

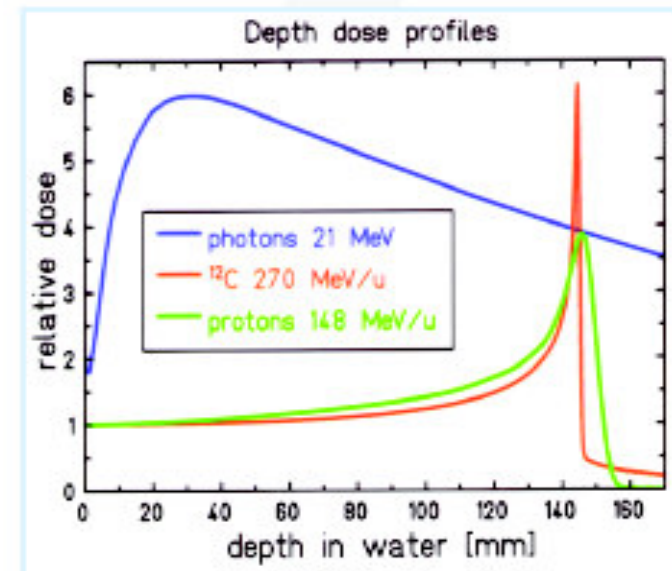
Interdisciplinaire au LPSC : ouverture vers d'autres disciplines

- **Interface physique-médecine**
 1. **Hadronthérapie**
 2. **Imagerie médicale (TEP)**
 3. **Dosimétrie pour la radiothérapie**
- **Plasmas-Matériaux-Nanostructures**

Interface physique-médecine

1. Hadronthérapie

- Radiothérapie par faisceau de protons (70-250 MeV) et d'ions légers : ^{12}C (80-400 MeV/uma) , He ...
 - meilleure balistique (p & C) et efficacité biologique accrue (C)
 - perspectives à long terme dans les pays développés :
 - 1-2 centres proton / 10 M d'habitants
 - 1 centre carbone / 30 M d'habitants
- C : participation à la construction du synchrotron médical PIMMS du CNAO à Pavie - Modèle des avants projets français ETOILE & ASCLEPIOS
- p : recherche d'une configuration nouvelle plus efficace, moins coûteuse basée sur un accélérateur FFAG (Fixed Field Alternating Gradient accelerator)



Hadronthérapie : les équipes



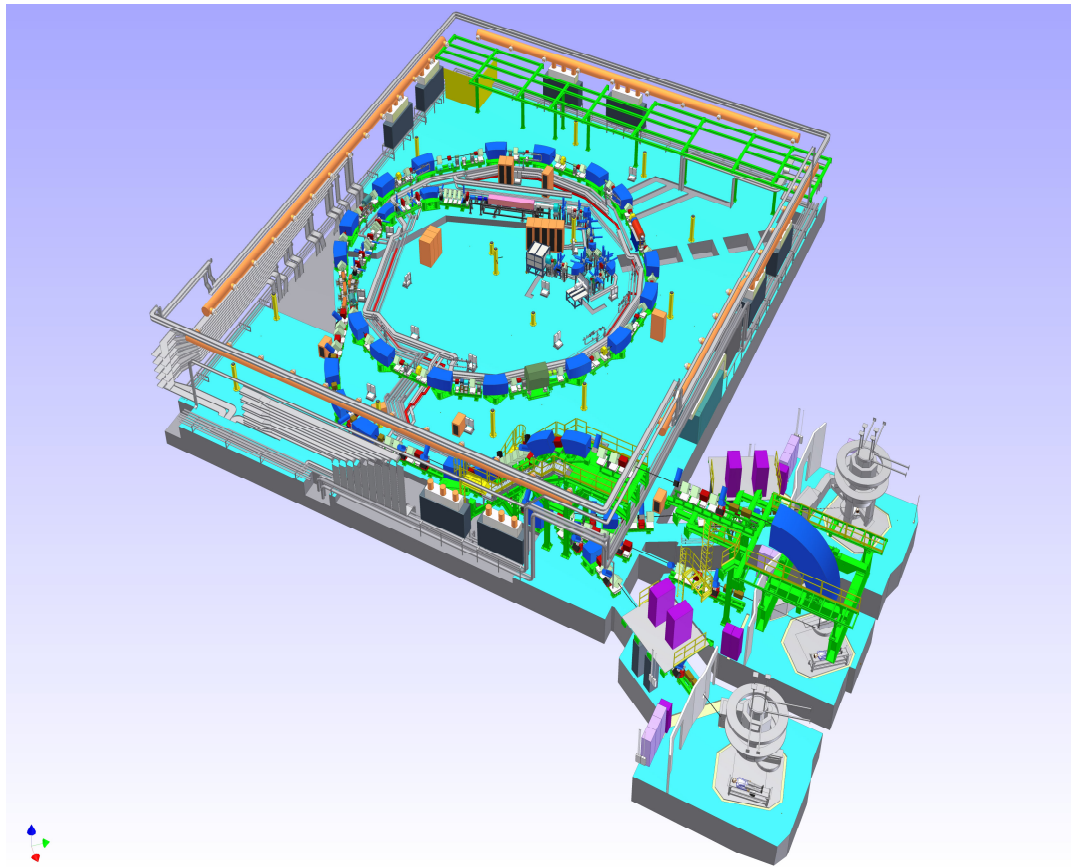
- CNAO
 - J. Collot (coordination scientifique), F. Vezzu (coordination technique)
 - D. Grondin Services des Études et Réalisations Mécaniques
 - O. Bourrion, R. Foglio, D. Tourres, C. Vescovi Service Électronique
 - M. Baylac, JM. De Conto, E. Froidefond, Service Accélérateurs
- RACCAM
 - J. Collot, F. Méot (responsable du projet)
 - D. Grondin, F. Vezzu Services des Études et Réalisations Mécaniques
 - E. Froidefond, J. Fourrier (Ph. D.), J. Pasternak (post-doc) Service Accélérateurs et Sources d'Ions
 - partenaires médicaux : CHU de Grenoble, Centre Leon Bérard, CAL Nice
 - partenaires industriels : SIGMAPHI, AIMA, IBA
 - laboratoires partenaires internationaux : KEK, KURRI

CNAO : Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica à Pavie en Italie



Engagé dans la construction du CNAO depuis 2004.

Acquisition de l'expérience de la construction d'un synchro médical.



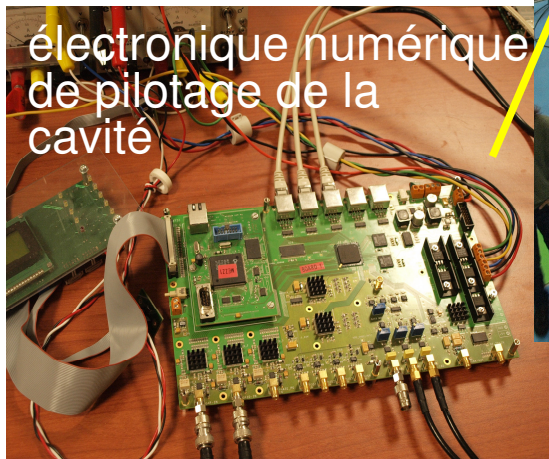
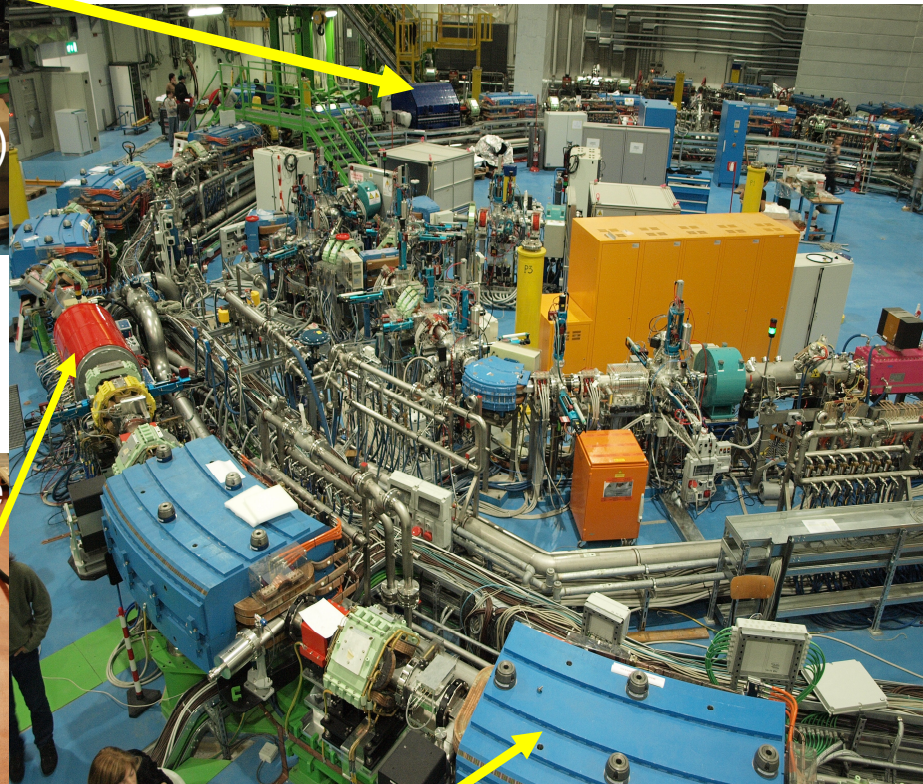
Responsabilités :

- participation au contrôle-commande
- étude et réalisation de l'aimant bétatron du système d'extraction lente
- électronique de pilotage de la cavité accélératrice
- participation aux tests des dipôles
- études de dynamique du faisceau

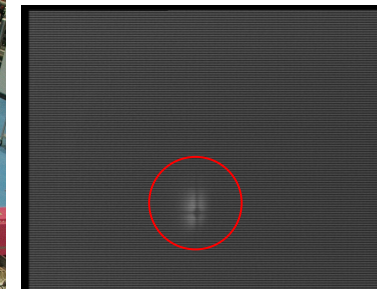
Le LPSC est le seul laboratoire français à avoir participé à la construction d'un synchrotron médical.



aimant bêta-tron (26 t)
extraction lente



électronique numérique
de pilotage de la
cavité



Premier tour du
synchrotron le
16/12/2009 !

24 dipôles testés
intégrale de champ : $\Delta(BL)/BL < 2 \cdot 10^{-4}$
reproductibilité : $\Delta B/B < 10^{-6}$

RACCAM : Recherche en ACCélérateurs et Applications à la Médecine



LPSC porteur de ce projet ANR de 2005-2009

Un accélérateur à champ fixe et gradient alterné peut-il permettre d'accroître l'efficacité (nbre de patients traités) et réduire le coût d'un centre proton ?

Champ fixe : cyclage rapide 100 Hz
nbre de séances de traitement accru.

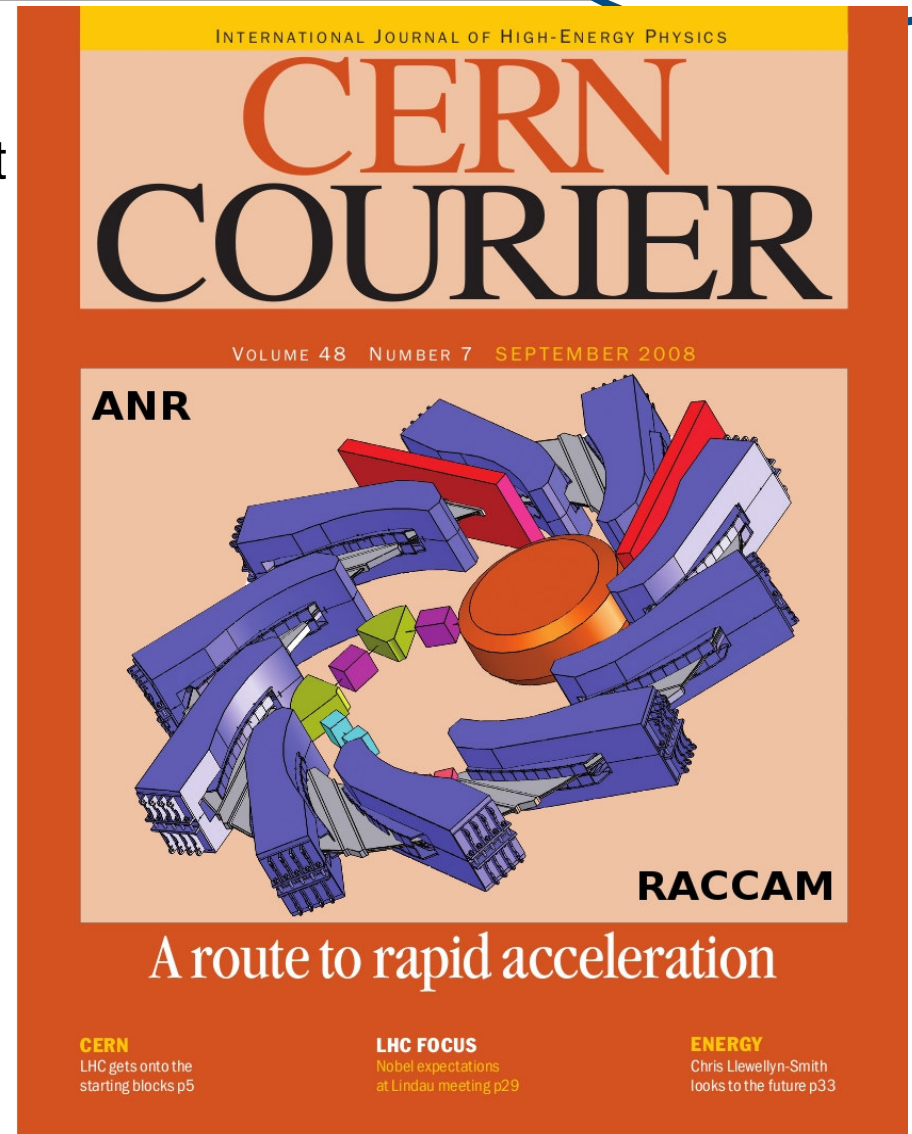
Aimants feuilletés 3D spiraux :
variation rapide de l'énergie (0.1 s).
Balayage 3D actif .

Plusieurs extractions possibles.



Proto d'aimant spiral réalisé et testé avec Sigmaphi

NiM : A589(2008)133 ; A602(2009)293
A604(2009)435

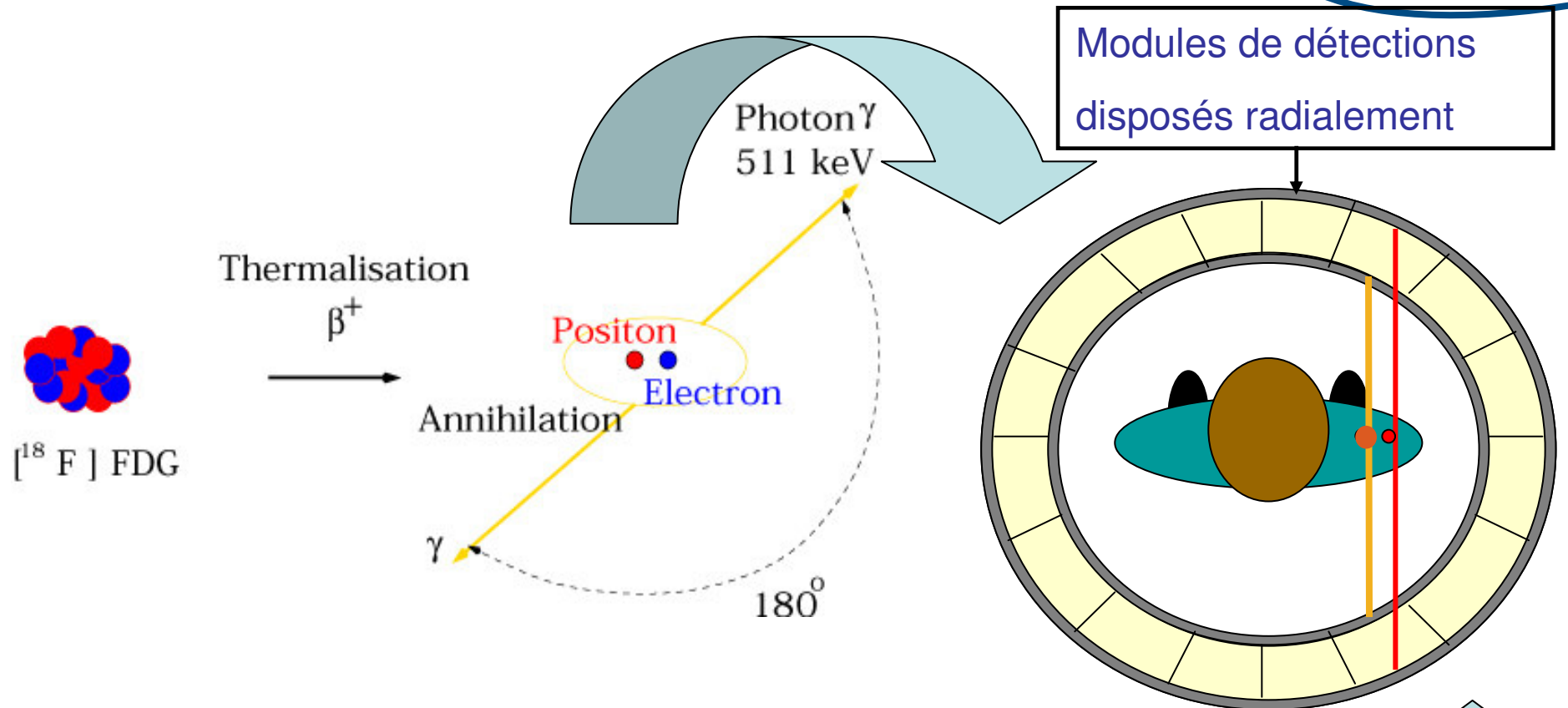


- CNAO
 - participation au démarrage médical (2010-2012) ? :
 - dosimétrie physique
 - radiobiologie
 - premiers traitements
 - en partenariat avec ARCHADE, ETOILE, SHFJ ... d'autres ?

- RACCAM : veille technologique
 - Optimisation d'un centre proton complet en partenariat avec un radiothérapeute et un cabinet d'architecture
 - workshop physique médicale du CERN (2-4 fév. 2010)

2. Imagerie médicale

Le principe de la TEP



PB détecteurs à géométrie pointante

! Erreur de parallaxe !

⇒ Mesure de la DOI = Profondeur d'Interaction

Projet « Tomographe (TEP) au LXe »



- **Lancement 2000** J. Collot + **CHU** (financement : Prog. Interdisciplinaire CNRS / INSERM Imagerie Petit Animal+Région)

Mesure DOI  sup. les erreurs de parallaxe sur TEP classique !

- **Pré-étude MC** - thèse S. Jan 2002  collaboration **GATE**

- **Construction banc de test 2002-2004** J. Collot, Ph. Martin, ML. Gallin-Martel, F. Mayet + serv. tech. LPSC + **Air Liquide** (cryogénie -110 °C) + **CERN** (guides de lumière) + **Hamamatsu** (PSPMT détection UV 178 nm)

- **Prise de données 2005 – 2009** ML. Gallin-Martel et al.

- **phase I** : 2005 - 2007

1 module prototype – étude des performances

- **phase II** : 2008 - 2009 (**fin étude expérimentale**)

2 modules en coïnc. + étude des perf. TEP complet  **rec. images !**

L'équipe et les collaborations



L'équipe du LPSC (2005 – 2009)

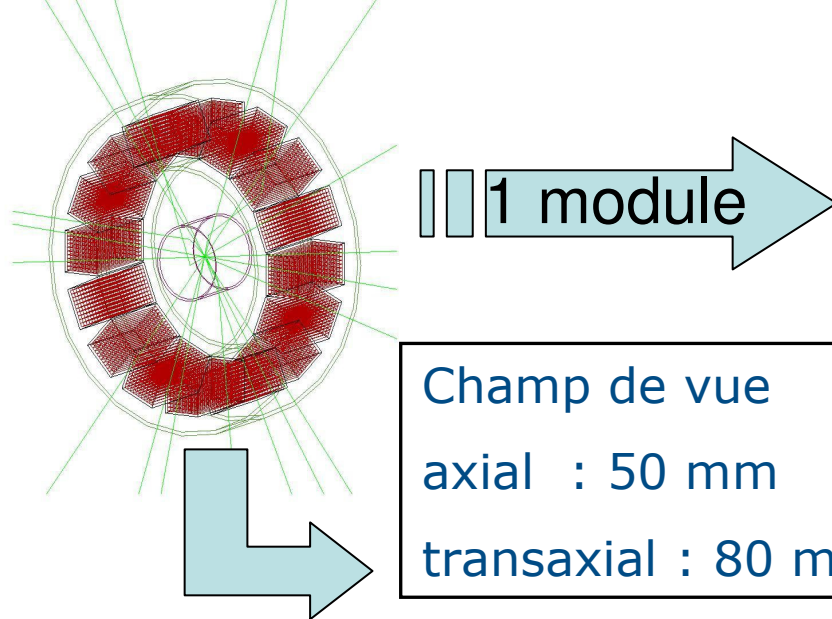
- 1 Chargée de Recherches : **ML. Gallin-Martel**
- 2 Enseignants Chercheurs : **F. Mayet** (->fin 2006) **O. Rossetto**
- 1 thésard: **Y. Grondin** (collaboration **TIMC-GIPSA lab-LPSC**)
- + services techniques - Coordination **L. Gallin-Martel**

Les collaborations

- **SUBATECH** (Equipe Interface phys. Med. - **Nantes**)
Méthodologie Liquéfaction du Xénon
- **TIMC** (Lab. Math. Appli. Imagerie médicale - **Grenoble**)
Sim. MC TEP LXe avec GATE
- **GIPSA-lab** (Lab. Traitement du signal - **Grenoble**) **Rec. images**

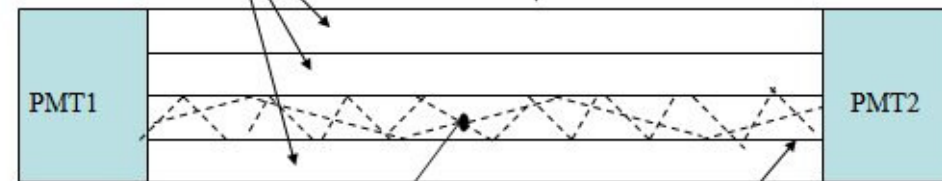
Mesure de la profondeur d'interaction

16 modules de détections distribués axialement



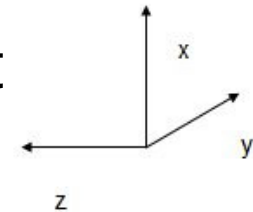
Guides de lumière Al-MgF₂ (CR=0.8)
& xénon liquide

T=-110°C λ=178 nm



γ

UV Light

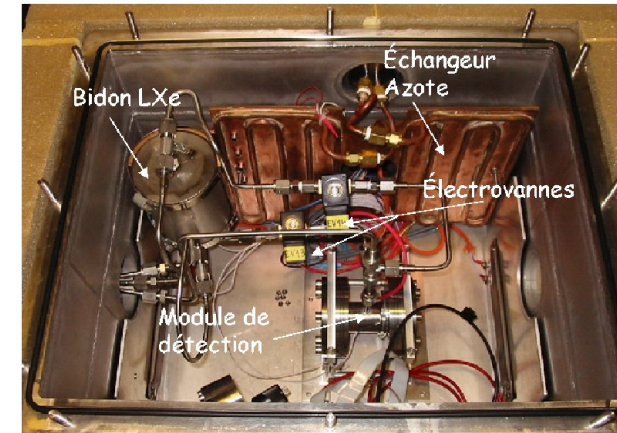
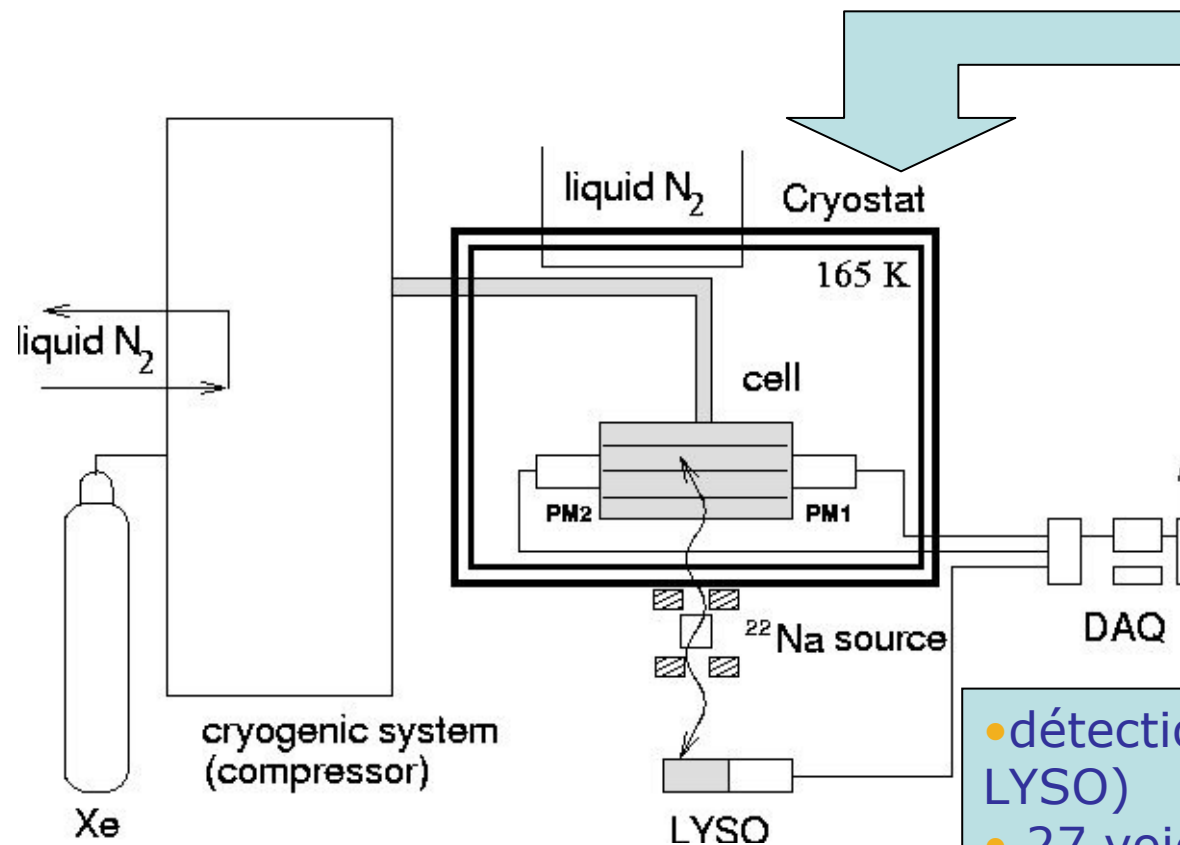


X & Y \Rightarrow guide touché

$Z = f\left(\frac{PMT_1}{PMT_2}\right) \Rightarrow$ Localisation = asymétrie droite/gauche

Mesure DOI basée sur absorption des UV \Rightarrow X, Y, Z pour chaque événement !

Phase I : Test Module Prototype

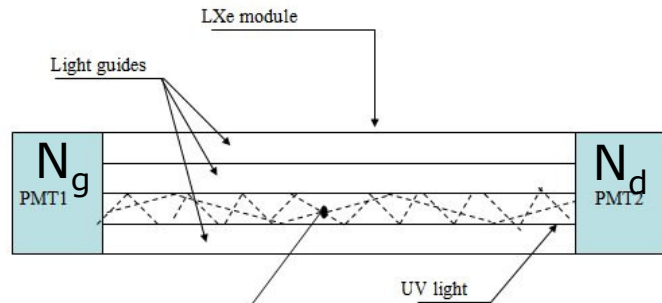


Cryogénie aisée
stable et robuste

- détection en coïncidence (cellule / LYSO)
- 27 voies de mesure
- mesure de charge pour chaque anode et dynode (QDC)
- mesure de temps (cellule / LYSO) : TDC

Phase I : Performances Module Prototype

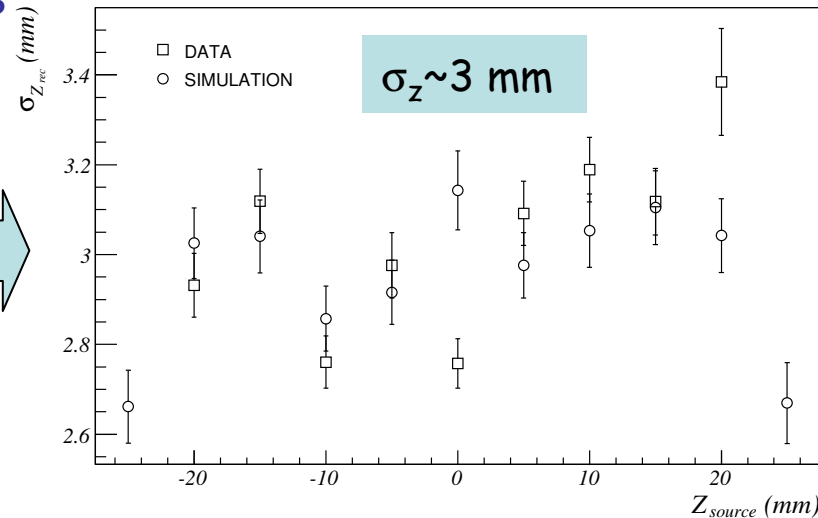
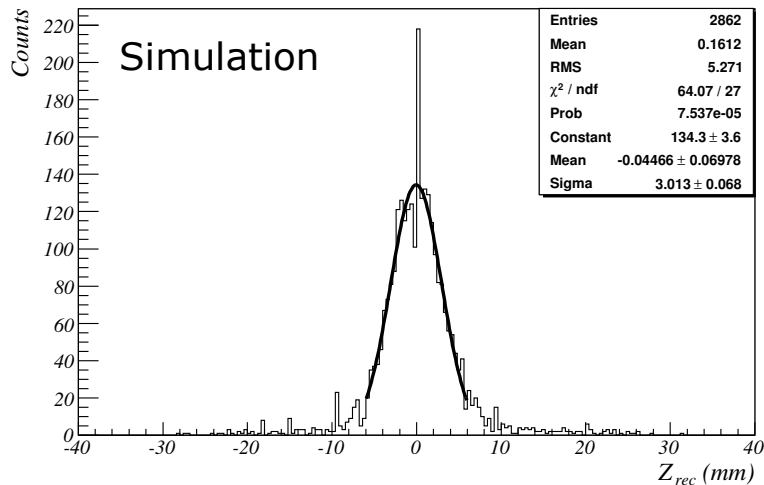
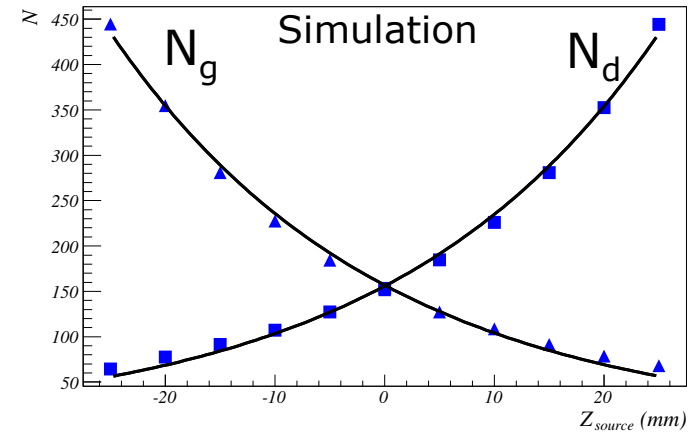
M-L Gallin-Martel et al., NIM. **A 599** (2009) 275



$$z_{rec} = \frac{1}{2} \lambda_{ref} \ln \left(\frac{N_d}{N_g} \right)$$

λ_{ref} : longueur d'atténuation due aux réflexions

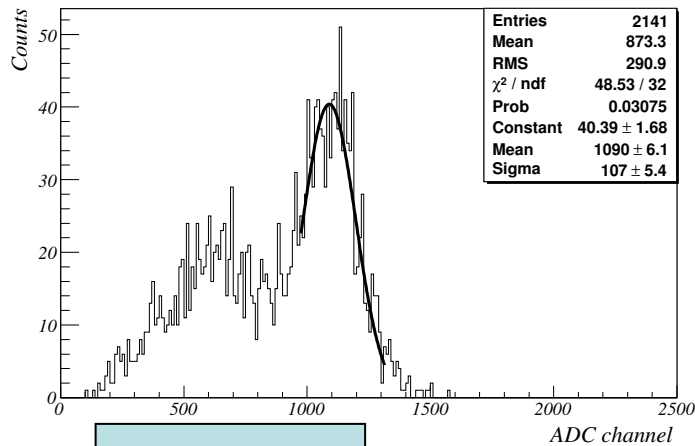
Résolution en z



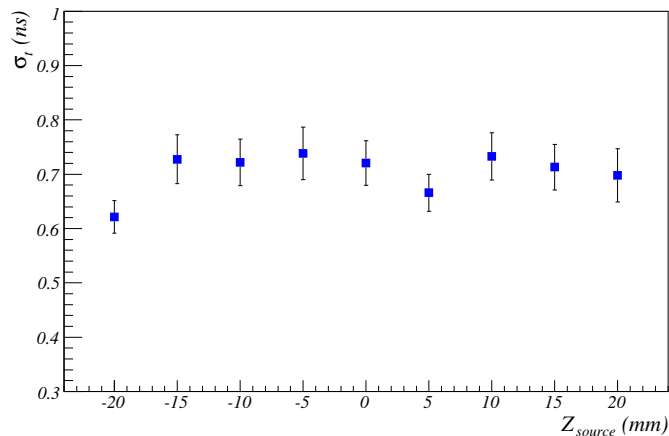
Phase I : Performances Module Prototype



Energie



Temps



Résolution x,y	1.4 mm (x) 0.6 mm (y)
Résolution z	2.5 mm (400 keV) 3 mm
Résolution E	10 %
Résolution en temps	550ps (400keV) 700ps

Phys. { [April 2006] : rés. E mesurée 8%
rés. E estimée du LXe (champ nul) 6%

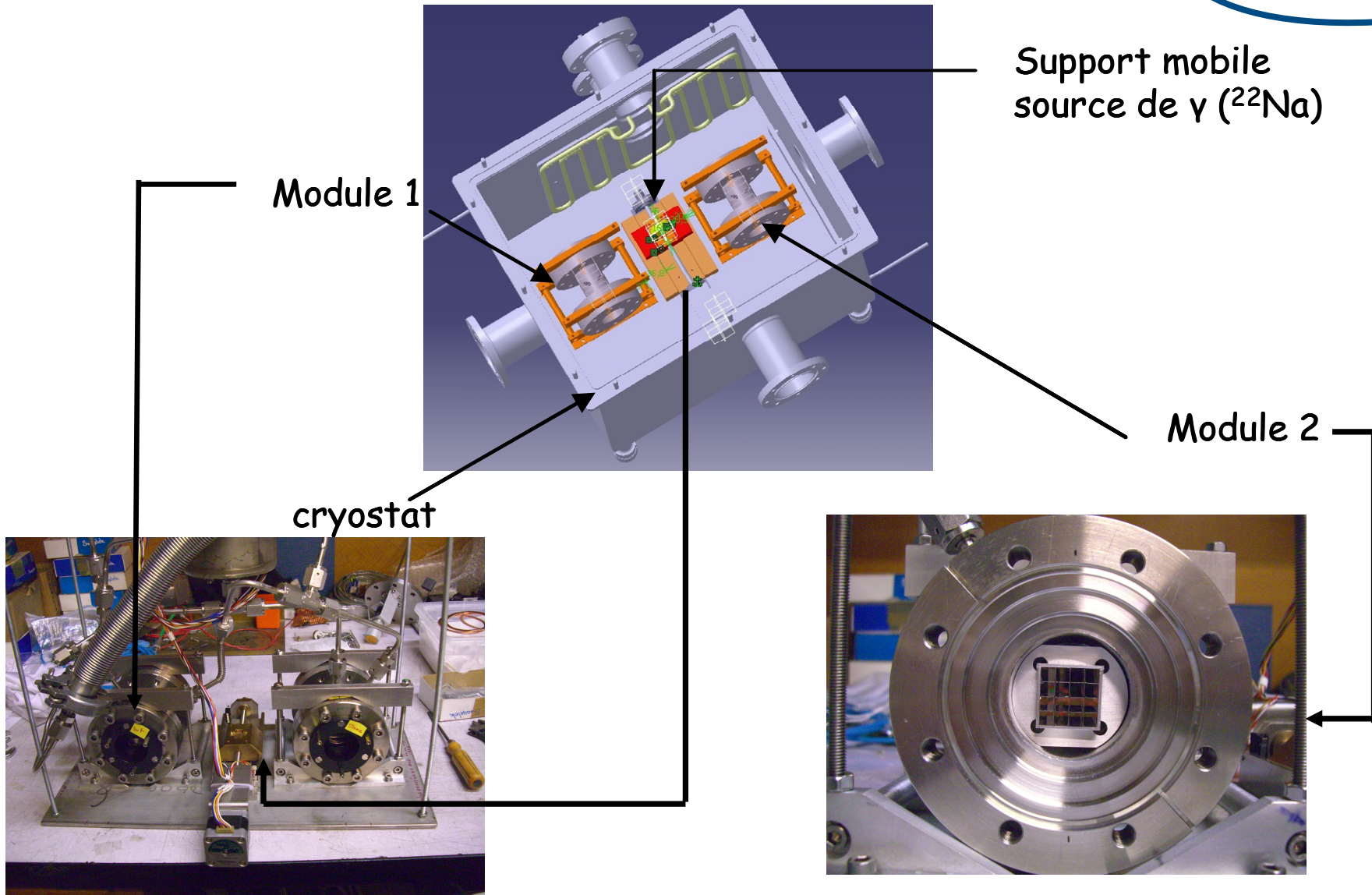
Exp. {

LXe { [Doke 2003] : rés. E mesurée 8%

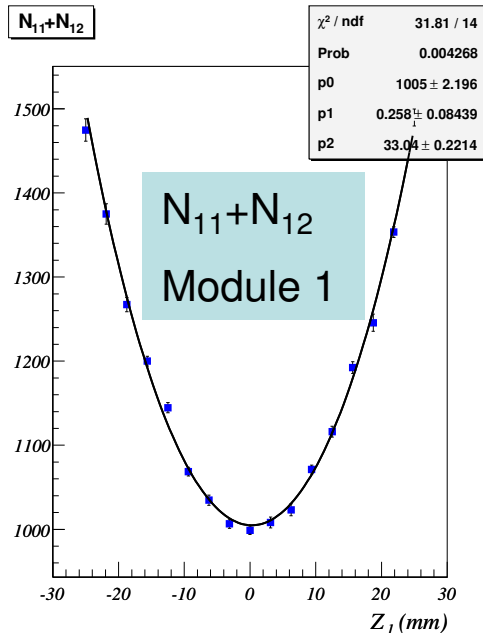
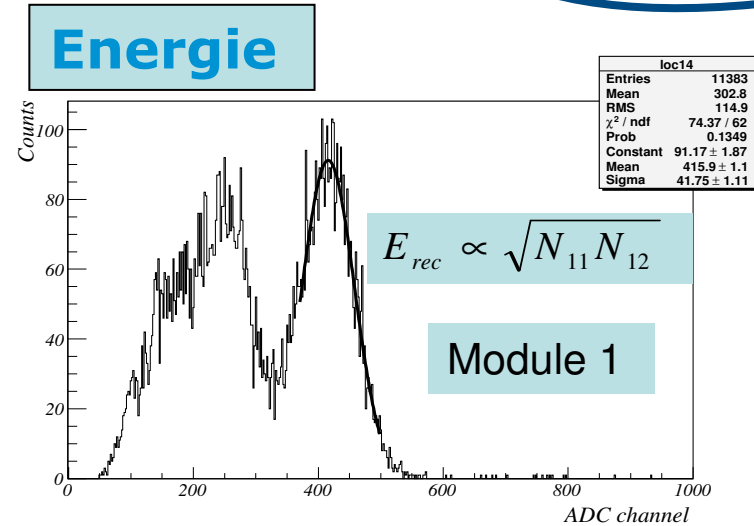
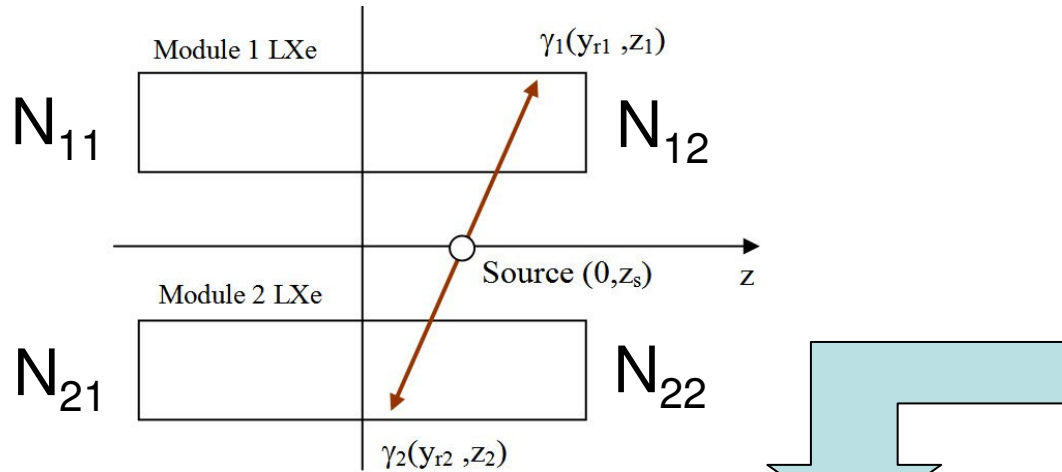
TEP
Géométrie axiale + cristaux

{ [Séguinot 2006] :
rés. E mesurée 8%
rés. z mesurée 5mm

Phase II : Test 2 Modules en coïncidence

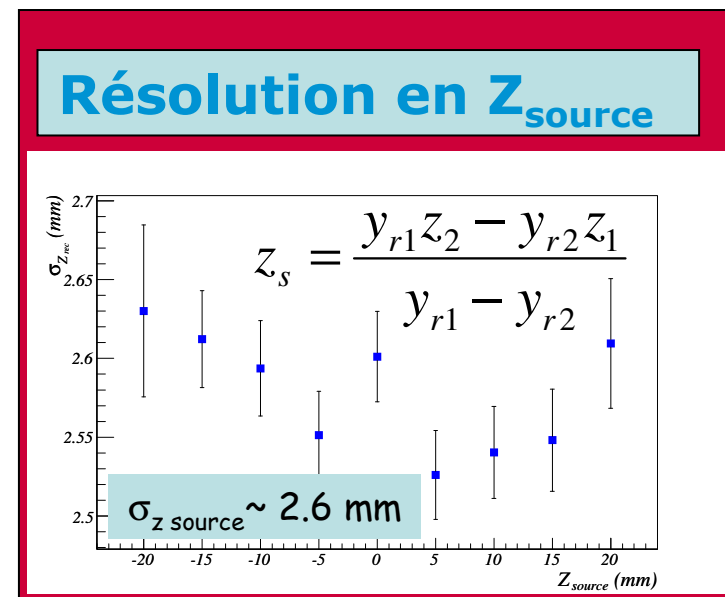


Phase II : Résultats expérimentaux



Modèle Exponentiel
Phase I : OK !

Preliminary !



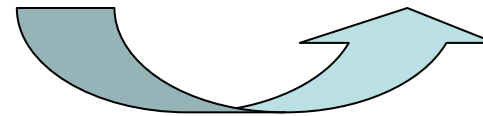
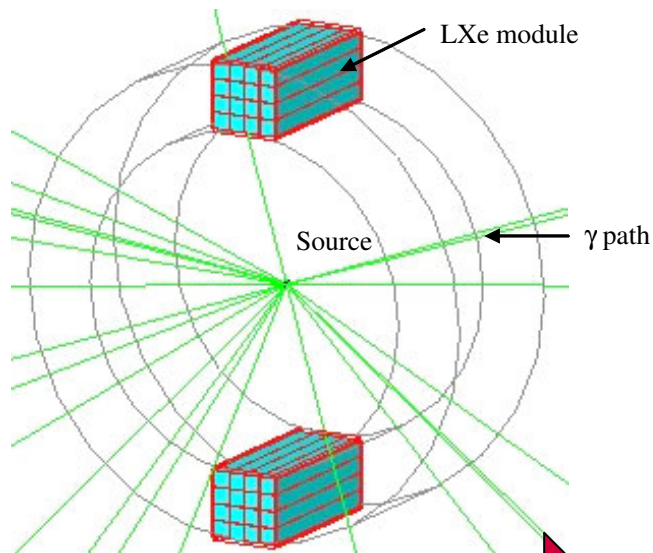
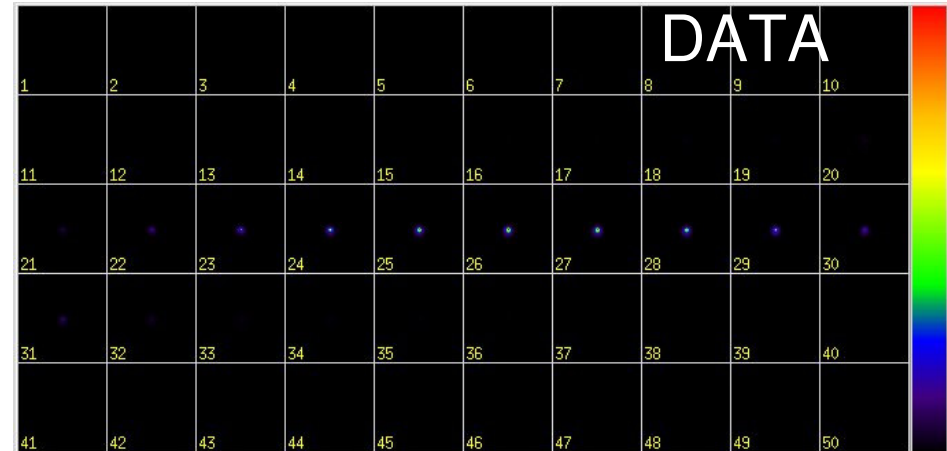
Phase II : Reconstruction d'image

Reconstruction Image 3 D

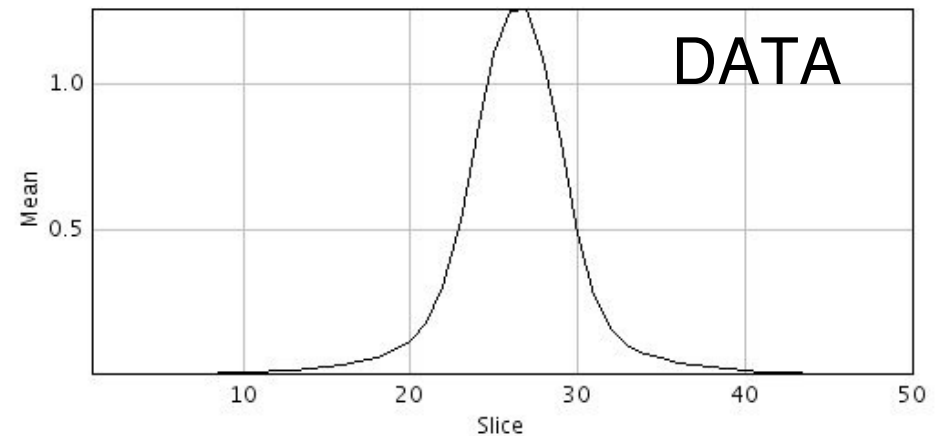
Plusieurs acquisitions exp. avec les 2 modules immobiles

+

Rotation virtuelle des 2 modules dans prog. de rec. Image



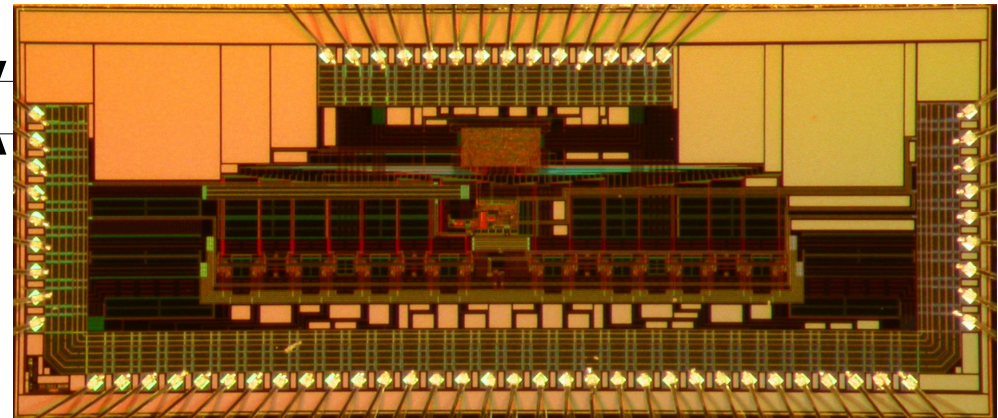
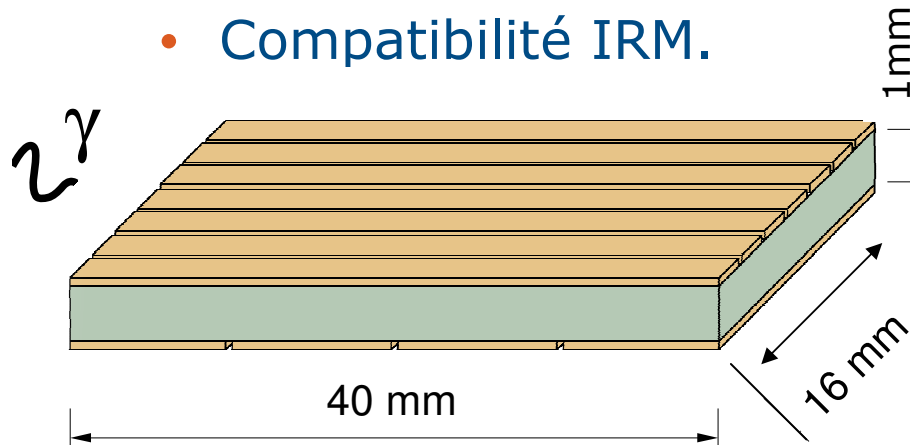
Preliminary !



Fin « Projet TEP LXe » Faisabilité OK !

Systèmes TEP Innovants – détecteurs semi-conducteurs

- Modélisation système – optimisation gamma caméra.
- Système de traitement associés.
- Validation de prototypes (détecteurs et électronique).
- Compatibilité IRM.



Détecteur élémentaire (CdTe)

Asic de traitement
Localisation + Energie

Financement : ANR, réseau TECSAN.

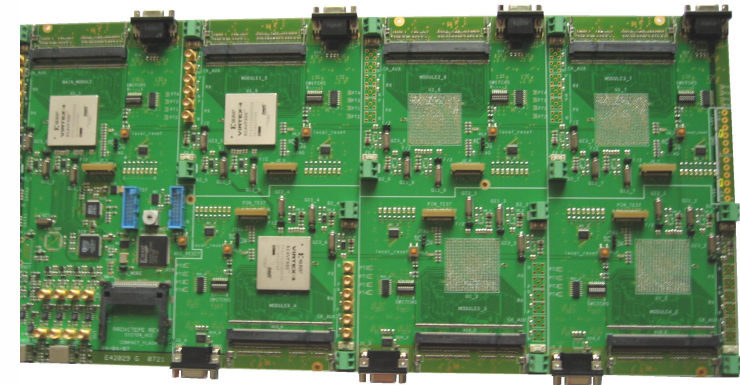
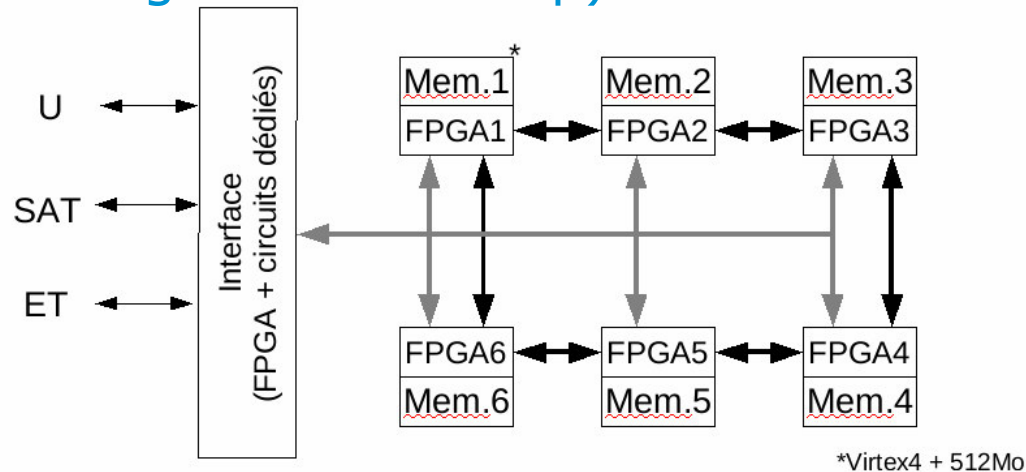
Collaboration : CEA-LETI; LPSC; CEA-SHFJ; LATIM; INSERM;.

Projet « Architep »

Systèmes matériels pour la reconstruction d'images TEP

- Adéquations Algorithmes-architectures matérielles.
- Adéquations Algorithmes-architectures de détecteurs.

Réalisation d'un prototype utilisant des SOPC (System On Programmable Chip)



Financement : BQR INPG; FITT.

Collaboration : LPSC; GIPSA-Lab; CERMEP.

3. Dosimétrie pour la radiothérapie

Projet « Profileur de faisceau de photons »



Liens LPSC / Service de radiothérapie du CHU de Grenoble

- 2004 : nouvelle formation à l'UJF : **M2 Physique Médicale**

Initiée par J. Balosso (oncologue radiothérapeute) et J-Y. Giraud (physicien médical)

Participation du LPSC (Y. Arnoud) aux enseignements physique des rayonnements ionisants & détecteurs utilisés en radiothérapie.

Nombreux échanges informels sur les techniques de radiothérapie. Idée de développement de détecteur de contrôle.

- 2005 - 2006 : cas de sur-irradiations à Epinal, à Toulouse...
- Mars 2009 : **le CS du LPSC accepte le projet de profileur de faisceau de photons**, visant à contrôler en temps réel le faisceau d'irradiation.

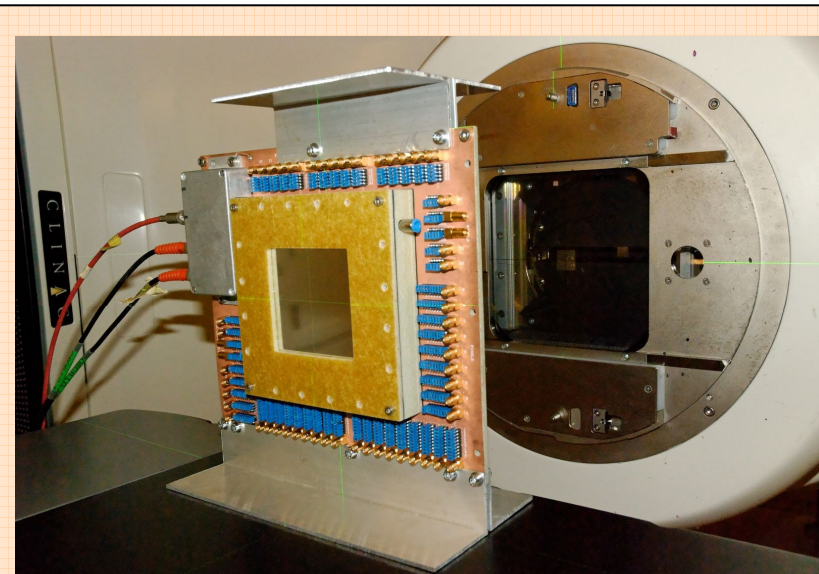
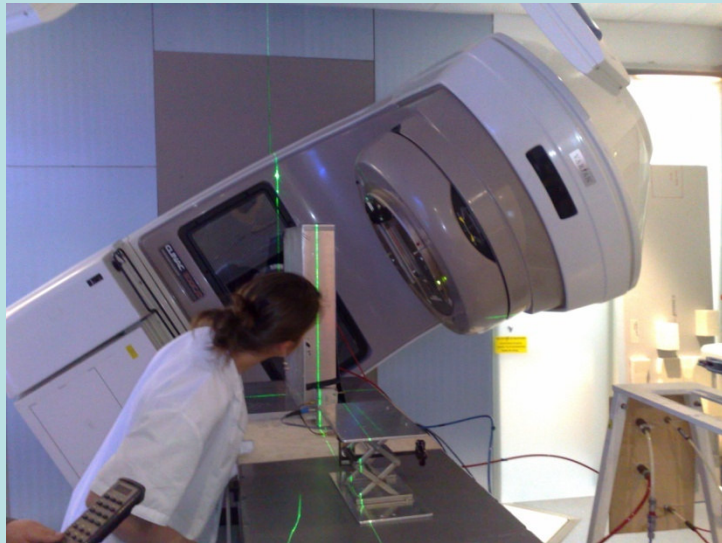
Ce projet bénéficie de la proximité et des compétences du service de radiothérapie.

Projet LPSC / service de radiothérapie du CHU / Unité INSERM U836

- Equipe locale :
 - Y. Arnoud (mdc), M-L. Gallin-Martel (CR), O. Rossetto (mdc)
 - I. Fonteille (doctorante) , thèse 2009-2012
 - B. Boyer (coordination technique), O. Guillaudin, A. Pelissier, J-L. Bouly
- Equipe CHU / Grenoble Institut Neurosciences INSERM U836 :
 - J-Y Giraud et R. Sihanath (physiciens médicaux)
- Financements et soutien :
 - GDR Mi2b: 4k€
 - Région Rhône Alpes : 20 k€
 - **Partenaire du projet national INSPIRA** (sûreté des procédés en installations en radiothérapie), financé par OSEO (4 millions d'euros, dont ~180 k€ pour le LPSC), consortium de 3 industriels et 10 partenaires scientifiques et cliniques. Budget LPSC et propriété intellectuelle gérés par FLORALIS.
 - Soutien du laboratoire : permet de bénéficier des **excellentes compétences des services techniques du LPSC**

Avancement :

Campagnes de mesures au CHU à l'automne 2009



Simulation et design d'un premier prototype
Réalisation achevée
Tests du prototype au CHU janvier 2010

Evolution à court terme du projet (2010 – 2012)

- Choix de la géométrie optimale après tests CHU & analyse
- Design électronique de lecture
- Réalisation d'un prototype de démonstrabilité
- Dépôt de brevet
- Intégration du détecteur dans la chaîne d'irradiation en radiothérapie

Le futur

- Profiter de la symbiose entre le LPSC et le service de radiothérapie du CHU de Grenoble
- Besoins avérés de nouveaux détecteurs : développements possibles (détecteur souple 2D contrôle du point d'entrée de la zone à irradier, dosimétrie de transit)
- Embauche d'un permanent (mdc / CR) + ingénieur (IR) pour aide au développement de détecteurs à visée médicale

Plasmas-Matériaux-Nanostructures

- Présentation du groupe Plasmas-Matériaux-nanostructures
- Bilans
 - Recherche
 - Valorisation
 - Formation
- Axes de recherche 2005-2009
- Projets de recherche 2009-2014

Membres du CRPMN



LACOSTE Ana	Professeur	UJF
PELLETIER Jacques	Directeur de recherche	CNRS
BÉCHU Stéphane	Chargé de recherche	CNRS
BÈS Alexandre	Ingénieur de recherche	CNRS
BONY Laurent	Technicien (60 %)	UJF
SIROU Jérôme	Ingénieur de recherche	CNRS CDD (2004-2006)
RAYAR Marius	IR Valorisation	CNRS CDD (2007-2008)
REGNARD Guillaume	IR Valorisation	CNRS CDD (2008-2009)
FURMOSO Julien	Technicien (60 %)	UJF CDD (2009)
SOUM-GLAUDE Audrey	Post-doc	CNRS CDD (2009-2010)
TRAN Tan Vinh	Doctorant UJF (décembre 2006)	
LATRASSE Louis	Doctorant UJF (décembre 2006)	
BUSANI Tito	Doctorant UJF (New Mexico University / septembre 2006)	
KOO Min	Doctorant UJF (décembre 2008)	
DIERS Mathieu	Doctorant UJF (CIFRE HEF 2007-2010)	
BOUDEMAGH Djalila	Doctorant UJF (cotutelle Institut Néel 2007-2010)	
LE QUOC Huy	Doctorant UJF (2008-2011)	
REGNARD Guillaume	Doctorant UJF (CIFRE THALES 2009-2011)	

Recherche

- 2003-2006 Région Rhône-Alpes (thématiques) 63 k€
- 2004-2007 3 contrats CEA Grenoble (SBT) 29 k€
- 2004-2007 STREP MATECO 224 k€
- 2006-2009 ANR blanc PLASMODIE 150 k€
- 2007-2008 Région Rhône-Alpes (CIBLE) 40 k€
- 2007-2010 LIA-LITAP 65 k€
- 2007- 2010 GDR ARCHES 1 k€
- 2008-2009 CEA Euratom-CNRS 25 k€
- 2008-2009 PEPS (interdisciplinaire ST2I-Chimie) 15 k€
- 2009-2011 ANR blanc ITER-NIS 163 k€
- 2009-2011 PICS Vietnam (LIA-FV PPL) 12 k€

Valorisation

- 2005-2006 HEF R&D 24 k€
- 2005-2009 TECHMETA (accueil) 12 k€/an
- 2008-2010 BOREAL (accueil) 3 k€/an
- 2006-2010 UJF (dotation Ministère pour l'ERT) 24 k€
- 2007-2010 ERT *Plasmas HF* (HEF R&D) 100 k€
- 2008 SAGEM 2 k€

Formations Plasma

- Formations initiales UFR de Physique (M1, M2, CESIRE) 13 k€/an
- Formations initiales Polytech, Phelma
- Formation continue (depuis 1985) et à la carte 2 k€/an
- Filière francophone Plasma - Vietnam (MIRA 2003 à 2008) 70 k€
- Ouvrage (J. Pelletier, M. Moisan-UdM) pour étudiants M1, M2

Collaborations

- INEEL-MCMF, LEPES, Nanofab, CEA-DRFMC/SBT (Grenoble)
- LAPLACE (Toulouse), LCAR (Toulouse), LIMHP (Paris 13), LPCI (Mans),
- CEA-IRFM (Cadarache)

Partenariats industriels

- HEF R&D (ERT)
- Thales – TED (dans le cadre du GIS TED-CNRS-UJF)
- Boreal Plasma (start up CNRS-UJF), Techmeta

Partenariats internationaux

- Université de Montréal (LIA-LITAP), INRS de Montréal
- Université de Danang (PICS Vietnam, MIRA, LIA-FV PPL, Laboratoire Plasma)
- TU/e Eindhoven (CEA-IRFM)
- Université de Danemark

Recherche

• Thèses (soutenues ou en cours)	8
• Publications (revues à comité de lecture)	19
• Conférences invitées	16
• Communications	28

Valorisation

• Brevets	5
• Licences CNRS-UJF	
• Création de start up (Boreal Plasma en 2005)	1
• Prix de Valorisation 2008 de l'IN2P3	
• Ingénieurs de Valorisation	2
• Bourses CIFRE (THALES, HEF)	2

▣ Physique et Ingénierie des plasmas micro-onde distribués

- Physique et Ingénierie des Réacteurs
- Physique, Ingénierie et Diagnostics des Plasmas

▣ Physique et Ingénierie des Matériaux en Couches Minces

- Matériaux nano-structurés
- Matériaux pour la conversion d'énergie

□ Physique et Ingénierie des plasmas micro-onde distribués

➤ Physique et Ingénierie des réacteurs

- Plasmas multi-dipolaires (**MATECO 2004-2007 et ERT 2007-2010**)
- Plasmas matriciels (**MATECO 2004-2007**)
- Plasmas à conditions opératoires étendues (**ANR blanc PLASMODIE 2006-2009**)

➤ Physique, Ingénierie et Diagnostics des Plasmas

- Nettoyage des réacteurs plasma (**MATECO et ERT Plasmas HF**)
- Polarisation des surfaces par injection d'électrons
- Production d'espèces (H , H^+ , H^-) dans les plasmas d'hydrogène
 - **ANR blanc PLASMODIE 2006-2009**
 - **ANR blanc ITER-NIS 2009-2011**
 - **GDR ARCHES 2007-2010**

□ Physique et Ingénierie des Matériaux en Couches Minces

➤ **Matériaux nano-structurés** (échelle micro-nanométrique)

- Micro-nanostructures magnétiques par implantation ionique par immersion plasma (**INEEL-MCMF**)
- Effets de dopage et de température en gravure plasma (en prolongement du contrat **RRA 2001-2004**)
- Stérilisation plasma (**LIA-LITAP / UdM**)

➤ **Matériaux pour la conversion d'énergie**

- Matériaux à mémoire de forme magnétique (**Schneider Electric**)
- Matériaux à forte capacité calorifique (**CEA-DRMF/BT**)
- Matériaux thermoélectriques (**INEEL-MCMF**)

□ **Physique et Ingénierie des plasmas micro-onde distribués**

- **Physique et Ingénierie des Réacteurs**
- Physique, Ingénierie et Diagnostics des Plasmas

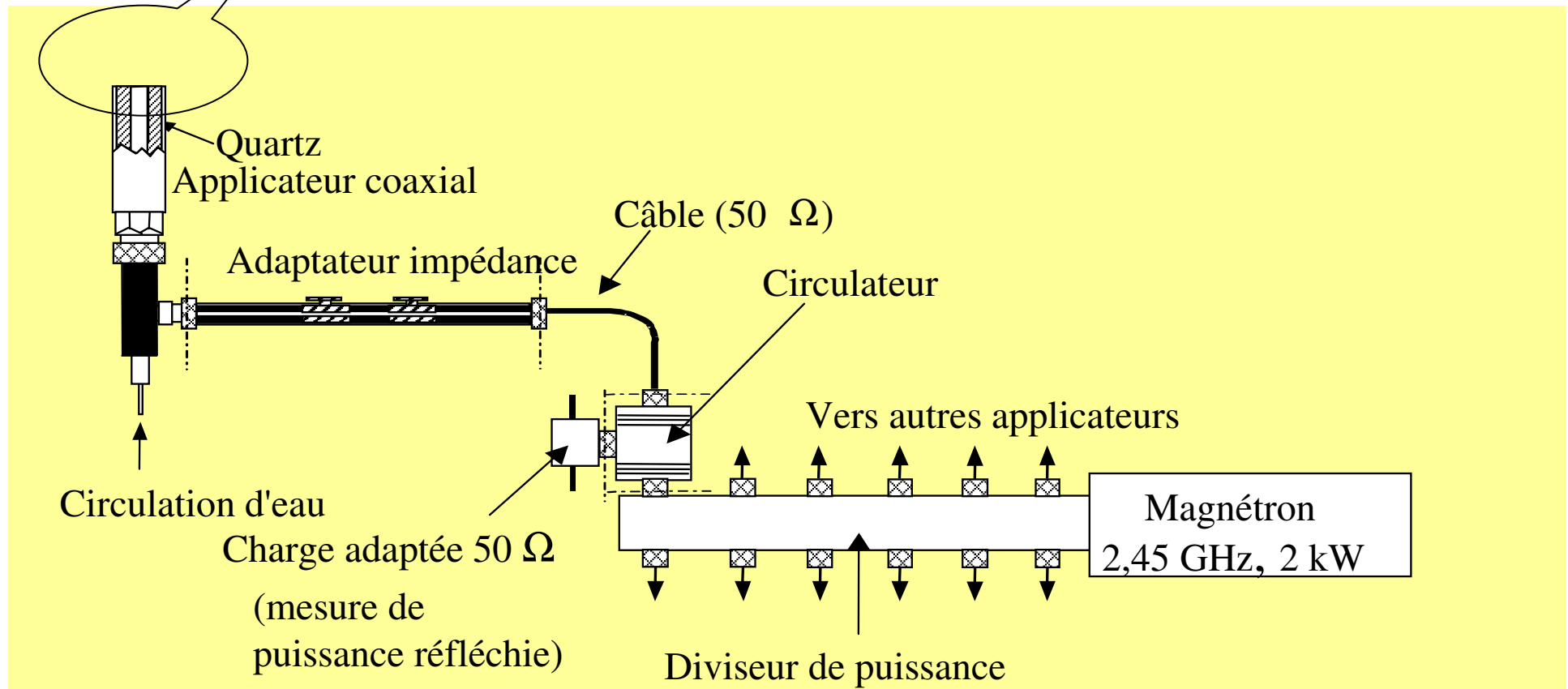
□ **Physique et Ingénierie des Matériaux en Couches Minces**

- Matériaux nano-structurés
- Matériaux pour la conversion d'énergie

Plasmas Micro-onde Distribués

(concept depuis 1985)

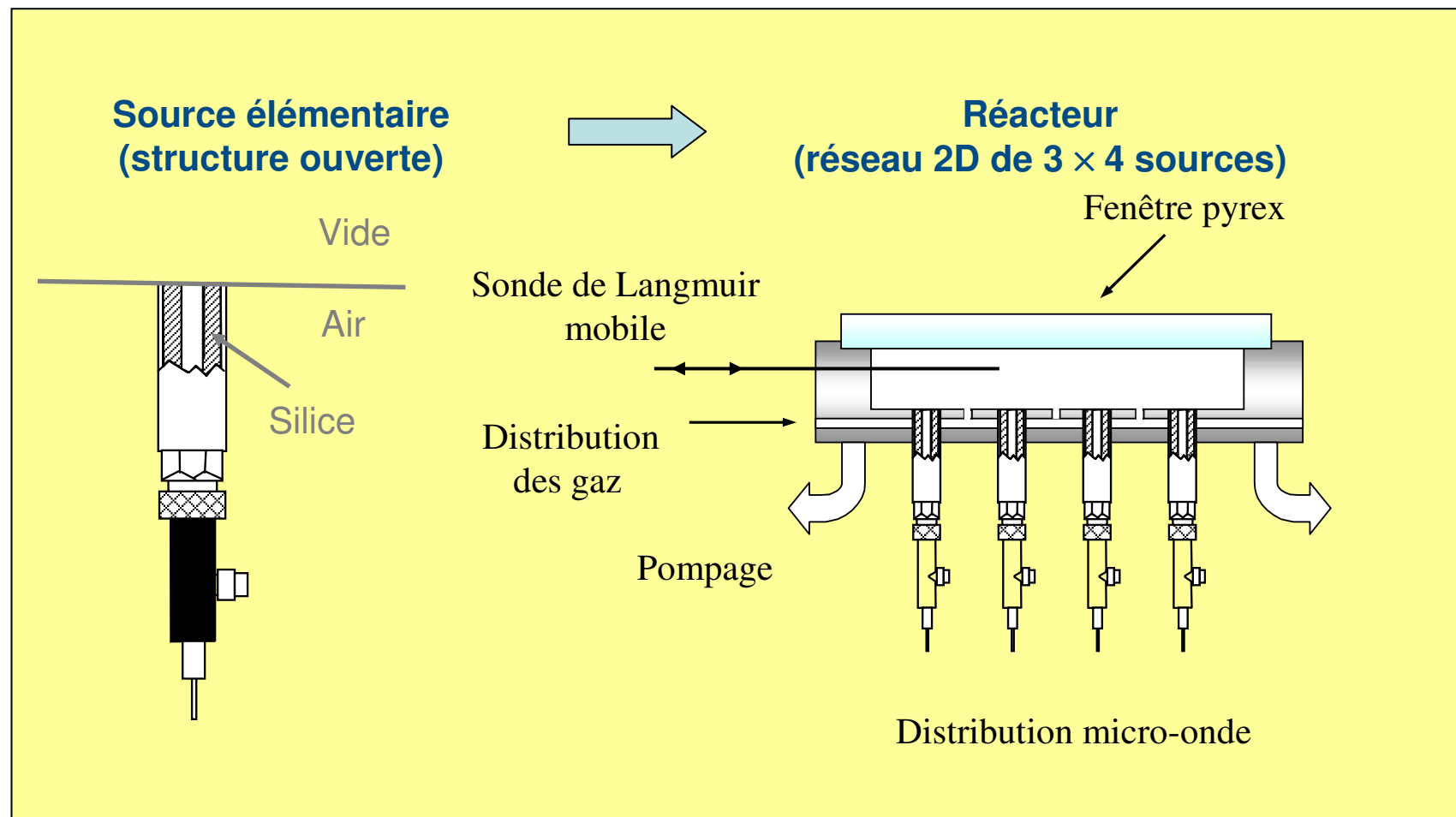
Source plasma élémentaire \Rightarrow absorption localisée de l'onde
($n > n_c = 8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ à 2,45 GHz)



Plasmas matriciels - Configuration 2D

(thèse L. LATRASSE 2003-2006)

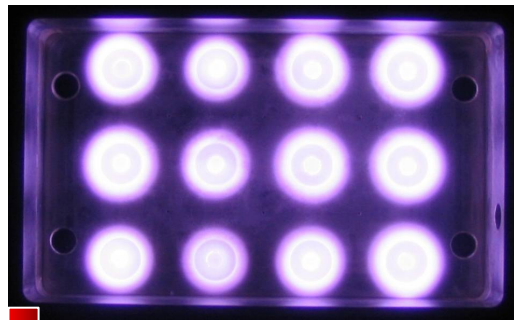
Pas de champ magnétique ($B = 0$) \Rightarrow couplage collisionnel



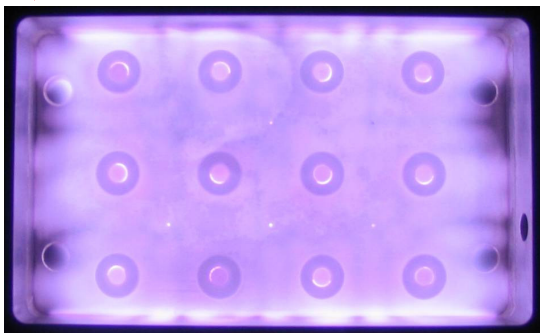
Plasmas matriciels - Configuration 2D

(thèse L. LATRASSE 2003-2006)

- **Domaine du torr (mbar, 100 Pa)**
- **Densité plasma $n = 10^{12}$ à 10^{13} cm^{-3}**



Plasma localisé (500 W)



Plasma uniforme (1500 W)

- **Séparation des fonctions**

- Production plasma / Paramètres procédé

- **Extension d'échelle**

- Pas de couplage EM entre sources
- Pas de problème d'adaptation d'impédance
- Uniformité du plasma (3,5 %) à partir du plan source > à 20 mm

- **Procédés haute densité**

- Pas de limitation liée à la propagation d'ondes (absorption localisée de l'onde)

- **Procédés pression intermédiaire ⇒ Procédés PACVD à grande vitesse**

- Dépôts matériaux anticorrosion (TMS-O₂, TMS-N₂)
- Dépôt de diamant poly-cristallin (H₂-CH₄) à basse pression
- Enlèvement de résine en plasma O₂ ou H₂

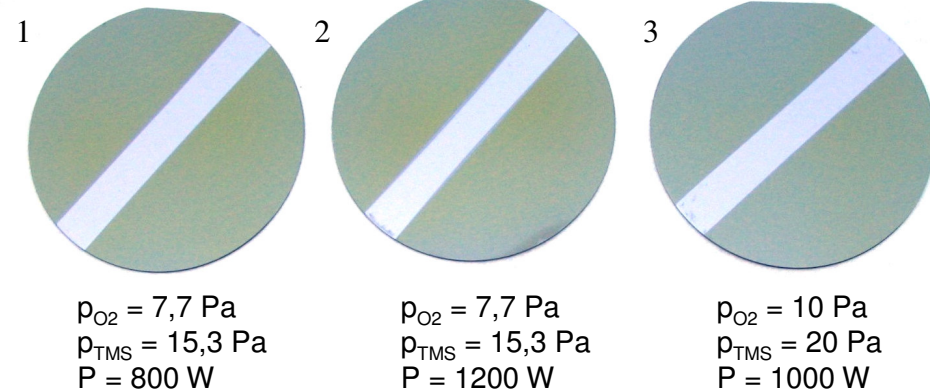
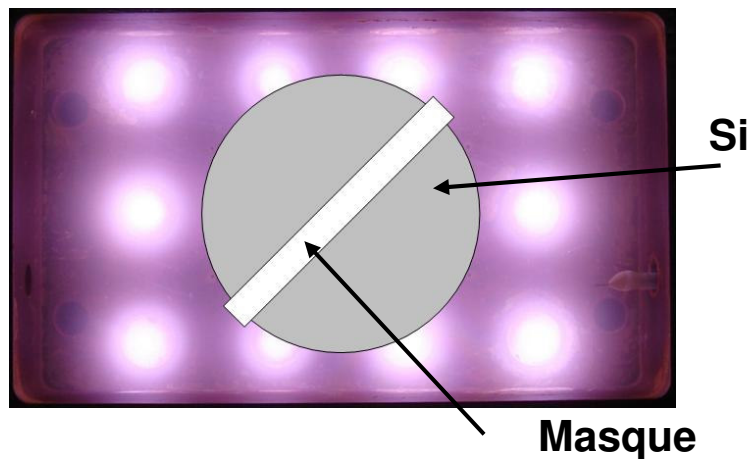
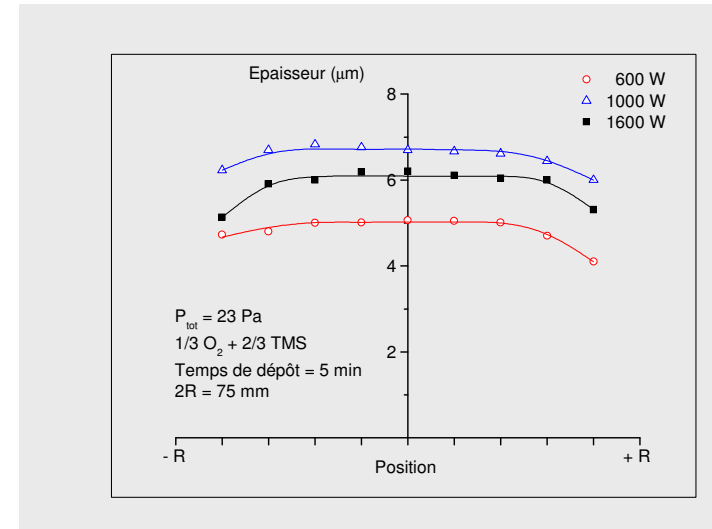
Matériaux en Couches Minces

(STREP MATECO 2004-2007)

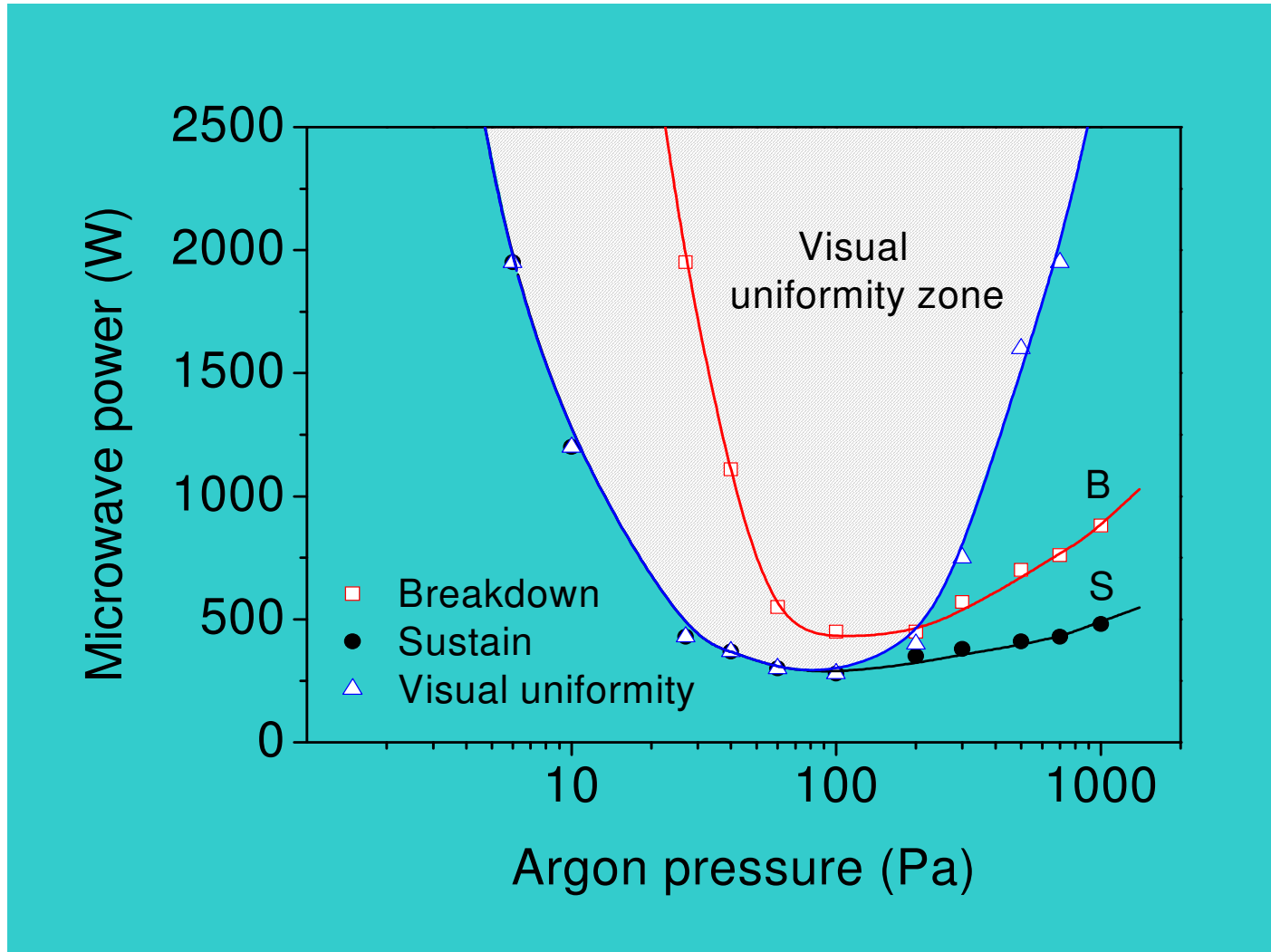
Plasmas matriciels : technologie adaptée aux procédés rapides

Dépôt SiOCH (TMS-O₂)

- Grande vitesse de dépôt
 - 1,4 μm / min sur Si (x = 40 mm)
 - 2 μm / min sur inox (x = 30 mm)
- Uniformité (5 %)



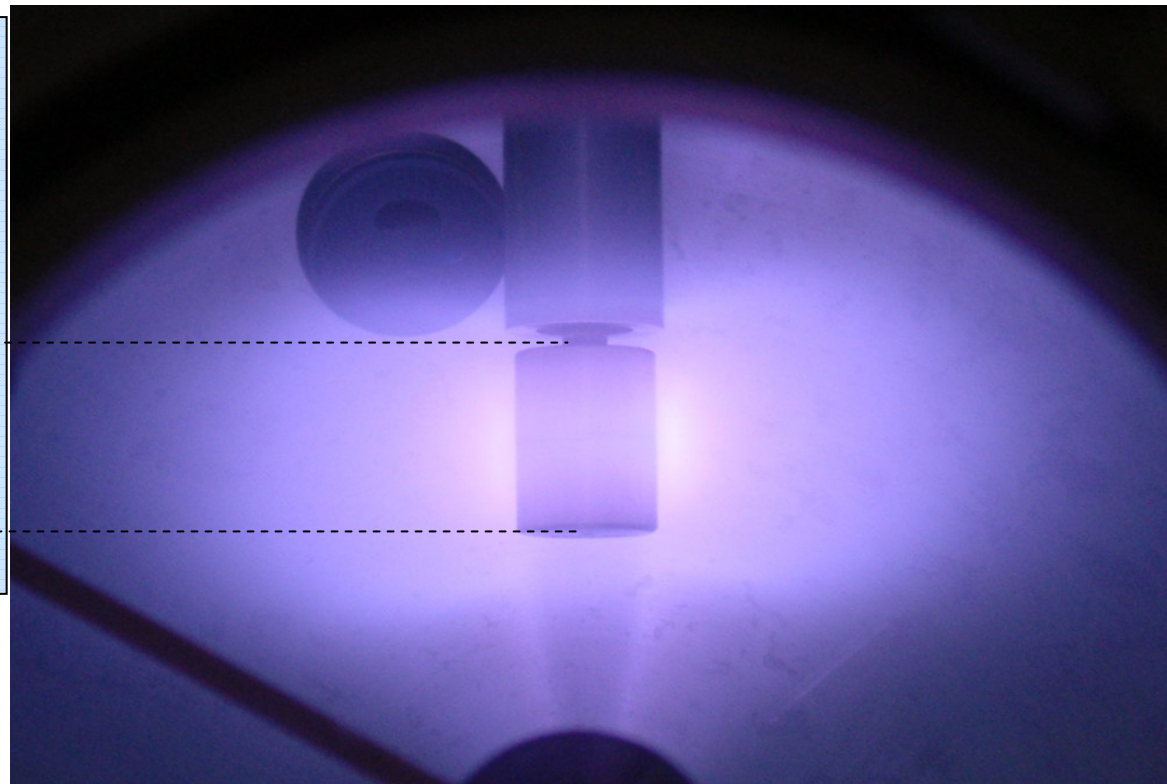
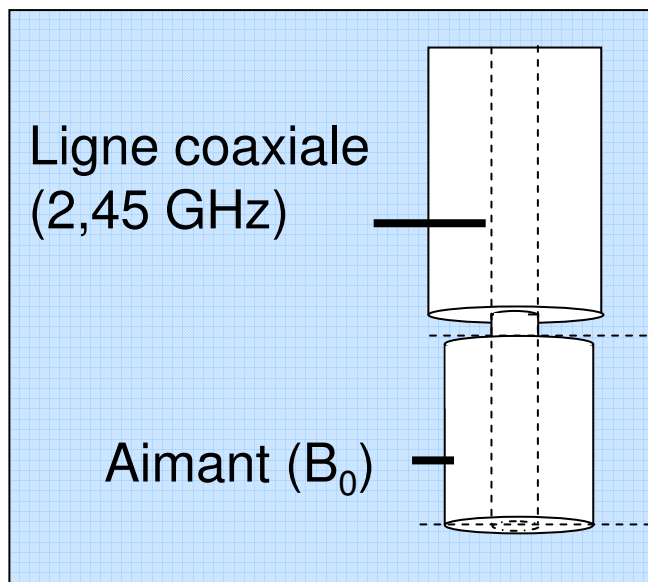
Plasma matriciel : domaine opératoire



Plasmas multi-dipolaires / Source plasma élémentaire (thèse T.V. TRAN 2004-2006)

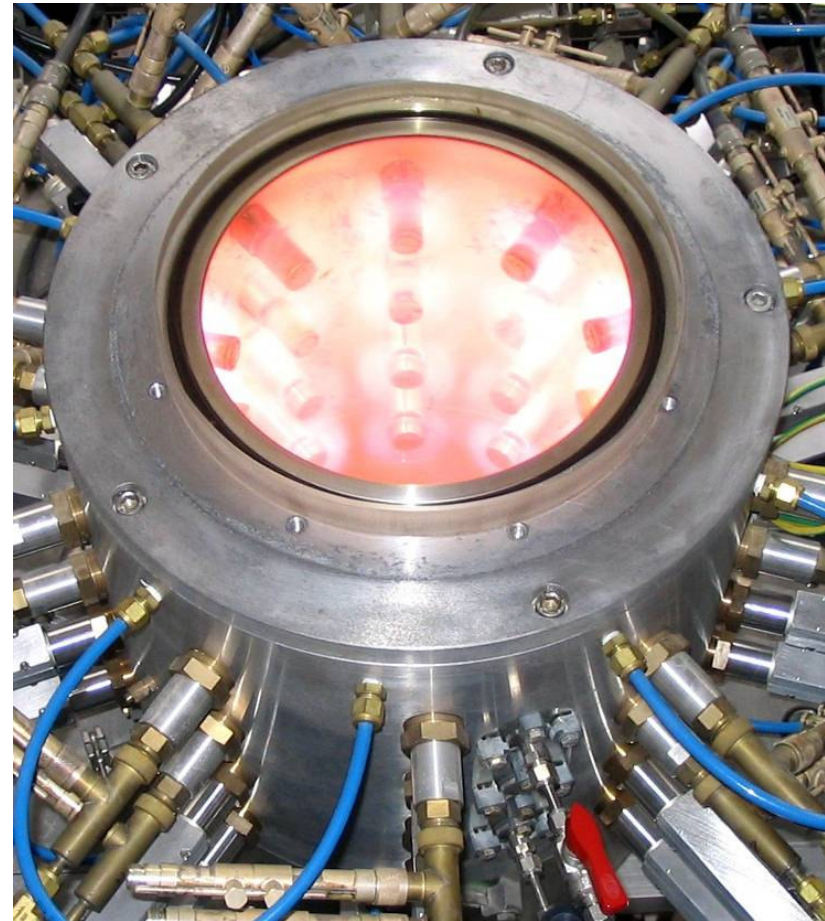
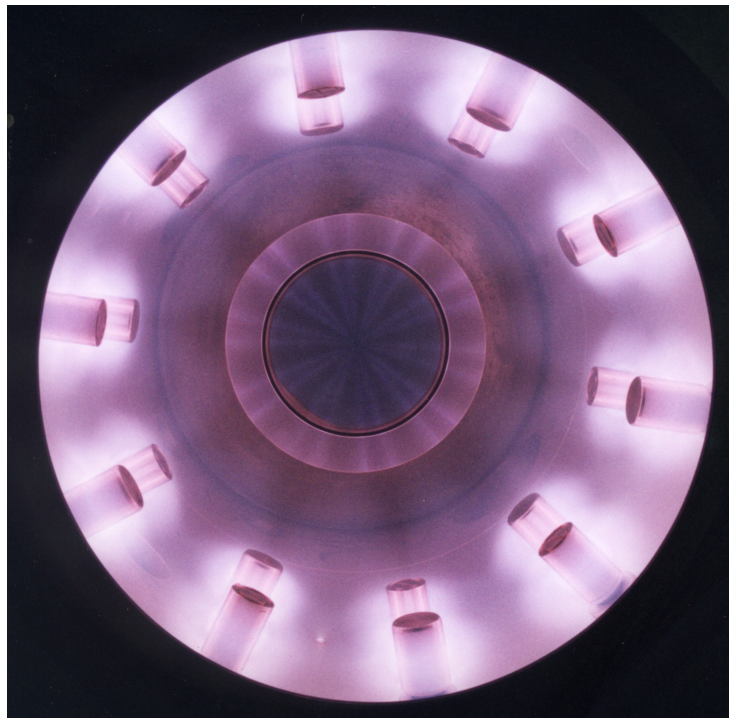
Dipôle magnétique à l'extrémité d'une ligne micro-onde coaxiale

- Couplage résonnant RCE ($B_0 = B_{RCE}$) avec $B_{RCE} = 875$ gauss pour $f = 2,45$ GHz)
- Piégeage (B_0) / Dé-piégeage (collisions)



Plasmas multi-dipolaires / Configuration 3D cylindrique (thèse T.V. TRAN 2004-2006)

- Domaine du mtorr (μbar ou 0,1 Pa)
- Densité plasma $n = 10^{11}$ à 10^{12} cm^{-3}



Plasmas multi-dipolaires

Avantages et intérêt pour les applications

- **Séparation des fonctions**

- Production plasma
- Paramètres procédé

- **Extension d'échelle**

- Pas de couplage EM entre sources

- **Procédés haute densité**

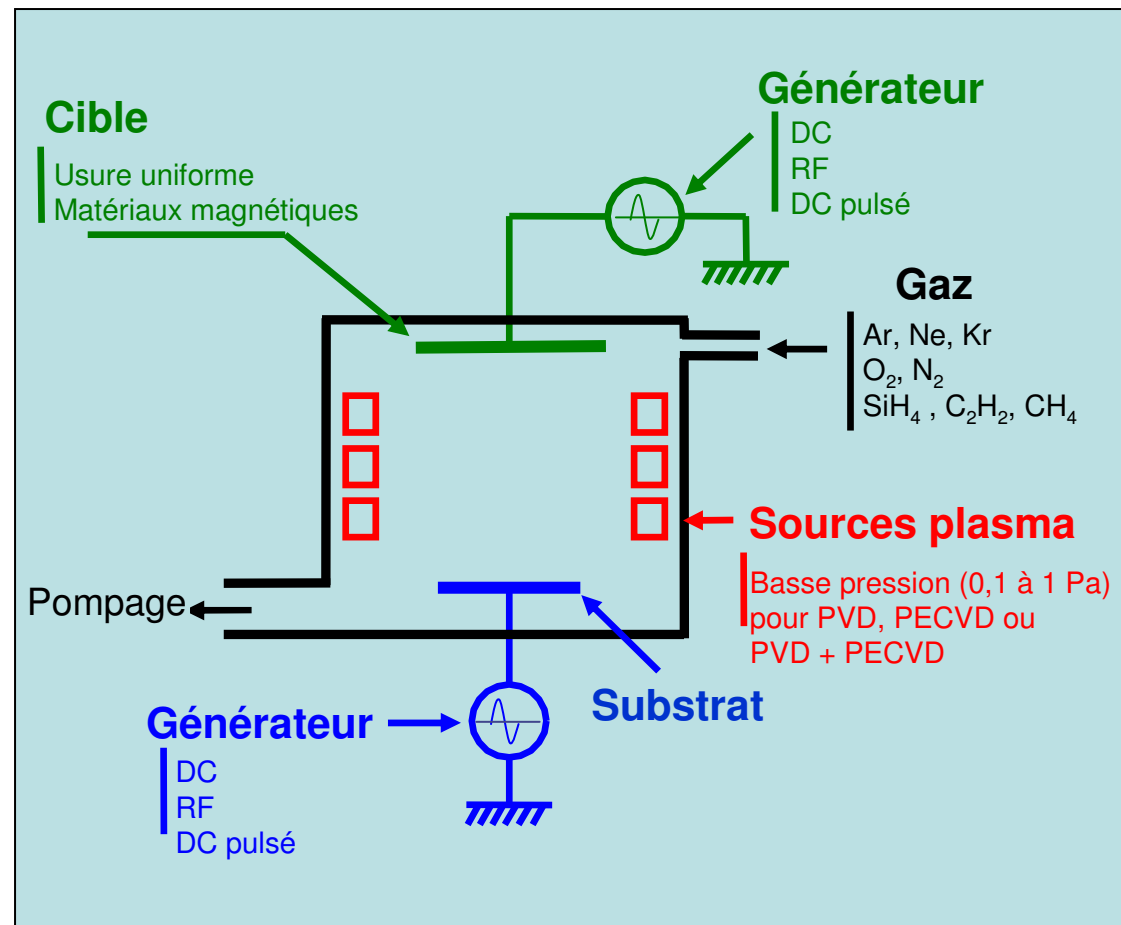
- Pas de limitation liée à la propagation d'ondes

- **Cible / Substrat**

- Simplicité
- Matériaux magnétiques
- Co-pulvérisation
- Usure uniforme des cibles

- **Procédés basse pression**

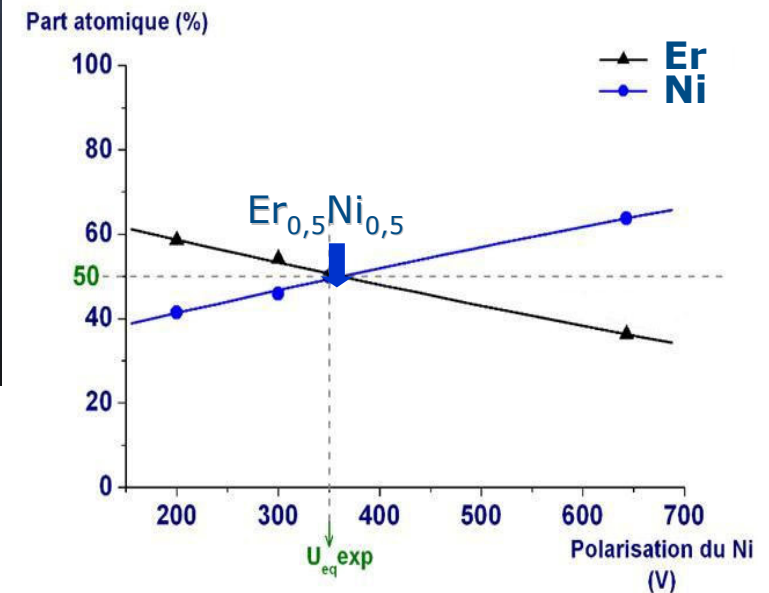
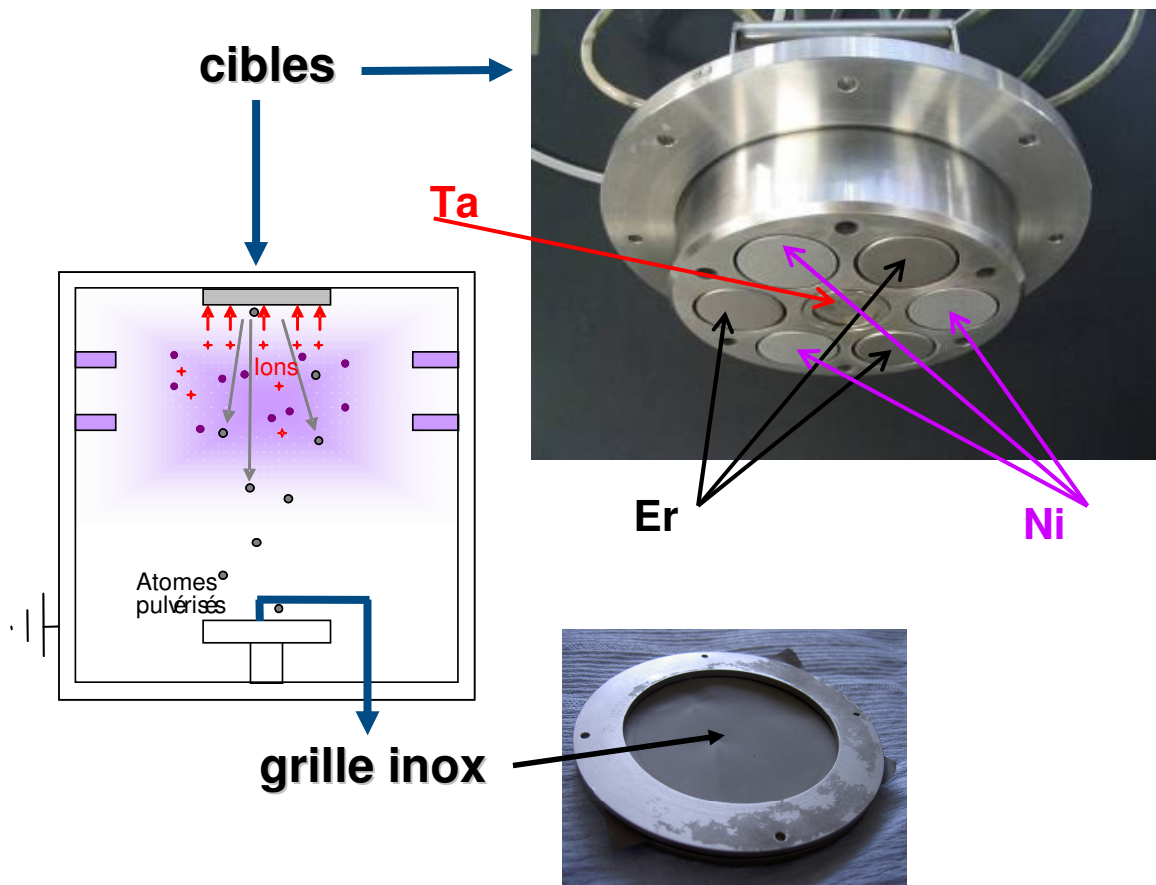
- PAPVD, PAS
- PACVD
- Duplex et/ou séquentiels



Matériaux en couches minces à forte capacité calorifique

Plasmas multi-dipolaires : technologie adaptée au dépôt d'alliages intermétalliques à stœchiométrie contrôlée

Er-Ni pour cryoréfrigérateur à pulsation à $T < 20$ K (CEA-DRFMC/SBT)



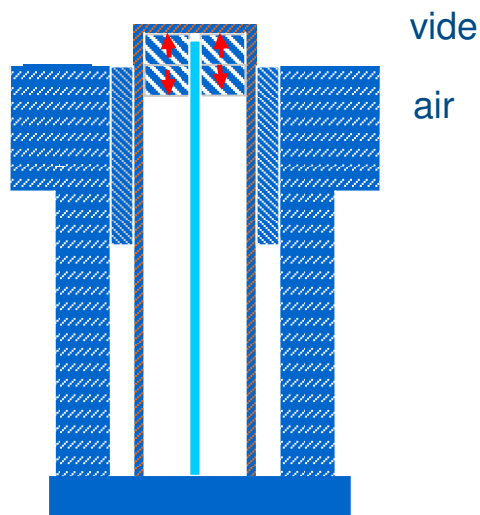
Contrôle de la stœchiométrie des alliages par contrôle de la tension de polarisation

Plasma à conditions opératoires étendues

(ITA valorisation 2008-2009 → thèse CIFRE 2009-2011)

- **Domaine de 0.1 mtorr à 10 torr**
- **Densité plasma $n = 10^{11}$ à 10^{12} cm⁻³**

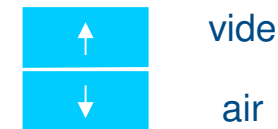
Configuration
Source élémentaire



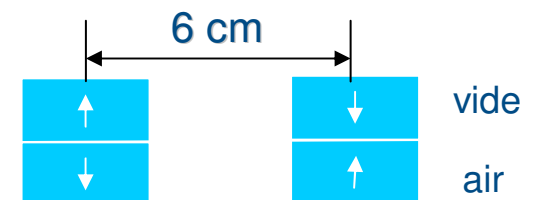
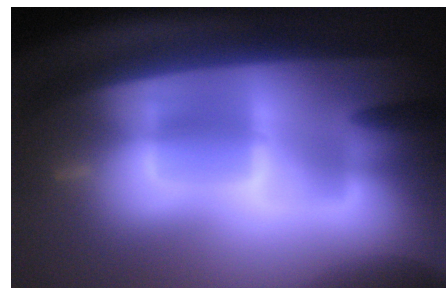
1 source élémentaire



Aimantation
tête-bêche



2 sources élémentaires



ANR blanc PLASMODIE (2006-2009) ⇒ Domaine d'applications élargi

□ Physique et Ingénierie des plasmas micro-onde distribués

➤ Physique et Ingénierie des réacteurs

- Plasmas multi-dipolaires (**MATECO 2004-2007 et ERT 2007-2010**)
- Plasmas matriciels (**MATECO 2004-2007**)
- Plasmas à conditions opératoires étendues (**ANR blanc PLASMODIE 2006-2009**)

➤ Physique, Ingénierie et Diagnostics des Plasmas

- Nettoyage des réacteurs plasma (**MATECO et ERT Plasmas HF**)
- Polarisation des surfaces par injection d'électrons
- Production d'espèces (H , H^+ , H^-) dans les plasmas d'hydrogène
 - **ANR blanc PLASMODIE 2006-2009**
 - **ANR blanc ITER-NIS 2009-2011**
 - **GDR ARCHES 2007-2010**

Plasmas d'hydrogène

(ANR blanc PLASMODIE 2006 - 2009)



- **Contexte scientifique**

- Dépôt de diamant (H_2-CH_4) à haute pression (100 torr) \Rightarrow dépôt /petite surface
- Taux de dissociation de l'hydrogène $H_2 \rightarrow H$ (10 % - plasma en cavité, 100 torr)

- **Objectif**

- Extension d'échelle sans diminution du taux de dissociation $H_2 \rightarrow H$

- **Étude fondamentale** (Ar, O_2 , TMS- O_2 , TMS- N_2 , H_2)

- Domaine opératoire, paramètres électriques et composition chimique du plasma
- Mécanismes de production d'espèces

- **Moyens expérimentaux et théoriques**

- Caractérisation électrique locale et/ou spatiale
- Caractérisation optique (spectroscopie d'émission, d'absorption)
- Modélisation

- **Résultat de l'étude**

- Taux de dissociation = 50 % à 30 Pa (0,2 torr)

Plasmas d'hydrogène

(ANR blanc ITER-NIS 2009 - 2011)



- **Contexte scientifique ITER**

- Chauffage du plasma de fusion par injection des neutres (conversion $H^- \rightarrow H_0$)

- **Objectif**

- Optimisation de la production des ion négatifs H^- , D^- dans les plasmas H_2 , D_2

- **Étude fondamentale**

- Mécanismes de production et de pertes des espèces (H^- , $H_2(v'' > 4)$) en volume et en surface

- **Moyens expérimentaux et théoriques**

- Diagnostique électrostatique (sonde de Langmuir)
 - Photo-détachement 1 laser (mesure $[H^-]$) et 2 laser (mesure T_{H^-})
 - Spectroscopie d'émission (coefficient de recombinaison)
 - LIF-VUV $H_2(v'' > 4)$ (Eindhoven)
 - Modélisation plasma / mécanismes de surface (LAPLACE, LIMHP)
- } LPSC

- **Résultats préliminaires**

- Influence de la surface sur la production de $[H^-]$ (augmentation de 50%)
- Technique de détermination de $[H]$ par OES

Physique et Ingénierie des Plasmas Micro-onde Distribués

- **Plasmas à conditions opératoires étendues** (pression, large bande)
 - Applications aux procédés séquentiels
- **Contrôle de la FDEE** (fonction de distribution en énergie des électrons)
 - Applications (T_e faible, T_e élevée)

Physique et Ingénierie des Matériaux en Couches Minces

- **Matériaux composites nano-structurés**
 - Matériaux à forte constante diélectrique (capacités de forte puissance)
- **Matériaux pour l'énergie**
 - Matériaux thermoélectriques
 - Matériaux pour le stockage de l'hydrogène
- **Traitement des poudres**
 - Capteurs à polymères, Stockage de l'hydrogène, Poudres magnétiques)
 - Projets thématiques : UJF-Fédération Matière-Nanophysique
 - Partenariat : INEEL Grenoble, INRS Montréal, Université du Maine