

# Astroparticules

J. Bolmont  
pour les groupes HESS/CTA & Auger



Anniversaire - 06/05/11 - LPNHE - Paris

2 expériences

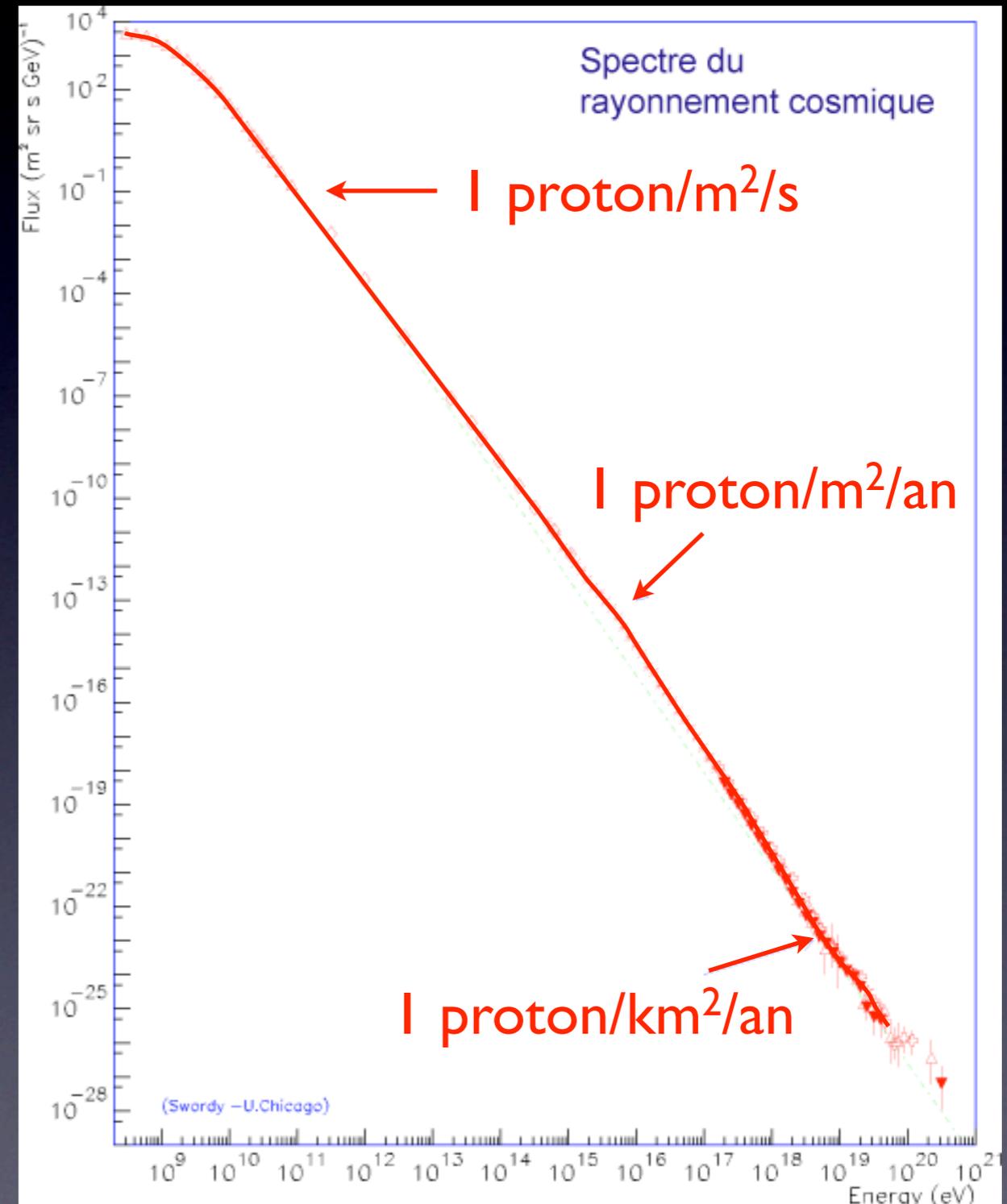


l objet d'étude

Le rayonnement cosmique

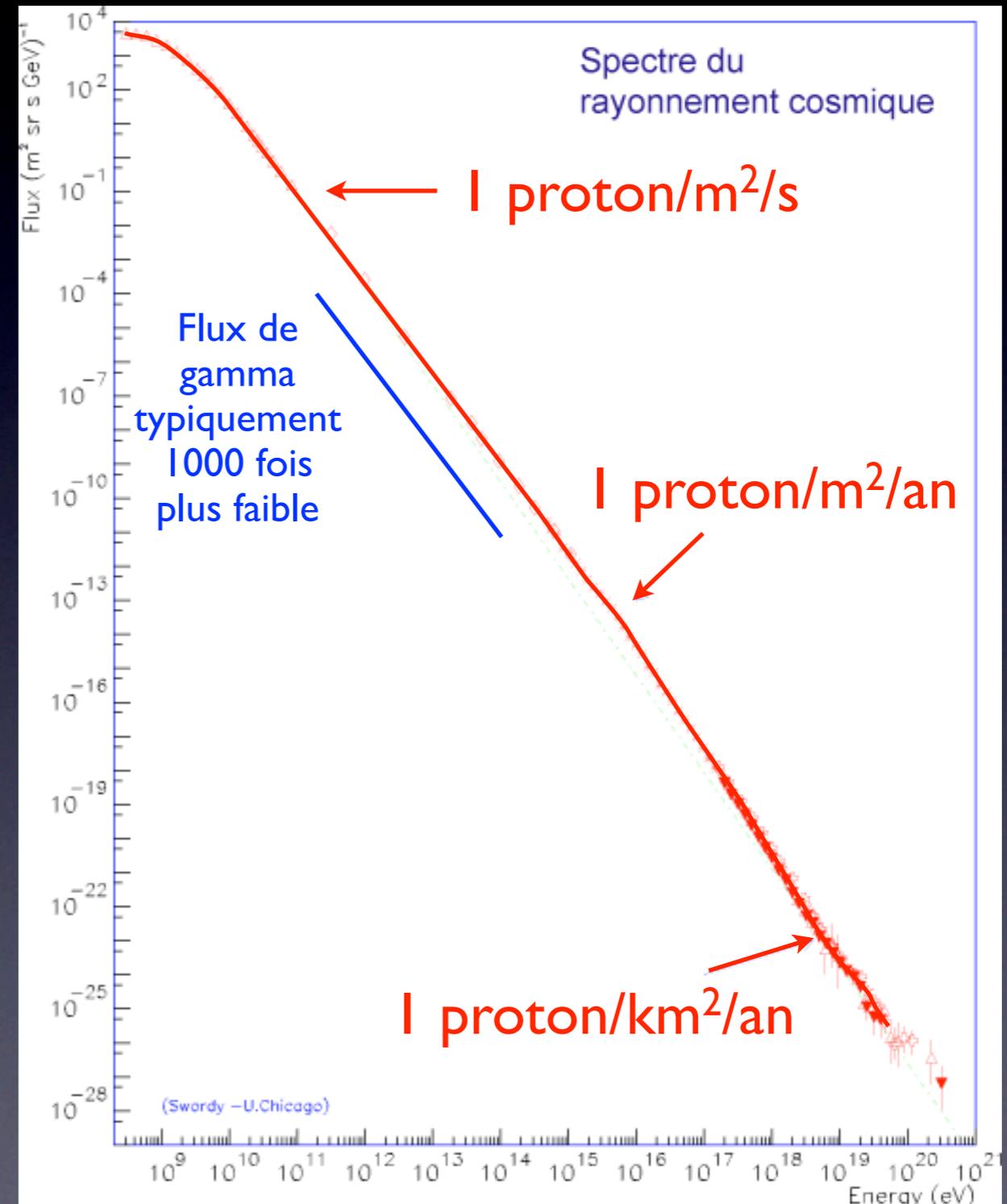
# Le rayonnement cosmique

- 90% de protons
- Spectre en loi de puissance
  - Flux important à basse énergie
  - Flux faible à haute énergie
- ➔ Grande surface de collection  
30 fois la taille de Paris pour Auger
- Flux de gamma  $\sim 1000$  fois plus faible que le flux de protons
- Auger observe les rayons cosmiques chargés au dessus de  $10^{17}$  eV
- HESS observe le rayonnement gamma entre 100 GeV et  $\sim 10$  TeV



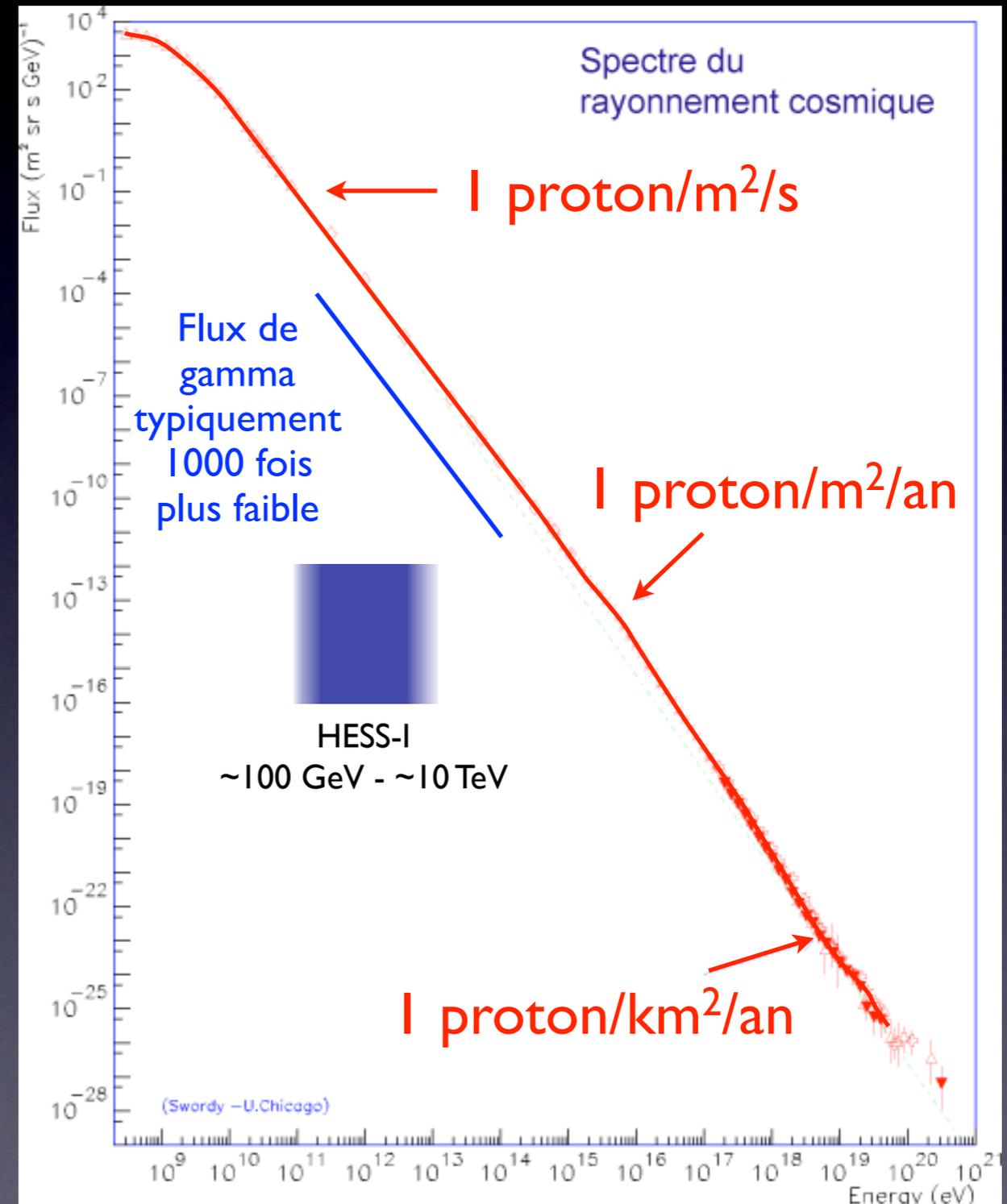
# Le rayonnement cosmique

- 90% de protons
- Spectre en loi de puissance
  - Flux important à basse énergie
  - Flux faible à haute énergie
- ➔ Grande surface de collection  
30 fois la taille de Paris pour Auger
- Flux de gamma  $\sim 1000$  fois plus faible que le flux de protons
- Auger observe les rayons cosmiques chargés au dessus de  $10^{17}$  eV
- HESS observe le rayonnement gamma entre 100 GeV et  $\sim 10$  TeV



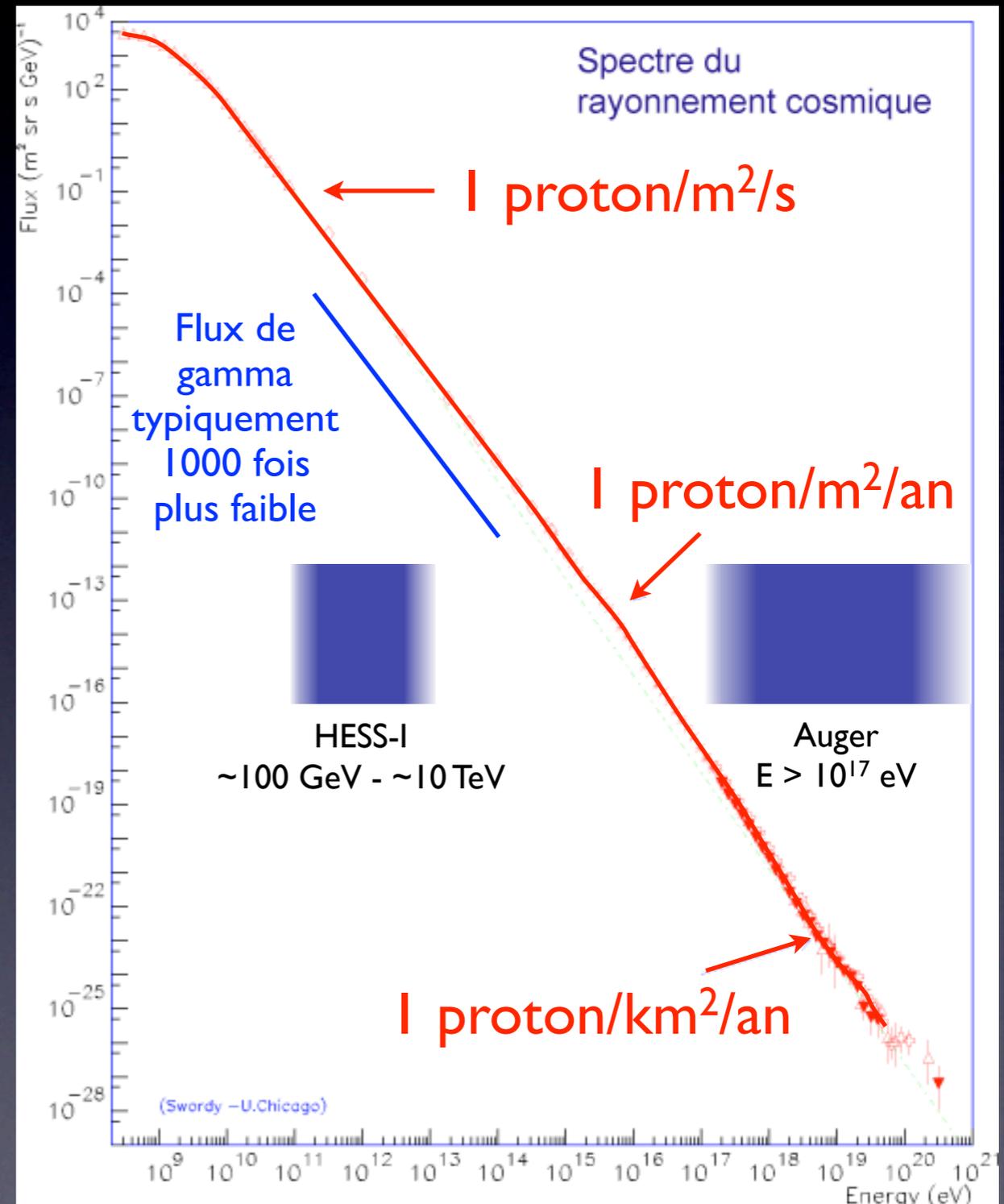
# Le rayonnement cosmique

- 90% de protons
- Spectre en loi de puissance
  - Flux important à basse énergie
  - Flux faible à haute énergie
- ➔ Grande surface de collection  
30 fois la taille de Paris pour Auger
- Flux de gamma  $\sim 1000$  fois plus faible que le flux de protons
- Auger observe les rayons cosmiques chargés au dessus de  $10^{17}$  eV
- HESS observe le rayonnement gamma entre 100 GeV et  $\sim 10$  TeV



# Le rayonnement cosmique

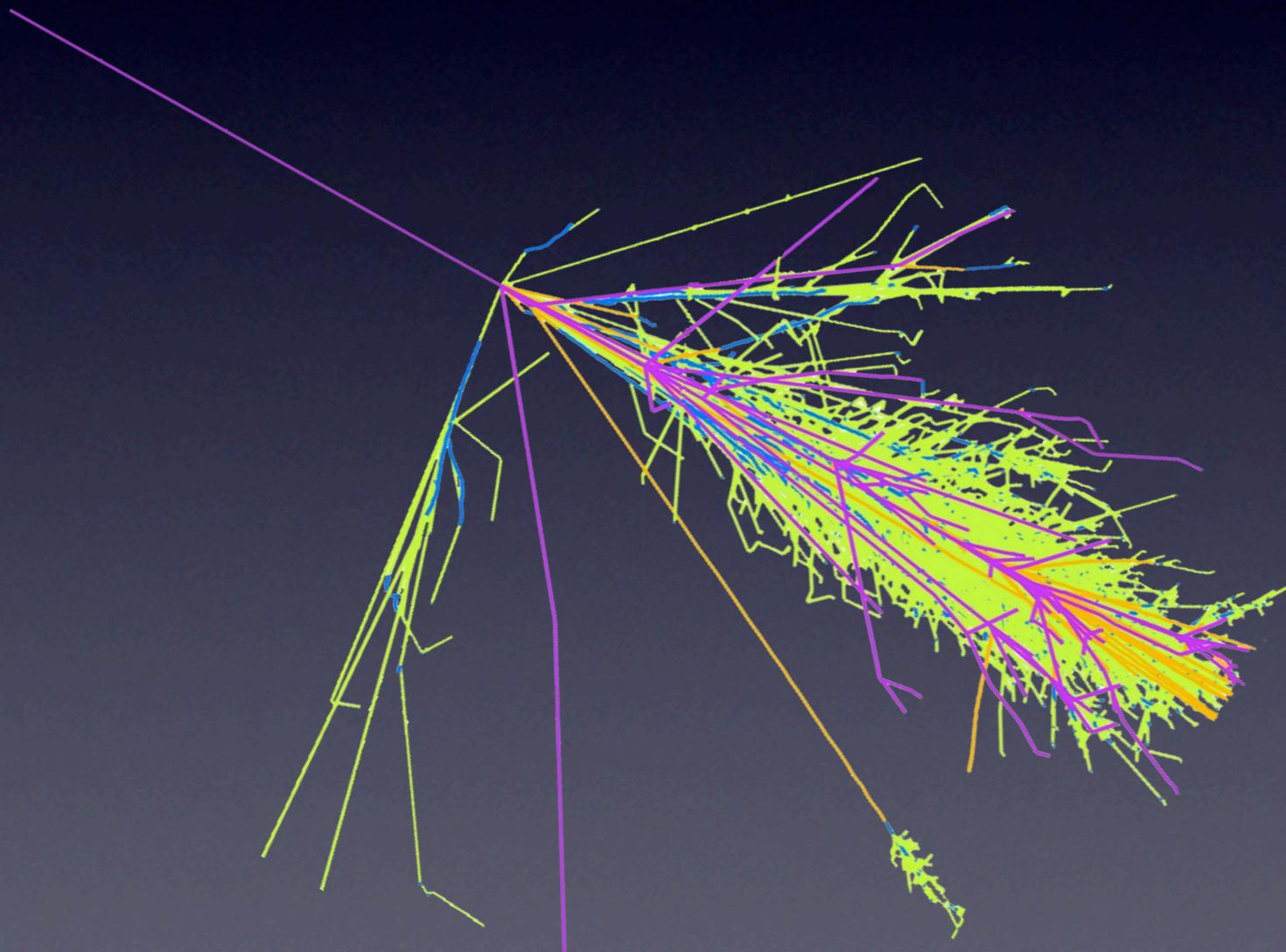
- 90% de protons
- Spectre en loi de puissance
  - Flux important à basse énergie
  - Flux faible à haute énergie
- ➔ Grande surface de collection  
30 fois la taille de Paris pour Auger
- Flux de gamma  $\sim 1000$  fois plus faible que le flux de protons
- Auger observe les rayons cosmiques chargés au dessus de  $10^{17}$  eV
- HESS observe le rayonnement gamma entre 100 GeV et  $\sim 10$  TeV



# Chronologie Auger

Observatoire Pierre Auger

Projet P5000

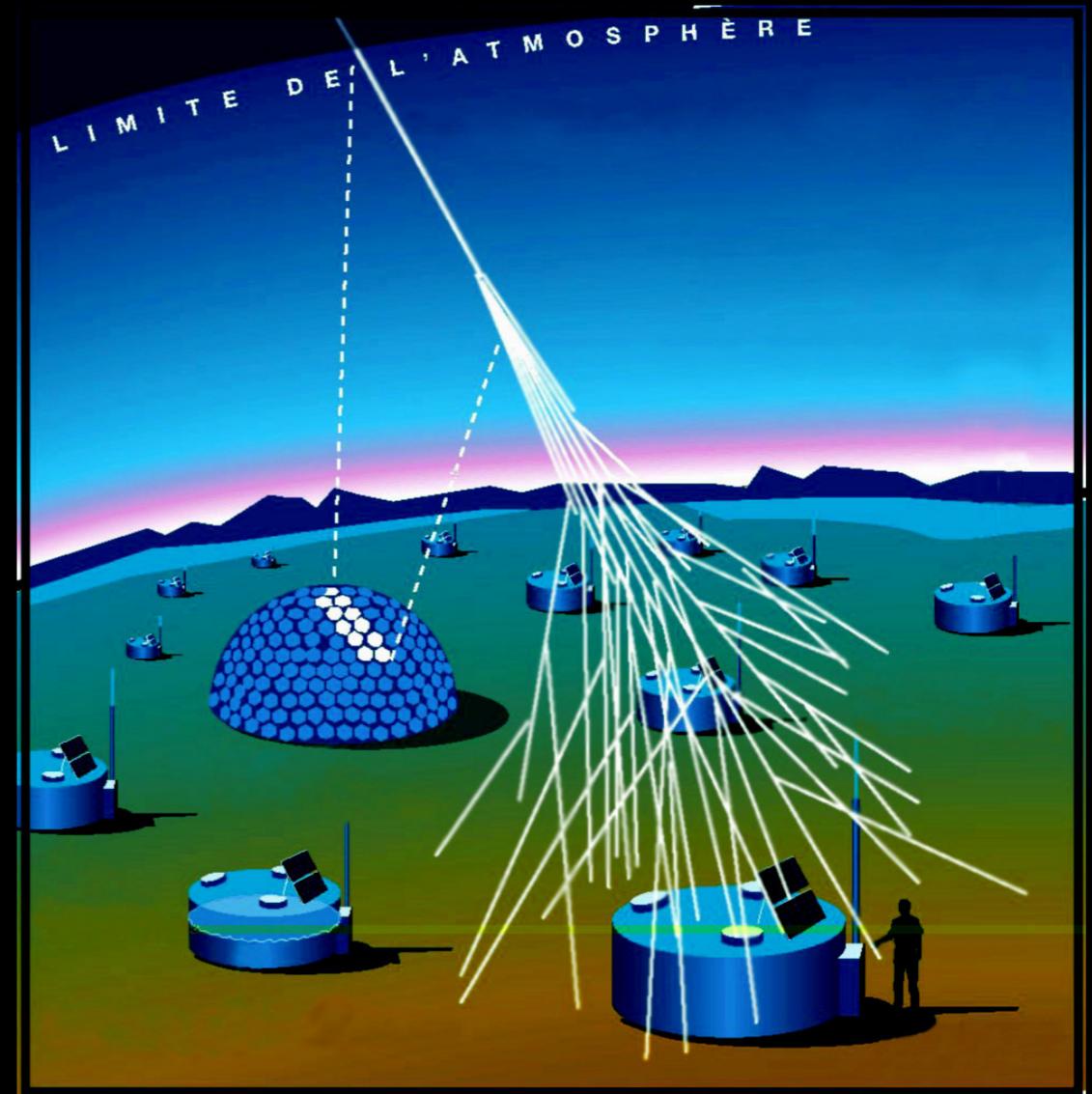
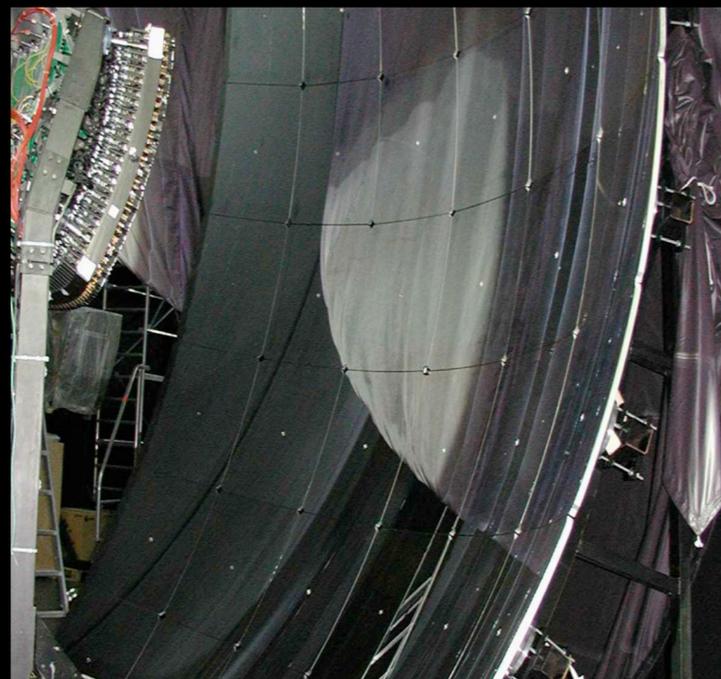


...complété par EASIER

# Principes de détection

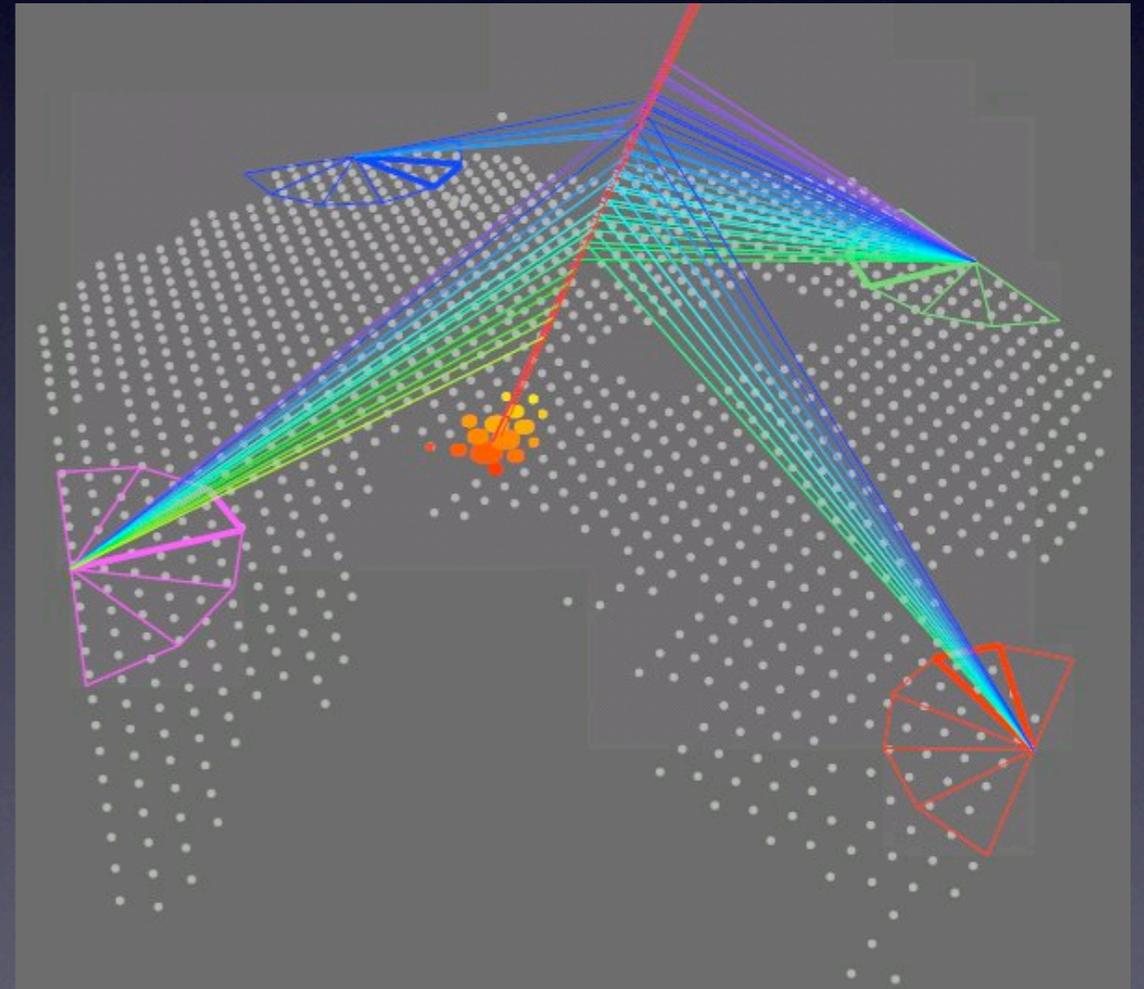
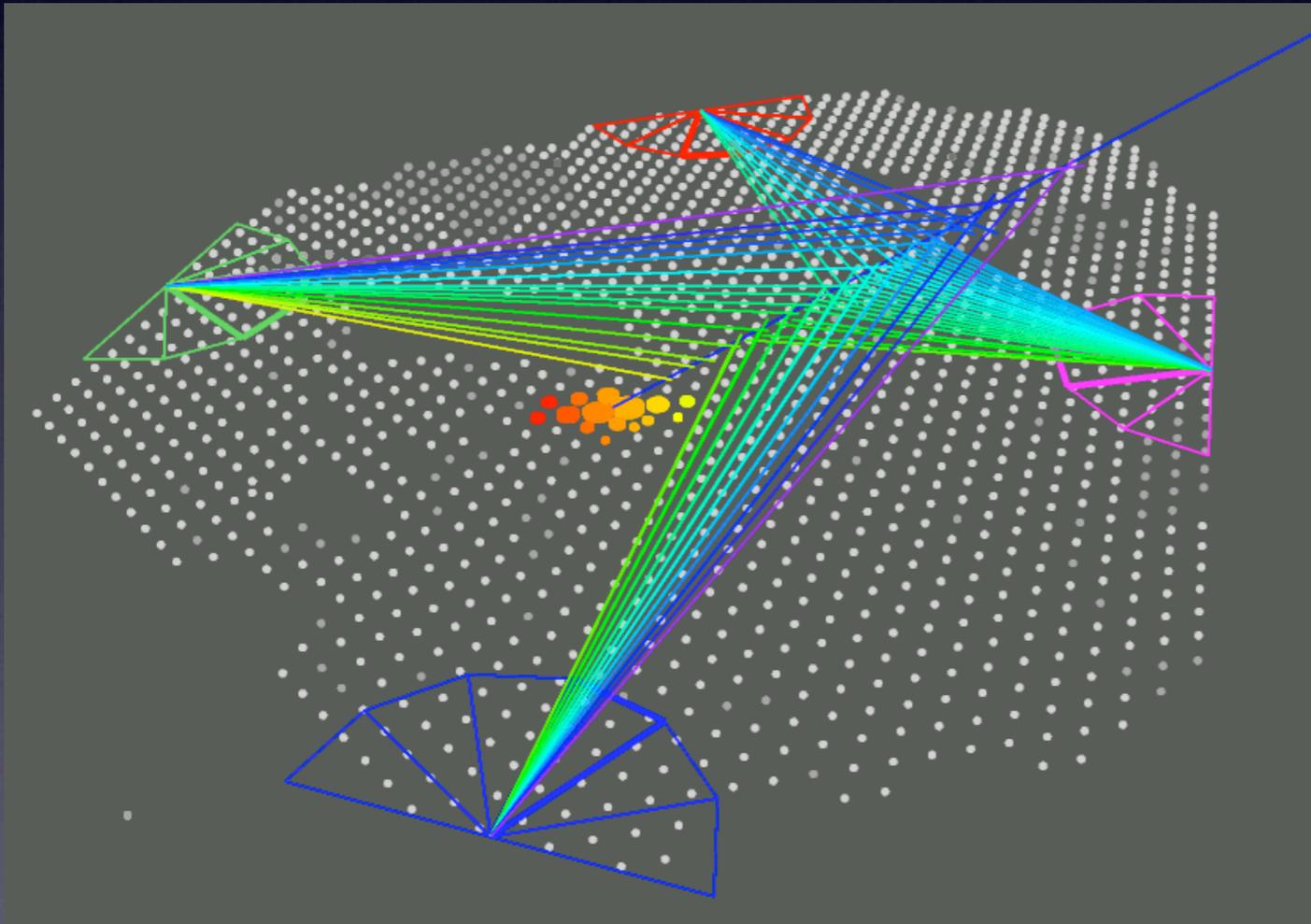
## Auger

- Les particules de la gerbe arrivent au sol
- Utilisation de deux types de détecteurs
  - Cuves
    - Production de lumière Cherenkov dans une cuve d'eau
    - Détection de la lumière par des photomultiplicateurs
  - Détecteurs de fluorescence (UV)



# Auger

- 1660 réservoirs de 12000 litres
- 26 télescopes à fluorescence sur 4 sites
- Energies au delà de  $10^{17}$  eV
- Activités LPNHE: acquisition centrale, analyse, nouvelles méthodes d'identification, R&D détecteurs





Auger - Loma Amarilla Fluorescence Telescope

Auger - Colihueco Fluorescence Telescope

Auger - Central Laser Facility 2

Auger - Central Laser Facility

Auger - Los Morados Fluorescence Telescope

Pierre Auger Observatory - Malargue Campus

Auger - Los Leones Fluorescence Telescope

Image © 2006 TerraMetrics

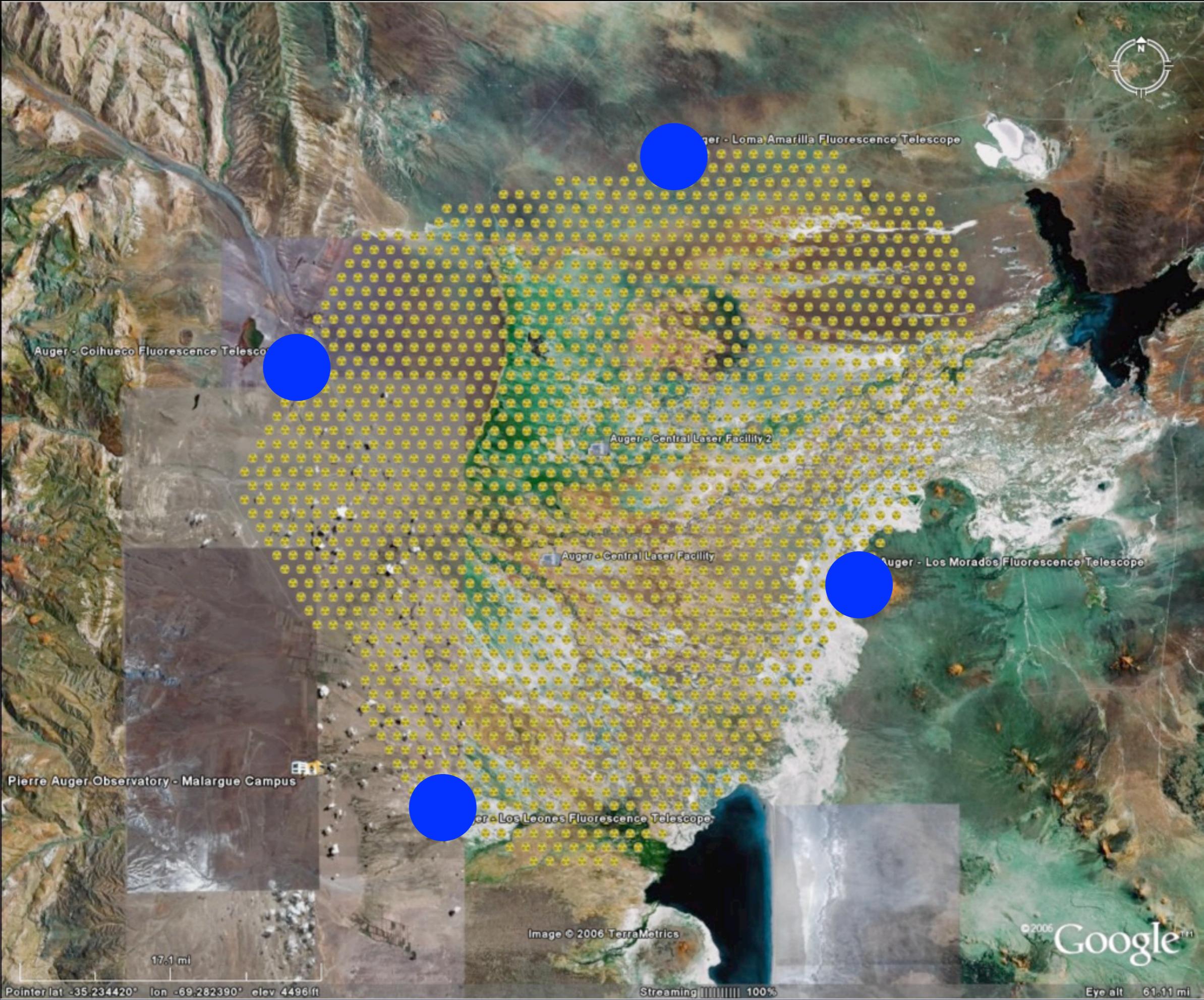
© 2006 Google™

17.1 mi

Pointer lat -35.234420° lon -69.282390° elev 4496 ft

Streaming 100%

Eye alt 61.11 mi



# Chronologie HESS

THEMISTOCLE



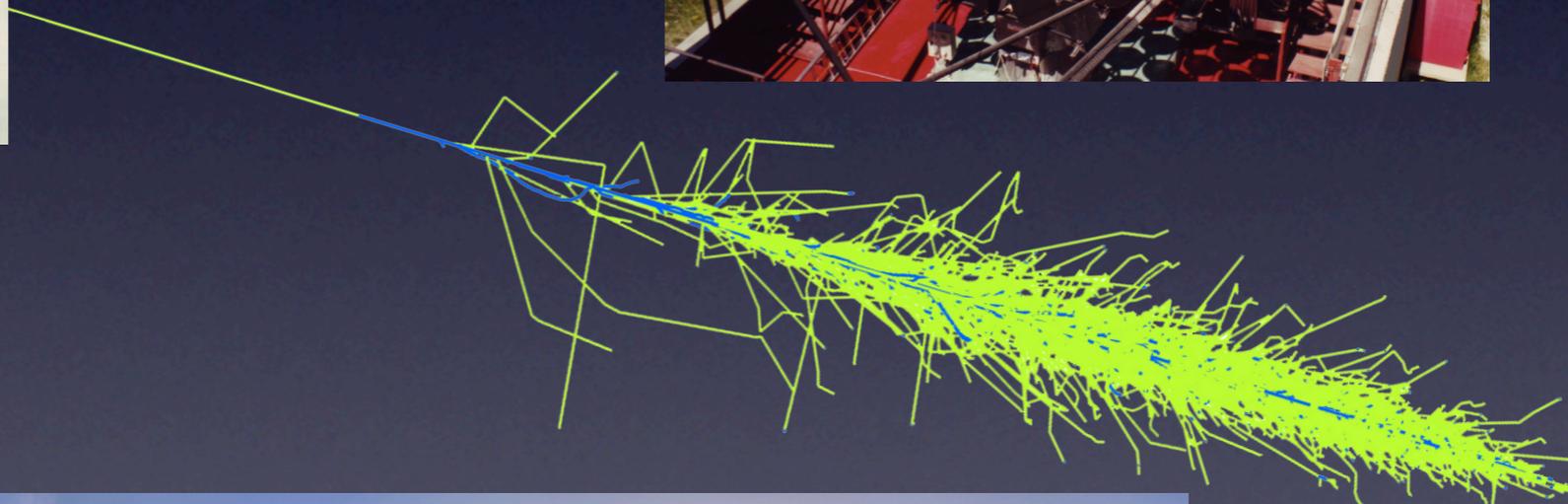
CAT



HESS...



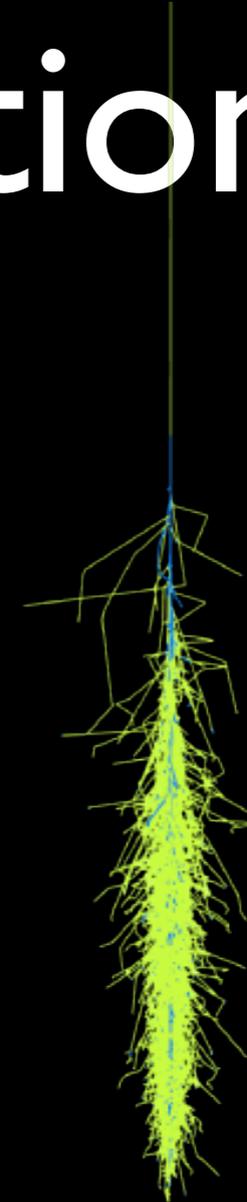
... et CTA



# Principes de détection

## HESS

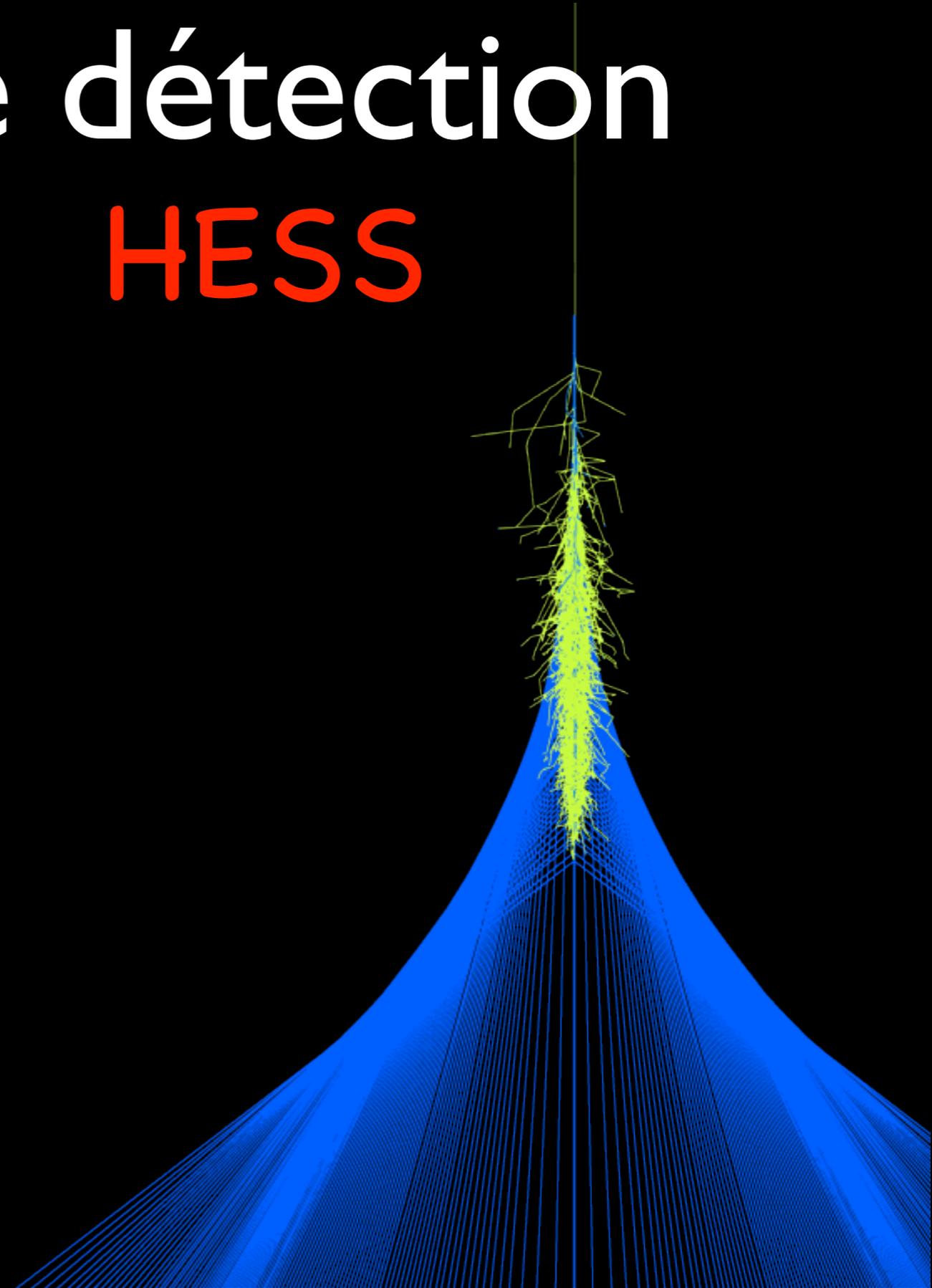
- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme → Type de particule
  - Intensité → Energie
  - Orientation → Direction
- Stéréoscopie → plus de précision



# Principes de détection

## HESS

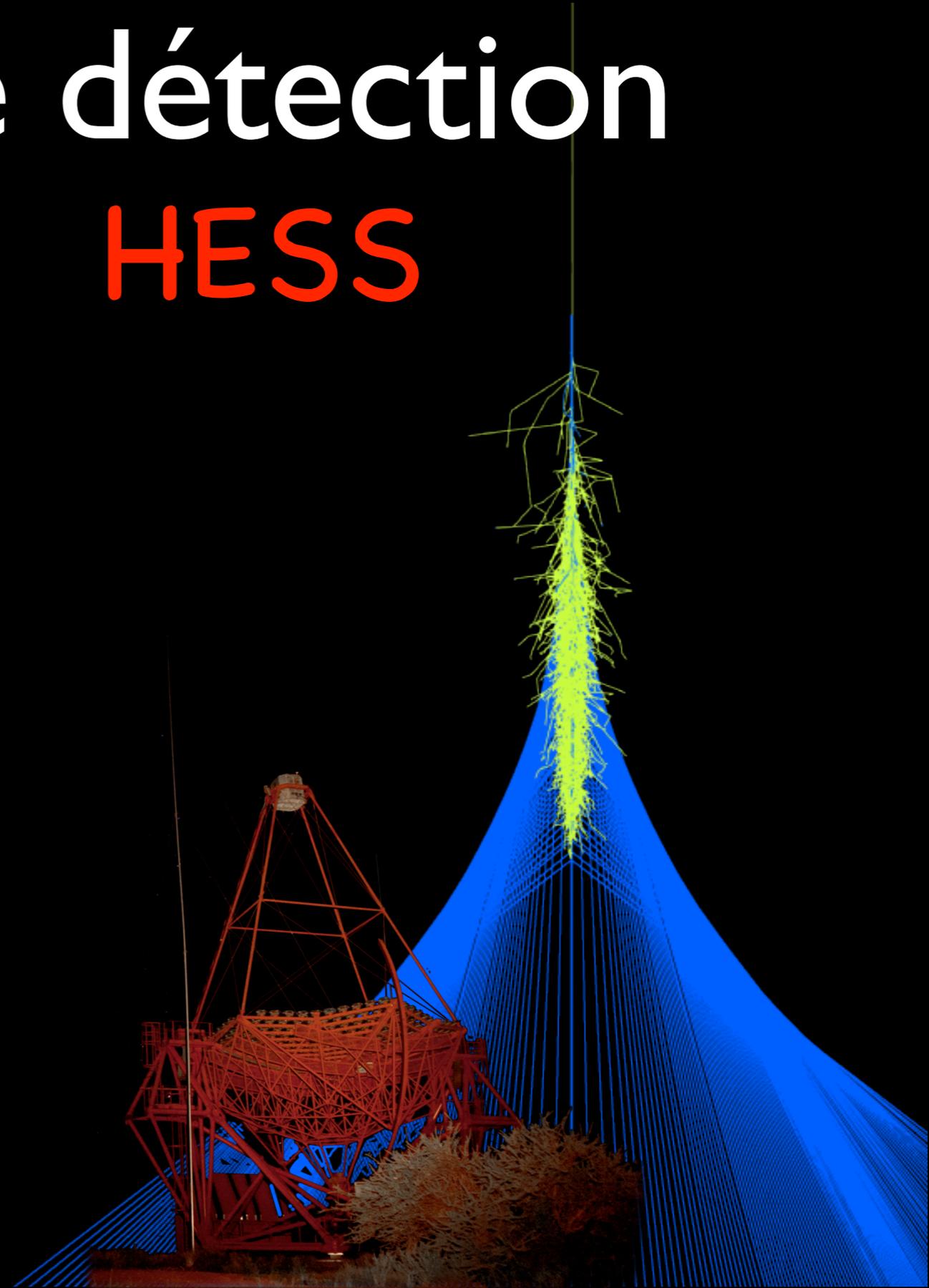
- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme → Type de particule
  - Intensité → Energie
  - Orientation → Direction
- Stéréoscopie → plus de précision



# Principes de détection

## HESS

- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme → Type de particule
  - Intensité → Energie
  - Orientation → Direction
- Stéréoscopie → plus de précision

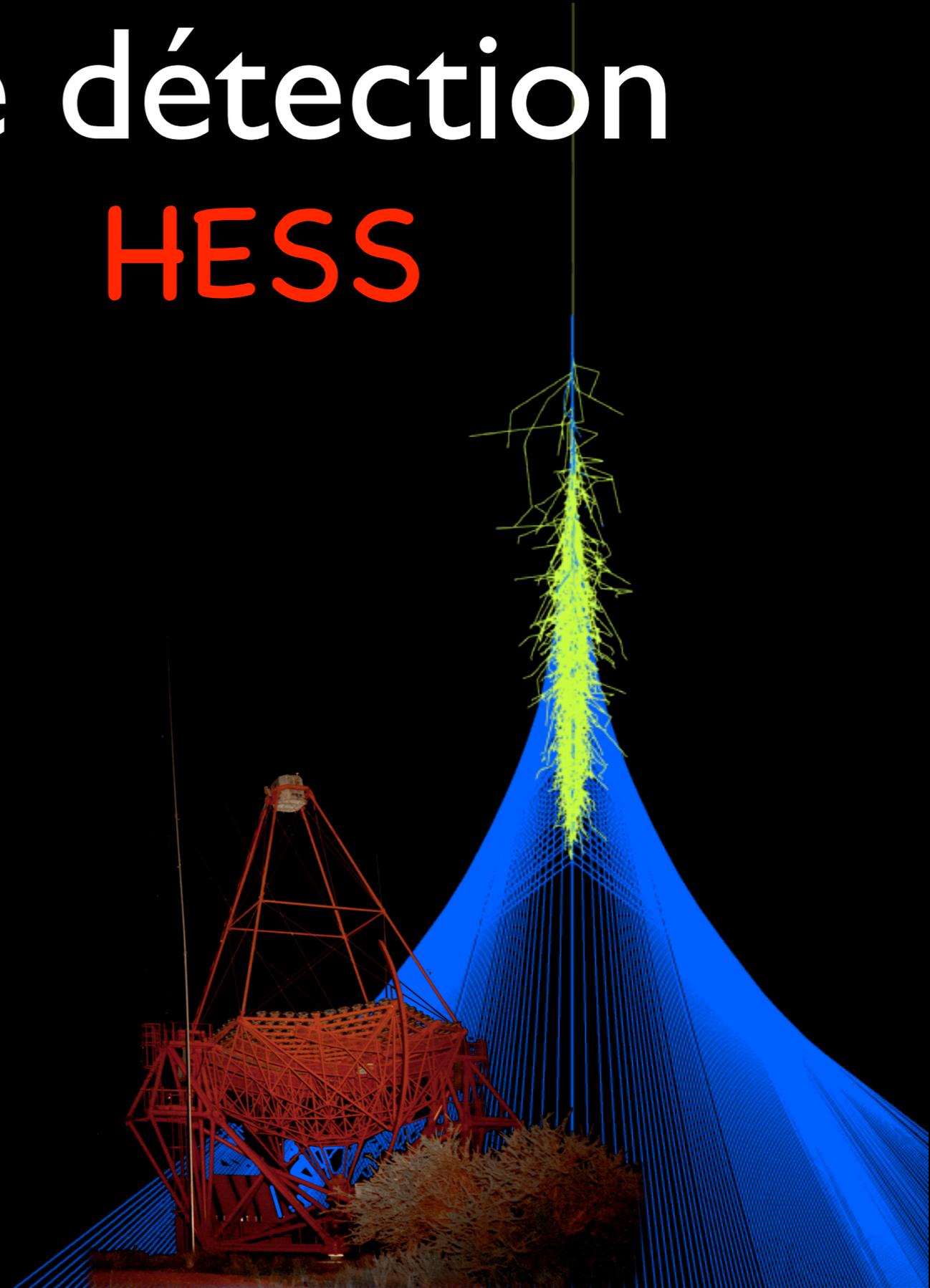
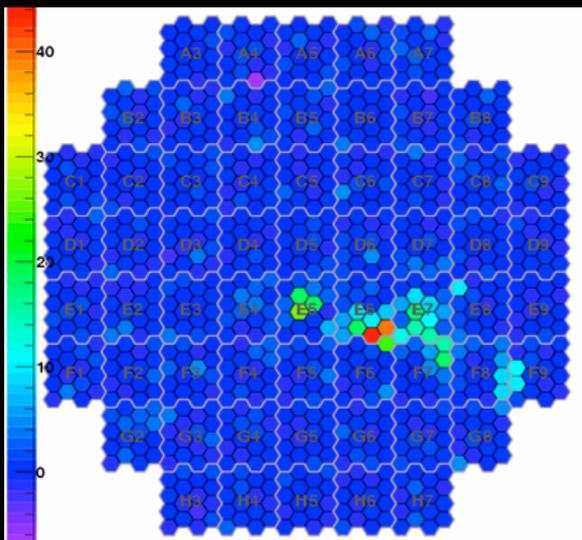


# Principes de détection

## HESS

- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme  $\rightarrow$  Type de particule
  - Intensité  $\rightarrow$  Energie
  - Orientation  $\rightarrow$  Direction

Hadron

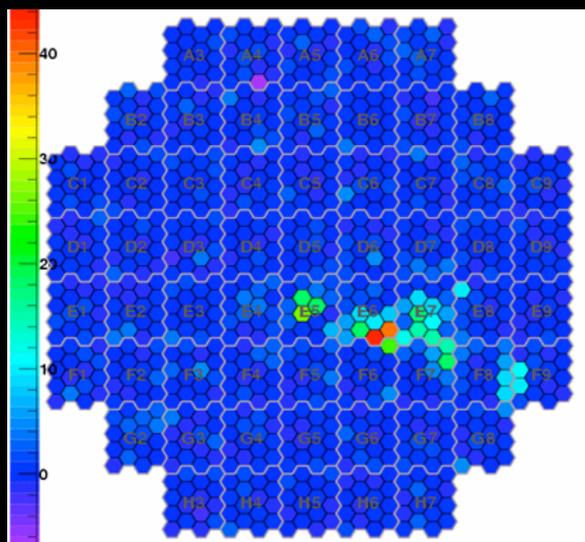


# Principes de détection

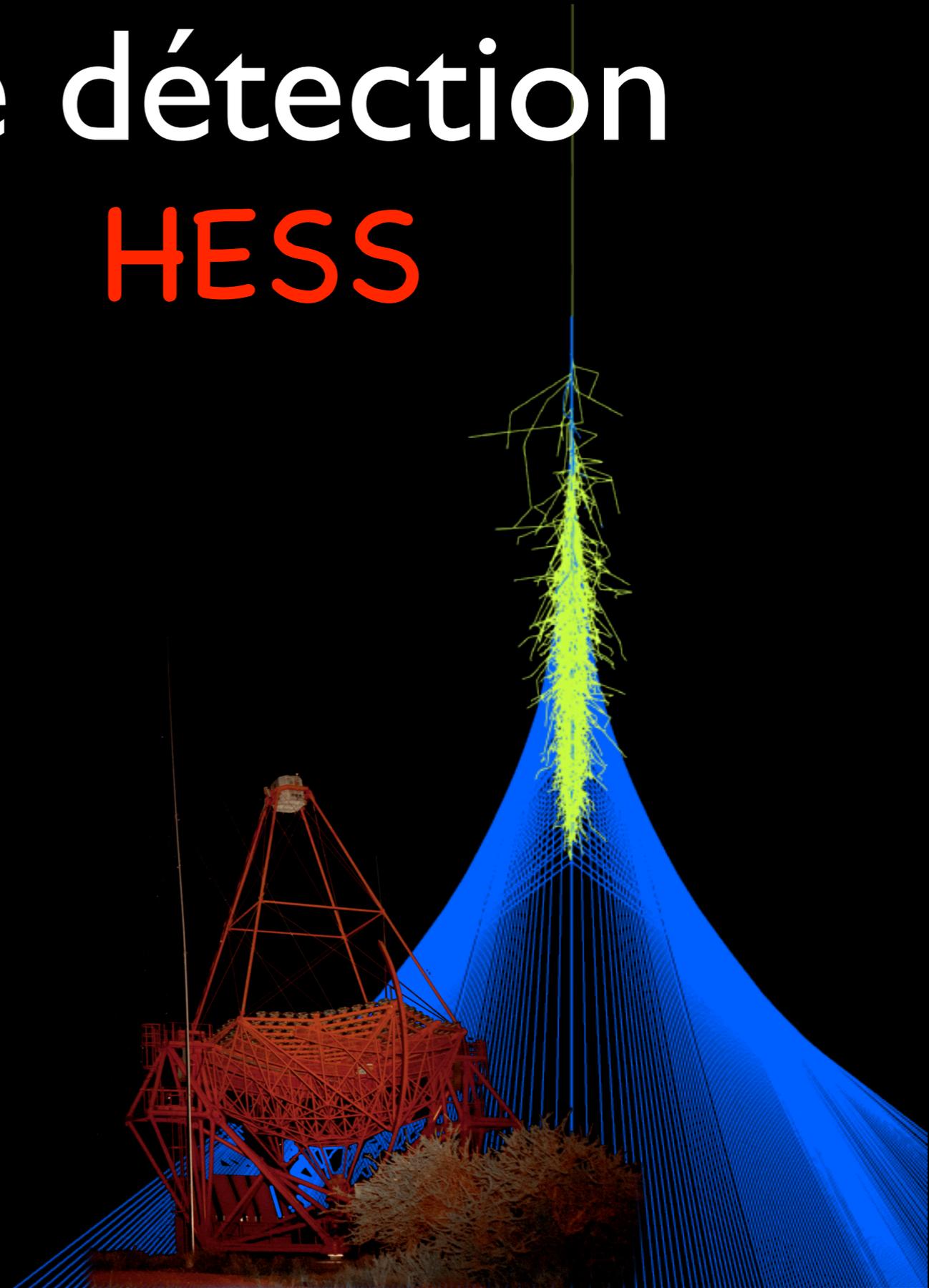
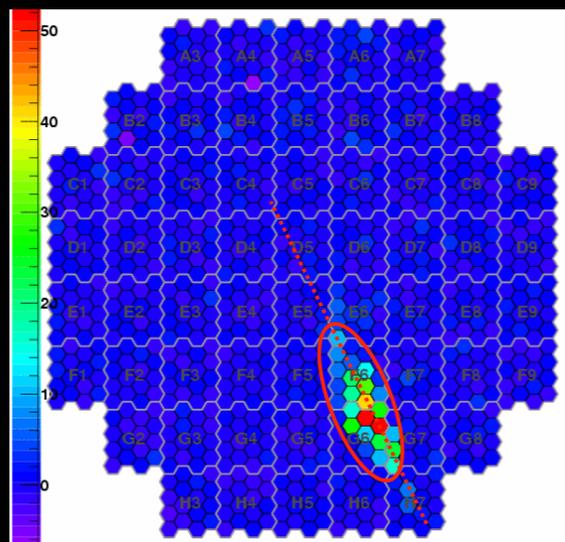
## HESS

- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme → Type de particule
  - Intensité → Energie
  - Orientation → Direction

Hadron



Gamma

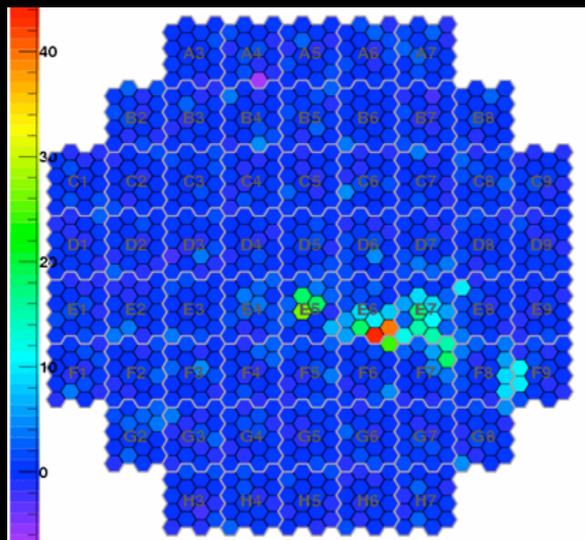


# Principes de détection

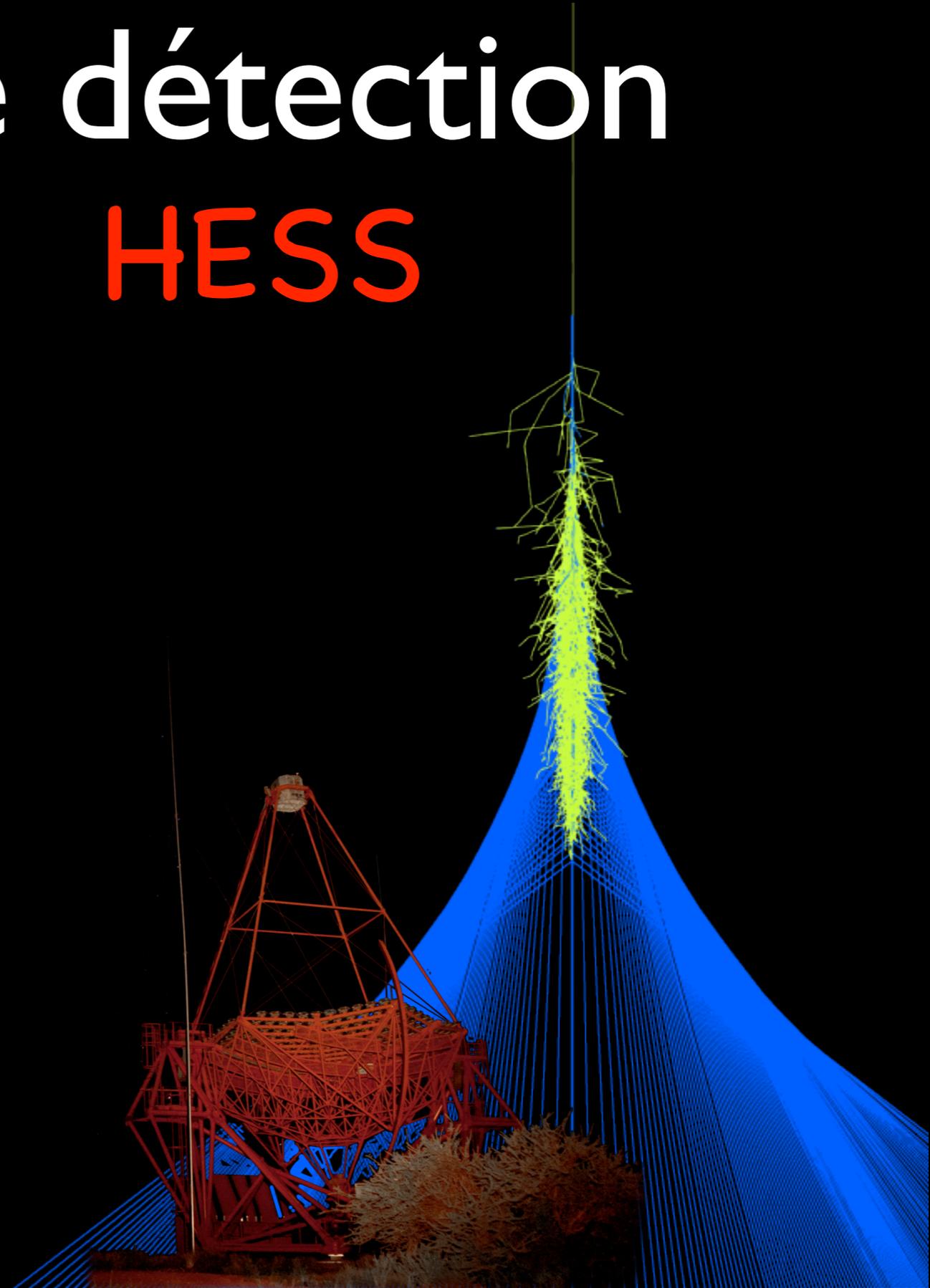
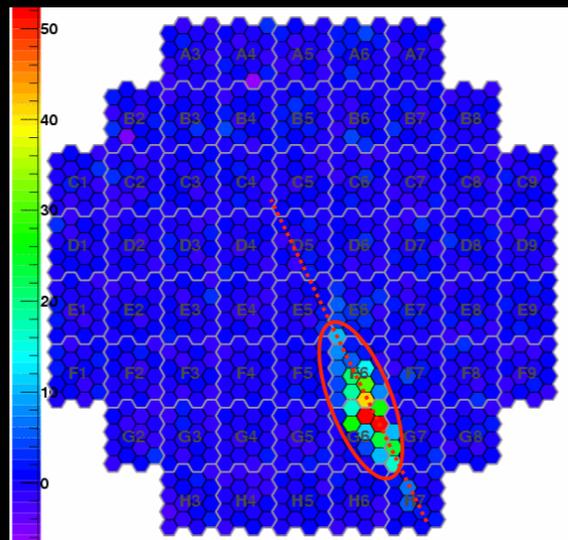
## HESS

- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme  $\rightarrow$  Type de particule
  - Intensité  $\rightarrow$  Energie
  - Orientation  $\rightarrow$  Direction
- Stéréoscopie  $\rightarrow$  plus de précision

Hadron



Gamma

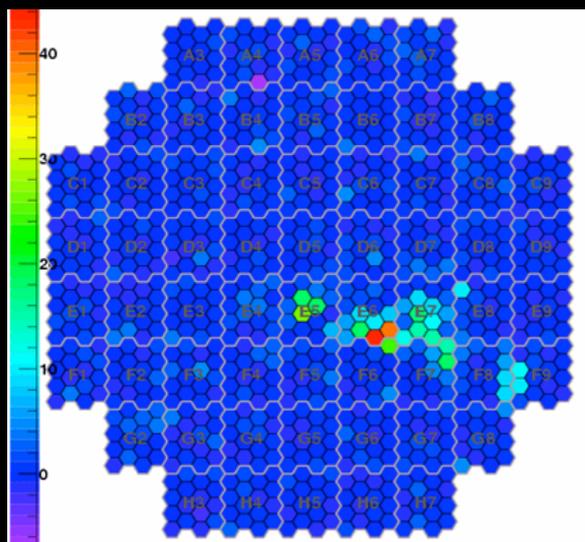


# Principes de détection

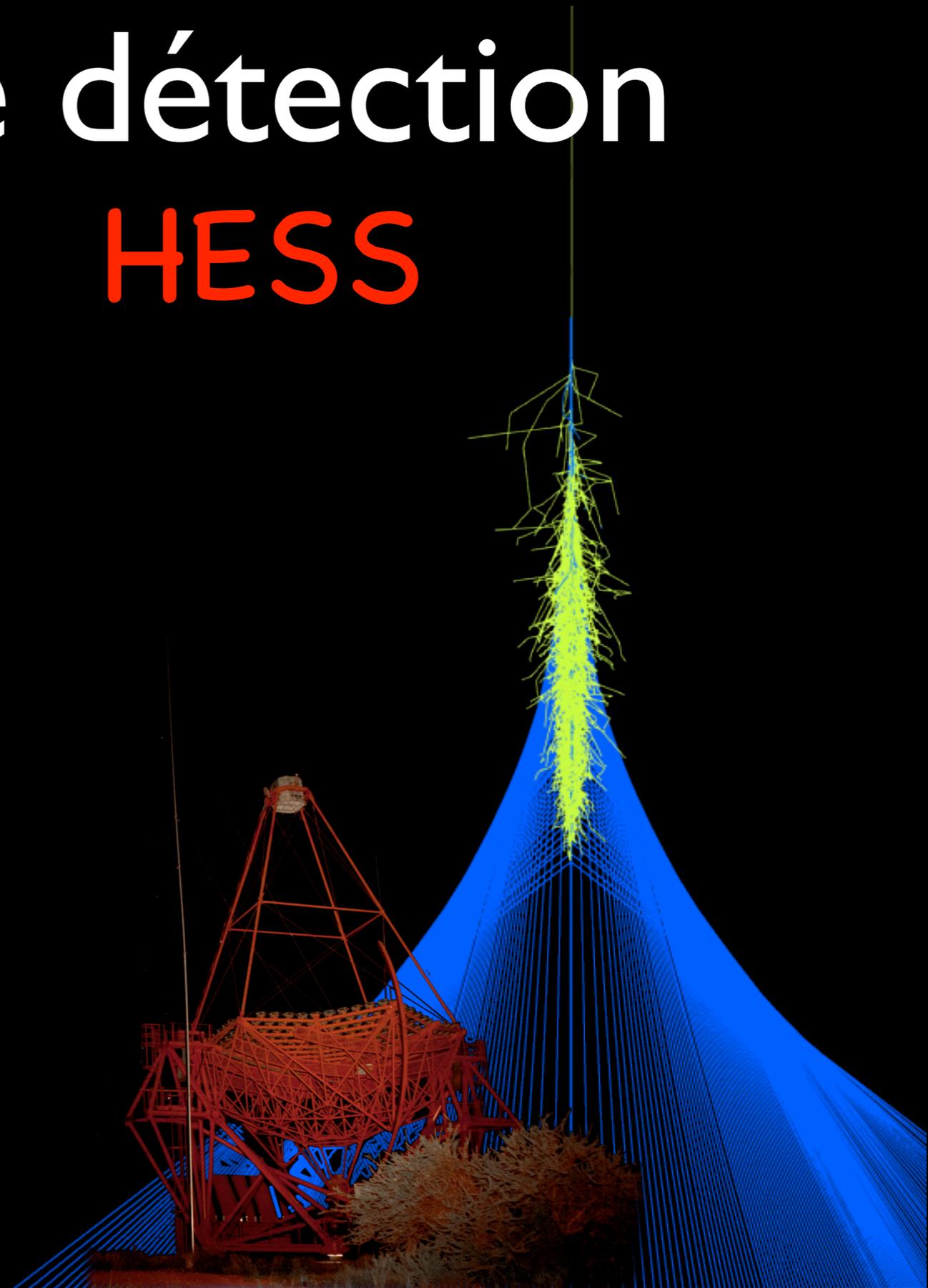
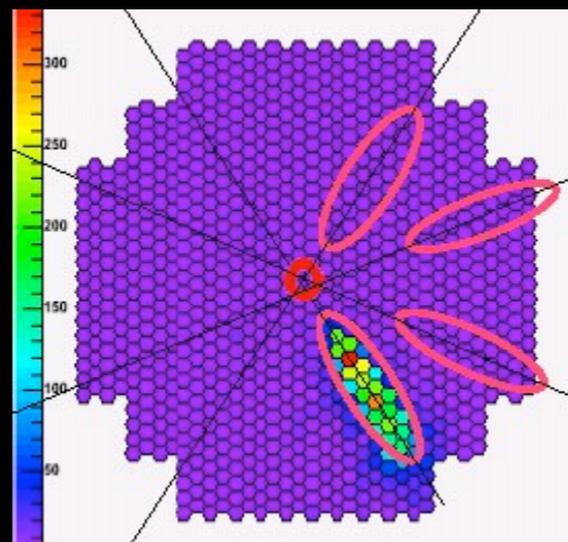
## HESS

- Flash de lumière Cherenkov
- Image de la gerbe sur une caméra rapide dans le plan focal
- Analyse de l'image:
  - Forme → Type de particule
  - Intensité → Energie
  - Orientation → Direction
- Stéréoscopie → plus de précision

Hadron

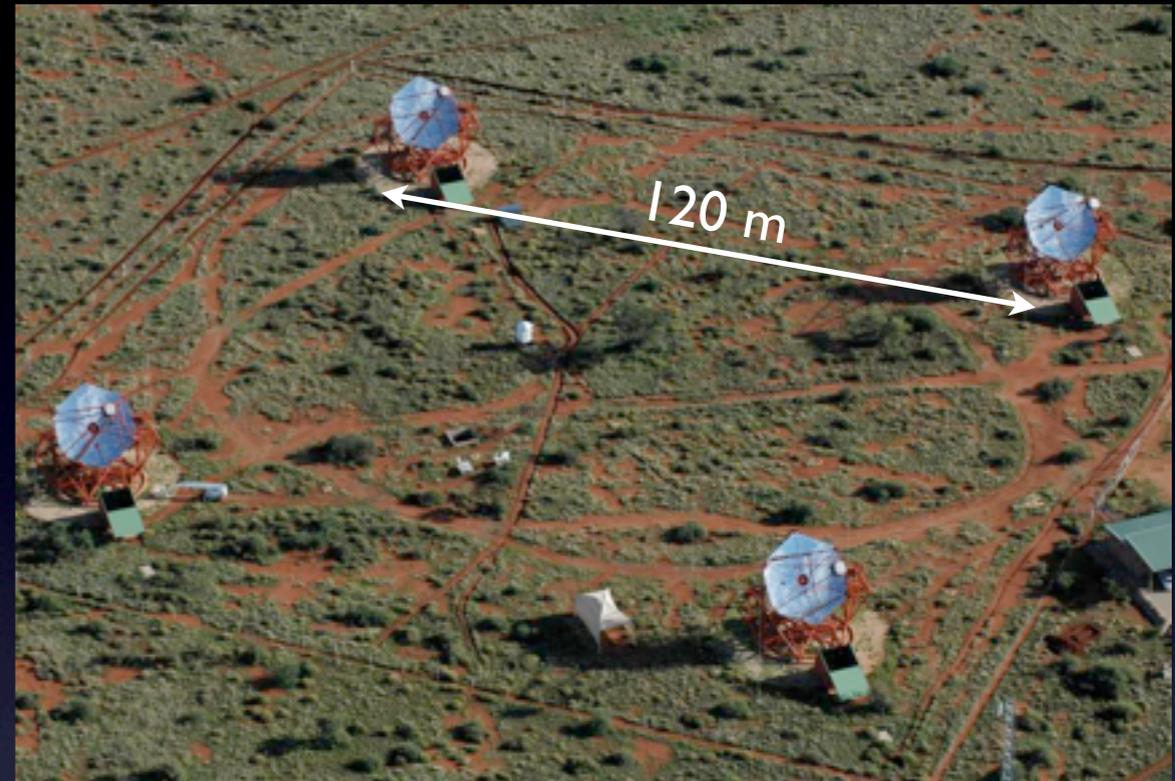


Gamma



# H.E.S.S.

- 4 télescopes situés en Namibie, à  $\sim 1800$  m d'altitude
- Installation en 2002-2003
- 12 m de diamètre, 15 m de focale
- Gamme en énergie  $\sim 100$  GeV à  $\sim 100$  TeV
- Presque 100 sources découvertes
  
- Activités LPNHE: construction, installation et maintenance des caméras, analyse, calibrage



2 expériences



2 résultats

(parmi beaucoup d'autres)

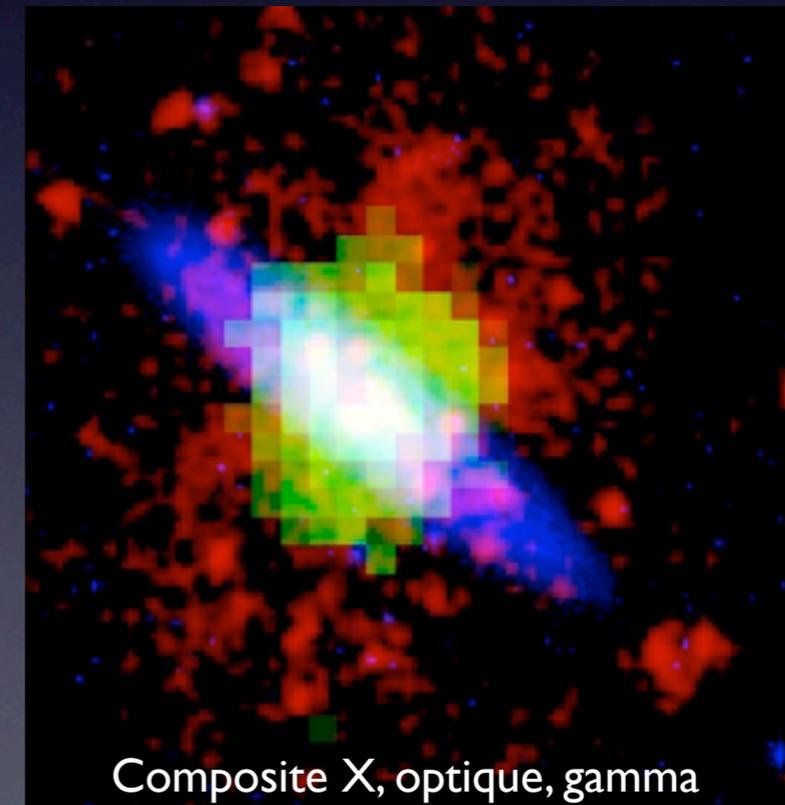
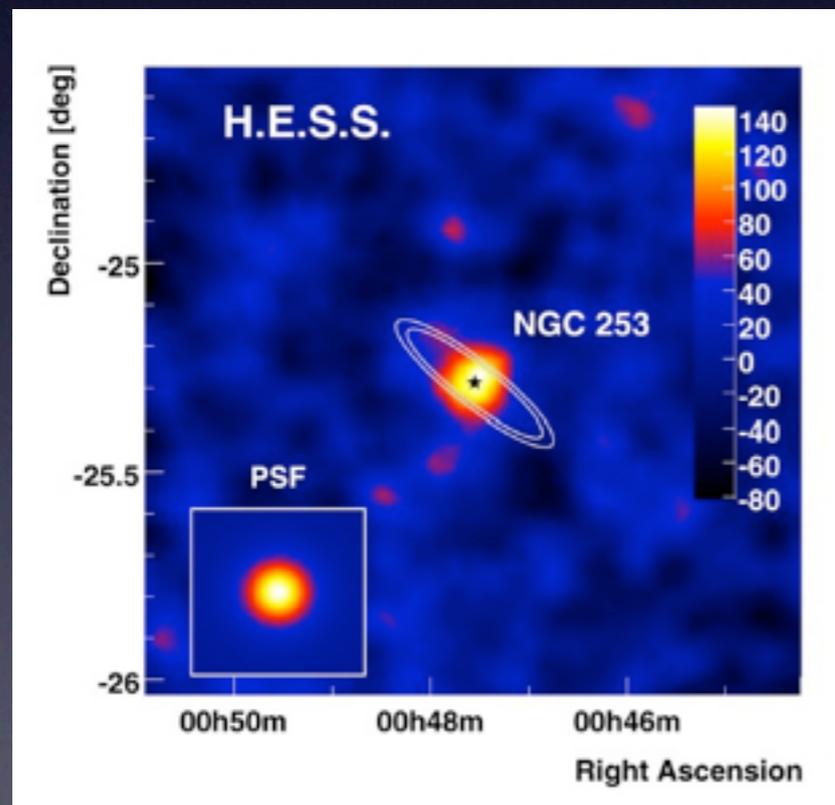
# HESS - NGC 253

- NGC 253
- Distance  $\sim 3$  Mpc
- Galaxie à flambée d'étoiles
  - Taux de formation d'étoiles massives important
  - Taux de SN important ( $\sim 0.1$  SN/an)
- Forte densité de gaz + vents des SN  $\rightarrow$  émission  $\gamma$



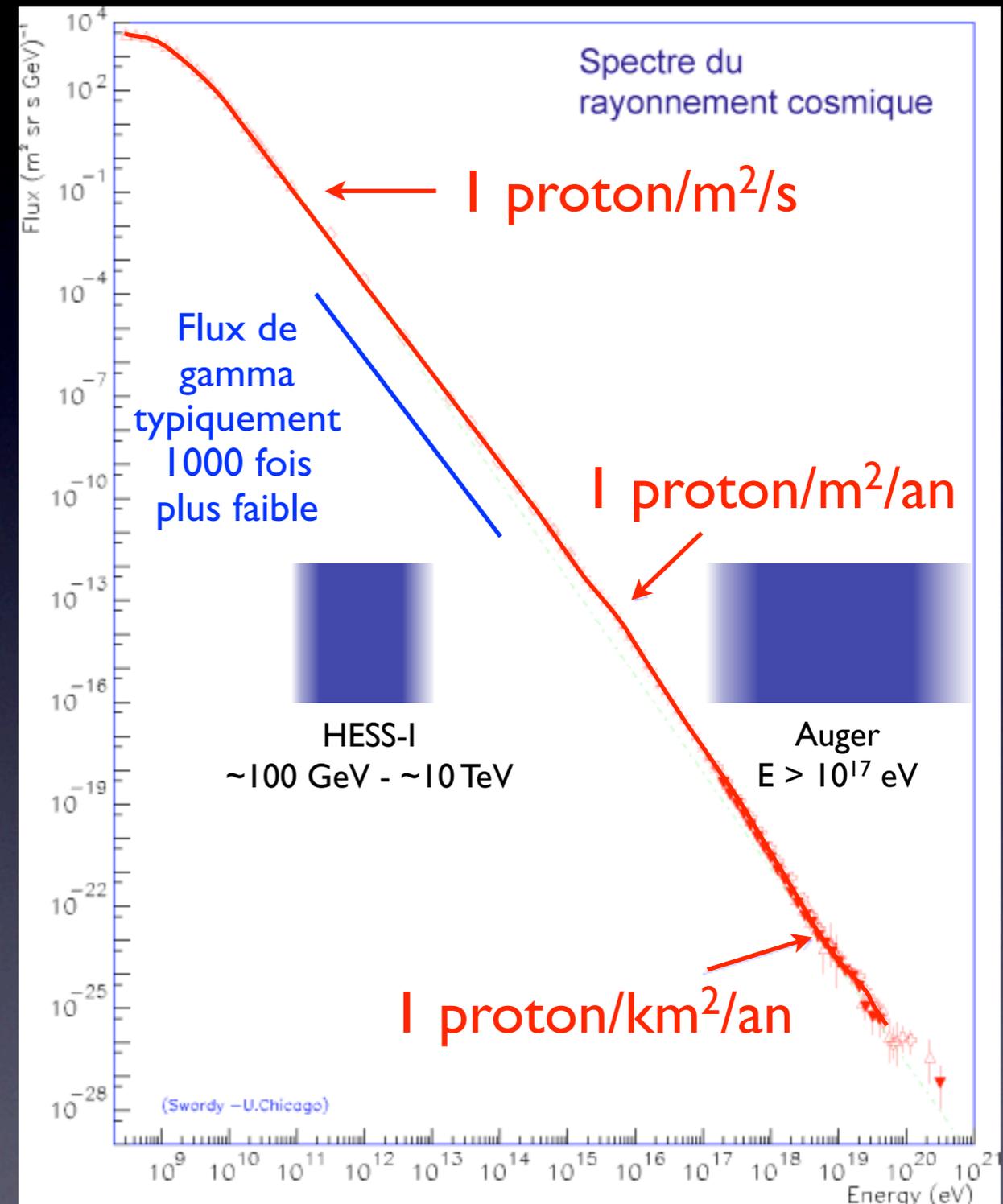
# HESS - NGC 253

- Le premier objet extra-galactique détecté en gamma HE qui ne soit pas un AGN !
- 119 h de données cumulées par HESS
- Détection à  $5.2 \sigma$ , 247  $\gamma$  au dessus de 220 GeV
- Flux intégré compatible avec les prédictions



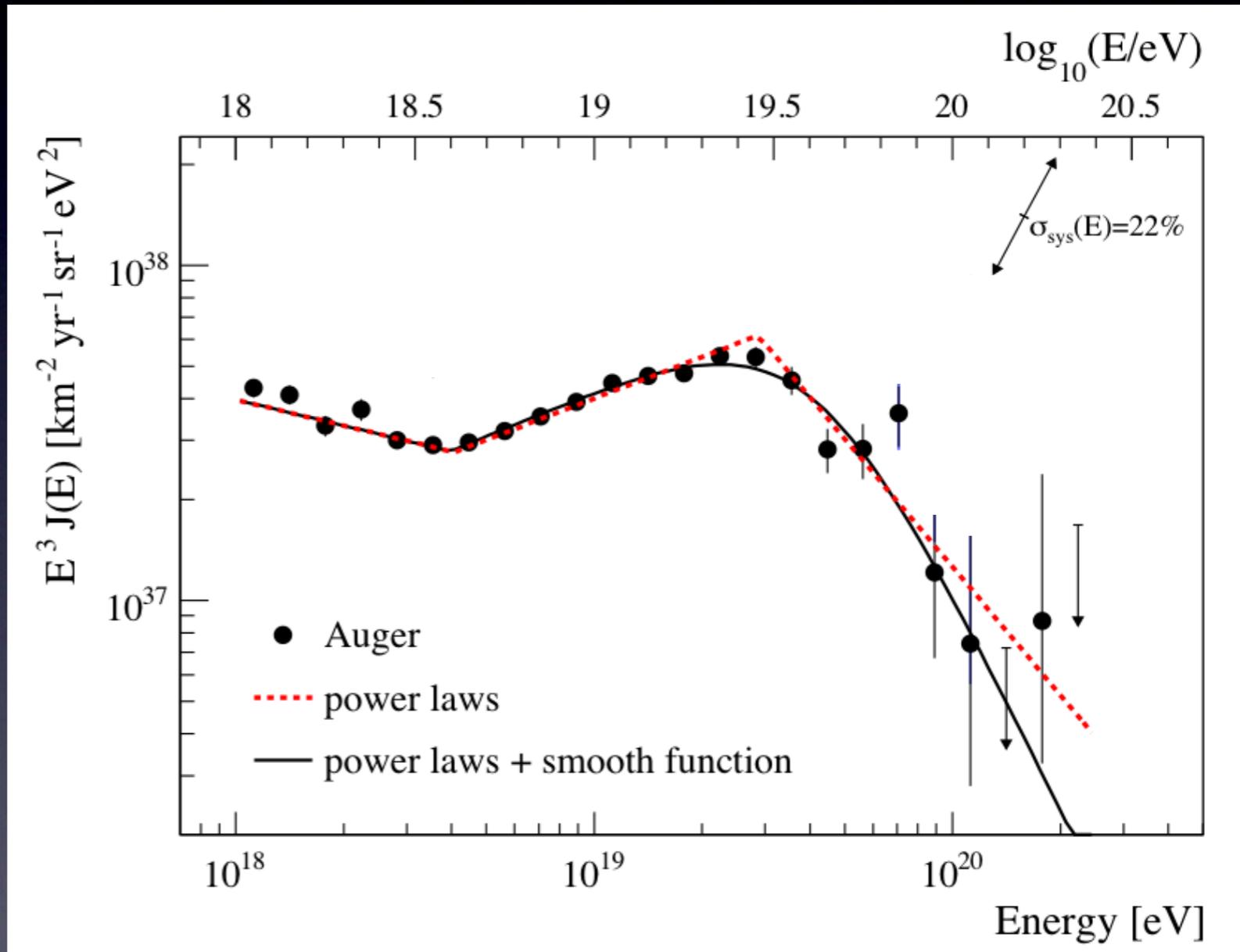
# Auger - Spectre au delà de $10^{18}$ eV

- Cumul de 1700 événements
- Observation d'une coupure à  $10^{19.6}$  eV à  $20\sigma$
- Compatible avec la coupure GZK due aux interactions



# Auger - Spectre au delà de $10^{18}$ eV

- Cumul de 1700 événements
- Observation d'une coupure à  $10^{19.6}$  eV à  $20\sigma$
- Compatible avec la coupure GZK due aux interactions





# Retour vers le futur I. L'avenir proche

*«L'avenir, c'est du passé en préparation.»*

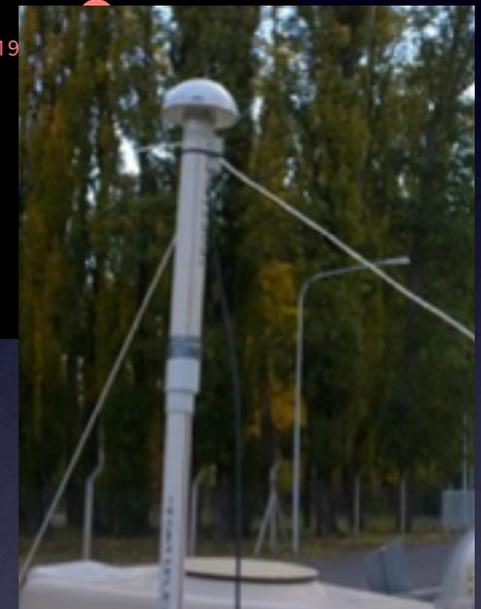
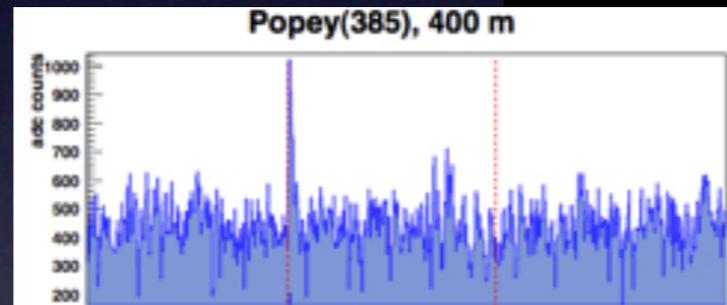
Pierre Dac

# L'avenir d'Auger au LPNHE

Prototypes MHz installé sur  
7 réservoirs



1<sup>st</sup> & 2<sup>nd</sup>  
EASIER  
Hexagons

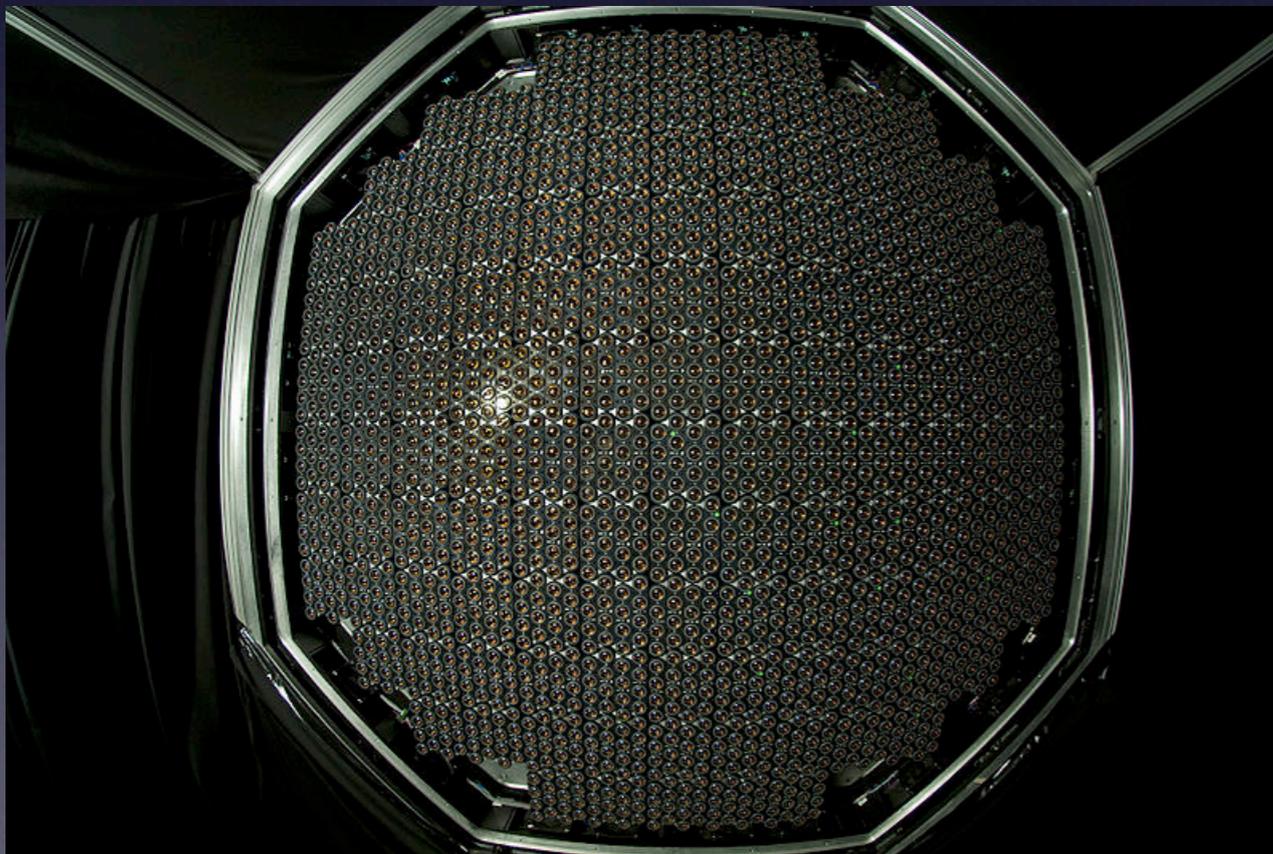
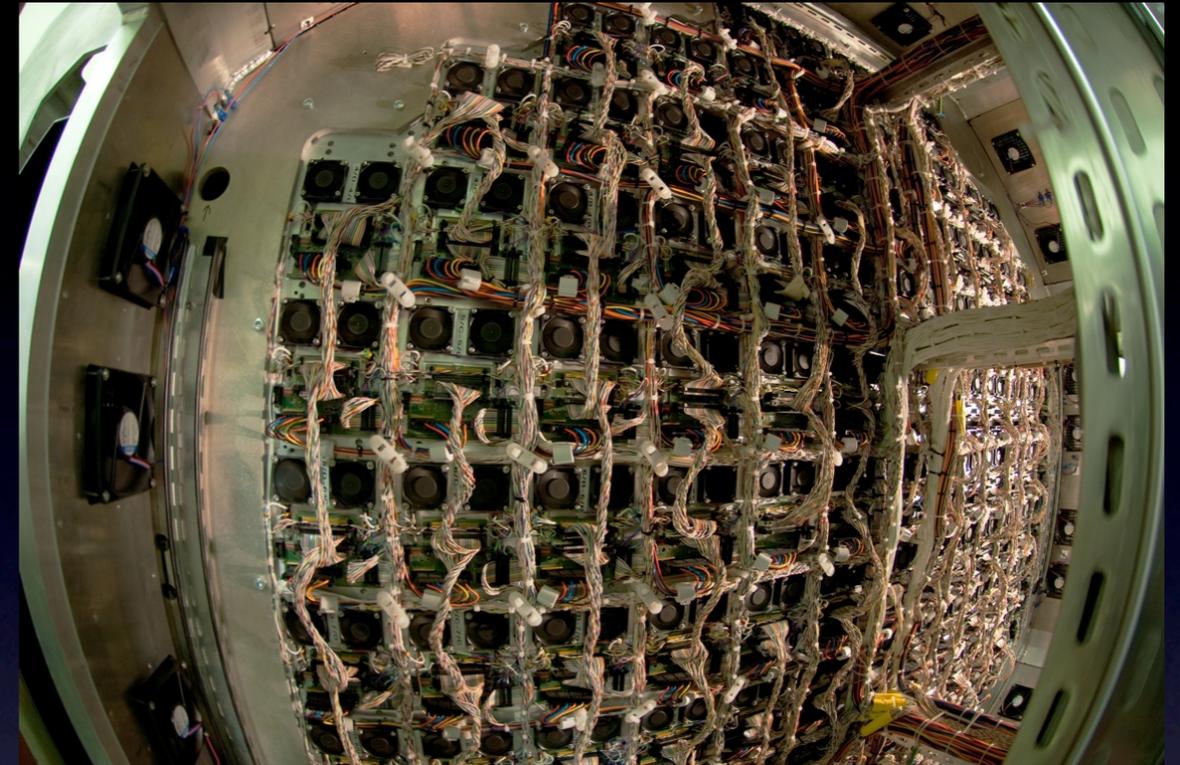


Protoype GHz installé  
en avril 2011

- Auger prévu pour fonctionner encore 5 à 10 ans
- Auger Nord en R&D (~20000 km<sup>2</sup>)
- Nouvelle direction: la détection radio pour une meilleure identification des particules
  - ➡ Projet EASIER
  - ➡ Déjà 20 événements identifiés en un mois !
- Objectifs: améliorer la mesure de composition, faciliter l'identification des sources, ...

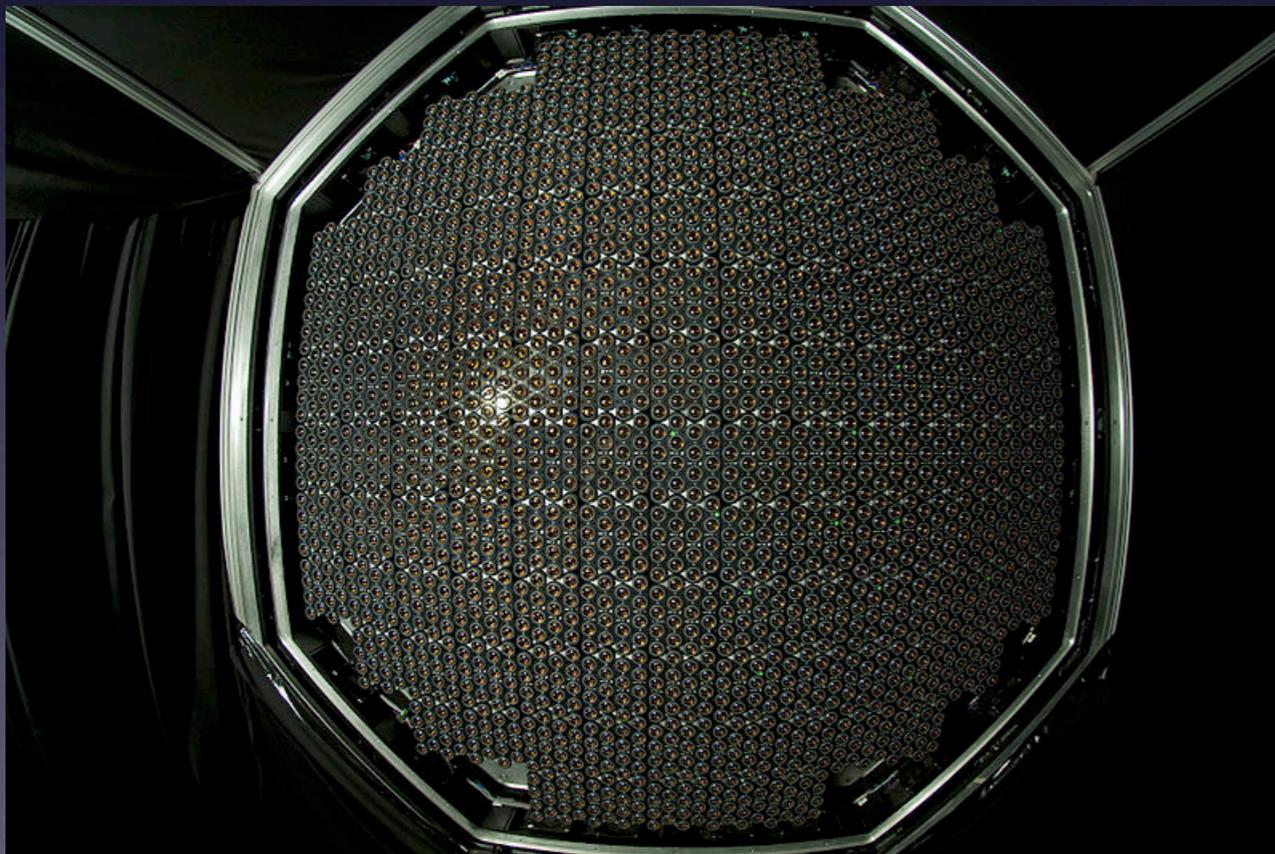
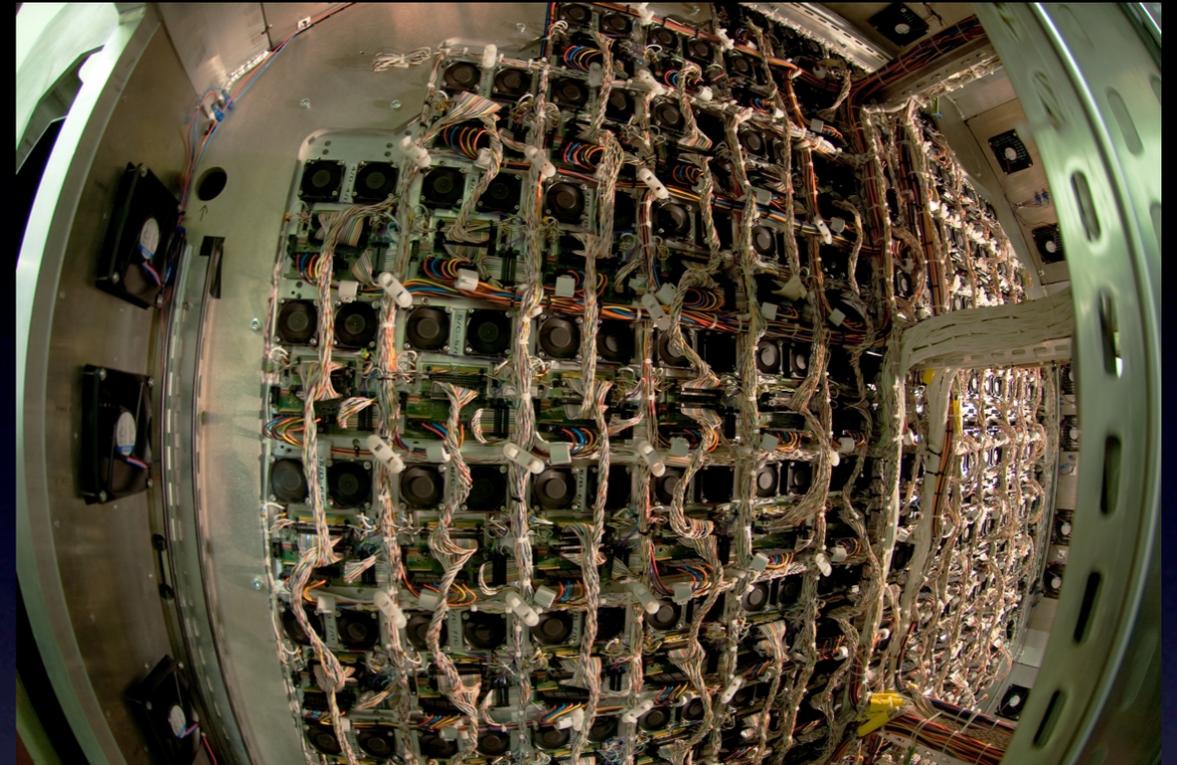
# L'avenir de HESS: HESS-II et CTA

- HESS-II: télescope de 28 m
- Seuil en énergie baissé à  $\sim 30$  GeV
  - ➔ Plus de photons
  - ➔ Plus de sources
- Montage et tests de la caméra au LPNHE
- Première lumière en 2012
- Fonctionnement jusqu'à CTA...



# L'avenir de HESS: HESS-II et CTA

- HESS-II: télescope de 28 m
- Seuil en énergie baissé à  $\sim 30$  GeV
  - ➔ Plus de photons
  - ➔ Plus de sources
- Montage et tests de la caméra au LPNHE
- Première lumière en 2012
- Fonctionnement jusqu'à CTA...



# L'avenir de HESS: HESS-II et CTA

## Low-energy section:

few O(20-30) m tel. (LST)

=> push low threshold

- Parabolic reflector
- FOV: O(3-4) degrees
- f/D: O(1.2-1.5)

energy threshold  
of some 10 GeV

## Core-energy array:

many O(10-12) m tel. (MST)

=> workhorse of CTA

-> push cost & reliability

- Davies-Cotton reflector
- FOV: O(6-8) degrees
- f/D: O(1.2-1.5)

mCrab sensitivity  
in the 100 GeV–10 TeV  
domain

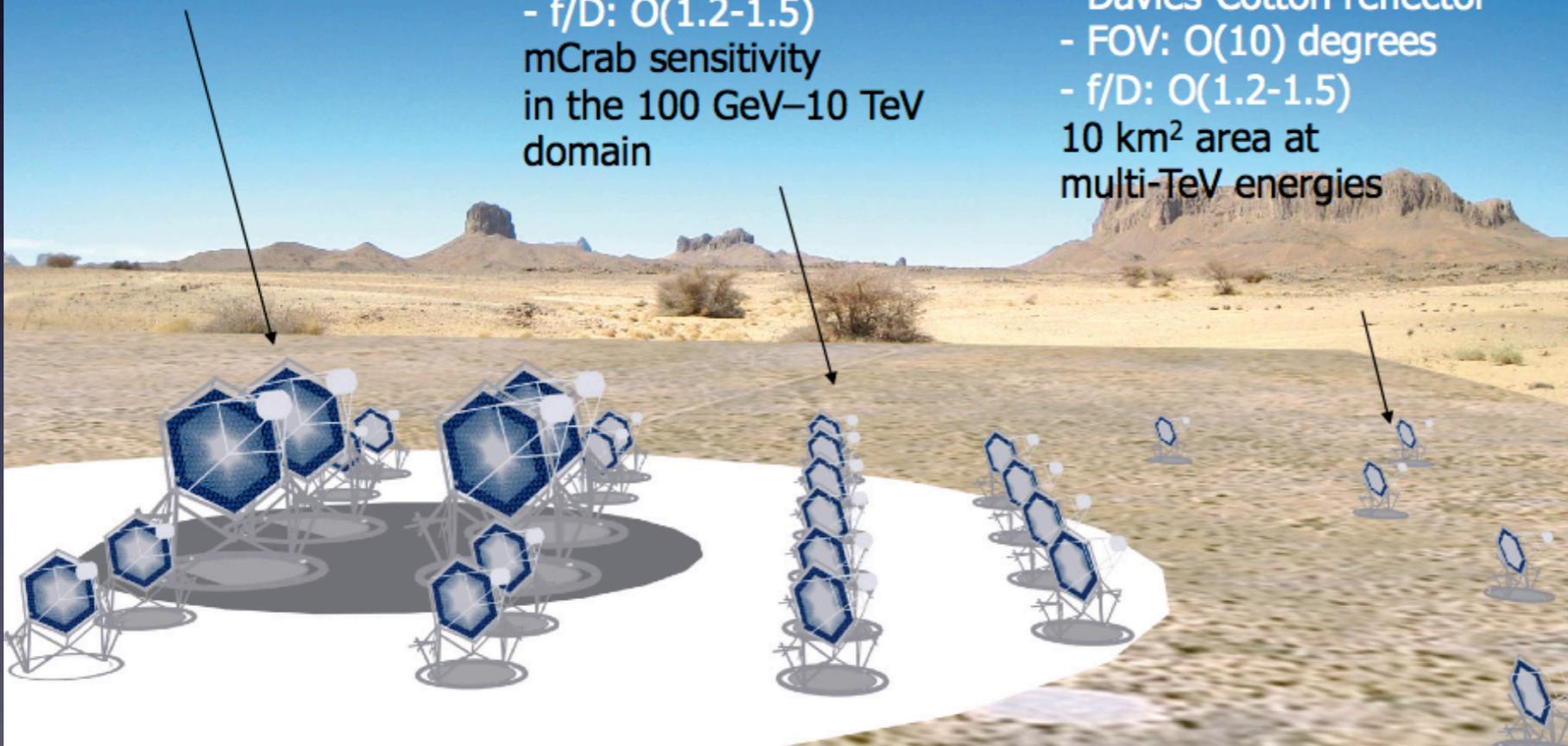
## High-energy section:

some O(5-6) m tel. (SST)

=> push low-cost

- Davies-Cotton reflector
- FOV: O(10) degrees
- f/D: O(1.2-1.5)

10 km<sup>2</sup> area at  
multi-TeV energies

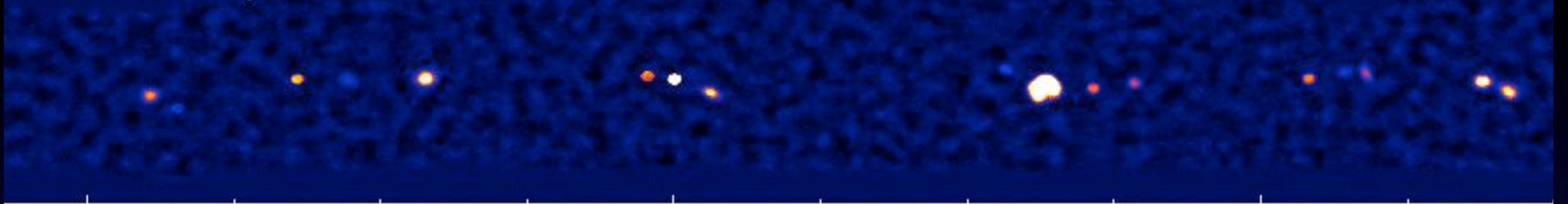


- LPNHE impliqué dans le projet d'électronique front-end NECTAr
- Responsabilité du Work Package «Electronics»
- Éléments du démonstrateur en cours d'évaluation

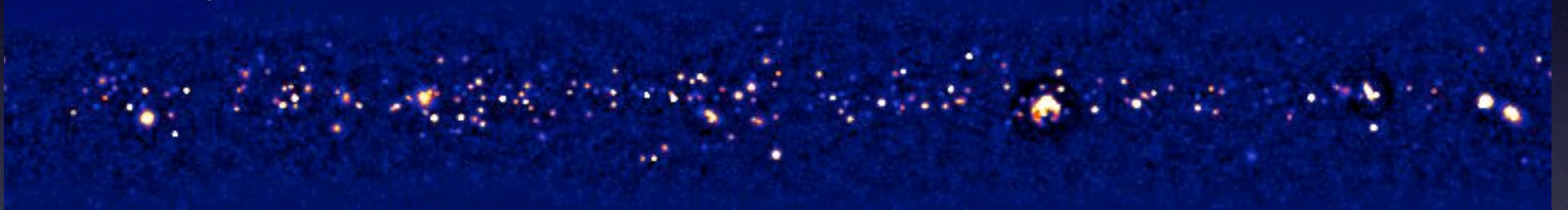


# L'avenir de HESS: HESS-II et CTA

HESS - Real Exposure



CTA - Flat Exposure



- Gain d'un facteur 10 en sensibilité, et en nombre de sources
- Grande gamme en énergie:  $\sim 10$  GeV à  $\sim 100$  TeV
- Première lumière 2015-2018



# Retour vers le futur

## 2. L'avenir lointain

*«Les portes de l'avenir appartiennent à ceux qui savent les pousser.»*

Coluche



Hypothèse I:  
(deep) impact avec un géocroiseur

Hypothèse 2:  
une nouvelle période glaciaire

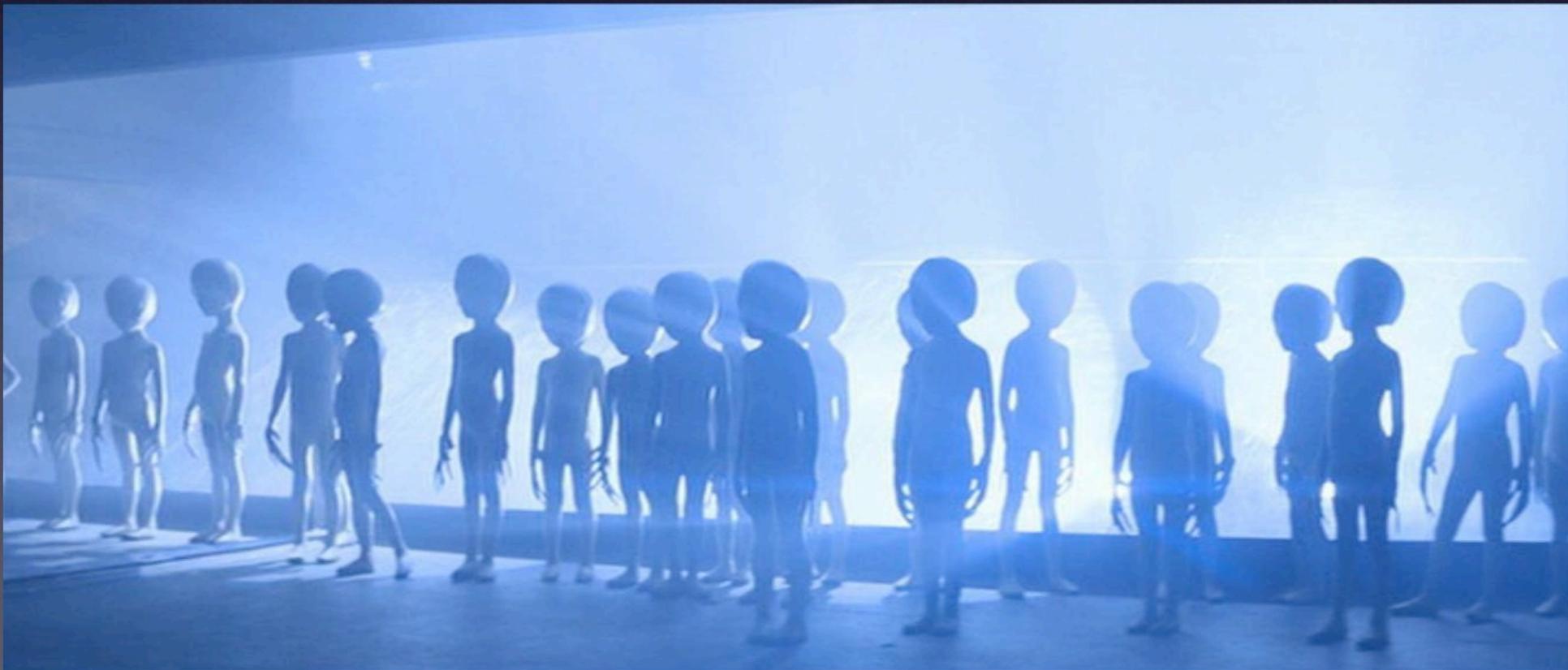


A photograph of a nuclear mushroom cloud. The cloud is illuminated from within, showing a bright yellow and orange core that transitions to a deep red and then a dark, almost black outer layer. The top of the cloud is a glowing, semi-transparent dome. The background is dark, making the fireball stand out. In the bottom left corner, there is a white rectangular box containing black text.

Hypothèse 3:  
rencontre du 3<sup>e</sup> type

# De nombreuses questions résolues

- Pourquoi n'êtes-vous pas venus plus tôt ?
- La matière noire SUSY existe-t'elle vraiment ?
- Comment fonctionne un AGN ?
- La Gravitation Quantique, ça vous dit quelque chose ?
- Quelles sont les autres questions auxquelles vous avez des réponses et pas nous ?

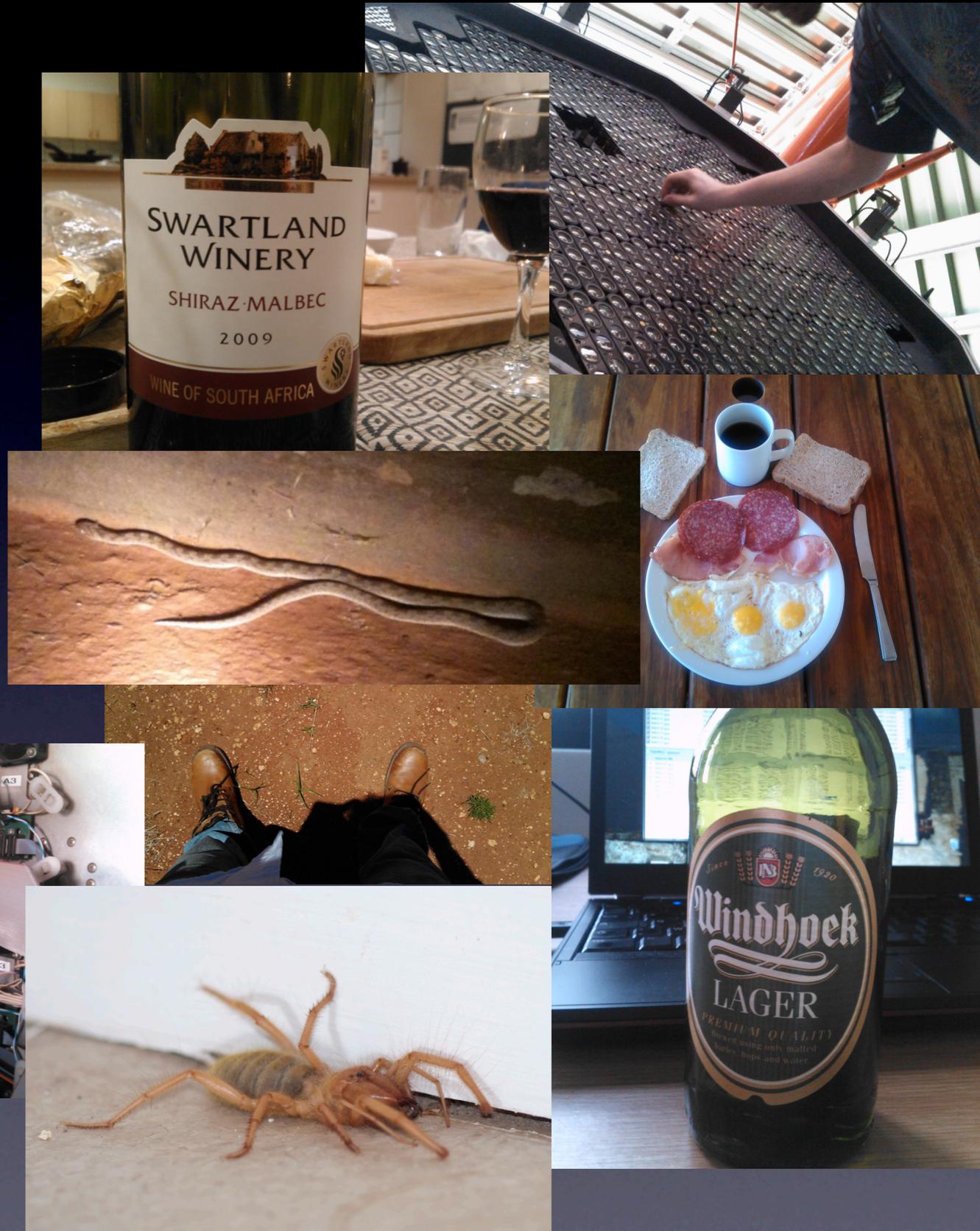


# La manière de travailler

- Les changements sont déjà en cours avec les débuts de CTA
- Construction en masse par l'industrie
- Maintenance déléguée à des intervenants sur site
  - ➡ Réduction des frais de missions !

# La manière de travailler

- Les changements sont déjà en cours avec les débuts de CTA
- Construction en masse par l'industrie
- Maintenance déléguée à des intervenants sur site
  - ➔ Réduction des frais de missions !





# La manière de travailler

- Les changements sont déjà en cours avec les débuts de CTA
- Construction en masse par l'industrie
- Maintenance déléguée à des intervenants sur site
  - ➡ Réduction des frais de missions !
- Vers une plus grande automatisation
  - ➡ Analyses standards
  - ➡ Données préformatées
- Cycle de publication plus rapide !
- L'avenir est en marche !

# La manière de travailler

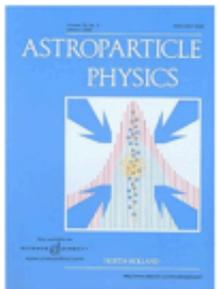
- Les changements sont déjà en cours avec les débuts de CTA
  - ➡ Réduction des frais de missions !
- Construction en masse par l'industrie
- Maintenance déléguée à des intervenants sur site
- Vers une plus grande automatisation
  - ➡ Analyses standards
  - ➡ Données préformatées
- Cycle de publication plus rapide !
- L'avenir est en marche !



Contents list available at ScienceDirect

Astroparticle Physics

Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/astropart](http://www.elsevier.com/locate/astropart)



## Discovery of the new VHE gamma-ray source CTA2020-5-29

For the full author list, see <http://cta-observatory.org/author-list/>

Analysis:  A  B  C  
Energy threshold: 50 GeV  
Significance:  $5\sigma$   
Coordinates (J2010):  $25.35^\circ$  RA,  $45.12^\circ$  DEC  
Spectrum:  PL  BPL  CPL  
Spectral index (if applicable):  $2.4 \pm 0.1$   
Integrated flux:  $(1.2 \pm 0.1) \times 10^{-10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
Temporal variability:  YES  NO  
Spectral variability:  YES  NO  
Anything new about any model:  YES  NO  
Notes: ~~What the point?~~ No.

### ARTICLE INFO

Received 25/07/2020 12:26:32 PM  
Accepted 25/07/2020 12:27:10 PM  
Available online 25/07/2020 12:27:12 PM



Merci !