

Equipe de recherche Auger

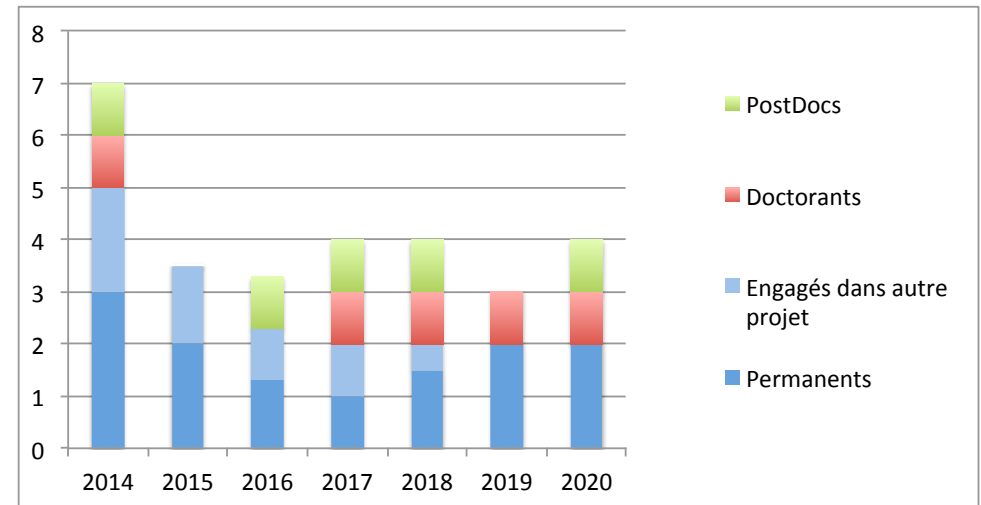
Bilan 2014-2019 & perspectives

Thématique de recherche :
Les rayons cosmiques d'ultra haute énergie

Equipe Auger

- **Membres de l'équipe (01/2020)**

- Corinne Bérat (DR)
- Carla Bleve (CDD IN2P3 depuis 1^{er} novembre 2019)
- François Montanet (PR)
- Julien Souchard (Doctorant, bourse IN2P3, soutenance prévue en septembre 2020)



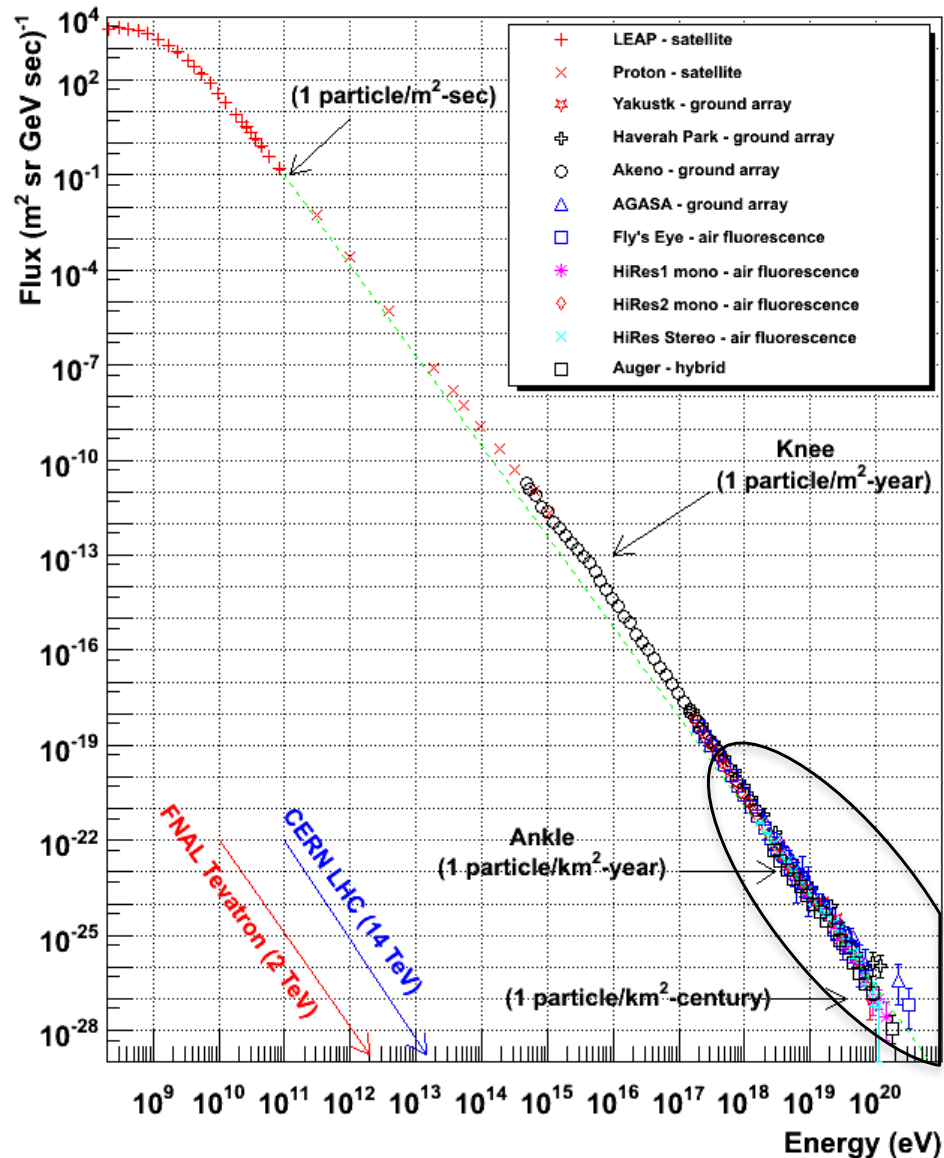
- P. Stassi (IRHC) s. détecteurs et instrumentation : responsable technique Auger

➔ Equipe du LPSC membre de la collaboration Auger depuis 2006

- **Services techniques / IT les plus impliqués dans les activités du groupe**

- **détecteurs et instrumentation**
- **électronique**
- informatique

Rayons cosmiques d'ultra haute énergie



Energie extrêmes $E > 10^{18}$ eV

Objectifs

- Comprendre leur origine et leur nature

Enjeux

- Astrophysique : études des sources et des processus d'accélération et de propagation.
- Physique des particules : exploration du domaine d'UHE, nouvelle physique ?

Rayons cosmiques d'ultra haute énergie

- **Comment les étudier**

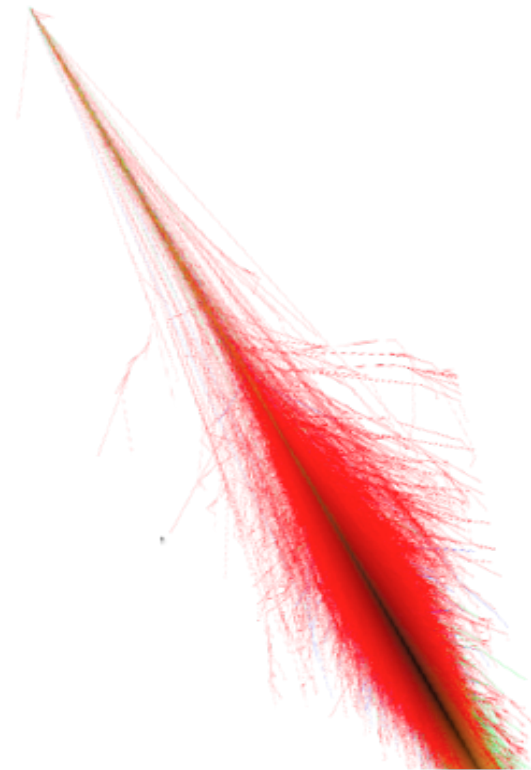
- Spectre en énergie
- Composition chimique
- Directions d'arrivée



- Obtention d'information sur les propriétés des processus d'accélération et sur la propagation
- Identification des sources

- **Etude difficile**

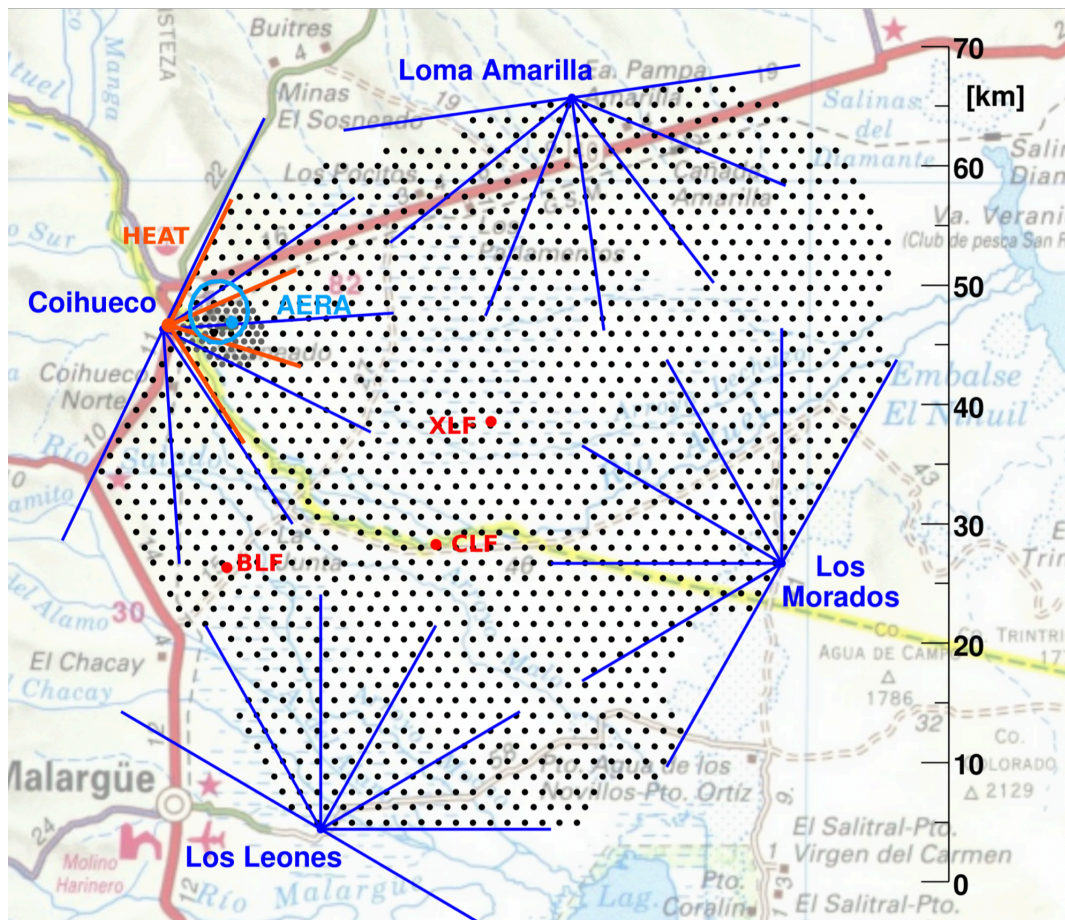
- Flux extrêmement faible
($\sim 1 / \text{km}^2 / \text{siècle}$ pour $E > 60 \text{ EeV}$)
- détection directe impossible
 - détection de la cascade de particules secondaires générée dans l'atmosphère (**EAS, extensive air shower**)
 - grande surface de détection au sol



L'Observatoire Pierre Auger

• Détection hybride des gerbes atmosphériques

- 3000 km²
- Conçu pour étudier les RCUHE, en mesurant les caractéristiques des EAS



Collaboration internationale

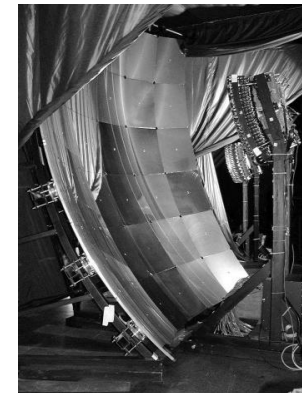
• Détecteur de surface (SD)

- 1660 détecteurs Cherenkov
- ~100% cycle de service



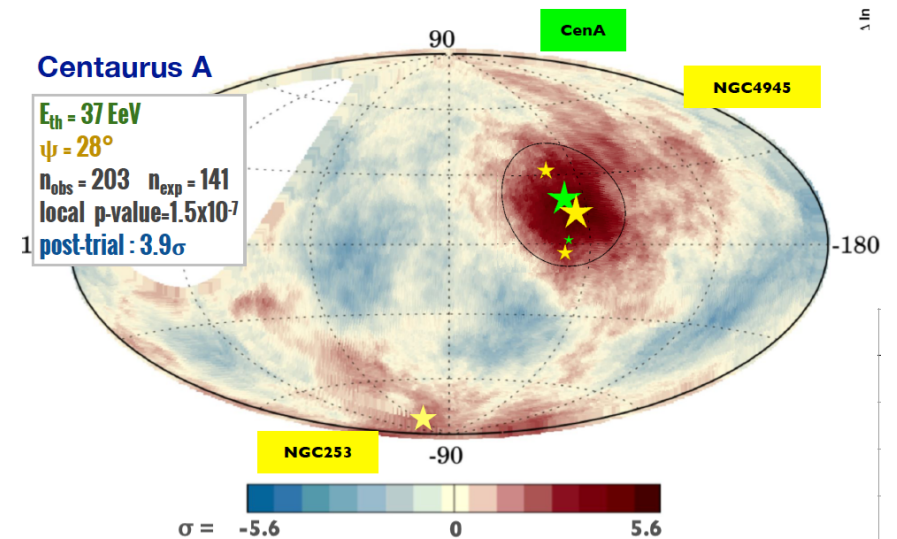
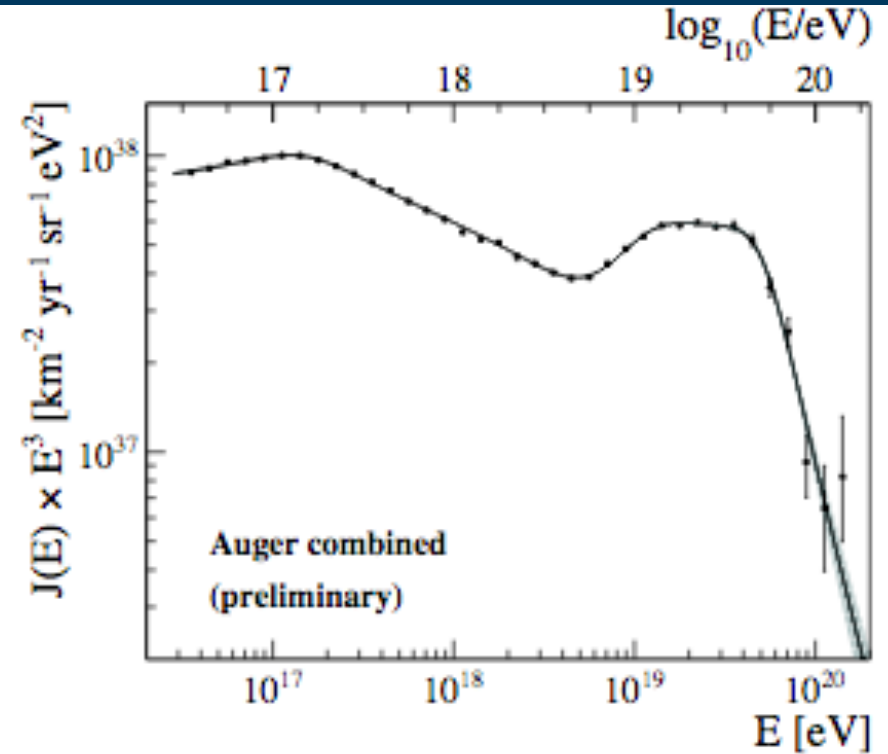
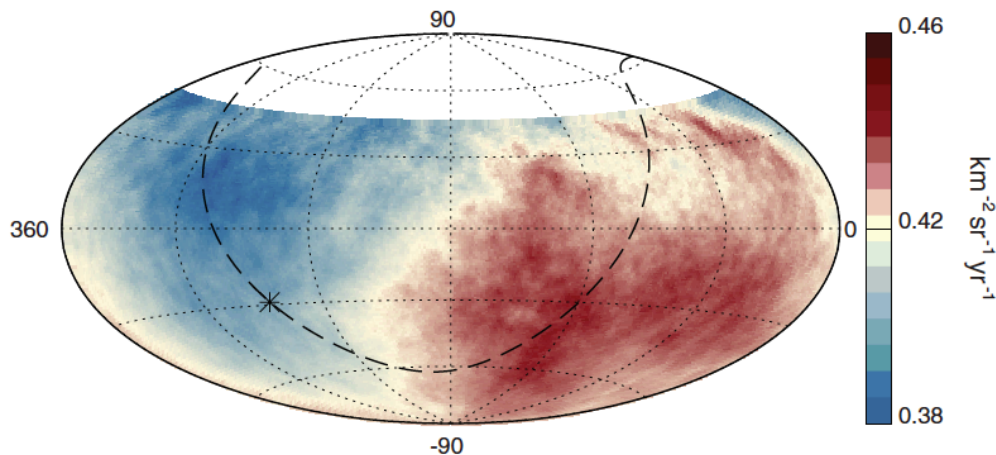
• Détecteur de fluorescence (FD)

- 27 télescopes à fluorescence
- ~13% cycle de service



Derniers résultats majeurs

- **15 ans de données !** ~80000 km² sr yr
- **Spectre**
 - De 0,03 à plus de 100 EeV (~4 décades en E)
 - Plusieurs changements observés
- **Composition**
 - évolution de la masse moyenne avec E
 - diminution jusqu' autour de 2 EeV
 - puis augmentation progressive
- **Anisotropie dans les directions d'arrivée**
 - à grande échelle au delà de 8 EeV (5 σ)
 - aux échelles intermédiaires, aux plus hautes énergies obtenue par comparaison avec les catalogues de sources gamma (à 4.5 σ)



(Auger Astrophys. J.2018, ICRC 2019)

AugerPrime

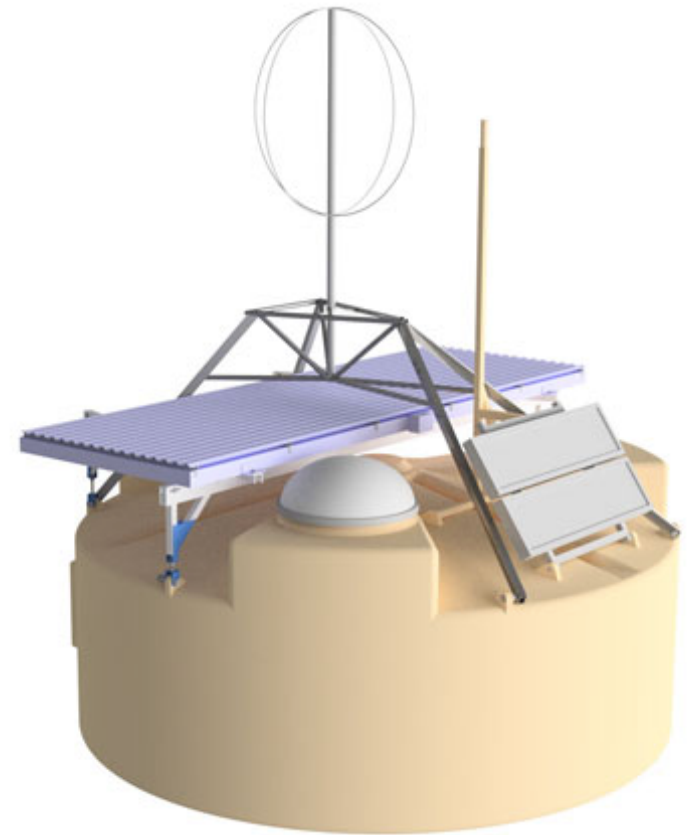
- **Motivations**

- Origine de la suppression à UHE
- Composante de protons ?
- Changement des interactions hadroniques ?
- ➔ Besoins d'une description cohérente des gerbes atmosphériques
 - Clé : meilleure identification des primaires

- **Upgrade**

- améliorer la capacité du réseau à séparer composantes électromagnétique et muonique de la gerbe

➔ grâce à l'ajout de scintillateurs, d'antennes MHz et d'une nouvelle électronique de lecture



Activités de recherche Faits marquants scientifiques



Equipe Auger

- **Activités de recherche**

- Fonctionnement de l'Observatoire
- R&D radio-détection des gerbes : projet GIGAS
- Extension des capacités de l'Observatoire : projet AugerPrime
- Analyse des données : recherche de photons UHE

Vulgarisation sur le thème des rayons cosmiques.

- **Financements**

- IN2P3 : AP, contrats post-doctoraux, contrat doctoral
- ANR : projet GIGAS
- Idex : soutien doctorant

- **Etapes importantes pour LPSC/ Auger France / Collaboration**

- mi-2015 : C. Bérat coordinateur France pour AugerPrime;
- mi-2016 : responsable AugerFrance et P. Stassi project manager adjoint de l'Observatoire
- Février 2017 : Conseil Scientifique IN2P3 : accord pour participation à AugerPrime
- Mai 2018 : l'Observatoire Pierre Auger intègre la feuille de route nationale des [Infrastructures de Recherche](#) du MESRI

Fonctionnement de l'Observatoire

- **Monitoring : contrôle en ligne du SD**

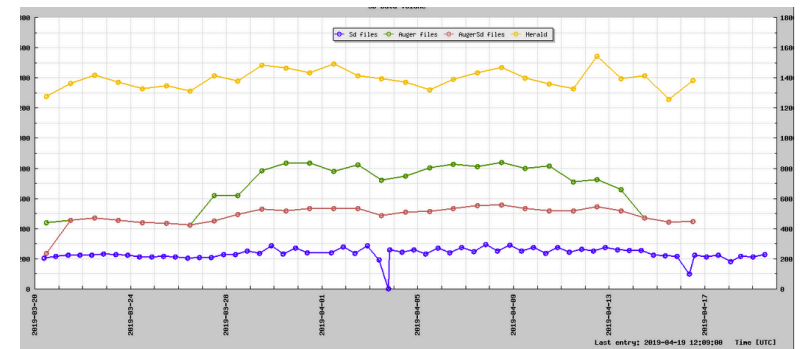
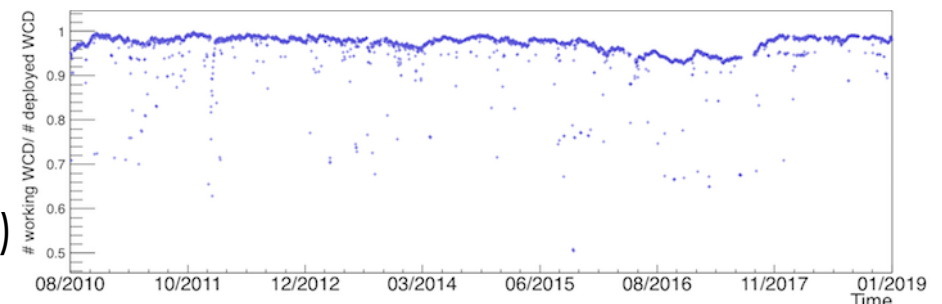
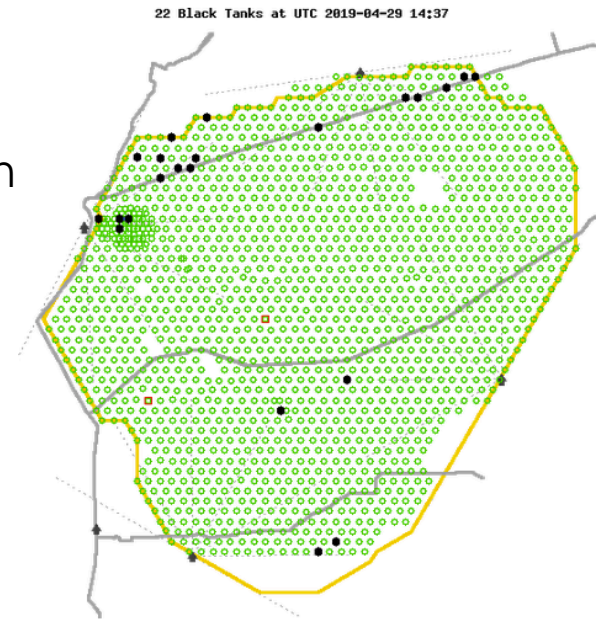
- diverses fonctionnalités conçues et mises à la disposition de la collaboration Auger
 - vérification du fonctionnement en cours du réseau
 - contrôle de l'évolution de ses performances au cours du temps.
- ➔ mise en place de SD shifts

- **Contrôle commande**

- interface graphique (GUI) pour contrôler et commander l'acquisition depuis le web du réseau AERA (152 antennes MHz)

- **Shifts à distance**

- Installation (2016) et mise en oeuvre (2017) d'une salle de contrôle
- 1 période de shift / an



R&D détection GHz des gerbes atmosphériques

Projet financé par l'ANR (→2017)

• Objectifs

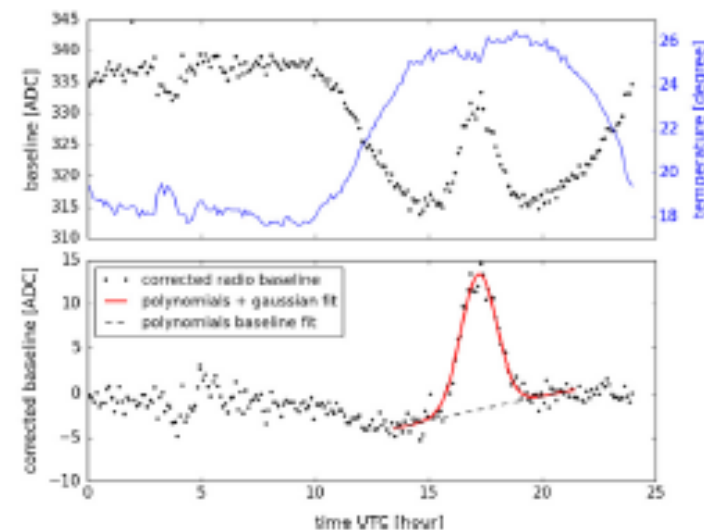
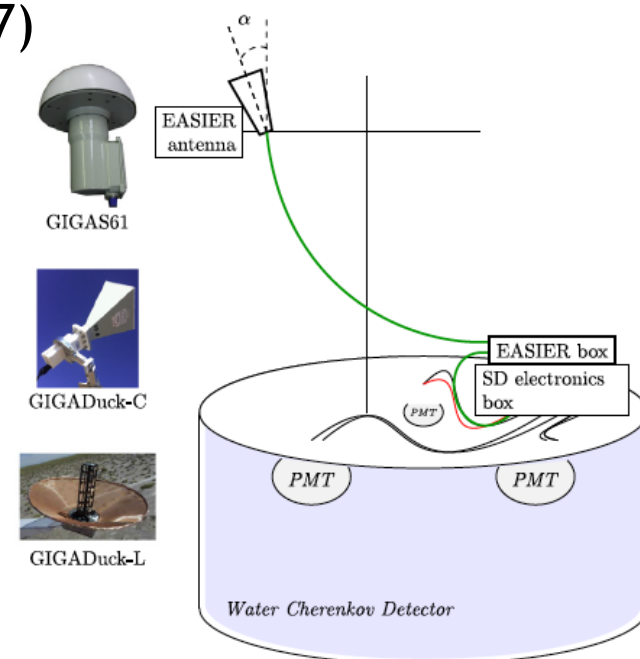
- nouvelle observable : émission MBR induite par le passage d'une gerbe → identification de la composante e.m
⇒ accès à une identification du primaire

• Détection / simulations émissions

- Caractérisation avec un réseau de 61 antennes (GHz) de l'émission MBR attendue → **signaux détectés très rares par rapport aux estimations basées sur les mesures sur faisceau**
- Simulation de processus physiques à l'origine des émissions radio, intensité attendue / calcul de l'émission MBR
- ➔ Développement de détecteurs radio, plus sensibles

• Analyses et résultats

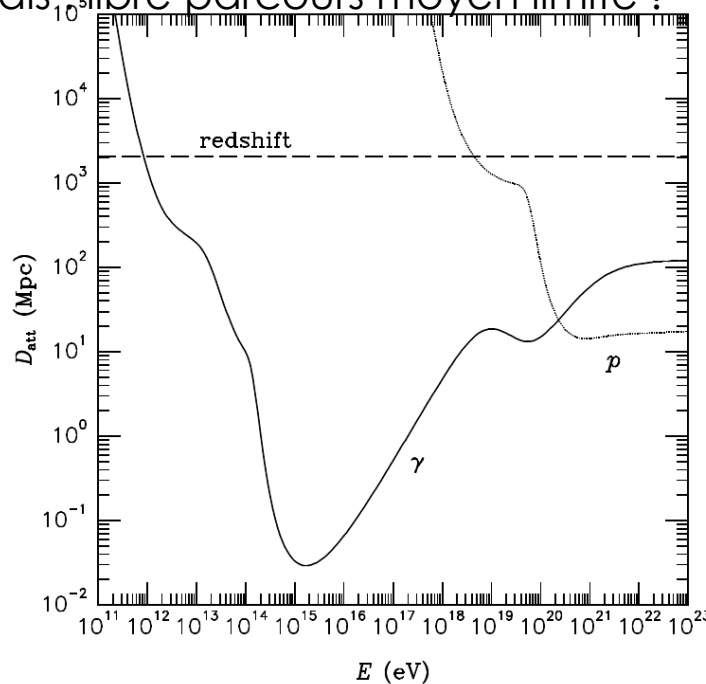
- étalonnage précis des différents types de détecteurs
- simulation réaliste du MBR + détecteur → maîtrise de la sensibilité de l'instrument
- Publication : description complète du dispositif expérimental, calibration, modélisations informatiques associées et méthodes d'analyse
- **Rayonnement MBR des EAS : bien plus faible qu'attendu** (article en préparation)



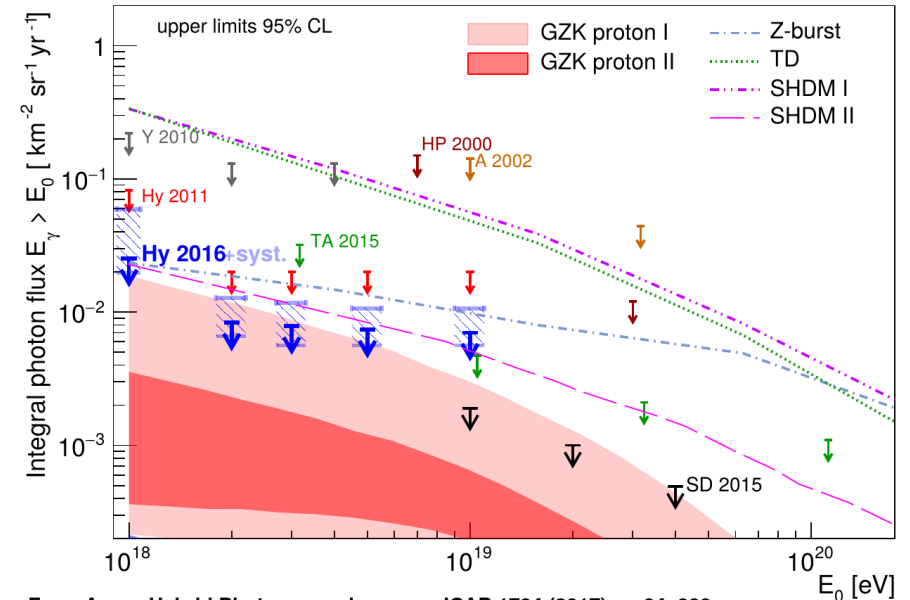
Recherche de photons UHE

Motivations

- origine des RCUHE (top down vs bottom up)
- produits dans les interactions à proximité des sources → identification de sources (pas déviés par champs magnétiques).
- produits lors de la propagation (effet GZK) → origine de la suppression du spectre
- Mais : libre parcours moyen limité !



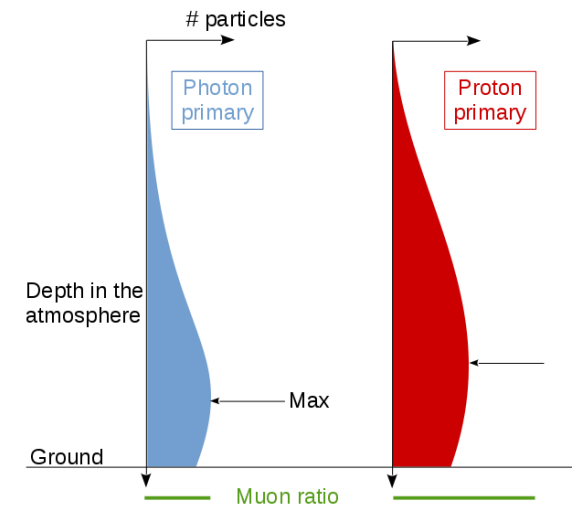
- contraintes sur les paramètres LIV dans le secteur QED



From Auger Hybrid Photon-search paper, JCAP 1704 (2017) no.04, 009

Observables

- développement de la gerbe différent pour photons/hadrons



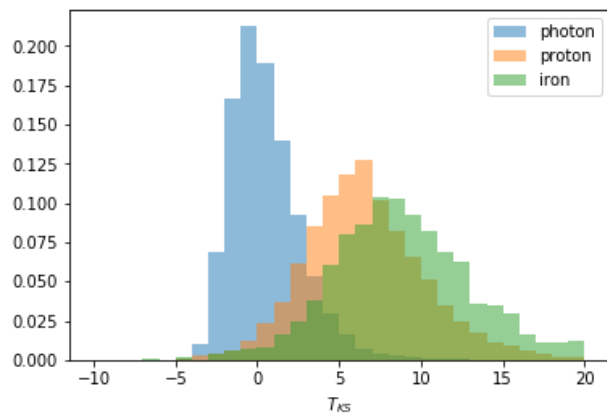
Recherche de photons UHE

- **Etude du bruit de fond**

- Evaluation du bruit de fond irréductible dû aux gerbes hadroniques avec un pion neutre dominant l'énergie de la 1ère interaction

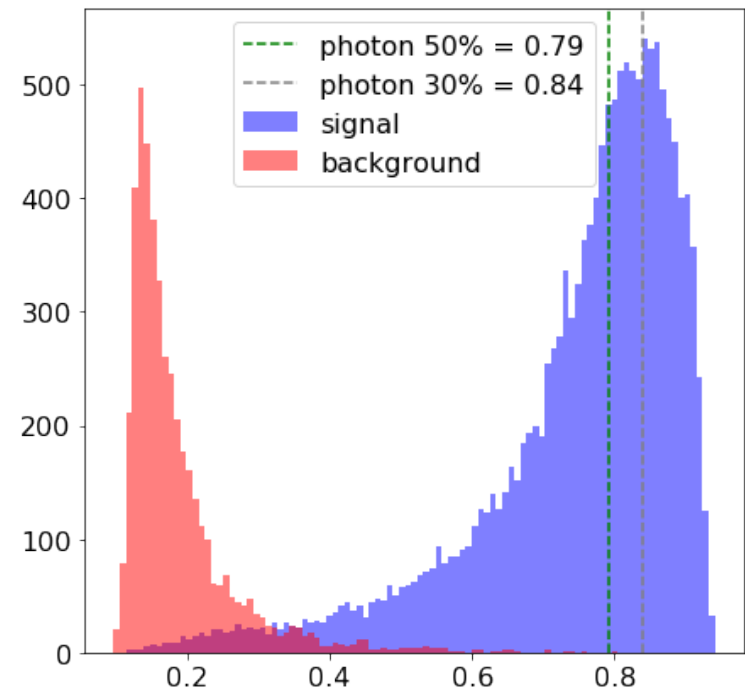
- **Développement d'analyses discriminantes utilisant le SD**

- Reprise d'une analyse (modélisation des formes des signaux) dans le cadre d'un travail post-doctoral, mise à jour et amélioration .
Tests sur MC: réjection du fond hadronique = 97% - efficacité = 50% - performances pas assez élevées pour être poursuivie afin d'être utilisée comme analyse officielle (publication)



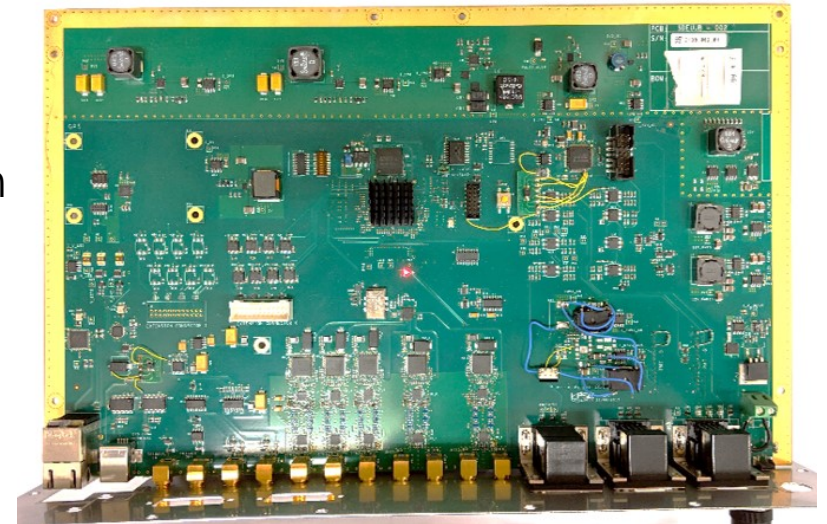
- Analyse multi-variée, combinant des variables discriminantes (liées à la composante muonique, au développement de la gerbe) conçue pour être évolutive, **coeur du travail de thèse.**

Pourra être exploitée avec les futurs détecteurs



Implication dans le projet AugerPrime

- **Conception d'une nouvelle électronique du SD**
 - Pour répondre aux besoins générés par l'*upgrade*
 - Traitement des signaux des WCD et de ceux des SSD
 - performances améliorées, interfaces plus flexibles pour intégrer les nouveaux détecteurs (ex : antennes MHz)
- **Rôle majeur du LPSC**
 - Ensemble du projet divisé en « work packages », LPSC/**Service Electronique** responsable du principal WP :
conception et intégration de la nouvelle carte électronique
 - trois versions développées et testées pour satisfaire aux spécifications en consommation et à leur évolution
 - Version finale de la carte testée, à l'Observatoire en aout
 - négociation (P. Stassi) du contrat de production (signé en décembre)

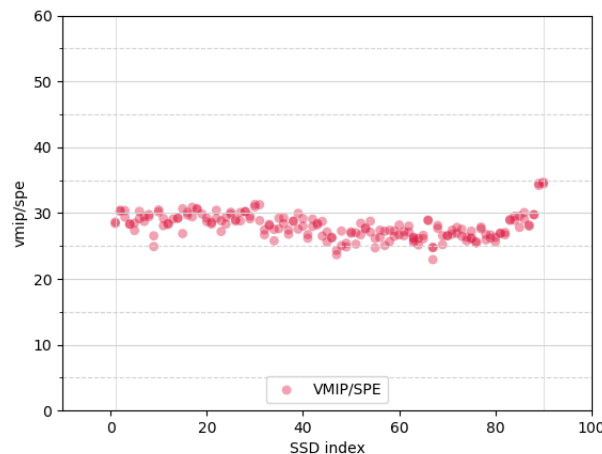


Implication dans le projet AugerPrime

- **Intégration des scintillateurs de surface (SSD)**

- Mise en place d'une chaîne d'assemblage et des procédures
- Assemblage et tests de 90 modules SSD au LPSC

➔ **SDI, Service électronique, Direction**



- **Activité terminée**

- les 90 détecteurs produits vérifient les spécifications
- expédiés et réceptionnés à l'Observatoire
- En cours d'installation
- Note interne présentant l'ensemble des résultats des tests.



Project scientifique futur

Photographed by Radomir Smida

Composition aux plus hautes énergies

- **Exploitation des données Auger/AugerPrime**

- fin des activités techniques en lien avec le projet AugerPrime
- nouveaux détecteurs en cours d'installation
 - ➔ Monitoring à adapter
 - ➔ **Activités recentrées sur l'analyse des données**

- **Objectifs**

- profiter des statistiques élevées du SD, pour mieux **évaluer les observables liées à la nature du primaire**
- contribuer aux objectifs scientifiques d'AugerPrime en développant des algorithmes de reconstruction et d'analyse, basés sur **l'universalité des grandes gerbes atmosphériques**
- exploiter les nouveaux détecteurs pour améliorer l'identification des photons à haute énergie, donc poursuivre le travail d'analyse déjà en cours.

Identification des sources

- **Projet Micros**

- objet d'une demande de financement à l'ANR - PRCI avec l'Allemagne (DFG)
- identifier les classes de sources les mieux corrélées avec les observations existantes (directions d'arrivée, spectre en énergie et composition en masse).
- Nouveauté apportée par ce projet : étude complète des sources transitoires hébergées par des galaxies à noyaux actifs et à flambée d'étoiles.
- **ajustement combiné des modèles de sources transitoires aux données de direction d'arrivée, du spectre et de composition, pour contraindre la direction, la distance et le flux absolu des sources candidates**
 - anisotropies des RCUHE sur une échelle angulaire intermédiaire → direction et flux des sources candidates les plus proches ou les plus lumineuses par rapport à un fond isotrope
 - contraintes combinant directions d'arrivée et spectre mesuré pour évaluer flux de chaque source résolue
 - composition → distribution en distance des sources (pertes d'énergie d'un RCUHE le long de son parcours dépendent de sa nature).

- **Instituts impliqués :**

- France : IJCLab (IPNO) et LPSC + collaborateurs externes
- Allemagne : Universités de Wuppertal et de Bochum
- membres de plusieurs collaborations (IceCube, CTA, HESS, Auger...)
- demande de financements de contrats (PostDocs, doctorant)
- **au LPSC** : C. Bérat (Auger), C. Bleve (Auger), J. Bregeon (DARK)

L'ère multi-messager

- Grandes capacités de l'Observatoire dans la recherche de photons/neutrinos $\sim [0.1-10]$ EeV

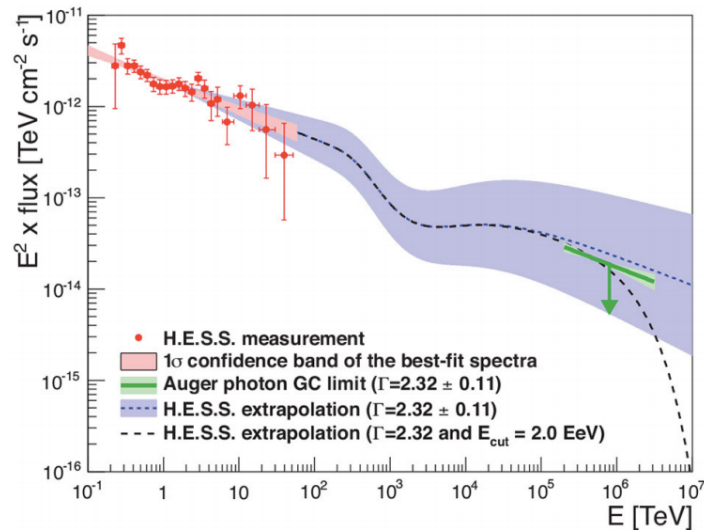
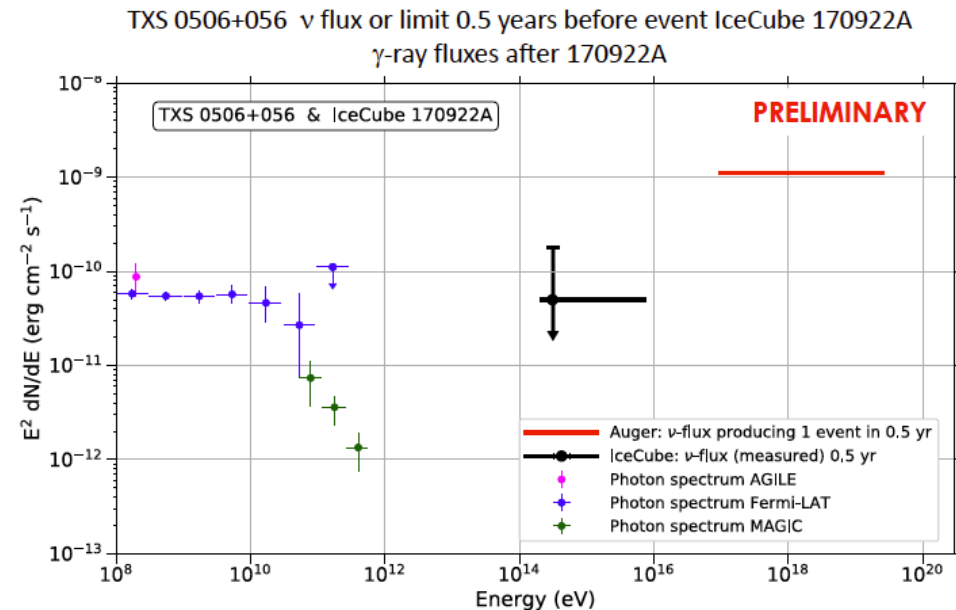


FIGURE 6 | Gamma-ray spectrum from the Galactic center region as measured by the H.E.S.S. collaboration (red points) (Abramowski et al., 2016).

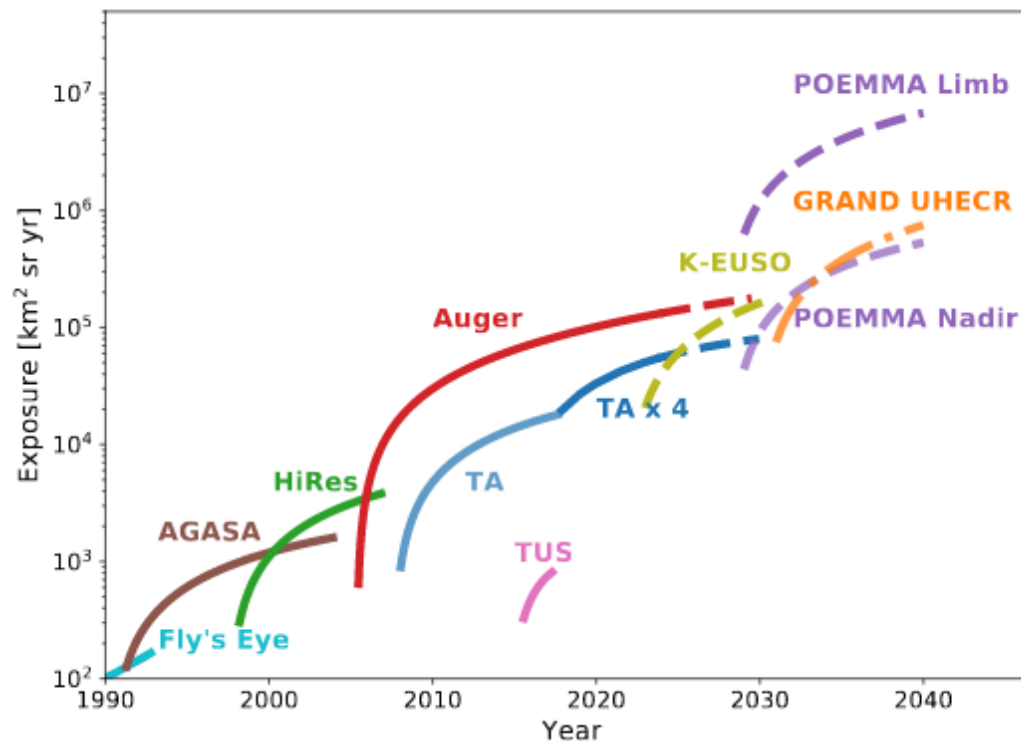


- L'ensemble des nouveaux développements à l'Observatoire va renforcer son rôle multi-messager au cours de la prochaine décennie
- Travail de thèse pour 2020-2023 (financement obtenu, LabEx)

Futur à 5 ans : RCUHE avec Auger

- **Pour conclure**

- Perspectives définies dans le cadre de l'exploitation des données de l'Observatoire Pierre Auger avec le réseau de surface amélioré



- Composition pour mieux comprendre l'origine des RCUHE