

Tourniquet Section 01
18/11/2024



Equipes PEPITES & Geant4

Bilan 2019-2024

PEPITES : Profil**E**ur **P**our **I**ons **T**hérapeutiques à **E**lectrons **S**econdaires
Geant4 : **GE**ometry **A**nd **T**racking, le « **4** » fait partie du « trademark »

Deux équipes liées par des raisons historiques

- Même responsable...
- ... mais thématiques orthogonales.

Requête pratique : serait-il possible d'avoir un template ppt qui soit un vrai template pptx ? ;)



I - PEPITES

Composition actuelle de l'équipe PEPITES

- 2 permanents :
 - **Christophe THIEBAUX** (CRHC), **Marc VERDERI** (DR1)
- 0 doctorant
- 1 postdoc :
 - **Alexandre ESPER**
 - PEPITES @ CNAO : vers un PEPITES pour CNAO
 - UltraFlash MITI : faisabilité d'un PEPITES pour les faisceaux laser-plasma

Ingénieurs:

- Mécanique :
 - **François JOUBERT** (+ soutien Antoine CAUCHOIS)
- Electronique :
 - **Rémi DUHAMEL, Rémi GUILLAUMAT, Franck GASTALDI**
- Acquisition :
 - **Lorenzo BERNARDI** (+ soutien Frédéric MAGNIETTE)

Evolutions récentes:

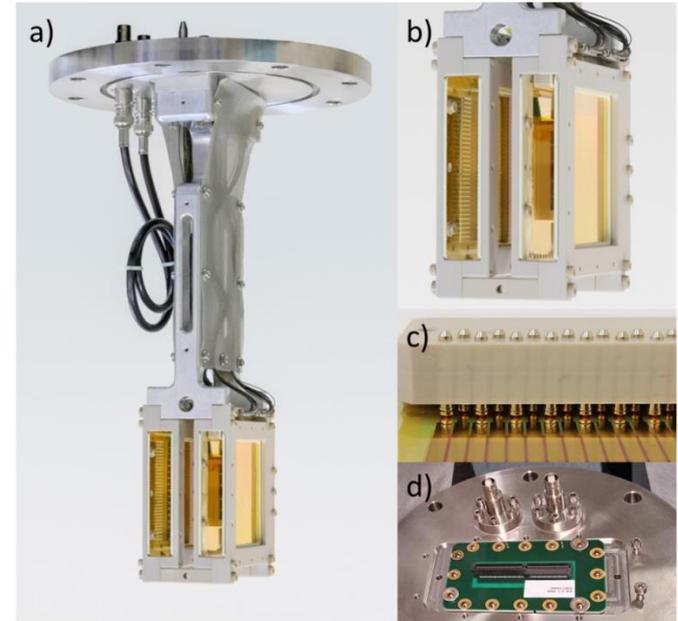
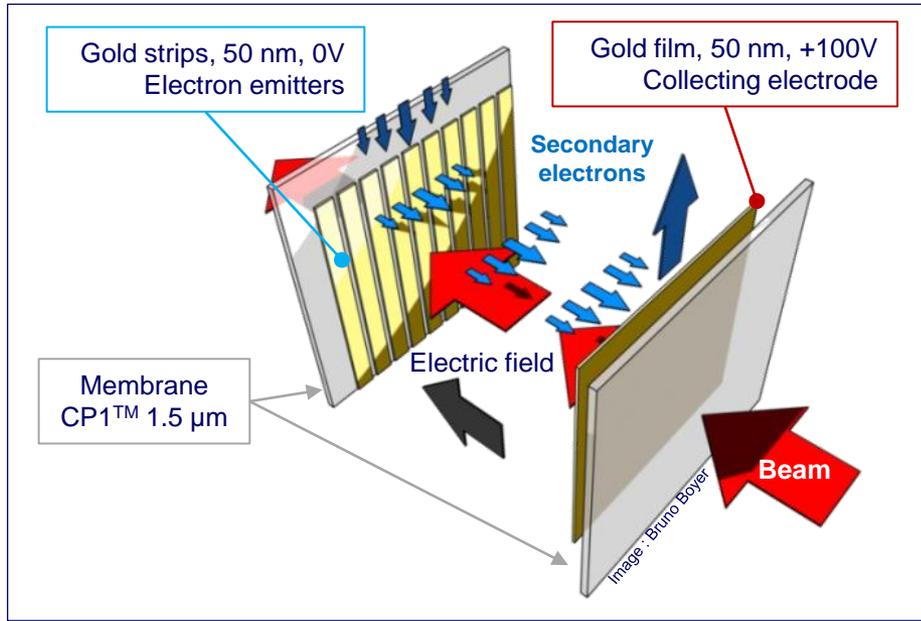
- 0 permanents
- 0 thèses soutenues
- 0 HDR
- 1 postdoc :
 - **Alexandre ESPER**
 - postdoc IN2P3, 2 ans, depuis le 1^{er} janvier 2024
- 1 CDD ingénieur :
 - **Christopher LARAN**
 - Sur SPLIF, project prématuration IPP/X, CDD un an, Septembre 2024 – Aout 2024

Ingénieurs:

- Mécanique :
 - **Pascal MANIGOT (retraite juin 2022) → Ali MAHJOUR → François JOUBERT (Octobre 2024)**
- Electronique :
 - **Rémi DUHAMEL (Septembre 2023)**

Production scientifique

- **PEPITES : moniteur ultra-mince (10 μm WET « Water Equivalent Thickness ») à émission d'électrons secondaires (SEE)**

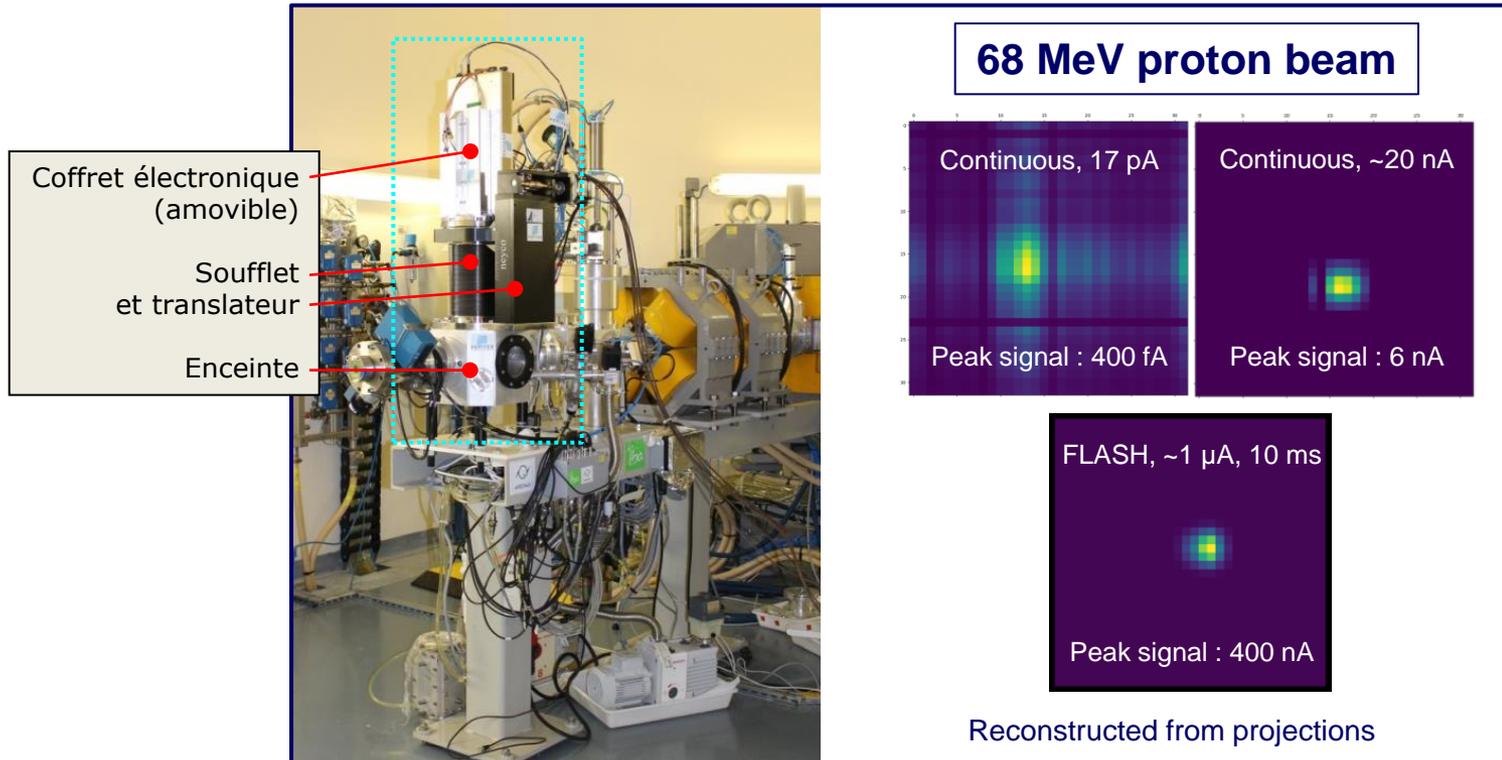


- **Avantages SEE comme signal:**
 - Très peu de matière nécessaire (~ 10 nm)
 - Très linéaire jusqu'à des faisceaux O(A)
 - **Electrons SEE basse énergie (O(eV))**
 - Doit fonctionner dans le vide
 - **Méthodes de « Couches Minces » utilisées pour la zone sensible**
 - Techniques très souples
 - **Technique brevetée (à l'instruction à l'international)**
 - Inklus Denis Bernard (aussi Geant4), idée initiale moniteur SEE
- Zone sensible très mince possible
→ Faisceaux conventionnels et FLASH
→ adapté pour un moniteur dans la ligne
→ Plein de variantes possibles !

Production scientifique

- **PEPITES @ ARRONAX**

- Moniteur 2 x 32 voies, 10 μm WET, électronique bas-bruit



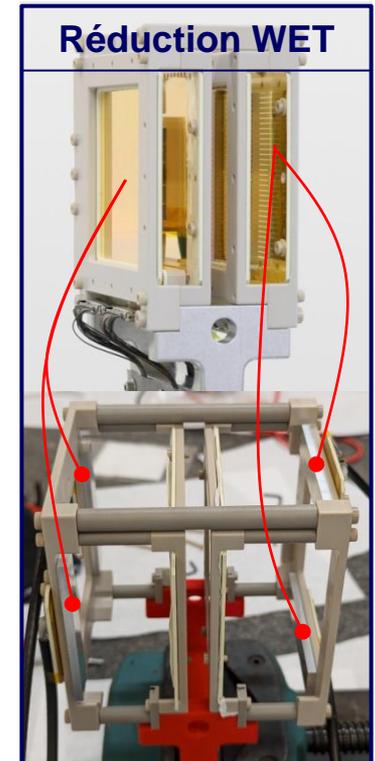
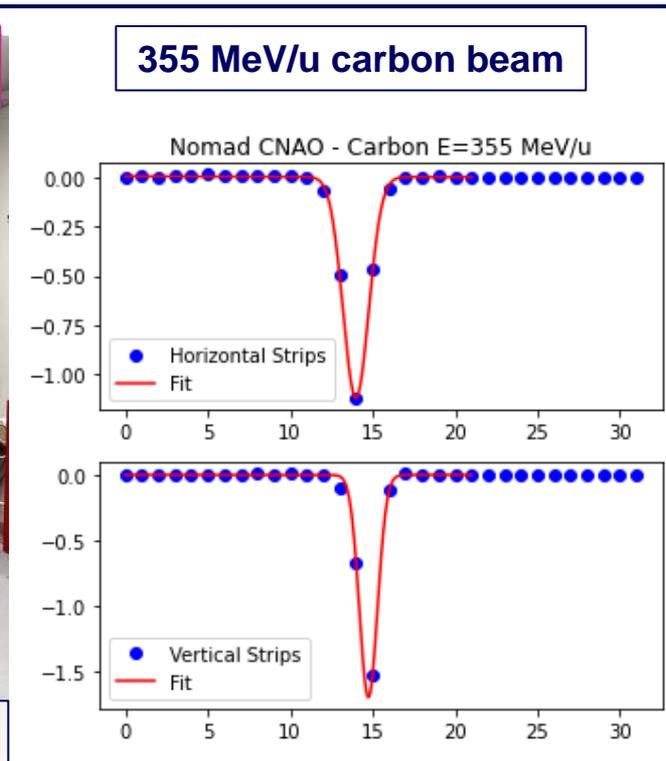
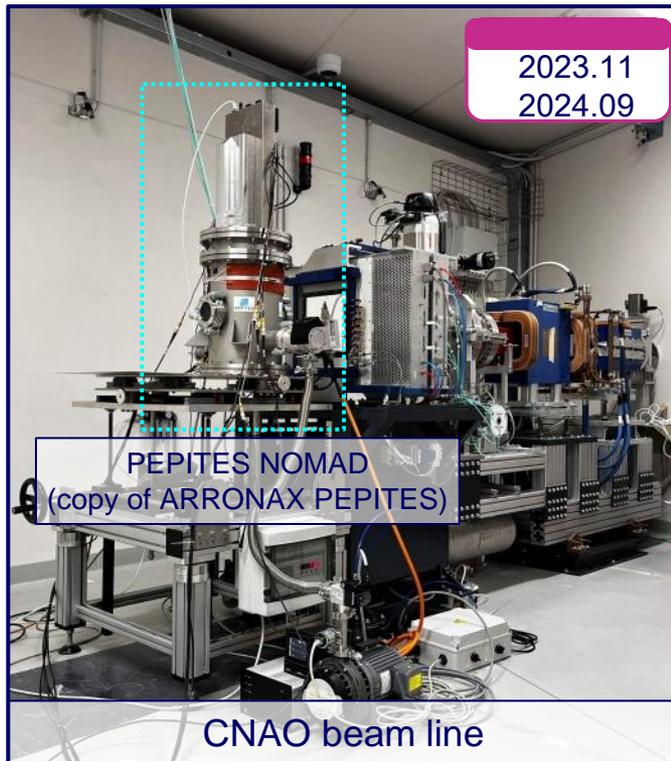
- **ANR PEPITES**, sept. 2017 – juin 2022

- 3 ans initialement + 15 mois (élec) + 6 mois (COVID)
- CEA/DEDIP: électronique bas-bruit
- ARRONAX : études endommagement et site hôte PEPITES
- LLR: mécanique, connectique, carte hôte, et porteur projet

Production scientifique

- **PEPITES @ CNAO**

- **CNAO** (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica, Pavie, Italie) intéressé par un **moniteur à 6.5 m du patient**
 - Ions carbones et protons → réduction du WET détecteur
- Test avec « PEPITES NOMAD » en ions carbone

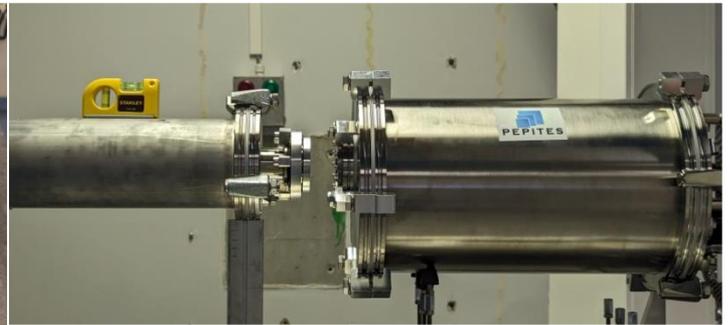
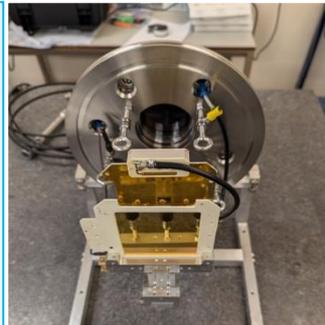
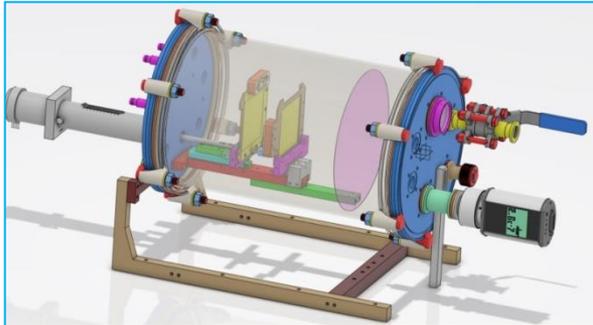


- Premier test en ion carbone novembre 2023 ✓
- Deuxième test avec électronique triggée + **WET réduit** septembre 2024 ✓

Production scientifique

• MITI « UltraFlash »

- **Accélération laser-plasma** en plein essor (peut-être application en hôpital ?)
- **Pulses extrêmement brefs O(30 fs)** → intensités instantanées O(30k A) !
- Instrumentation/diagnostic faisceau à inventer : **PEPITES pourrait-il convenir ?**
- **Projet MITI « UltraFlash »**
 - En collaboration avec le **LOA (Laboratoire d'Optique Appliquée)**, 2 ans, 2023 – 2024
 - **Projet exploratoire** : signal visible en conditions extrêmes ? Quels effets attendre ?



Taux électron secondaire (ULTRA-PRELIMINAIRE !)

ElectronFlash, Institut Curie, Orsay	ELYSE, Institut de Chimie Physique, Orsay	LOA, Palaiseau
E = 7 MeV	E = 8 MeV	E ~ 20 – 200 MeV, très fluctuant
Durée pulse = 1 μs	Durée pulse = 10 ps	Durée pulse = 30 fs
(L pulse = 300 m)	(L pulse = 3 mm)	(L pulse = 9 μm)
~40 % (~constant)	16% @ 100 pC / pulse 6% @ 1 nC / pulse	~1% (brut) 0.08 - 0.25 % si ramené à 8 MeV

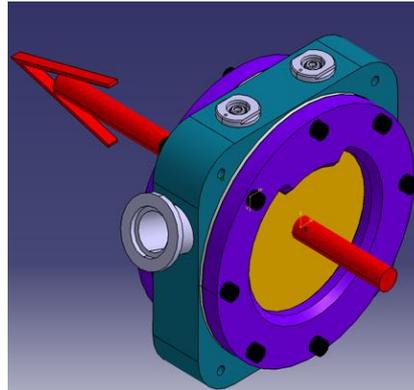
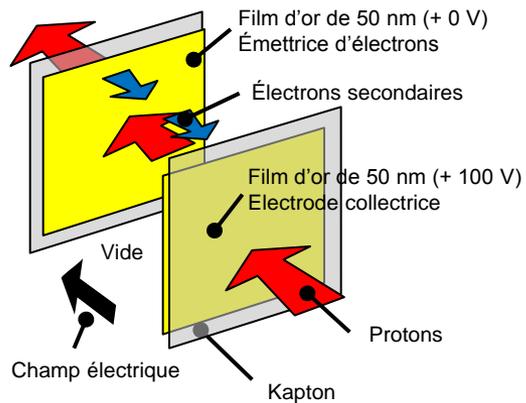
- **Signal visible à toutes les durées de pulse !**
- **Apparemment un fort effet de recombinaison = f(densité de charge) ?**
 - $Densité_charge = N_electron_pulse / ((c \times durée_pulse) \times section_pulse)$

Production scientifique

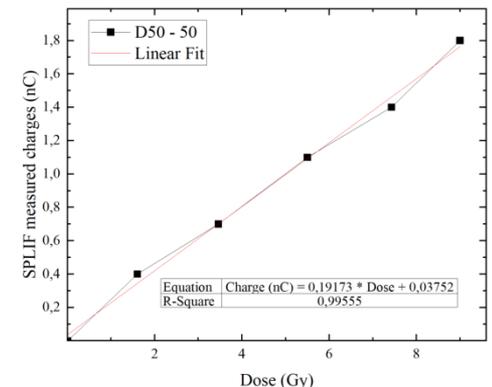
- **Hors in2p3 : SPLIF (SimPLe moniteur pour Intensités Flash)**



- PEPITES « simplifié » et nomade / transportable pour fournir un outil pratique et fiable pour une mesure des faisceaux continus ou pulsés de haute intensité (FLASH)
- Programme de prématuration de l'X/IPP
 - 2023.09.01 → 2024.08.30



- Déclaration d'invention en cours
- Projet évolue vers un « PEPITES portable »: **SPLASH**
 - **Simple** PEPITES profiler for **FLASH** therapies
 - Un « mini-NOMAD » PEPITES
 - Projet prématuration X/IPP à nouveau



Organisation-fonctionnement du groupe

- En interne dans l'équipe:
 - Resp. : Marc Verderi
 - DT : Christophe Thiébaux
 - Réunions ~hebdomadaires
 - Fonctionnement ~consensus
- Dans le laboratoire : relations avec les services, autres équipes
 - PEPITES dépend vitalemement des services électronique, mécanique & informatique
 - Echanges avec le groupe GALOP
 - Pas de projet commun, mais envisagé et envisageable

Relations sur l'Ecole:

- **Accord avec le LPICM** (Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces)
 - Le LPICM a été un **précieux conseiller** lors de nos débuts sur PEPITES
 - Accord LLR – LPICM pour l'utilisation des cloches d'évaporation (dépôt or)
 - Un aspect apprécié à l'X/IPP

Responsabilités : recherche, enseignement, autres

- Recherche :
 - LLR (Marc) a été porteur du projet **ANR PEPITES** et projet **P2IO**
 - LLR (Marc) porteur du projet **MITI « UltraFlash »**
 - LOA (Laboratoire Optique Appliqué) partenaire du projet
 - **Accord CNRS – CNAO** pour un portage de PEPITES en clinique à CNAO
 - **Hors in2p3** : LLR (Christophe) porteur projet **pré-maturation X/IPP SPLIF**
- Enseignements:
 - Aucun lié à PEPITES
- Implications dans la vie de l'Université:
 - Journée portes ouvertes : Christophe co-resp. outreach LLR
- Implications au niveau national:
 - Communication à l'in2p3: Christophe
 - Master projet PEPITES : Marc
- Implications dans la vie du laboratoire:
 - Communication : Christophe
 - Conseil de Laboratoire : Christophe
 - Biennale 2024 : Marc
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques:
 - ANR PEPITES : 2017 – 2022
 - P2IO : 2017 – 2019
 - Hors in2p3: Projet pré-maturation X/IPP SPLIF

Projet scientifique, anticipation

- **PEPITES:**

- PEPITES « historique » à ARRONAX
- Suite maturation & retour d'expérience
 - puis papier général

- **PEPITES @ CNAO:**

- Définition du projet cible (très bientôt)
 - Suivie sans doute d'une validation auprès des instances de CNAO
- Puis 3-5 ans de développement, installation, validation

- **UltraFlash:**

- Explorer les effets de recombinaison
 - ELYSE juste à la transition pour aller explorer l'effet en fonction de la densité de charge ?
- Moniteur de faisceau possible, même en mode « recombiné » ?
 - Si la fraction qui échappe à la recombinaison est constante, on peut faire un moniteur

Hors in2p3:

- **SPLASH:**

- Suite de SPLIF
- Projet prématuration X/IPP
 - Un an, avec un CDD ingénieur
 - Réponse attendue dans les prochains jours
- Conserve l'idée de SPLIF, d'un moniteur portable pour faisceau continu et FLASH
- Mais vise à un « PEPITES portable »
 - C'est-à-dire profilage transverse de faisceau
 - Au lieu de la mesure seule de l'intensité dans le cas de SPLIF

Auto analyse du groupe (1/3)

- Points forts:
 - Petite équipe, mais enthousiaste !
 - Technique PEPITES très flexible, très adaptable, très grande gamme dynamique
 - Avec beaucoup d'options encore explorables !
 - Applicable du
 - continu/« conventionnel » au
 - FLASH « classique » $100 \text{ ms} < \text{pulse} < 1 \mu\text{s}$
 - Peut-être applicable
 - au FLASH « avancé » $1 \text{ ps} < \text{pulse} < 1 \mu\text{s}$,
 - voire aux « ultra-flash » $< \text{ou} \ll 1 \text{ ps}$
 - Liens forts avec ARRONAX, le CEA, le LOA, l'Institut Curie
 - Lien naissant avec ELYSE ?
 - Projet bien visible et reconnu dans le GDR MI2B
 - Projet visible & reconnu à l'X/IPP
 - Machines locales : Institut Curie (μs), ELYSE (ps), LOA (fs).

Auto analyse du groupe (2/3)

• Opportunités:

- Application de PEPITES à CNAO en « conventionnel » en clinique
- Application à la FLASH « classique »
 - PEPITES « natif »
 - Ou projets dédiés : SPLIF, et peut-être SPLASH
 - Projet connu et apprécié à l'Institut Curie
- Possible application à la FLASH « avancée » ?
- Et peut-être aux « ultra-flash »
 - Intérêt du LOA
 - **Intérêt du projet LhARA** → pourrait donner lieu financement ***lourd***
 - **LhARA : Laser-hybrid Accelerator for Radiobiological Applications**
 - Porteur : Imperial College London
- Compréhension signal FLASH « classique » → « ultra-flash »
 - Très joli sujet de physique sur la génération de signal !
 - Thèse ? HDR ?
 - A nouveau: sujet inter-/trans-disciplinaire !
- Piste sérieuse pour industrialisation ?
 - Société Theryq, développeur de machine FLASH « classique » électron
 - Construction d'un appareil d'ici 2 ans ?
 - Spin-off de PMB-Alcen, adossée au CERN, en lien avec Gustave Roussy et le CHUV
 - Très intéressé par PEPITES !
- Proximité du C2N
 - Et contact via connaissance de Rémi Duhamel

Auto analyse du groupe (3/3)

- **Points faibles:**
 - Petite équipe : on retire une personne, cela ne fonctionne plus !
- **Risques:**
 - Marc et Christophe sont tous les deux grands-pères
 - Pas vraiment un risque en soi... ;)
 - ... mais cela dit quelque chose !
 - Financements et RH sur la corde raide en permanence
 - Pas de visibilité !
 - Soutien labo fort
 - Mais on ne peut pas tout demander au labo !
 - Opportunité postdoc saisie au vol pour Alexandre
 - Mille mercis à Sébastien Incerti !



II – Geant4

Composition actuelle de l'équipe Geant4

- 2 permanents :
 - **Denis BERNARD** (DRHC), **Marc VERDERI** (DR1)
- 0 doctorant
- 0 postdoc

Ingénieur:

- Informatique :
 - **Igor SEMENIOUK**

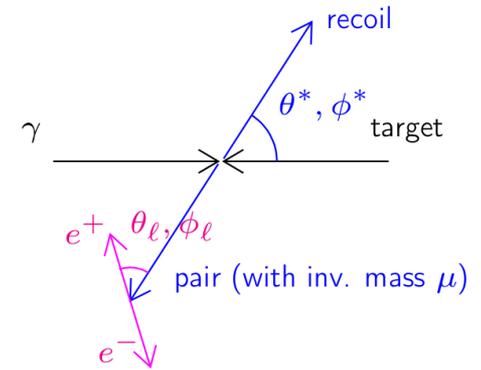
Évolutions récentes:

- Pas d'évolutions récentes

Production scientifique

- **Modèle de conversion 5D $\gamma \rightarrow e^+e^-$ (2018) puis $\gamma \rightarrow \mu^+\mu^-$**

- Denis & Igor
- Hérité du projet de polarimètre HARPO
 - Pas d'approximation
 - Modèle valide jusqu'au seuil de production
 - Prise en compte du noyau de recul
 - Denis & Igor motivés par la communauté astroparticule pour distribuer modèle dans Geant4
- Référence:
 - Denis Bernard & Igor Semeniouk, "C++ implementation of Bethe-Heitler, 5D, polarized, $\gamma \rightarrow e^+e^-$ pair conversion event generator", NIM A **936** (2019) 290.



- **Désintégration Ortho-positronium $\rightarrow \gamma\gamma$ au repos (2024)**

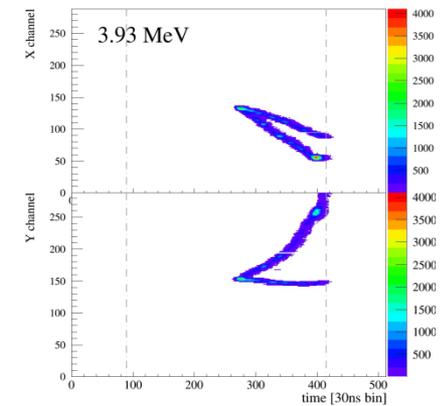
- Denis & Igor
- Mode utile notamment dans les systèmes d'imagerie PET

- **Révision infrastructure simulation rapide et modèle GLFASH**

- Igor (& Marc)
- En lien avec les efforts d'utilisation d'AI au CERN
- Révision et enrichissement exemples aussi

- **Suite du développement des méthodes de réduction de variance**

- Igor & Marc
- A « bas rythme » ces dernières années
- Biasage du transport des particules chargées, méthode « DXTRAN »,...



Conversion dans HARPO

Organisation-fonctionnement du groupe

- En interne dans l'équipe:
 - Activités indépendantes: générateur 5D et simulation rapide / biasing
 - Réunions 2 à 2:
 - Igor + Denis
 - Igor + Marc
- Dans le laboratoire : relations avec les services, autres équipes
 - Echanges ponctuels, mais toujours riches, avec groupe informatique

Responsabilités : recherche, enseignement, autres

- Recherche:
 - Marc : porte-parole adjoint de la collaboration jusqu'en avril 2020
 - **Puis porte-parole d'avril 2020 à juin 2024**
 - 2 mandats de 2 ans
 - Marc: resp. WG « generic processes & materials » depuis toujours...
 - Igor: resp. adjoint depuis cette année
- Enseignements:
 - **Tutoriel Geant4 annuel, école Doctorale PHENIICS, Orsay**
 - Resp. Ivana Hrivnacova, IJCLab
 - Co-organisé ~1 an / 2 avec la Formation Permanente in2p3
 - **Tutoriel a plus de 10 ans**
 - Marc intervenant depuis le début, Igor a rejoint en 2019
 - **Tutoriel à Accra, Ghana, 18 - 22 mars 2024**
 - Igor & Marc sur place (Ivana en remote)
 - A l'initiative de Daniel Adjei, Institut de Chimie Physique → *Origine de nos tests à ELYSE !*
 - Une certaine aventure...
 - **Geant4 Advanced Course, CERN, annuel**
 - Marc intervenant
- Implications dans la vie de l'Université
- Implications au niveau national:
 - Master projet Geant4 : Marc
- Implications dans la vie du laboratoire
- Demandes et gestion de supports financiers spécifiques



Projet scientifique, anticipation

- **Générateur 5D & Orthopositronium**
 - Denis part à la retraite en avril 2025 → nous perdons l'expertise sur ces sujets !
 - Uniquement maintenance envisagée au labo à ce stade
 - Si transfert de compétence au LLR, sur qui transférer ?
- **Simulation rapide & réduction de variance**
 - Activités continuent
 - Avec Igor un peu moins seul que ces dernières années !
 - Blame revient à Marc
- **Limites au transport parallèle de traces**
 - Intérêt (Marc) pour estimer les limites au transport parallèles de traces
 - En lien avec les R&D de portage sur GPU par exemple
 - **Question:** quelle(s) pénalité(s) entraîne la contrainte de vouloir transporter N traces en parallèle dans un Monte-Carlo comme Geant4 ?
 - Etude « semi-théorique »

Auto analyse du groupe

- **Points forts:**
 - Longue expérience de Geant4
 - Bien connu/reconnu dans la collaboration
 - Expertises variées
 - Créativité
- **Opportunités:**
 - « Ecosystème » labo:
 - Arnaud Beck, développeur de SMILEI
 - Frédéric Magneitte, sur le quantum computing
 - Un terreau propice à faire émerger des idées. Il faut trouver la graine...
 - « Ecosystème » local:
 - Maison de la Simulation
 - Nos connaissances des développeurs au CEA
 - De Geant4 ou non (TRIPOLI)
 - Problématiques similaires sur le parallélisme
- **Points faibles:**
 - Tout petit groupe
 - Marc (sur)surchargé ces dernières années avec tâches « non recherches »
- **Risques:**
 - Certitude: départ à la retraite de Denis en avril 2025
 - Risque+++ de perdre l'expertise sur les sujets de 5D et orthopositronium
 - Igor est grand-père aussi ! ;)
 - Déconnexion avec les développements (car surcharge)

Annexes

I - PEPITES

Visibilité et rayonnement

- **Conférences, workshops, grand public:**
 - Jeudi de la recherche de l'École polytechnique, 14/06/2018
 - Marc Verderi, *La physique des particules pour mieux viser les tumeurs*
 - Journées ResPLanDir 2019 (Réseau des Plateformes d'Irradiation), 18/03/2019 – 19/03/2019, Dijon (France)
 - Bruno Boyer, *PEPITES*
 - Journées du Réseau Instrumentation Faisceau IN2P3 2019, 27/03/2019 – 28/03/2019, Lyon (France)
 - Christophe Thiebaut, *PEPITES*
 - CYC2019 - 22nd International Conference on Cyclotrons and their Applications, 22/09/2019 – 27/09/2019, Le Cap (Afrique du Sud)
 - Christophe Thiebaut, *Development of a Transparent Profiler based on Secondary Electrons Emission for Charged Particle Beams.*
 - Workshop LabEx PRIMES-GDR MI2B sur les moniteurs faisceaux et le contrôle en ligne des irradiations biomédicales, 01/09/2020, Lyon (France)
 - Christophe Thiebaut, *Développement d'un profileur transparent basé sur l'émission d'électrons secondaires pour les faisceaux de particules chargées*
 -
 - FRPT2022 - Flash Radiotherapy And Particle Therapy Conference, 30/11/2022 – 01/12/2022, Barcelone (Espagne)
 - Christophe Thiebaut *PEPITES : A New Transparent Profiler based on Secondary Electrons Emission for Flash-RT Charged Particle Beams.*
- **Réunions de collaboration:**
 - Au titre de porteur du projet ANR PEPITES, le LLR organisait une réunion par an du consortium PEPITES

Evolution du groupe à venir

(FTE estimés)

- **Permanents:**
 - Marc & Christophe continuent
 - Environ 0.5 chacun → 1 FTE
 - Autres activités:
 - Marc : Geant4
 - Christophe : communication
- **Postdocs:**
 - Alexandre 01/01/2024 – 31/12/2025
 - Plein temps sur PEPITES
- **Un renfort d'un permanent chercheur serait très bienvenu !**

Hors in2p3:

- **CDD ingénieur:**
 - Si SPLASH est accepté, ouvre un an de CDD ingénieur
 - Projet démarre effectivement à l'embauche du CDD

Production Scientifique - Analyses de Physique -

(Non applicable)

Production Scientifique - Contributions techniques -

(Déjà discuté)

Production scientifique

- Bilan des Publications 2019-2024 du groupe PEPITES

Development of an ultra-thin beam profiler for charged particle beams.

B. Boyer et al.

Nucl. Inst. Meth. (2019), 936, pp.29-30.

<https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.09.134>

A new transparent beam profiler based on secondary electrons emission for hadrontherapy charged particles beams.

C. Thiebaut et al.

Physica Medica, Elsevier, 2019, 68, pp.42.

<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.09.149>

Development of a transparent profiler based on secondary electrons emission for charged particle beams.

C. Thiebaut et al.

Proceedings of 22nd International Conference on Cyclotrons and their Applications, Cyclotrons 2019 (Le Cap, Afrique du Sud)

<http://jacow.org/cyclotrons2019/papers/thb04.pdf>

First results of PEPITES, a new transparent profiler based on secondary electron emission for charged particle beams

C. Thiebaut et al.

Proceedings of IBIC2022, Cracovie, Pologne, 15-September 2022

<https://ibic2022.vrws.de/papers/mop21.pdf>

Exploring radiation hardness of PEPITES, a new transparent charged particle beam profiler.

S. Elidrissi-Moubtassim et al.

Nucl. Inst. Meth. (2020), 466, pp.8-11.

<https://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2020.01.003>

Beam Instrumentation, Challenging Tools for Demanding Projects -- a Snapshot from the French Assigned Network

F. Poirier et al.

Proceedings of HIAT2022, 15th Int. Conf. on Heavy Ion Acc. Technology HIAT2022, Darmstadt, Germany

<https://doi.org/10.18429/JACoW-HIAT2022-TU3I2>

II – Geant4

Visibilité et rayonnement (1/2)

- Conférences, workshops, (autres ?)
 - Revue « HL-LHC Computing Review Stage-2: Common Software Projects » au CERN
 - Novembre 2021
 - Marc : co-rédacteur document, présentation au panel de revue, et discussion
 - Keynote Lecture: Recent Geant4 Developments (Marc)
 - IV Geant4 International User Conference at the physics-medicine-biology frontier, Naples, Italie, 10/2022
 - Revue des projets de portage de gerbes électromagnétiques sur GPU (AdePT (CERN) et Celeritas (US))
 - Décembre 2023 (delta revue en mars 2025)
 - Marc : chair du "panel assessment"
 - Marc : intervenant au 70 ans du CERN à la Cité des Sciences
Septembre 2024
 - *"Simuler pour mieux concevoir et comprendre"*
 - Conférence SNA+MC2024, octobre 2024
 - Rétrospective des 10 dernières années de Geant4
- Réunions de collaboration:
 - Denis : plusieurs présentations en réunion de collaboration sur les développements générateur 5D et l'orthopositronium, les plus récentes:
 - On the Gamma-Ray Conversion pdf: Towards a Direct 5D Event Generation
 - Orthopositronium to 3 gamma Decay at Rest
 - Igor : présentations sur les gerbes paramétrées
 - **Au titre de porte-parole**, Marc en charge du programme des réunions de collaboration annuelles de Geant4 (2020 – 2023/2024)
 - Avec réunions distancielles en 2020 et 2021

Visibilité et rayonnement

- Contribution à Workshops (Marc):
 - Geant4
 - HSF WLCG Virtual Workshop, 11/2020
 - Introduction to GEANT4 (for Quantum Technologies)
 - (Virtual Event) IAEA Training Workshop on Ion Beam Driven Materials Engineering: New Roles for Accelerators for Quantum Technologies (congrès online)(congrès online), 05/2021
 - The Geant4 Particle Transport Simulation Toolkit (présentation remote)
 - "Academic Training Lecture Regular Programme" du CERN, 09/2022
 - Introduction to Geant4
 - Organisé dans le cadre de Eastern Africa Association for Radiation Protection (EAARP), congrès online, 03/2023
 - Community software: Geant4
 - 4th ACTS Developers Workshop, Orsay, France, 11/2023
 - Geant4 General Status
 - 15th Geant4 Space Users Workshop, Pasadena, USA, 12/2023
 - Geant4 updates : EM Physics and Fast Simulation
 - Même workshop

Evolution du groupe à venir

(FTE estimés)

- **Permanents:**
 - Départ de Denis à la retraite en avril 2025

Production Scientifique - Analyses de Physique -

(Non applicable)

Production Scientifique

- Contributions techniques -

- Participations aux « shifts », Igor, régulièrement
- Participation au développement de l'outil de gestion des validations « geant-val », Igor

Production scientifique

- Bilan des Publications 2019-2024 du groupe Geant4

- I. Semeniouk, D. Bernard, C++ implementation of Bethe–Heitler, 5D, polarized, $\gamma \rightarrow e^+e^-$ pair conversion event generator,
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.09.154>
- V. Ivanchenko et al., Geant4 electromagnetic physics progress,
<https://doi.org/10.1051/epjconf/202024502009>