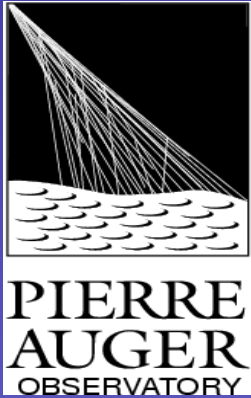
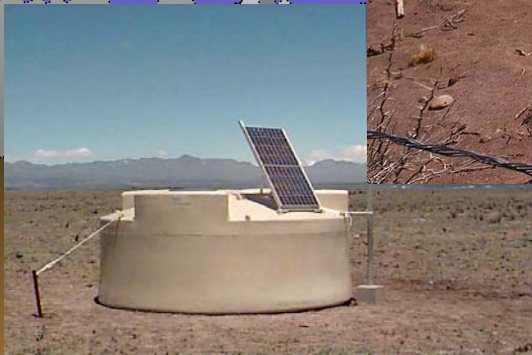


Nature des Rayons Cosmiques d'Ultra Haute Energie (UHERC)



Gilles Maurin
Directeur de thèse : J.M. Brunet



PCC & APC - Collège de France

Plan

- Problématique d'Auger :

Importance de l'identification de la nature du primaire ?

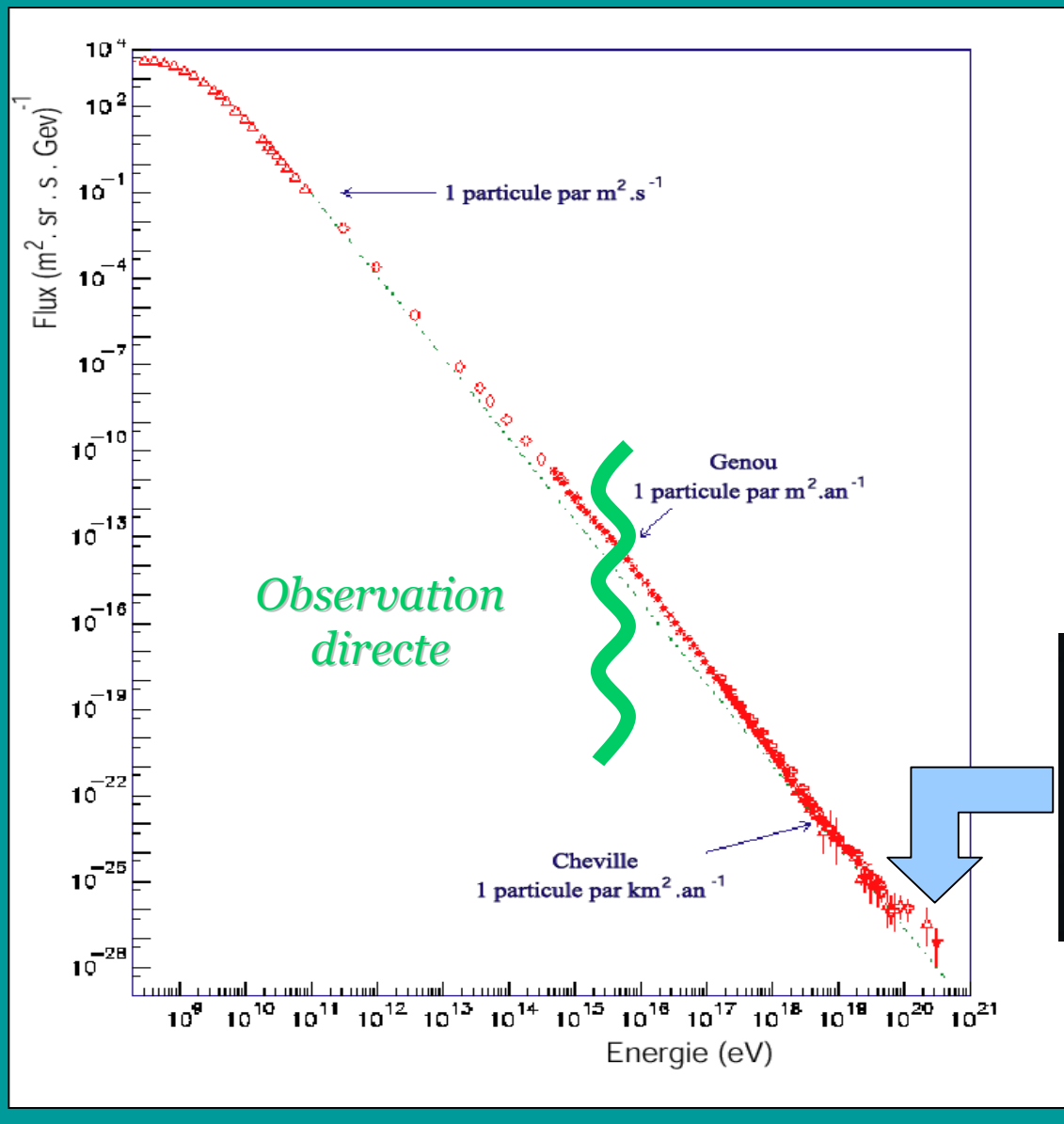
- L'Observatoire Pierre Auger :

Méthodes de détection, état actuel

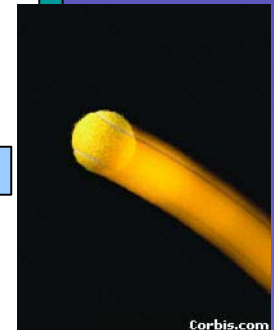
- Méthodes de discrimination :

Xmax, densité de muons, rayon de courbure...
Etude multidimensionnelle

Spectre des Rayons cosmiques (1)



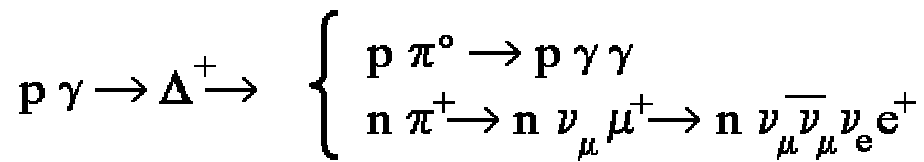
100 km/h !!



Coupure GZK

Greisen, Zatsepin, Kuzmin

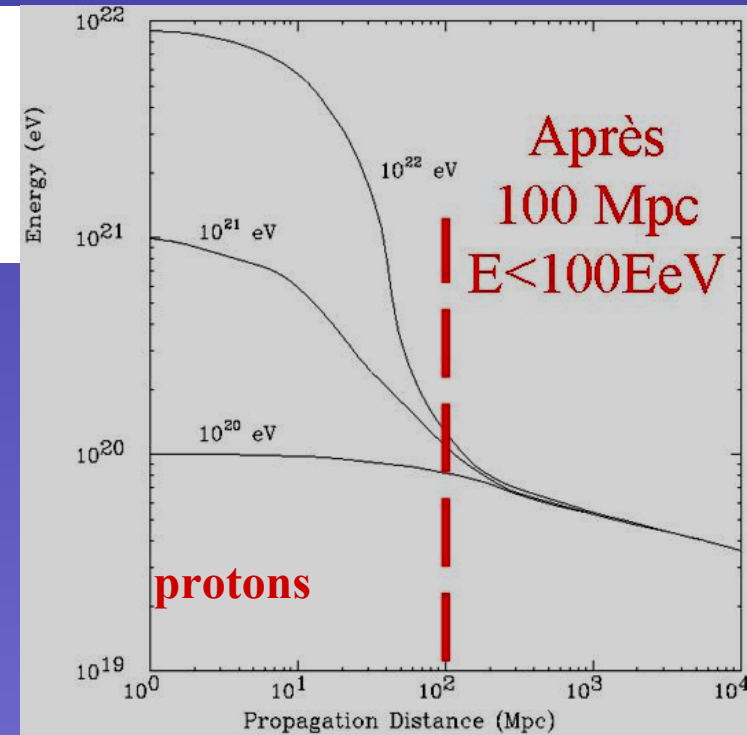
Interaction des hadrons avec le fond de photons à 3K (CMB)



$E_{\text{seuil}} = 70 \text{ EeV}$

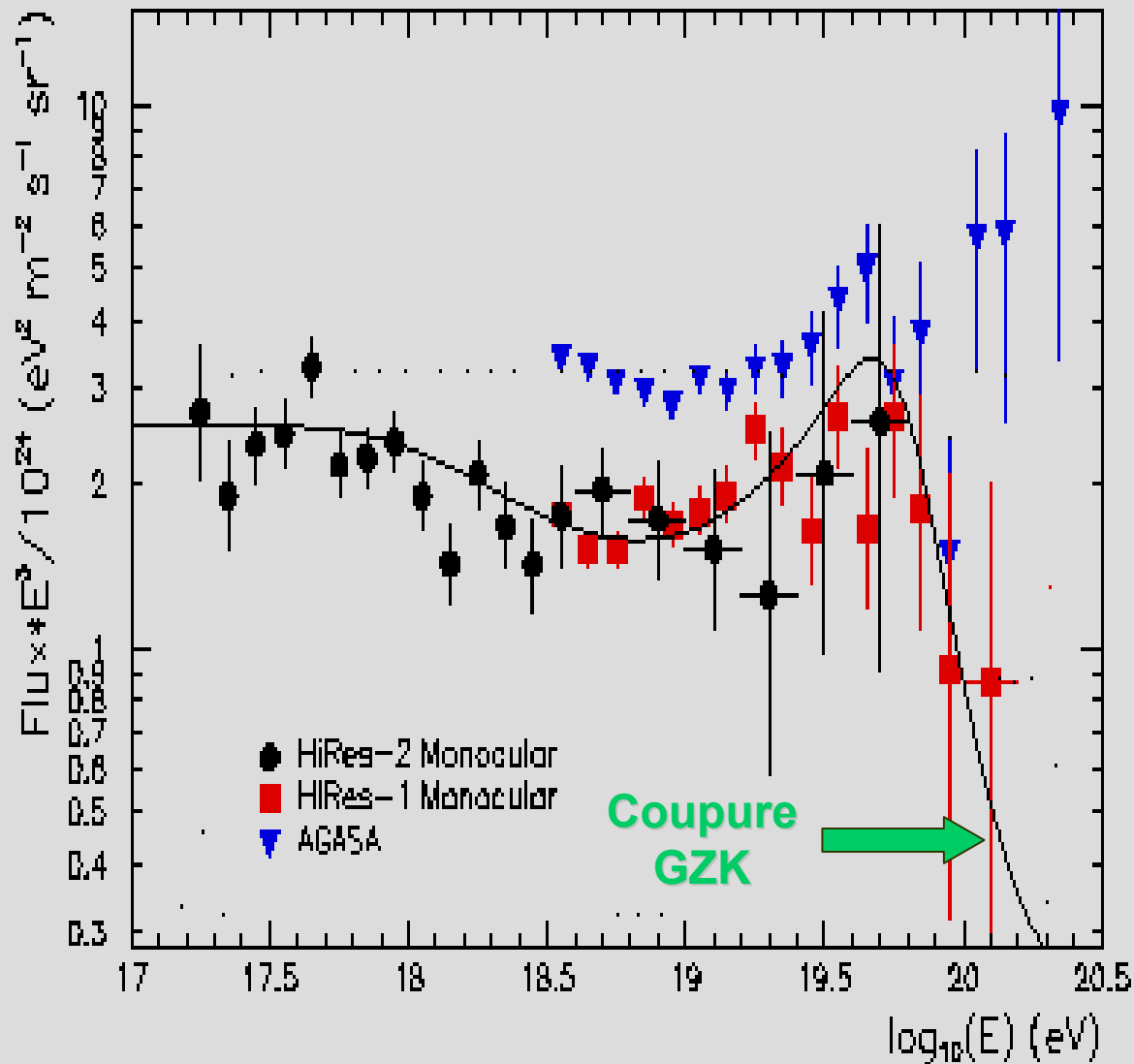
Longueur d'interaction : 6 Mpc

Perte d'énergie par collision : 20%



Les sources doivent être proches !

Spectre des Rayons cosmiques (2)



Questions ???

- Quelle est leur énergie ?

Energie supérieure à la coupure GZK ?

- D'où viennent-ils ?

coupure GZK \Leftrightarrow sources proches de nous $\sim 100\text{Mpc}$

- Quelle est la nature de ces rayons cosmiques ?

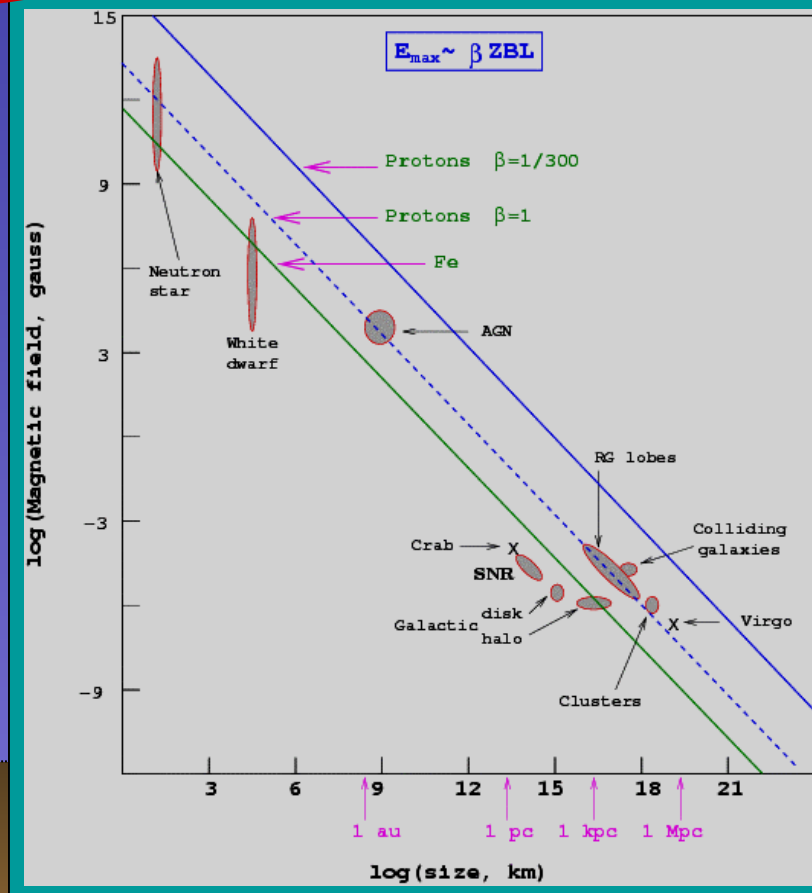
p, n, γ , noyau, neutrino...

Nature des rayons cosmiques primaires (1)

Bottom - Up

Mécanismes astrophysiques violents :

- ✓ Noyaux Actifs de Galaxies
- ✓ Super Novae...



→ Signature :

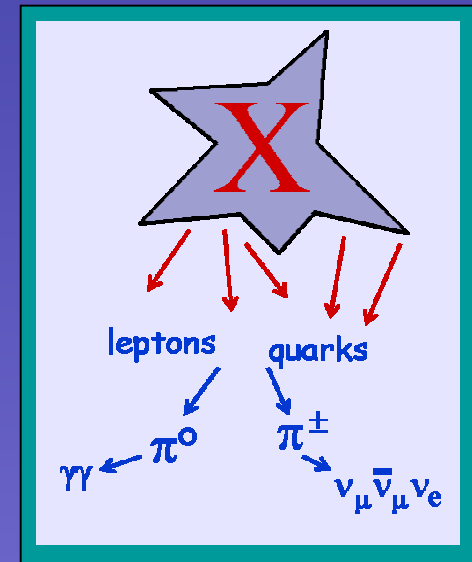
Particules primaires = particules chargées (proton, noyaux)

Nature des rayons cosmiques primaires (2)

Top-Down

Désintégration, annihilation...
d'une particule "X" :

- ✓ Défauts Topologiques (cordes, monopôles...)
- ✓ Particules métastables reliques du Big-Bang



→ Signature :

Particules primaires = protons, photons et neutrinos

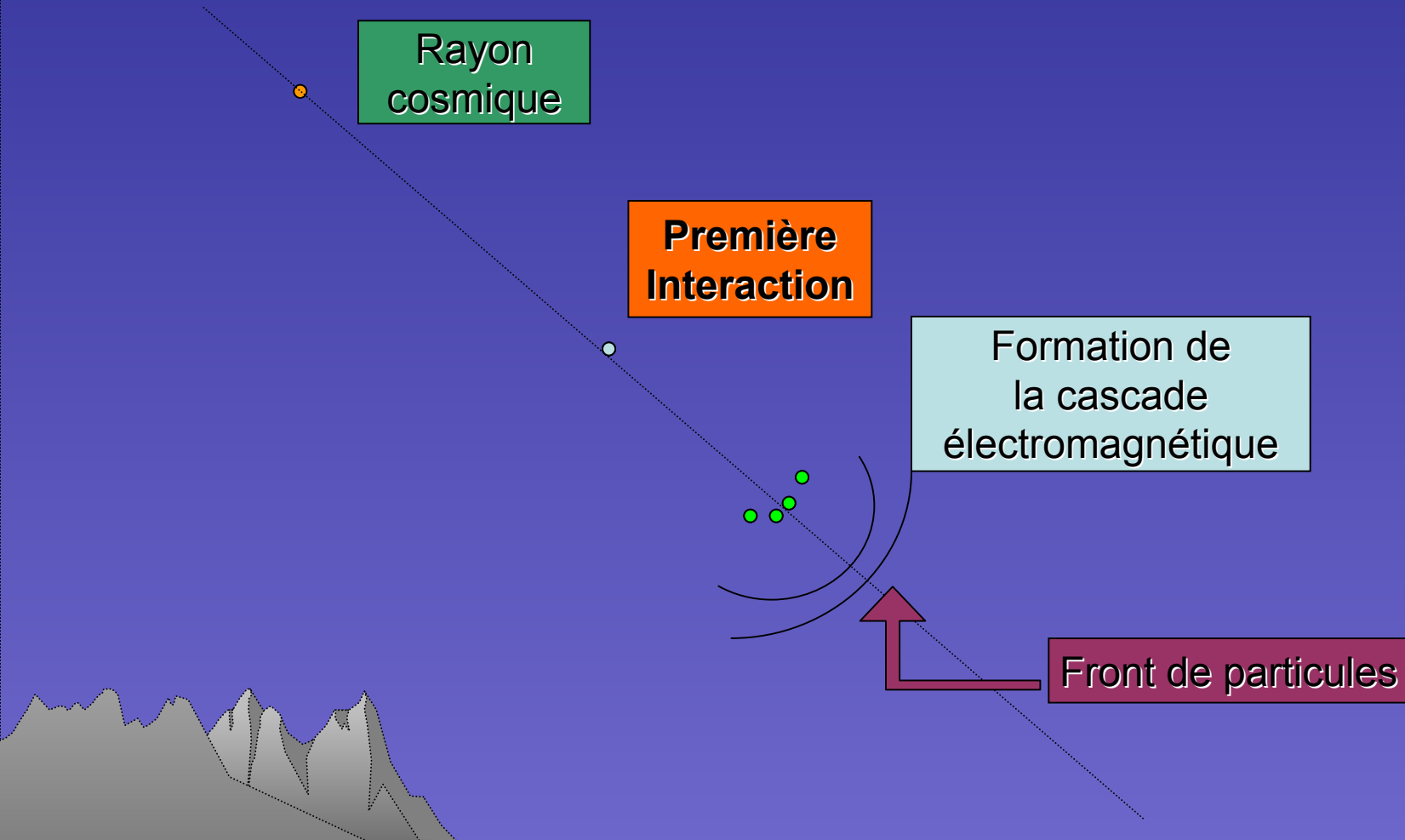
Formation des gerbes atmosphériques

Rayon
cosmique

Première
Interaction

Formation de
la cascade
électromagnétique

Front de particules



Typiquement au maximum de la gerbe :

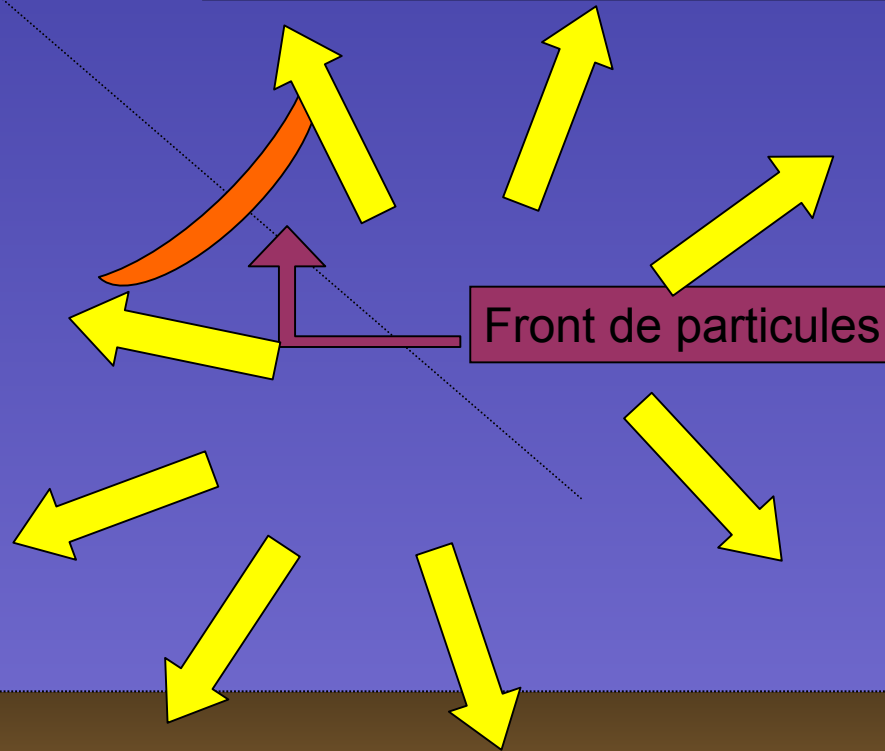
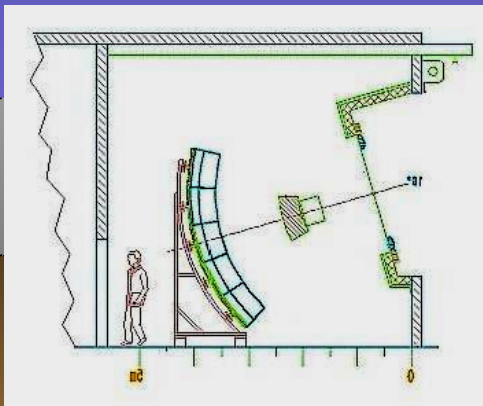
600×10^9 photons

60×10^9 électrons

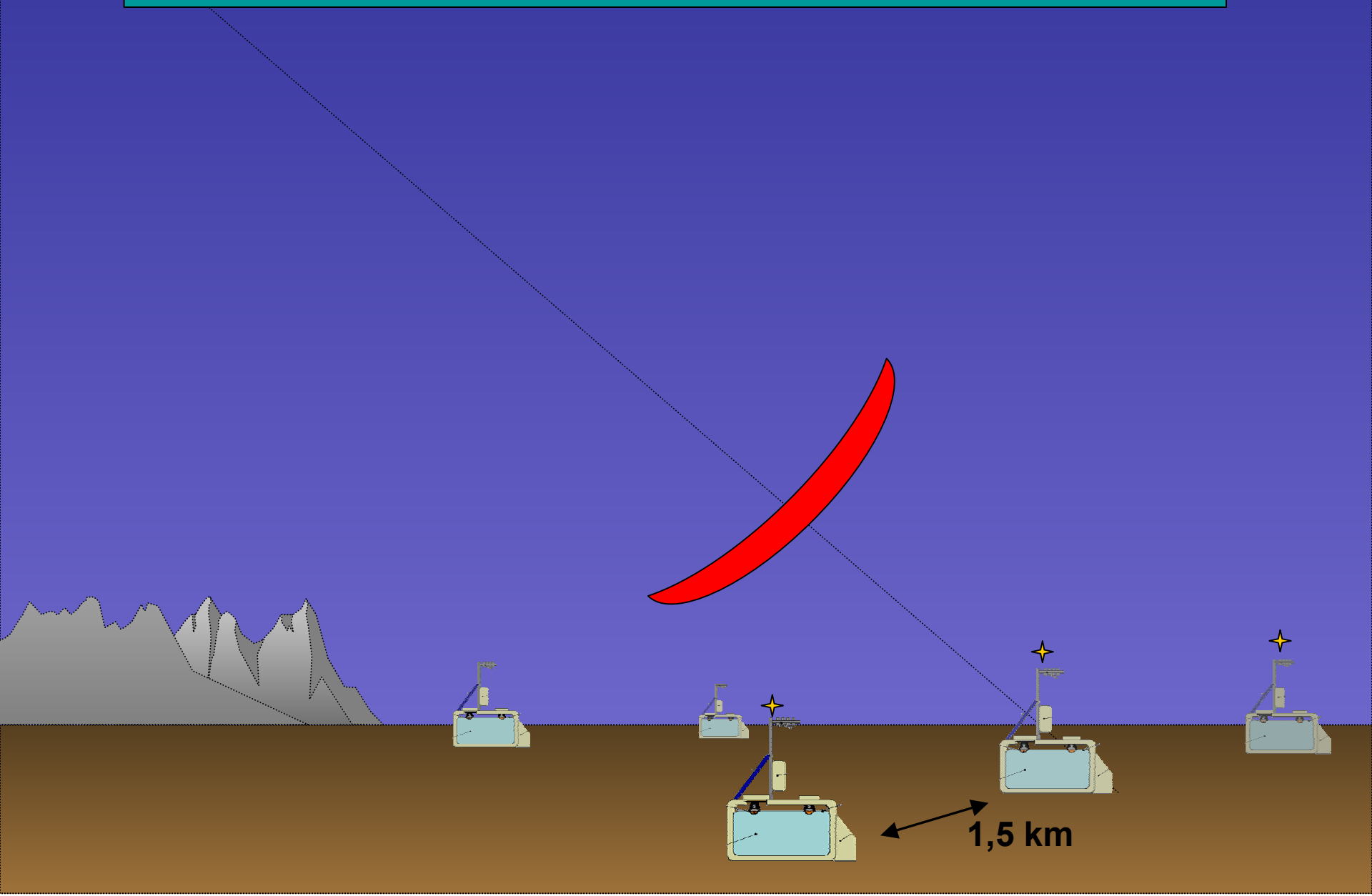
0.6×10^9 muons

(gerbe a 10^{20} eV)

Détecteur de
Fluorescence



Le réseau de surface



L'Observatoire Pierre Auger

Couverture

Un site

Argentin

Grand

Largeur

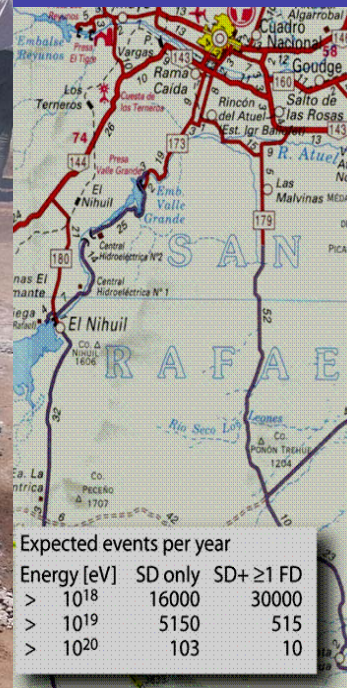
3

Détection

Deux techniques

❖ Réseau

❖ Fluorescence

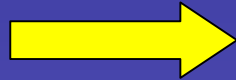


Aujourd'hui : 240 cuves et 3/6 baies par télescope (nov. 2003)

Observation du premier événement stéréo hybride

La discrimination

Simulation de
gerbes
atmosphériques



Simulation rapide
des signaux



Identification de
critères de
discrimination

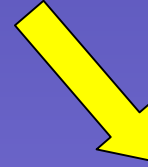
**Densite de muon, Rayons
de courbure, Xmax...**



Etude statistique

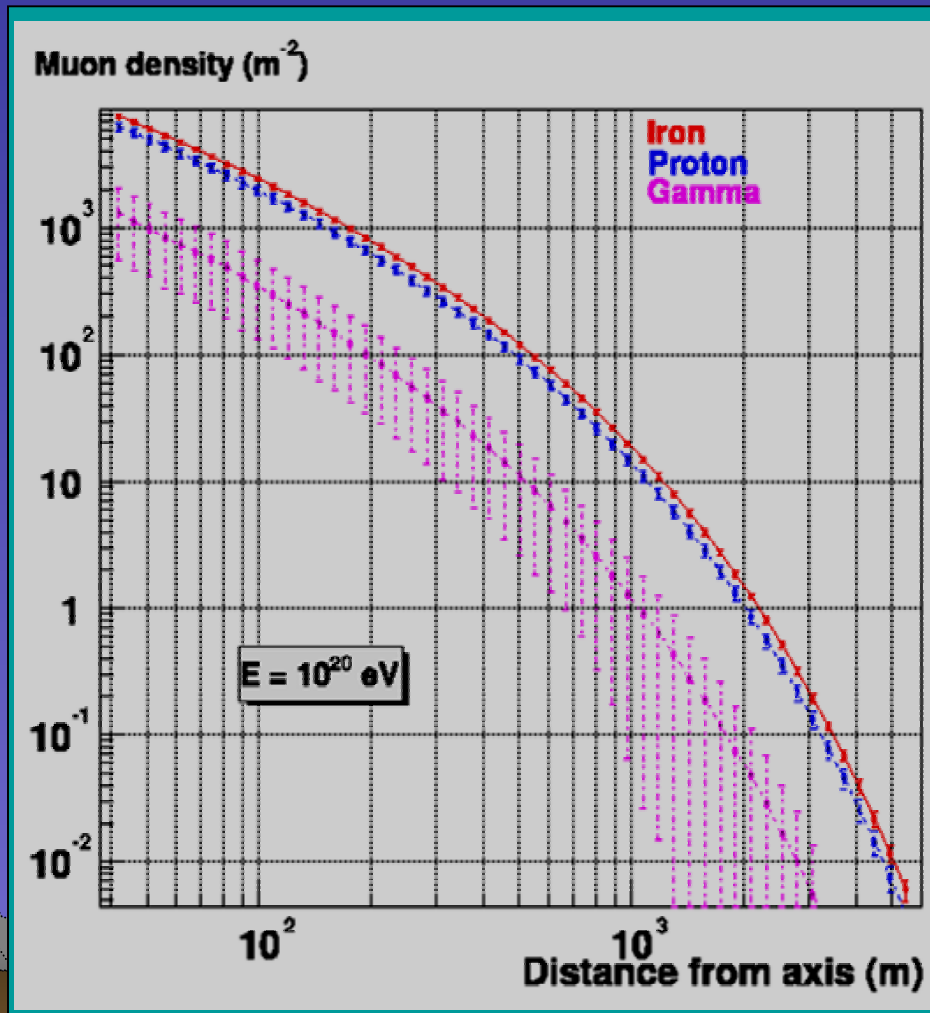


Corrélation
des critères



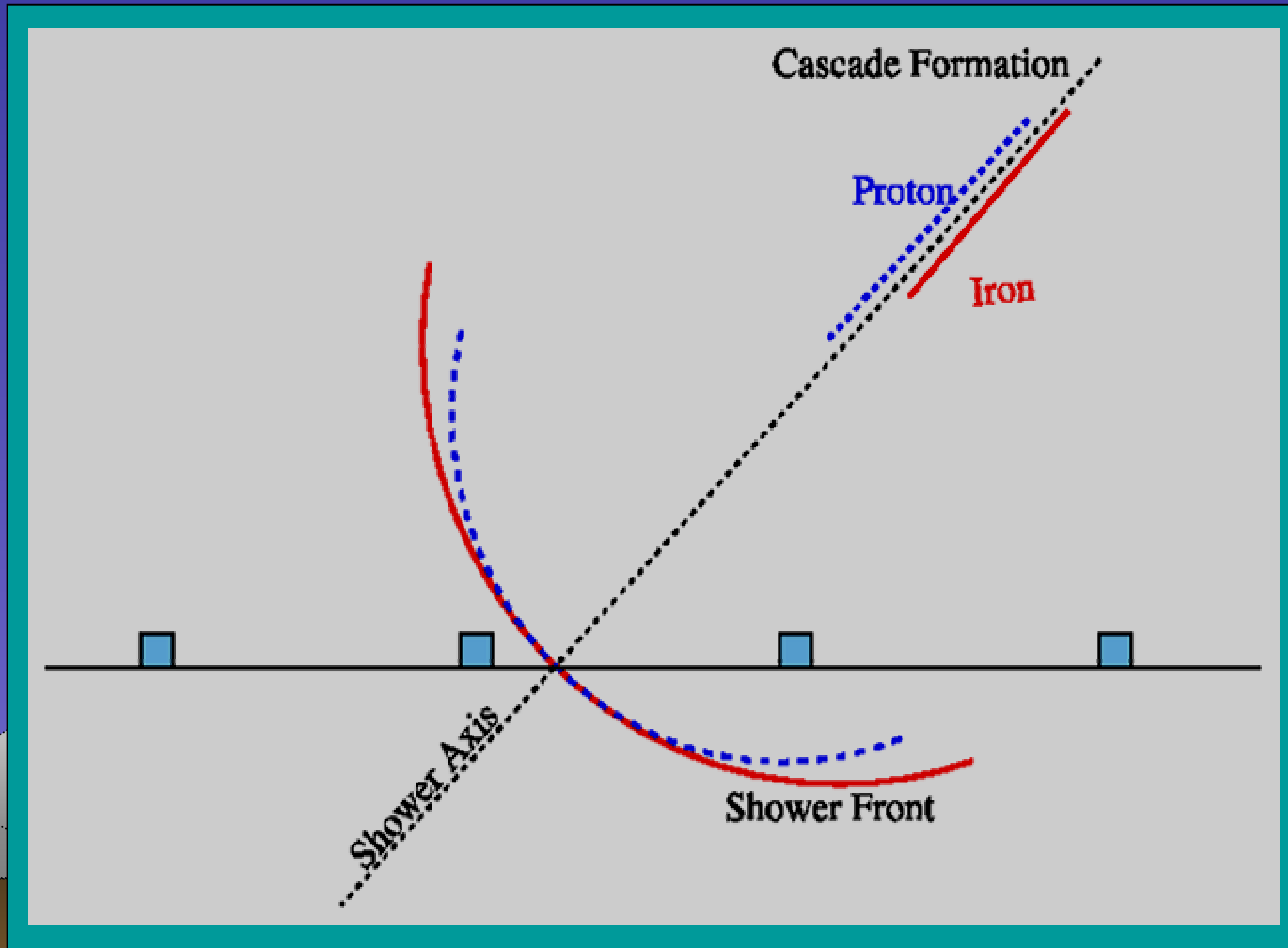
Analyse
multidimensionnelle

Densité de muons au sol

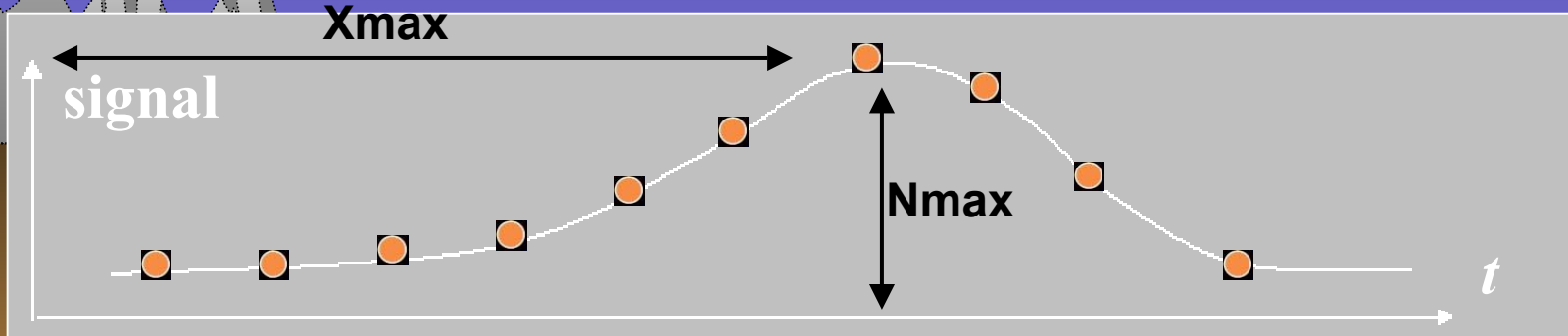
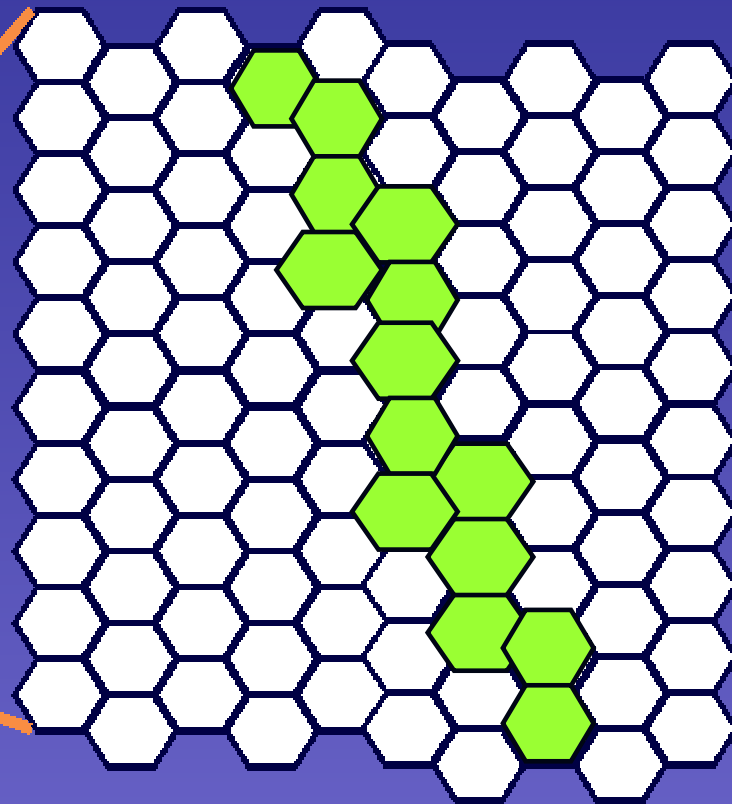
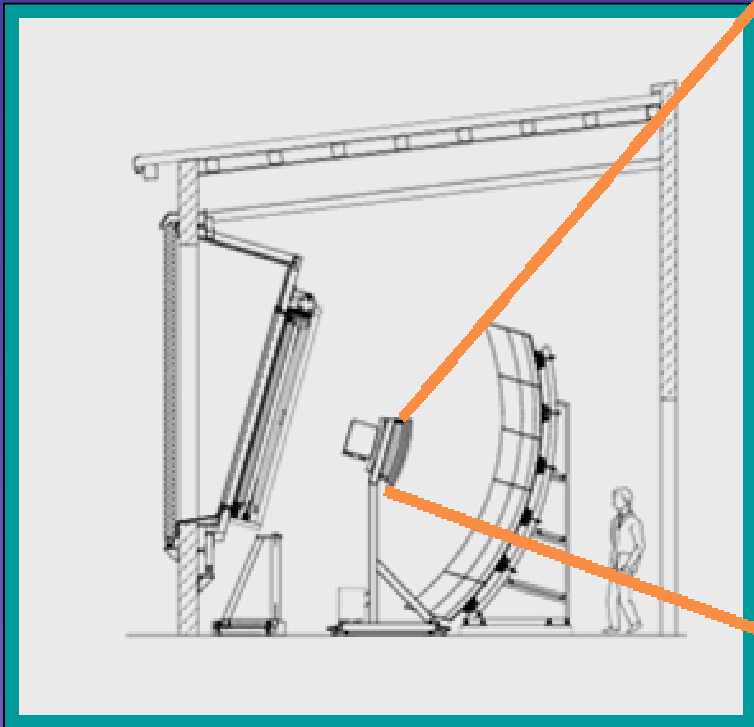


→ Environ 30% de muons en plus pour les fer que pour les protons (à même énergie)

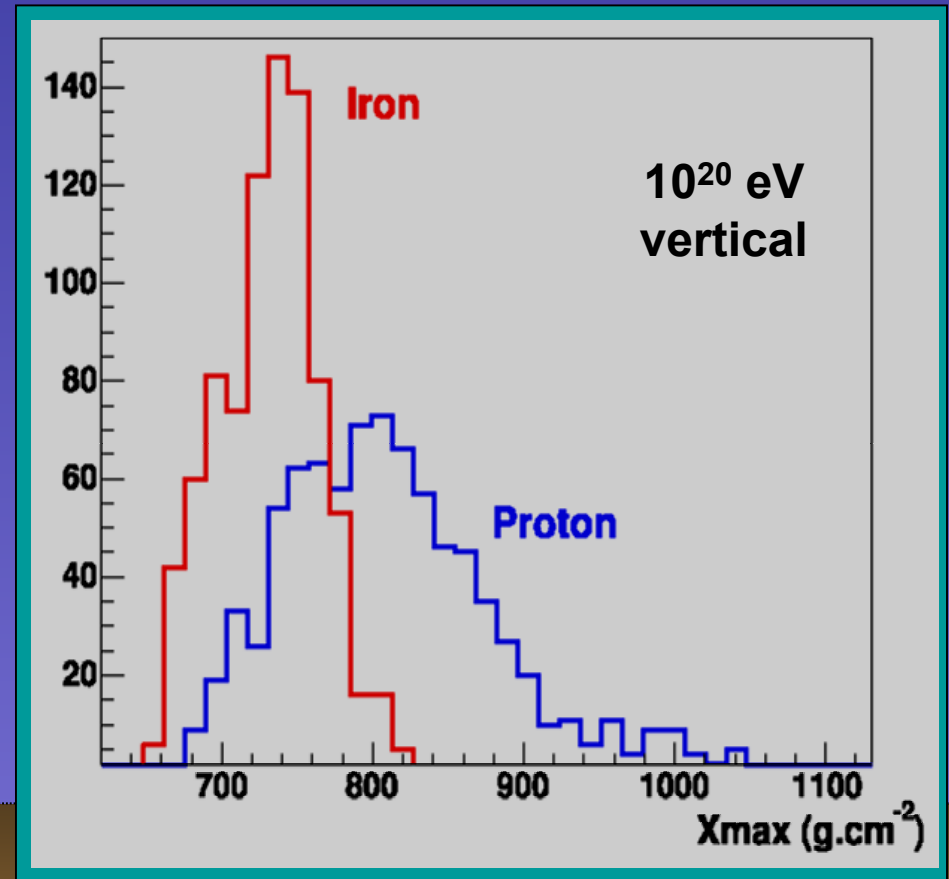
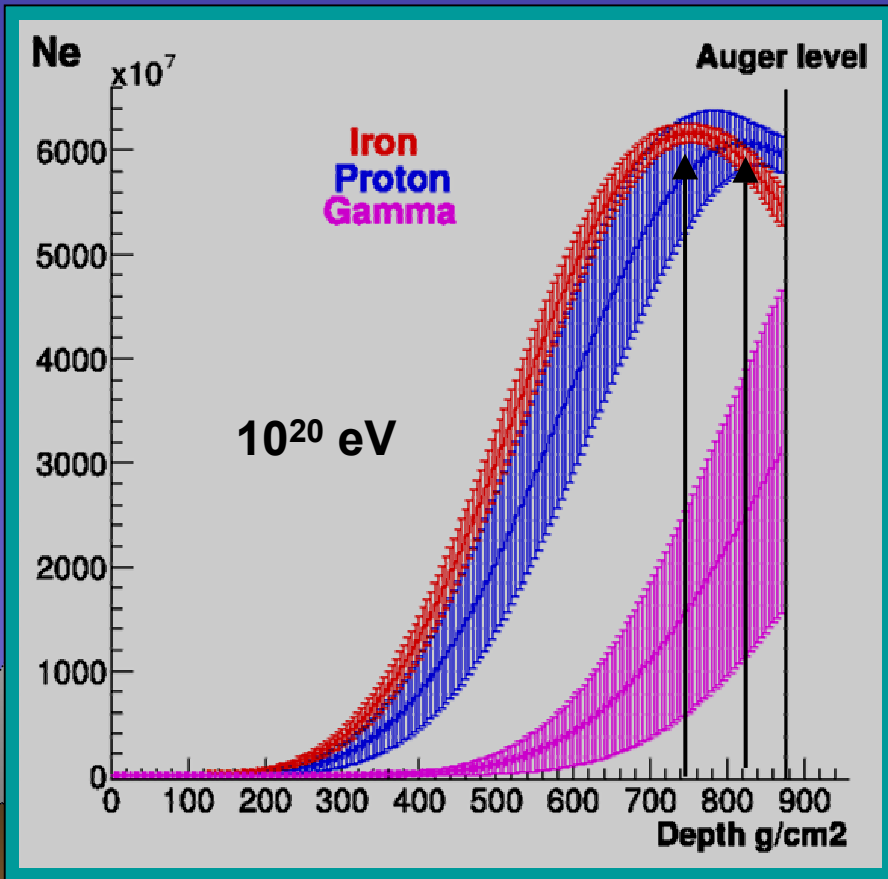
Différences géométriques Proton - Fer



Le détecteur de fluorescence



Xmax photon - proton - fer

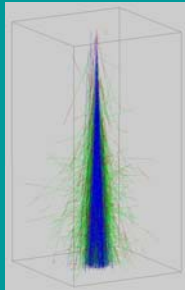


Conclusion

- Etude des gerbes atmosphériques :
⇒ Définition et étude des critères de discrimination
- Développement en cours : Traitement du signal = compter muons
Reconstruction complet d'évènement

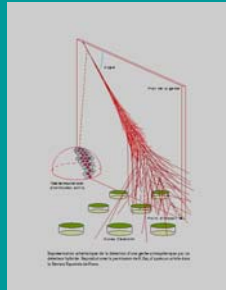
Etude de l'effet de la reconstruction

Simulation de gerbes

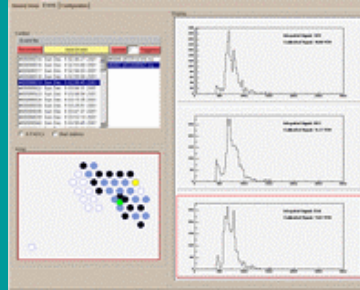


fait

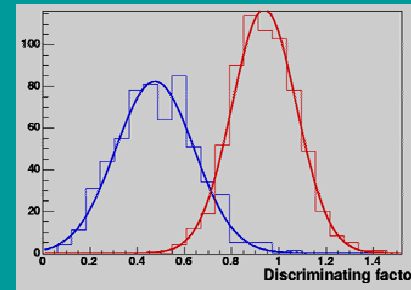
SDSim + Reconstruction



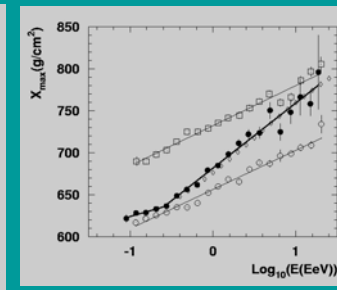
en cours



Analyse multidimensionnelle & composition UHERC

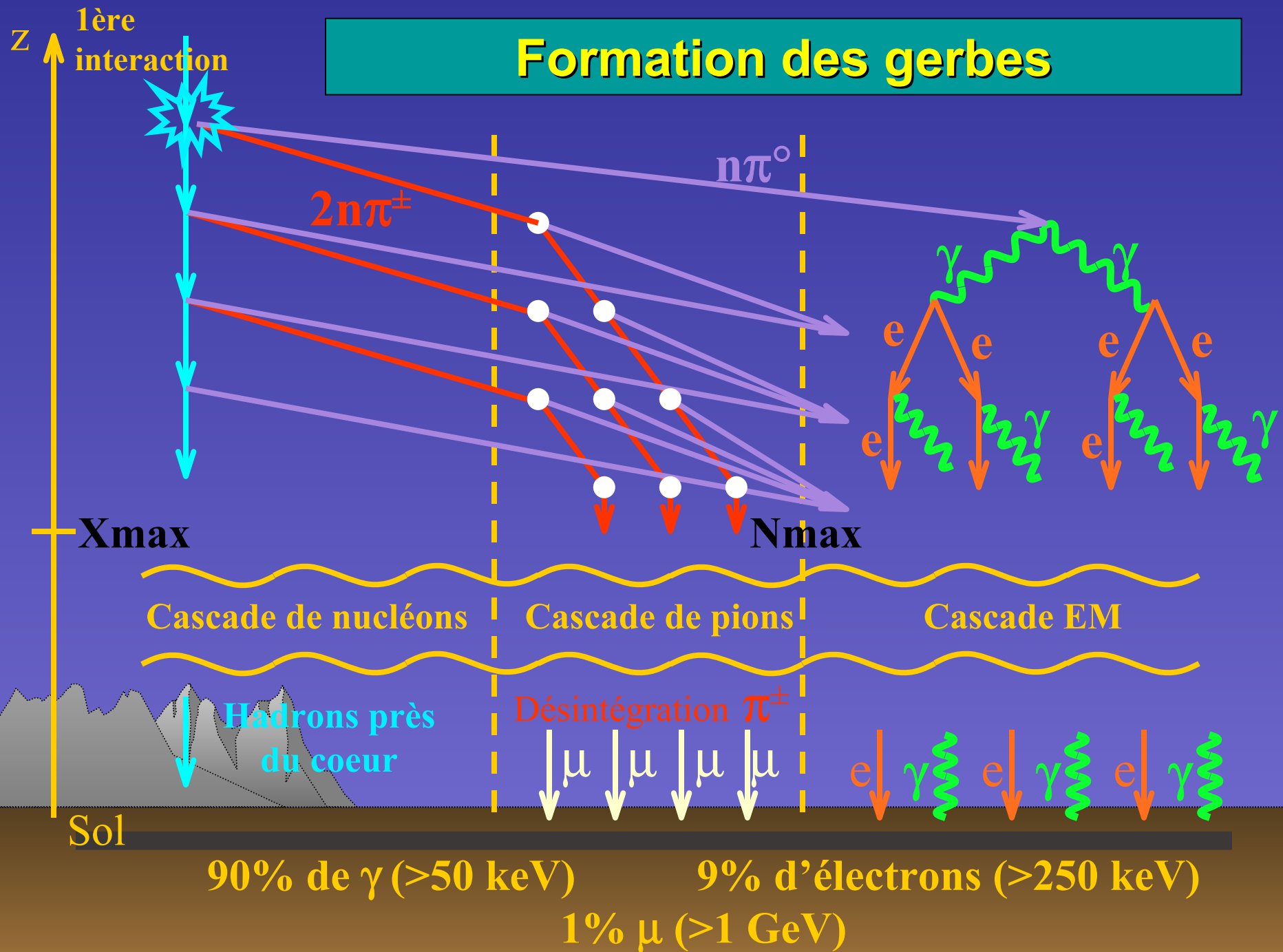


Futur...



Progrès

Formation des gerbes



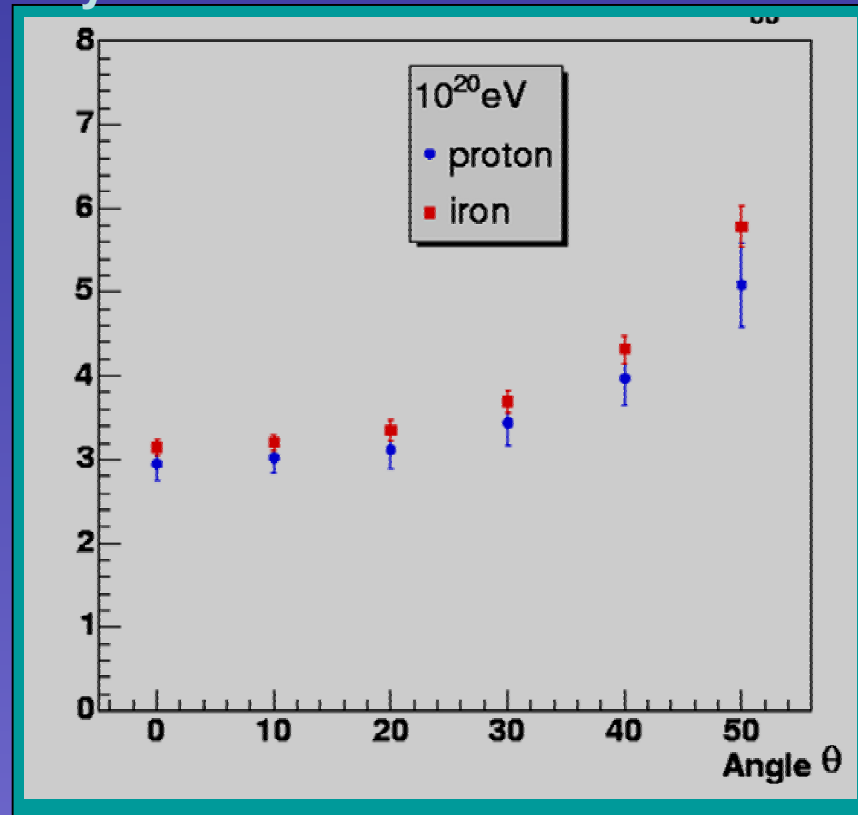
90% de γ (>50 keV)

9% d'électrons (>250 keV)

1% μ (>1 GeV)

Rayon de courbure Proton - Fer

Rayon de courbure en km



Le rayon de courbure du fer est plus grand que celui du proton.

(à même énergie)

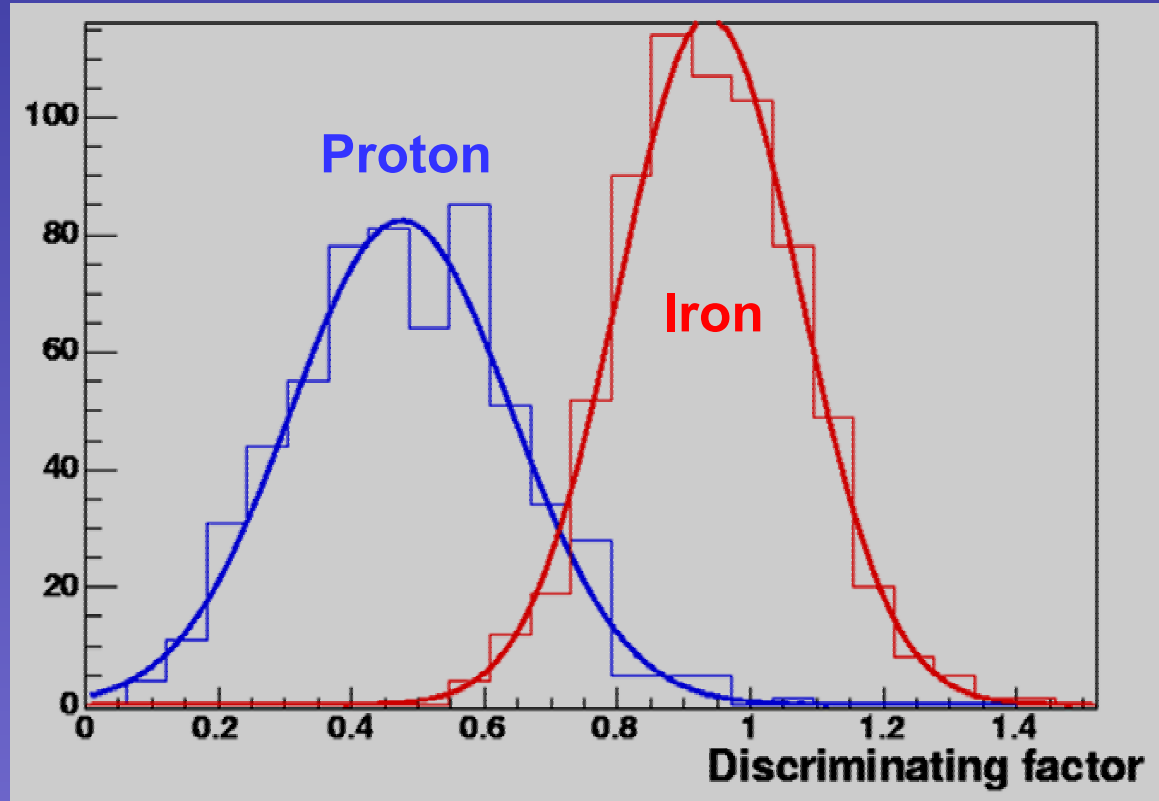
Etude multidimensionnelle

Facteur discriminant = Combinaison linéaire

$$\sum_{i=1}^4 \alpha_i \frac{\text{parametre } (i)}{\text{valeur moyenne du fer}}$$



α_i ajustés pour maximiser le facteur de mérite

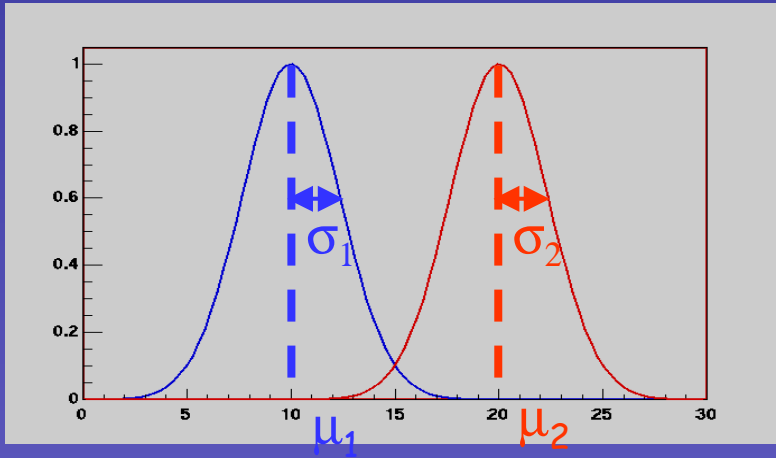


Facteur de mérite ~ 2



Discrimination gerbe a gerbe possible sur une partie de la population

Le facteur de mérite



Paramètres
de
discrimination

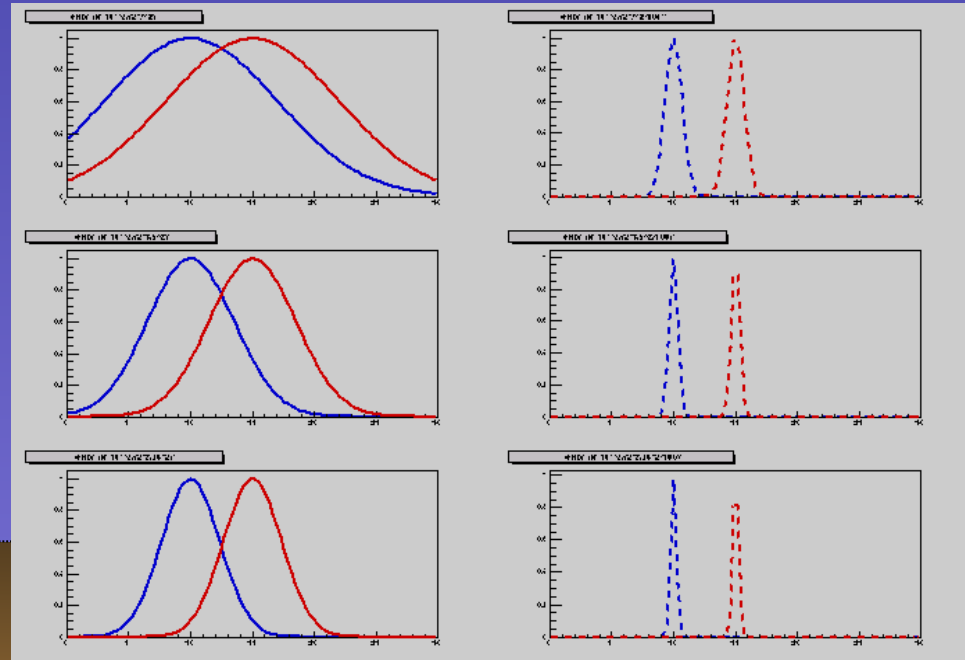
Valeur
moyenne
(100 showers)

$$Merit = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

M=0.5

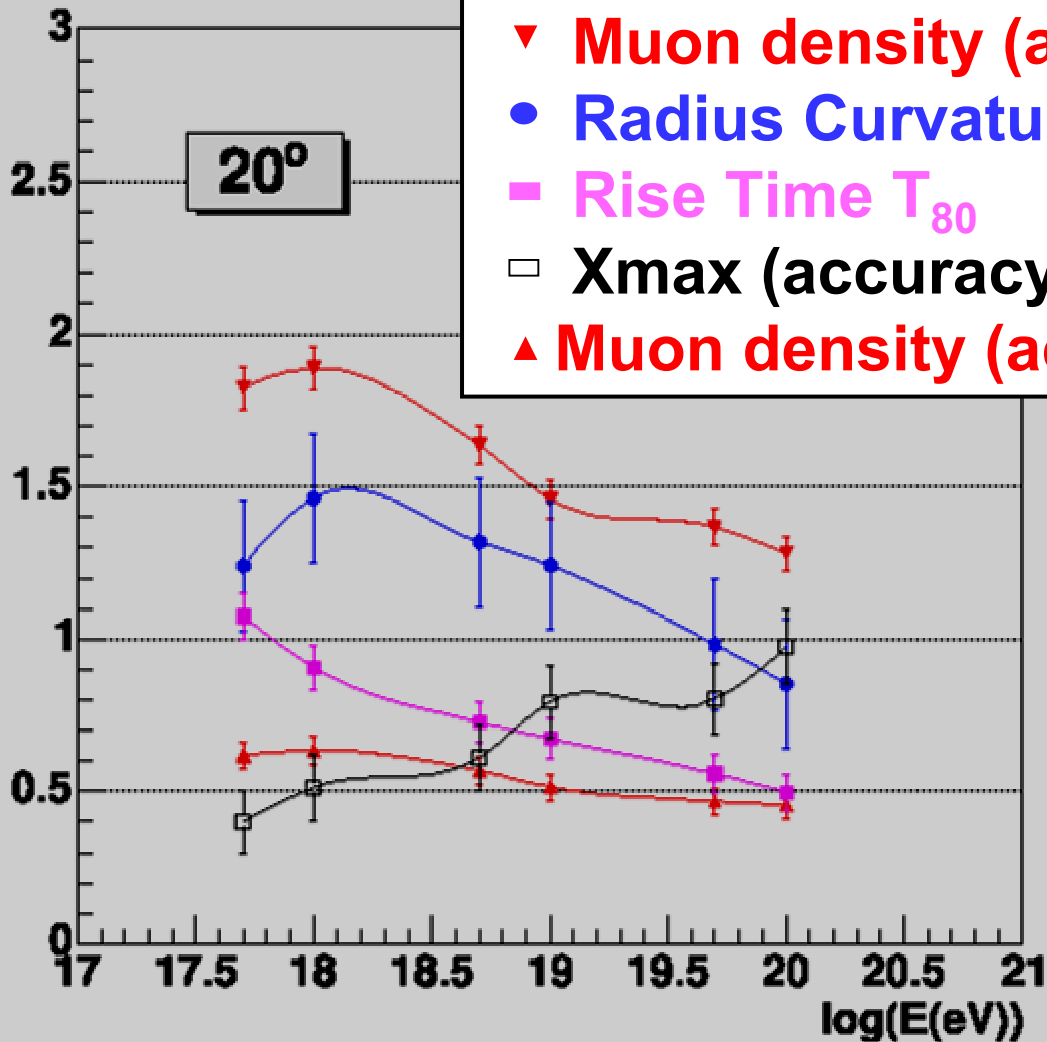
M=1

M=1.5



Facteur de mérite : Comparaison (1)

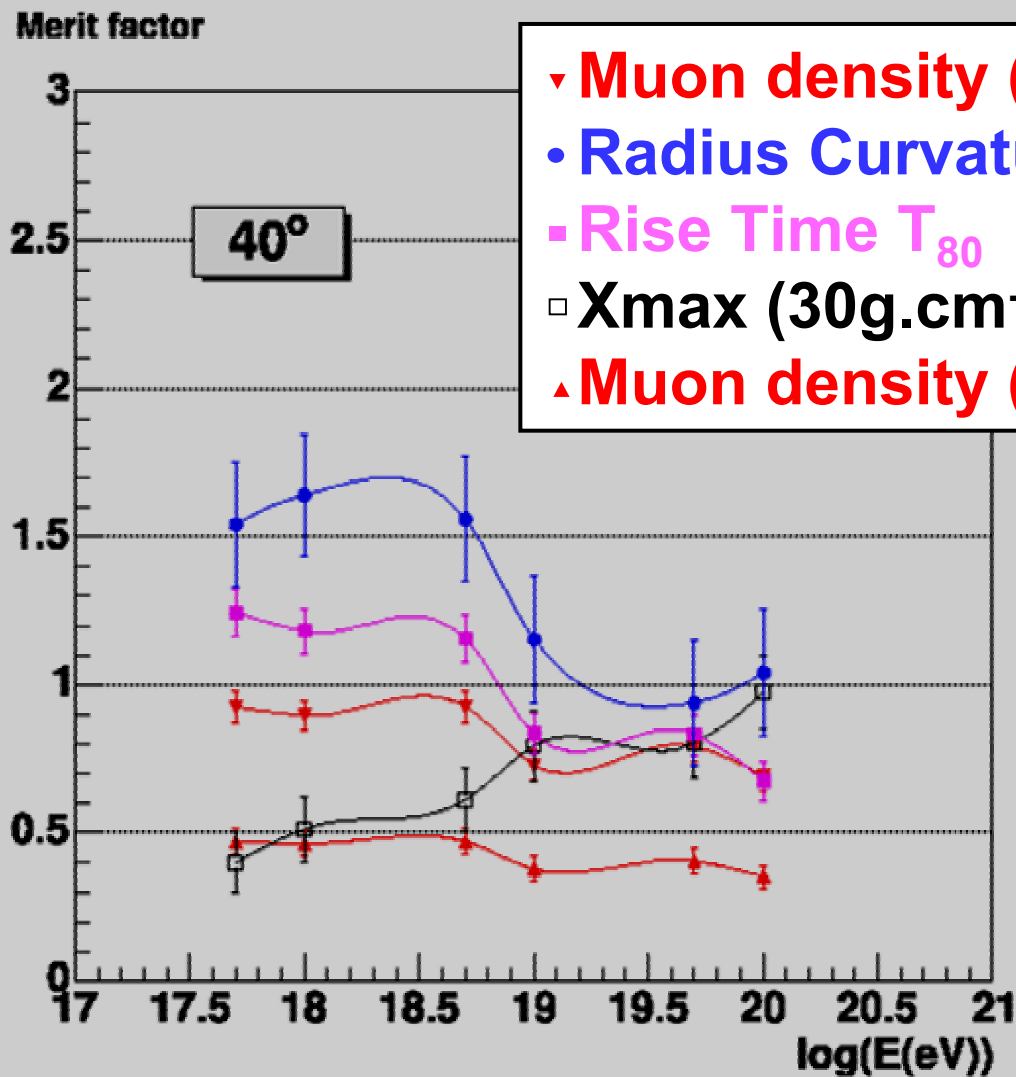
Merit factor



- ▼ Muon density (accuracy = 10%)
- Radius Curvature T_{80}
- Rise Time T_{80}
- Xmax (accuracy = 30g.cm^{-2})
- ▲ Muon density (accuracy = 20%)

Mesure de la densité
de muon est le
meilleur critère
de discrimination
à 20°

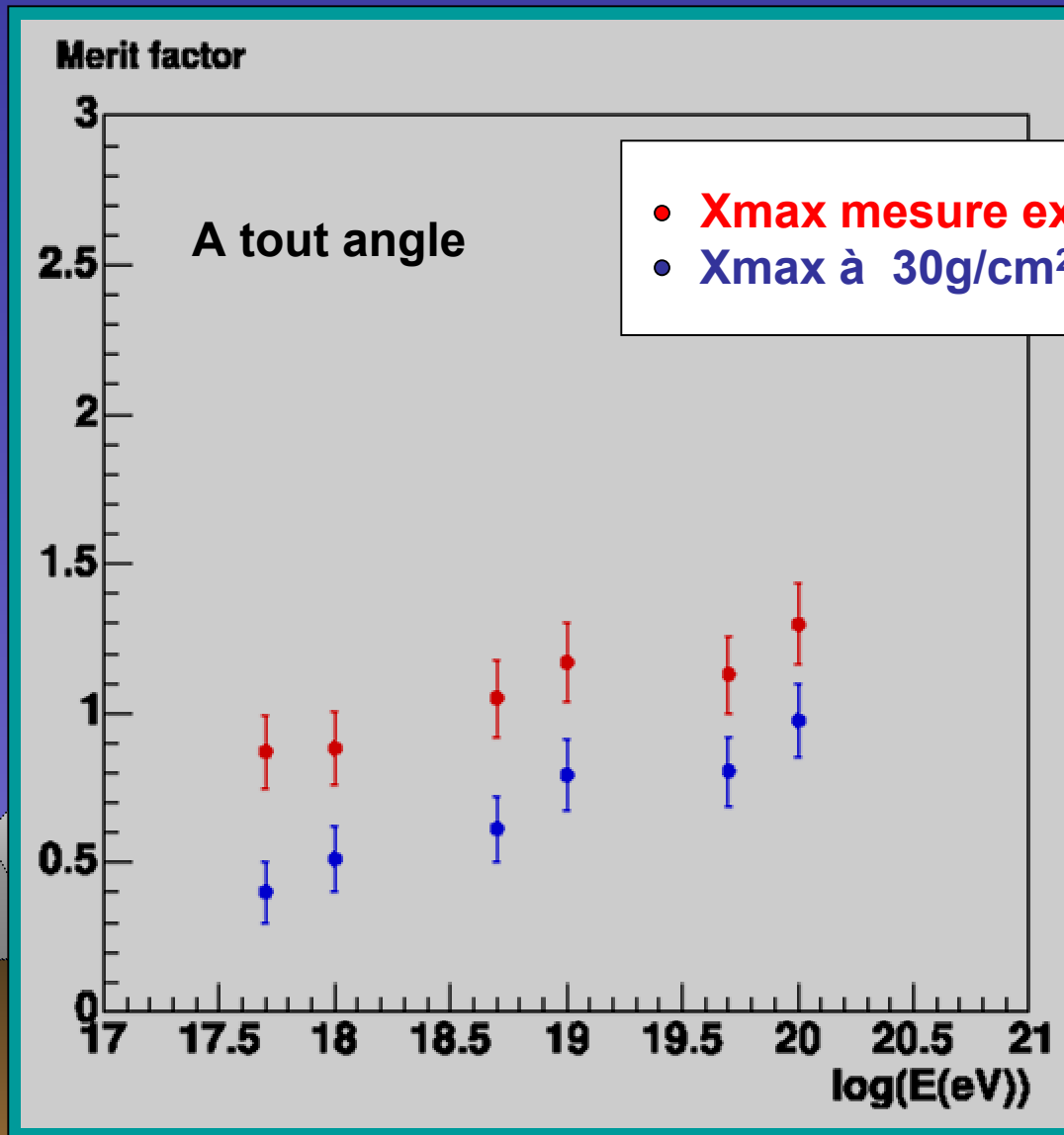
Facteur de mérite : Comparaison (2)



- ▾ Muon density (10%)
- Radius Curvature T_{80}
- Rise Time T_{80}
- Xmax (30g.cm⁻²)
- ▲ Muon density (20%)

Rayon de courbure
est le meilleur
discriminant
à 40°

Facteur de mérite du Xmax



SD : Reconstruction en temps

Front de particules

A partir de ces temps :
reconstruction de la
direction d'arrivée et
de la forme du front
de la gerbe.

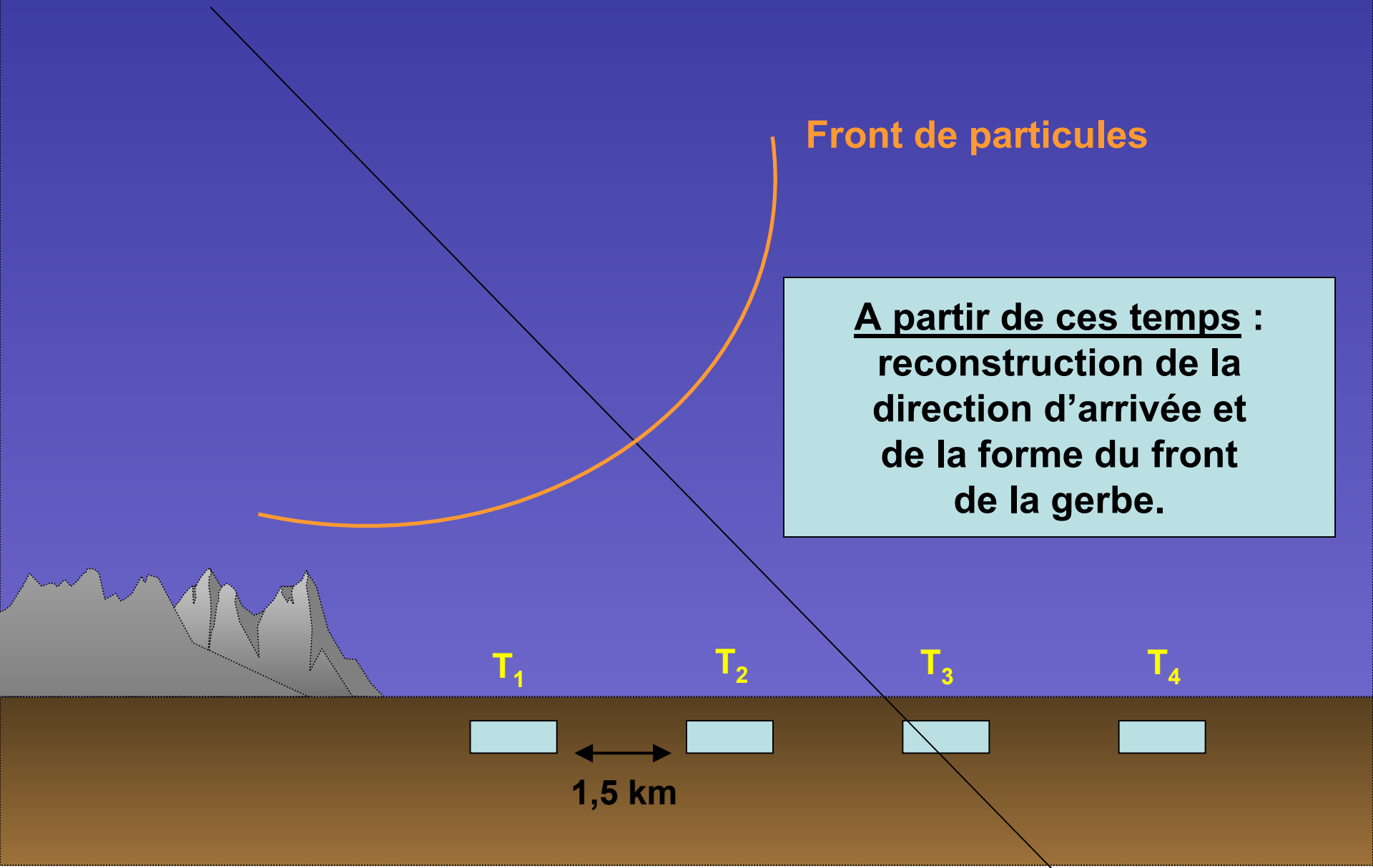
T_1

T_2

T_3

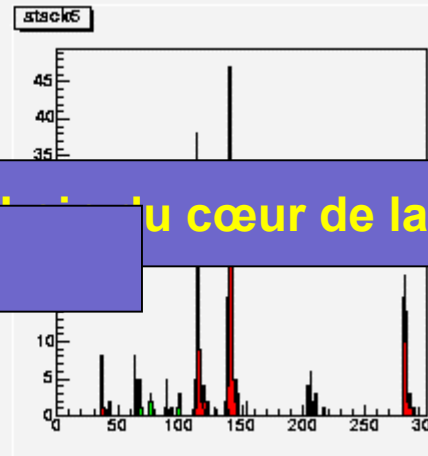
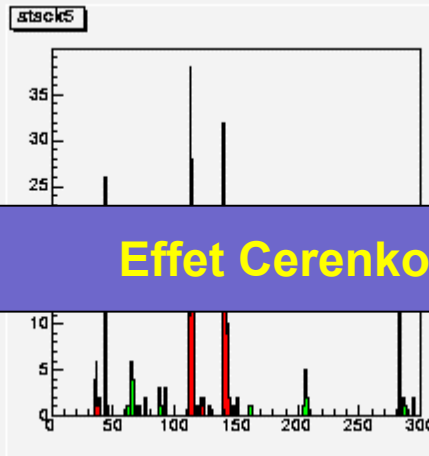
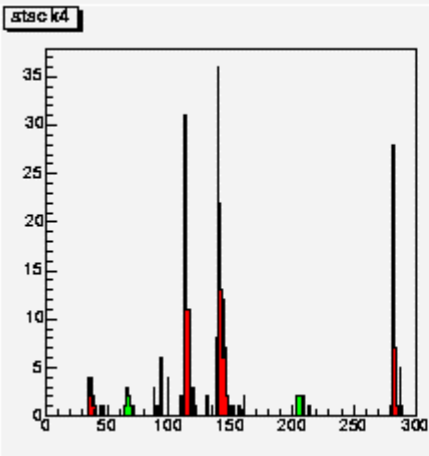
T_4

1,5 km



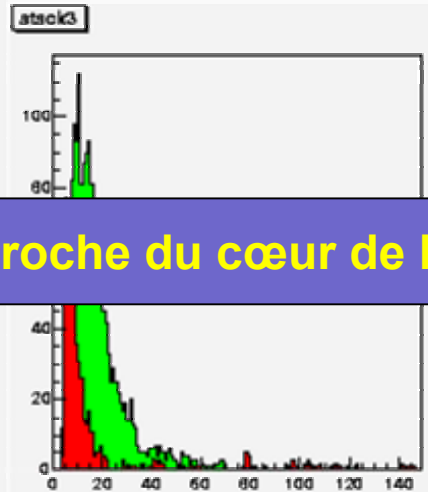
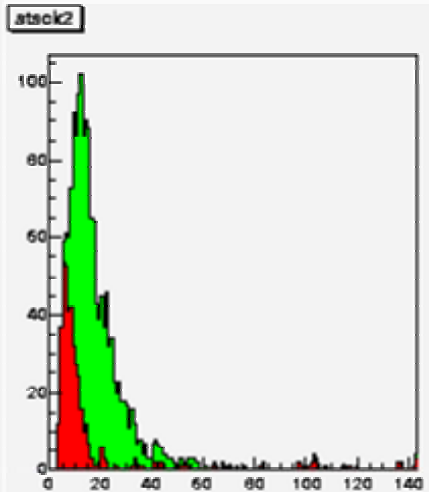
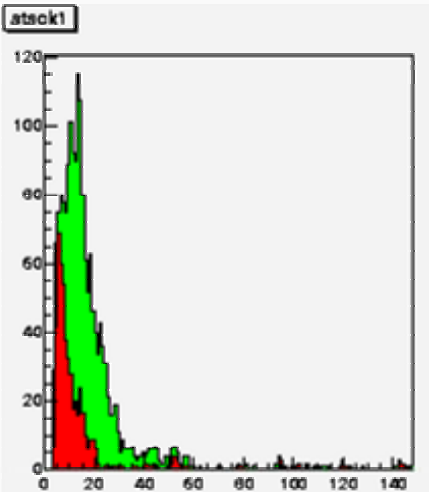
Signal dans les cuves

Exemple : signal enregistré par les 3 PM :



Effet Cerenkov

Proche du cœur de la gerbe



Proche du cœur de la gerbe

■ Signal déposé par les muons