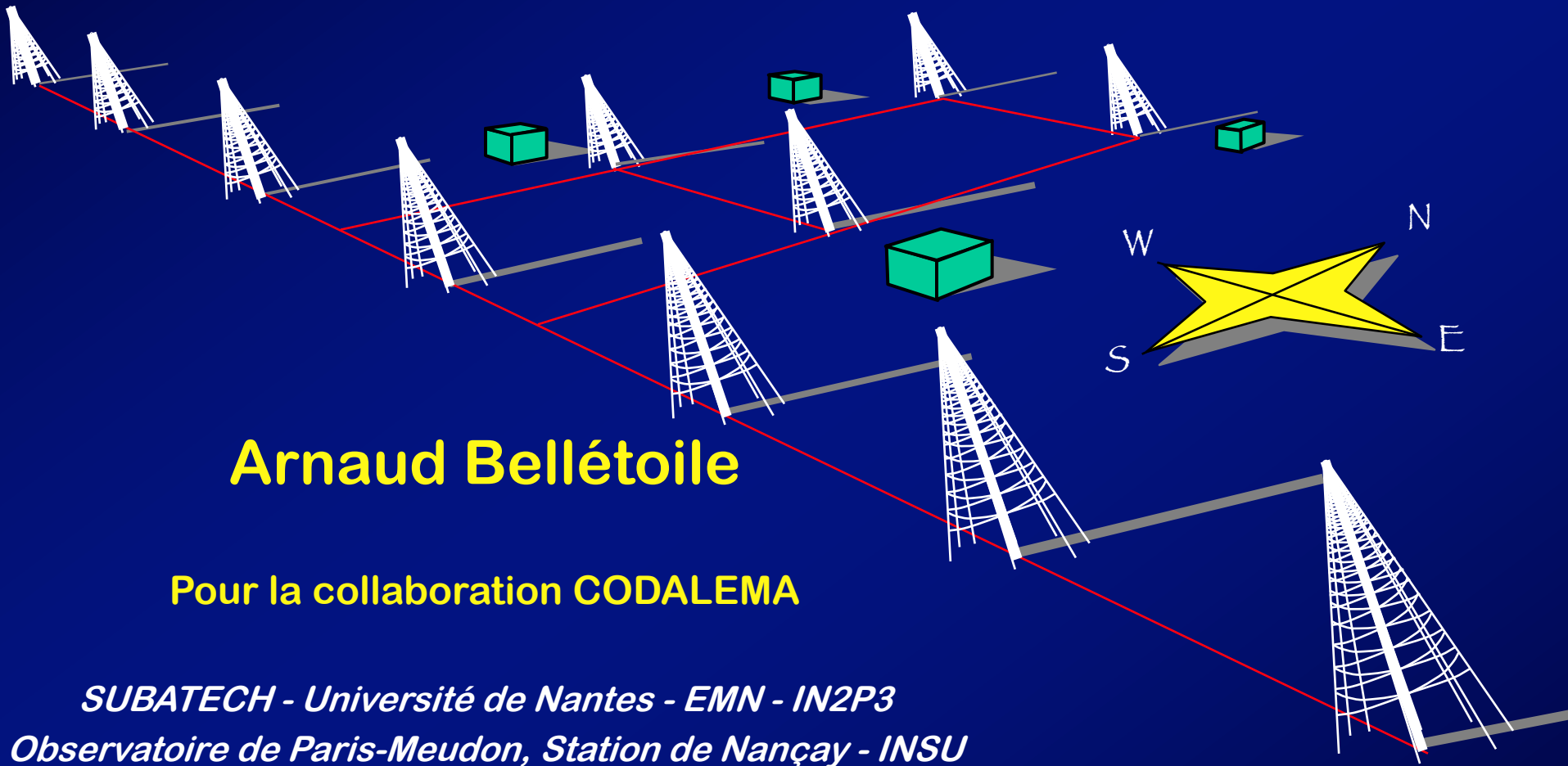


CODALEMA

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**

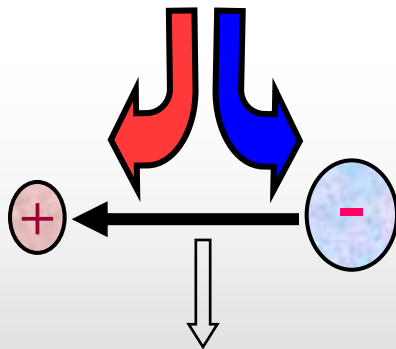
Proportionnelle au champ électrique

- **Nature du primaire**

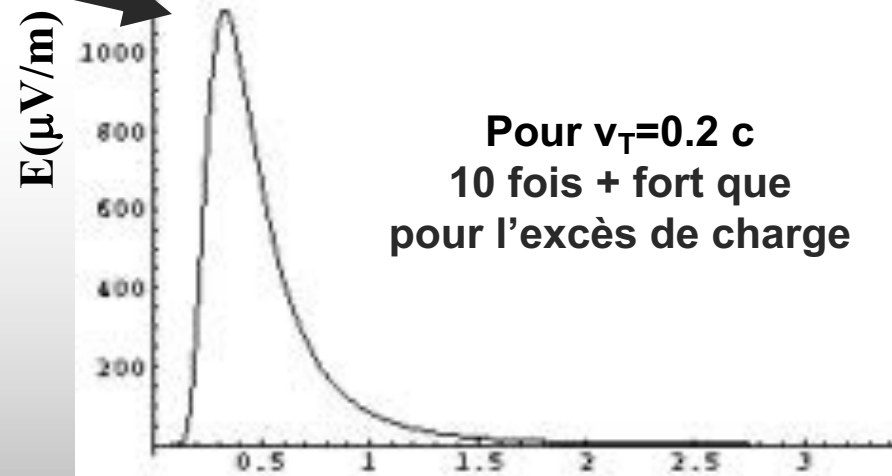
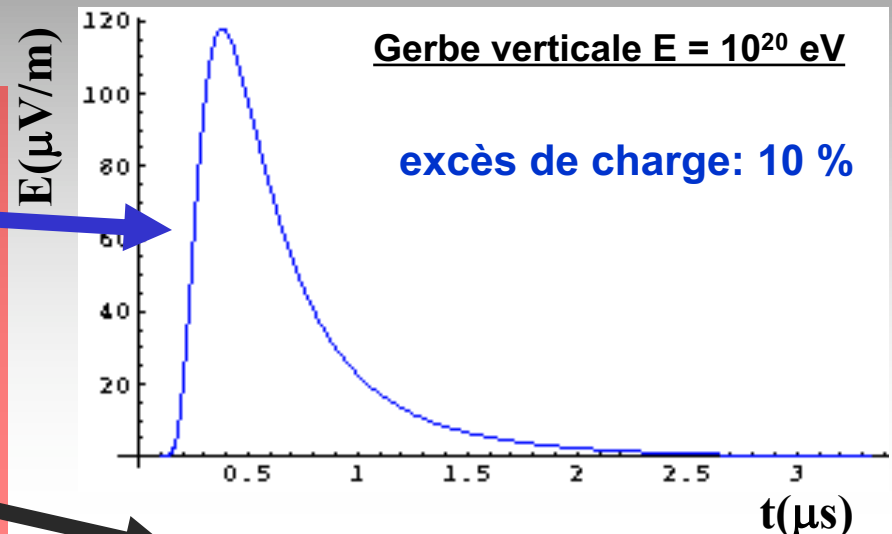
X_{MAX} , profil du champ électrique

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

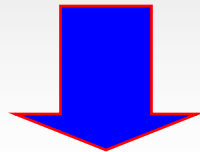
Simulation @ 10^{20} eV

Gerbe verticale
(excès de charge seul)

amplitude => énergie

durée => paramètre d'impact

forme => Nature du primaire

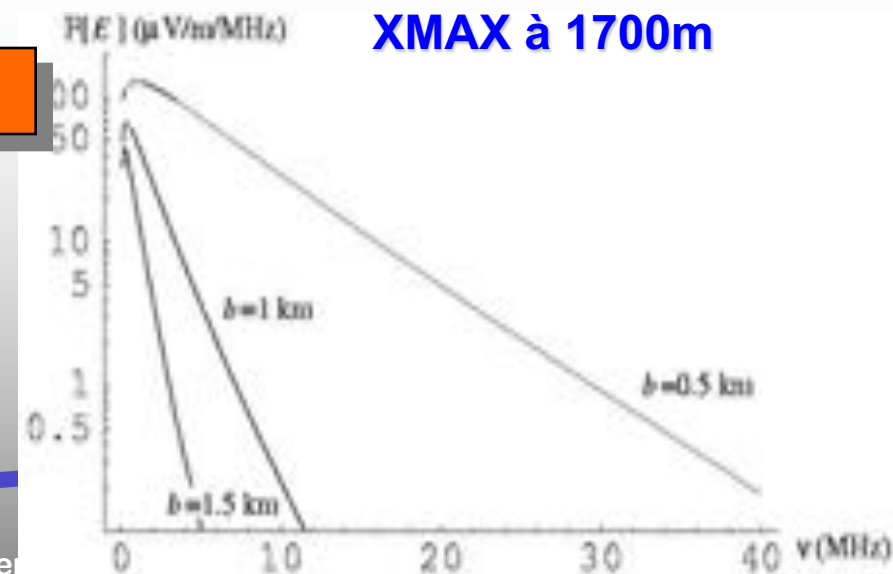
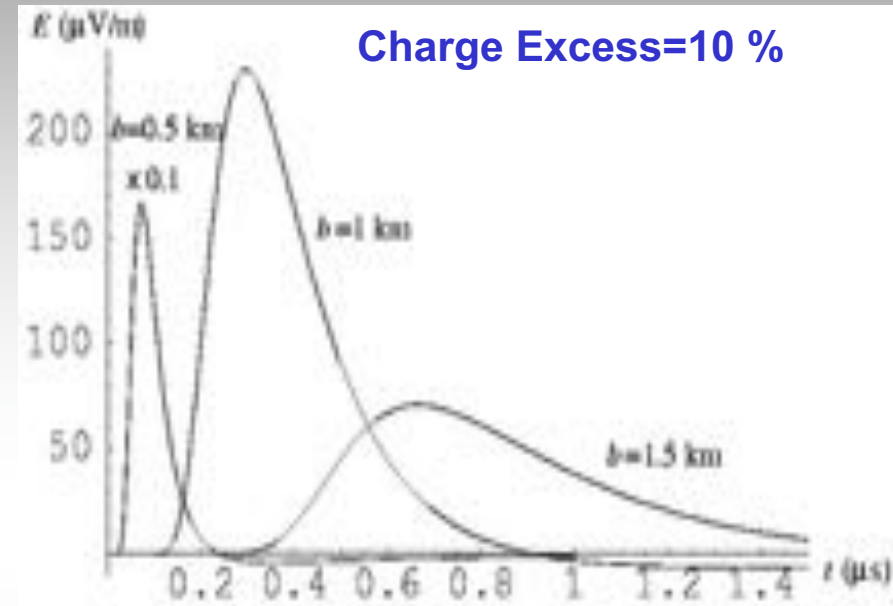


SENSIBLE au X_{MAX}

Détection à
large distance



Antennes large bande

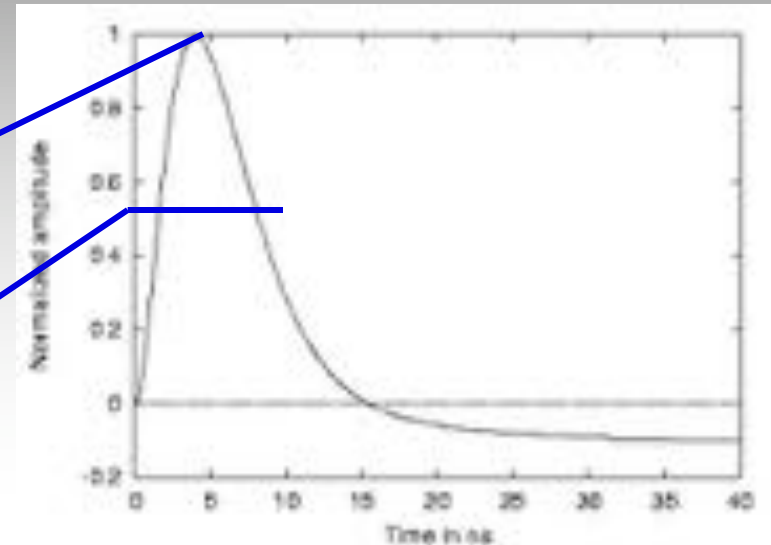


Gerbe verticale petit paramètre d'impact

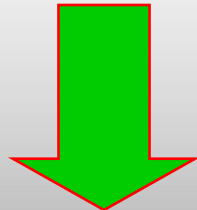
H. R. Allan (1971) :

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

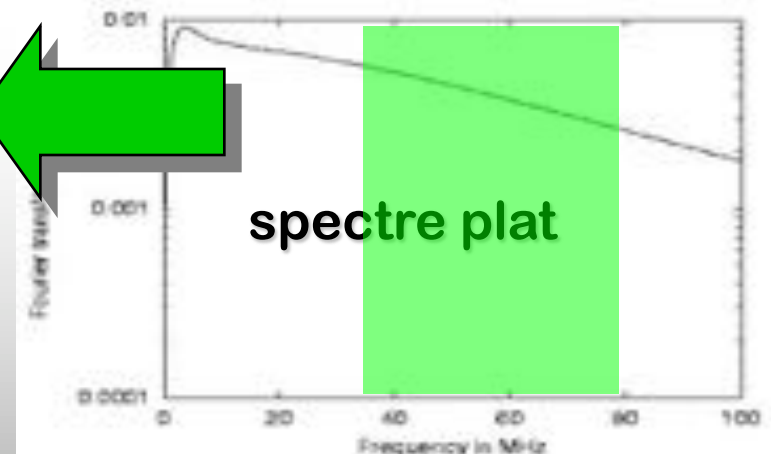
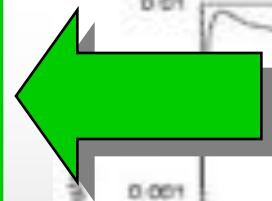
FWHM duration ~ 8 ns



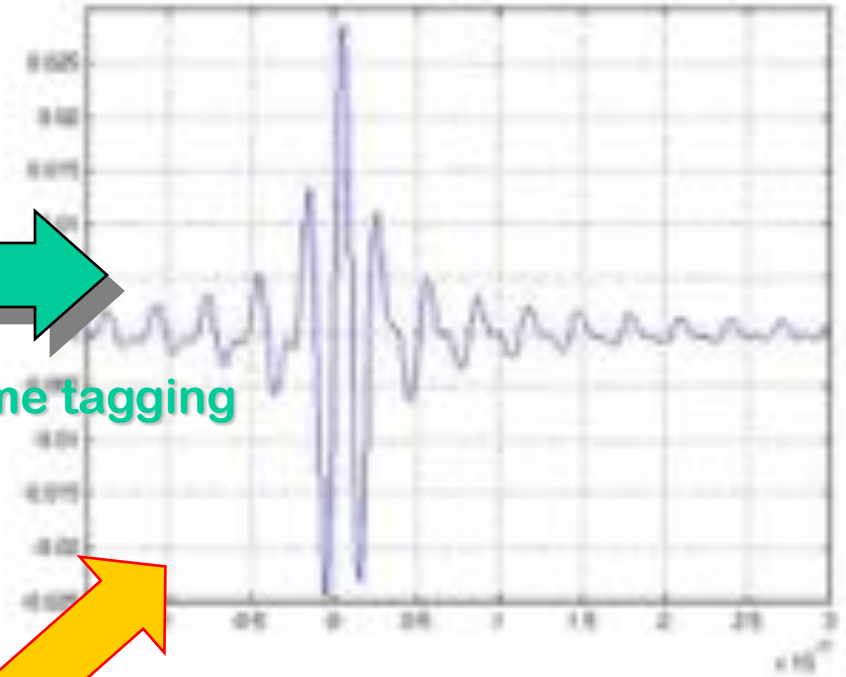
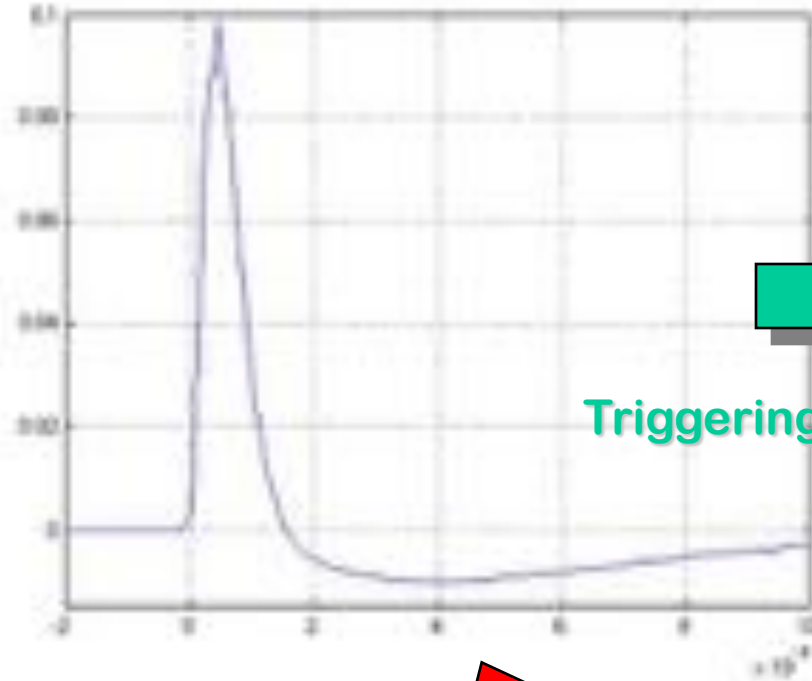
- Antennes bande étroite
- Petit champ d'antenne



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-

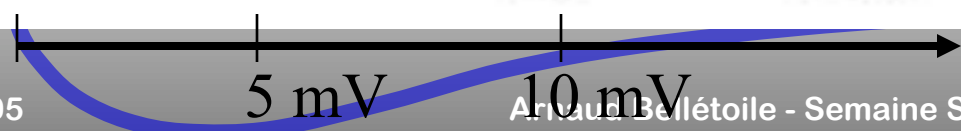
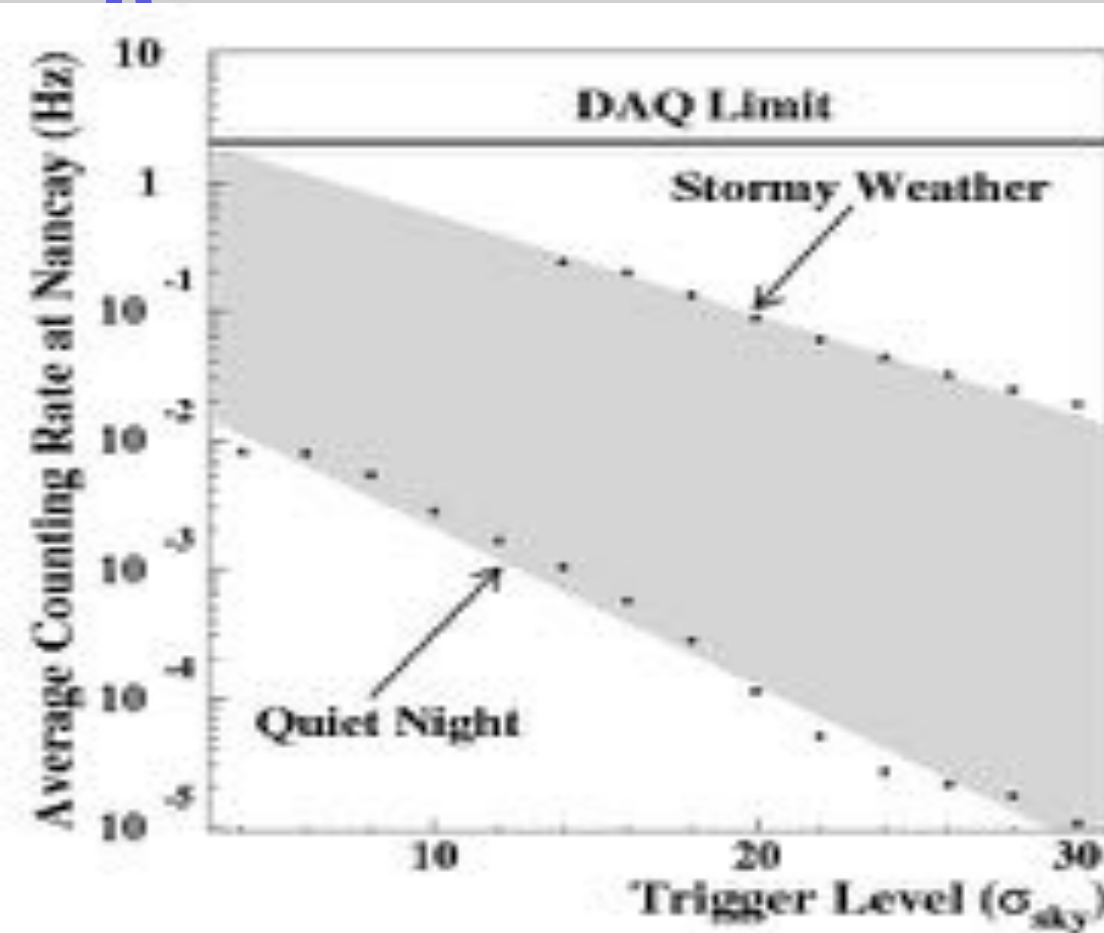
65MHz

Connaissance du fond
radio impulsif

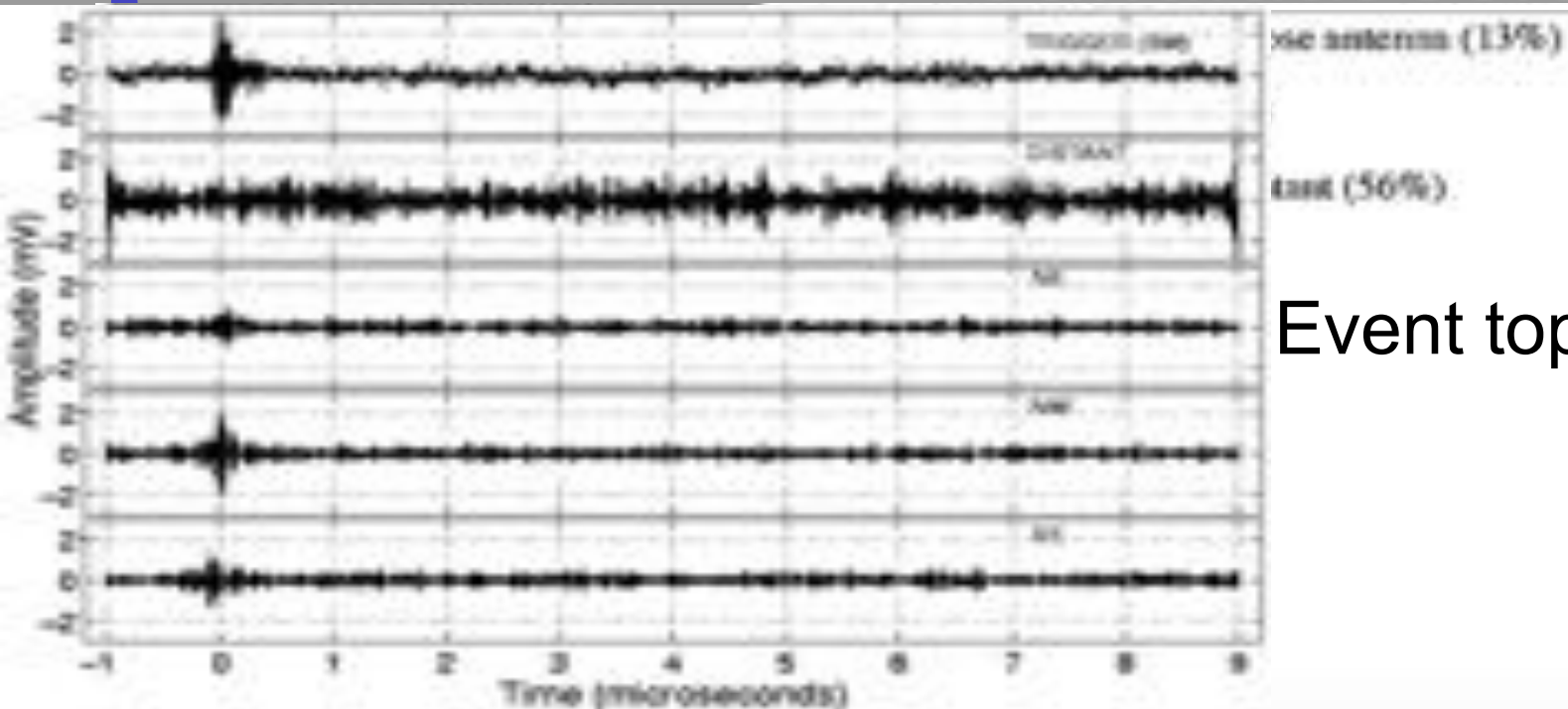
Conditions atmosphériques
Alternance jour-nuit
Activité humaine
Activité solaire

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

Trigger radio autonome possible



Candidat selections



Event topology

Avec une antenne en trigger:

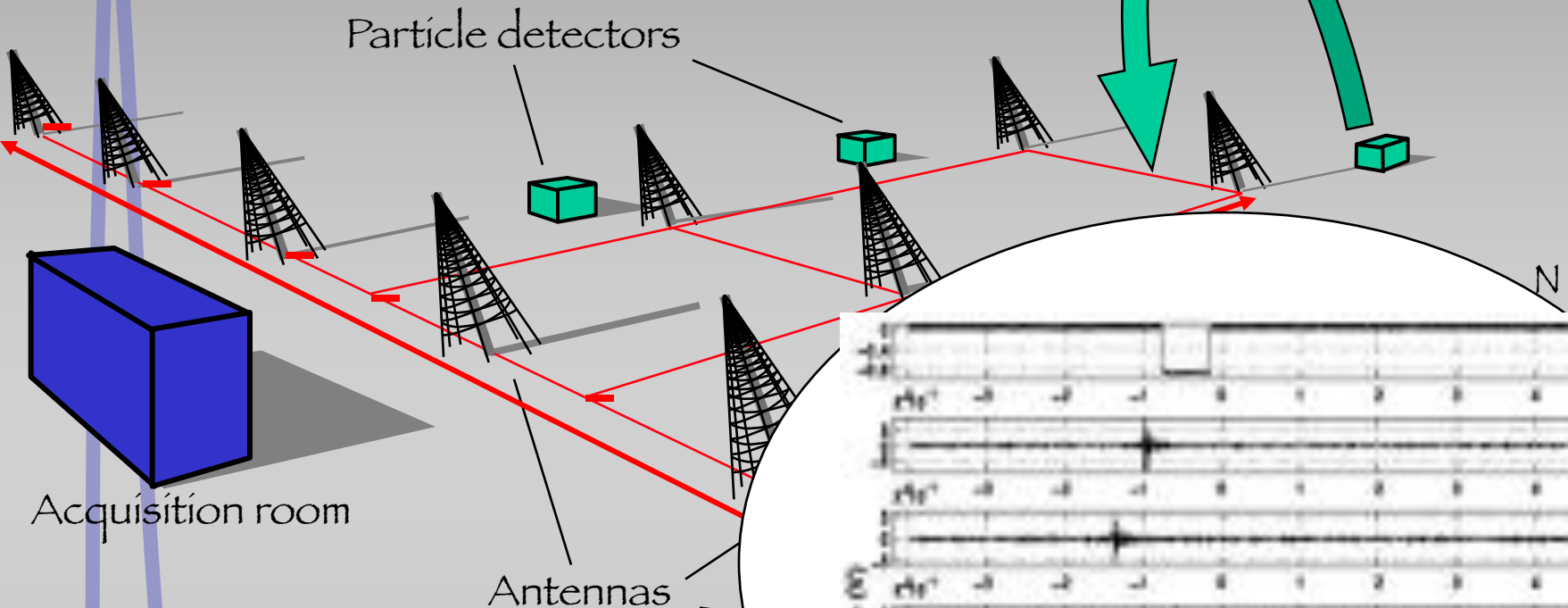
Seulement 1 candidat pour 25 H en utilisant une bande restreinte 24-80 MHz

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

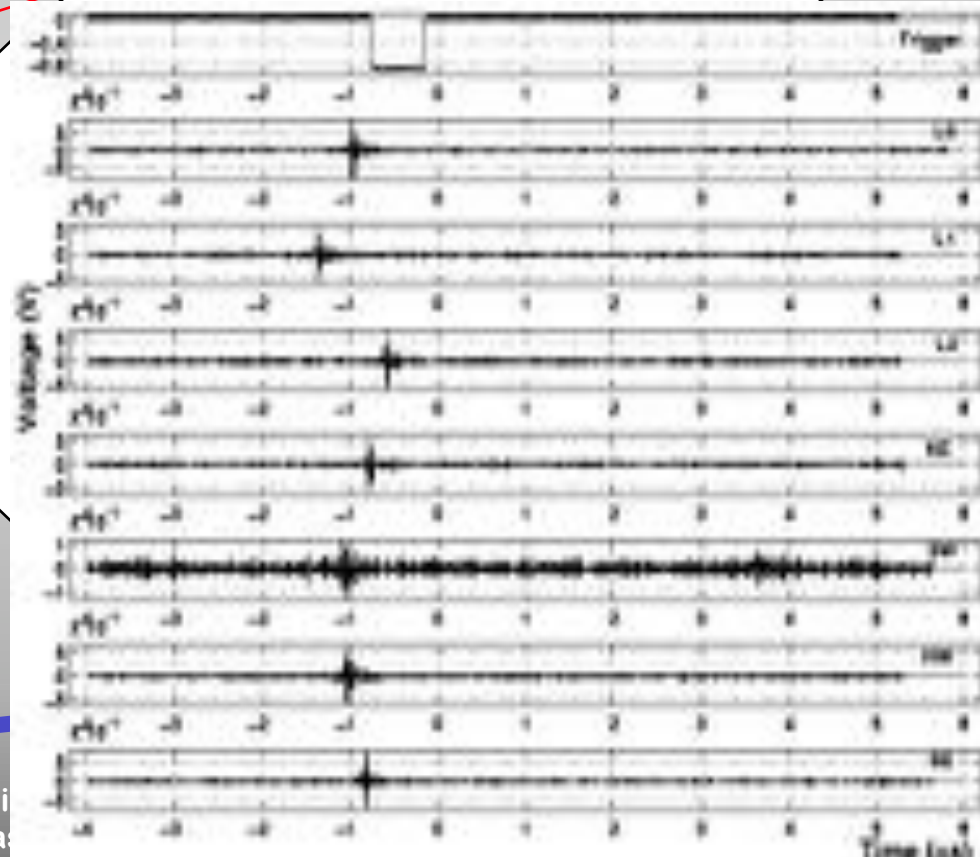
Efficacité de détection trop faible en 1-100 MHz à cause de la dynamique des ADC 8 bits

=> Flash ADC Matacq 12 Bits

Set Up de l'expérience



Coincidence 4 Scintillateurs
=> Trigger
Filtrage Off-line



Caractéristiques du Trigger

Surface active: 7000 m²

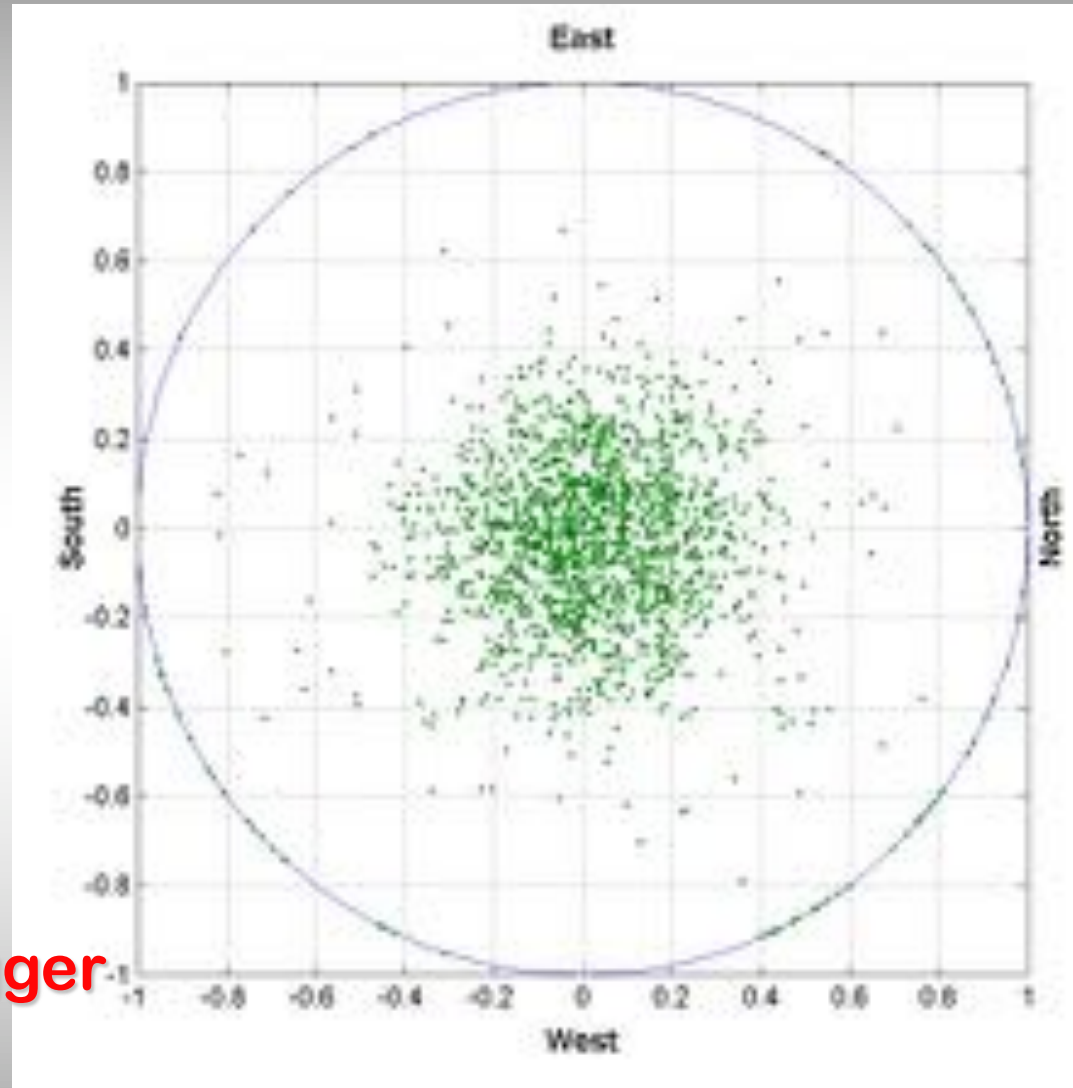
Tx comptage: 0.7 evt/min

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

Pas de limite Azimutale

Acceptance estimée
16000 m².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”:

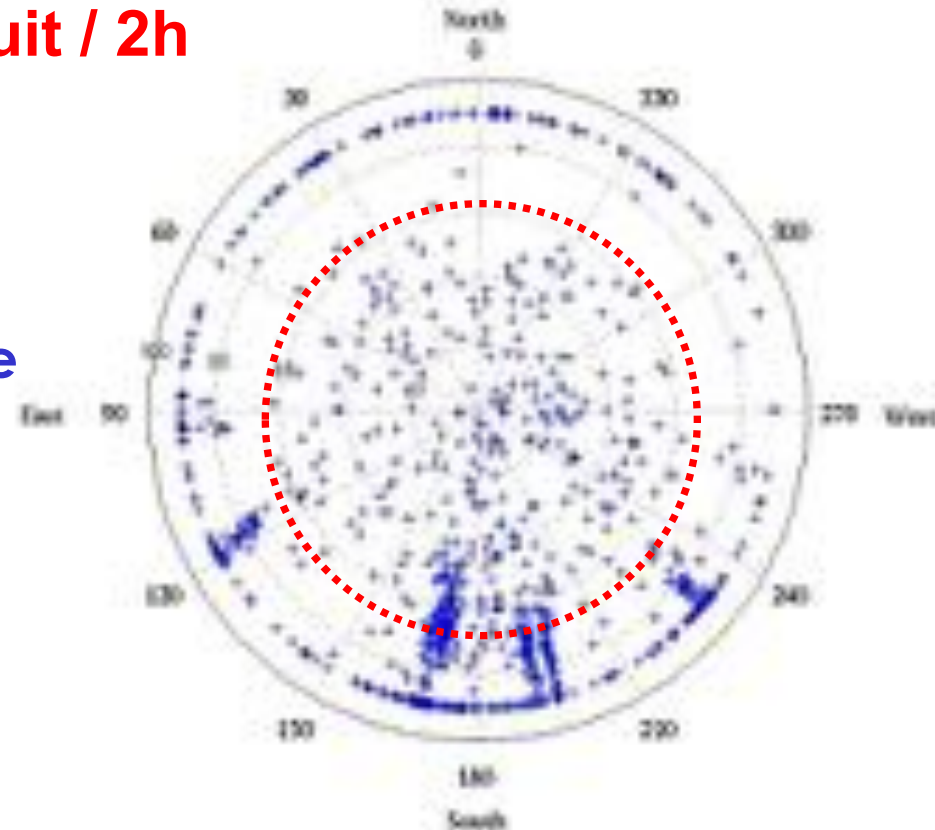
Anthropique

- Répartition inhomogène
- Bas sur l’horizon

+ soleil + orages +...

Candidats gerbes:

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

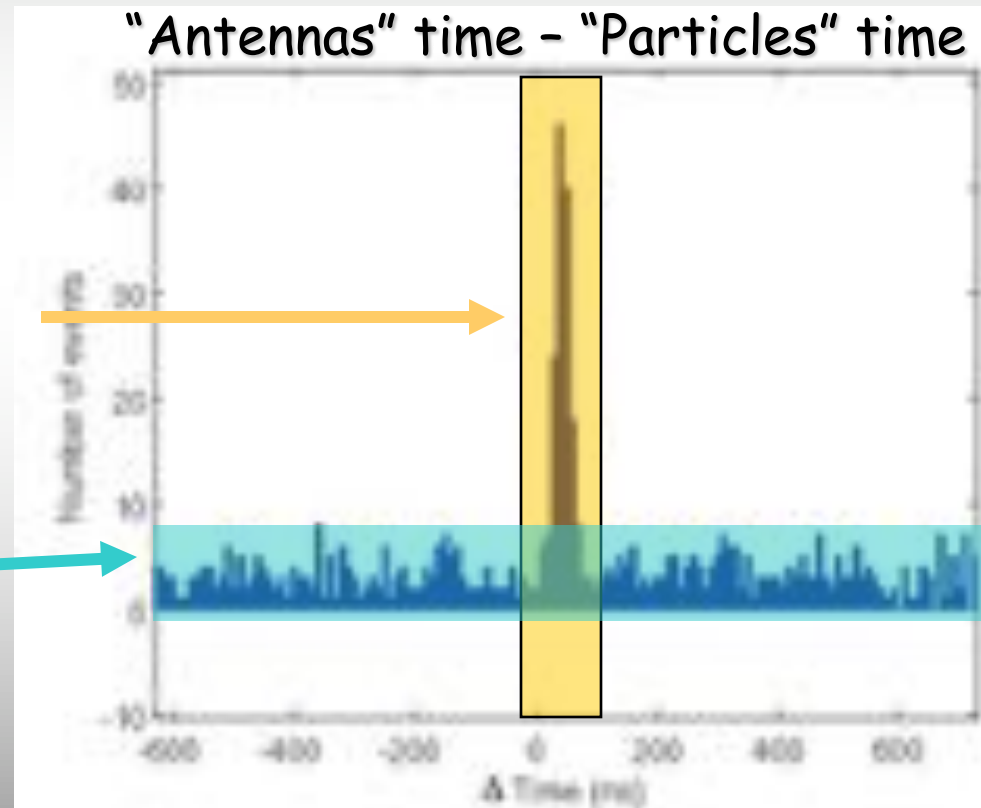


Distribution en temps

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

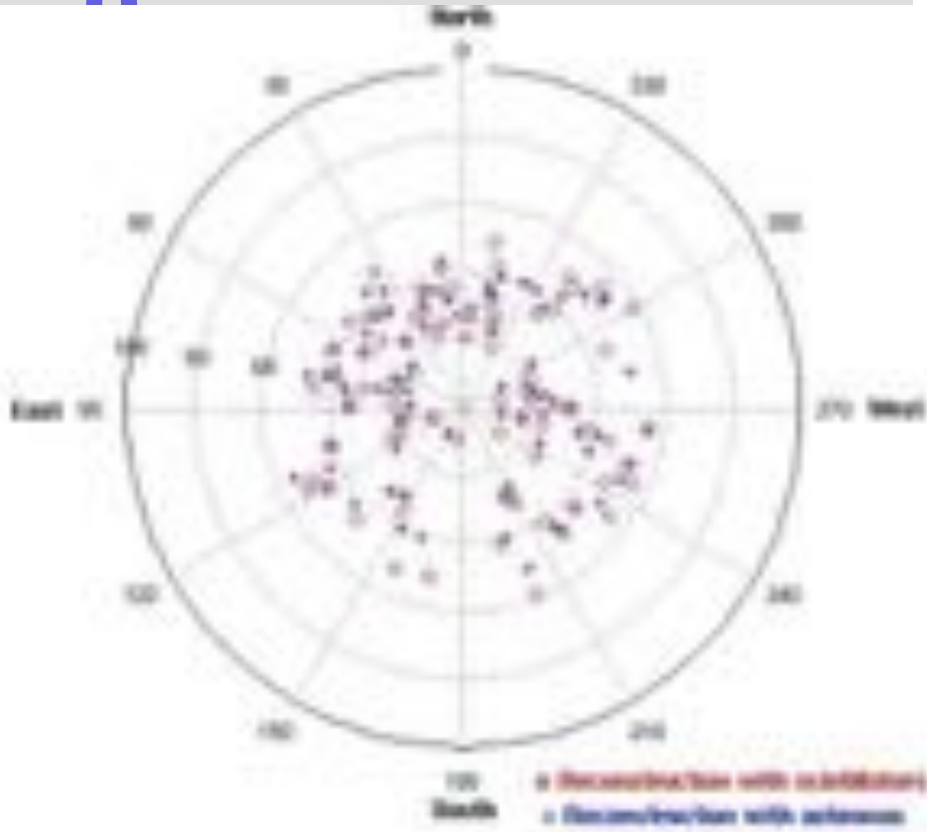
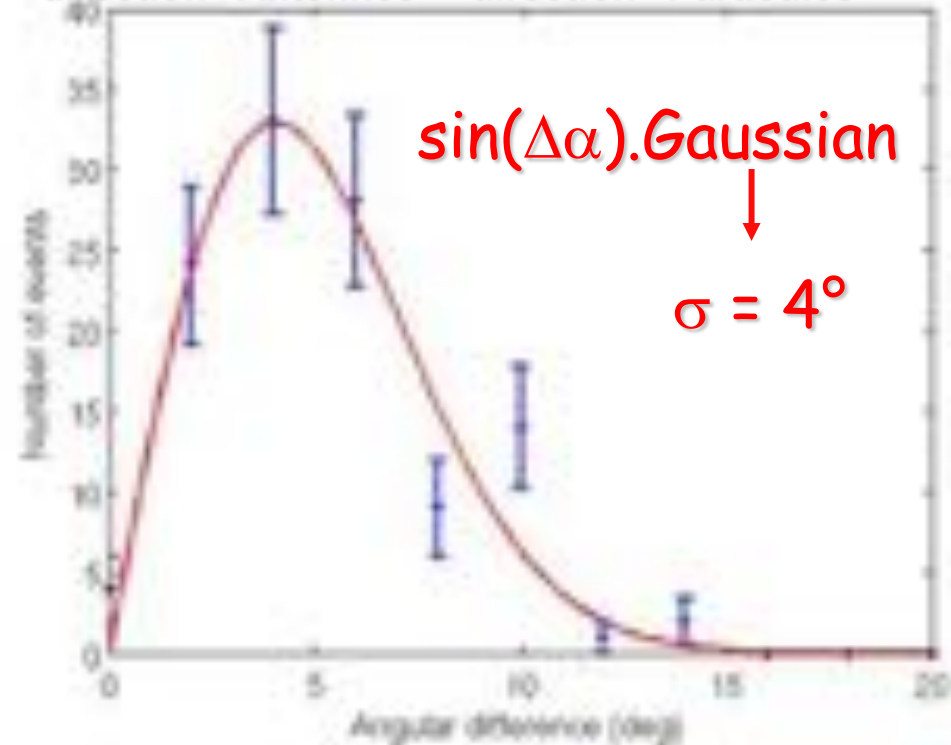
**Distribution piquée (<100ns)
Candidats gerbes**

**Distribution plate
Événements fortuits**



Corrélation des directions d'arrivée

direction "Antennes" – direction "Particules"



1 evt / jour
Acceptance Scintillateur
⇒ Seuil en énergie de
l'instrument $\sim 5.10^{16}$ eV

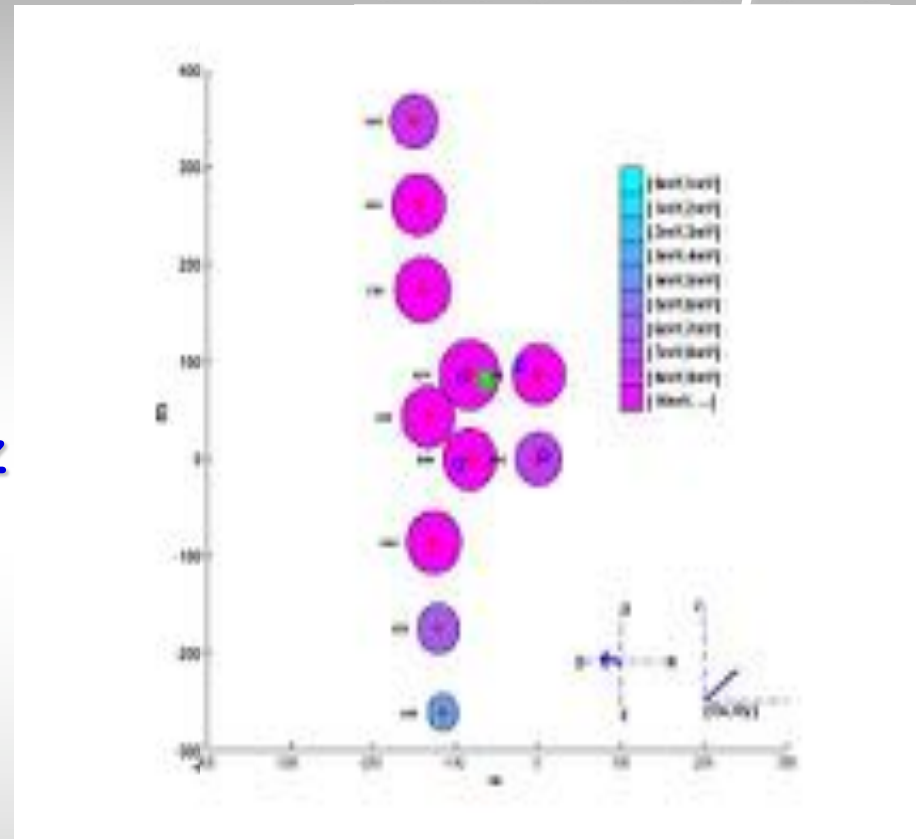
Topologie du champ électrique

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

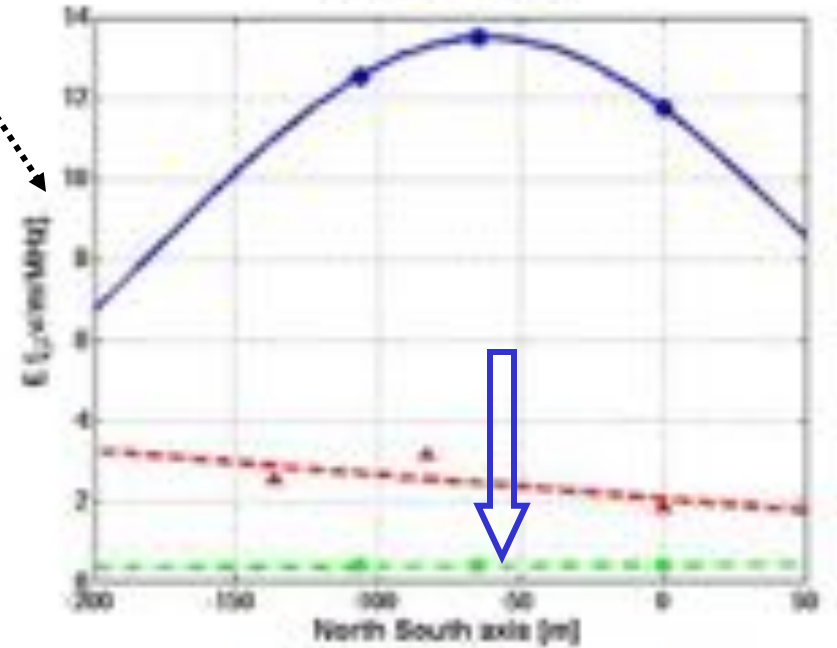
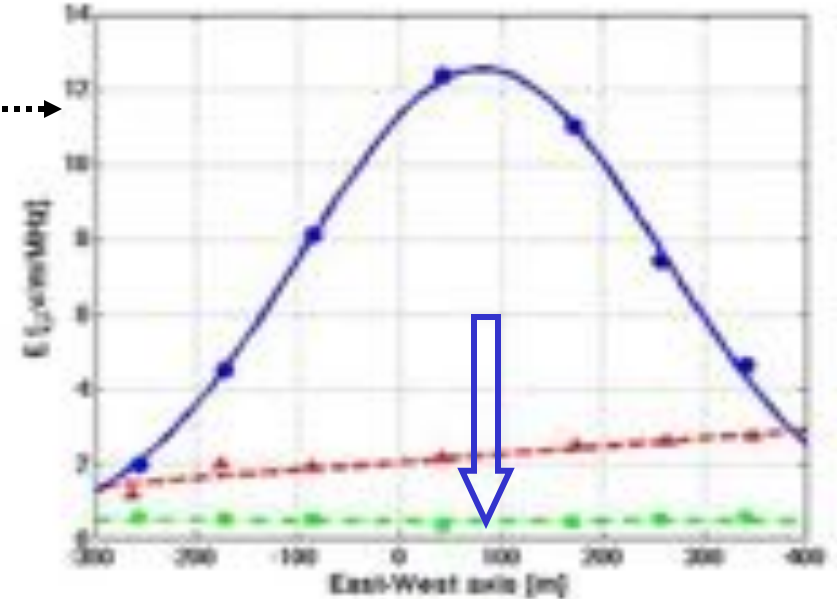
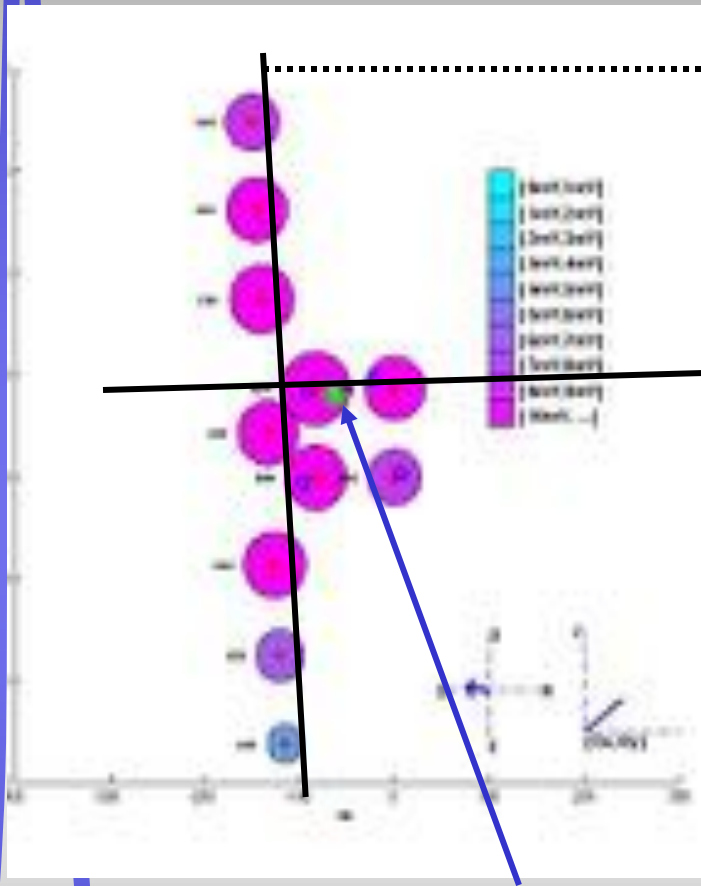


Seuil de l'instrument

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*

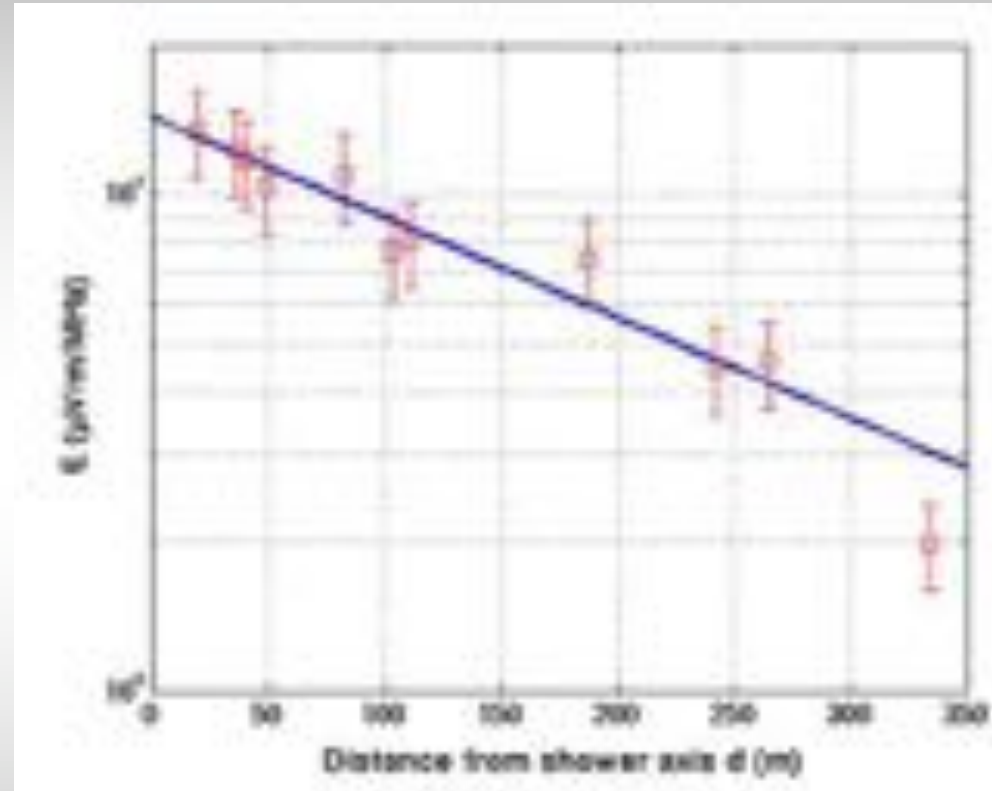
Fit exponentiel :

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



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

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



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)

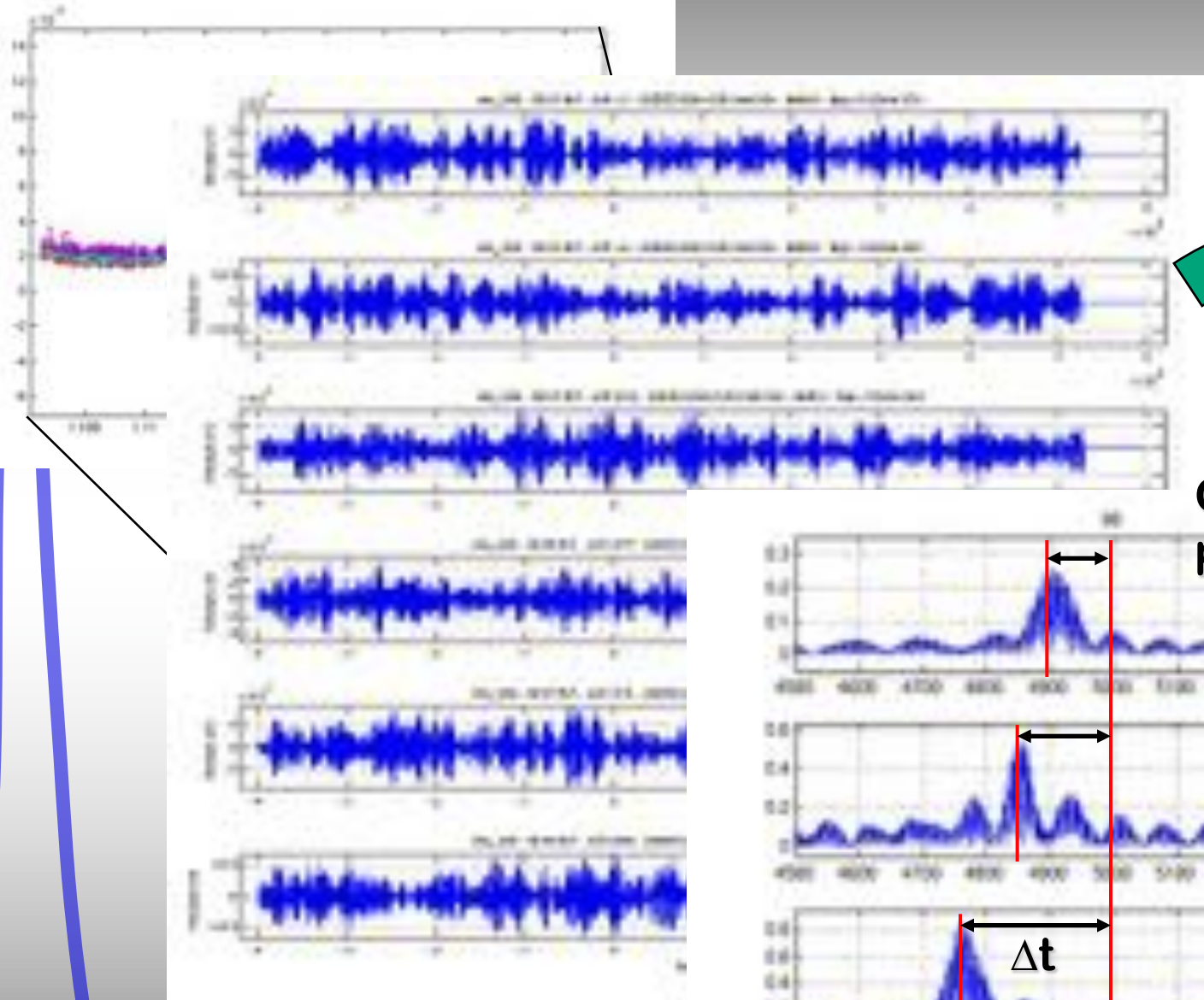
Ajout de détecteurs de particules

Vers les très hautes énergies

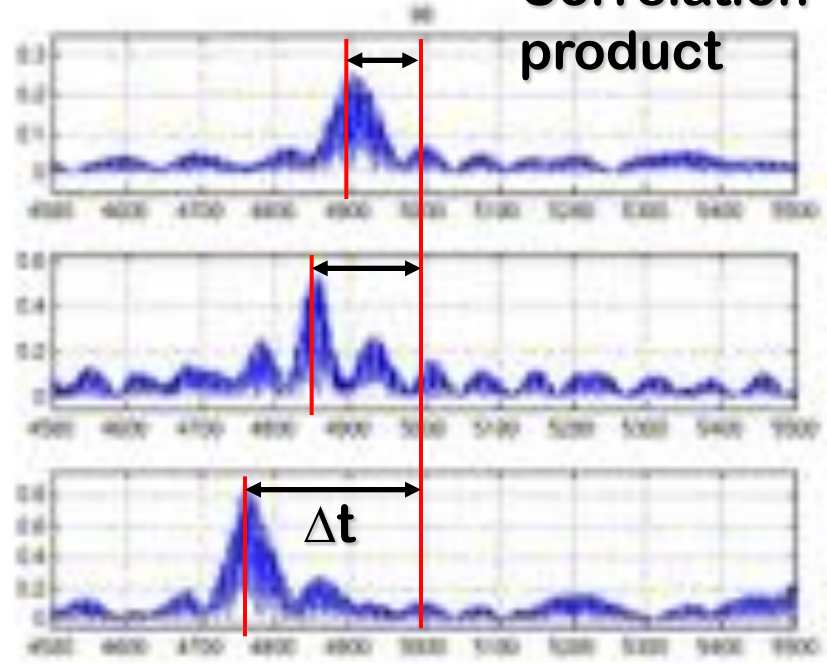
Antennes dipôles autonomes

Déploiement sur un détecteur géant (Auger)

And when there are no pulses ?

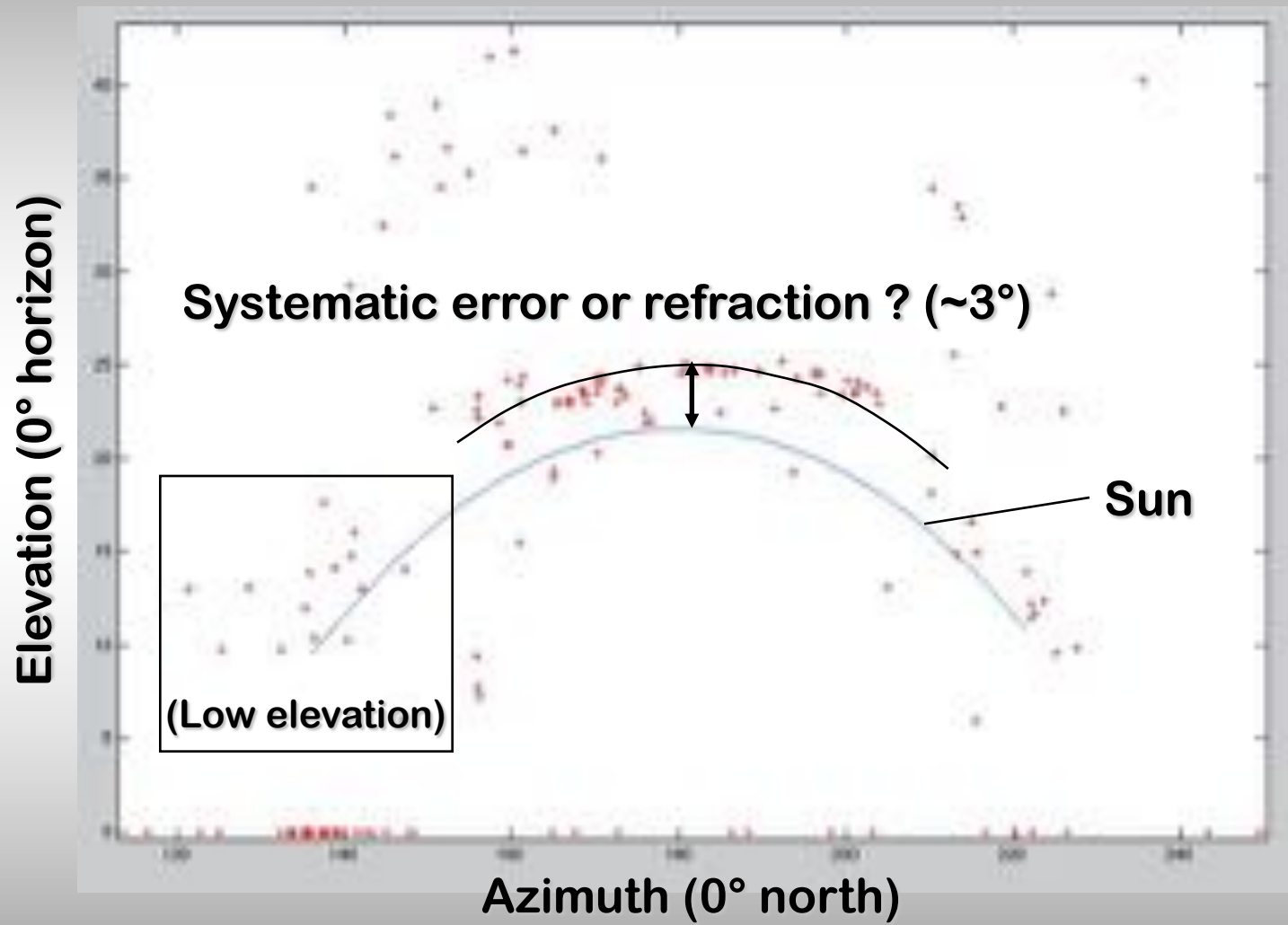


Correlation product

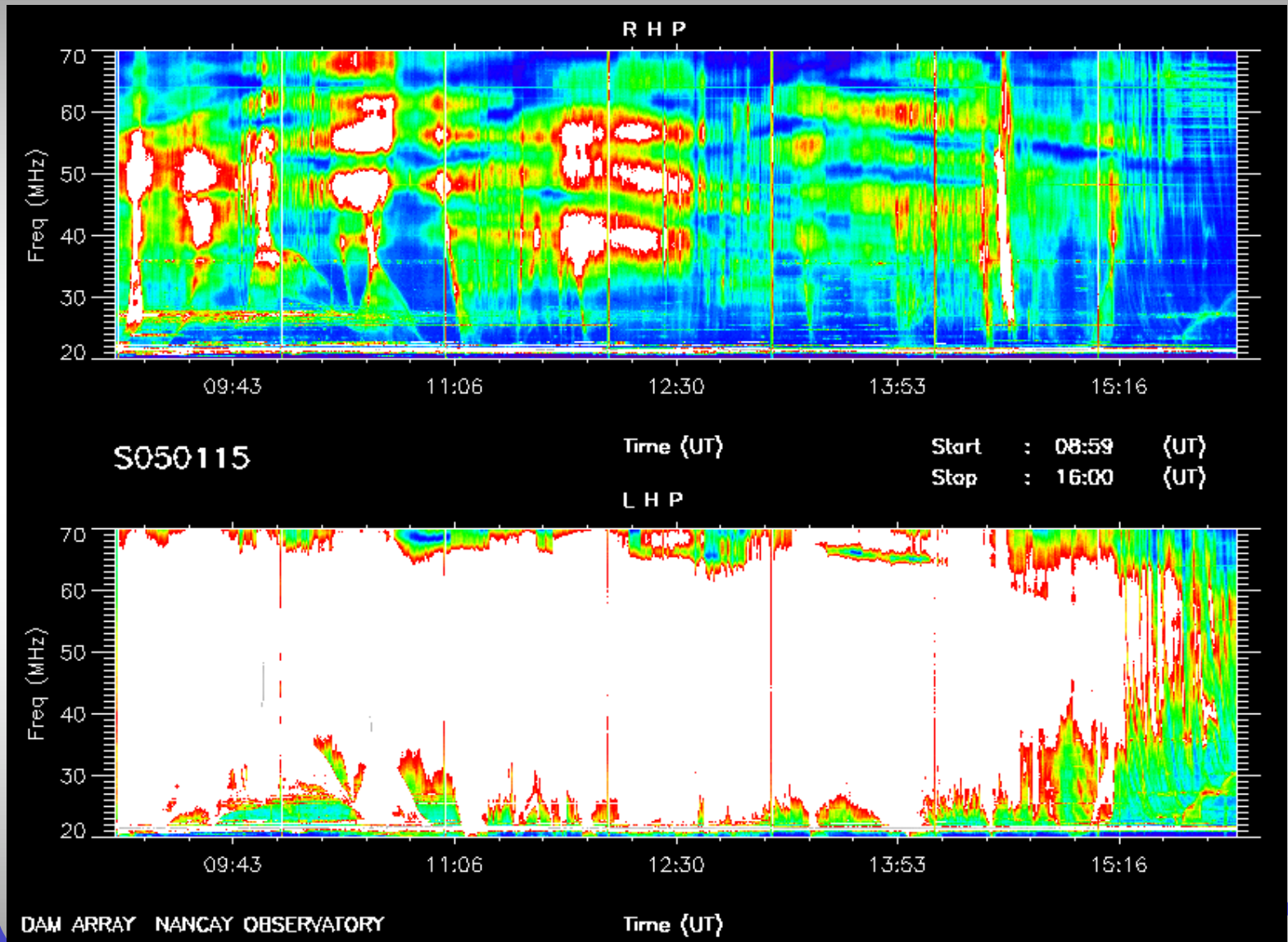


(Preliminary) phasing

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

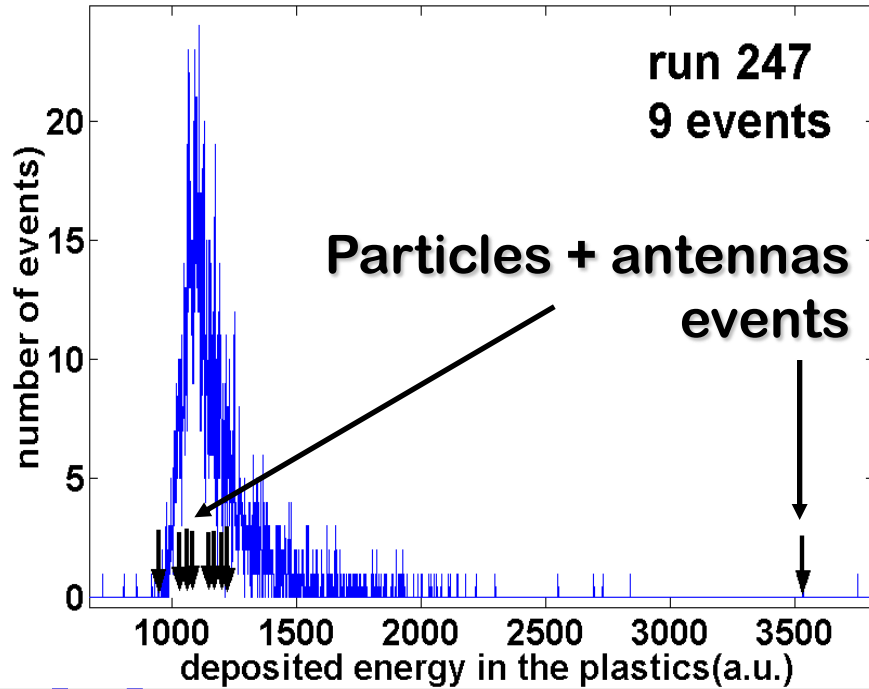


Solar activity as seen by the DAM on 2005/01/15

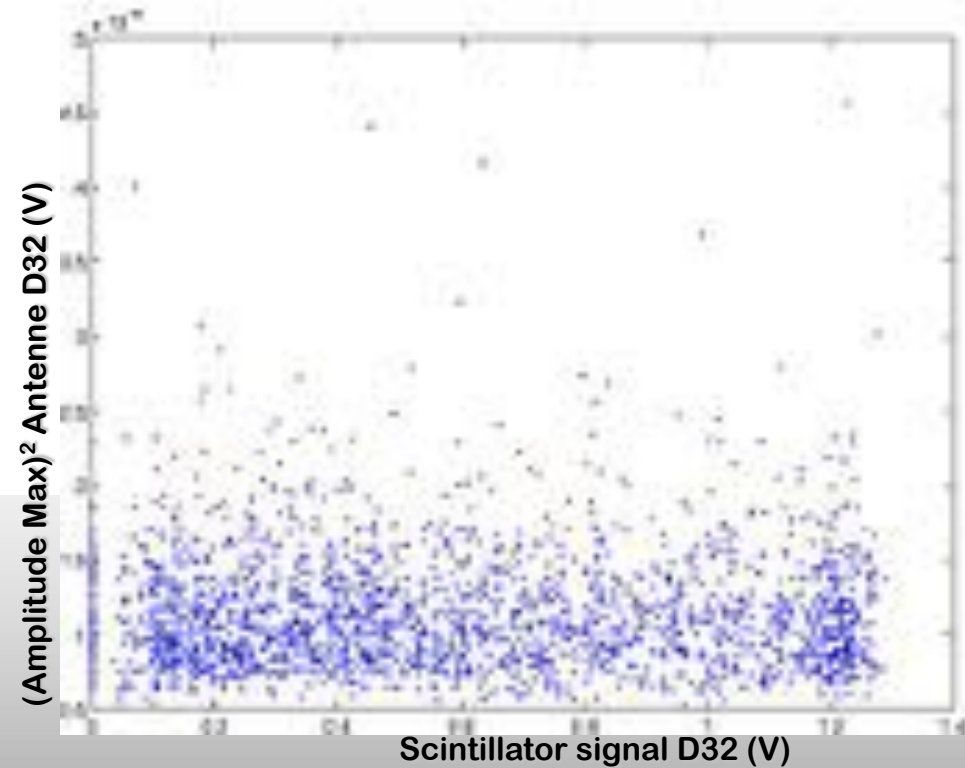


scintillators - antennas Interactions

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