

dapnia



saclay



ASTROPARTICULES et ASICs

eric.delagnes@cea.fr

PLAN

dapnia



saclay

- Introduction.
- Quelques Notions de Base.
- Astronomie Gamma et ASICs.
- Expériences Neutrino.
- Rayons cosmiques et Antimatière
- Expériences radio.
- Conclusion



dapnia



saclay

INTRODUCTION

Qu'est-ce que l'Astroparticule ???

dapnia



saclay

- La physique des particules étudie l'infiniment petit des constituants de la matière.
- L'astronomie étudie l'infiniment grand du ciel
- L'Astroparticule:
 - utilise l'infiniment grand pour étudier l'infiniment petit:
 - rayons cosmiques, neutrinos...
 - utilise l'infiniment petit pour sonder l'infiniment grand:
 - utilisation de nouveaux messagers pour l'astronomie
 - avec les outils de la physique des particules...
 -et ses physiciens, ingénieurs et techniciens.

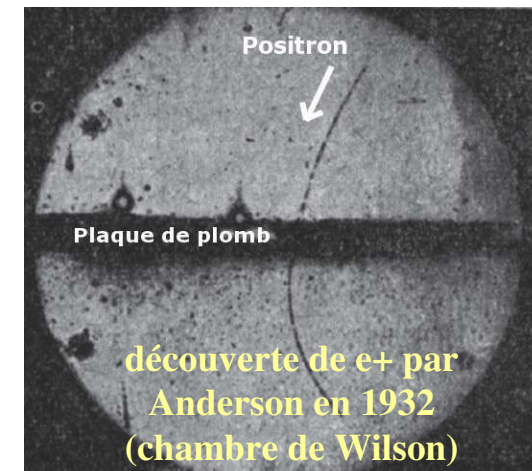
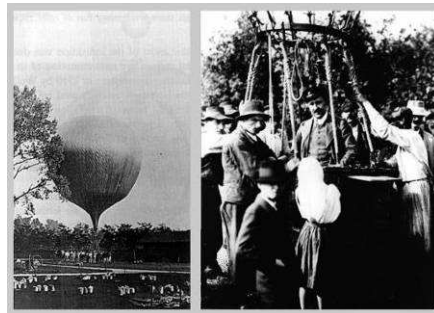
ASTROPARTICULE : un peu d'histoire...

dapnia

cea

saclay

- L'Age d'or des rayons cosmiques (1912-1950).
- Découverte des rayons cosmiques 1912 par Victor HESS.
- 1930 - 1950, l'Age d'or:
 - Détection en haute altitude (Mont Blanc, Jungfrau...).
 - Chambres à brouillard ou émulsions.
 - Découvertes de nombreuses particules:
 - positron, pion, muon, kaons...



- Désaffection dans les années 50 avec les premiers accélérateurs.
- Regain d'intérêt dans les années post-LEP (fin 80 début 90):
 - Accès à des domaines d'énergie plus élevés ($> 10^{19}$ eV) qu'en accélérateur
 - Retour à des expériences à taille (et coût) humain.
 - Opportunité de nouvelle science.
 - Implication de personnalités « fortes » dans le domaine (Cronin, Ting...)
 - Autres...

ASTROPARTICULE ou ASTROPARTICULES ???

dapnia



saclay

- Etude de nouveaux messagers avec des techniques diverses = nouvelles fenêtres sur l'univers.

- Photons de haute énergie:
 - X durs, Gamma (qq keV- 1MeV) (**INTEGRAL ISGRI**)
 - Gamma 1MeV-1GeV (**INTEGRAL PICSIT, GLAST**)
 - Gamma > 10 GeV (**HESS**)
- Neutrinos (**SNO, SUPERK, ICECUBE, ANTARES...**)
- Antimatière : (**AMS, PAMELA...**)
- Rayons cosmiques UHE (**AUGER...**)
- Ondes gravitationnelles
- Autres (**WIMPs, Axions...**)

- Souvent, témoins de phénomènes astrophysiques souvent extrêmement violents.

- Accès à des gammes d'énergie non-atteignables en accélérateur.

Des techniques de détection variées.

dapnia



saclay

- Environnements variés souvent extrêmes:
spatial, ballon, terrestre, sous terrain, sous-marin..
- Des méthodes de détection souvent indirectes et astucieuses.
- Souvent basées sur la photodétection:
 - photon particule secondaire.
 - photodétecteurs rapides et à timing précis.
 - photodétecteurs fiables, compacts et faciles à mettre en œuvre.
- Observation d'interactions rares => grandes surfaces détectrices.
- Nombres de canaux de qq 1000 à qq 10000.
- Détecteurs à géométrie distribuée sur de grands « territoires ».
- Techniques en perpétuelle évolution.

Et les ASICs là dedans ??.

dapnia



saclay

- Technique de physique des particules « exportées ».
- Utilisés en astroparticules dès 1995 (cf SNO)
- Les gains apportés:
 - Les mêmes qu'en HEP mais dans un ordre différent:
 - Fiabilité.
 - Intégration (permettent des géométries plus compactes).
 - Diminution de puissance.
 - Performances ?!?
 - Coût.
- Parfois, clef de la faisabilité de l'expérience (INTEGRAL).
- Pas ou peu d'expérience de design d'ASIC dans le monde de l'astrophysique.



dapnia



saclay

QUELQUES NOTIONS DE BASE

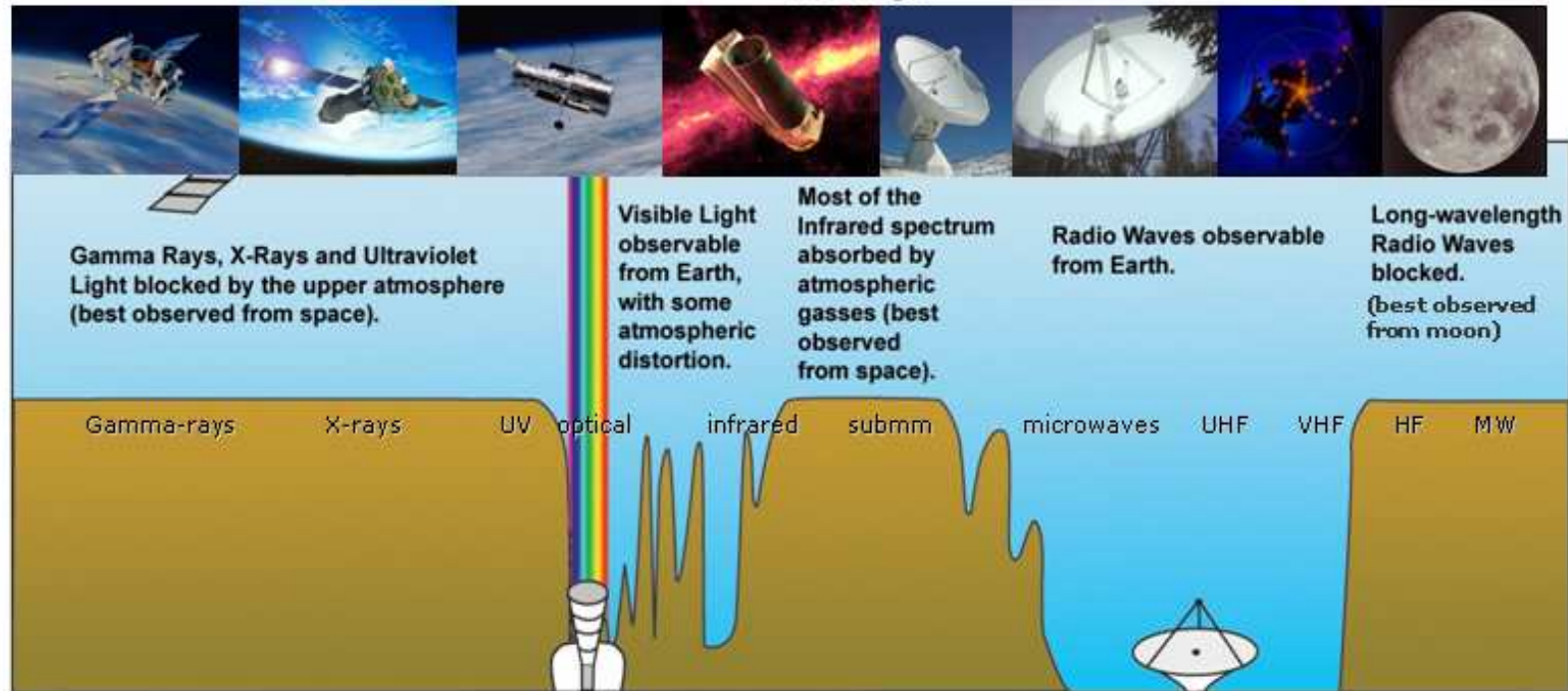
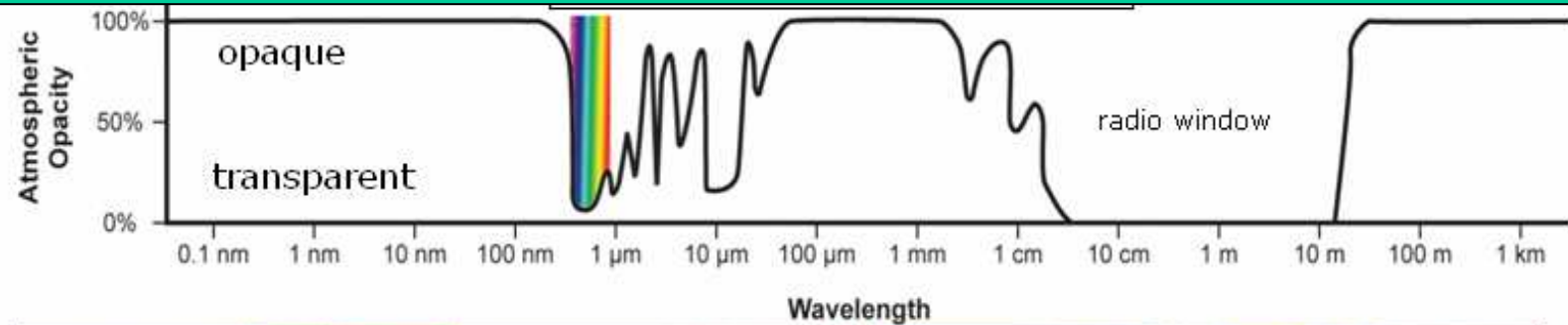
L'atmosphère: un ennemi pour l'astronome ?

Peu de fenêtres ouvertes dans le spectre électromagnétique

dapnia



saclay



Et pour les rayons cosmiques ?!?

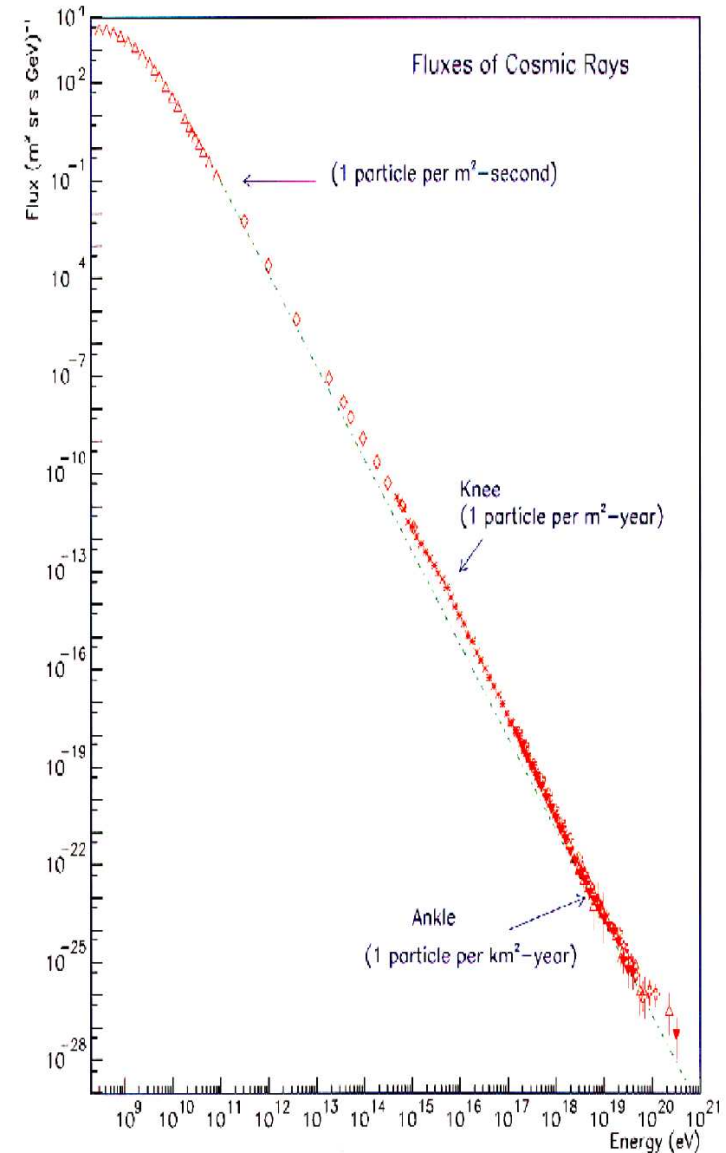
dapnia

cea

saclay

- Proviennent majoritairement du soleil.
- galactiques ou extragalactiques.
- **Protons 98%**
- 2% d'électrons
- 1/1000 de positron
- 1/10000 d'antiproton.
- Spectre exponentiel décroissant.
- **dN/dE 2.7 à 3**

- Nécessité de grandes surfaces de détection pour l'étude des très hautes énergies.

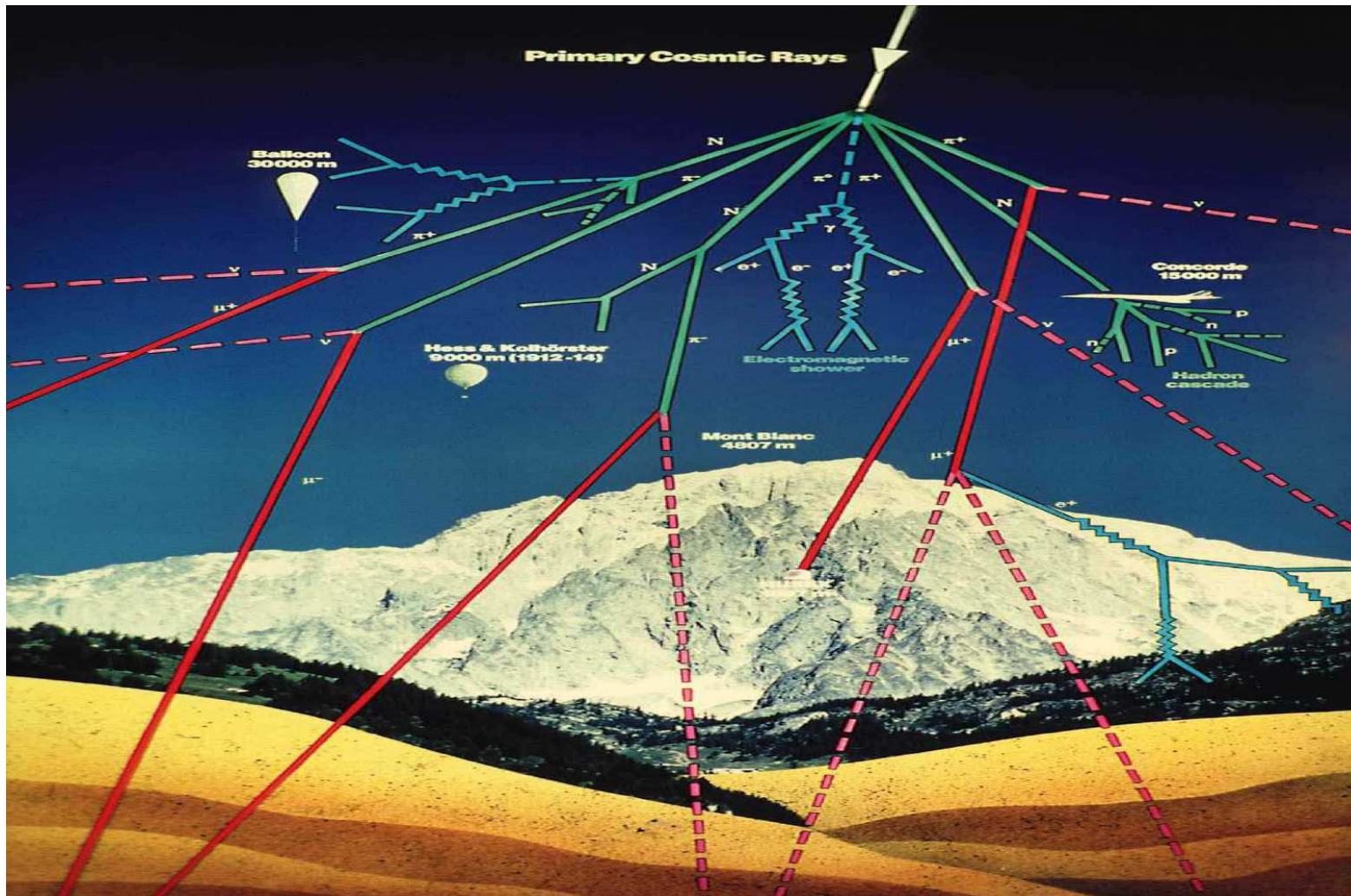


Ils interagissent dans la haute atmosphère

dapnia



saclay



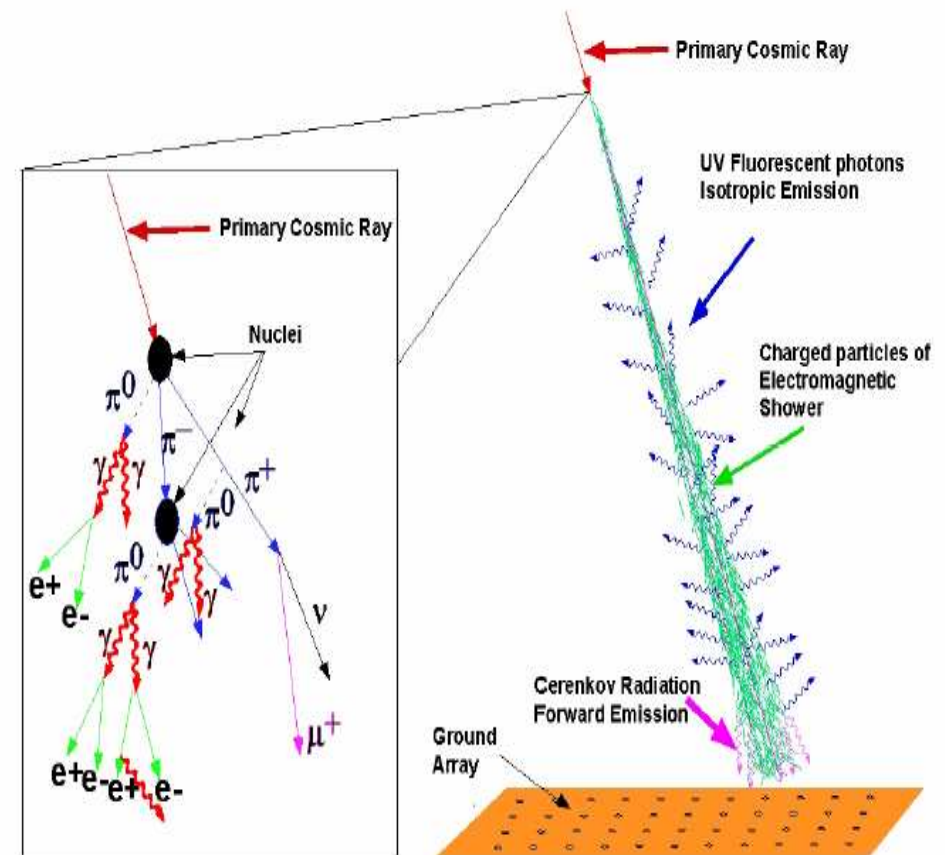
et engendrent des « gerbes » de particules secondaires

dapnia

cea

saclay

- muons
- électrons.
- neutrinos.
- photons (fluorescence)
- photons Cerenkov.



- Qui seront le signal de certaines expériences...
- Mais qui constitueront un bruit de fond pour d'autres.

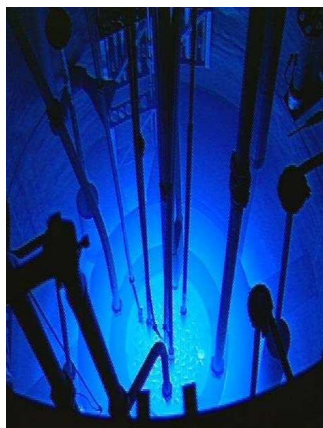
L'effet Cerenkov

dapnia



saclay

- Lorsqu'une particule traverse un diélectrique avec une **vitesse supérieure** à celle la lumière (dans ce milieu), elle perd de l'énergie en émettant de la lumière.
- **Les photons sont émis suivant un cône dont l'axe est la trajectoire de la particule.**
- **L'angle d'ouverture dépend de sa vitesse.**
- Phénomène analogue à l'onde de choc d'un avion supersonique.



Abondamment utilisé dans nos détecteurs:

- trajectographie.
- identification de particules (RICH).

Détecteurs:

- photodétecteurs (bleu profond, UV...).
- excellente précision temporelle requise (det. + elec.).

dapnia



saclay

ASTRONOMIE GAMMA et ASICs

L'atmosphère est totalement opaque aux gammas:
=> détecteurs spatiaux ou techniques complexes

=>3 techniques spatiales présentées (ISGRI,PICSIT, GLAST).
=>1 technique au sol (HESS)

ISGRI (lancé en oct. 2002)

dapnia • Plan spectro- imageur « basse énergie ». 16keV-1MeV de l'instrument IBIS du satellite **INTEGRAL**.

cea

• Technique d'imagerie par masque codé.

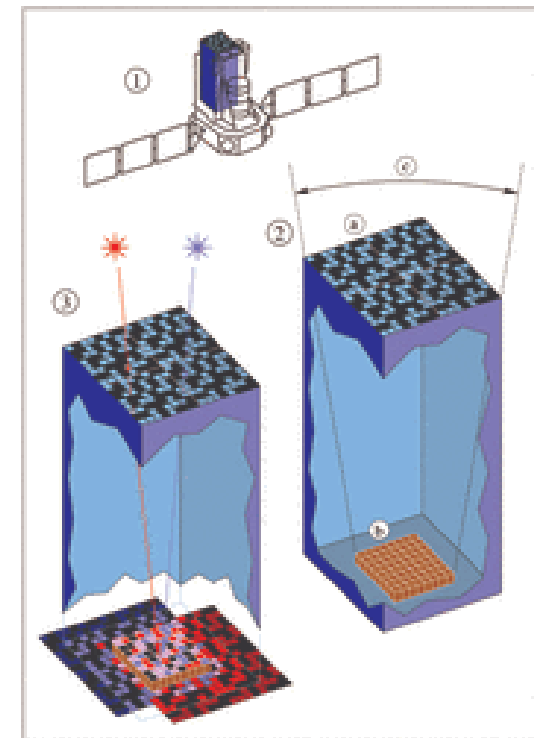
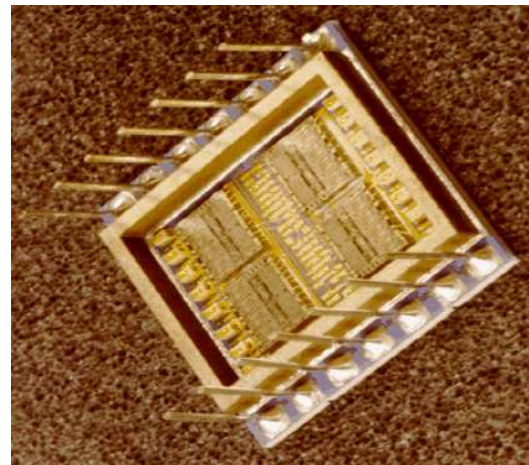
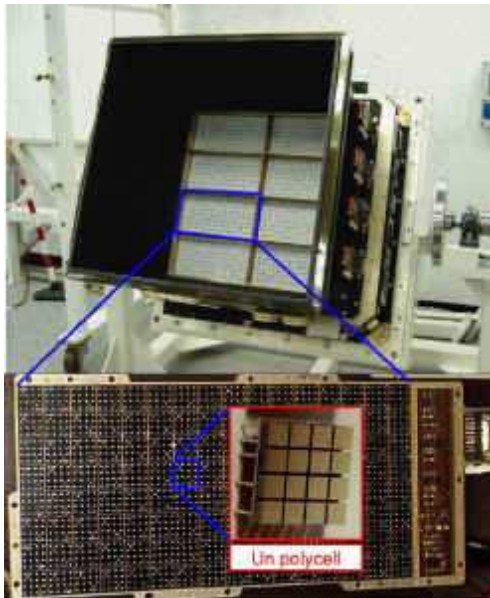
• Plan détecteur **CdTe** > 16000 pixels

saclay

• pixels 4mm x 4mm x 2mm.

• Mosaïque d'éléments Polycell:

- 16 pixels
- 4 ASICs.



Les spécificités du CdTe

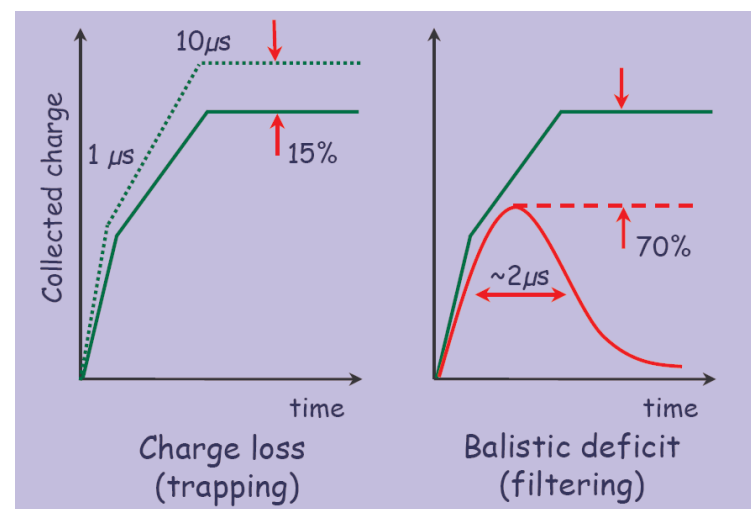
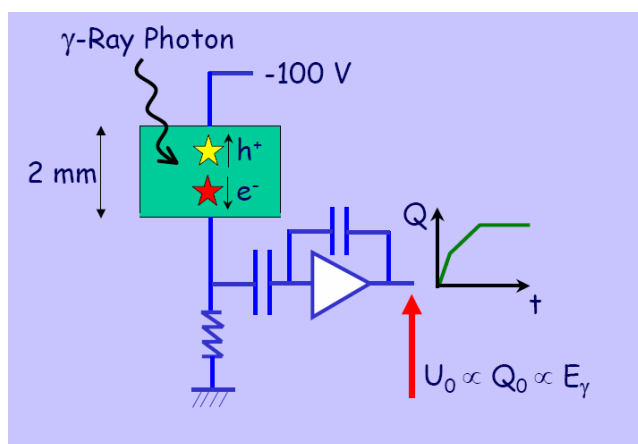
dapnia

cea

saclay

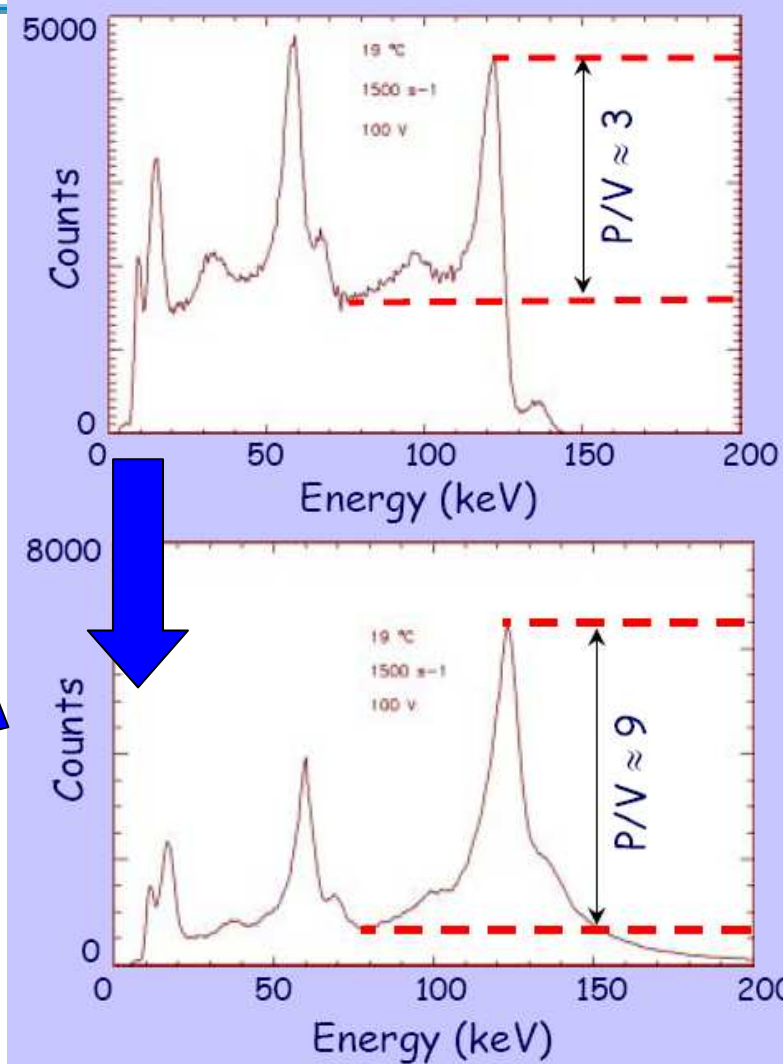
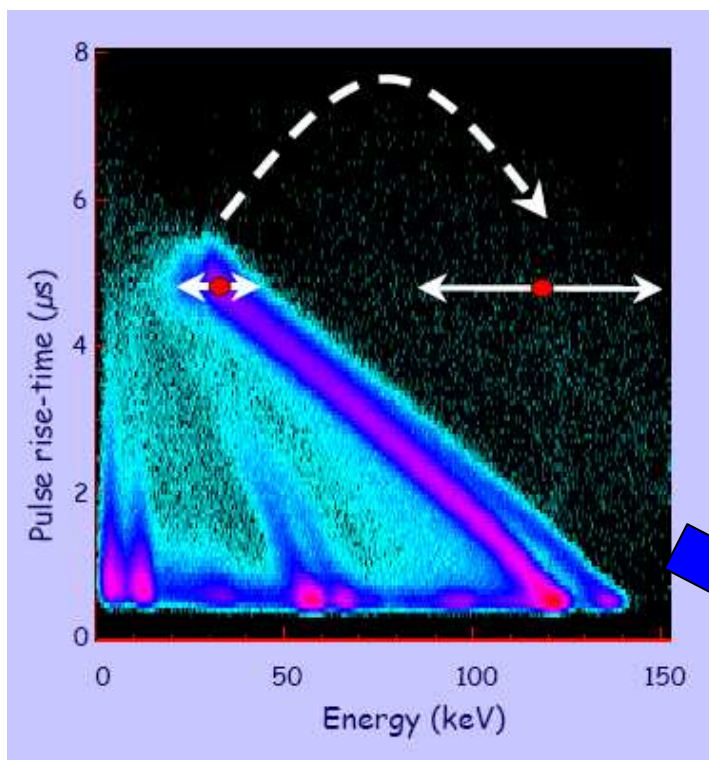
- Détecteur « prometteur » depuis plus de 20 ans.
- Fort Z: faible épaisseur nécessaire pour obtenir une bonne section efficace pour l'effet **photoélectrique** en gamma.
- Bonne propriétés à « température ambiante ».
- Mais, (à l'époque du moins), faibles mobilités des trous et durée de vie limitée des porteurs:

- pertes de charge dépendant de la profondeur d'interaction (qui dépend de l'énergie).
- Compensable si connaissance de la profondeur d'interaction (temps de montée).



La correction biparamétrique

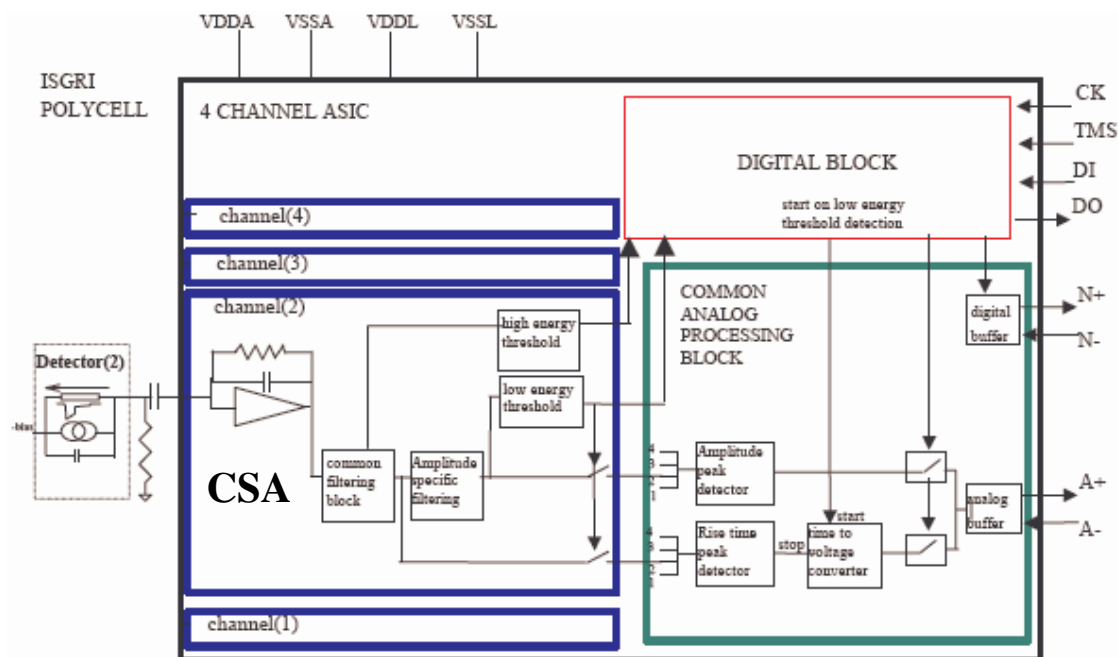
dapnia
|
|
cea
|
|
saclay



- L'ASIC mesurera donc la charge ET le temps de montée des signaux.

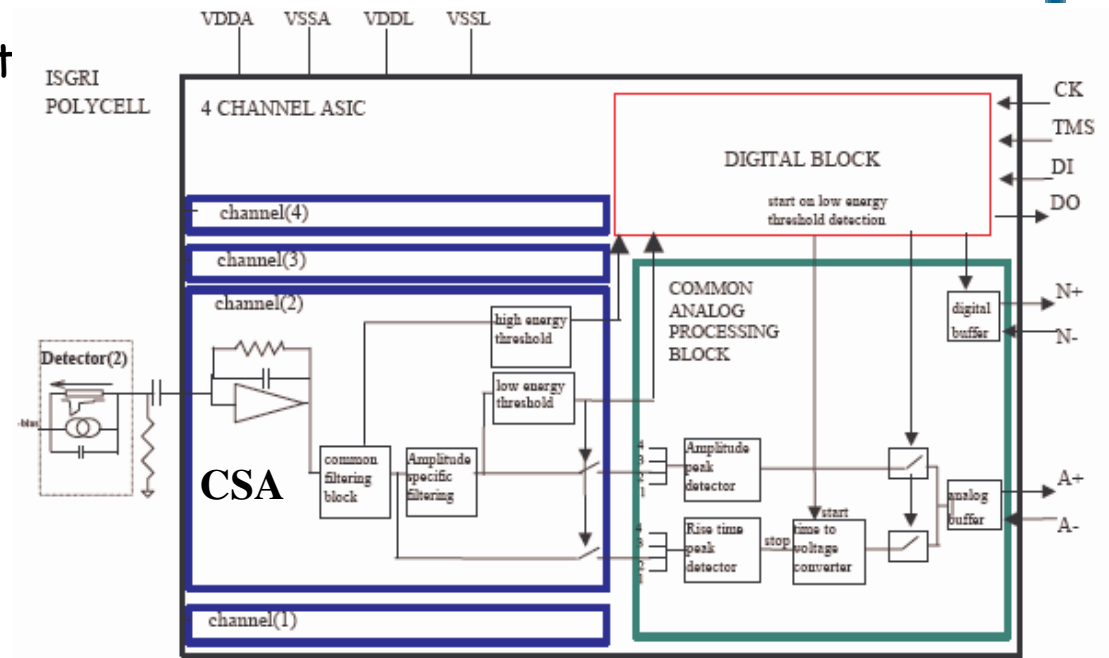
L'ASIC4 (1998)

- Design CEA/LETI + CEA/DAPNIA.
- Techno **AMS CMOS 1.2 μ m** + backup DMILL.
- 4 canaux, 3.8mmx4.5mm, 2.5mW/canal
- CSA cascode directe avec feedback DC mixte (continu + RAZ).
- Couplage ac au détecteur.
- shaping « rapide » pour déclenchement / canal et prise de temps (à +/-250ns).
- bloc commun de traitement:
 - filtre énergie (2 μ s).
 - filtre temps.
 - détections de pic (E et T)



L'ASIC4 suite

- sorties différentielles en courant
- E et T multiplexés
- seuil haut pour ignorer protons.
- slow control complexe (seuils...)
- générateurs de calibration.
- raz des chaines à chaque trigger.



• Difficultés Majeures:

Ce n'est pas le bruit.

Mais le risque d'auto déclenchements en fin de remise à zéro...

Slow control/ machine à état très complexe => simuls mixtes.

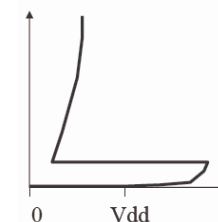
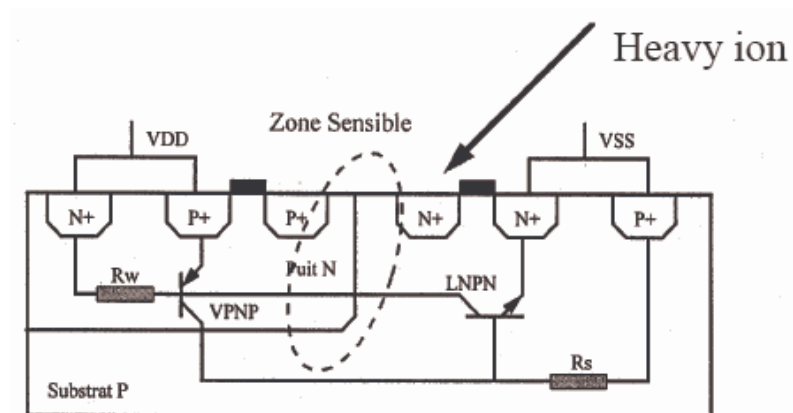
Les joies du spatial: le durcissement.

dapnia



saclay

- Cf cours de F. Faccio (Porquerolles 07).
 - Problème majeur = Single Event Latchup.
 - 512 ASICs alimentés en // . Protection d'alim impossible.
 - Risque de perdre 1/8 de la caméra.
 - Premiers tests catastrophiques.
 - Remèdes:
 - **Techno épitaxiée.**
 - **Durcissement cellules digitales:**
 - **anneaux de garde.**
 - **distance NMOS-PMOS**
- => Pas de Latchup lors des test



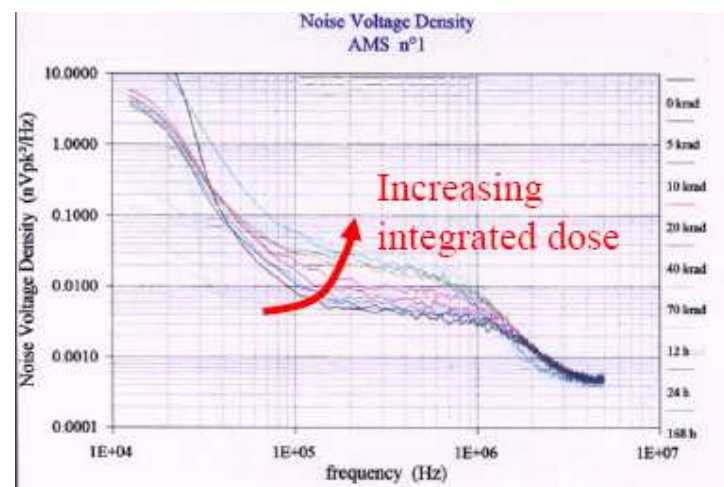
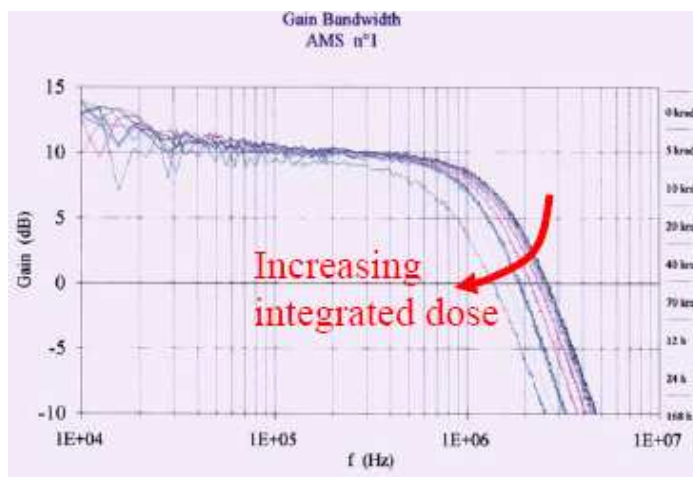
Les joies du spatial: le durcissement (suite)

dapnia

cea

saclay

- Durcissement à la dose intégrée ok jusqu'à 20krads



- **Single Event Upset:**
 - Pas de design durci dans le chip (surface)
 - Rare mais existant au LET les plus forts.
 - Philosophie:
 - Intelligence limitée dans le chip
 - Rechargement des paramètres périodiquement.
- Comportement en vol sans problème depuis 2002.

L'effort avant le lancement !!!

dapnia

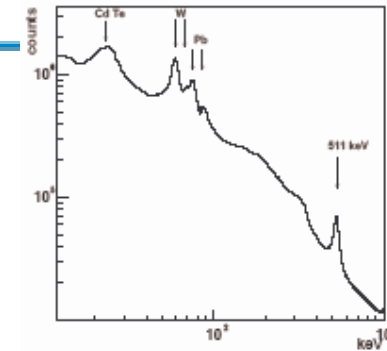
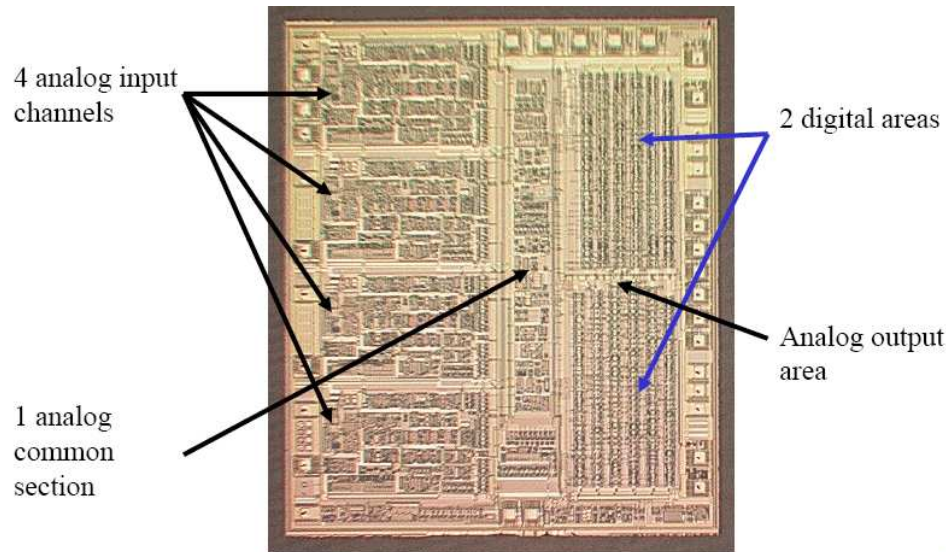
cea

saclay

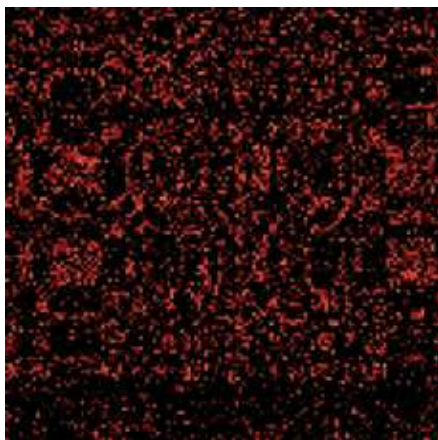


ISGRI: le résultat

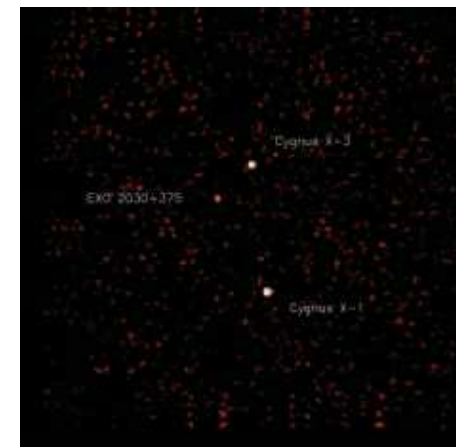
dapnia
cead
saclay



Résolution en vol:
8.4% @ 60 keV
4.9% @ 511 keV
seuil bas 20 keV



déconvolution du
masque codé



Région centrale de la galaxie

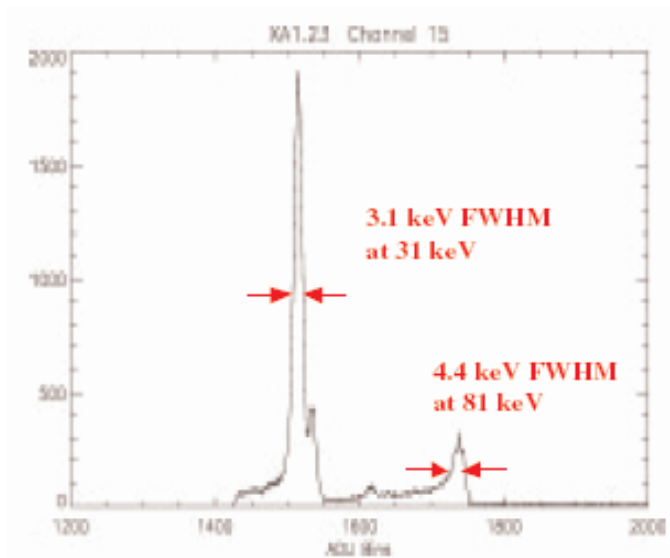
La version Américaine : Swift/BAT

dapnia



saclay

Détection de **Gamma Ray Bursts**
Calcul de la position du GRB en 6s
Gamme 15keV-150keV
Lancé en nov 2004
Masque codé
32000 cristaux de CdZnTe (Moins de pertes de charge)
ASIC: **solution commerciale** XA1.23 de IDEAS (2mW/ch)



Le futur: SVOM et SIMBOL-X

dapnia

cea

saclay

Amélioration des détecteurs, des technos (et des designers)
permettent un saut de performances depuis ISGRI:

- amélioration de la résolution spectrale $<1\text{keV FWHM}$
- diminution du seuil de déclenchement $<4\text{keV}$

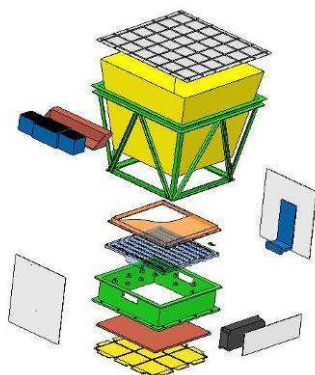
⇒ 2 missions en cours d'étude:

SVOM (ECLAIRS): franco chinois.

détection de Gamma Ray Burst

gamme 4 to 200keV

CdTe schottky $4\times 4\text{mm}^2\times 1\text{mm}$

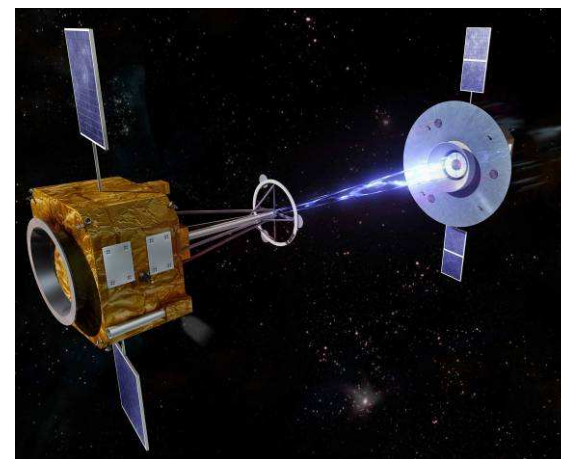


SIMBOL-X

Vol en formation

gamme 4 to 80keV

CdTe pixellisé $500\mu\text{m}$



Les circuits Idef-X

dapnia



saclay

Base commune pour les deux applications.

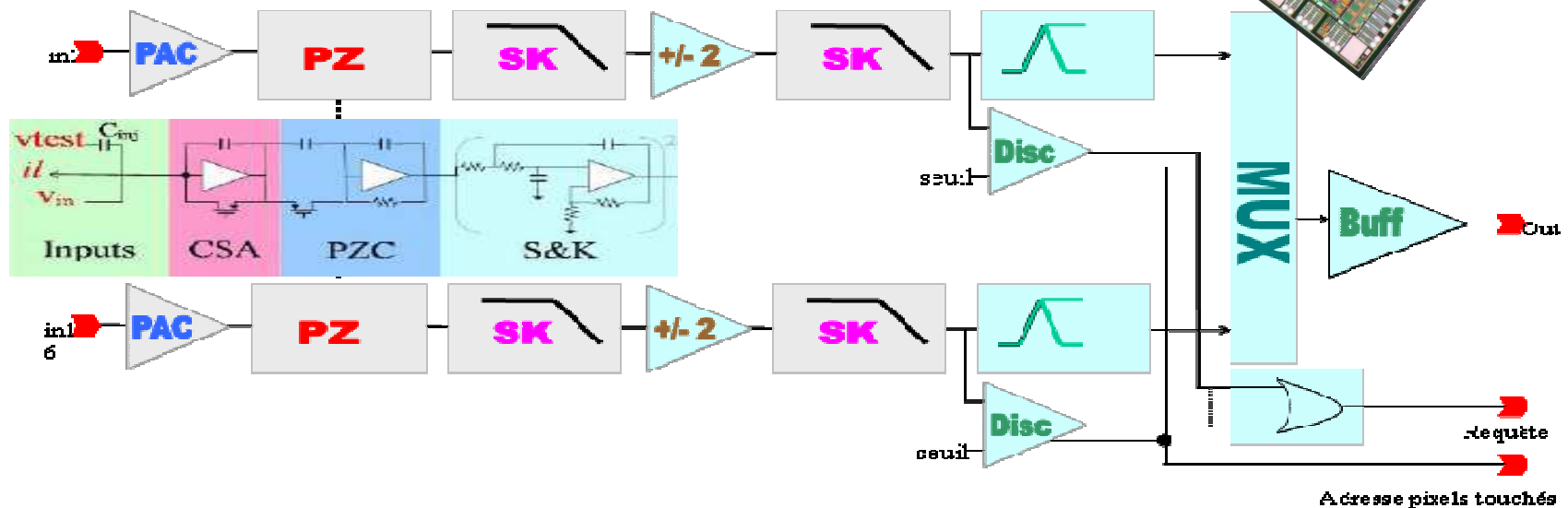
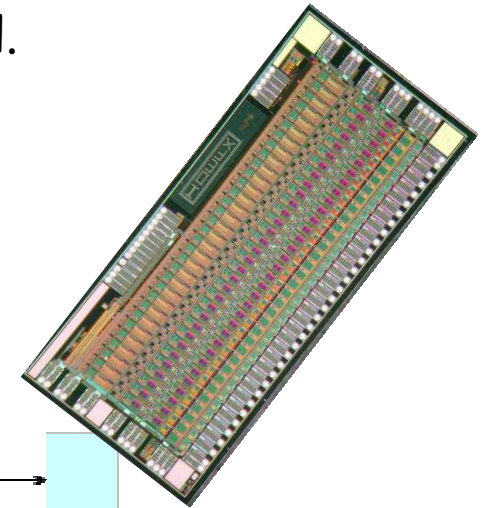
Techno AMS CMOS 0.35 μ m

Dernier né Idef-X V2E (Eclairs):

- 32 canaux.
- 2.2 mW/ canal. (200 μ A dans PAC)
- 1 Seuil par voie
- temps de shaping réglable (1 μ s-10 μ s)
- sparsification.

Compensation courant détecteur.
Slow control.

Test
Masquage.
Epi 14 μ m



Perfo Idef-X

dapnia
cead
saclay

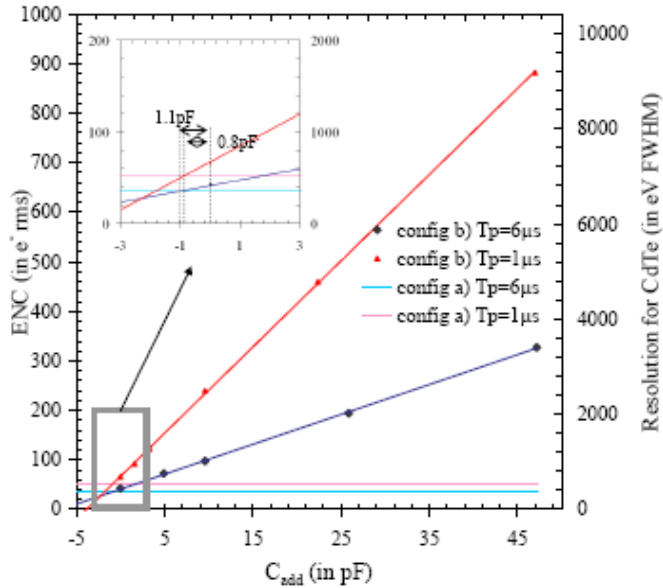


Fig. 4. Influence of the input additional capacitance. As expected, the lowest sensitivity of the chip to the input capacitance on its noise performance is obtained at the highest peaking time: at $6\mu s$, the slope is evaluated to $6e/pF$. The comparison of these plots with the ENC values obtained in config (a) is done to extract the parasitic capacitance of the detector board.

seuil bas $\ll 4keV$

IS6RI : CdTe Pt/Pt $4x4x2 mm^3$ / 120V / $0^\circ C$
 ECLAIRs IDeF-X V1.0: CdTe In/Pt $4x4x1 mm^3$ / 600V / $24^\circ C$
 R&T IDeF-X V1.0 : CdTe In/Pt $2x2x0.5 mm^3$ / 340V / $24^\circ C$

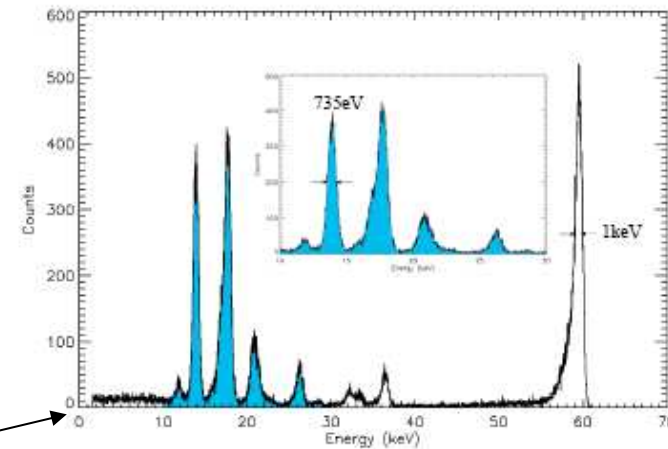
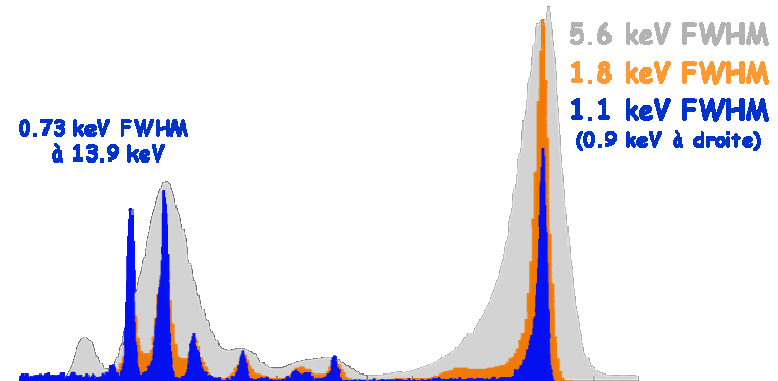
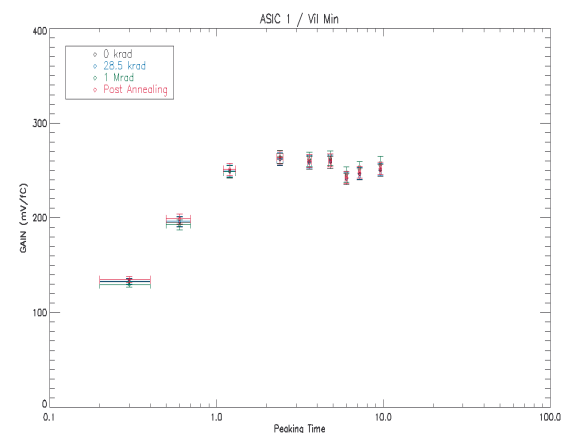
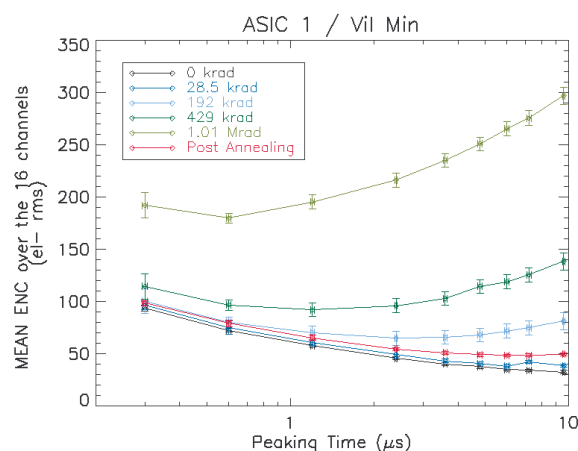
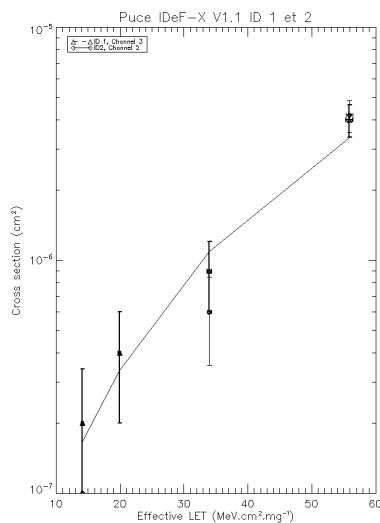


Fig. 6. Spectrum of an ^{241}Am source obtained with a $4.1 \times 4.1 \times 0.5 mm^3$ CdTe detector equipped with a Schottky contact at the anode. The cathode is $2 \times 2 mm^2$ pixel surrounded by a 1 mm guard ring. The detector is biased under 330 V at $22^\circ C$ and is connected to the channel #8 of IDeF-X V1.0 at a $6\mu s$ peaking time. The best spectrum is obtained at the highest peaking time because of the very low leakage current of the detector.

Idef-X: les joies du spatial (encore et encore)



Dose Total: Missions <10krad => pas de problème



Tests de SEL sur Idef-X: 1.1

Analogique pas de latchup.

Numérique: LETseuil = **7 MeV cm^2 mg^{-1}**
=> le calcul donne qq latchups pour les 2 missions.

=> Redesign de cellules « durcies » pour Idef-X 1.2E: en attente de test.

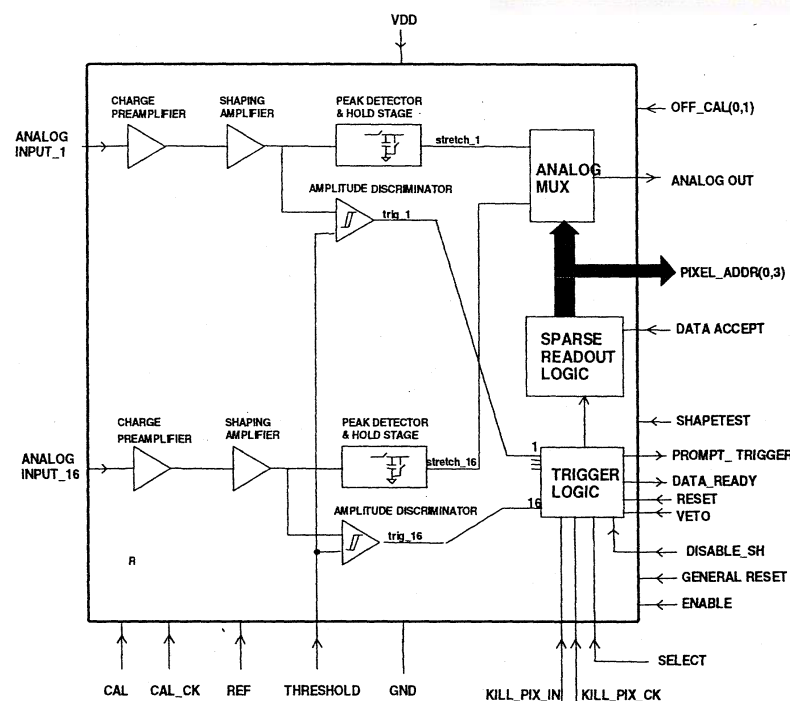
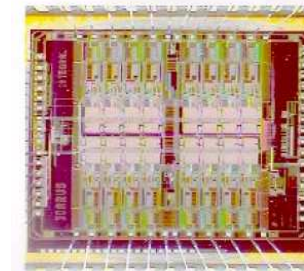
Retour à INTEGRAL: PICSIT (1999)

dapnia

cea

saclay

- Plan spectro-imageur « haute énergie » jusqu'à 10 MeV de l'instrument IBIS.
- ASIC 16 voies ICARUS (Bologna), 5 mW/ch.
- Lecture de PIN couplées à des cristaux de CSI (4096).
- $CD=50\text{pF}$
- dynamique: 3 ke- à 150 ke-
- Techno MIETEC CMOS $0.6\mu\text{m}$
- SPARSE readout avec lecture des multiples.
- IO bas niveaux et en courant.
- triplication des registres contre SEU+ vote majoritaire.
- $ENC= 870e^-$ rms avec détecteur.
- Autocalibration au démarrage (seuil + offset) !!!



La même équipe a également développé un calo CSI (AGILE) lu par des SDD et le nouveau chip ICARUS-SDD.

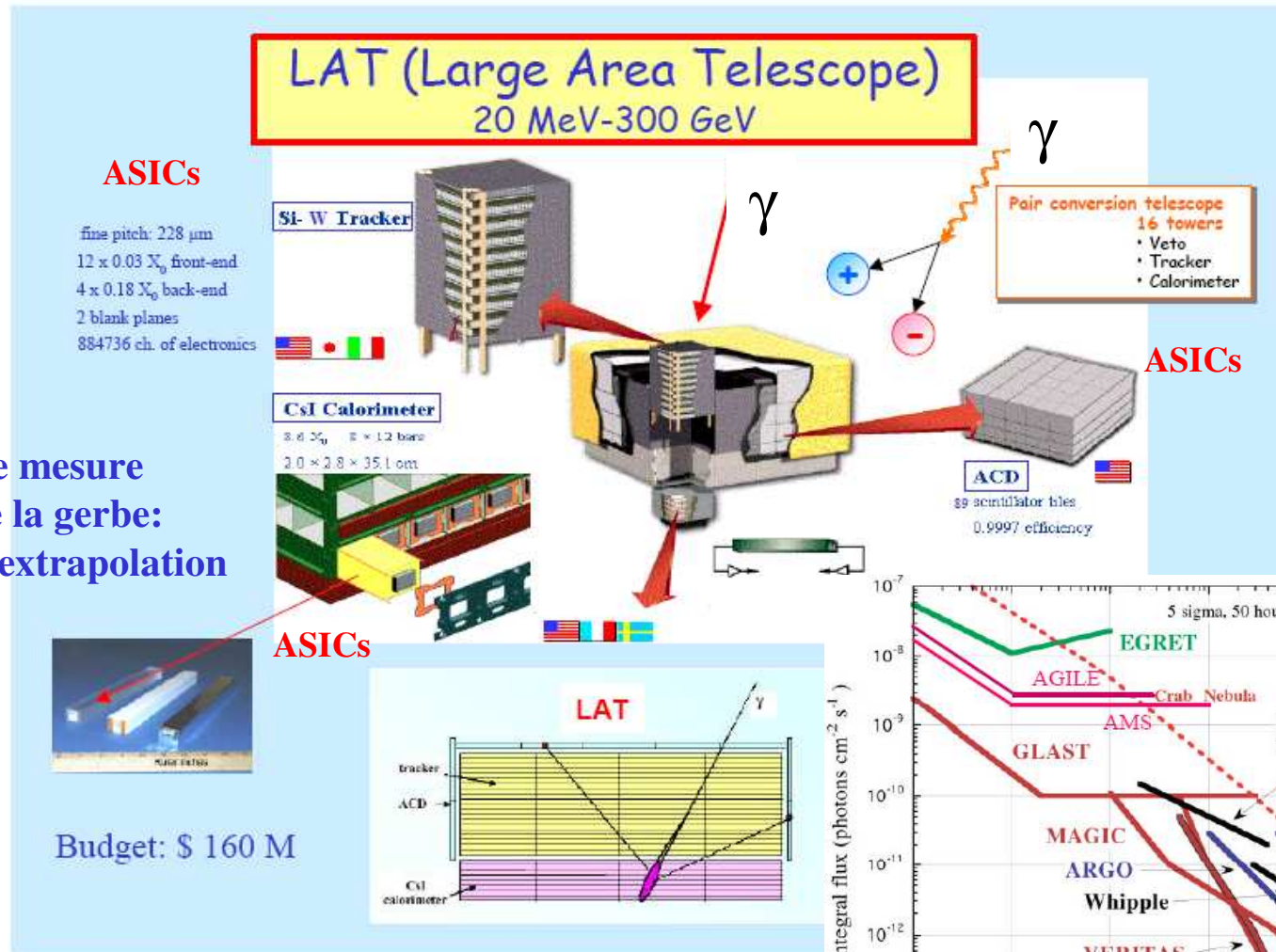
GLAST: détection de γ de haute énergie

Expérience de Hautes énergies spatialisée

dapnia

cea

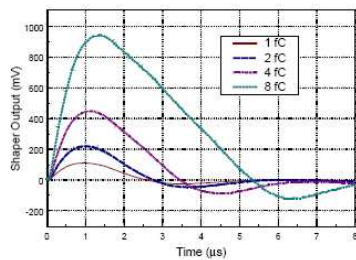
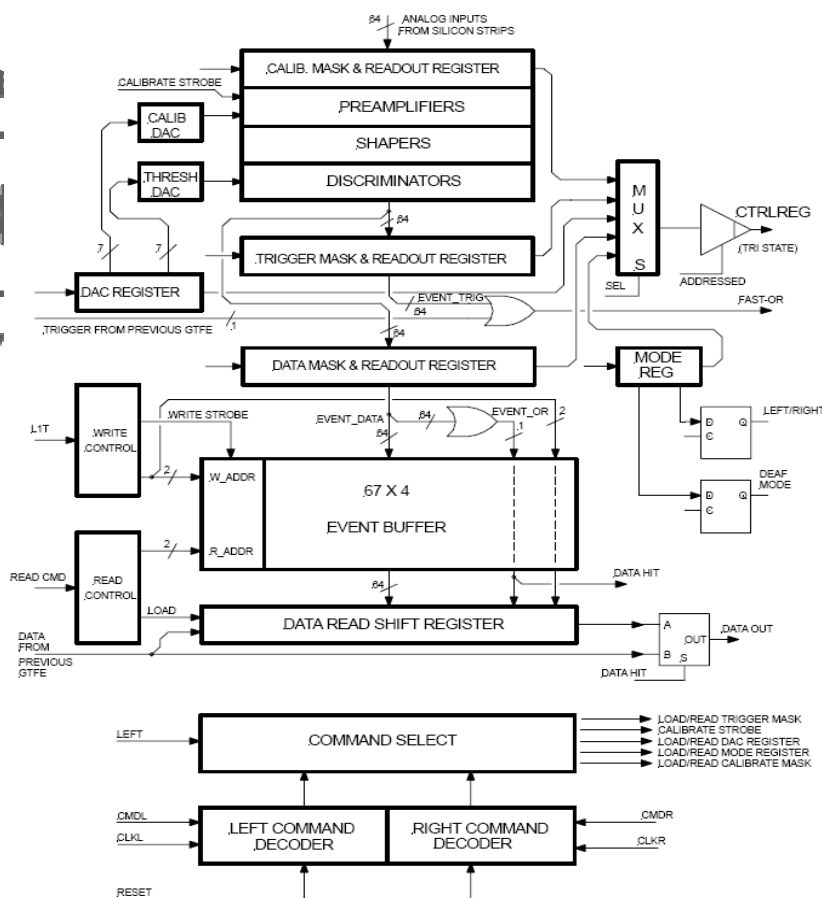
saclay



Le calorimètre ne mesure qu'une fraction de la gerbe:
=> Energie totale par extrapolation

GLAST: ASIC GTFE du Tracker

dapnia
cead
saclay

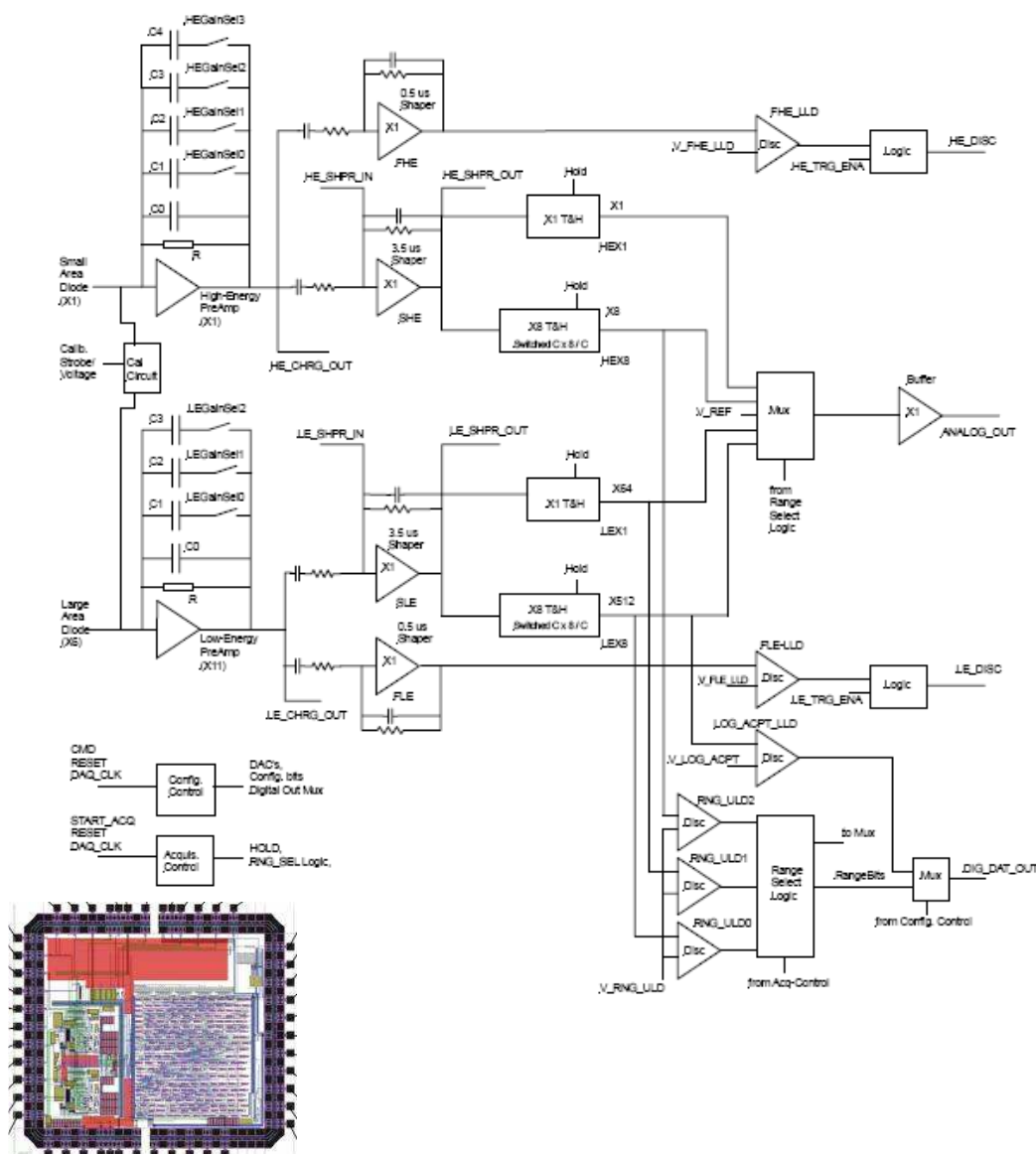


sortie du shaper:
noter la redescente linéaire

Tracker ~ Presampler en physique HEP
 techno CMOS AGILENT-14 ($0.5\mu\text{m}$)
 Design Santa Cruz inspiré de SVX2
 1 Million de canaux.
 64 voies/puce - $140\mu\text{W}/\text{canal}$.
 Ampli-Shaper-Discr+ FIFO
 sortie Fast OR pour le trigger.
 shaping $\sim 1.5\mu\text{s}$ (retour linéaire)
 évt ok si retour du trigger avec signal
 encore au dessus du seuil
 $\text{ENC} = 174e^- + 32e^- \cdot \text{CD}$ (CD = 38pF)
 signal max 20fC
 Mesure TOT

Pas de latchup durant tests SEL.
 Tests SEU ok.
 Ok après 40Krad.

GLAST: ASIC GCFE du Calorimètre



techno HP 0.5 μ m

Design NRL

2 canaux (2 gammes)

=> 2 diodes de chaque coté du CsI:
(90pF, 30pF):

2MeV-1.6GeV

100MeV-100GeV

gain ajustable

shaping rapide: 0.5 μ s

=> déclenchement

shaping lent: 3.5 μ s

mesure de charge (T&H)

2 gains par voies (rapport 8)

=> 4 « gains » au total

1,8,64,512

12mW/canal (2 voies)

SEU: LET seuil > 8 MeV/(g/cm²)

durcissement > 10 krad

Bruit < 2000e⁻ rms voies lente.

Bruit < 3000e⁻ rms voie rapide, HE.

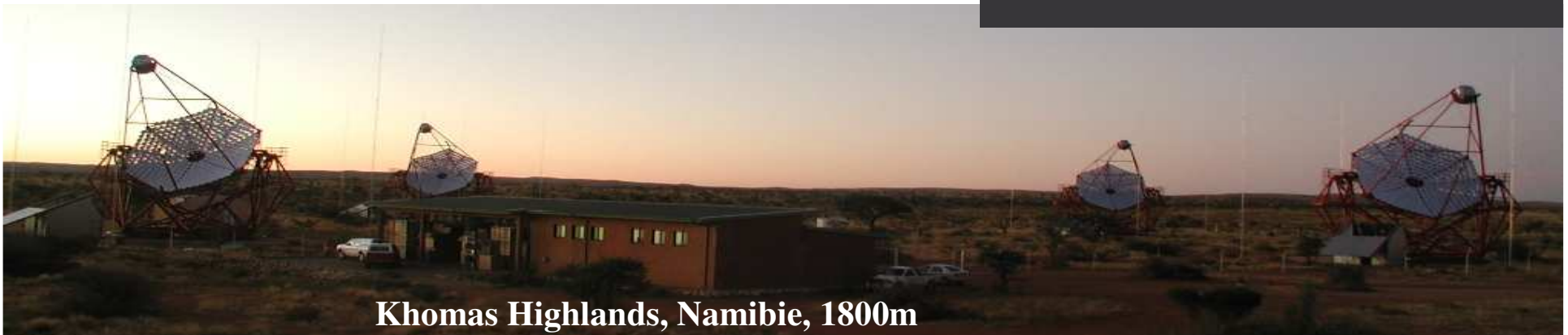
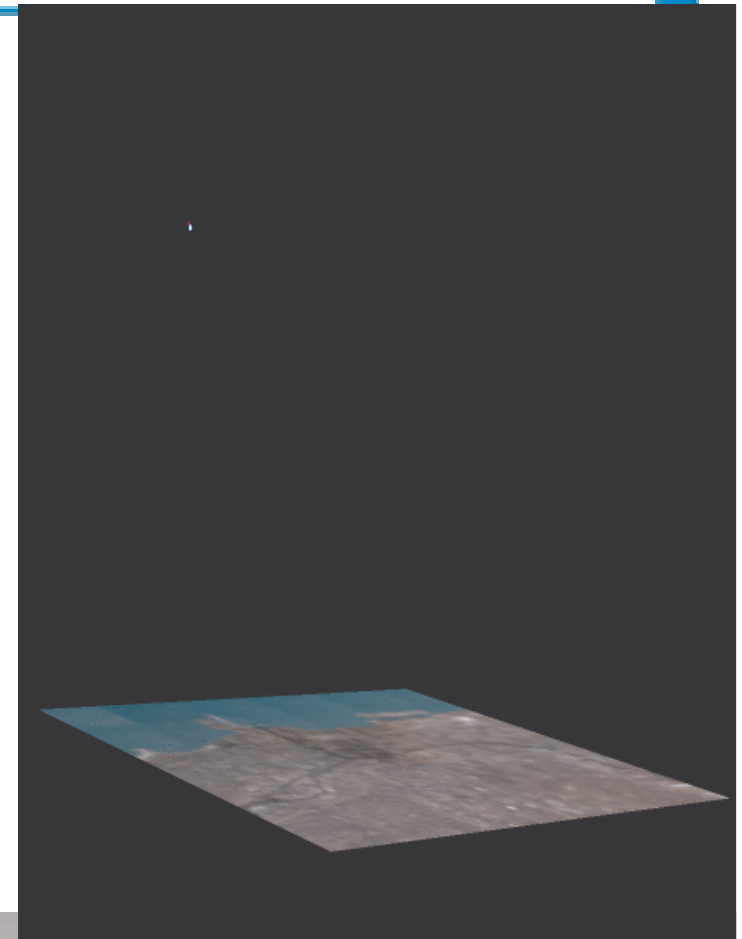
3mmx3mm

E. Delagnes

Astroparticules et ASICs / Porquerolles Mai 2007 33

La détection des γ d'ultra-haute énergie (10GeV-100TeV)

- dapnia
-
- cea
-
- saclay
- Spectre Gamma UHE également en $\exp^{-2...xE}$.
=> Grandes surfaces détectrices nécessaires
 - Atmosphère opaque aux gammas.
 - Mais les gammas produisent des gerbes dans l'atmosphère.
 - Au dessus de 10 GeV, la direction de la gerbe est dans l'axe du gamma.
 - Les particules de la gerbe produisent du rayonnement Cerenkov.
 - En imageant la gerbe, des télescopes peuvent reconstituer à la fois l'énergie et la direction du gamma.
 - Principe de base des telescopes Cerenkov (HESS(2), MAGIC(2), VERITAS...)



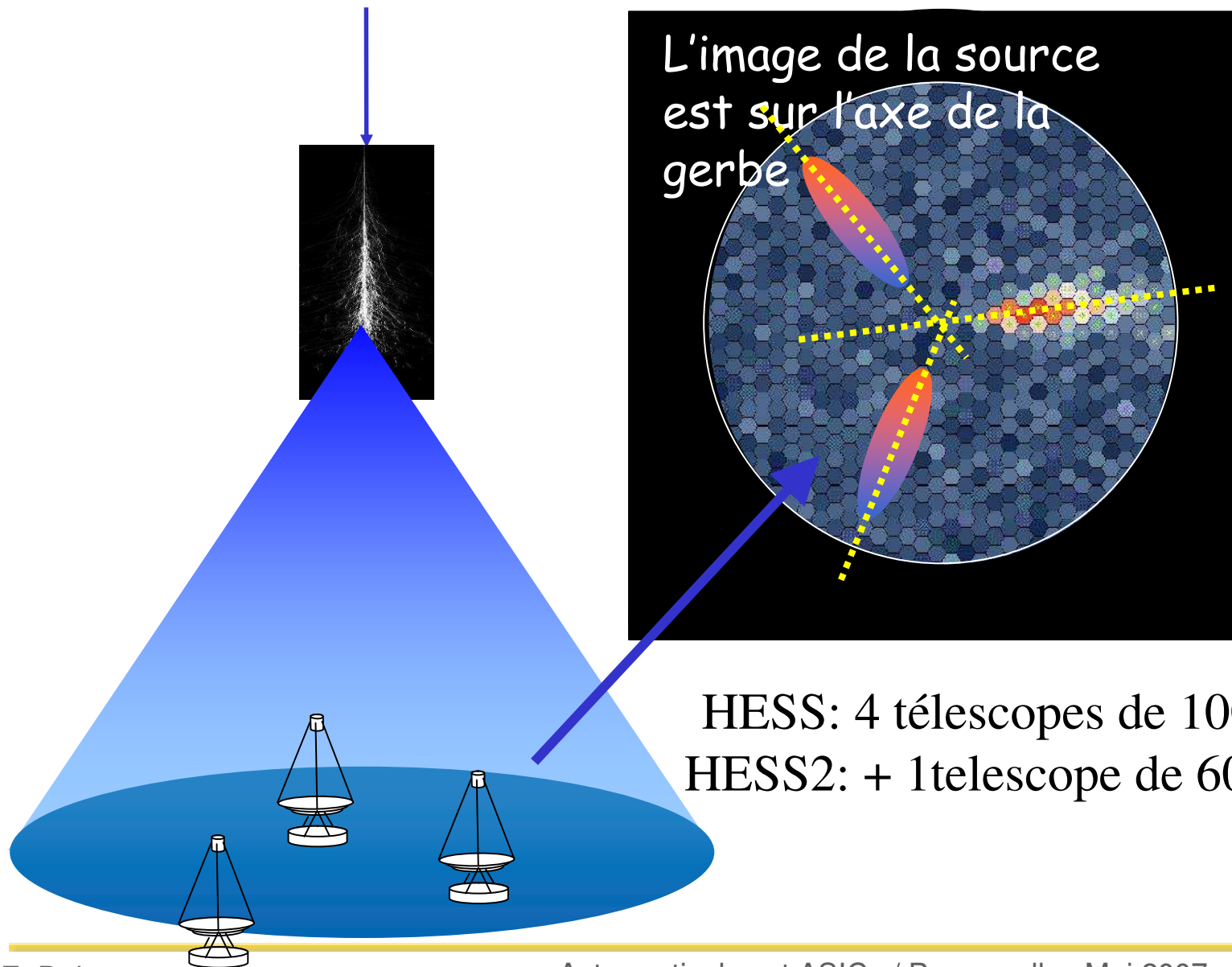
Khomas Highlands, Namibie, 1800m

Telescopes Cerenkov: la stéréo.

dapnia

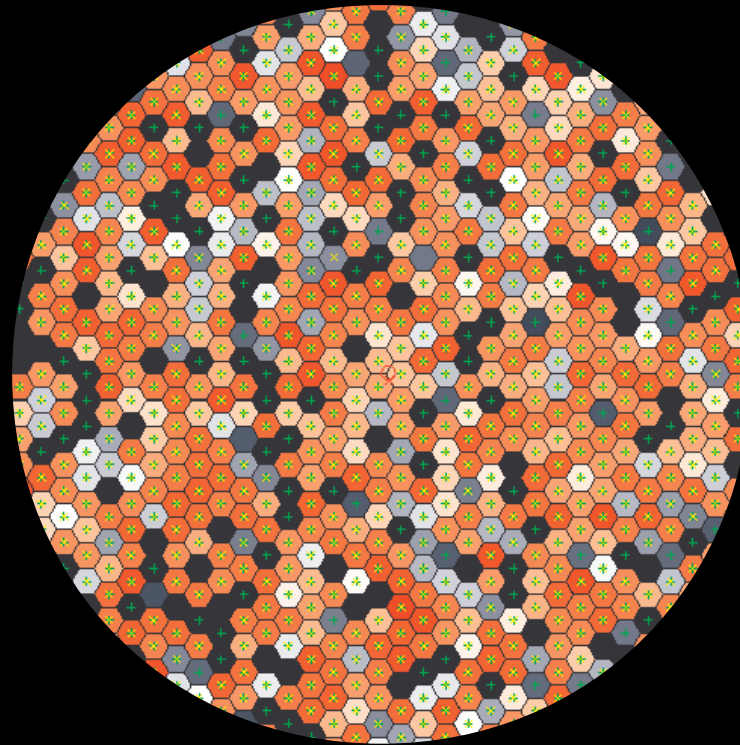


saclay



HESS: 4 télescopes de 100m^2
HESS2: + 1 telescope de 600m^2

Contamination : bruit de fond de ciel (NSB)



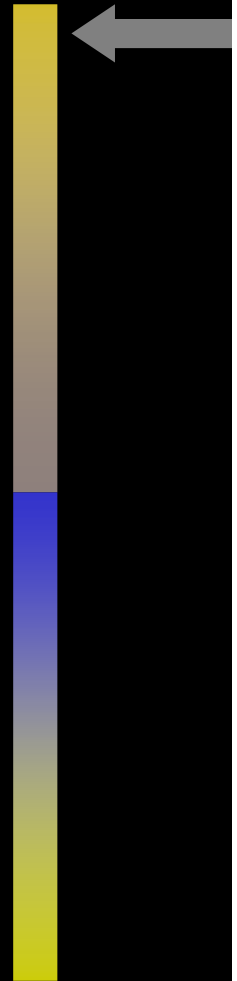
1/10000
(100 μ s)

1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

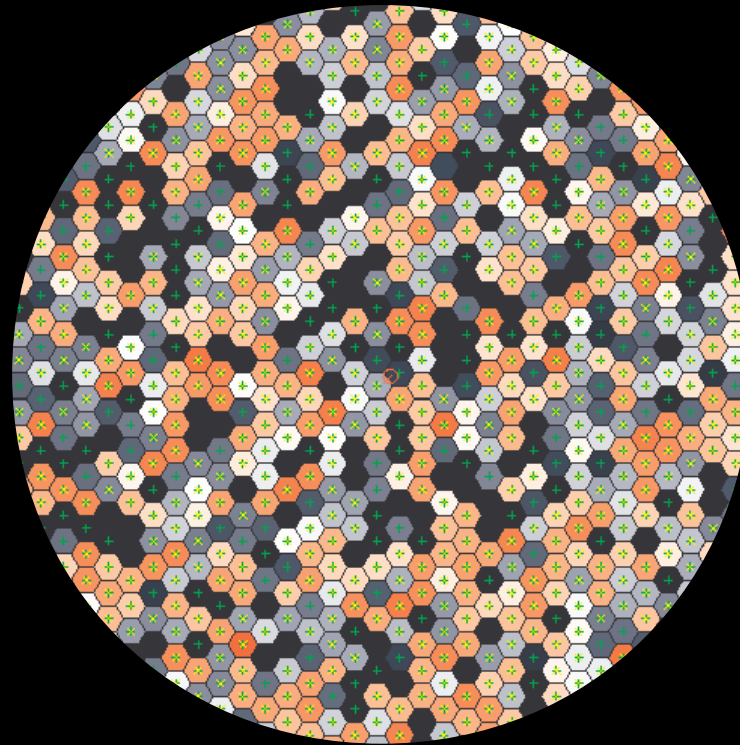
1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)



© W. Hofmann

Contamination : NSB



1/10000
(100 μ s)

1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

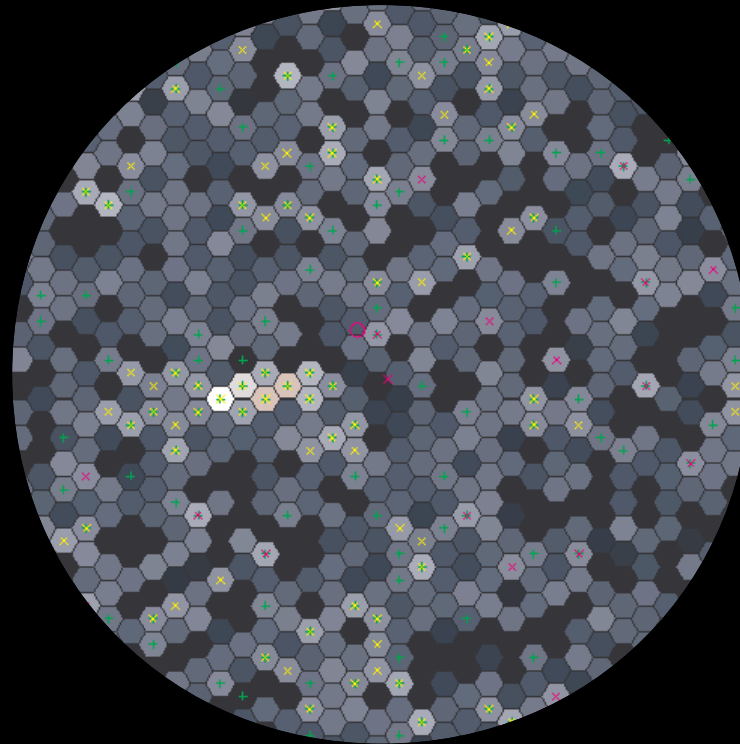
1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)



© W. Hofmann

Contamination : NSB



1/10000
(100 μ s)

1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

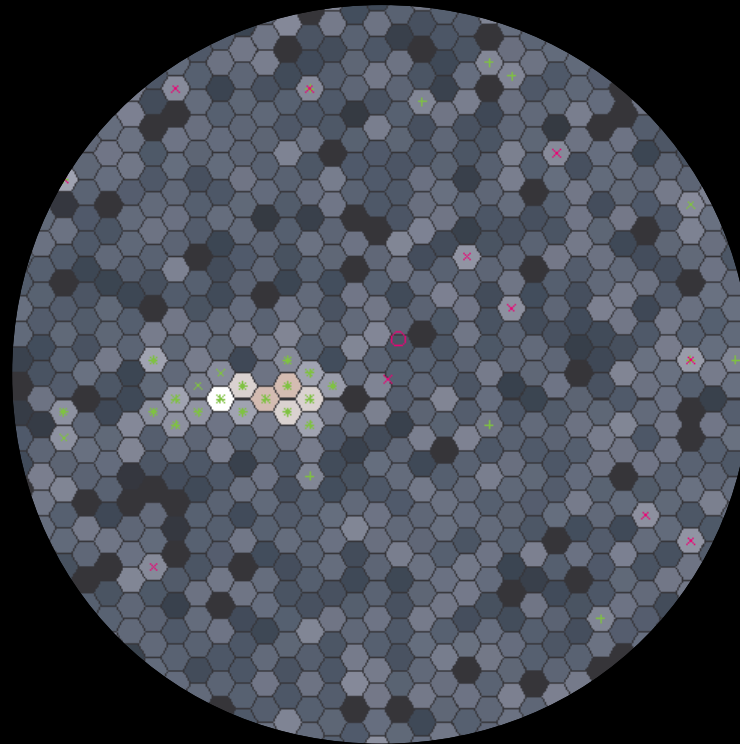
1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)



© W. Hofmann

Contamination : NSB



1/10000
(100 μ s)

1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

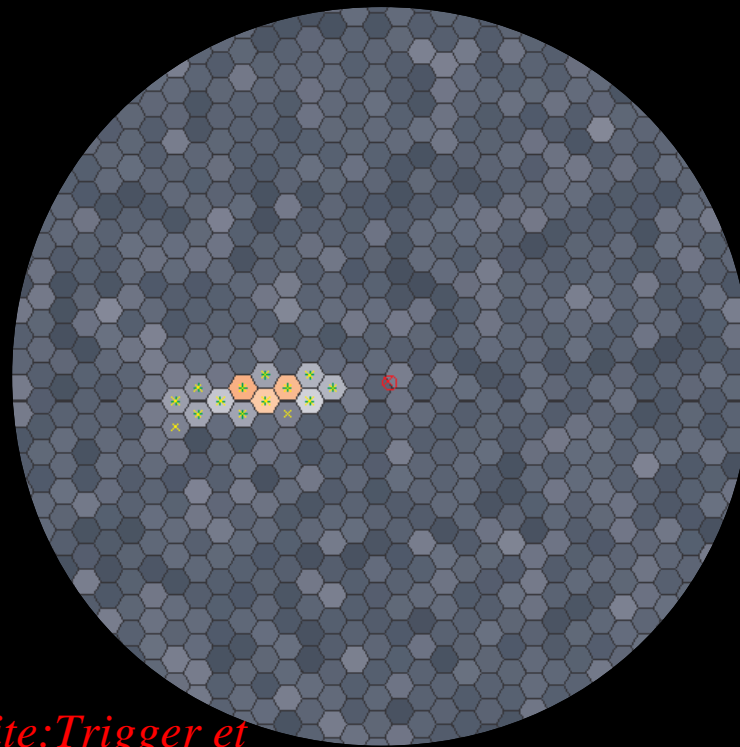
1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)



© W. Hofmann

Contamination : NSB



1/10000
(100 μ s)

1/100000
(10 μ s)

1/1000000
(1 μ s)

1/10000000
(100 ns)

1/100000000
(10 ns)



Les Clefs de la réussite: Trigger et électronique d'acquisition ultra-rapide

© W. Hofmann

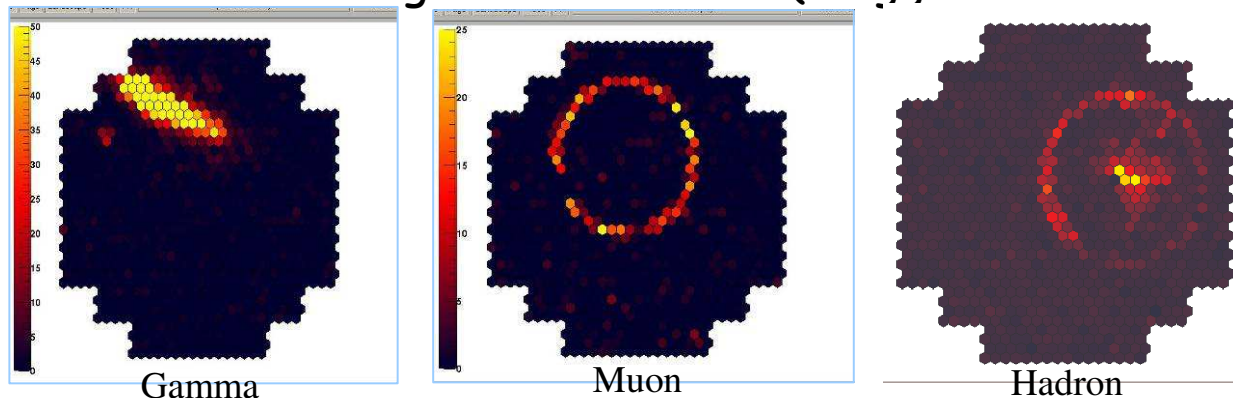
Les sources de bruit

dapnia

cea

saclay

- NSB : équivalent à bruit de pileup en calorimétrie
- Les rayons cosmiques: protons + muons (secondaires):
 - reconnaissables par la forme.
 - éliminés en ligne dans HESS2 (Trigger de niveau 2).



- Sur HESS, HESS2, MAGIC et numérisation du signal puis intégration numérique du signal:
 - dans la caméra dans HESS.
 - A l'extérieur dans Magic (câbles)

La Camera des télescopes de H.E.S.S.

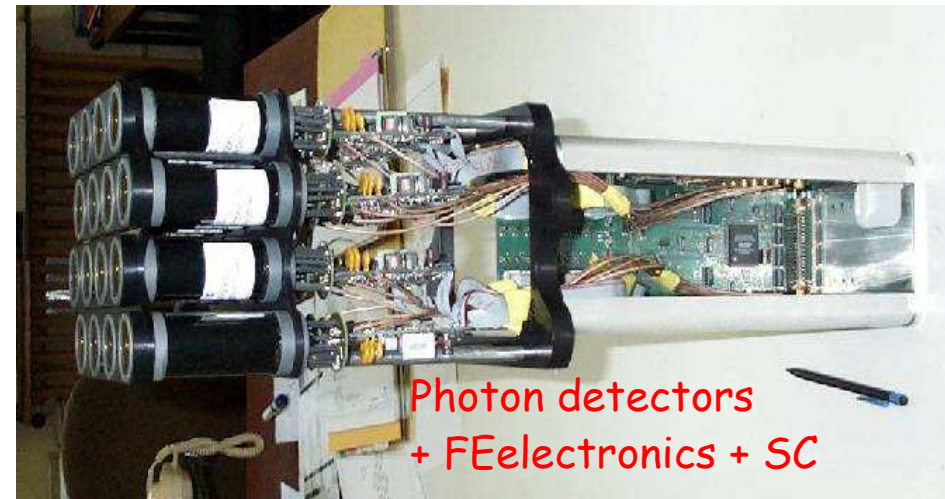
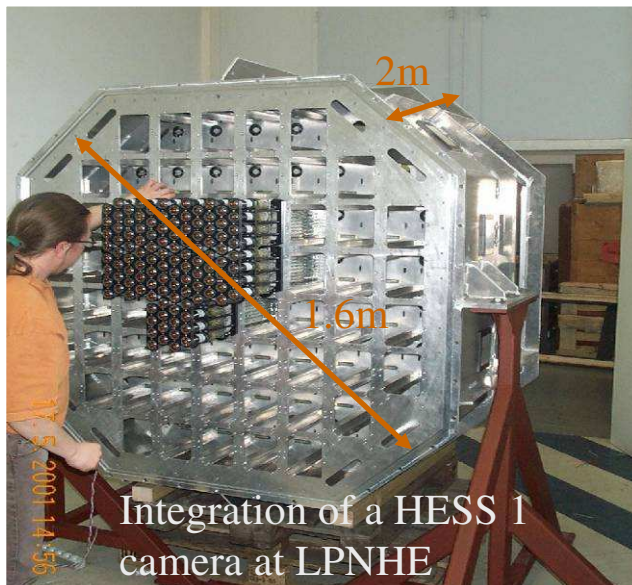
dapnia

cea

saclay

- Design très compact et "léger" (1Tonne).
- Entièrement localisée au foyer du télescope: ~ pas de câbles.
- Conception modulaire 960 PMs dans 60 tiroirs .
- Faible temps d'exposition (<16ns) pour réduire le bruit.

=> Electronique de numérisation sophistiquée et rapide intégrée à la caméra (développée par LPNHE)



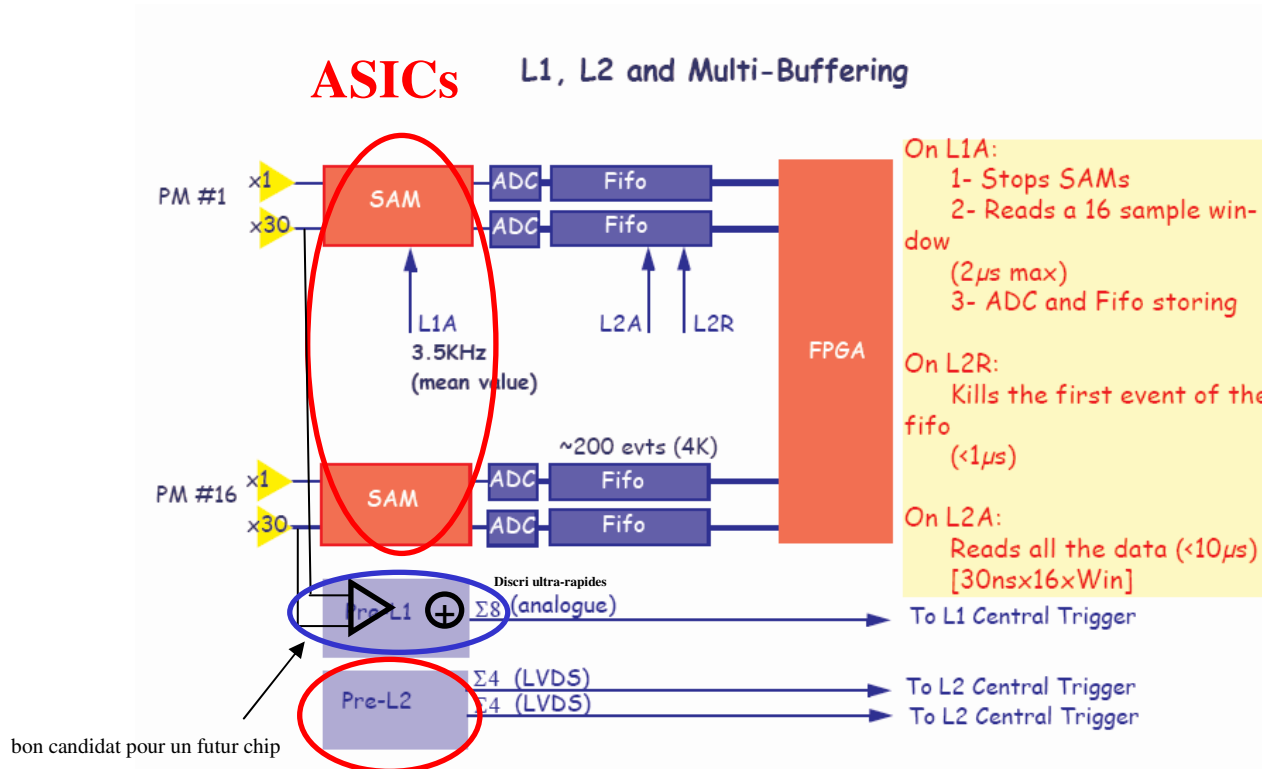
Electronique de HESS(2)

Schéma assez conservatif. Beaucoup de discrets.

dapnia

cea

saclay



Echantillonneurs rapides: AR50($0.8\mu\text{m}$): HESS, SAM($0.35\mu\text{m}$): HESS2.
 DOMINO ($0.25\mu\text{m}$) dans nouvelle électronique de MAGIC

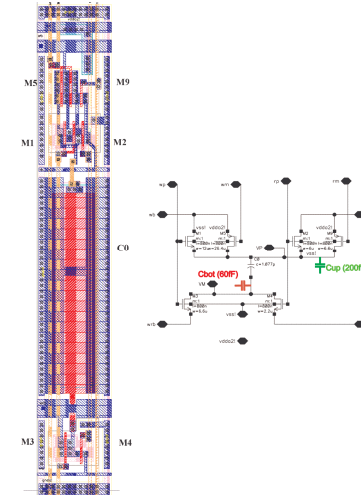
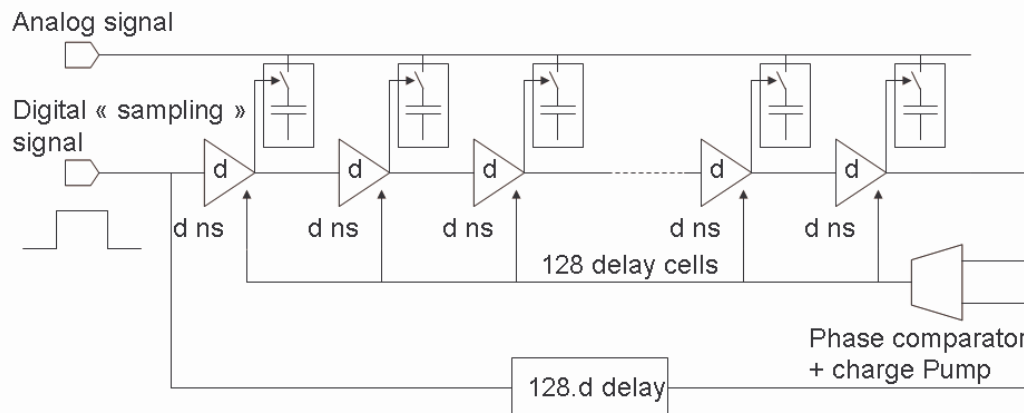
La puce ARS0: Analog Ring Sampler

dapnia

cea

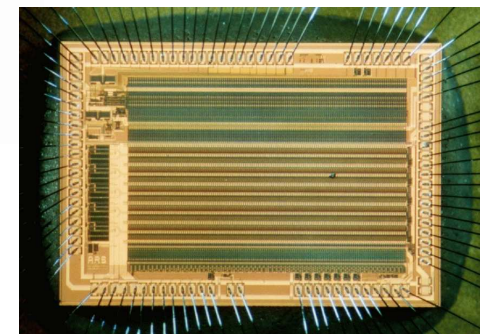
saclay

- Mémoire analogique avec échantillonnage ultrarapide développée originellement pour ANTARES.
- Basé sur la technique de DLL échantillonneuse :



Une cellule de mémoire analogique

- 5 canaux /puce, 128 cellules par canal
- Echantillonnage @ 1 GHz
- lecture ~ 1 MHz/échantillon
- **Basse puissance (500mW)**



The ARS0 chip (AMS 0.8 μ m techno)

D. Lachartre, F. Feinstein, Nucl. Instr. & Meth. A 442 (2000) p 99.

Principe de l'ANALOG RING SAMPLER

dapnia

cea

saclay

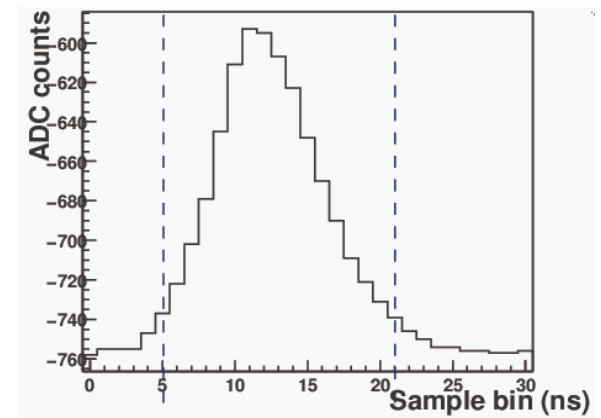
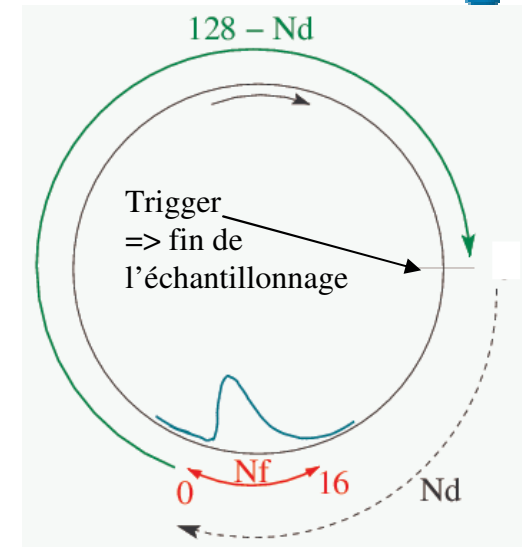
- Le signal est continument **échantillonné** dans l'ARS = mémoire circulaire.
- Lorsqu'un trigger arrive dans un secteur, l'échantillonnage est stoppé et tous les ARS sont relus (et convertis par un ADC lent externe).
- L'opération de lecture démarre de la dernière cellule écrite + offset (équivalent à dernière cellule écrite - offset).
- Le nombre de cellules relues (N_f) est programmable.
- Retard analogique sans câble.
- Très faible puissance dissipée par rapport à un ADC.
- Grande flexibilité de traitement du signal à partir des échantillons.

Deux modes de lecture sont possible:

sample = Les N_f échantillons sont tous transmis.

• *charge* = The N_f échantillons sont sommés avant d'être transmis

- Dans HESS1:
 - delay = 50-70ns.
 - $N_f = 16$ ns

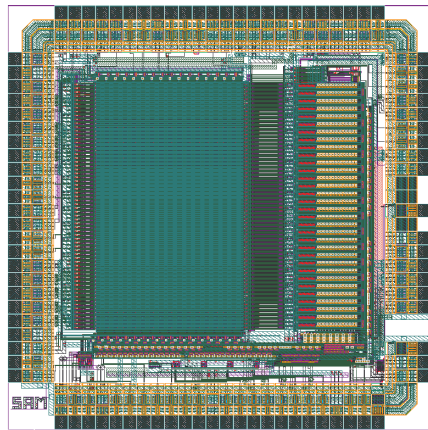


Les puces SAM et PreL2 pour HESS2.

dapnia

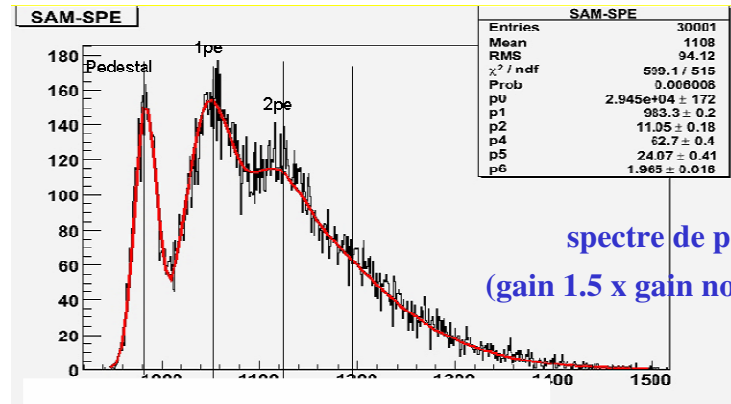
cea

saclay

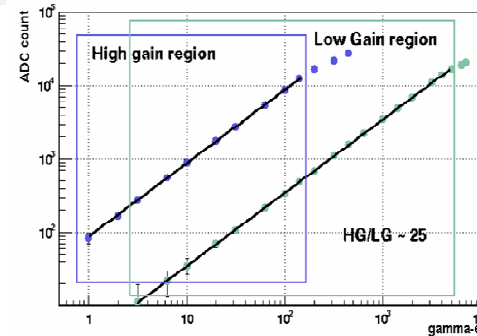


2 canaux différentiels *256 cellules
 Techno AMS CMOS 0.35 μm .
 Possibilité de reconnaissance de forme
 300mW/ch
 BW= 300MHz. $F_s \leq 2.5$ GHz
 Dynamique ~ 12bits
 Surface ~11 mm². ~60k transistors.
 6000 chips produits.

ARS=> SAM: lecture + rapide: temps mort/ 100



spectre de pe.
 (gain 1.5 x gain nominal)



dynamique : 1-6000pe
 (avec deux gammes)

Chip Pre-L2 (LPNHE): même fonction que SAM, (retard numérique à base de pour fournir une image bicolore validée par le L1 au Pre-L2.

La suite...

dapnia

- CTA: proposition de design study FP7.

cea

- réseaux de télescopes à la HESS1
=>vers un véritable observatoire astronomique

saclay

- Synergie des équipes HESS-MAGIC.

- De nouveaux chips ?:
 - intégration d'une partie de la FEC (ADC + FIFO) dans l'échantillonneur.
 - nouveau Pré-L2 ?
 - Pré-L1 (discris + sommes ultrarapides)?



dapnia



saclay

Experiences Neutrinos

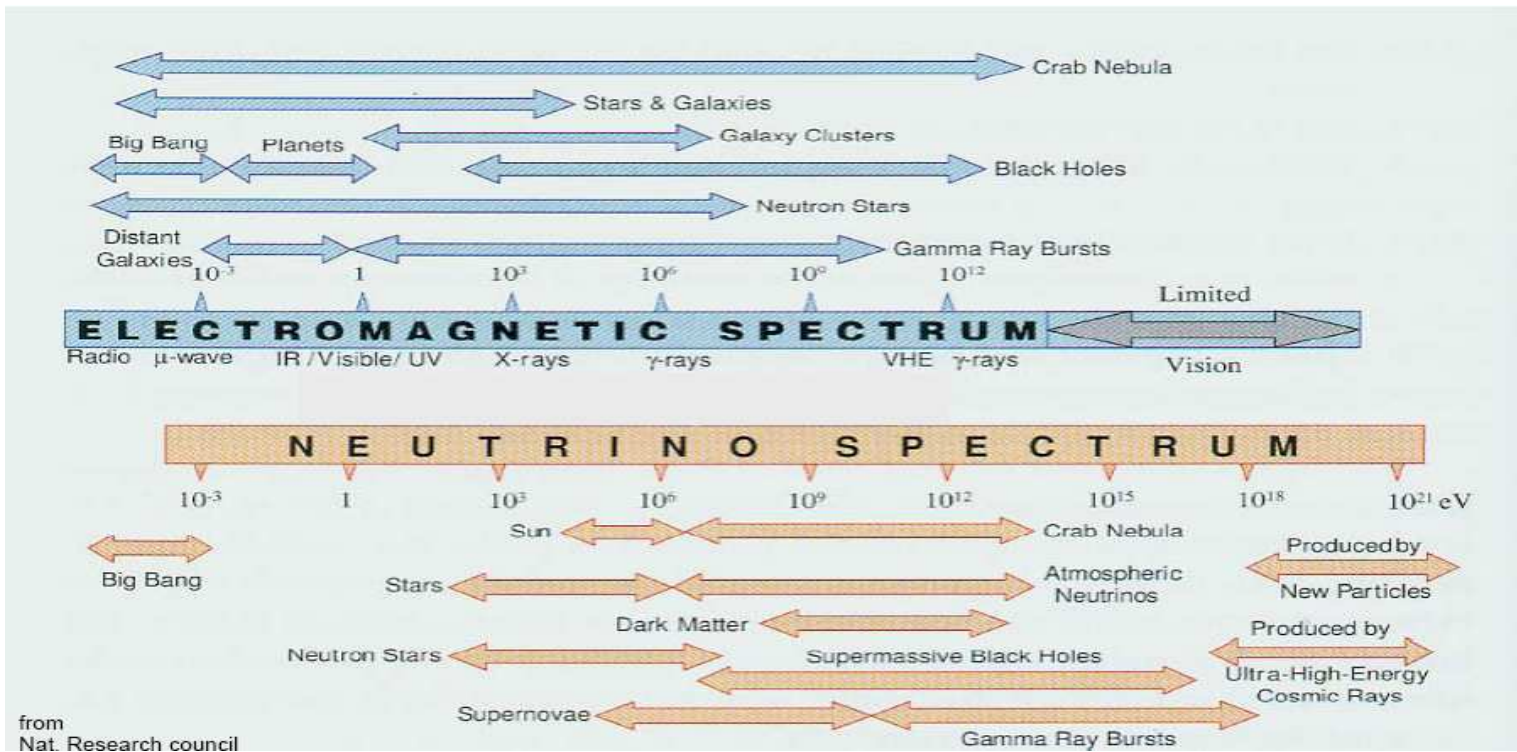
Neutrinos: généralités

dapnia



saclay

- 3 saveurs de Neutrinos (e-, muon, tau).
- Interagissent très peu avec la matière.
- Pas affectés par les champs magnétiques
- Spectre en énergie très large (plus étendu que le spectre EM)
- => Nouvelle physique et nouveaux messagers.



from Nat. Research council

Les expériences neutrino sous-terraines.

- SNO(Canada) et SUPERKAMIOKANDE (JAPON)
- Enfouis à 2000 m de profondeur.
- Cible liquide dans un réservoir:
 - SNO (1000T de D₂O)
 - SuperK (50000 T d'H₂O)
- Capture du rayonnement Cerenkov par ~10000 Photomultiplicateurs tapissant la cuve.
- Détecteurs multi-expériences (Neutrino solaires, atmosphériques, faisceau).
- Résultats de physique importants ces dernières années (déficits de neutrino solaires, oscillations de neutrino dans SuperK).

Principe de détection.

dapnia

cea

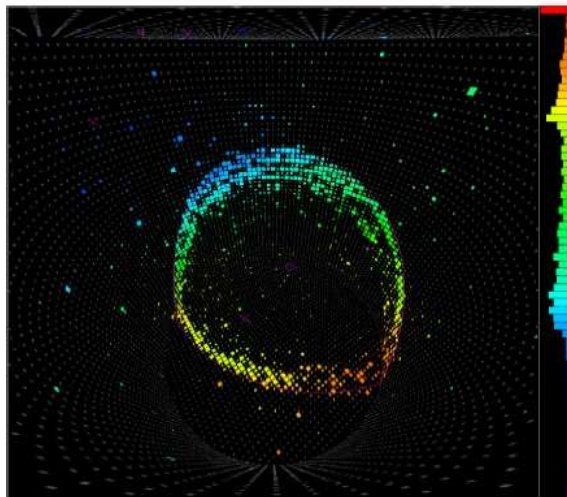
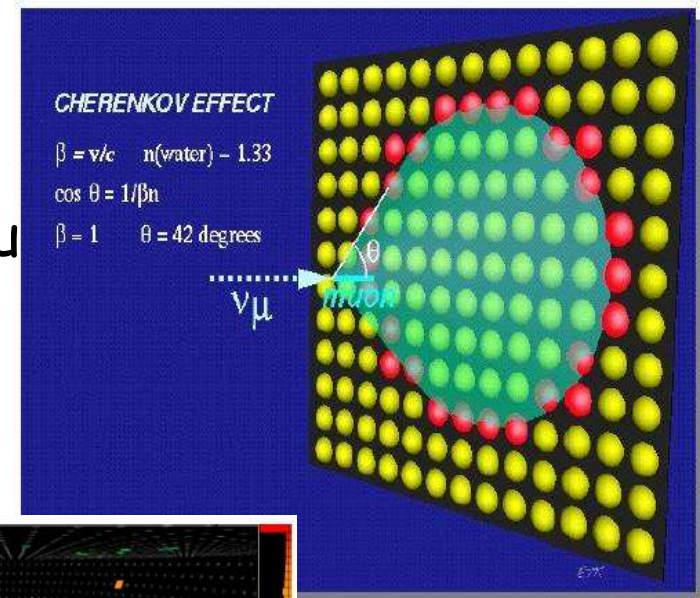
saclay

Temps => vertex d'interaction
=> **resol. < 1ns**

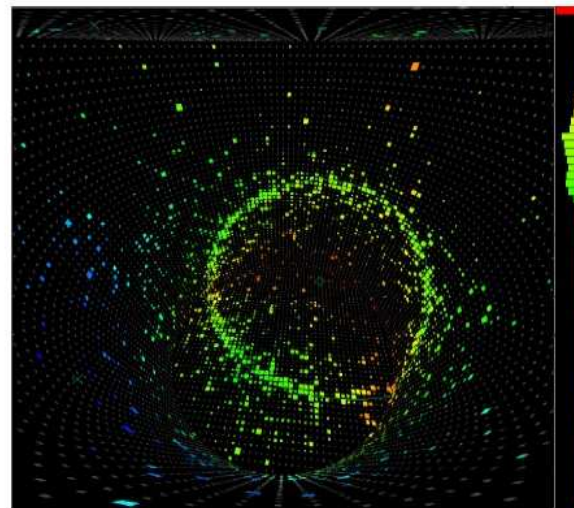
Direction de la particule <= anneau

Energie <= lumière collectée.

Identification: forme de l'anneau



Muon atmosphérique (FC)



Électron atmosphérique

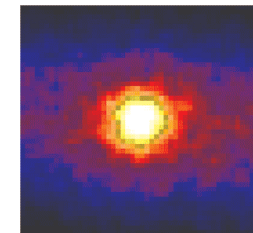


Image neutrino du soleil (SK)

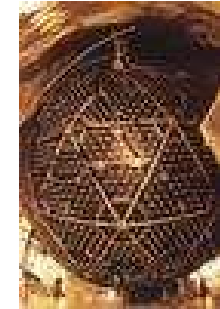
SNO

dapnia **Première Utilisation d'ASIC** dans le monde de l'astroparticule

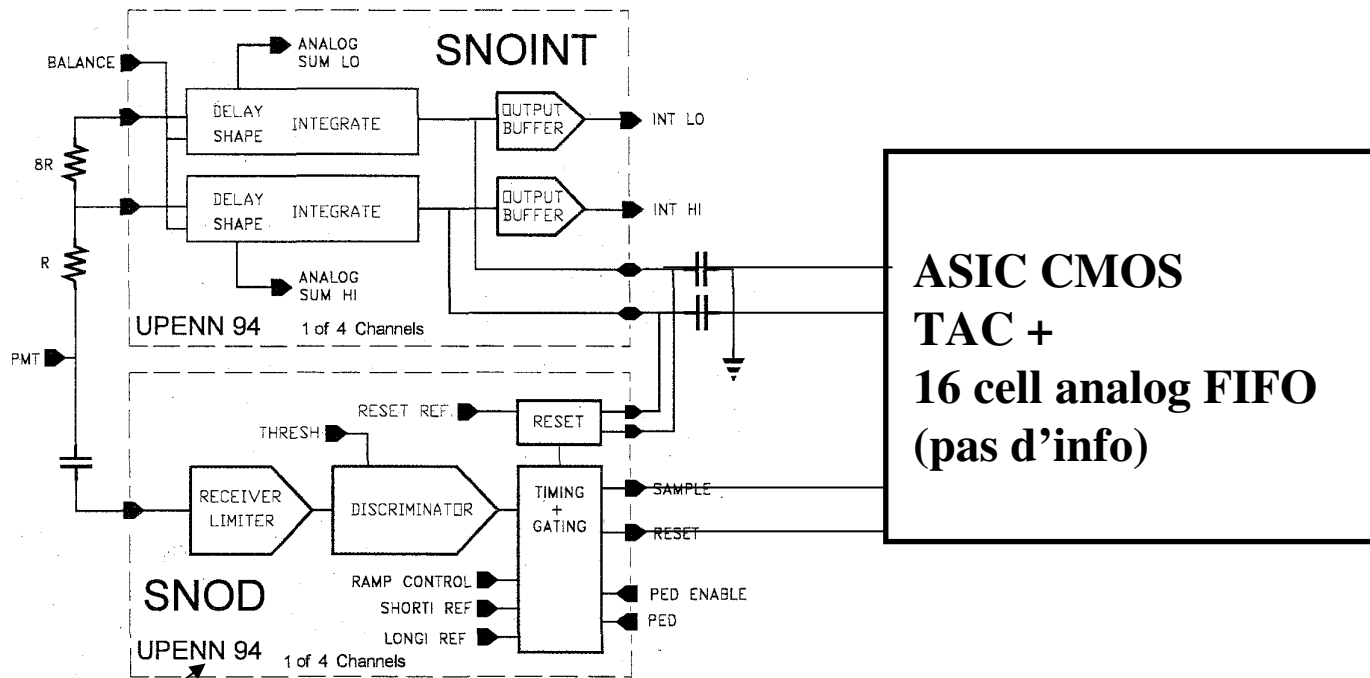


Design par Univ. of Pennsylvanie

Association de 3 ASICs (2 bipolaires, 1CMOS).



saclay



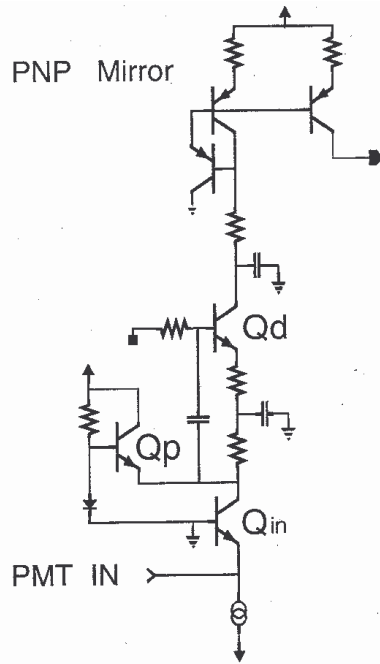
Discri + monostables

SNO

dapnia



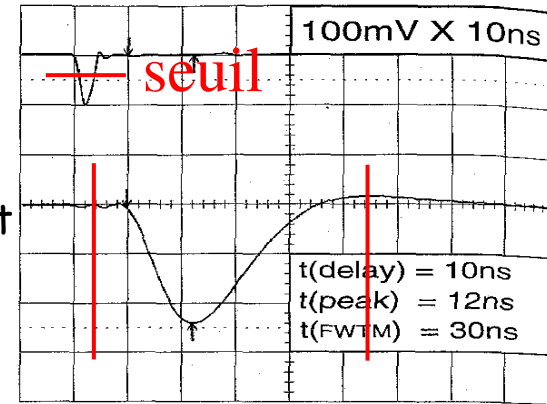
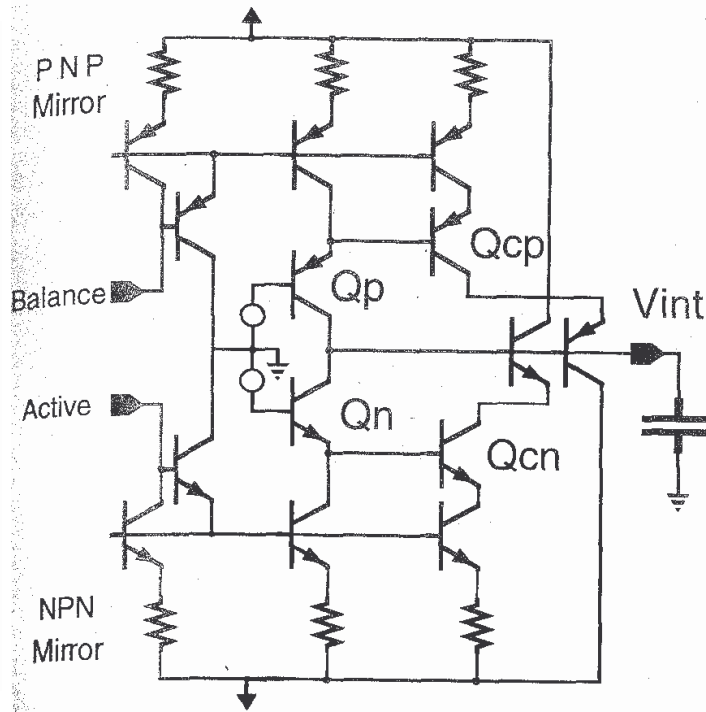
sa PNP Mirror



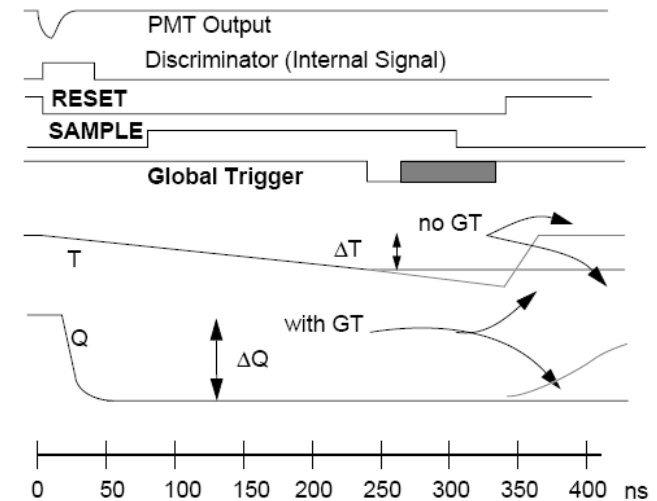
•SNOINT:

2 gains (res externe)

base commune + anti-overload + delay + shaper
 sortie en courant, intégration par porte sur capa ext



Le délai permet d'intégrer la partie du signal avant le passage au seuil



•SNOD:

discri + monostable pour porte d'intégration et L1 accept

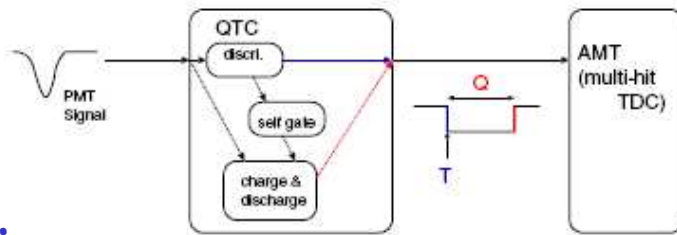
SuperK

dapnia

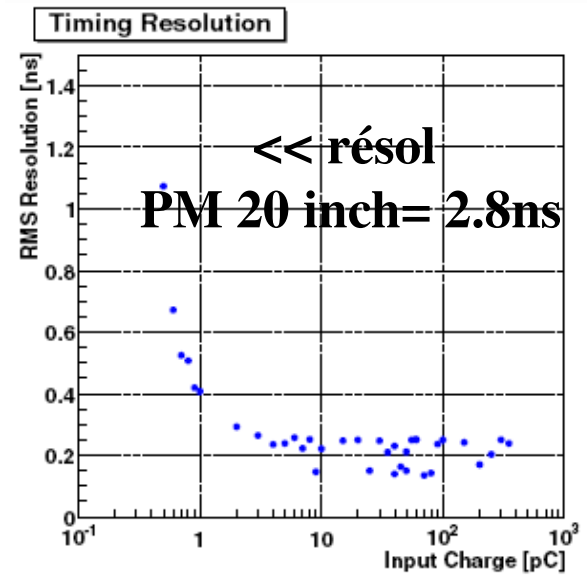
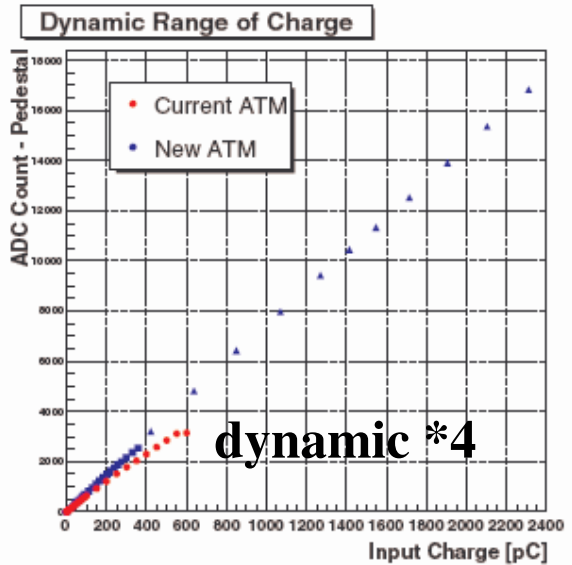
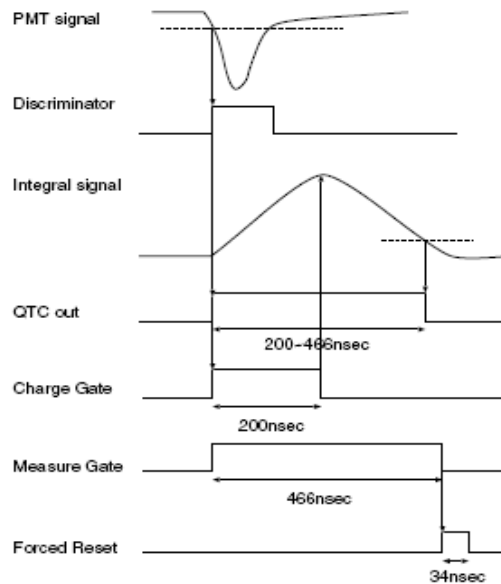
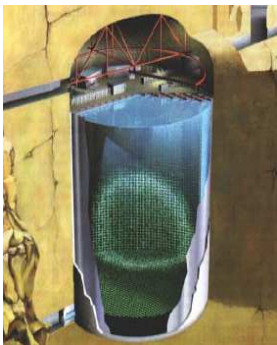


saclay

- Electronique initialement discrète
- Nouvelle électronique basée sur:
TDC multihit AMT (muon ATLAS)
chip QMT (Univ. Tokyo)



- QMT chip:
discrimination.
intégration
conversion charge → temps.
CMOS 0.35 μm
100mW/voie
Dead Time = 500ns



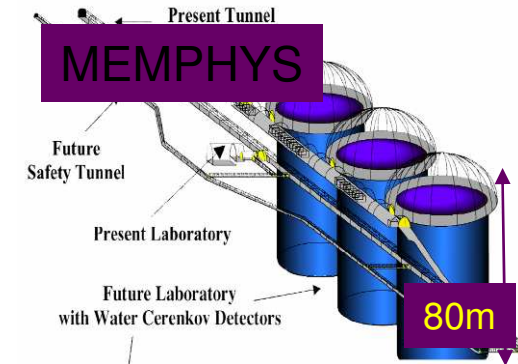
L'avenir des neutrinos sous-terrains.

dapnia

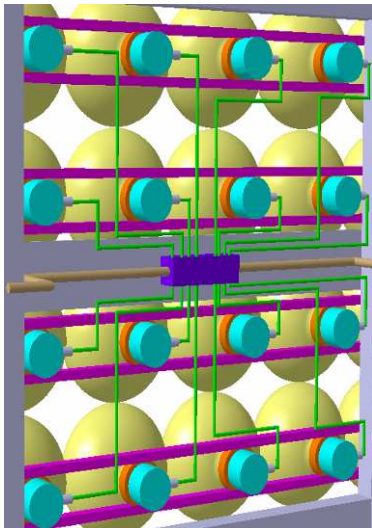


saclay

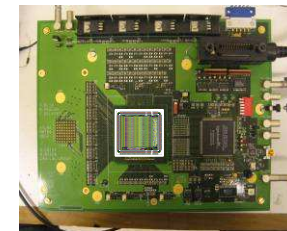
- Inflation de la taille des détecteurs (Megatonne).
- Inflation de la taille des PMs stoppée après l'accident de SuperK.
- Solution avec petits PM attrayante:
 - économiquement.
 - performances (temporelles)



Possible avec électronique intégrée, câblerie réduite, nbre de HT réduite.

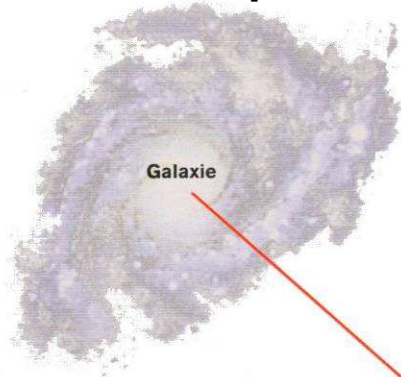


programme d'étude
PMM2 du LAL basé sur les
chips MAROCs



Les observatoires neutrinos: Principe

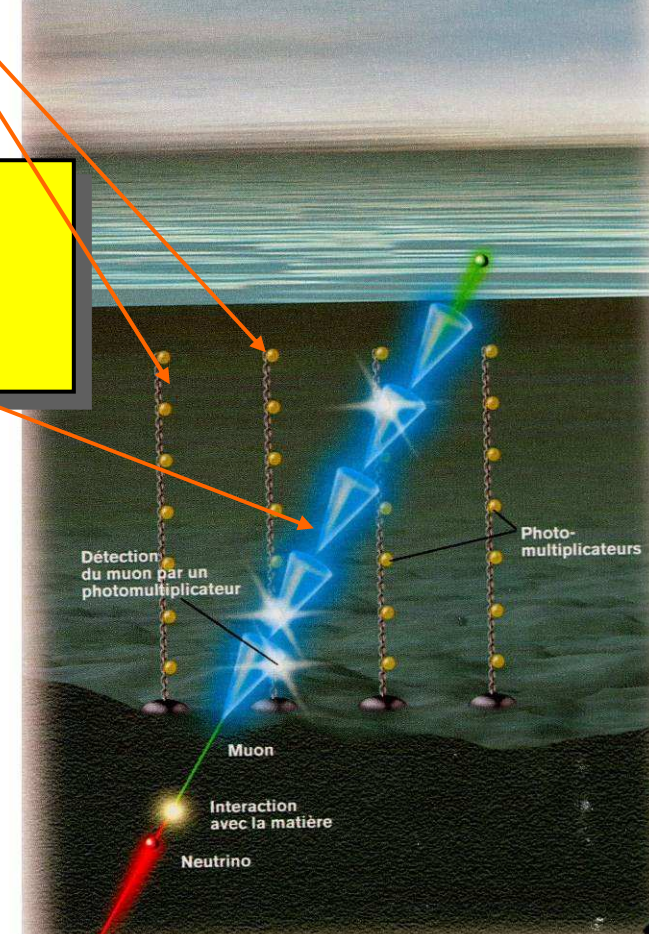
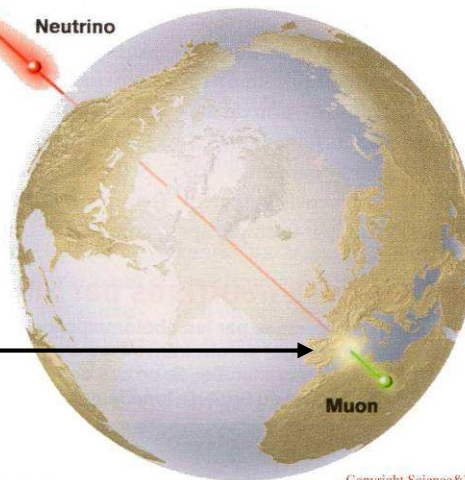
Ciel aux antipodes



Le tube photo-multiplicateur(PMT) mis dans une sphère haute pression détecte les photons (temps d'arrivée & amplitude)

Le muon émet des radiations de Cherenkov (photons) dans l'eau de mer

Un muon-neutrino traverse la Terre (utilisée comme un filtre) et interagit, produisant un muon.



Copyright Science&Vie Juillet 1999

Les observatoires neutrinos: la concurrence

dapnia

cea

saclay

Méditerranée:

ANTARES (Porquerolles)

NEMO (Sicile)

NESTOR (Grèce)

KM3 (?)

+: bonne résolution angulaire

- : K40, Bioluminescence.

Eau douce :

LAC BAIKAL

+: bonne résolution angulaire

+: Pas de bioluminescence.

+: Infrastructure

--- : Lac trop petit et peu profond

Glace :

ICE CUBE (Pôle Sud)

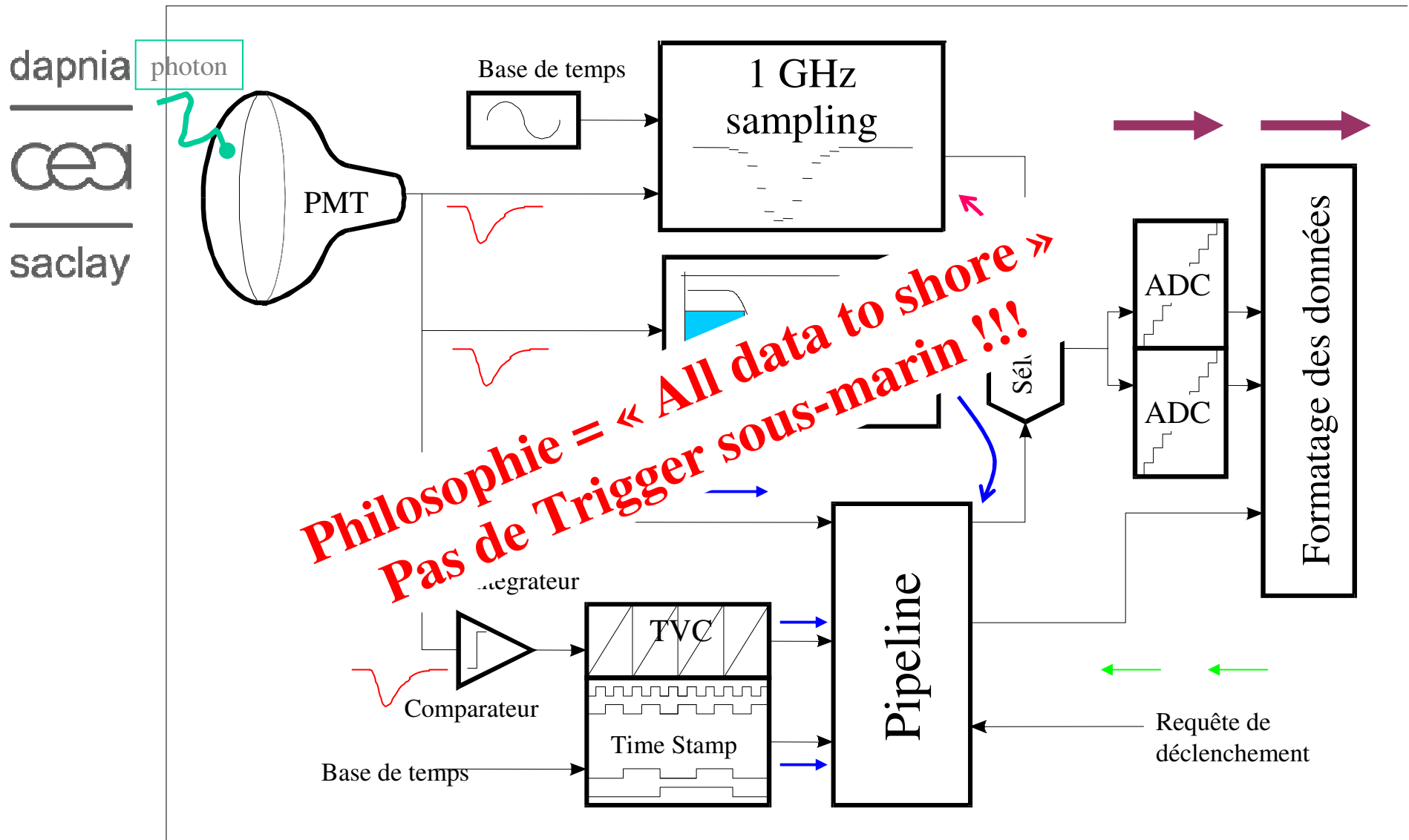
+: Pas de bioluminescence.

-: Diffusion dans la glace

-: Pas de centre galactique

© François Montanet

L'ASIC de lecture des PMs d'ANTARES (ARS)



Caractéristiques principales de l'ARS.

dapnia



saclay

- Techno CMOS AMS 0.8 μ m
- Temps Mort SPE = 300ns, waveform: 180 μ s.
- Réduit par la mise en ping-pong de 2 chips.
- Taux max avant perte d'évènements: 200-300kHz moyen.
- Résolution temporelle < 0.4ns rms
- Seuil 0.3 SPE.
- Gamme charge 0.3-15 SPE, waveform jusqu'à 200 SPE
- 200mW/canal (5V)
- 200 paramètres réglables par slow-control:
=> un cauchemar pour le test.

- 2x6000 chips produits, rendement = 50%
- 7 lignes/12 immergées, 5 connectées (7*25*3 = 525PMs)

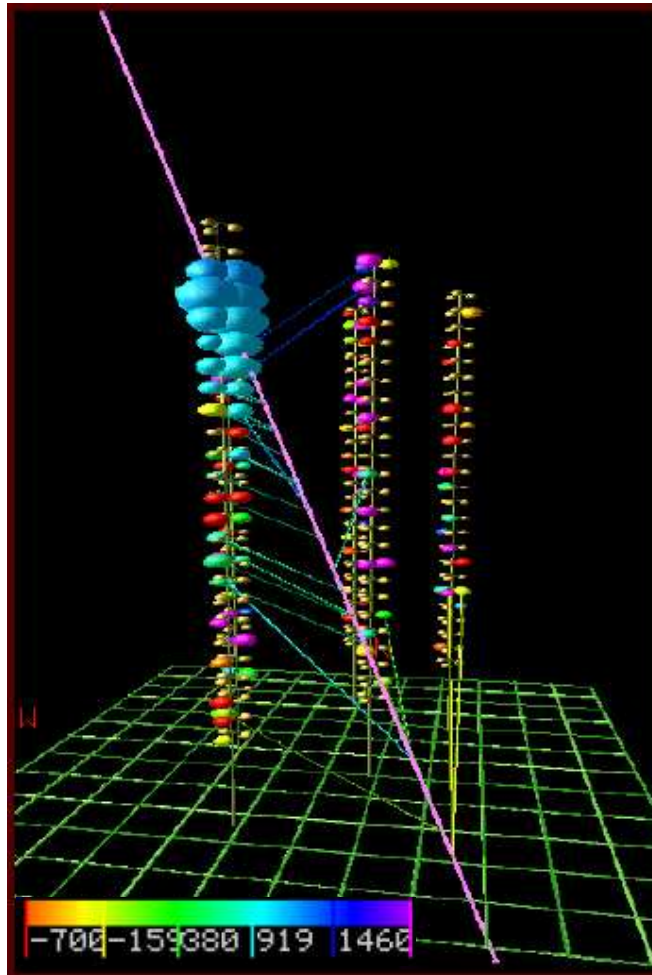
- Fonctionnement ~ nominal.
- La physique peut commencer... pas si simple.

Le premier (muon issu de) neutrino montant??

dapnia

cea

saclay



Les reconstructions n'utilisent aujourd'hui que 20% des possibilités de l'ARS.

On sait déjà qu'ANTARES est trop petit pour faire de l'astronomie.

Nécessité d'un détecteur au moins 30x plus grand

=> KM^3

Un tel détecteur est déjà en cours de déploiement au pôle sud.

Le KM³ en Méditerranée.

dapnia

cea

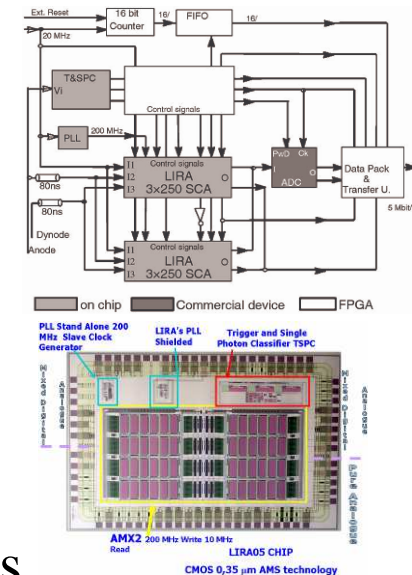
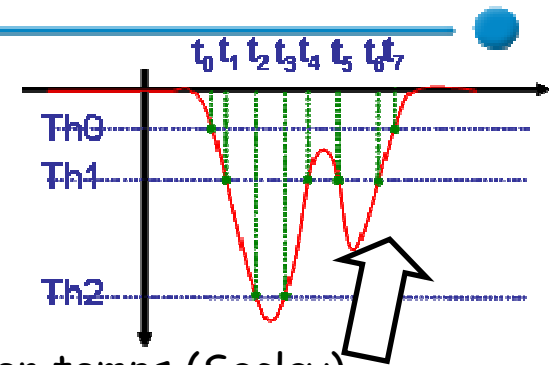
saclay

- Design study FP6
- « Synergie ? » des équipes européennes
- Plusieurs solutions en lice:
 - **ARS-like** à double buffer => SCALE (Saclay)

- **Multiseuil**: échantillonnage en amplitude et non plus en temps (Saclay)
 - Temps de passage (lead. et trail.) à différents seuils capturés
 - mesurés sans temps mort par « TDC multihits ».

- Solution « **NEMO2** » (INFN-CATANE):
 - très similaire à ARS mais multichip
 - préfiltrage du pulse PM (largeur doublée).
 - Echantillonnage à 200MHz dans SCAs.
 - Buffer simple

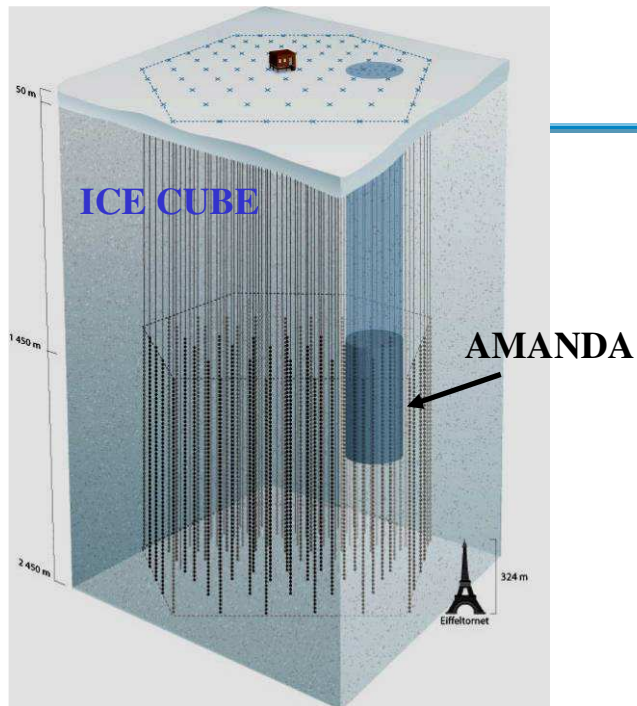
- **Tout-optique** (Nikef). Pas d'électronique sous l'eau.



Mais pour quel détecteur !?! et pour quelles physiques

=> **Spécifications ??? (taux, dynamique, trigger ?...)**

Le readout d'ICE-CUBE



- Basé sur le Digital Optical Module:
- Echantillonnage par ATWD (échantillonneur au GHz).
 - S. Kleinfelder (LBNL). 1^{er} chip du genre en HEP.
 - 125mW, 4cx, 128 cell. Orbit $1.2\mu\text{m}$.
 - ADC Wilkinson intégré dans chip ($30\mu\text{s}/\text{canal}$)
- puis compression des données par FPGA
- Timing fin et mesure de charge réalisé sur la waveform

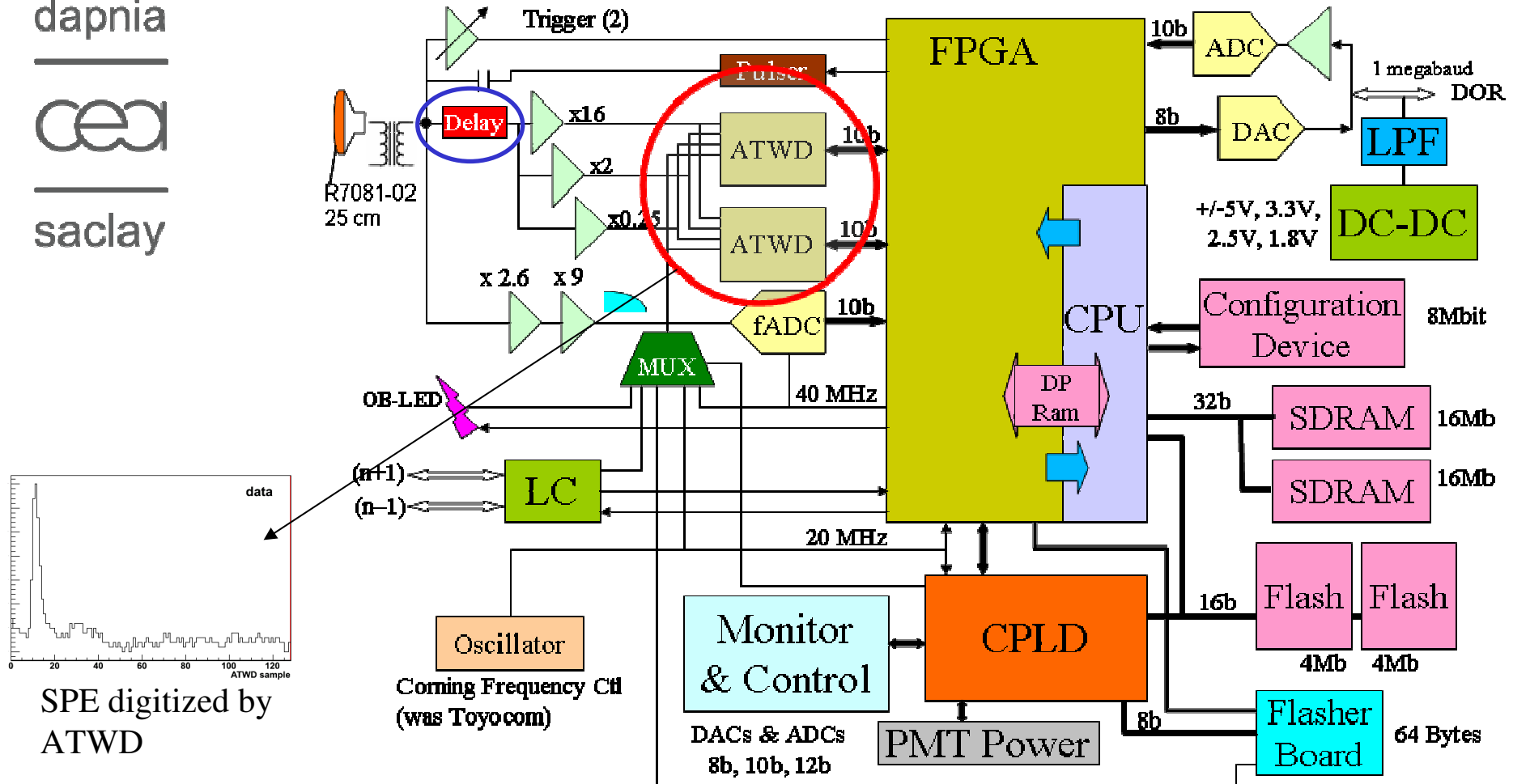
ICE CUBE Digital Optical Module

DOM MB Block diagram

dapnia

cea

saclay



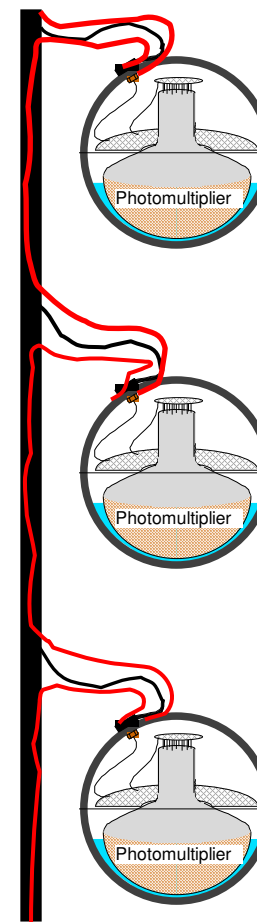
ICE CUBE

dapnia

cea

saclay

- Très faible puissance (5x moins qu'ANTARES par voie)
- Schéma d'acquisition possible car:
 - faible taux (<1kHz) bruit du verre.
(Pas de bioluminescence).
 - Trigger local programmable
=> taux = 15Hz par PM ramené en surface





dapnia



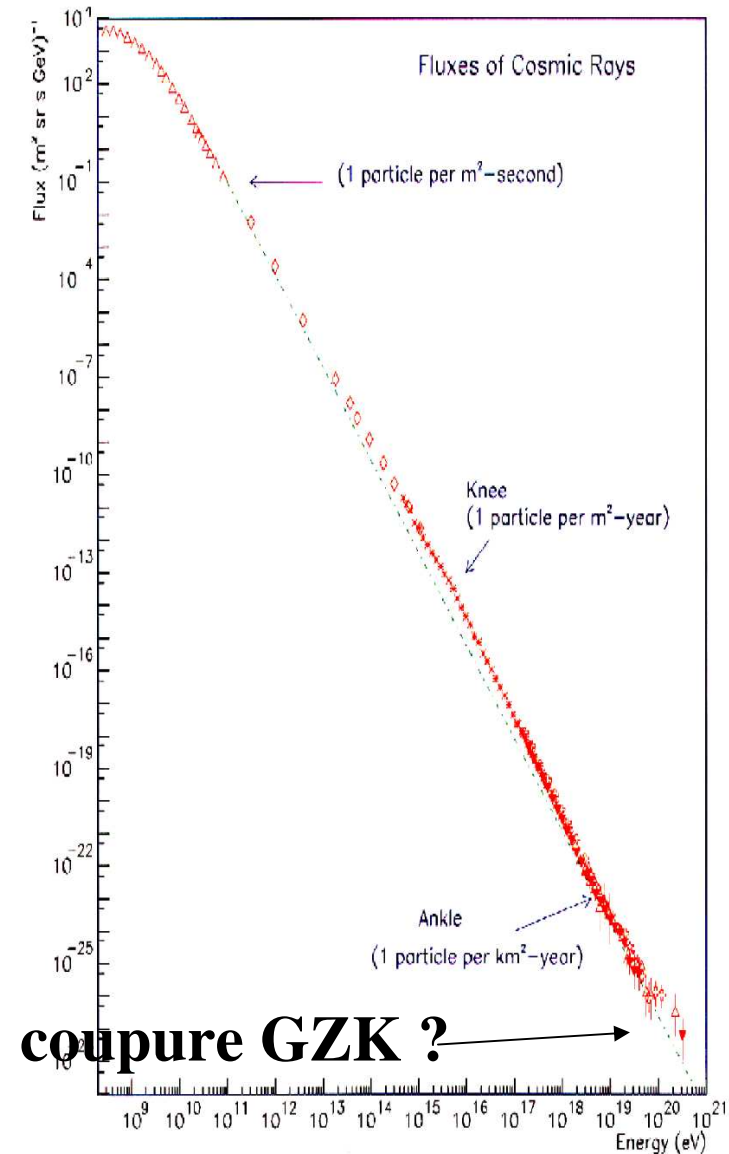
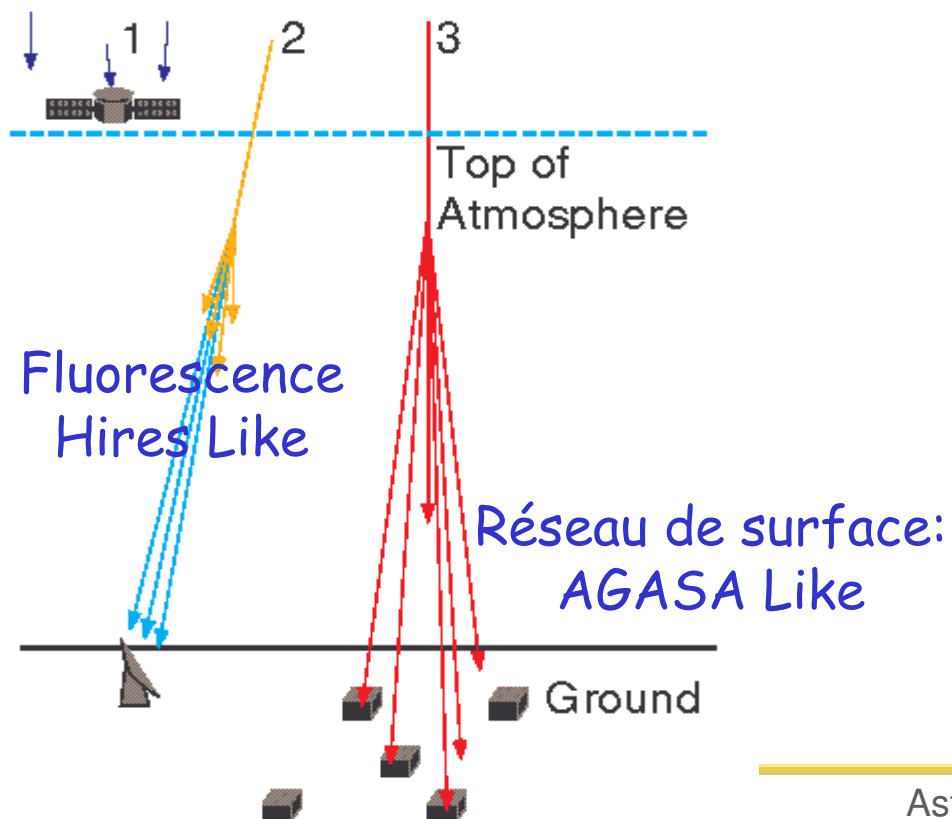
saclay

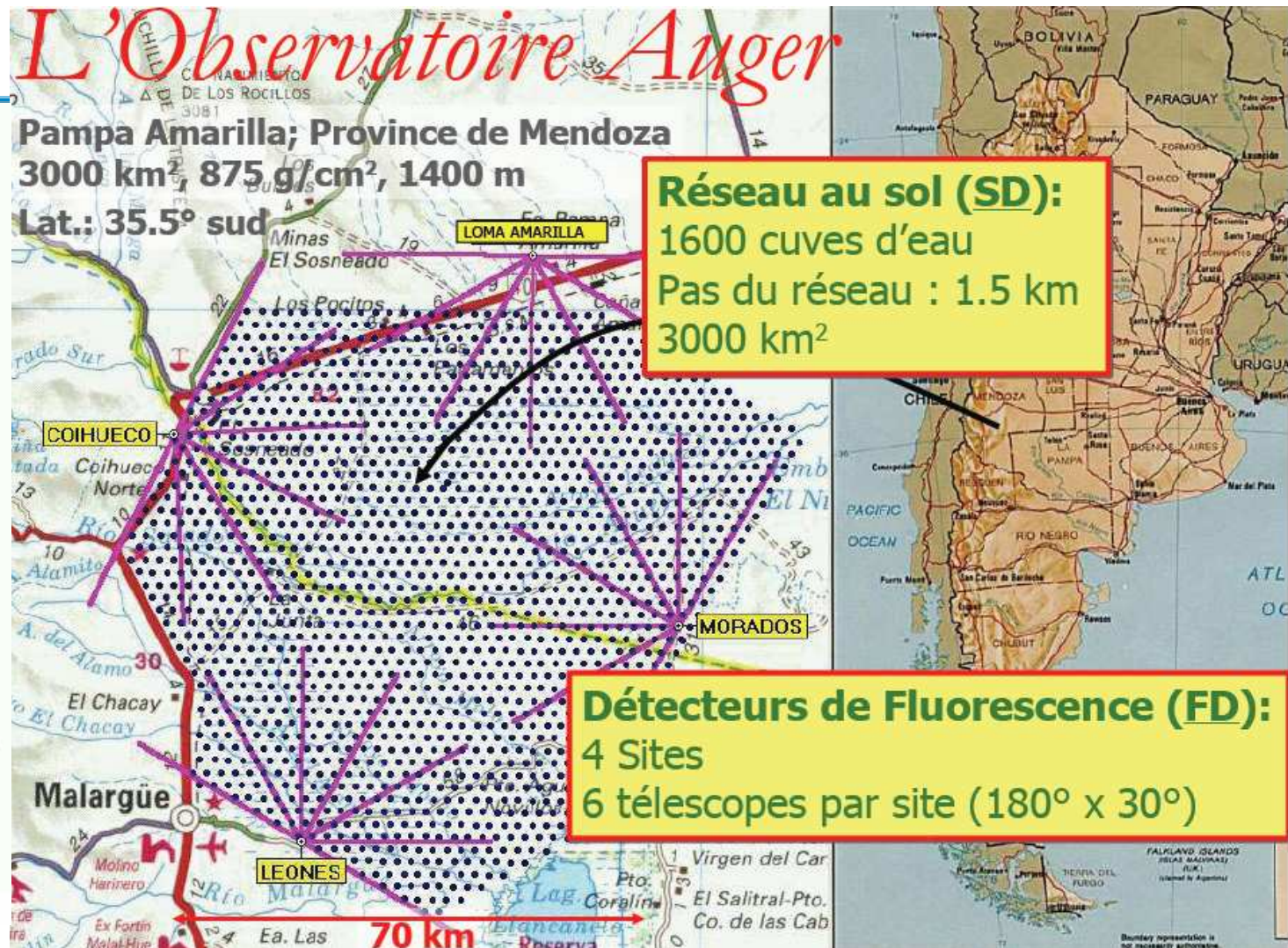
Rayons cosmiques d'ULTRA- HAUTE Energie

AUGER: combinaison de 2 techniques de détection

Objectif: Lever les controverses entre AGASA/HiRes utilisant 2 techniques de détection différentes:

- coupure GZK
- Anisotropie





Calibrage possible du réseau au sol pour les évènements également observés en fluorescence

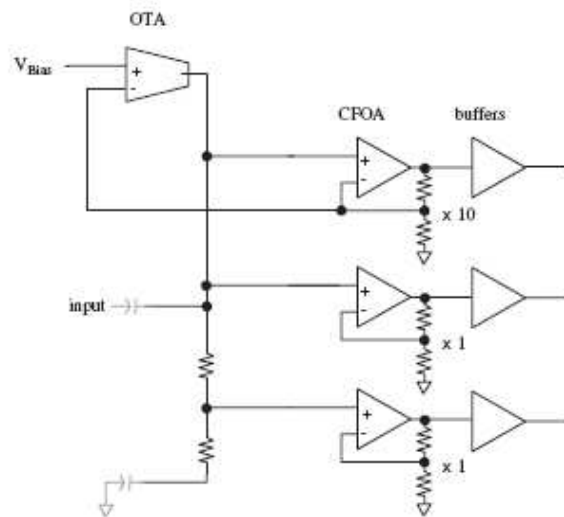
AUGER

dapnia

cea

saclay

- Il n'y a pas d'ASIC dans AUGER.
- Quelques tentatives pour AUGER Nord:
 - Circuit multi-gain pour couvrir les 16bits de gamme dynamique du PM.
 - Suivi d'un ADC (LAL) ?



cf B. Genolini et (L)al
Porquerolles 2005

Expériences spatiales.

dapnia



saclay

Dans l'espace, le masque de l'atmosphère disparaît:

- détection directe des particules.
- recherche d'atomes d'antimatière ($Z > 2$)

2 expériences spatiales consommatrices d'ASICs:

PAMELA: lancée en juin 2006

AMS: sur l'ISS ???

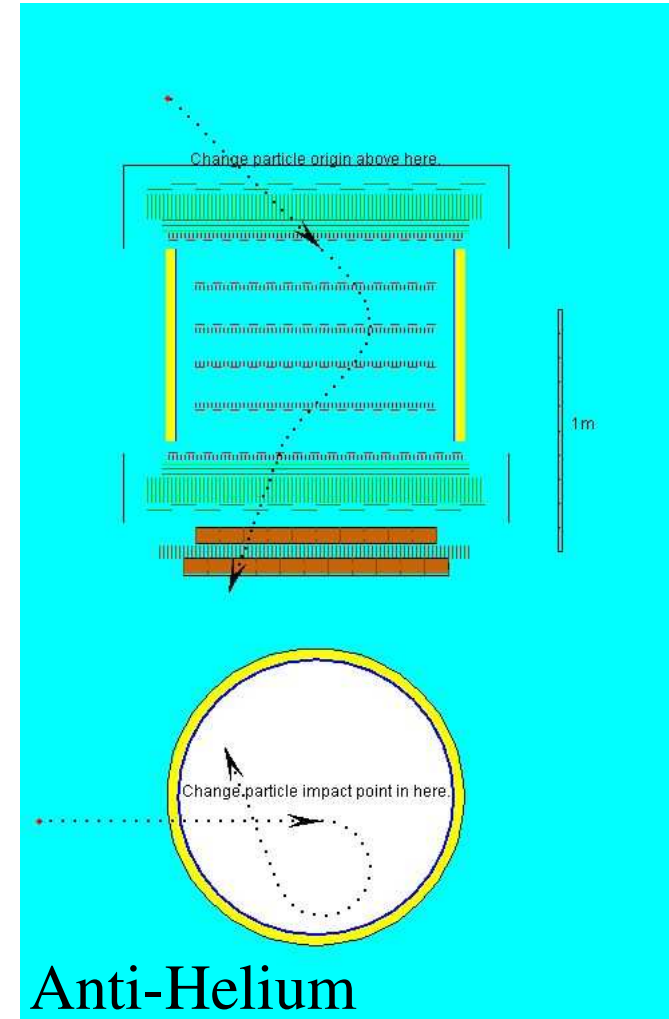
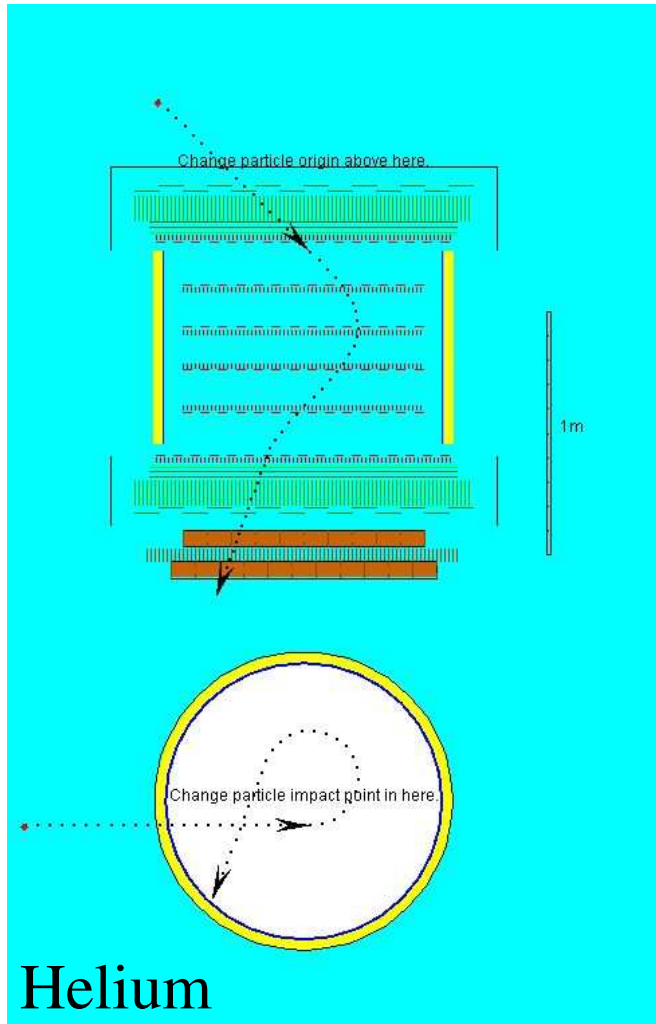
- Recherche d'anti-atome de $Z > 2$ (preuve de l'existence de galaxie d'antimatière).
- Elles sont essentiellement constituées de spectromètres.
- Programmes étendus d'étude des rayons cosmiques: (spectre/composition).

Matière ou anti-matière ?

dapnia

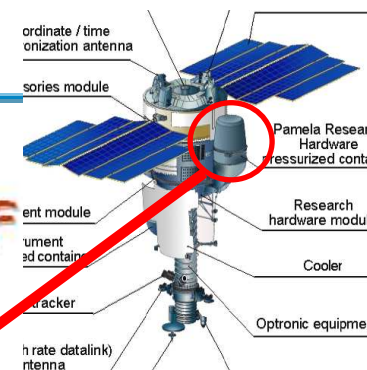
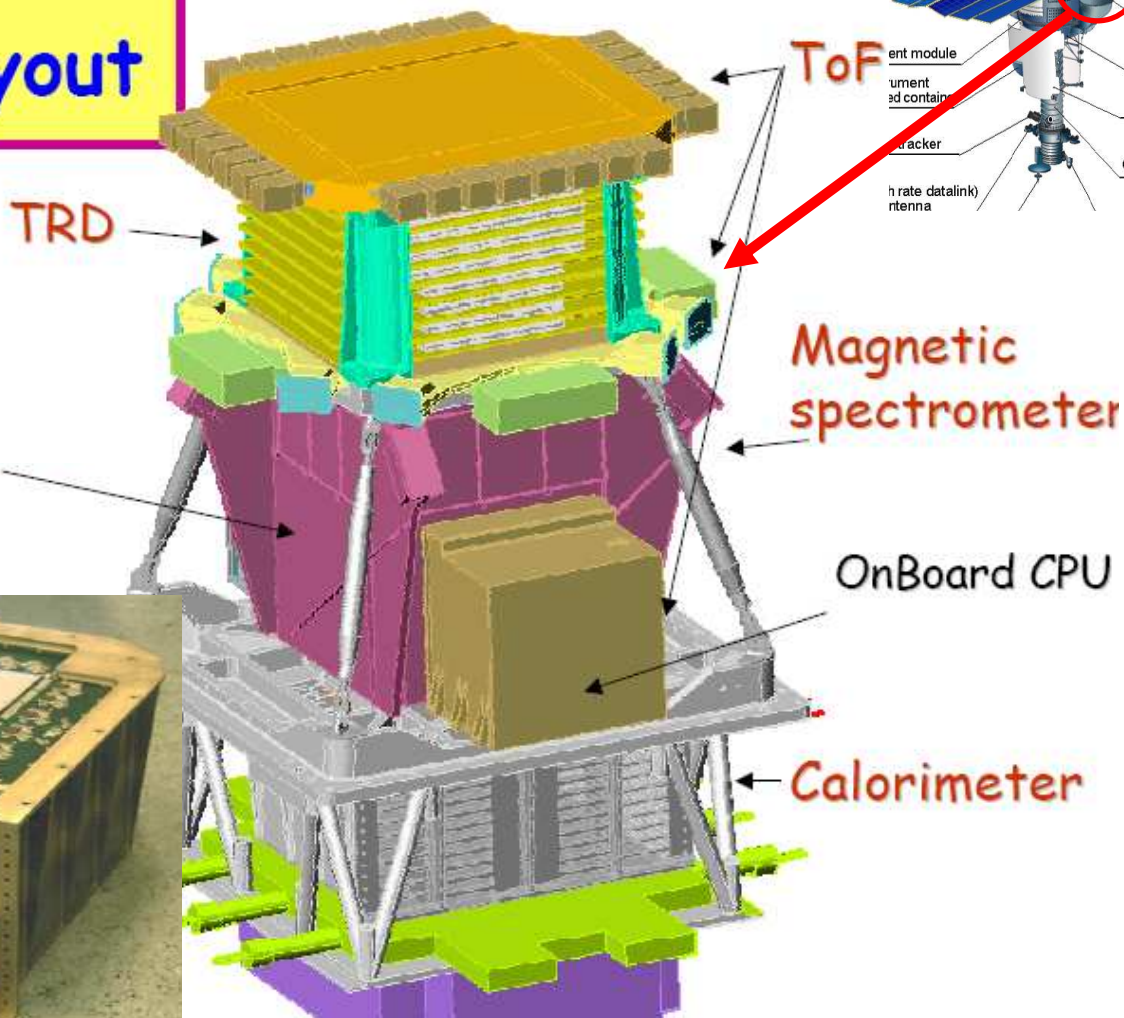
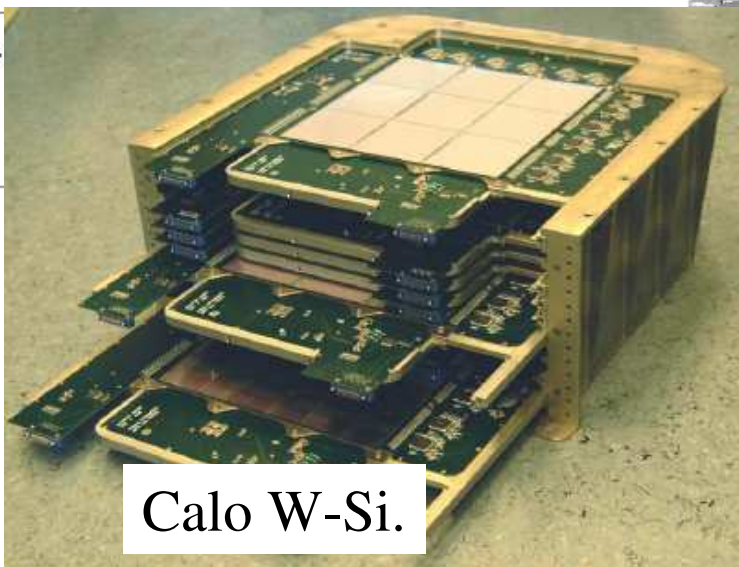
cea

saclay



PAMELA (passager d'un satellite russe)

PAMELA - Layout



(INFN, NASA, Univ Siegen, UTH Stockholm, Instituts Russes et indiens...)

PAMELA: les ASICs

dapnia

cea

saclay

• Tracker:

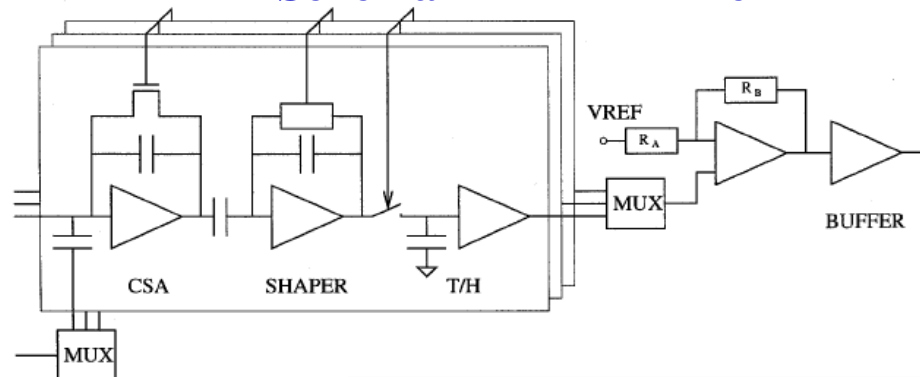
- 38000 canaux
- chip **commercial** VA1 de Idea

• Calorimètre:

- 4500 canaux.
- Chip **CR1.4P**:
Design INFN Trieste ?
16 canaux
100mW/chip
auto déclenchement possible:
shaping rapide + somme + discri

Measured noise
2765 e⁻ rms + 4.7 e⁻/pF
Cd jusqu'à 180 pF !!!

Schéma AMPLEX-like

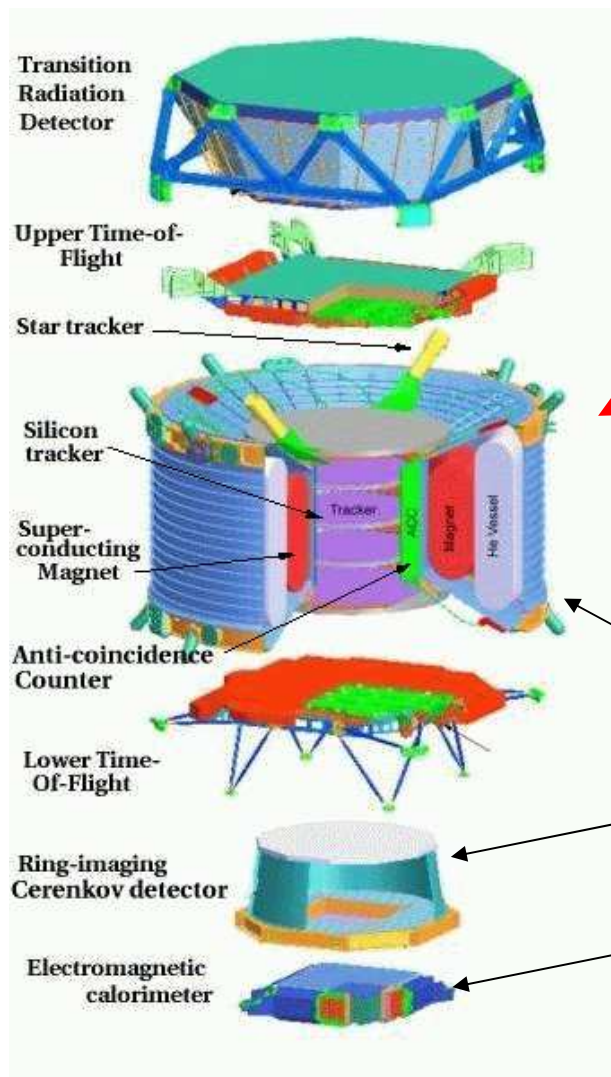


- Alcatel/Mietec 2 um mixed A/D CMOS;
- Input calibration circuit;
- "Folded cascode" CSA;
- $C_f = 8$ fF;
- PMOS charge reset;
- CR-RC shaper, 1 μ s peaking time;
- T/H circuit + buffer;
- Output MUX;
- "X2" output stage with DC bias;
- Self-trigger circuit (not shown here)

Linear dynamic range
1400 MIPs or 7 pC

AMS-02 (futur passager de l'ISS)

dapnia
 ———
 cea
 ———
 saclay



70000canaux
 ?

160000 canaux lus par 1000 MAPMT
ASIC ISN Grenoble

Calo Pb-Fibres scintillantes
 1296 canaux lus par 324 PM multianode.
ASIC LAPP

ASIC CALO AMS LAPP (cf. R. Hermel)

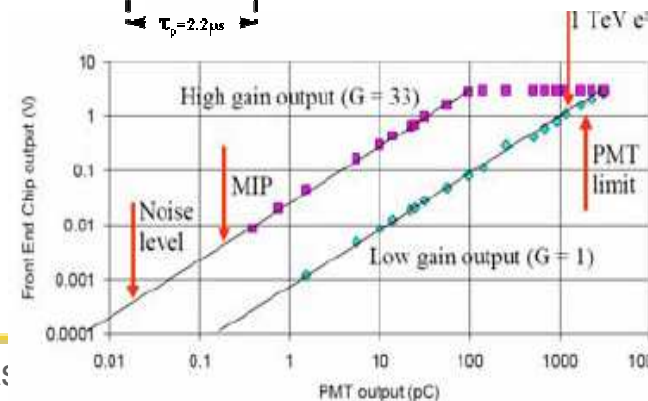
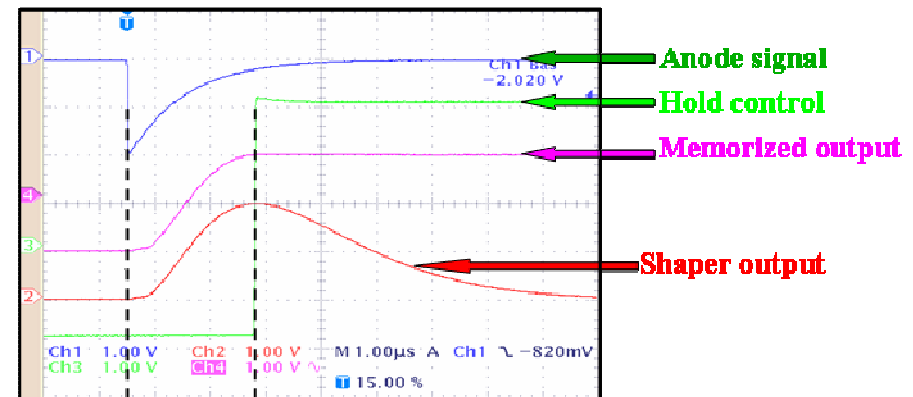
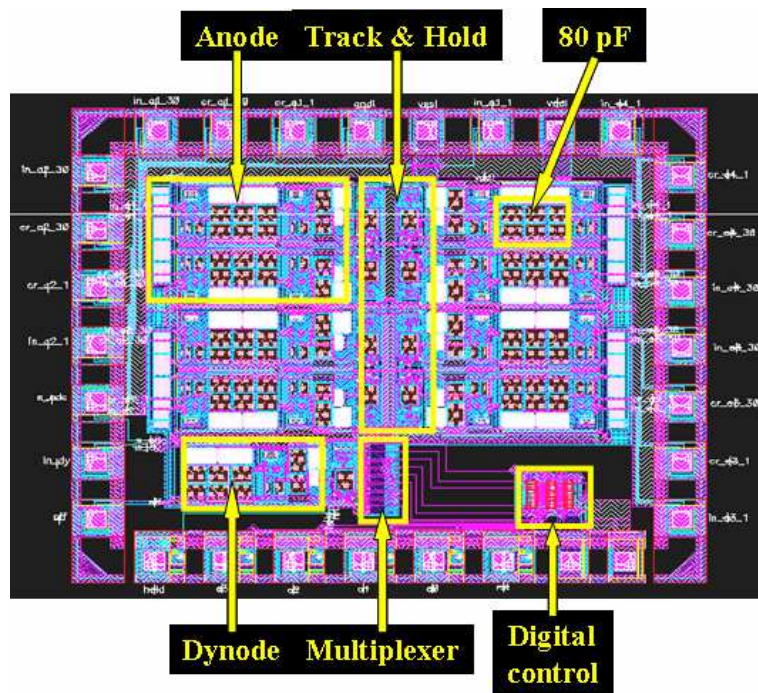
dapnia



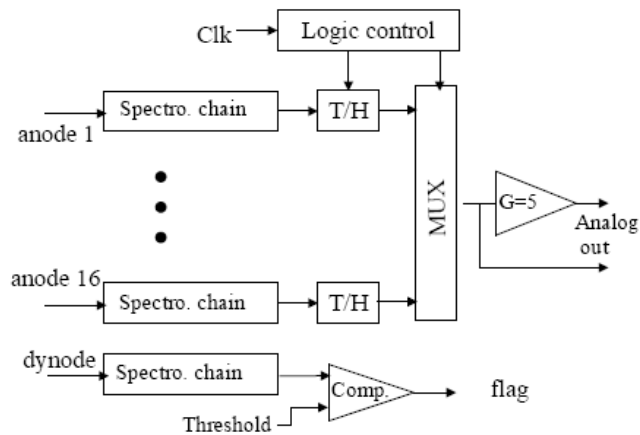
saclay



- lecture de 4 anodes + dynode PM
- Dynamique 16 bits
- conso totale: 21mW
- 2 gains par anodes, shaper 2.2 μ s, T&H
- sortie Multiplexée des 9 infos analogiques vers ADC externe.
- BiCMOS AMS 0.8 μ m

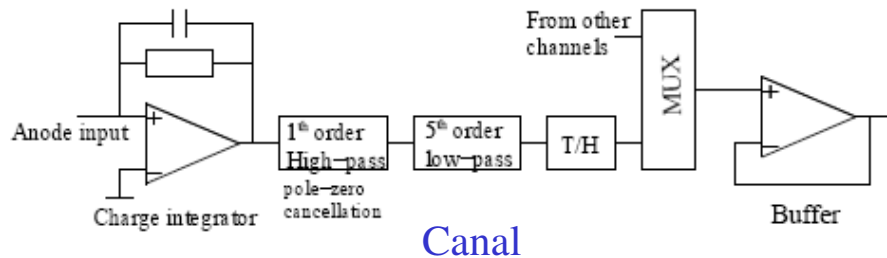


ASIC RICH ISN (cf. O. Rosetto etL. Gallin-Martel)

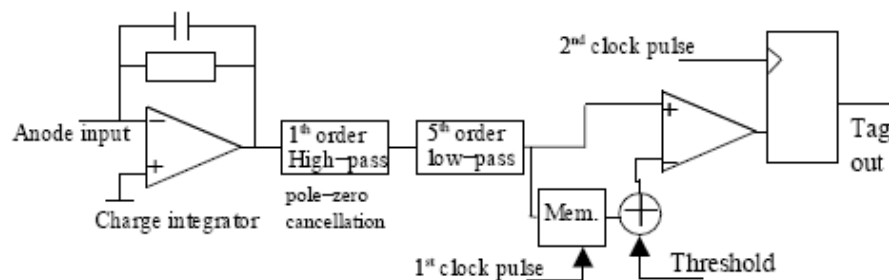


Chip

- lecture de 16 anodes d'un PM multianode
- lecture dynode avec autzero pour tagging en vue d'une lecture selective.
- 5th order shaping: $t_p=1.9\mu s$
- 2 gains par anodes, shaper $2.2\mu s$, T&H
- sortie multiplexée des 32 niveaux analogiques 16 (x1) et 16 (x5) vers ADC externe.
- CMOS $0.6\mu m$ et AMS BiCMOS $0.8\mu m$



Canal

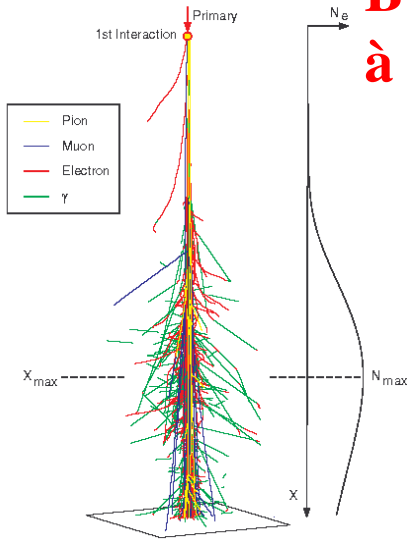


Principe du tagging

feature	measured	required
Power supply	-2 V ; +3 V	-
Power consumption	0.7 mW/channel	< 1 mW/channel
Input range	0-36 pC (250 photoelectr)	0-36 pC
Output range	0-2.8 V	-
Integral Non linearity	+/- 0.5%(gain 1) +/- 0.25% (gain 5)	< +/- 1%
crosstalk	< 10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$
I/O number	28 (without power supply pins)	-
Max. Clock freq.	1.5 MHz	1MHz
Noise	< 0,05 photoelectron RMS	0,1 photoelectron RMS

Détection radio par CODALEMA

BUT: Augmenter la surface effective de détection à UHE à faible coût



Mécanismes de création:

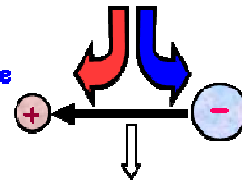
- Excès de charges en mouvement:

$\sim 10\% e^- / e^+$



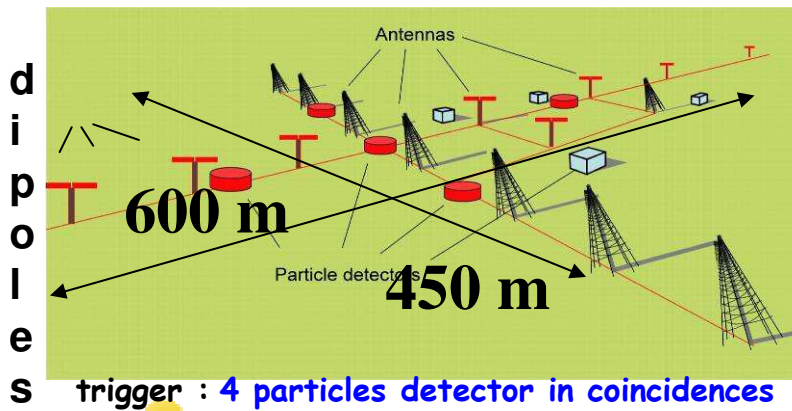
- Effets géomagnétiques sur les paires e^-/e^+ (émission synchrotron, courant dipolaire):

→ Courant transverse d'alimentation du dipôle



Facilement détectable par réseaux de dipôles actifs bas coût.
Numérisation et filtrage numérique pour extraire les impulsions.

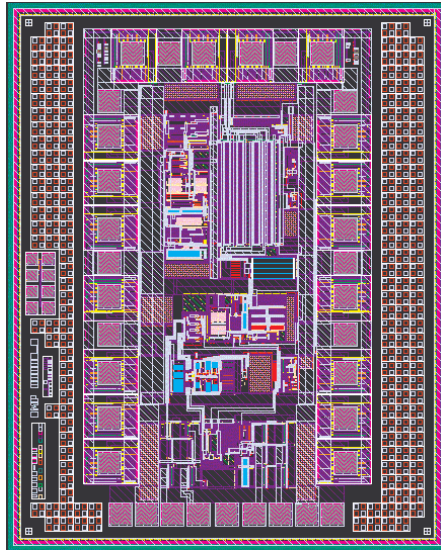
Preuve de faisabilité à Nançay



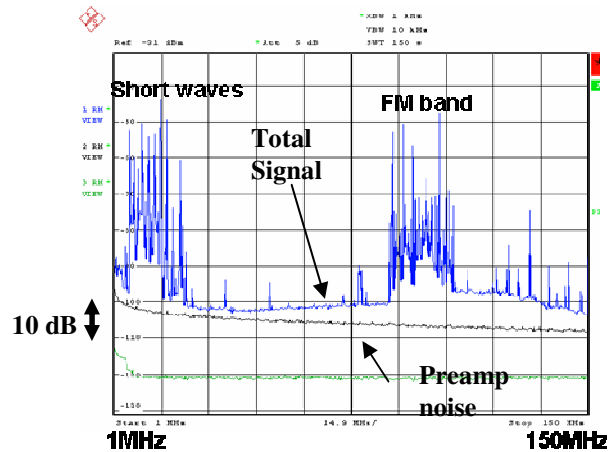
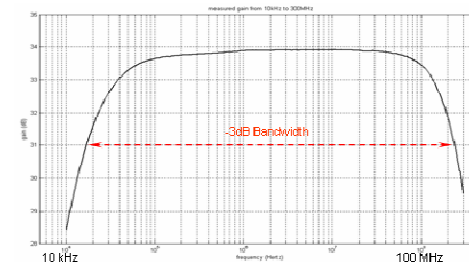
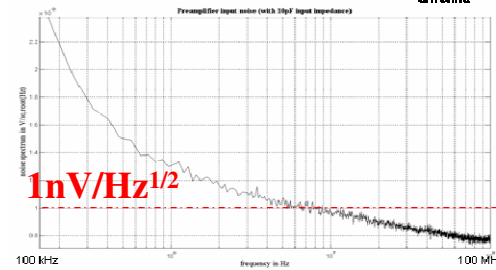
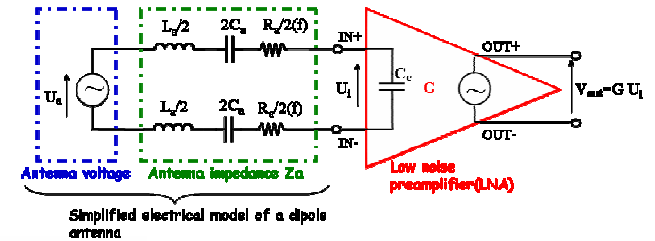
LNA Subatech
cf D. Charrier
journées VLSI
2004

COLADEMA: électronique

dapnia
cea
saclay

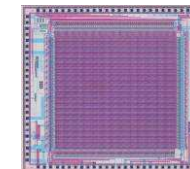


Préampli BiCMOS 0.8 μ m
Large Bande. Bas bruit
Entrée PMOS



numérisation 500MHz +
déclenchement: cartes MATAcq

AMS CMOS 0.8 μ m

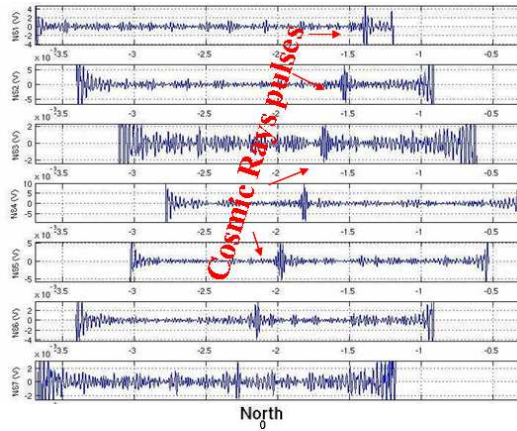


Détection de rayons cosmiques par CODALEMA

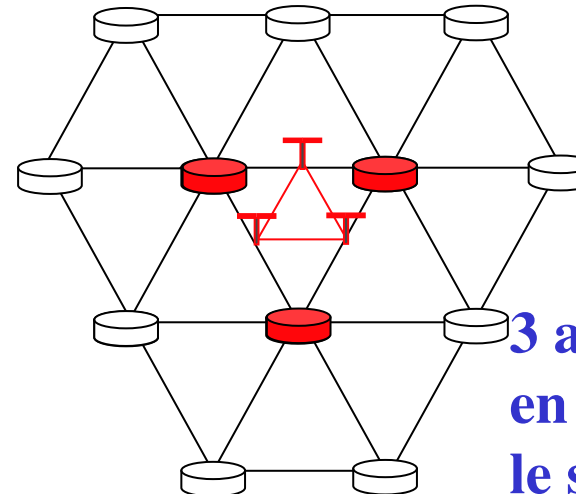
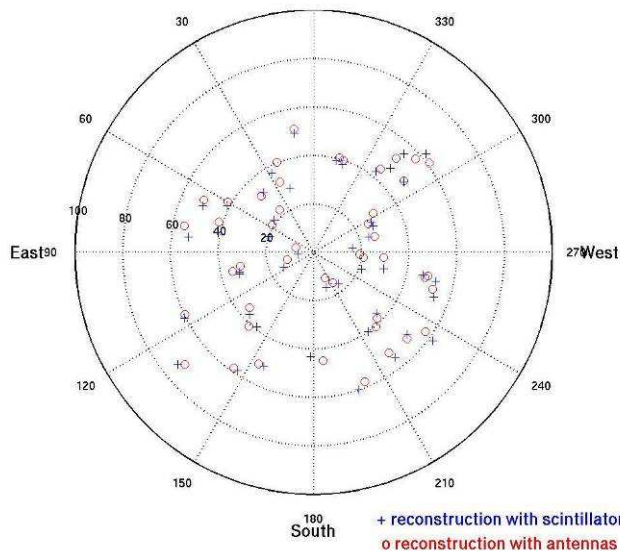
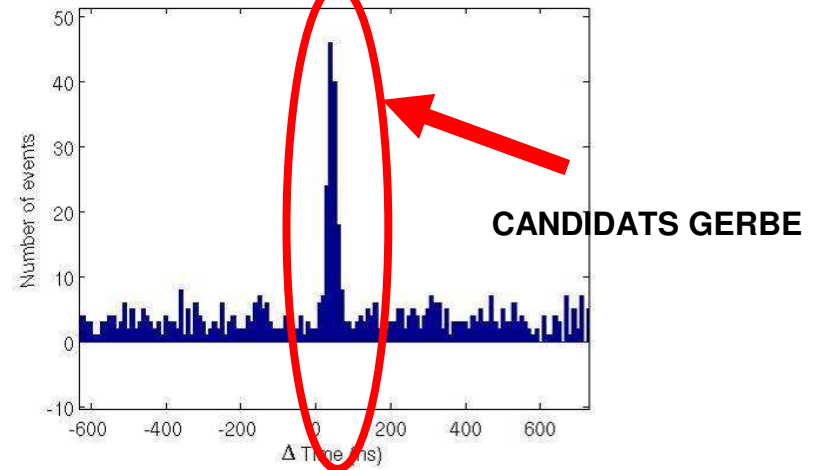
dapnia

cea

saclay



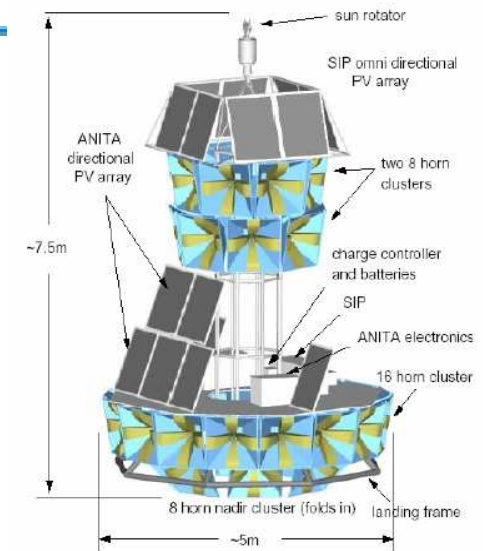
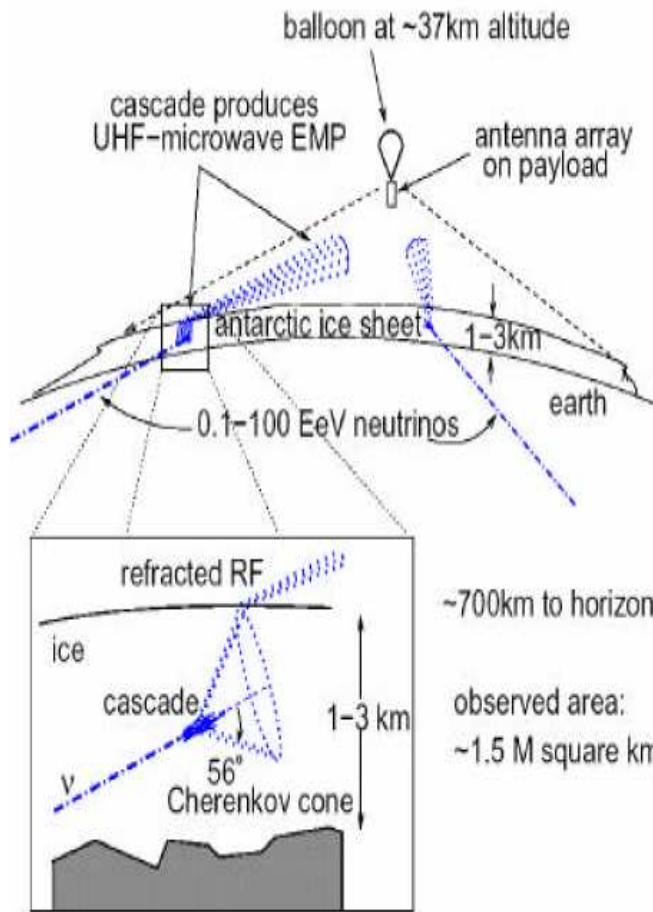
Différence de temps
radio - scintillateurs



**3 antennes
en test sur
le site d'Auger**

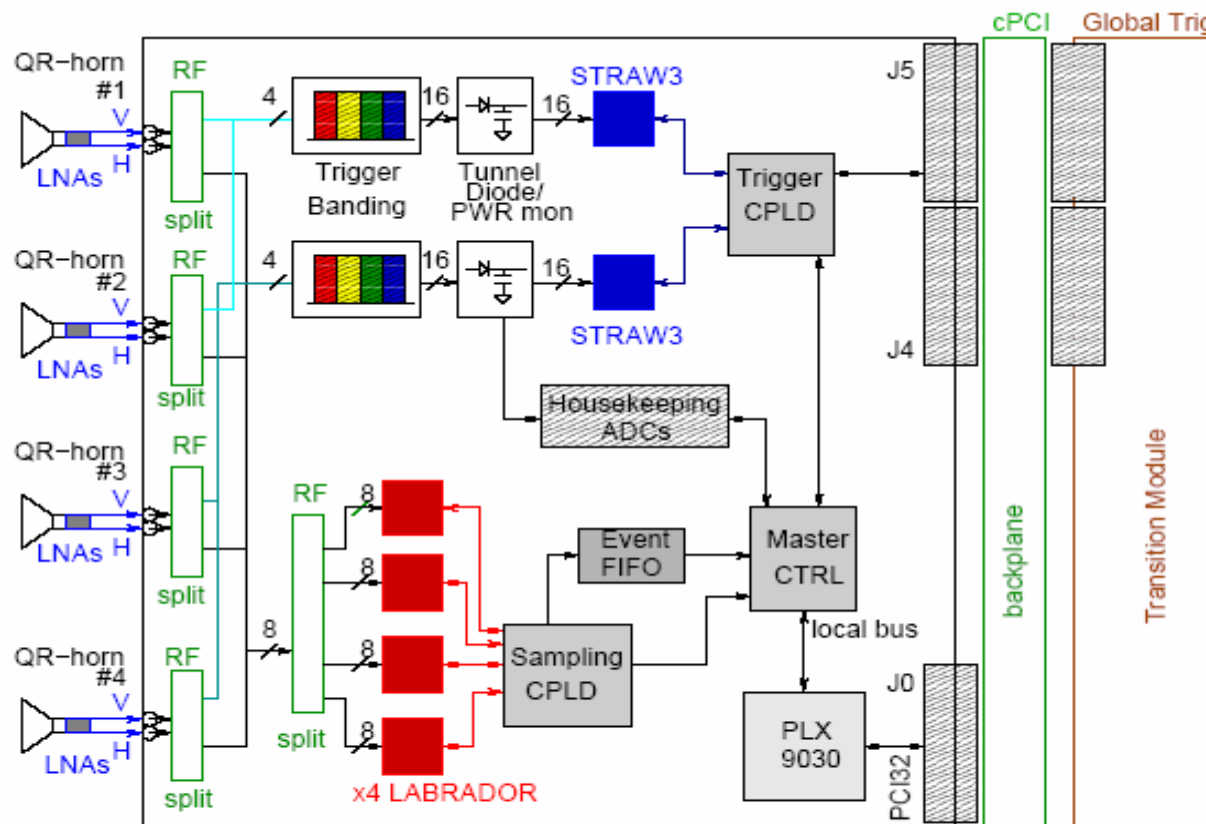
Encore de la radio: ANITA:

ANITA: Fin 2006
 Manip exploratoire
 détection des neutrinos
 GZK (shower detection
 In Antartica Ice)
 200 MHz - 1.2 GHz
 $A=10^4 \text{ km}^2 \cdot \text{sr}$



Instantaneous balloon field of view

Electronique Front-end d'ANITA



Trigger part by signal banding

Signal readout: Analog memory, then ADC

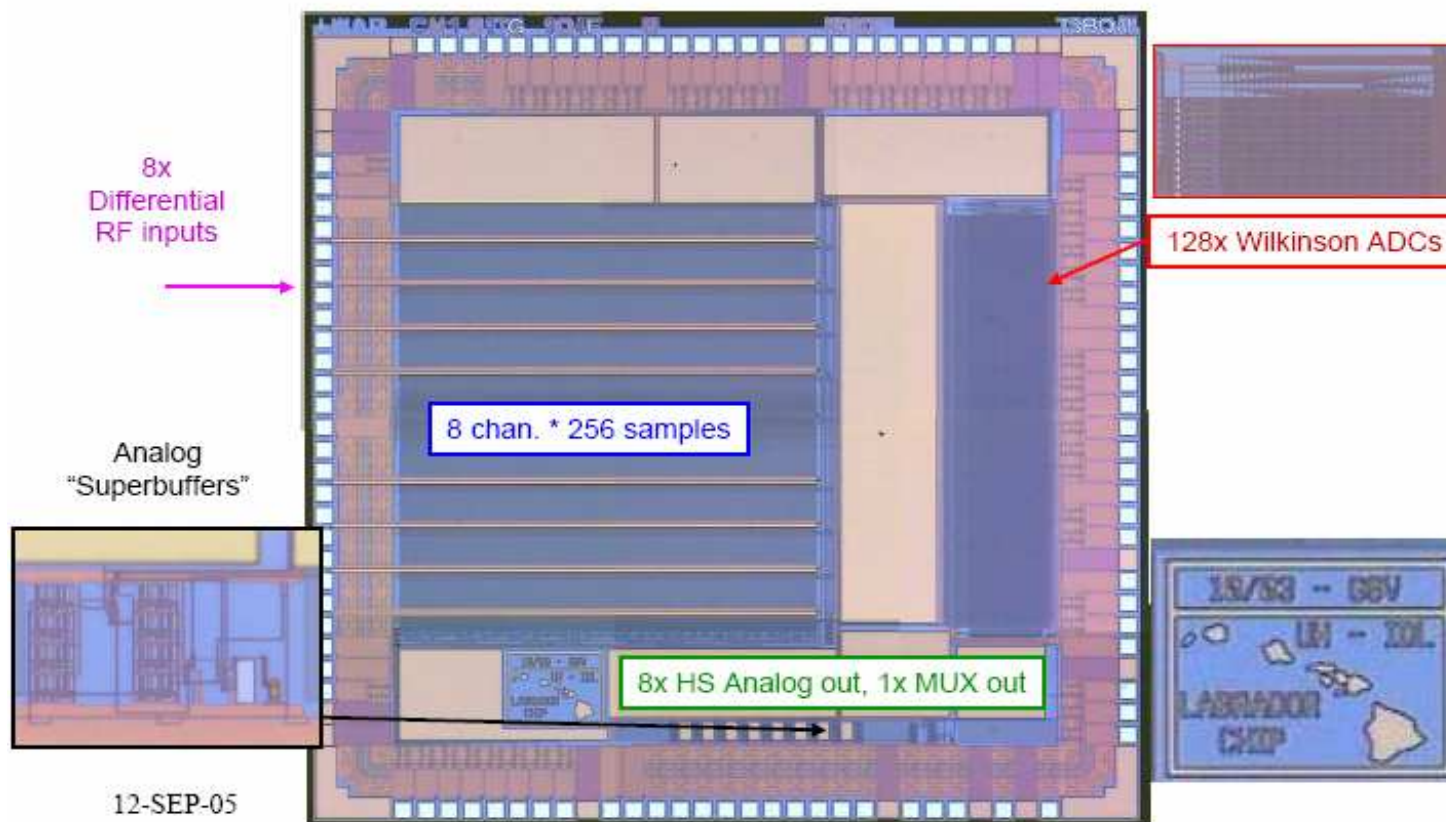
Figure 29: A conceptual diagram of the Sampling Unit for Radio Frequency (SURF) board, which provides both local triggering and multi-event sampling of transient waveforms in a single compact PCI (cPCI) board. Local trigger information is broadcast through the user defined connectors on the cPCI backplane to a global trigger board spanning these rear transition modules.

ANITA FE chip (univ. of Hawaii)

dapnia



saclay



Labrador Analog sampler + digitizer

BW >1GHz

1GHz < Fs < 3GHz

50mW/ch

Les idées ne manquent pas

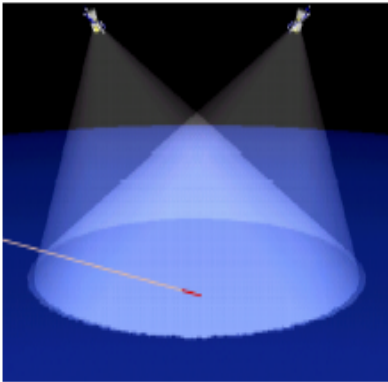
dapnia

cea

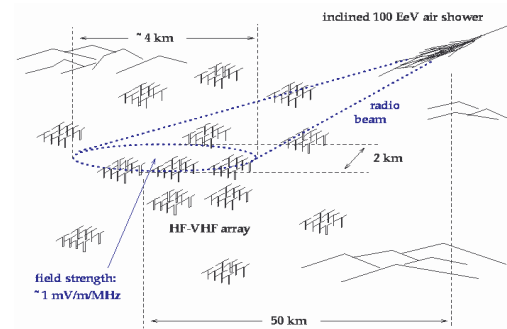
saclay

OWL(stéreo)

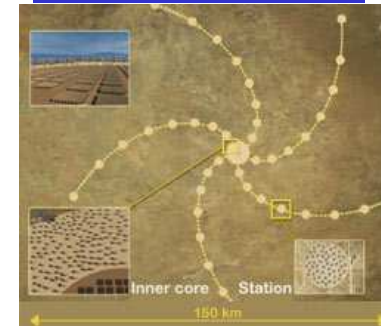
~effective aperture:
20xAuger



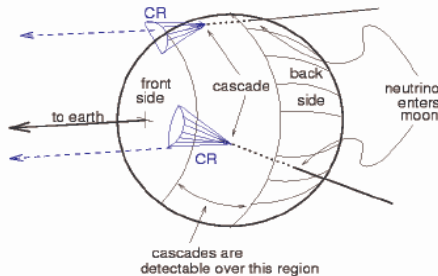
LOFAR (10-200MHz)



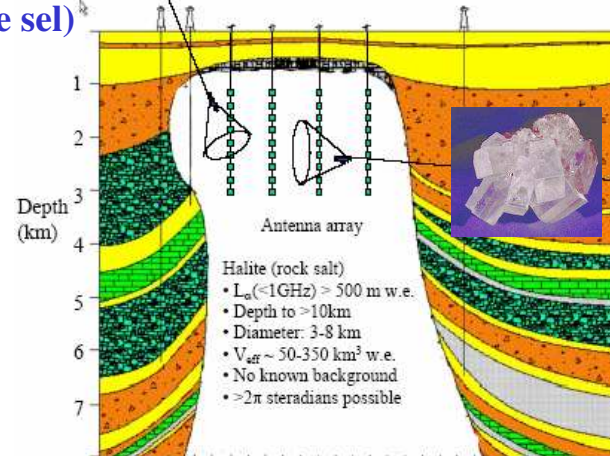
SKA (0.1-25GHz)



GLUE (utilisation
de la régolite de la
lune pour détecter des
ν en radio)



SALSA (détection
radio dans un dôme
de sel)



LISA (interferomètres à
3 satellites distants de 3 millions
de km^3)



Conclusions et perspectives

dapnia



saclay

- Utilisation d'ASICs maintenant naturelle en Astroparticule.
- Designs très variés.
- Tendance en croissance avec l'augmentation de la taille (granularité) des détecteurs.
- Utilisation massive de photo-détection et de mesure de temps fine.
- ASICs aujourd'hui bien acceptés par les agences spatiales (pour les instruments scientifiques).
- Demandes associées à de nouvelles techniques de détections:
 - Radio.
 - Bolomètres, squids (cf F. Voisin, Porquerolles 07).
 - ...pour lesquelles il y a place pour l'innovation.