

Faits marquants 2010-2014

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Physique médicale

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

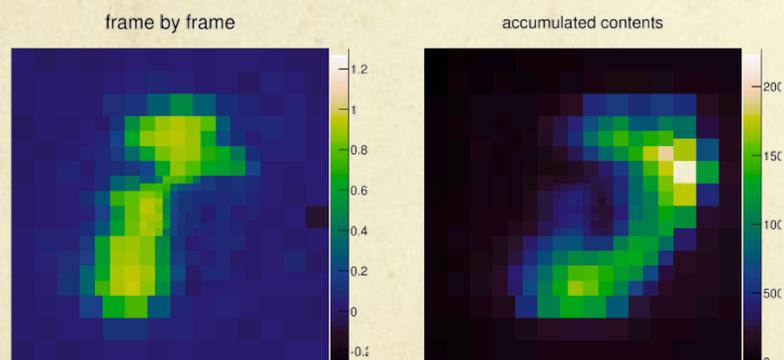
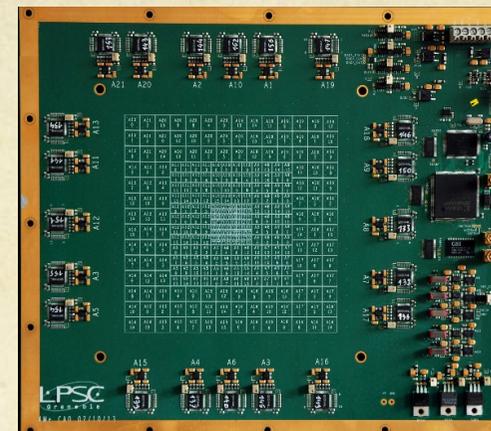
H
C
E
R
E
S

Faits marquants : profileur de faisceau 2D

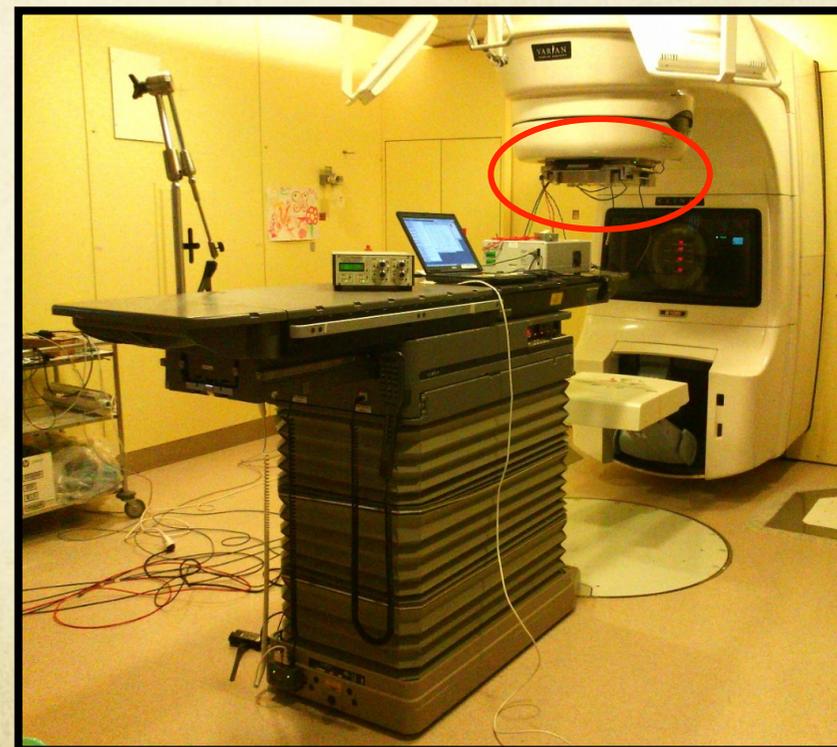
- **Contexte** : radiothérapie (70 000 patients/an en France, 180 centres de traitement)
- **ISRN, suite aux accidents d'Epinal** : mesure de la dose *in vivo* rendue obligatoire
- En 2007, discussion avec J-Y. Giraud, physicien médical : aucun moyen de **contrôle en ligne de la conformité du traitement pendant l'irradiation, en amont du patient**
- **Demande du milieu clinique** : développement dans le domaine de compétences de l'IN2P3
 - Collaboration avec le service de radiothérapie du CHU de Grenoble
- Financements 2009-2014 (Projet ISI, 200 k€, AAP Cancer 200 k€, Région, GDR,...)

Faits marquants : prototype 1/4 opérationnel

- Détecteur à transmission : matrice de pixels 2D sur 15x15 cm² et électronique de traitement et d'acquisition (**ASIC**)
- 5 prototypes, **2 brevets**, optimisation pixels / performance du détecteur
- Acquisition en **temps réel** du flux de photons obtenue à 1 kHz !



- **Valorisation** en cours : à terme, meilleure qualité des soins



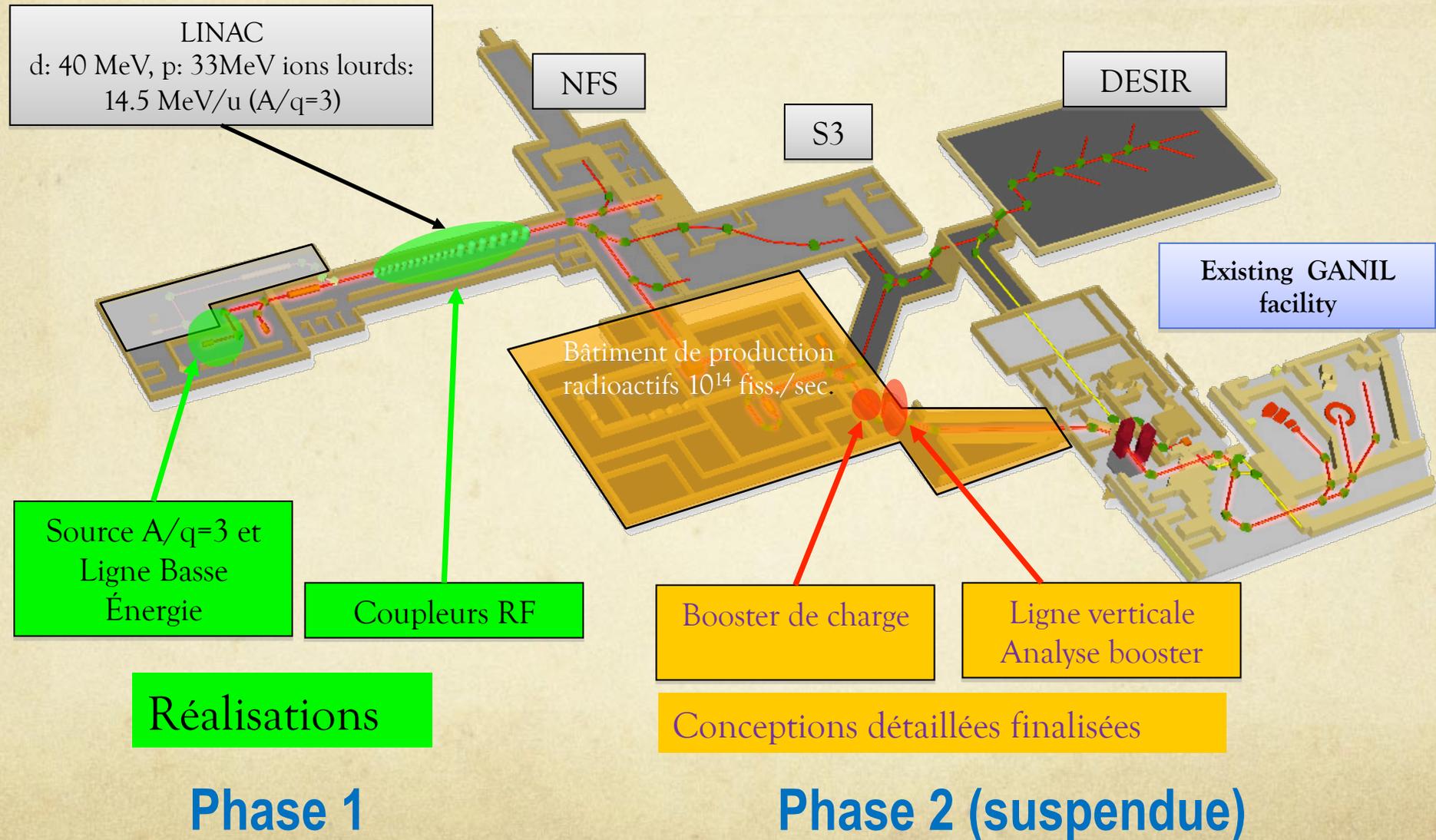
spiral2

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

SPIRAL2 au LPSC



Réalisations

Phase 1

Booster de charge

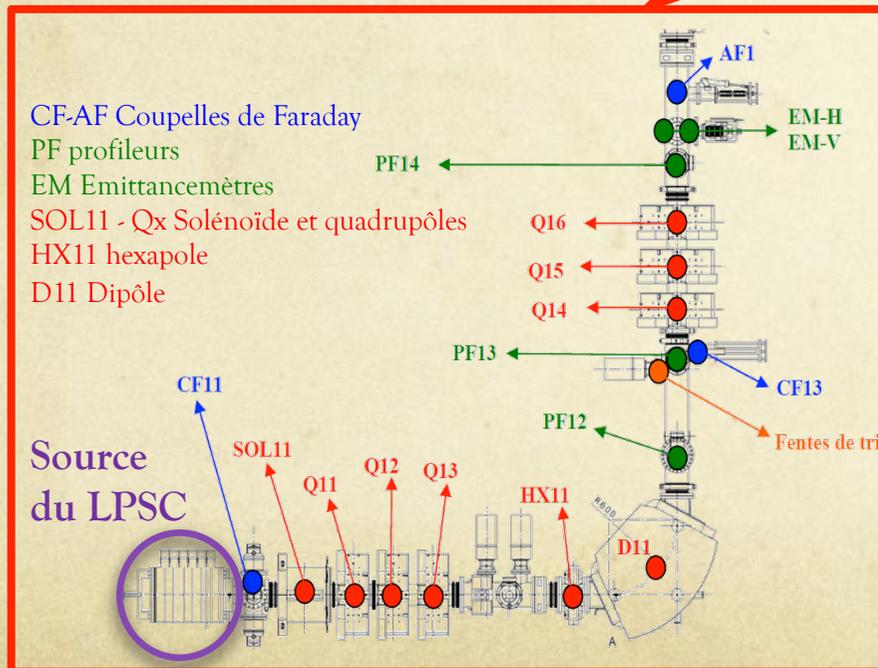
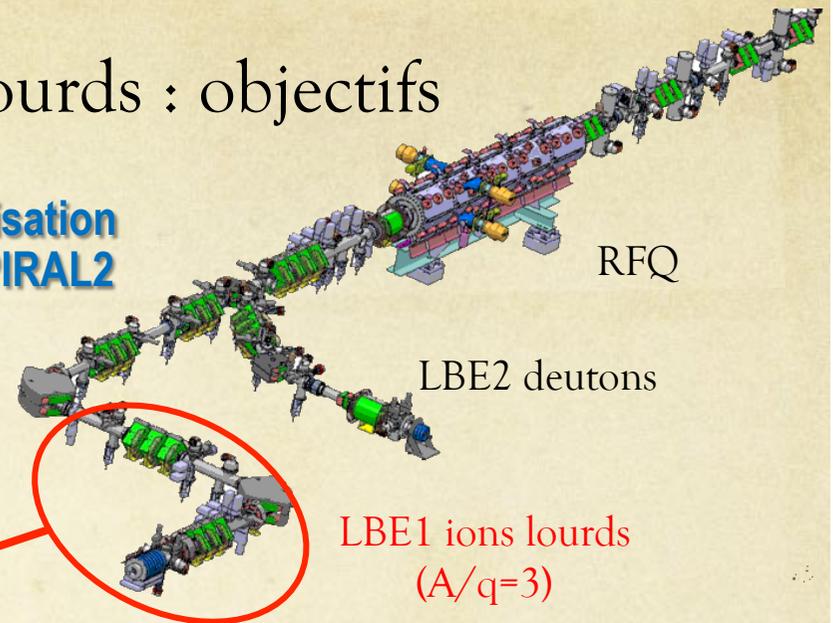
Ligne verticale Analyse booster

Conceptions détaillées finalisées

Phase 2 (suspendue)

Ligne Basse Énergie Injecteur ions lourds : objectifs

- **Le LPSC est responsable de la conception, de la réalisation et de la qualification des sources d'ions lourds de SPIRAL2**
- **prise en charge de la LBE en 2009**
- **Exigences faisceau**
 - 1 mA d'ions $A/q=3$ extraits à 60 kV
 - Émittance normalisée $0.4 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad rms}$
 - Fonctionnement continu et pulsé



Coordination du projet : LPSC + IPNL (2009-2012)

Laboratoires participants : GANIL- IPHC - IPNO - IRFU

Conception, construction et qualification de la source d'ions de démarrage (LPSC)

PHOENIX V2 (upgrade d'une source existante)

Conception et réalisation équipements LBE

IRFU - GANIL - IPNO - IPHC

Installation et qualification de la LBE (collaboration)

Validation de l'optique faisceau et de la fonctionnalité de l'ensemble de l'équipement

Livraison à GANIL-SPIRAL2 fin 2012

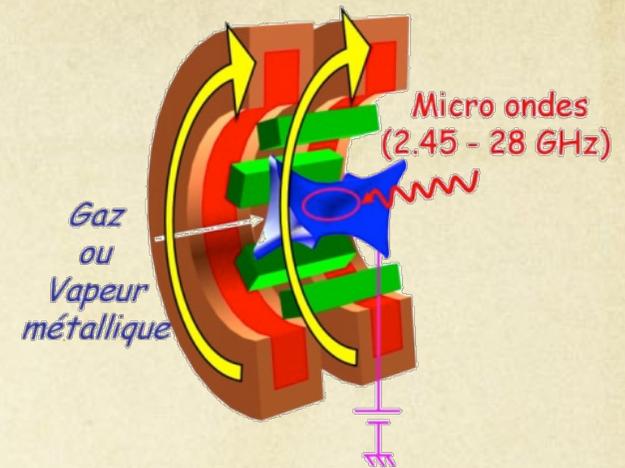
Ligne Basse Énergie Injecteur ions lourds : source de démarrage

Principes de base d'une source ECR :

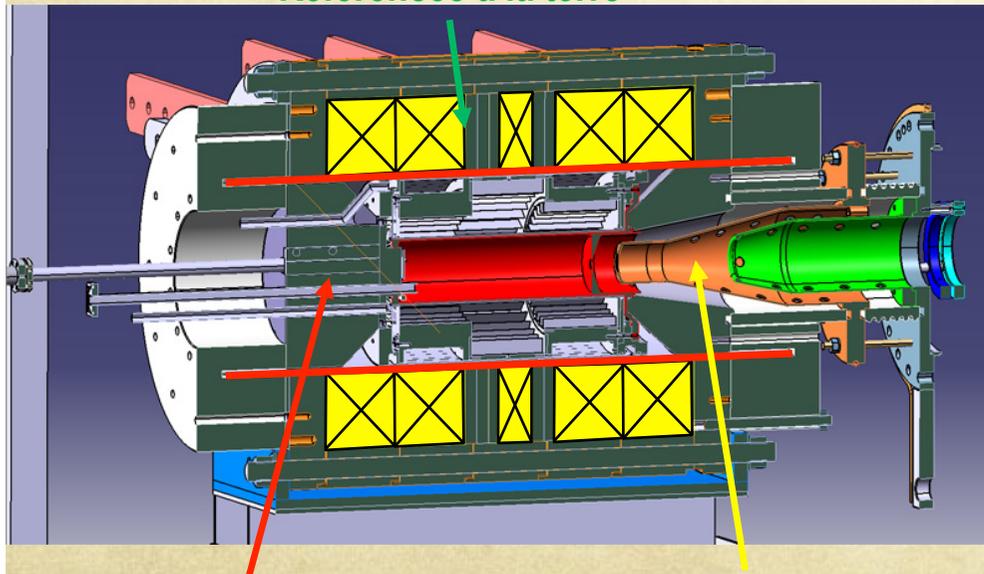
Cavité électromagnétique sous vide immergée dans un champ magnétique

Transfert d'énergie d'une onde EM vers les électrons
(fréquence de rotation des électrons dans le champ magnétique = fréquence d'oscillation du champ électrique)

Chauffage des électrons – leurs collisions successives avec les atomes produisent un plasma confiné par le champ magnétique et des ions multichargés



Partie externe Référéncée à la terre



Noyau central de la source
Porté à 60 kV

Extraction par champ électrique
+ 60 kV, + 30 kV, 0 V

PHOENIX V2 source de démarrage SPIRAL2

la seule source au monde à extraction directe 60 kV

Upgrade PHOENIX V3

Conception LPSC, en cours de construction
Intensité doublée en $A/q=3$ pour les masses $50 > A > 20$

Financée par le contrat européen
« Cluster of Research Infrastructures for Synergies in Physics »

Ligne Basse Énergie Injecteur ions lourds : réalisation



Principaux faisceaux utilisés

$^3\text{He}^{1+}$, $^4\text{He}^{2+}$ ~ 1-2mA, $^{16}\text{O}^{6+}$ 1mA, $^{40}\text{Ar}^{12+}$ 200 μA , $^{132}\text{Xe}^{25+}$ 10 μA

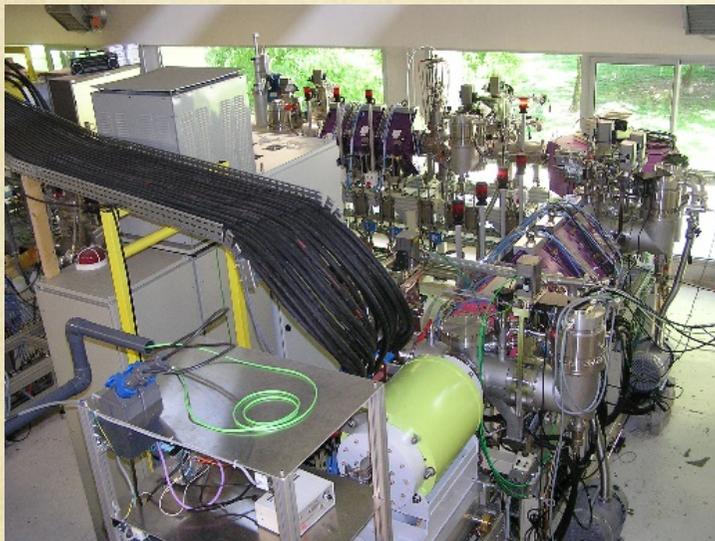
Excellente transmission dans la ligne de faisceau

Émittances (caractéristiques optiques) deux fois meilleures que les spécifications

Diagnostics et contrôle commande EPICS fonctionnels

Procédures de réglage automatisées à partir des valeurs issues des calculs optiques validés

L'ensemble des fonctionnalités de l'accélérateur SPIRAL2 a été validé au LPSC



Vue d'ensemble SPIRAL2-LBE1 @LPSC

Décembre 2010
Numéro 11
SP2_FB_8117_1023864

Bulletin SPIRAL2

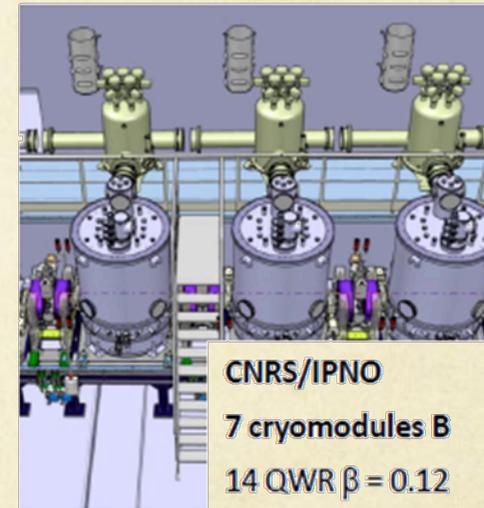
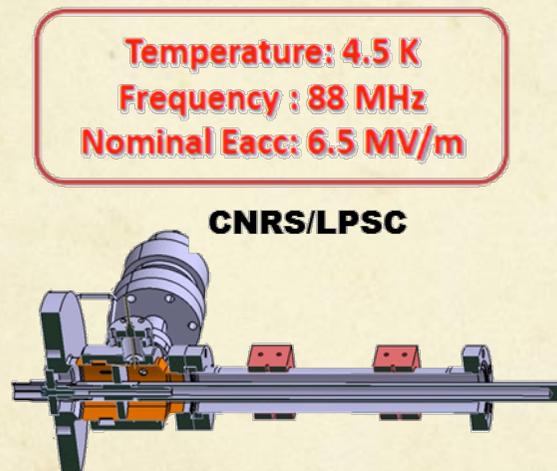
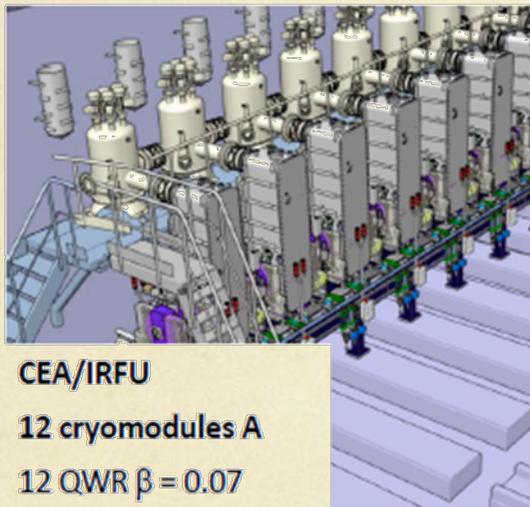
Les premiers faisceaux SPIRAL2 en image !

Depuis quelques mois maintenant, l'injecteur d'ions lourds de SPIRAL2 s'attache à produire ses premiers faisceaux avec vigueur et précision. Compte-rendu depuis le LPSC Grenoble, où est actuellement installée la ligne...

Redémarrage de la source et de la ligne basse énergie à SPIRAL2 fin février 2015

Coupleurs RF de SPIRAL2 : objectifs

- Fourniture de la série de 30 coupleurs RF de puissance équipés pour les cavités supraconductrices du LINAC de SPIRAL2
- Spécifications : transfert d'une puissance nominale de 10 kW CW, assurer l'étanchéité au vide et la liaison thermique
- Coupleur unique pour les 2 types de cavités développées par l'IRFU et l'IPNO



- Objectifs:
 - Conception (RF, mécanique, thermique)
 - Suivi de fabrication de la série
 - Conditionnement RF de la série

Coupleurs RF de SPIRAL2 : réalisations

- Conception, prototypage, mise en place des infrastructures, tests, lancement des achats (2004-08)
- Difficultés de mise en œuvre des ensembles cavité-coupleur (2011)
- Investigations et optimisation de la préparation des coupleurs (et des cavités) en 2011-12
- Production de la série de 30 coupleurs (2012-2014)
 - Préparation et conditionnement RF
 - Colisage, transport et documentation
 - Dernier coupleur préparé fin 2014



Montage sur banc test



Série de coupleurs nus



Coupleurs sur cavité B

coupleurs

60 GHz

12 janvier 2015

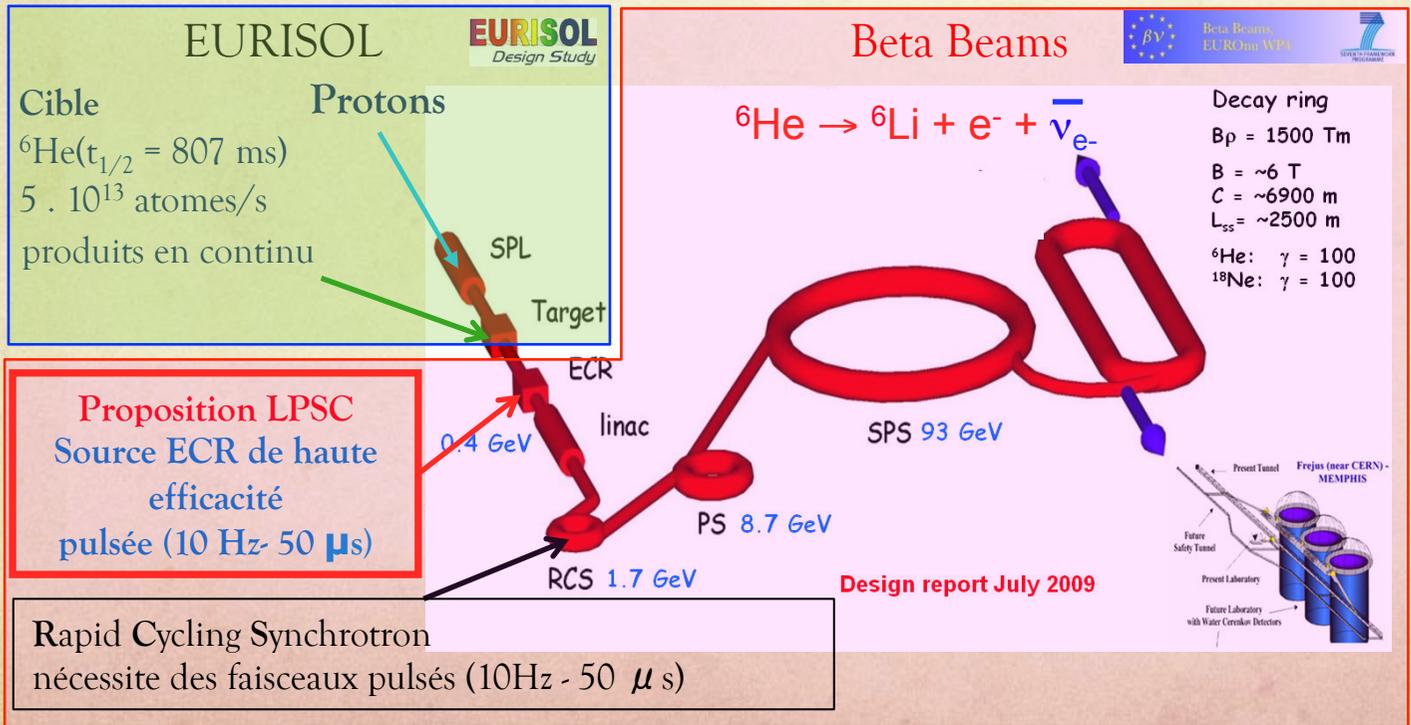
Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Source d'ions ECR 60 GHz : origine du projet (2006)

Production de faisceaux de neutrinos

- **EURISOL**: futur accélérateur européen de faisceaux d'ions radioactifs de très haute intensité
- **Beta Beams** utilise EURISOL et les accélérateurs du CERN pour produire des faisceaux de neutrinos (*désintégration β de faisceaux ${}^6\text{He}$ ou de ${}^{18}\text{Ne}$ intenses et accélérés dans un anneau de stockage*)
- Le LPSC a proposé une source d'ions pour ioniser et buncher le flux continu d'atomes radioactifs en faisceaux pulsés adaptés à l'injection dans le Rapid Cycling Synchrotron



Contexte

Faisceaux pulsés intenses

PICS (2006-2008)
 LPSC - Institute of Applied Physics
 (Nizhny Novgorod Russie)

Source ECR 60 GHz

Nécessite des champs magnétiques intenses à forts gradients

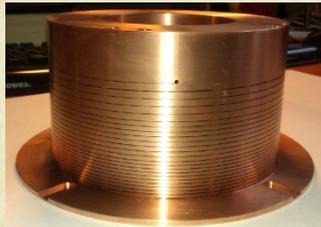
Collaboration depuis 2008...
 LPSC - Laboratoire des Champs Magnétiques Intenses

Participation aux projets européens
 EURISOL et EUROnu

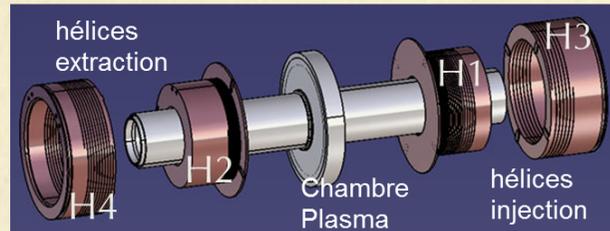
Source d'ions ECR 60 GHz : conception, réalisation, mesure

Collaboration LPSC - LNCMI depuis 2008

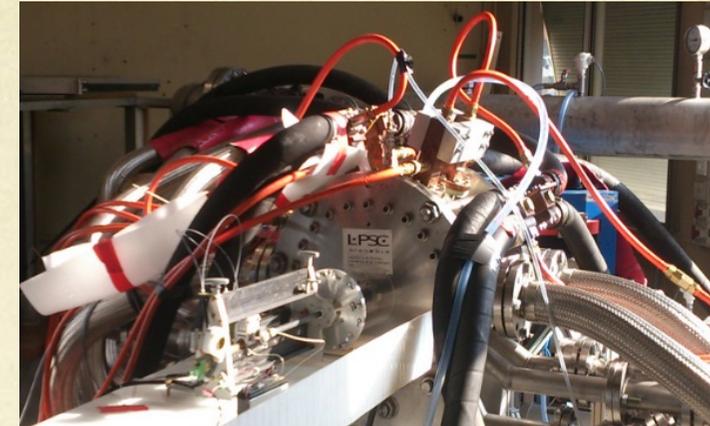
- Simulations simples (Gmsh-Getdp 2D) → choix des polyhélices
- Simulations 3D → définition de l'aimant
- Réalisation du prototype : LPSC avec la compétence du LNCMI
- Site M3 du LNCMI mis à disposition et adapté par le LPSC
- Mesures magnétiques conjointes



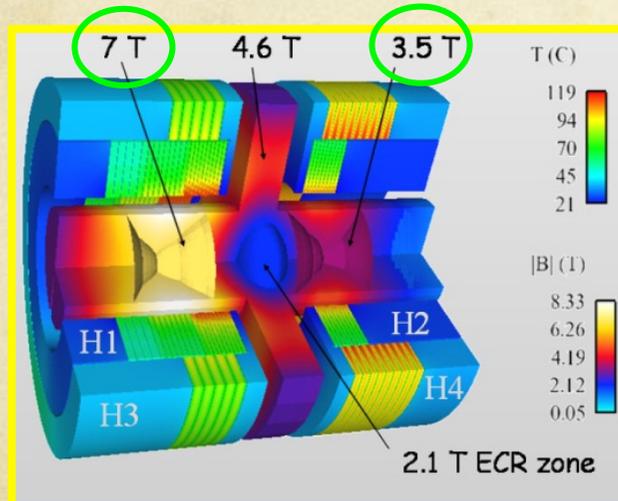
1 hélice



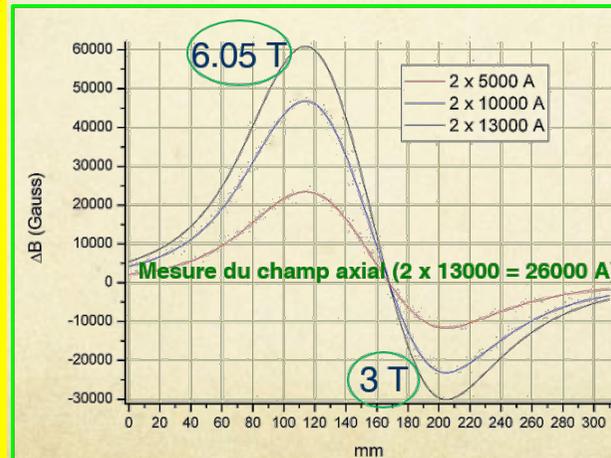
Définition de l'aimant à 4 hélices



Source d'ions ECR à polyhélices
(unique au monde) sur le site M3 du
LNCMI



Calculs magnétique et thermique
pour $I = 30000 \text{ A}$



Mesures du champ axial

Résultats

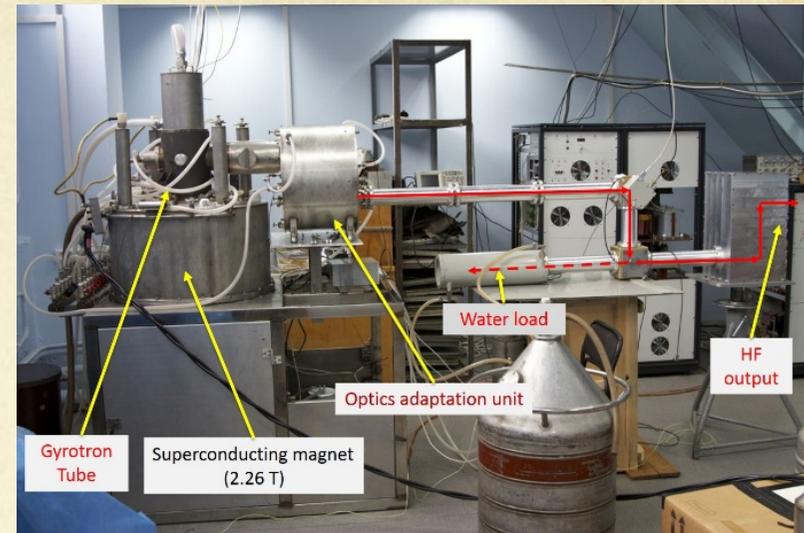
- Excellent accord entre simulations et mesures magnétiques
- Validation de la technique des hélices pour une densité de courant de 600 A/mm^2
- Seul prototype de source ECR avec une zone de résonance 60 GHz sphérique n'interceptant pas de matière
- La souplesse de conception, le faible coût ($\sim 150 \text{ k€}$) permettront d'étudier l'influence du champ magnétique sur les caractéristiques des sources d'ions ECR

Source d'ions ECR 60 GHz : premiers faisceaux extraits

Émetteur hyperfréquence 60 GHz (gyrotron)

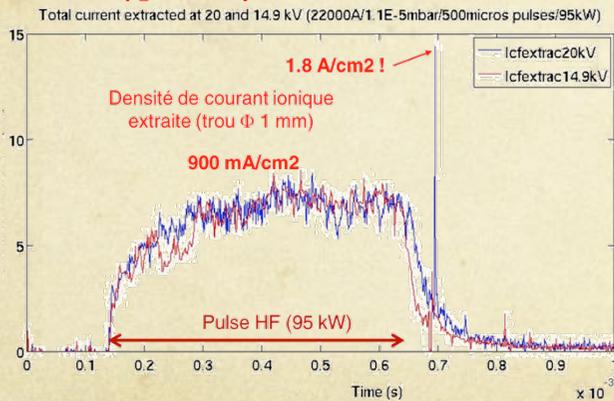
Caractéristique	Valeur
Fréquence de l'onde EM	60 GHz
Puissance	300 kW
Durée des pulses	50-1000 μ s
Cycle utile max.	3.5 Hz

Gyrotron unique au monde (propriété du LPSC)
 conçu et réalisé (2012) dans le cadre d'un contrat ISTC (2010-2012)
 Institute of Applied Physics - Russian Academy of Sciences, Gycom®,
 LPSC

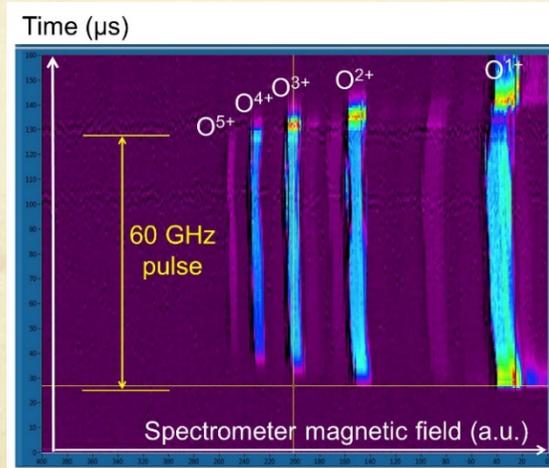


Première mondiale en 2014 : faisceaux extraits d'une source d'ions ECR 60 GHz à résonance sphérique

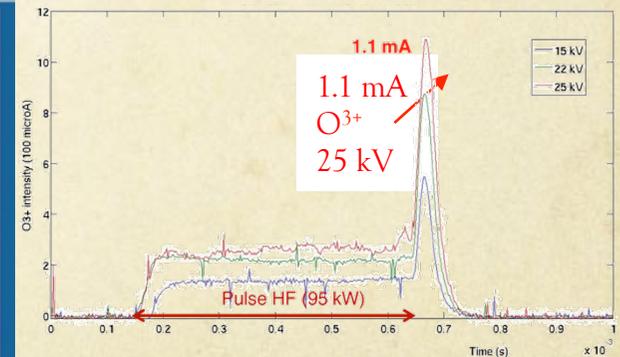
Gaz oxygène injecté



Courant total extrait



Ions multichargés d'oxygène



Intensité d'O³⁺
 (trou d'extraction Φ 1mm)

Les résultats de la collaboration LPSC-LNCMI-IAP/RAS permettent d'envisager un programme ambitieux (et unique au monde!) de R&D sur les sources d'ions ECR du futur

Plasmas

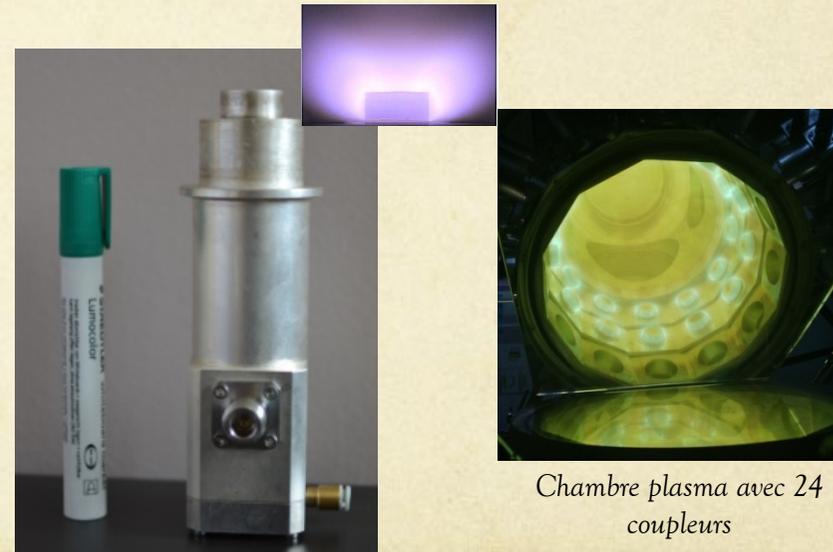
12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Sources plasma micro-onde à conditions opératoires étendues

- Objectif / Contexte: répondre aux nouvelles exigences requises par les procédés plasma en termes de :
 - **Souplesse opératoire** : Domaine étendu en pression (10^{-4} - 100 Torr) et fréquence (2.45 et 0.35 GHz)
 - **Flexibilité technologique** : extension d'échelle ($\varnothing=300$ mm), facilité d'implémentation, pas de couplage électromagnétique entre sources
 - **Efficacité** énergétique (transmission et couplage)
- Projets / Financement
 - ANR-Emergence 2011-2013 (porteur)
 - 2 CIFRE, FUI
- Développement des méthodes de mesure de l'impédance du plasma
- Étude physique des plasmas
- Étude de procédés



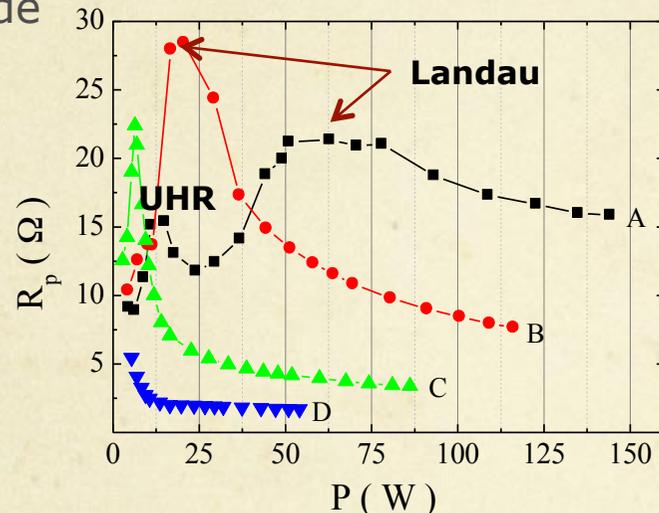
Coupleur micro-onde
Source plasma unitaire

Chambre plasma avec 24
coupleurs

Sources plasma micro-onde à conditions opératoires étendues

• Étude plasmas et procédés

- Mise en évidence des modes de couplage (R-L-C) et couplages résonnants onde-plasma (Landau, UHR-upper hybrid resonance)
- Détermination de l'impédance d'un plasma micro-onde dissociée de l'impédance du coupleur d'onde

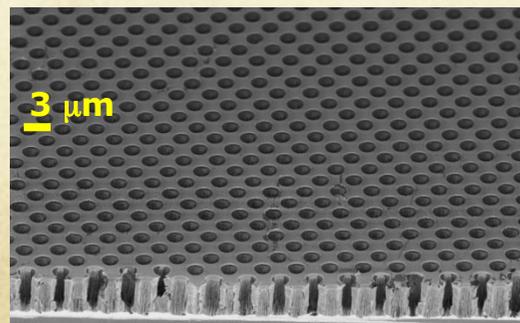
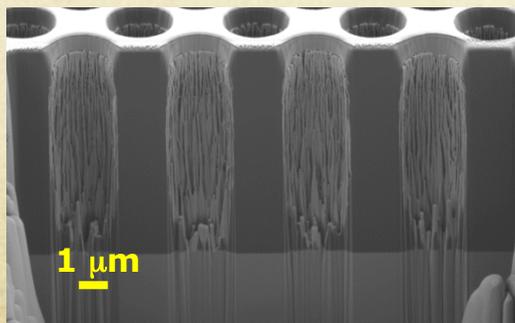


Résistance du plasma en fonction de la puissance micro-onde pour différentes pressions :

A- 5×10^{-3} , B- 5×10^{-2} , C- 5×10^{-1} , D-5 Torr

Baële et al., Plasma Sources Sci. & Tech PSST 23 (2014) 064006

- Modélisation-validation des mécanismes et cinétiques de gravure (polymères / O_2 , N_2/O_2 , H_2O ; éléments IV (silicium, germanium, étain...) / Br, I, F)



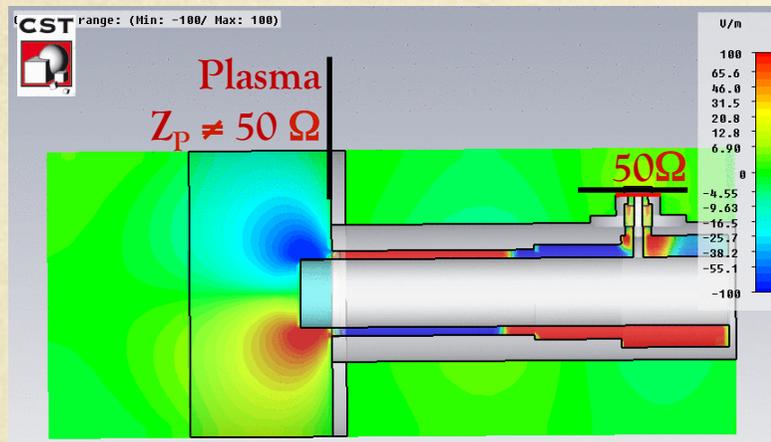
Gravure profonde (1:6) de résine en plasma de N_2/O_2 (micro-filtre)

Bès, thèse décembre 2014

Sources plasma micro-onde à conditions opératoires étendues

- Réalisations technologiques

- Conception de coupleurs d'onde à 100% d'efficacité énergétique



Coupleur à Onde Progressive: 100 % d'efficacité de transmission et de couplage au plasma

- Répartition spatiale des sources :
 - technologie propre au LPSC



- Réalisation de réacteur prototype pour procédés plasma avec Module transférable sur équipements existants

GUINEVERE

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

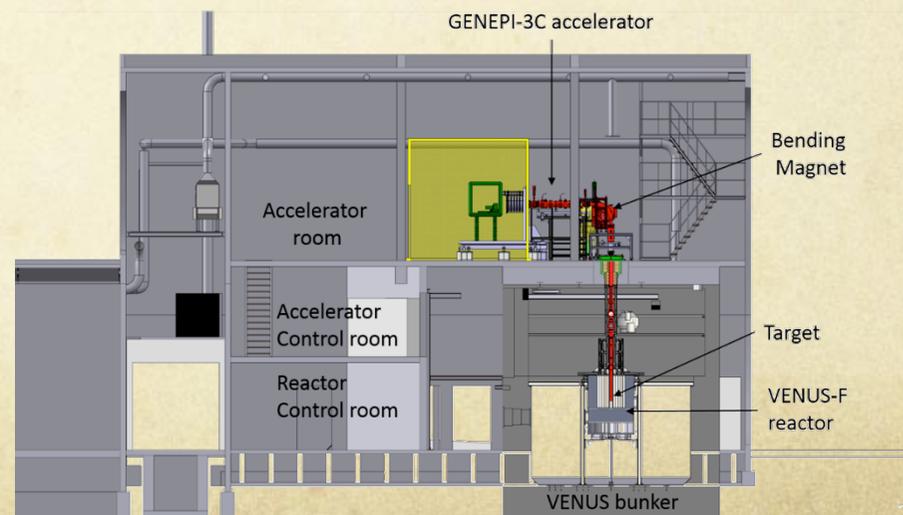
H
C
E
R
E
S

GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (1/3)

- **Recherches pour la gestion des déchets nucléaires** (Lois de 1991 et 2006) sur des systèmes nucléaires dédiés à la **transmutation d'Actinides Mineurs (AM)**
- **ADS (Accelerator Driven System)** : réacteur nucléaire sous-critique rapide (caloporteur plomb), couplé à une source de neutrons externe, générée par un faisceau d'ions (puissance pilotée par l'intensité du faisceau, accepte une grande quantité d'AM comme combustible)
- Nécessité de **démontrer** par l'expérience **la capacité de monitorer le niveau de sous-criticité du réacteur** (critère de sûreté du pilotage du réacteur)
- **Construction d'une installation expérimentale puissance quasi nulle : couplage du réacteur belge VENUS-F (SCK•CEN, Mol, Belgique) à une source de neutrons** → projet **GUINEVERE*** (intégré au projet EURATOM EUROTRANS, FP6, 2006-2010)
- **Projet initié par SCK•CEN et CNRS, avec contribution CEA/DEN**

→ **Construction de l'accélérateur source de neutrons par CNRS/IN2P3: GENEPI-3C**

Maîtrise d'œuvre:
Groupe Accélérateurs et
Groupe Physique des Réacteurs
du LPSC

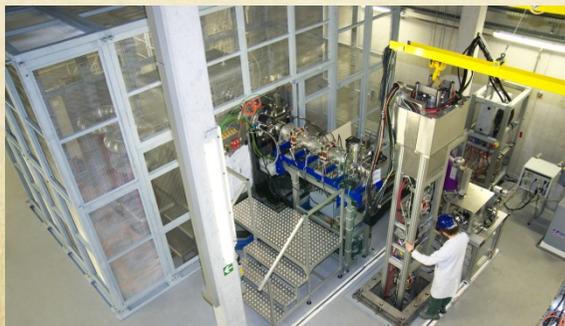


*GUINEVERE: Generator of Uninterrupted Intense NEutron at the lead VENus REactor

GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (2/3)

- 2007-2011: Construction, mise en service et opération de l'accélérateur GENEPI-3C
- GENEPI-3C: accélérateur électrostatique de deutons (250 keV) pour couplage vertical avec réacteur VENUS-F
- Cahier des charges imposé par le programme de physique:
 - Différents modes de faisceau: pulsé, DC avec interruptions de faisceau programmées:
 - Pulse court : FWHM < μs
 - Intensité jusqu'à 1 mA en DC
 - Interruptions: Transitions rapides < 1 μs
 - Fortes contraintes liées au couplage avec un réacteur nucléaire
- Conception, construction et qualification (2007-2010):
 - collaboration IN2P3: LPSC, IPNO, LPCC, IPHC
 - ~28 ETP au LPSC; mécanique, électronique, informatique, SDI
- Depuis fin 2011, exploitation en INB pour le programme expérimental FREYA:
 - Pilotage de l'accélérateur, maintenances techniques et retour d'expérience

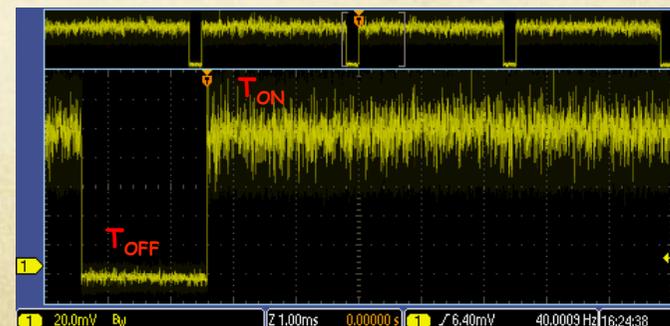
→ Maquette rapide d'ADS au plomb unique au monde



GENEPI-3C au SCK-CEN



Couplé à VENUS-F



DC interrompu

GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (3/3)

- 2011-2016: Expériences de physique des réacteurs: projet européen FREYA* (EURATOM FP7) IN2P3: LPSC (acquisition: électronique, informatique) collaboration avec LPC Caen, IPN Orsay

- Coordination du WP « ADS on-line reactivity monitoring methodologies » par le LPSC
 - ➔ Expériences pour la validation d'une procédure de monitoring de la réactivité: combinaison de mesures relatives et absolues

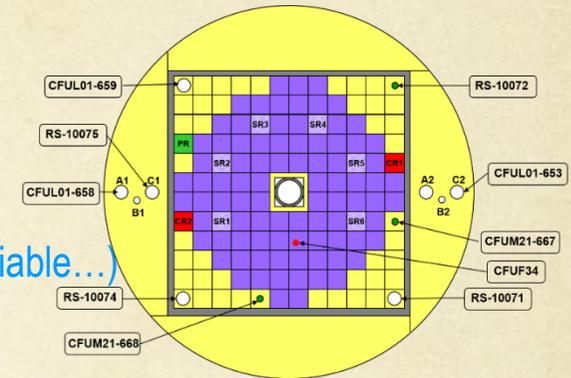
- Campagnes expérimentales pour ce WP achevées:

- 2012-2014: 38 semaines de prise de données
- Plusieurs cœurs sous-critiques étudiées ($0.89 < k_{eff} < 0.97$)
- Plusieurs régimes de source de neutrons (pulsée, continue interrompue, I variable...)

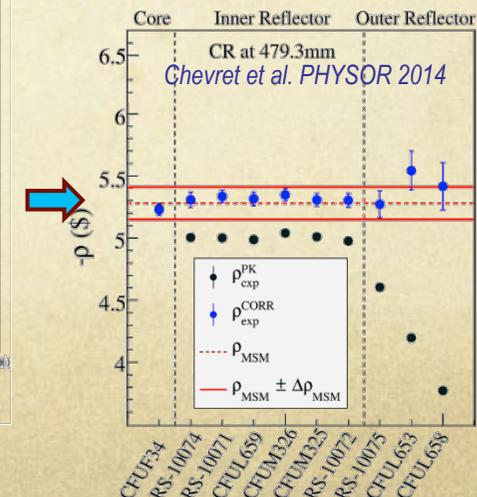
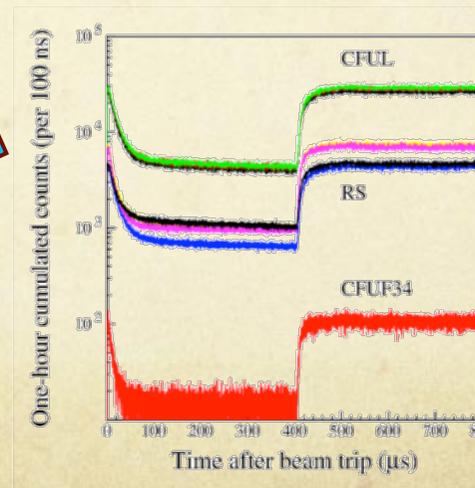
- Données actuellement en cours d'analyse:

- Analyse de la décroissance prompte (LPSC)
- Analyse des moniteurs de faisceau (LPSC)
- Analyse des mesures d'interruptions de faisceau: thèse en cours (LPCC + LPSC)

- ➔ Premiers résultats de très bonne qualité
- ➔ Mesure de réactivité dans des interruptions de faisceau en cours de validation



Cœur SC1: $k_{eff} \sim 0.96$



*FREYA: Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications

FFFER

H
C
E
R
E
S

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

FFFER* : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (1/3)

*FFFER: Forced Fluoride Flow for Experimental Research

- **Réacteurs à Sels Fondus en cycle thorium - MSFR (Molten Salt Fast Reactor)**

Nouveau concept de réacteur à l'étude pour la génération IV

→ spécificité: le combustible est liquide et sert aussi de caloporteur, **sel de type LiF-ThF₄-UF₄**

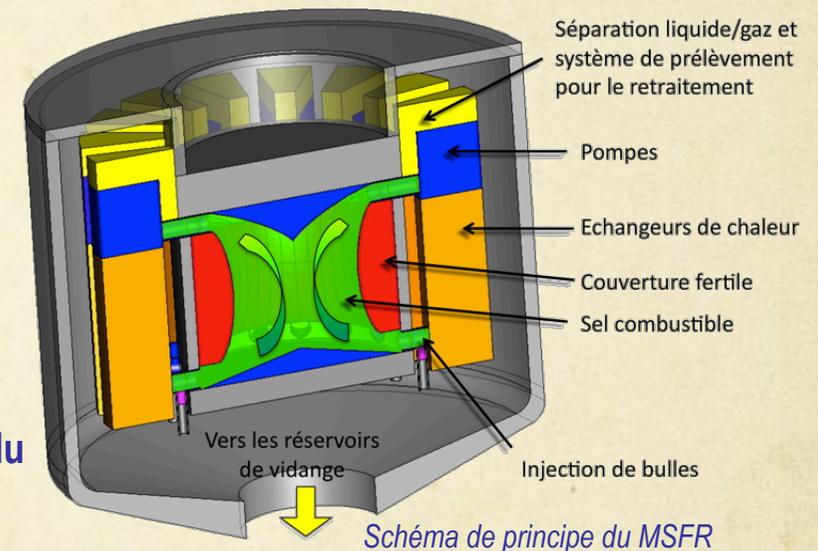
- Nécessité de nettoyer le sel combustible en fonctionnement **pour garantir ses qualités neutroniques et préserver les composants du système :**

- un nettoyage chimique externe est prévu
- un **nettoyage physique en ligne est indispensable** pour extraire les gaz et les matières non solubles

- **État des lieux : concept des RSF thermiques date des années 60, pas de données expérimentales récentes, perte de savoir et de savoir-faire sur les liquides à haute T**

◆ **Projet FFFER : construction d'une boucle de fluorure fondu pour étudier le procédé de nettoyage physique et développer les outils associés (méthodes, instrumentations, matériels..)**

→ Technique de "bullage" : **injection de bulles** dans le sel en circulation, celles-ci constituent des lieux de piégeage des gaz dissous et des particules en suspension, l'extraction a lieu au niveau d'un **séparateur liquide/gaz** : système à intégrer dès le design du réacteur (**verrou technologique pour la conception**)



Projet LPSC - Financement : IN2P3, UJF, PACEN (CNRS) et

FFFER : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (2/3)

• Principe de la boucle :

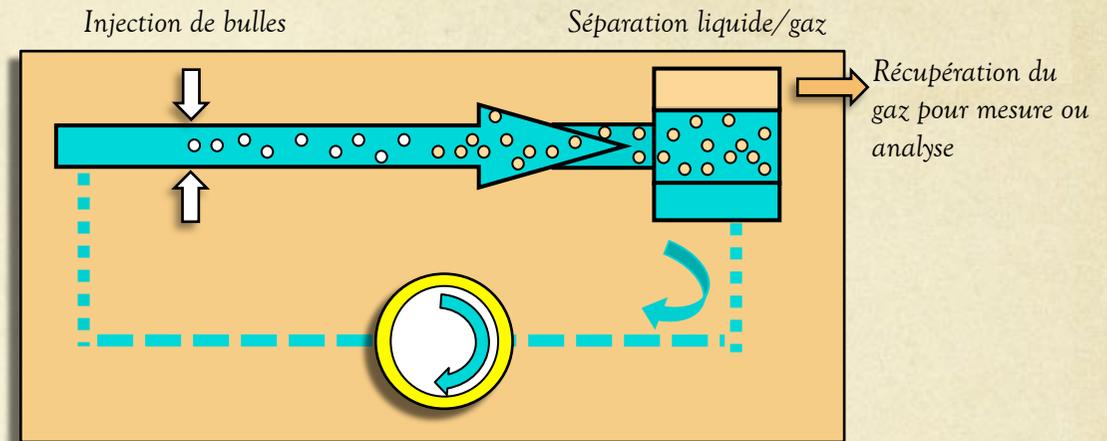
Caractéristiques :

Sel modèle : fluorure (LiF-NaF-KF), $T_f = 460^\circ\text{C}$

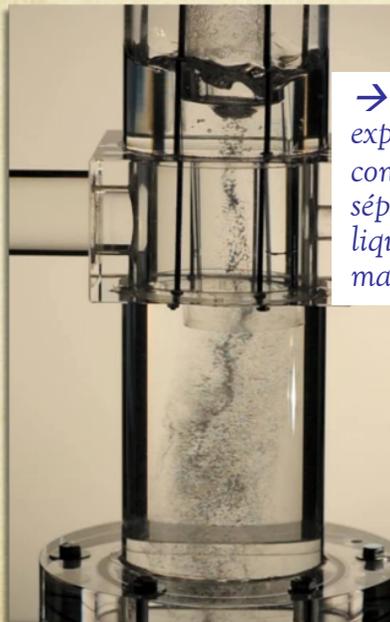
Fonctionnement entre 550°C et 700°C

Vitesse circulation : $\geq 1 \text{ m/s}$

Taux de gaz entre 0,1% et 1% volumique



• Objectifs du projet:



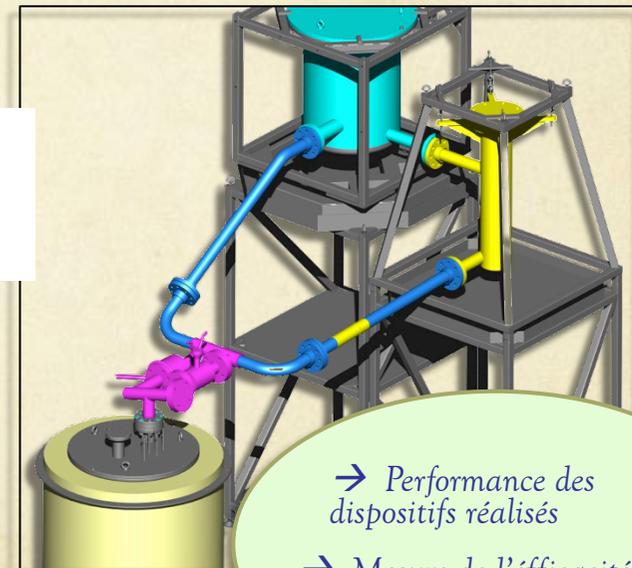
→ Travail expérimental de conception du séparateur liquide/gaz sur maquette

eau : 1,0 litre/s air : $50 \text{ cm}^3/\text{min}$



Circulateur

→ Travail de conception et réalisation de composants



→ Performance des dispositifs réalisés

→ Mesure de l'efficacité de la séparation liquide/gaz

En milieu fluorure liquide

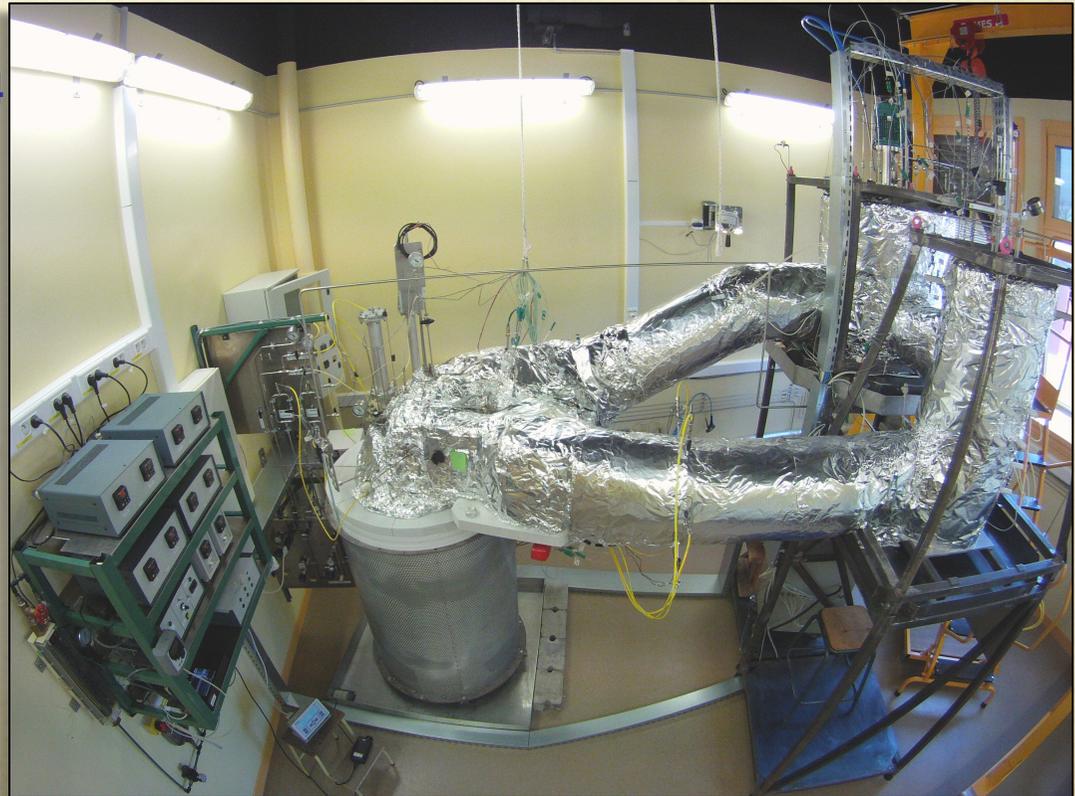
FFFER : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (3/3)

- Réalisations :

- Services mécanique, détecteurs et instrumentation, électronique du LPSC, 1 h.an pendant 5 ans et service technique général, + 1 chercheur groupe physique des réacteurs
- Adaptations de locaux (2009)
- Fabrication de 160 kg de sel en boîte à gants (1 an)
- Conception, fabrication, montage, pilotage, tests de la boucle et de ses composants

- 1er test de circulation: 27 juillet 2014
- Début de campagne d'essais: novembre 2014
- Interruption en cours
- Reprise des essais en mars 2015

➔ Installation expérimentale unique



LHC
ATLAS & ALICE

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Démarrage du LHC



ALICE

Insertion
EMCAL

2009

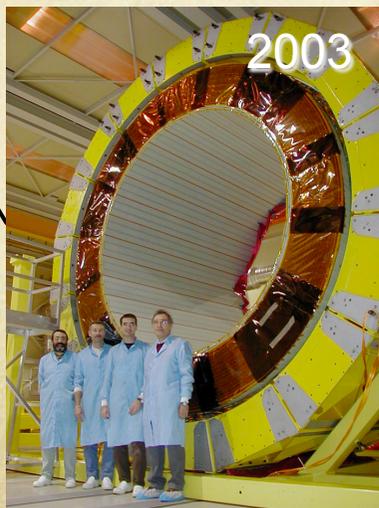


2013-2014

DCAL



découverte du 
boson de Higgs



2003

ATLAS

Insertion pré-
échantillonneur



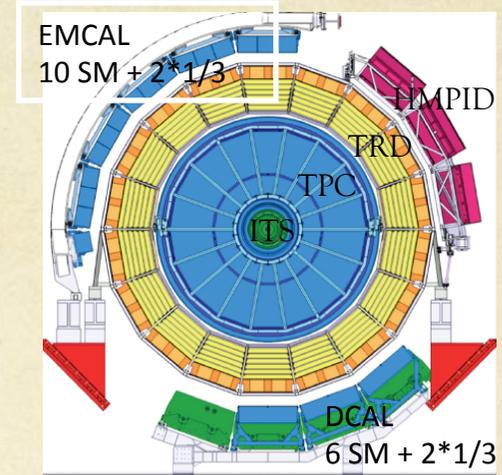
2014

Insertion IBL

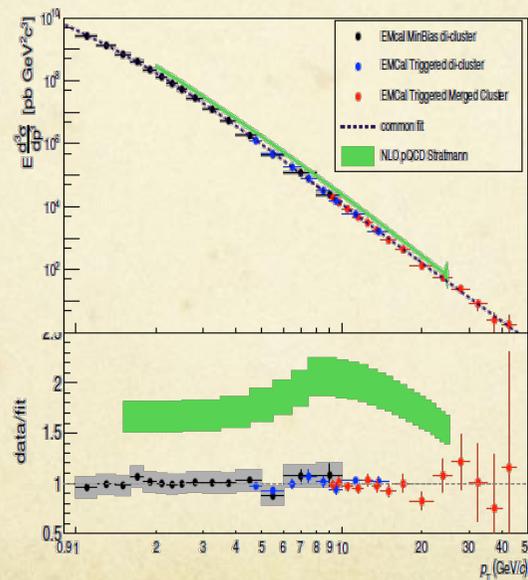
Expérience ALICE

Étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) au LHC

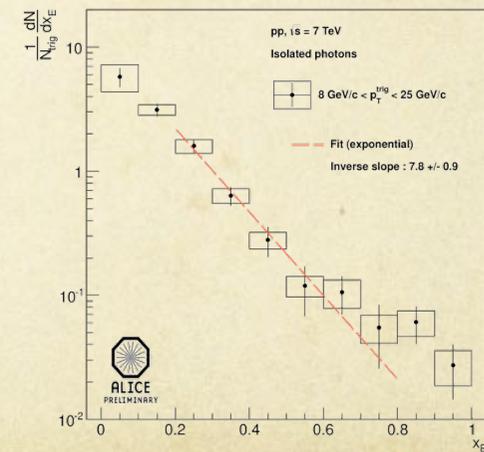
- Assemblage, calibration et intégration des calorimètres EMCal et Dcal
- Analyses physiques de la production des photons/mésons neutres, des jets et des corrélations γ -hadron



Assemblage/calibration au LPSC

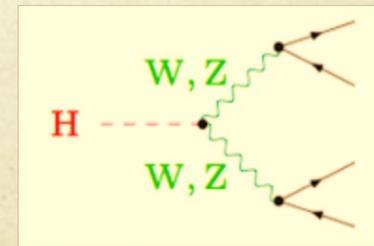
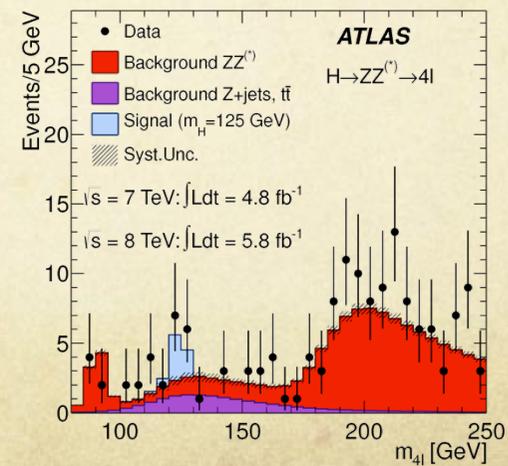
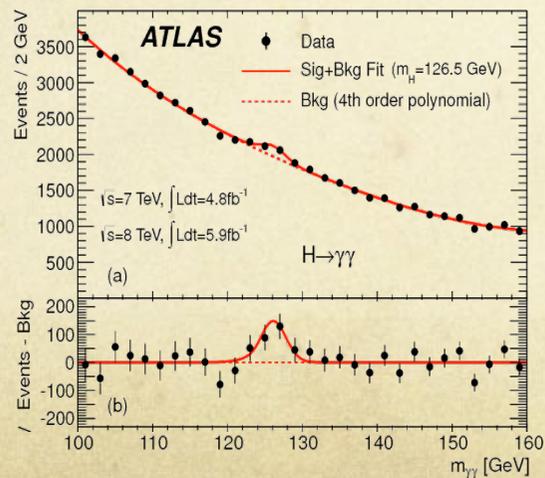
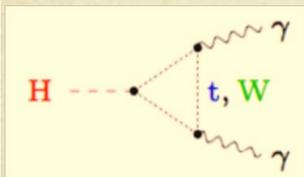
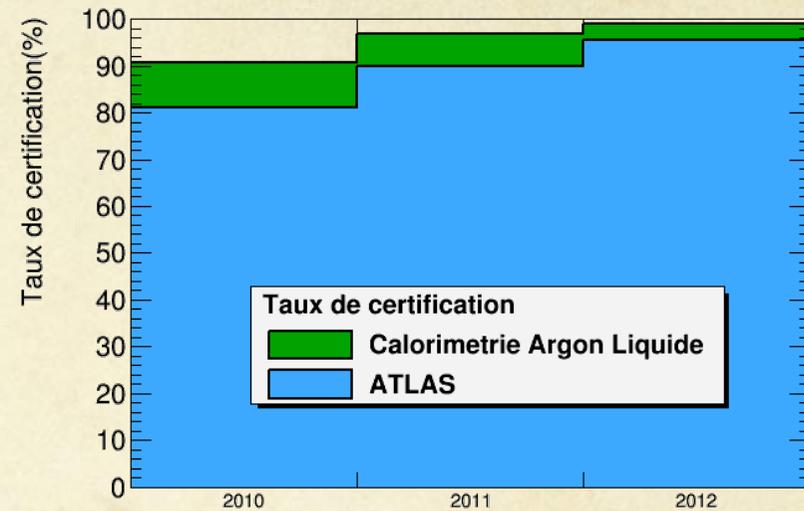
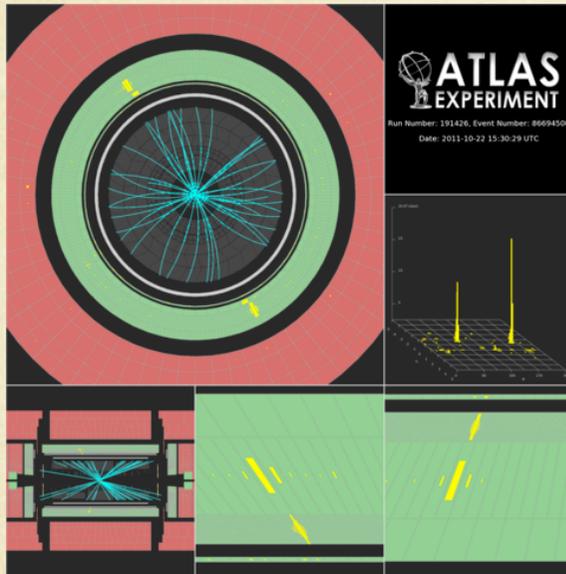


Production des pions neutres



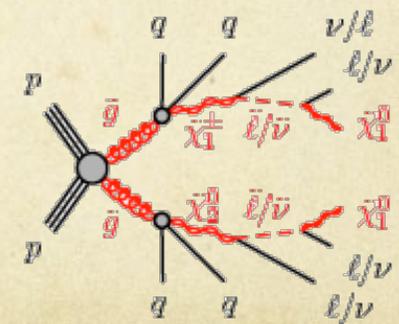
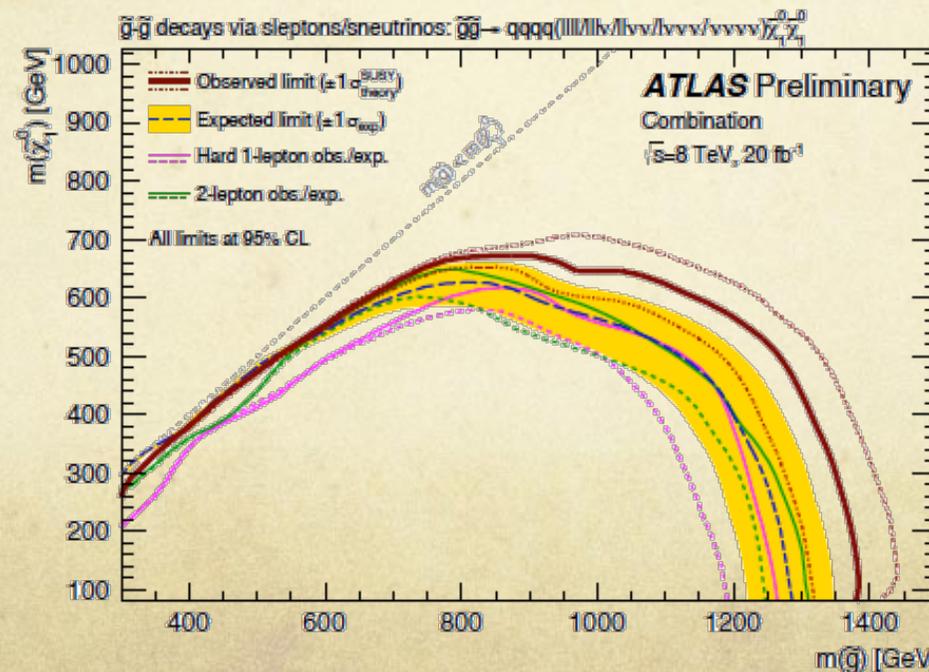
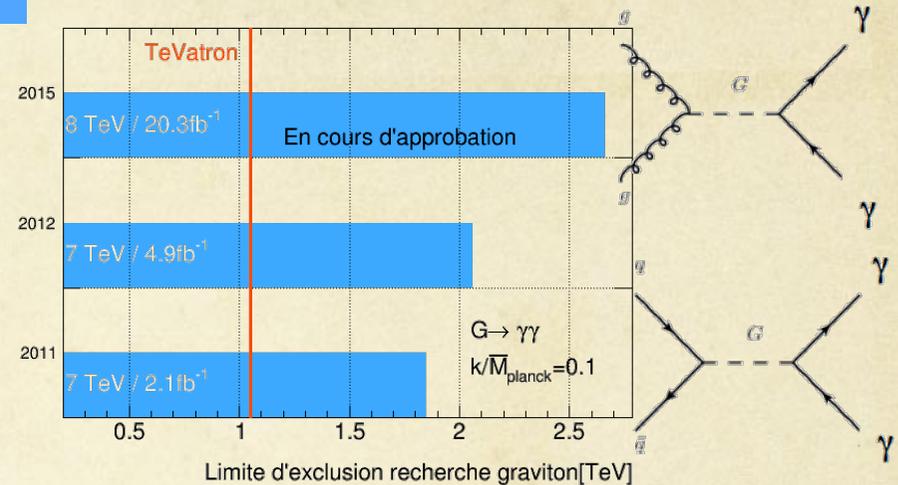
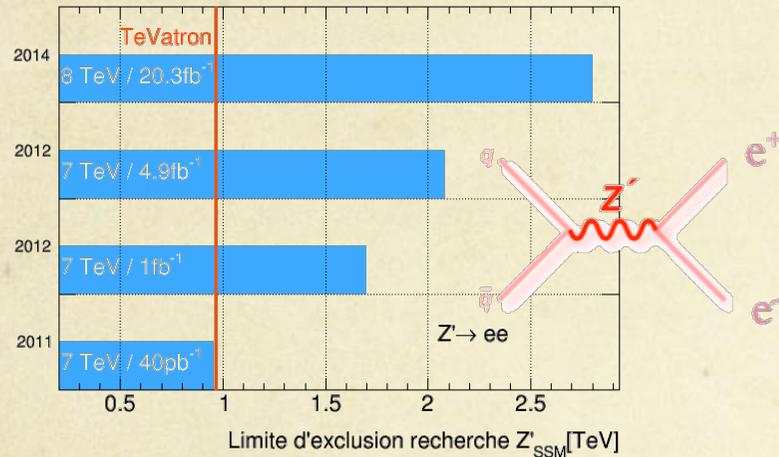
Corrélations γ -hadron

Découverte du boson de Higgs



Recherche directe de nouvelle physique

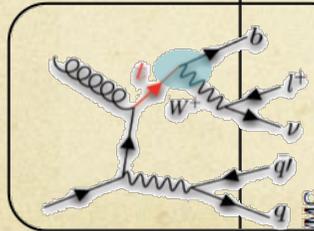
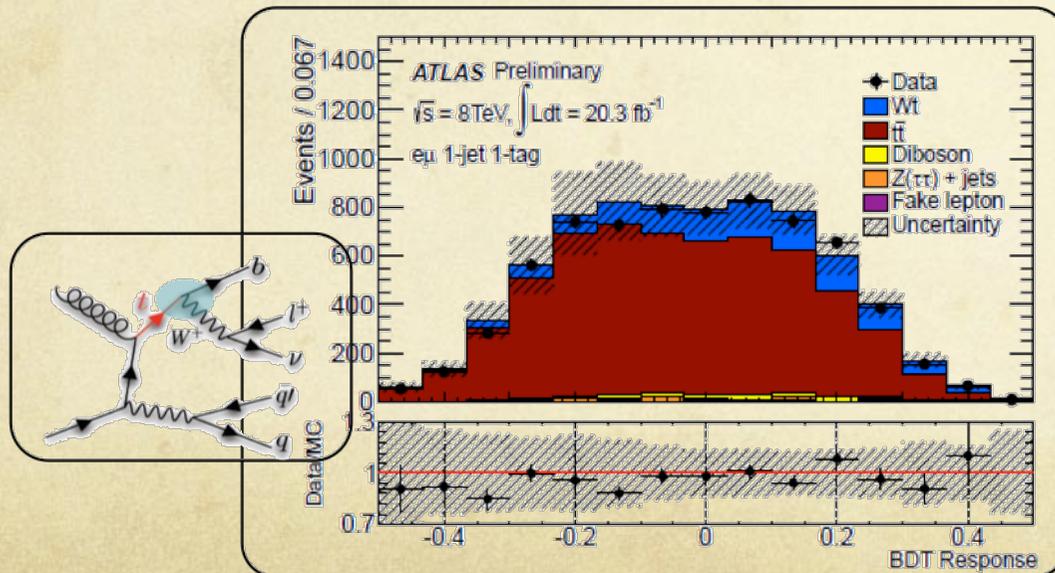
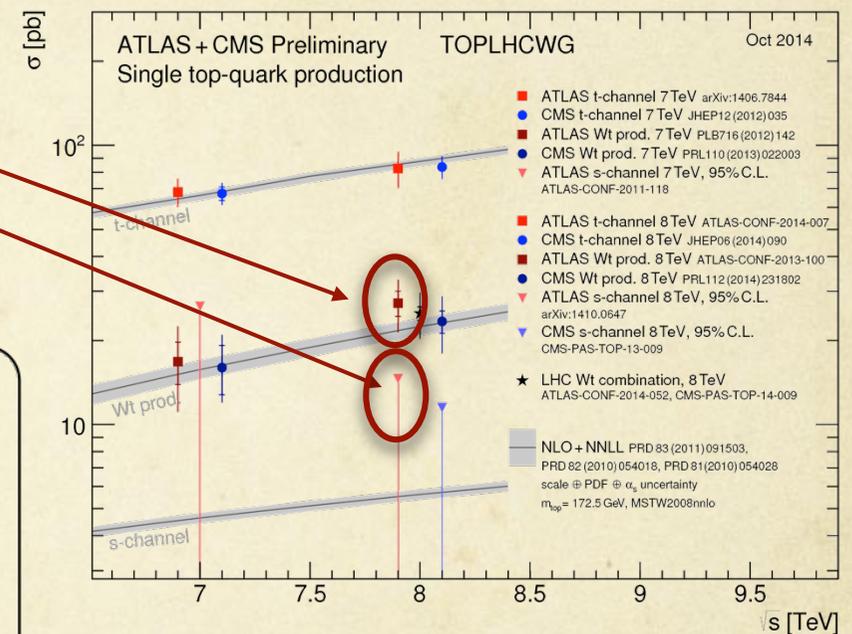
Limites ATLAS



Recherche indirecte : physique du quark top

Production de quark célibataire au LHC

- Test des 3 voies de production électrofaible du quark top
- Rôle pionnier du groupe dans:
 - Redécouverte du processus voie-t au LHC
 - Première mise en évidence du canal Wt !
 - Premières limites sur la voie-s au LHC



théorie

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

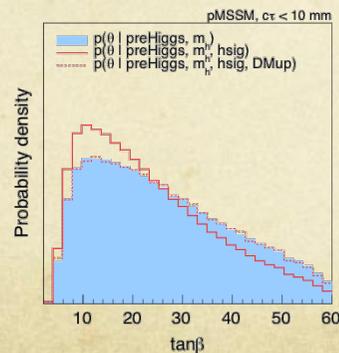
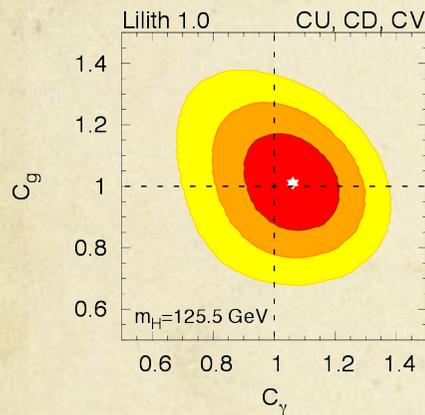
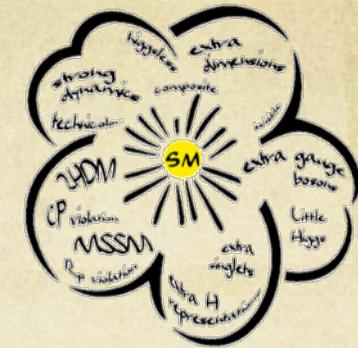
H
C
E
R
E
S

Physique théorique

Programme de recherche très varié: QCD, PDFs, calculs de précision, quarks lourds, physique du top et du Higgs, supersymétrie, développement des outils,

Reaction rapide à la découverte du boson de Higgs

L'étude détaillée du boson observé à 125 GeV ouvre une **fenêtre précieuse sur la nouvelle physique**.



- * **Objectif principal:** d'établir précisément la nature du boson observé à 125 GeV, et par-là de tester le Modèle Standard (MS) → **Fits globaux** des résultats du LHC et du Tevatron, en vue de contraindre les déviations possibles de ses **couplages**, y compris dues à de nouvelles particules virtuelles, ou de nouveaux canaux invisibles.

A noter: **BR(H→invisible) < 0.12 @ 95% CL**; peut aller jusqu'à ~0.34 selon modèle

- * **Etudes des conséquences au sein de modèles spécifiques:**
p.ex. modèles avec deux doublets de Higgs (**2HDM**), ou la supersymétrie (**MSSM et NMSSM**).

PRD 88, 075008 (2013)
TopCite100+

PRD 90, 035021 (2014)
editors' pick

- * Nouvelle méthode pour établir la présence de plusieurs Scalars dégénères contribuant au signal à 125 GeV.
[publié dans PRL]

PLB 710 (2012) 454
TopCite100+

- * **Recommandations** "On the presentation of the LHC Higgs results", visant à maximiser l'impact et l'utilité des résultats expérimentaux pour la communauté.

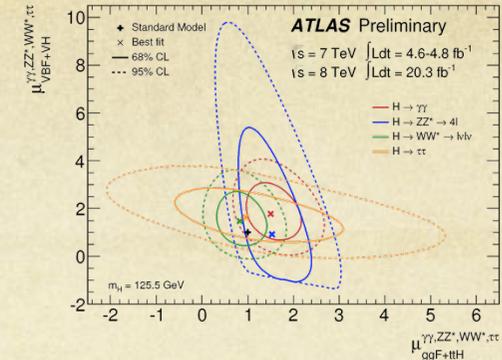
Serie des workshops au LPSC sur les conséquences du boson de Higgs à 125 GeV.

Lilith

Code public en Python
par J. Bernon et B. Dumont
(2 étudiants du groupe théorie)

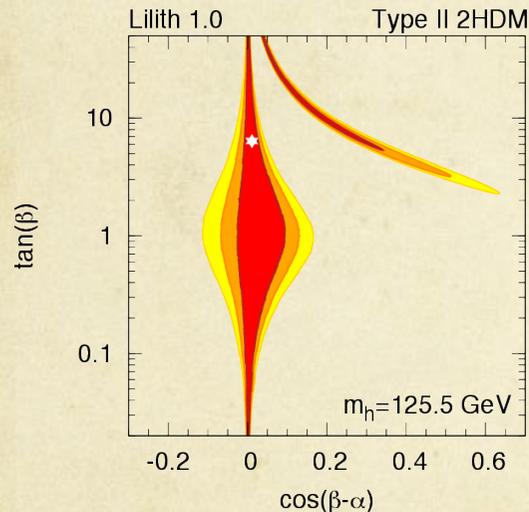
Light Likelihood fiT for the Higgs

Les collaborations du LHC (et du Tevatron) mesurent avec **précision** les propriétés du **boson de Higgs** récemment découvert, notamment les **taux de production et désintégration** dans une multitude de canaux différents.



Exemple de mesure de taux de production-désintégration (normalisé par la prédiction du Modèle Standard) par la collaboration ATLAS.

[ATLAS-CONF-2014-009]



Exemple d'application:
Contraintes de paramètres d'un modèle à deux doublets de Higgs

A partir de ces informations, **Lilith** construit un modèle statistique permettant de **quantifier** l'accord entre un point de l'espace des paramètres d'un modèle et ces mesures.

Lilith permet ainsi de **contraindre** des modèles de nouvelle physique à partir des mesures directes des propriétés du boson de Higgs observé.

Une attention particulière est portée à la simplicité et à la **flexibilité** des **inputs** de l'utilisateur et à la facilité d'ajouter ou modifier des résultats expérimentaux dans la **base de données** (XML) qui constitue le cœur du code.

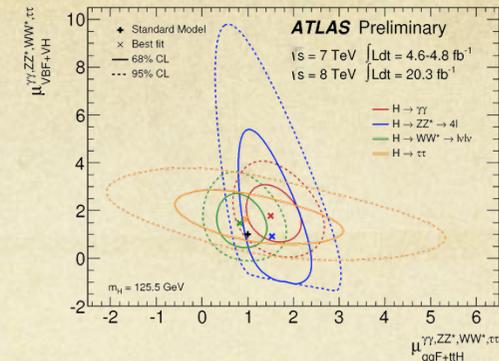
<http://lpsc.in2p3.fr/projects-th/lilith>

Lilith

Code public en Python
par J. Bernon et B. Dumont
(2 étudiants du groupe théorie)

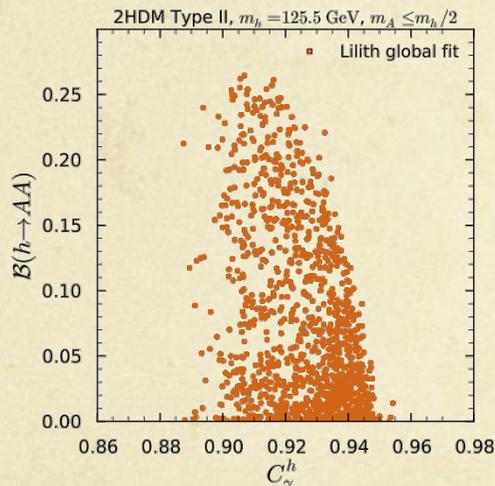
Light Likelihood fiT for the Higgs

Les collaborations du LHC (et du Tevatron) mesurent avec **précision** les propriétés du **boson de Higgs** récemment découvert, notamment les **taux de production et désintégration** dans une multitude de canaux différents.



Exemple de mesure de taux de production-désintégration (normalisé par la prédiction du Modèle Standard) par la collaboration ATLAS.

[ATLAS-CONF-2014-009]



Autre exemple d'application:

Contraintes à 95% CL sur la désintégration du Higgs en deux pseudoscalaires légers dans un modèle à deux doublets de Higgs (scan des paramètres)

A partir de ces informations, **Lilith** construit un modèle statistique permettant de **quantifier** l'accord entre un point de l'espace des paramètres d'un modèle et ces mesures.

Lilith permet ainsi de **contraindre** des modèles de nouvelle physique à partir des mesures directes des propriétés du boson de Higgs observé.

Une attention particulière est portée à la simplicité et à la **flexibilité** des **inputs** de l'utilisateur et à la facilité d'ajouter ou modifier des résultats expérimentaux dans la **base de données** (XML) qui constitue le coeur du code.

<http://lpsc.in2p3.fr/projects-th/lilith>

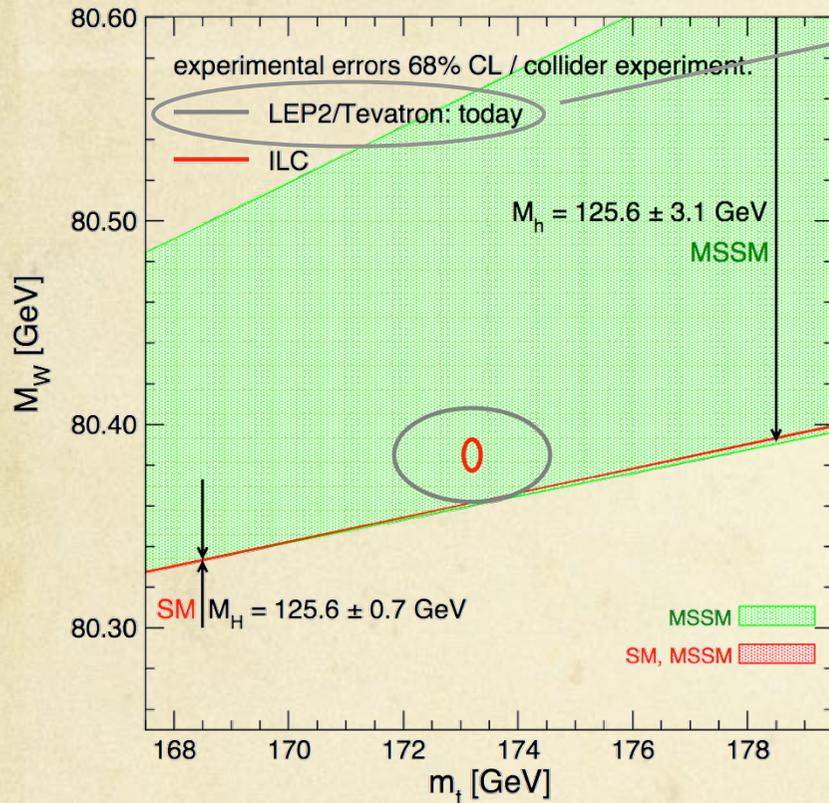
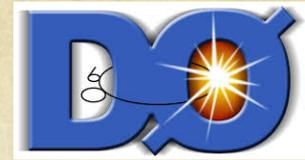
D0 masse du W

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

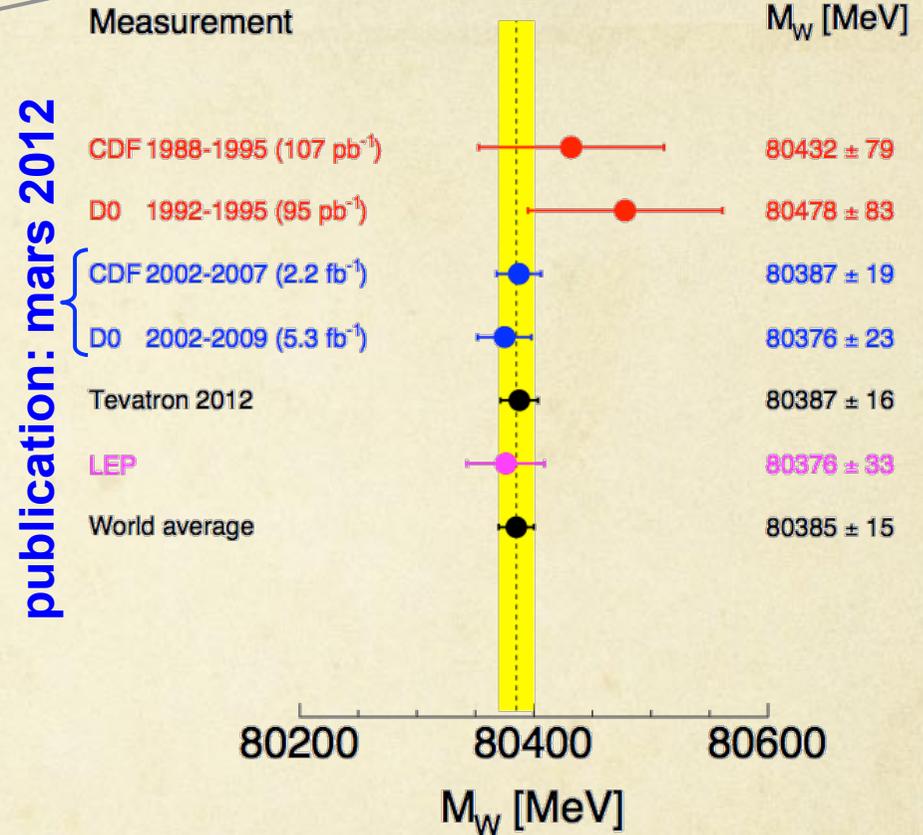
H
C
E
R
E
S

Masse du boson W



Heinemeyer, Hollik, Weiglein et Zeune,
JHEP 1312 (2013) 084 (décembre 2013)

Mass of the W Boson



Phys. Rev. **D88**, 052018 (juillet 2013)

- Contributions du LPSC :
 - direction du groupe d'analyse
 - compréhension détaillée du calorimètre
 - mise au point de la simulation détaillée du détecteur D0.

UCN

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

La mesure du moment dipolaire électrique du neutron :

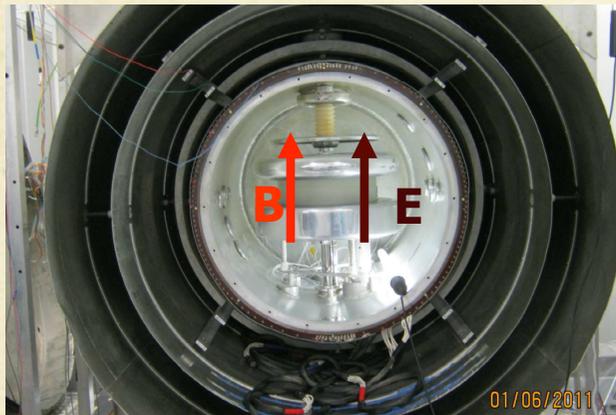
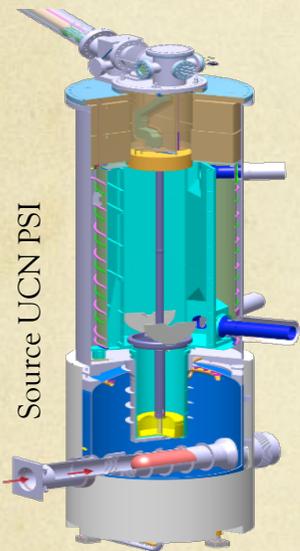
Le projet nEDM à l'Institut Paul Scherrer (PSI)



Recherche de nouvelles sources de violation de CP dans le but d'expliquer l'asymétrie matière-antimatière de l'Univers

- **Objectifs**

- Mesure avec spectro RAL-Sussex et la nouvelle source de neutrons ultrafroids (UCN) de PSI (2013-2018) → sensibilité $\sim 2 \times 10^{-26}$ e.cm
- Objectif final: sensibilité $\sim 10^{-27}$ e.cm avec nouveau spectromètre n2EDM (2020 →)



Spectromètre RAL-Sussex

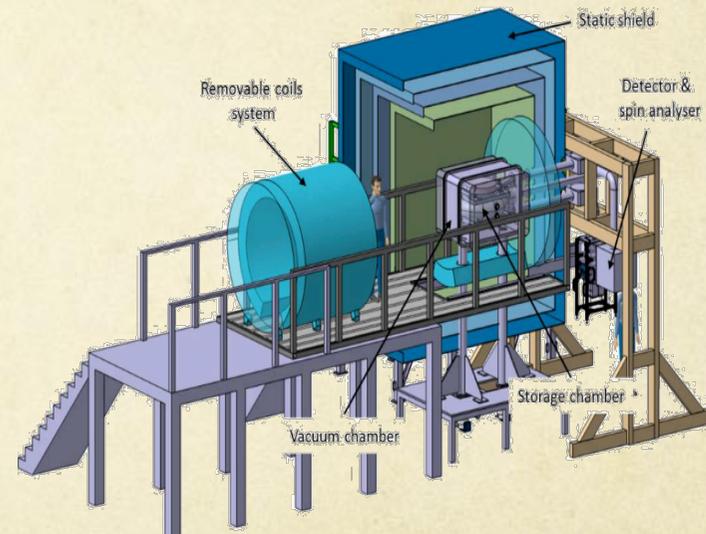


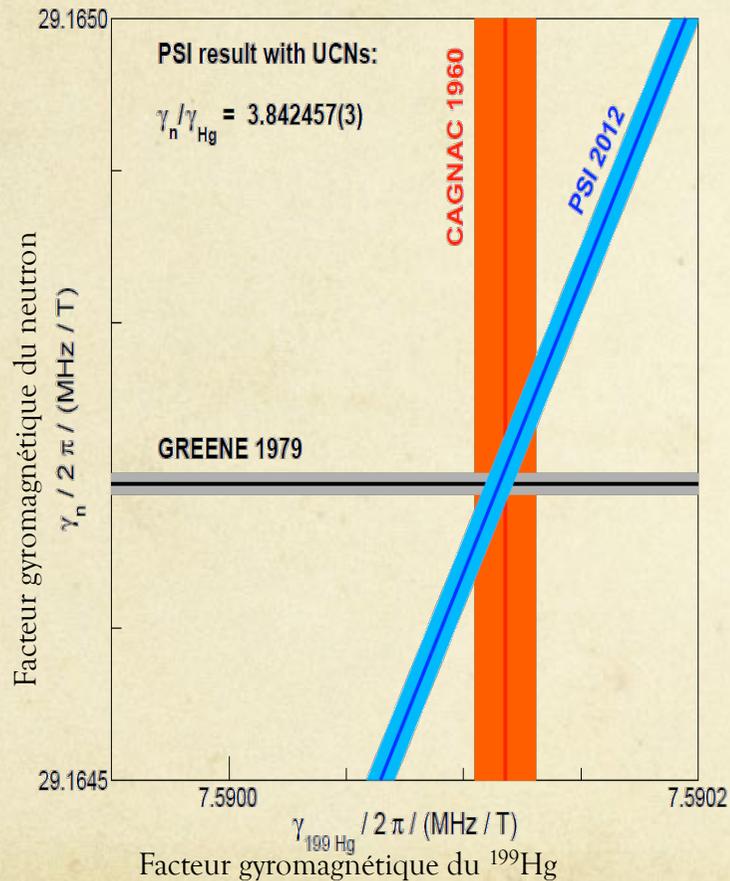
Schéma spectromètre n2EDM

- **Faits marquants:**

- Obtention ANR 2015-2018 (n2EDM)
- Nouvelle mesure du moment magnétique du neutron (PLB 2014)

La mesure du moment magnétique du neutron

Mesure du rapport $\gamma_n/\gamma_{\text{Hg}}$ (ligne bleue)



- Résultat obtenu à partir du rapport des fréquences de précession neutron/mercure
- Première mesure avec des UCN

$$\left(\frac{2}{h}\right) \mu_n = \frac{\gamma_n}{2\pi} = 29.164705(55)\text{MHz/T}$$

- Confirme la seule mesure de précision obtenue par Greene et Ramsey en 1979 à l'ILL.
- Prochaine étape: amélioration de la mesure du moment dipolaire électrique du neutron.

EXILL

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Compagne EXILL: EXOGAM@ILL (2012-2013)

Structure Nucléaire

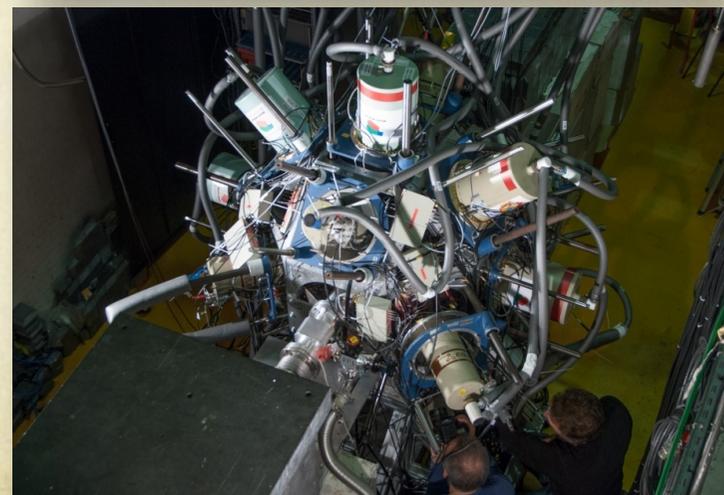
- ❖ Projet initié au LPSC par le groupe de SN
- ❖ Très forte implication du groupe et des services Mécanique et Informatique du LPSC
- *réalisation et montage mécanique*
- *montage, tests et réglage des détecteurs d'EXOGAM et de FATIMA*
- *suivi des mesures pendant 3 mois*
- ❖ *Plus de 100 collaborateurs (20 laboratoires)*

Composition d'EXogam@ILL

- 8 Détecteurs clover (EXOGAM +ILL)+6 GASP(HPGe)
 - Grande efficacité γ - γ - γ
 - La capacité de résoudre une multiplicité ~ 6
- Combinaison EXOGAM/FATIMA (détecteurs LaBr₃:Ce) pour des mesures fast timing

Réactions: (n,f) sur ^{235}U et ^{241}Pu

- Possibilité d'étudier des noyaux avec des rendements $\geq 0,01\%$



De nombreuses propositions...

100 jours de temps de faisceau:

- 35 propositions pour la spectroscopie des produits prompts de fission
 - 18 propositions (n,γ)
- 20 propositions pour fast timing avec FATIMA/

EXILL

Motivations

- Test du modèle en couches autour de ^{132}Sn
- Propriétés des noyaux à proximité de ^{78}Ni ou quelques orbites jouent des rôles importants dans la déformation
- Coexistence de formes
- Changements de formes autour de $N=58,60$
- Début de la collectivité
- Déformation octupolaire autour ^{90}Se
- Mécanisme de fission
-

Les propositions du groupe acceptées @ EXILL et noyaux attribués pour analyse

■ Propositions d'expériences du groupe

Propositions	Titre
3-07-264	Sensitive tests of Shell-Model Interactions via the Prompt-gamma Spectroscopy of neutron-rich Nuclei close to ^{132}Sn
3-07-266	Spectroscopy of n-rich Rb, Sr and Y nuclei: shape coexistence around N=58
3-07-274	Search for a new region of octupole deformation around ^{90}Se
3-07-293	Sensitive tests of shell model interactions via the spectroscopy of neutron-rich Sb and In isotopes

■ Noyaux attribués au groupe en cours d'analyse

Région de masse $A \sim 100$: $^{88,89}\text{Se}$; $^{91,92}\text{Br}$; $^{95-97}\text{Rb}$; $^{99-101}\text{Sr}$; $^{97-103}\text{Y}$

Région autour de ^{132}Sn : $^{123,125,127,129}\text{In}$; $^{135,136}\text{Sb}$

La collaboration EXILL

The image shows a 3D rendering of the EXILL detector assembly, a complex structure of blue and green components mounted on a concrete base. The assembly is surrounded by various detectors and clovers. Labels with arrows point to specific parts of the detector:

- 8 EXOGAM clovers
- 6 GASP detectors
- 2 ILL clovers
- Beam Stop
- Concrete blocks for support and shielding

The diagram is surrounded by logos of the collaborating institutions:

- ILL NEUTRONS FOR SCIENCE
- CSNSM
- LPSC Grenoble - Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie
- Yale University
- BARC - Bhabha Atomic Research Centre
- IPHIC - Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg
- ipnl
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
- UNIVERSITÄT J. FOURIER - Sciences, Technologie, Santé
- CEA - Commissariat à l'Énergie Atomique
- UNIVERSITY OF SURREY
- MTA ATOMKI DEBRECEN
- INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro
- UNIVERSITAS COMPITENSIS MATRITENSIS
- UNIVERSITAS VARSOVIENSIS - University of Brighton
- GANIL - laboratoire commun CEA/DSM spiral2 CNRS/IN2P3

PLANCK-NIKA

12 janvier 2015

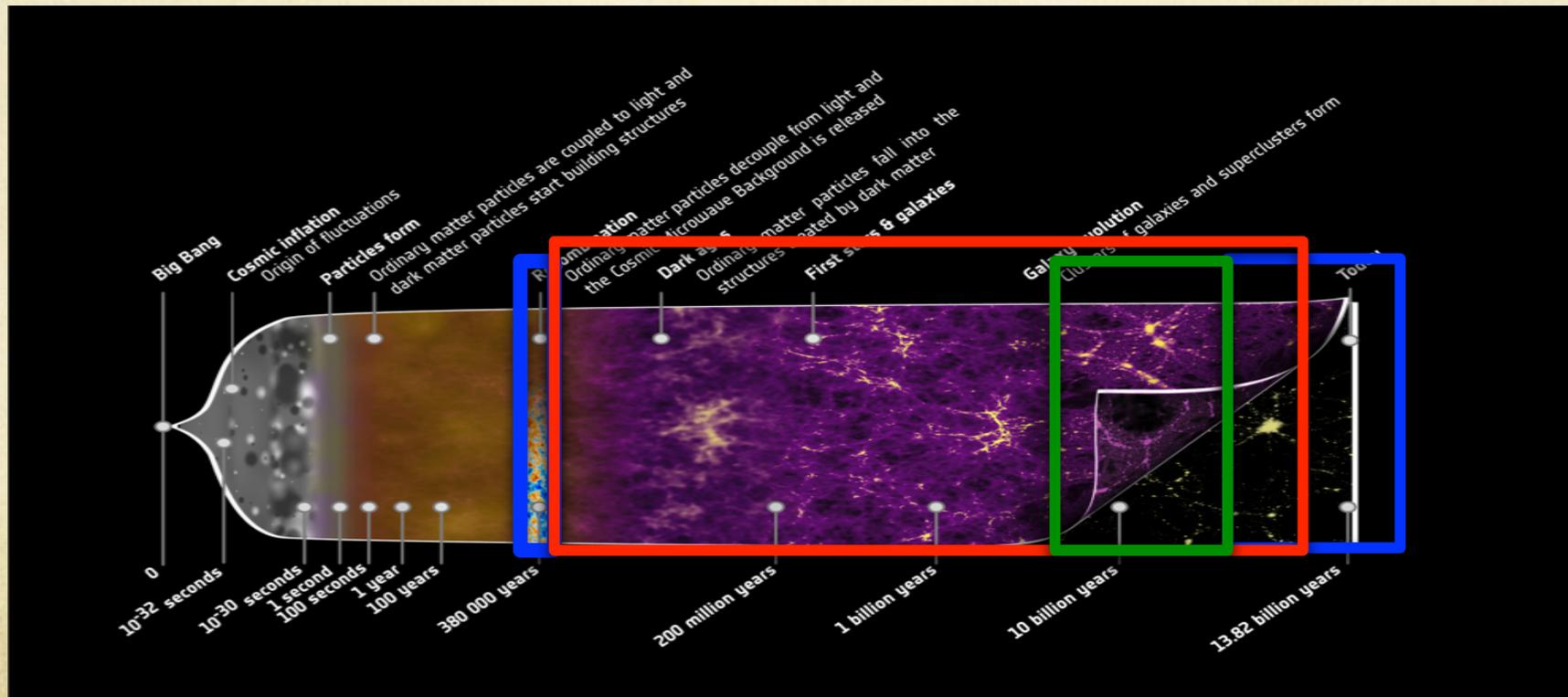
Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

COSMOLOGIE AVEC PLANCK ET NIKA

Le CMB contient des informations sur l'univers primordial, son évolution au cours du temps et son contenu :

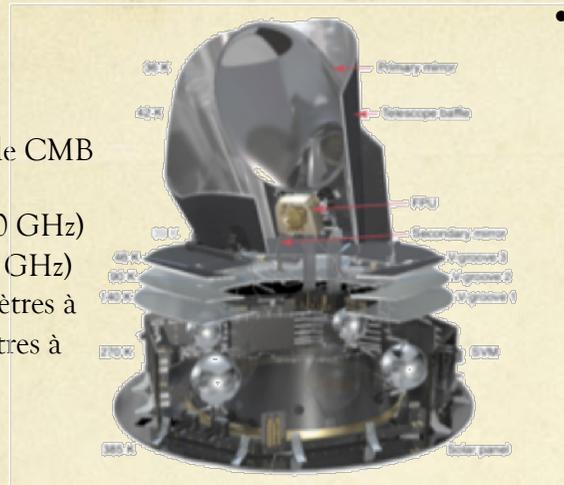
- **anisotropies primaires en température et polarisation** (inflation, reionisation, paramètres cosmologiques)
- **effet de lentille gravitationnelle** (potentiel gravitationnel intégré, paramètres cosmologiques)
- **effet Sunyaev-Zeldovich (SZ)** dans les amas de galaxies (croissances des structures, paramètres cosmologiques)



PLANCK ET NIKA

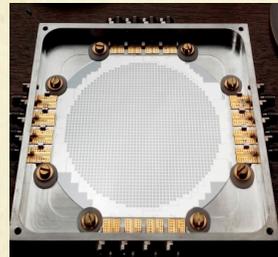
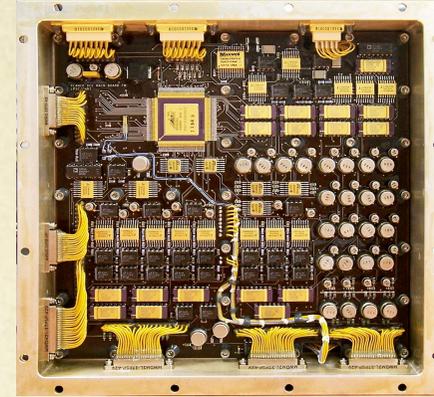


- 3^{ème} génération de satellite pour le CMB lancé en 2009
- Deux instruments LFI (30, 44, 70 GHz) et HFI (100,143,217,353,545,857 GHz)
- Détecteurs cryogéniques: radiomètres à 20 K (sorption cooler) et bolomètres à 100 mK (dilution)
- 4 ans de mission (2.5 pour HFI)



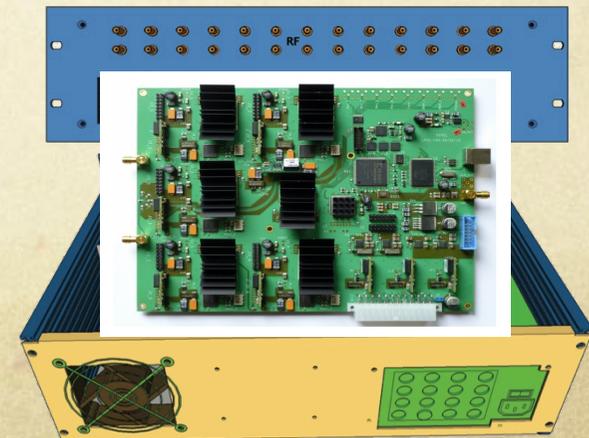
Importante contribution technique du LPSC

- Électronique et logiciel de contrôle du sorption cooler et de la dilution



- Premier instrument astrophysique à base de KIDs (Kinetic Inductance Detectors)
- 400 détecteurs KIDs à 150 et 250 GHz refroidit à 100 mK

- Électronique de lecture des KIDs
- Système de polarisation
- Simulation et tests
- Fabrication du cryostat

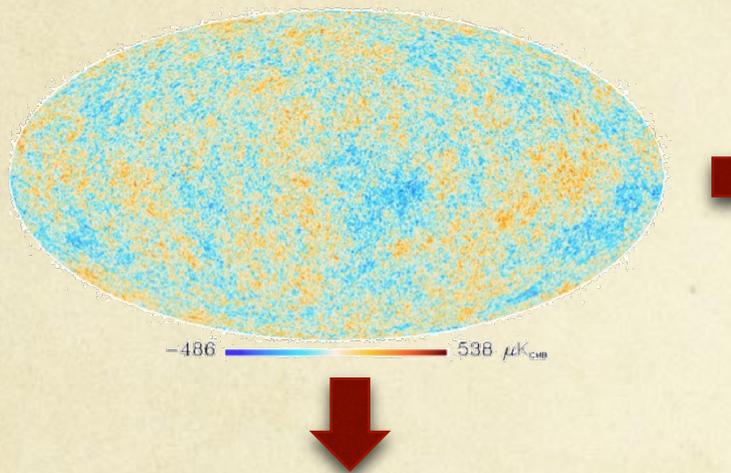


PLANCK 2013 DATA RELEASE

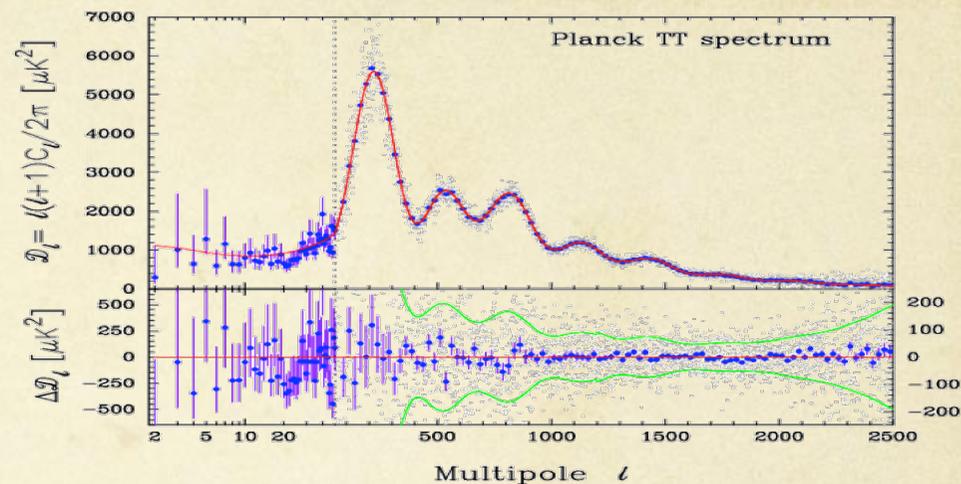
Planck collaboration 2014: A&A

Plusieurs sondes cosmologiques indépendantes et complémentaires

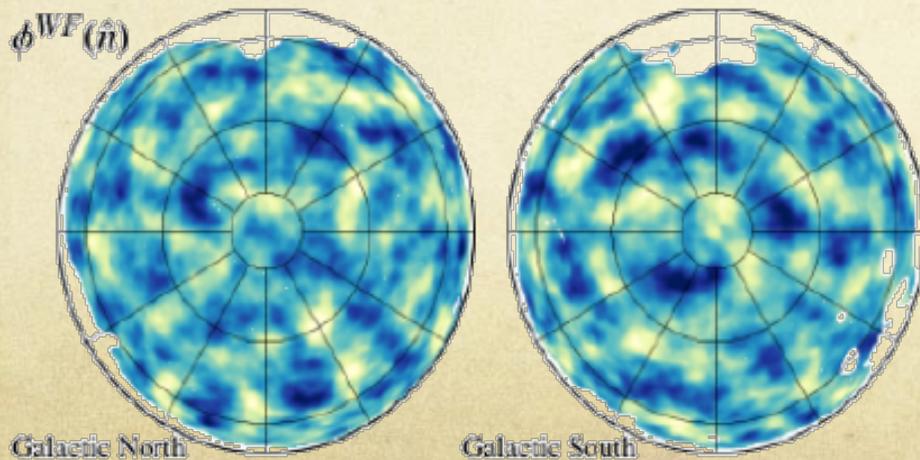
Carte des anisotropies en température



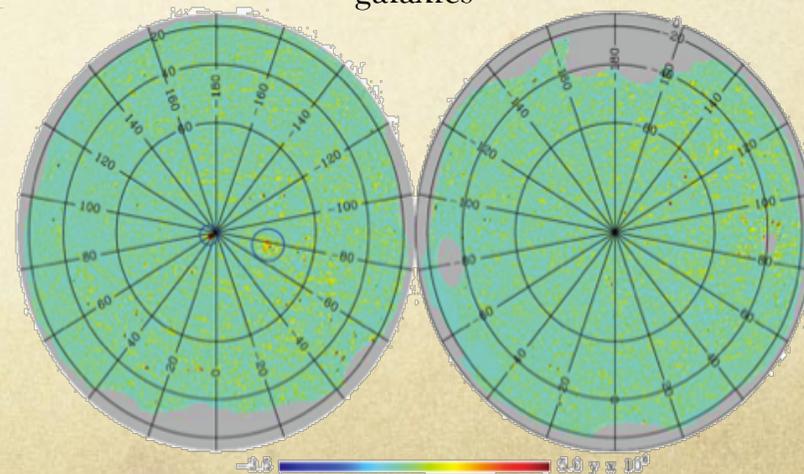
Spectre de puissance du CMB en température



Effet de lentille - carte du potentiel gravitationnel intégré



Carte de l'effet SZ produit par des amas de galaxies

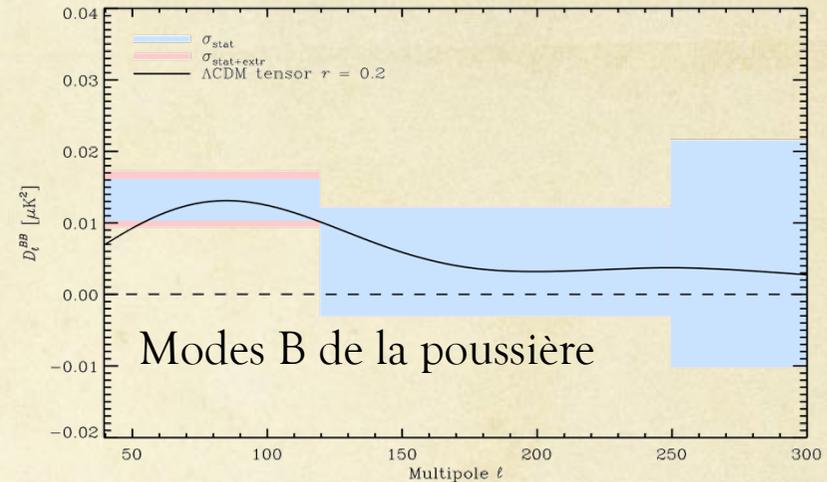
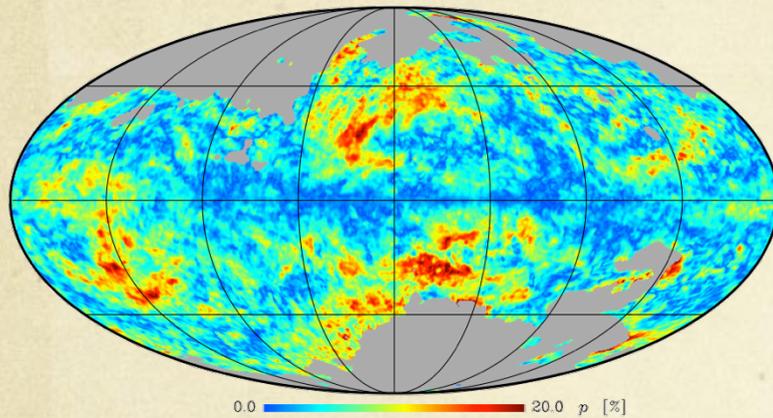


PLANCK 2014

Planck collaboration 2014:

[arXiv1409.5738P](#), [1409.2495P](#), [1405.0874P](#), [1405.0873P](#), [1405.0872P](#), [1405.0871P](#)

- Planck mesure la polarisation de la poussière galactique avec une précision inégalée.



- La contamination par la poussière ne peut pas être négligée – La détection d’ondes gravitationnelles primordiales par BICEP doit être revue (analyse commune avec Planck en 2015)
- Et très bientôt**

Les données de Planck en température et **polarisation** seront **livrées** à la communauté en fin janvier 2015.

Analyses cosmologiques **CMB** incluant la polarisation.

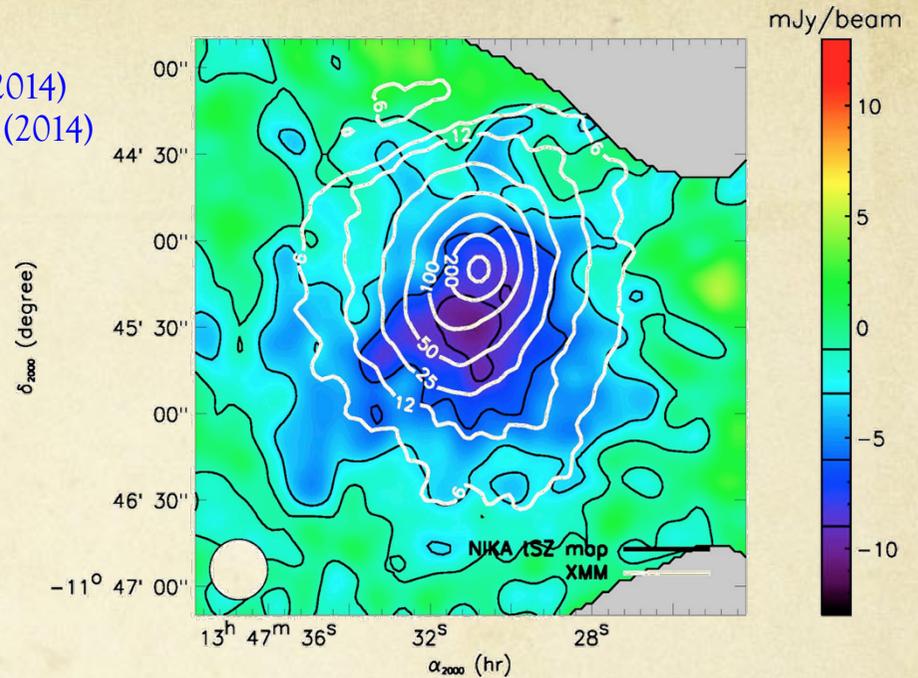
NIKA 2013-2014

Observations à l'IRAM

Adam et al, A&A 569, A66 (2014)
Catalano et al, A&A 569, A9 (2014)

- Première détection de l'effet Sunyaev-Zeldovich (SZ) avec des matrices de KID (Kinetic Inductance Detectors) – couverture de A&A
- La première campagne d'observation de NIKA ouvert aux observateurs externes a été un grand succès – plusieurs dizaines de projets proposés, une douzaine retenue.
- Deux autres campagnes supplémentaires

Carte de l'effet SZ de RXJ1347.5-1145



Succès de NIKA1 => Construction de NIKA2

- Commissioning à l'IRAM en juillet 2015, premières lumières en début 2016



AMS

12 janvier 2015

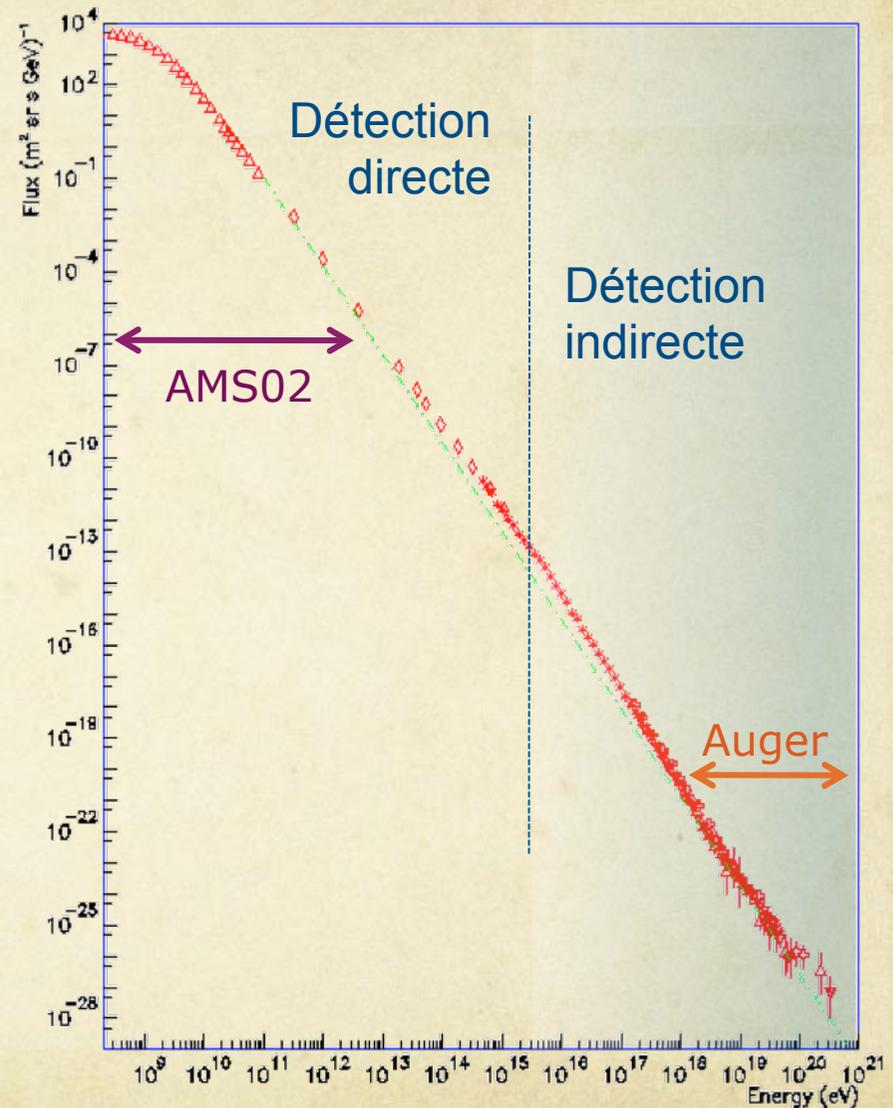
Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Rayonnement cosmique galactique

Objectifs scientifiques:

- Comprendre les origines et les processus en jeux dans la production et le transport du rayonnement cosmique dans la galaxie et le système solaire.
 - Flux des noyaux, rapport secondaire/primaire, rapport isotopique sur le spectre d'énergie le plus large possible. Dépendance en temps
- Chercher une contribution de l'annihilation de matière noire dans le RC:
 - Fraction de positron, antiproton/proton



Mesure directe → en dehors de l'atmosphère

Composante rare du RC → grand détecteur et grande durée d'exposition

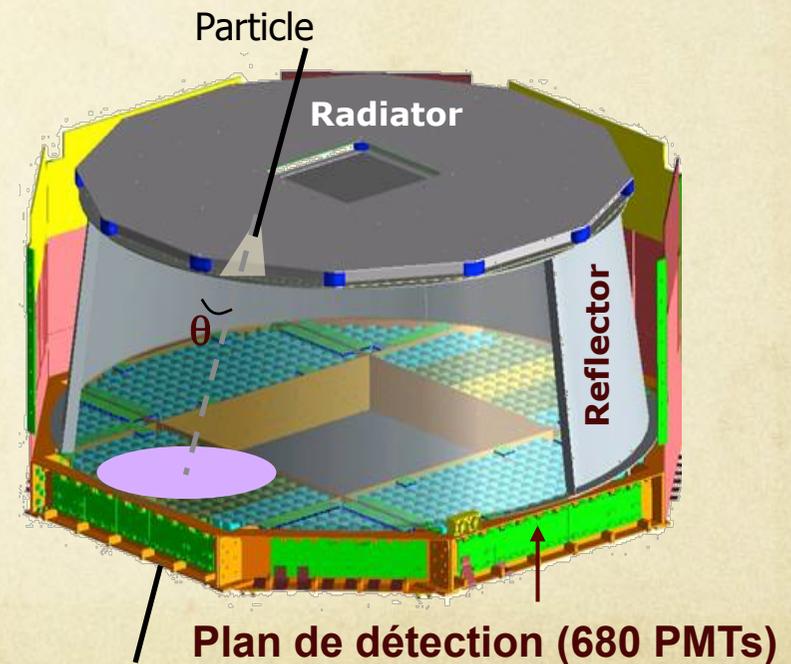
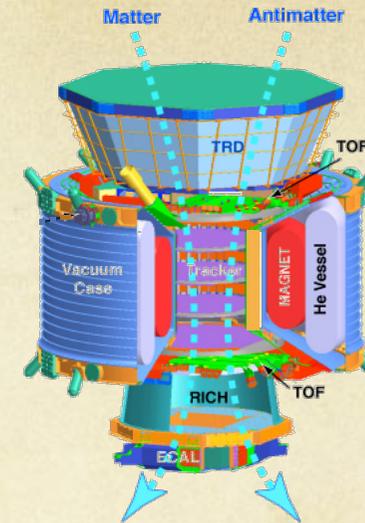
AMS au LPSC

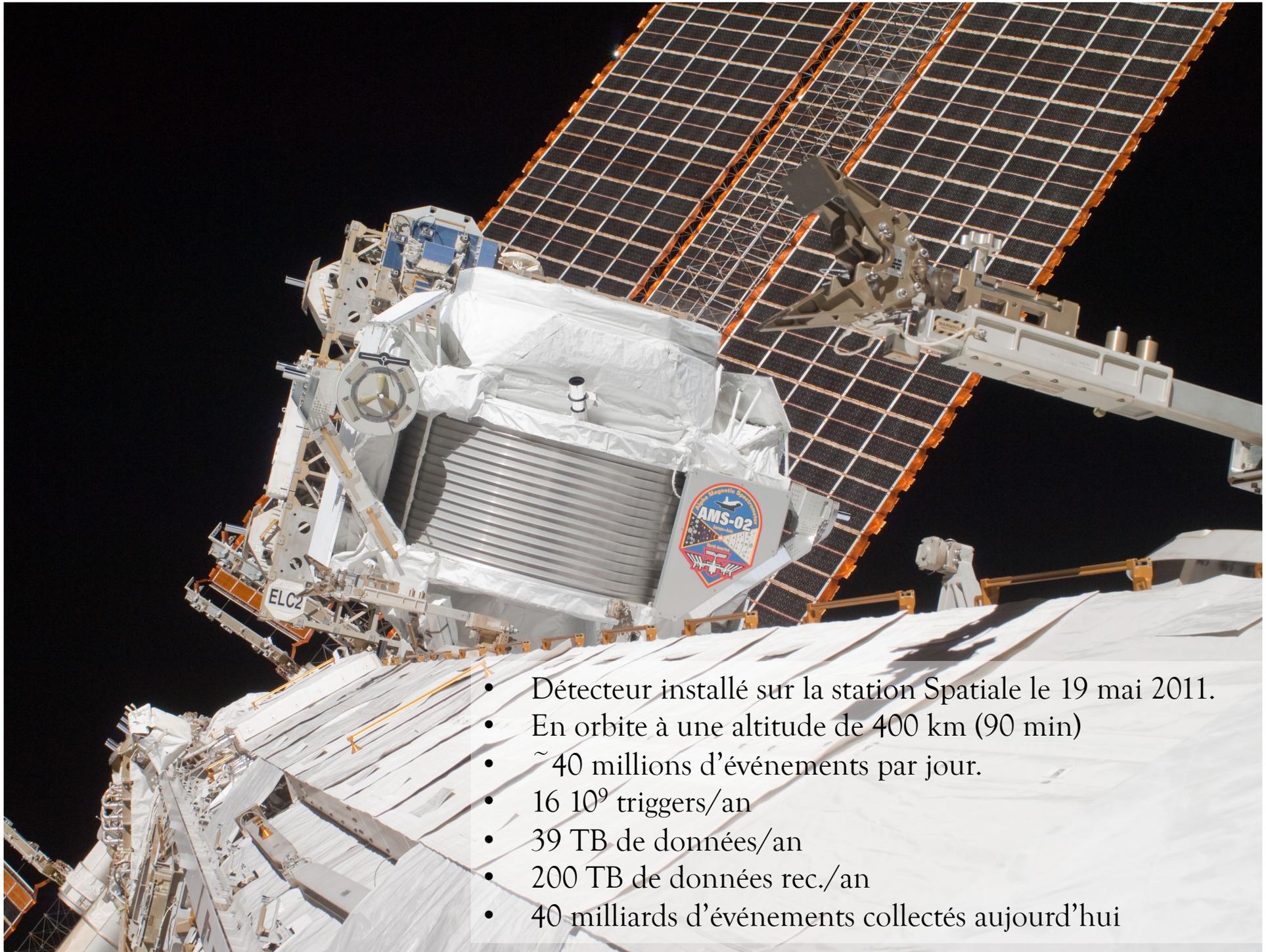
Construction de l'imageur RICH
d' AMS02 (intégration 2008-2009):

- Mesure de charge (identification des éléments)
- Mesure de la vitesse (identification des isotopes)

Aujourd'hui:

- Suivi du détecteur (shift) – Expert RICH
- Caractérisation du détecteur RICH
- Forte implication et visibilité du groupe dans l'analyse des données d'AMS.





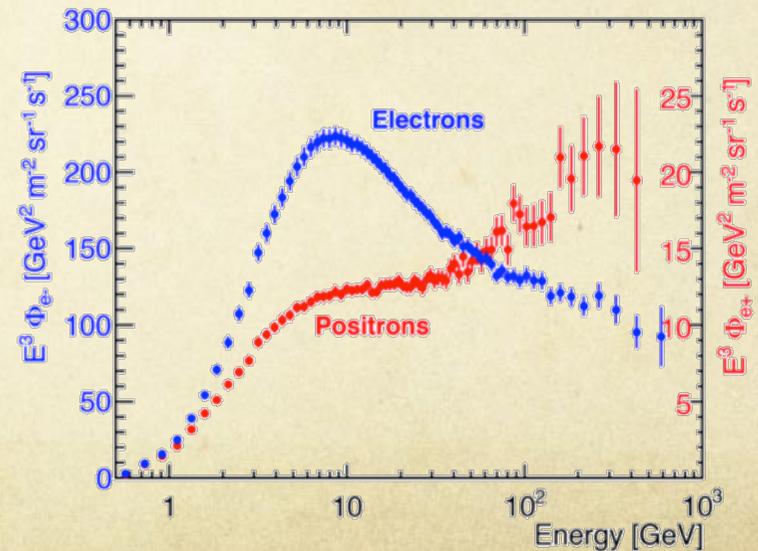
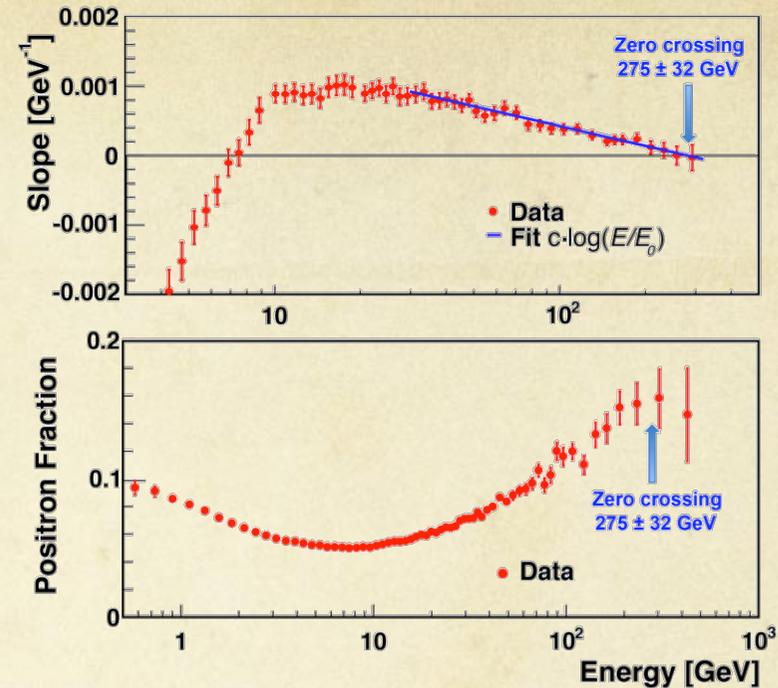
- Détecteur installé sur la station Spatiale le 19 mai 2011.
- En orbite à une altitude de 400 km (90 min)
- ~ 40 millions d'événements par jour.
- $16 \cdot 10^9$ triggers/an
- 39 TB de données/an
- 200 TB de données rec./an
- 40 milliards d'événements collectés aujourd'hui

AMS

Fraction de positron à haute énergie :
confirme l'excès de positron et montre pour
la première fois que la fraction de positron
atteint un maximum autour de 275 GeV.

Flux de positrons et d'électrons :
confirmation de l'excès de positrons dans
le RC.

- Début de l'exploitation des données d'AMS
- prochaine publications : p/He, puis B/C,....



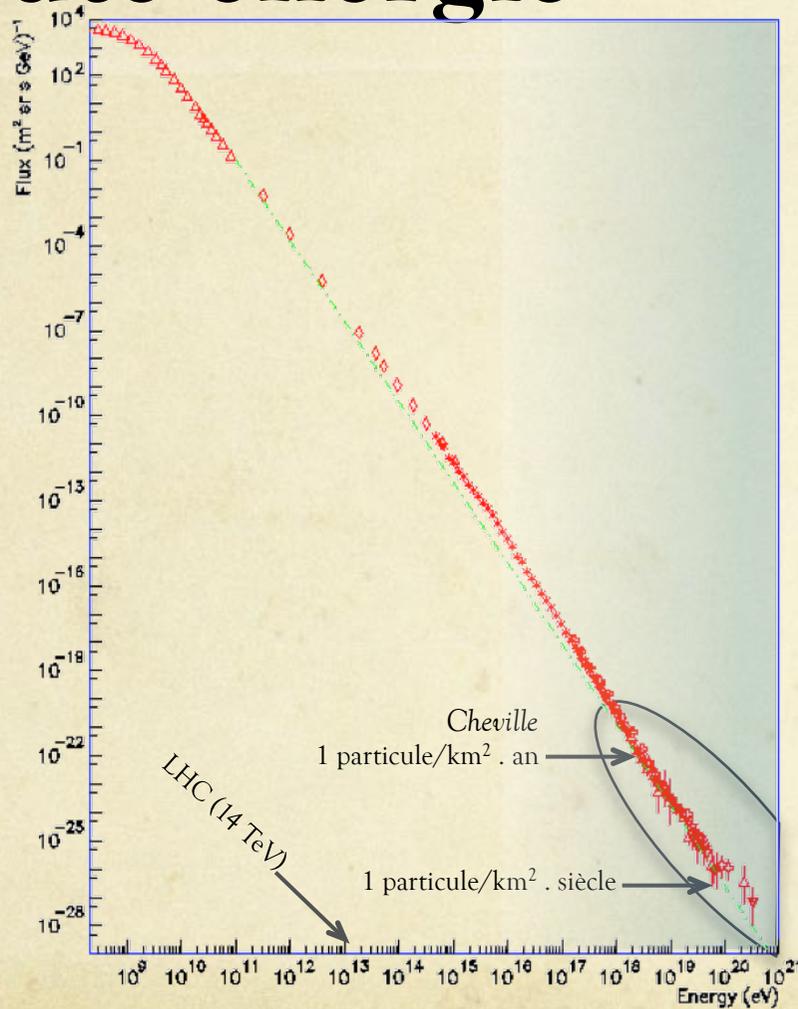
Observatoire P. Auger

12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Rayonnement cosmique à ultra haute énergie



Enjeux

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

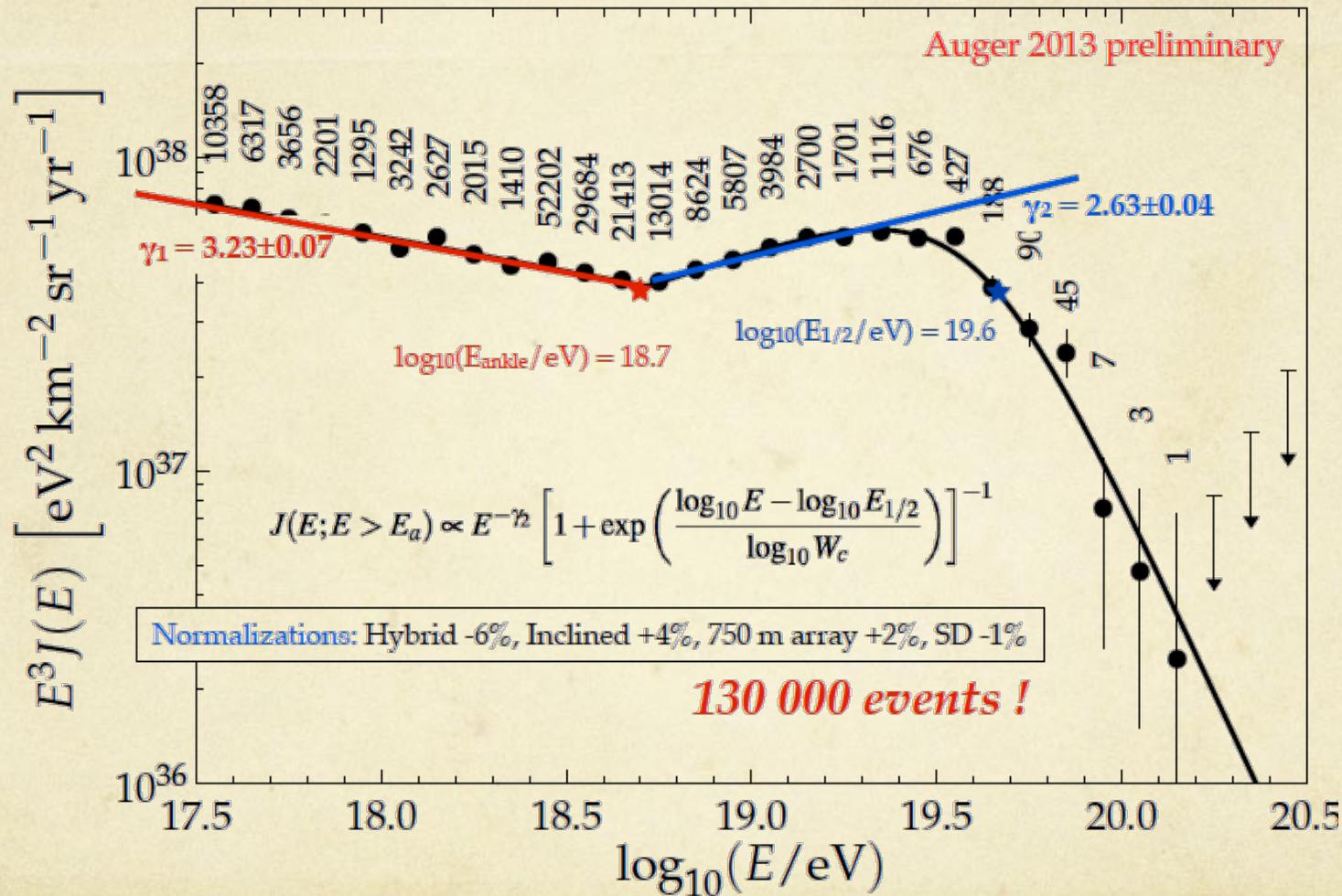
Flux très faible → grande surface de détection, mesures des gerbes atmosphériques

→ Observatoire Pierre Auger : nombreux résultats sur la physique des rayons cosmiques à ultra haute énergie

Implication du laboratoire dans cette thématique depuis 2002, et dans l'Observatoire Pierre Auger depuis 2006

Spectre des rayons cosmiques

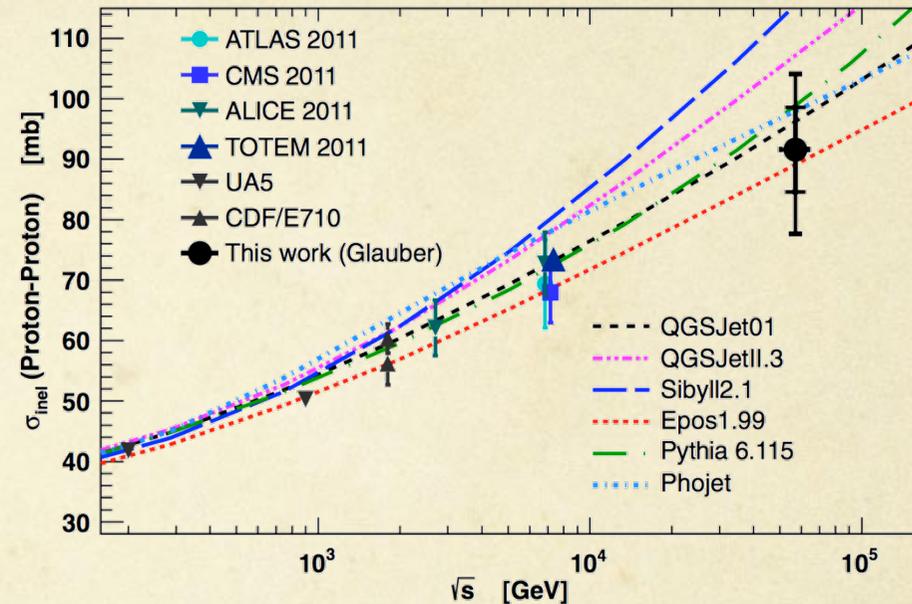
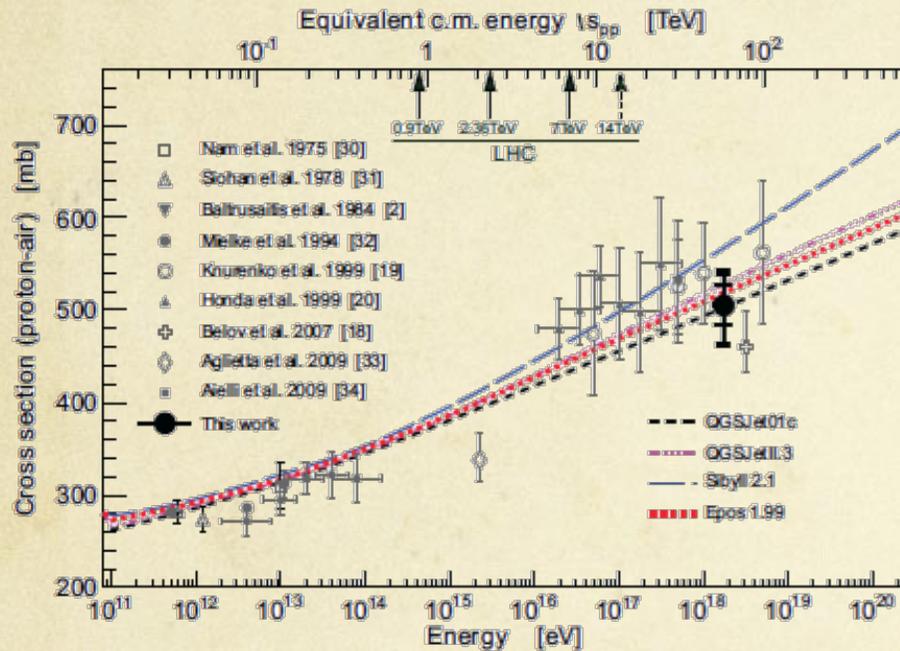
Mesuré par AUGER de $3 \cdot 10^{17}$ à plus de 10^{20} eV



Précision remarquable, position précise des changements d'indice spectral

Interactions hadroniques

à très haute énergie

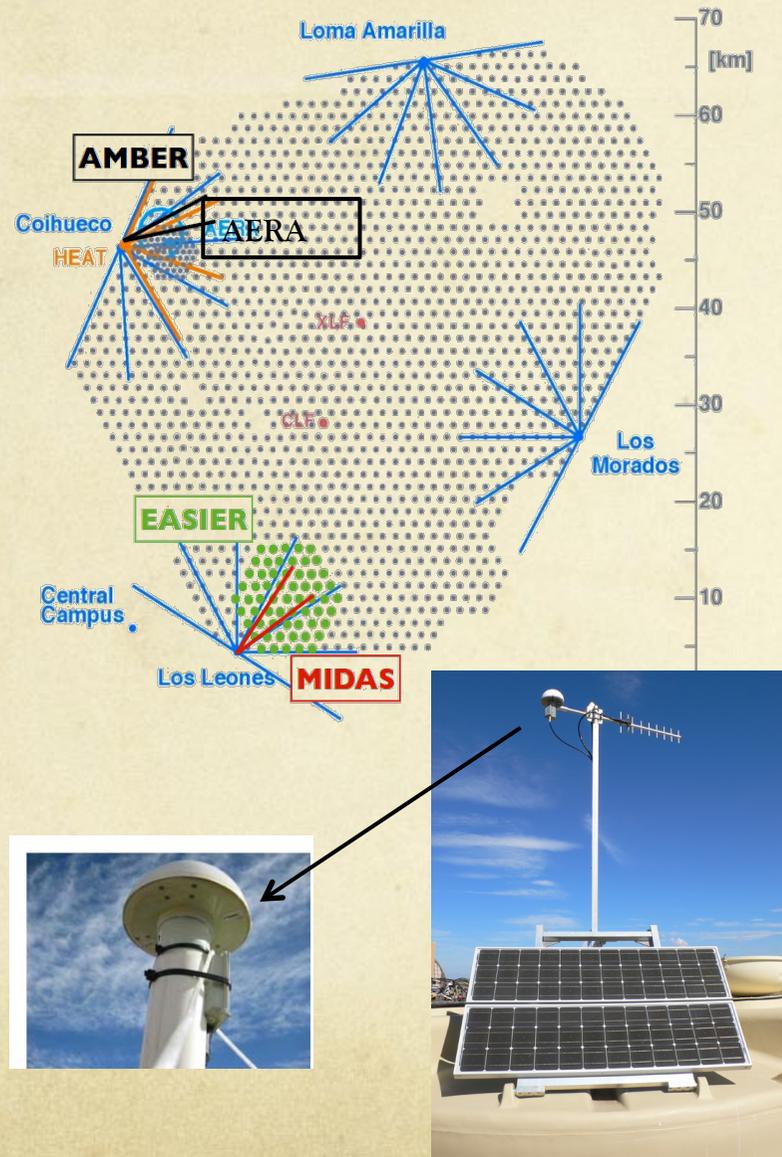


Mesure de la section efficace p-air à $\sqrt{s} = 57$ TeV

→ Détermination de $\sigma_{inel}(p-p)$

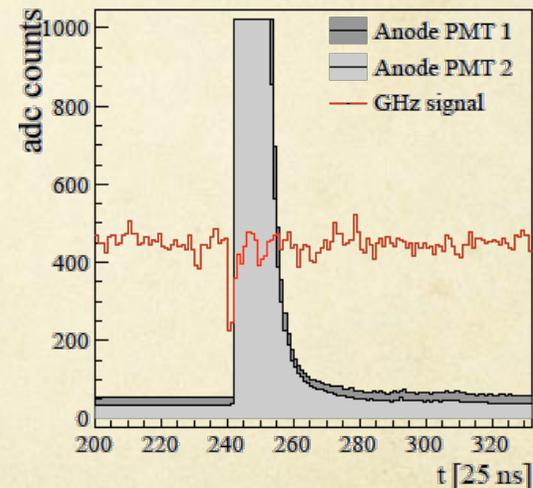
→ Croissance modérée avec l'énergie

Radio détection des gerbes atmosphériques



Plusieurs dispositifs de détection
→ Bande MHz : AERA, EASIER
→ Bande GHz : AMBER, EASIER, MIDAS
→ R&D motivée par des résultats de mesures sur faisceau

EASIER : 1^{ère} détection de signaux radio GHz en coïncidence avec une gerbe atmosphérique



Signal émis très faible → Voie de détection et mesure des gerbes bien moins prometteuse que prévue

Matière sombre

Détection directionnelle

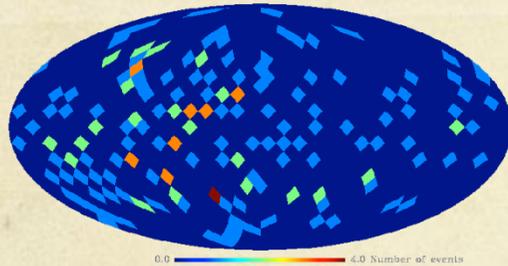
12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

Détection directionnelle

Phénoménologie et Simulation



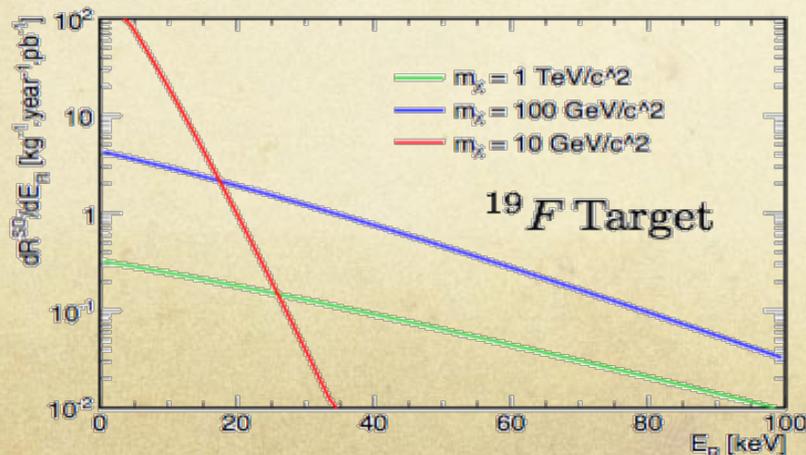
J.Billard et al. Phys.Lett. B 691 (2010) 156
 J.Billard et al. Phys. Rev. D82 (2010)55011



8 paramètres simultanément contraints (masse, section efficace, directionnalité (l, b), forme du halo et événements du fond) par une seule mesure du type directionnelle
 J. Billard *et al.*, PRD 2011

	m_χ (GeV/c ²)	$\log_{10}(\sigma_n$ (pb)	l_\odot (°)	b_\odot (°)	σ_x (km.s ⁻¹)	σ_y (km.s ⁻¹)	σ_z (km.s ⁻¹)	β	R_b (kg ⁻¹ year ⁻¹)
Input	50	-3	90	0	155	155	155	0	10
Output	$51.8^{+5.6}_{-19.4}$	$-3.01^{+0.05}_{-0.08}$	$92.2^{+2.5}_{-2.5}$	$2.0^{+2.5}_{-2.5}$	158^{+15}_{-17}	164^{+27}_{-26}	145^{+14}_{-17}	$-0.073^{+0.29}_{-0.18}$	10.97 ± 1.2

Distribution en énergie de reculs produits par des Wimps de 10, 100 et 1000 GeV/c²



- Importance d'une cible légère (masse 19) et d'un seuil en énergie bas...
- Le « quenching » en ionisation laisse dans ce gaz un pourcentage maximum de 50% de cette énergie...

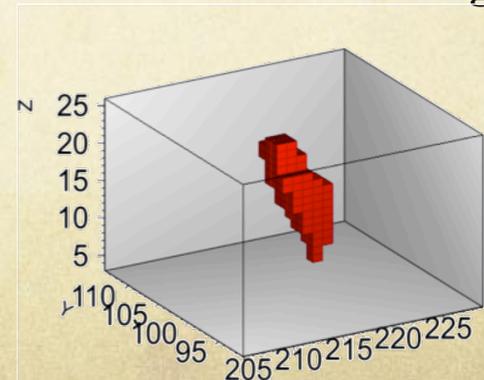
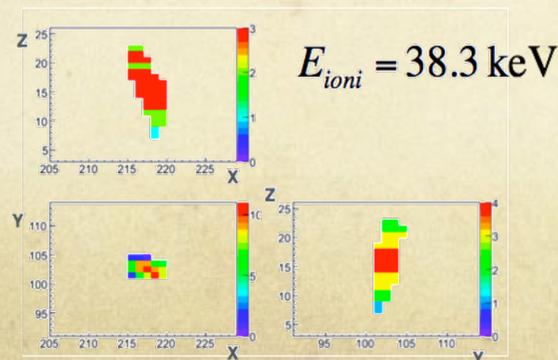
MIMAC : Détection Directionnel de Matière Sombre

- Installation à Modane (LSM) du prototype bi-chambre en juin 2012
CF₄ + 30%CHF₃ à 50 mbar (1024 voies électroniques)
(2x10.8 x10.8 x25 cm³ = 5.8 litres)
- Upgrade de l'installation en juin 2013 et juin 2014
Optimisation coïncidence des 2 chambres.
Amélioration de la localisation de la trace (signal cathode)
- En fonctionnement permanent avec une calibration hebdomadaire par rayons X de fluorescence (seuil à 1 keV)
- Excellente stabilité du gain assuré par un système de circulation du gaz, filtres à oxygène et régulateur de pression.



Détecteur bi-chambre à Modane
ANR-Blanc (1/2008- 12/2010)

Première détection des traces en 3D de noyaux de reculs de basse énergie (~ 30 keV)



Neutrinos

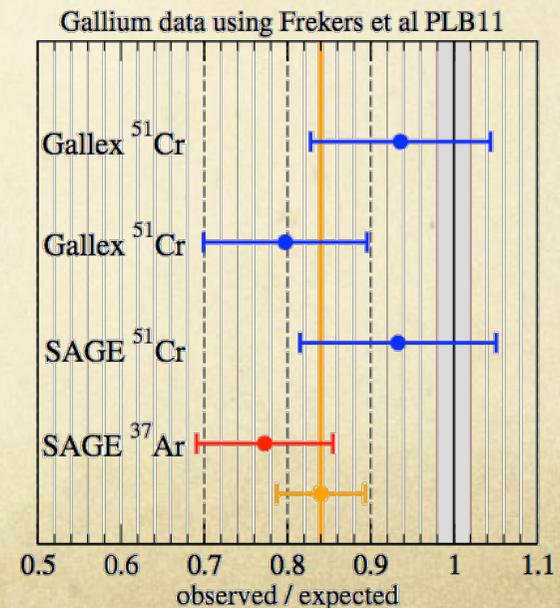
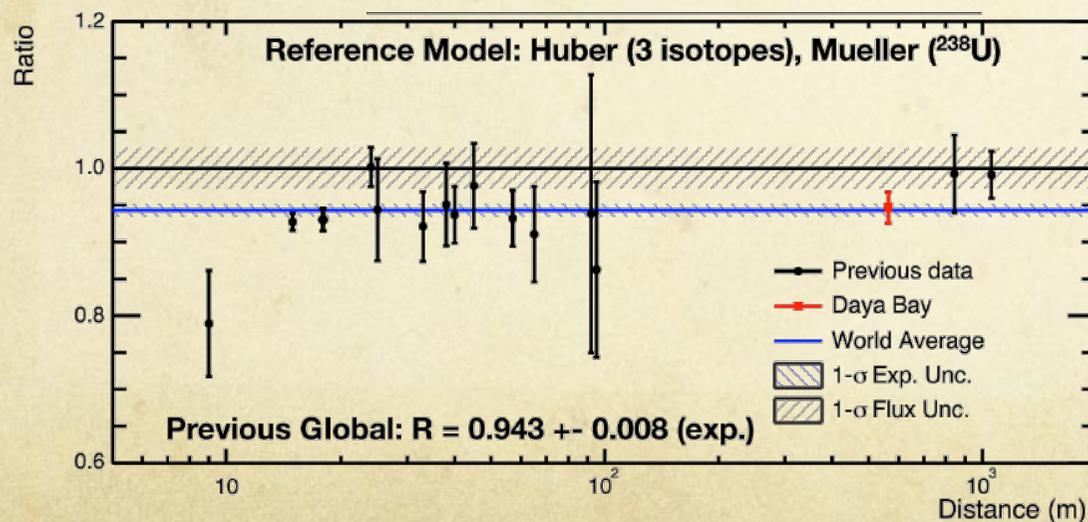
12 janvier 2015

Jean-Sébastien Real

H
C
E
R
E
S

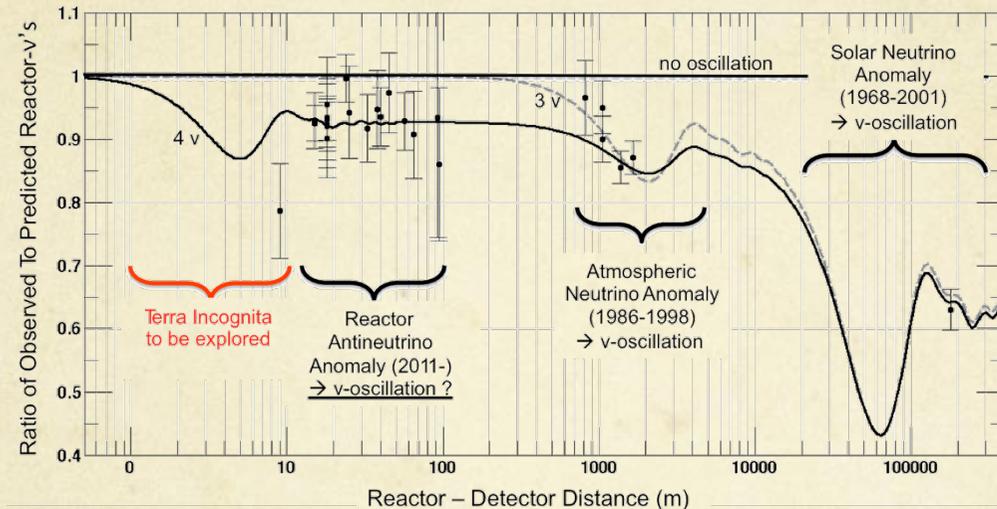
Nouvelle thématique neutrino

- Réévaluation du spectre des neutrinos de réacteur (2011).
- Ré analyse des expériences à courtes distances (2011).
 - **Déficit de neutrino de 6.5 % (Anomalie des neutrinos de réacteur)**
 - Confirmé par une mesure récente à Daya-Bay
- Étalonage des détecteurs de neutrinos solaires avec sources intenses de neutrino
 - **Déficit de neutrino de 16 % (Anomalie Gallium)**



Nouvelle thématique neutrino

○ Oscillation vers un 4^{ème} état stérile du neutrino ?



Best fit
 $\Delta m^2 = 1 \text{ eV}^2$
 $\sin^2(2\theta) \sim 0.1$

➤ Forte activité dans la communauté neutrino

- Livre blanc arXiv:1204.5379

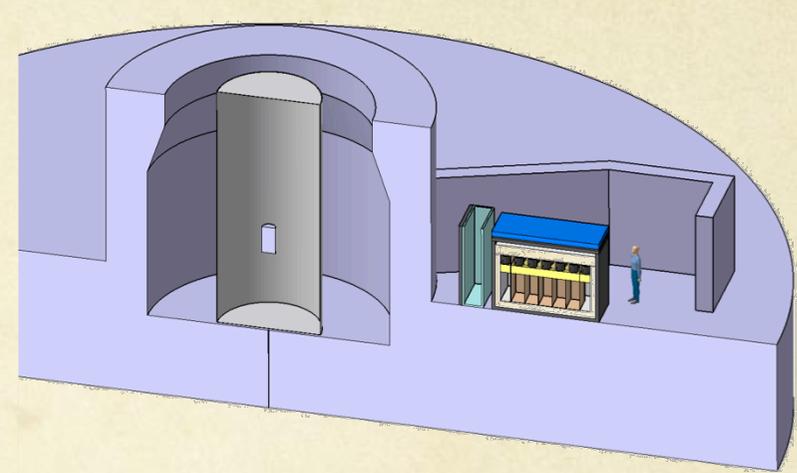
➤ Nombreux projets en préparation

- Avec des sources de neutrinos intenses auprès des grands détecteurs tels que Borexino, Kamland, Daya-Bay
- Auprès des réacteurs en Russie (x3), Belgique, Corée, USA, France
- Forte concurrence avec des échéances similaires (prise de données 2015-2016)

Nouvelle thématique neutrino

○ STEREO : une expérience d'oscillation à très courte distance

- À 10 m du cœur très compact de l'ILL
- Signature non ambiguë de l'oscillation
- Utilisation d'une technologie éprouvée pour une prise de données rapide



○ STEREO : une opportunité pour le LPSC

- Expérience à fort potentiel de découverte dans un contexte local
- Réémergence de la thématique neutrino au LPSC
 - Le LPSC était pionnier avec une participation à la première expérience d'oscillation avec une source terrestre en 1979 à l'ILL, puis participation aux expériences à Bugey
- Obtention d'un financement ANR en 2013
- Prise de données début 2016

