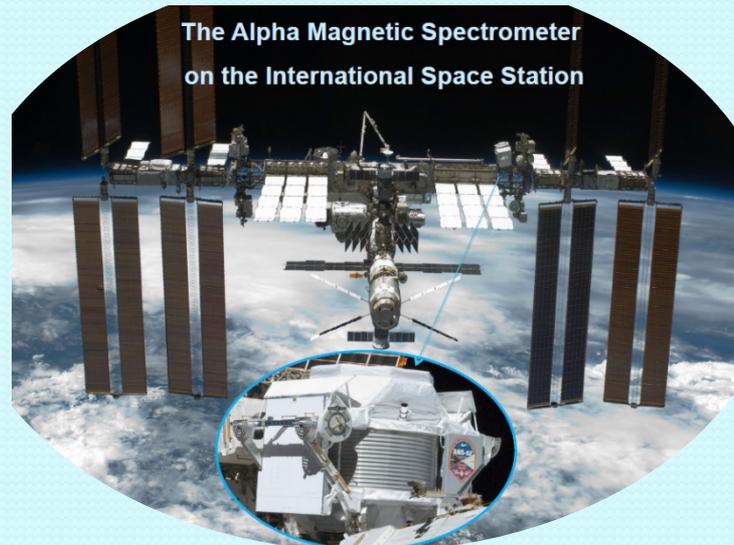


AMS : STATUT, RESULTATS ET PROSPECTIVES



AMS-02

- Détecteur de **rayons cosmiques**
 - Particules **chargées** et rayons **gamma**
 - Entre **100 MeV** et **1 TeV**
- **Décollage** de Cap Canaveral le 16 mai 2011
 - Avant-dernière navette américaine !
- **Déploiement** sur **l'ISS** le 19 mai 2011
 - En orbite à **400 km**
- Prévu pour opérer **pendant 20 ans**
- Collaboration d'environ **600 personnes** en Europe, USA & Asie
- Détecteur contrôlé entièrement depuis le **CERN**



RAYONS COSMIQUES

● Rayons cosmiques

- 99 % de nucléons
 - dont 89 % de protons, 10 % hélium, 1 % noyaux plus lourds
- Electrons 1 % et positons 0,1 %

● Rayons cosmiques primaires

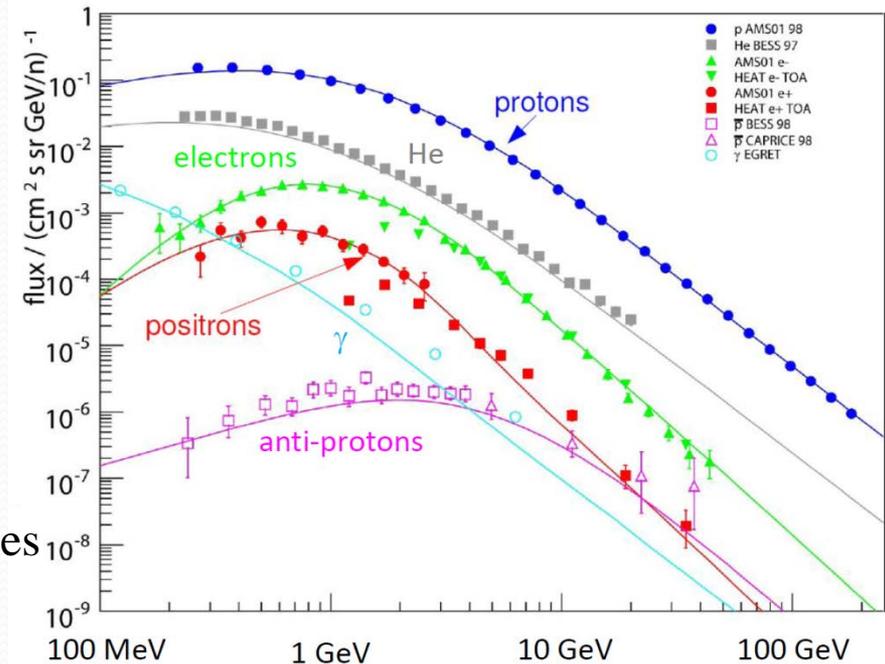
- Produits directement par une **source**
- Sources : restes de supernovas, nébuleuses de pulsars, noyaux actifs de galaxie, quasars, ...

● Rayons primaires

- Electrons, protons, hélium, carbone, ...

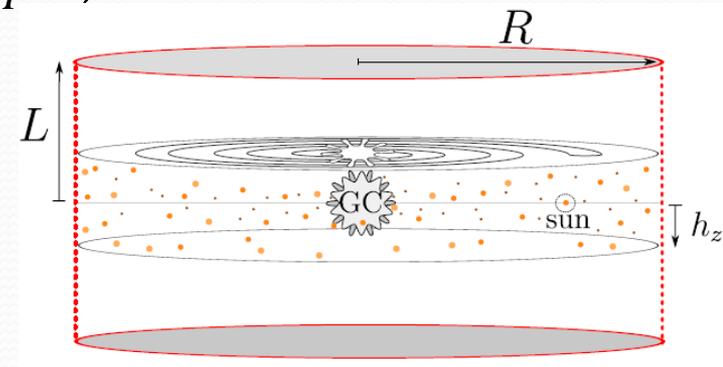
● Rayons cosmiques secondaires

- Proviennent de **l'interaction** du rayonnement primaire sur le milieu interstellaire
- Rayons secondaires
 - Positons, antiprotons, bore, ...



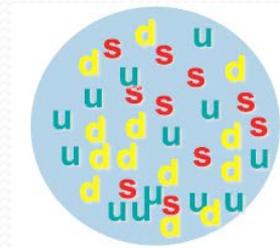
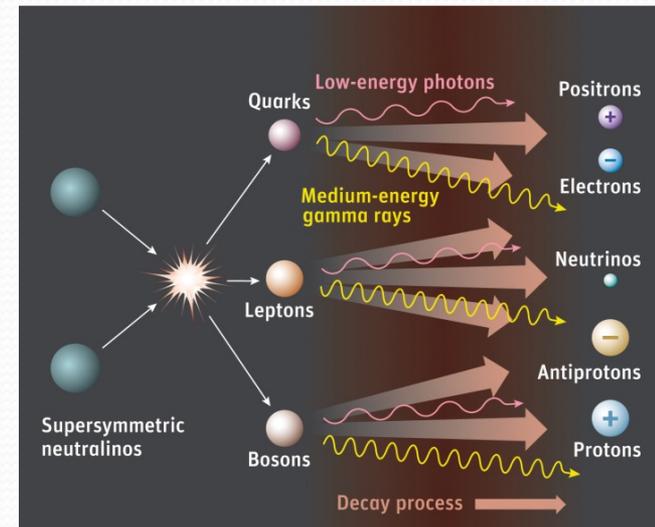
PROPAGATION DES RAYONS COSMIQUES

- Rayons cosmiques **proviennent**
 - De l'extérieur du **système solaire**
 - $E < 10^{16}$ eV : de notre **Galaxie**
 - Ultra hautes énergies : de l'**extérieur** de notre Galaxie
- Propagation équivalente à **une diffusion** dans le milieu galactique
 - **Champ magnétique irrégulier** du halo diffusif = marche au hasard
 - Coefficient de **diffusion** $K(E) = K_0 \beta R^\delta$ ($R = p/Z$)
 - Paramètres libres : K_0 , δ , L , V_c , V_a
 - Les incertitudes sur ces paramètres sont transcrits en **trois jeux de paramétrisations**
 - Min, Med, Max



OBJECTIFS D'AMS

- Mesures de **flux de rayons cosmiques**
 - Comprendre la **propagation** des rayons cosmiques dans notre Galaxie
- Recherche indirecte de **matière noire**
 - En particulier **positons** et **antiprotons** produits lors de son annihilation
- Recherche d'**antimatière primordiale**
 - **Anti-hélium** relique du Big-Bang ou **anti-carbone** issus d'anti-étoiles
- Surprises? **Strangelets?**



Détecteur à radiation
de transition
Identifie les e^+ , e^-

DETECTEUR

Temps de vol
 Z, E



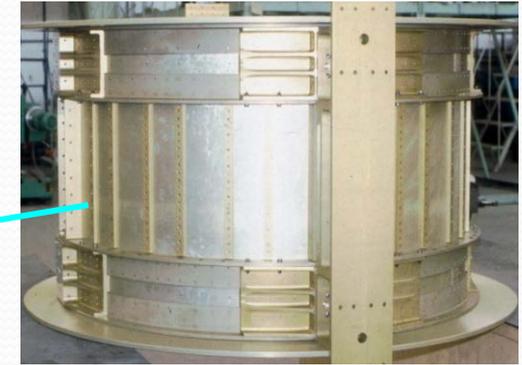
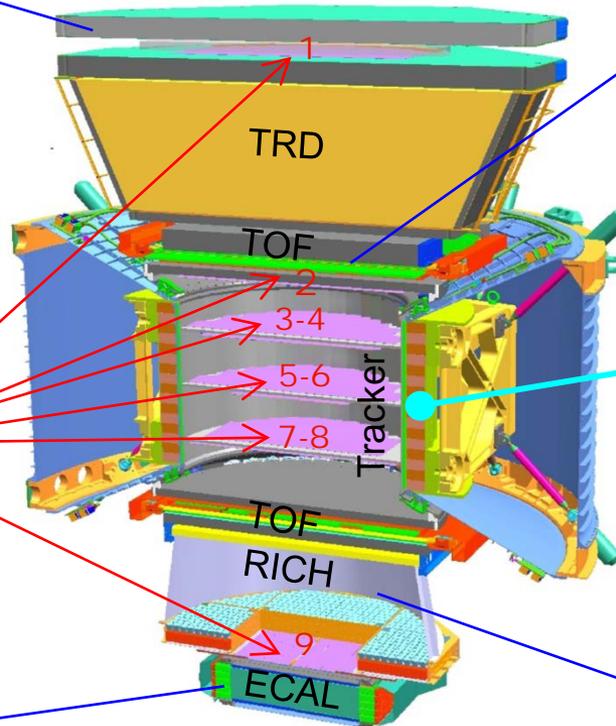
Trajectomètre au silicium
 Z, P



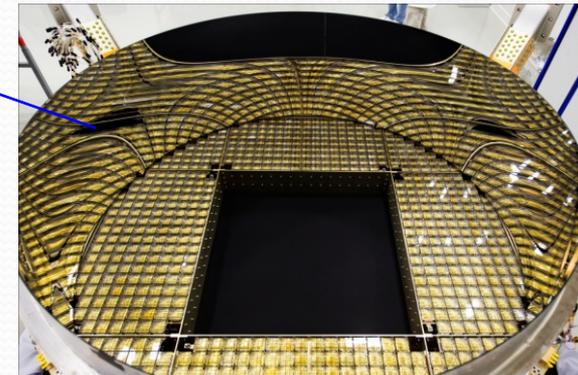
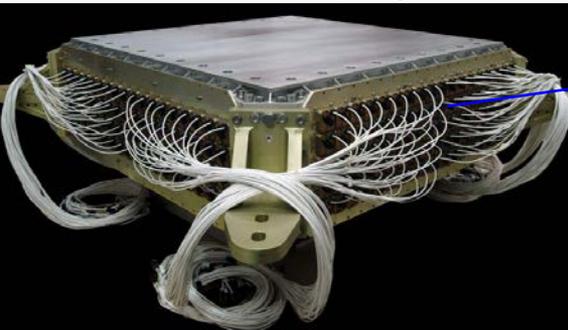
Aimant 0.14 T
 $\pm Z$



Calorimètre EM
 E des e^+ , e^- , γ

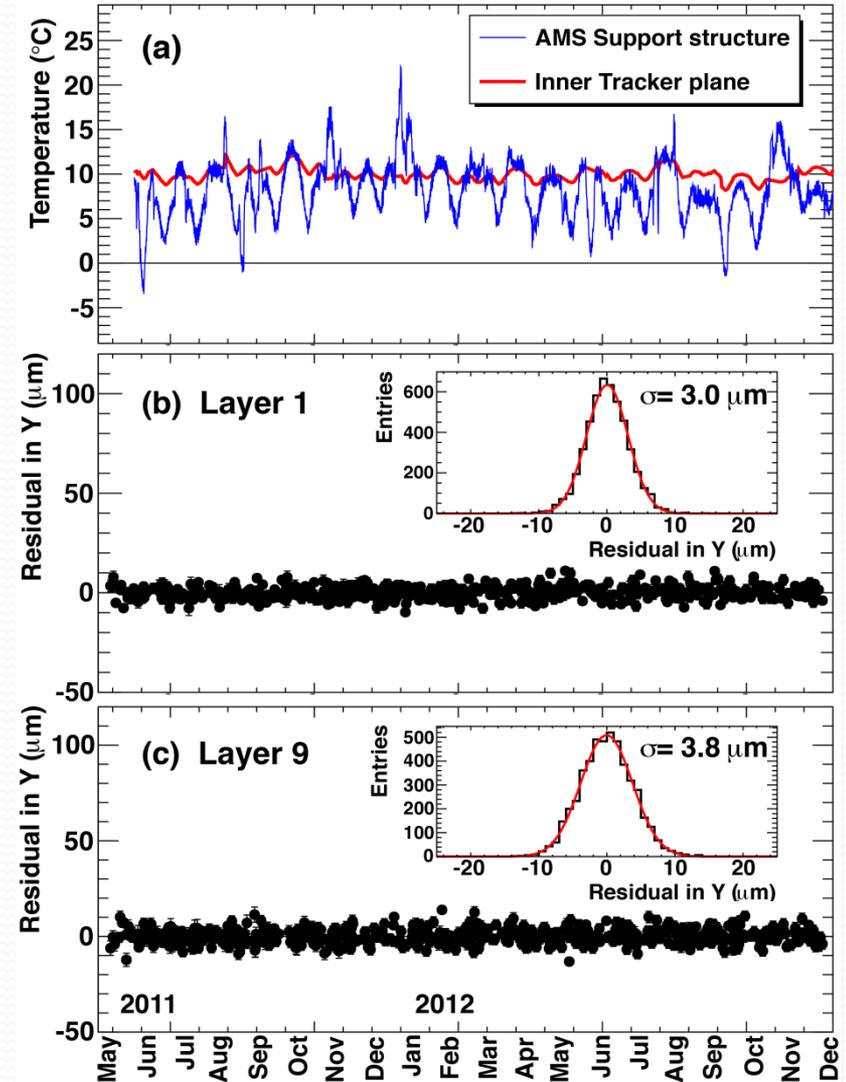


RICH
 Z, E

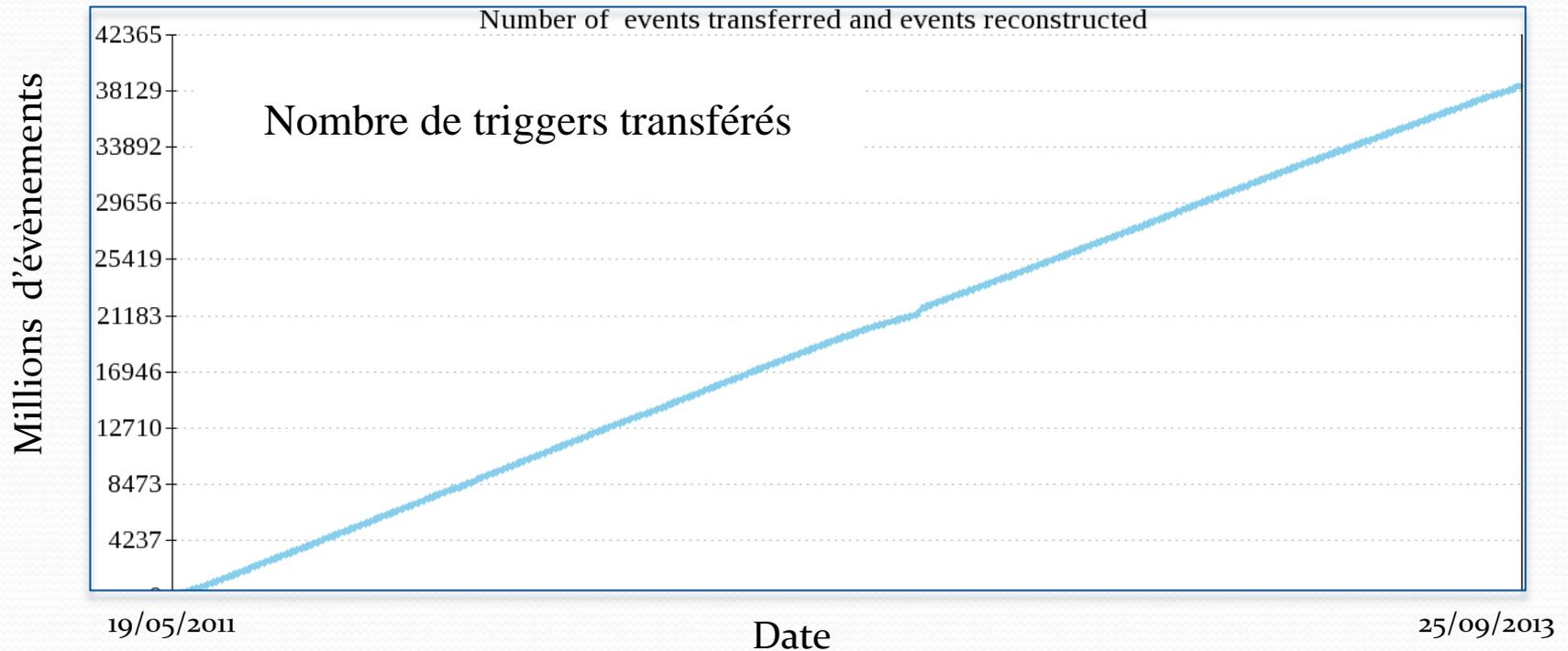


TEMPERATURES

- Plans extérieurs du trajectographe subissent des écarts de température
 - Engendre des déplacements des plans de $100\ \mu\text{m}$
- Ces déplacements sont suivis grâce aux rayons cosmiques
 - Précision de $3\text{-}4\ \mu\text{m}$



DONNEES



- **Fonctionnement en continu 7j/7 24h/24** depuis plus de deux ans
 - **80 %** de temps effectif de prise de données
- **38 milliards de trigger**
 - **Après sélection** : 300 millions de protons, 7 millions d'électrons, 700 000 positons, ...
- **10 % des données totales prévues**

FRACTION DE POSITONS

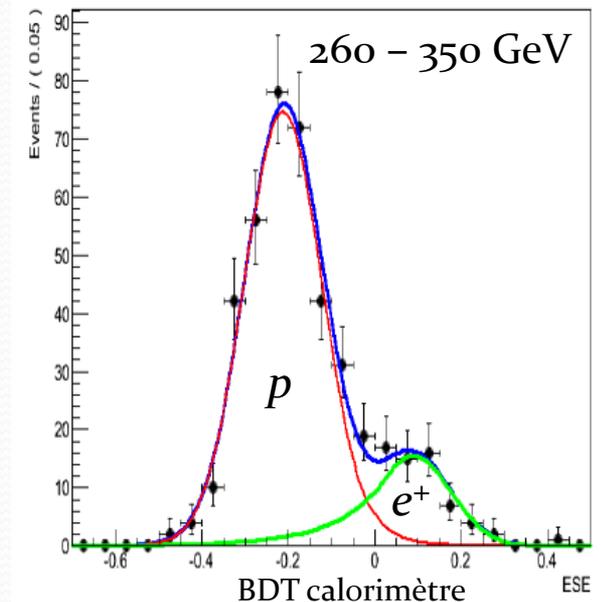
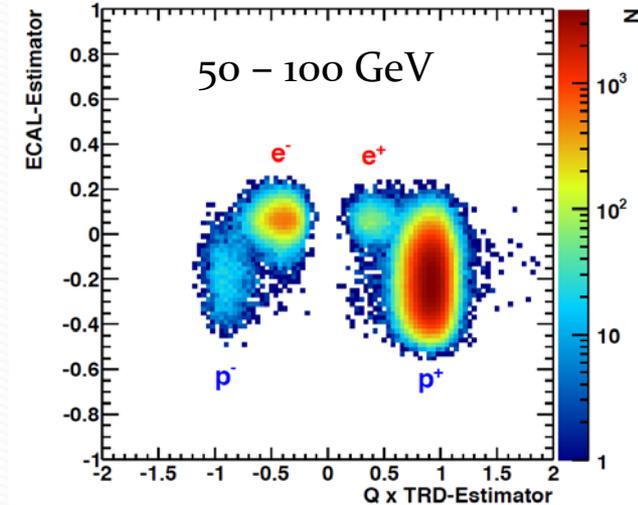
- **Positons** : prévus uniquement d'origine secondaire
- Excès de positons par rapport à la prédiction des secondaires = source de positons primaires
 - Matière noire s'annihilant, **pulsars** ?

- **Fraction de positons**
$$F = \frac{\Phi_{e^+}}{\Phi_{e^+} + \Phi_{e^-}} = \frac{N_{e^+}}{N_{e^+} + N_{e^-}}$$

- Permet de **factoriser** les acceptances et efficacités
- **Simplifie** les erreurs systématiques
- **Analyse basée sur**
 - Le **TRD** : rapport de vraisemblance
 - Le **trajectographe** : E/p
 - Le **calorimètre** : arbre de décision BDT (LAPP)

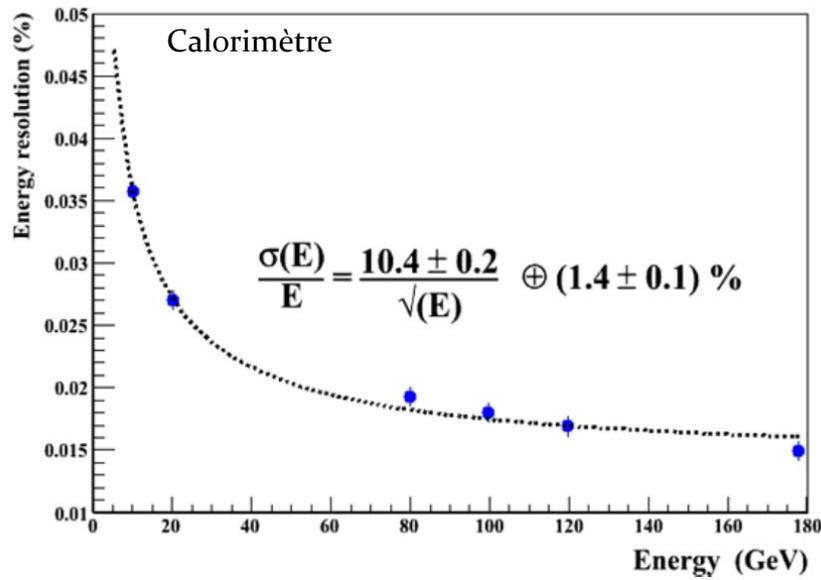
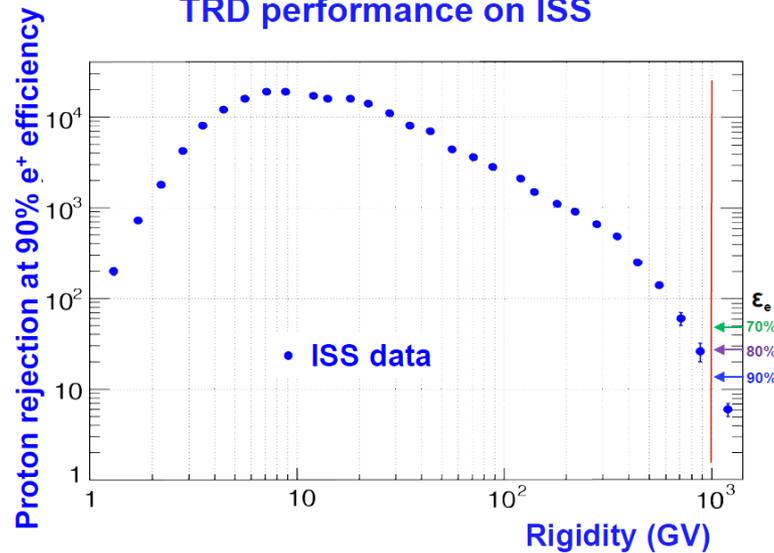
FRACTION DE POSITONS

- Séparation entre **protons** et **électrons/positons**
- A plus **haute énergie** (> 300 GeV)
 - Le TRD **moins efficace** pour discriminer entre e^-/e^+ et p
 - Le calorimètre reste **performant**
 - Il faut beaucoup de **statistique** pour déterminer la PDF et effectuer le comptage

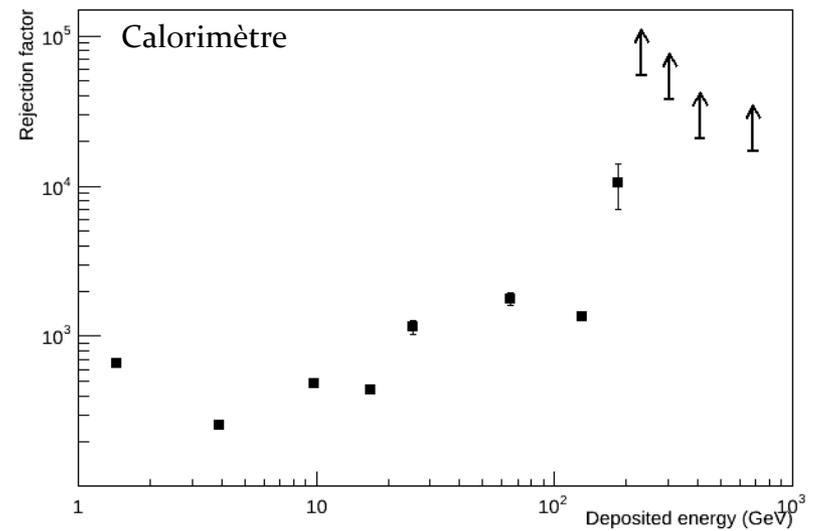


PERFORMANCES TRD ET ECAL

TRD performance on ISS

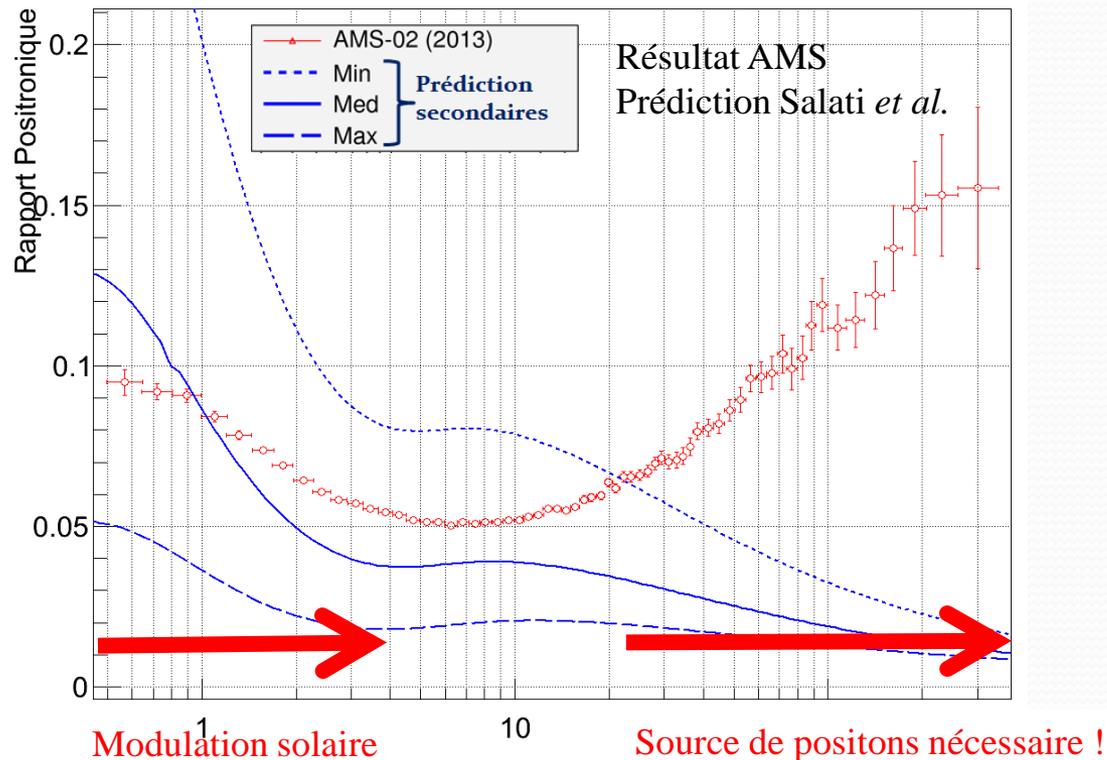


Background rejection with 90 % efficiency cut



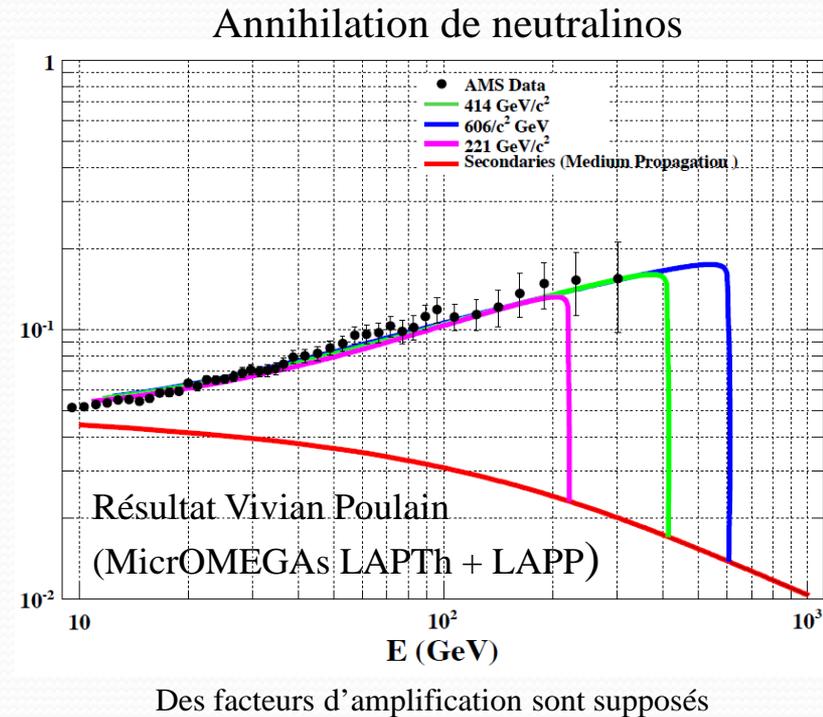
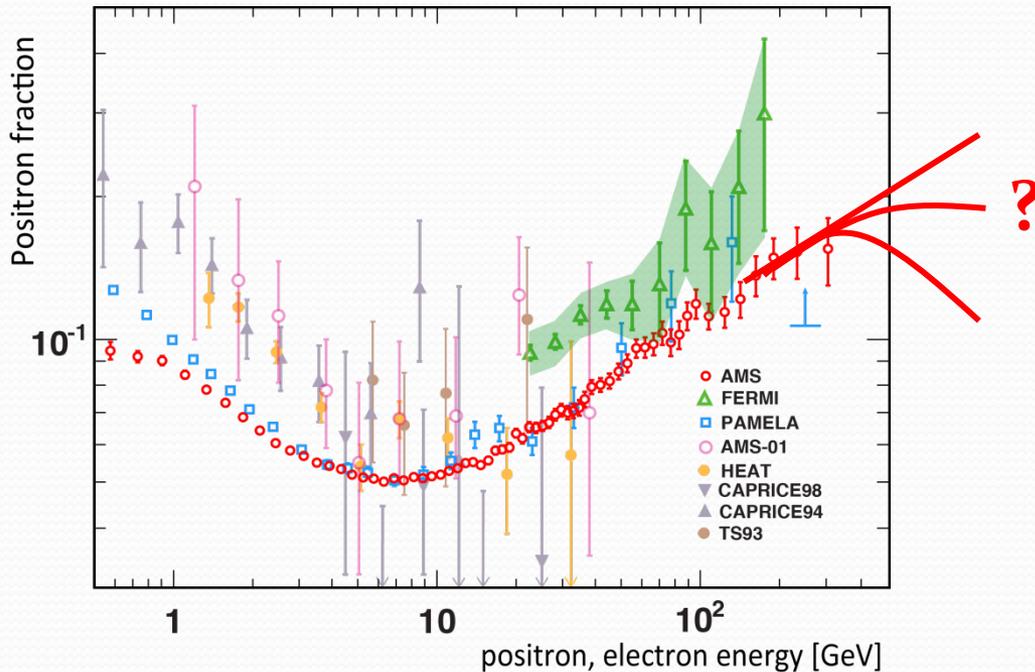
FRACTION DE POSITONS

- **Remontée** observée pour la fraction de positons
 - **Incompatible** avec production des secondaires
 - Une **source de positons primaires** est nécessaire !



FRACTION DE POSITONS

- Il faut maintenant mesurer à plus haute énergie
 - Le flux diminuant en $1/E^3$, il faut accumuler beaucoup de statistique pour obtenir une réponse jusqu'à 1 TeV
 - La fraction monte-t-elle, reste-t-elle constante ou redescend-elle ??
- Information importante par rapport aux différents modèles
 - Annihilation matière noire ? Pulsars ?



FLUX D'ELECTRONS ET POSITONS

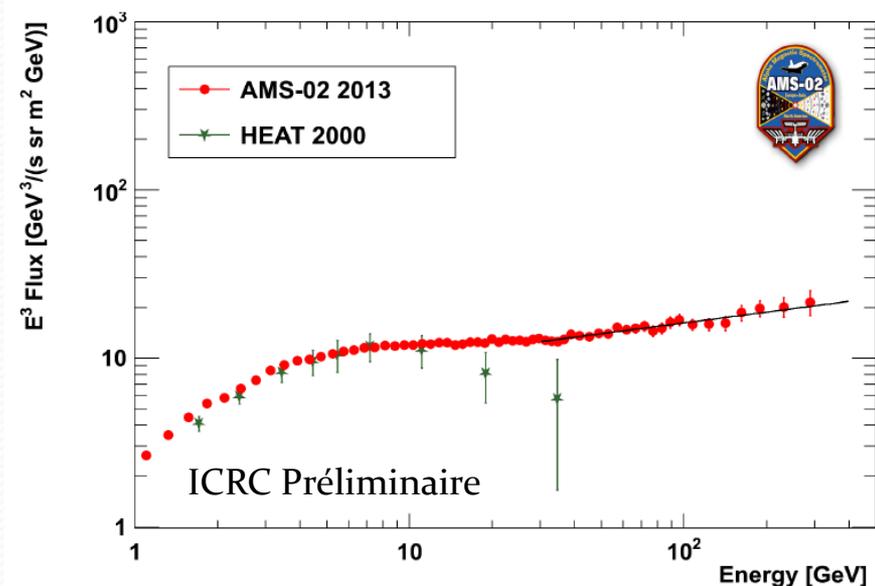
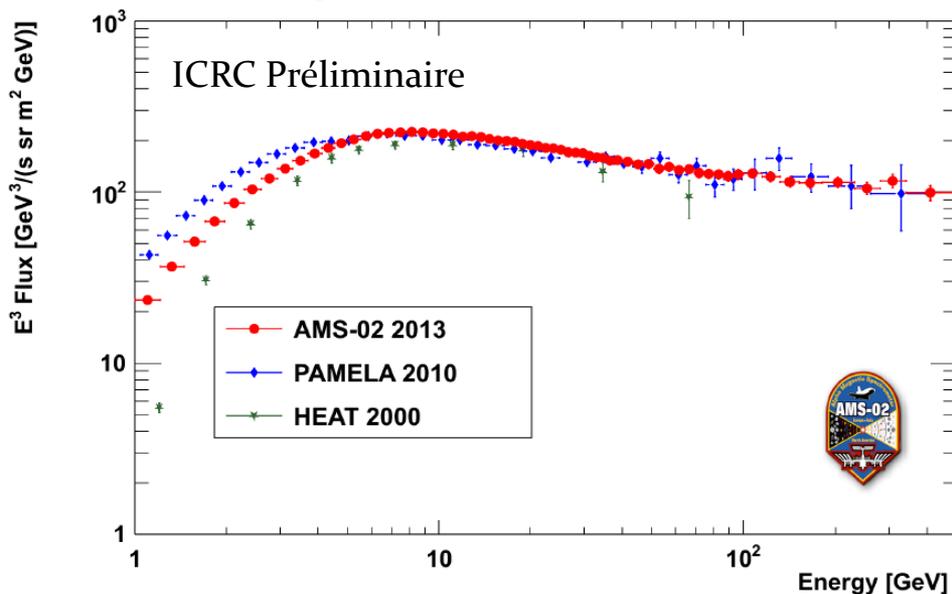
- Les flux apportent plus d'information pour les modèles que la fraction

- On obtient le flux via

$$\frac{N}{A \times \varepsilon_{Trig.} \times \varepsilon_{sel.} \times T \times dE}$$

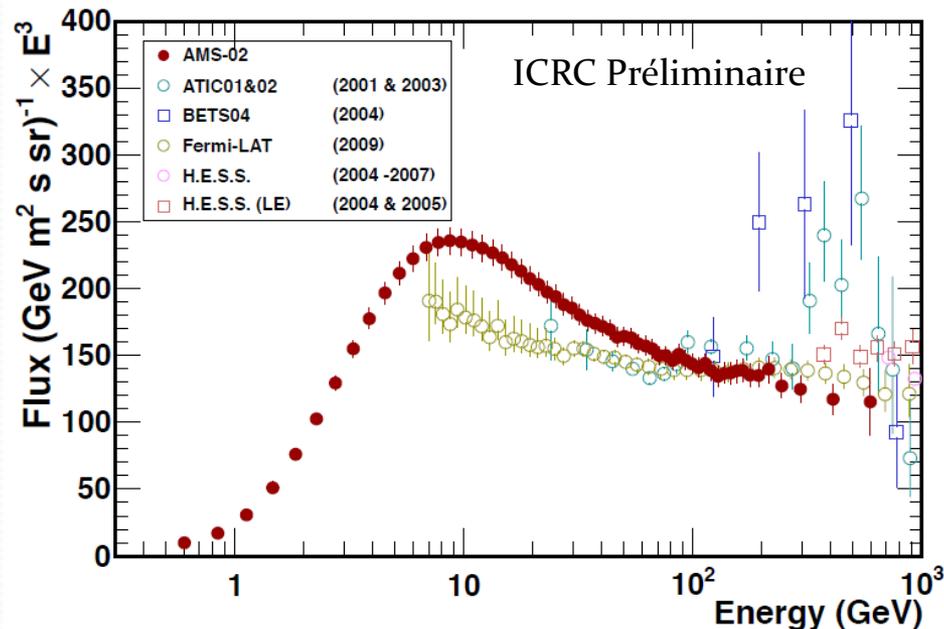
- A **acceptance**, $\varepsilon_{Trig.}$ et $\varepsilon_{sel.}$

efficacités du trigger et de la sélection, T **temps** d'exposition



FLUX D'ELECTRONS ET POSITONS

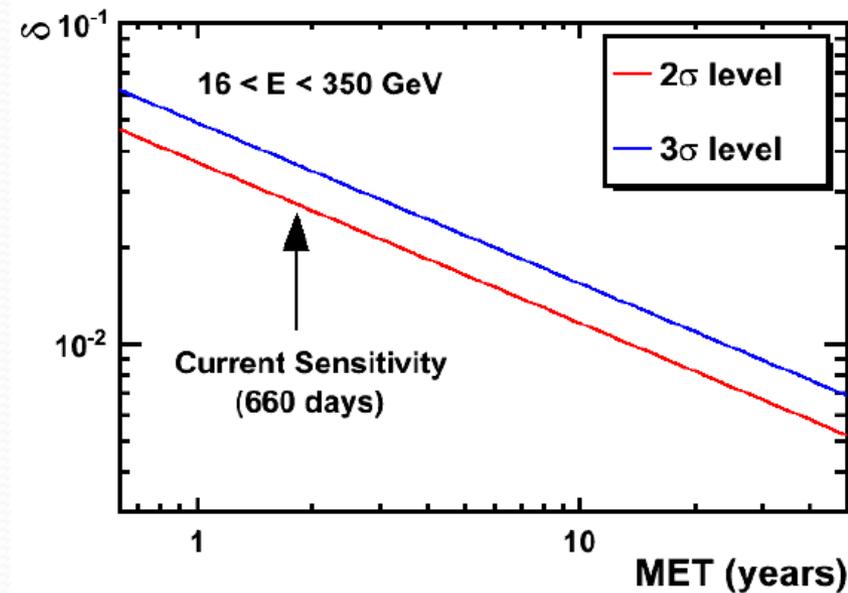
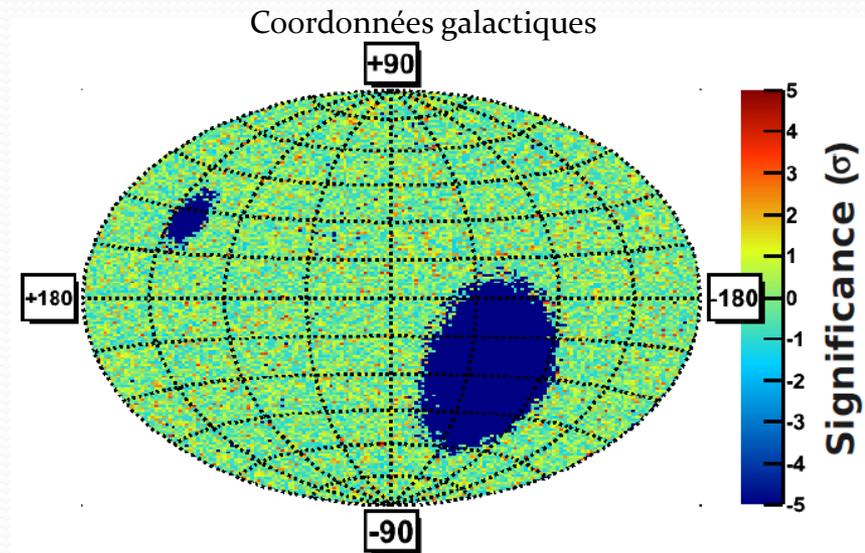
- Pour la **somme des flux**, désaccord net avec
 - La mesure de **Fermi** à 10-100 GeV
 - Les structures vues **à hautes énergies**



- Souligne l'**importance** de ces mesures d'AMS
 - AMS mesurera avec une résolution de **2 %** en énergie à 1 TeV

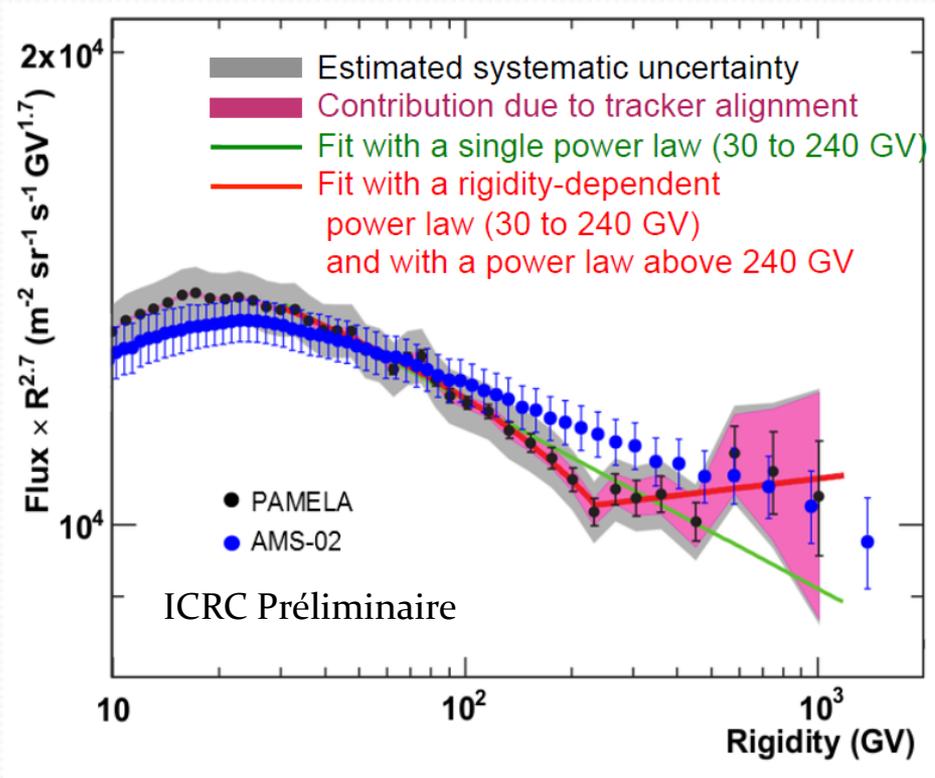
ANISOTROPIE DES POSITONS

- Les observations montrent l'existence d'un **nouveau phénomène** créant des positons
 - Cette **nouvelle source** peut induire une **anisotropie** des positons
- AMS : les fluctuations relatives de la fraction de positons ne montrent **pas d'anisotropie significative**
- Limite sur le paramètre d'anisotropie dipolaire
 - $\delta < 0,030$ pour $16 < E < 350$ GeV
- Dans **10 ans**, AMS sera sensible à 3σ à $\delta = 0,014$
 - **Contraintes fortes** sur les **pulsars**



FLUX DE PROTONS

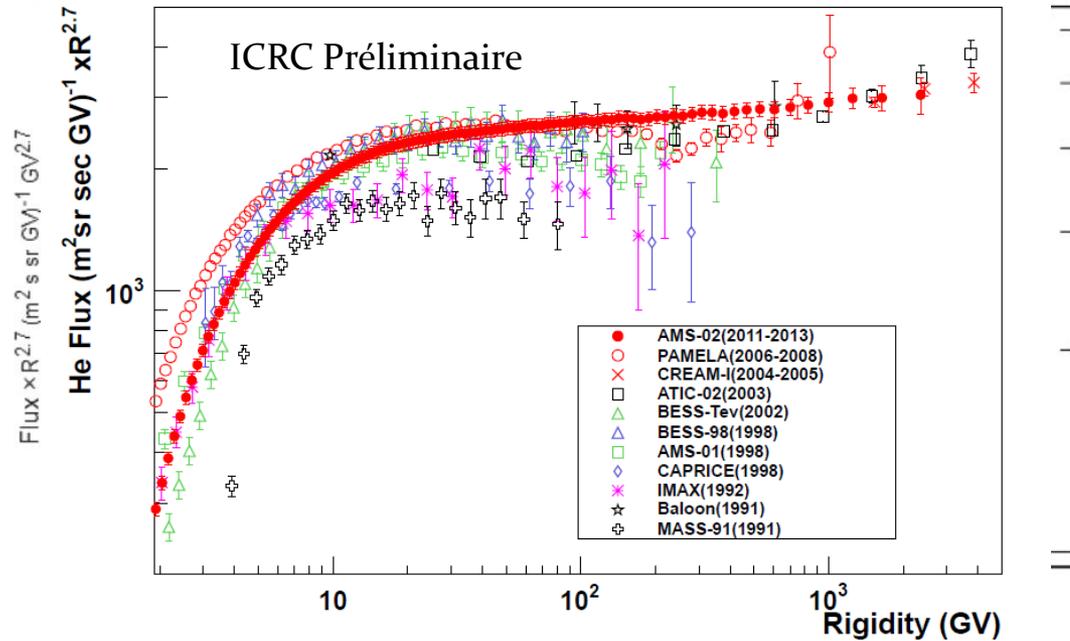
- Composante **dominante** du rayonnement
 - Pas de contamination, grande statistique



- Structure vue par PAMELA **non confirmée**

FLUX D'HELIUM

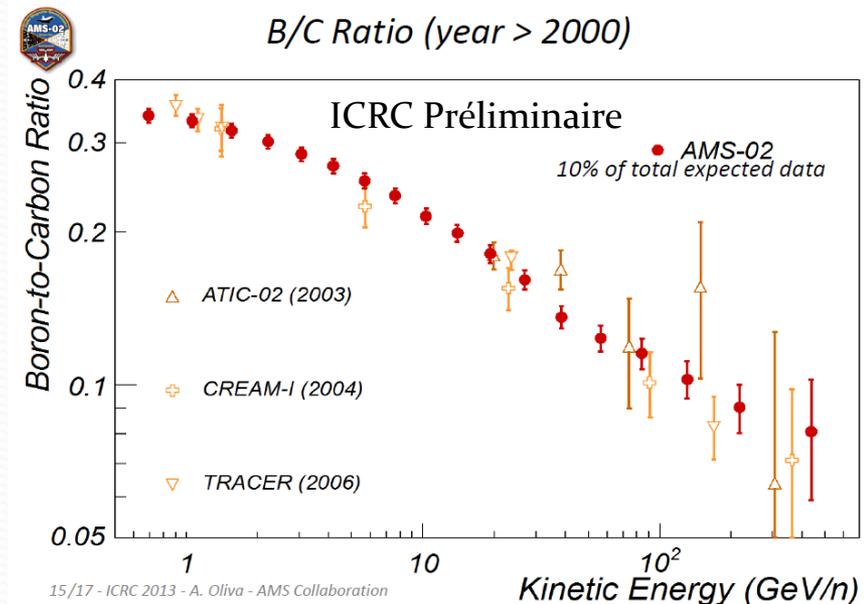
- Flux d'hélium mesuré jusqu'à 3,2 TV



- Flux peut être paramétrisé par une loi de puissance
- Désaccord avec de nombreuses expériences
 - Pas de structure fine vue par AMS, contredisant **PAMELA**

RAPPORT BORE SUR CARBONE

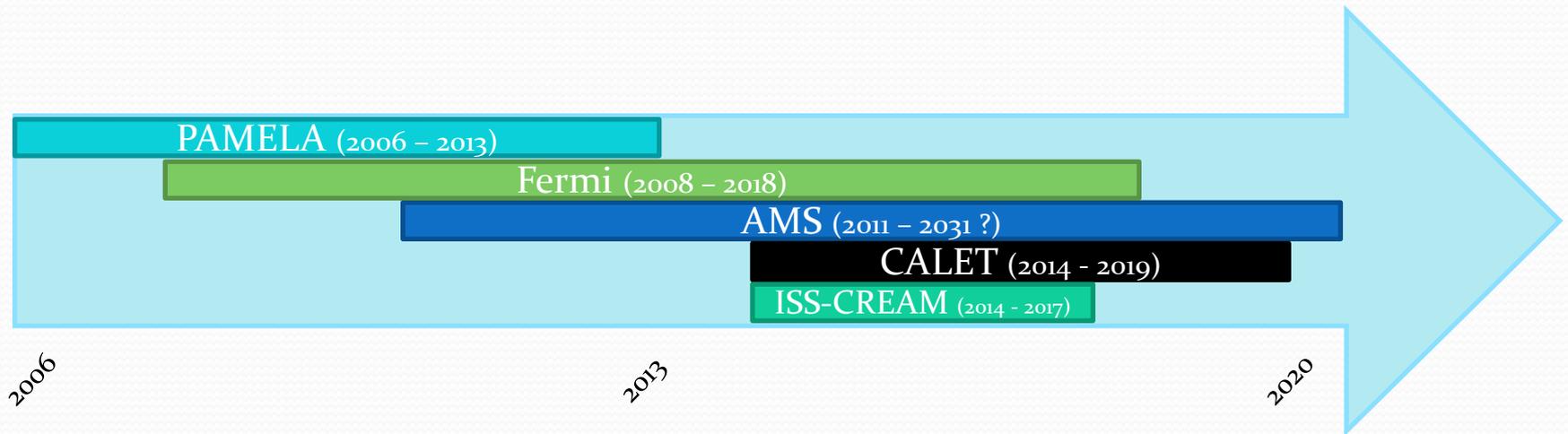
- Permet de sonder la **propagation** des rayons cosmiques dans la Galaxie
 - **Contraint fortement** les modèles de propagation, en particulier δ grâce aux mesures à haute énergie
- Identifier les noyaux avec **$Z=5$ et $Z=6$**
- La limitation de la mesure est **statistique**
 - 10 % de la statistique seulement !
 - But : mesurer à haute énergie avec une **précision de 10 %**



AUTRES MESURES A VENIR

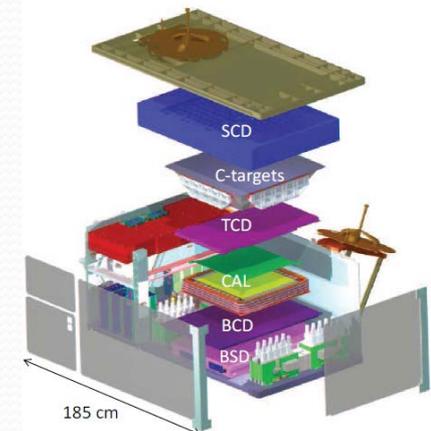
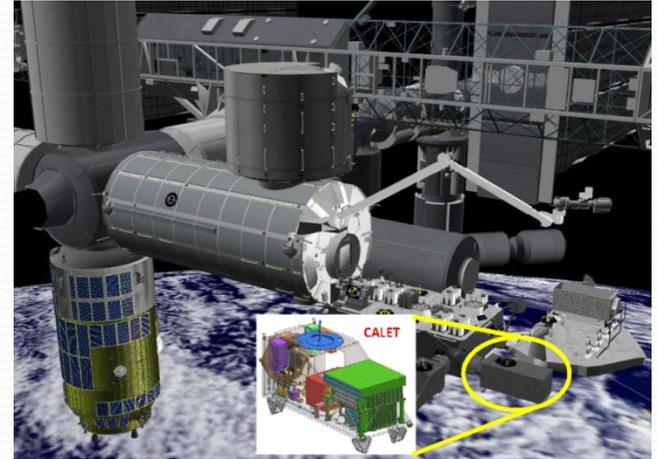
- Flux d'antiprotons et rapport antiprotons sur protons
 - Excès d'antiprotons et de positons conjoint serait un signe fort pour la matière noire
- Recherche d'anti-noyaux
 - anti-deutérium, anti-hélium
- Isotopes
 - Par ex. : $\text{Be}^9/\text{Be}^{10}$
- Etude de la modulation solaire
- ...

EXPERIENCES CONCURRENTES



EXPERIENCES FUTURES

- **CALET** sur l'ISS (CALorimetric Electron Telescope)
 - Montée à plus haute énergie pour les **électrons** (1 GeV – 20 TeV) et les **photons** (4 GeV – 10 TeV)
 - **B/C** jusqu'à 10 TeV
 - **Noyaux** jusqu'à 1000 TeV
 - Décollage en **2014** pour 5 ans
- **ISS-CREAM** : expérience CREAM déjà existante remodelée pour aller sur l'ISS
 - Mesure du spectre du **proton** au **fer** entre 1 TeV et 1000 TeV
 - Mesure des **électrons** au-dessus de 100 GeV
 - Décollage en **2014** pour 3 ans



PERSPECTIVES POUR AMS

- CALET et ISS-CREAM n'ont **pas d'aimant**
 - AMS **sans concurrence** pour la mesure de la **charge**
 - positons, antiprotons, anti-deutérium, anti-hélium
- Beaucoup de mesures à effectuer **dans les 5 ans à venir**
- Les **5 ans suivants** dépendront de ce qui a été vu auparavant
- **Après 5 ans**
 - Changer la gamme dynamique des **gains** pour atteindre **2 TeV** ?
- A plus **long terme**
 - **AMS-03** ???
 - Détecteur plus **volumineux** pour mesurer jusqu'à **10 TeV** ??

GROUPE LAPP

- **Permanents**

- Armand Fiasson, Corinne Goy, Roman Kossakowski, Vincent Poireau, Sylvie Rosier-Lees

- **Emérites**

- Guy Coignet, Jean-Pierre Vialle

- **Post-doc**

- Manuela Vecchi (2014-2016 ou 2017)

- **Thèses**

- Laurent Basara (2010-2013), Sami Caroff (2013-2016), Jie Feng (2013-2017), Li Tao (2012-2015)

- **Soutien**

- Sabine Elles, Jean Jacquemier

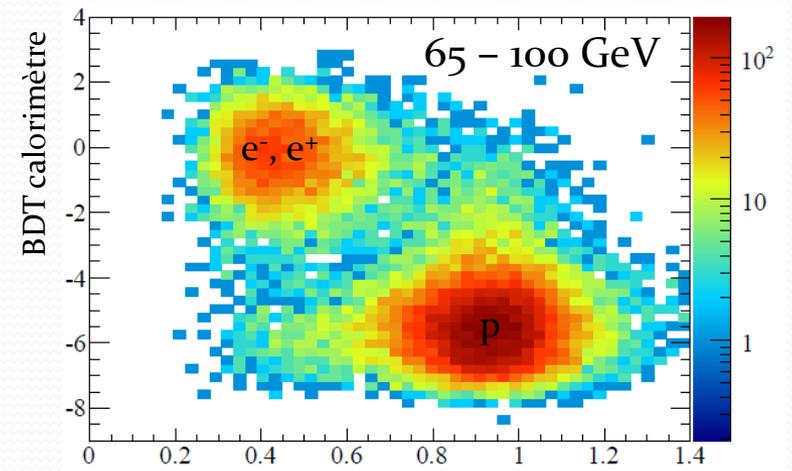
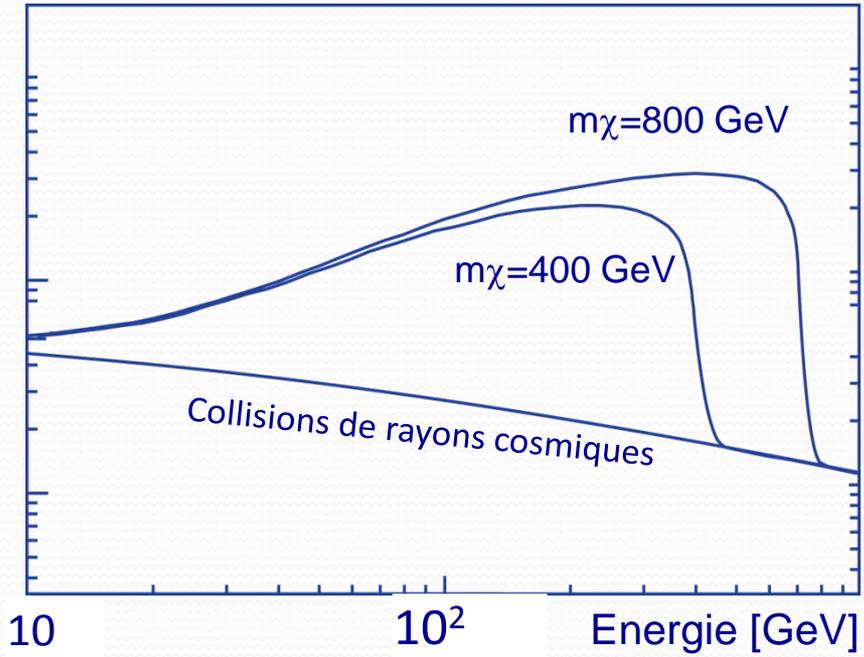
GROUPE LAPP

- Sujets étudiés **actuellement**
 - Mise en service et suivi du **calorimètre**
 - Spectre **d'électrons**
 - Fraction de **positons**
 - Spectre de **positons**
 - Somme des spectres **d'électrons et de positons**
- Sujets envisagés dans **un futur proche**
 - **Antiprotons** (post-doc enigmass 2014 ?)
- **Collaboration étroite avec**
 - Le **LAPTh** : interprétation des données
 - Le **LPSC** : outil USINE et mesures leptons à basse énergie
- **Activité/contribution importante attendue jusqu'au moins 2017**

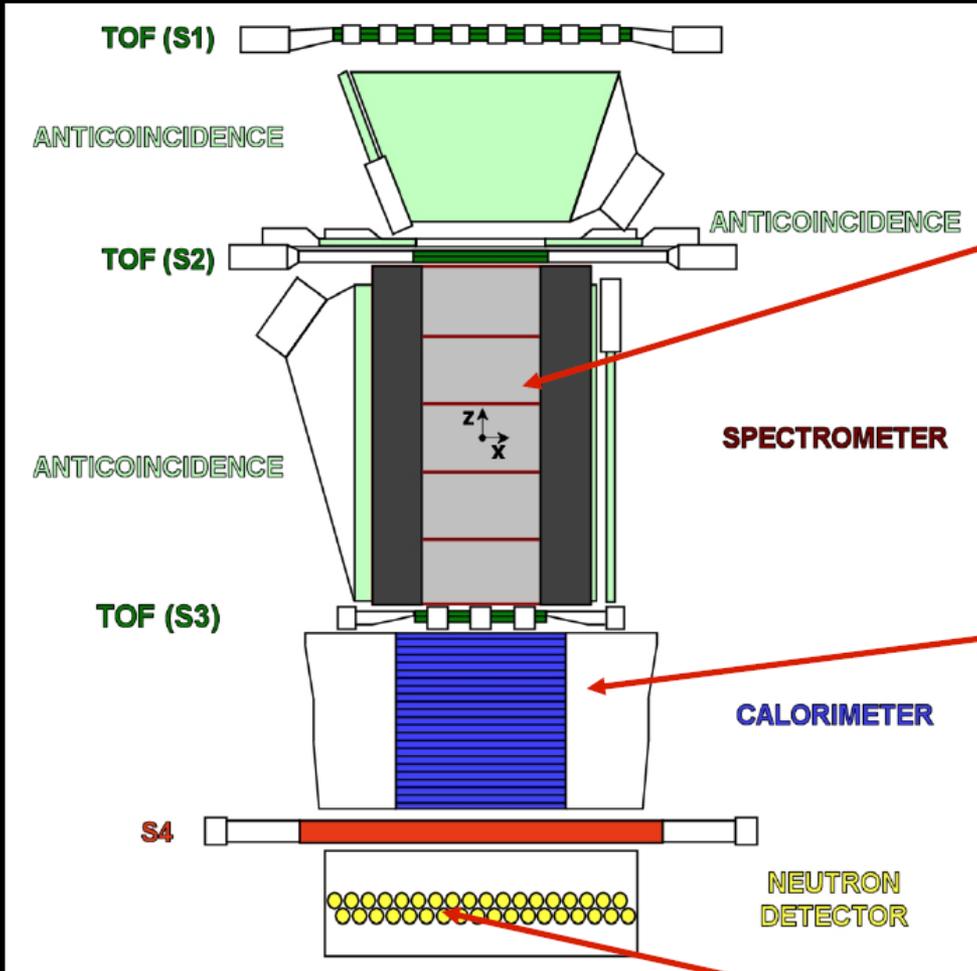
CONCLUSIONS ET PER/PRO-SPECTIVES

- AMS a présenté **ses premiers résultats**
 - Beaucoup sont encore **limités par la statistique**
- De **nombreux résultats importants** sont encore à **produire**
 - Une période **faste** s'ouvre pour AMS
- Le groupe est **actif** dans des analyses qui demandent une **large statistique**, et donc plusieurs années de données
 - L'avenir du groupe est « tracé » pour **les 5 prochaines années**
 - Besoin de forces vives, tel un post-doc
 - **Après 5 ans**, la situation du groupe dépendra des nouveaux résultats ou de l'évolution d'AMS

DIAPPOSITIVES ADDITIONNELLES



The PAMELA apparatus



Spatial Resolution

- $\approx 2.8 \mu\text{m}$ bending view
- $\approx 13.1 \mu\text{m}$ non-bending view

MDR from test beam data $\approx 1 \text{ TV}$

Calorimeter Performances:

- \bar{p}/e^+ selection eff. $\sim 90\%$
- p rejection factor $\sim 10^5$
- e^- rejection factor $> 10^4$

GF $\sim 20.5 \text{ cm}^2\text{sr}$

Mass: 470 kg

Size: 120x40x45 cm^3

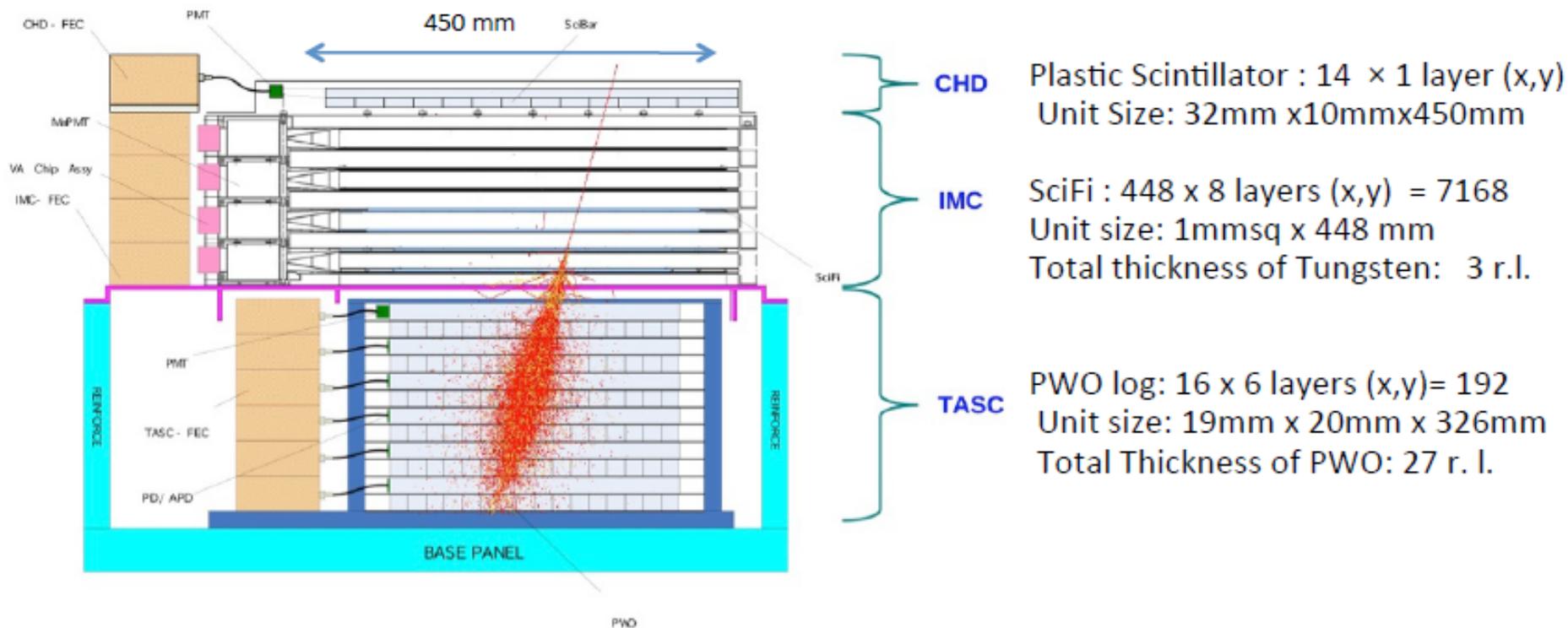
Power Budget: 360 W

ND p/e separation capabilities > 10
above 10 GeV/c , increasing with energy



Main High-Energy Particle Telescope

The unique feature of CALET is its **thick, fully active calorimeter** that allows measurements well into the TeV energy region with excellent energy resolution, coupled with **a fine imaging upper calorimeter** to accurately identify the starting point of electromagnetic showers. Combined, **they powerfully separate electrons** from the abundant protons: **selection power $\sim 10^5$** .



ISS-CREAM Instrument

Ahn et al., NIM A, 579, 1034, 2007; Amare et al. [0630] this conference

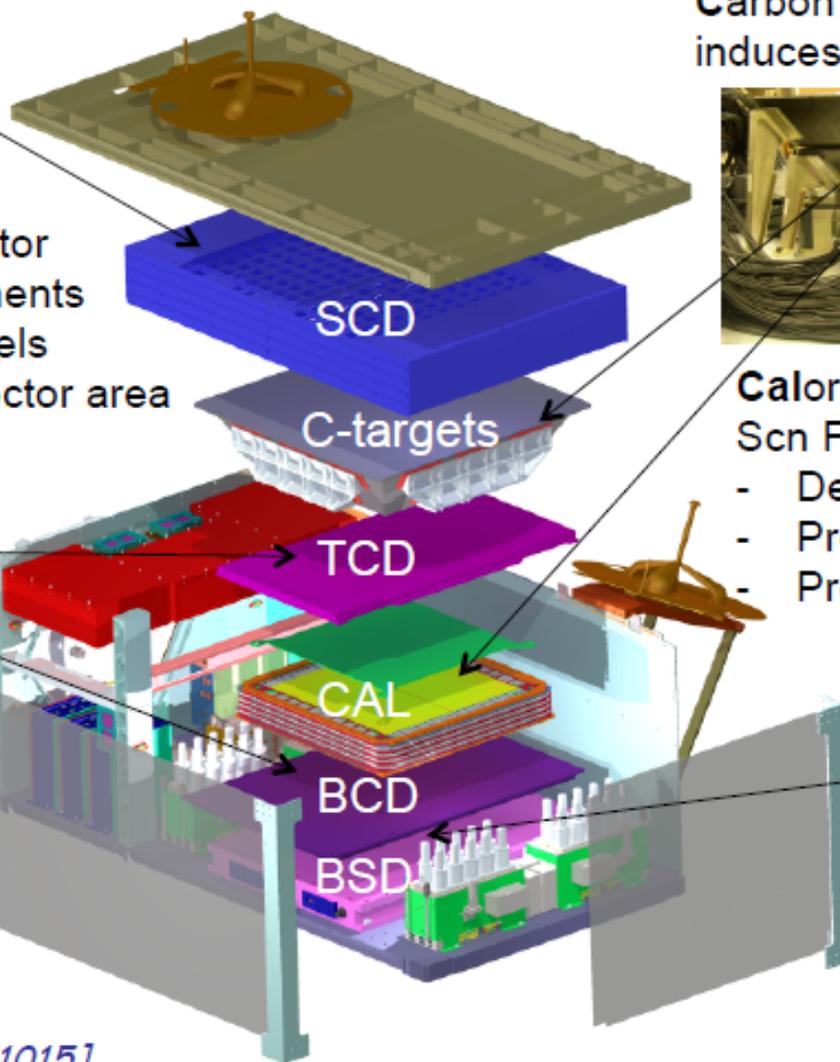


- 4 layer Silicon Charge Detector**
- Precise charge measurements
 - 380- μm thick 2.12 cm² pixels
 - 79 cm x 79 cm active detector area

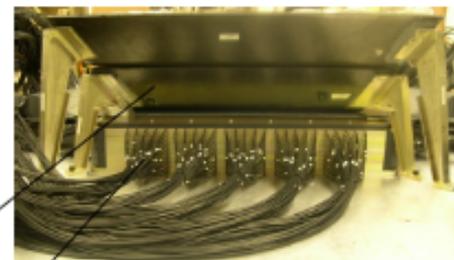
Top & Bottom Counting Detectors

- Each with 20 x 20 photodiodes and a plastic scintillator for e/p separation
- Independent Trigger

Hyun et al. [1017], Park et al. [1015]



Carbon Targets ($0.5 \lambda_{\text{int}}$)
induces hadronic interactions



Calorimeter (20 layers W + Scn Fibers)

- Determine Energy
- Provide tracking
- Provide Trigger

Boronated Scintillator Detector

- Additional e/p separation
- Neutron signals

Anderson et al. [0350]

