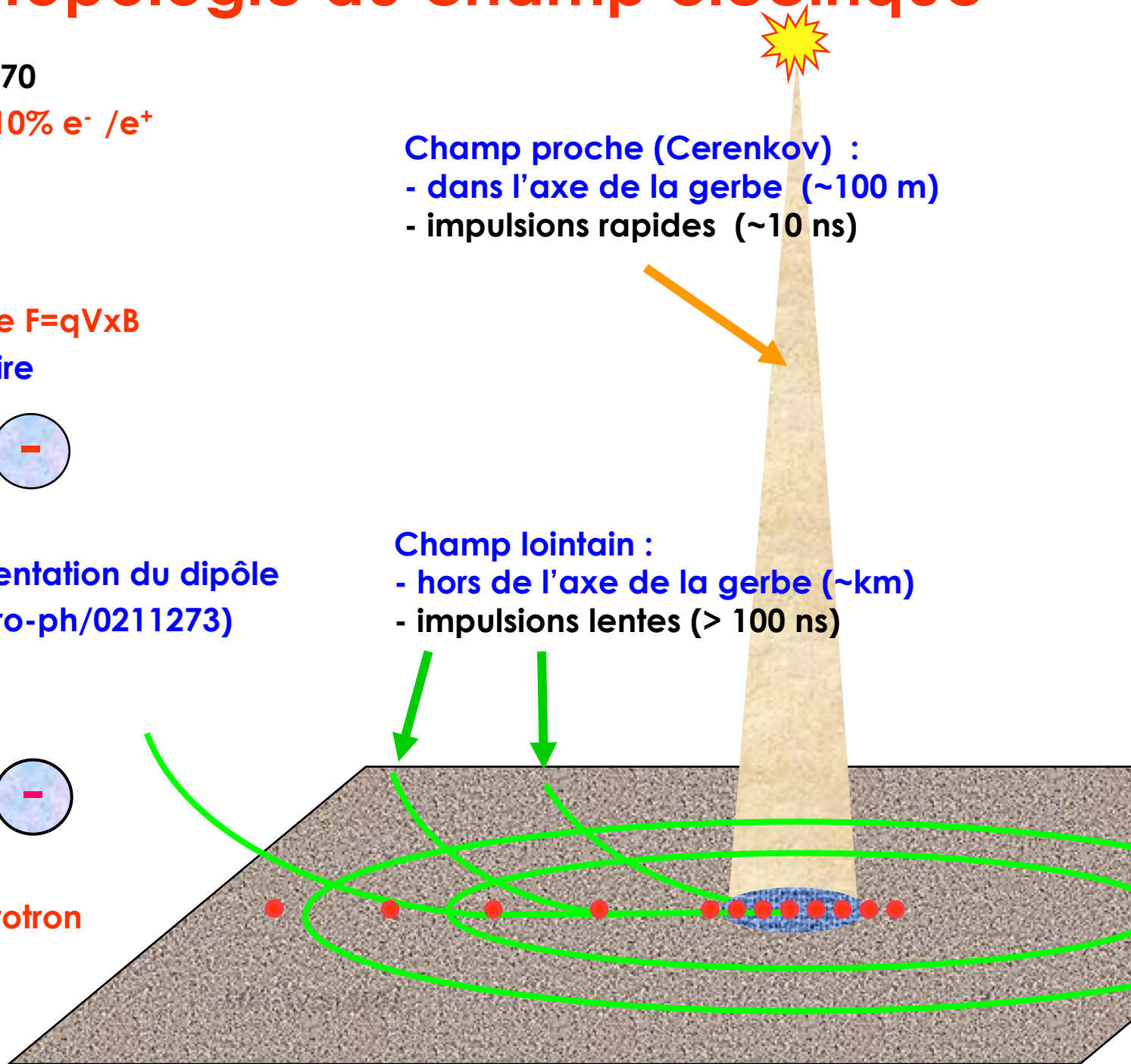
- Emission Synchrotron
- Cerenkov

Champ proche (Cerenkov) :

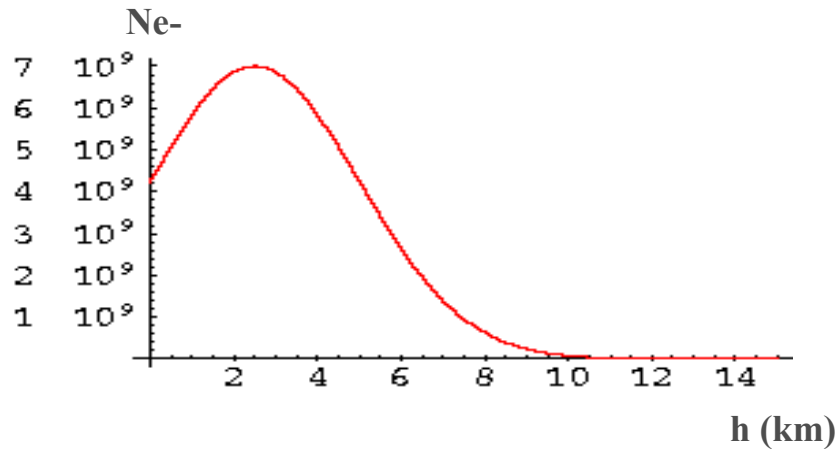
- dans l'axe de la gerbe (~ 100 m)
- impulsions rapides (~ 10 ns)

Champ lointain :

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



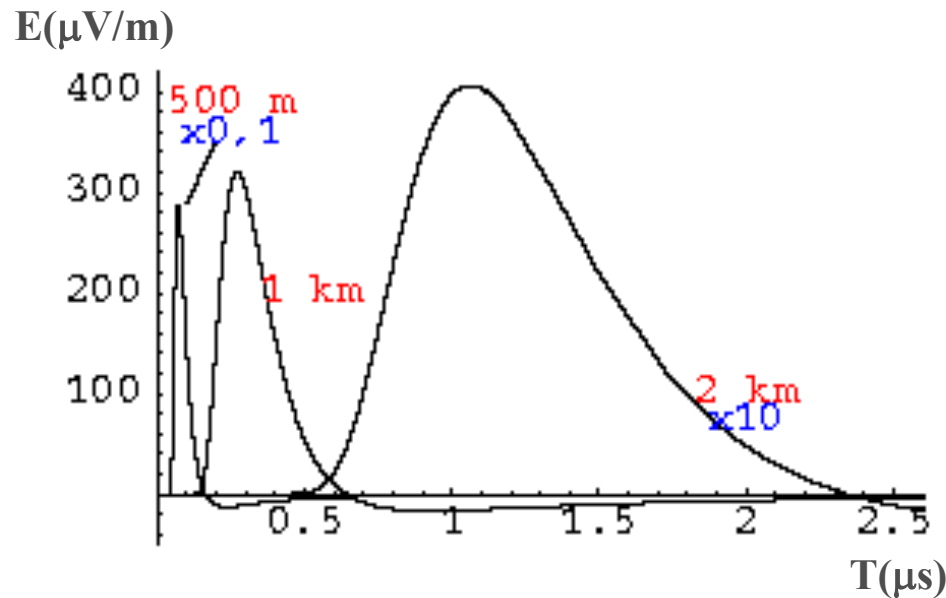
Exemple de formes d'onde dues à l'excès de charge



• 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

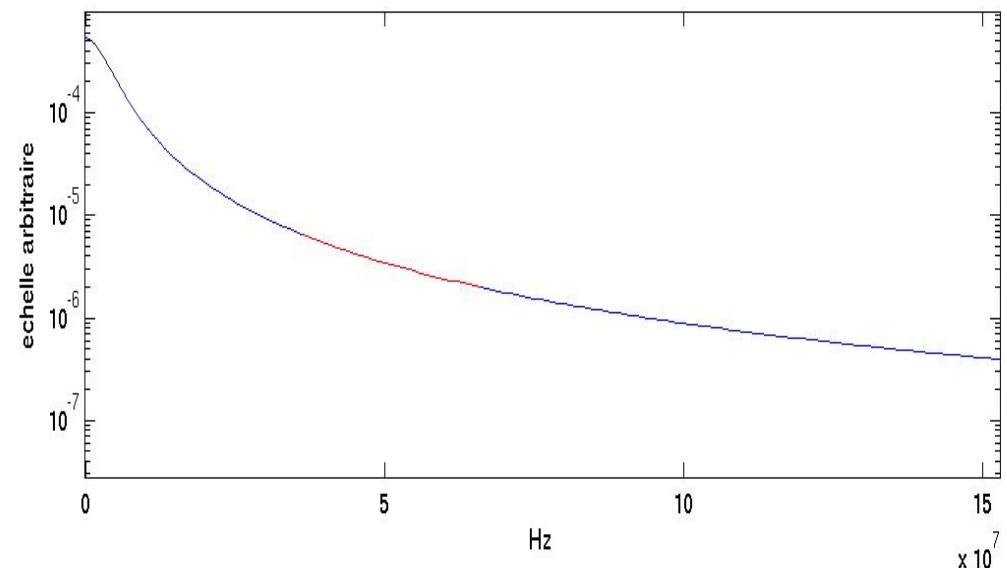
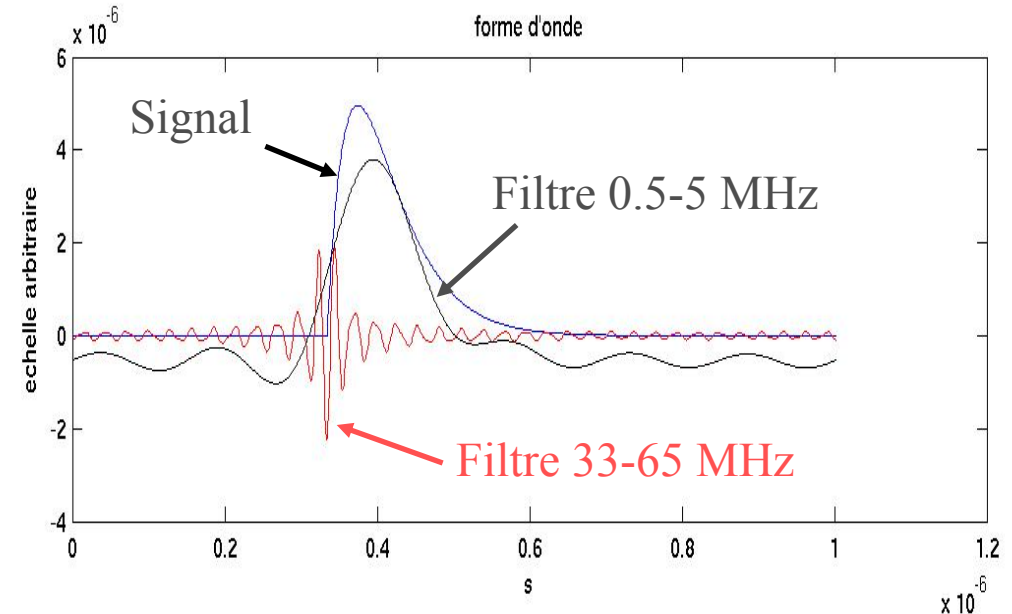
- Trouver et tester le capteur adapté

- 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



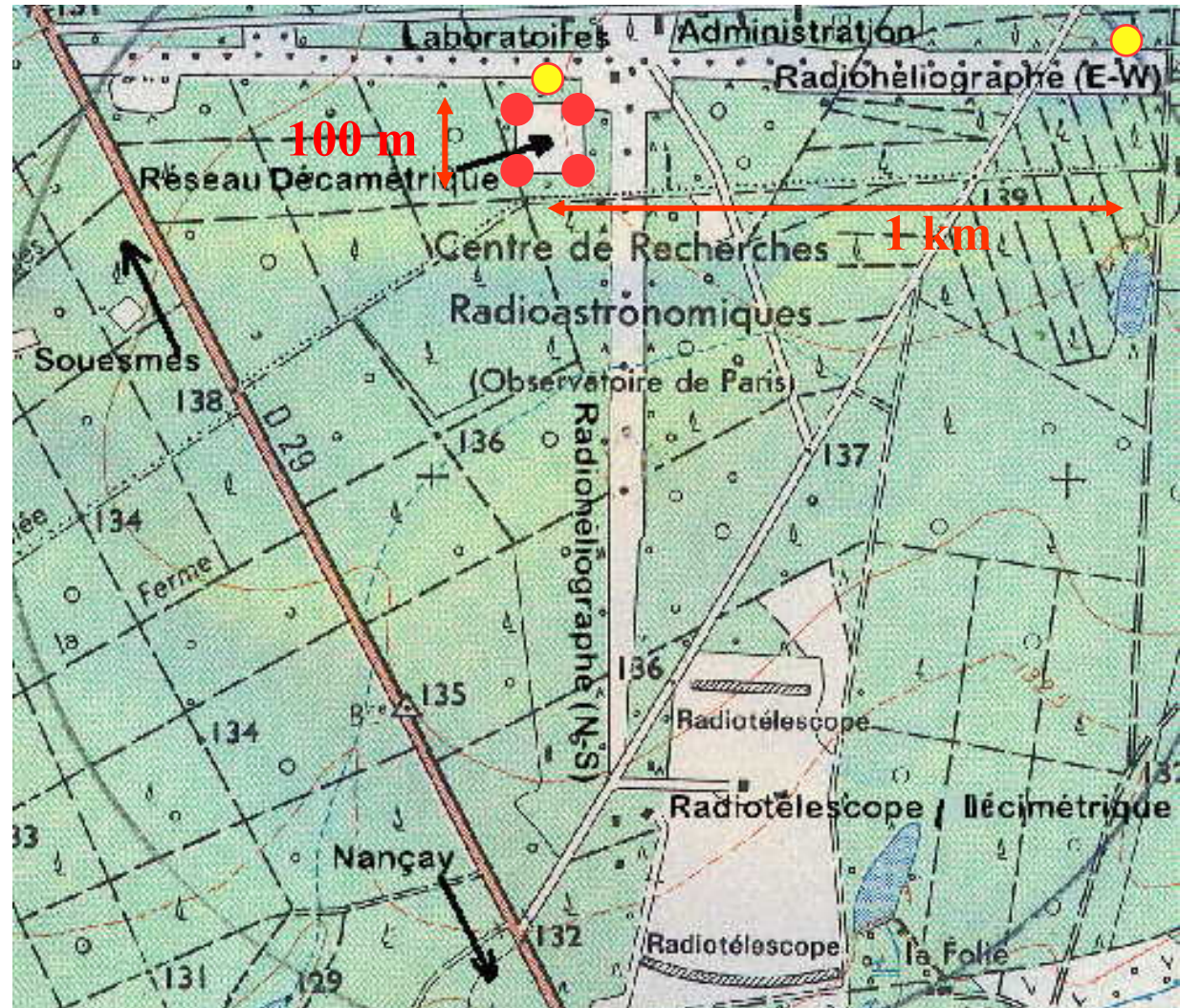
Objectifs en 2002 : trouver un détecteur et évaluer le bruit

- **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)



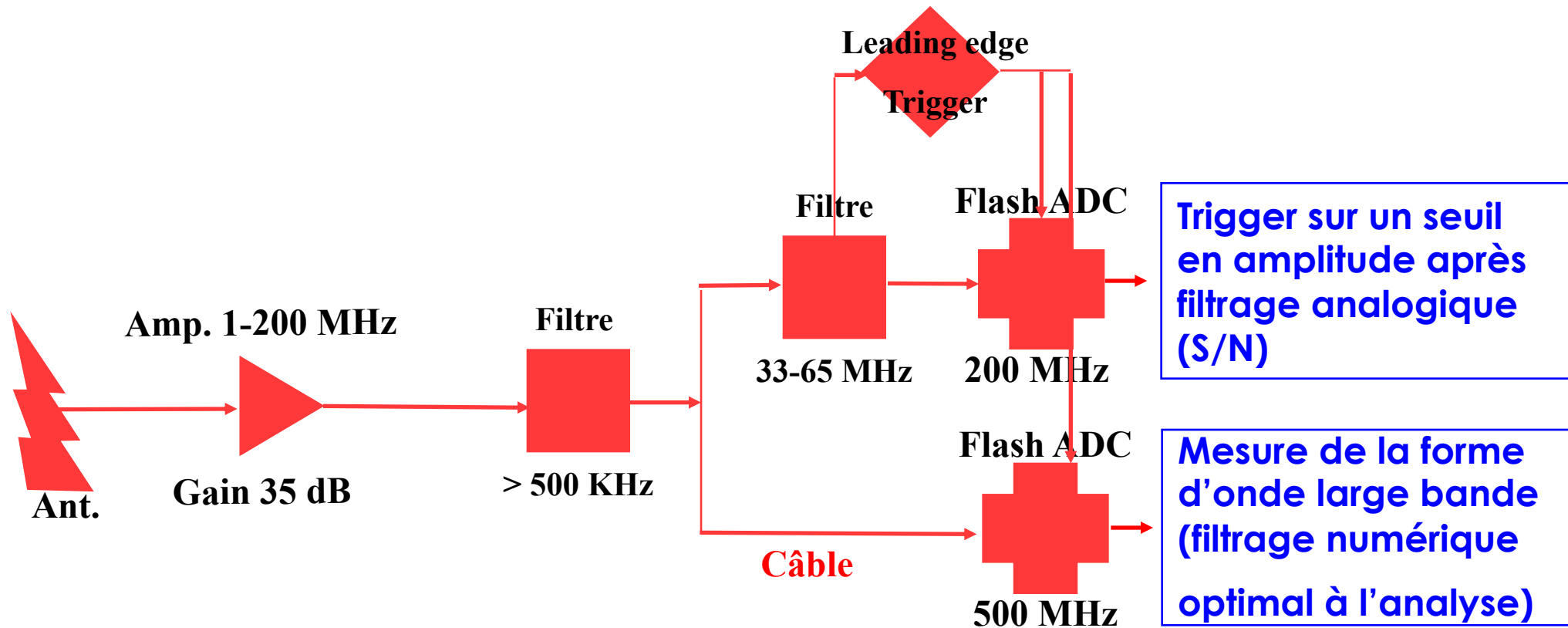
Objectif 2003 : expérience démonstrateur au RDN

- **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 :

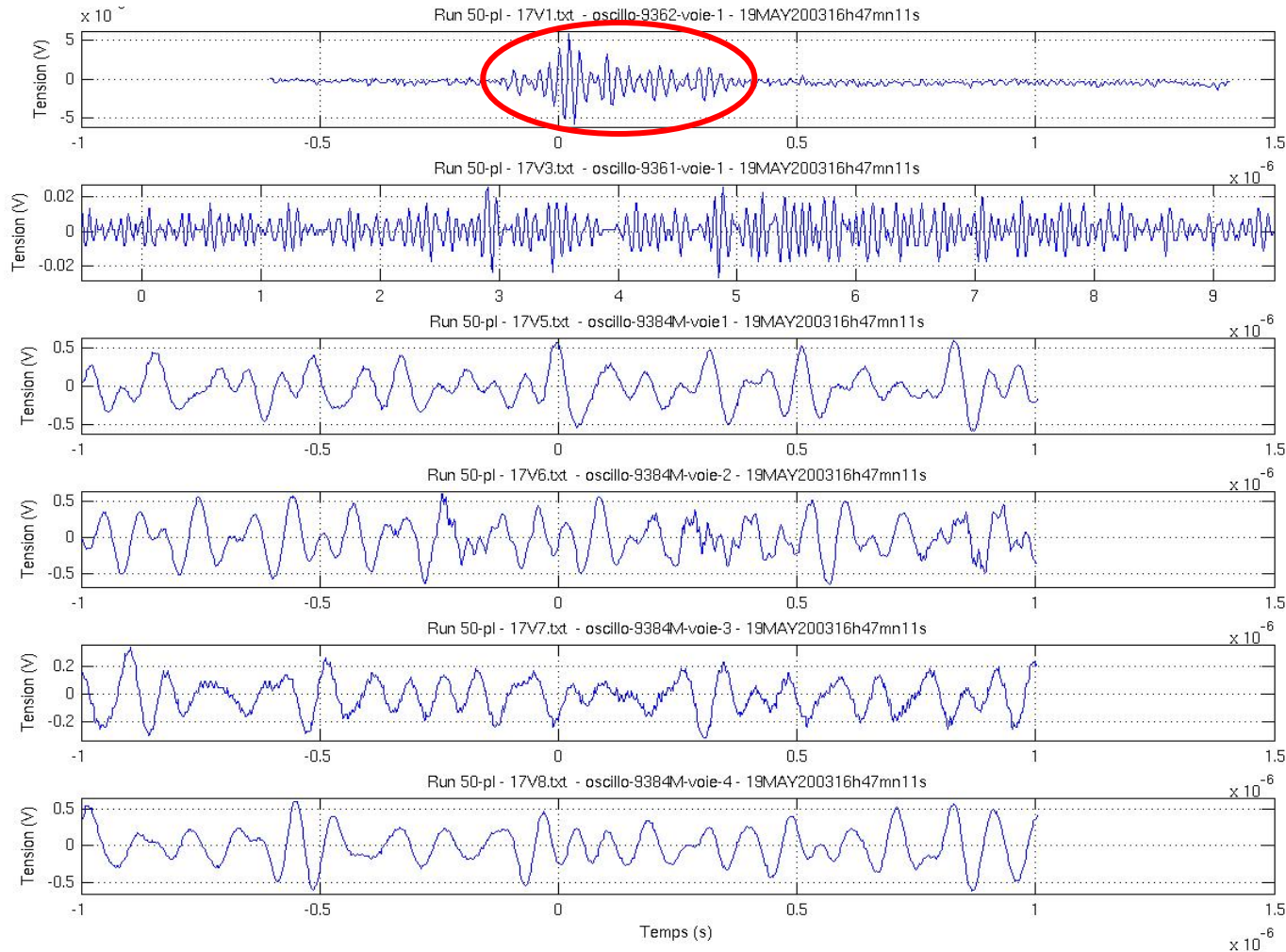
détecter basses énergies “proches” \Leftrightarrow détecter hautes énergies “lointaines”

Évènement typique à large bande

Trigger

1 km

4 coins



⇒ Le signal transitoire est masqué par les émetteurs de radiodiffusion

Recherche des coïncidences

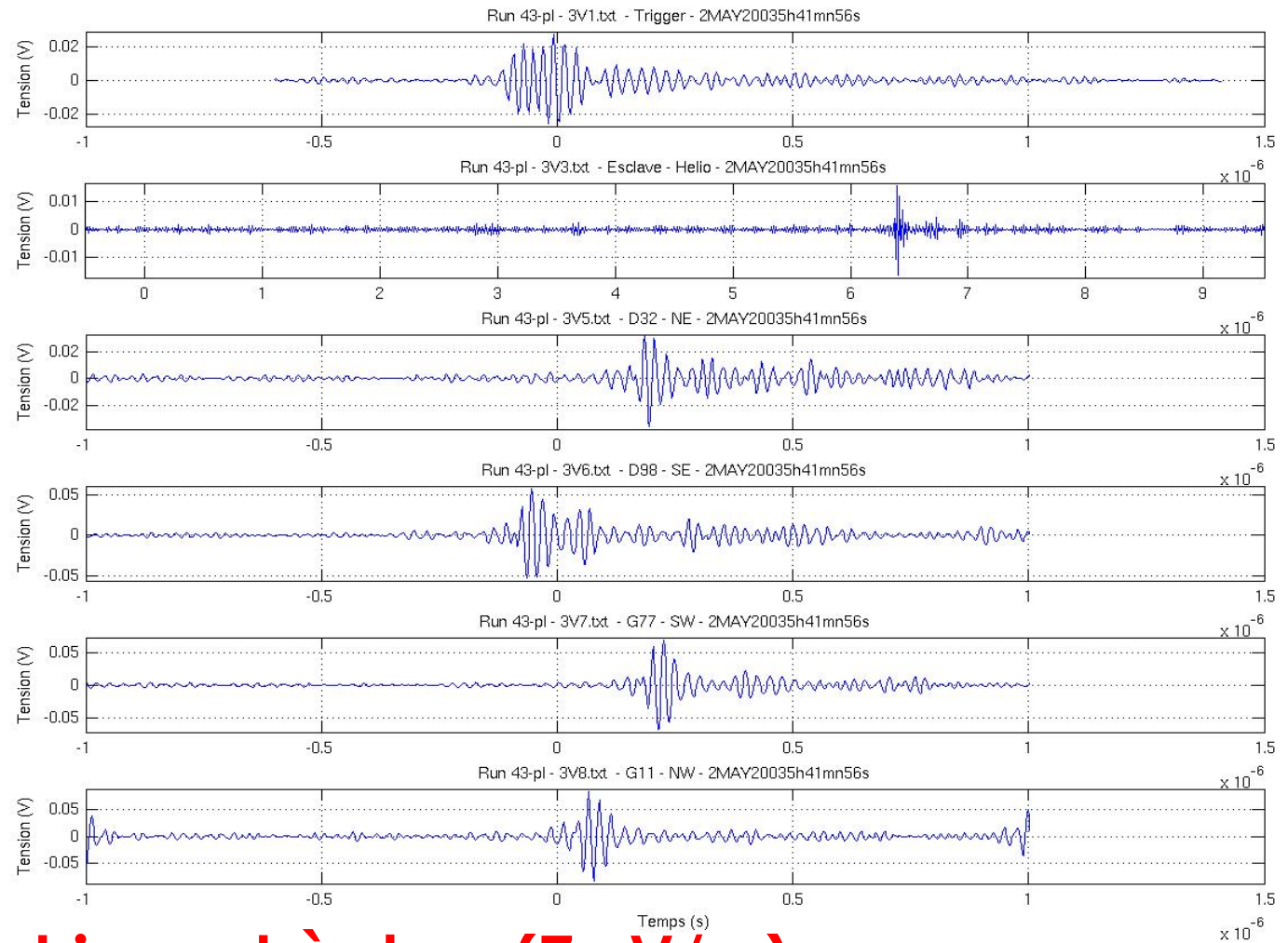
Trigger analogique

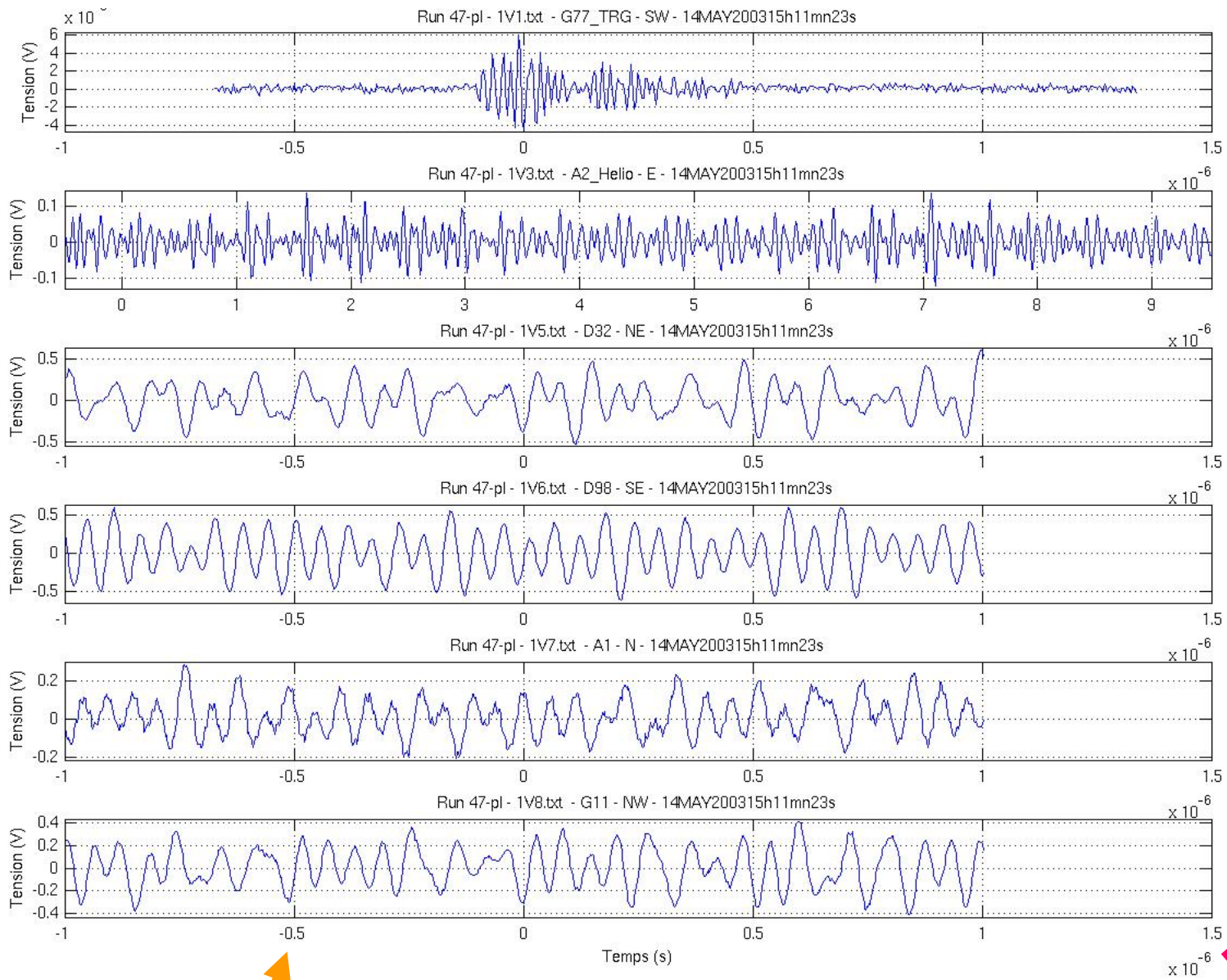
Filtrage numérique
bande 35-65MHz

- 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)



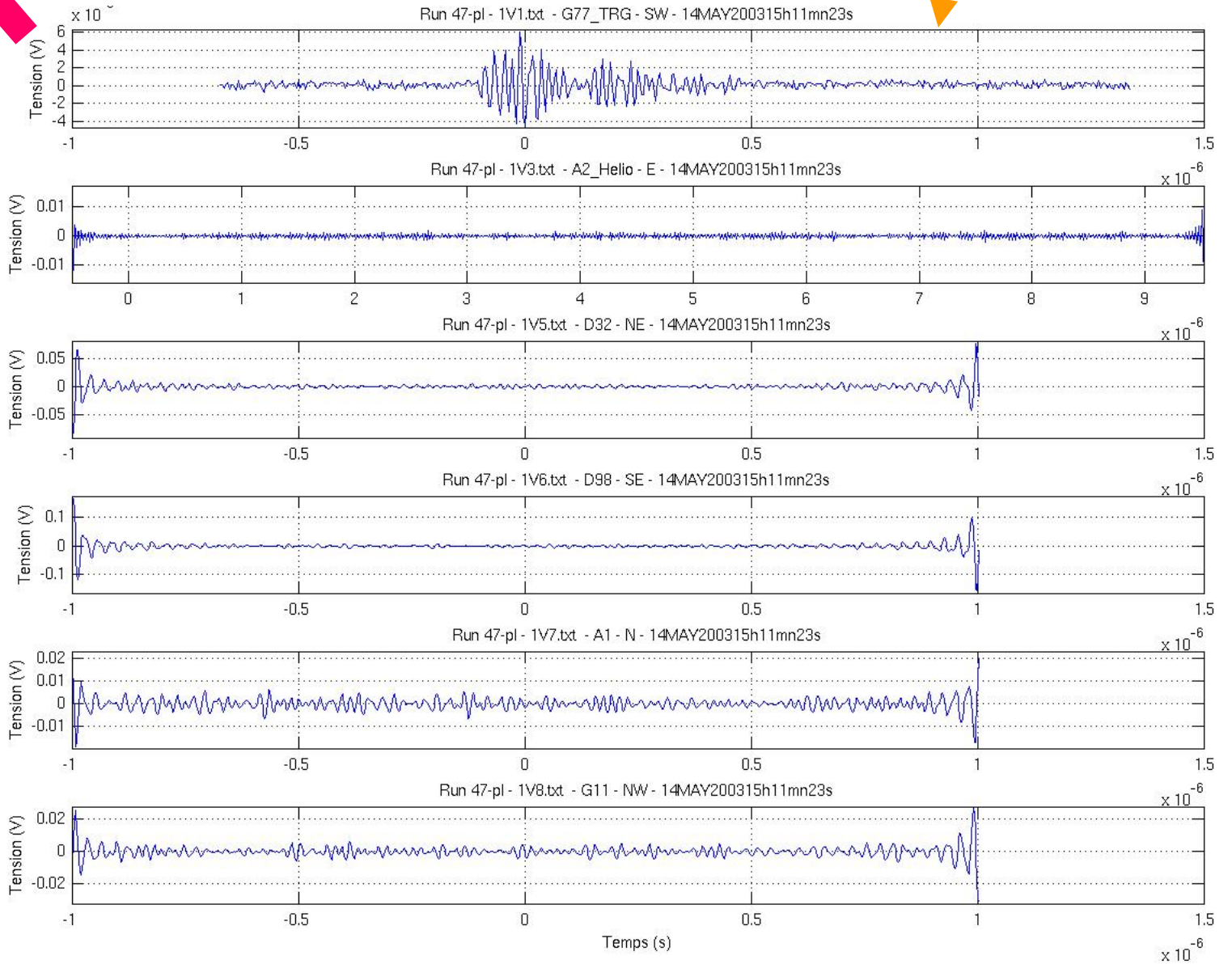


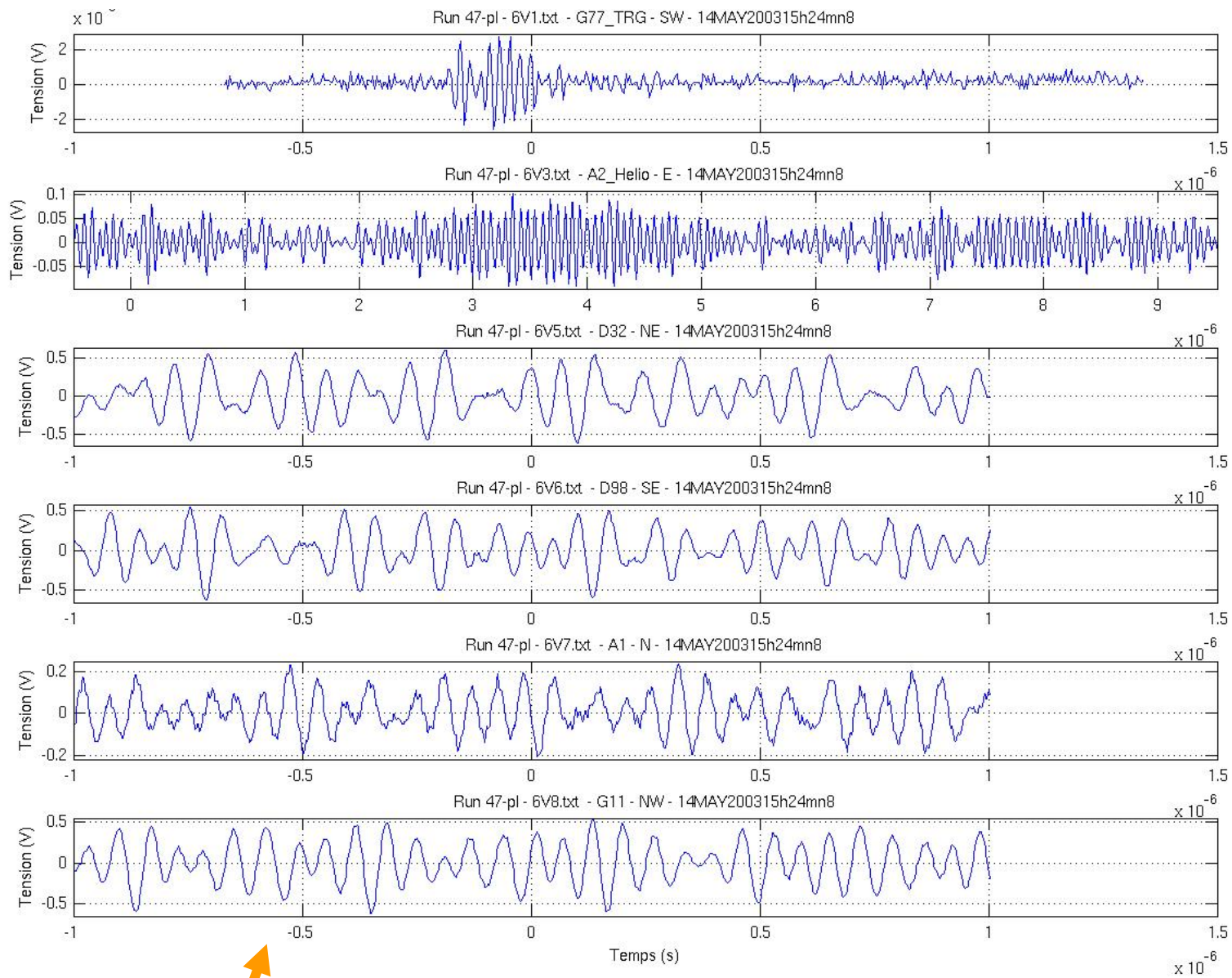
Signal brut

BRUIT

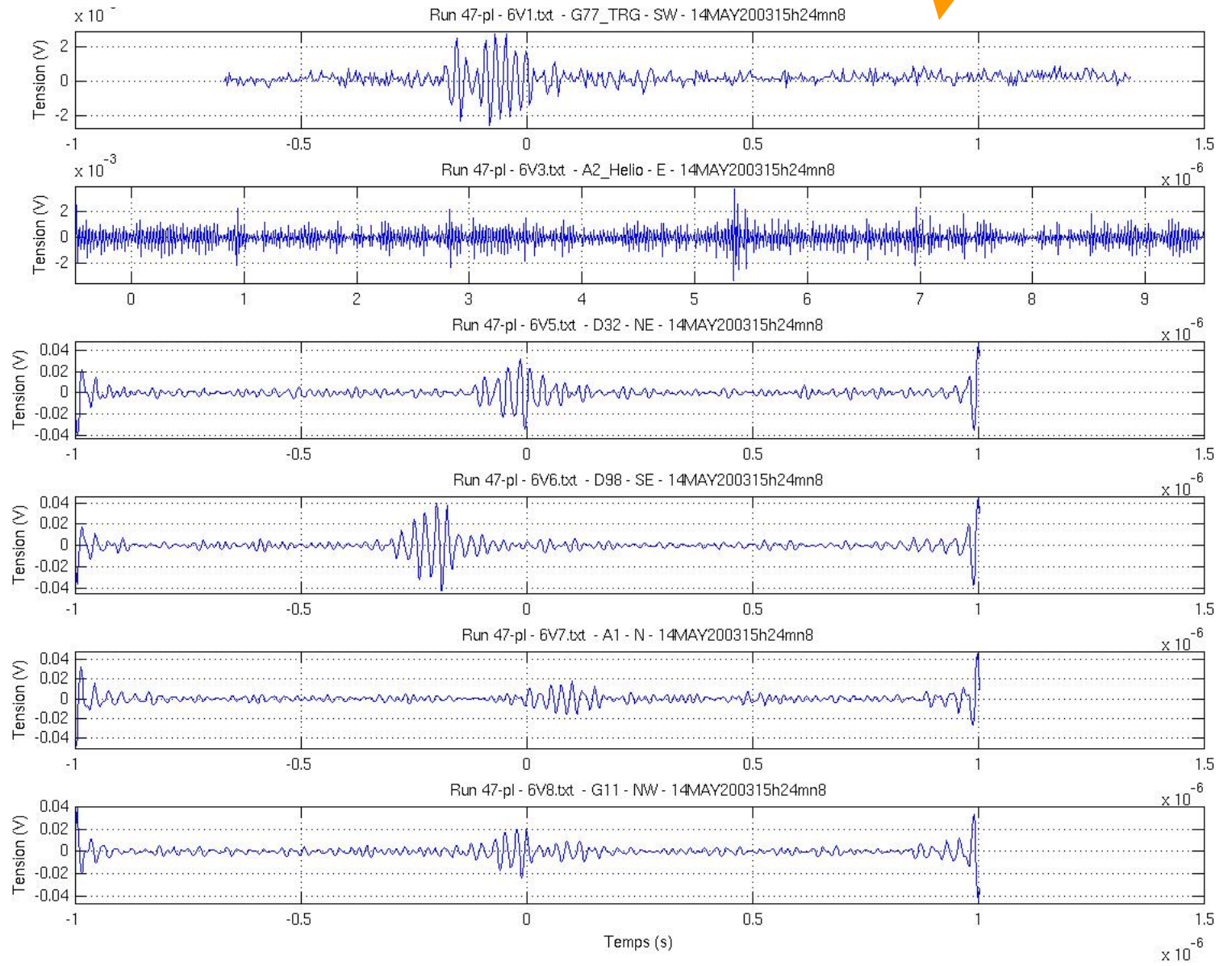
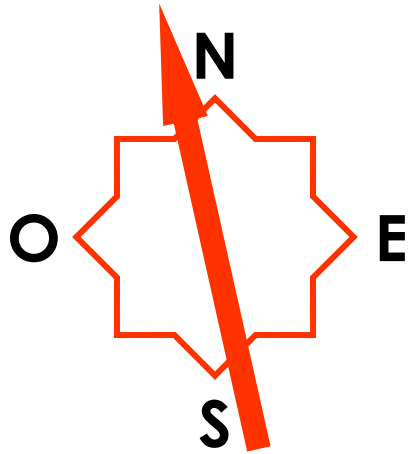
BRUIT

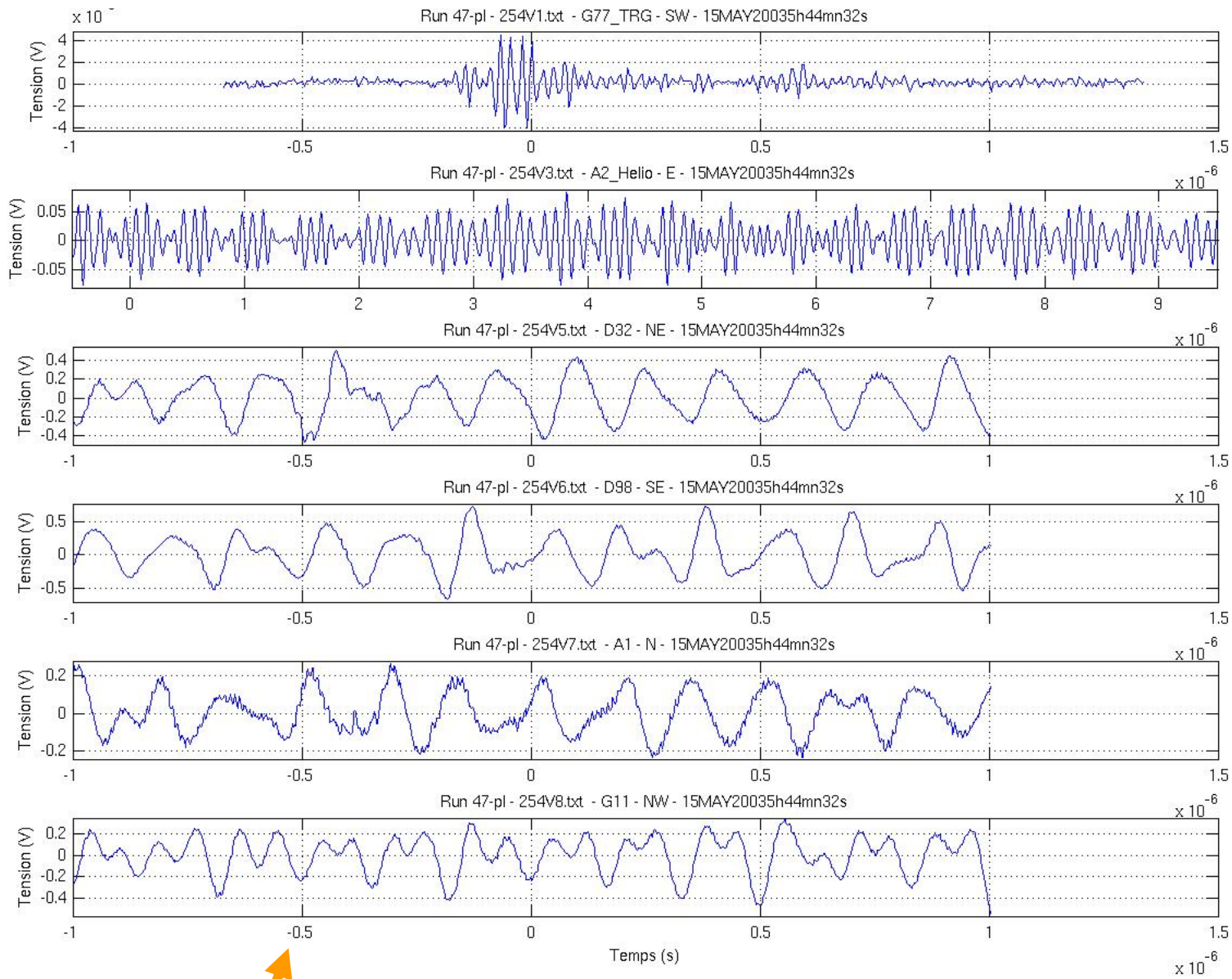
Filtre 33-65 MHz





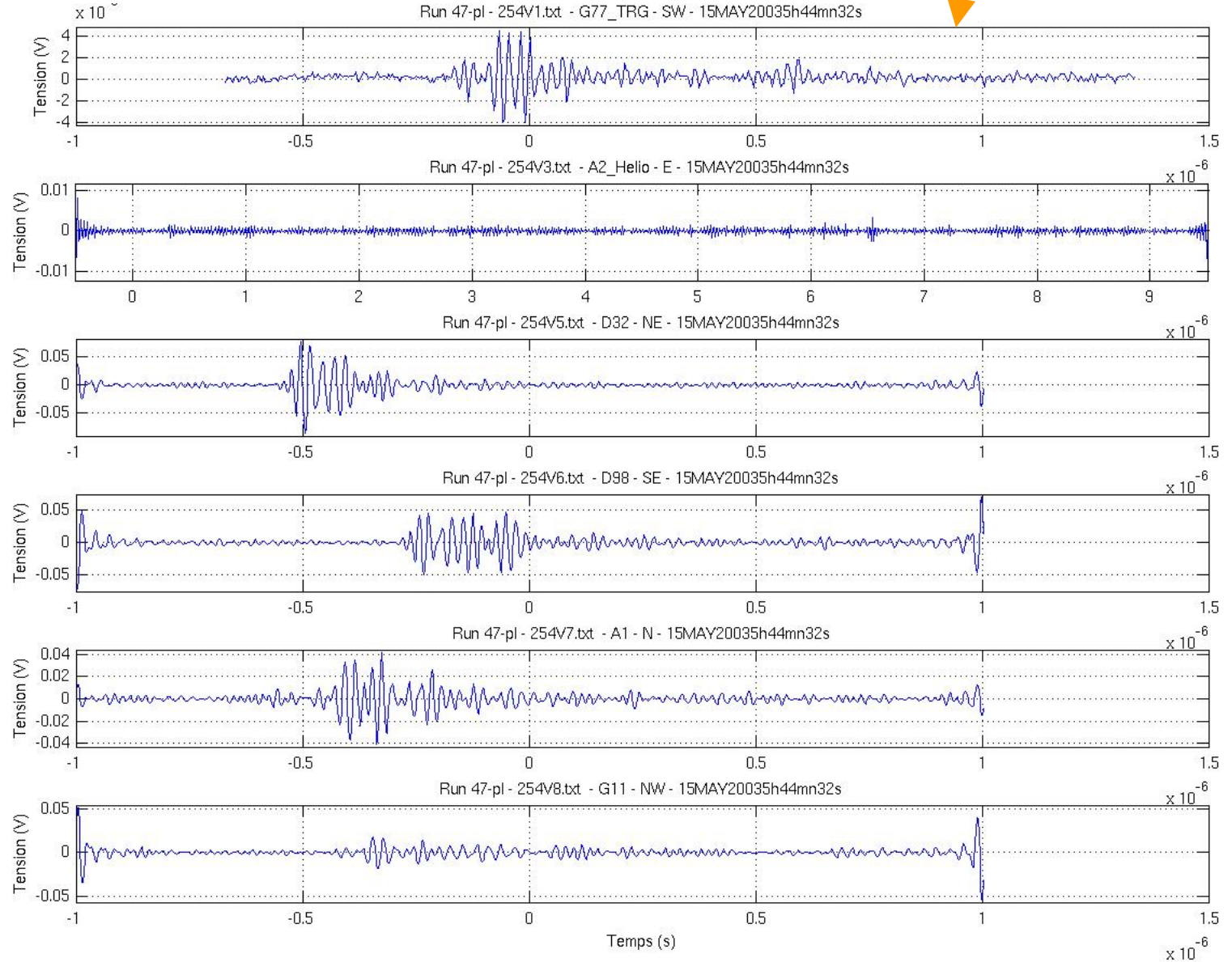
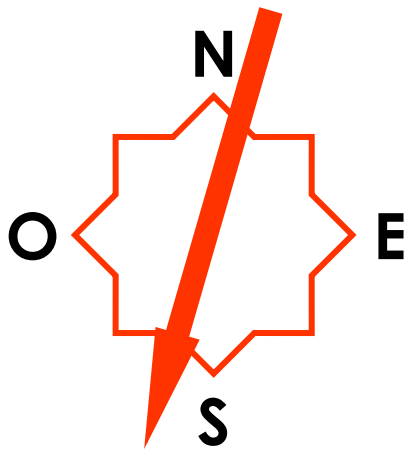
Signal brut





Signal brut

Filtre 33-65 MHz



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

Traitement des données large bande

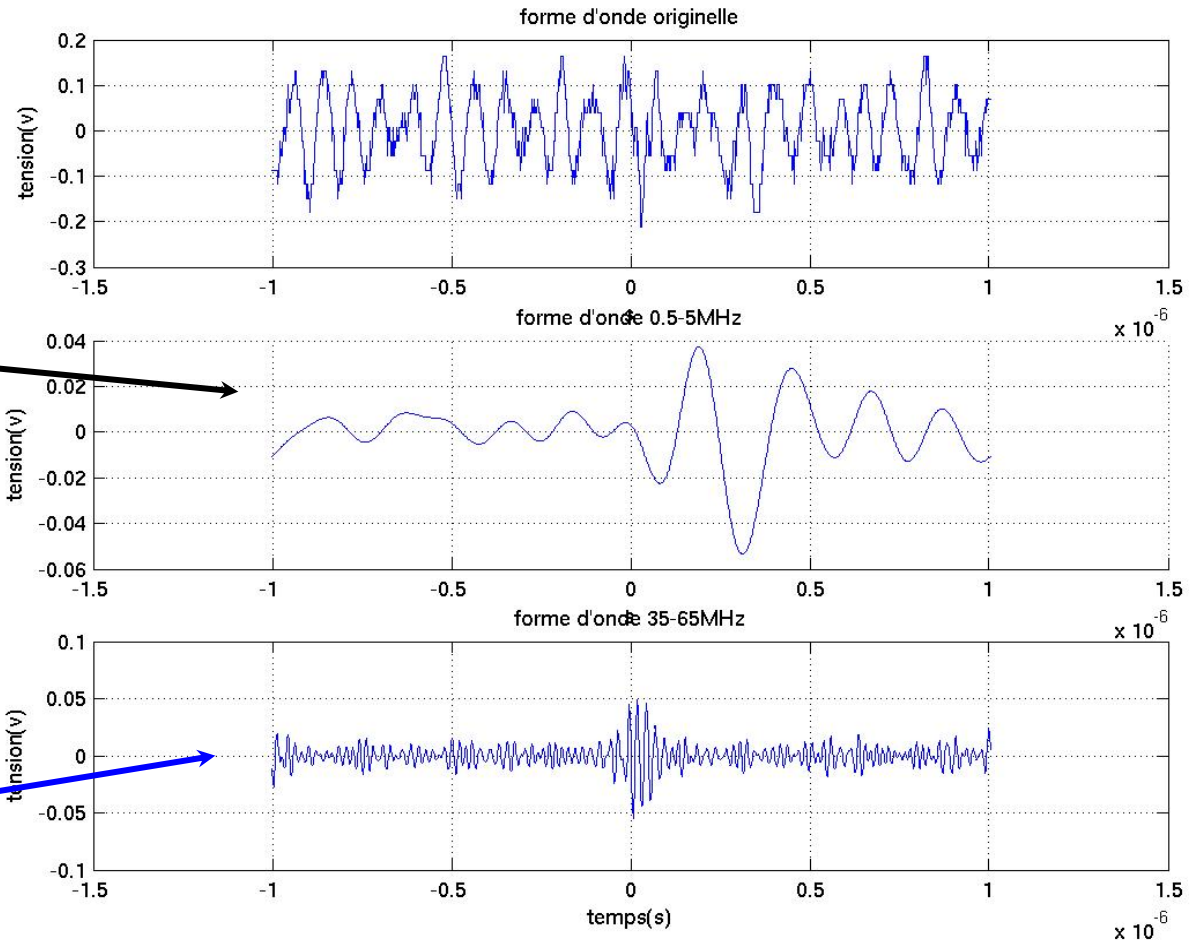
Filtrage "rectangulaire"
numérique



- 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

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

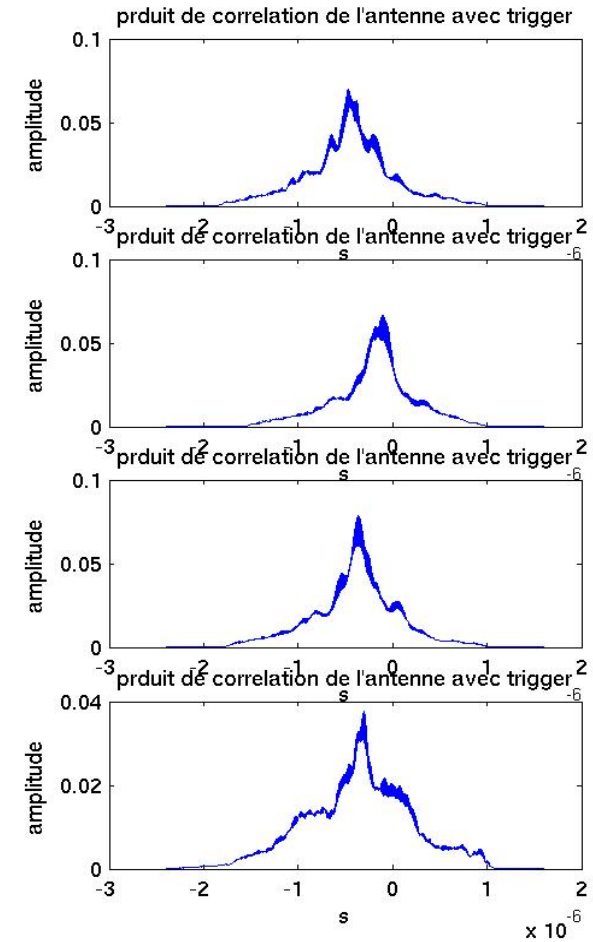
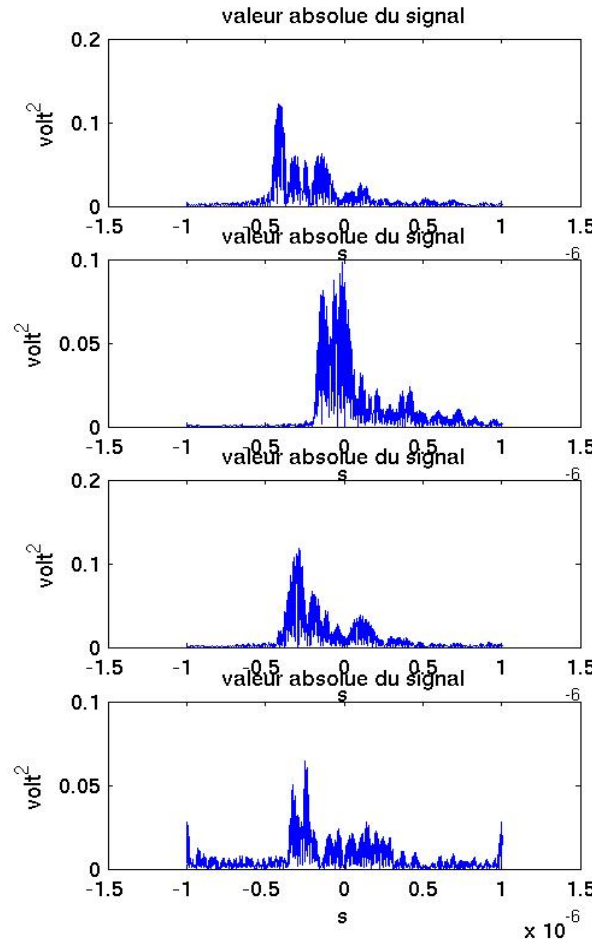
- ⇒ **Modélisations théoriques , Mini-réseau, Mesures en coïncidence avec détecteur de particules (2003-2005) => Dipôles courts**
 - ⇒ **Vers un grand réseau ? ...**

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) $\Rightarrow \Delta\theta = 20'$**