

# Projet iRPC

CS iP2i

---



20  
20

Gérald Grenier



# Générique

## Les acteurs principaux

EDAQ

Claude Girerd (responsable technique),

Xiushan Chen (thèse en cours),

Geoffrey Galbit,

Guillaume Noel,

William Tromeur,

Alban Luciol.

Informatique

Christophe Combaret.

CMS

Maxime Gouzevitch (responsable scientifique)

Imad Laktineh (ex-responsable scientifique),

Gérald Grenier (responsable scientifique adjoint),

Laurent Mirabito,

François Lagarde (thèse 2017),

Konstantin Shchablo (thèse 2020).

## Participation ponctuelle

EDAQ

Rodolphe Della Negra.

Mécanique

Malik Bouhela,

Lionel Germani.

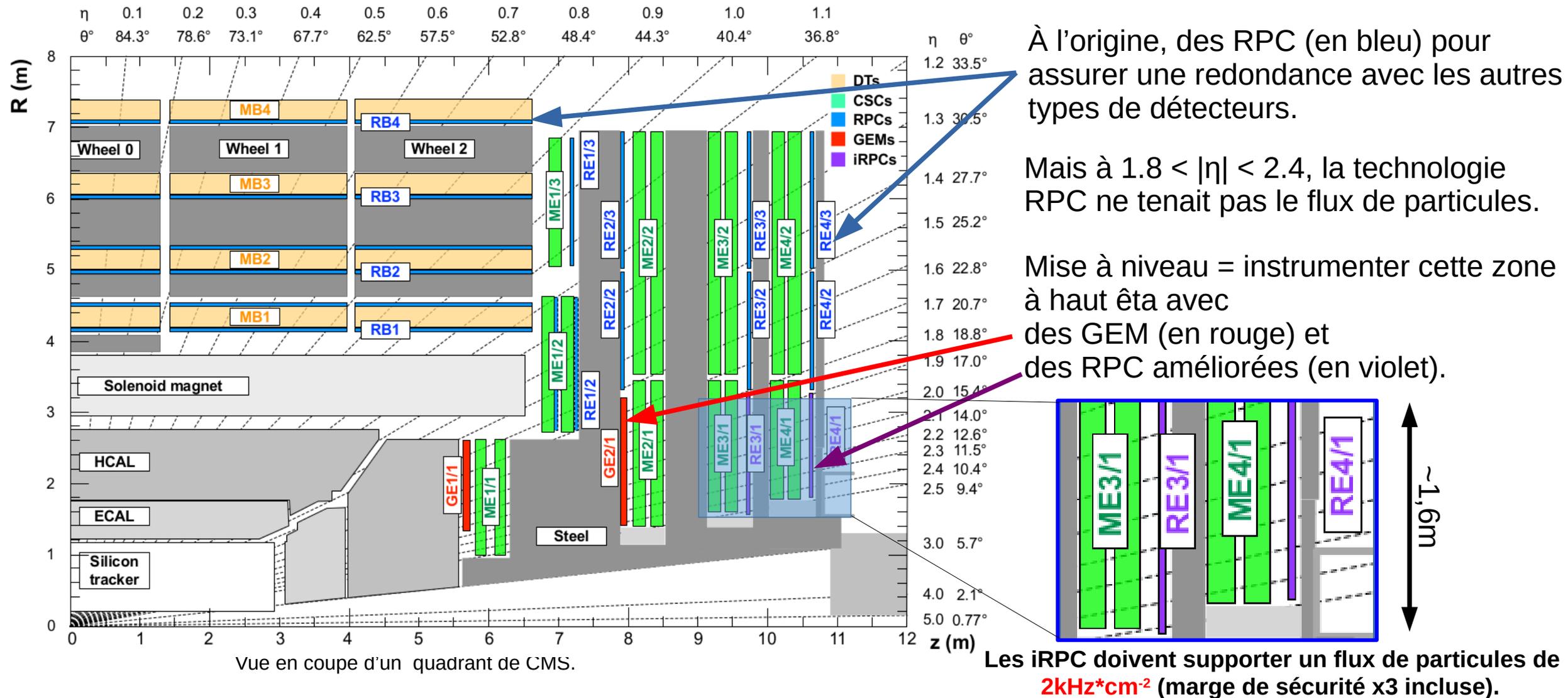
CMS

Pierre Depasse,

Ece Asilar.

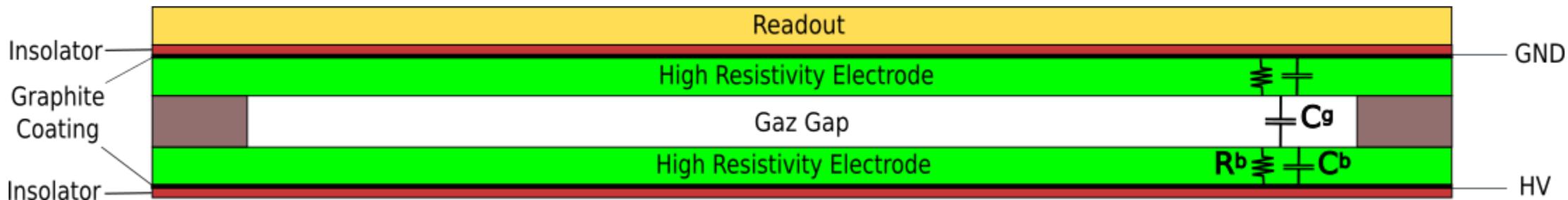


# Il était une fois les muons dans CMS

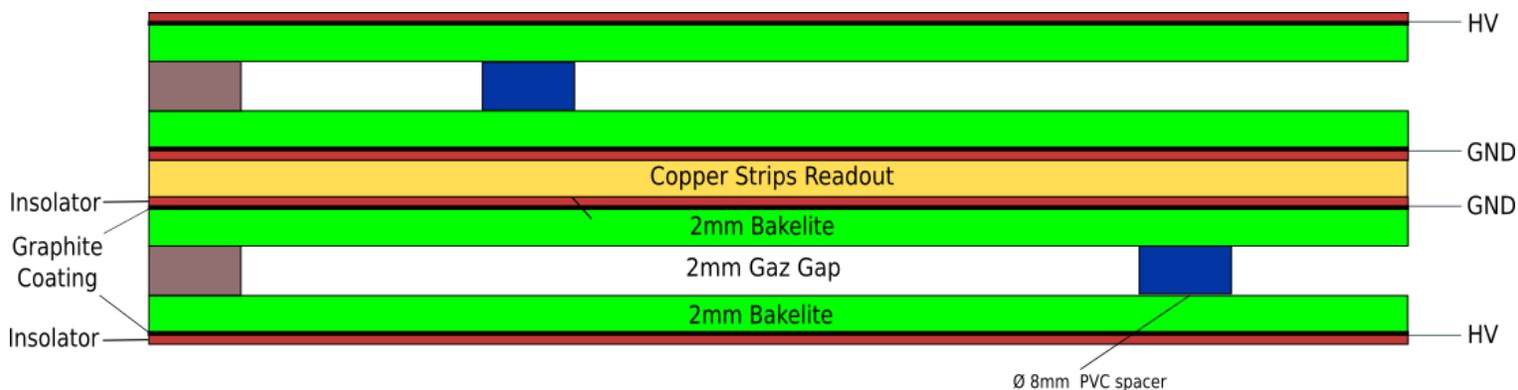


# S'il te plaît, dessine moi une RPC

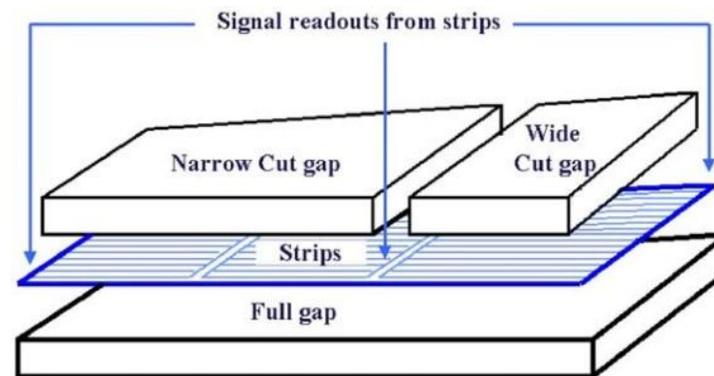
La base : un mélange gazeux entre 2 électrodes planes, un soupçon de haute tension, de l'électronique.



## Les anciennes de CMS



Récupération des signaux par câbles coaxiaux.

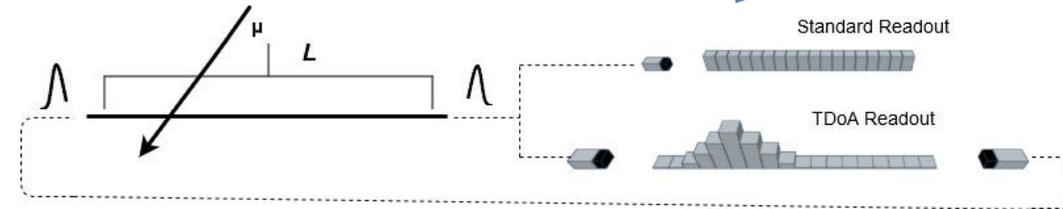


# La proposition

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

1) Pour augmenter la tenue au flux de particules, il faut :

- réduire la résistivité des électrodes,
- réduire l'épaisseur des électrodes,
- réduire la charge du signal (couche de gaz plus fine, HT plus faible).



$$Y = L/2 - v * (t_2 - t_1)/2$$

2) Lecture par strip aux 2 bouts et précision temporelle importante pour segmenter les strips sans les couper (réduction des zones mortes)

**Une innovation mondiale**

Électrodes en verre spécial (Université de Tsinghua).

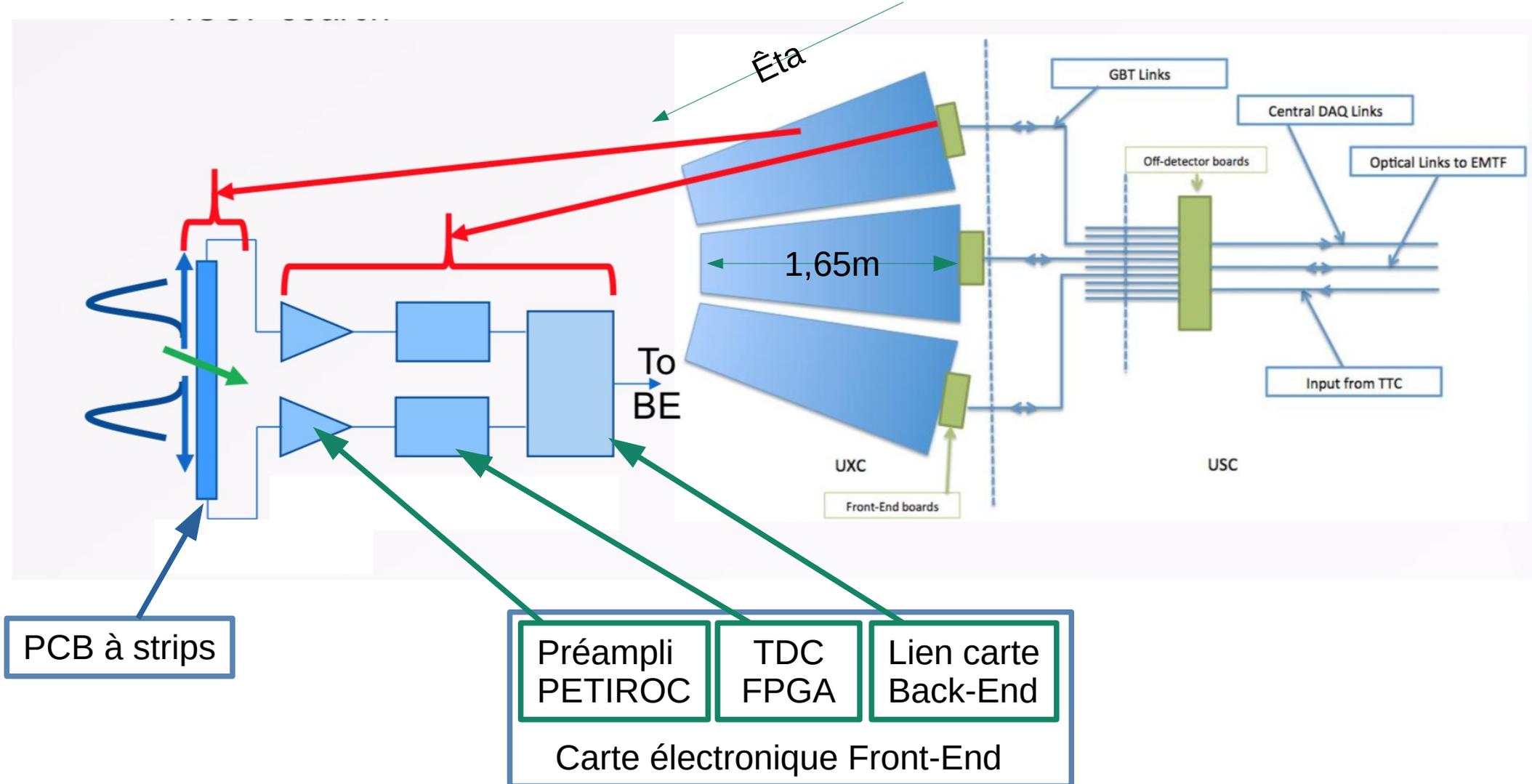
Choix de la puce PETIROC.  
 Conçue par OMEGA pour les PET.

- Préamplificateur avec résolution en temps < 100 ps
- Seuil à 60 fC
- Partie digitale du PETIROC (TDC, lecture) limitée en taux de répétition et occupation

⇒ TDC externe



# Le projet en un schéma



# Le premier jalon

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

Électrodes en verre spécial OK,

mais besoin d'un mélange gazeux différent

+ innovation industrielle sur la finesse des électrodes en bakélite

⇒ abandon de cette voie.

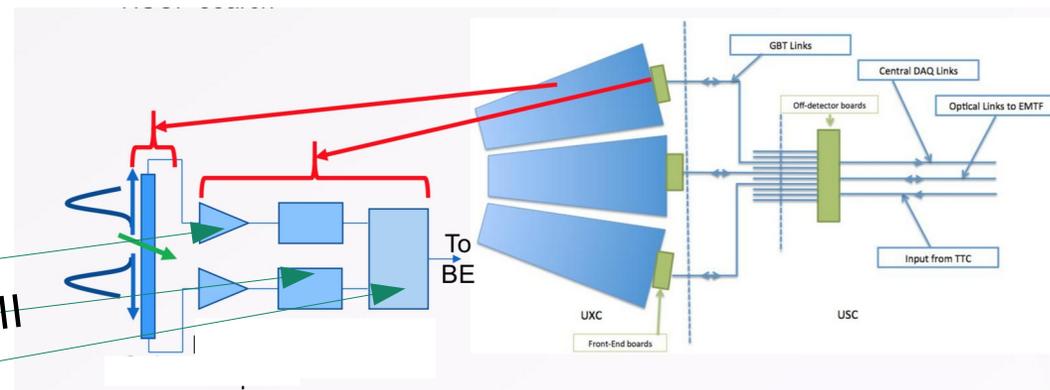
PCB+électronique  
Premier prototype.

Le concept est validé et  
inclus dans le muon TDR.



50 cm

2 PETIROC 2A  
TDC sur FPGA Cyclone II  
Ethernet



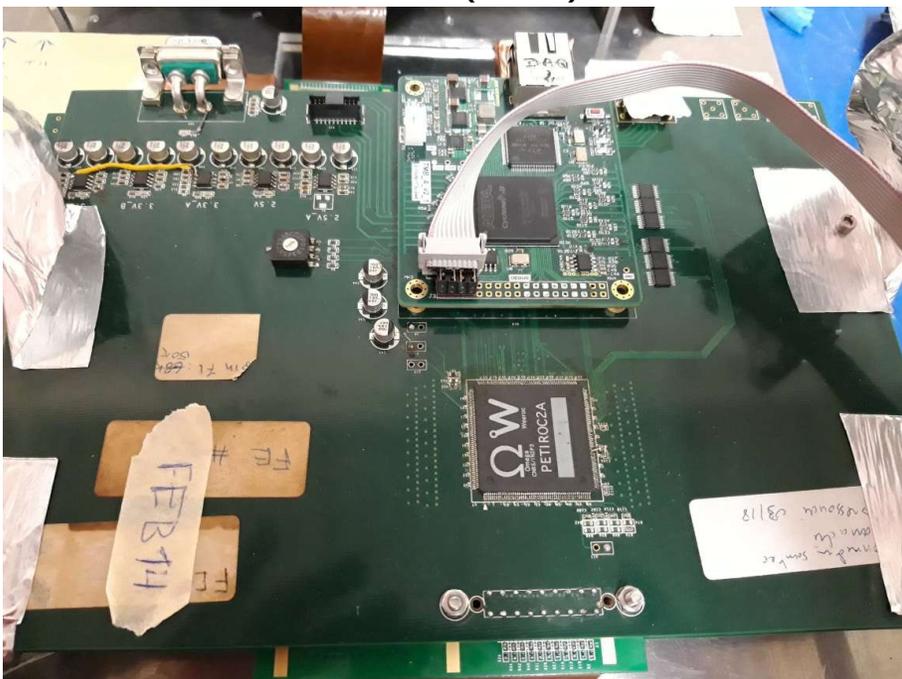
TDC par Université de Tsinghua.

Tout sur un seul PCB mais taille max de 50 cm.

# Le premier engineering design

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | **2018** | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

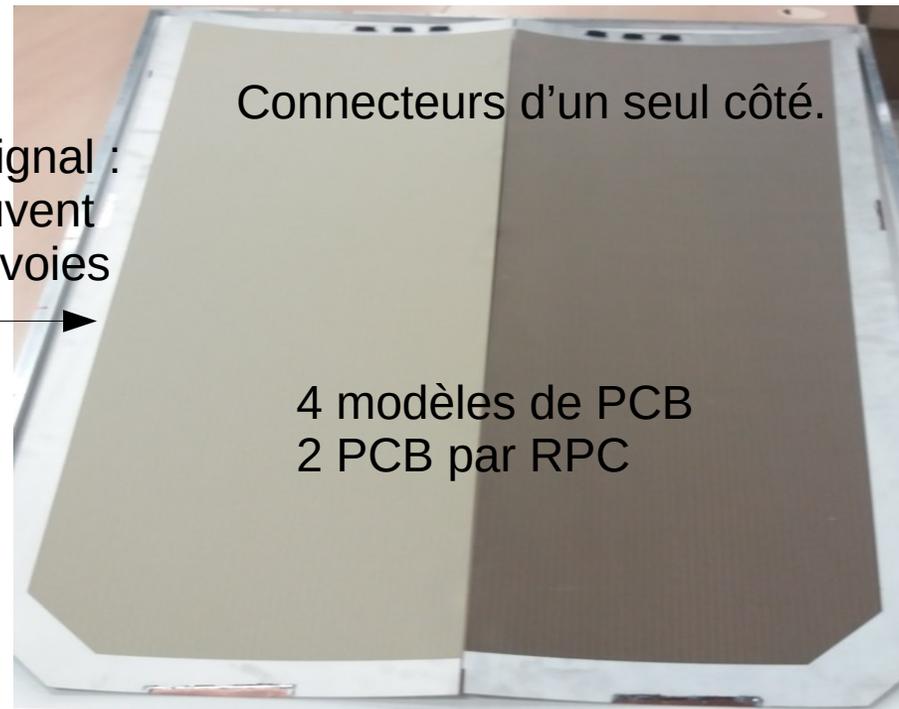
Front End Board (FEB) v0



Identique au prototype 2017  
Mais 1 PETIROC et séparée.

PCB de 1,65m séparé de la FEB,  
à impédance contrôlée.  
Rares fabricants.

Étude sur le retour du signal :  
les câbles coaxiaux peuvent  
être remplacés par des voies  
de retour dans le PCB. →



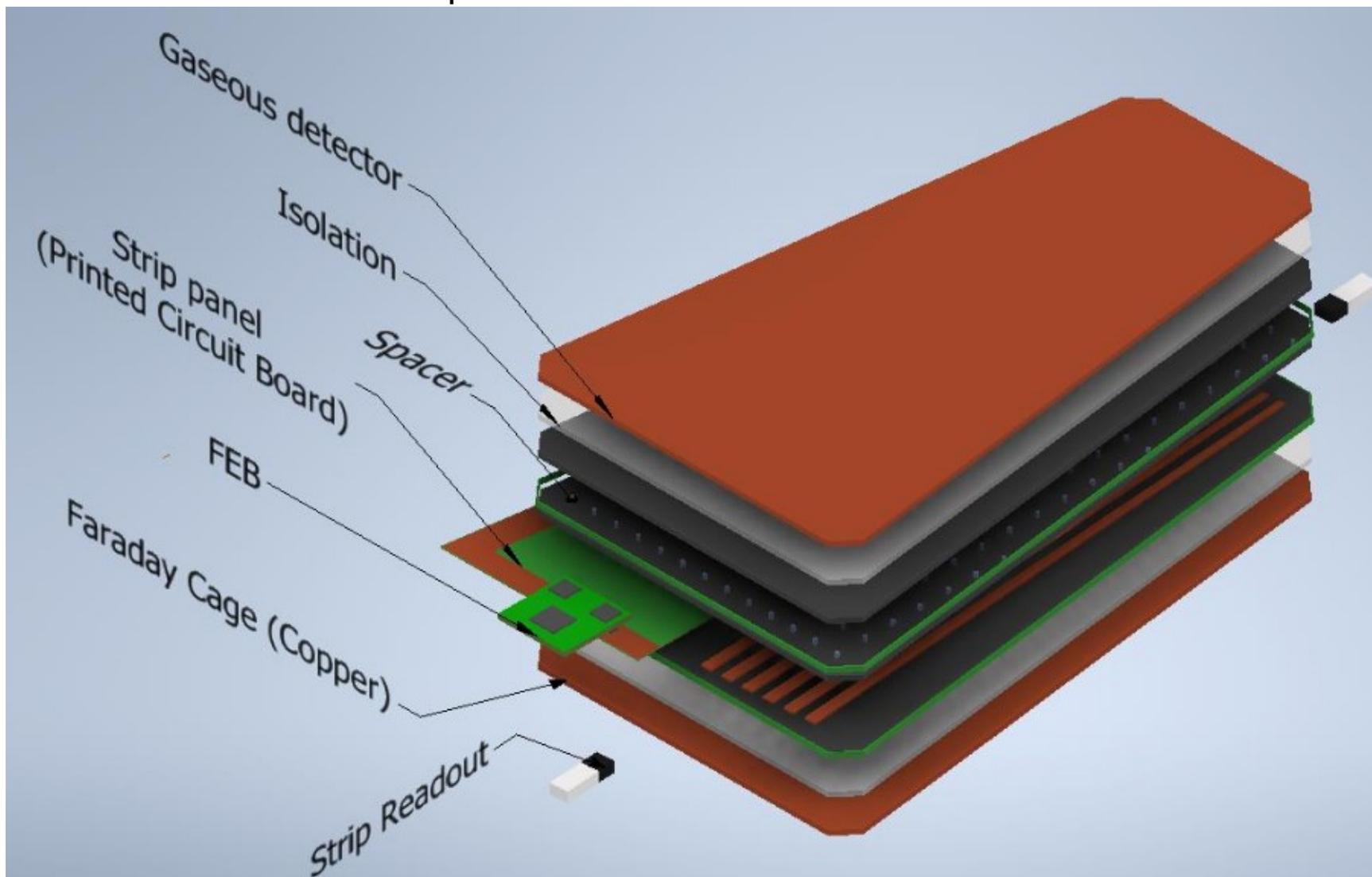
Connecteurs d'un seul côté.

4 modèles de PCB  
2 PCB par RPC

Mais le FPGA cyclone II pas assez gros ⇒ FEB v1

# Vue schématique d'une iRPC

iRPC= improved Resistive Plate Chamber



# Une étape intermédiaire

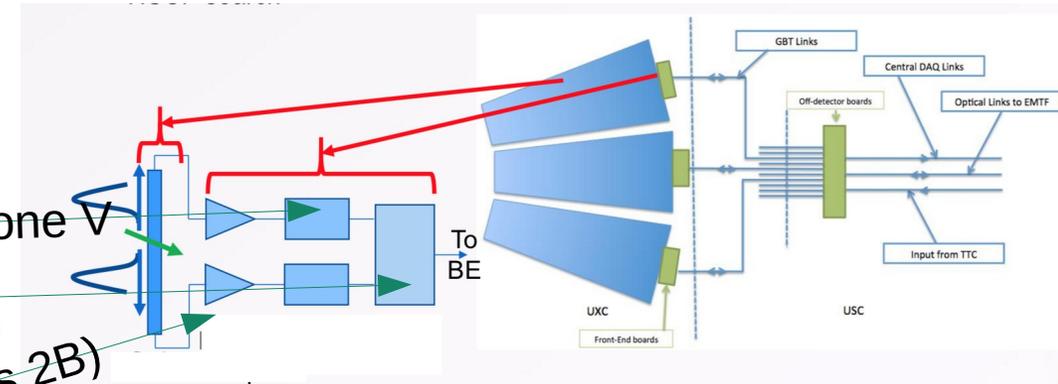
2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | **2019** | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

FEB v1 : sa version B a permis le choix par CMS de l'électronique de l'iP2i pour le projet.



TDC sur FPGA Cyclone V  
Ethernet ou  
fibre optique (GBT)

2 PETIROC (2A puis 2B)



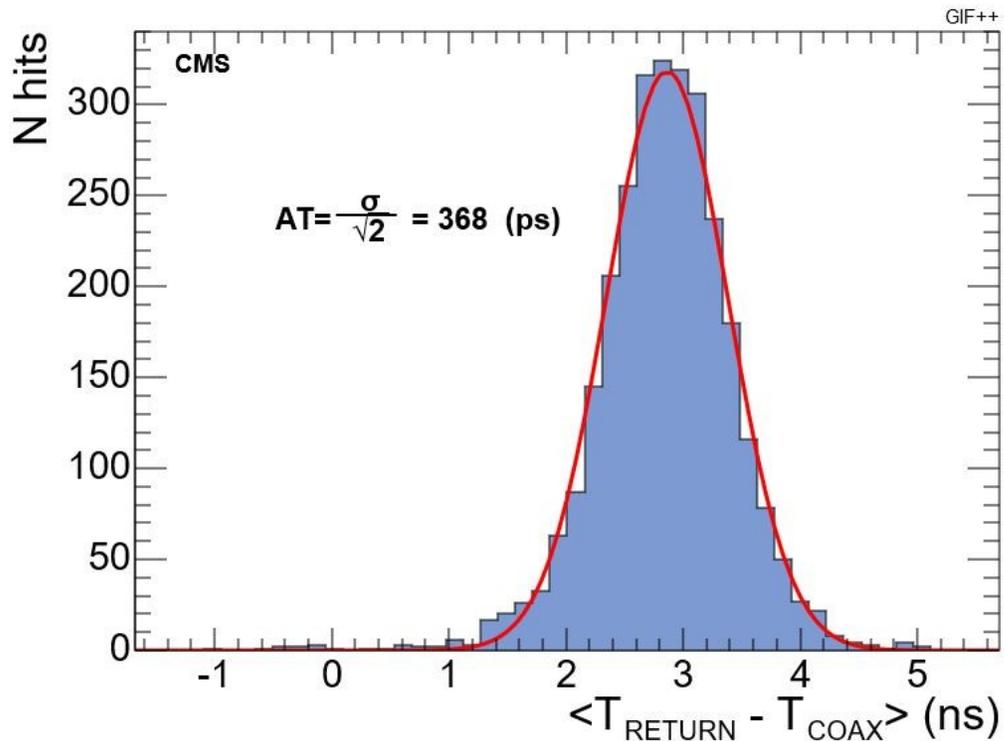
TDC par eDAQ-iP2i

PETIROC2A dans les RPC

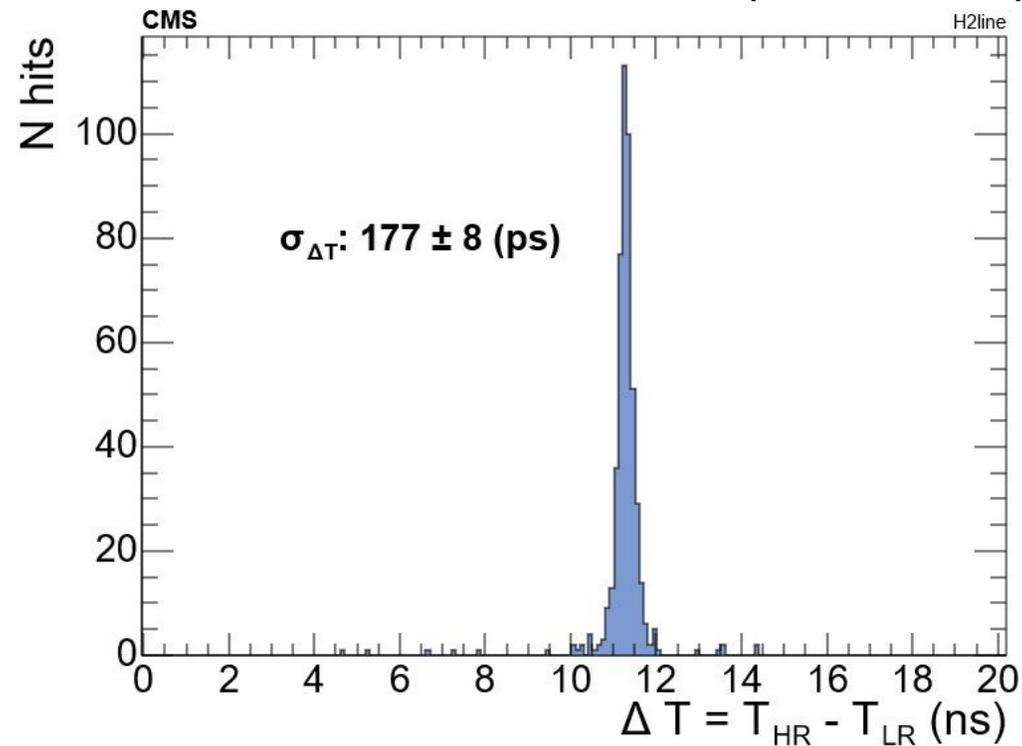
- 1) Problème de diaphonie et de multi-déclenchement.
- 2) Seuil > 50 fC
- 3) Résolution en temps : ~ 200ps

⇒ PETIROC2B

Résolution absolue en temps.



Résolution  $\Delta T$  entre les 2 bouts pour une strip.



Soit  $\sim 3$  cm de résolution en position pour une strip.

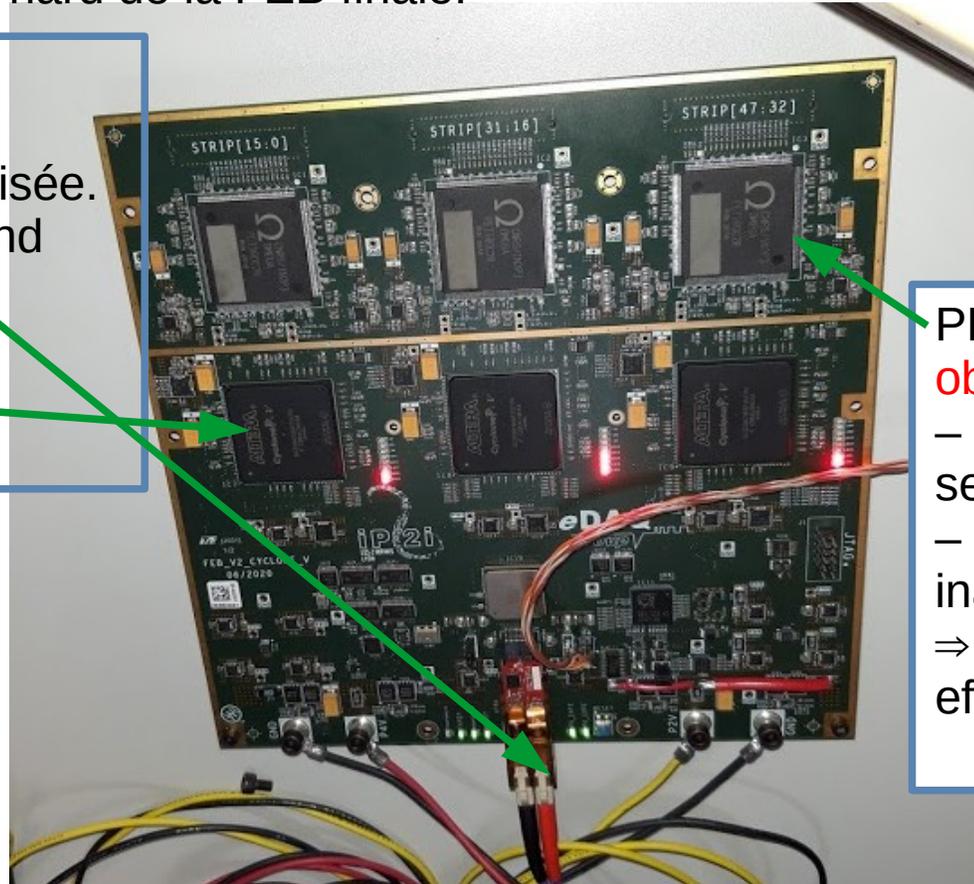
# Aujourd'hui : la FEB v2

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

Version non totalement rad hard de la FEB finale.

## FEB v2

- 6 PETIROC2B
- Partie numérique presque finalisée.
- Communication avec la Backend Board par fibre optique (GBTx)
- Meilleur design de la masse
- Toujours en Cyclone V



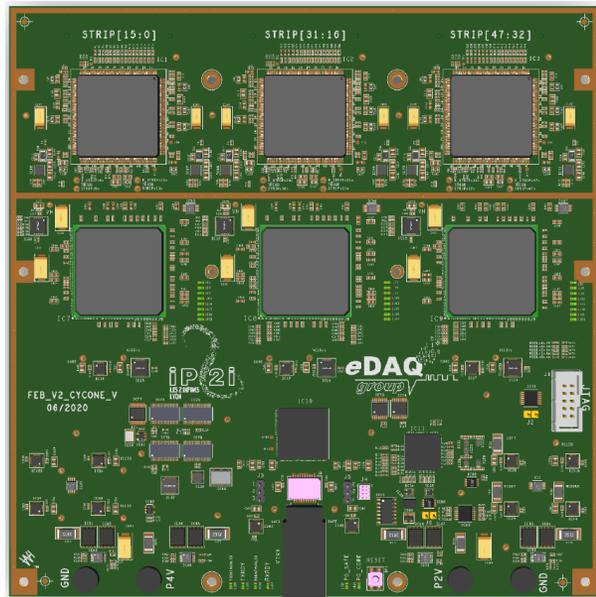
## PETIROC 2B

### observations sur FEB v1 :

- Moins bruyant, moins de diaphonie, seuil plus bas  $< 50$  fC
- Multi-déclenchement supprimé par inactivation des strips pendant 10 ns  
 $\Rightarrow$  Temps mort et  $\sim 2\%$  de perte en efficacité de détection.

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | **2021** | 2022 | 2023 | 2024

- Version tolérante aux radiations de la FEB v2 (triplication, ...)
- FPGA pour le TDC : Polarfire au lieu de Cyclone V
- 3 PETIROC 2C au lieu de 6 PETIROC 2B



## PETIROC 2C

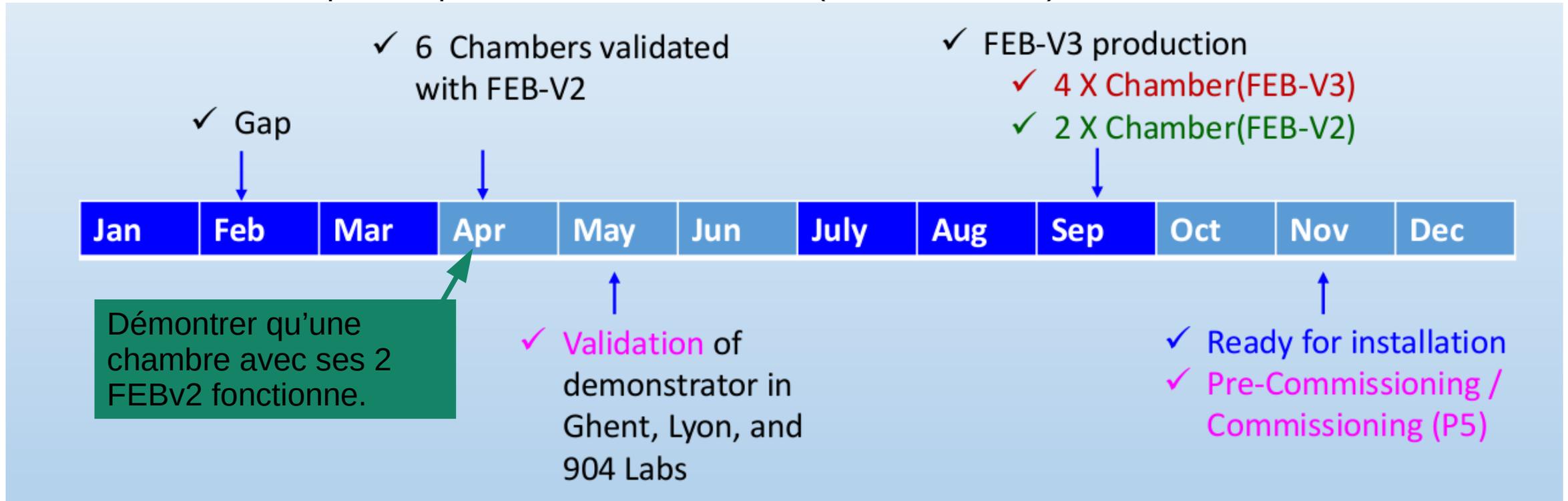
- conçue par OMEGA en 2020,
- inactivation automatique voie par voie après un signal,
- 32 voies au lieu de 16,
- pleine efficacité récupérée,
- premiers prototypes de puces récemment gravés.



# Le démonstrateur

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

Le démonstrateur = 3 pétales pour chacune des 2 roues (RE3/1 et RE4/1) dans un des 2 bouchons de CMS.



Les 12 PCB pour le démonstrateur sont déjà commandés.



# Et pour finir

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

- Validation des FEB v3, test de résistance aux radiations.
- Production du nombre nécessaire de PCB et de FEB v3.
- Test des éléments produits.

2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024

Hiver 2023-2024 : installation dans CMS de 72 chambres.

Personnel en électronique en nombre suffisant

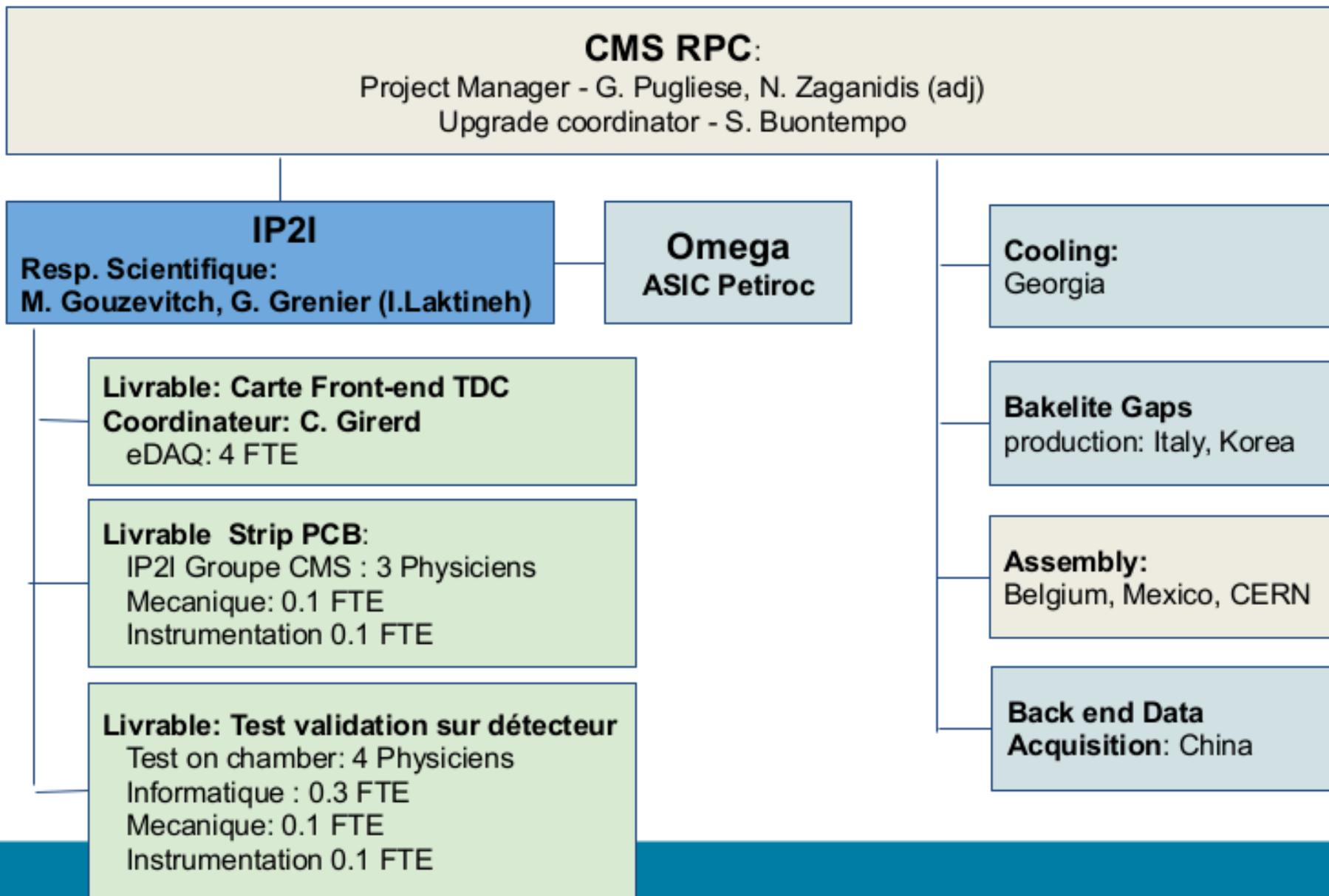


# Backup

**Y'en a un peu plus, je vous l'mets quand même ?**



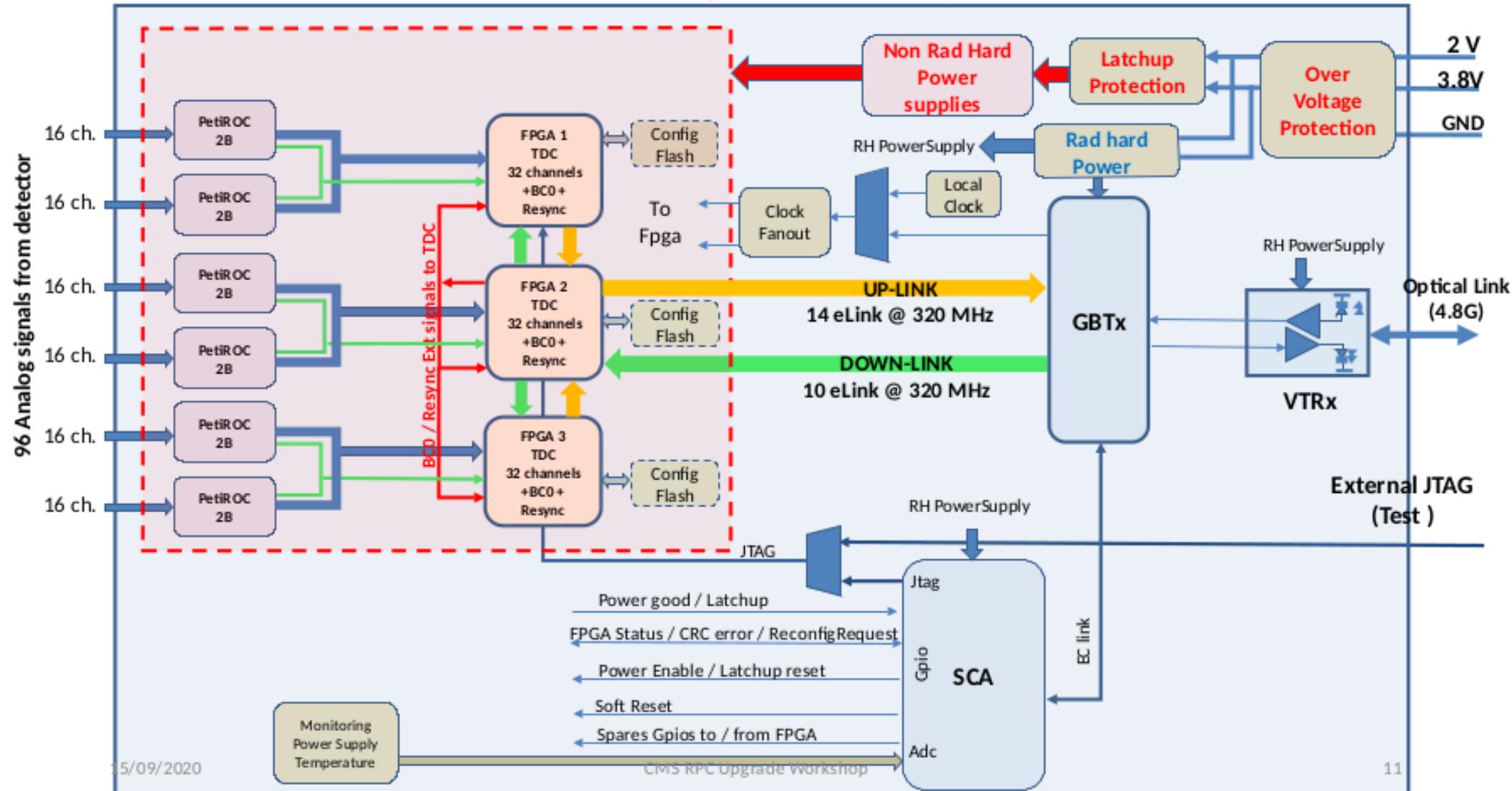
# Organisation du projet





# FEB\_V2\_CycloneV prototype

### FEB V2 bloc diagram (10/03/2020)

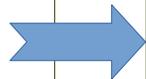


# PETIROC 2C : la meilleure option

## PETIROC2A design pour PET

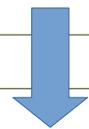
- Préamp. haute fréquence → < 100 ps résolution en temps
- Seuil à ~ 60 fC

- Limitations : faible taux de répétition et faible occupation.



## PETIROC2A dans les RPC :

- 1) Problème de diaphonie et de multi-déclenchement.
- 3) Seuil > 50 fC
- 4) Résolution en temps : ~ 200 ps



## PETIROC2B :

- Fréquence préamp plus faible.
- Moins bruyant, seuil plus bas < 50 fC
- Multi-déclenchement supprimé par inactivation des strips pendant ~10 ns
- Temps mort et ~2 % de perte en efficacité de détection



## PETIROC2C

- Conçu par OMEGA en 2020.
- Inactivation automatique voie par voie après un signal.
- Pleine efficacité récupérée.
- Premiers prototypes de puces récemment gravés.

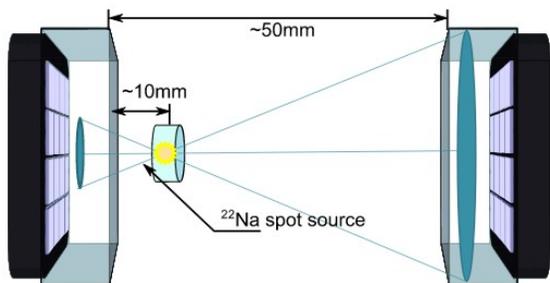
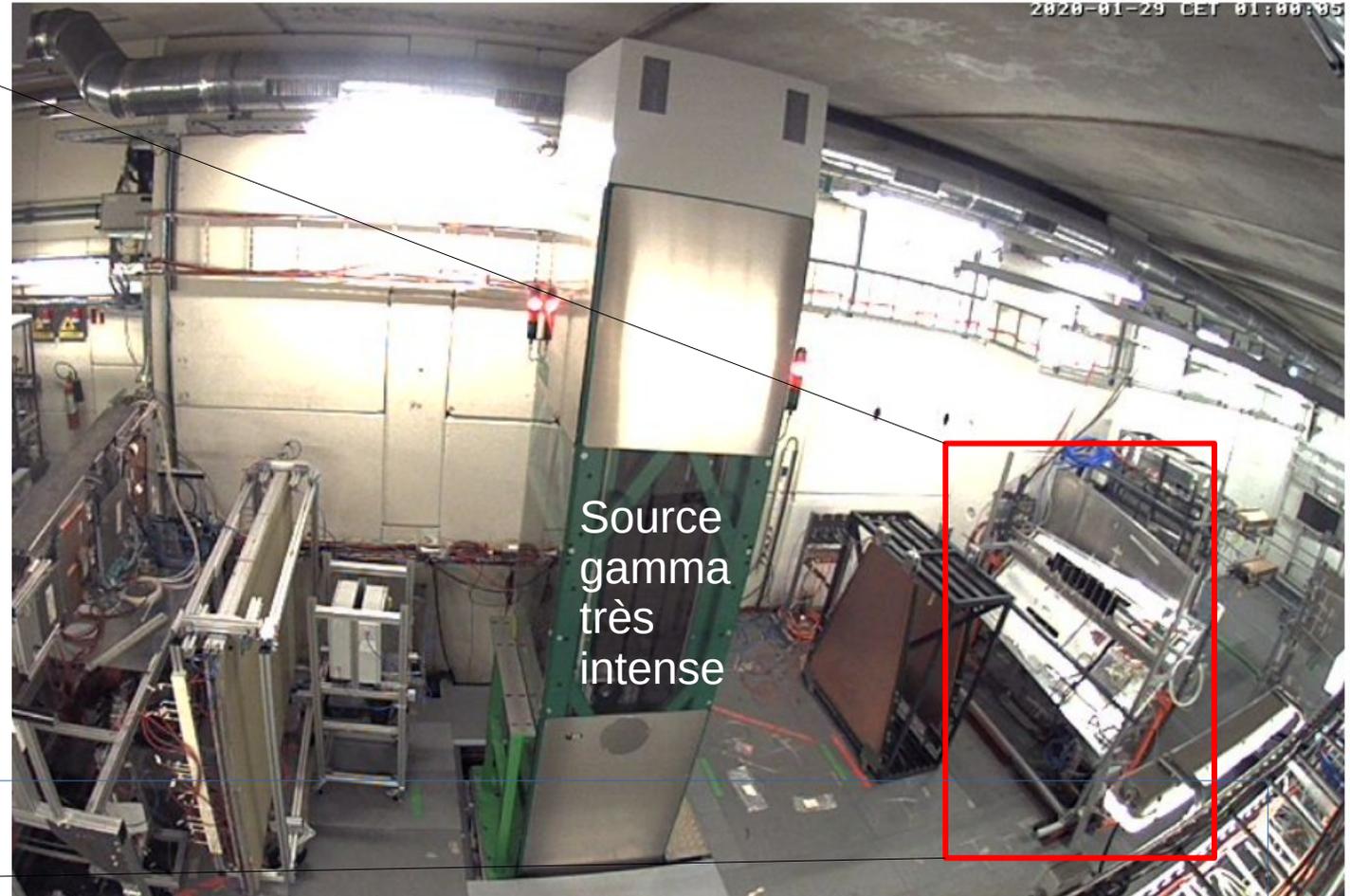
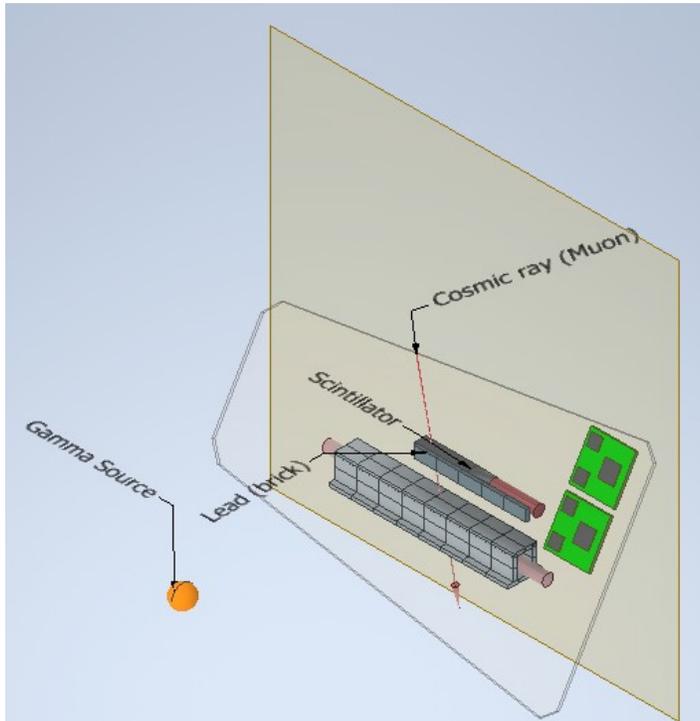


Figure 2. Setup structure used during the experiments.

# Validation FEBv1 en 2020 avec des cosmiques au GIF++

GIF++ = CERN Gamma Irradiation Facility



- Procédure complexe
- 3 scintillateurs pour trigger les cosmiques.
- Protéger les scintillateurs contre les photons, sans masquer la iRPC.
- Garder les scintillateurs le plus proche possible de la iRPC pour avoir un taux de cosmiques d'au moins 0.1 Hz.