

CERN – OPENMED
et
Structuration de la Recherche en
Rhône-Alpes - Auvergne

Denis Dauvergne
IPNL

CERN - Hadonthérapie

- Conception du PIMMS (CNAO, MedAustron...)
- Réseau ENLIGHT (depuis 2002)
 - 20 pays, ~ 300 personnes
 - Coordination de projets européens



- Conférence PHE depuis 2010
 - ICTR-PHE depuis 2012



The CERN Initiatives

- Radio-Isotopes (imaging and possibly treatment)
- Detectors for beam control and medical imaging
Diagnostics and Dosimetry (pot) for control of radiation
- Biomedical Facility
 - creation of a facility at CERN that provides particle beams of different types and energies to external users for radiobiology and detector development
 - Iterative experimental verification of simulation results
- Large Scale Computing and data (simulations, treatment planning telemedicine etc)
- Computer Simulations for Medical Applications
- New Medical Accelerator Design
 - coordinate an international collaboration to design a new compact, cost-effective accelerator facility, using the most advanced technologies
- “Other” Applications; Ablative Therapies...

Members of the ISC

chair



	Surname	First Name	Institute	Country	Speciality
1	Amaldi	Ugo	TERA	Italy	Physicist
2	Baumann	Michael	Dresden	Germany	Radiobiology
3	Debus	Jurgen	HIT	Germany	Physics
4	Del Guerra	Alberto	Uni Pisa	Italy	Physics
5	Dosanjh	Manjit	CERN	Switzerland	biology
6	Durante	Marco	GSI	Germany	Radiobiology
7	Overgaard	Jens	Aarhus	Denmark	Radio-oncology
8	Hausterman	Karin	Leuven	Belgium	Radio-oncology
9	Hoeschen	Christoph	Munich	Germany	Radiology
10	Lambin	Philippe	Maastro	Netherland	Medicine
11	Lewensohn	Rolf	Karolinska	Sweden	Physicist
12	Mayer	Ramona	Med-austron	Austria	Radio-oncology
13	Mazal	Alejandro	Institut Curie	France	Physicist
14	Mohan	Radhe	MDAnderson	USA	Radio-oncology
15	Myers	Stephen	CERN	Switzerland	Accelerators
16	Orecchia	Roberto	CNAO	Italy	Medicine
17	Prior	John	CHUV	Switzerland	Radio-oncology
18	Prise	Kevin	QUB	UK	Radiobiology
19	Schippers	Marco	PSI	Switzerland	Physicist
20	Townsend	David	NUHS	Singapore	Physics
20	Tsujii	Hirohiko	NIRS	Japan	Radio-oncology
21	Waligorski	Mike	INP, Krakow	Poland	Physics
22	Zhang	Shen	Shanghai	China	Medicine
23	Poetter	Richard	Vienna	Austria	Medicine
24	Bhadrasain	Vikram	Washington	USA	Medicine
25	Jones	Bleddyn	Oxford	UK	Radio-oncology

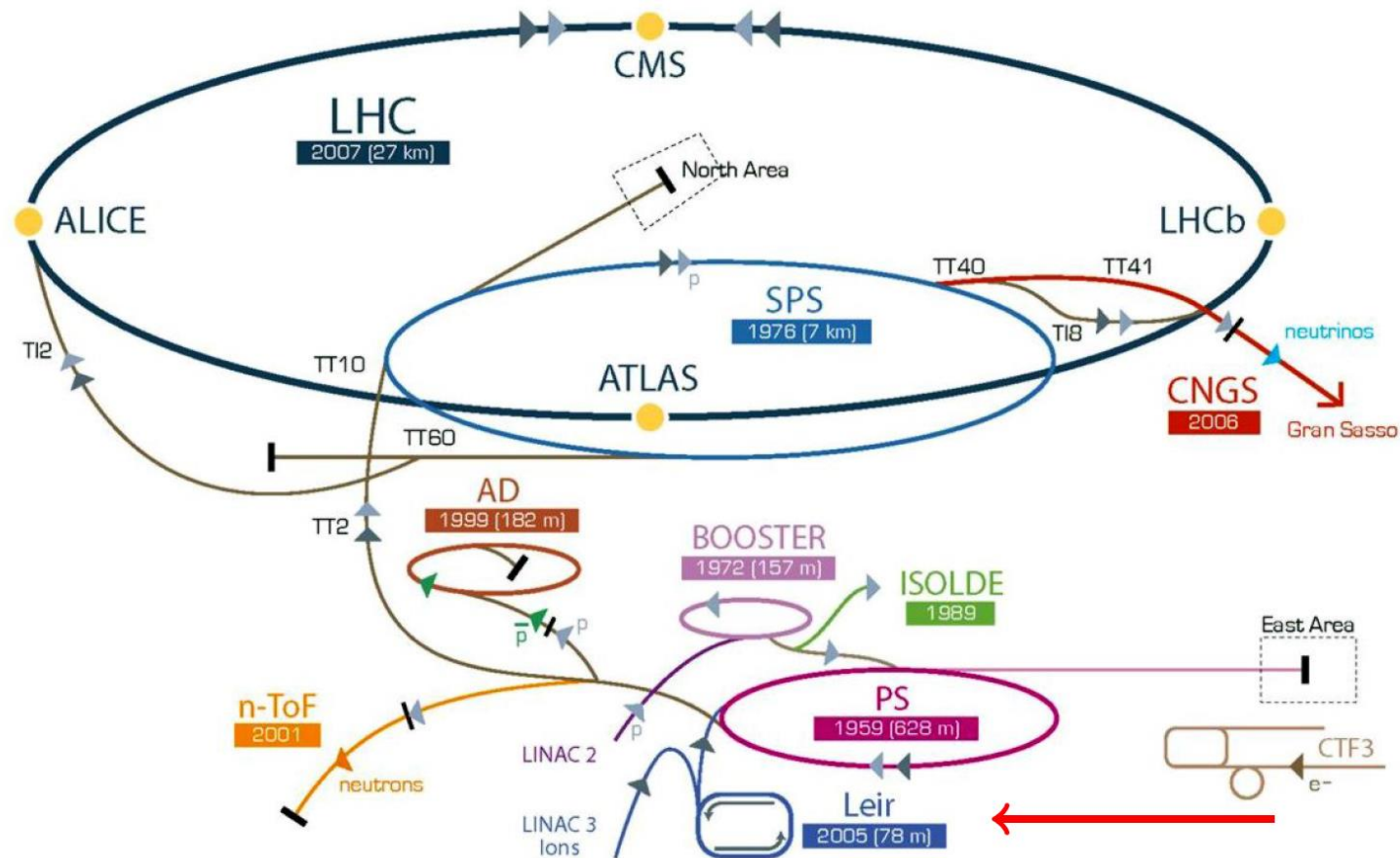
BioLEIR – OPENMED

Motivations

- Besoin d'expérimentation sur faisceau d'ions
 - Autres faisceaux que p et C, aux énergies d'intérêt pour l'hadronthérapie
 - Faisceaux difficilement accessibles en Europe sur accélérateurs de recherche et cliniques
 - Dispersion des résultats en radiobiologie: besoin d'un environnement expérimental commun
 - Plateforme dédiée à la recherche, avec les conditions d'irradiation clinique
- Collaboration internationale: expérimentation, instrumentation, modélisation, simulations

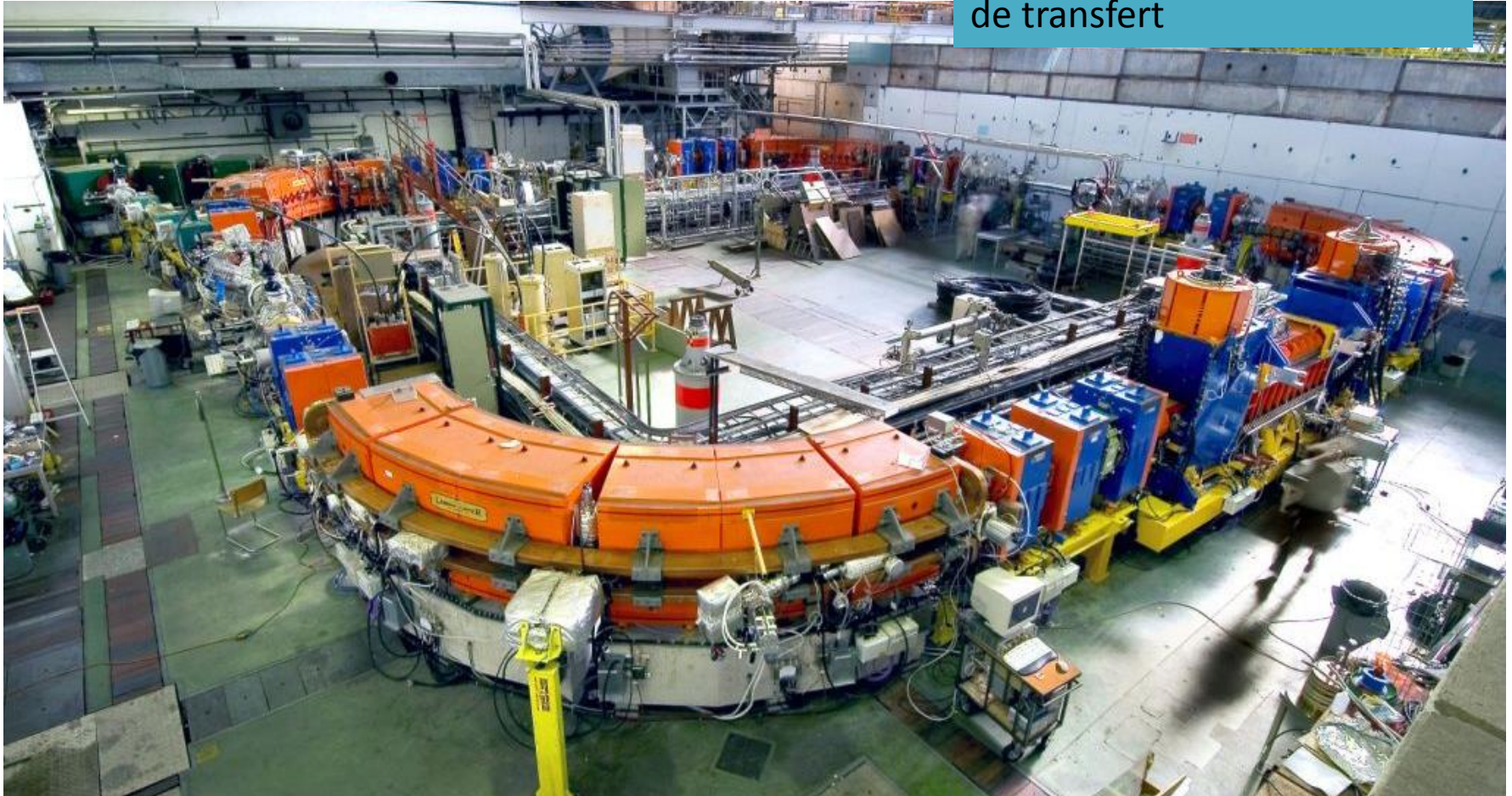
LEIR (Low Energy Ion Ring)

- Utilisé pour injection des faisceaux Pb dans PS, libre le reste du temps
- Energie adaptée aux études pour l'hadronthérapie
- Hall Sud: 1500 m² pour accueil lignes expérimentales, labos bio



LEIR

Nouvelle extraction et ligne
de transfert



Circonférence ~ 78 m

=> Actuellement utilisé à 72 MeV/u , peut atteindre 230 MeV/u pour C^{6+}

=> 435 MeV/u avec nouvelles alimentations.

Développements

- Source: ECR Supernanogan-Pantechnik (2015)
- LINAC5 à l'étude (RFQ), emplacement LINAC2
- Ions H à Ne, $q/M = 1/2, 1/3, 1/4$
- Sur LEIR: contrainte: pas de perturbation sur faisceaux Pb
 - Alimentations aimants: $B\rho_{\max}$: 4,7 à 6,7 Tm → 440 MeV/u
 - Extraction lente (RF knock-out): éléments existants + septum magnétique, correcteurs d'orbitales
- Ligne d'extraction et transfert: des études réalisées, à préciser selon besoins utilisateurs
- Deux lignes d'irradiation: horizontale et verticale
- Radioprotection: couvrir le hall?

Conclusions - OPENMED

- **Priorité affichée** de CERN Medical Applications
- Objectif: rédaction d'un **Technical Design Report fin 2016**
- Workpackages en cours de constitution:
 - Source
 - LINAC
 - LEIR (injection – extraction)
 - Lignes de faisceau
 - Terminaux d'irradiation et équipements radiobiologie
 - Contrôle de l'irradiation, diagnostics
 - Radioprotection
 - **Toute aide extérieure est bienvenue** (S. Myers)
- Opportunité pour les équipes françaises:
 - Faisceau effectivement disponible ~80% du temps
 - Possibilité d'accueil d'expériences longues (équipements lourds) ou répétitives (radiobiologie)
 - Environnement international stimulant
 - Possibilité de contribuer dès maintenant

Structuration de la recherche Hadronthérapie – radiothérapies innovantes Rhône-Alpes - Auvergne

Contexte historique

- projet ETOILE et programme de recherche PRRH (2002-2013)
 - ~15 labos, ~80 chercheurs, interdisciplinaire
 - Programme scientifique:
Projet médical, simulations médico-économiques, modélisation thérapeutique in silico, données physiques de base et contrôle en ligne, radiobiologie, simulation du dépôt de dose pour les TPS, organes et tumeurs en mouvement, développements technologiques
- Bilan:
 - Structuration d'une communauté interdisciplinaire
 - Fondatrice de l'infrastructure France Hadron
 - Intégrée dans un LabEx
 - Financements Régionaux (thèses, équipements)
 - Production scientifique et reconnaissance
 - Rapports annuels
 - ~140 articles, ~100 conférences internationales, 5 HDR, 26 thèses
 - 2 postes Pr, 3 postes McF
 - Ouverture Nationale et Internationale
 - Membre fondateur du réseau ENLIGHT
 - Participation aux projets européens ULICE, PARTNER, ENVISION, ENTERVISION
 - Collaborations internationales: Munich, HIT, MedAustron, IBA...

Structuration de la recherche

France Hadron

- WP1: Recherche clinique
- WP4: Qualité du traitement
- WP3: Radiobiologie
- WP2 : Planification de Traitement

PRRH

- Th 1,2,3: Etudes et projet médicaux
- Th 4: données physiques de base et contrôle en ligne
- Th 5 : Radiobiologie
- Th 6 : Planification de traitement
- Th 7 : Organes en mouvement

PHRC

Recherche médicale

Labex PRIMES

- WP1: Instrumentation – radiothérapies innovantes
- WP3 : Radiobiologie
- WP5 : Modélisation, Simulations
- + WP2,4: Imageries innovantes, Traitement de l'image

Réseau européen ENLIGHT

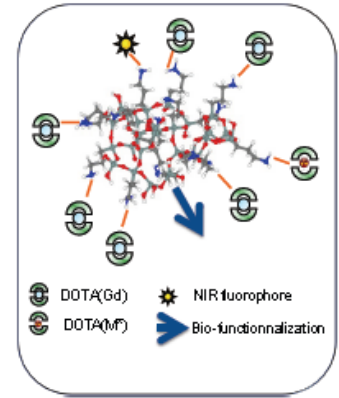
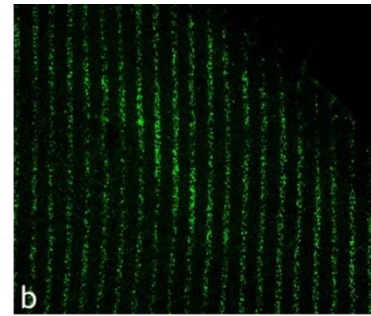
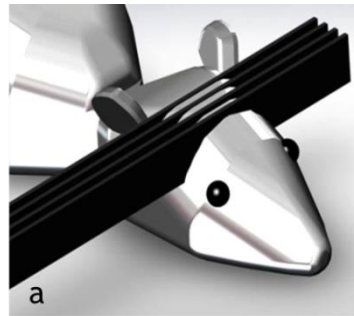
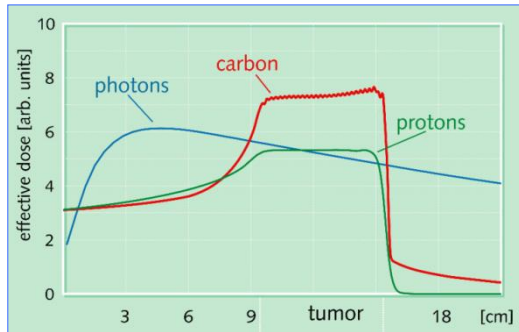
LabEx PRIMES : Physique, Radiobiologie, Imagerie MEdicale & Simulation

- Objectifs
 - Développement de nouveaux concepts et méthodes en imagerie et radiothérapie pour l'exploration, le diagnostic et la thérapie des cancers et des pathologies du vieillissement
- Structuration de la recherche
 - Rassembler une communauté multidisciplinaire, améliorer les échanges et collaborations entre partenaires
(physique, instrumentation, radiobiologie, acquisition, reconstruction et traitement d'images, simulation et modélisation, calcul parallèle)
 - 16 partenaires, ~188 chercheurs, 114 ETP
 - 4 sites: Lyon, St Etienne, Clermont, Grenoble

LabEx PRIMES : Radiothérapies innovantes

Maximiser la dose dans la tumeur / Minimiser la dose aux tissus sains

- Hadronthérapie, Micro-faisceaux RT, PAT-Z

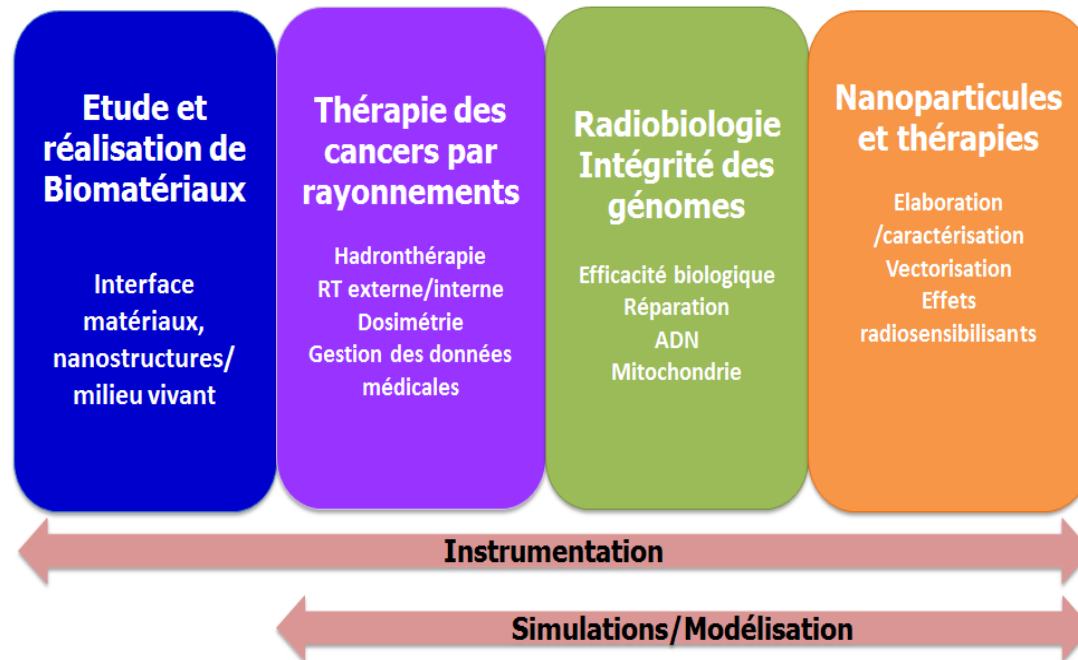


- **Instrumentation** : Outils pour améliorer l'Assurance Qualité
- **Radiobiologie** : Comprendre et prédire l'efficacité biologique
- **Simulation/Modélisation** : Améliorer la planification de traitement

Les laboratoires IN2P3 régionaux

- LPC-Clermont:

2015: fusion avec 3 labos → pôle Santé, 4 thèmes



Radiothérapies innovantes: 32 personnes, 11 ETP

Plateforme PAVIRMA: RX, projet neutrons

Les laboratoires IN2P3 régionaux

- IPN-Lyon:

Pôle Sciences des Radiations → faisceaux d'ions

- ACE: aval du cycle
- IPM-Bio: collisions basse énergie (DIAM)
- CAS-PHABIO: hadronthérapie

2015: projet d'intégration des biologistes du LRCM avec le groupe CAS-PHABIO → groupe de 17 chercheurs, 22 ETP

Radiograaff (4MV)+ Labo bio à l'IPNL → projet IBEX
RX (CERVO Lyon Sud)

Les laboratoires IN2P3 régionaux

- LPSC-Grenoble:

Projet de groupe de recherche sur les applications Santé (examen CS à l'automne)

- Monitoring radiothérapie (DAMe – projet TraDeRa)
- Monitoring hadronthérapie (diamants polycristallins)
- Radiosensibilisation par nanoparticules
- AB-NCT: accelerator-based neutron capture therapy
(~ 20 personnes impliquées)

Source neutron pulsée

ILL, ESRF, RX au CHU

Collaboration CLaRyS

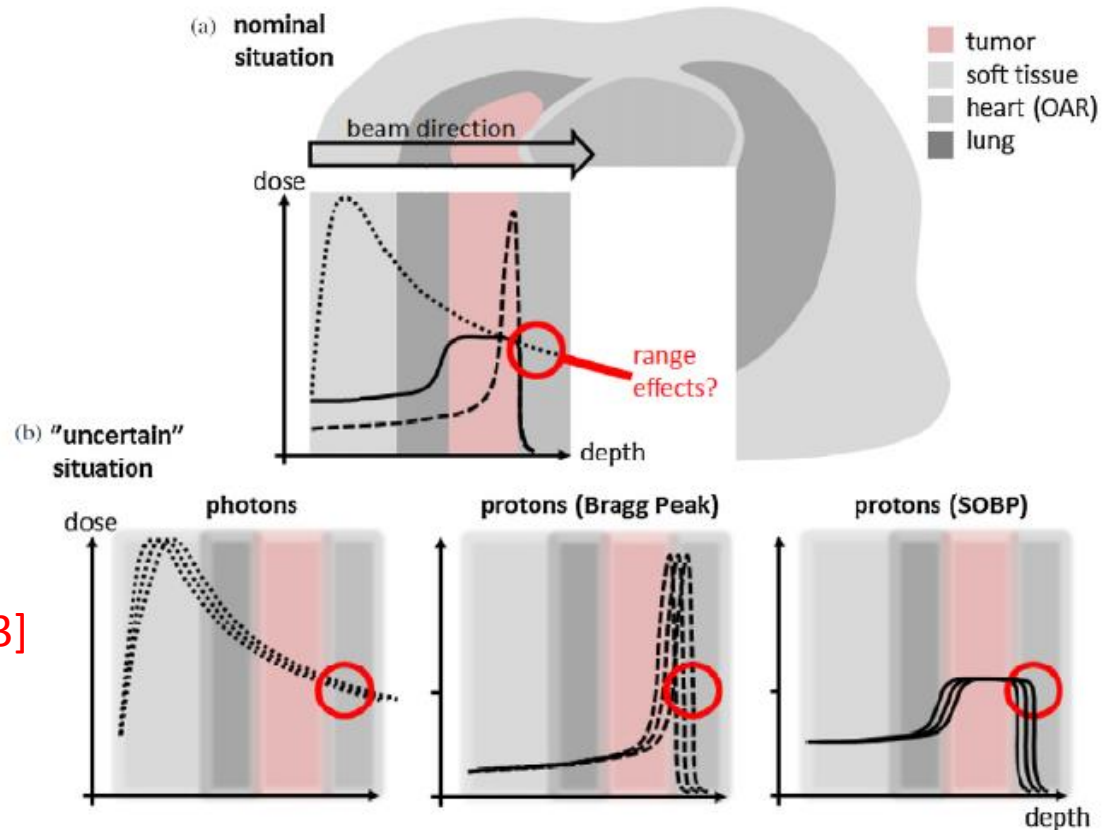
Contrôle en Ligne de l'hAdronthérapie par RaYonnements Secondaires



Contexte: suite et élargissement pluridisciplinaire et clinique projets
ENVISION, ENTERVISION, ANR Gamhadron, GammaDosi

Verrou: contrôle de la balistique in vivo

Motivation:



[Knopf, PMB 2013]

Sources d'incertitudes:

- Calcul de dose: Planification à partir d'imagerie CT, RBE
- Positionnement du patient
- Variations anatomiques au cours du traitement
- Organes/tumeur en mouvement

Modalités étudiées

- Imagerie de rayonnements secondaires

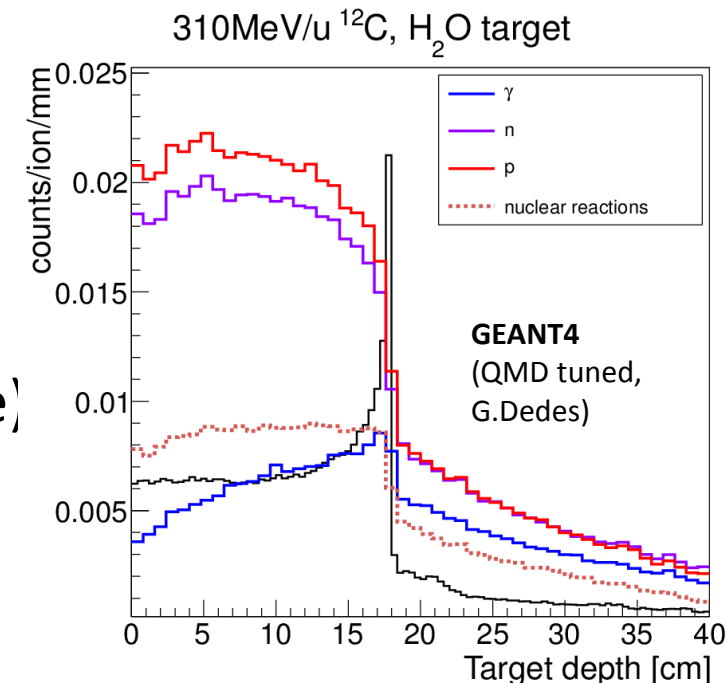
Auto-activation:

- TEP : annihilation β^+

Rayonnements prompts:

- Gamma prompts
- Protons secondaires (carbone-thérapie)

Taux de production / projectile (15 cm range)		
	Protons	Carbone
γ -prompts (M. Pinto 2015)	0.05	0.3
Emetteurs β^+ (W.Enghardt)	0.05	0.25
Protons	-	3



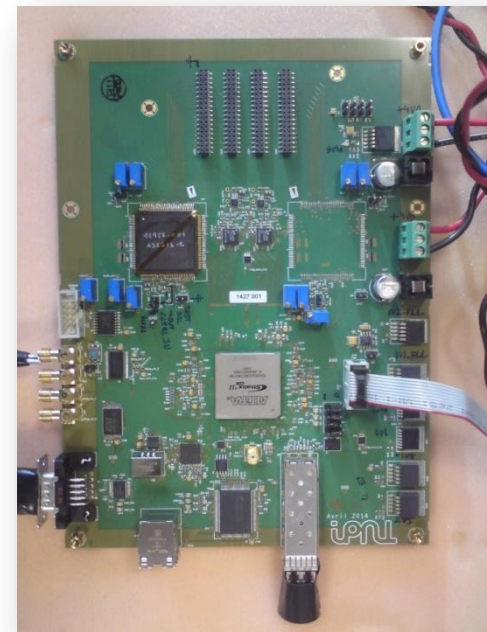
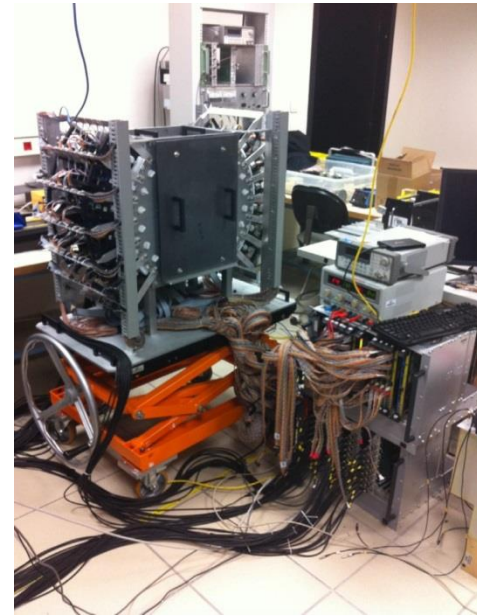
Une précision de l'ordre du mm sur la mesure du parcours est possible :

- Proton thérapie : **gamma prompts**
- Carbone thérapie: **IVI**

- Proton CT pour la planification

Réalisations

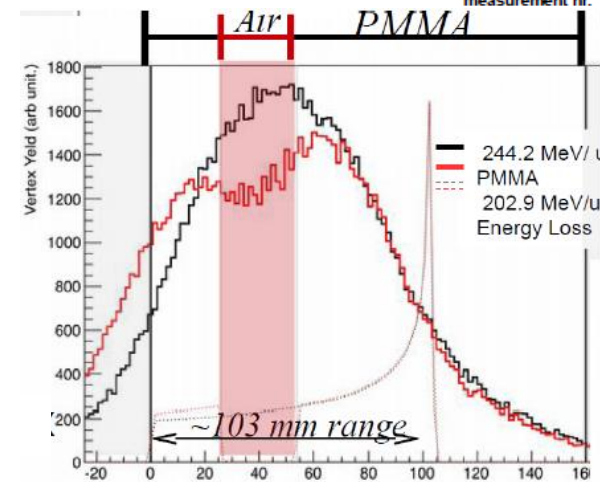
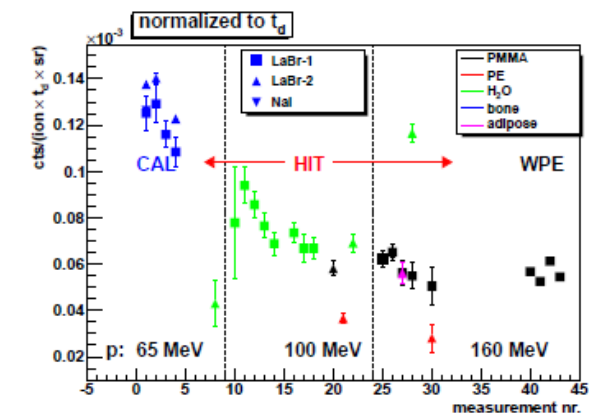
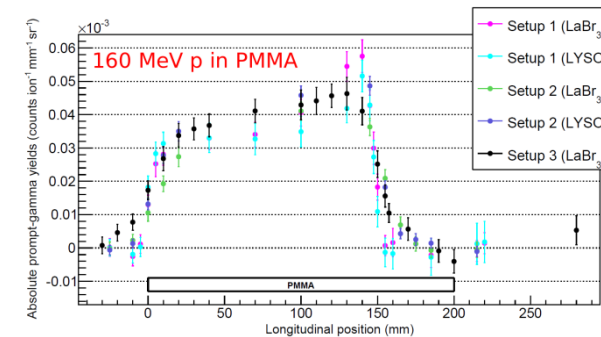
- Instrumentation
 - DPGA (β^+) avec 120 LYSO assemblé, 1ers tests CPO, HIT (LPC) → Acquisition VME vers μ TCA
 - Caméra Gamma multi-collimatée: collimateur assemblé, blocs BGO+PMs en cours d'assemblage (LPC)
 - Caméra Compton: ASIC SICASIC silicium fonctionnel, carte DAQ silicium en cours de test → production fin 2015 (IPNL)
 - Acquisition μ TCA: firmware carte AMC 40 en cours (CPPM)
 - Hodoscope à fibres assemblé, ASIC HODOPIC fonctionnel, carte DAQ part en production (IPNL)
 - Détecteur TraDeRa (DaMe – LPSC) en cours d'évaluation pour IMRT



Réalisations

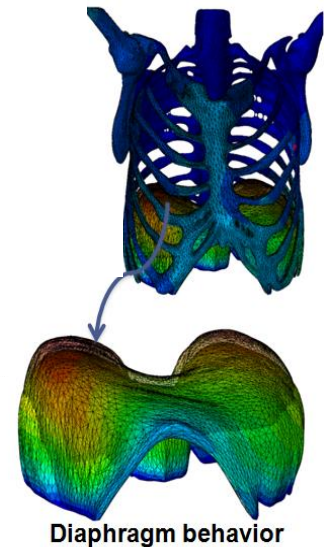
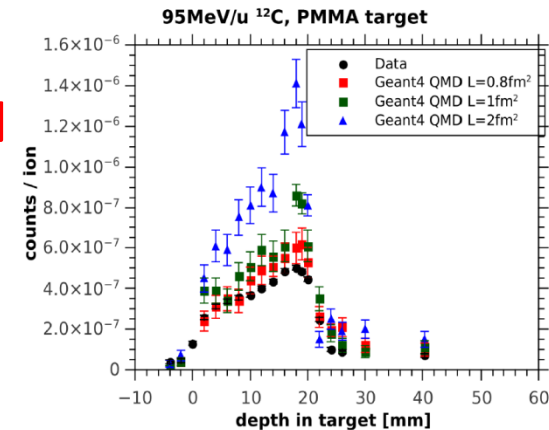
- Expérimentation

- Publication de l'ensemble des données de profils gamma prompts (Pinto, PMB 2014)
- Mesures de faisabilité caméra multicollimatée (Roellinghoff PMB 2014, Krimmer JINST 2015), cibles hétérogènes (Pinto, MedPhys 2015)
- Test démonstrateur caméra Compton
- Mesures gamma prompts intégrés dans cibles élémentaires et fantômes hétérogènes: GammaDosi (Krimmer, ANIMMA 2015)
- Mesures de profils IVI avec tracker CMOS sur cibles homogènes et hétérogènes (collab. IPHC) (Rescigno, ICTR-PHE 2014)



Réalisations

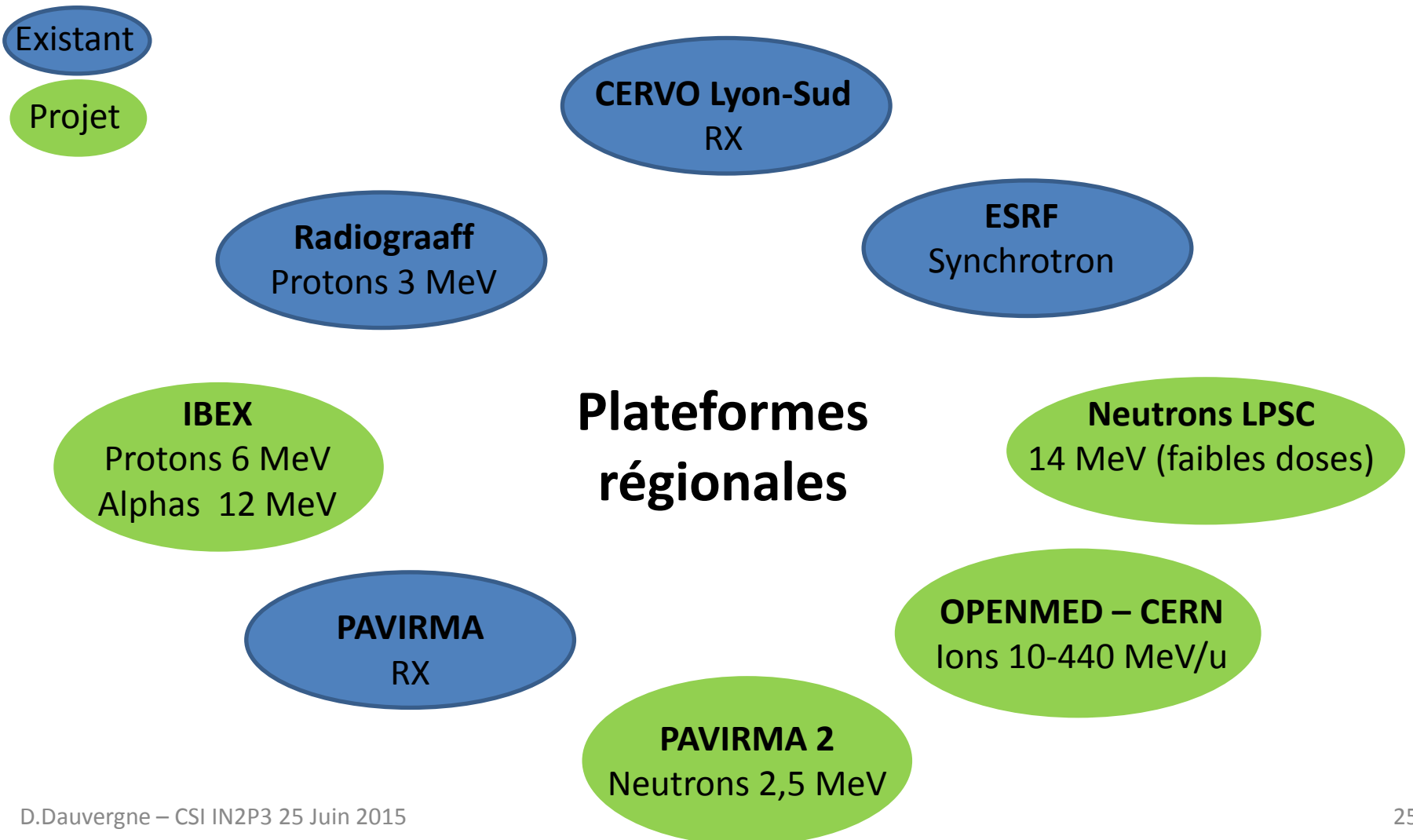
- Simulation – modélisation - reconstruction
 - Optimisation Geant4 des configurations de détection (Lestand PMB 2012, Richard IEEE-TN 2012, Henriquet PMB 2012, Roellinghoff PMB 2014, Pinto PMB 2014)
 - Modélisation de l'émission gamma prompts (QMD) (Dedes PMB 2014)
 - Dose avec modélisation biomécanique des organes en mouvements (Manescu 2013)
 - Evaluation des déviations par approche machine learning GATE (Gueth PMB 2013)
 - Reconstruction imagerie Compton (Maxim IEEE TIS 2014)
 - Comparaison XCT/pCT pour la planification de traitement en protonthérapie (Arbor PMB 2015)



Conclusions - CLaRyS

- Développements instrumentaux en cours
 - Objectif: **prises de données faisceau en 2016**
 - **Signature d'un MoU entre labos**
- Simulation et modélisation
- Nécessité de **plusieurs plateformes expérimentales**
- Nouveaux développements: moniteur diamant polycristallin
- Volet translationnel:
 - projet **GaIn en cours d'évaluation (H2020)**
 - GammaDosi
- Recherche pluridisciplinaire: reconstruction, organes en mouvement (LIRIS, CREATIS): **Soutien par MI du CNRS**

Radiobiologie expérimentale et clinique, Instrumentation, Modélisation



(WP3) Radiobiologie expérimentale et clinique, Instrumentation, Modélisation



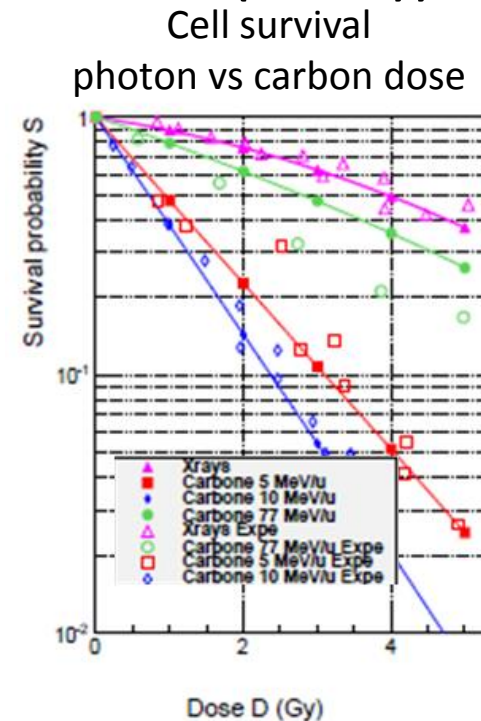
- Objectifs:

Comprendre, quantifier, modéliser les effets chimiques et biologiques de trois types de radiothérapies innovantes (hadronthérapie, PAT-Z, Microbeam (MRT))

- 3 axes:

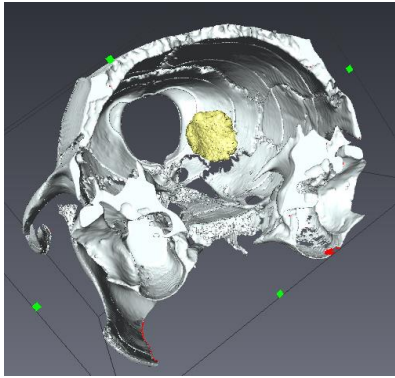
- 1 : Méthodologie et instrumentation
- 2 : réponse cellulaire tumorale
- 3 : Modélisation et simulation multi-échelle des données radiobiologiques

Radiograaff Proton
irradiation beam line

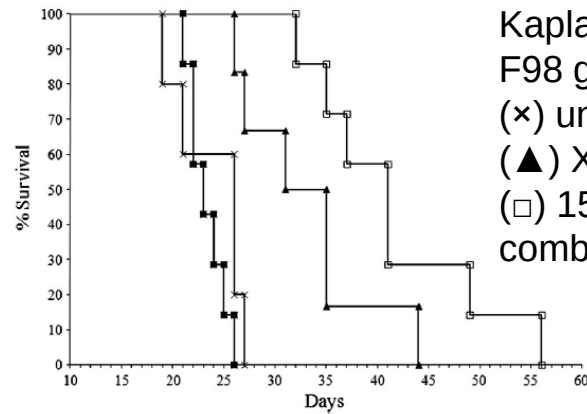


WP3- Selected Results :Radiosensitization with high-Z elements included in nanoparticles (NPs)

- Gold NPs for glioma treatment [*GIN/CEA, Nanomedicine 2013*]

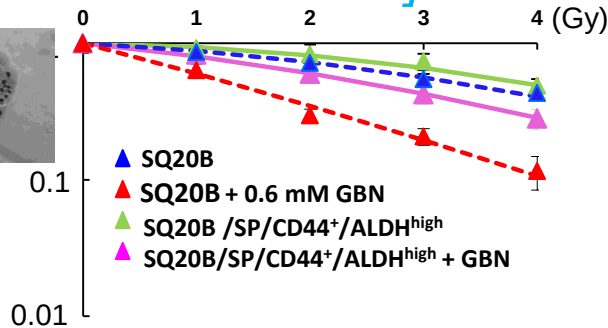
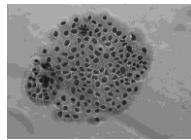


3D rendering of the gold-NPs in rat brain, using SR CT (spatial resolution 45 μm)

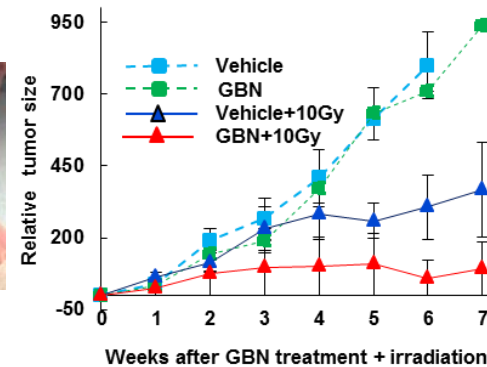


→ Increase of mean survival time.

- Gd-based NPs for Head and Neck cancers [*LRCM/ILM, Nanomedicine 2013*]



Survival curves in HNSCC cancer cells and their stem-cell sub-population



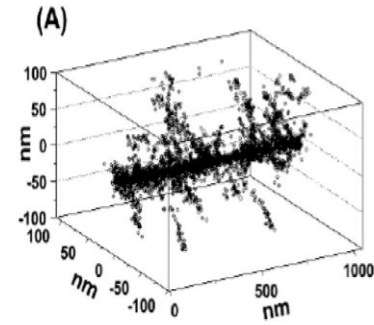
→ Future clinical trial in Lyon-Hospital

Stratégie : simuler, comprendre, prédire, appliquer

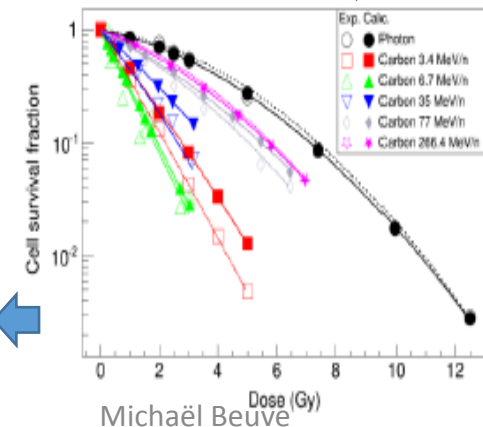
....Appliquée avec succès pour l'hadronthérapie

- Simulation des processus physicochimiques induits par les ions
 - Code LQD, PHYCHEML, CHEM, G4DNA
- Compréhension:
 - du rôle de l'oxygène dans la production des radicaux libres radio-induits
 - de l'importance des fluctuations de dose à l'échelle nanométrique
- Prédire :
 - L'effet du taux d'oxygénation sur la mort cellulaire : DosOxyTM
 - L'effet de la dose, du type et de l'énergie de l'ion sur la mort cellulaire : MKM, nanoxTM
- Appliquer : recherche de valorisation en cours
 - Brevet de la solution DosoxyTM
 - Demande de brevet (mai 2015) du modèle nanoxTM
 - Cancer de la prostate
 - Paramètre du LEM pour 3 risques
 - Prédiction pour HIT et CNAO

LQD
PHYCHEML
CHEM
Modèle physicochimique



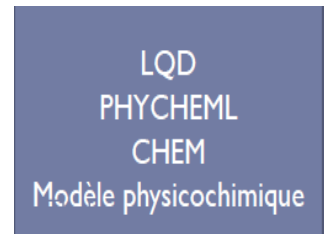
NanoxTM



Local
Control

TCP
Model

- Perspectives pour hadronthérapie

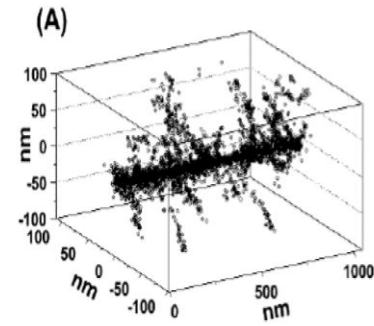


- Insertion des prédictions de MKM et nanoxTM

- Geant4 DNA /GATE
- TPS commerciaux?

- Simulation 4D :

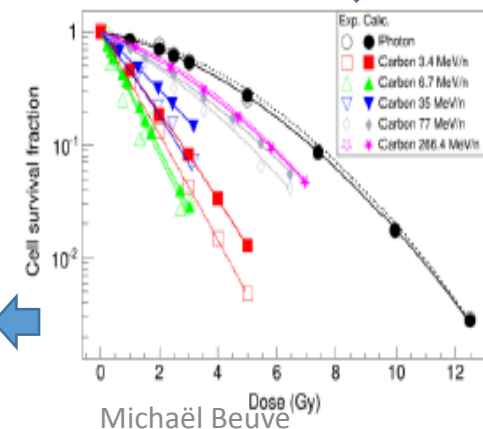
- Dose biologique dans les organes en mouvements, TCP
- + corrélation avec les informations produites par l'imagerie



NanoxTM

- Couplage instrumentation<-> Modèles

- Microdosimétrie TEPC --> MKM
 - Nanodosimétrie --> Nanox
- => qualification en dose biologique



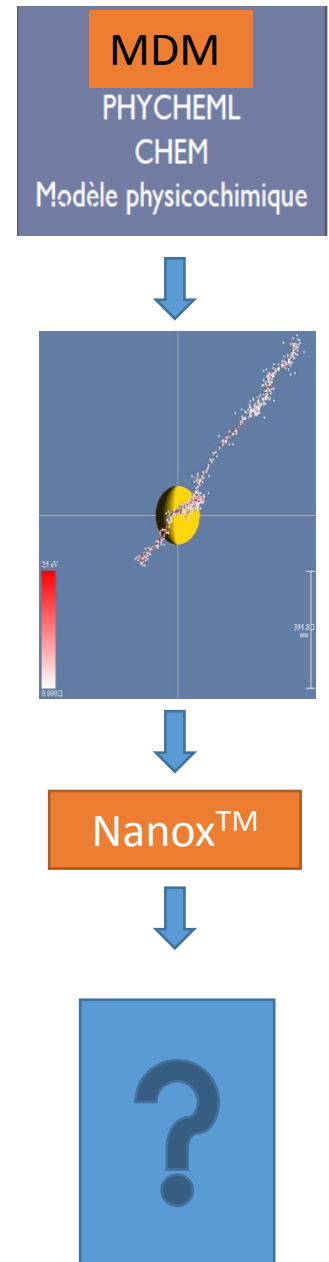
Local
Control

TCP
Model

Stratégie : simuler, comprendre, prédire, appliquer

.... Même stratégie pour PAT-Z

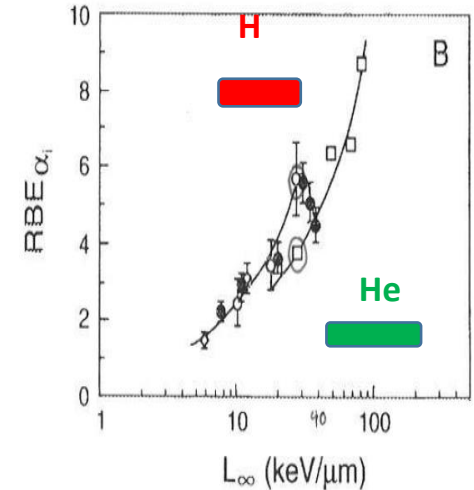
- Simulation des processus physicochimique modifiés par les nanoparticules
 - MDM: Multi-matériaux à la place de LQD
 - Modifier les codes PHYCHEML,CHEM
- Compréhension: Origine de l'efficacité de ces nanoparticules
- Prédire : Augmentation de mort cellulaire
- Appliquer : Optimiser la géométrie des nanoparticules



IBEX-radiobio: ions de Haut-TEL (projet France Hadron)

But

- Accueil d'expériences d'équipes extérieures
 - Radiobiologie, instrumentation et dosimétrie
 - Protons [0-6MeV] et helium [0-12MeV]
- Radiobiologie avec ions de haut-TEL: $RBE > 1$
 - In-vitro cellules monocouches et cultures 3D
 - Faisceau large et uniforme: $\pm 2\%$ sur 3 cm^2
 - Débit de dose 0,1-10 Gy/min, extension possible
 - Temps de faisceau disponible (limité par capacité de la salle biologie)
- Etudes de dosimétrie et instrumentation
 - Détecteurs de traces minces, films radiosensibles, scintillateurs...
 - Épaisseur $< 0,5\text{mm}$



$$RBE_{\alpha} = \alpha_{ion} / \alpha$$

For v79
[Belli, 1998]

Projet IBEX à l'IPNL

- Plateforme de recherche pluridisciplinaire et formation
- Analyse et irradiation:
 - matériaux, énergie, environnement et santé
- Ouverte aux équipes académiques et aux industriels
- 2 x 8 heures par jour
- Details
 - Pelletron 6MV => Energie variable jusqu'à H[6MV] , He[12MeV]
 - source ECR => **H**, **He**, C, O, W.
 - 6 lignes de faisceau

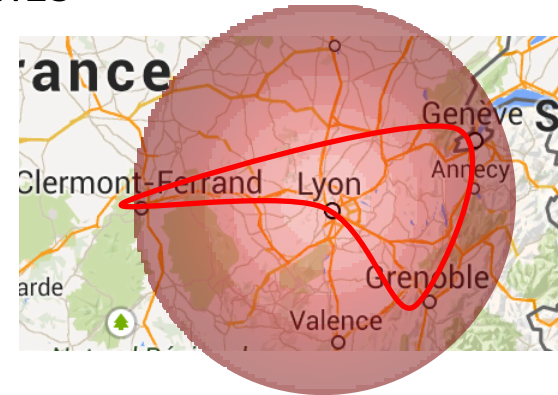


« courtesy of NEC »
5MV, Fermilab

Conclusion

Nœud Rhône – Alpes - Auvergne:

- Forte structuration issue du PRRH – ETOILE
 - renforcée par le nœud France Hadron et le LabEx PRIMES
 - Élargie aux radiothérapies innovantes (PAT-Z, MRT, nanoparticules, + AB-NCT?)
 - Pôle important IN2P3: LPC, IPNL, LPSC
 - Cadre national (GDR MI2B) et international (ENLIGHT)
- Pluridisciplinaire
 - Cliniciens, physiciens, biologistes, informaticiens, imageurs (+accélérateurs?)
- Plateformes d'irradiation pour les radiothérapies innovantes:
 - PAVIRMA, Radiograaff, ESRF, RX + neutrons
 - Opportunités: IBEX, OPENMED, protonthérapie à Lyon, + collaborations HIT, MedAustron, CNAO



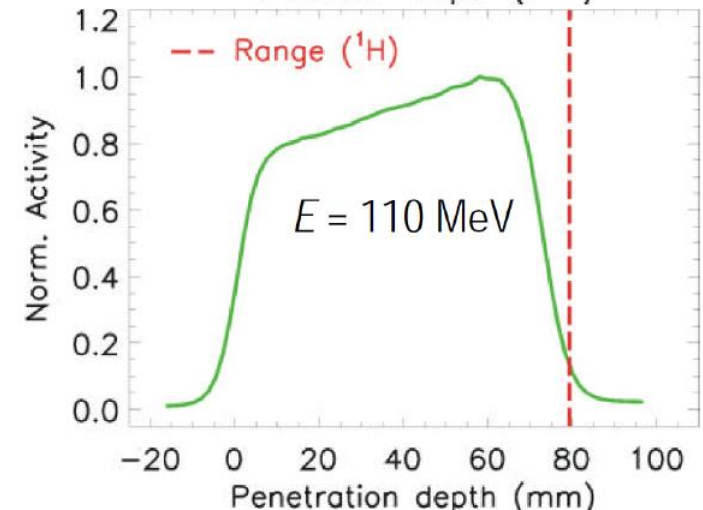
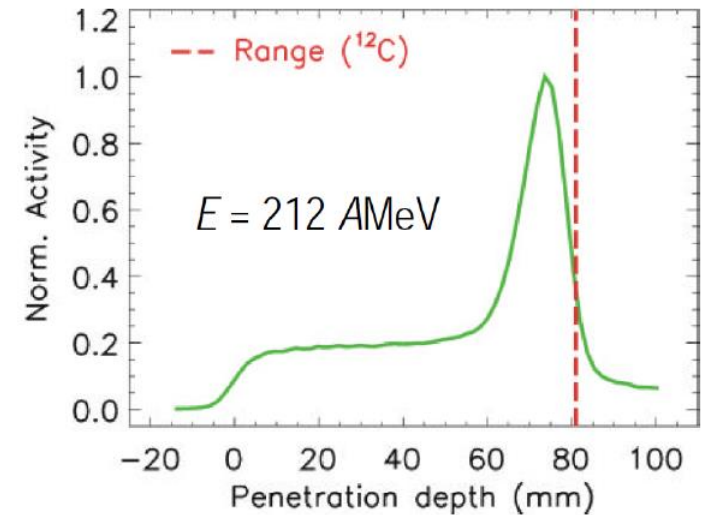
Spares

Imagerie TEP

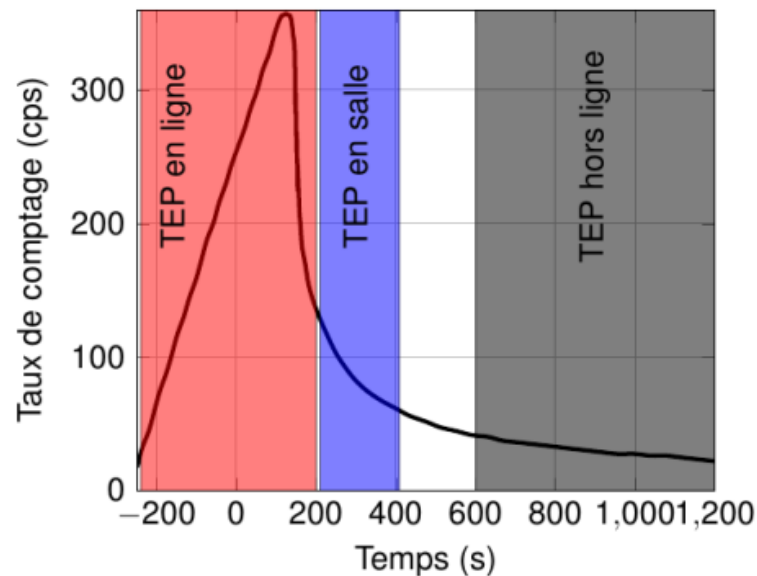
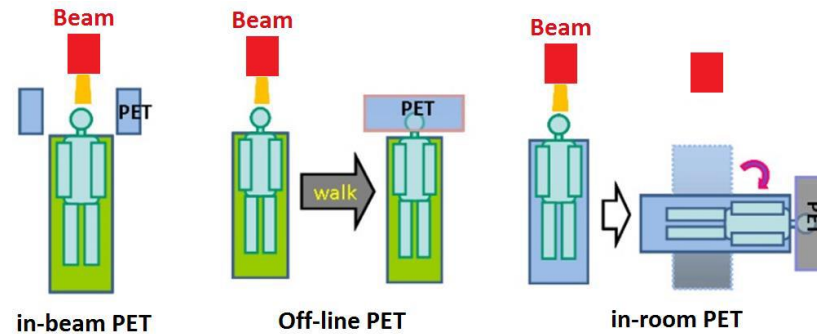
Cross sections [Enghardt ENLIGHT meeting 2003]

Beam	Reaction	σ (mb)	$T_{1/2}$
^{12}C	$(^{16}\text{O}, \text{X})^{15}\text{O}$	84	2 min
	$(^{12}\text{C}, \text{X})^{11}\text{C}$	56	20 min
	$(^{12}\text{C}, \text{X})^{10}\text{C}$	5	20 s
^1H	$(^{16}\text{O}, \text{pn})^{15}\text{O}$	50	2 min
	$(^{12}\text{C}, \text{pn})^{11}\text{C}$	40	20 min
	$(^{12}\text{C}, \text{p2n})^{10}\text{C}$	2	20 s

- Faisceaux carbone:
 - Projectile+ target-like
- Faisceaux protons:
 - Target like



Acquisition TEP en hadronthérapie



critère	en ligne	en salle	hors ligne
bruit de fond physique	V	X	X
effets du métabolisme et de la décroissance	négligeables	faibles	forts
qualité de l'image	artefacts liés à la géométrie	50 % de l'activité	42 % de l'activité

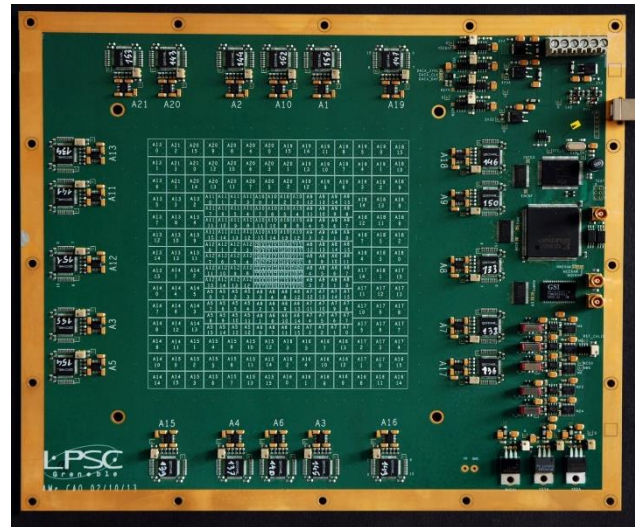
Détecteur à transmission pour le contrôle en ligne des faisceaux de radiothérapie

Partie active = matrice de chambres d'ionisation.

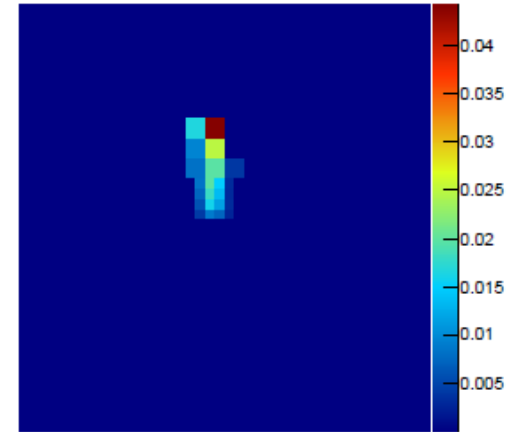
Electronique embarquée (ASIC intégrateur de charge à 16 voies, faible bruit et grande dynamique) + communication Bluetooth.



Version compacte embarquée sur la tête de l'accélérateur.



Electronique embarquée sur la platine de détection. Electrodes à taille variable (brevet CNRS)



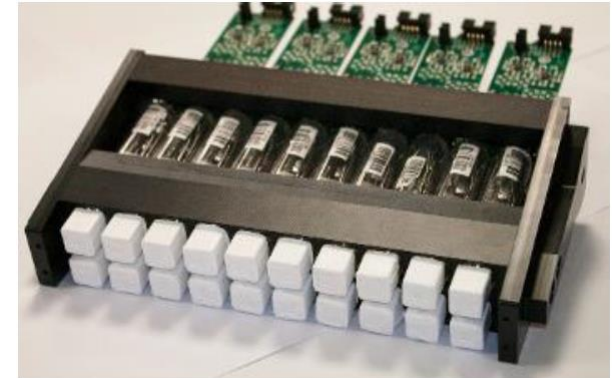
Mesures: Ecart relatif à 6σ pour un déplacement de 1mm d'une lame

Détecteur Pixellisé Grande Acceptance

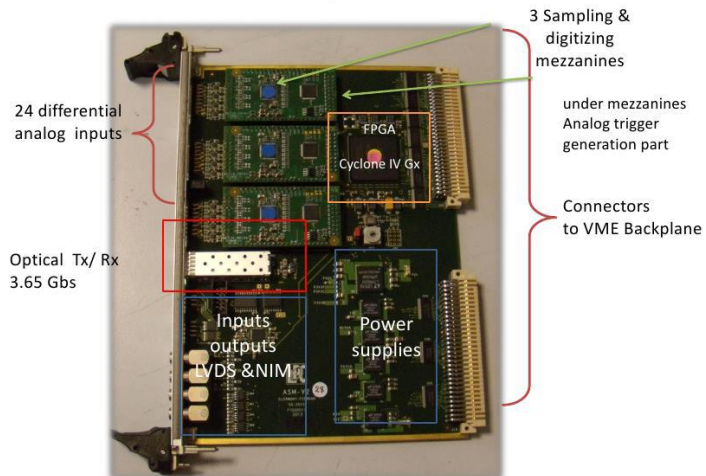


Un nouveau quartet
- 4 PM
- 4 cristaux + téflon
- 1 carte pont diviseur

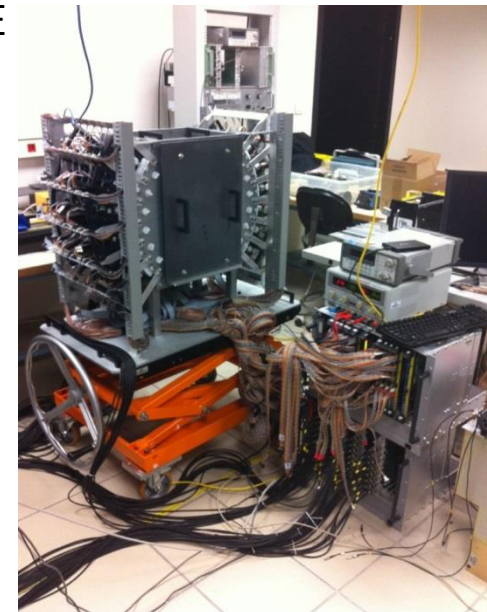
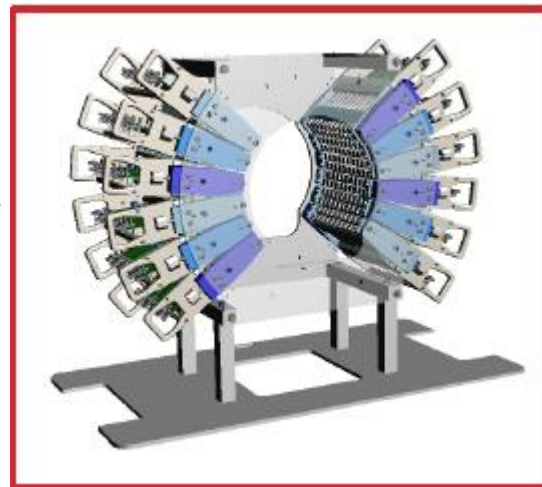
Scintillateurs LYSO



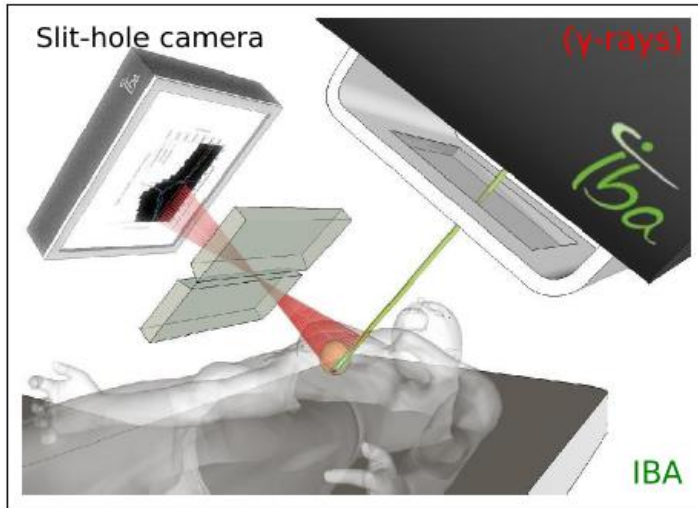
Carte ASM à échantillonnage



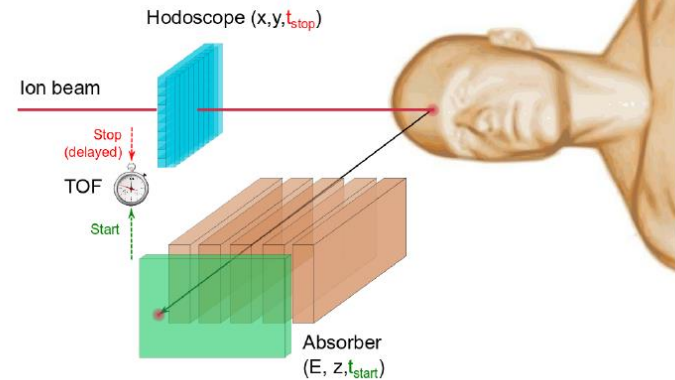
Module+ acquisition VME
En cours de tests



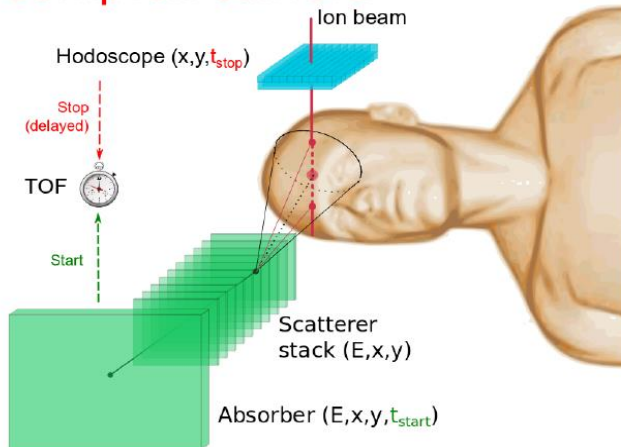
Imagerie gamma-prompts



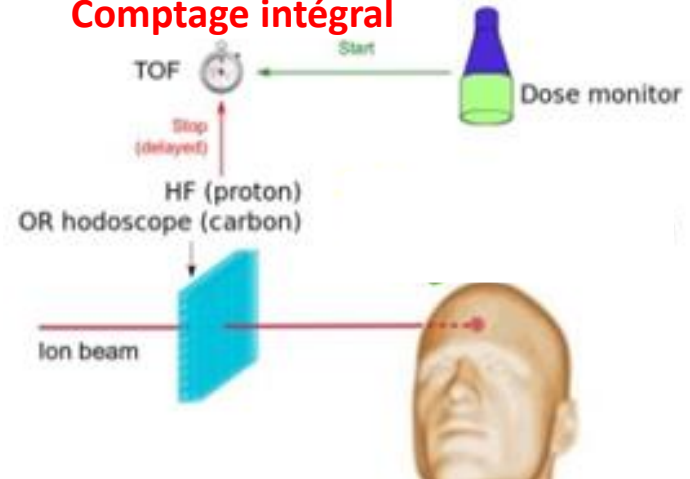
Multi-slit camera



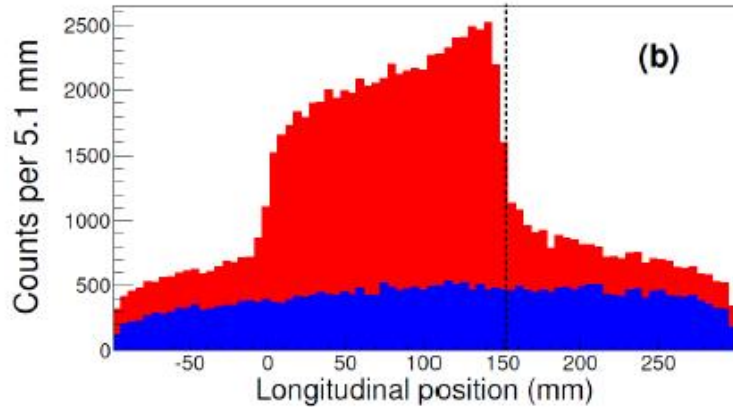
Compton camera



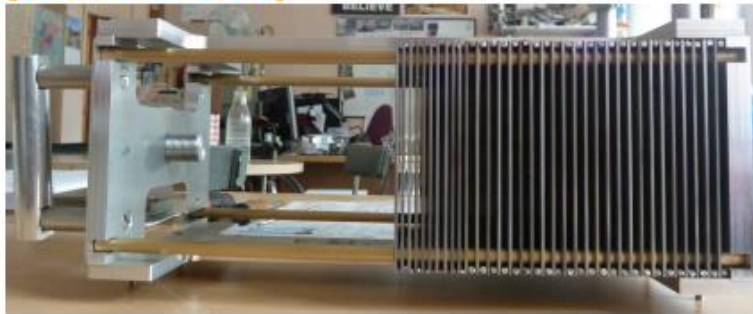
Comptage intégral



Caméra collimatée

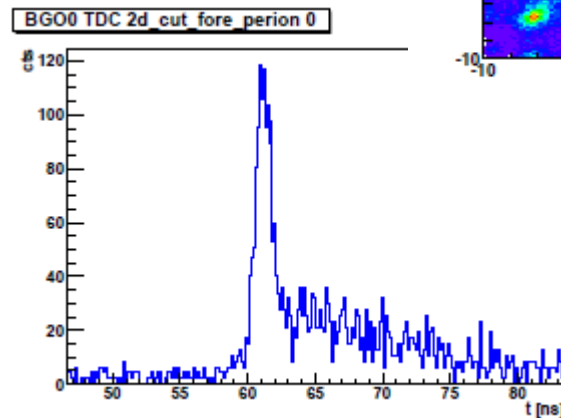
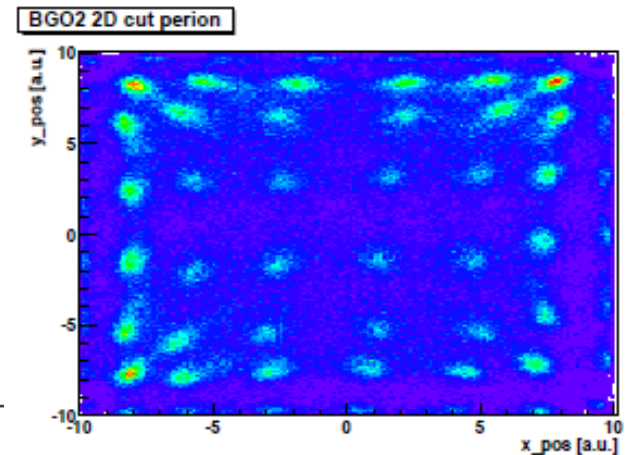


Profile obtained with an optimized TOF camera for
 4×10^9 protons
[Pinto, PMB 2014]



PM + blocs BGO striés reconditionnés (LPC)

Position 2D
reconstruite

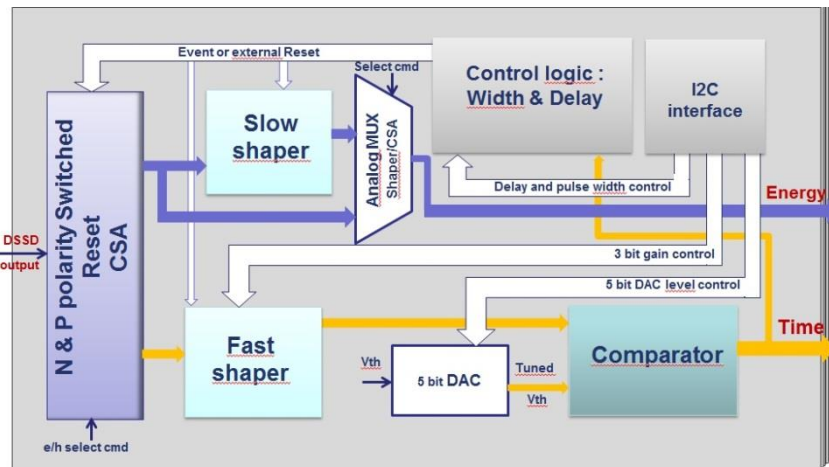


Resolution en
temps = 2 ns

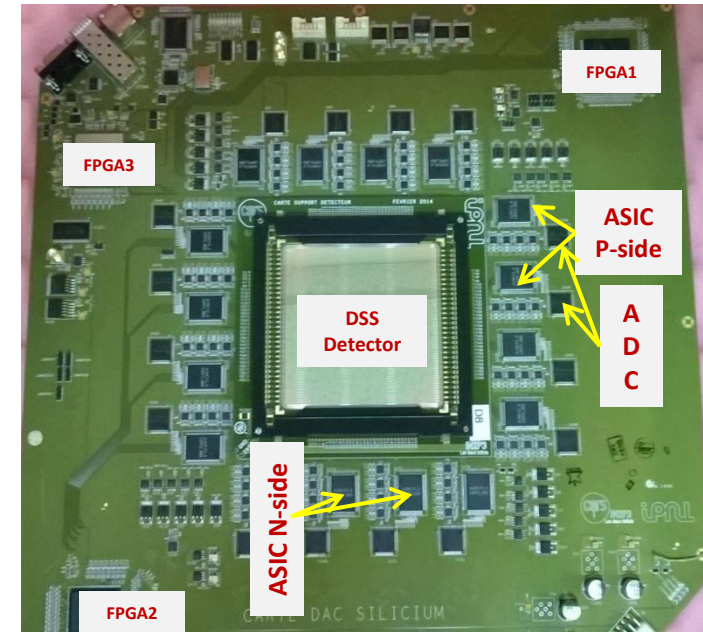
[Krimmer, NIMA 2015]

Caméra Compton

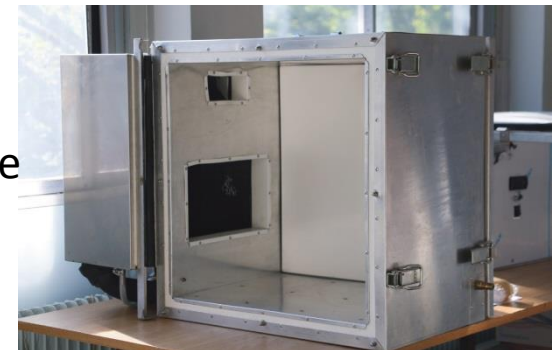
SICASIC: bas bruit, shaper lent et rapide,
dynamique 0.5-500 fC, lecture N et P, 8 canaux
[Dahoumane, IEEE-NSS-MIC 2014]



Carte
acquisition
et DSSD



Enceinte
thermostatée



Taux de comptage

	Protons	Carbone
Ions /treatment fraction	10^{11} - 10^{12}	$10^9 - 10^{10}$
Ions/energy slice	10^9 - 10^{10}	4×10^7 (avg)
Ions/pencil spot	10^8 (distal)	$10^5 - 10^6$

Taux de production / projectile (15 cm range)		
	Protons	Carbone
γ -prompts (M. Pinto 2015)	0.05	0.3
Emetteurs β^+ (W.Enghardt)	0.05	0.25
Protons	-	3

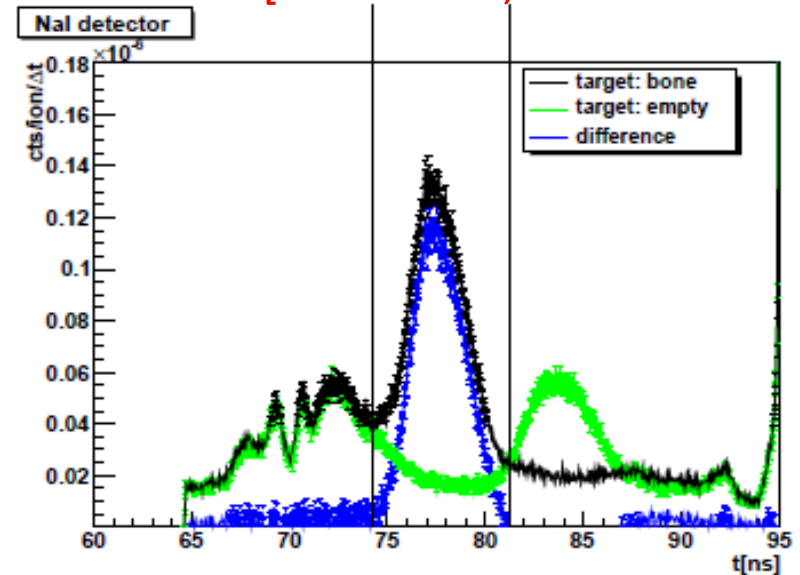
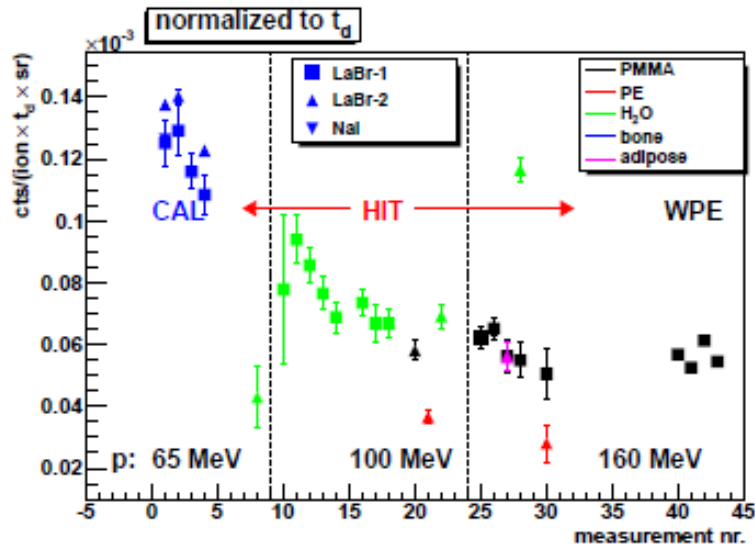
		Synchrotron HIT		Cyclotron C230 IBA	Cyclotron Varian	Synchro-cyclo S2C2 - IBA
		¹² C	Protons			
Typical intensity (ions/s)		10 ⁷	10 ⁹	~10 ¹⁰	10 ⁸ - 10 ¹⁰	~10 ¹⁰
Macro-structure	Period (s)	1 - 10		-	-	10 ⁻³
Micro-structure	Bunch width (ns)	20 - 50		2	0.5	8ns
	Period (ns)	200		9.4	13.9	13
	Ions/bunch	2 – 5	200	200	2 - 200	4000

GammaDosi: Mesure de l'énergie déposée dans le patient

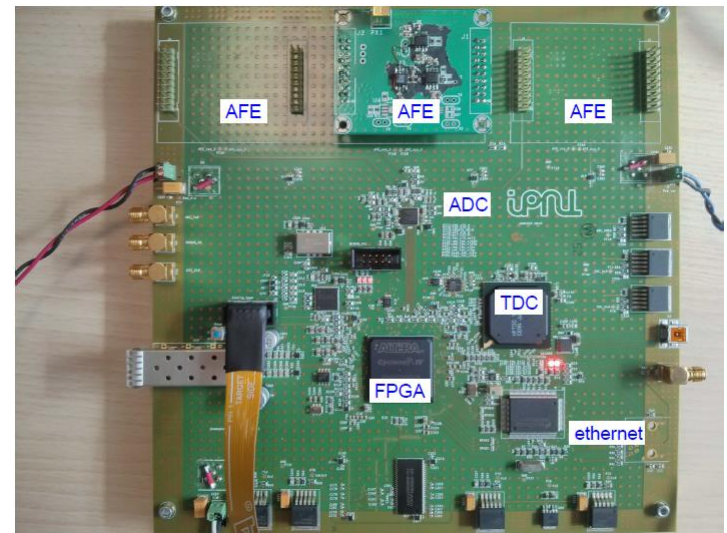
[J. Krimmer, ANIMMA 2015]



Mesures à Essen, HIT, GANIL, CAL



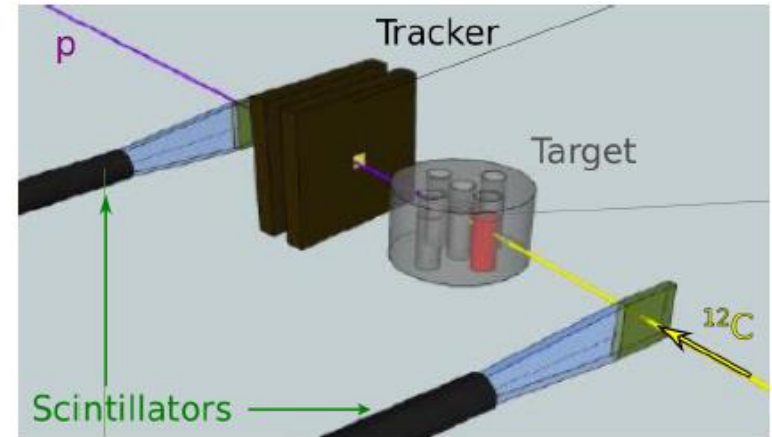
Carte
d'acquisition
3 détecteurs,
ADC, TDC
pour PC



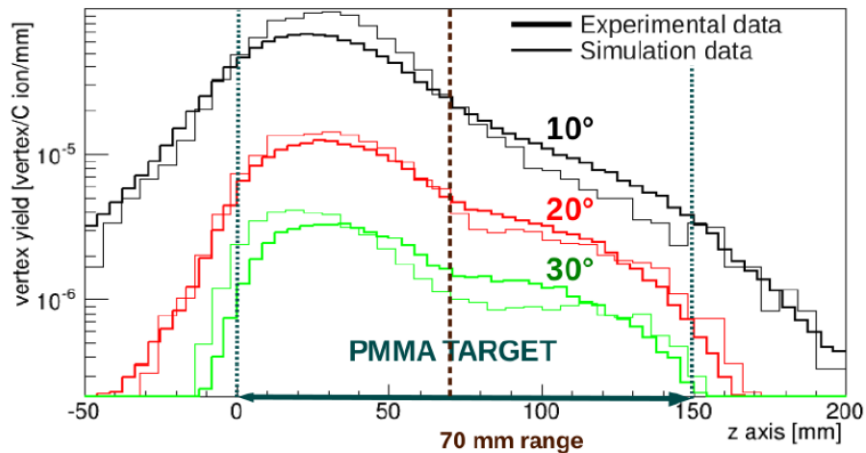
Interaction Vertex Imaging (carbone)

Collaboration IPNL-IPHC

- Etudes préliminaires: résolution millimétrique à l'échelle d'un pencil beam pour cibles homogènes [Henriquet, PMB 2012]
- Exp: tracker = CMOS telescope
- Cibles homogènes (PMMA) et hétérogènes (inserts)



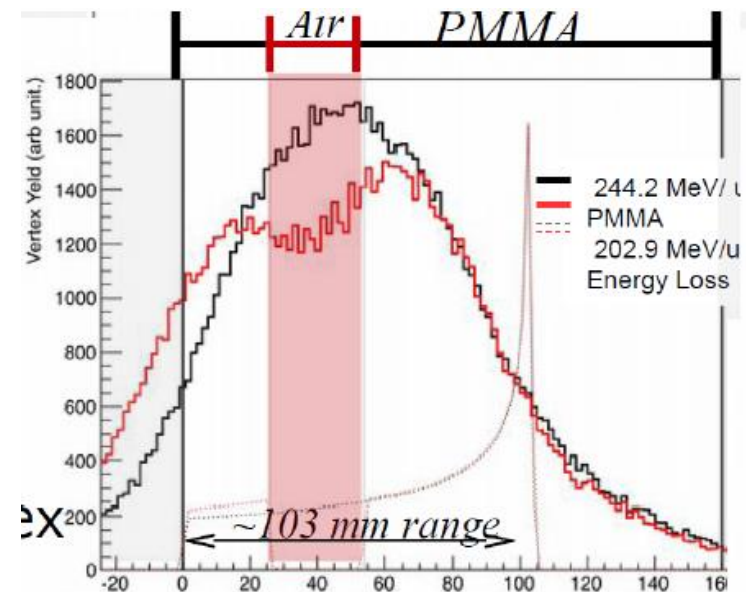
Étude en fonction de la position d'inserts d'air [Rescigno et al, ICTR-PHE 2014]



Comparaison absolue
expériences – simulations

Simulations: Geant4 9.6

[V. Reithinger et al, PTCOG 2013]



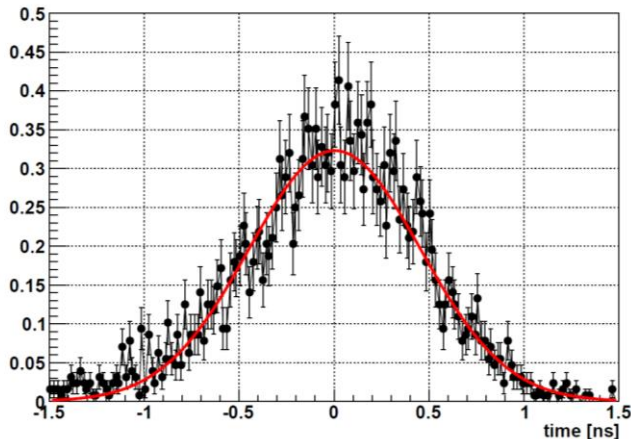
Hodoscope faisceau

Objectif :

- Résolution spatiale : 1mm
- Résolution temporelle : 1ns
- Taux de comptage : 10^8 1/s

Prototypes :

- Fibres scintillantes croisées (1x1mm² BCF 10/12)
- 2 prototypes: 2x32 et 2x128 fibres
- couplés à des PM H8500 par l'intermédiaire de fibres optiques.



Performances:

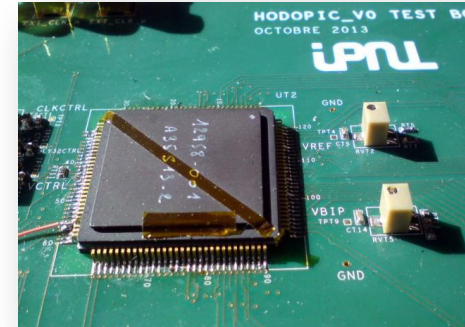
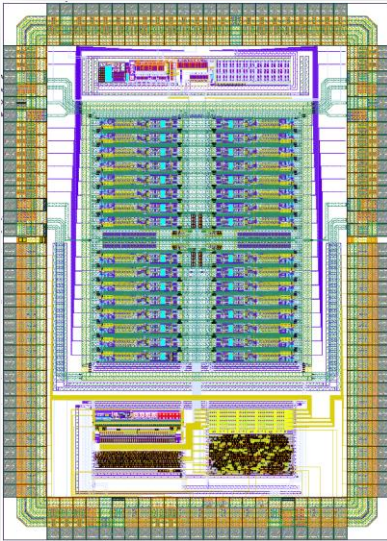
- résolution temporelle 1ns FWHM
- Taux de comptage ~ 4 à 10MHz

[Krimmer et al. ICTR-PHE 2014]

ASIC de lecture HODOPIC

Spécifications:

- Taux de comptage : 10^8 pps
- Capacité détecteur : 35pF
- Dynamique du signal : $2\text{pC} < Q < 10\text{pC}$
- Bruit ramené en entrée : $< 200\text{fC}$
- Temps de montée du signal : 4ns
- Temps de descente : 16ns
- Gain ajustable
- Il doit mesurer le temps, la charge et la position.



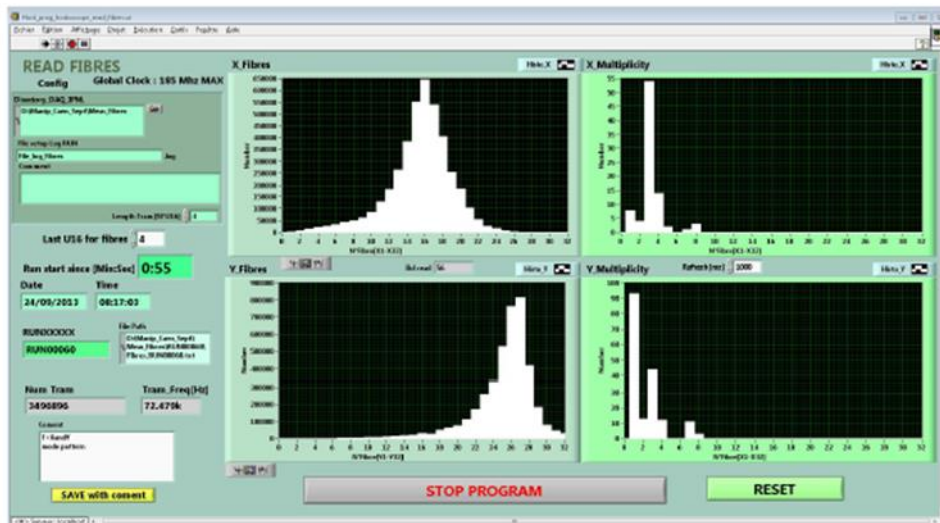
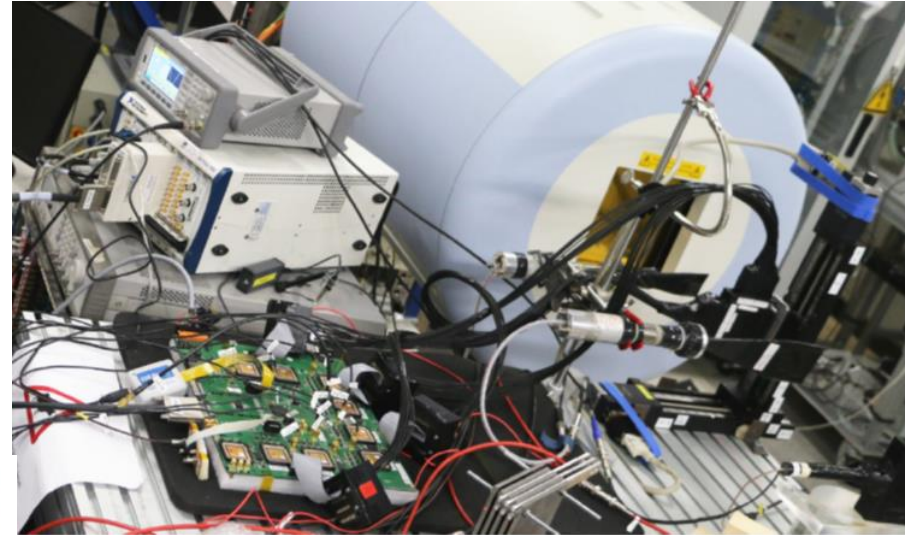
Caractéristiques:

- ASIC 32 voies : $< 100\text{ mA}$ @ 3.3 V
- ASIC asynchrone, l'horloge ne sert qu'au TDC
- Signal typique (courant): 10 ns
- Dynamique d'entrée (charge): $2\text{ pC} - 10\text{ pC}$
- Seuil en courant ajustable (DAC)
- Gain ajustable sur 4b (pour chaque voie)
- 1 sortie analogique multiplexée
- Horloge de référence du TDC @ 160 MHz
- Résolution du TDC : 200ps
- Dynamique du TDC: 50 ns
- Bus de sortie digital sur 40b @ 100 MHz
- Interface de slow control I2C
- technologie AMS BiCMOS 0.35: environ 13 mm^2
- ASIC en boîtier CQFP120

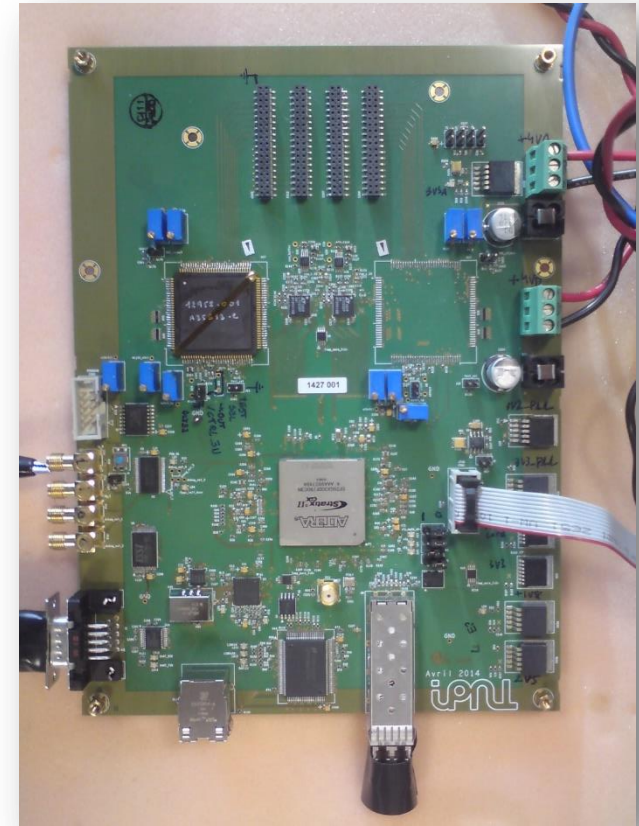
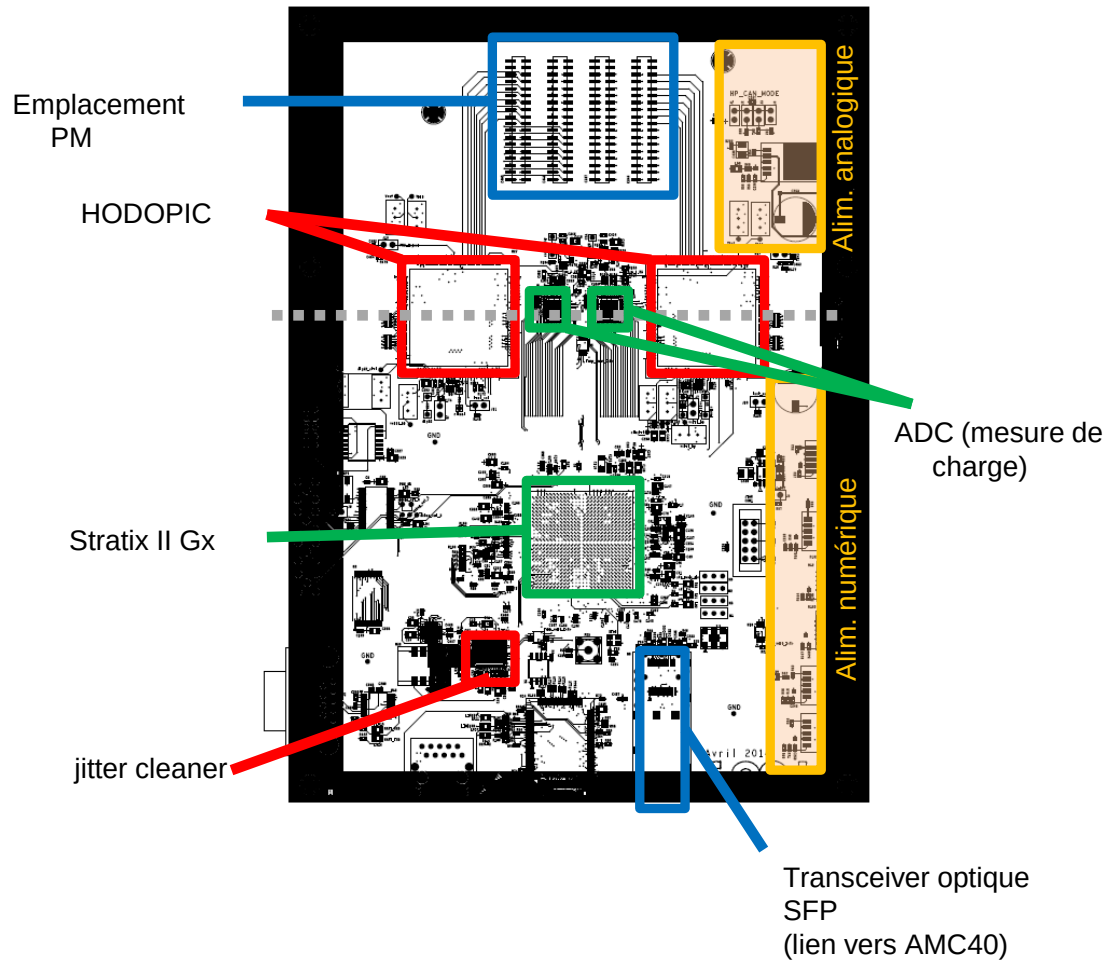
→ ASIC fonctionnel

Premier test sur faisceau (HIT, 2013)

Test de l'hodoscope 2x32 voies avec carte DAQ PXI, et ASIC version 1 (sans TDC)



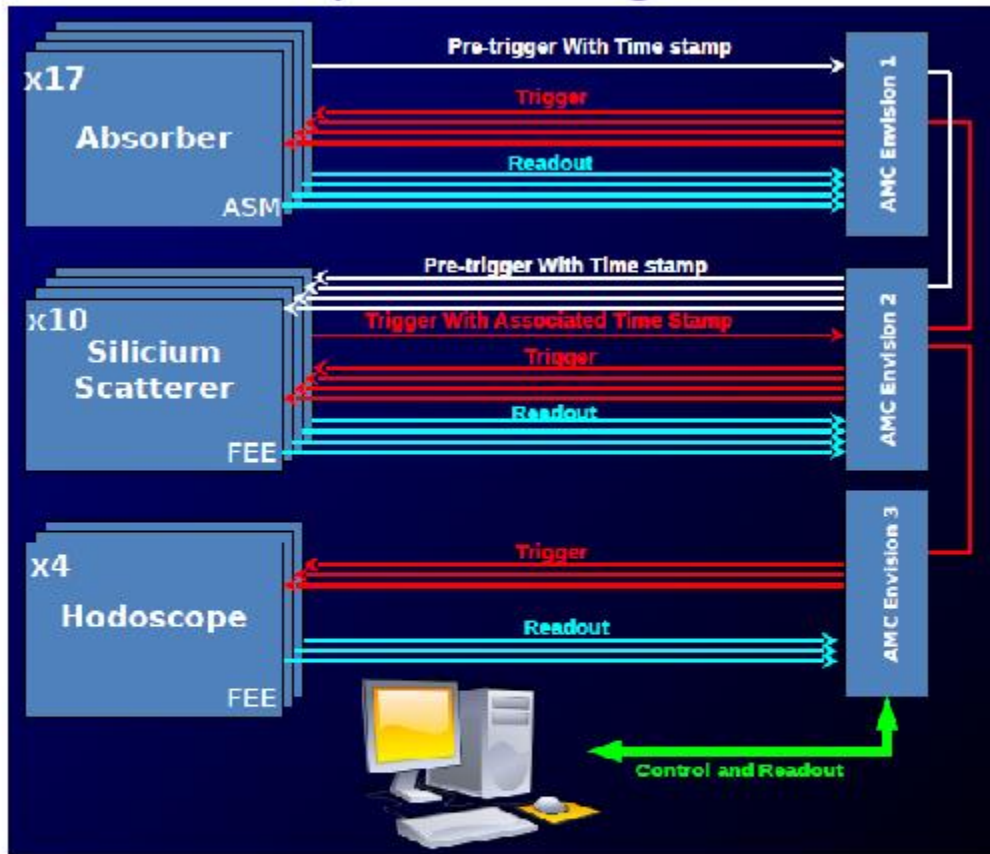
Carte DAQ hodoscope



→ Carte DaQ fonctionnelle, test performances en cours, production lancée cet été

Système d'acquisition μ -TCA

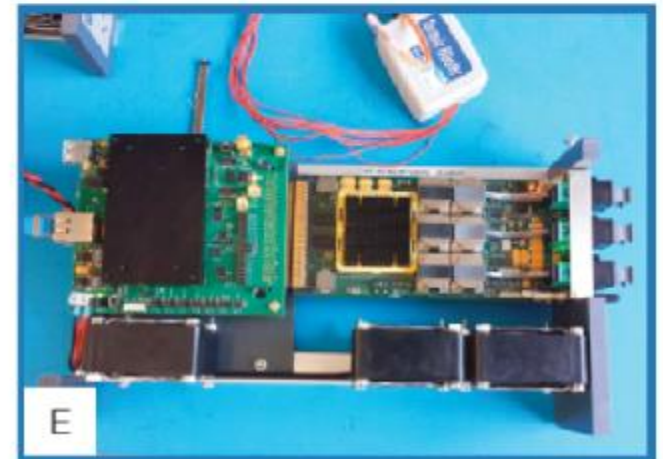
acquisition diagram



μ -TCA crate



AMC board (CPPM)



Gbit/s input and output (CPPM)

[C. Abellan ICTR-PHE 2014]

Proton CT :

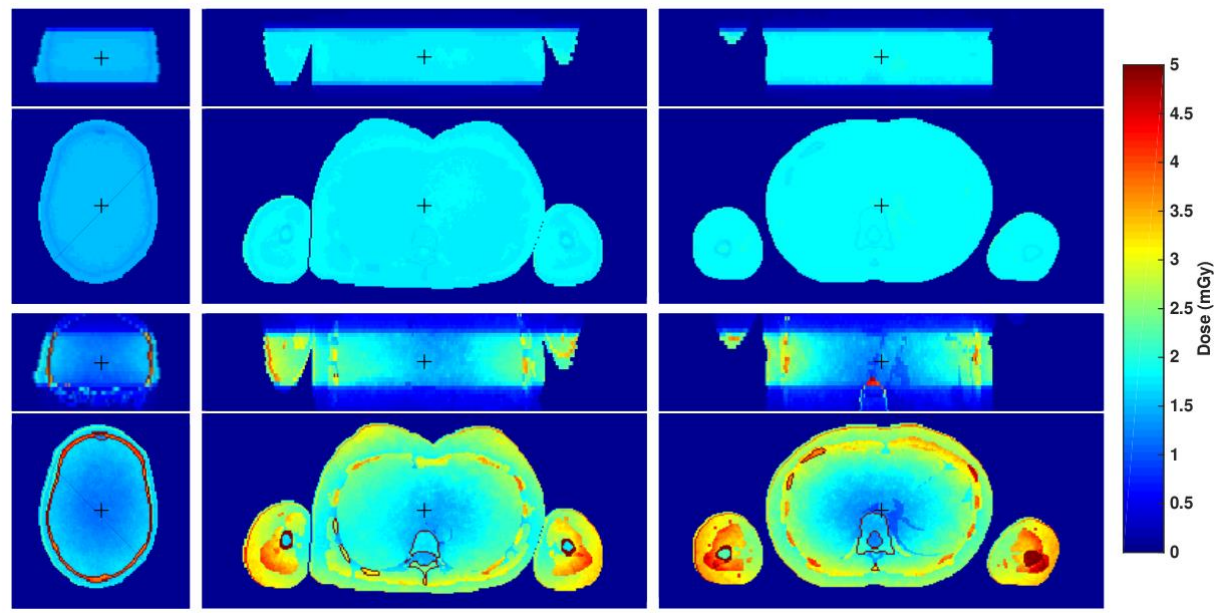
Comparaison d'une
planification proton
avec pCT et XCT

[Arbor, accepté PMB]

pCT

Dose

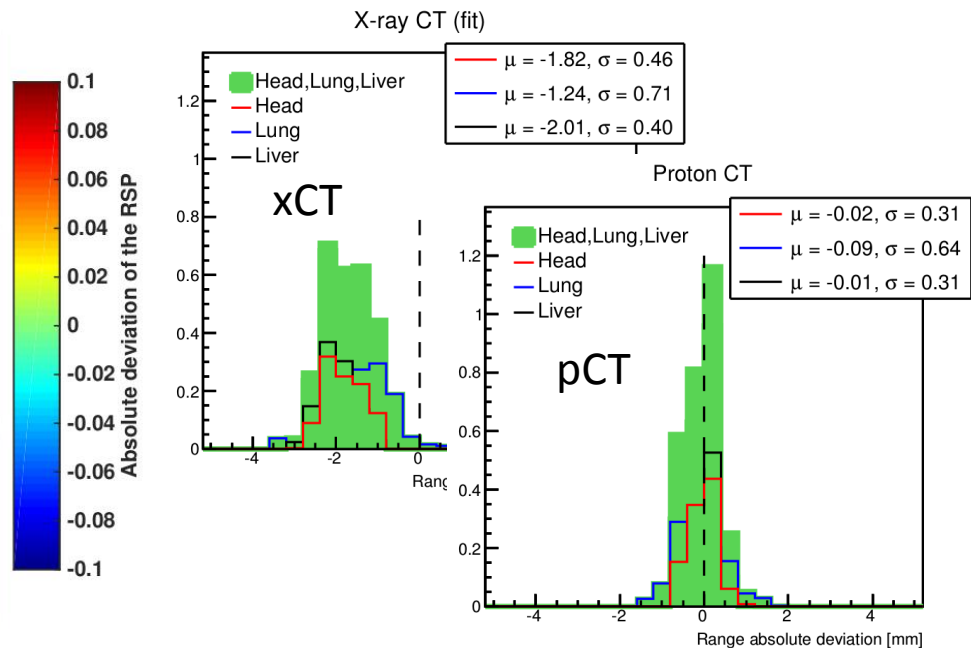
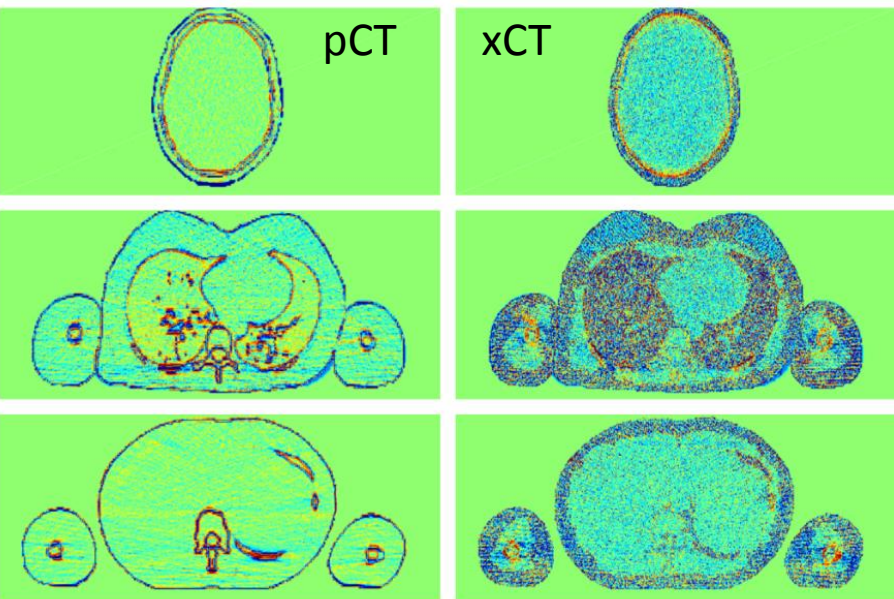
xCT



Relative Stopping Power

pCT

xCT



Déviati3n du parcours proton