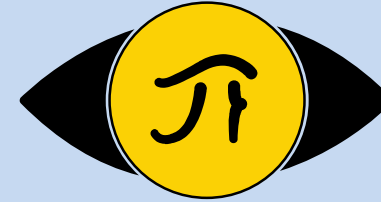




POSITHÔT



POSITHÔT

La Manufacture d'Antimatière

Positons de basse énergie : de la physique fondamentale aux applications industrielles

Jean-Michel REY
jean-michel.rey@posithot.com

Lauréat concours MRT  en Emergence 2012
Lauréat concours MENESR  en Création Développement 2014



- de SOPHI à GBAR, le développement de générateurs de positons compacts
- les positons et la science des matériaux
- POSITHÔT – la Manufacture d'Antimatière



Au début était la question: « et si on pesait l'antimatière ? »

Comment peser l'antimatière?

Il suffit de la laisser tomber ! ...et de mesurer le temps de chute

Le problème: il faut qu'elle soit **neutre** et « au **repos** »:

3,5K (-269° C, actuellement le record mondial de refroidissement pour des antiprotons) d'agitation thermique correspondent déjà à une vitesse de 1000 km/h pour un atome d'antihydrogène.

Deux expériences sont en préparation au Cern

- ▶ L'une avec de l'antihydrogène « très froid » (100 millikelvins ~ 50 m/s)
→ **AEgIS**
- ▶ L'autre avec de l'antihydrogène « ultra froid » (10 microkelvins ~ 50 cm/s)
→ **GBAR**



Au début était la question: « et si on pesait l'antimatière ? »

Pourquoi peser l'antimatière?

- I) Parce que cela n'a jamais été fait!
- II) Le principe d'équivalence d'Einstein entraîne que la gravité ne dépend pas de la nature du corps. Mais rien n'indique que ce principe s'applique à l'antimatière, non connue à l'époque;
- III) L'absence d'antimatière dans l'Univers pose un problème au modèle du big bang;
- IV) L'Univers est rempli à 95% de quelque chose d'inconnu, matière noire et énergie noire, révélés par leurs effets gravitationnels: et si c'était la Relativité Générale qu'il fallait remettre en cause?
- V) On ne sait pas traiter la gravitation de manière quantique: on ne sait pas prédire ce qu'il en sera pour l'antimatière

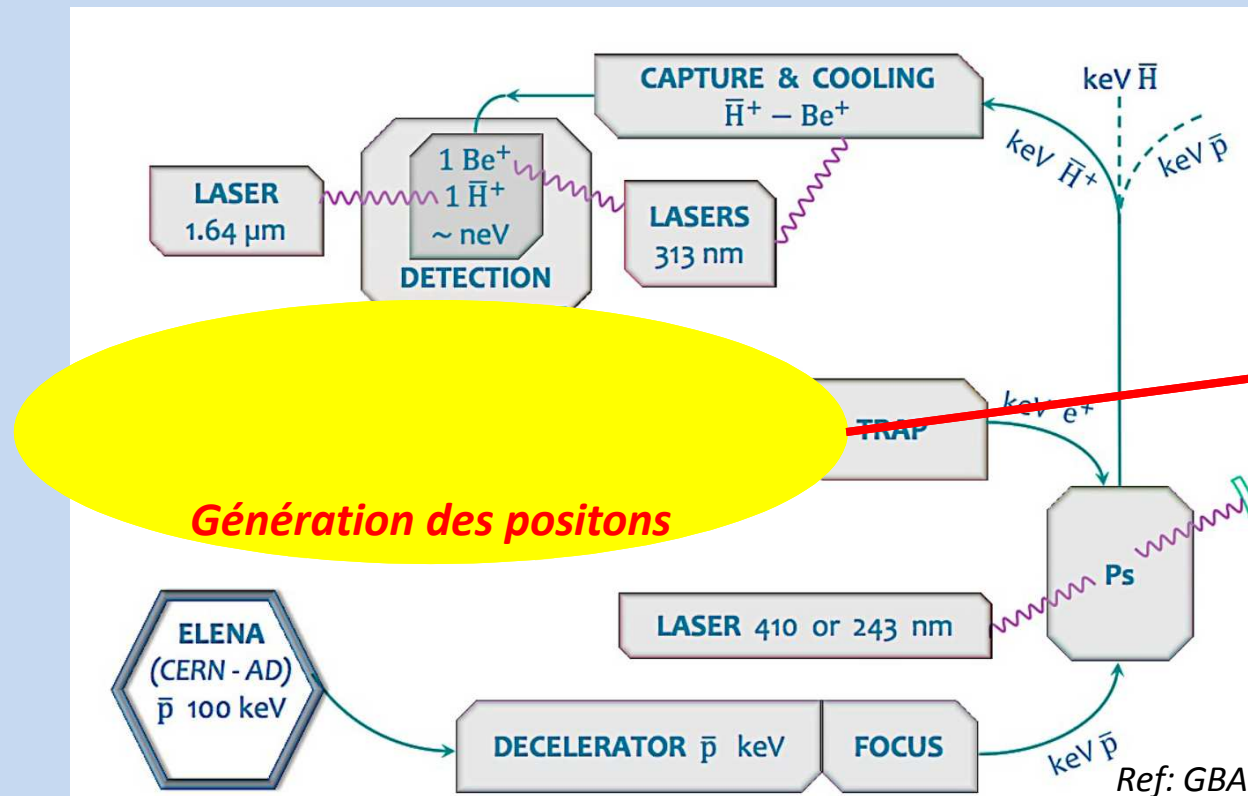
Pour une fois, l'expérience pourrait guider la théorie...

Mais une gravitation différente pour l'antimatière, une « anti » gravitation, cela reste très spéculatif...



Au début était la question: « et si on pesait l'antimatière ? »

GBAR : une succession de dispositifs complexes, issus de diverses disciplines: *Positons, positronium, pièges, physique atomique, physique des particules, lasers, atomes froids, vide, magnétisme, etc.*



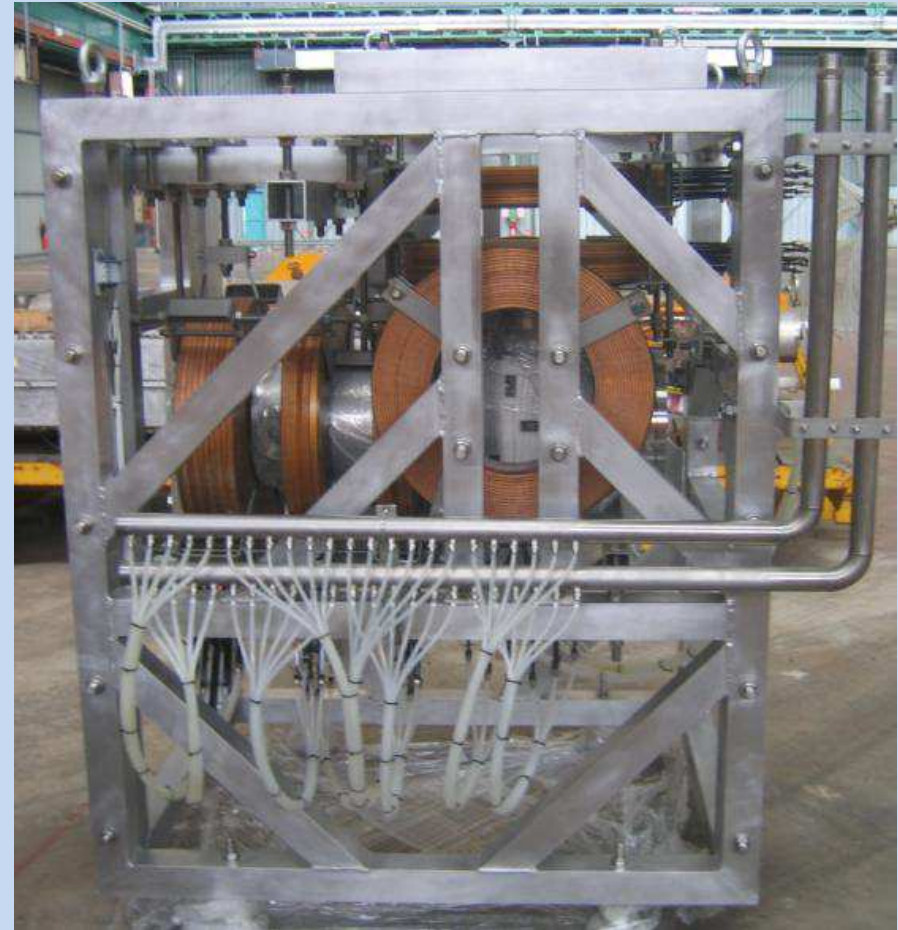
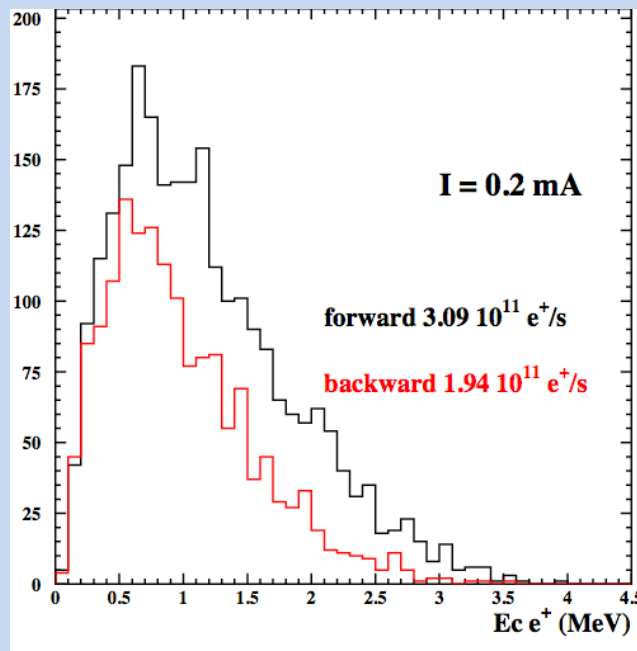
Compte tenu du flux de positons nécessaire cela revient à construire un réacteur nucléaire de recherche dans la banlieue de Genève...

Ref: GBAR Proposal CERN-SPSC-2011-029 / SPSC-P-342 - 30/09/2011



Il faut BEAUCOUP de positons !

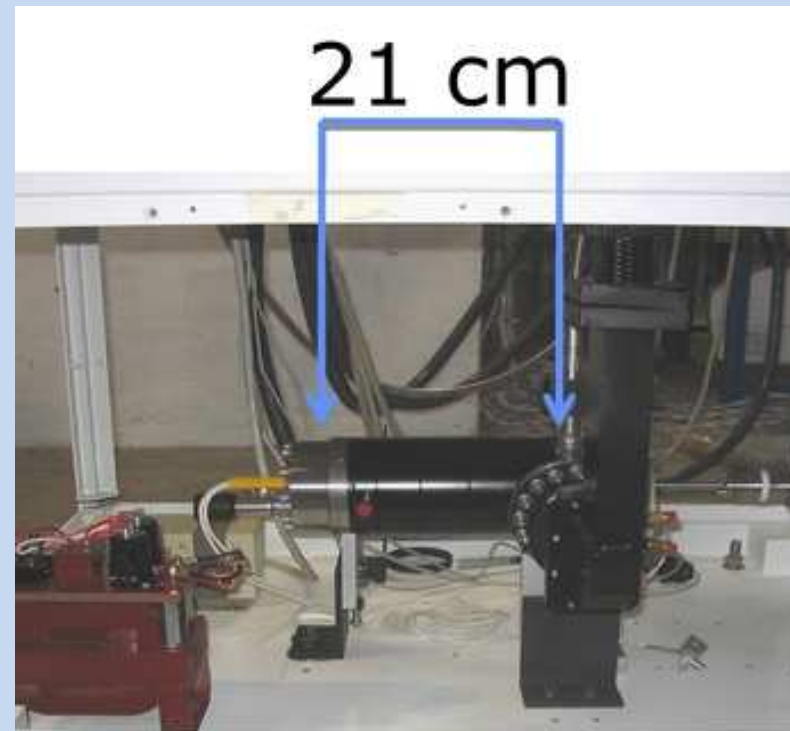
- Brevet Perez & Rosowsky
 - ANR 2005 SOPHI
- « SOurce de Positons de Haute Intensité »





Il faut AUSSI des électrons !

- ASTRE SELMA « Source d'Electrons pour les Matériaux et l'Antimatière »



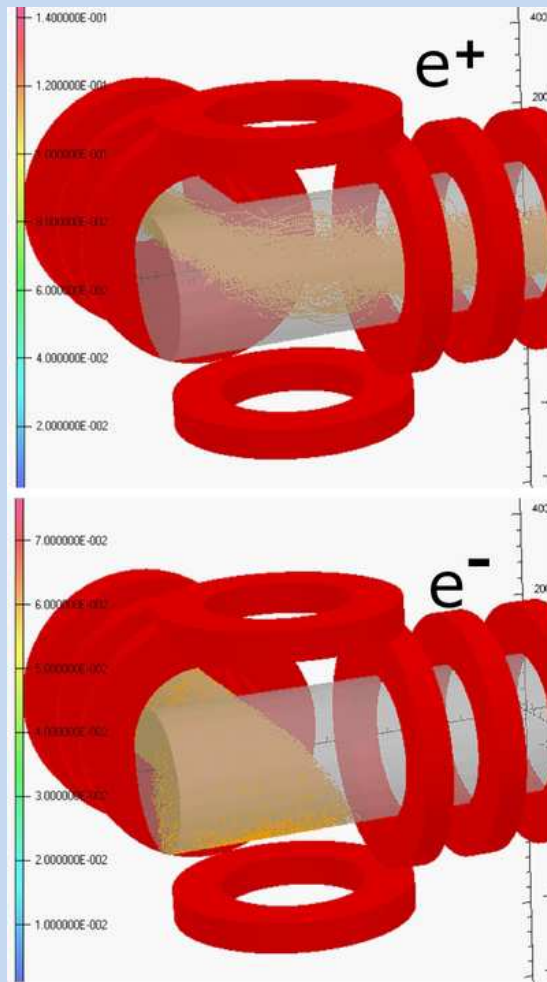


Il faut encore une casemate

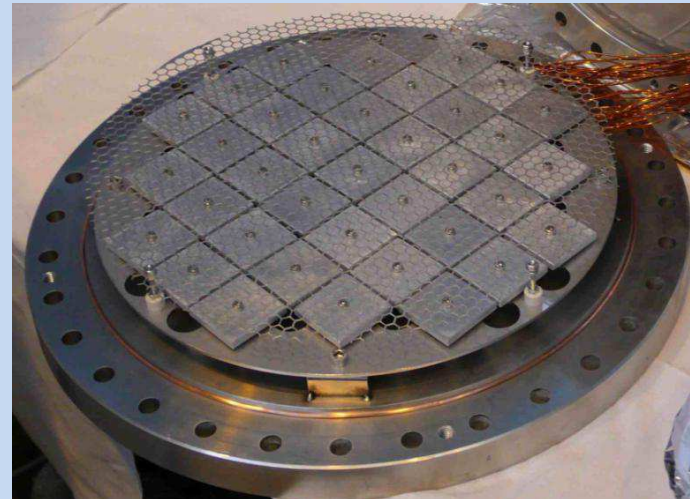




A la recherche des positons non modérés...



Un détecteur sommaire





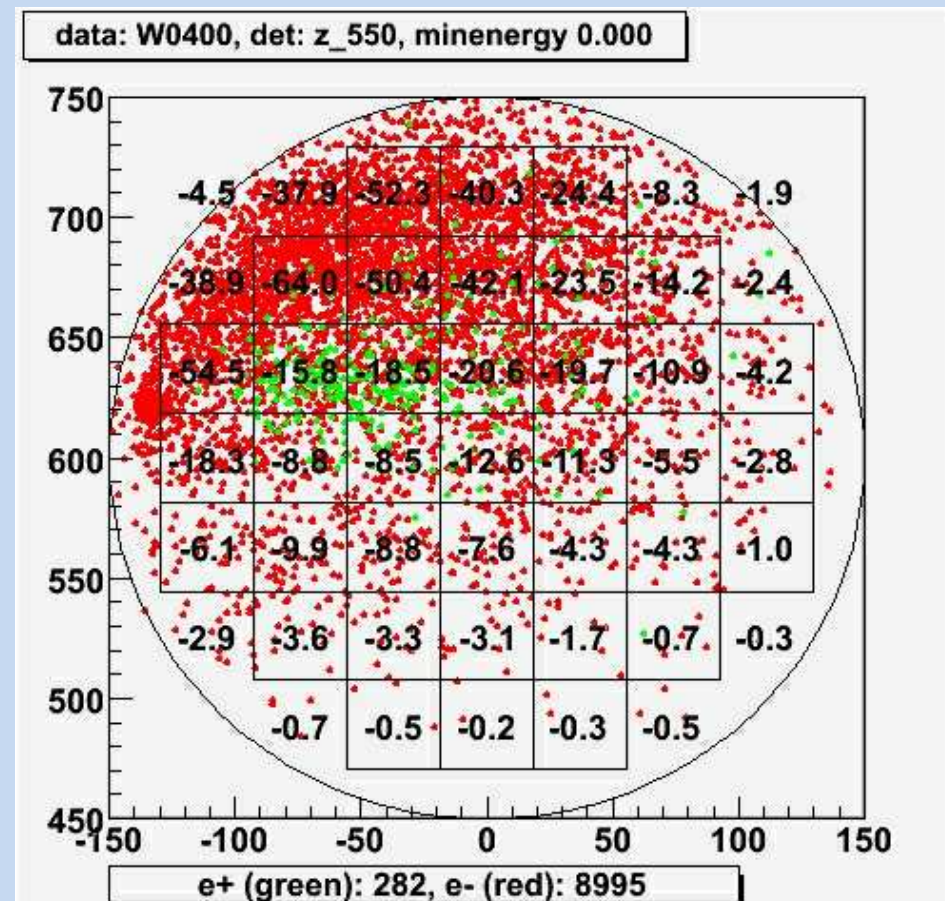
A la recherche des positons non modérés...

➤ *Ce que l'on finit par comprendre*

SIMULATION:

Impacts simulés au
niveau du détecteur
(configuration septembre
2009)

Les électrons secondaires
produits par interaction sur les
parois de la chambre à vide sont
prédominants





A la recherche des positons non modérés...

➤ *Ce que l'on finit par comprendre*

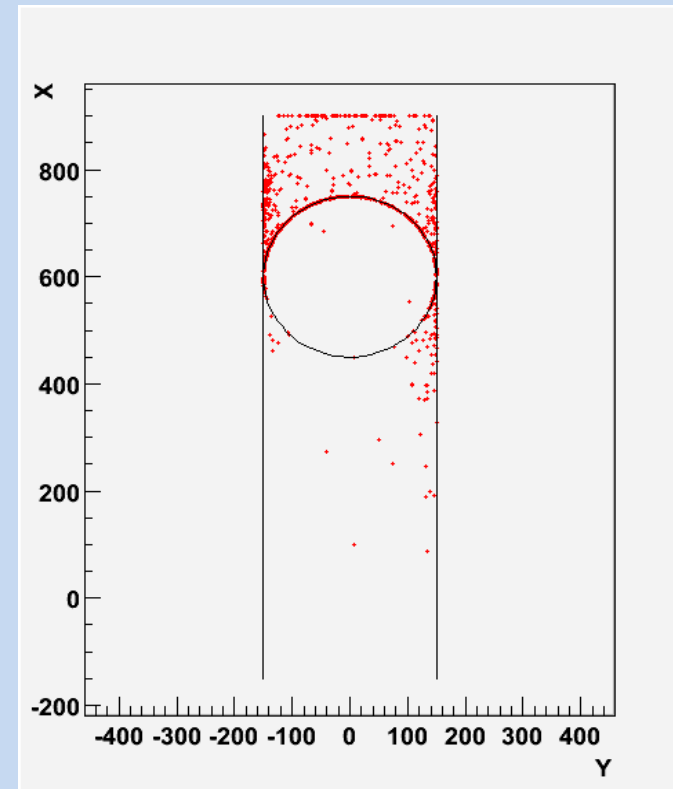
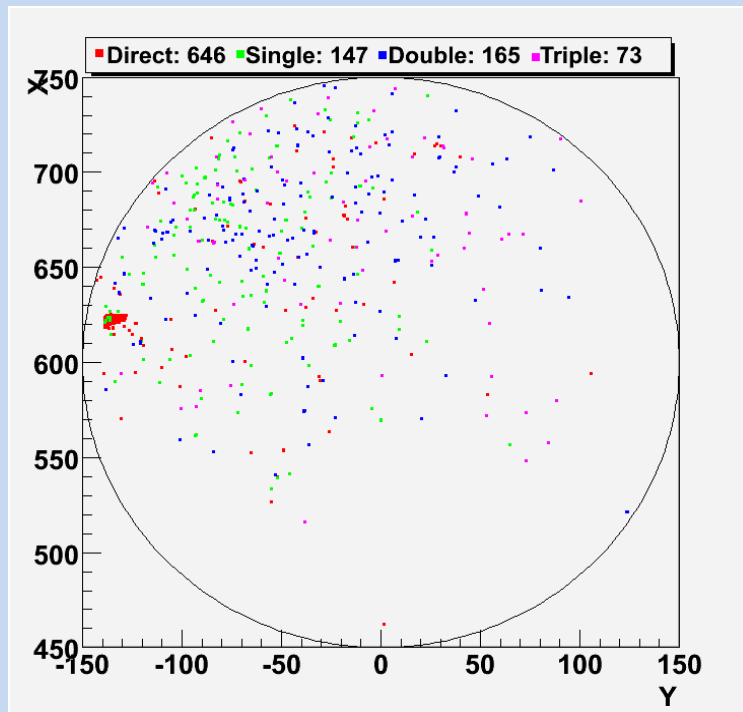
Trace des électrons sur le détecteur

Single: e- et une interaction avec les parois

Double: e- et 2 interactions avec les parois

Triple: e- et 3 interactions avec les parois

Direct: e- n'ayant pas touchés les parois.



Trace des chocs des e- sur les parois de l'enceinte à vide

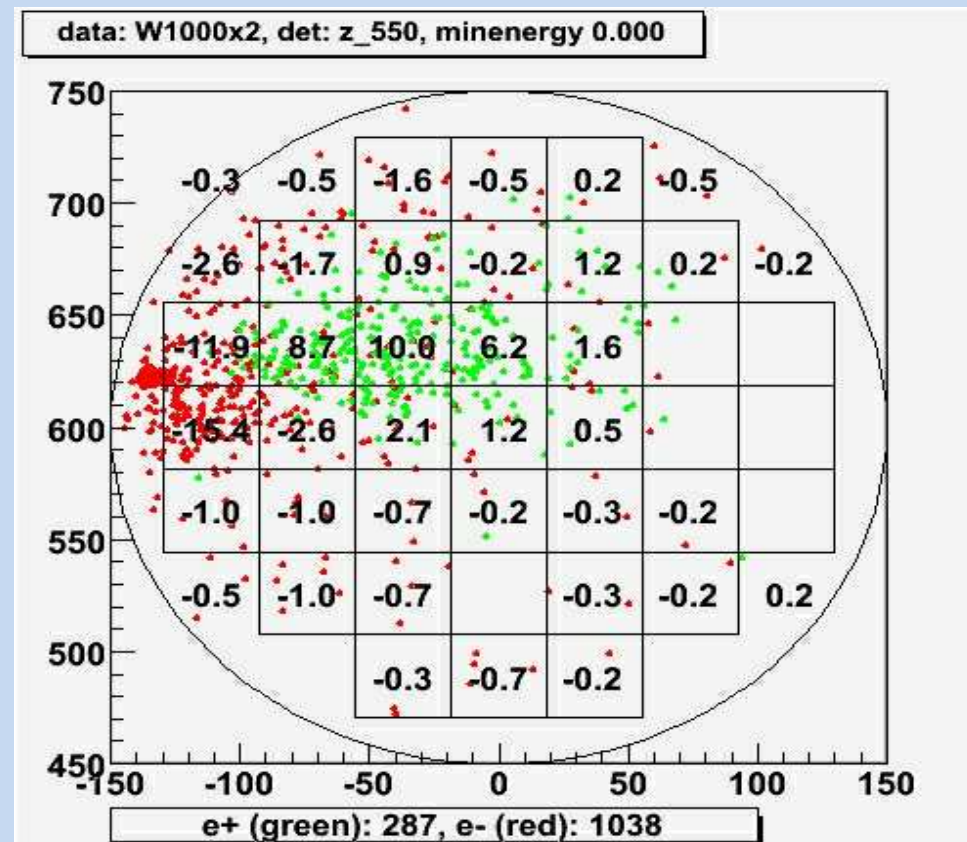


A la recherche des positons non modérés...

➤ *Ce que l'on finit par obtenir*

- Augmenter l'épaisseur de la cible : 1mm de tungstène au lieu de 400 μm
- Insérer des anneaux en aluminium pour bloquer les électrons qui, en interagissant avec les parois, arrivent ensuite jusqu'au détecteur

On diminue ainsi le nombre d'électrons sortant de la cible, sans pour autant diminuer sensiblement le nombre de positons.

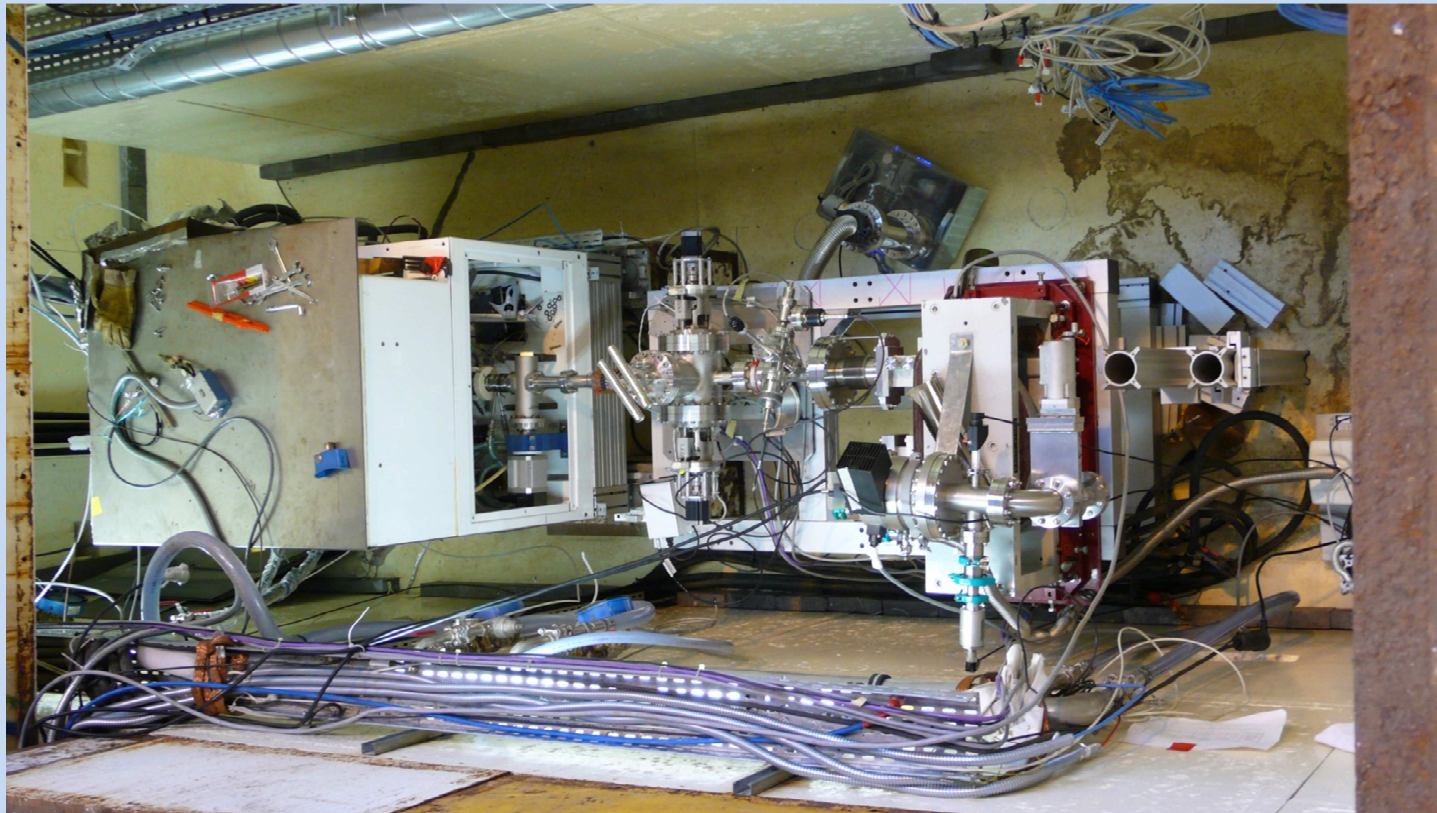




A la recherche des positons non modérés...

Malgré ces modifications le compte n'y est pas ...

La mesure de l'énergie du linac...

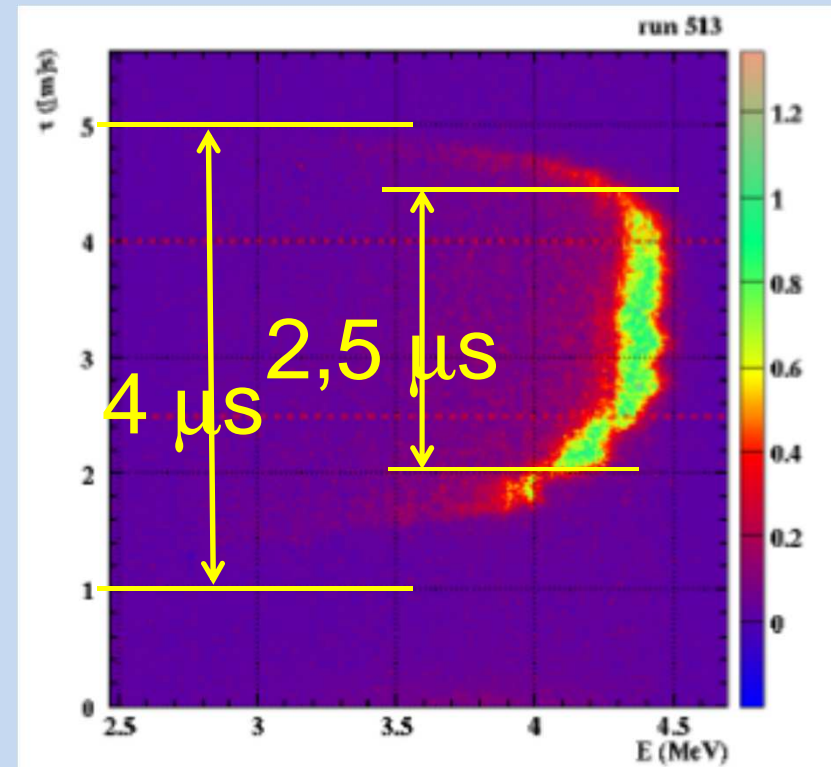
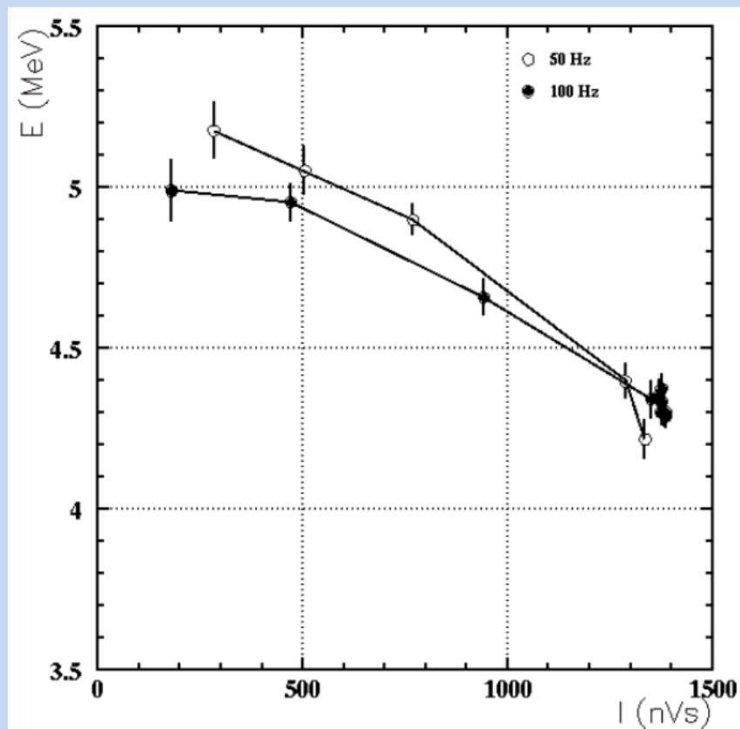




A la recherche des positons non modérés...

La mesure de l'énergie du linac...

On attendait 5,5 MeV avec une impulsion de 4 μs , on a en fait 4,7 MeV avec une impulsion de 2,5 μs



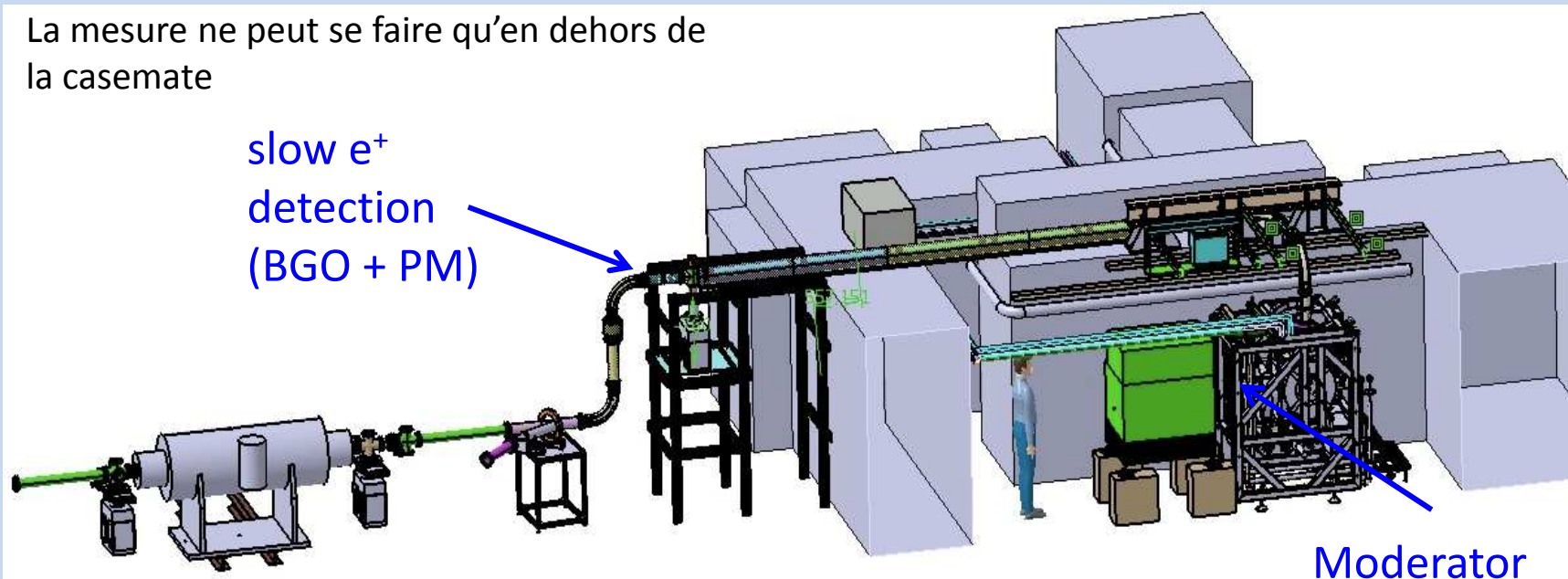


La mesure des positons modérés...

Il faut insérer un modérateur: grille de tungstène recuit de $10\ \mu\text{m}$ de diamètre – rendement 10^{-4}

Modérateur: grille de tungstène recuit de $10\ \mu\text{m}$ de diamètre – rendement 10^{-4}

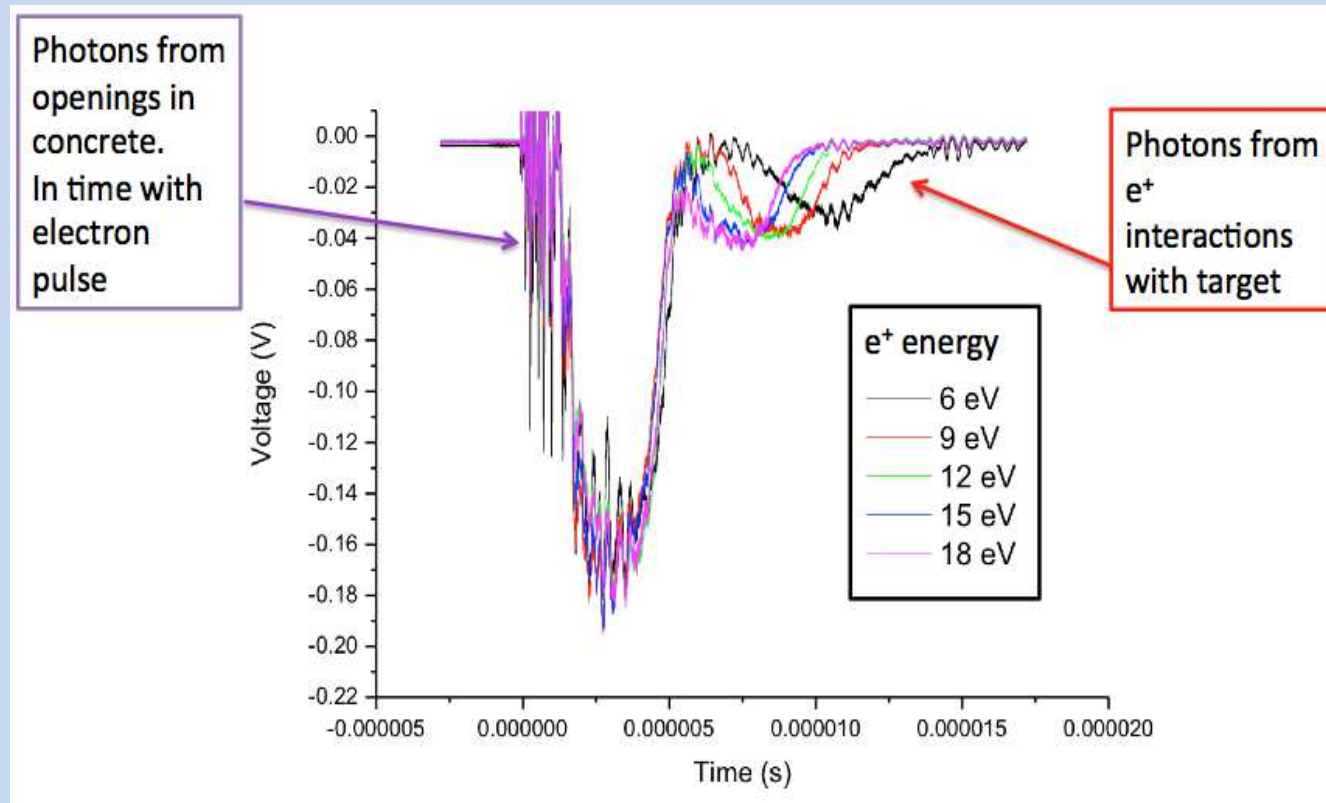
La mesure ne peut se faire qu'en dehors de la casemate





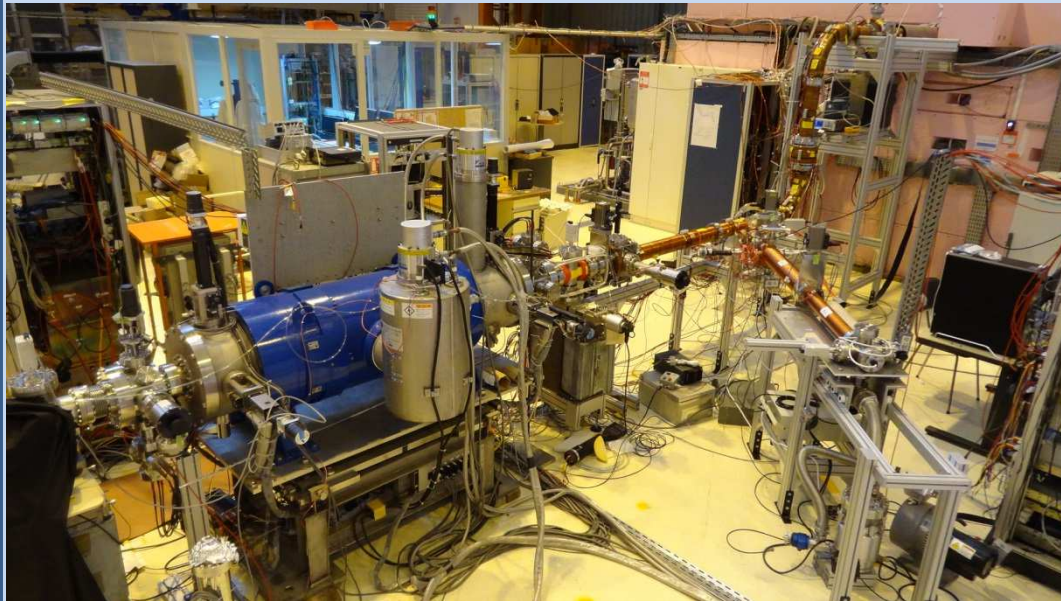
La mesure des positons modérés...

Identification des positons modérés





Et ça finit par fonctionner...

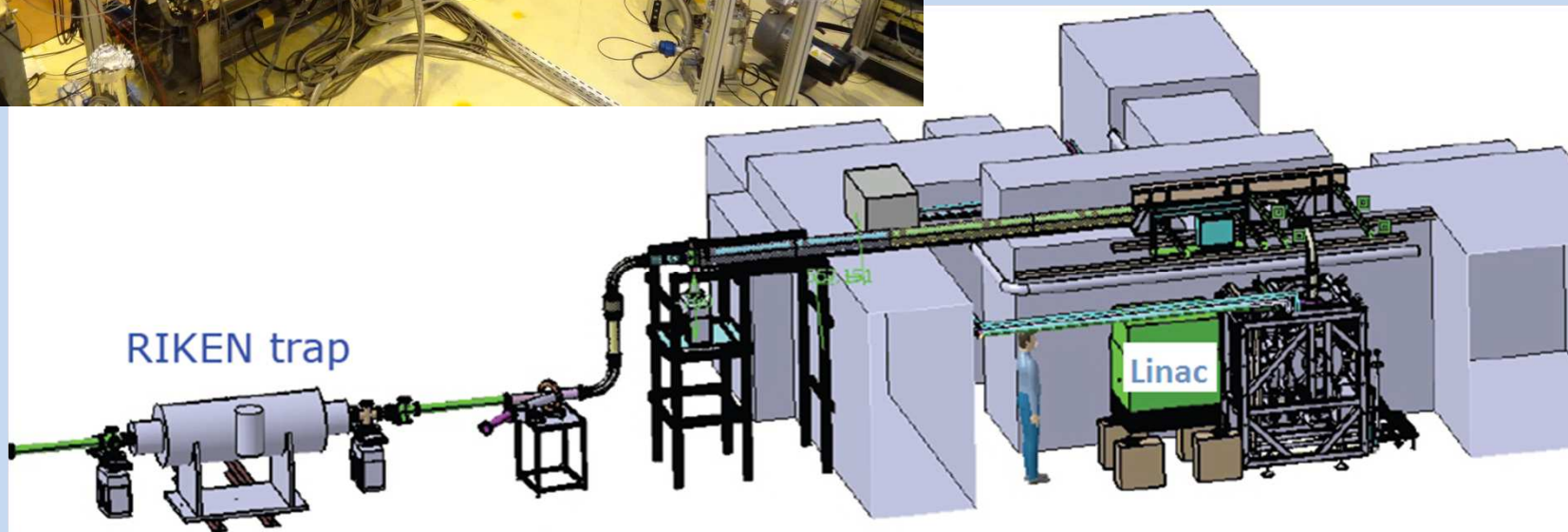


Production de e^+

$3 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$

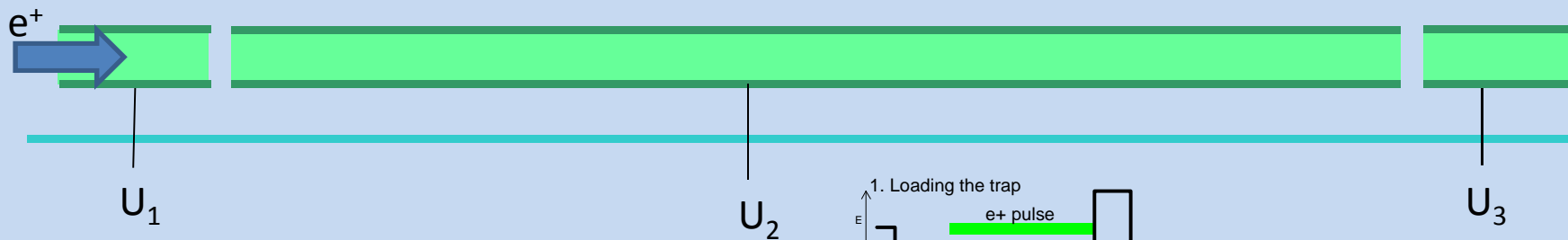
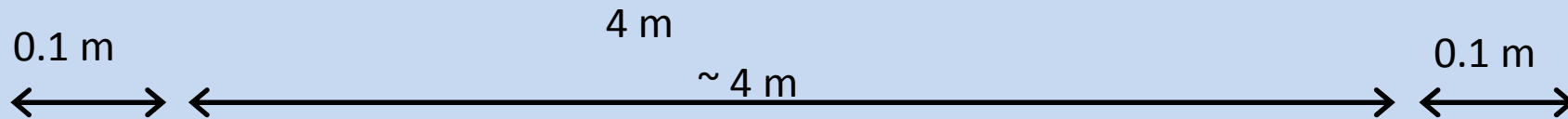
Besoin de GBAR

$2.8 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$

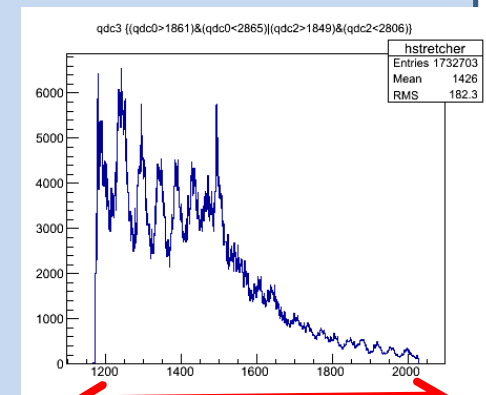
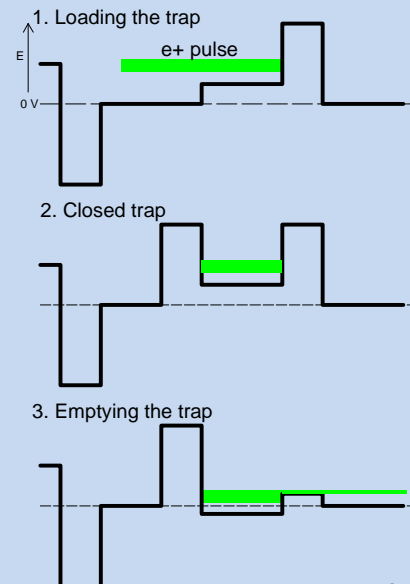




Pour les applications matériaux... il faut faire disparaître la structure en temps du faisceau: ajouter un stretcher



- Forms quasi-continuous beam from $\sim 2.5 \mu\text{s}$, 200 Hz pulses (linac pulse structure)
- Penning-Malmberg trap with low magnetic field (80 Gauss)
- 4 m long electrode in the middle to accommodate the entire pulse

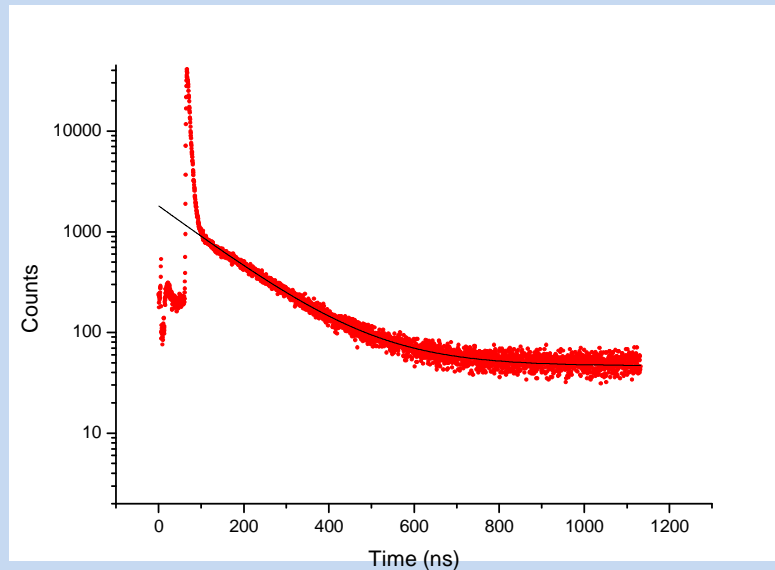


5 ms

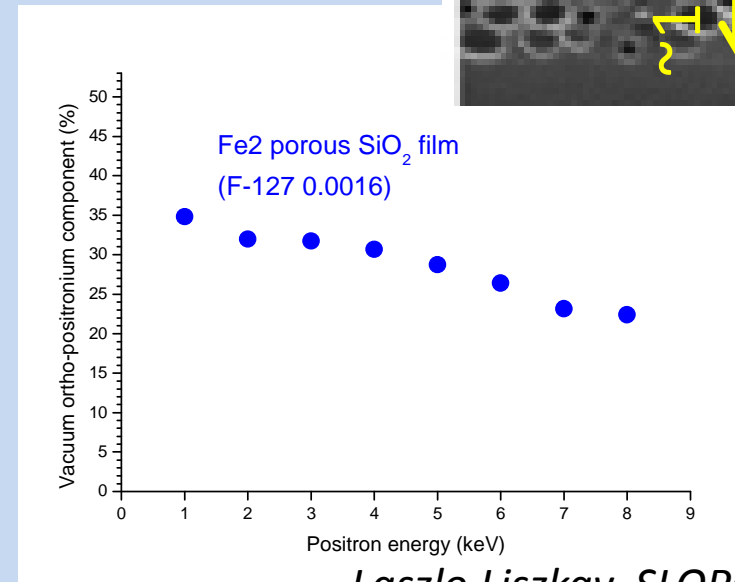
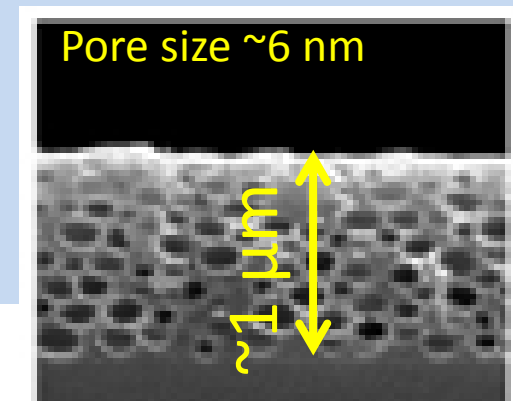
Laszlo Liskay, SLOPOS-13



Premières applications matériaux pour le développement des convertisseurs positons positronium... Mesure dur des films de silice mésoporeuse



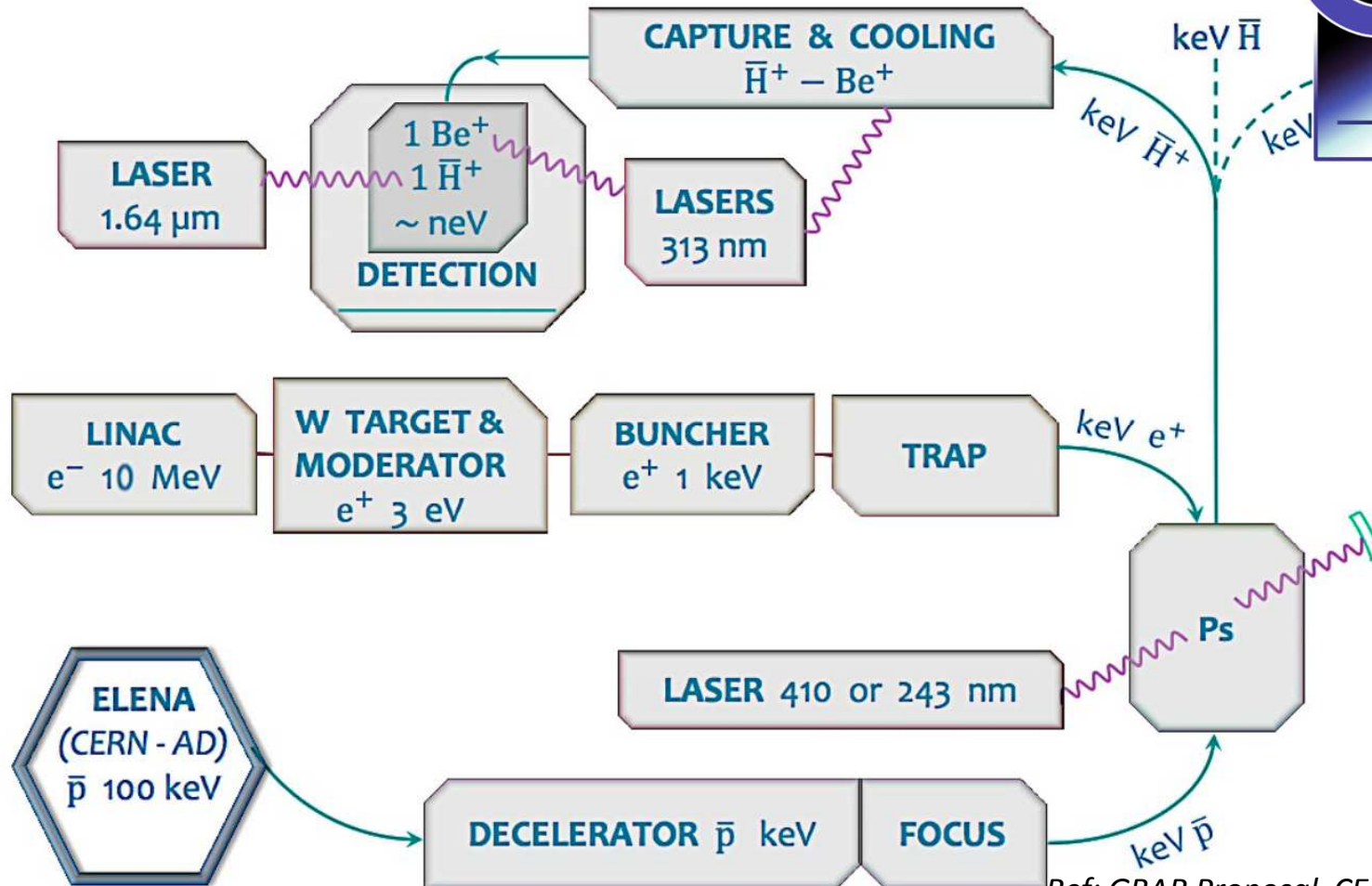
Spectrum can be well fitted with 142 ns sigle long lifetime



- Energy dependent measurements are consistent with earlier results



Vers GBAR...



Ref: GBAR Proposal CERN-SPSC-2011-029 / SPSC-P-342 - 30/09/2011



POSITHÔT

de SOPHI à GBAR



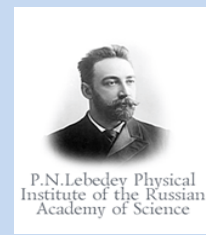
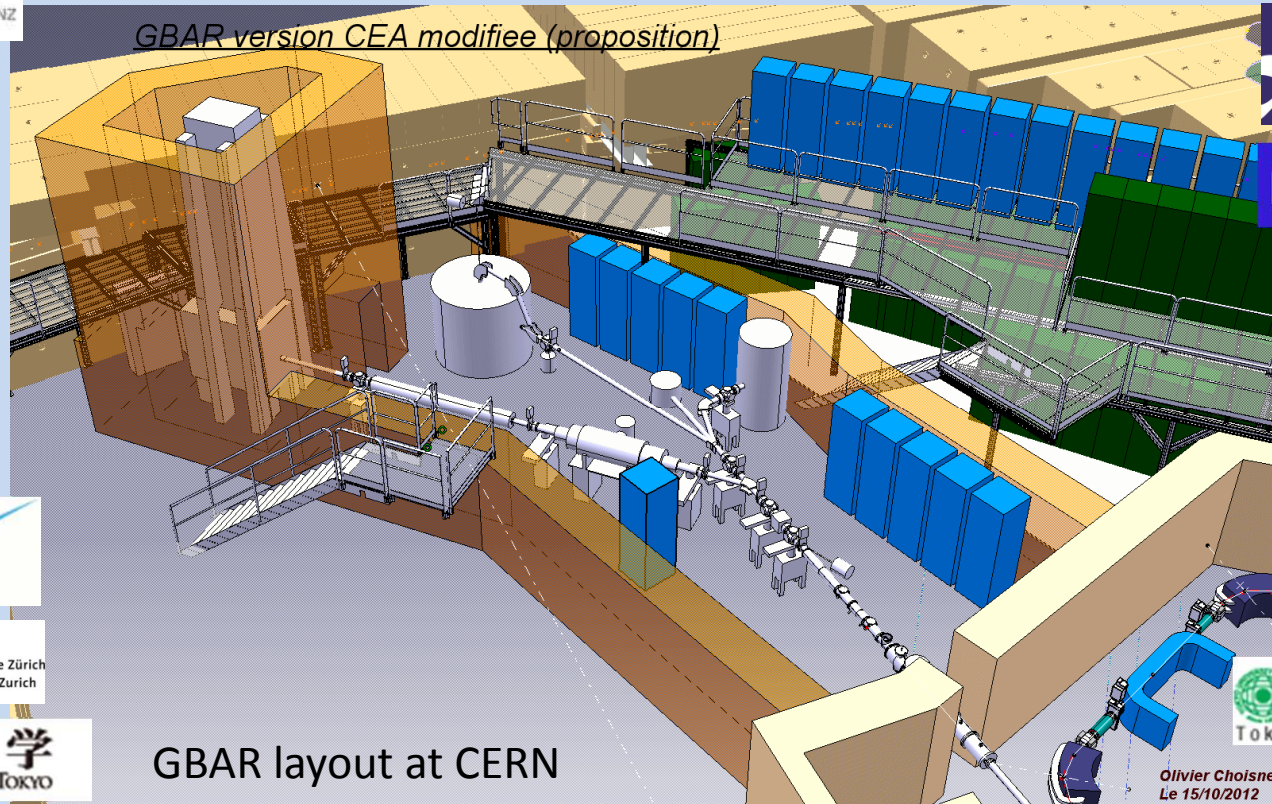
Spokesperson: **Patrice PEREZ** – CEA IRFU,
Patrice.perez@cea.fr



CERN experiment GBAR (Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest) to test the equivalence principle with antimatter will produce anti-hydrogen and measure its acceleration during free fall.



GBAR version CEA modifiée (proposition)



GBAR layout at CERN



Olivier Chaisnet
Le 15/10/2012



- de SOPHI à GBAR, le développement de générateurs de positons compacts
- **les positons et la science des matériaux**
- POSITHÔT – la Manufacture d'Antimatière



➤ les positons et la science des matériaux

Laboratoire CNRS - CEMHTI d'orléans (rattaché à l'Institut de Chimie)

Spécialiste français de l'analyse des matériaux à l'aide des positons



1999 : 1er
accélérateur de
positons



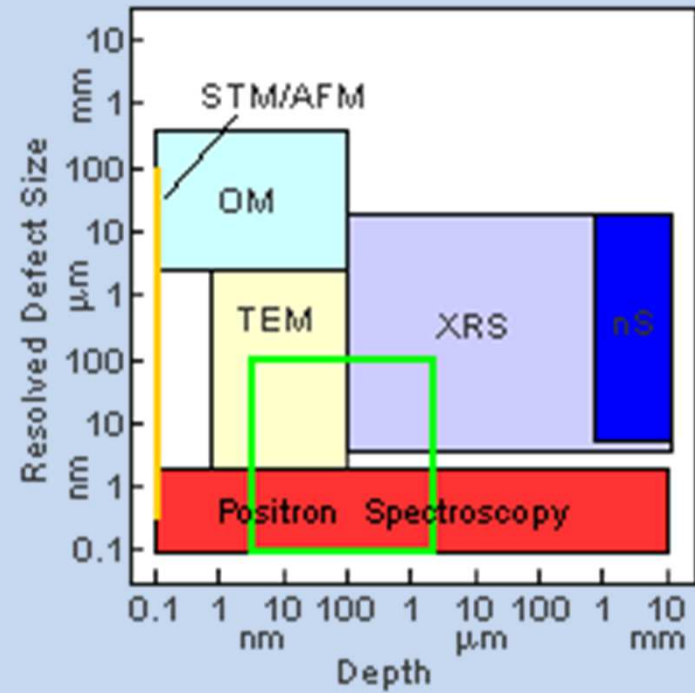
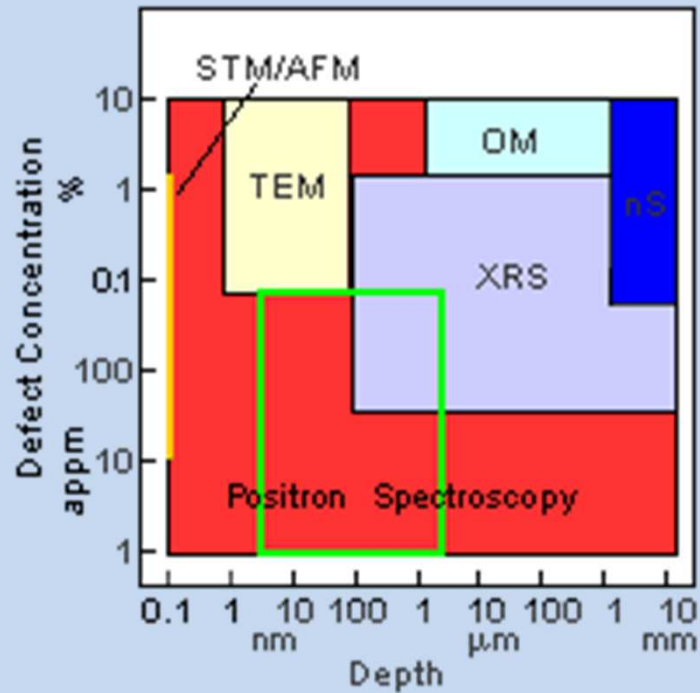
2013 : APPOLO ,
2ème
accélérateur



Deux installations uniques
en France, et utilisant des
sources radioactives
Sodium 22



Un spectre d'analyse large et unique

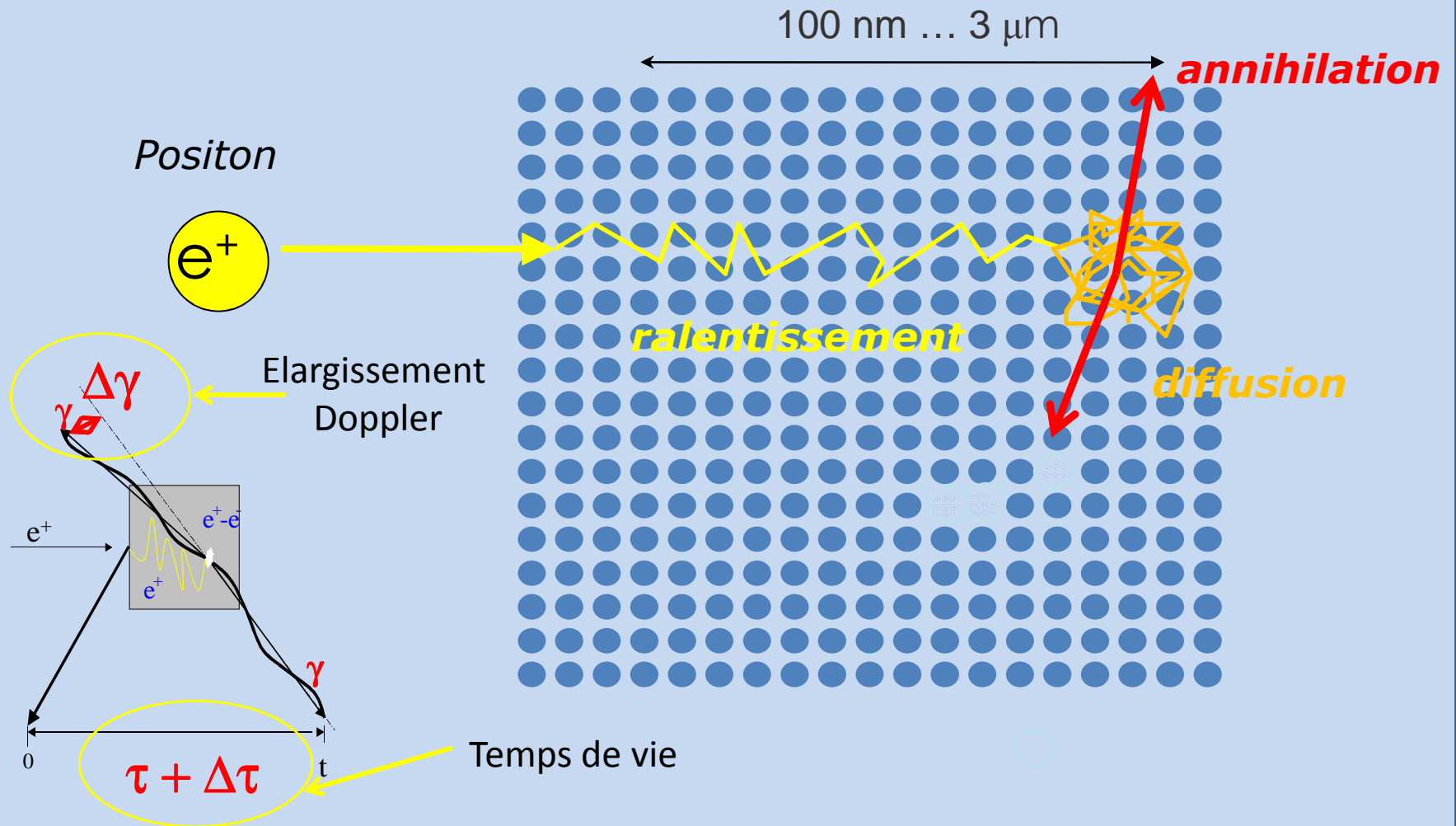


(green rectangle: relevant for substrates, semiconductors and component interconnection)

(Lawrence Livermore Laboratory, Univ. of California)

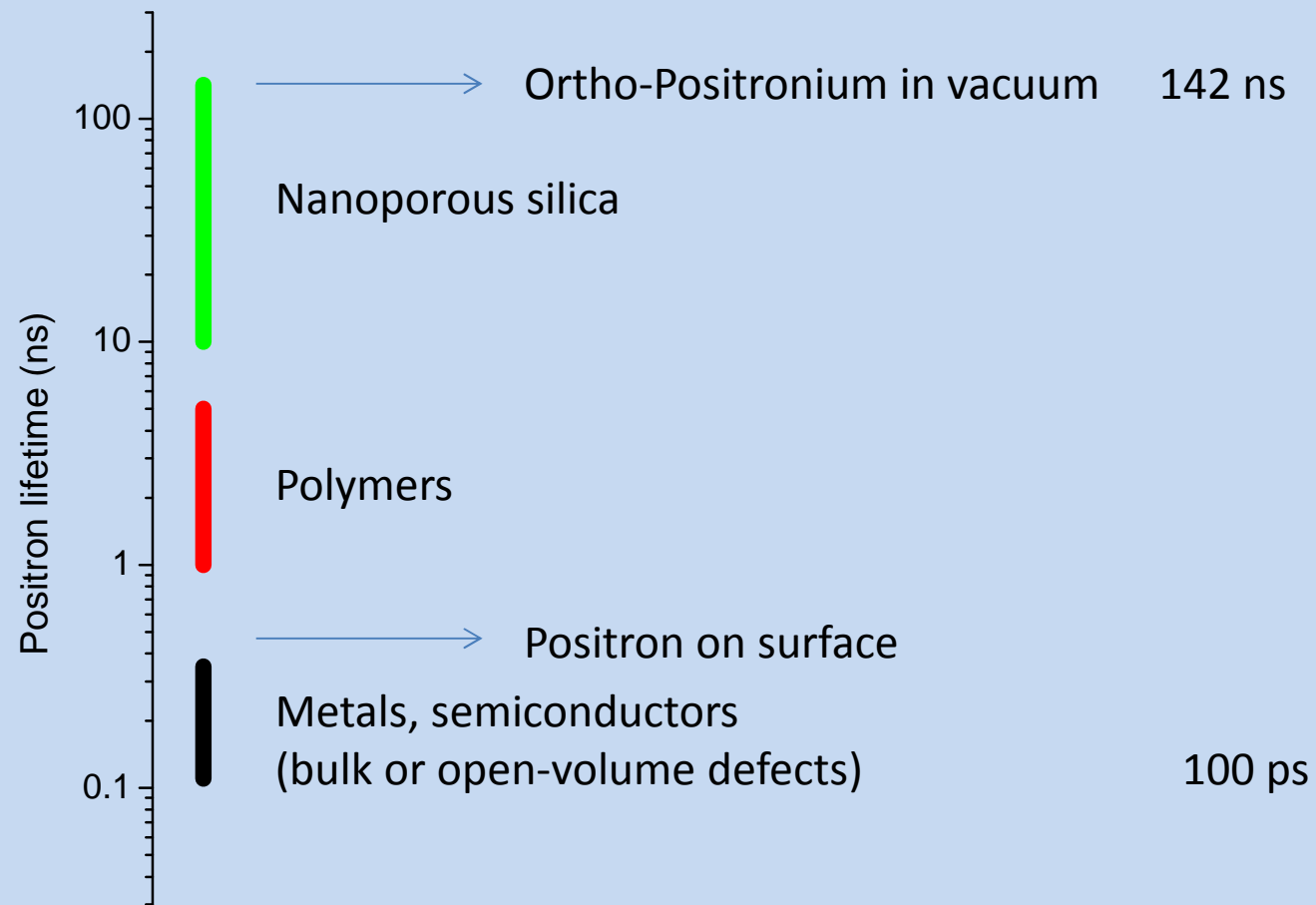


Spectrométrie d'annihilation de positons: la sonde ultime des défauts dans la matière





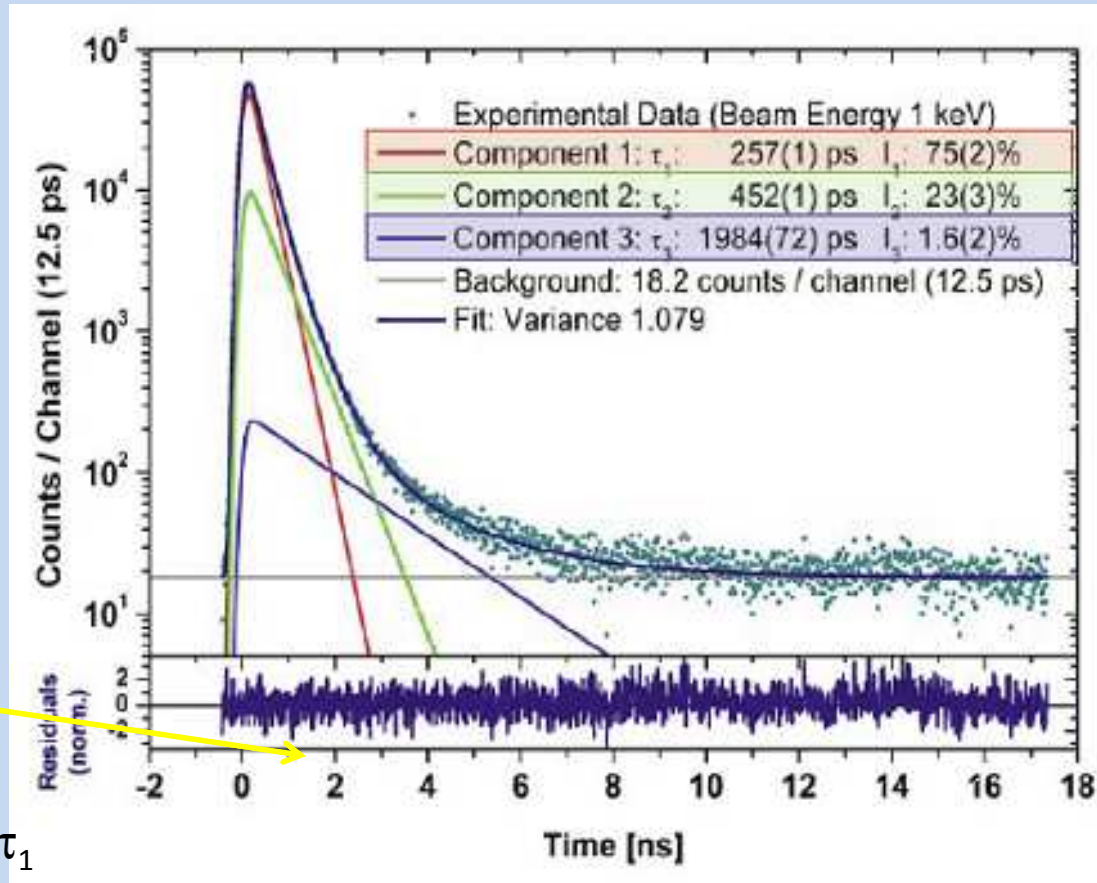
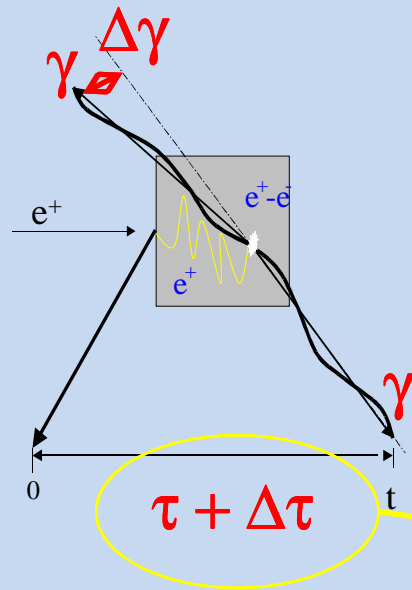
➤ Quels matériaux sont sondables ?





Analyse en temps de vie

Technique PALS

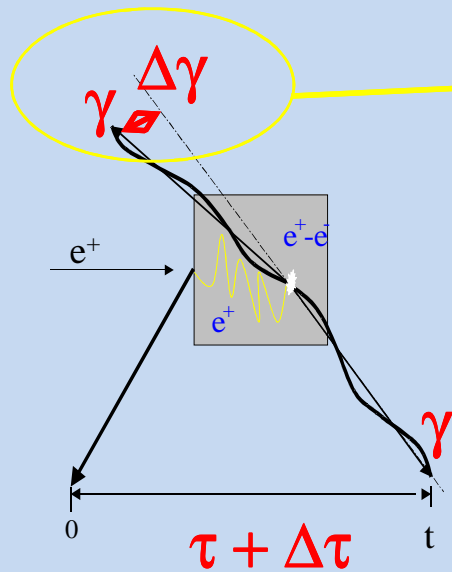


Chaque constante de temps (τ_1 à τ_3) est la signature d'un type de défaut



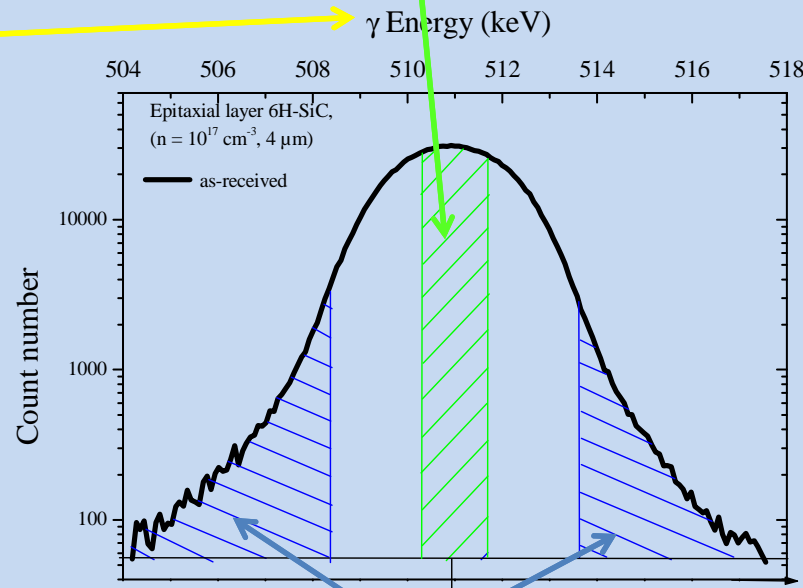
Analyse en énergie

Technique Doppler



low momentum
(valence electrons)

$$S = \frac{A_S}{A_{total}}$$



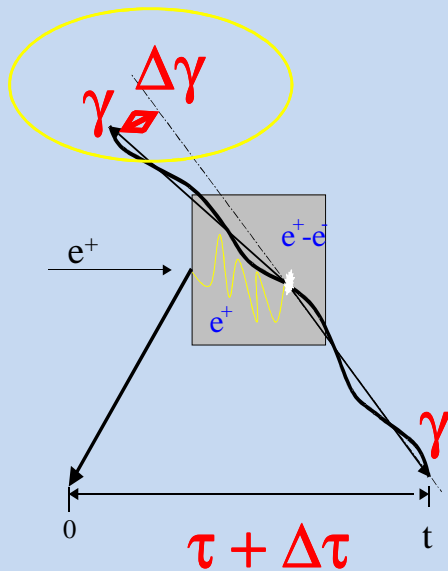
high momentum
(core electrons)

$$W = \frac{A_{W_G} + A_{W_D}}{A_{total}}$$



Analyse en énergie

low momentum
(valence electrons)



Chaque emplacement (V1 à V5)
est la signature d'un type de
défaut

high momentum
(core electrons)

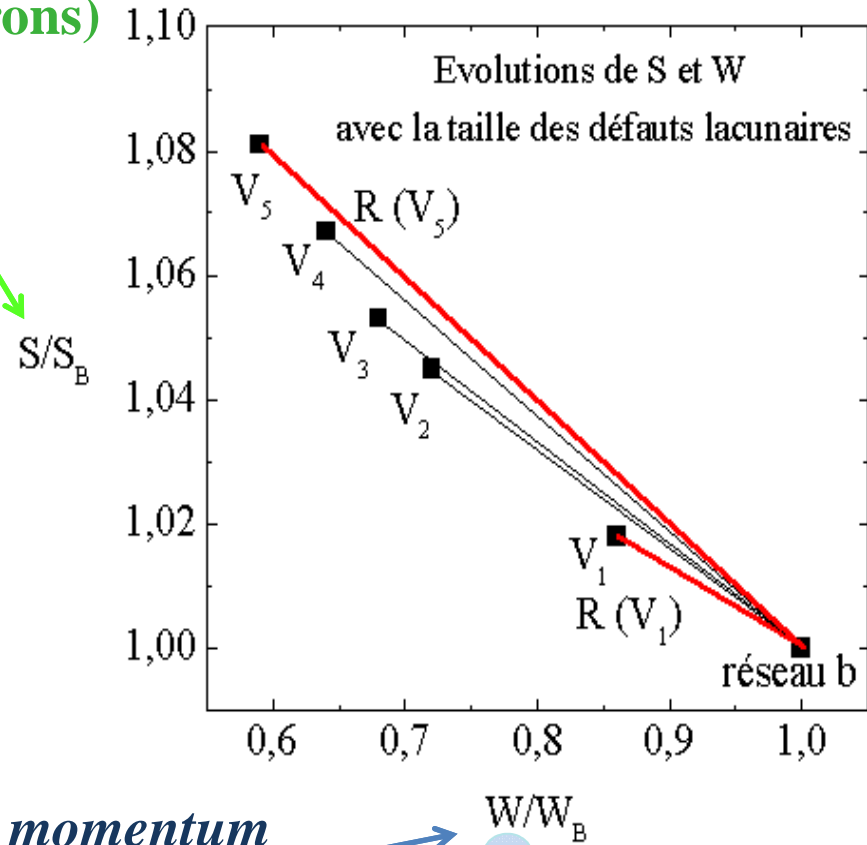


Diagramme de Liszkay



➤ Où trouver les positons?

Source radioactive β^+

Avantage

- Faible coût (40K€)

Inconvénients

- Source radioactive (gestion des déchets problématiques)
- Coûts additionnel de sécurisation : chape de plomb
- Débit limité (1 million positons/s) et renouvellement régulier (tous les 6 ans)
- Long délai d'approvisionnement (1 à 2 ans)
- Fournisseur unique (Ithemba Afrique du Sud)

Isotope ^{22}Na

Période: 2,6 ans

Production: 10^5 e⁺ lents /sec

Production: 5×10^6 e⁺ lents /sec, avec un modérateur néon





➤ Où trouver les positons?

Réacteurs nucléaires de recherche

Avantage

- Débit de positons très important (100 millions positons/s)

Inconvénients

- Source d'origine radioactive (gestion des déchets problématiques)
- Utilisation très complexe
- Problèmes de sécurité
- Accessibilité limitée

Production:

Garching: 10^9 e⁺ lents /sec

Delft: $7 \cdot 10^7$ e⁺ lents /sec



- TU Delft (Pays bas)
- North Carolina State University (USA)

En construction:

- Mac Master University (Canada)
- Kyoto University of Science (Japon)



➤ Où trouver les positons?

Générateurs sur accélérateurs



[AIST Home](#)

[RIIF Home](#)

[Positron Probe Group Home](#)

[Japanese/English](#)

>Positron Probe Group>Facilities

※Members

※Research

※Publications

※Facilities

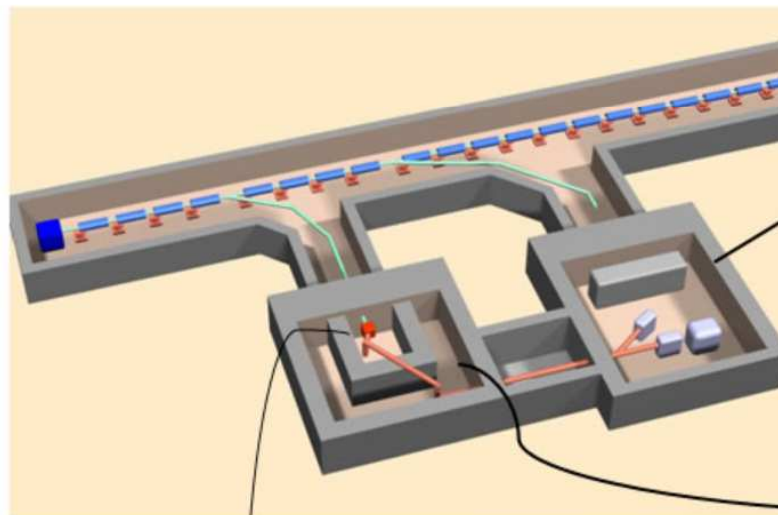
※ LINAC based intense slow e⁺ source

※ Na-22 based compact PALS

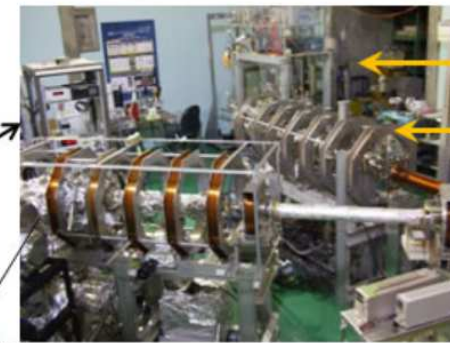
※ Microbeam

※ Dedicated Superconducting Accelerator

LINAC Based Pulsed Positron Beam



70 MeV, 100mA peak,
e⁻ 1 μs, 100 ns



PPMA
PALS



Linear Storage



➤ Où trouver les positons?

Générateurs sur accélérateurs

HZDR

ROSENDORF

HZDR | Research | **Institutes** | Press & News | Career | Technology Transfer |

Deutsch | SiteMap | Login/-out

HZDR ▶ Institutes ▶ Radiation Physics ▶ Divisions ▶ Radiation Source ELBE ▶ Positrons ▶

Search

The Positronsource at ELBE

Divisions**The EPOS-System**■ **Radiation Source ELBE**

The *Elbe Positron Source* (short EPOS) is a unique positron source for material science. It consists of three subsystems:

Research at ELBE

Mono Energetic Positron Spectroscopy

(short MEPS) From the primary ELBE electron beam a monoenergetic positron beam is created by pair production at a tungsten target. The unique time structure of the ELBE beam is thereby transferred on the positron beam which results in a pulsed positron source with high repetition rate, high intensity and choosable energy. With this beam measurements at surfaces and thin layers can be done easily.

User facility ELBE

ELBE Layout

Gamma-induced Positron Spectroscopy

(short GiPS) At the bremsstrahlung facility a gamma beam is created. When hitting the sample this produces positrons (again by pair production) which are detected. This beam is suitable for thick samples ($\geq 1\text{cm}^3$) of solids and liquids.

Accelerator

IR radiation (FEL)

Coherent THz radiation

Bremsstrahlung

▶ **Positrons****Conventional Positron Spectroscopy**

(short CoPS) More facilities with conventional β^+ -sources (like ^{22}Na) are available for complementary lifetime and doppler broadening spectroscopy.

Neutrons

Electrons

Superconducting RF gun

Livedisplay

MEPS and GiPS

Because of the unique time structure of the positron beam both MEPS and GiPS are not limited to doppler broadening spectroscopy (DBS and CDBS), but also for lifetime spectroscopy and the age momentum correlation called AMOC. The high intensity of the beam accounts for short measurement time which make it possible to study temperature dependent behaviour and maybe even dynamic transitions.

For MEPS the energy of the positron beam can be chosen between 0.2 and 30keV which allows research on different sample thickness.



On a donc :

- Une technologie innovante et protégée
- Un domaine d'application

Peut on le transformer en une activité économique :

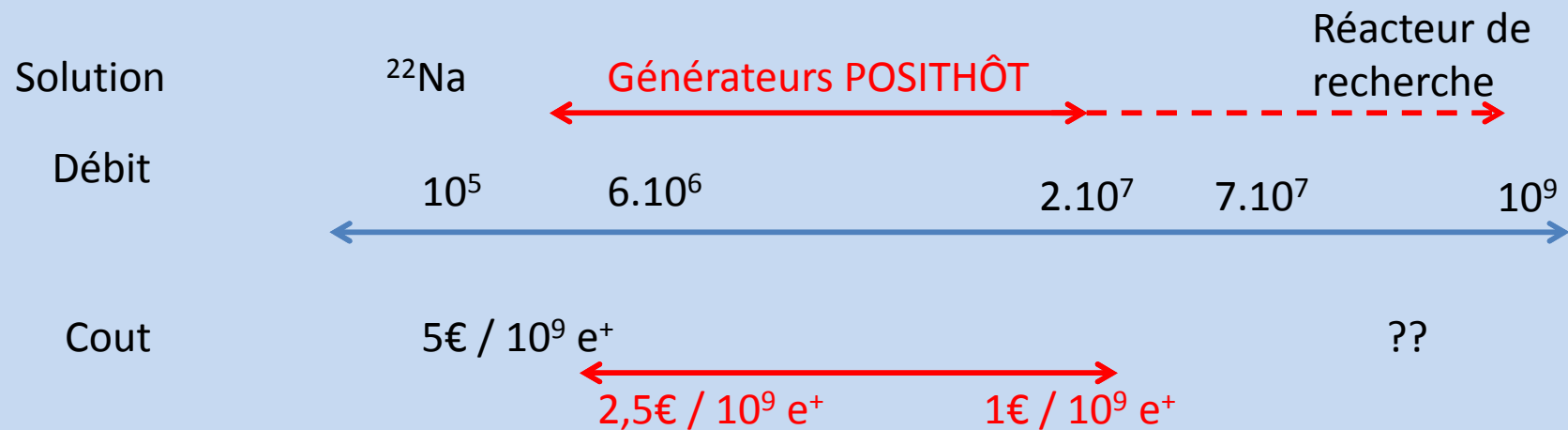
- **Opportunité de créer une start up ???**



- de SOPHI à GBAR, le développement de générateurs de positons compacts
- les positons et la science des matériaux
- POSITHÔT – la Manufacture d'Antimatière
fantasme ou opportunité



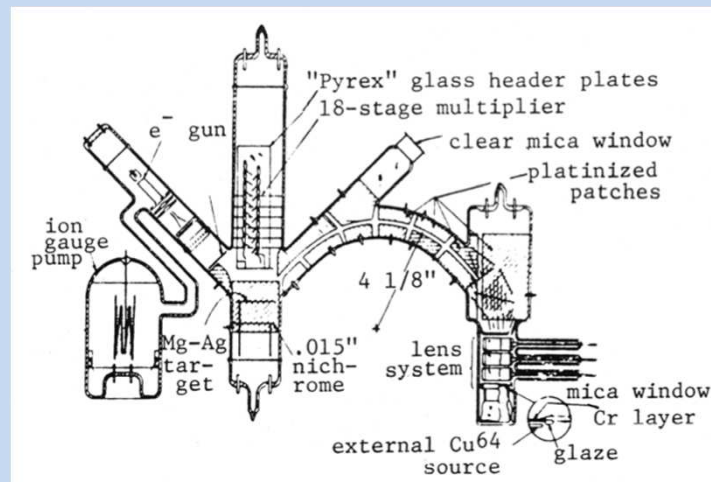
➤ Quelle est la valeur réelle des positons ?





➤ Quel est l'historique de la technique ?

- Première thèse sur les faisceaux de positons en 1958 (Princeton USA)



- Premier faisceau à base de Linac en 1960 (San Diego)
- Premier papier d'application en Sciences des Matériaux en 1962 au Danemark
- Premier laboratoire à l'Université de Bath UK, Professeur Coleman en 1969
- Le CEMHTI utilise les sources de positons appliqués à l'étude des matériaux depuis 1996



➤ Est-ce qu'il y des projets industriels utilisant des positons ? **OUI**

**FUJII IMVAC
FUJII IMVAC INC.**

Home > Products > PALS-1

JAPANESE | ENGLISH

Products

Menu

- Products ▶
- Contacts ▶

[Home](#)

[BACK](#)

PALS

Depth-Selective Positron Nano-Porosimetry System PALS-1

[>>Contacts](#)

Description

The PALS-1 is a depth-selective Positron-Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS) system that measures atomic-and nano-scale pores in thin film samples. The depth-selective PALS has widespread use for various materials, such as next-generation very large-scale integration materials, polymer coating films, porous films and so on. The technique, however, has only been available in large facilities with accelerators for positron production. Fuji Imvac Inc. and AIST have developed a compact PALS system that can be used in small Principle of pulse-beam based PALS system laboratories. The PALS-1 system uses an energy variable pulsed positron beam that is implanted into a sample at a selected depth, and the time interval between the incidence of positron and its annihilation with an electron is measured. The pore size can be determined from the annihilation lifetime of the positrons. Our unique techniques of high-efficiency beam production and high-compression beam pulsing enable practical measurements by using a low-activity positron

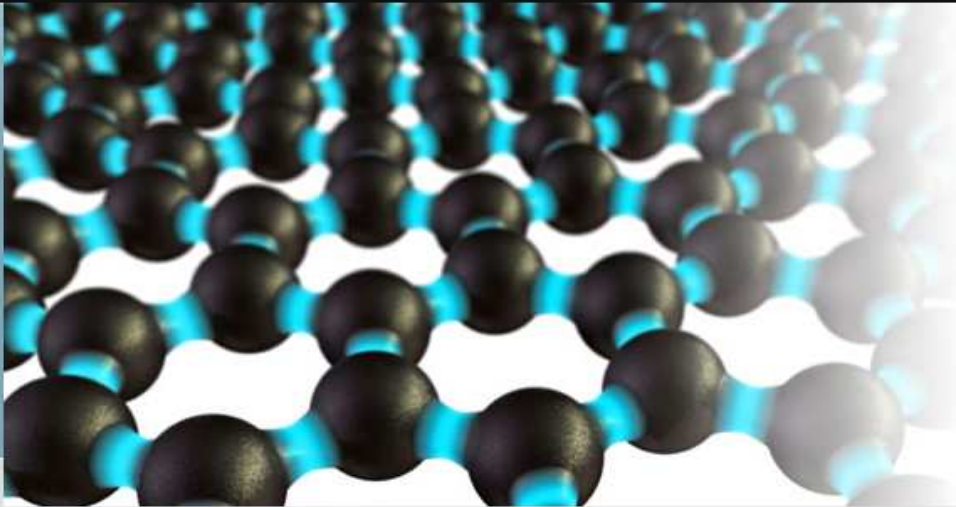
Principle of pulse-beam based PALS system



➤ Est-ce qu'il y a des projets industriels utilisant des positons ? **OUI**

positron
systems, inc.

[Home](#) [Technology](#) [Applications](#) [Products & Services](#) [About Us](#) [Contact Us](#)



**Eliminating
Structural
Uncertainty**

PS6100 IPA Process



Phase Contrast Analysis



Services





➤ Est-ce que la technique de mesure a été identifiée pour des usages industriels ?

OUI



International Technology Roadmap for Semiconductors

ITRS 2011 Edition

- [2011 Acknowledgments](#)
- [2011 Executive Summary](#)
- [2011 Overall Roadmap Technology Characteristics \(ORTC\) Tables](#)

*2011 Technology Working Group Reports' - Tables and Chapters to Download
As part of the 2011 release, the ITRS Winter Meeting Presentations are now available.*

Test and Test Equipment	2011 tables	2011 chapter
Process Integration, Devices, and Structures (PIDS) PLUS NEW MASTAR Model	2011 tables	2011 chapter
RF and Analog/Mixed-signal Technologies (RFAMS)	2011 tables	2011 chapter
Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)	2011 tables	2011 chapter
Emerging Research Devices (ERD)	2011 tables	2011 chapter

[About the ITRS](#)

[ITRS News](#)

[Public Events](#)

[Sponsors](#)

[ITRS Edition Reports and Ordering](#)

[Models](#)

[Papers and Presentations](#)

[Industry Links](#)

[ITRS Teams](#)

[ITRS Working Group Login](#)





➤ Est-ce qu'une application utilisant des positons a fait l'objet de brevets ?

OUI

Le microscope à positons – 3 des 4 fabricants de microscopes électroniques ont déposés des brevets sur l'utilisation des positons

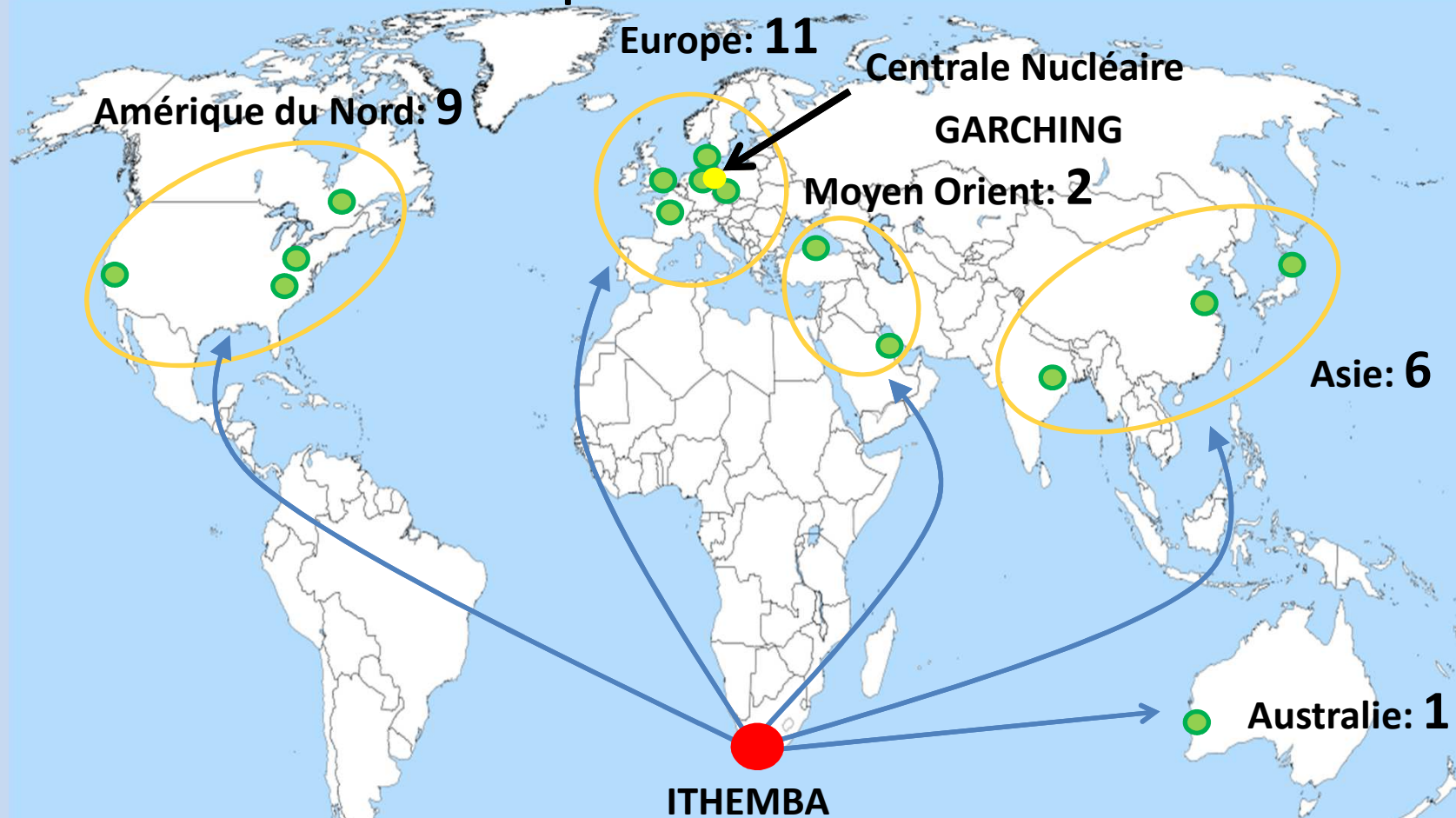
HITACHI 74 brevets, dont 1 valide

JEOL, 1 brevet abandonné

ZEISS, 1 brevet valide



➤ Qui fabrique de sources ^{22}Na ?



Fournisseur unique de 35 clients!



RAPPORT ANNUEL FY11

- Santé financière délicate
- Problématique RH: départ en retraite, difficulté de trouver de la main d'oeuvre qualifiée
- Tentative de sous traitance de la production ^{22}Na en 2010-2011 mais les autres solutions envisagées ne sont techniquement et économiquement pas viables
- Croissance ^{22}Na limitée car utilisation de la même ligne de production que ^{82}Sr et contrat annuel avec Nordion (Isotope médicaux) – ^{22}Na pas prioritaire, production sur le temps restant
- Baisse de l'activité des sources ^{22}Na de 60 mCi à 50 mCi pour des problèmes de temps faisceaux et de limitation de l'exposition radioactive du personnel
- Revenu global de la branche RPD a augmenté de 32% par rapport à l'année précédente, dans le même temps la part de revenu du ^{22}Na est passée de 10% à 8%...



➤ Existe-t-il une communauté d'utilisateurs facilement identifiable et accessible ?

OUI

SLOPOS – ICPA - PSD

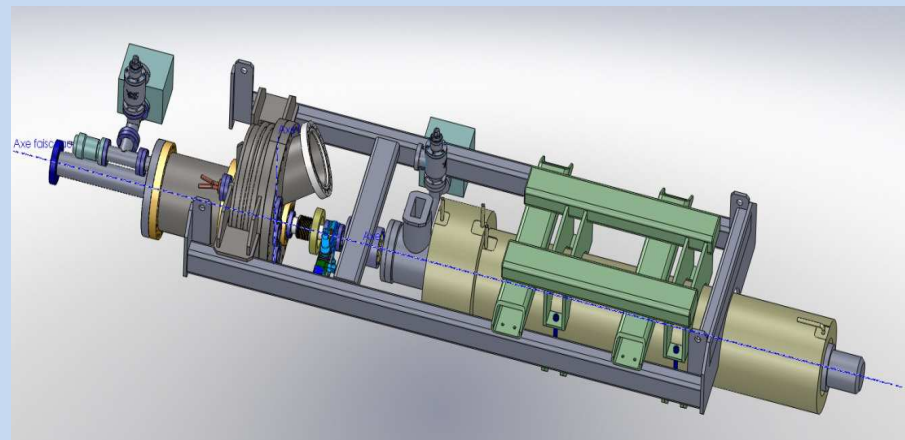
The image shows a screenshot of a website for the PSD-14 workshop. The banner features a photograph of a traditional Japanese building with a tiled roof and green foliage. The text on the banner reads "PSD-14" in large white letters, followed by "September 14-19, 2014, Kyoto, Japan" in smaller white text. Below the banner is a navigation menu with the following items: "HOME", "About PSD-14", and "Welcome". To the right of the menu, the title "The International Workshop on Positron Studies of Defects 2014 (PSD-14)" is displayed, followed by the date "DATE : September 14-19, 2014" and the venue "VENUE : [Kyoto University Clock Tower](#) Centennial Hall, Kyoto, Japan".



Drivers	Centrale Nucléaire	Sodium 22	POSITHÔT
Débit (temps d'analyse)	++	-	+(+)
Disponibilité	-	+(-)	++
Confidentialité	-	+	+
"Green"	--	-	++
Maintenance	---	-	+

- Compacte et pérenne
- Sans activation radiologique
- Disponible 24/7

- Brevet CEA (*valorisation d'un développement du CEA-IRFU pour l'expérience GBAR*)

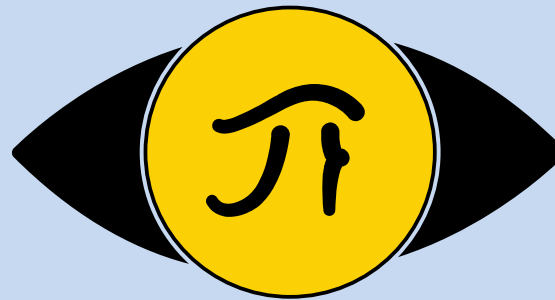




POSITHÔT

POSITHÔT – *La Manufacture d'Antimatière*

*Merci pour
votre
attention*



POSITHÔT

La Manufacture d'Antimatière

Jean-Michel REY