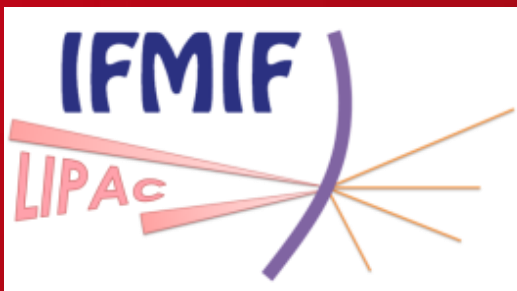


FROM RESEARCH TO INDUSTRY



ACCÉLÉRATEUR PROTOTYPE IFMIF/EVEDA: STATUS

N. Bazin

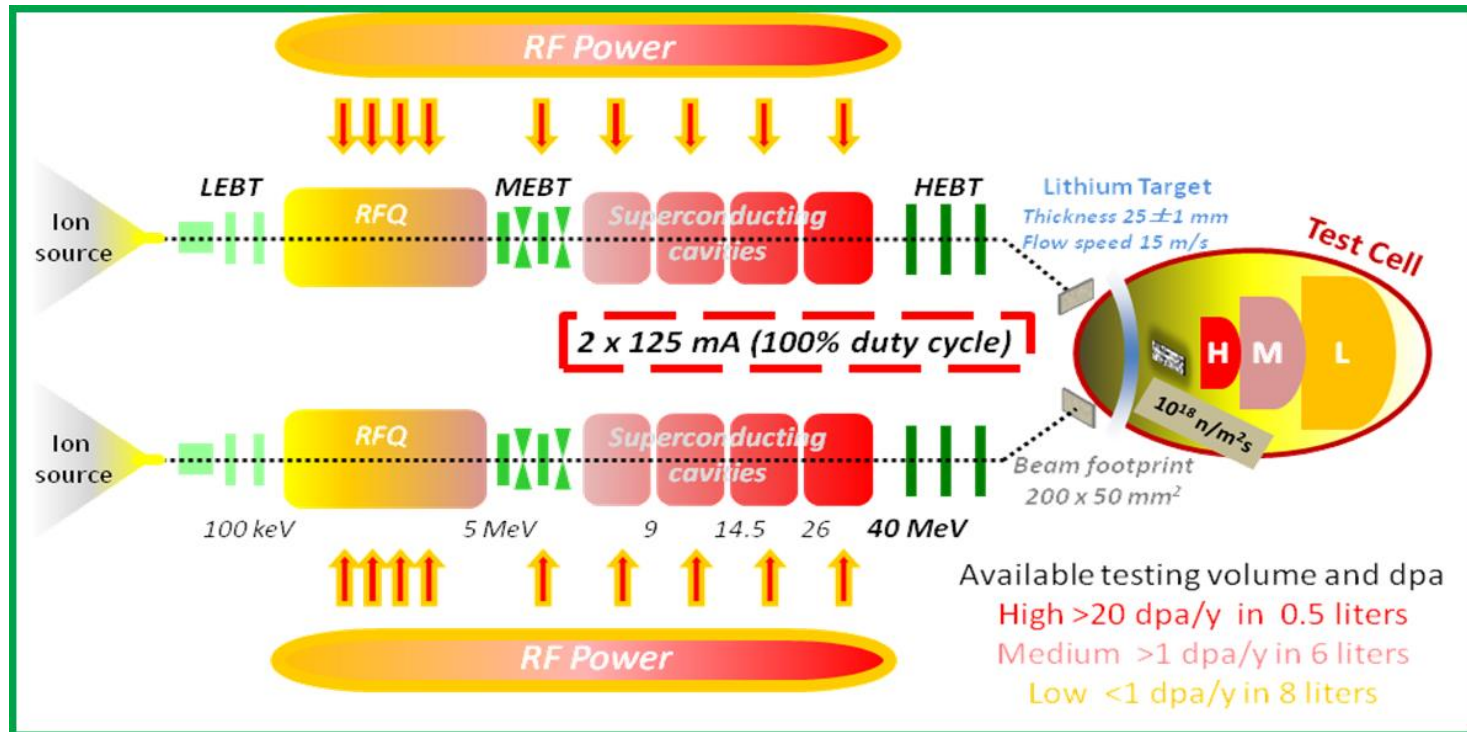


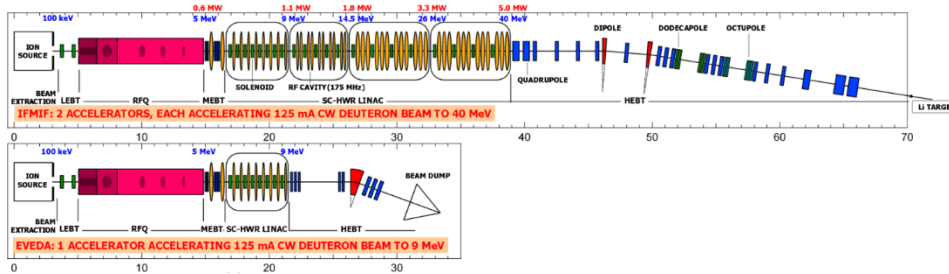
- Introduction
- LIPAc: statut des activités à Rokkasho
- Cryomodule: statut
- Perspectives: DONES et A-FNS

International Fusion Materials Irradiation Facility

Objectif: produire un flux de neutrons ($10^{18} \text{ n.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) à 14 MeV afin de tester les matériaux des futurs réacteurs à fusion

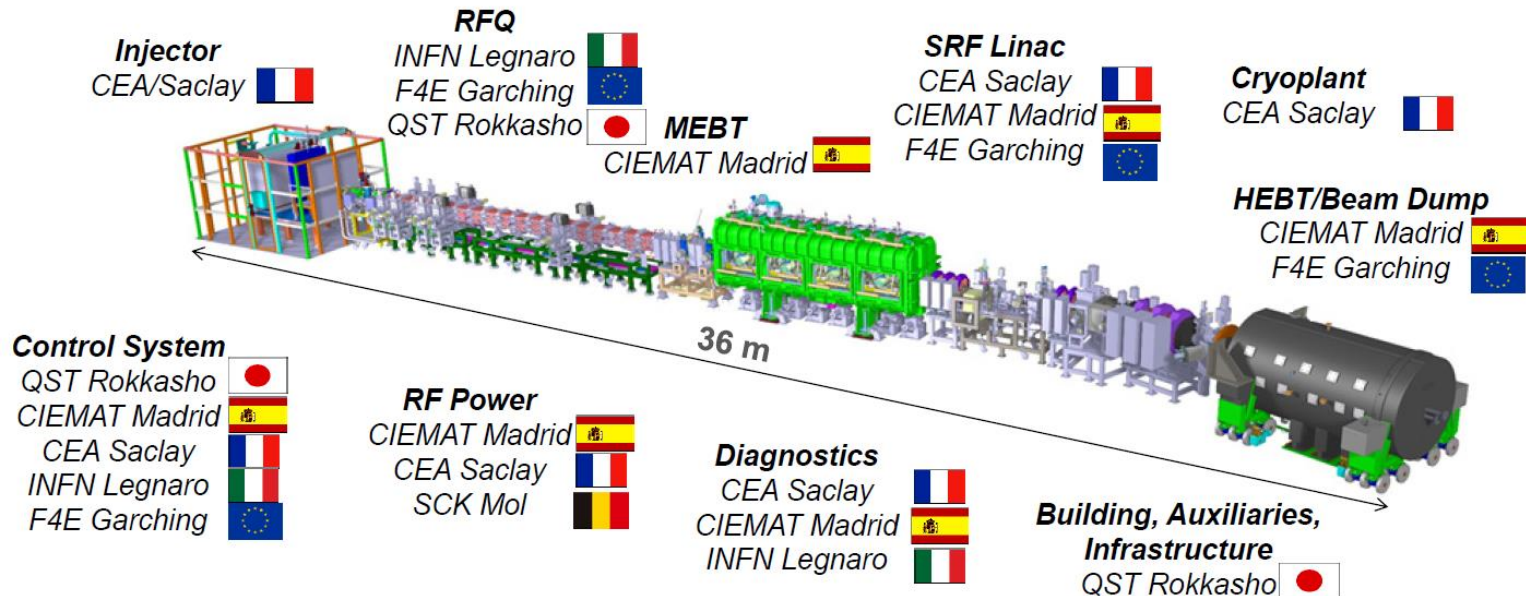
Principe: deux faisceaux de deutons à 125 mA CW de 40 MeV bombardant une cible de lithium liquide circulant à 15 m/s



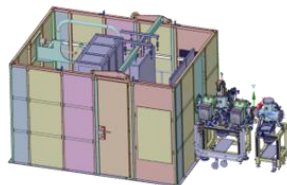


- IFMIF/EVEDA: validation phase of the IFMIF project

- LIPAc (Linear IFMIF Prototype Accelerator) under construction in Japan, at Rokkasho Fusion Institute: 9 MeV, 125 mA deuteron beam CW
- Collaboration between Japan and Europe



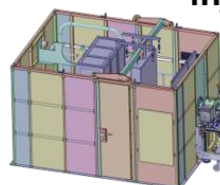
Phase A



CW

Injector

Phase B



RFQ

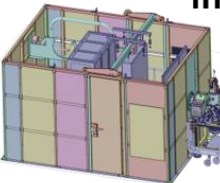
MEBT

LPBD

0.1-1ms

Injector

Phase B+



RFQ

MEBT

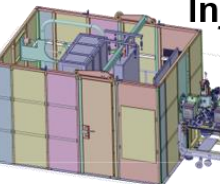
BT

HEBT

BD

Injector

Phase C/D



RFQ

MEBT

D-Plate

HEBT

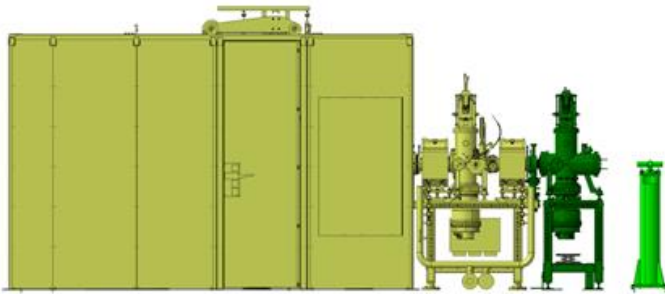
BD

SRF

D-Plate

1ms-CW

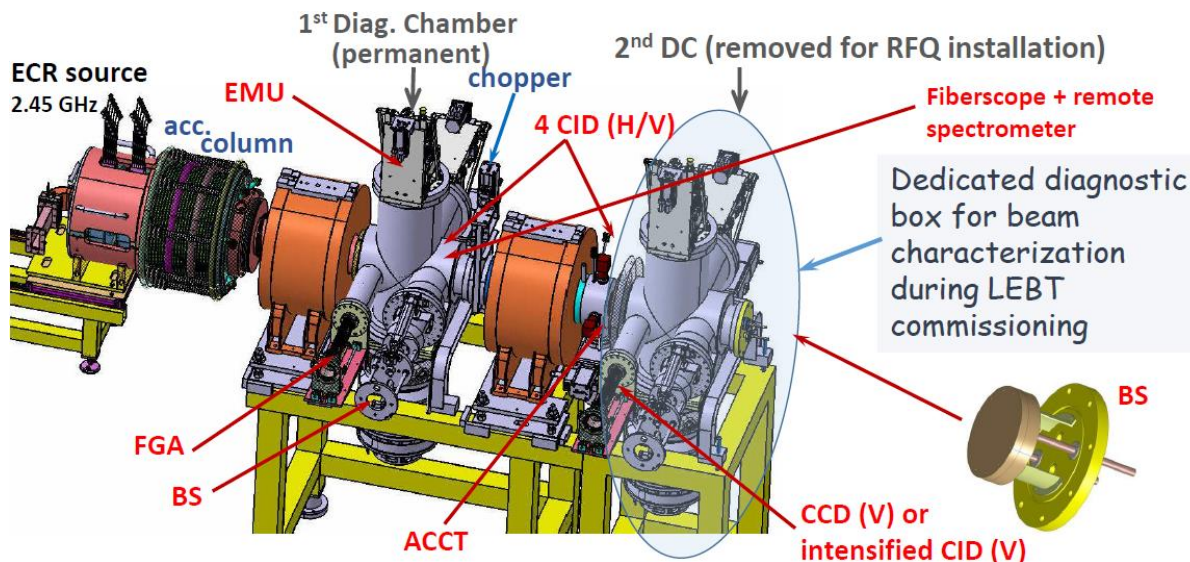
1ms-CW

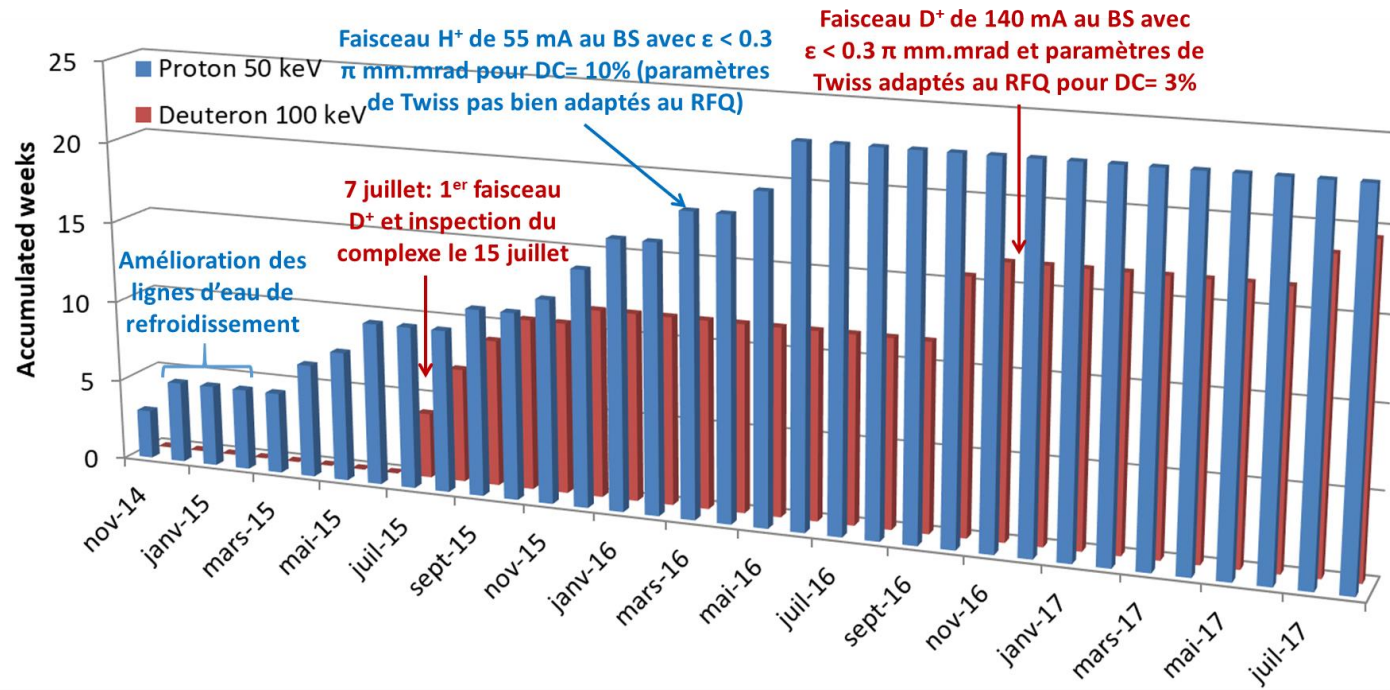


Objectifs:

- Commissioning de l'injecteur (en proton pour limiter l'activation, puis en deutons)
- Réglages et caractérisation du faisceau avant injection dans le RFQ

➡ Implantation de multiples diagnostics faisceau

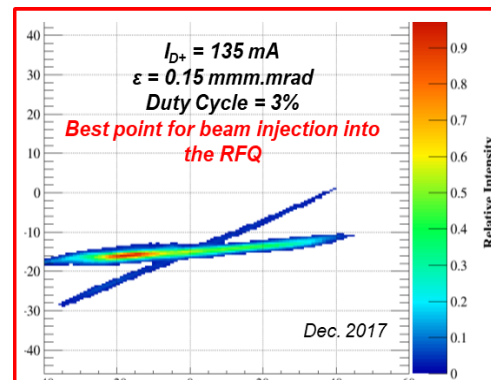
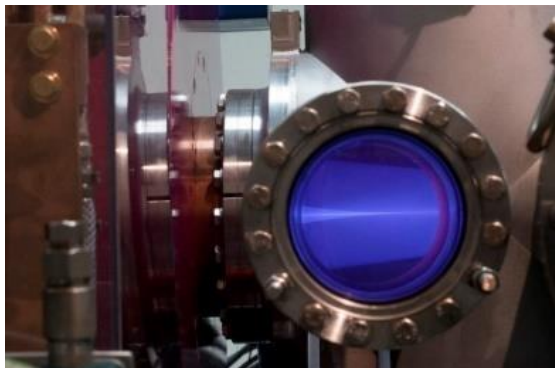




Phase A1: EMU entre les 2 solénoïdes → Réglages plasma

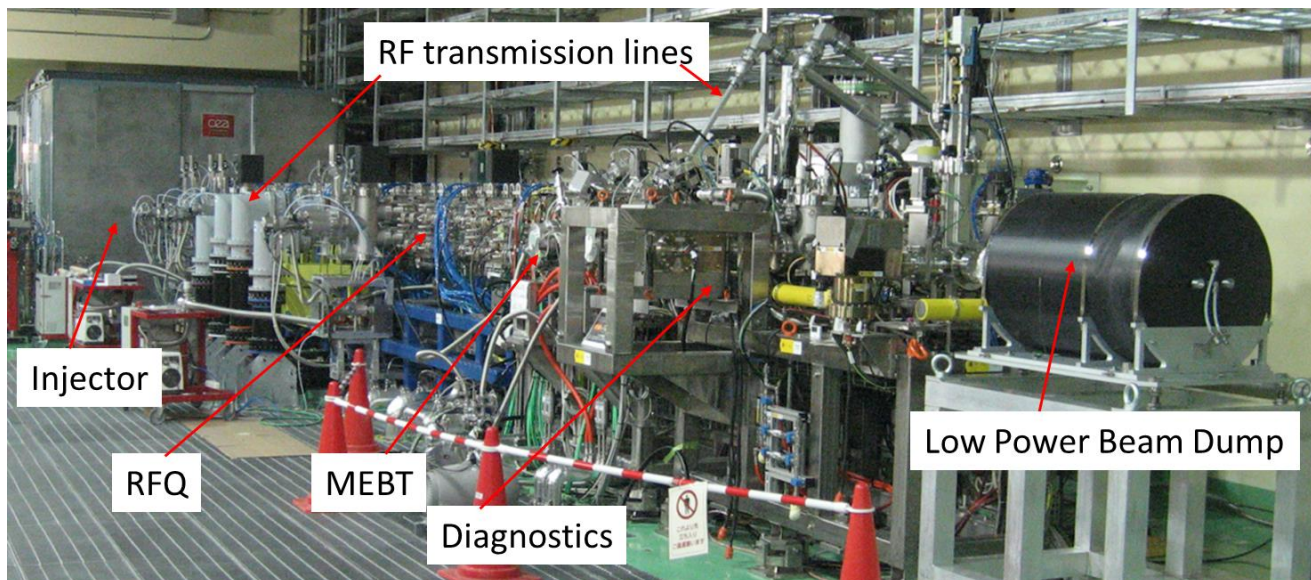
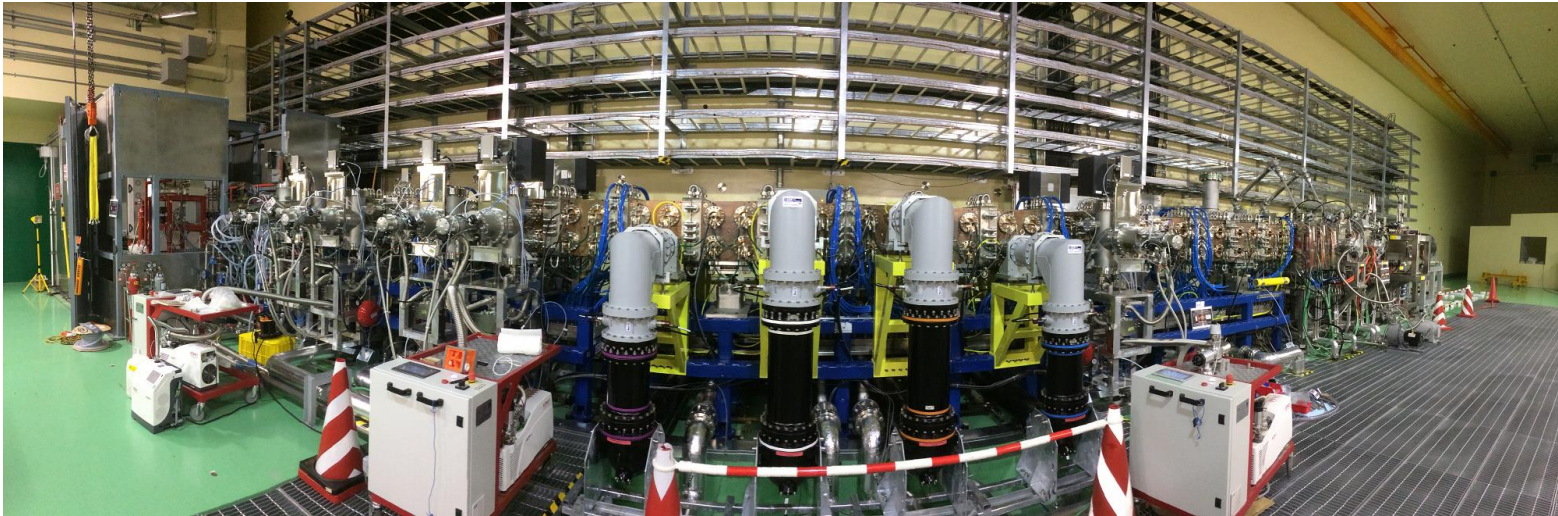
Phase A2: EMU après le cône d'injection RFQ → Ajustement des paramètres du faisceau pour le RFQ

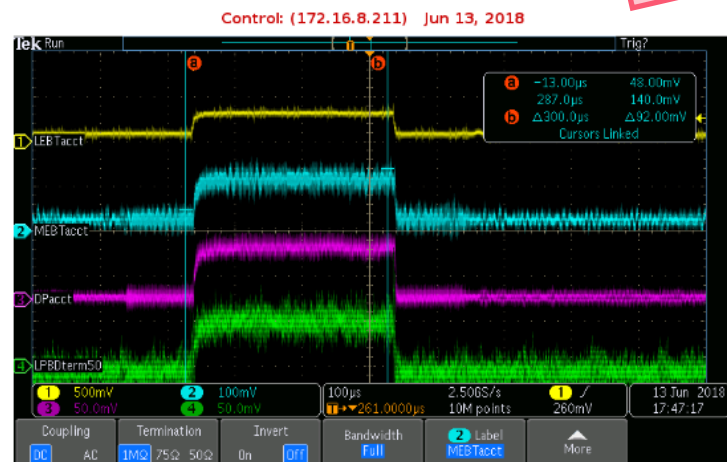
Phase A3: EMU juste en aval du système d'extraction → Caractérisation complète du faisceau au plus près de la source



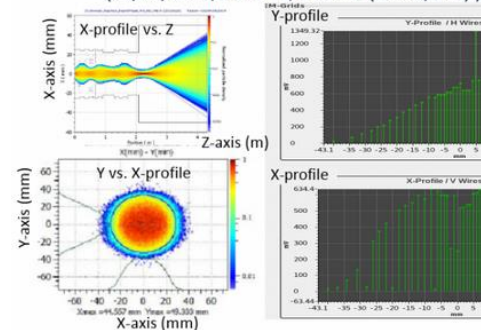
Plus d'informations:

Deuteron beam commissioning of the linear IFMIF prototype accelerator ion source and low energy beam transport
N. Chauvin et al 2019 Nucl. Fusion **59** 106001

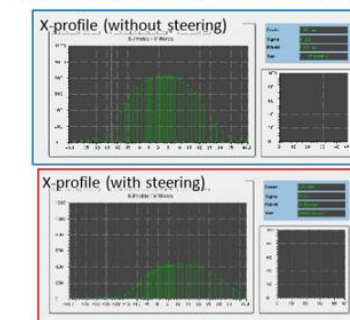




Transverse Profile
(26/04/2019, 2.5 MeV, I=59mA (300us/1Hz))



Beam Position
(13/03/2019, 2.5 MeV, I=22mA (800us/1Hz))



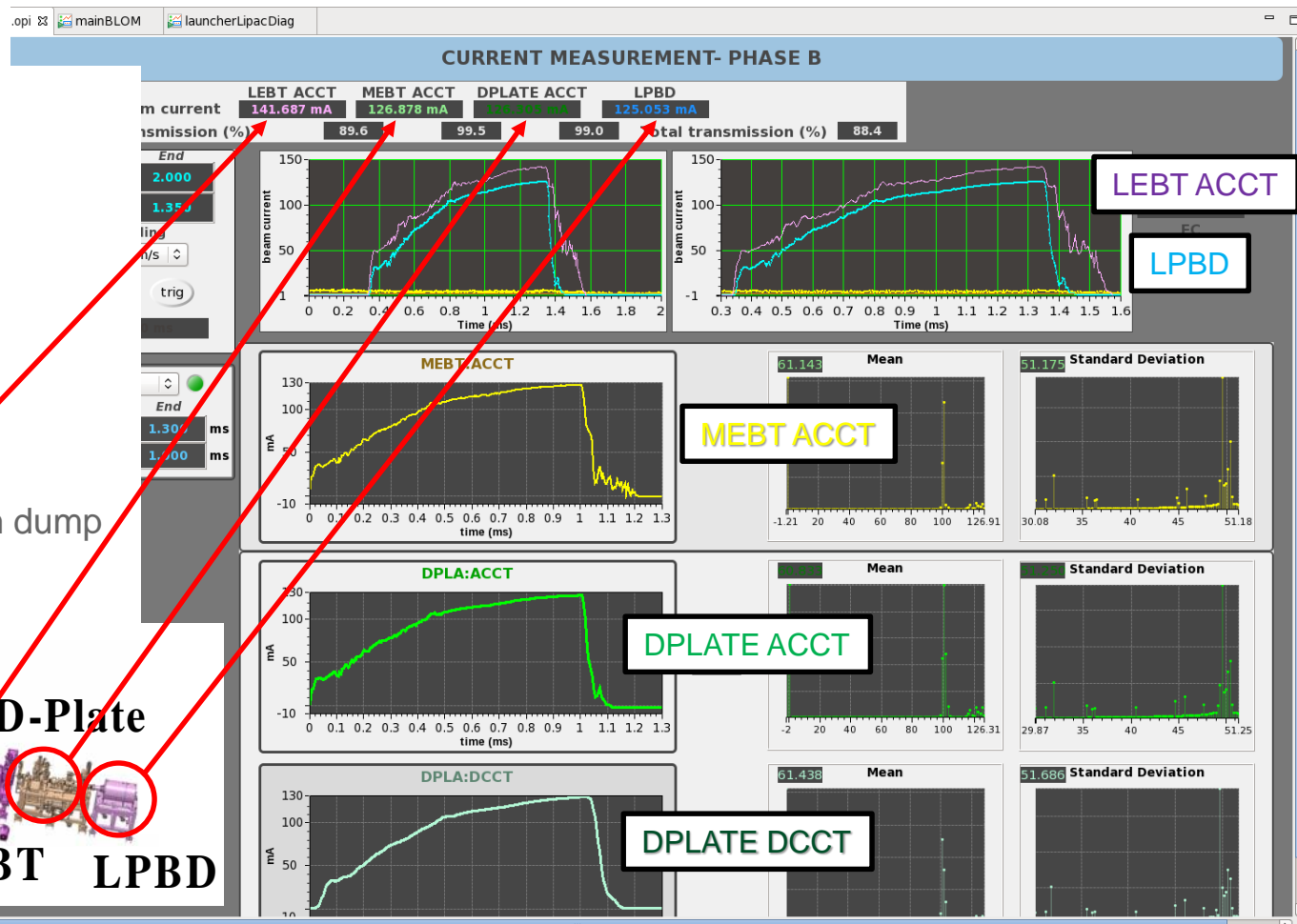
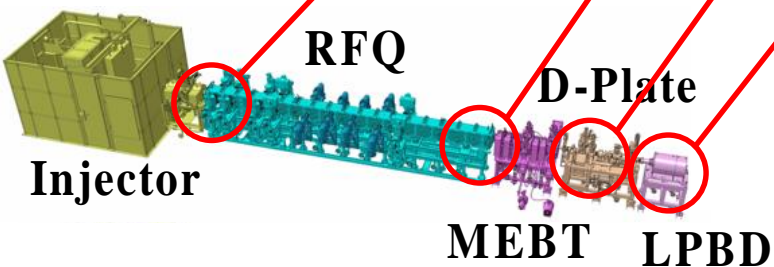
SLIT (Ciemat)/ SEM GRID (CEA) Interceptive diagnostic measurement

- Faisceau de protons à 2.5 MeV
- Validation des diagnostics faisceau
- 88 mA en sortie de l'injecteur, pulse de 300 µs
- 57 mA accéléré dans le RFQ avec une transmission de 93%



24 juillet 2019, 19h13

- **166 mA** extrait de la source ($\epsilon_{n,rms} \sim 0.2\pi$ mm mrad)
- **142 mA** injecté dans le RFQ
- Tension RFQ **~132 kV** (valeur nominale de design)
- Pulse RF ~ 1 ms, 1 Hz
- **127 mA** en sortie de RFQ (transmission $\sim 90\%$)
- **125 mA** envoyé dans le beam dump
- Energie du faisceau ~ 5 MeV



- Phase expérimentale en parallèle de l'assemblage du cryomodule

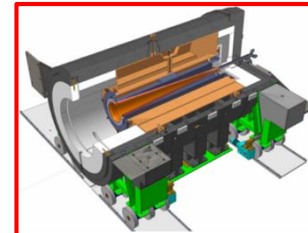
Objectifs:

- Valider le fonctionnement du RFQ en continu
- Commissioning de la HEBT et du Beam Dump

Phase A

Phase B

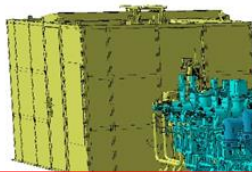
Phase B+
5 MeV - 125 mA
625 kW – high Duty Cycle



Highest power handling capability in the world



Assembled Beam Dump



HEBT Installed & Aligned

Statut:

- Installation du Beam Dump réalisée, finalisation de l'installation de la HEBT
- Réalisation de la Drift Line en cours

Phase A

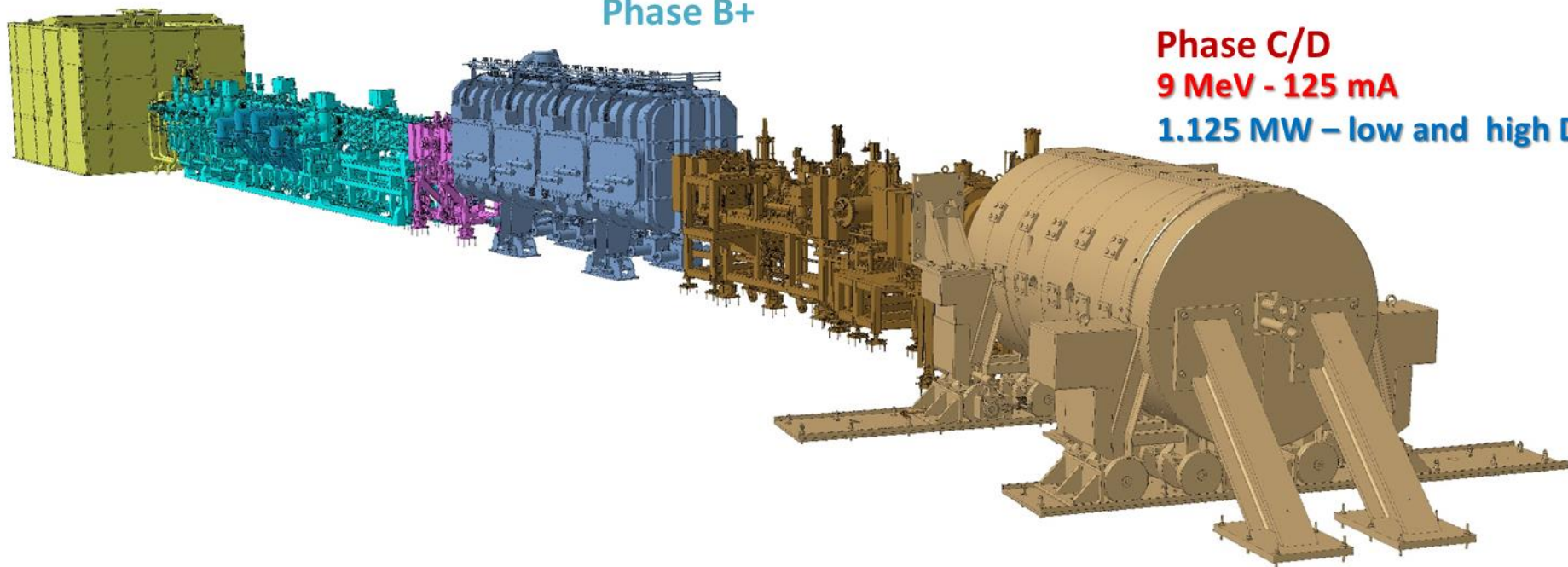
Phase B

Phase B+

Phase C/D

9 MeV - 125 mA

1.125 MW – low and high DC

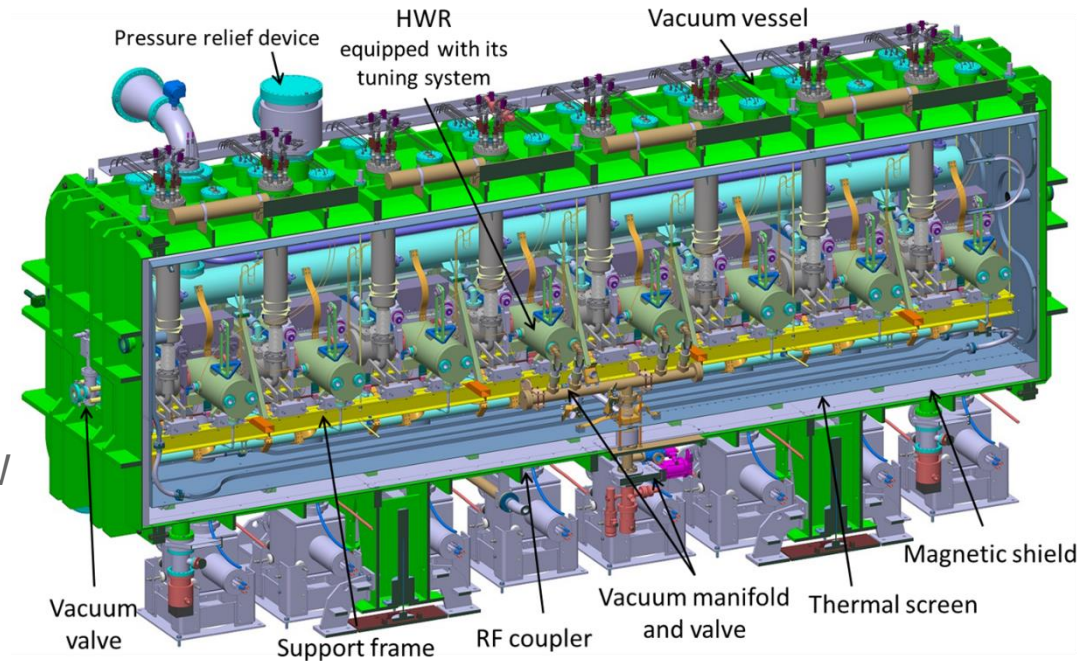


■ Eight half-wave resonators

- 175 MHz, $\beta=0.094$
- $E_{\text{acc-nom}} = 4.5 \text{ MV/m}$, $Q_0 \geq 5 \times 10^8$
- Operating temperature: 4.4 K

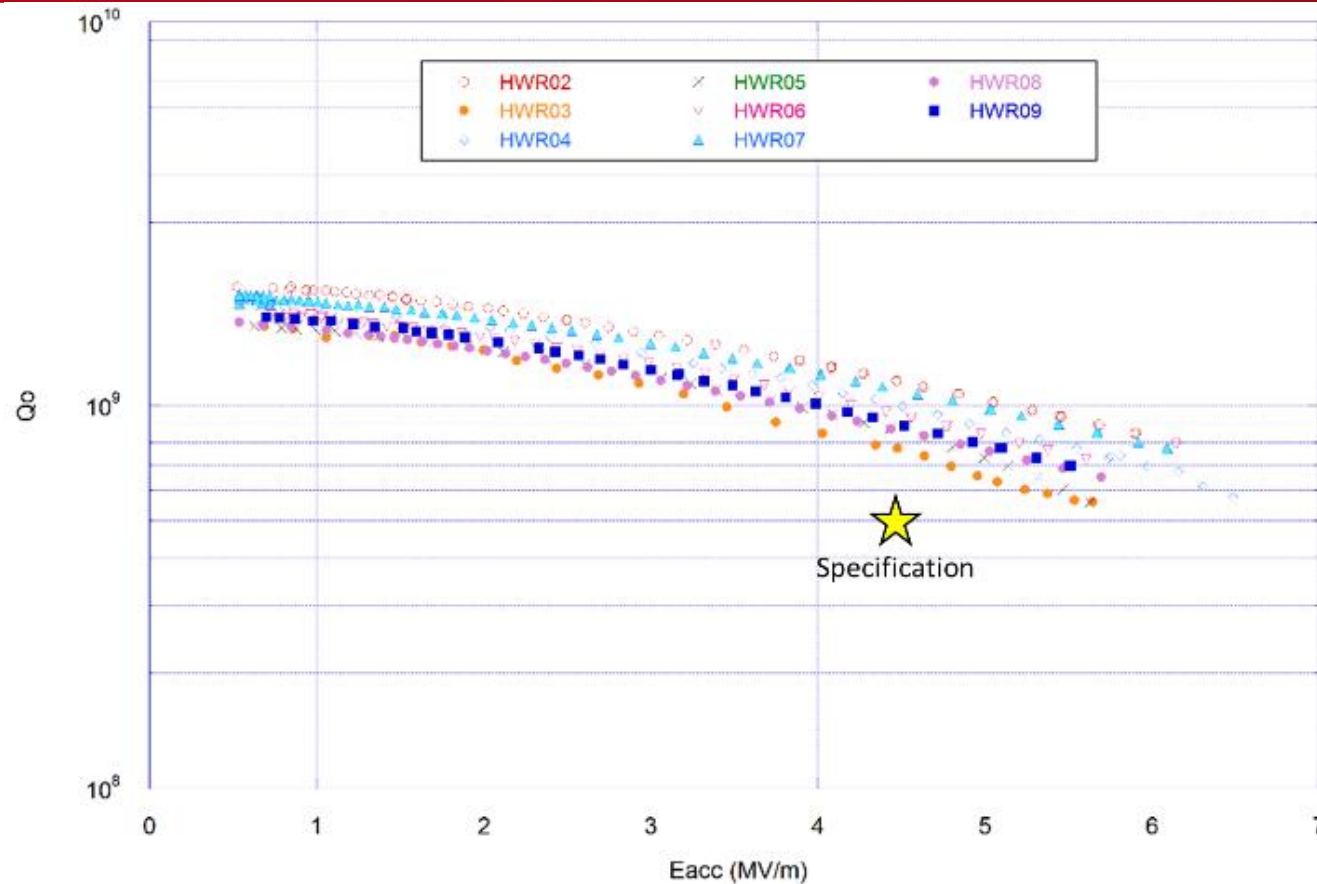
■ Power Couplers

- Designed to handle 200 kW CW
- 70 kW CW max on LIPAc



■ Eight superconducting solenoids:

- Two nested solenoids to focus the beam (6 T) with reduced fringe field (20 mT on cavity flange)
- Two steerers for horizontal and vertical beam orbit correction (integrated field: 3.51 mT.m)
- Beam position monitor (BPM)



- All test are carried out up to at least $E_{acc}=5.5$ MV/m to be sure the 4.5 MV/m specification is reached with reasonable margin (including measurement error of 10%)
- All qualification tests are stopped below 6.5 MV/m in order to prevent firing field emission.
- No electron current nor X-ray measured at 5.5 MV on any of the HWRs
- X-ray onset only detected for HWR05 at 5.6 MV/m

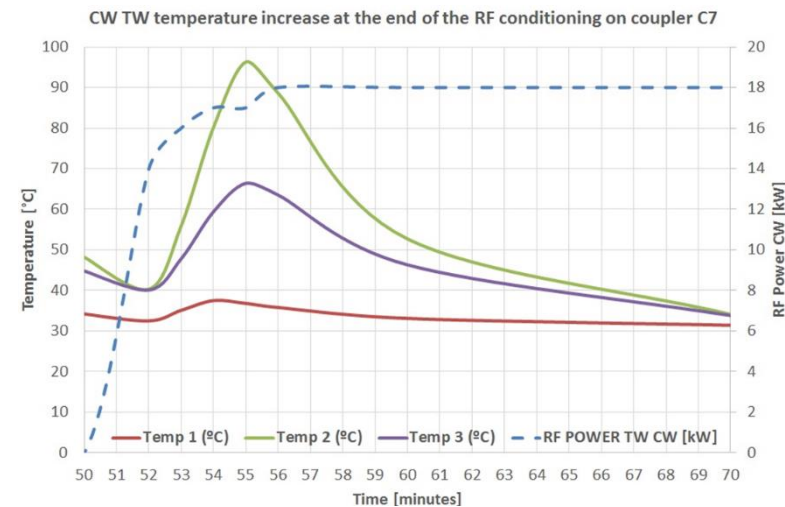
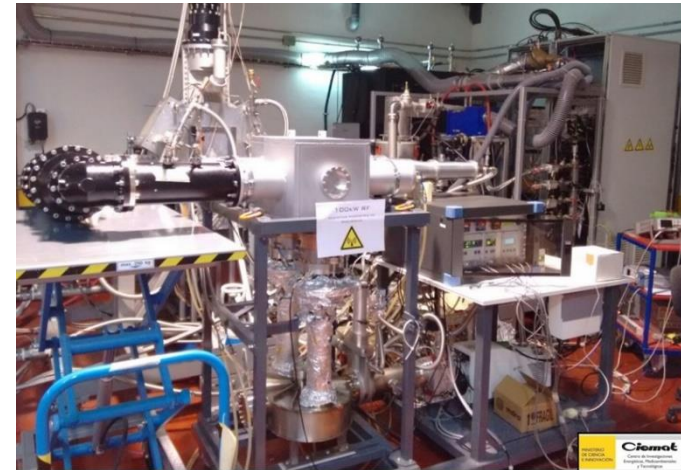
All the power couplers reached the validation maximum power of 100 kW CW in TW and SW (full reflection) configurations

The SW RF conditioning: 7 short circuit positions allowing to have maximum electrical fields on the ceramics and on intermediate positions.

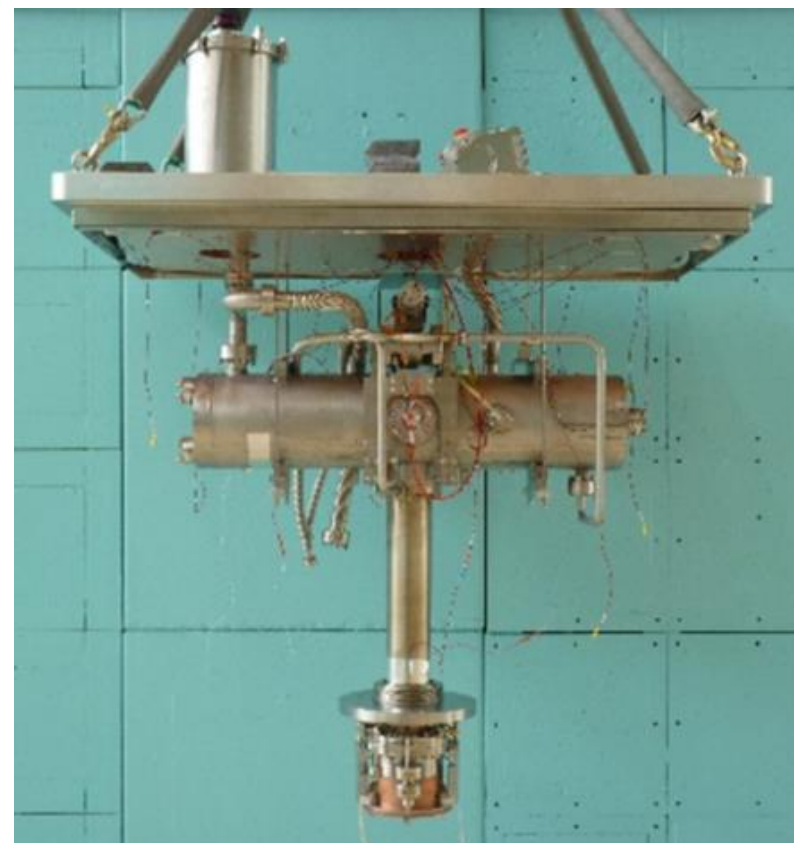
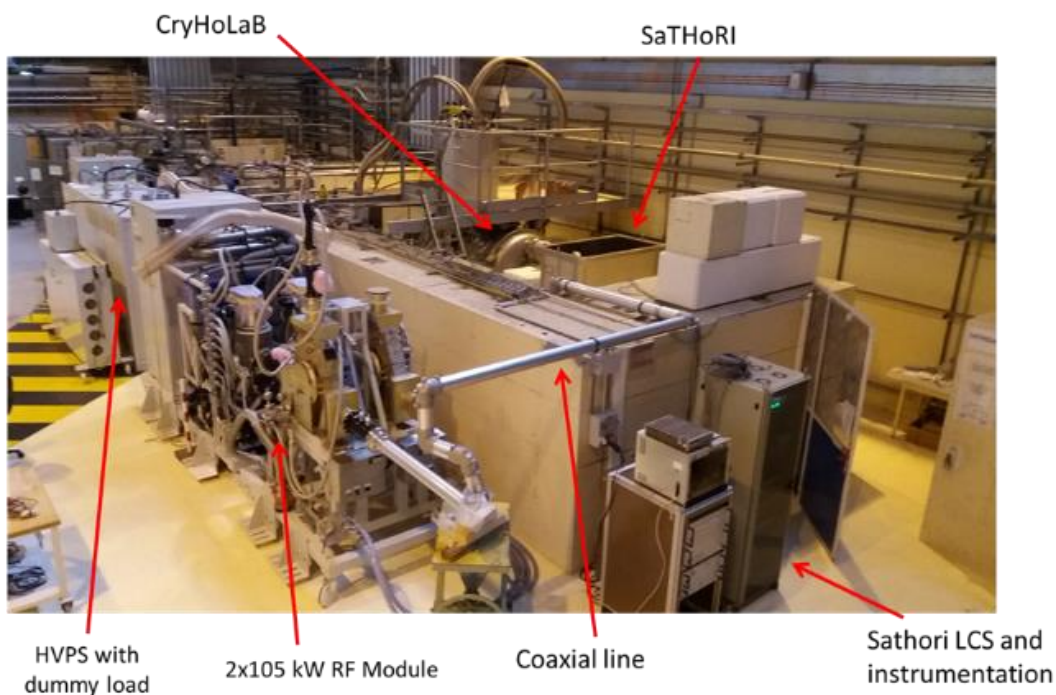
Some of the couplers (C5, C7) had important multipactor activity at a precise RF power levels (between 10 kW and 20 kW) generating heat increase for duty cycles higher than 10%.

- Heating multipactor power ranges far below the nominal operating RF power of the coupler on the cryomodule
- Multipacting level seems to be influenced by the RF configuration due to the assembly on the test box → behavior could be different on the cryomodule

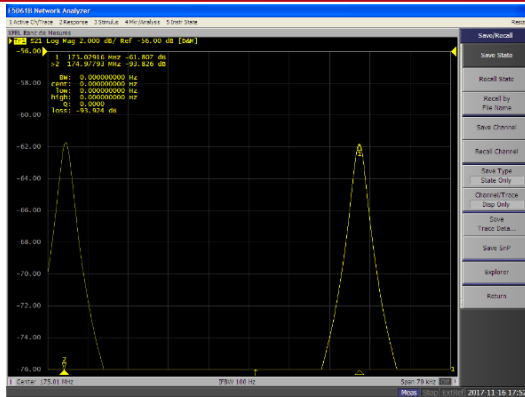
Good vacuum behavior : pressure below 10^{-7} mbar for power between 40 kW and 100 KW in CW at the end of the process.



- Tests de deux mailles accélératrices (cavité + coupleur de puissance + système d'accord en fréquence à froid) au CEA Saclay
- Mise en place d'un test stand dédié: SaTHoRI = **S**atellite de **T**est **H**orizontal des **R**ésonateurs IFMIF



MAILLE ACCÉLÉRATRICE: RÉSULTATS



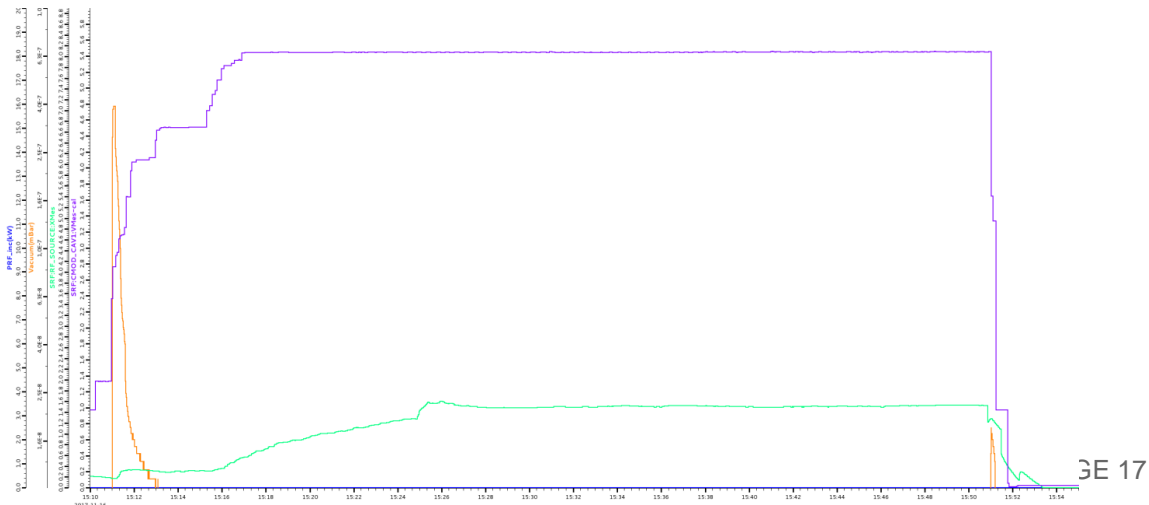
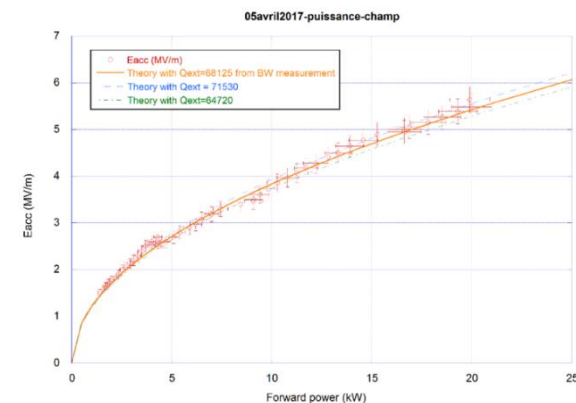
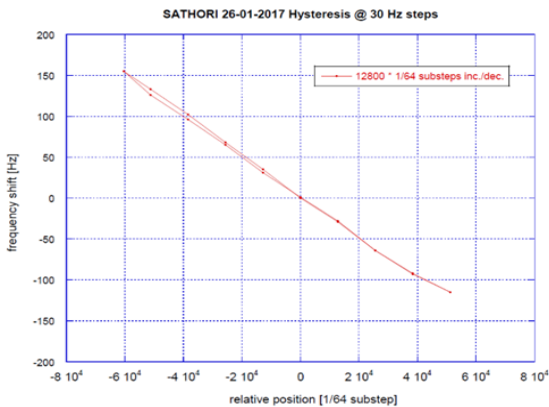
■ Performances du système d'accord à froid conformes aux spécifications

- Plage de réglage en fréquence ~50 kHz
- Hystérésis ~ 6Hz
- Procédure d'urgence: moins de 30 minutes pour parcourir toute la plage, conforme aux performances de l'alimentation de secours (onduleur – 45 minutes)

■ Couplage cavité / coupleur proche de la valeur théorique

■ 4.5 MV/m dans la cavité avec une puissance injectée de 14 kW

■ Système stable à 5.4 MV/ m (champ accélérateur nominal + 20% de marge) pendant 30 minutes

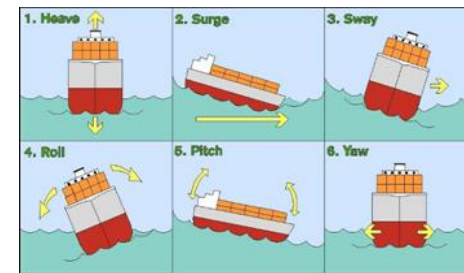


TRANSPORT DU CRYOMODULE ENTRE L'EUROPE ET LE JAPON



■ Plan initial: assemblage et test du cryomodule en Europe, transport par bateau jusqu'au Japon

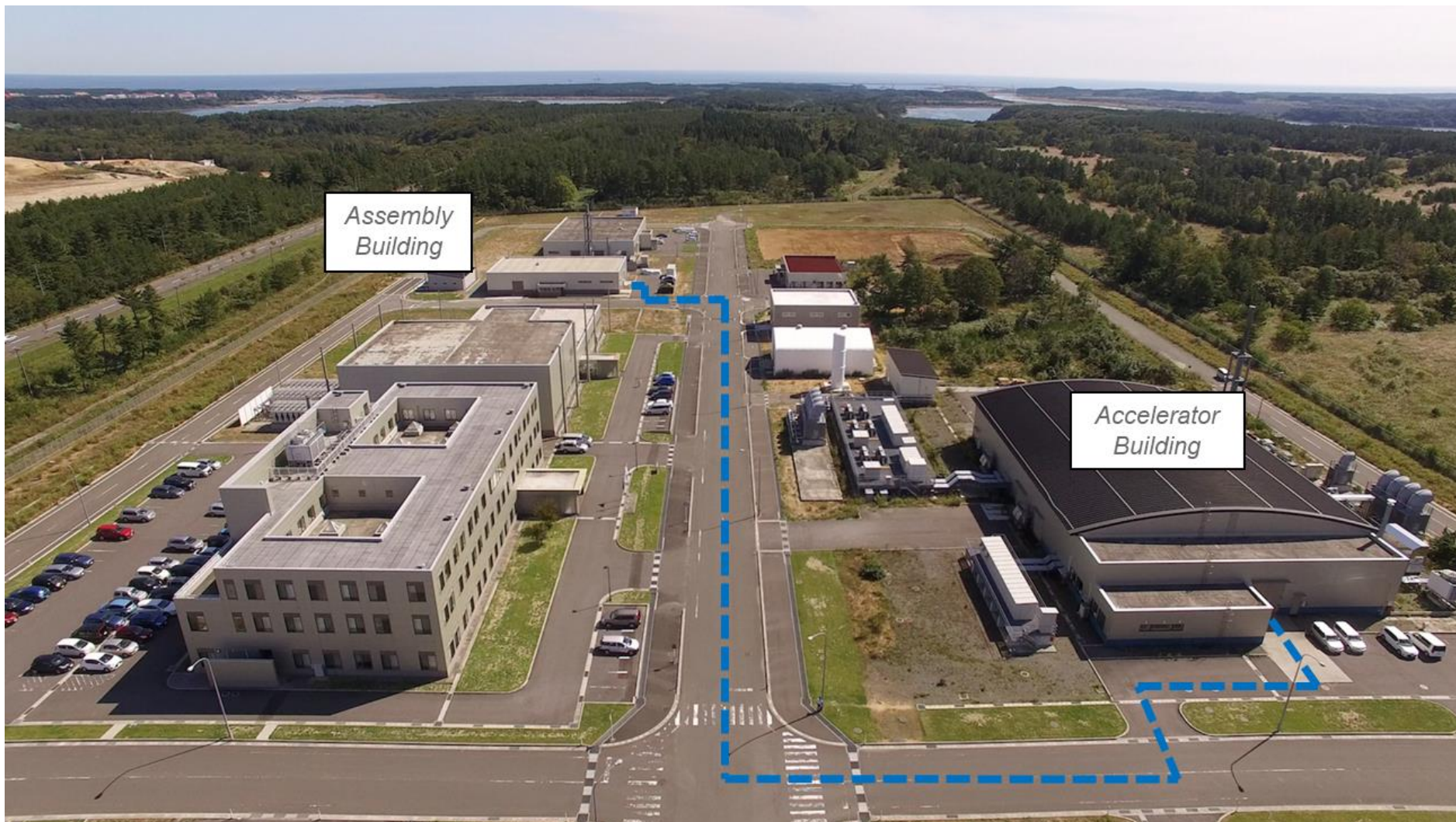
Risque d'endommager un composant du vide faisceau lors des chargements / déchargements ou à cause de la fatigue (céramique du coupleur de puissance par exemple)



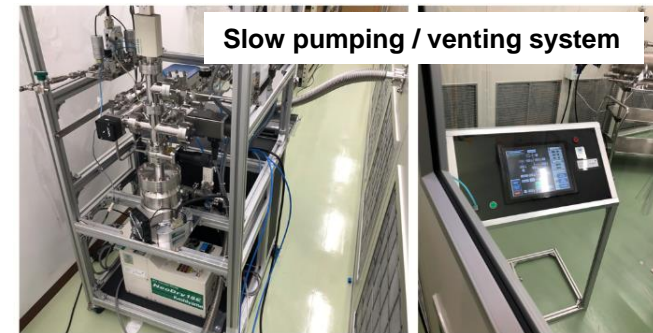
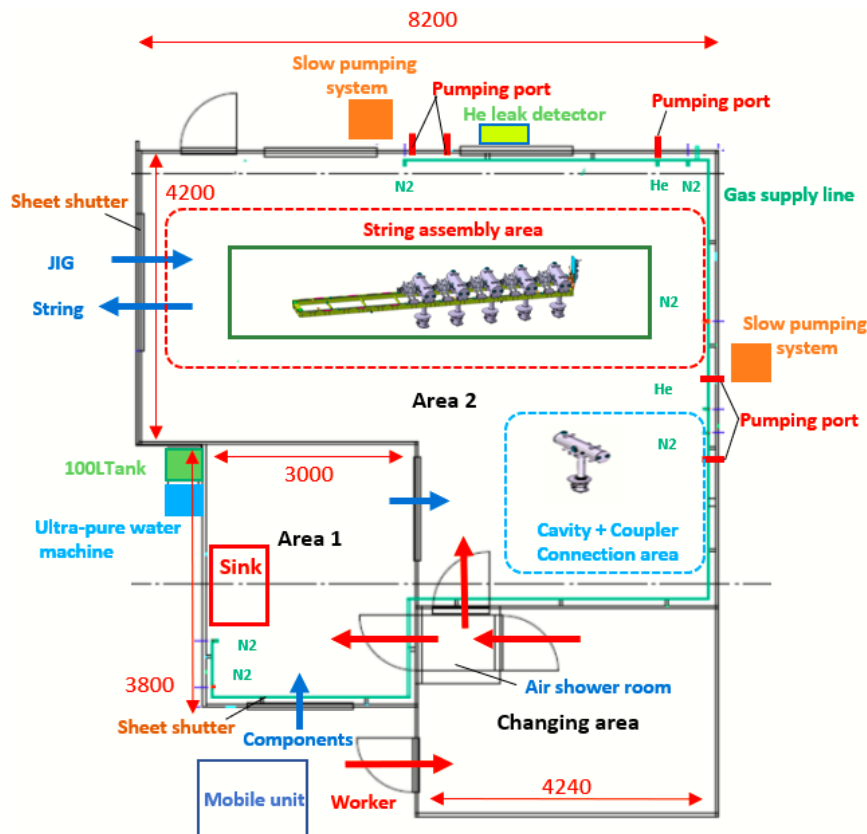
■ Mitigation du risque transport

■ Transport aérien → Antonov 124 du fait des dimensions du cryomodule

■ Assemblage sur site à Rokkasho → nécessité de construire une salle blanche



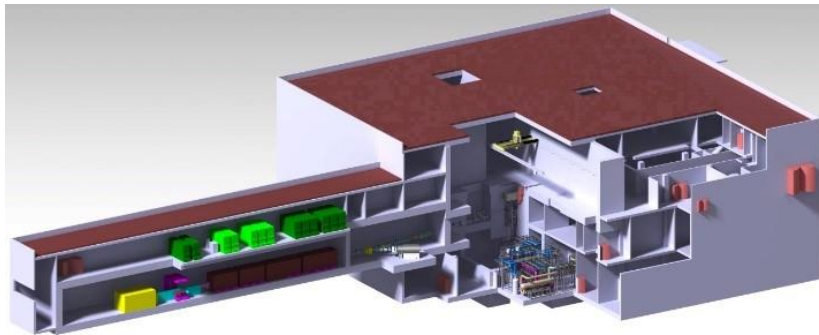
- Construction de la salle blanche ISO 5 et achat des équipements sous la responsabilité des Japonais (QST)
- Système de pompage lent et de remise à la pression atmosphérique développé en collaboration avec KEK
- Challenge: s'adapter aux contraintes du bâtiment déjà existant tout en respectant les besoins du projet



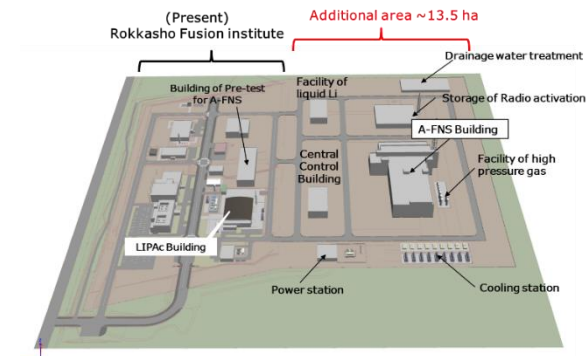
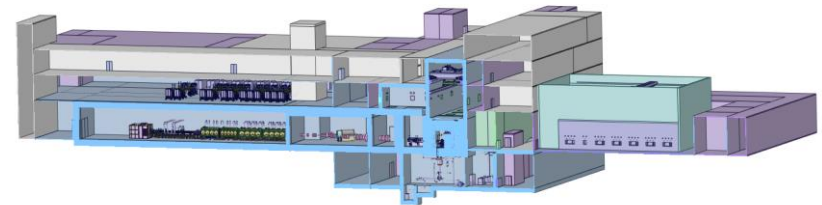
- Responsabilité de F4E, activité sous-traitée à Research Instrument GmbH (RI)
- Travail préparatoire du CEA: rédaction de scénarios avec les grandes lignes de m'assemblage en et hors salle blanche, tests d'outillage salle blanche et d'opérations à l'aide de maquettes
- Les activités ont commencé à Rokkasho premier semestre 2019 avec l'assemblage de trois ensembles cavité / coupleur
- En stand-by du fait du retard des solénoïdes



- The need of a neutron source for the qualification of materials to be used in future fusion power reactors have been recognized in fusion programs since many years
- Two projects based on a staged approach (one 40 MeV /125 mA deuteron beam linac coupled to a lithium target – with the possibility to upgrade to 10 MW by addition of a second linac) are under study
 - IFMIF-DONES (DEMO Oriented Neutron Source) in Europe, on the ESFRI roadmap (European Strategy Forum on Research Infrastructures)
 - A-FNS (Advanced Fusion Neutron Source) in Japan



Conceptual design of the DONES Plant in Grenada, Spain



Conceptual design of the A-FNS Facility at Rokkasho, Japan