

# GANIL SPIRAL II

Situation: plateau du GANIL à CAEN

Type: accélérateur linéaire

Autorisation de mise en service: 8 Juillet 2019



# PROJET SPIRAL II

---

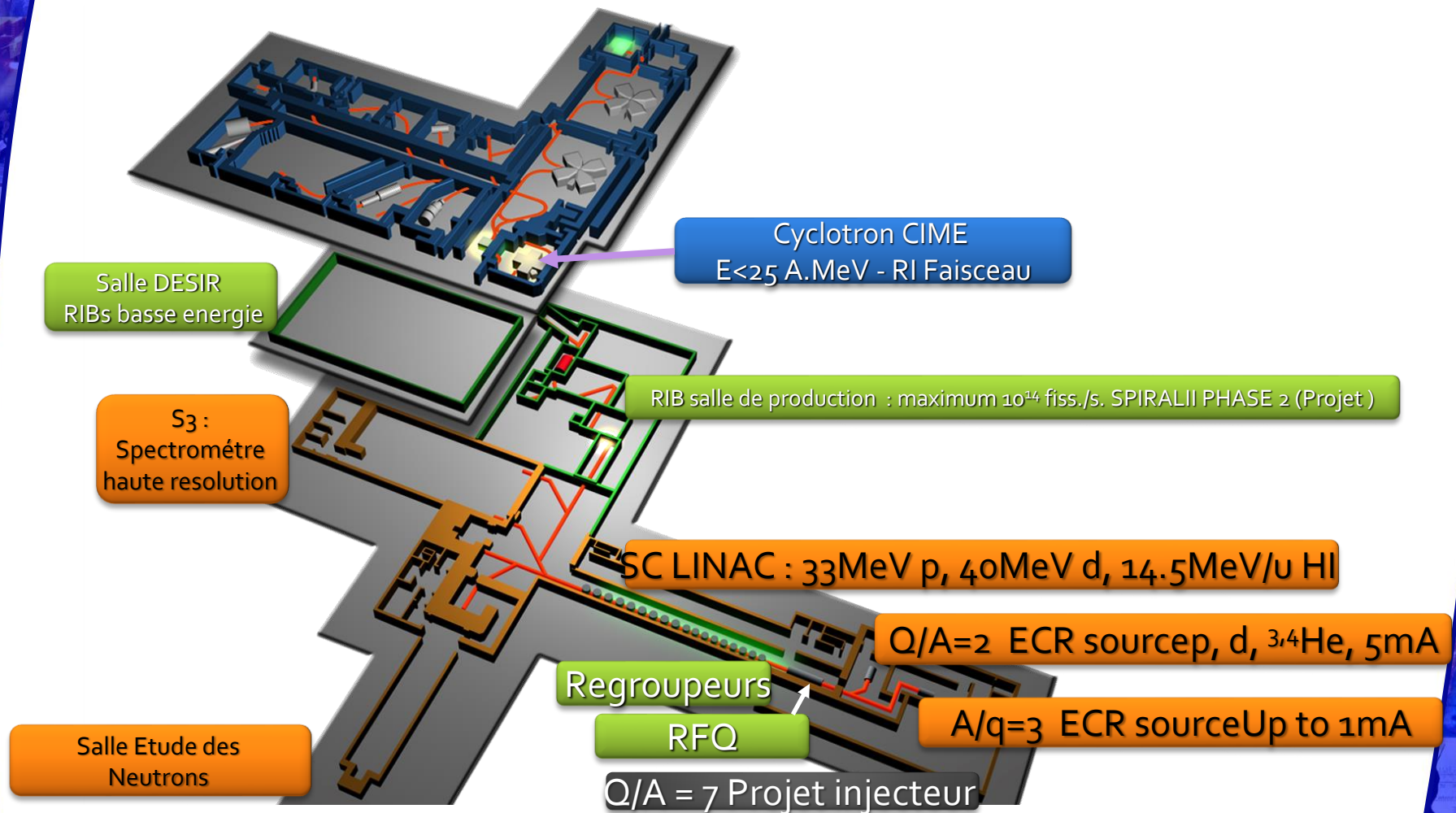
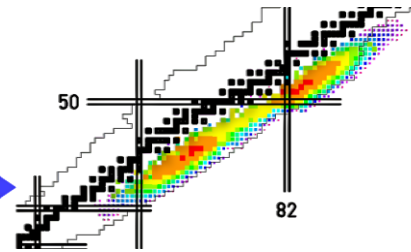
## Sommaire

- **Le projet SPII**
- **Les objectifs à atteindre**
- **Performances**
- **Présentation des cavités supraconductrices du LINAC**
- **Etat d'avancement du démarrage des cavités HF du LINAC**

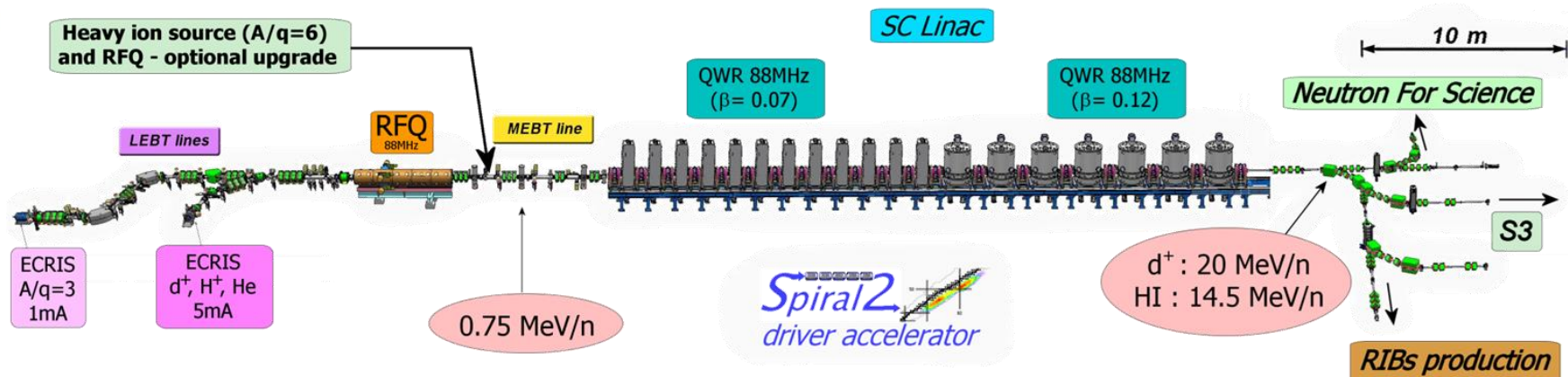


# Les cyclotrons et SPIRAL II :

# Spiral 2



# SPIRAL II : objectifs



Particules	$H^+$	$^3He^{2+}$	$D^+$	Ions	
Q/A	1	2/3	1/2	1/3	1/6
I (mA) max.	5	5	5	1	1
$W_0$ max. (MeV/A)	33	24	20	15	9
CW max. Puissance faisceau (KW)	165	180	200	44	48

Longueur: 65 m (sans lignes HE)

Ligne (LEBT) et hacheur rapide (MEBT)  
RFQ (1/1, 1/2, 1/3) & 3 regroupeurs

12 QWR beta 0.07 (12 cryomodules)

14 QWR beta 0.12 (7 cryomodules)

6.5 MV/m max  $E_{acc} = V_{acc}/(\beta_{opt}\lambda)$  with  
 $V_{acc} = \int E_z(z) e^{i\omega z/c} dz$ .

Amplificateurs état solide (2,5, 5, 10 & 20 KW)

1.1 kW Liquéfacteur Helium (4.5 K)

# Performances de SPIRAL II

- Un choix important de faisceaux
    - Intensités (diagnostiques), energies (Cavités RF), particules (Simplicité des réglages de l'accélérateur), sécurités.
  - Composition de l'accélérateur
    - Source ions lourds (1mA  $\text{Ar}^{12+}$ )
    - RFQ transmission
    - Cryomodules
      - 6.5 MV/m en opération
      - Pompage séparé, Lignes cryogéniques, boîtes à vanne pour les regulations de niveau et de pression d'He.
- Sécurités
- Pertes < 1W/m
  - Accès contrôlé du Tunnel , Ventilation nucléaire

# Quelques dates clefs du projet

- Permis de construire : 10/2010
- Reception des batiments : 09/2014
- Début d'installation de l'accélérateur : 11/2012

## ➤ Autorisation de mise en service "partielle" (pas de RF ni faisceau LINAC)

- Premier faisceau dans la ligne basse énergie : 12/2014
- Premier faisceau accéléré par le RFQ (ligne LME) : 12/2015
- Première mise en froid complete du LINAC : 11/2017
- Qualification de l'injecteur avec faisceaux (p, He, O) : 08/2018

## ➤ Autorisation de mise en service : 8/08/2019

=> notre priorité pour 2019 : qualifier le système RF de l'accélérateur



# SPIRAL II LINAC

Cryomodule A -  $\beta = 0.07$

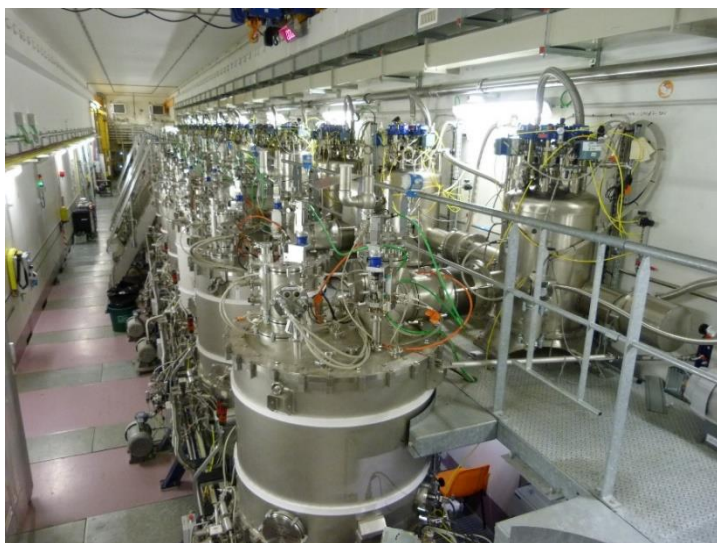


Cryo module B -  $\beta = 0.12$





# SPIRAL II LINAC: Cryomodules

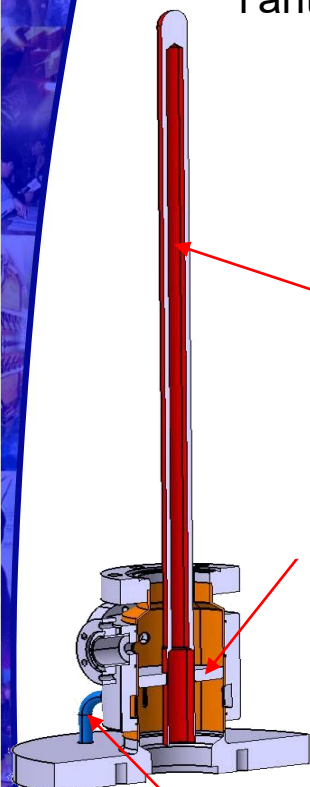


Cavités	A	B
Nombre de cavités	12	14
$\varnothing$ cavity [mm]	238	380
$\varnothing$ Beam tube [mm]	38	44
f [MHz]	88.05	88.05
$\beta_{\text{opt}}$	0.07	0.12
Epk/Ea	5.36	4.76
Bpk/Ea [mT/MV/m]	8.70	9.35
Lacc [m]	0.24	0.40
Vacc @ 6.5 MV/m & $\beta_{\text{opt}}$ [MV]	1.55	2.66
G [ $\Omega$ ]	22	37
r/Q [ $\Omega$ ]	600	515
$Q_0$ ( $P_{\text{cav}}=10\text{W}$ @ 6.5 MV/m)	$3.5 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^9$



# SPIRAL II LINAC: coupleurs

- Identiques quelque soit le Beta des cavités.
- Les  $Q_{\text{ext}}$   $6.5 \cdot 10^5$  (CMA) and  $1.0 \cdot 10^6$  (CMB), sont obtenus par ajustement de la position de l'antenne

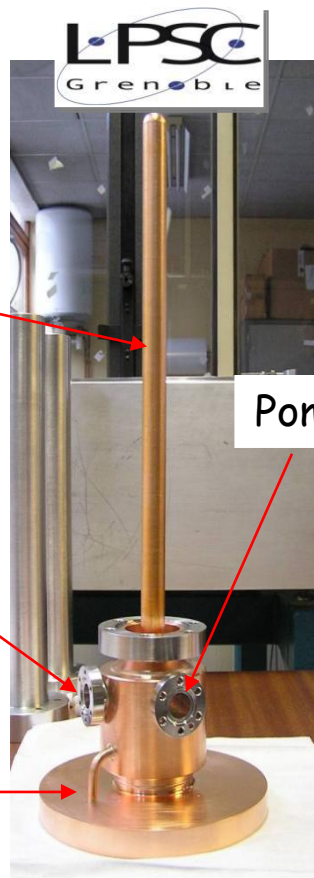


Antenne

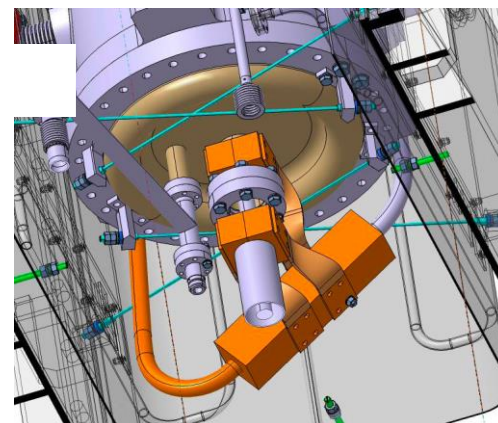
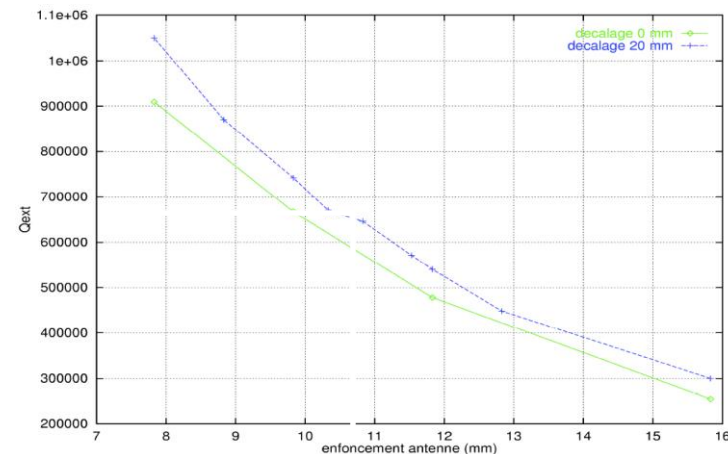
Fenêtre  
céramique

Pickup  
Electrons

Circuit  
refroidissement de  
la céramique



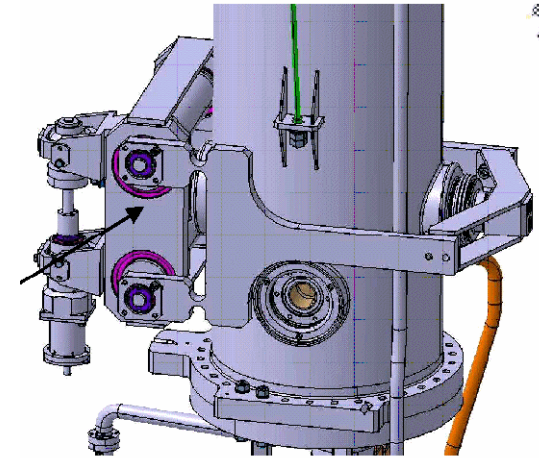
Pompage



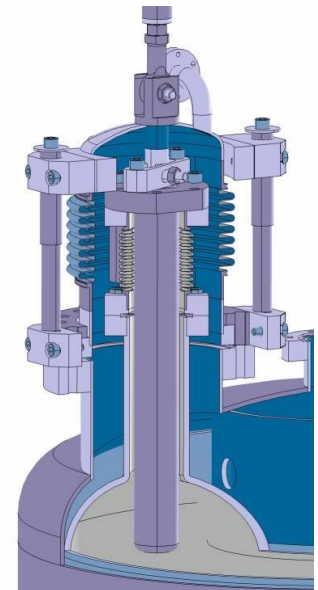
# SPIRAL II LINAC SAF

## Ajustement de la fréquence

Type A: Déformation mécanique  
*But → En ajustant le volume de la cavité on change la fréquence centrale de fonctionnement*



Type B: Plongeur supraconducteur  
Mouvement lent pour compenser les variations de pression du bain d'Helium (~ secondes)  
Plus rapide pour compenser les modes vibratoires (Pompage, etc)

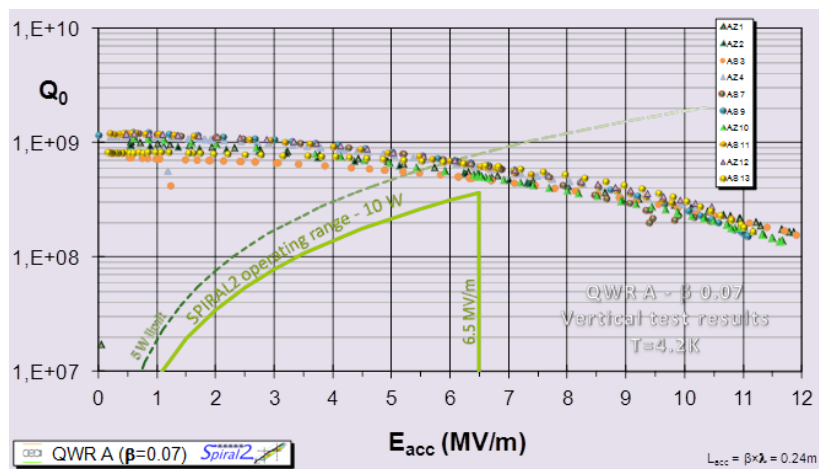




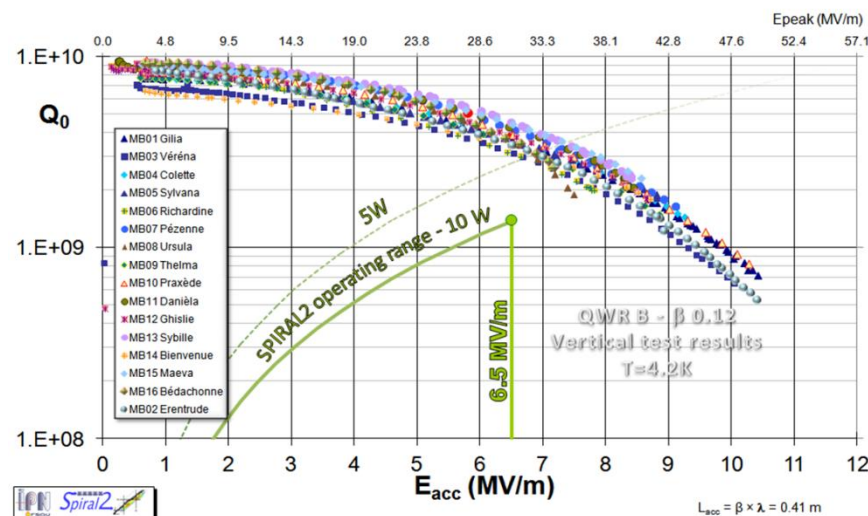
# SPIRAL II LINAC: tests en cryostat vertical

Le champ électrique nominal (6,5 MV/m) a été obtenu en cryostat vertical

## CAVITES A



## CAVITES B



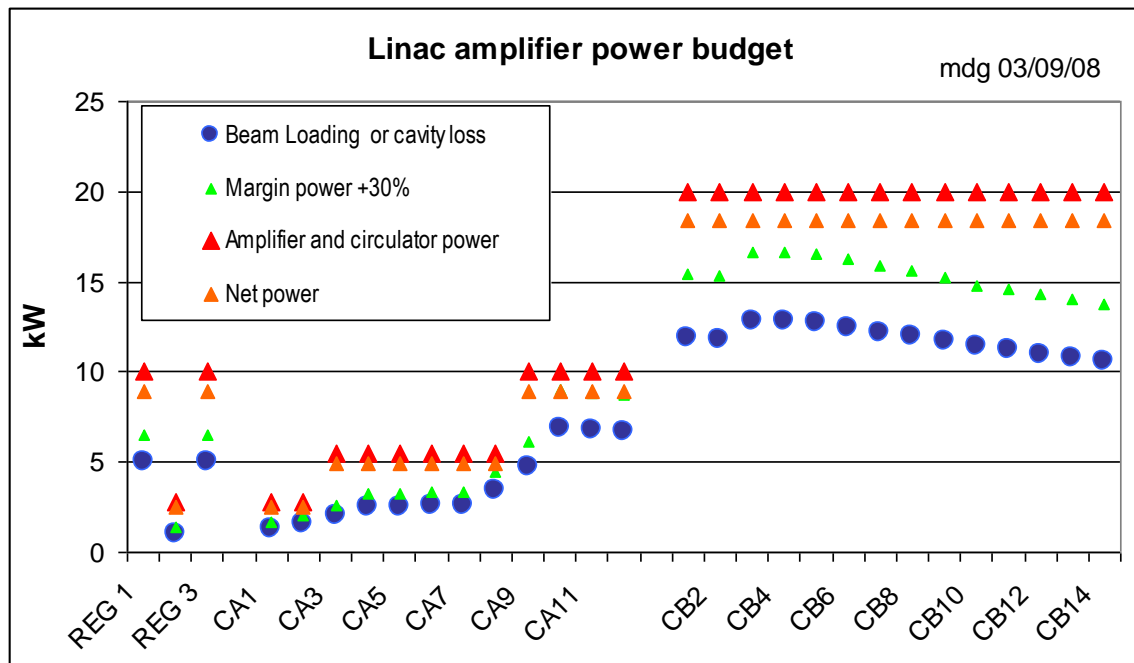
# SPIRAL II: amplificateurs état solide

## Installation des amplificateurs état solide: distribution

Nous avons besoin :

- 3 amplificateurs de 3 kW (Cryomodules A)
- 6 amplificateurs de 5 kW (Cryomodules A, Regroupeurs)
- 6 amplificateurs de 10 kW (Cryomodules A, Regroupeurs)
- 14 amplificateurs de 20 kW (Cryomodules B)

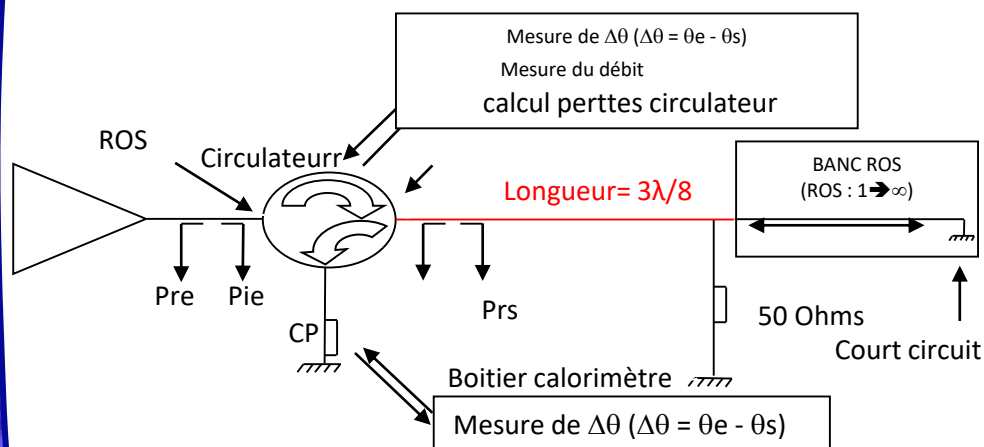
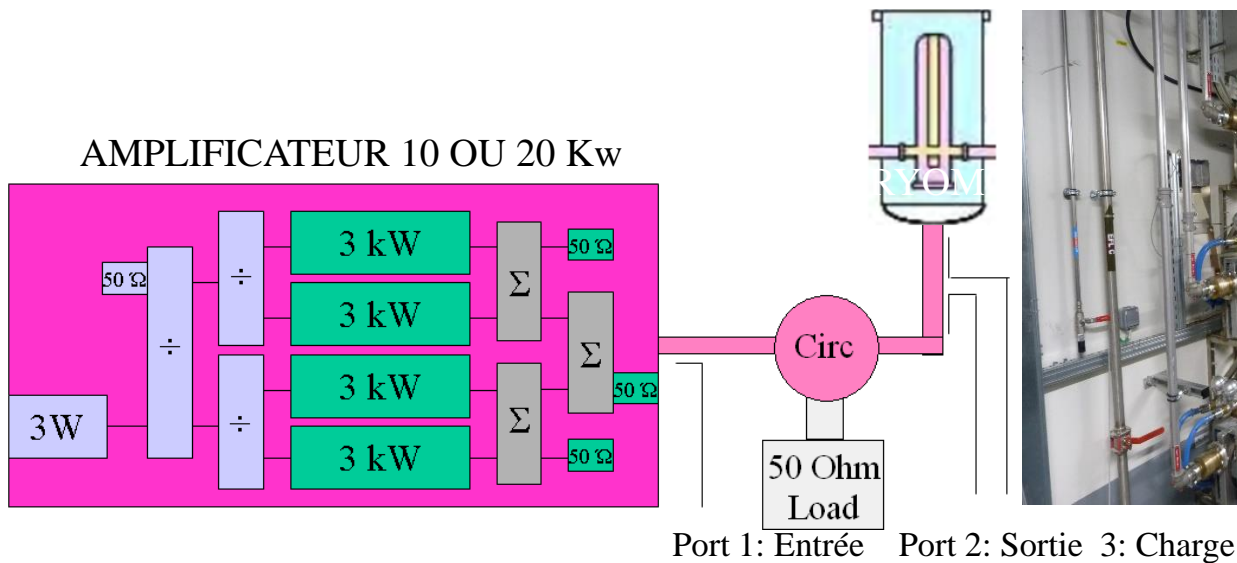
Soit 29 amplificateurs pour une puissance HF totale de 380 kW.



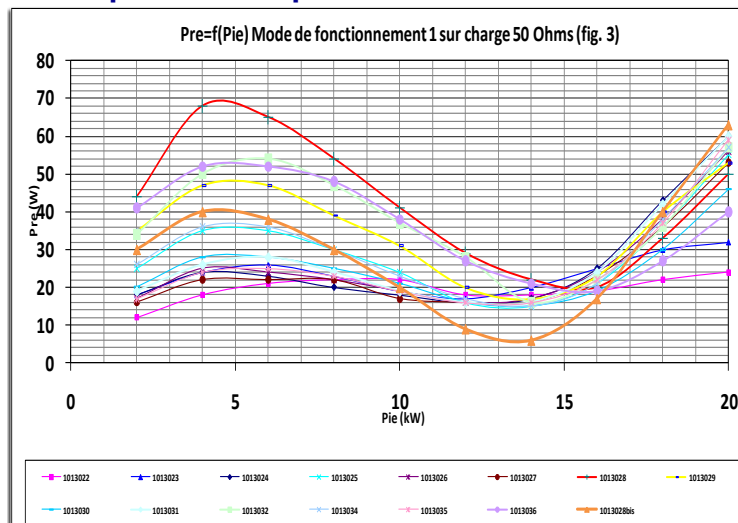


# SPIRALII: circulateurs

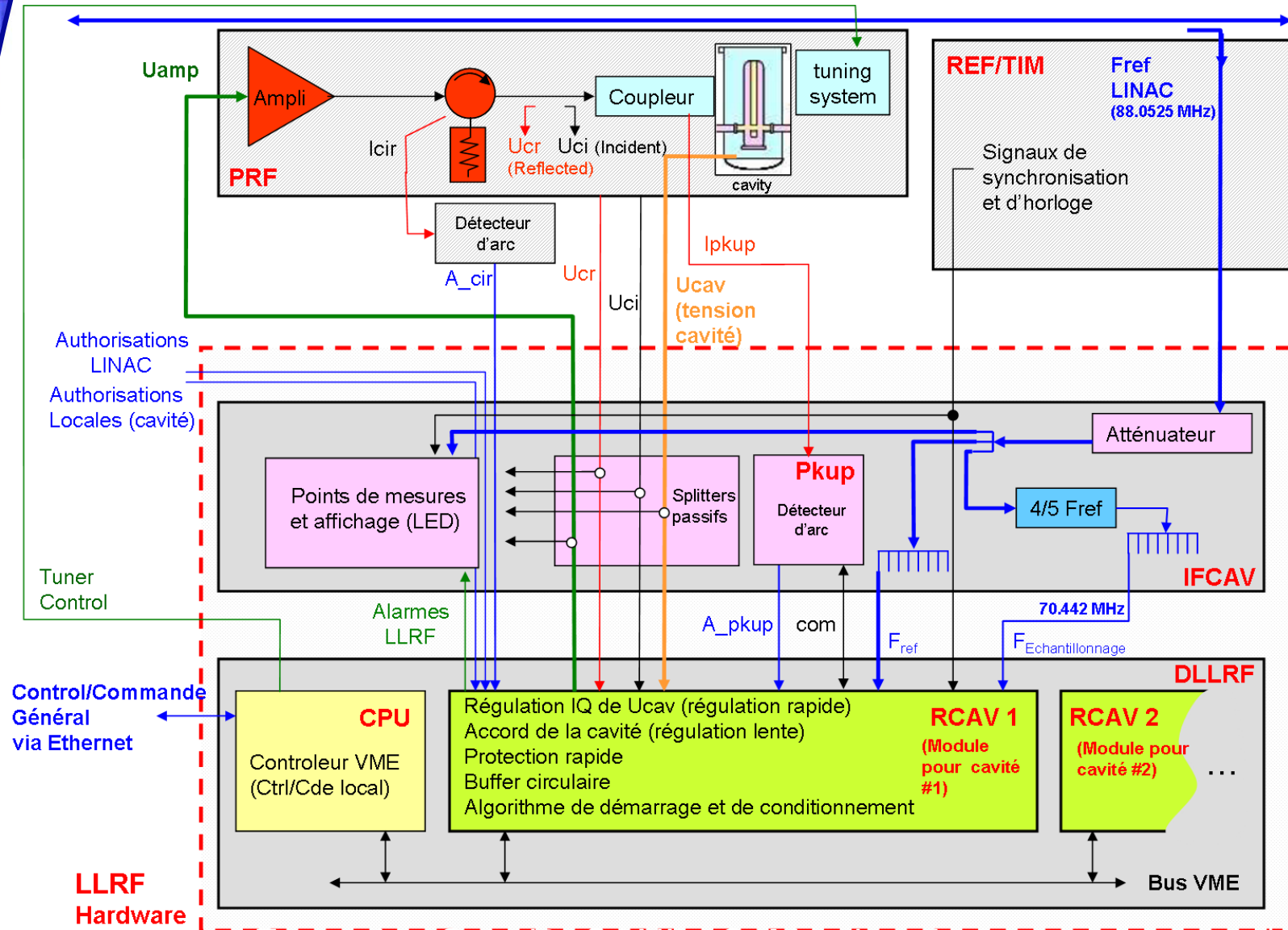
## ■ Circulateurs



## ■ Adaptation d'impédance d'entrée 50 Ohms : $S_{11}$



# CAVITY – LLRF





# SPIRAL II : formation des coupleurs

Formation des coupleurs à chaud et à froid:

Fréquence: 50 Hz

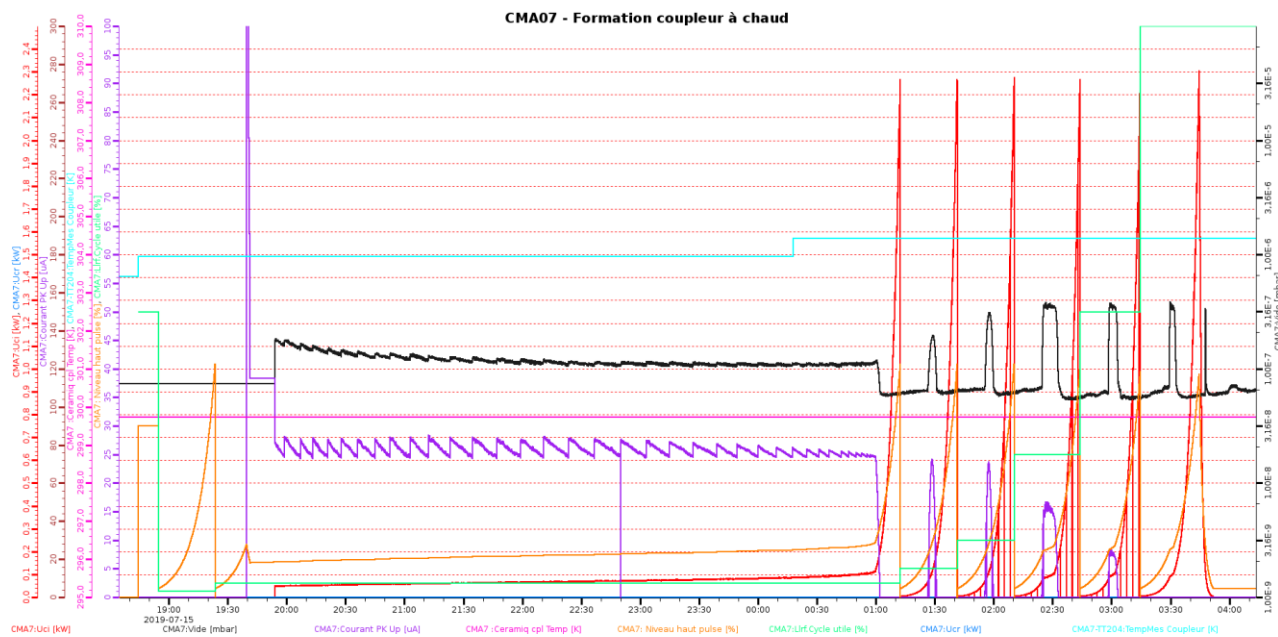
Cycle utile de 1% à 50% de Pmin à Pmax amplificateurs

Dernier cycle en CW

Critères d'acceptation :

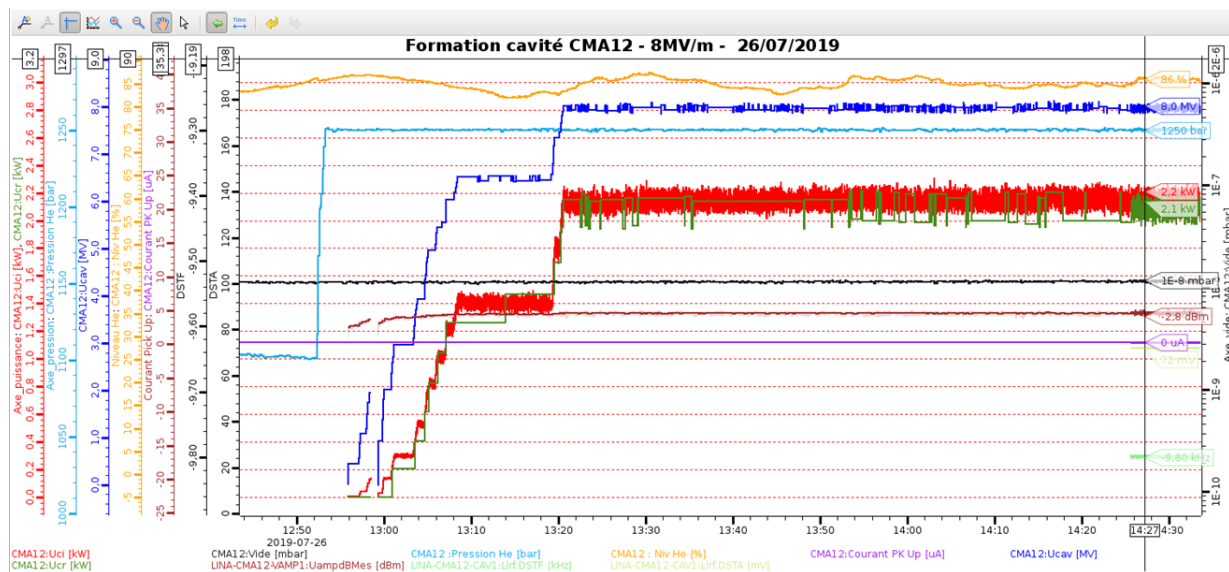
I pick up < 150  $\mu$ A

Vide < 5  $\cdot 10^{-7}$  mb



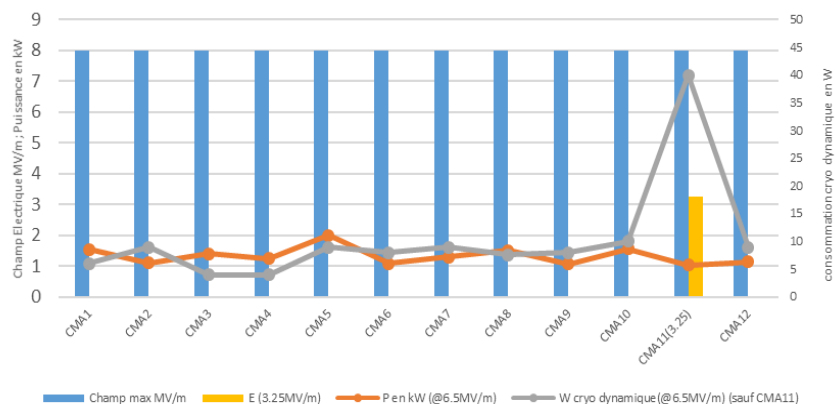
# SPIRAL II LINAC Cryomodules

Tests au champ électrique de 8MV/m de la première cavité

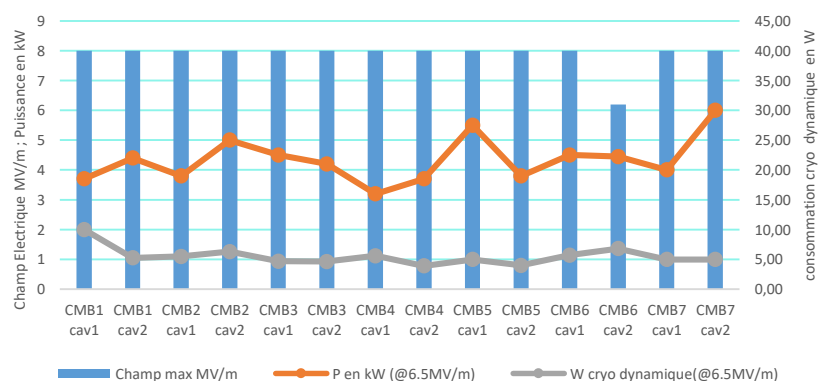


Tests au champ électrique de 8MV/m dans les cavités A et B

Cavités A



Cavités B



# SPIRAL II LINAC

## Conclusions:

- Tous les systèmes cryogéniques ont été testés et des problèmes de Taconis résolus
- La stabilité du bain d'Helium est de +/- 5 mbars pour une pression de 1200mb.
- Les systèmes de SAF (Systèmes d'accord en fréquence) ont été testés avec succès à bas niveau.
- Nous avons eu l'autorisation de démarrage de l'installation SPI2 le 8 juillet 2019.
- Toutes les cavités ont atteint un champ électrique de 8MV/m individuellement.
- L'ensemble des cavités HF ont atteint leur champ nominal de 6,5 Mv/m
- ***Prochains jalons (2019) :***
  - ***Tester les systèmes de régulation RF (Fréquence, phase, amplitude)***
  - ***Commencer l'injection d'un faisceau de protons dans le LINAC***