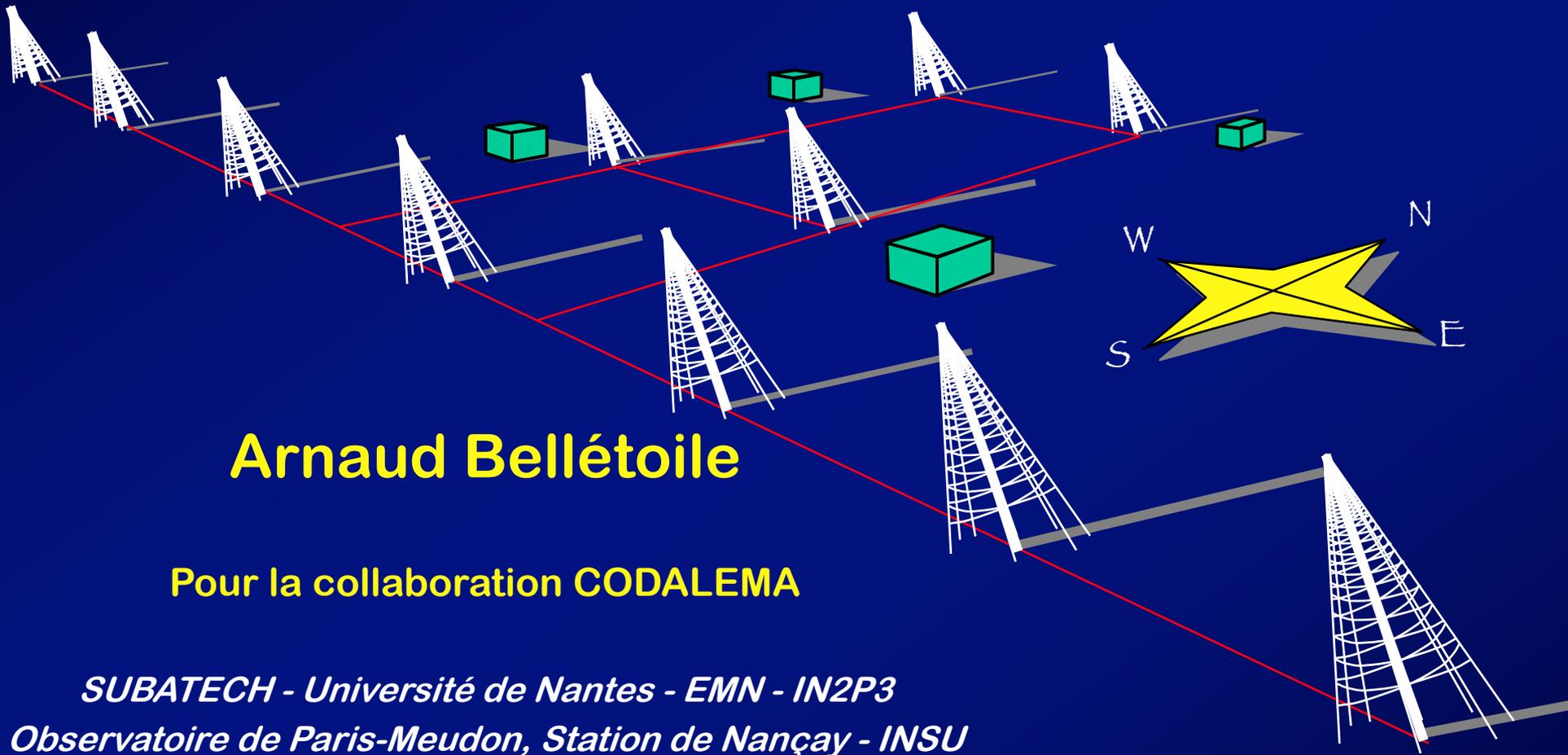


# CODALEMA

*COsmic ray Detection Array with Logarithmic ElectroMagnetic Antennas*



**Arnaud Bellétoile**

**Pour la collaboration CODALEMA**

*SUBATECH - Université de Nantes - EMN - IN2P3*

*Observatoire de Paris-Meudon, Station de Nançay - INSU*

*LAL - IN2P3*

*ESEO*

*LPSC Grenoble - IN2P3*

- 1. Origine et caractéristiques du signal attendu**
- 2. Statut de Codalema a la dernière semaine SF2A**
- 3. Procédure de discrimination des évènements gerbes**
- 4. Premières analyses**

- **Direction d'arrivée**

Triangulation du signal entre plusieurs antennes

- **Énergie du primaire**

Proportionnelle au champ électrique

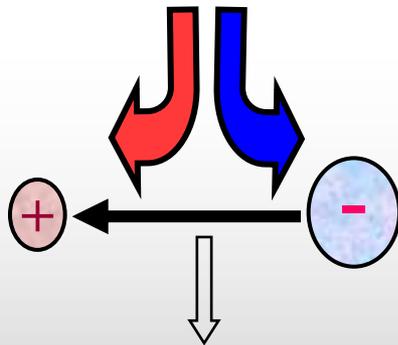
- **Nature du primaire**

$X_{MAX}$ , profil du champ électrique

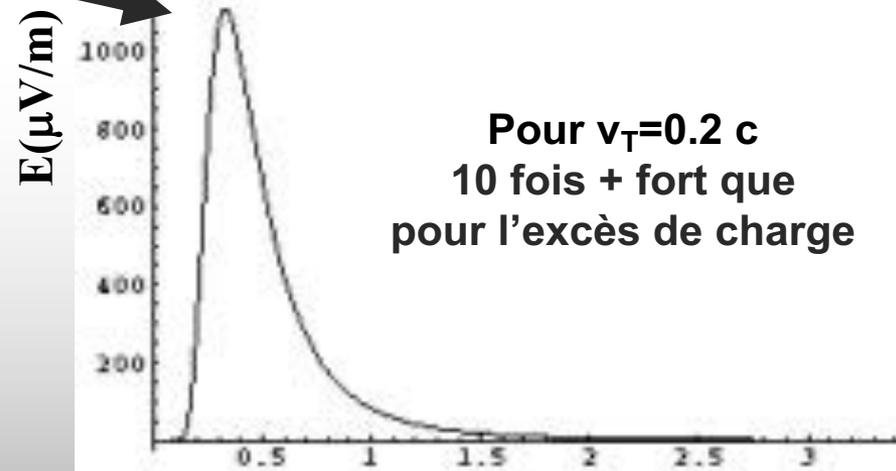
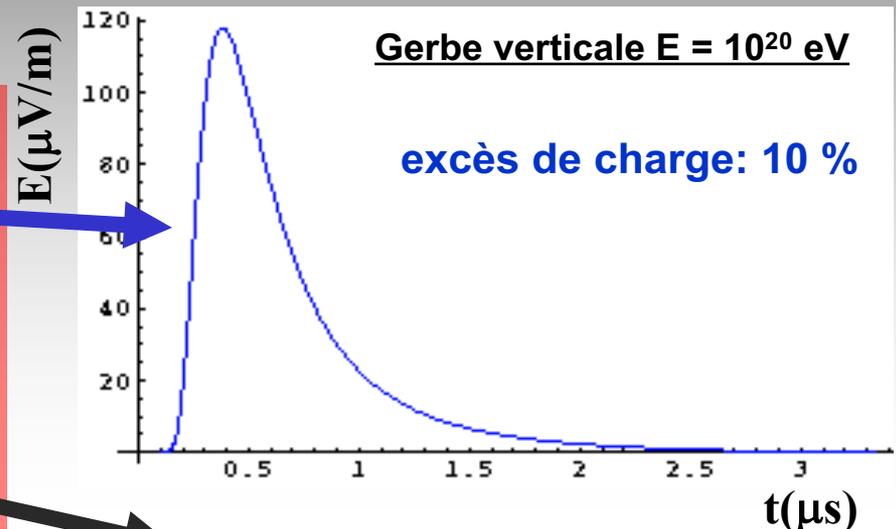
# Origine du champ électrique

- Excès de charge:  $e^-/e^+$  monopole

- Effet géomagnétique  $F=qV \times B$  dipôle



- ◆ Emission dipolaire
- ◆ Emission Synchrotron
- ◆ Emission Cerenkov



Encore plus favorable pour les Gerbes inclinées

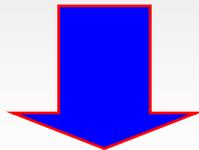
# Simulation @ $10^{20}$ eV

Gerbe verticale  
(excès de charge seul)

amplitude => énergie

durée => paramètre d'impact

forme => Nature du primaire

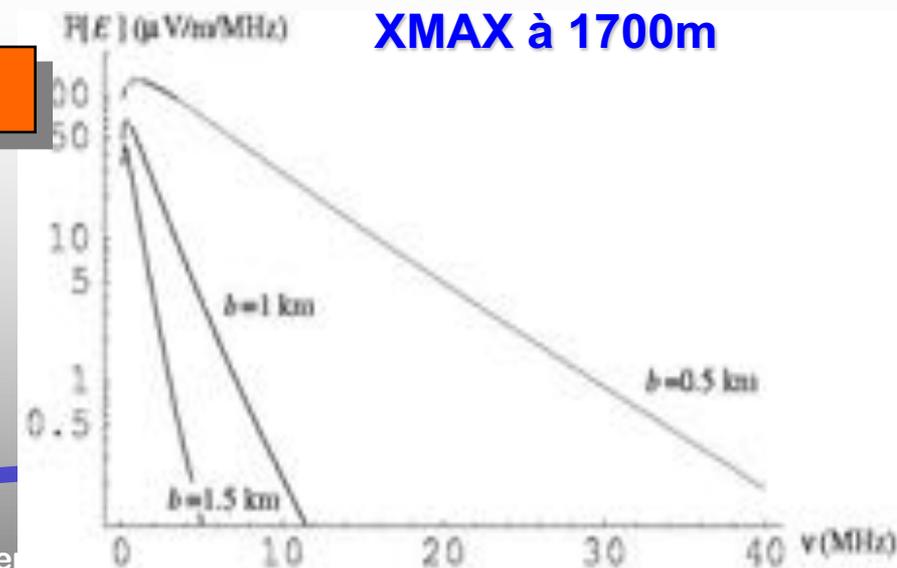
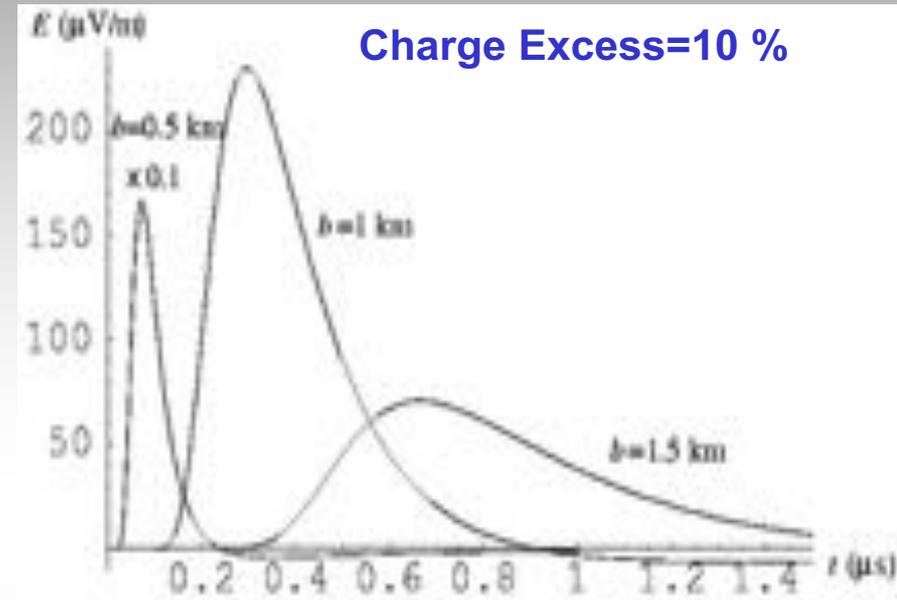


**SENSIBLE au  $X_{MAX}$**

Détection à  
large distance



**Antennes large bande**

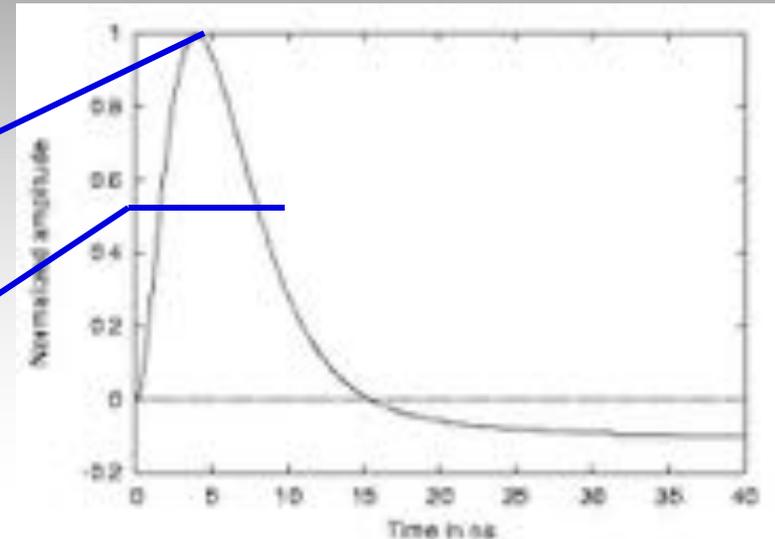


## Gerbe verticale petit paramètre d'impact

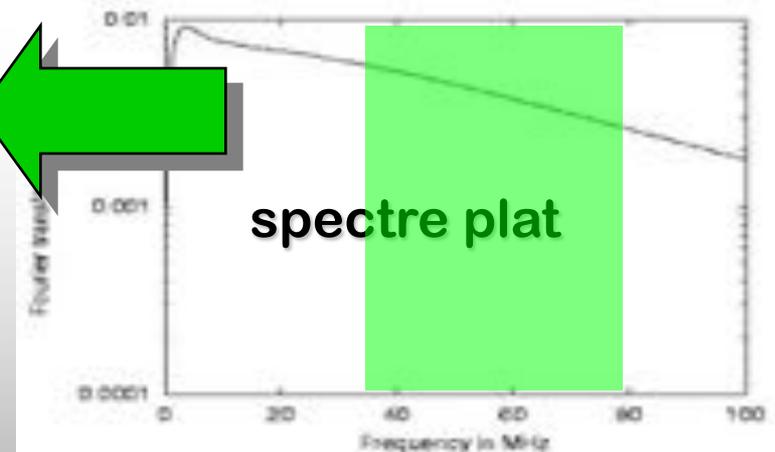
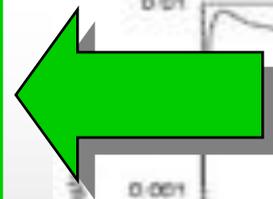
H. R. Allan (1971) :

$\epsilon_{pk} \sim 150 \mu\text{V/m}$

FWHM duration  $\sim 8$  ns

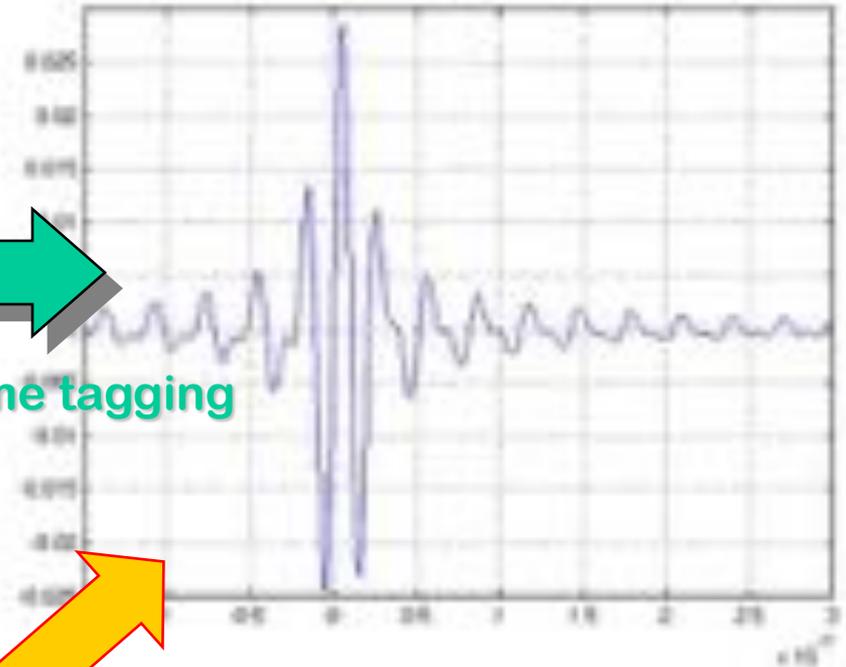


- Antennes bande étroite
- Petit champ d'antenne



Set Up actuel à Nançay

# Le ciel à Nançay



Triggering & time tagging

Forme du spectre de l'impulsion  
(pas à l'échelle)



# Taux de trigger en stand alone 33-

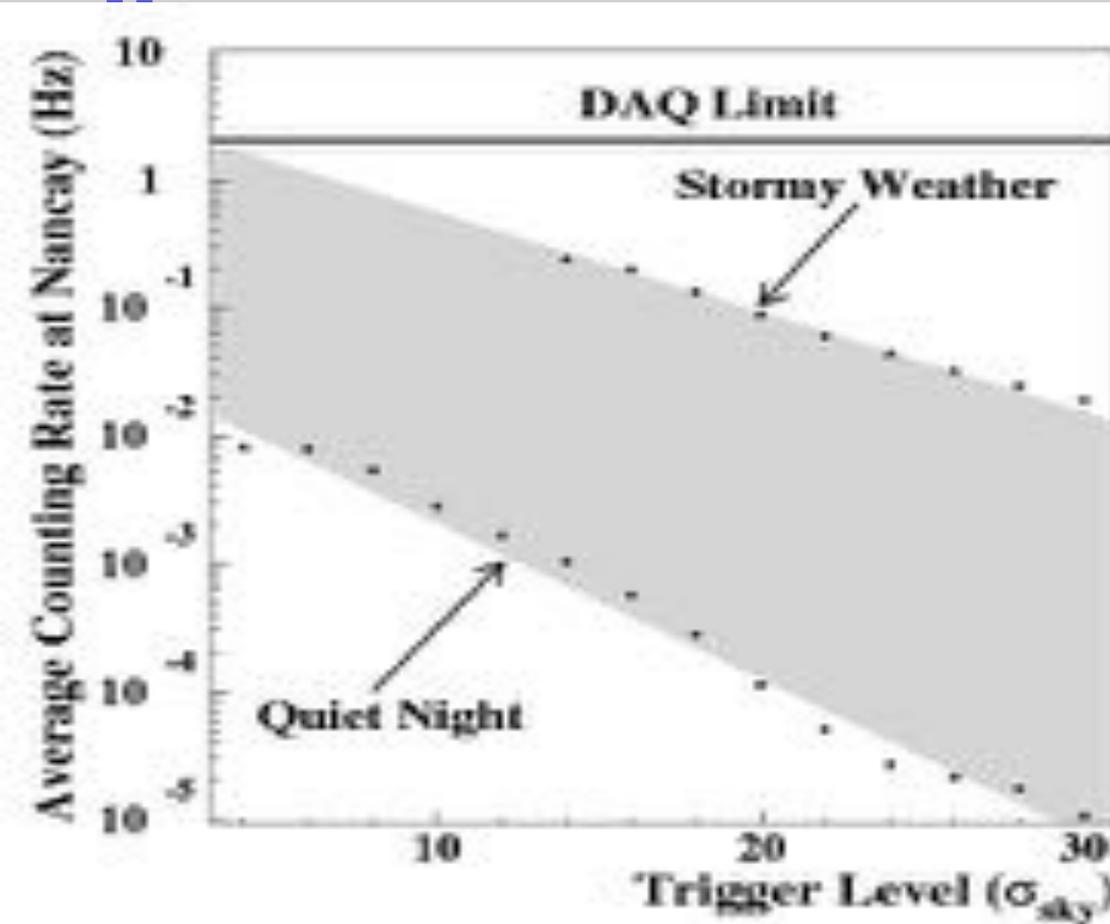
65MHz

Connaissance du fond  
radio impulsif

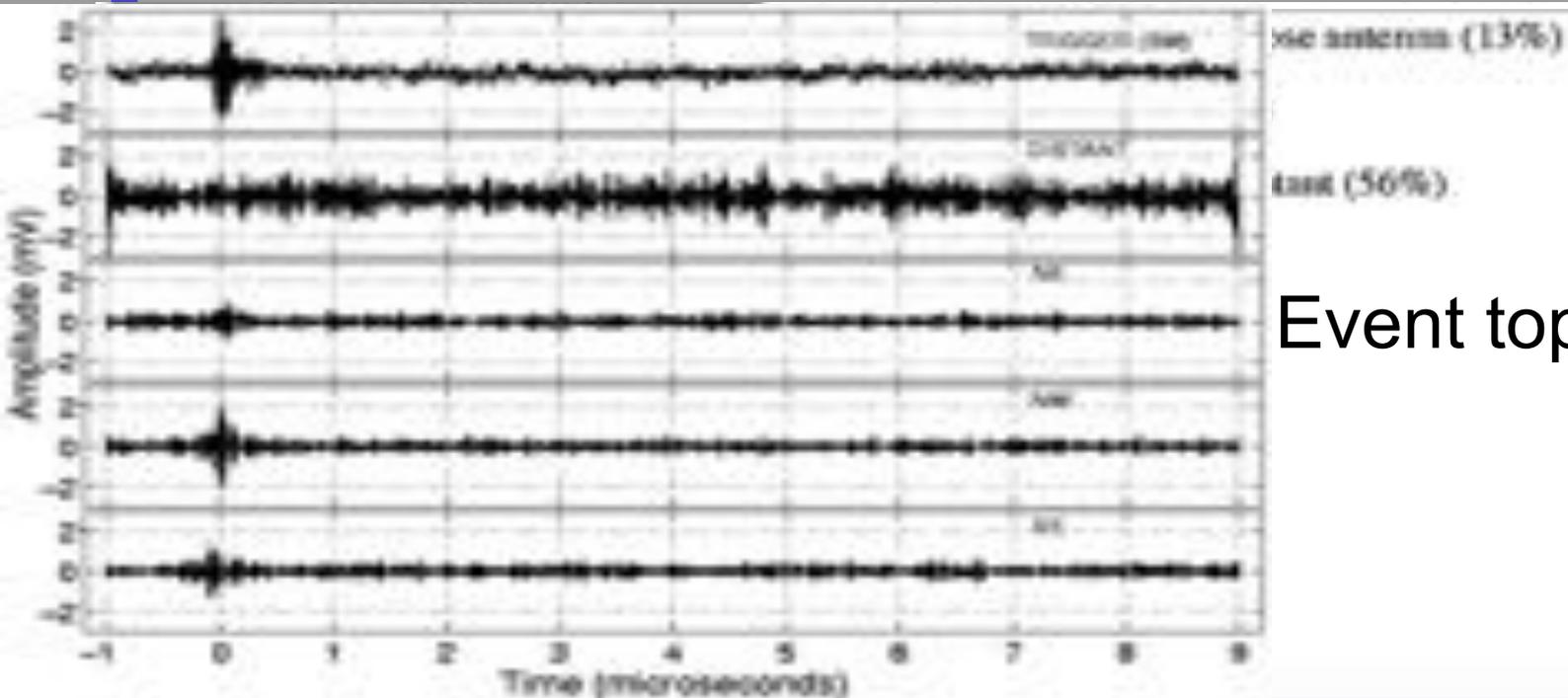
Conditions atmosphériques  
Alternance jour-nuit  
Activité humaine  
Activité solaire

- Taux très bas < 1 Hz
- 100 % cycle utile

Trigger radio autonome possible



# Candidat selections



Event topology

**Avec une antenne en trigger:**

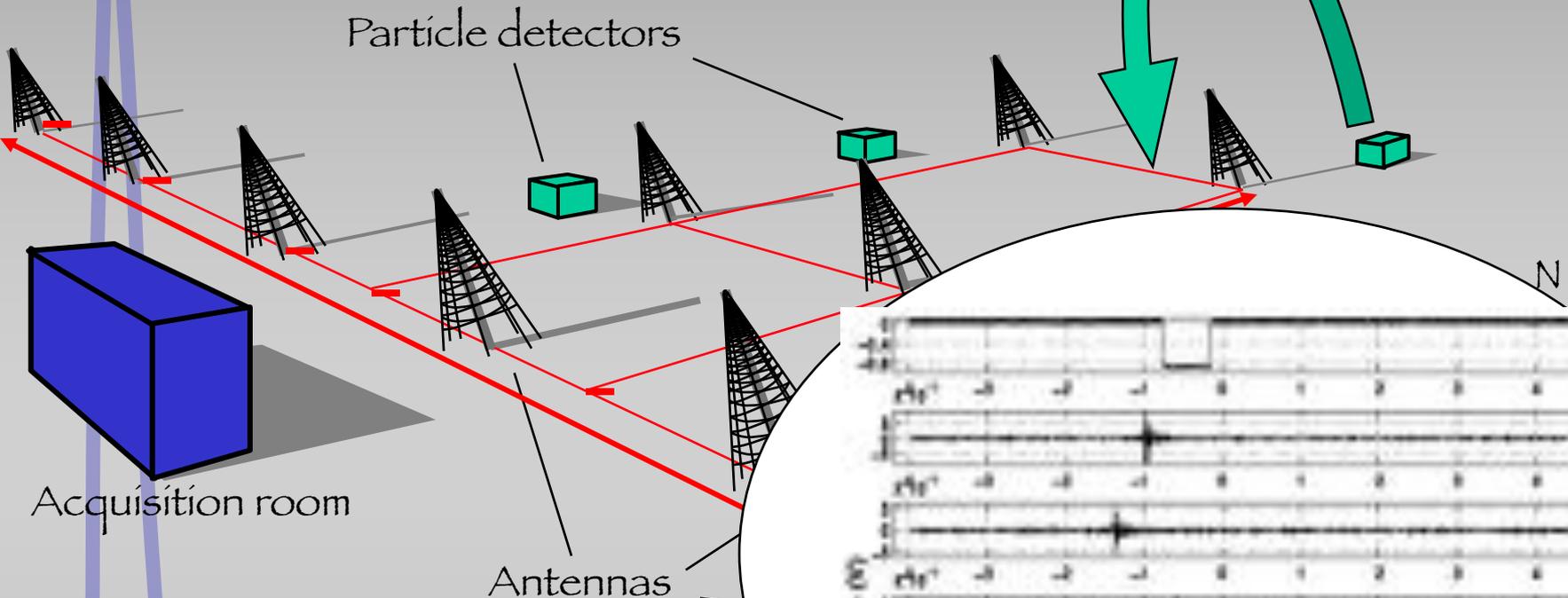
**Seulement 1 candidat pour 25 H en utilisant une bande restreinte 24-80 MHz**

**(paramètres du signal : 0.4 mV/m, 4 ns temps de montée: compatible avec la théorie)**

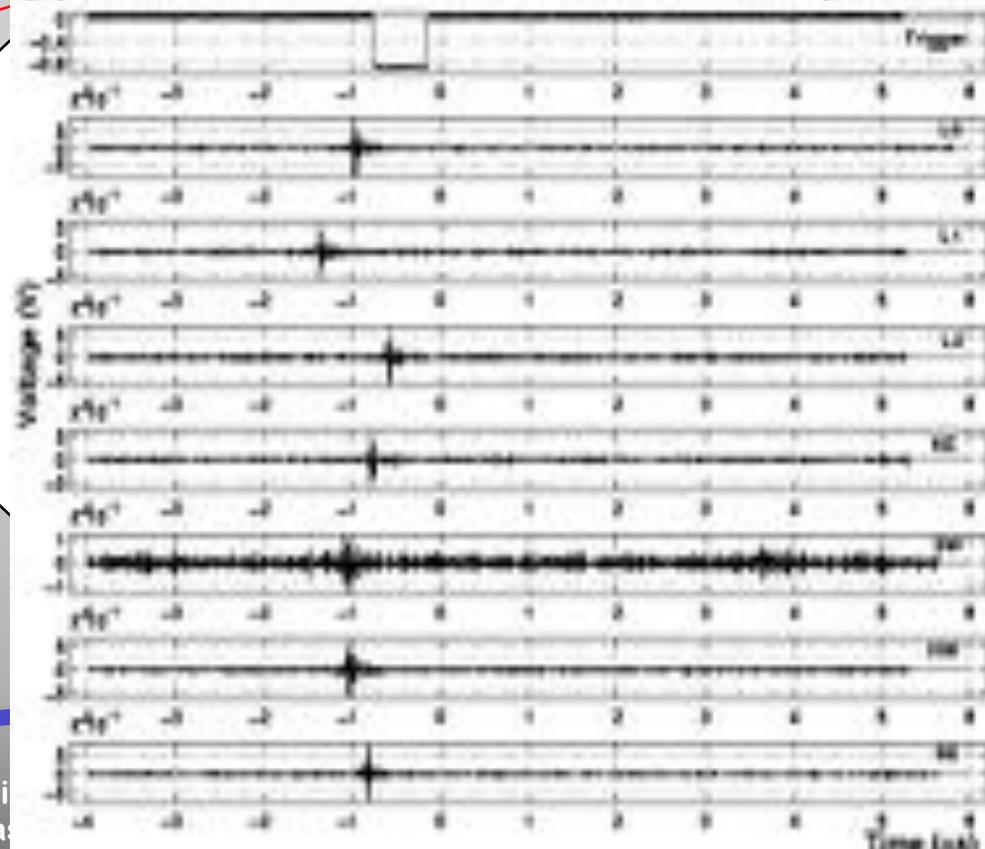
**Efficacité de détection trop faible en 1-100 MHz à cause de la dynamique des ADC 8 bits**

**=> Flash ADC Matacq 12 Bits**

# Set Up de l'expérience



**Coincidence 4 Scintillateurs**  
**=> Trigger**  
**Filtrage Off-line**



# Caractéristiques du Trigger

Surface active: 7000 m<sup>2</sup>

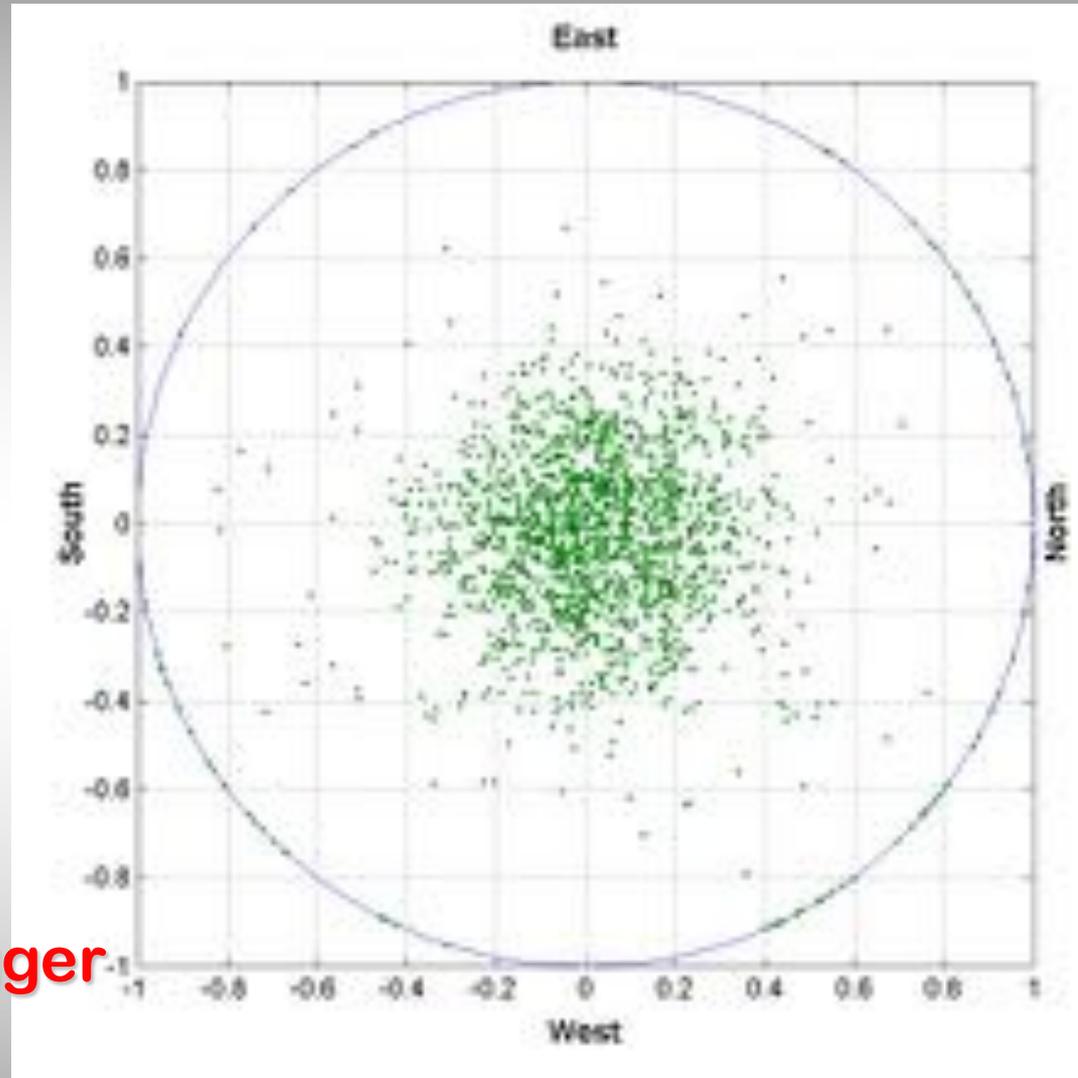
Tx comptage: 0.7 evt/min

Limite Zénithale  
 $0^\circ < \theta < 60^\circ$

Pas de limite Azimutale

Acceptance estimée  
16000 m<sup>2</sup>.sr

⇒ Seuil en énergie du Trigger  
 $1.10^{15}$  eV



# Répartition des évènements antennes

Seuil en énergie du trigger bas

=> 1 Evt antenne reconstruit / 2h

Évènements “bruit”:

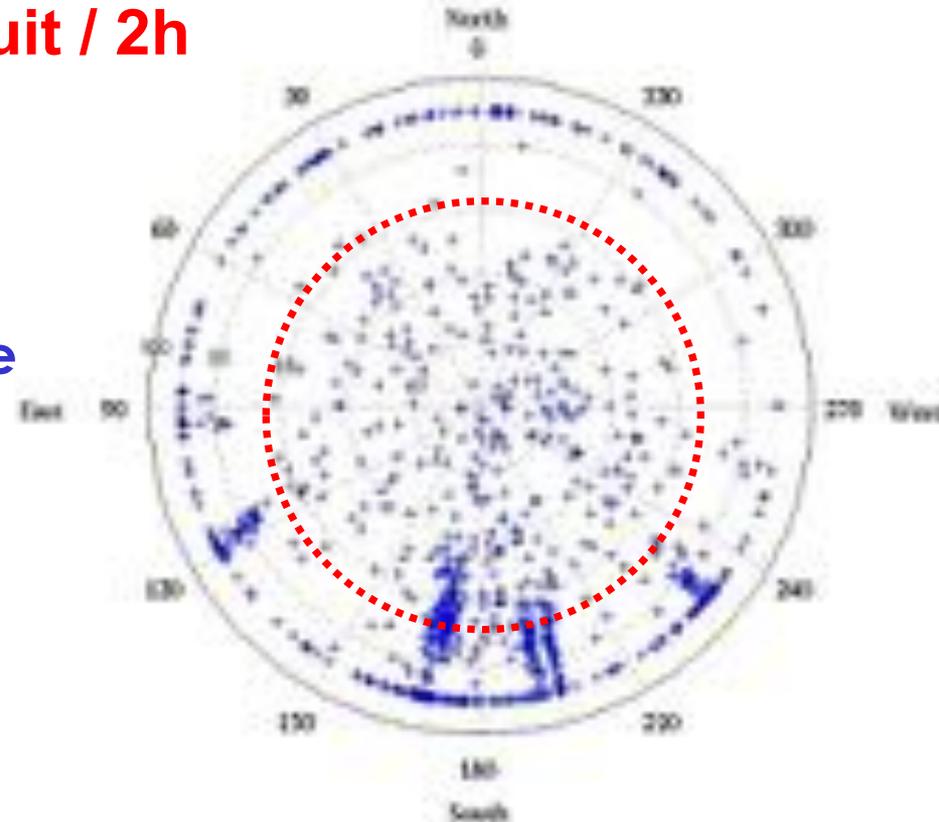
Anthropique

- Répartition inhomogène
- Bas sur l’horizon

+ soleil + orages +...

Candidats gerbes:

$$0^\circ < \theta < 60^\circ$$

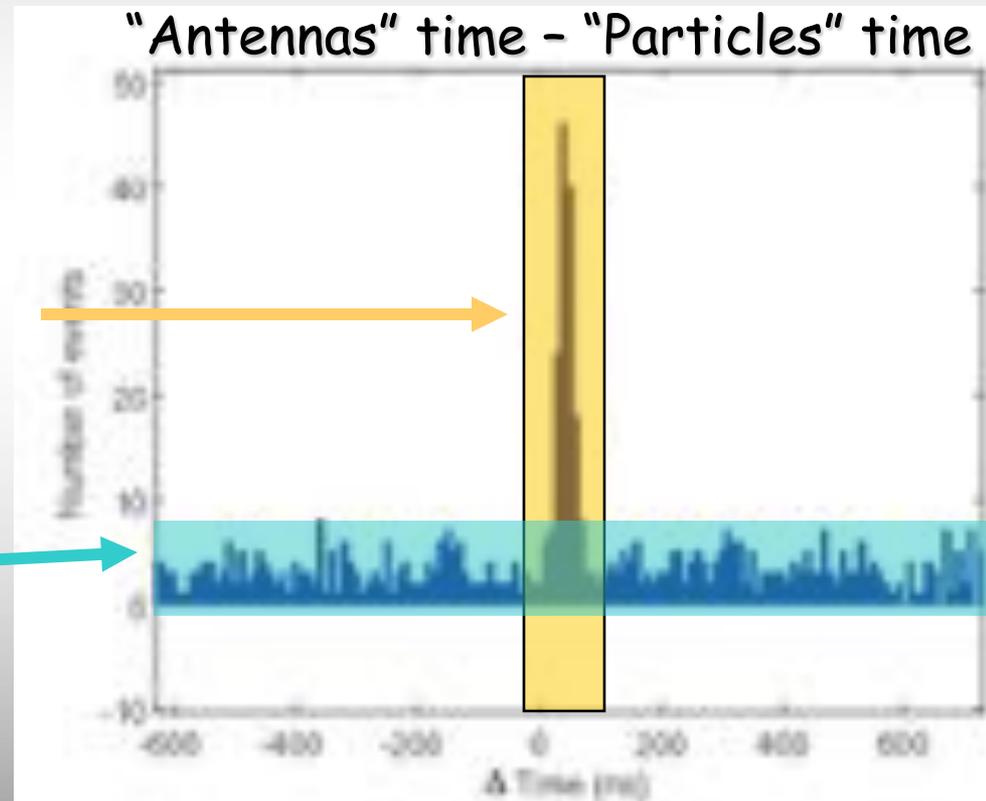


# Distribution en temps

Écart de temps d'arrivée du front  
entre scintillateurs et antennes

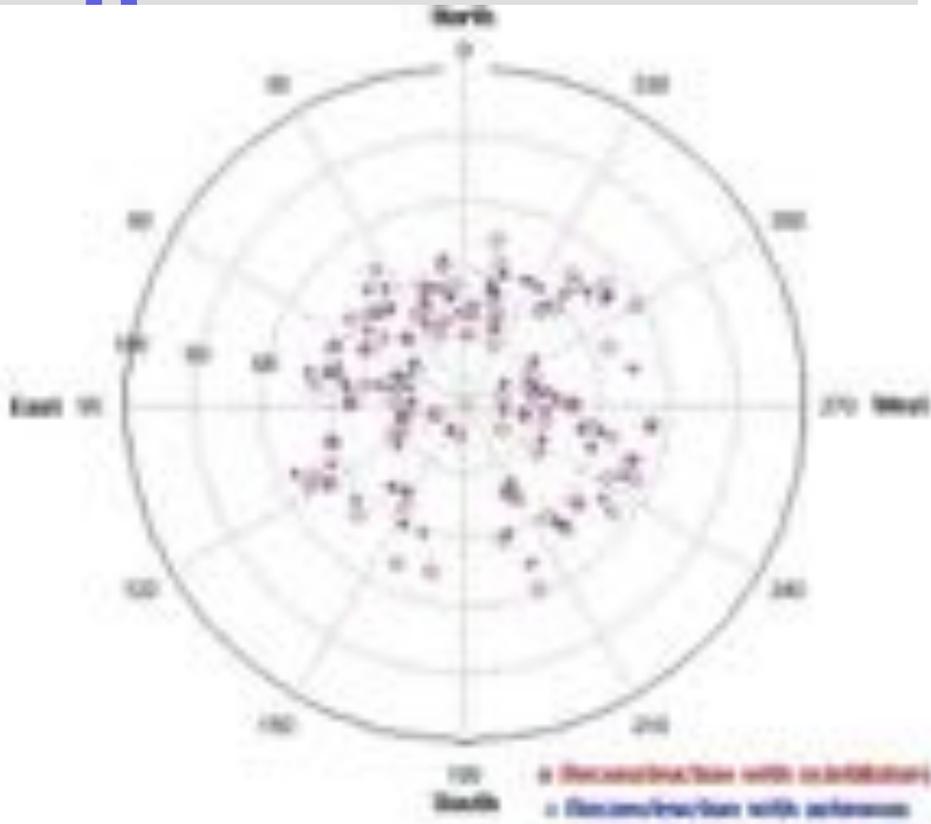
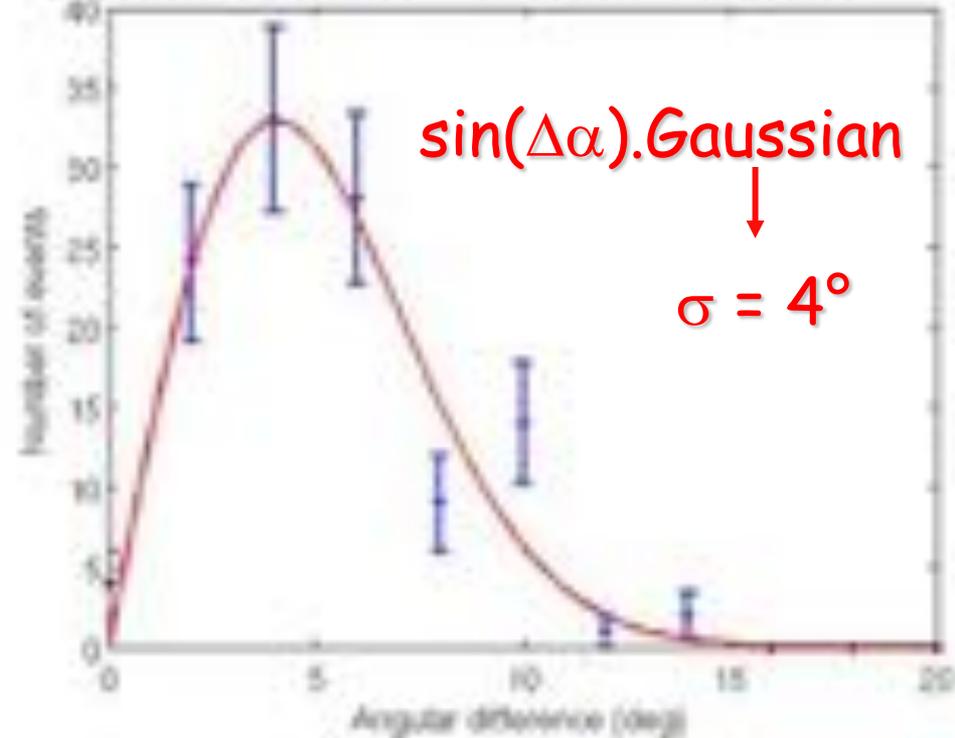
**Distribution piquée (<100ns)  
Candidats gerbes**

**Distribution plate  
Événements fortuits**



# Corrélation des directions d'arrivée

direction "Antennes" – direction "Particules"



**1 evt / jour**  
**Acceptance Scintillateur**  
**⇒ Seuil en énergie de**  
**l'instrument  $\sim 5 \cdot 10^{16}$  eV**

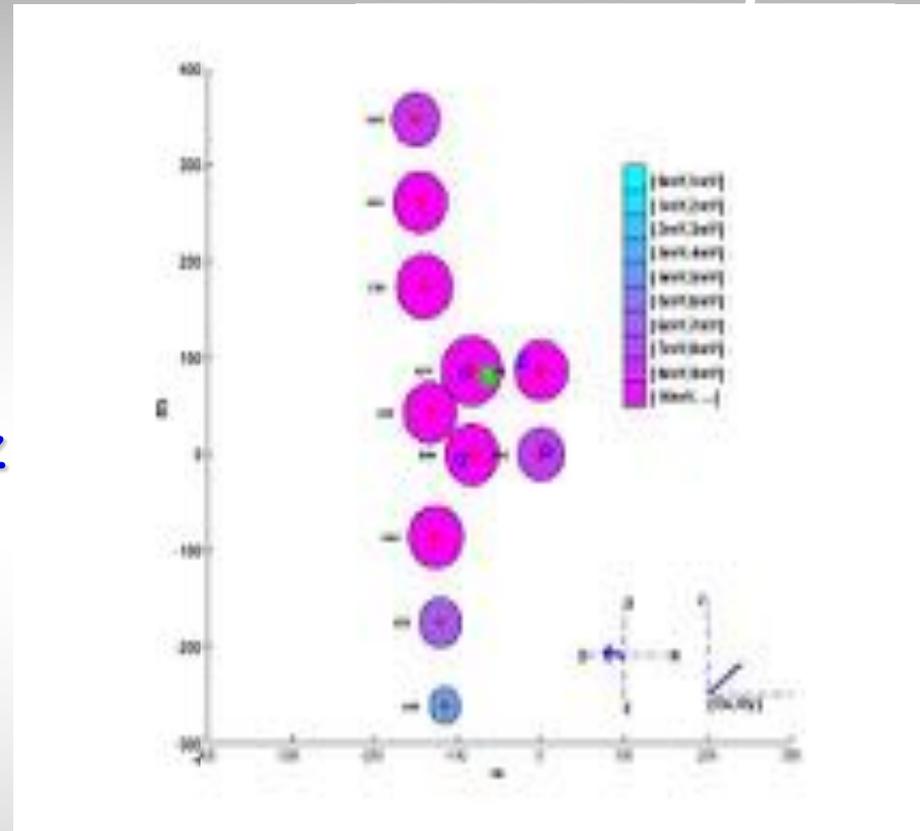
# Topologie du champ électrique

Multiplicité variable sur le champ d'antennes

Amplitudes mesurées:  
de 1 à 25  $\mu\text{V}/\text{m}/\text{MHz}$   
[40 - 70 MHz]

Extension du Chp E  
> 600 m @  $\sim 5 \cdot 10^{16}$  eV

**=> Nécessité d'agrandir le réseau d'antenne**



# Discrimination sur critère radio

Profil du champ E très caractéristique pour les gerbes

Critère de sélection radio

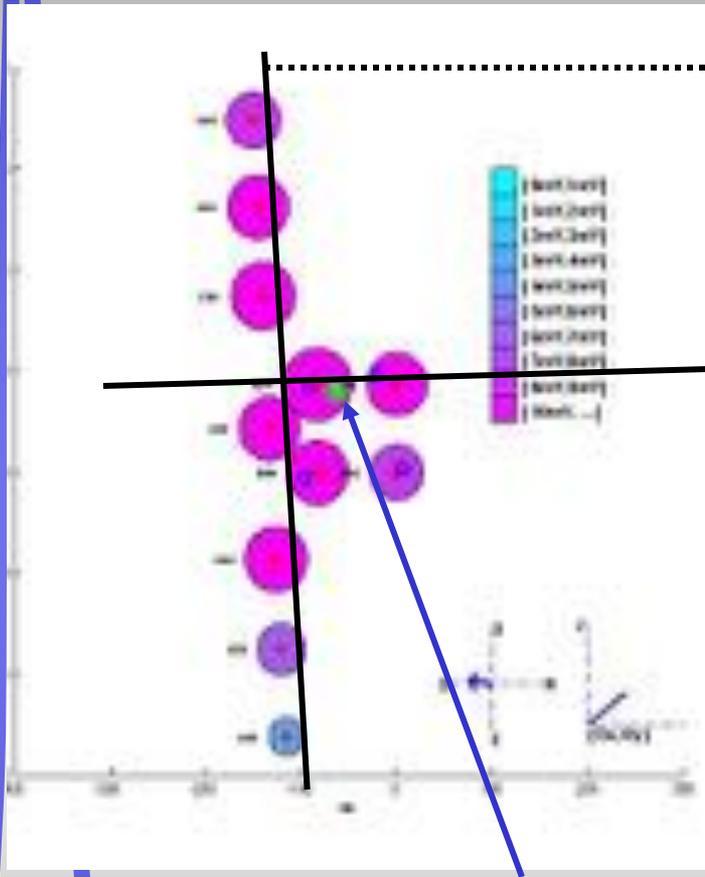


Seuil de l'instrument

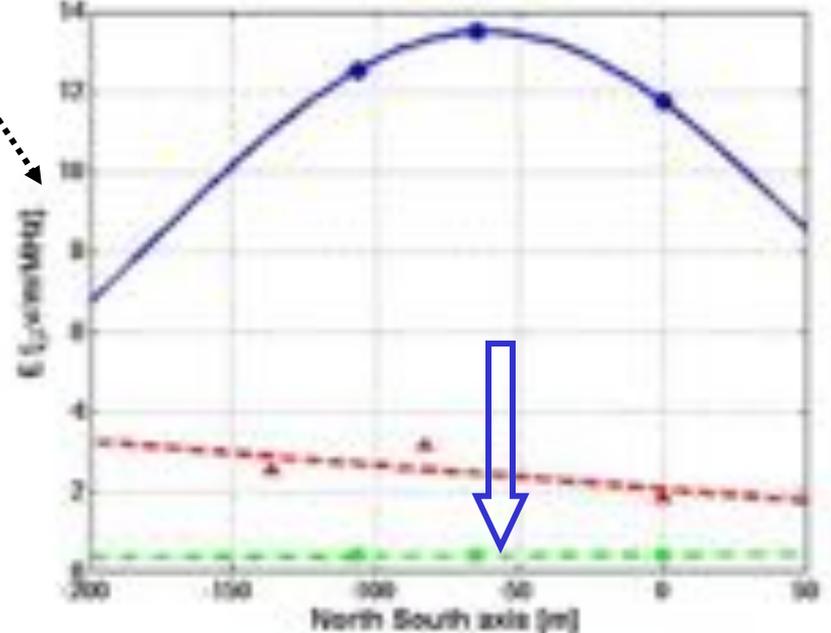
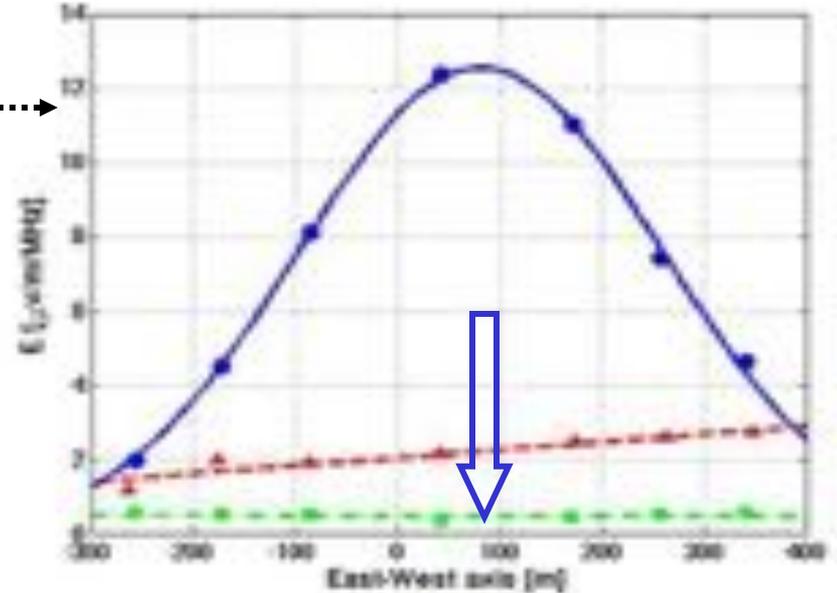
Évènement fortuit

(source anthropique identifiée)

# Position du point d'impact



Estimation du cœur  
de gerbe  
(barycentre)



# Dépendance du Champ E (préliminaire)

*Position du cœur*

*=>Projection des points  
dans le repère de la  
gerbe*

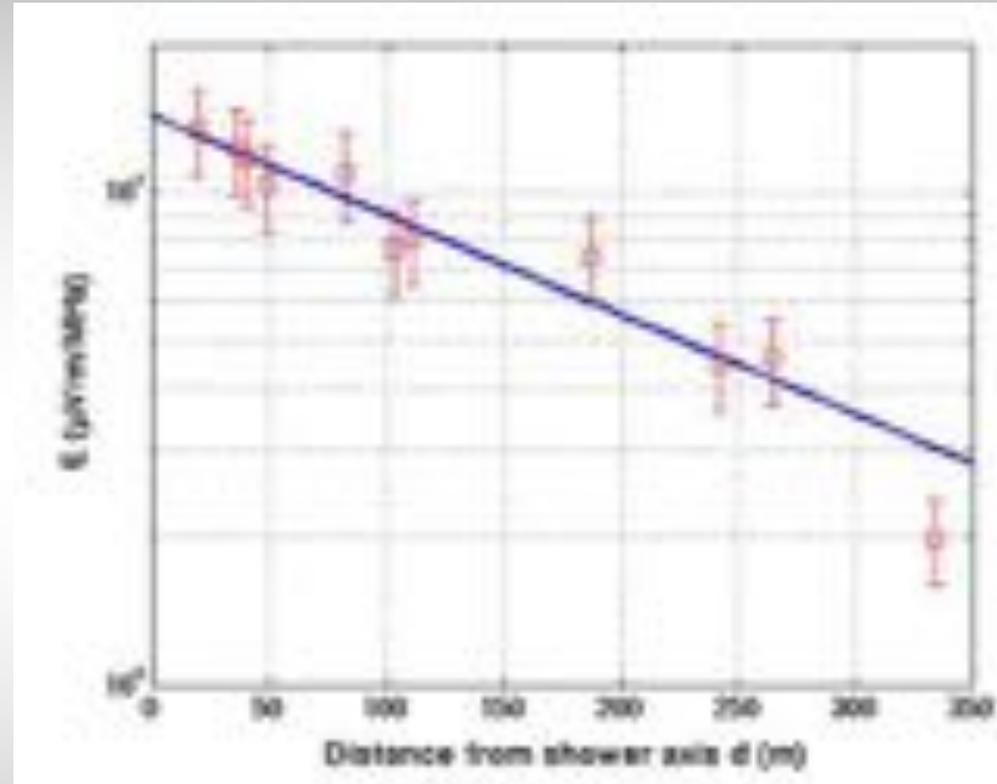
Fit exponentiel :

$$E(d) = E_0 \exp \left[ \frac{-d}{d_0} \right]$$



$$E_0 = 14 \mu\text{V/m/MHz}$$

$$d_0 = 216 \text{ m}$$



Compatible avec des barres d'erreur  
de 20 %  
(signal 37-70 MHz)

## Instrument opérationnel

Détecte la contribution radio des gerbes atmosphériques

Seuil statistique  $E \sim 5 \cdot 10^{15}$  eV

Principe de radiodétection autonome validé

## Modèle théorique

Énergie & Nature du primaire

## Développement de l'instrument

Agrandissement du champ d'antenne (axe Nord-Sud)

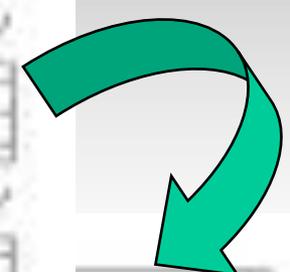
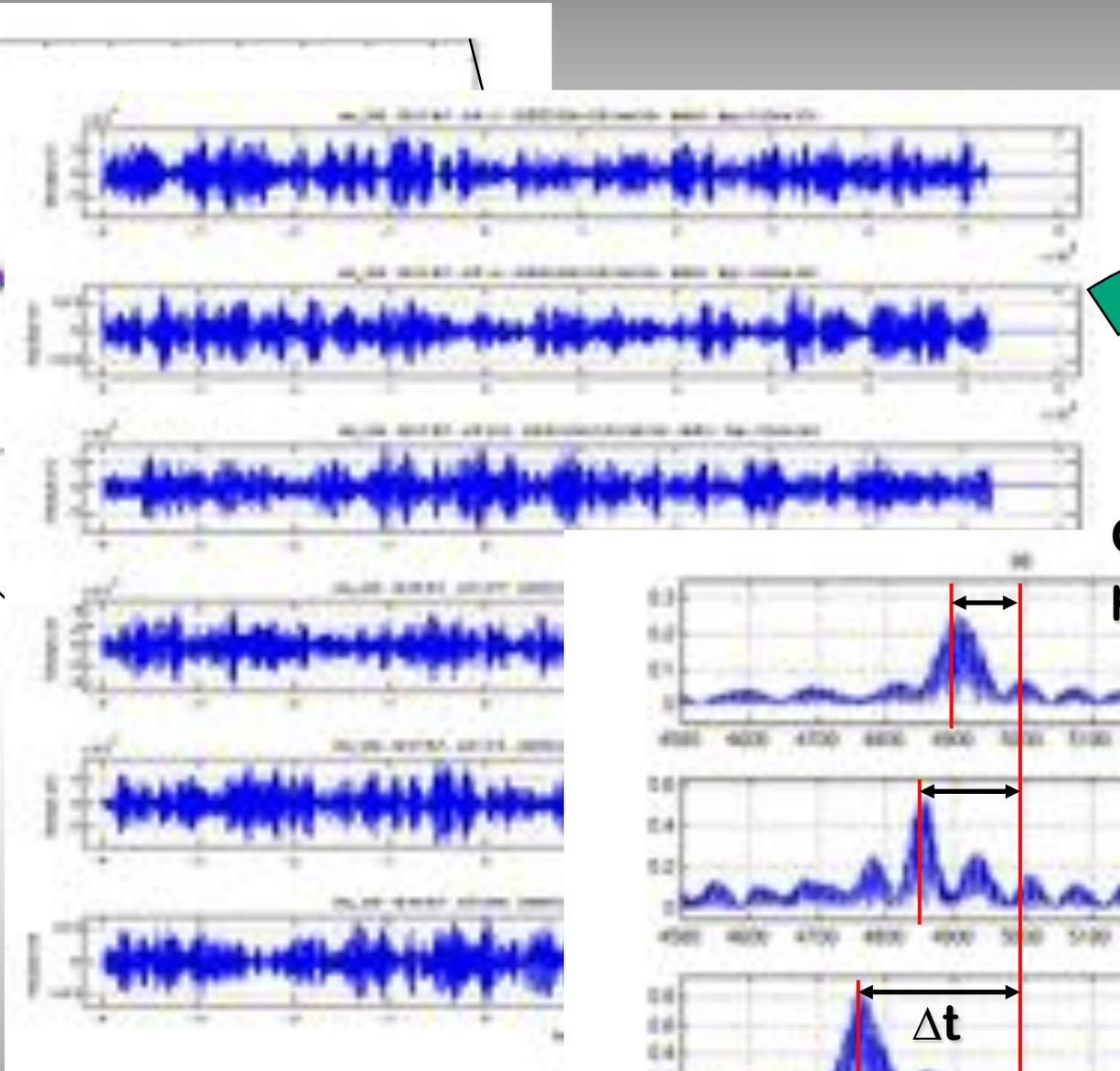
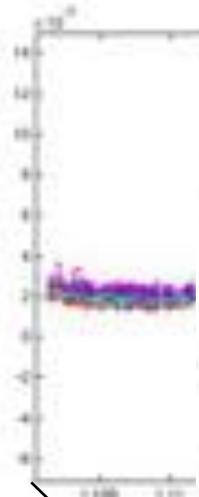
Ajout de détecteurs de particules

## Vers les très hautes énergies

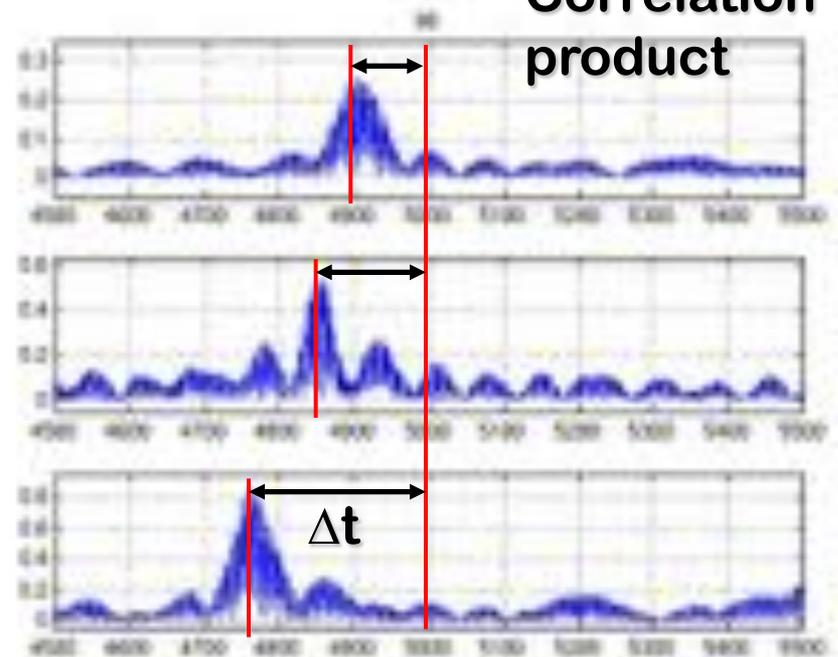
Antennes dipôles autonomes

Déploiement sur un détecteur géant (Auger)

# And when there are no pulses ?

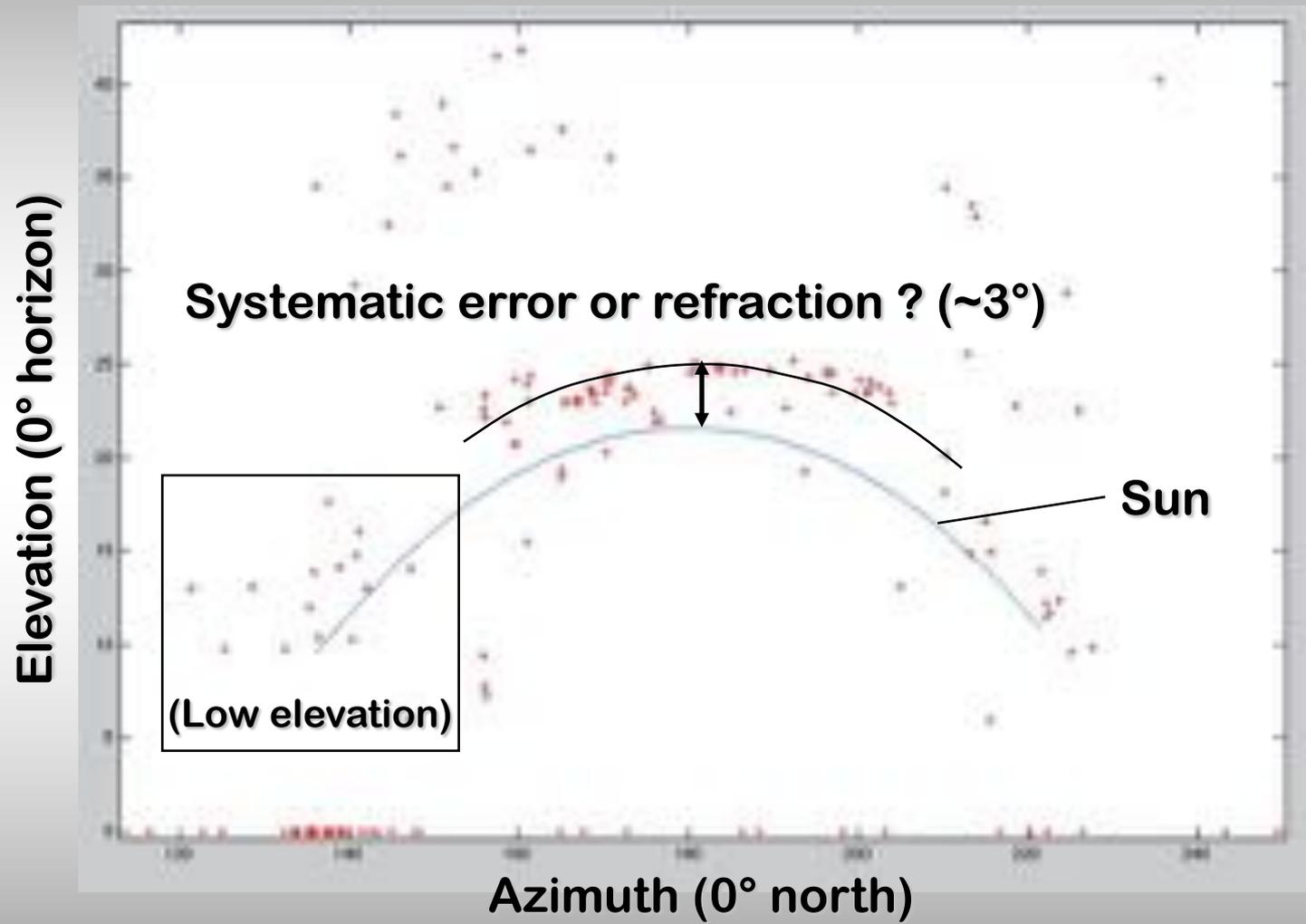


Correlation product

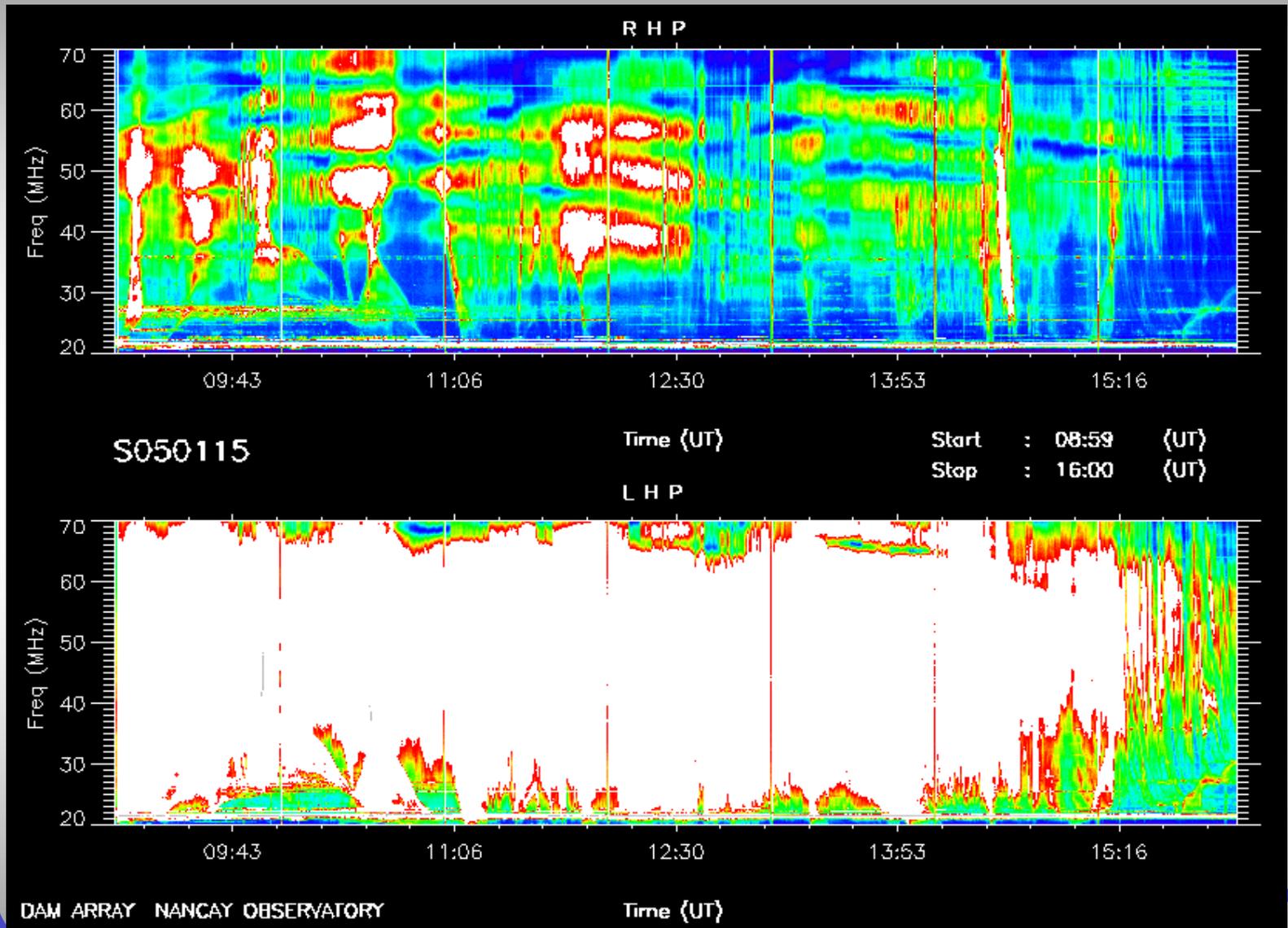


# *(Preliminary) phasing*

Delays between antennas  $\Rightarrow$  plane wave fit  $\Rightarrow$  wave direction

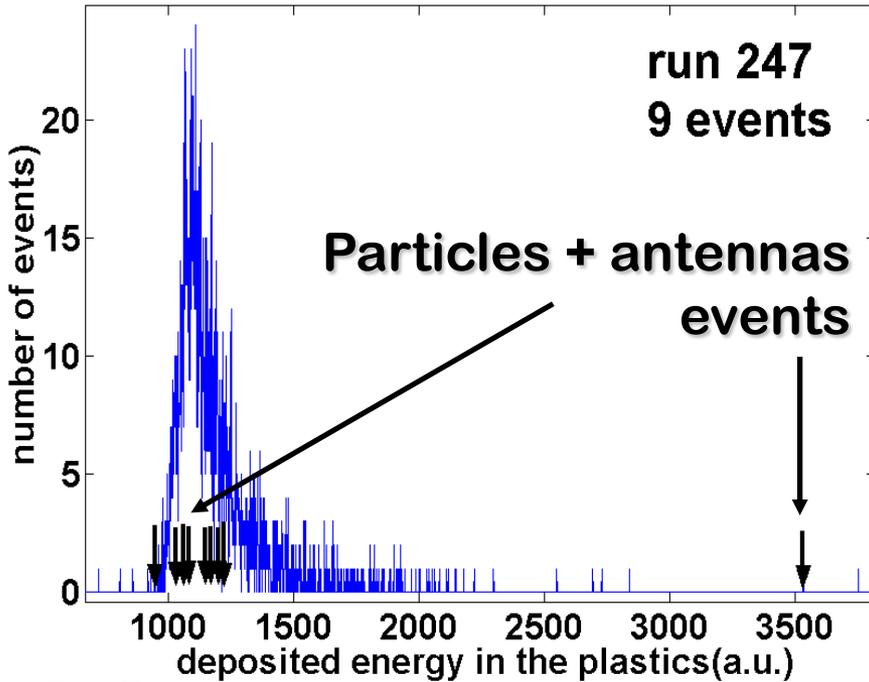


# Solar activity as seen by the DAM on 2005/01/15

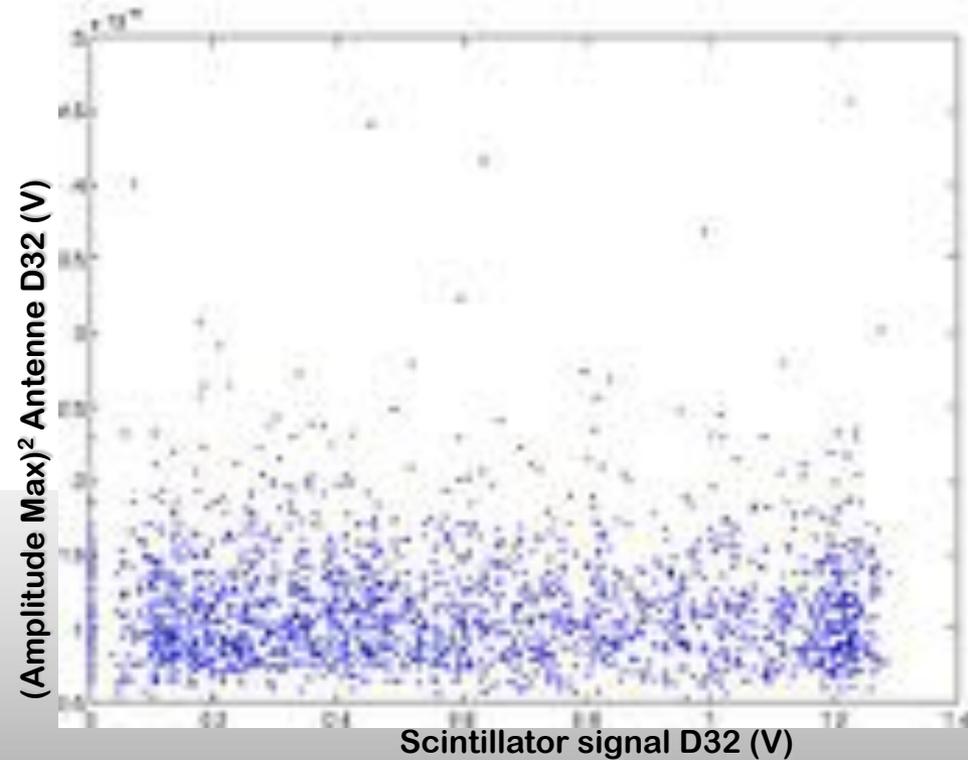


# scintillators - antennas Interactions

Energy deposited in stations



Correlation  
Max antenna/ scintillator signal



**=> No correlation  
between PM and  
antenna**

# La radiodétection

1962: **Prédiction théorique** - effet Askar'yan

1964-65: **Première expérience** - T.C. Weekes

Milieu 70': **Méthode délaissée** difficultés d'interprétation et de détection + succès d'autres techniques

---

Fin 90': **Redécouverte dans milieux denses (glace, sel) =>neutrinos**

En 1999: **preuve du principe sur accélérateur (sable, D. Saltzberg,)**

En 2000 : **Expérience sur CASA-MIA (K.Green et al., 2003, N.I.M. A, 498)**

---

En 2002 ← **Expérience LOPES sur KASCADE**  
**Expérience CODALEMA de SUBATECH**

En 2005 : ← **H. Falcke et al., Nature, May 19, 2005**  
**P. Lauridou et al. NIM A, 2005 & astro-ph 2003-2004-2005**

Evidence for radio signal associated with CR Air Showers  
Operating instrument

**The entire shower development  
is seen by every fired antenna  
(no statistical effect)**

**Field topology is a decisive  
criterion of selection in stand  
alone mode**

**NOW**

**Waveform analysis + Field Topologies + Theoretical models**

**=>Energy**

**=>Nature**

# Bilan à la semaine SF2A 2004

## Détection de transitoire radio

- Trigger autonome

## Reconstitution de la direction d'arrivée d'un front onde

- Triangulation

**Tx trigger ~ 1 Hz**  
**Cycle Utile 100%**

## Phénomènes impulsionnels

- Conditions atmosphériques
- Activité solaire
- Activité humaine

**Incapacité de discriminer un évènement gerbe**