



ANR-DIAMMONI : développement de détecteurs diamant pour le monitoring de faisceaux pulsés à ARRONAX application à la flash thérapie proton

Molle Robin

Doctorant LPSC/ARRONAX-SUBATECH

robin.molle@lpsc.in2p3.fr



Sommaire

- I. Le projet DIAMMONI
- II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide
- III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX
- IV. Simulation du détecteur
- V. Conclusions et Perspectives

Sommaire

I. Le projet DIAMMONI

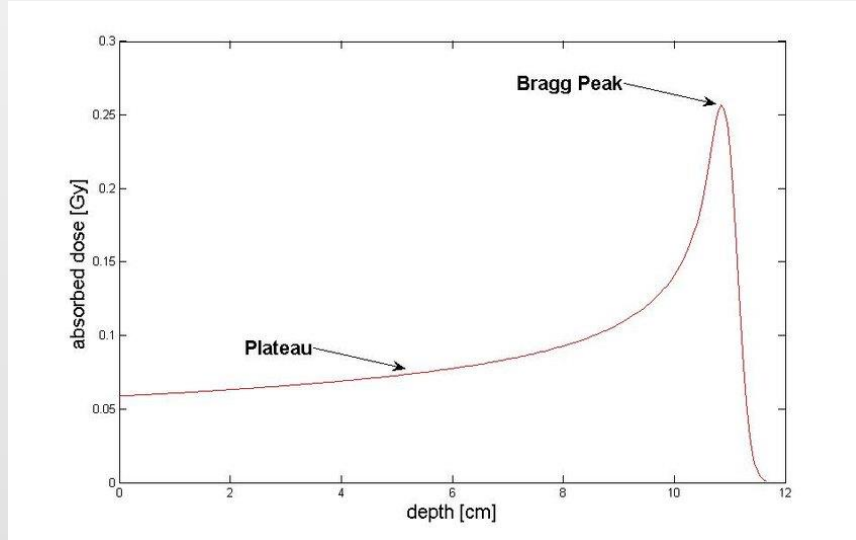
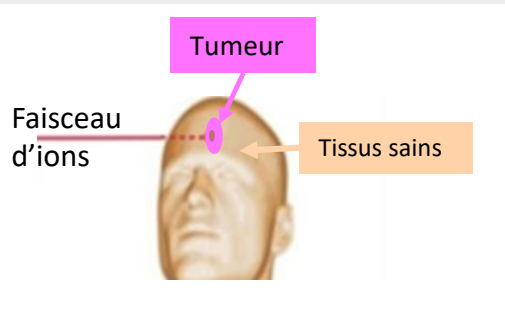
II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide

III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX

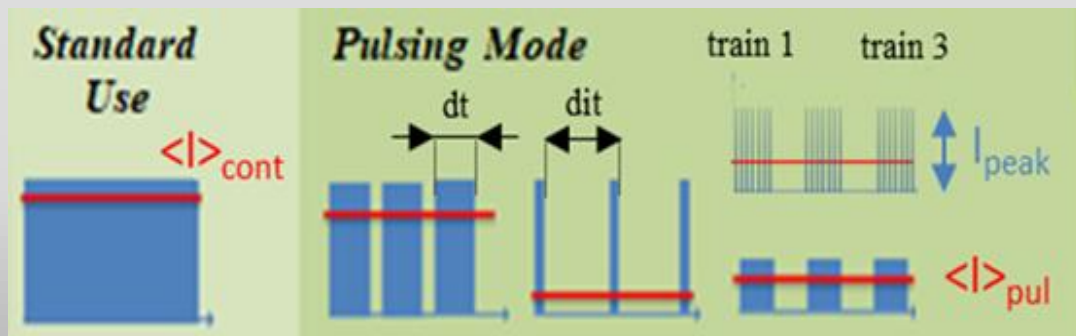
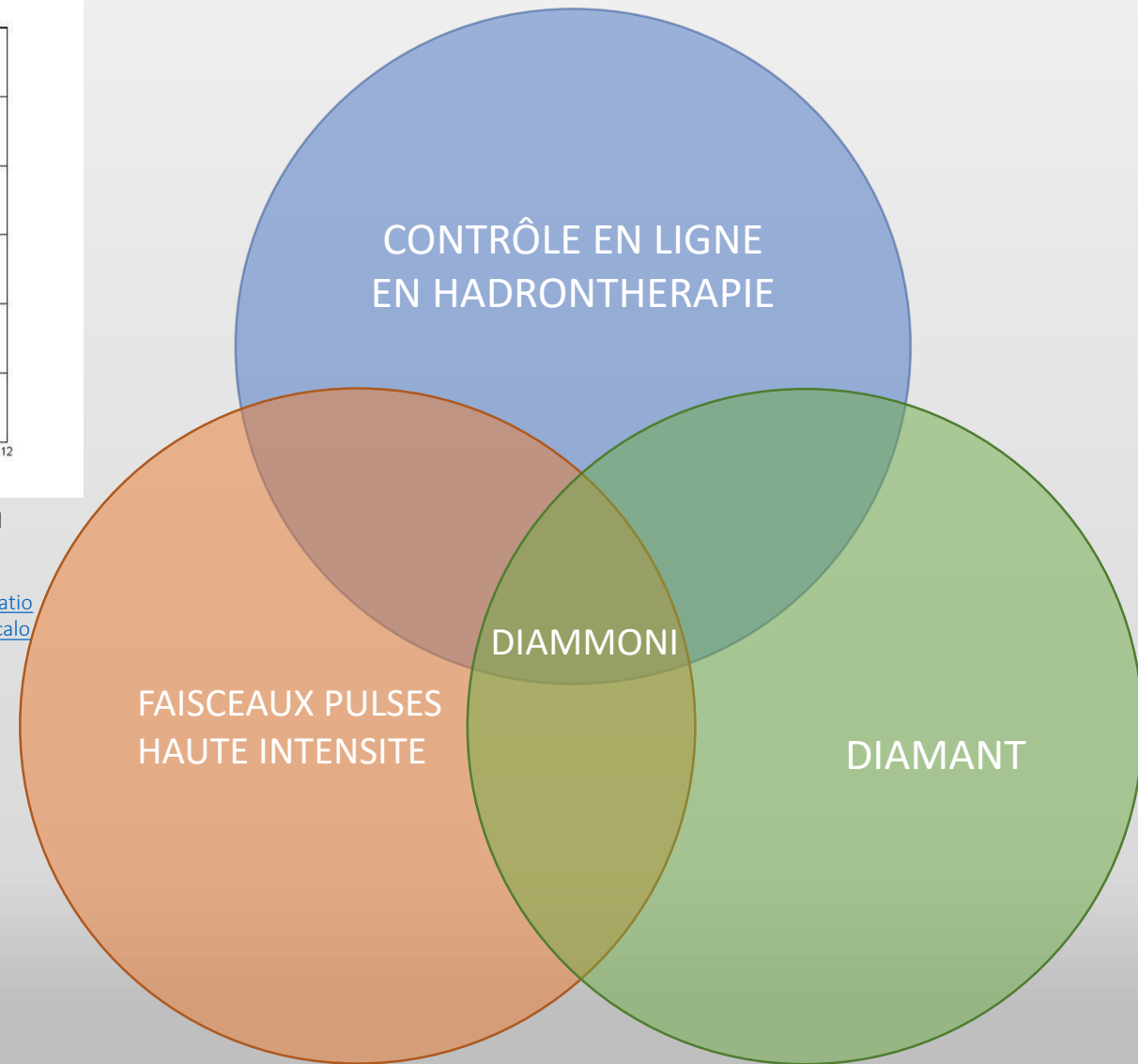
IV. Simulation du détecteur

V. Conclusions et Perspectives

Le projet DIAMMONI en hadronthérapie et Flash thérapie proton

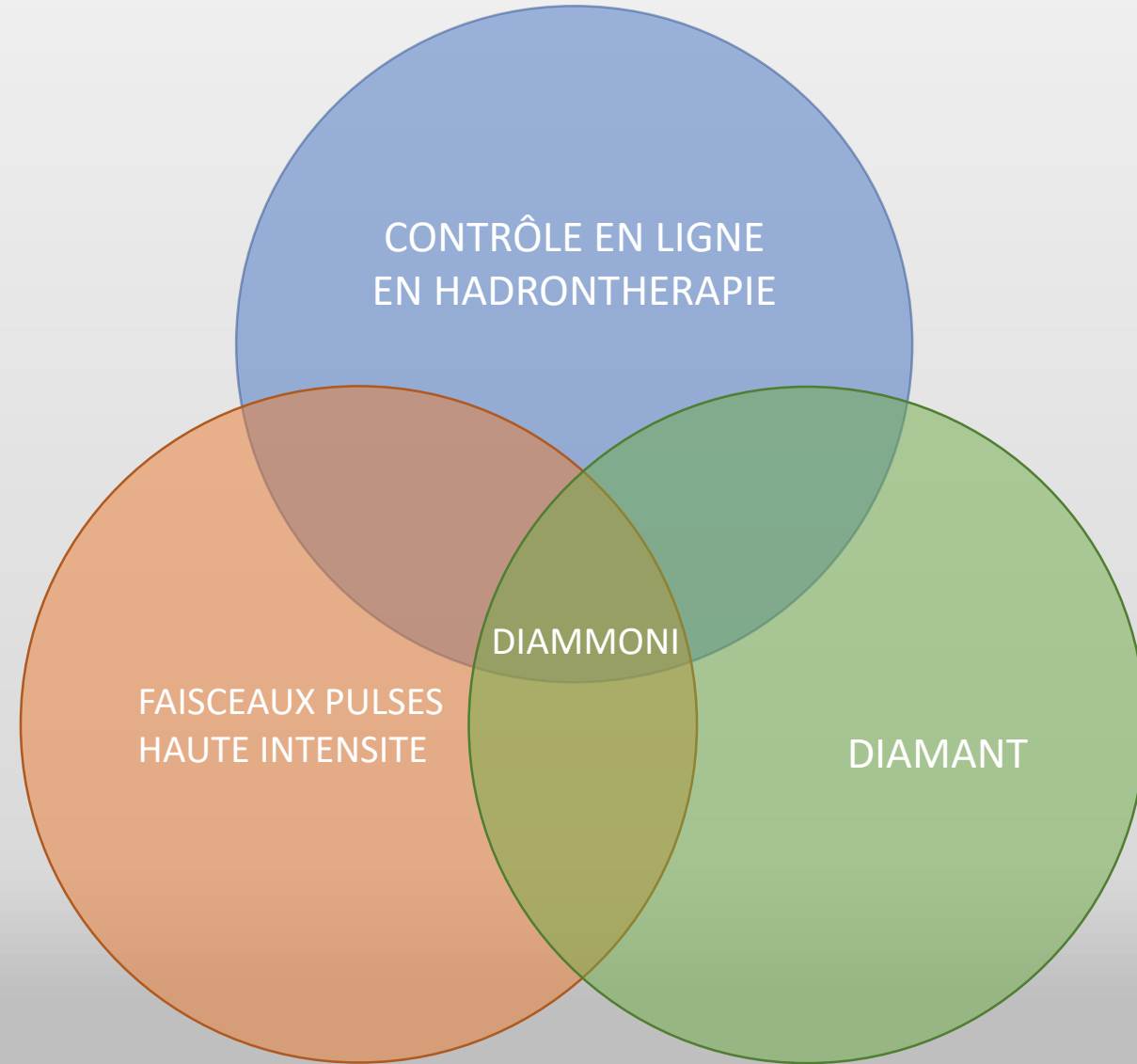
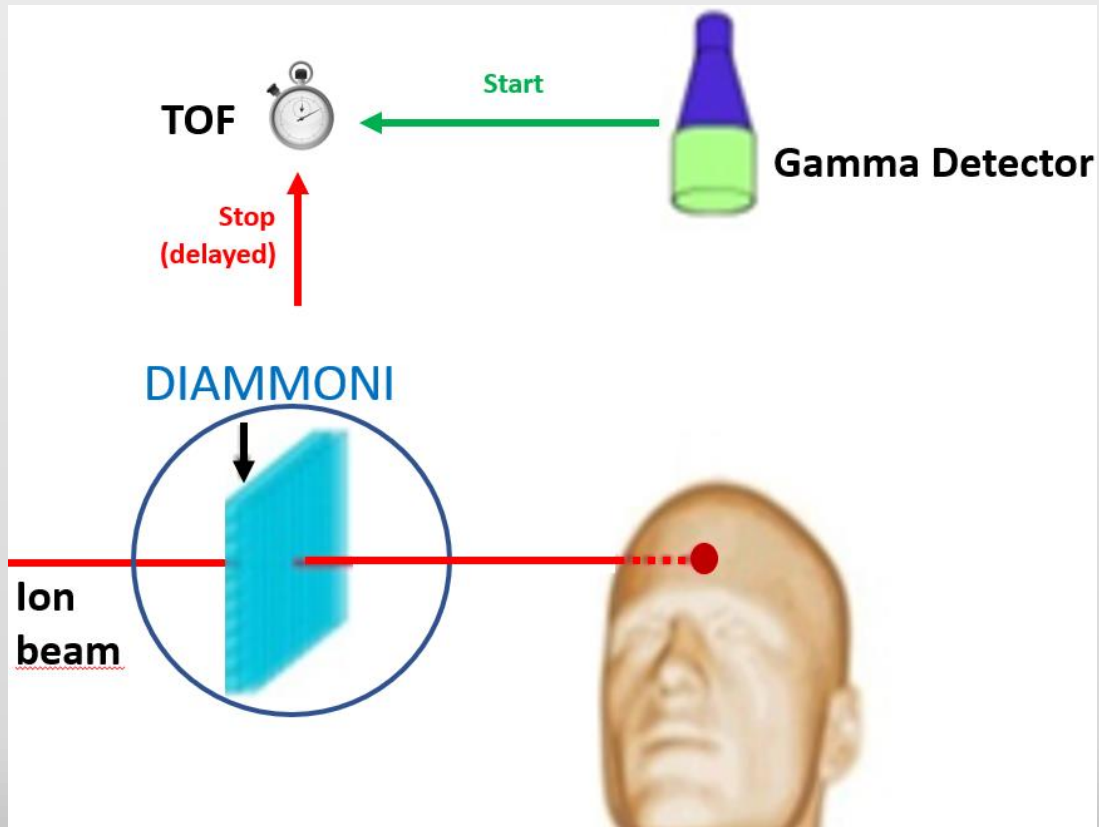


Source : Experimental determination of absorbed dose to water in a scanned proton beam using a water calorimeter and an ionization chamber, S. Gagnebin, 2010. URL : https://www.researchgate.net/publication/272623275_Experimental_determination_of_absorbed_dose_to_water_in_a_scanned_proton_beam_using_a_water_calorimeter_and_an_ionization_chamber



Source: The pulsing chopper-based system of the ARRONAX C70XP Cyclotron, Poirier et al., International Particle Accelerator Conference, 2019. URL : <https://doi.org/10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPTS008>

Le projet DIAMMONI et la Flash thérapie



Le projet DIAMMONI : le détecteur

Les objectifs sont :

- Développer un détecteur diamant pour monitoring faisceau
 - Intensité, profil, comptage dans le bunch et dans le train
- Deux modes de fonctionnement distincts :
 - **Bunch Counting** : mode continu, à faible intensité \Rightarrow entre 1 et 100 particules par bunch, jusqu'à 1nA sur détecteur
 - **Train Counting** : mode pulsé, à haute intensité \Rightarrow au-delà de 100 particules par bunch, jusqu'à 1 μ A sur détecteur

Sommaire

I. Le projet DIAMMONI

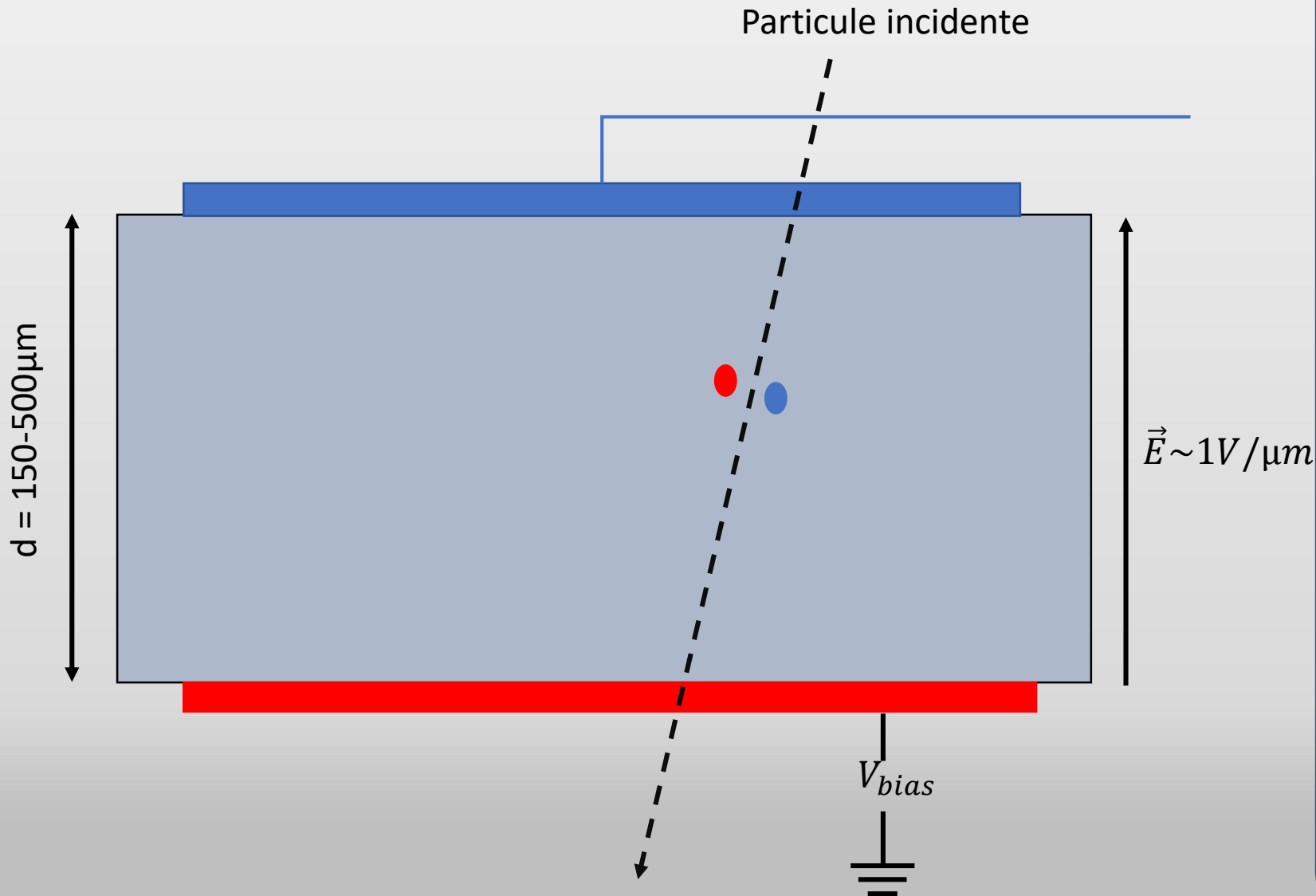
II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide

III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX

IV. Simulation du détecteur

V. Conclusions et Perspectives

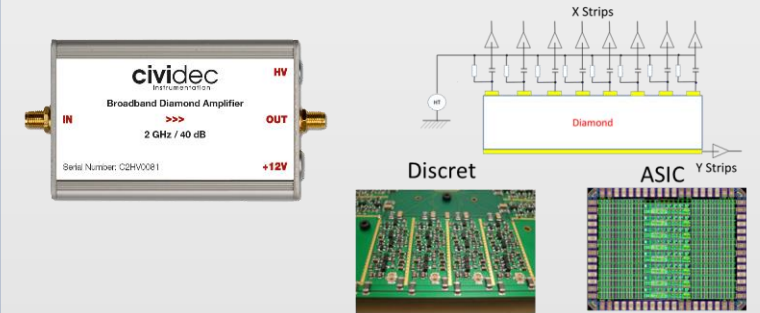
Le diamant : chambre d'ionisation solide



Electronique de lecture

- **Préamplificateur de courant**

Read out electronics @ LPSC



C. Hoarau et al 2021 JINST 16 T04005
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/04/T04005>
Front-end electronic developed at laboratory

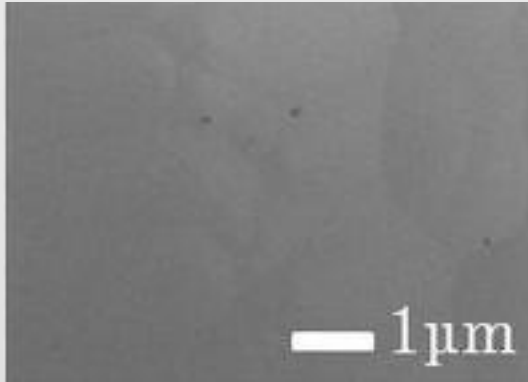
Band Width:	2 GHz
Gain:	40 dB
Impedance:	50 Ω
Dynamic range:	$\sim \pm 1 \text{ V}$
Power Supply:	12 V / 100 mA

- **Préamplificateur de charge**
Développement en interne au LPSC par le service électronique + QDC (version discrète et ASIC)

Le diamant : différents types de diamants

CVD : Chemical Vapor Deposition

Monocristallin (sCVD)

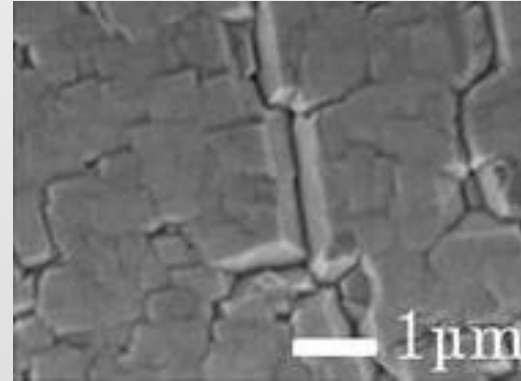


Sans défauts
Qualité cristalline parfaite
Qualité du signal



Prix
Surface maximale (5x5mm²)

Hétéroépitaxié

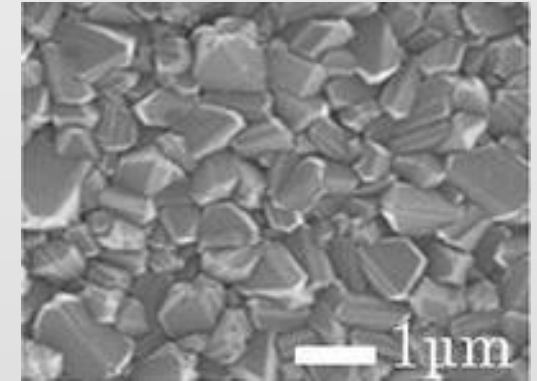


Qualité intermédiaire
Qualité intermédiaire
Collecte des charges inhomogène



Prix
Reproductible

Polycristallin (pCVD)



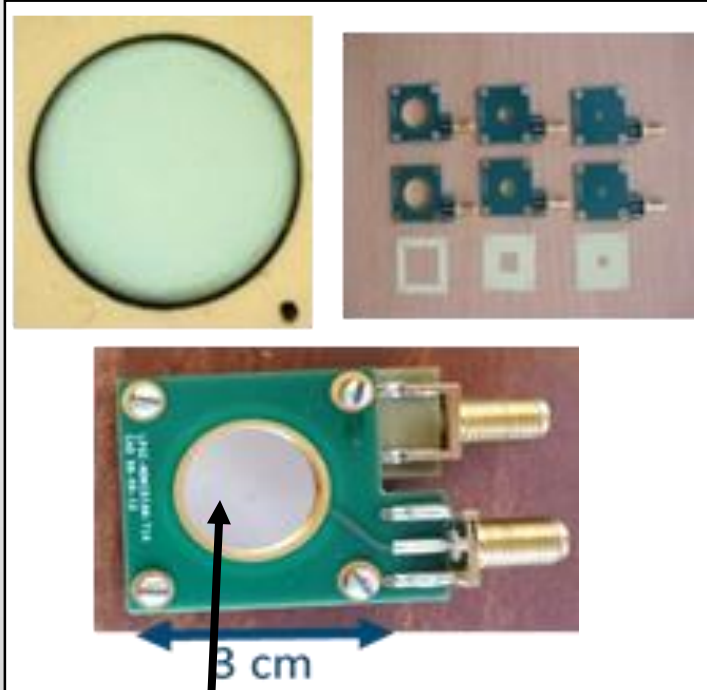
Plus facile à produire
Coût
Surface maximale (>1cm²)



Haute concentration en défauts
Qualité des signaux

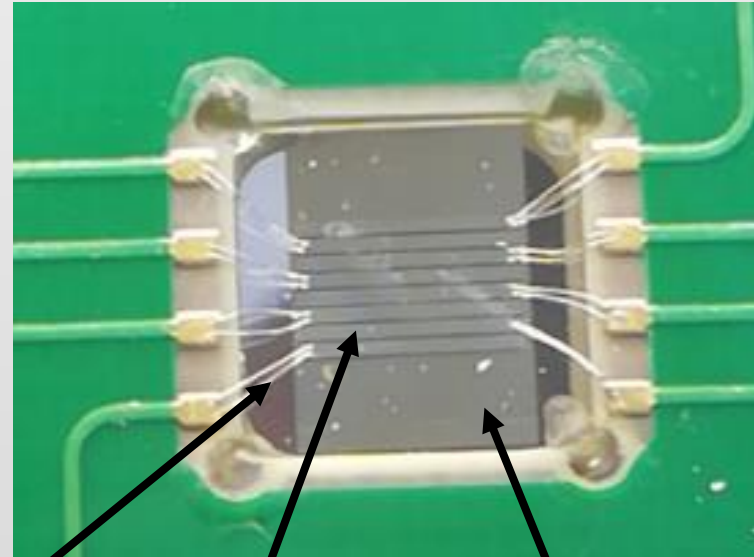
Vaissiere, Nicolas. (2014). Synthesis of high quality diamond film for the dosimeter realization in the radiotherapy domain. URL : https://www.researchgate.net/publication/278645736_Synthesis_of_high_quality_diamond_film_for_the_dosimeter_realization_in_the_radiotherapy_domain

Le diamant au LPSC



Diamant métallisé face pleine avant et arrière

Fils de Bonding

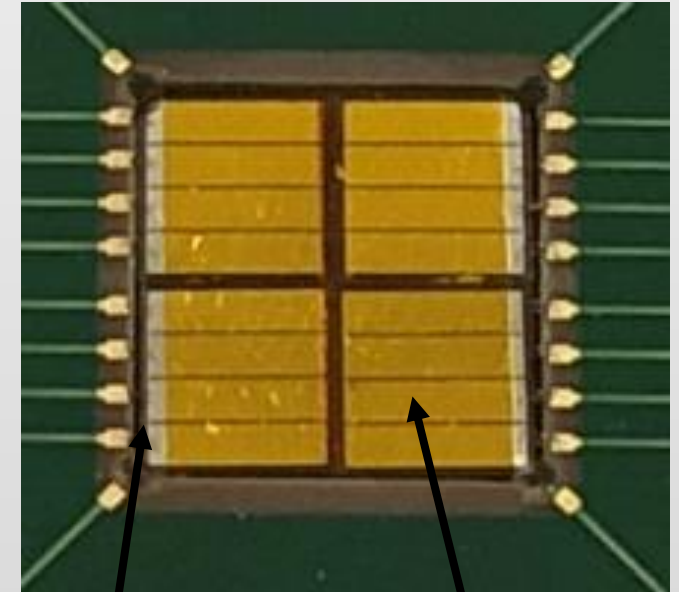


Diamant métallisé par pistes sur face avant

Diamant métallisé Pleine plaque sur face arrière



Matrice de 4 diamants monocristallins



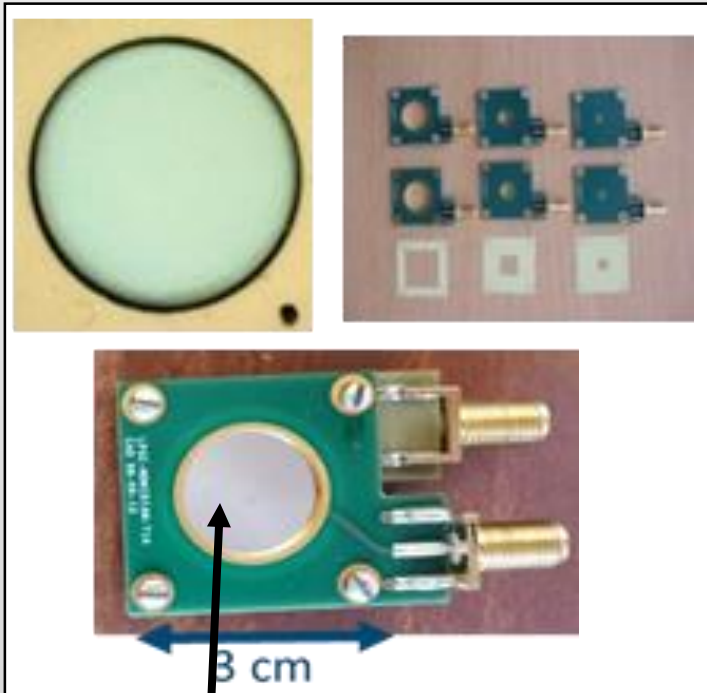
Fils de Bonding

Diamant métallisé par pistes orthogonales sur faces avant et arrière

Le diamant au LPSC

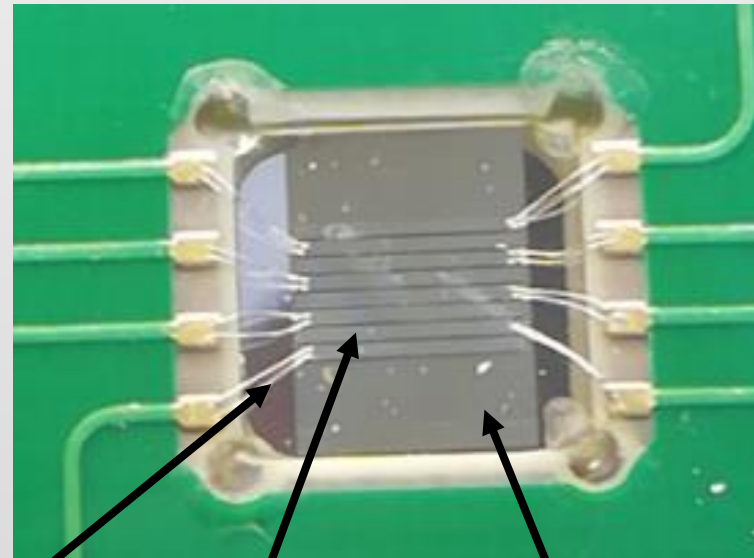


1 diamant polycristallin



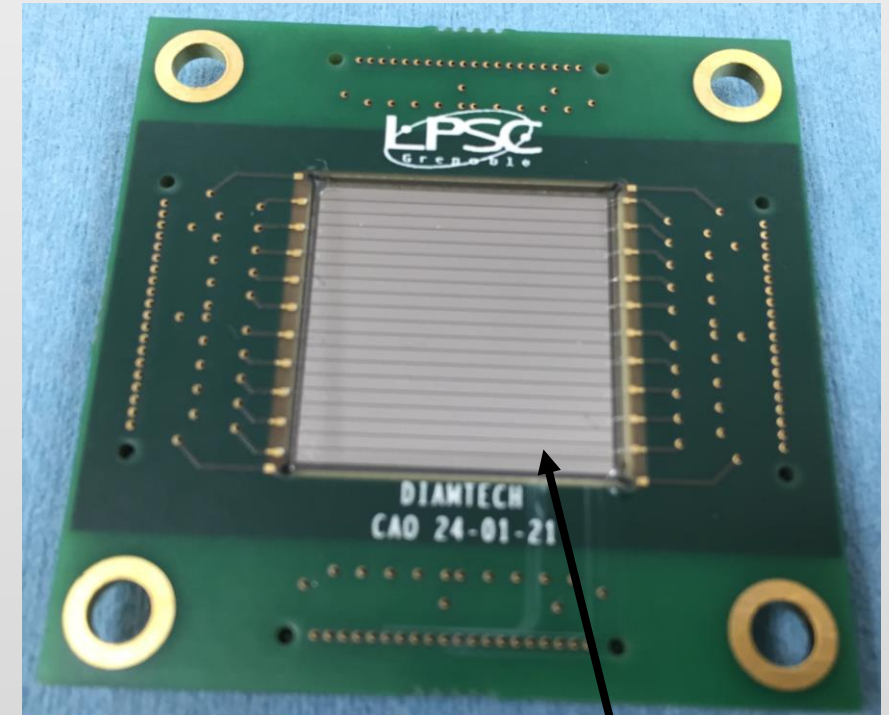
Diamant métallisé face pleine avant et arrière

Fils de Bonding



Diamant métallisé par pistes sur face avant

Diamant métallisé Pleine plaque sur face arrière



Diamant métallisé par pistes orthogonales sur faces avant et arrière

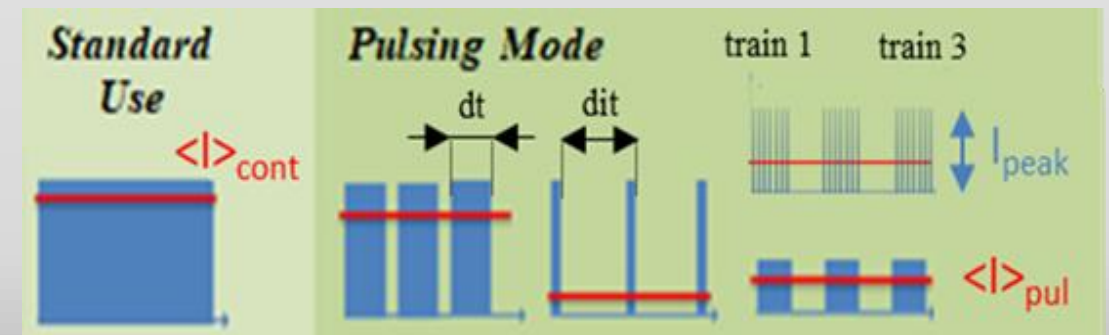
Sommaire

- I. Le projet DIAMMONI
- II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide
- III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX**
- IV. Simulation du détecteur
- V. Conclusions et Perspectives

ARRONAX et le monitoring de faisceau



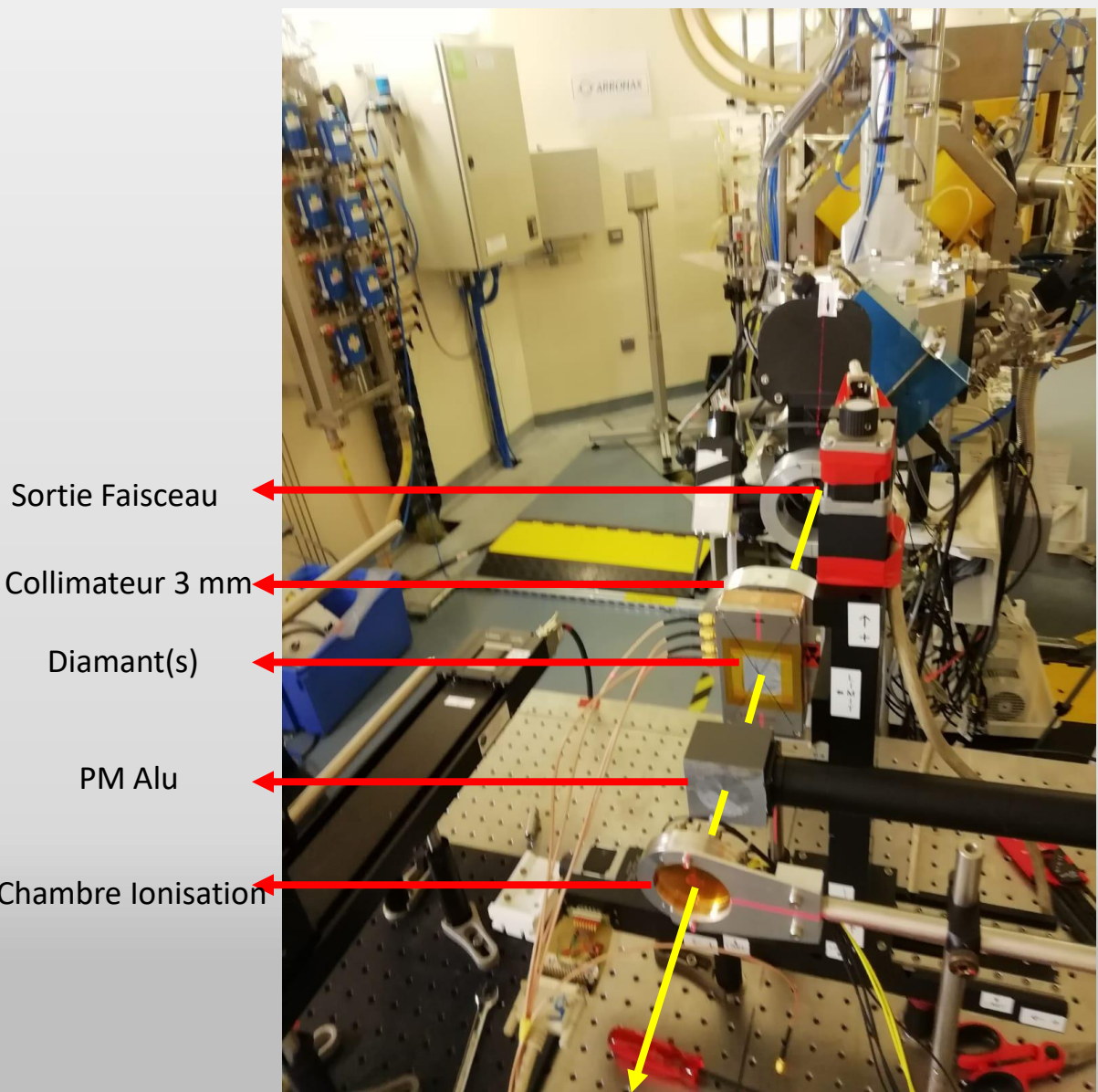
- Cyclotron 70 MeV proton-deutérium-hélium
- Intensité jusqu'à $20\mu\text{A}$ en sortie de faisceau
- Mode pulsé avec des durées de trains dt et inter trains dit
- Bunch : 4ns ON, 29ns OFF ($f = 30,45$ MHz)



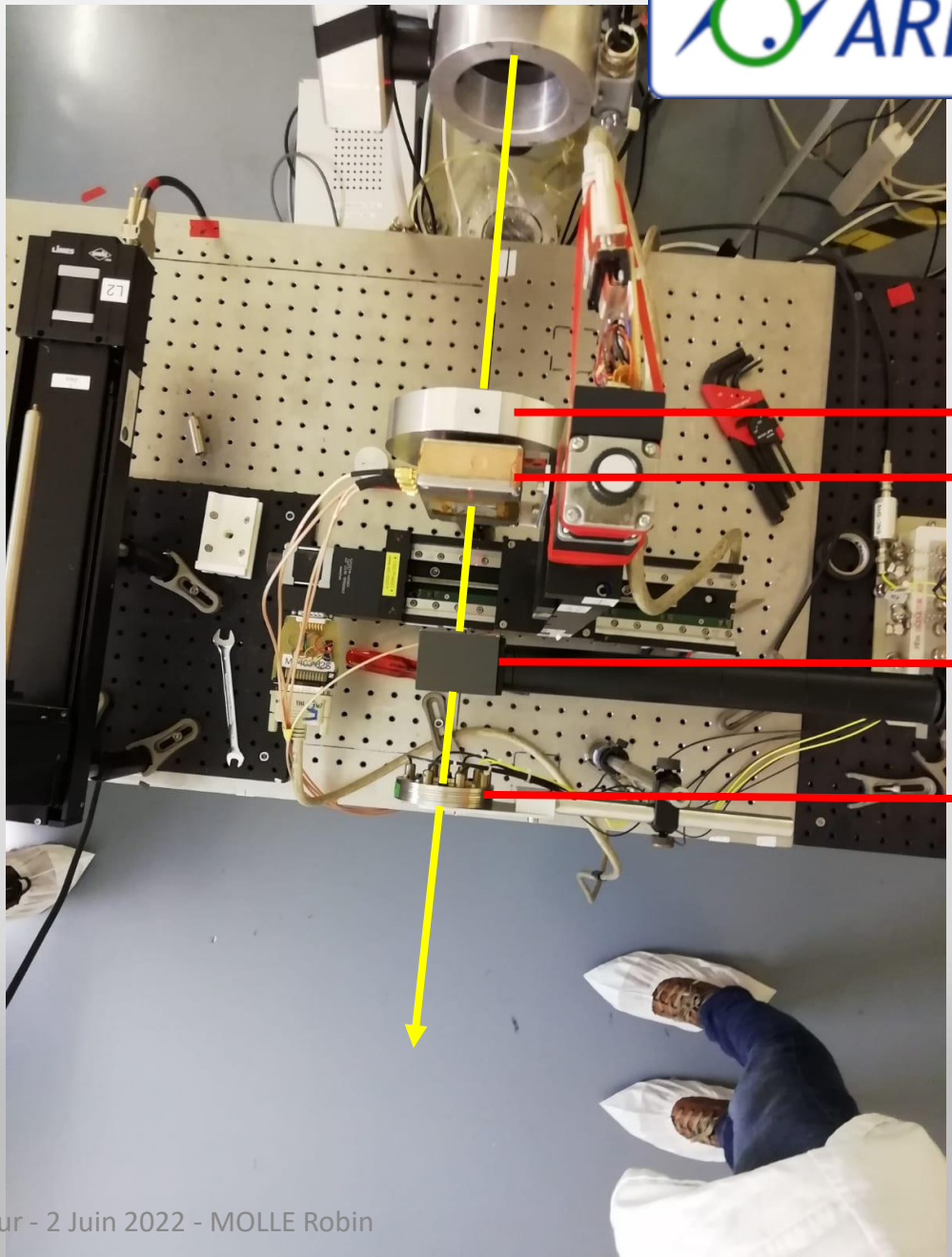
Source: The pulsing chopper-based system of the ARRONAX C70XP Cyclotron, Poirier et al., International Particle Accelerator Conference, 2019. URL <https://doi.org/10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPTS008>

Tests sous faisceaux pulsés

Particules traversantes – proton 68MeV

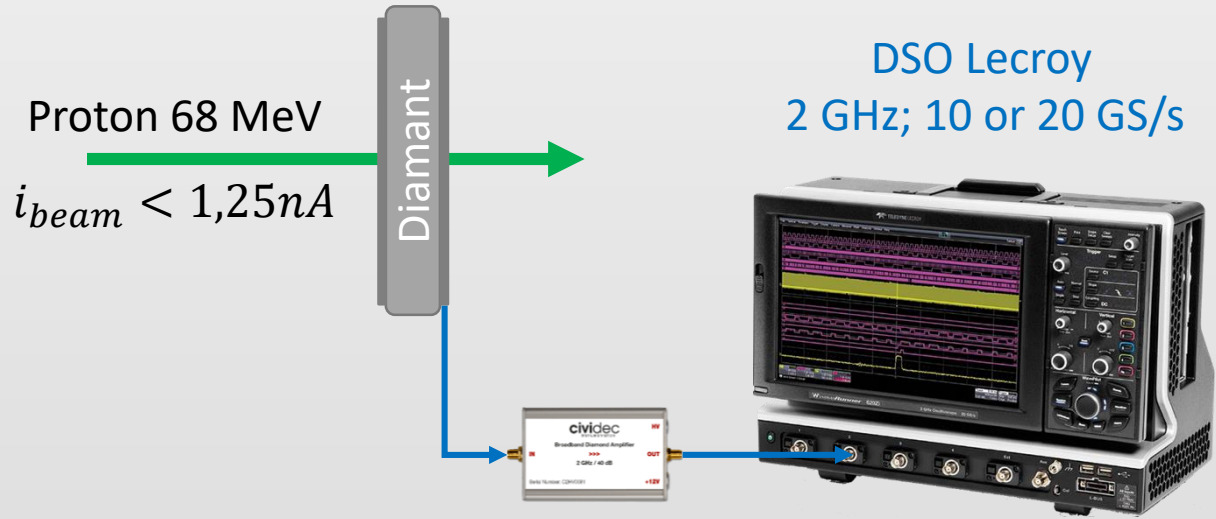


Sortie Faisceau
Collimateur 3 mm
Diamant(s)
PM Alu
Chambre Ionisation



Collimateur 3 mm
Diamant(s)
PM Alu
Chambre Ionisation

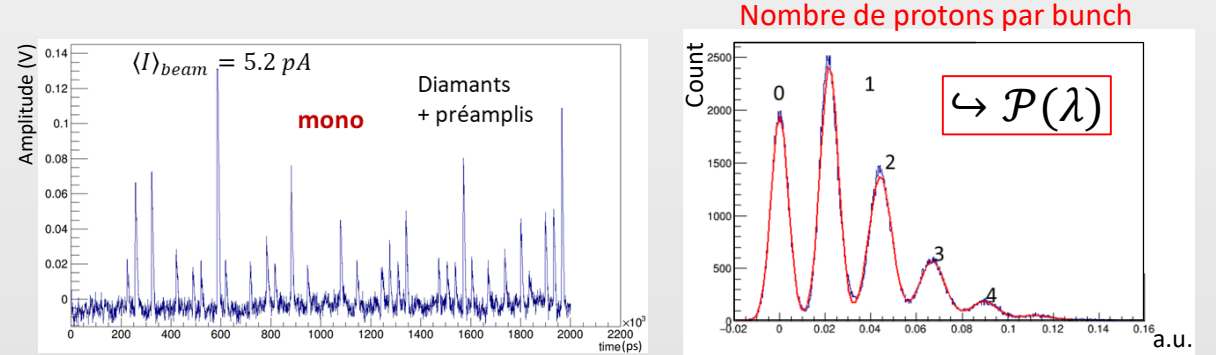
Bunch Counting Mode



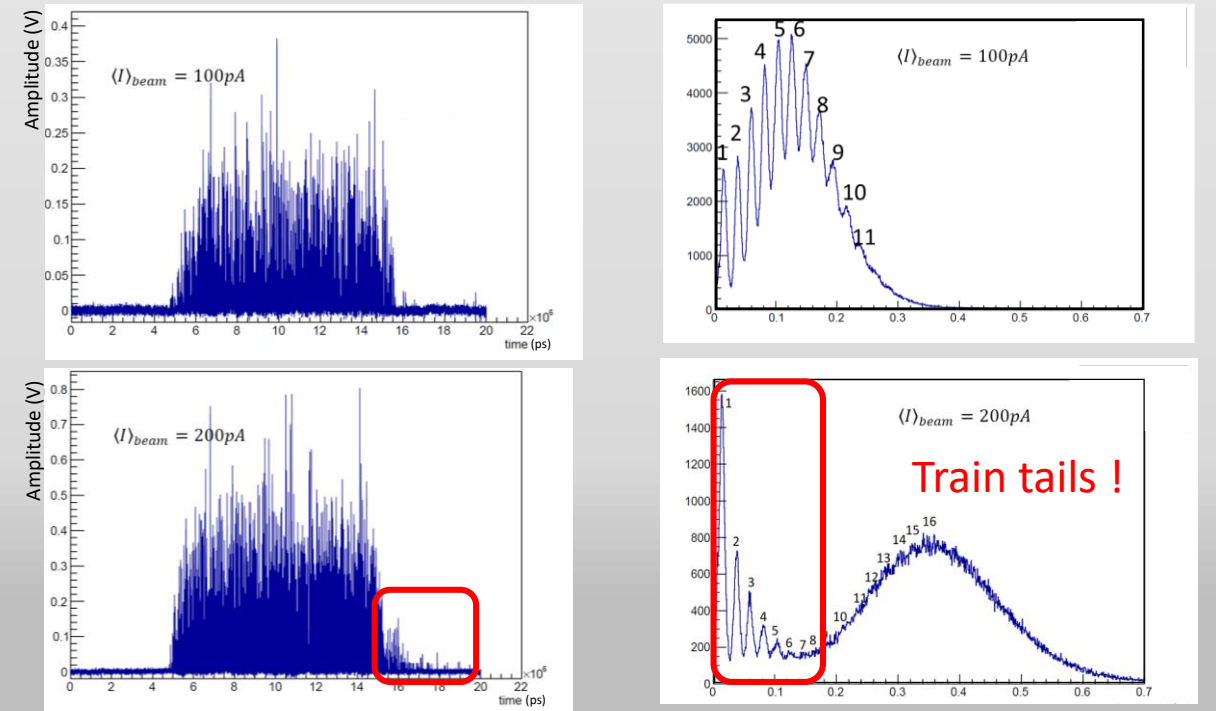
Objectifs :
 Compter le nombre d'ions par bunch de 4 ns,
 jusqu'à 100 ions par bunch
 ⇒ Fonctionnement jusqu'à quelques
 centaines de pA suivant la collimation

**Développement de
 l'électronique en cours au LPSC**

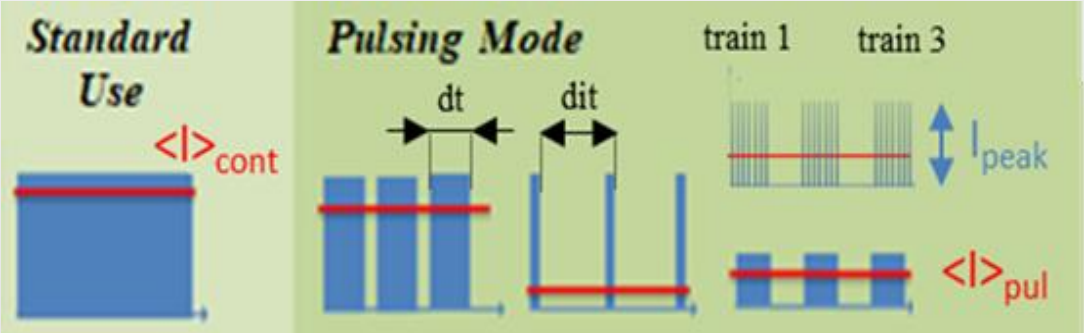
Particle counting in bunches in continuous beam mode



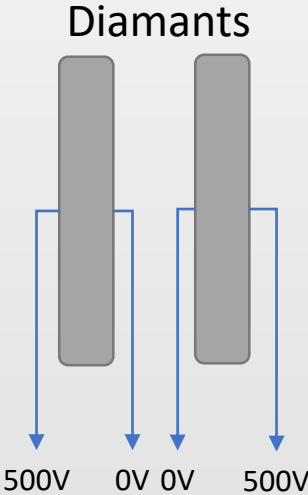
Particle counting in bunches in beam pulsing mode



Tests sous faisceaux pulsés à ARRONAX

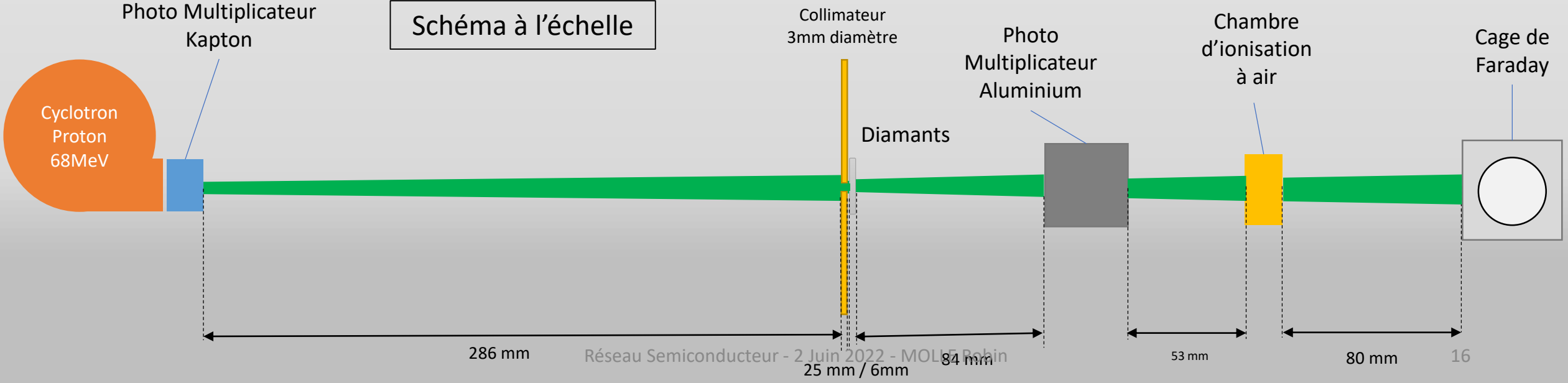


Source: The pulsing chopper-based system of the ARRONAX C70XP Cyclotron, Poirier et al., International Particle Accelerator Conference, 2019. URL <https://doi.org/10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPTS008>



Carte QDC électronique → Charge to Digital Converter
 Lecroy - Oscilloscope → Acquisition de données

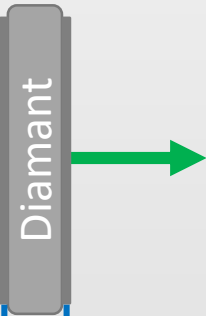
Schéma à l'échelle



Train Counting Mode

Proton 68 MeV

$i_{beam} < 20\mu A$



DSO Lecroy
2 GHz; 10 or 20 GS/s



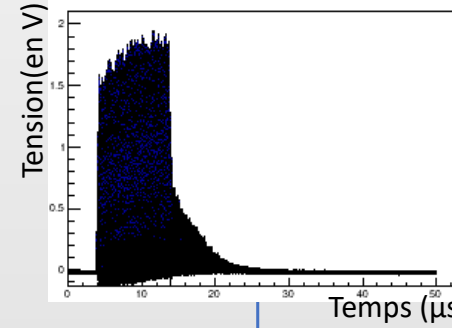
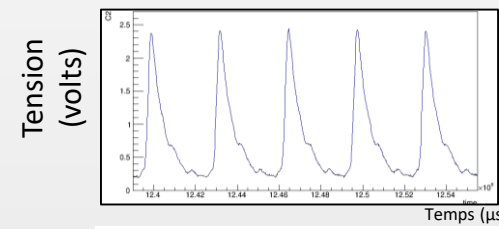
Carte QDC

Objectifs :

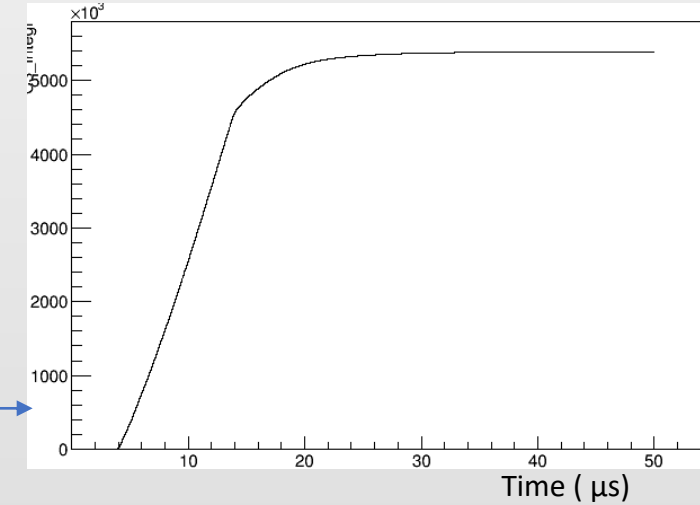
Compter le nombre d'ions par train de quelques μs

$\Rightarrow 5\mu A$ déjà atteints sur détecteur

Electronique validée



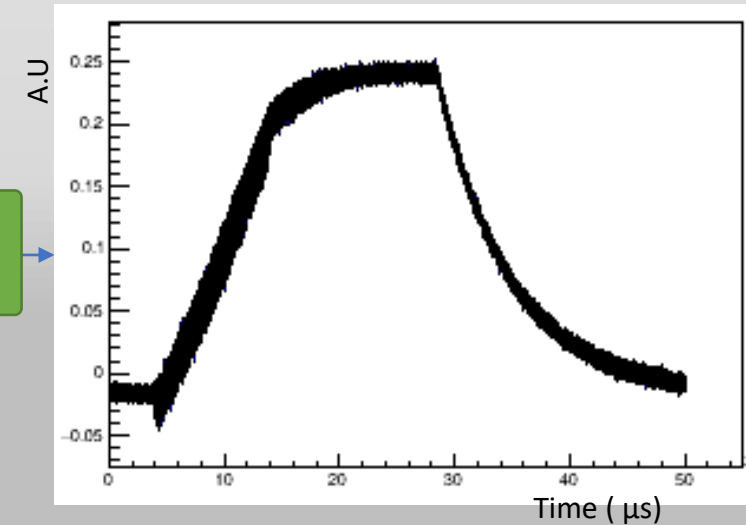
Train integral = DSO post analysis



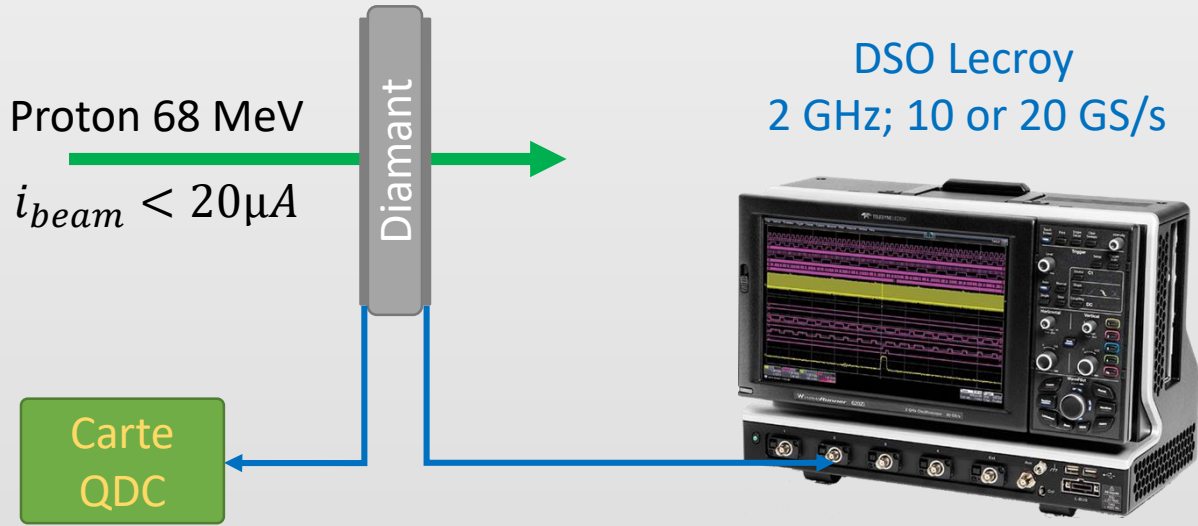
Train integral = on line measurement with LPSC QDC



Carte QDC



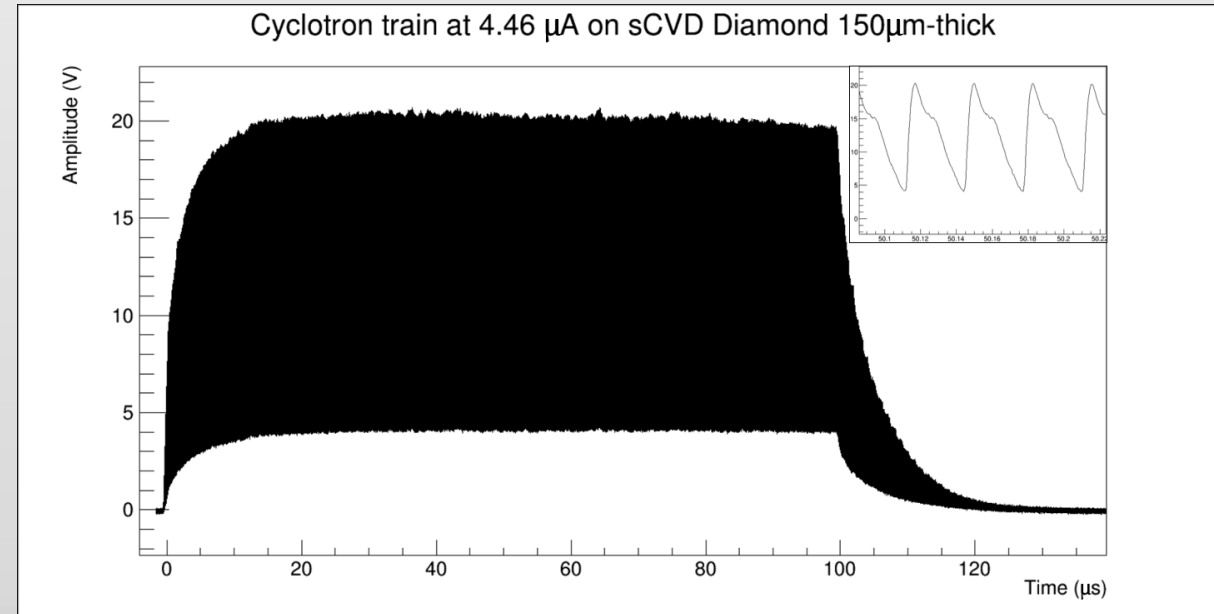
Train Counting Mode



Objectifs :
Compter le nombre d'ions par train de quelques μs
 $\Rightarrow 5\mu A$ déjà atteints sur détecteur

Electronique validée

Train de 100 μs à 4,46 μA sur diamant



Analyse en cours

Les défauts par faisceau d'ions dans une chambre d'ionisation solide sont inévitables

Études à venir :

Réponse du diamant en fonction de l'intensité et de la qualité cristalline
@ARRONAX

Défauts créés dans le diamant suite à l'irradiation
Cartographie de la réponse
eBIC@Néel / XBIC@ESRF BM05
Map2D réponse en courant des zones irradiées + étude systématique en fonction de la polarisation

Connaissance de la réponse du diamant en fonction du temps

Développements électroniques

Simulation de détecteurs sous faisceau

Moniteur de faisceau DIAMMONI

Sommaire

I. Le projet DIAMMONI

II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide

III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX

IV. Simulation du détecteur

V. Conclusions et Perspectives

Objectifs :

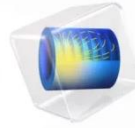
- Simuler la dérive des charges dans le diamant suite à une interaction avec une particule ionisante
- Retrouver le courant en fonction du temps sur les électrodes (donnée mesurable)
- Étude de la collecte de charge en fonction de la géométrie

Le développement de l'outil CoMatSrim



Objectifs : simulation de l'interaction des ions avec le diamant en 3D

COMSOL
MULTIPHYSICS®

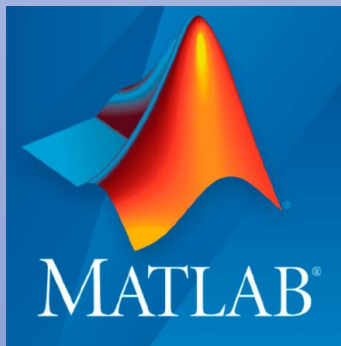


Principe : méthode des éléments finis

Objectifs :

- Géométrie du détecteur
- Résolution de l'équation de Poisson

$$\Delta V(\vec{r}) + \frac{\rho(\vec{r})}{\epsilon_0 \epsilon_r} = 0$$



Import des données et calculs

Principe : calculs matriciels

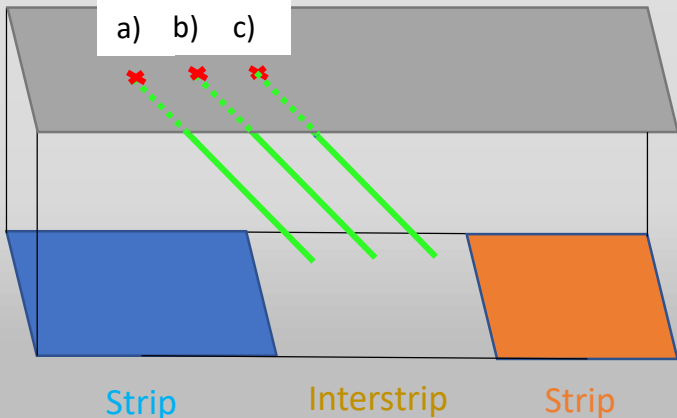
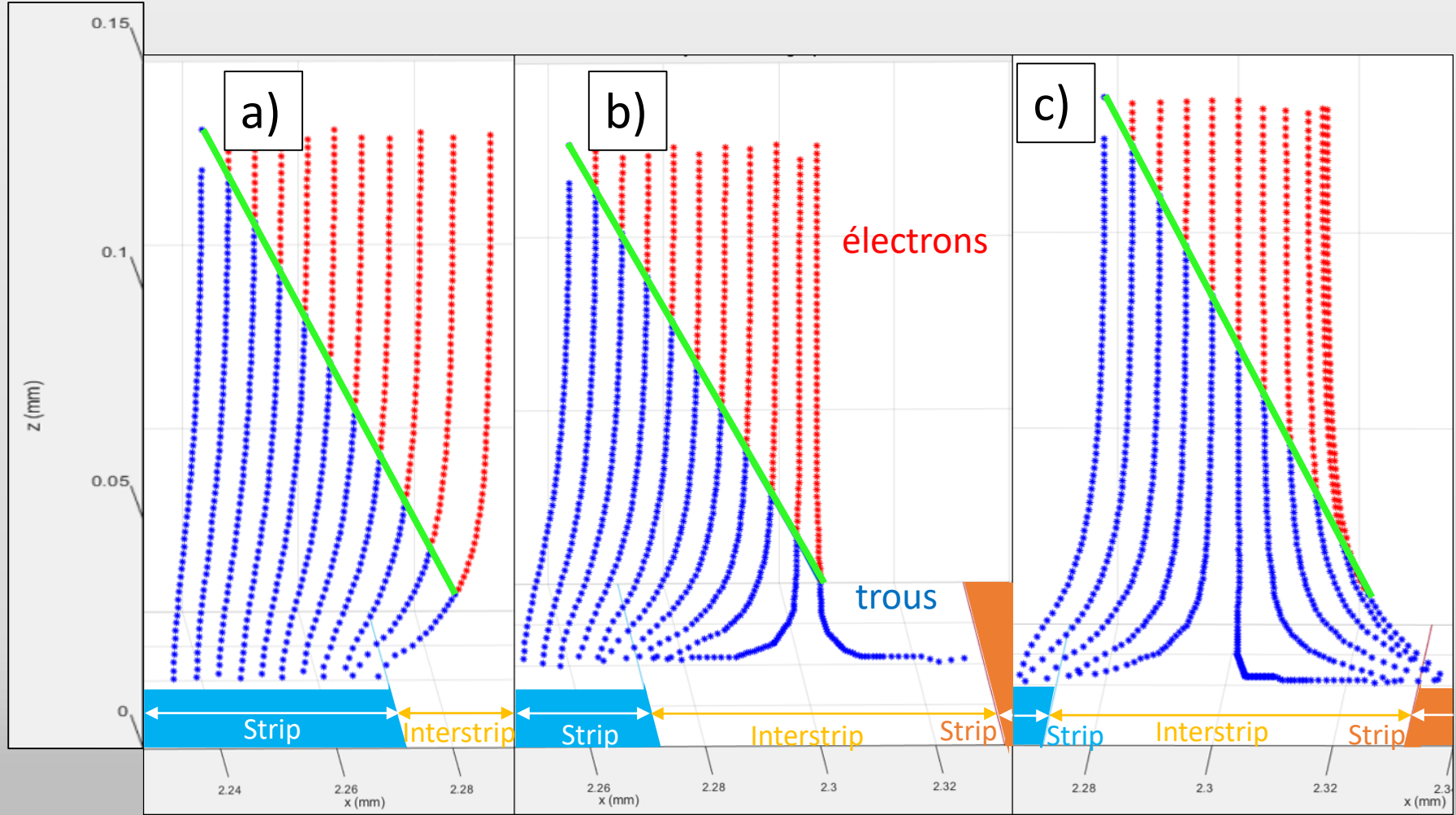
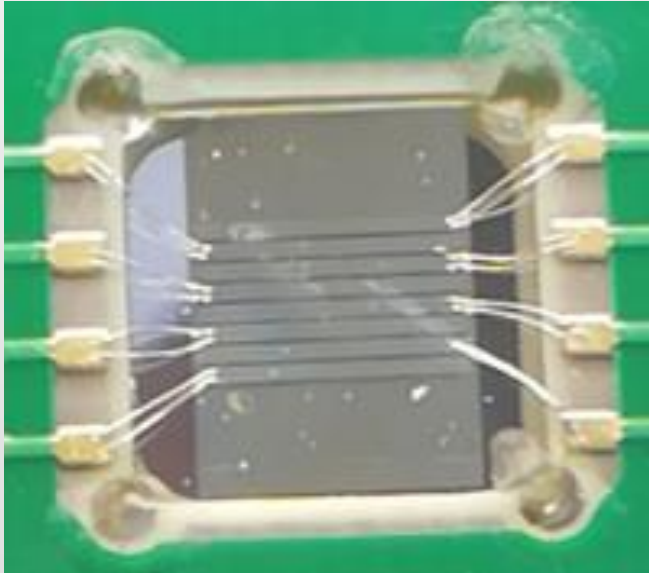
Objectif : interfaçage SRIM-COMSOL

- Dérive de charges
- Evaluation des signaux temporels
- Collecte de charges

Résultats, améliorations et perspectives

Quelques résultats

Face avant : strips
 Face arrière : pleine plaque



Perspectives

Expériences sous faisceau

Développements électroniques

CoMatSrim et l'étude de la géométrie de détecteur



Études à venir :



Compréhension des effets causés par la haute intensité faisceau

Optimisation de la géométrie du détecteur



Modélisation de la collecte de charges à haute et basse intensité sur le moniteur de faisceau

Moniteur de faisceau DIAMMONI

Sommaire

- I. Le projet DIAMMONI
- II. Le diamant en tant que chambre d'ionisation solide
- III. Monitorage faisceau proton 68 MeV Cyclotron ARRONAX
- IV. Simulation du détecteur
- V. Conclusions et Perspectives**

Conclusions et Perspectives

Simulation - Modélisation

- Comprendre la dérive des charges à haute intensité
 - Effets liés au nombre de charges créées dans le diamant (125 milliards de paires électrons trous à 5 μ A)
- Modéliser la collecte des charges en fonction de l'intensité (et donc de la fluence) et des défauts dans le diamant

Expériences (tests à venir : TOF-XBIC à l'ESRF en juin, faisceau de protons pulsés à ARRONAX en Août)

- Etude de l'endommagement des diamants avec la fluence et le nombre protons reçus

Développement électronique en cours au LPSC

