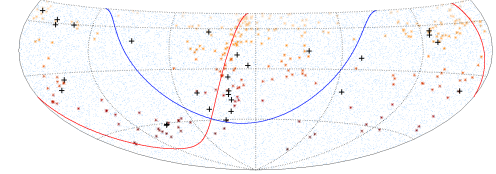
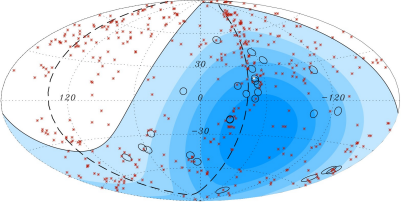
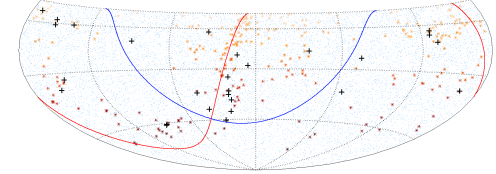
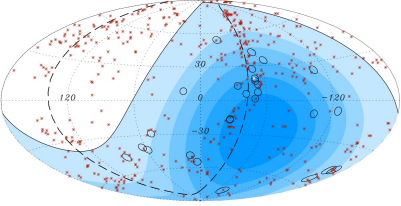


Anisotropies des rayons cosmique de haute énergie

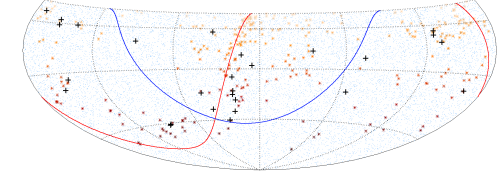
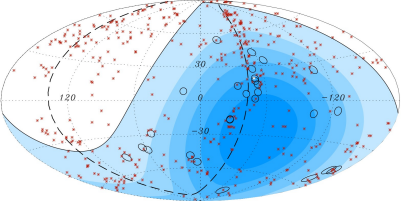
3.7 ans de données du réseau de surface de l'observatoire Pierre Auger



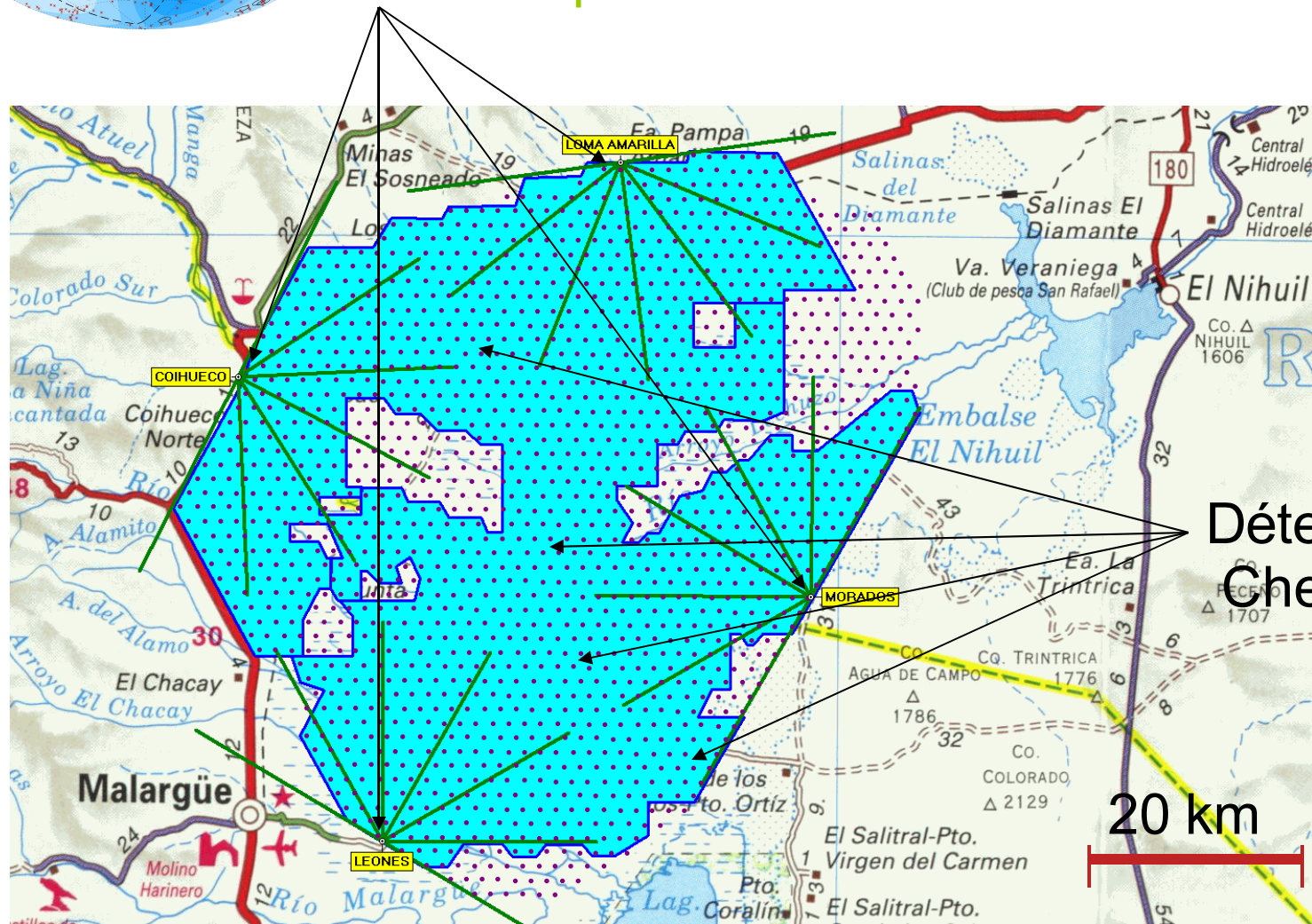
- Introduction
- Évidence d'une anisotropie
 - Observatoire et lot des données
 - Méthode de recherche
 - Scan d'exploration
- Corrélation avec AGNs
 - Paramètres de la corrélation maximal
 - Propriétés du signal
- Discussion
 - Identification des sources
 - Horizon GZK
 - Déviation angulaire
 - Lieux d'accélération
- Conclusions



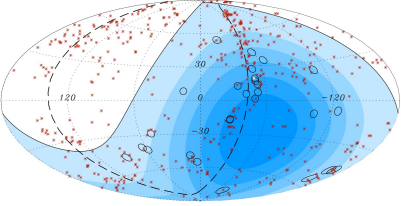
- L'identification des sources UHECR est un défi depuis 1962 et l'un des objectifs principaux d'Auger
- A cause de la coupure GZK seul l'univers proche (200 Mpc) devrait contribuer au flux au dessus de 60 EeV
- Si les déviations magnétiques sont de l'ordre de quelques degrés l'anisotropie des sources devrait apparaître dans la distribution des directions d'arrivée des RC
- Auger sud : Qualités d'un Hybrid et très large exposition
- Les AGN ont longtemps été considérées comme des sources potentielles pour les RC UHE.



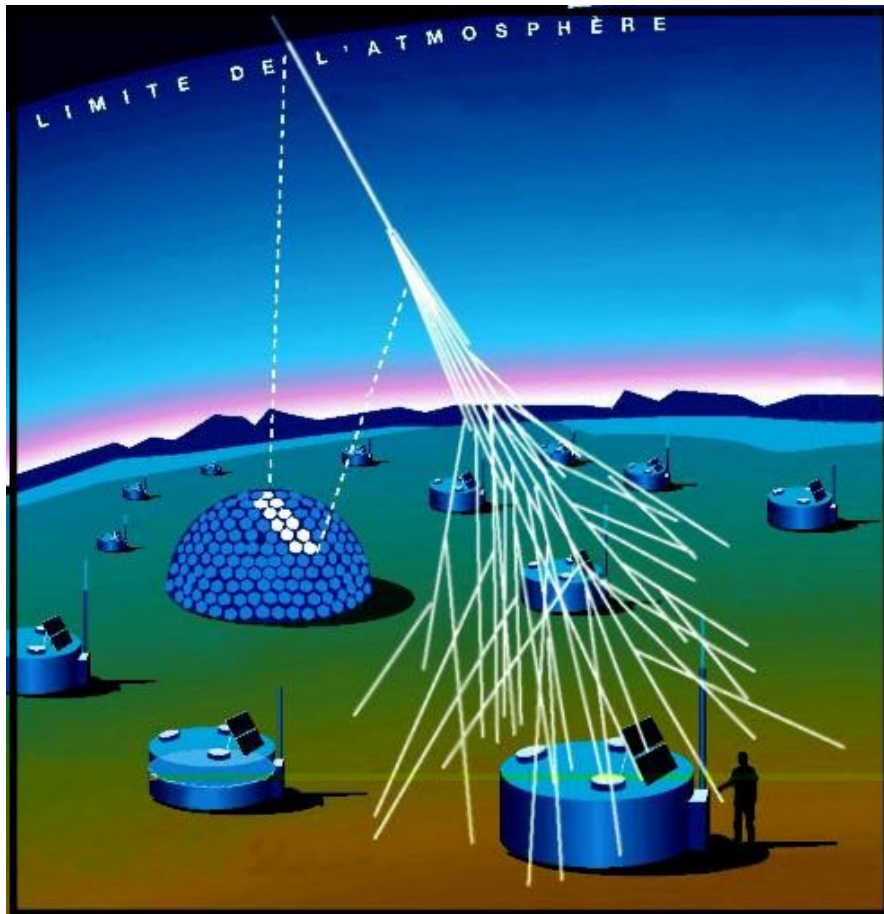
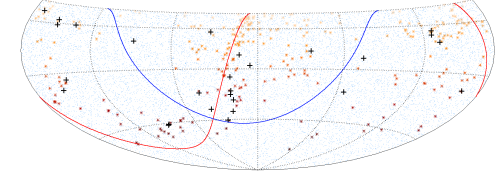
Télescopes à fluorescence



Détecteurs
Cherenkov

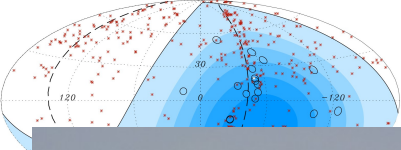


Le concept Hybride

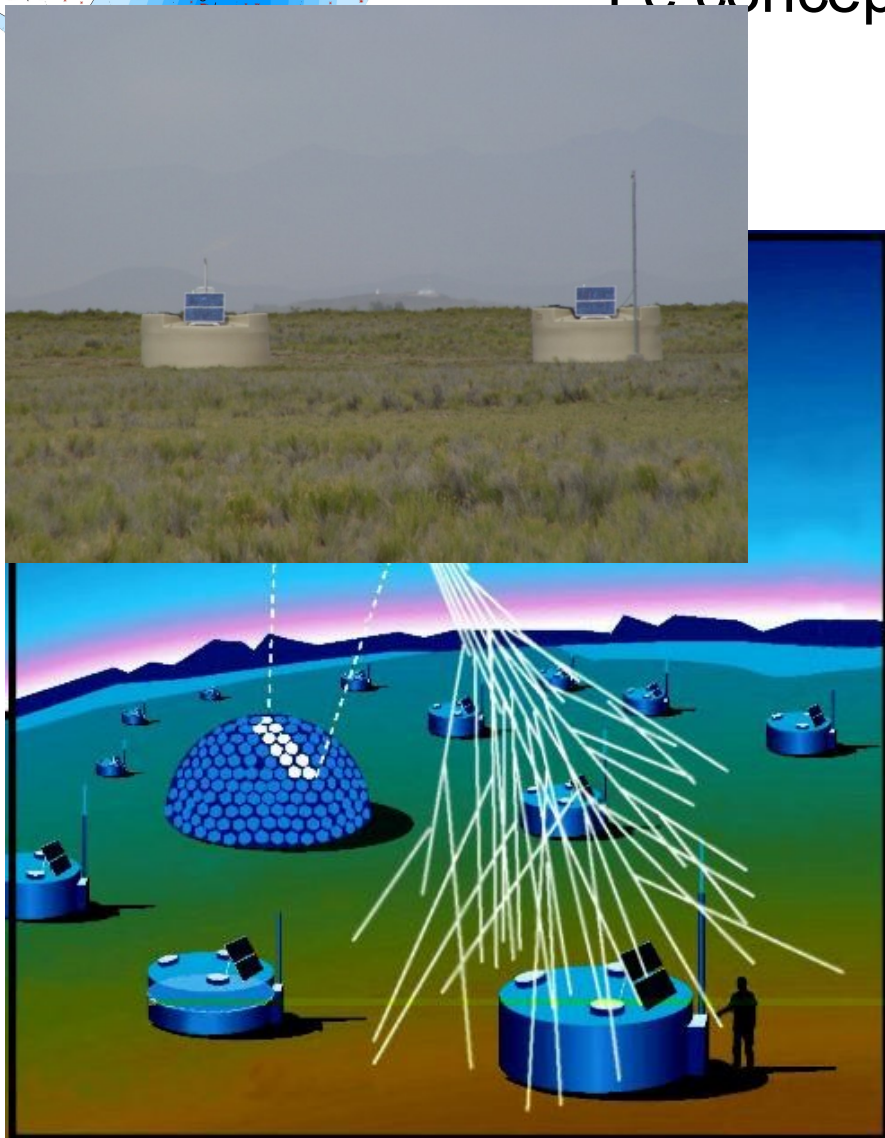
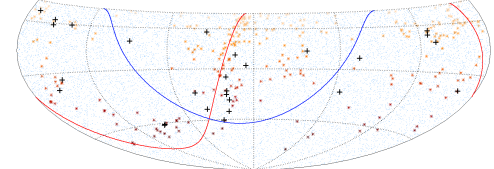


*Un grand réseau de détecteurs de surface
avec des télescopes à fluorescence
donnent un concept unique et puissant*

- Les mesures simultanées permettent le transfert par calibration de la mesure calorimétrique de l'énergie par la fluorescence au réseau de surface
- Un jeu complémentaire de paramètre pour l'identification de la masse du primaire
- Deux techniques différentes sur les mêmes événements permet d'identifier et comprendre les systématiques de chacune
- Extrême précision de la reconstruction des hybrides

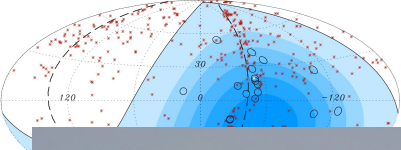


Le concept Hybride

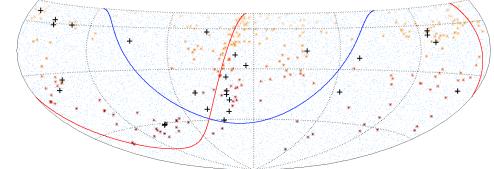


*Un grand réseau de détecteurs de surface
avec des télescopes à fluorescence
donnent un concept unique et puissant*

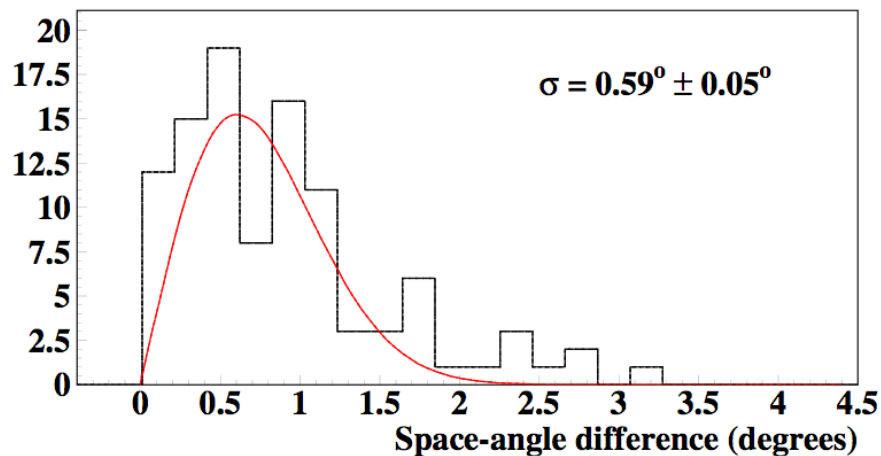
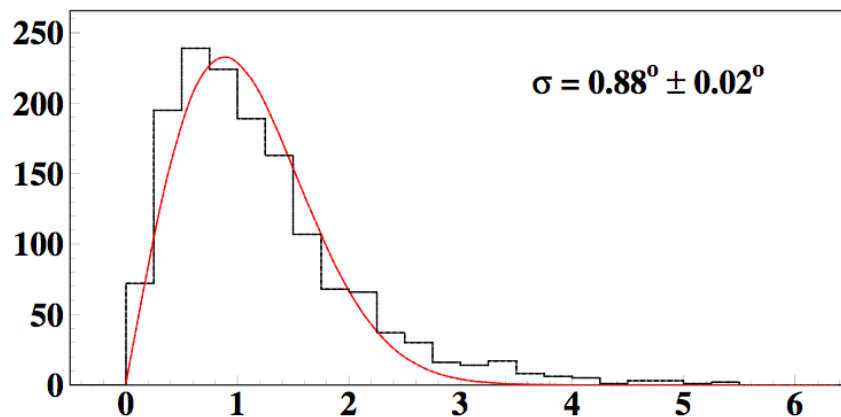
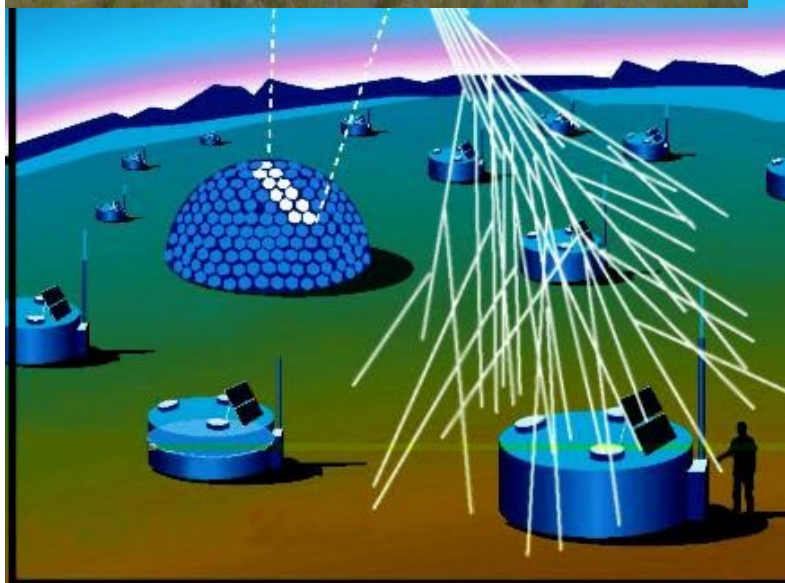
- Les mesures simultanées permettent le transfert par calibration de la mesure calorimétrique de l'énergie par la fluorescence au réseau de surface
- Un jeu complémentaire de paramètre pour l'identification de la masse du primaire
- Deux techniques différentes sur les mêmes événements permet d'identifier et comprendre les systématiques de chacune
- Extrême précision de la reconstruction des hybrides



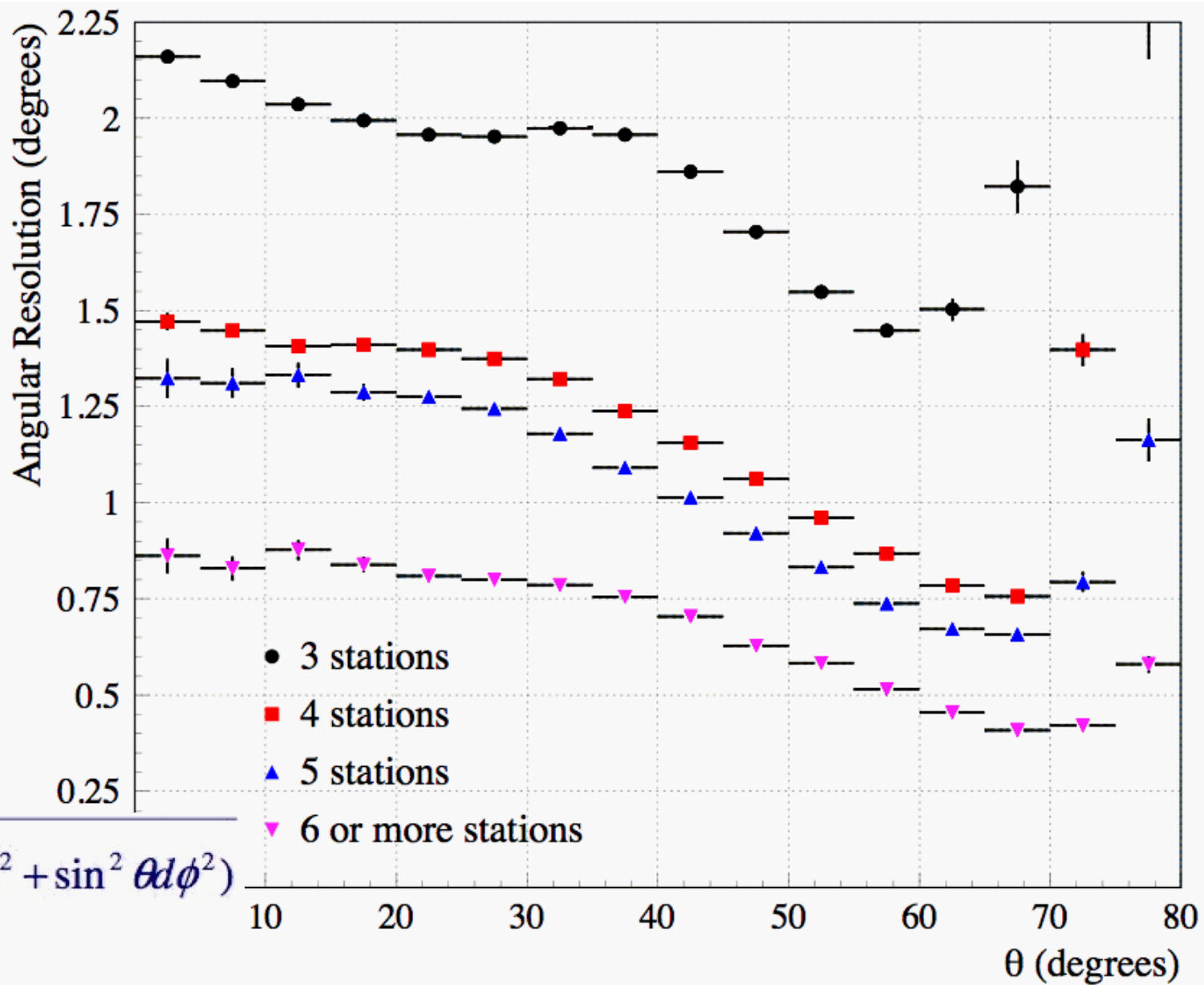
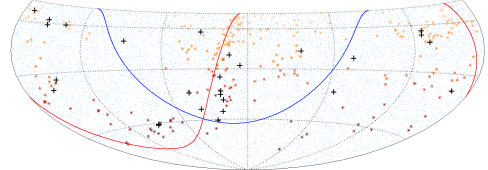
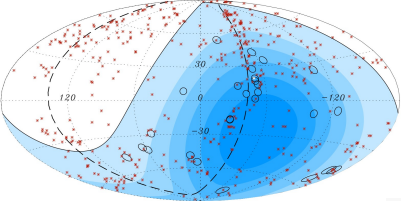
Le concept Hybride



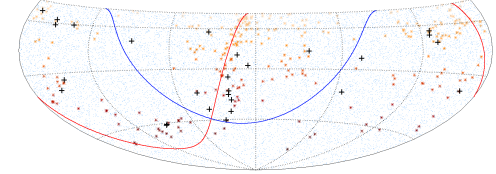
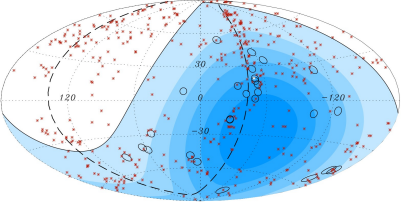
*Un grand réseau de détecteurs de surface
avec des télescopes à fluorescence*



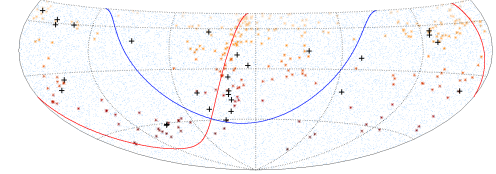
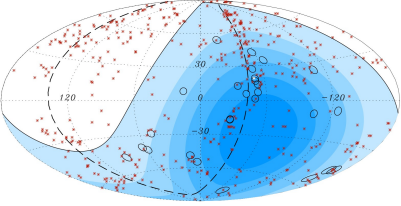
our
mes
une
des



$$AR = 1.5 \sqrt{\frac{1}{2} (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)}$$



- Auger sud : Lat -35.2° S, Long. 69.5° W, altitude 1400 m
 - 154 SD et 2 sites FD en Janvier 2004
 - 1388 SD et 4 sites FD en Septembre 2007
- Plus d'un million d'évènements au dessus d'environ 0.2 EeV.
- Acceptance saturée au dessus de 3 EeV pour un zénith $< 60^\circ$
- Lot de données : 1er janvier 2004 --> 31 août 2007, **81 évènements**
 - T5,
 - $E > 40$ EeV,
 - $\theta < 60^\circ$
- Exposition géométrique proportionnelle à $\sin[\theta]$ ou taux proportionnel à $\sin^2[\theta]$.
Modulations croissance du détecteur ou effets atmosphériques $< 1\%$.



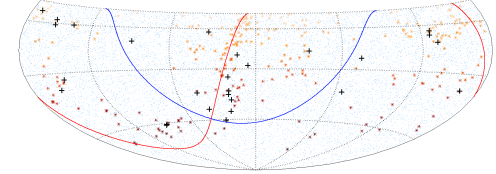
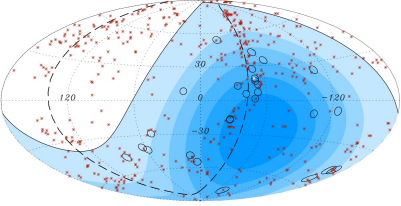
Méthode de recherche

- Définition du lot de données par ajustement de l'énergie minimum (E)
- Définition du catalogue de sources par ajustement de sa profondeur (z)
- Comptage du nombre d'évènements k à moins d'un écart angulaire ψ d'une source (une corrélation)
- Calcul de la probabilité d'obtenir ce nombre de corrélation par hasard:

$$P(E, z, \psi) = \sum_{j=k}^{N(E)} \binom{N(E)}{j} p(z, \psi)^j (1 - p(z, \psi))^{N(E)-j}$$

où $P(E, z, \psi)$ est la probabilité binomiale cumulée et $p(z, \psi)$ la probabilité pour un RC aléatoire vu par Auger (correction d'exposition) de tomber à moins de ψ° d'une source dans le catalogue.

- On cherche le minimum de $P(E, z, \psi)$ comme fonction de E , z et ψ .

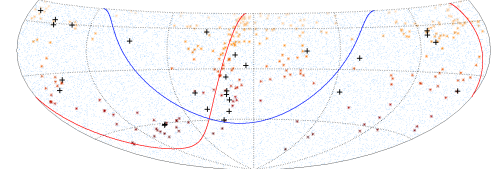
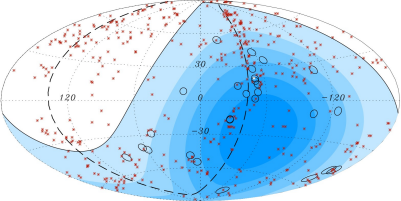


Exploration *avant juin 2006*

- Scan des paramètres E , z et ψ pour trouver le minimum de P .
 - On ajoute les événements un par un en partant du plus énergétique et jusqu'à un minimum de 20 EeV (241 événements au total)
 - 12ième édition du catalogue d'AGN de Veron-Cetty & Veron; sources jusqu'à $z=0.05$ par pas de 0.002
 - Comptage des corrélations pour ψ allant de 1.1° à 6.1° par pas de 0.5°
 - Minimum de $P(E,z,\psi)$:
 - $E = 56$ EeV
 - $Z = 0.018$
 - $\psi = 3.1^\circ$
- 12 parmi les 15 événements sélectionnés corrélerent, $P_{\min} = 10^{-6}$

- Mais...
Nous avons fait un scan donc $P_{\min}$ doit être corrigé (correction de l'ordre de 10^3 évaluée par MC). On ne peut être certain du calcul de la correction.

Motivation pour une prescription

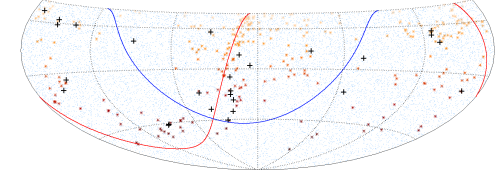
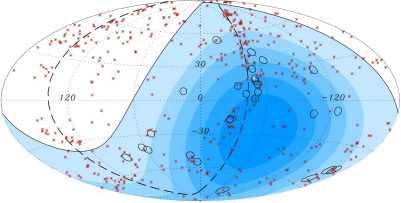


Une prescription

- Tester le signal sur un lot de données indépendant
- On fixe les paramètres de corrélation à ceux donnant le plus grand signal dans la phase exploratoire:
 - $E = 56 \text{ EeV}$
 - $Z = 0.018$
 - $\psi = 3.1^\circ$
- On construit une série de test dont chacun doit être appliqué après l'arrivée d'un événement d'énergie $> 56 \text{ EeV}$
- Les données sont déclarées anisotropes ($CL > 99\%$) si l'un quelconque des test est satisfait avant l'arrivée du 35ième événements Sinon la prescription est abandonnée et aucune conclusion ne peut être tirée concernant l'(an)isotropie des données.
- Le 28 mai 2007, le 8ième test passe avec 6 parmi 8 événements en corrélation

N	4	6	8	10	12	...	30	31	33	34
k_{min}	4	5	6	7	8	...	14	14	15	15
Cumul. p (%)	0.19	0.32	0.40	0.44	0.47	...	0.83	0.87	0.89	0.92

Maintenant on peut étudier le signal

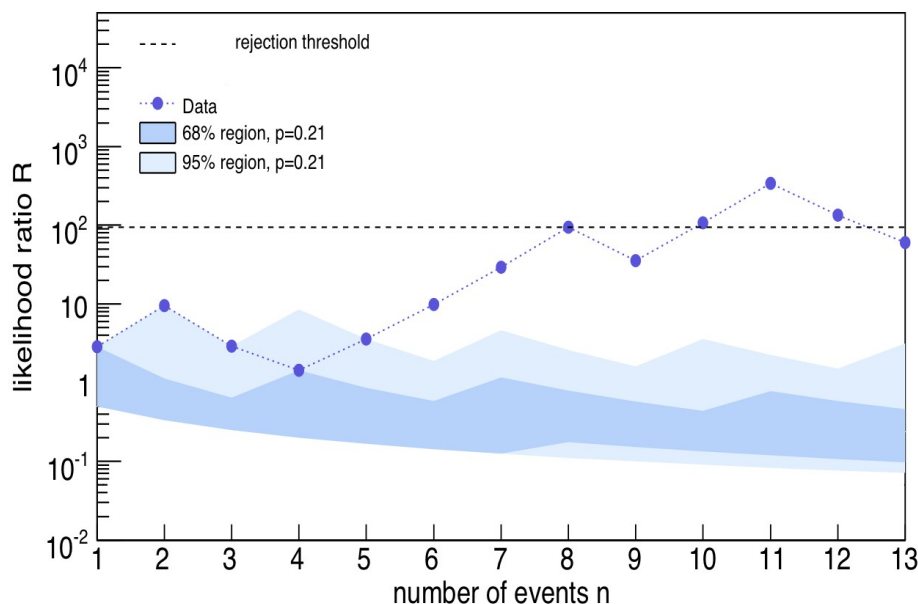


Rapport de vraisemblance

$$R = \frac{\int_{0.21}^1 p_1^k (1 - p_1)^{n-k} dp_1}{0.21^k (1 - 0.21)^{n-k+1}}$$

Erreur type I $\alpha = 1\%$, erreur type II $\beta = 5\%$

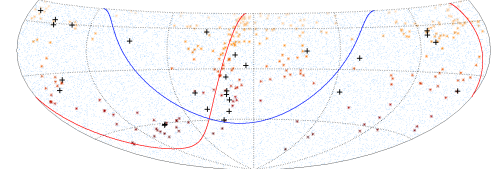
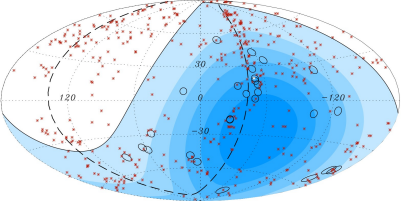
$R < \beta/(1 - \alpha)$ Accepte H_0 (isotropie)
 $R > (1 - \beta)/\alpha$ Accepte H_1 (anisotropie)



Rapport R comme fonction des évènements au dessus de 57 EeV.

L'hypothèse nulle (isotropie) rejetée avec 99% de confiance au 10ième évènement

Les régions colorées indiquent les valeurs attendues pour R dans 68% et 95% des cas isotropes.



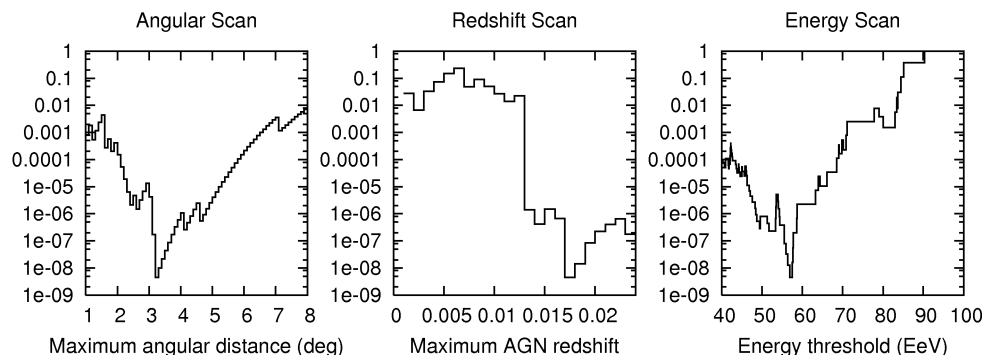
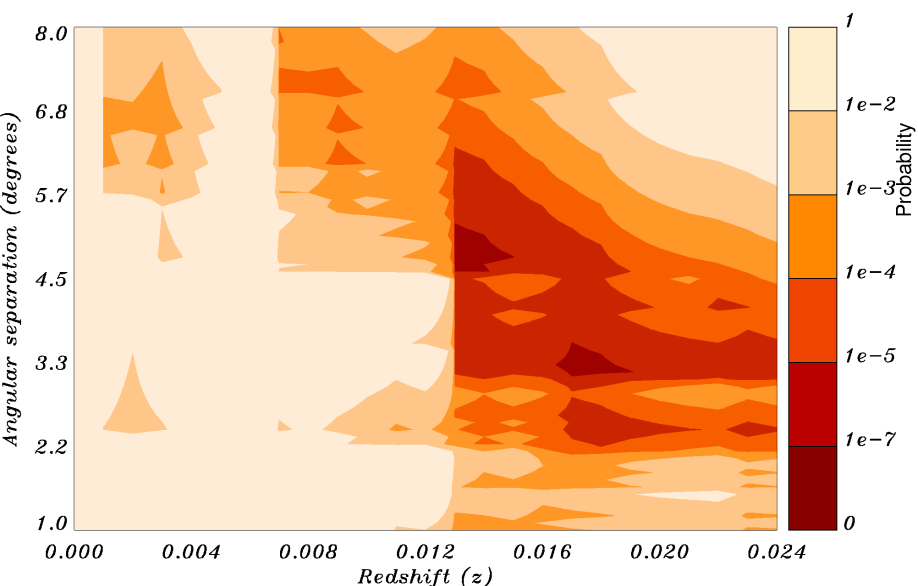
Lot complet (01/01/2004-31/08/2007) 81 évènements au dessus de 40 EeV

- Nouveau minimum : 20 parmi 27 évènements corrélent

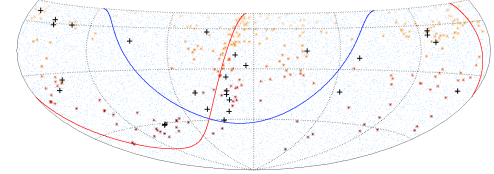
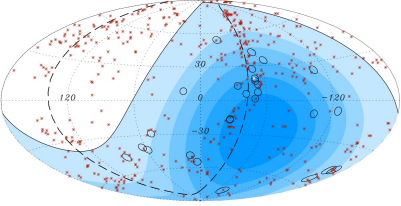
- $E = 57 \text{ EeV}$
- $Z = 0.017$
- $\psi = 3.2^\circ$

5.6 attendus $\rightarrow P_{\min} = 5 \times 10^{-9}$

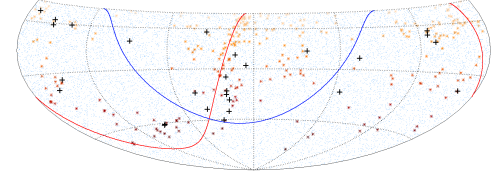
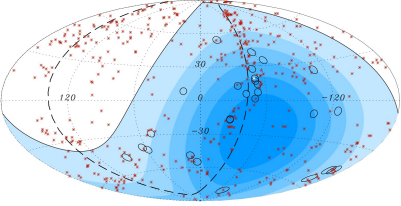
Après correction $P \sim 2 \times 10^3 \times P_{\min} = 10^{-5}$ soit à peu près : 10^{-3} (exploration) $\times 10^{-2}$ (prescription)



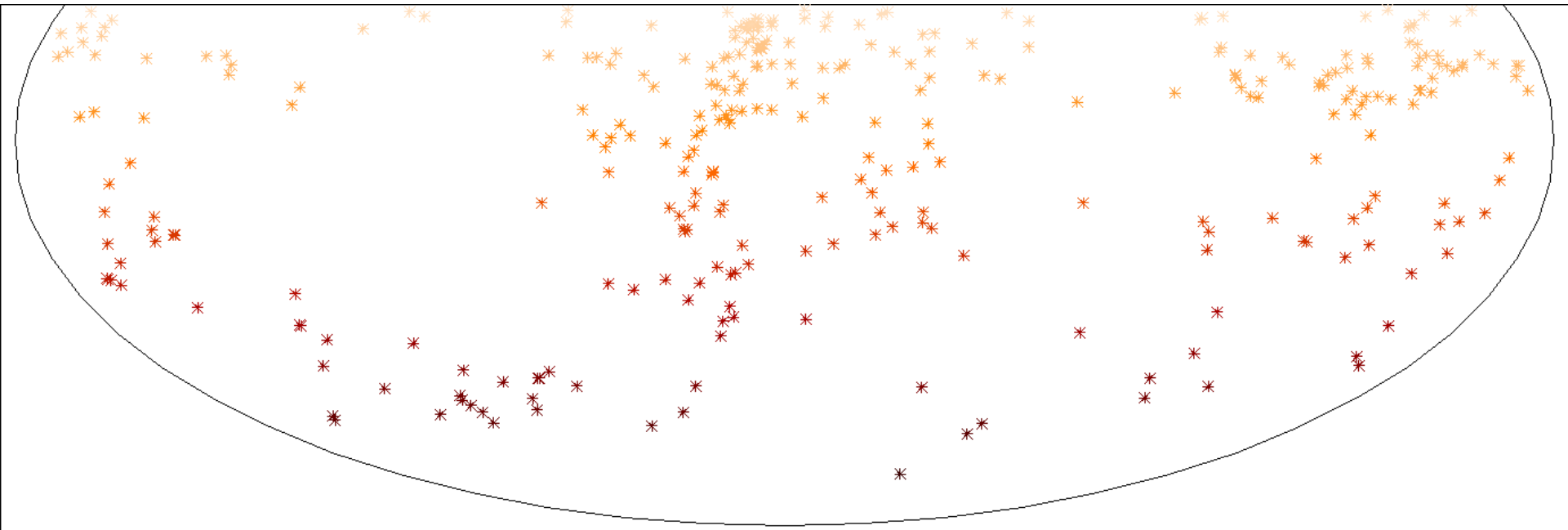
Minimum similaires dans la région
 $E \sim 60 \text{ EeV}$, $z \leq 0.024$, $\psi \leq 6^\circ$

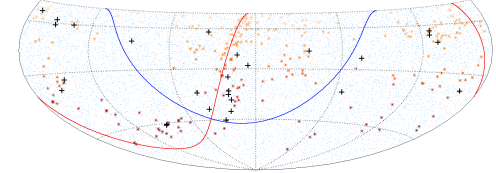
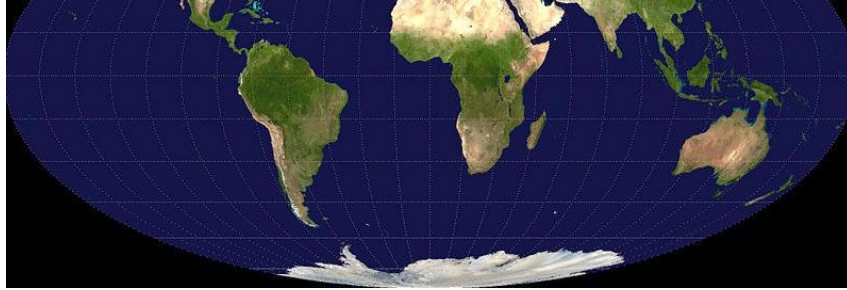
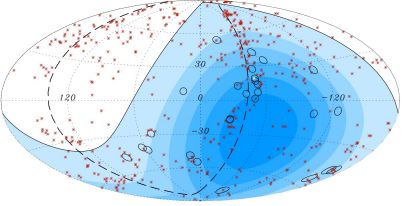


Une carte du Ciel Mollweide iso-exposée

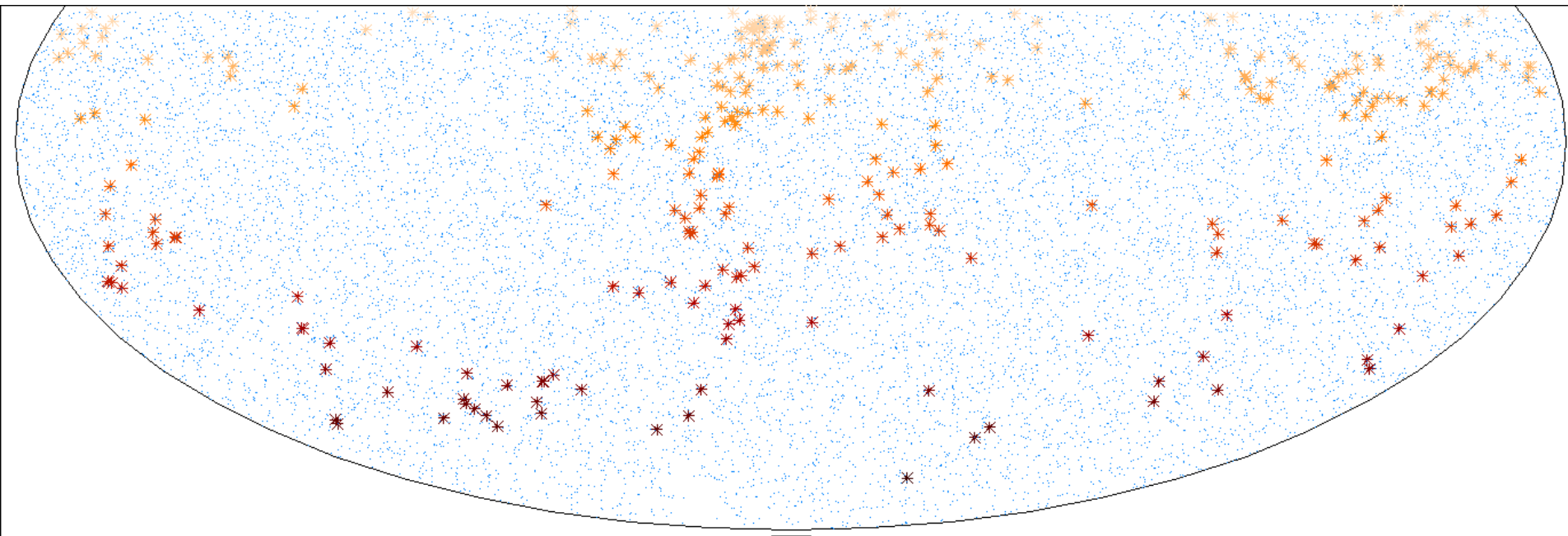


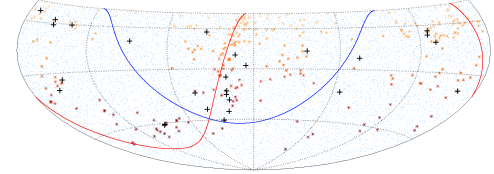
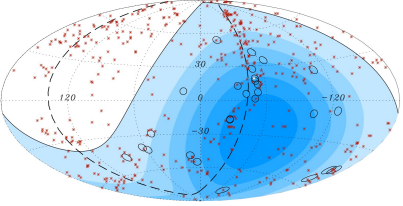
Une carte du Ciel Mollweide iso-exposée



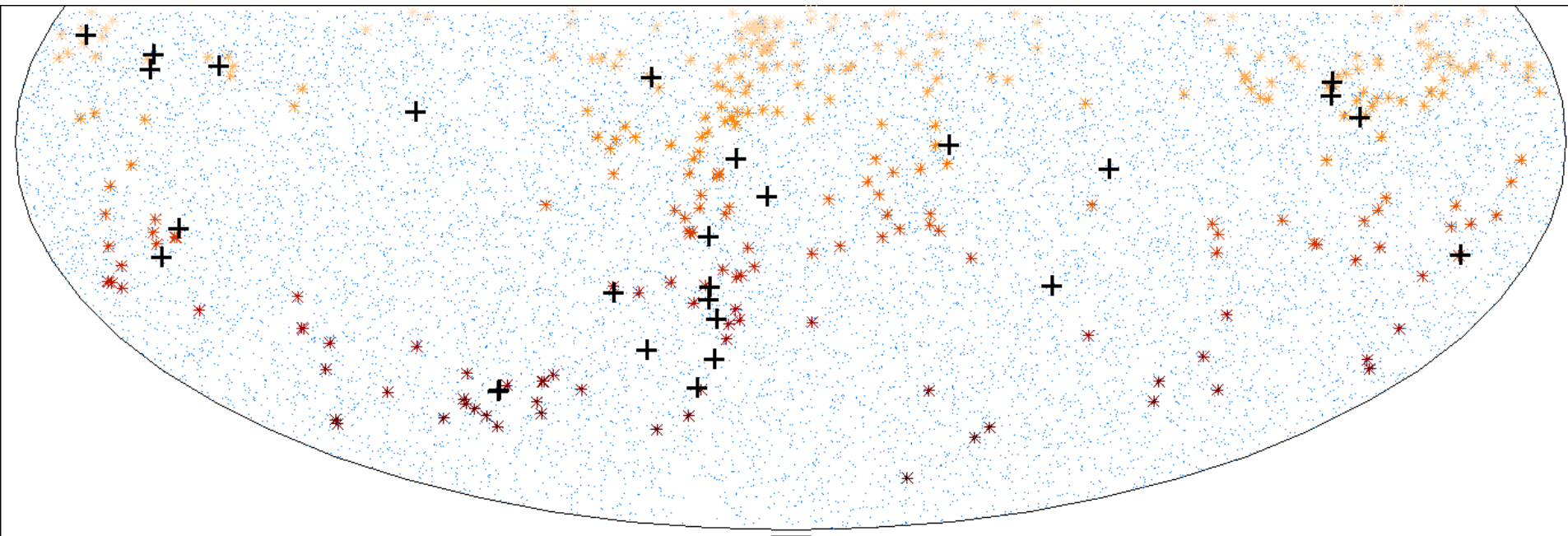


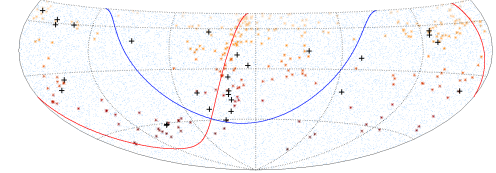
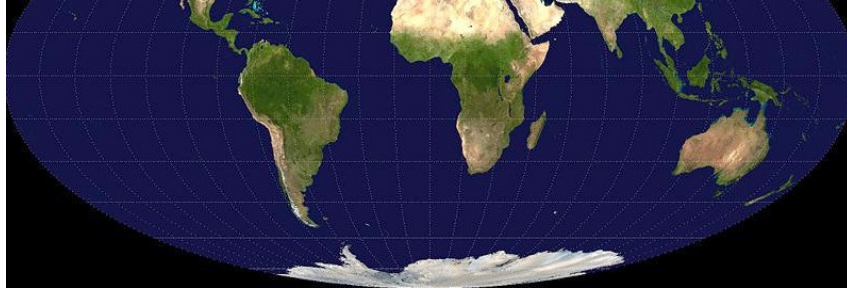
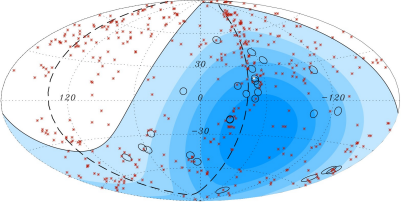
Une carte du Ciel Mollweide iso-exposée



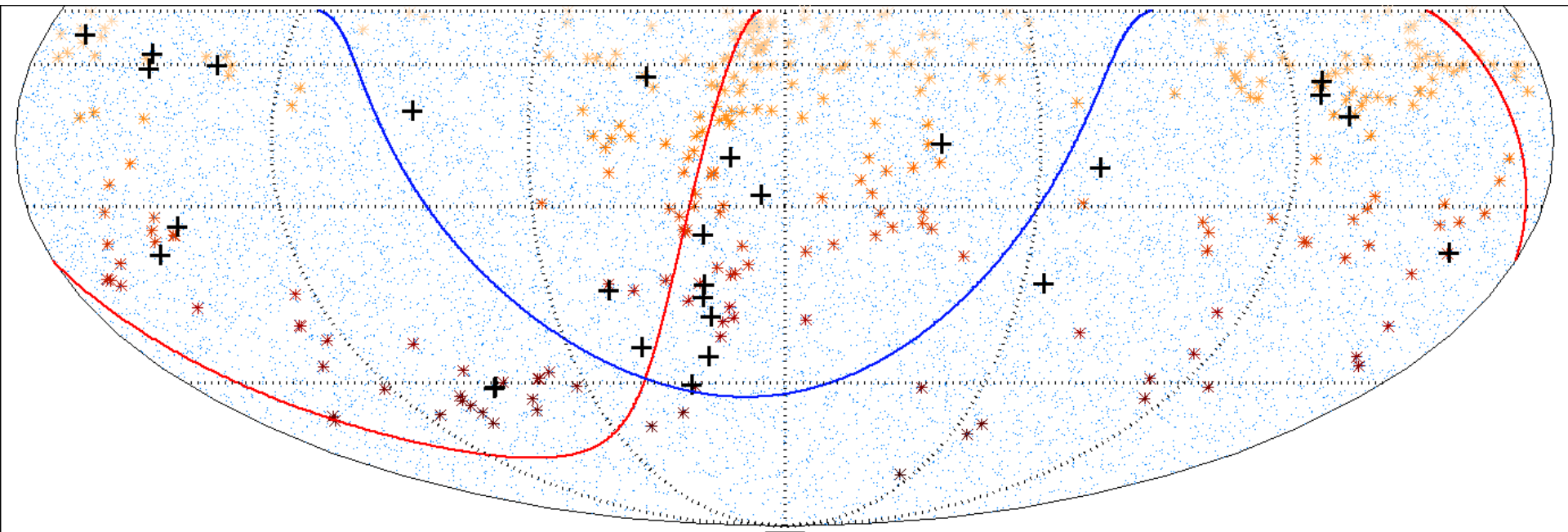


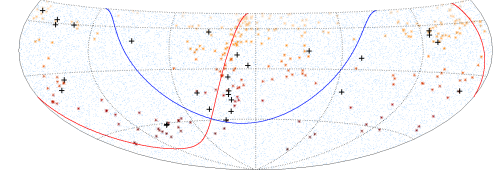
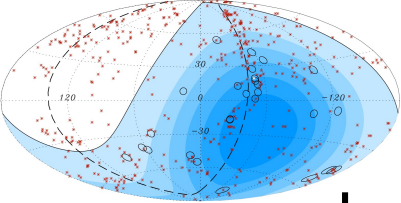
Une carte du Ciel Mollweide iso-exposée



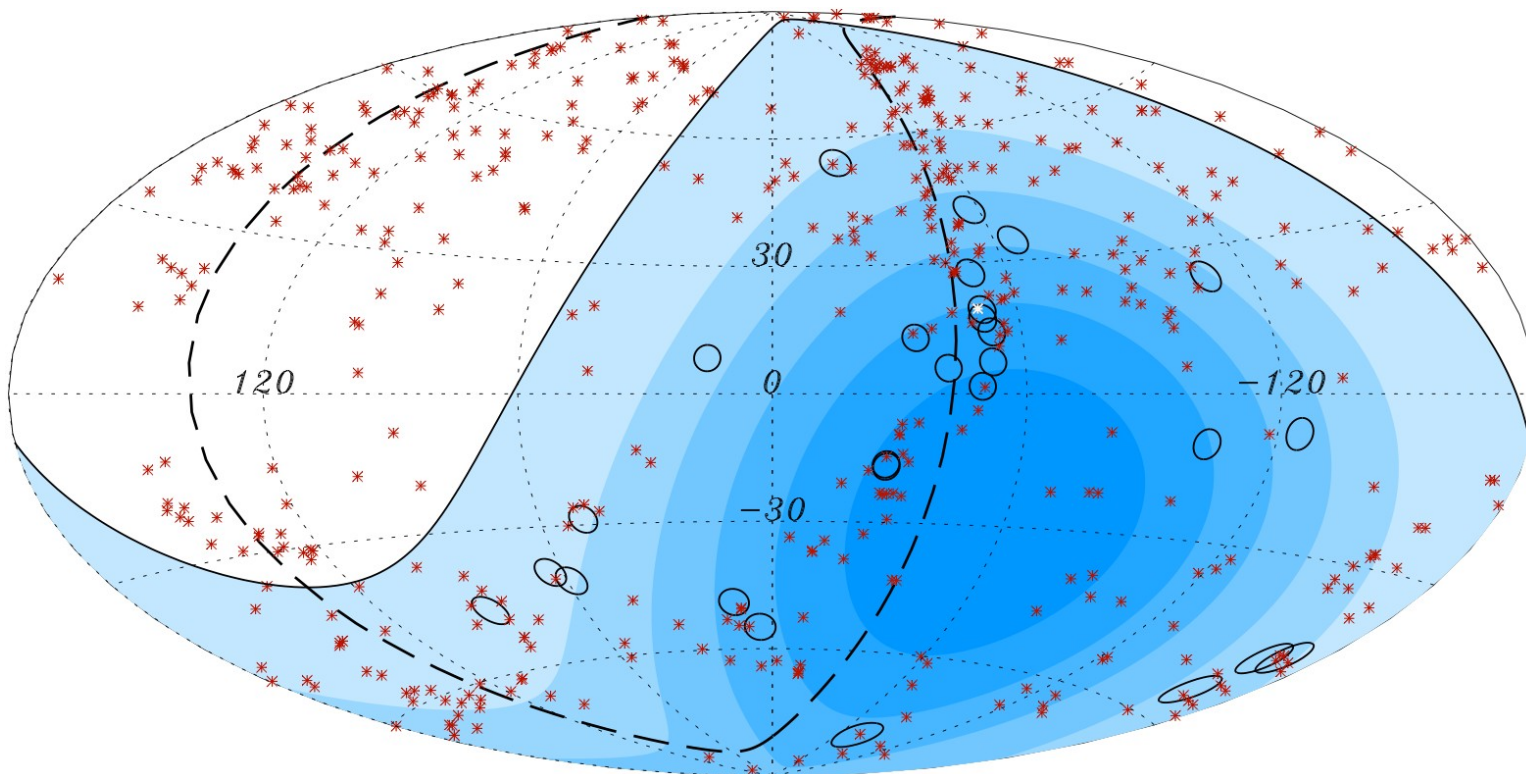


Une carte du Ciel Mollweide iso-exposée

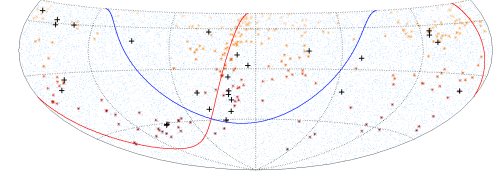
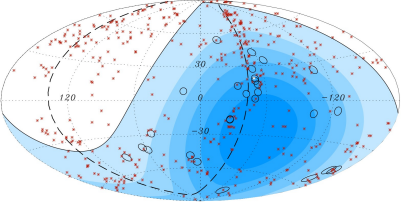




Le Ciel d'Auger en coordonnées Galactiques

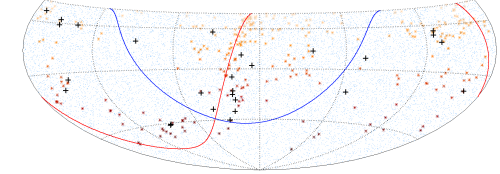
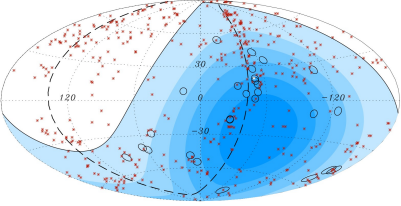


- Cercles noirs (rayon 3.1°) 27 RC avec $E > 57 \text{ EeV}$.
- Étoiles rouges positions des 472 AGN (318 dans le champs de vue) avec $z \leq 0.018$.
- Ligne continue, limite de champs de vue d'Auger sud. Ligne pointillée plan super galactique.
- Bande de couleurs, exposition relative.
- Étoile blanche Centaurus A



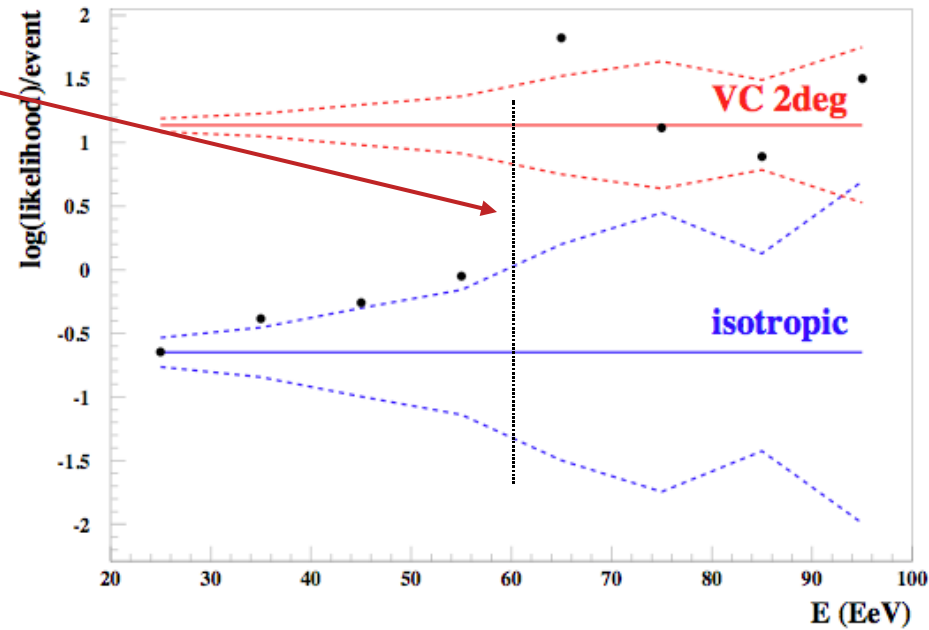
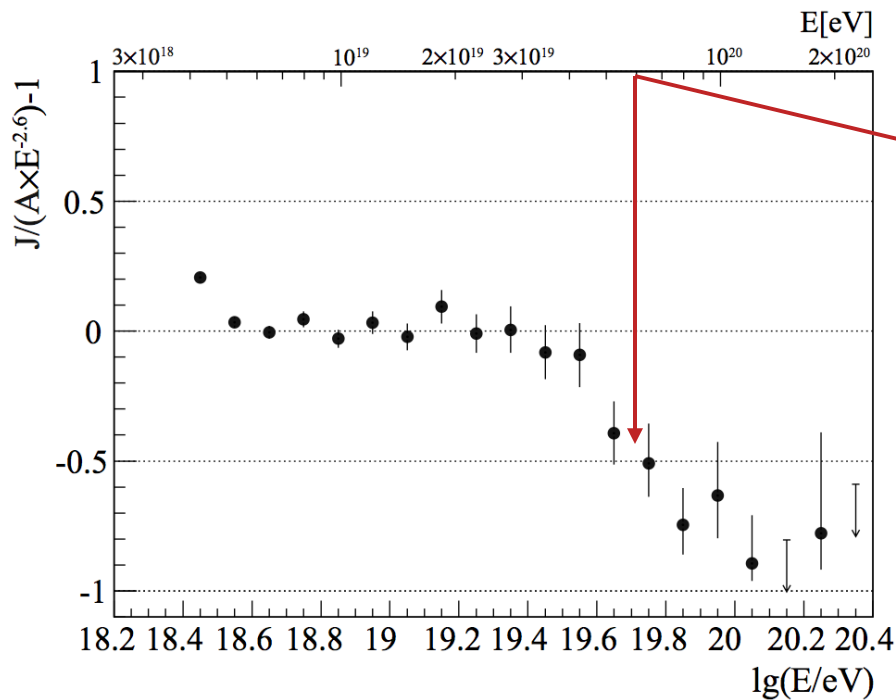
Les accélérateurs

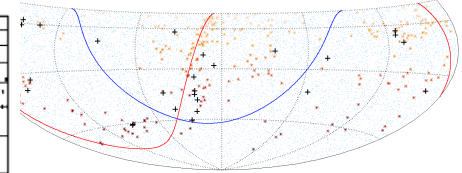
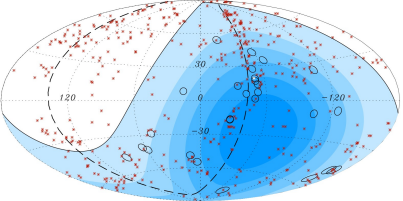
- Peut on en dire quelque chose?
 - Ils ne sont pas dans la Voie Lactée
 - Ils sont très probablement astrophysiques (bottom-up)
 - Les galaxies actives sont des candidats plausibles
- Plus de données pour identifier les sources et leurs caractéristiques



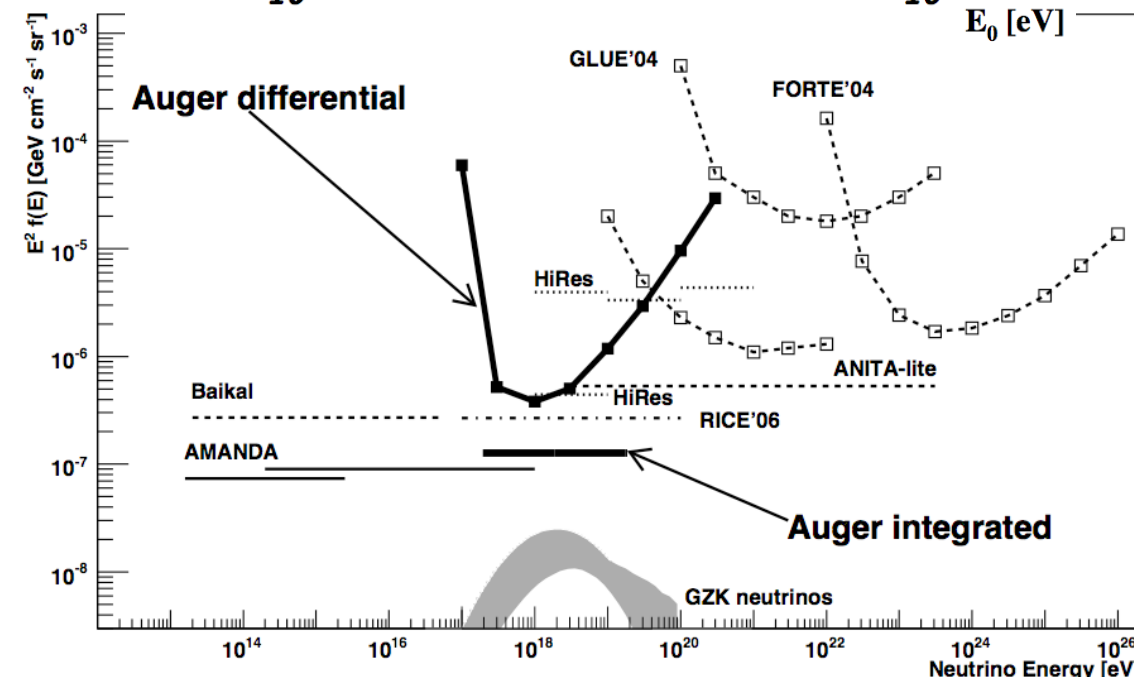
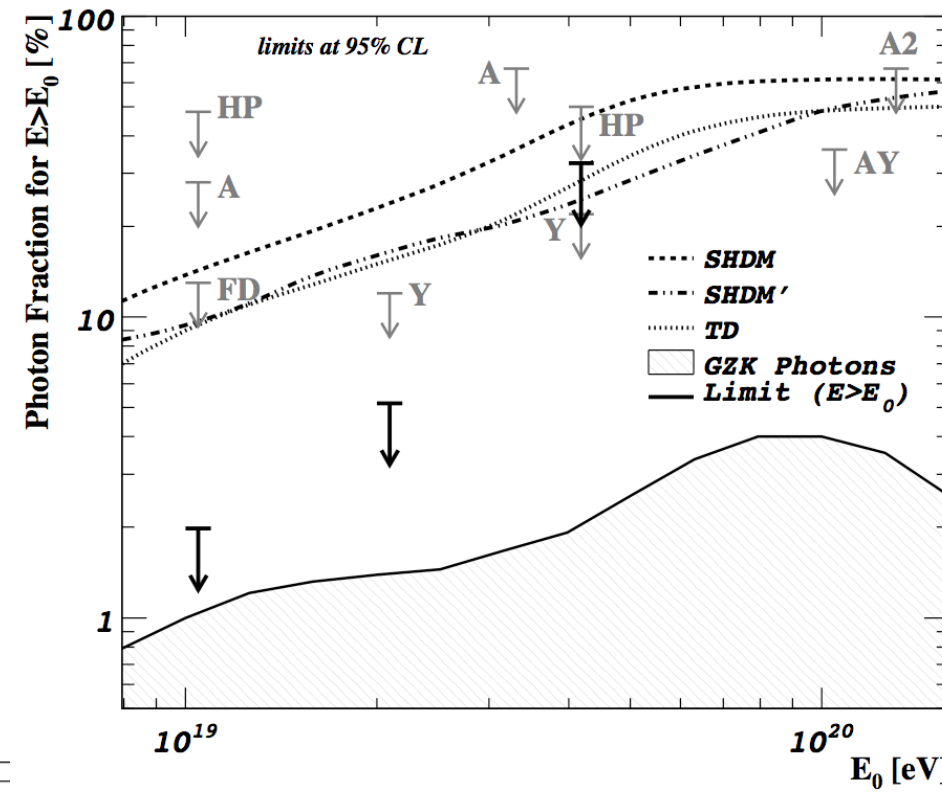
La coupure GZK

Le signal d'anisotropie est maximum là où le flux tombe de 50% par rapport à une loi de puissance

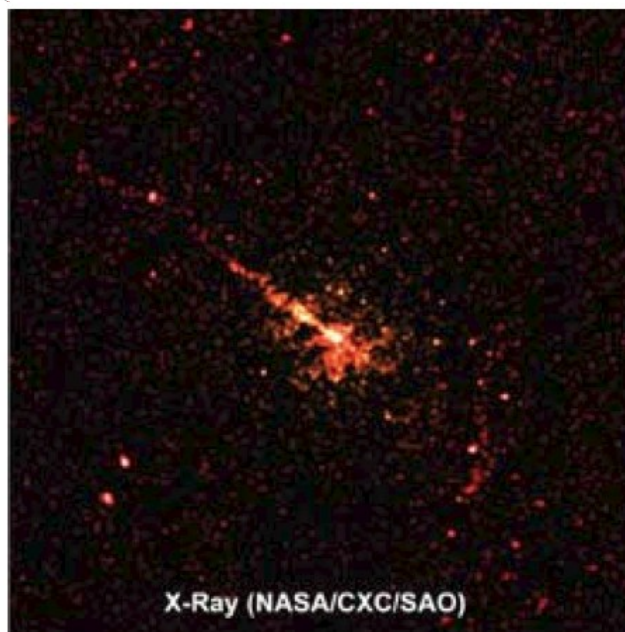
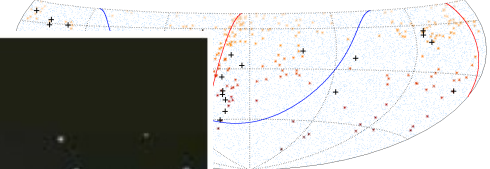
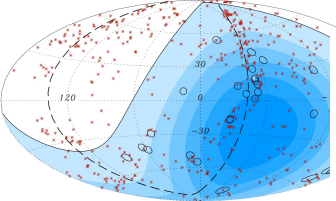




Limite Photon



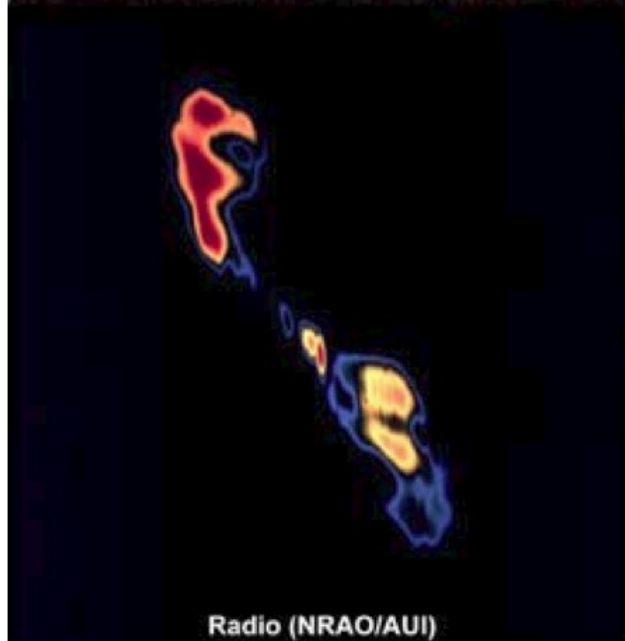
Limite Neutrino



X-Ray (NASA/CXC/SAO)



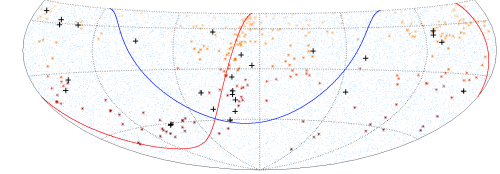
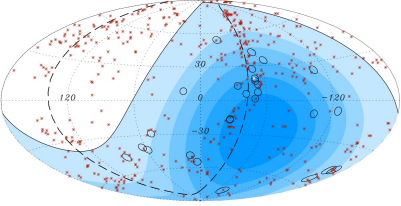
Optical (AURA/NOAO/NSF)



Radio (NRAO/AUI)

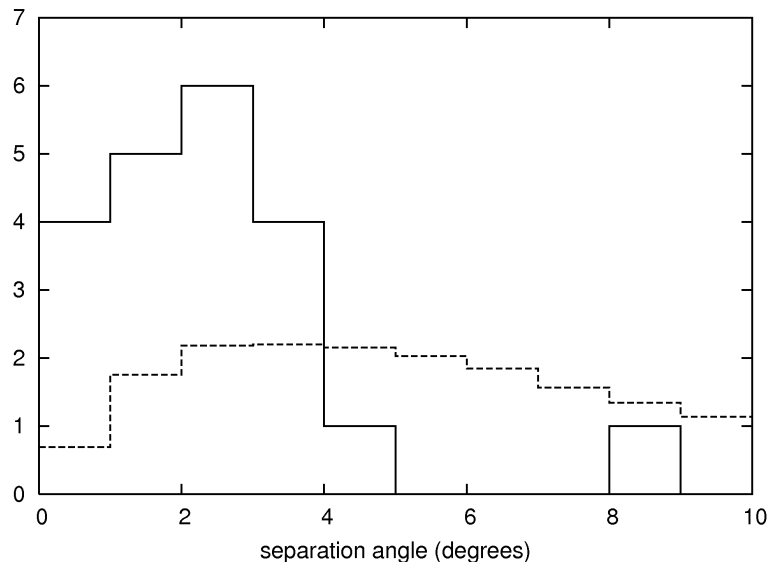


Infrared (2MASS)

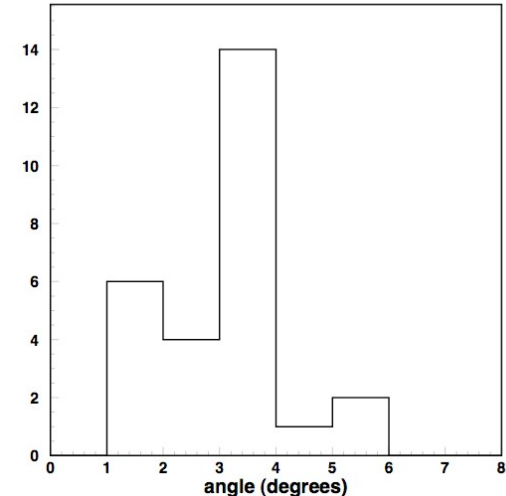
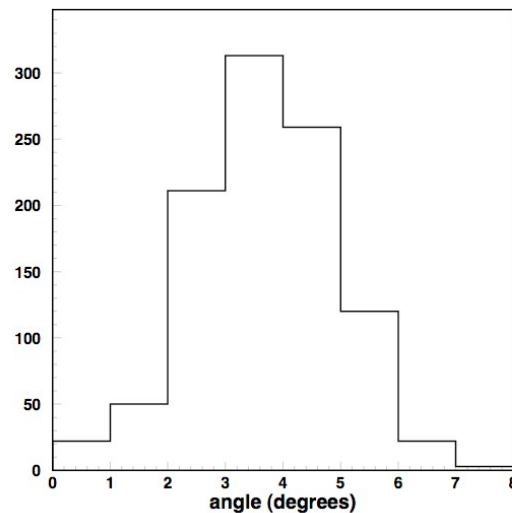


Déflexions magnétiques

$$\delta \simeq 2.7^\circ \frac{60 \text{ EeV}}{E/Z} \left| \int_0^D \frac{d\mathbf{x}}{\text{kpc}} \times \frac{\mathbf{B}}{3 \mu\text{G}} \right|$$



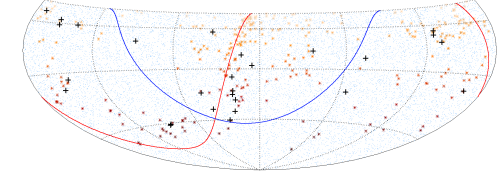
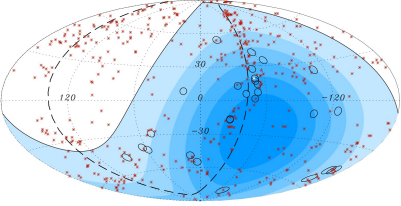
Séparation angulaire à l'AGN la plus proche (21 evts, ligne continue) et distribution moyenne attendue pour un flux isotrope (pointillés)



Distribution des déviations magnétiques pour des protons dans le modèle BSS-S du champs Galactique.

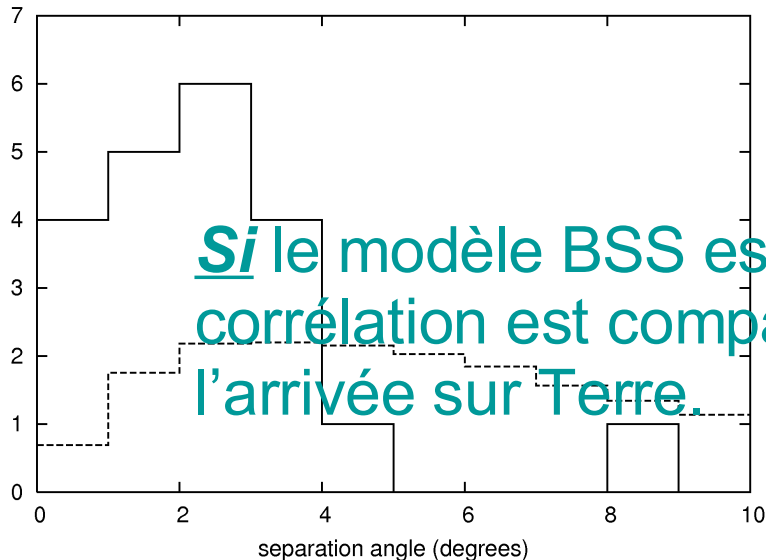
Gauche: 1000 directions, flux isotrope proportionnel à la couverture d'Auger pour $E > 60 \text{ EeV}$.

Droite: déflexions pour les directions d'arrivées observées des 27 évènements avec $E > 57 \text{ EeV}$

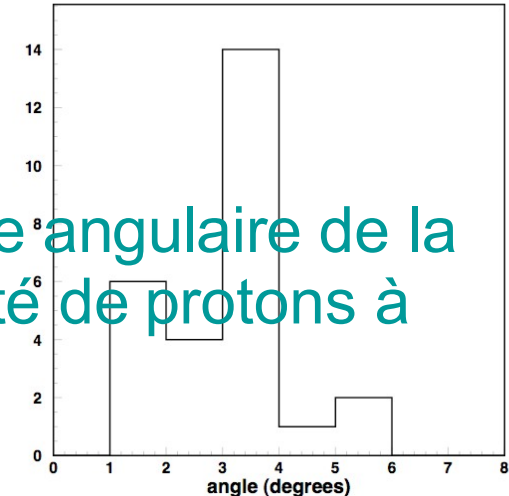
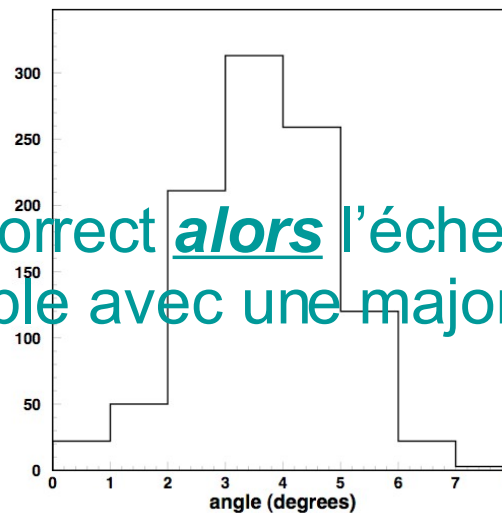


Déflexions magnétiques

$$\delta \simeq 2.7^\circ \frac{60 \text{ EeV}}{E/Z} \left| \int_0^D \frac{d\mathbf{x}}{\text{kpc}} \times \frac{\mathbf{B}}{3 \mu\text{G}} \right|$$



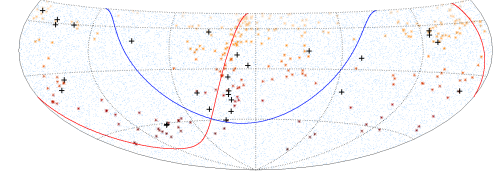
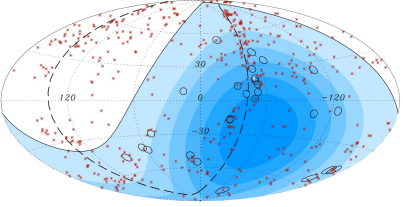
Séparation angulaire à l'AGN la plus proche (21 evts, ligne continue) et distribution moyenne attendue pour un flux isotrope (pointillés)



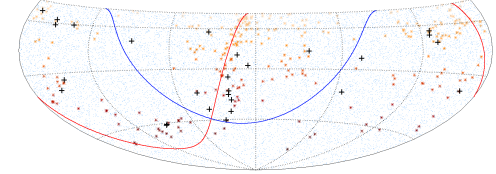
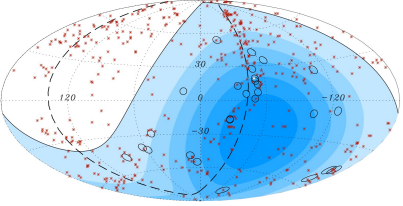
Distribution des déviations magnétiques pour des protons dans le modèle BSS-S du champs Galactique.

Gauche: 1000 directions, flux isotrope proportionnel à la couverture d'Auger pour $E > 60 \text{ EeV}$.

Droite: déflexions pour les directions d'arrivées observées des 27 évènements avec $E > 57 \text{ EeV}$

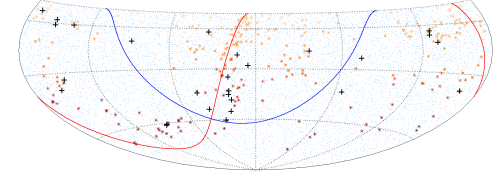
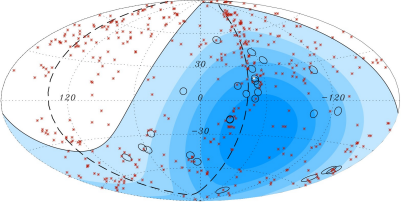


Conclusions



Conclusions

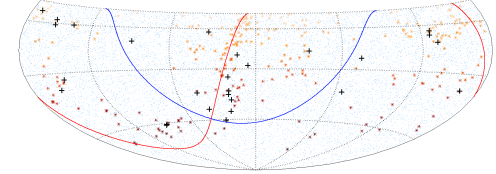
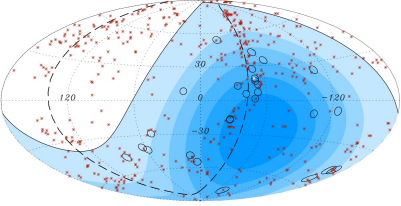
Ce n'est qu'un commencement....



Conclusions

Ce n'est qu'un commencement....

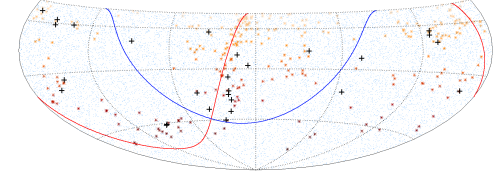
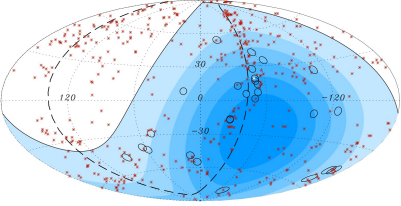
- L'anisotropie des RC-UHE est établie



Conclusions

Ce n'est qu'un commencement....

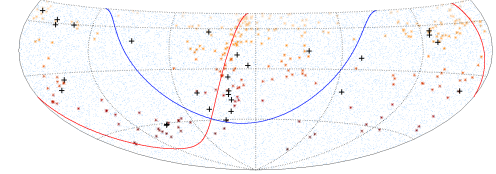
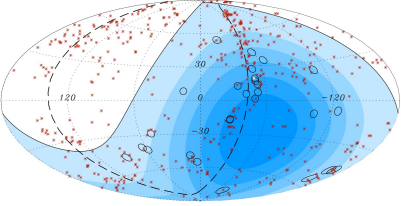
- L'anisotropie des RC-UHE est établie
- La corrélation observée accrédite l'hypothèse que les RC sont en majorité des protons provenant de galaxies actives à l'intérieur de l'horizon



Conclusions

Ce n'est qu'un commencement....

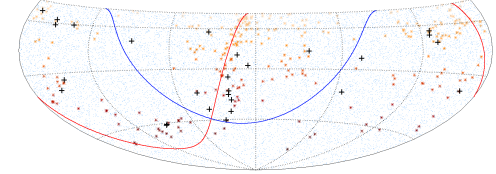
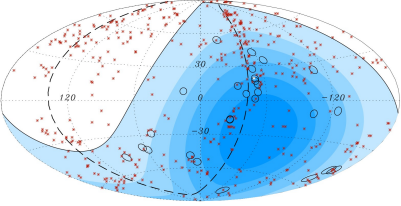
- L'anisotropie des RC-UHE est établie
- La corrélation observée accrédite l'hypothèse que les RC sont en majorité des protons provenant de galaxies actives à l'intérieur de l'horizon
- Les sources peuvent être autre chose que les AGN, mais distribution spatiale semblable



Conclusions

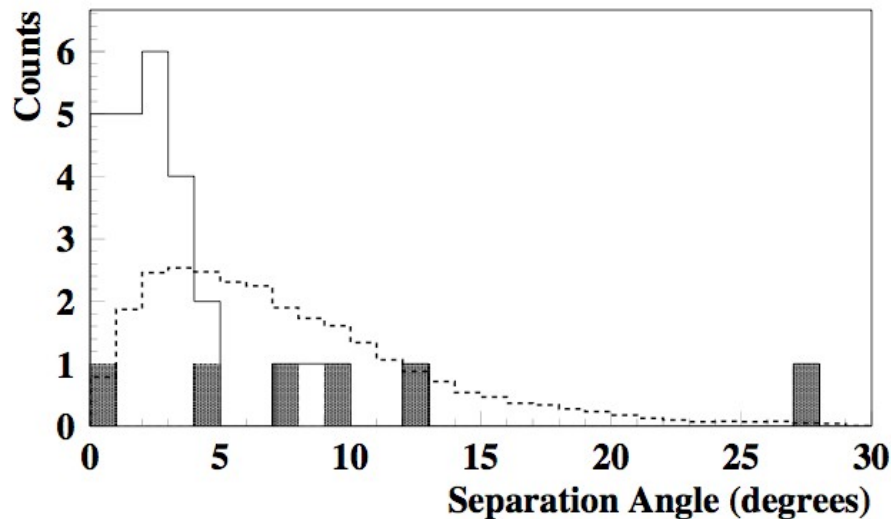
Ce n'est qu'un commencement....

- L'anisotropie des RC-UHE est établie
- La corrélation observée accrédite l'hypothèse que les RC sont en majorité des protons provenant de galaxies actives à l'intérieur de l'horizon
- Les sources peuvent être autre chose que les AGN, mais distribution spatiale semblable
- Auger Nord permettra d'accroître considérablement la puissance des études en particulier pour l'identification des sources, les mesures des champs magnétiques galactiques et extra galactiques, la compréhension des mécanismes d'accélération et peut être quelques surprises...



Plan Galactique, déviations angulaires

- Second minimum $P = 8 \times 10^{-9}$ at $E=57$ EeV, $z=0.013$ et $\theta = 4.8^\circ$
- Le catalogue V-C est incomplet en direction du plan Galactique, les effet magnétiques sont aussi plus importants dans le disque. Parmi les 7 événements hors corrélation, 5 sont à moins de 12° du plan Galactique.



im devient ($|b| < 12^\circ$) :

3.2° ,

ion (5 attendus)

ordre des moments multipolaires ($Y_{l,m}$)

ion des données. Au dessus de 50 EeV

to-corrélation