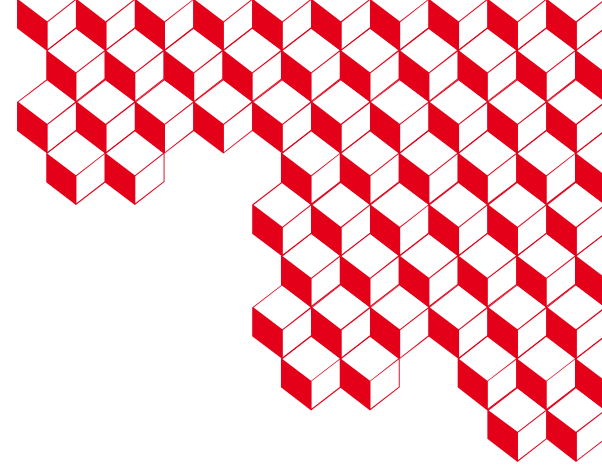




irfu



Statut du commissioning de SARAF-Phase II et des tests de cryomodule

Jonathan Dumas et Guillaume Ferrand

Journées accélérateurs Roscoff 2023





irfu



Commissioning

Jonathan Dumas



SARAF

Ions: **Protons/Deutons**
 Energie: **1.3/2.6 – 35/40 MeV**
 Courant: 0.04 - 5 mA CW
 Freq: 176 MHz

Phase I avec Accel:

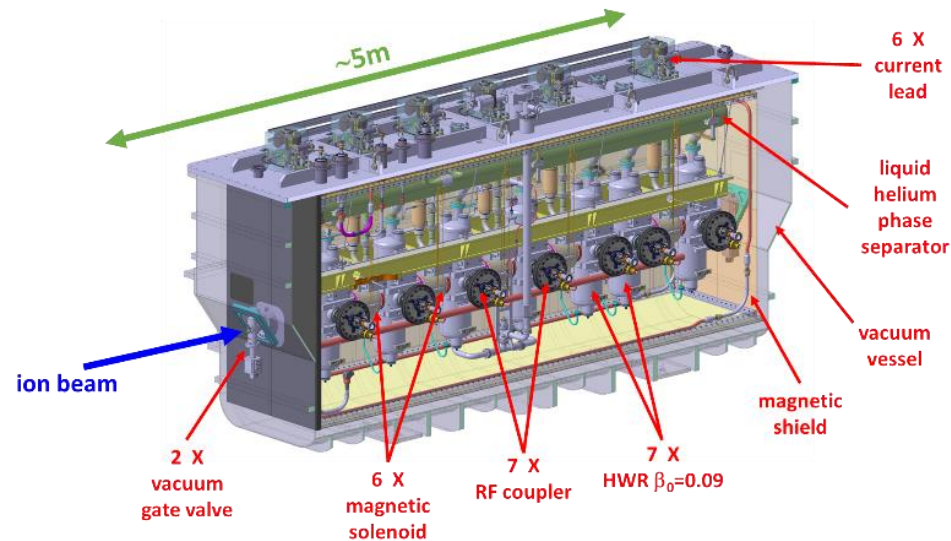
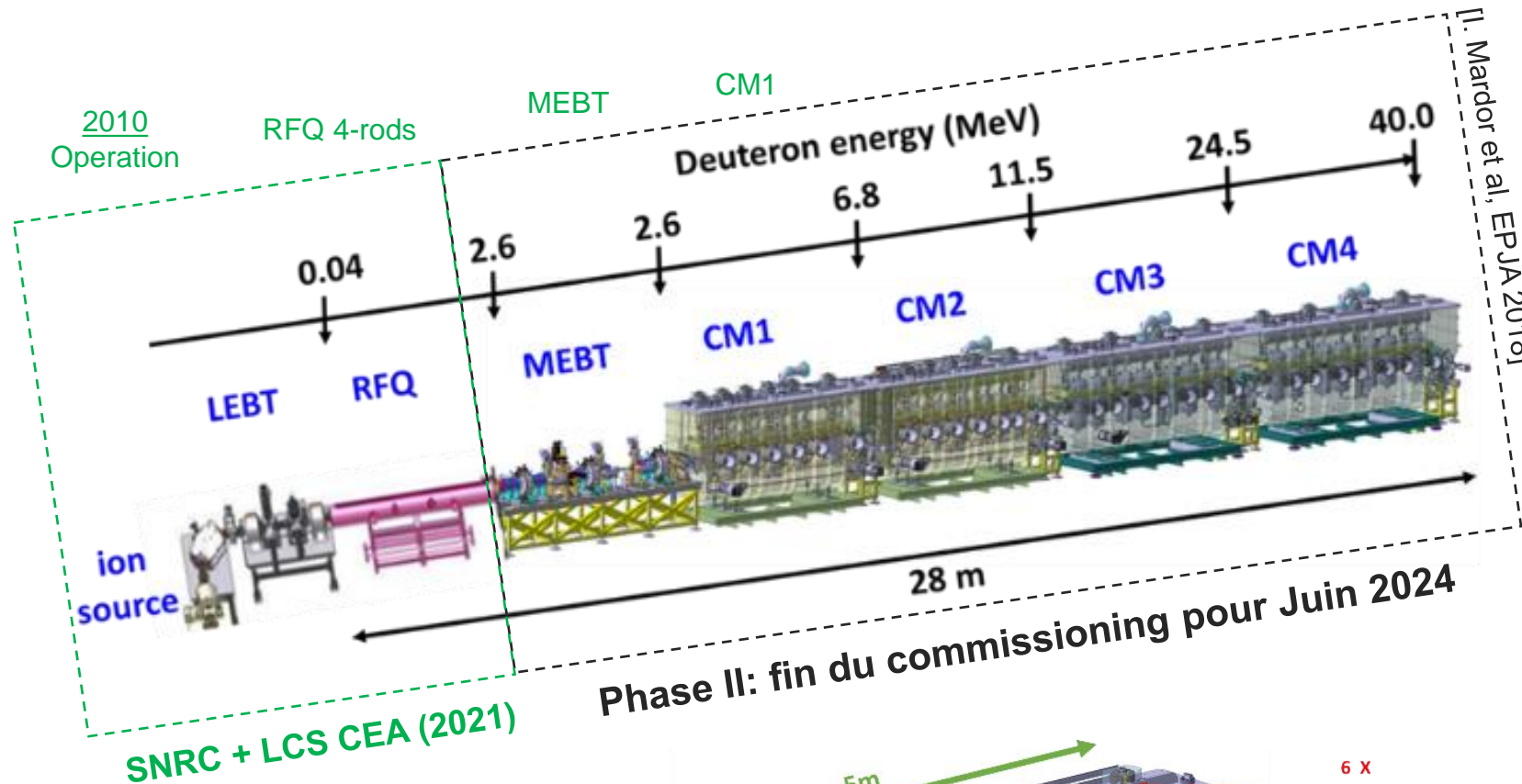
- source ECR
- LEBT: 3 solenoides et 1 dipole
- RFQ: 20 keV/u → 1.3 MeV/u

Phase II avec CEA:

- MEBT: 8 QP et 3 Regroupeurs
- Linac: 4 CM (2 bas-β et 2 haut-β)
27 cavités, 20 solénoïdes

Objectif:

- Plusieurs lignes de production de neutrons (rapides, lents, TOF)



Il. Mardor et al, EPJA 2018]

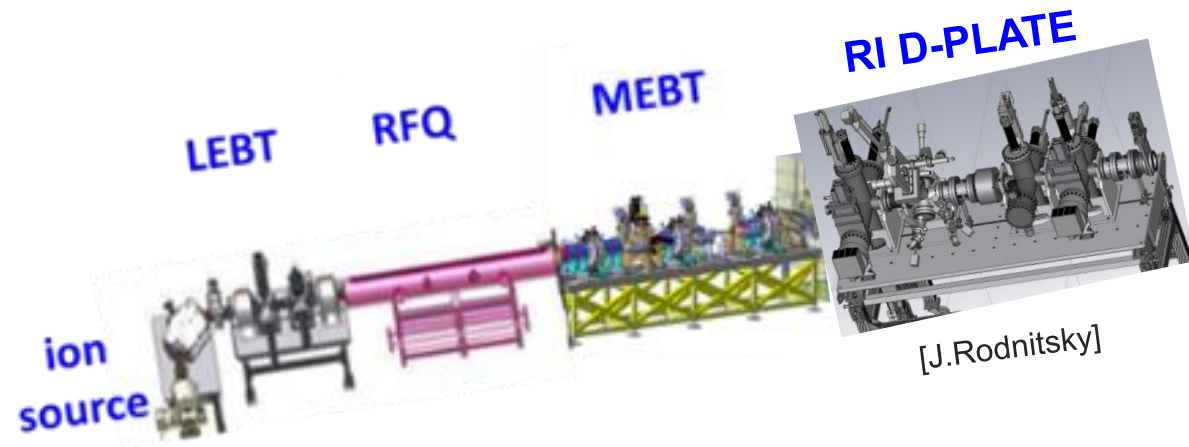
SARAF aujourd'hui

Jusqu'à Juin 2023:

- MEBT
- Dplate: diagnostic plate
- Cible haute puissance

Commissioning avec faisceau (p/d) de la MEBT mais pas seulement..., tests:

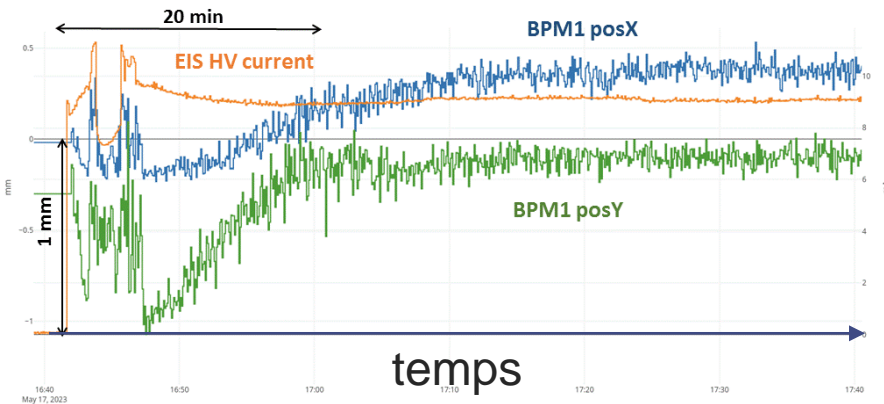
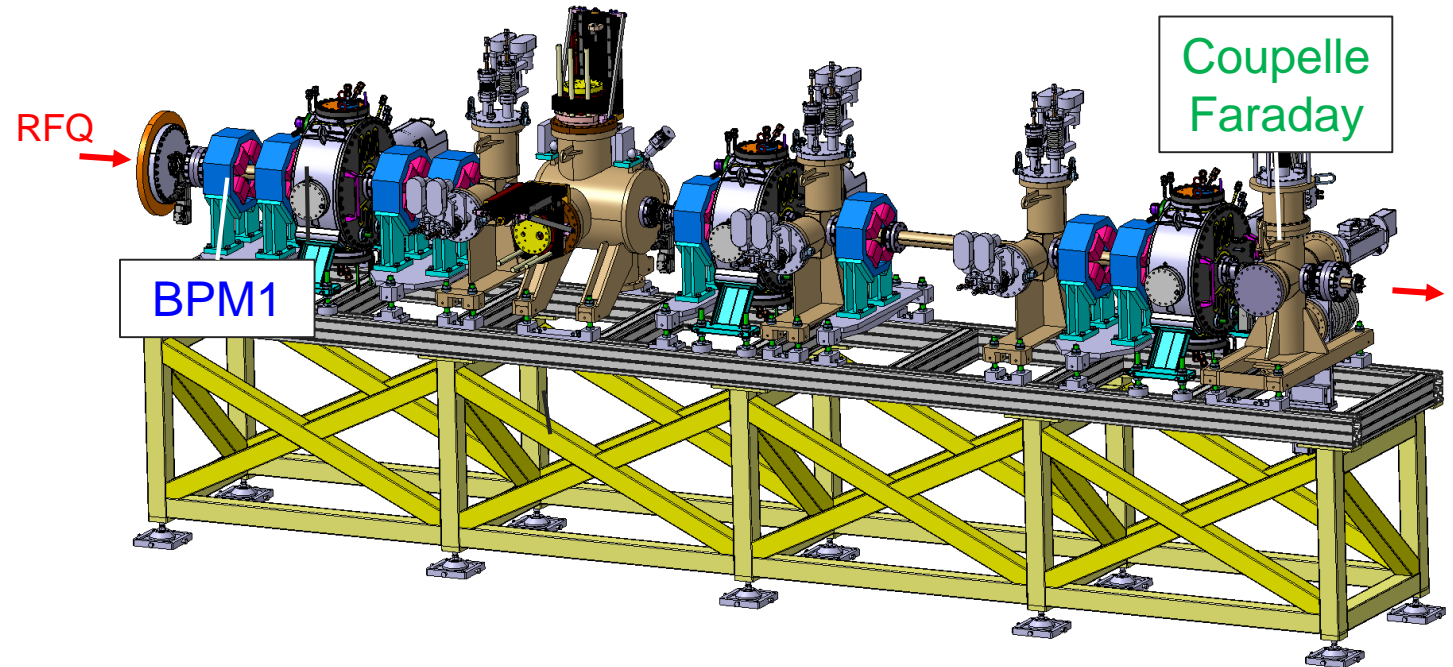
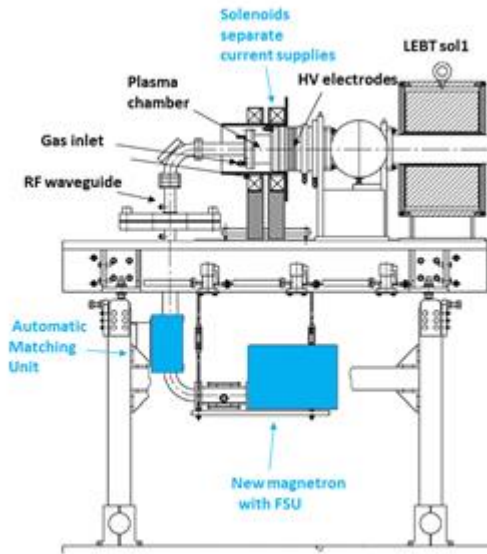
- Source
- LEBT
- RFQ



+ Temporary Beam Line + Cible GALIT

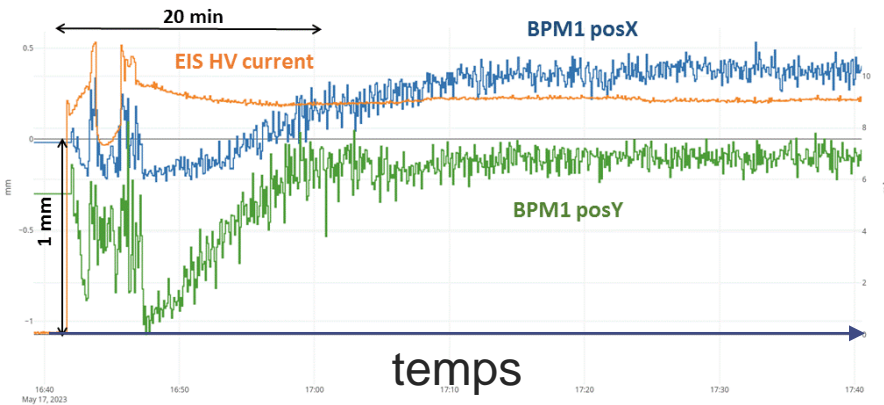
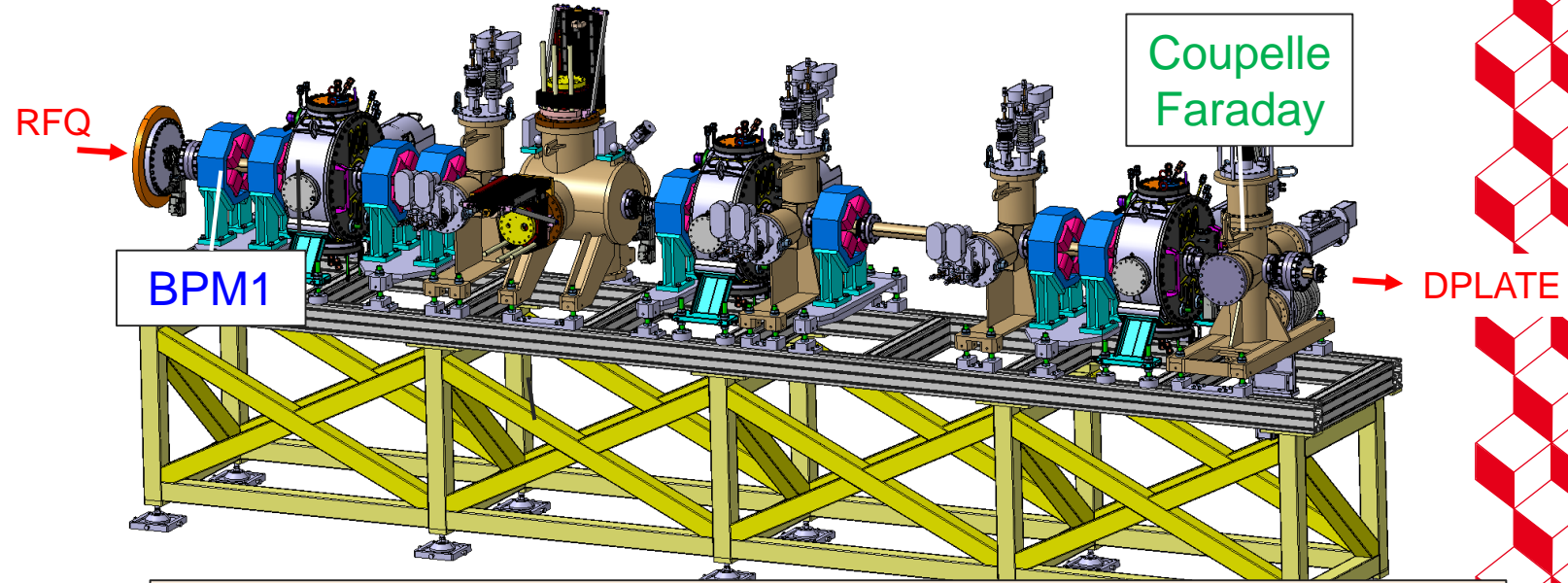
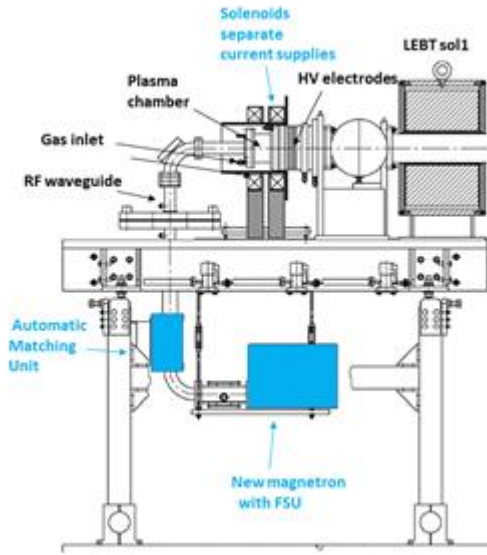
Ions: Protons/Deutons
Energie: 1.3/2.6
Courant: 5 mA CW

Source ECR

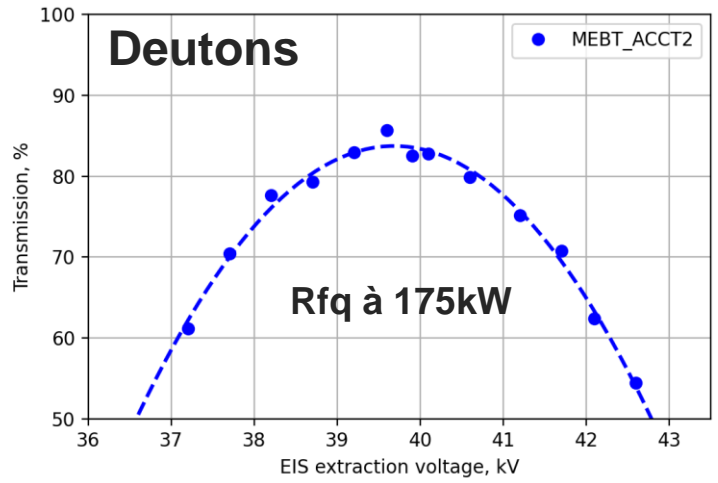
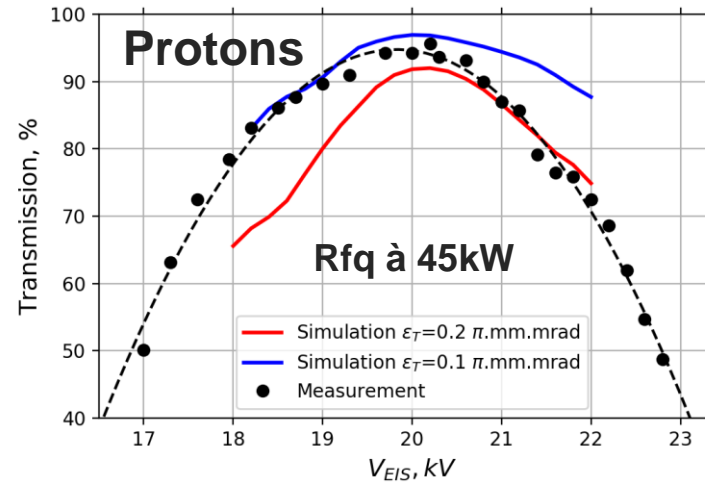


Lesson learned: Nécessité d'attendre 20 minutes après allumage de la source pour que le faisceau soit stable!

Source ECR



Transmission ($/ACCT_{LEBT}$), optique nominale



Injecteur

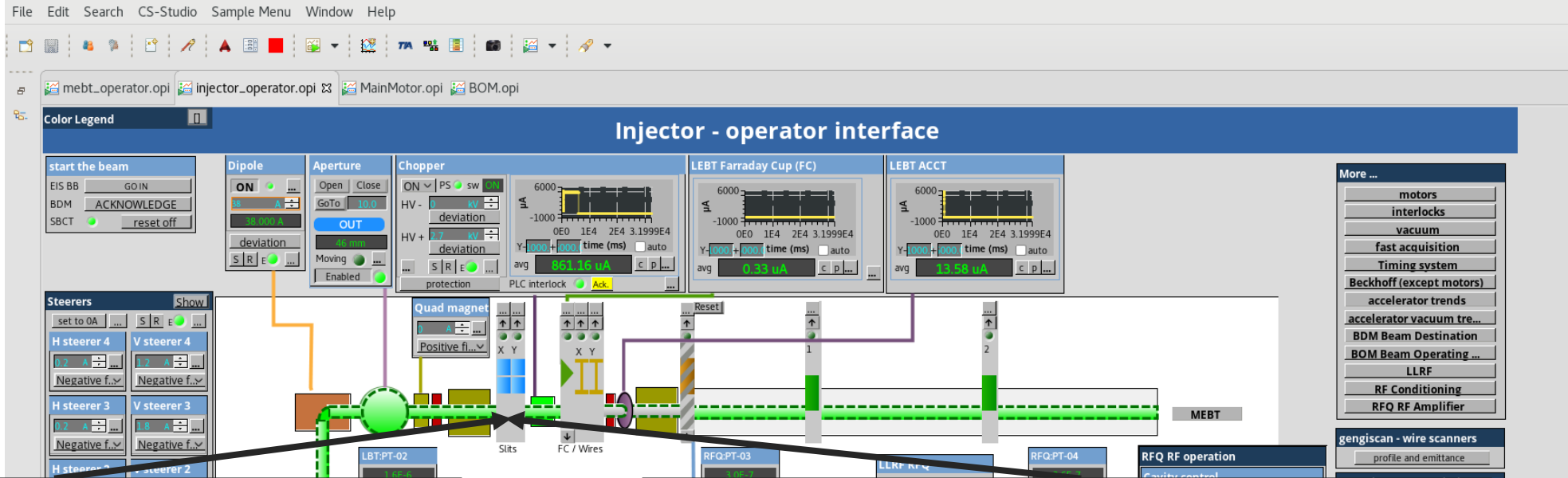
Contrôle commande de la LEBT (CEA)

The screenshot displays the 'Injector - operator interface' software. The main window features a central schematic of the particle beamline, with various components labeled such as 'Dipole', 'Aperture', 'Chopper', 'LEBT solenoids', 'RFQ BB', 'LLRF RFQ', and 'Magnetron'. The interface is divided into several functional panels:

- start the beam:** Includes buttons for 'GO IN', 'ACKNOWLEDGE', and 'reset off'.
- Dipole:** Controls for 'ON', 'deviation', and 'S R E'.
- Aperture:** Controls for 'Open', 'Close', 'GoTo', and 'OUT'.
- Chopper:** Controls for 'ON', 'PS sw', 'HV -', 'HV +', 'deviation', and 'protection'.
- LEBT solenoids:** Controls for 'Solenoid 01', 'Solenoid 02', and 'Solenoid 03', each with 'ON', 'deviation', and 'S R E' controls.
- RFQ BB:** Includes a current monitor showing 'avg 6.41 uA'.
- LLRF RFQ:** 'Cavity Req' section with 'DPhi' and 'DPhi Valid' indicators.
- Timing:** 'Pulses over time' graph showing 'CHOPPER' and 'RF GATE' pulses.
- RFQ RF operation:** 'Cavity control' section with 'LAUNCH', 'STOP', and 'RESET' buttons, and 'DPhi' controls.
- Magnetron:** Controls for 'Forward Power', 'Refl po threshold', 'Filament', and 'Magnetron'.
- ATU:** 'Reset' button and 'x', 'y' position controls.
- Acceleration/Deceleration:** 'ON' buttons and 'deviation' controls.
- EIS solenoids:** Controls for 'EIS solenoid 1' and 'EIS solenoid 2'.
- Gas regulation:** 'H2 gas regulation', 'D2 gas regulation', and 'He gas regulation' sections with 'Flow setpoint' and 'Flow measure' controls.
- More ...:** A sidebar menu listing various system components like 'motors', 'interlocks', 'vacuum', 'fast acquisition', 'Timing system', 'Beckhoff (except motors)', 'accelerator trends', 'accelerator vacuum tre...', 'BDM Beam Destination', 'BOM Beam Operating ...', 'LLRF', 'RF Conditioning', and 'RFQ RF Amplifier'.

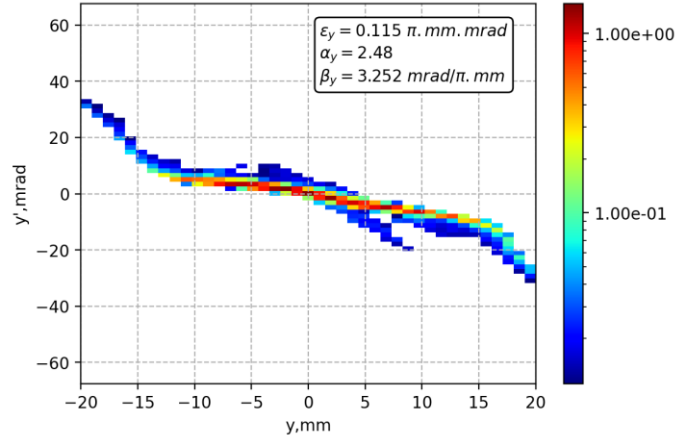
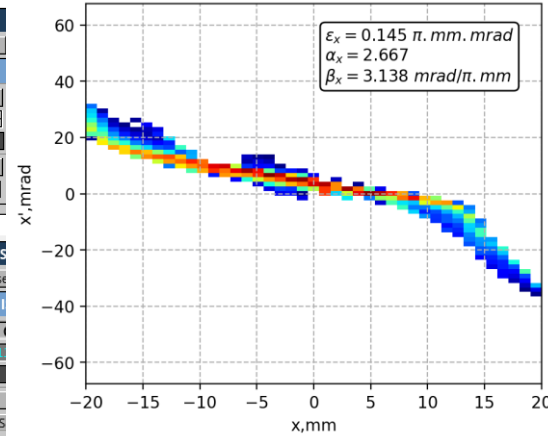
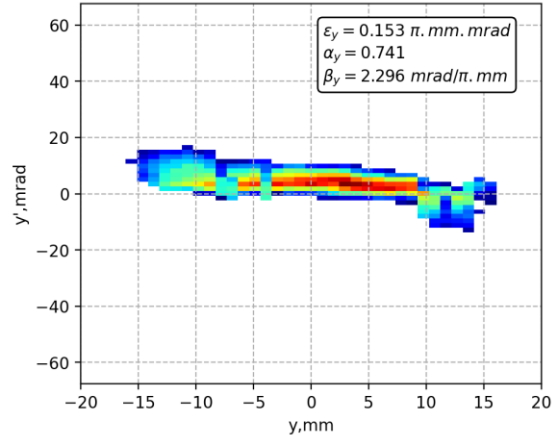
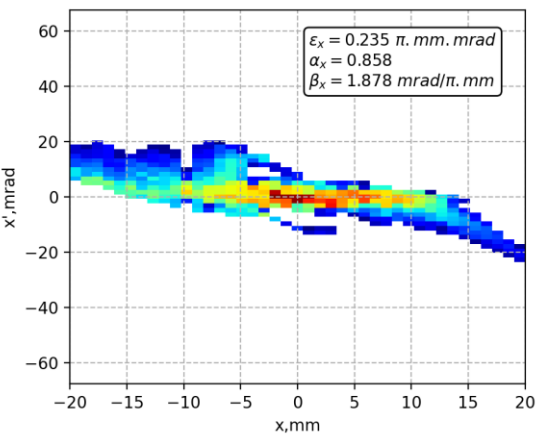
Injecteur

Gengiscan:
application générique
pour faire des
balayages
→ par exemple dans
la mesure d'émittance

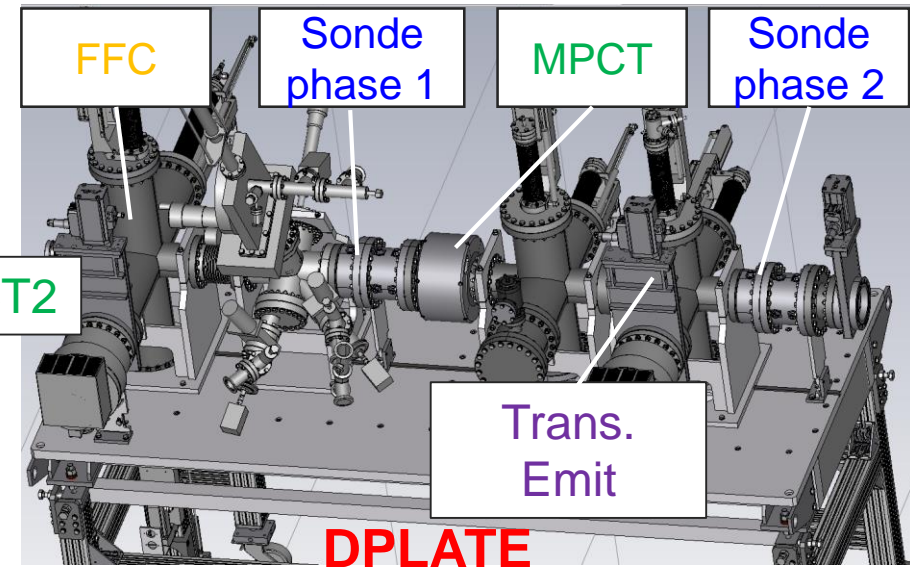
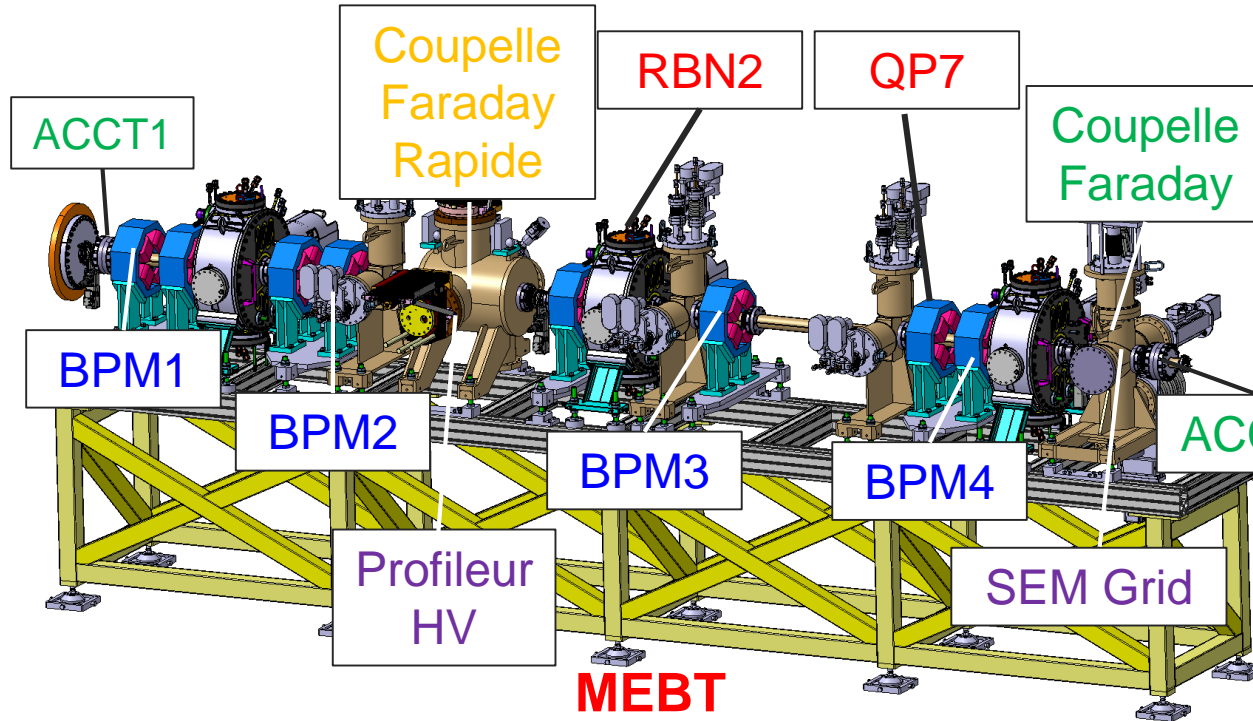


Protons

Deutons

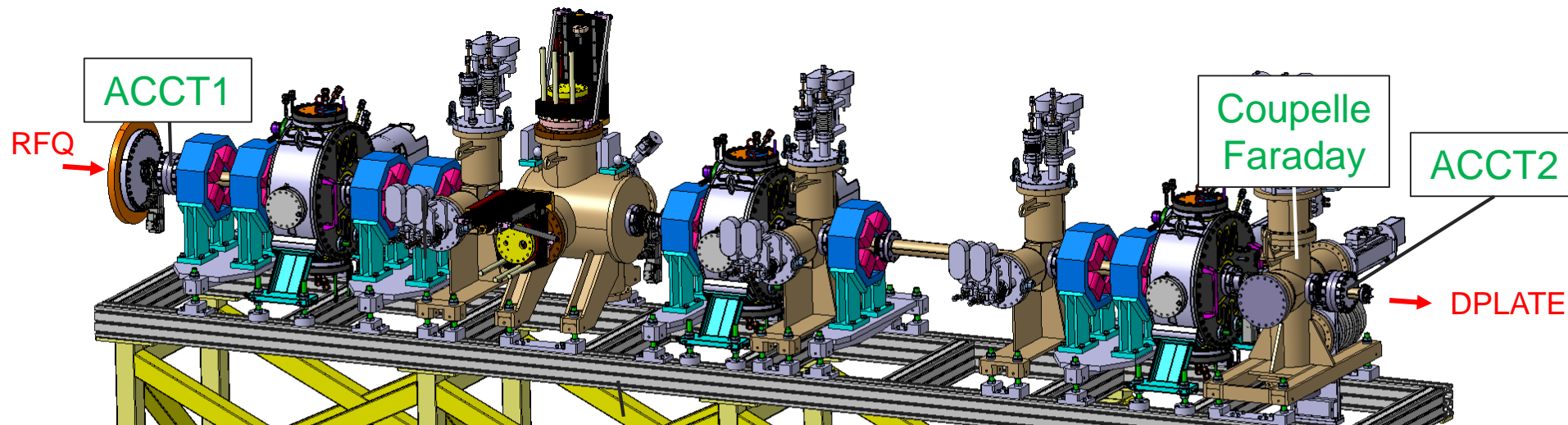


MEBT

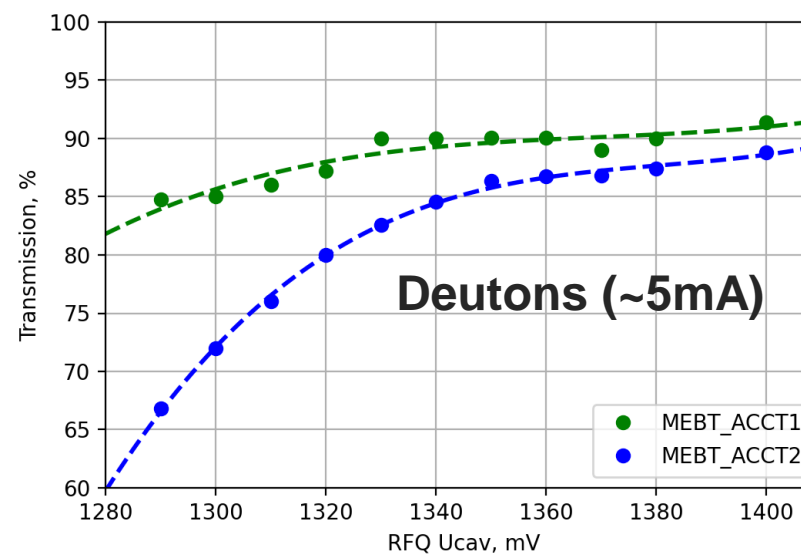
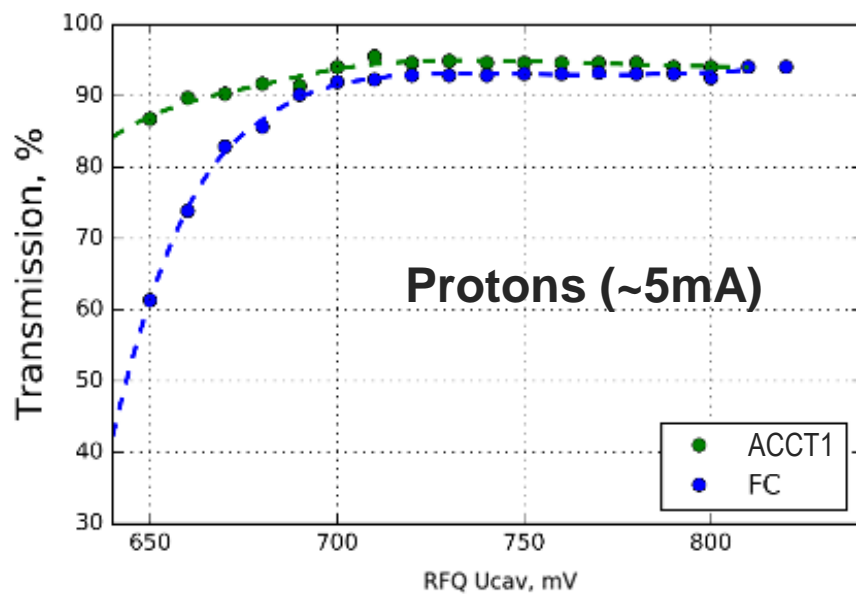


- ❑ Mesure de la transmission RFQ/MEBT
- ❑ Calibration des regroupeurs
- ❑ Caractérisation longitudinale du faisceau (longueur du paquet, emittance)
- ❑ Caractérisation transverse du faisceau (largeur du paquet, emittance)
- ❑ Montée en puissance

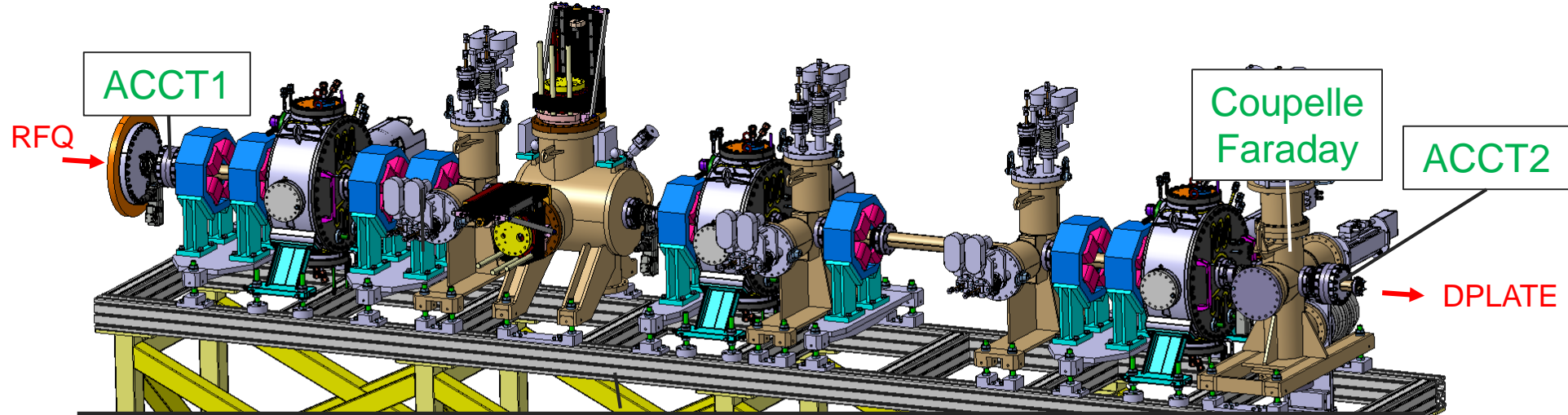
Mesure de transmission RFQ/MEBT



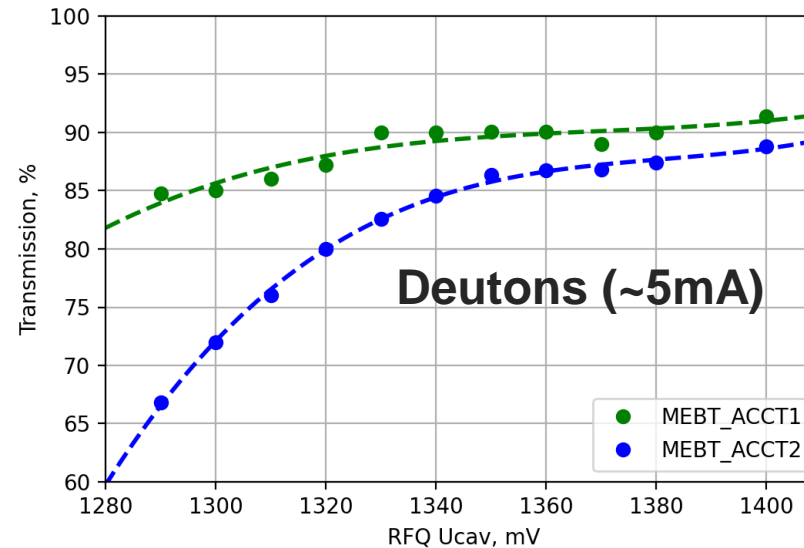
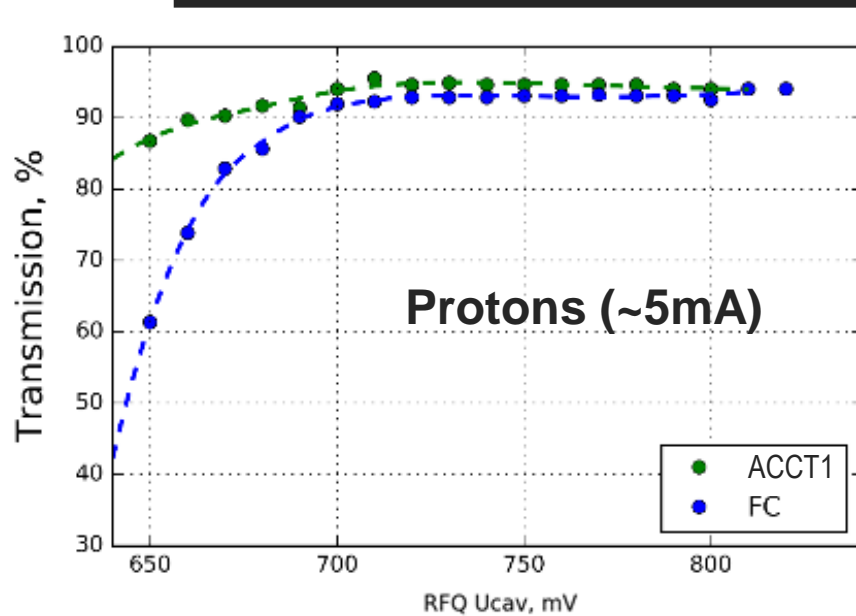
Transmission ($/ACCT_{LEBT}$), optique nominale



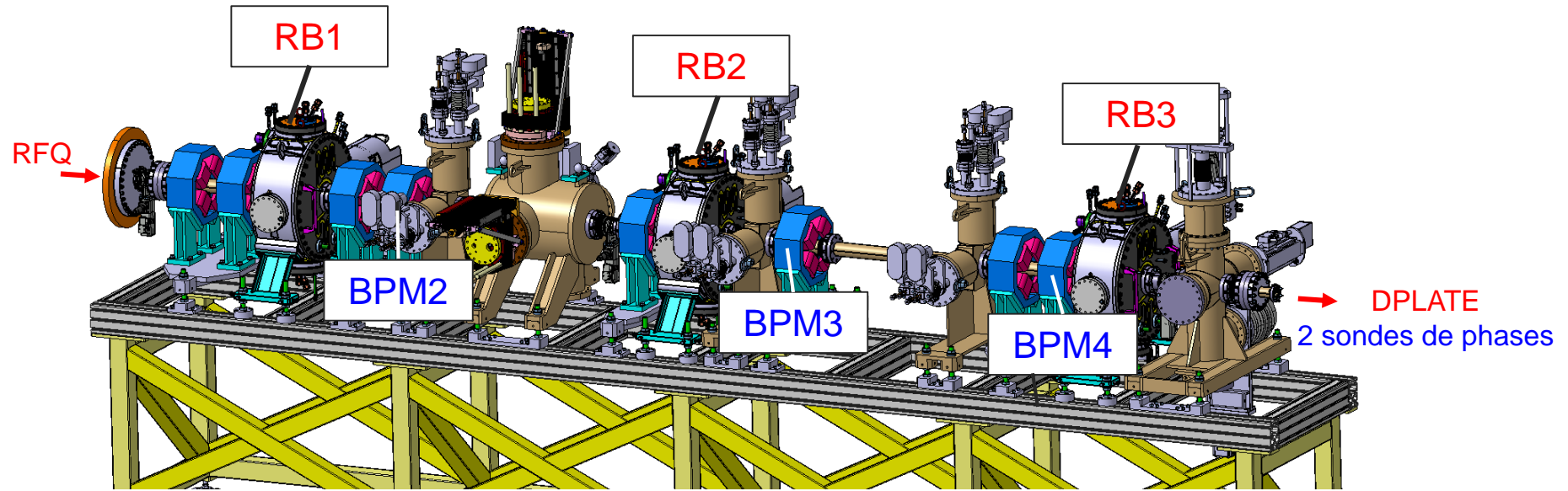
Mesure de transmission RFQ/MEBT



■ Transmissions > 90% entre la LEBT et la MEBT en proton et en deuton



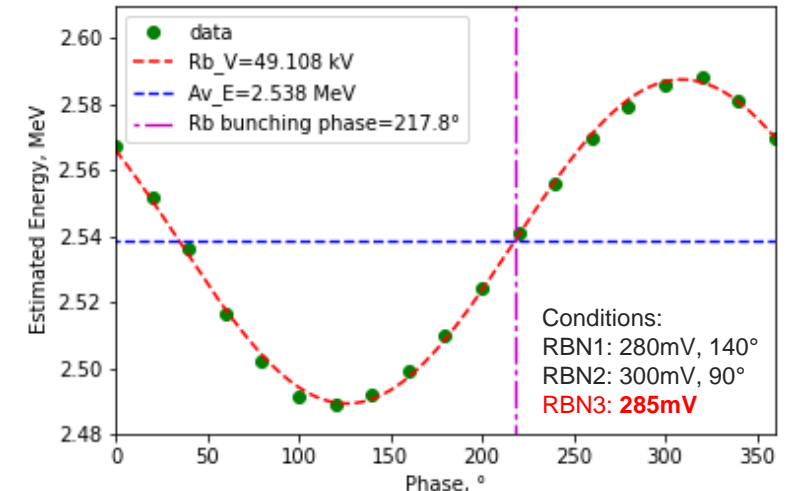
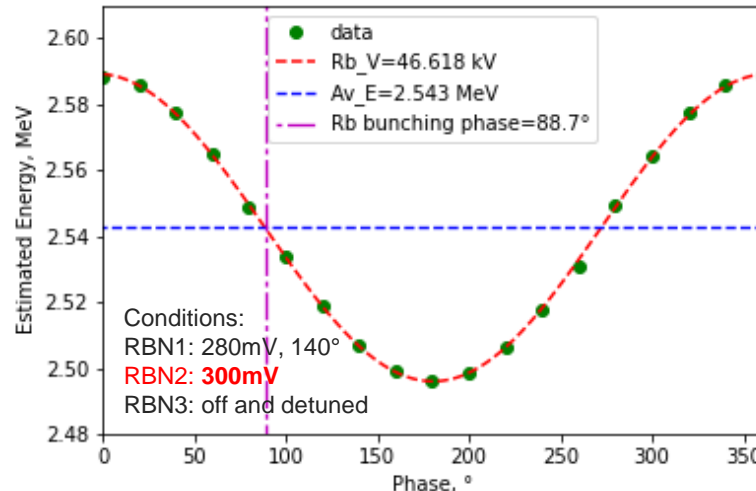
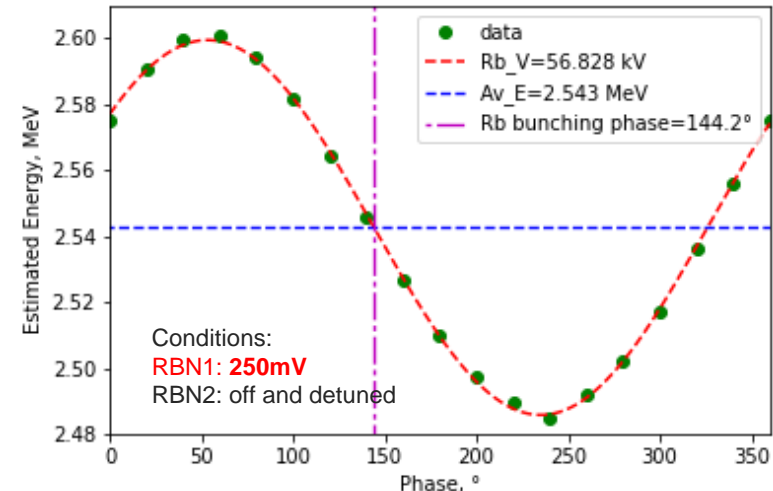
Calibration des regroupeurs (deutons)



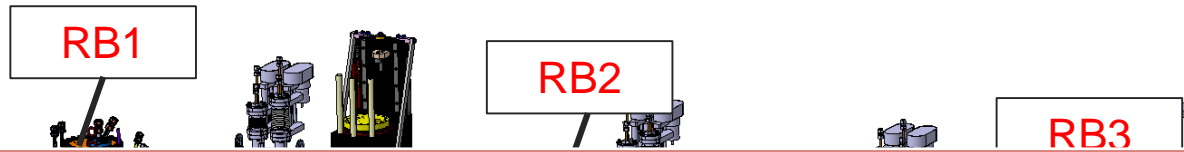
Phasing RBN1

Phasing RBN2

Phasing RBN3



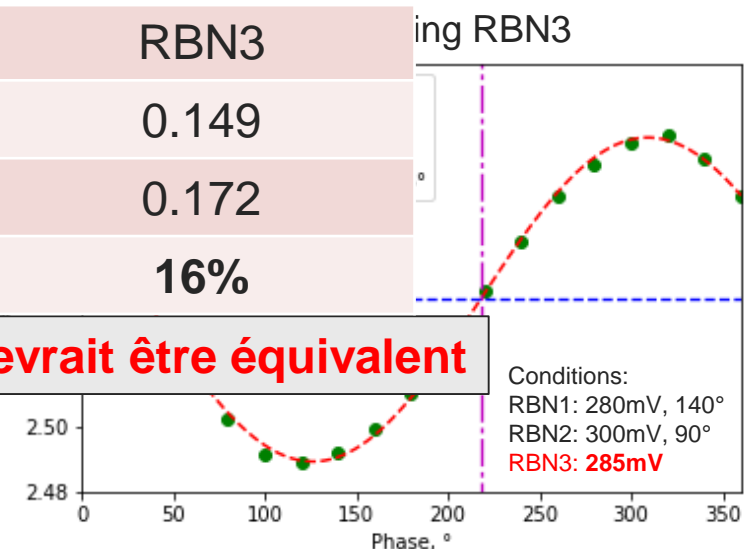
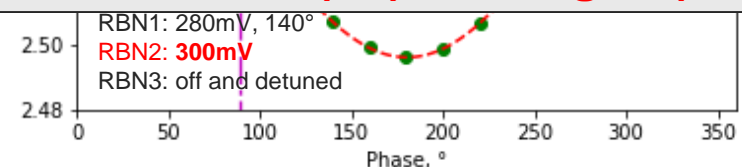
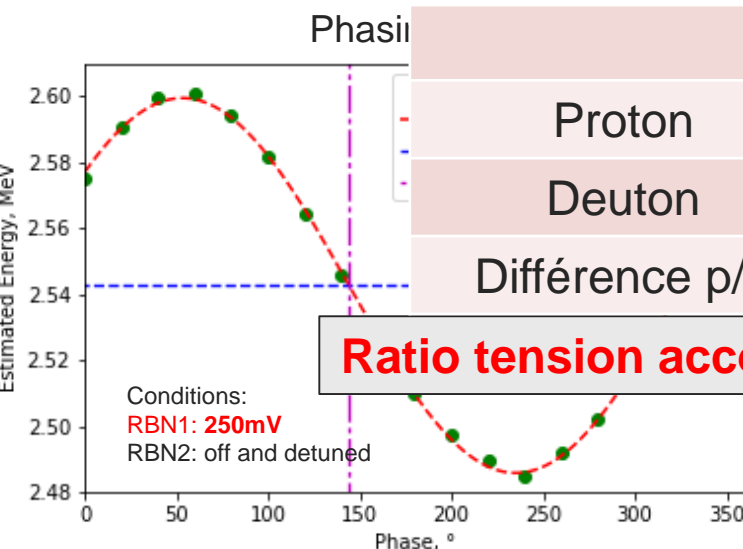
Calibration des regroupeurs (deutons)



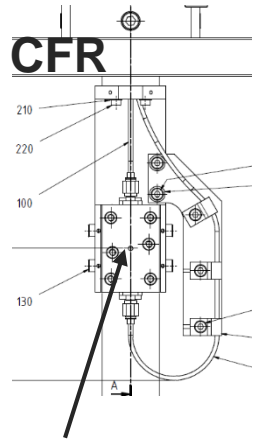
Comparaison entre proton et deuton des phases de groupement			
	RBN1	RBN2	RBN3
Proton	148°	82°	193°
Deuton	144°	89°	217°

Différence entre proton et deuton des ratios tension (kV) / consigne (mV)			
	RBN1	RBN2	RBN3
Proton	0.228	0.149	0.149
Deuton	0.227	0.155	0.172
Différence p/d	0%	4%	16%

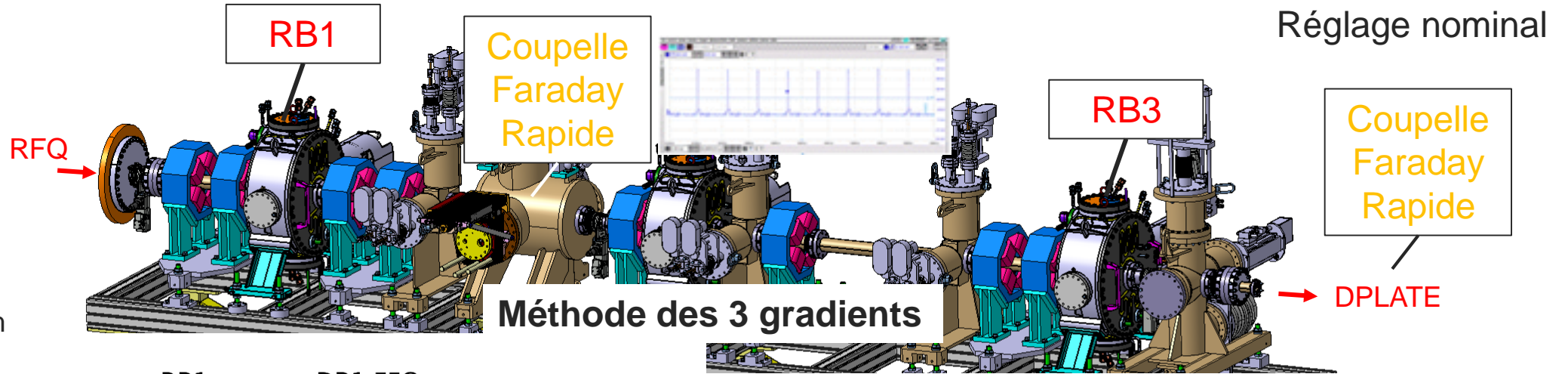
Ratio tension accélératrice effective (kV) / consigne (mV) devrait être équivalent



Caractérisation longitudinale

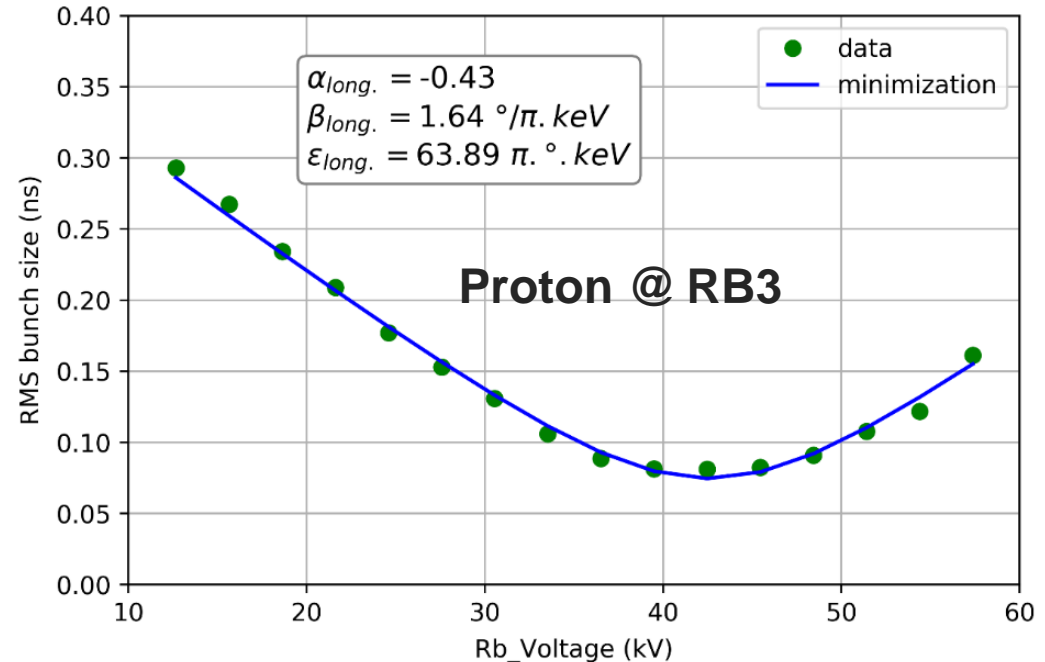
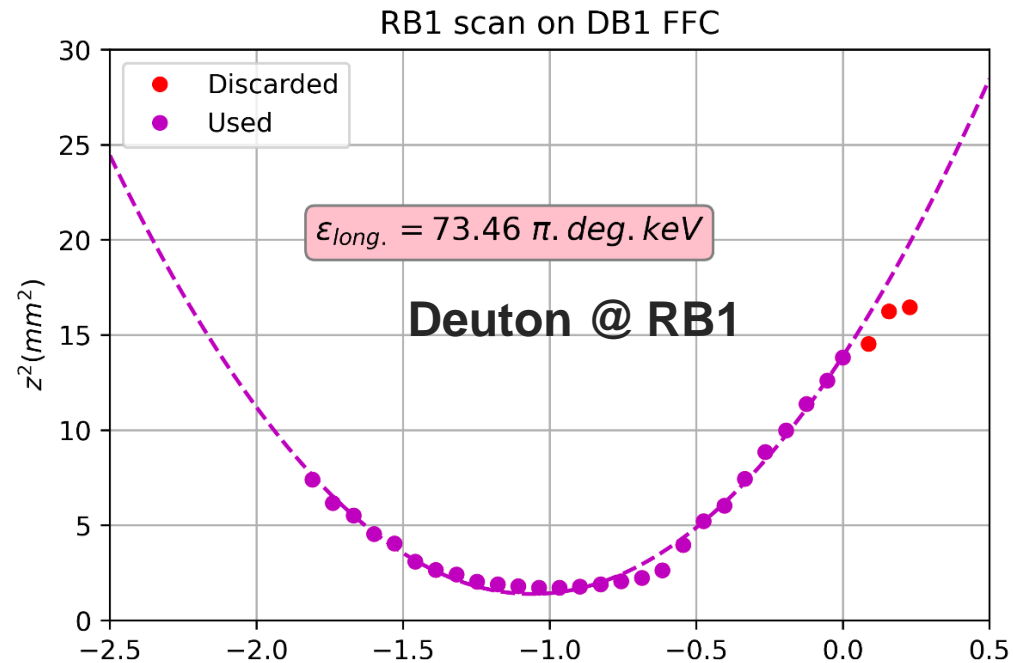


Ouverture ~ 1 mm



Réglage nominal

Méthode des 3 gradients

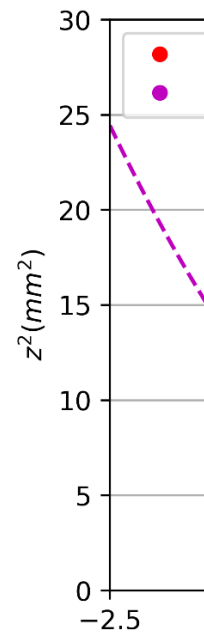


Caractérisation longitudinale

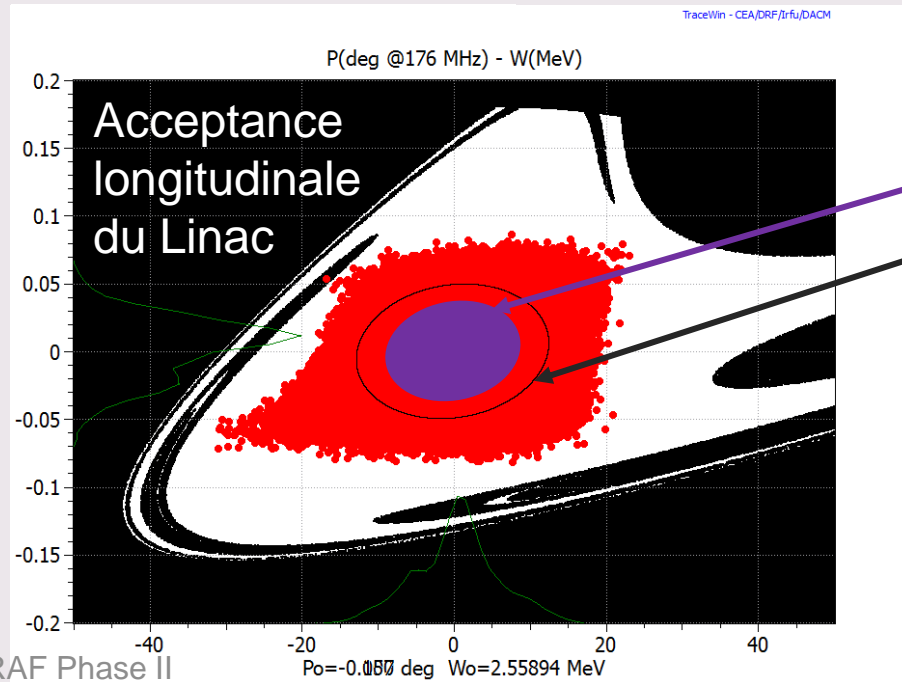
■ Différence entre DB1 et DB2

ϕ -W ($\pi^\circ \cdot \text{keV}$)	RG1	RG3	Simulations RFQ
Protons	46	64	60
Deutons	73	56	120

■ Dans le pire cas en deuton, l'emittance du faisceau mesurée est 2x moins grande que celle considérée pour les simulations dans le LINAC ☺



Deuton



Mesurée

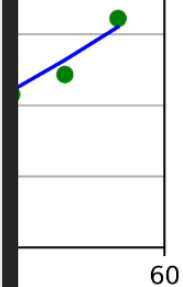
Simulée

ge nominal

Goupelle
Faraday
Rapide

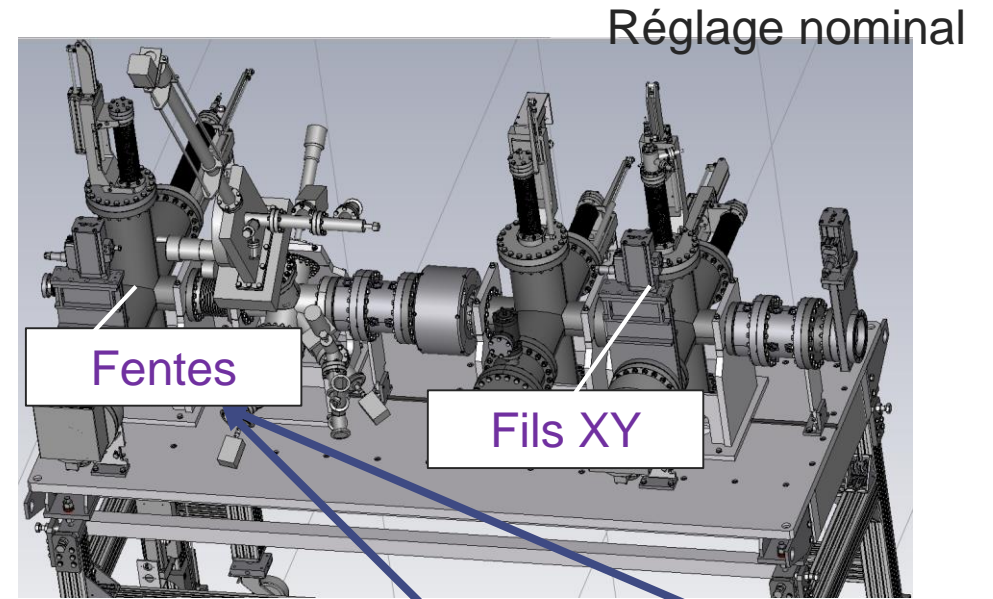
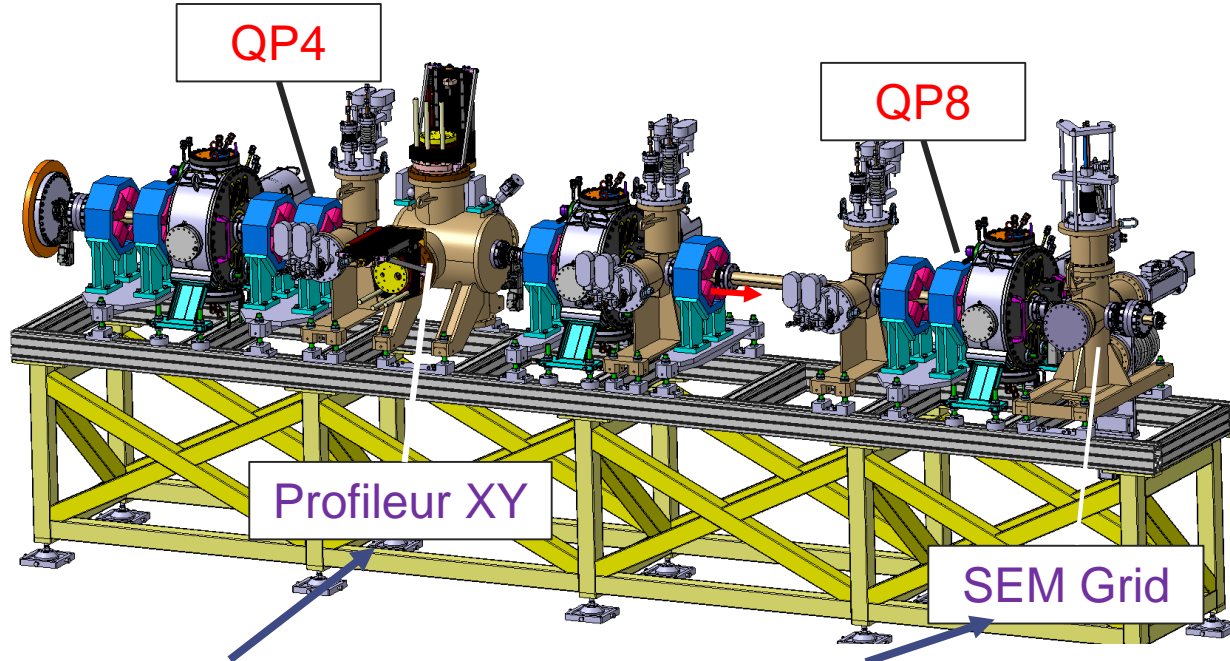
LATE

ca
nimization

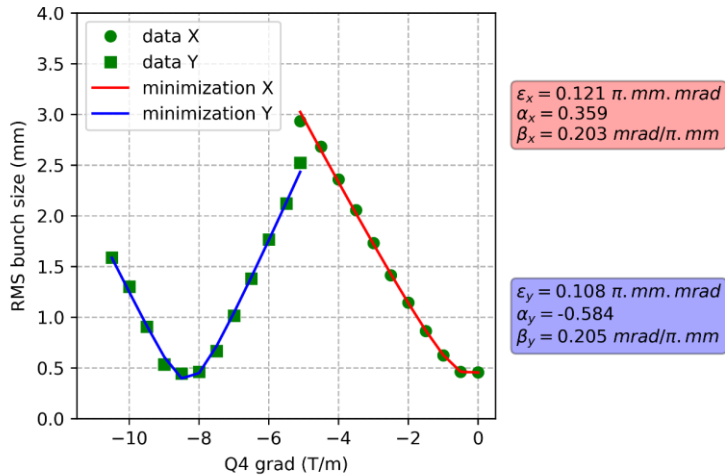


SARAF

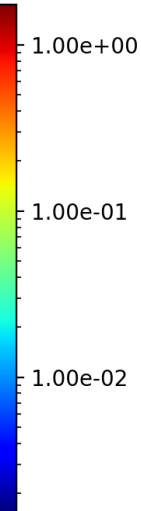
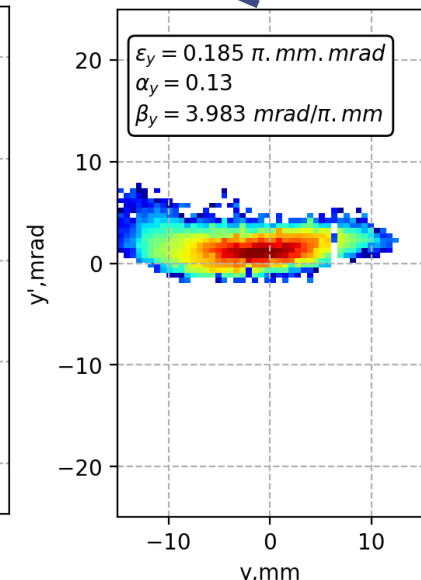
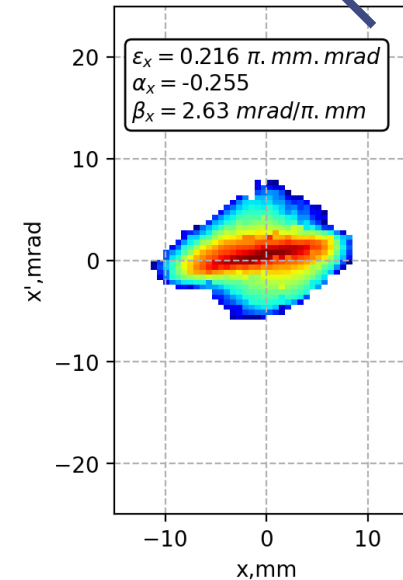
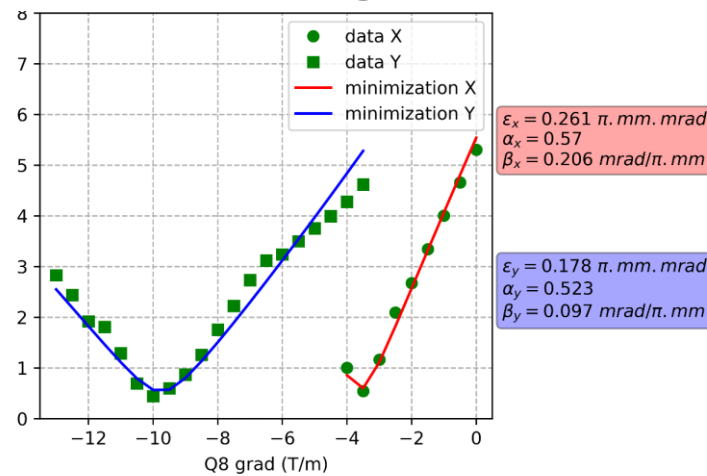
Caractérisation transverse (deutons)



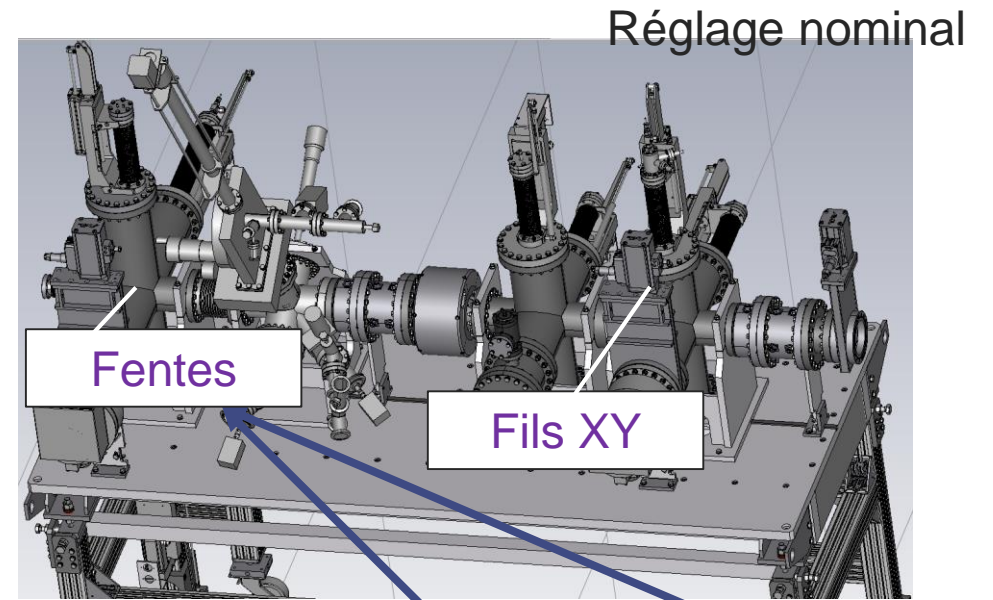
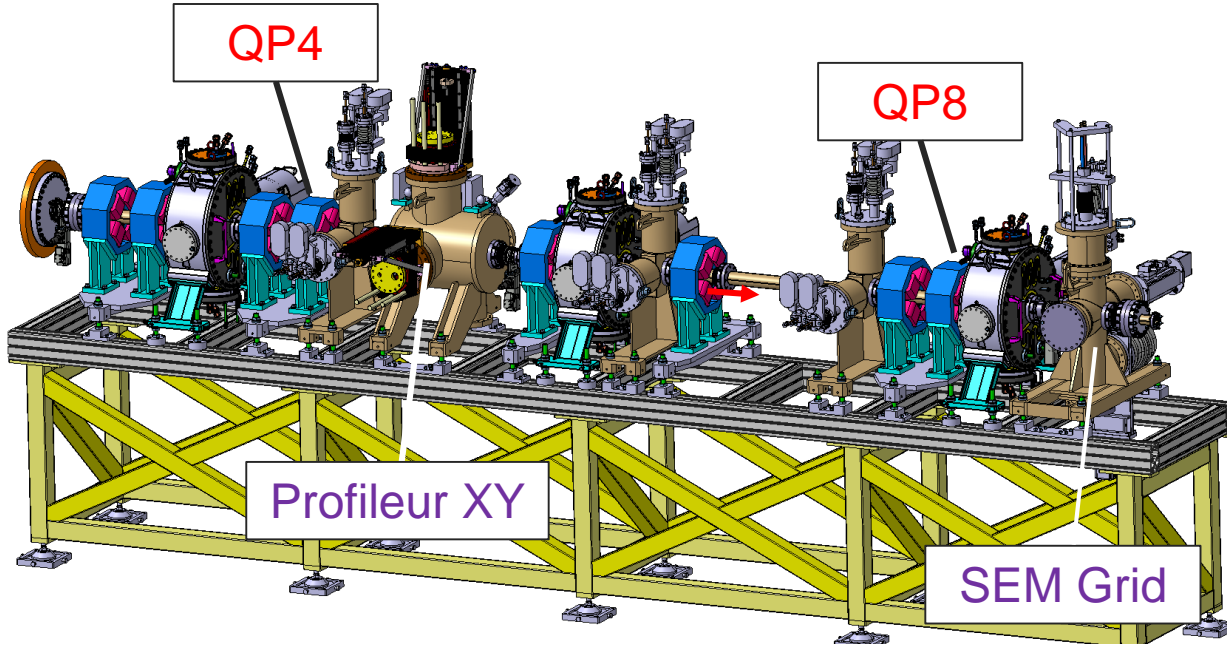
Méthode des 3 gradients



Méthode des 3 gradients

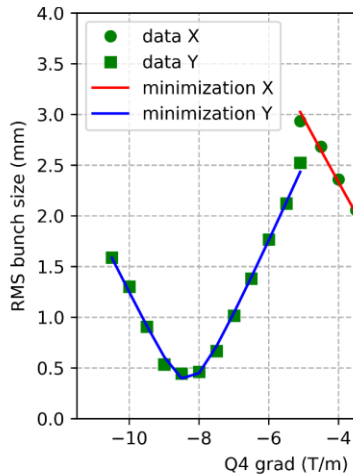


Caractérisation transverse (deutons)



Méthode des 3 gradients

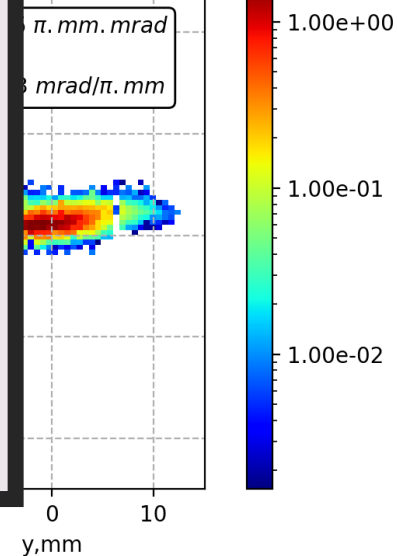
Méthode des 3 gradients



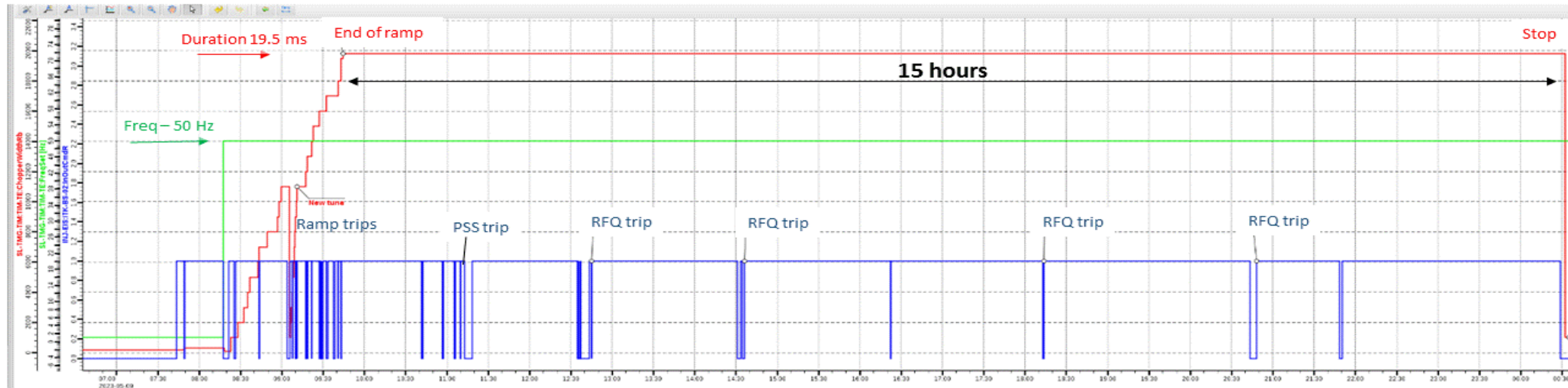
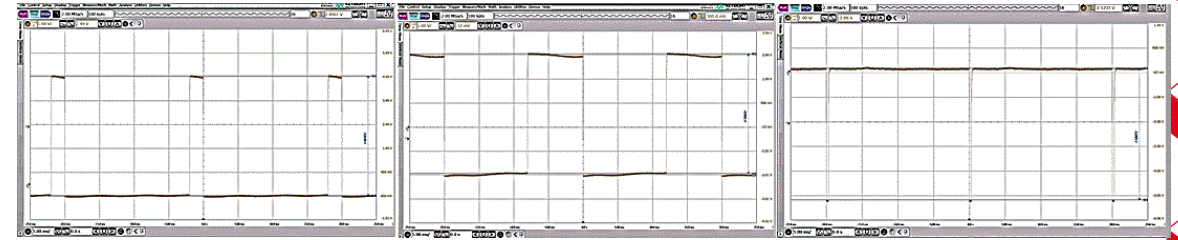
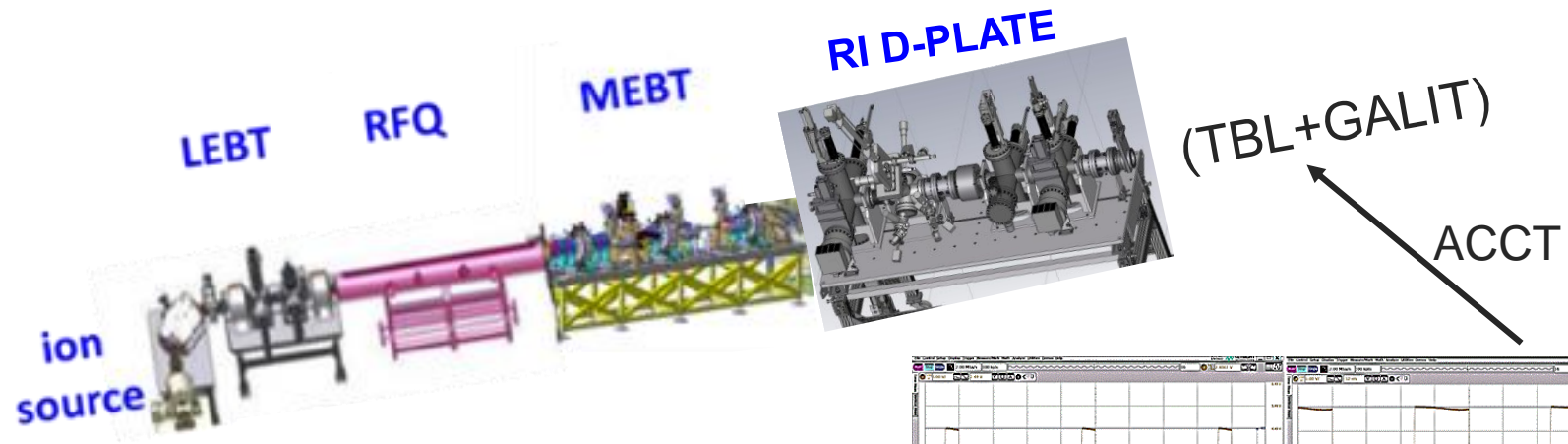
Différences entre les mesures :

Résultats (π mm·mrad)

	3 Gradients QP4		3 Gradients QP8		Dplate	
	X-X'	Y-Y'	X-X'	Y-Y'	X-X'	Y-Y'
Protons	0.20	0.15	0.45	0.41	0.20	0.21
Deutons	0.12	0.11	0.26	0.18	0.24	0.18

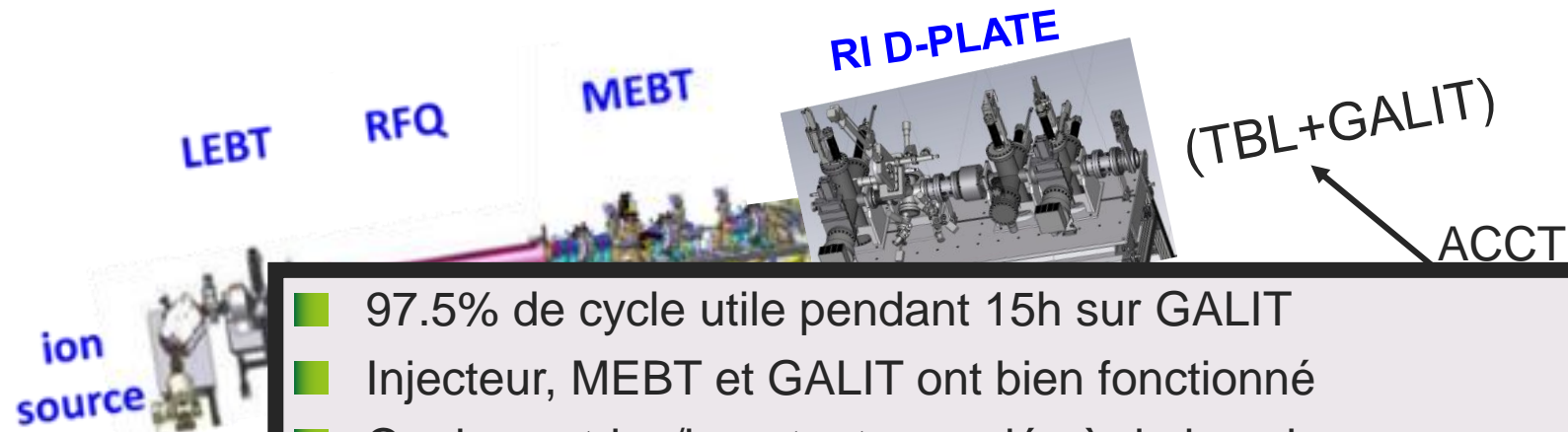


Montée en puissance (protons)

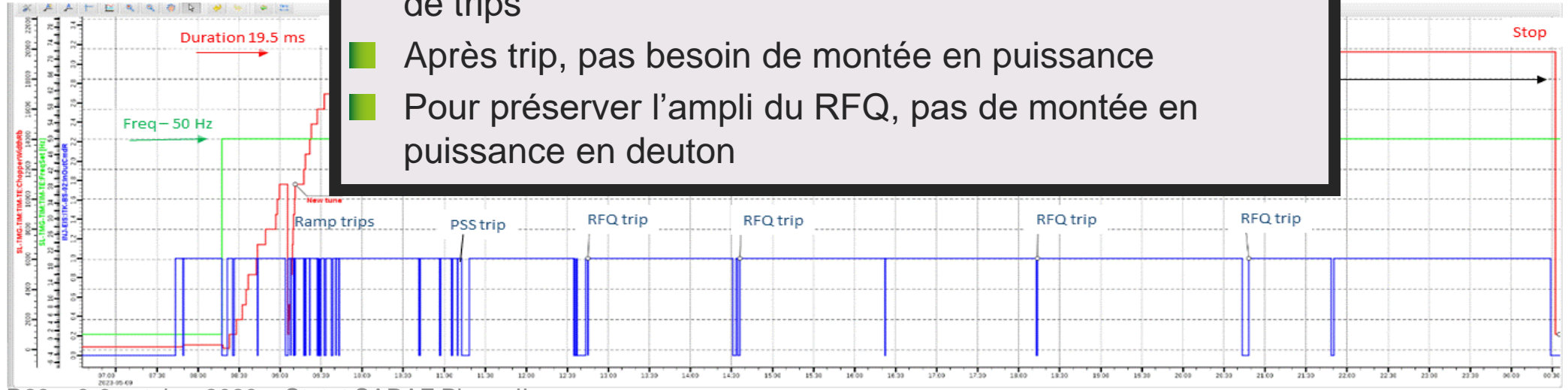
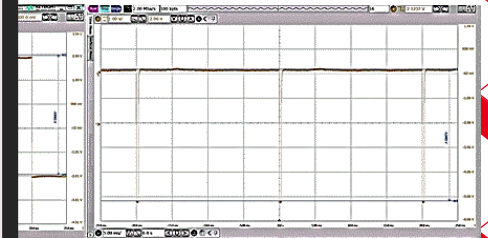


JAR23 - 3-6 octobre 2023 - Statut SARAF Phase II

Montée en puissance (protons)

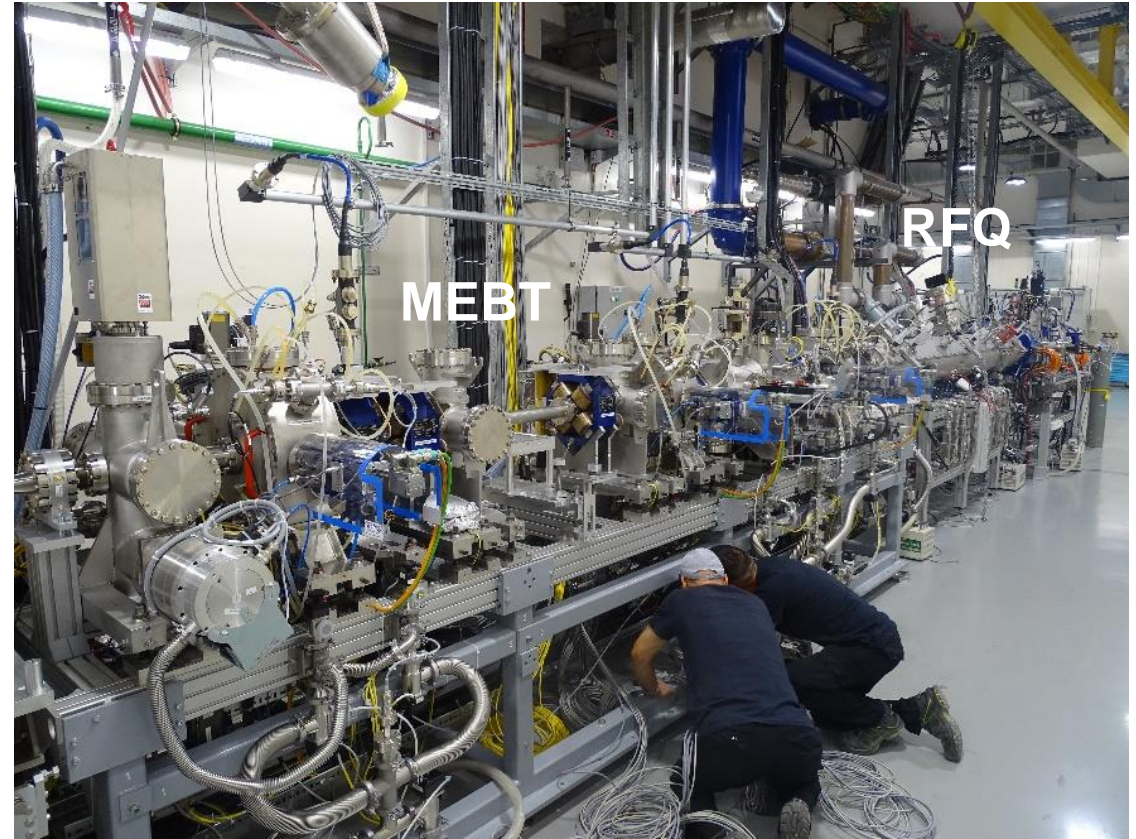
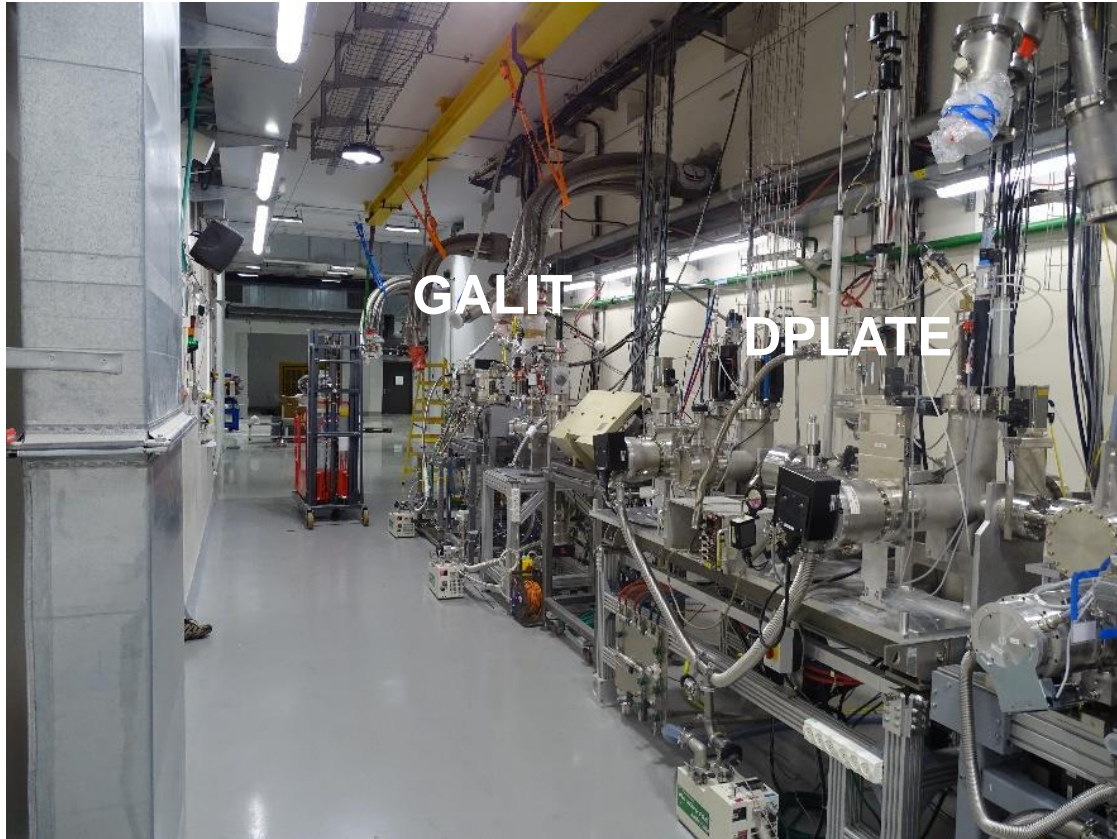


- 97.5% de cycle utile pendant 15h sur GALIT
- Injecteur, MEBT et GALIT ont bien fonctionné
- Quelques trips/h surtout associés à de la puissance réfléchie dans le RFQ
- Après un peu de conditionnement, on a observé moins de trips
- Après trip, pas besoin de montée en puissance
- Pour préserver l'ampli du RFQ, pas de montée en puissance en deuton



Préparation installation SCL

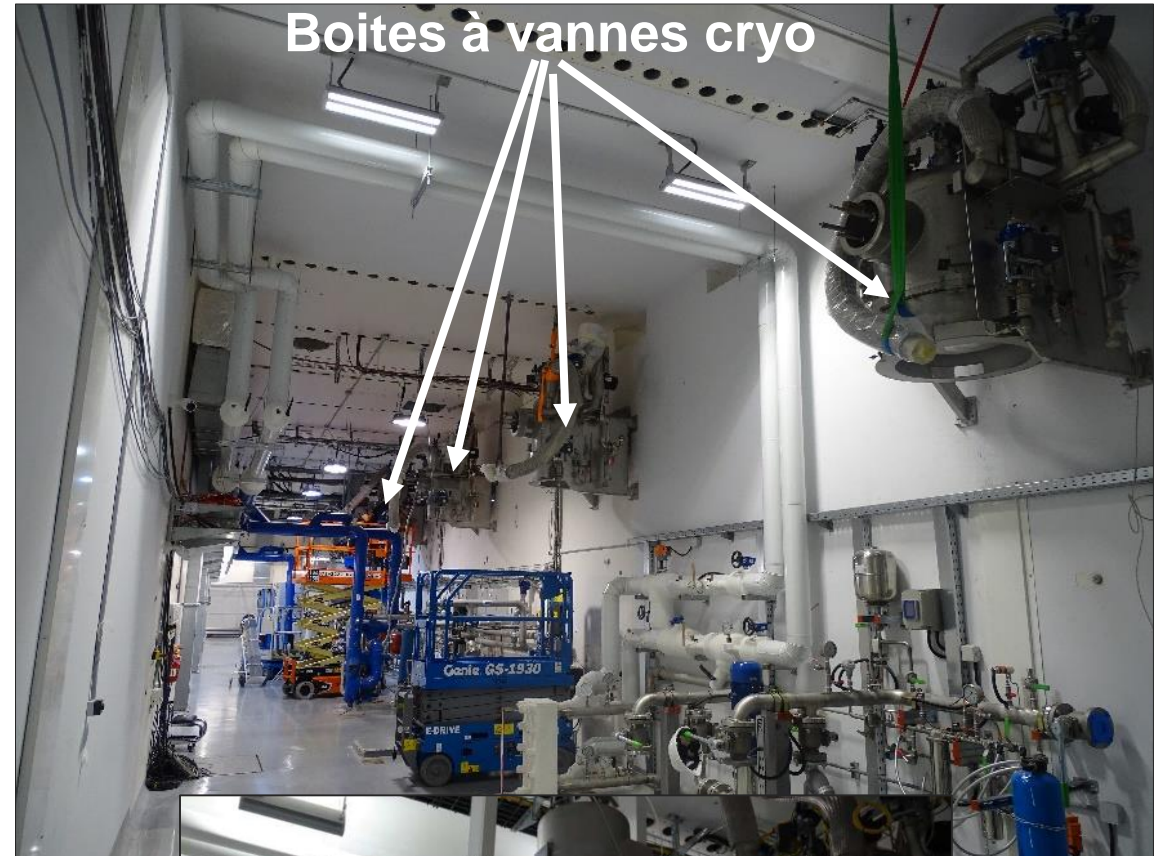
La Dplate et la TBL avec GALIT sont maintenant démontées pour laisser la place à CM1 qui est à SNRC



Préparation installation SCL

Boites à vannes:

- Test de contrôle des valves OK
- Test en pression OK
- Test avec la cryo à faire



Circuit cryo ALAT

Préparation installation SCL

Livraison de CM1 à SARAF

- **Alignement (mesure et analyse)**
- Assemblage des boucliers thermiques et magnétiques
- Intégration dans le cryomodule
- Transport vers position finale
- Alignement
- Installation de la section chaude avec diags
- integration de la cryo et du control commande
- commissioning du cryomodule
- commissioning avec faisceau





irfu



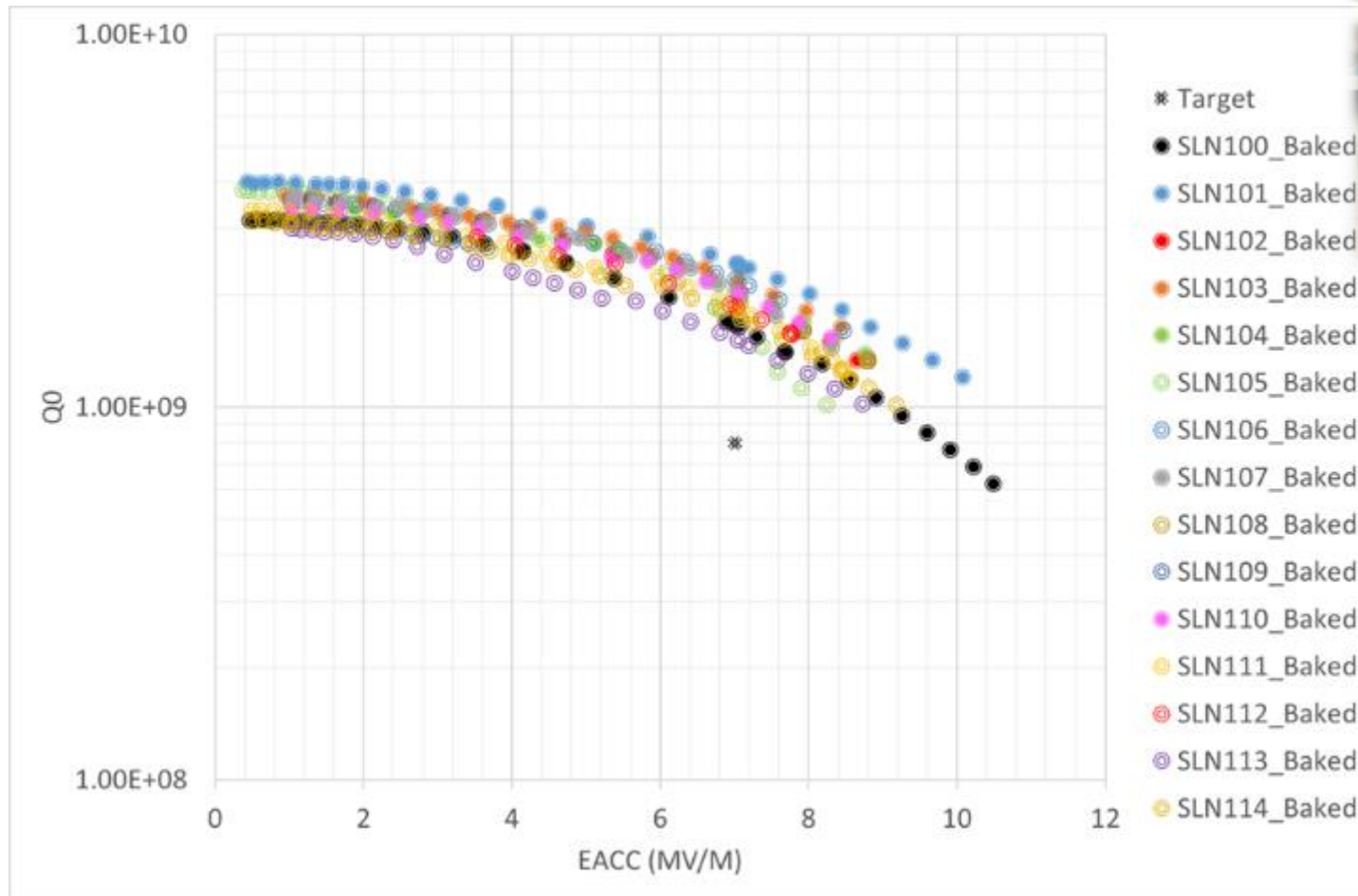
Tests RF du premier cryomodule

Guillaume Ferrand



Fin 2021 – Tests des cavités bas beta.

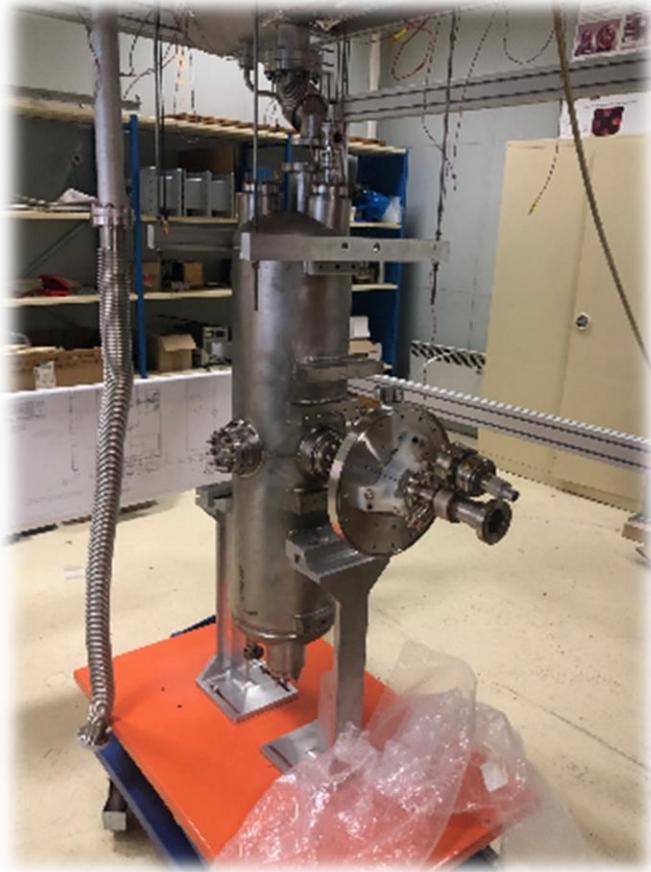
Tout a été testé, et toutes les cavités bas beta sont qualifiées.



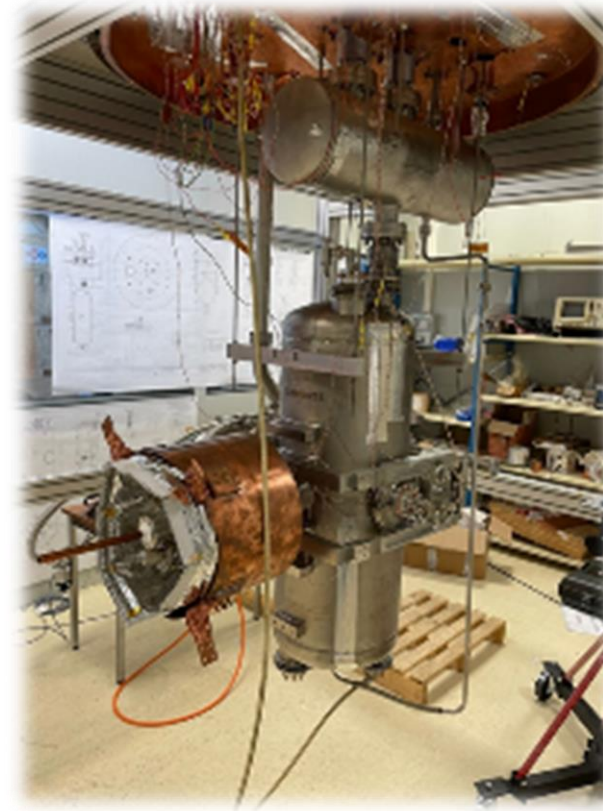
6 cavités bas-beta dans premier cryomodule.

Courant 2021 – Test des cavités avec un cryomodule de test. (Equipped Cavity Test Stand)

Cavité bas beta avec son coupleur.

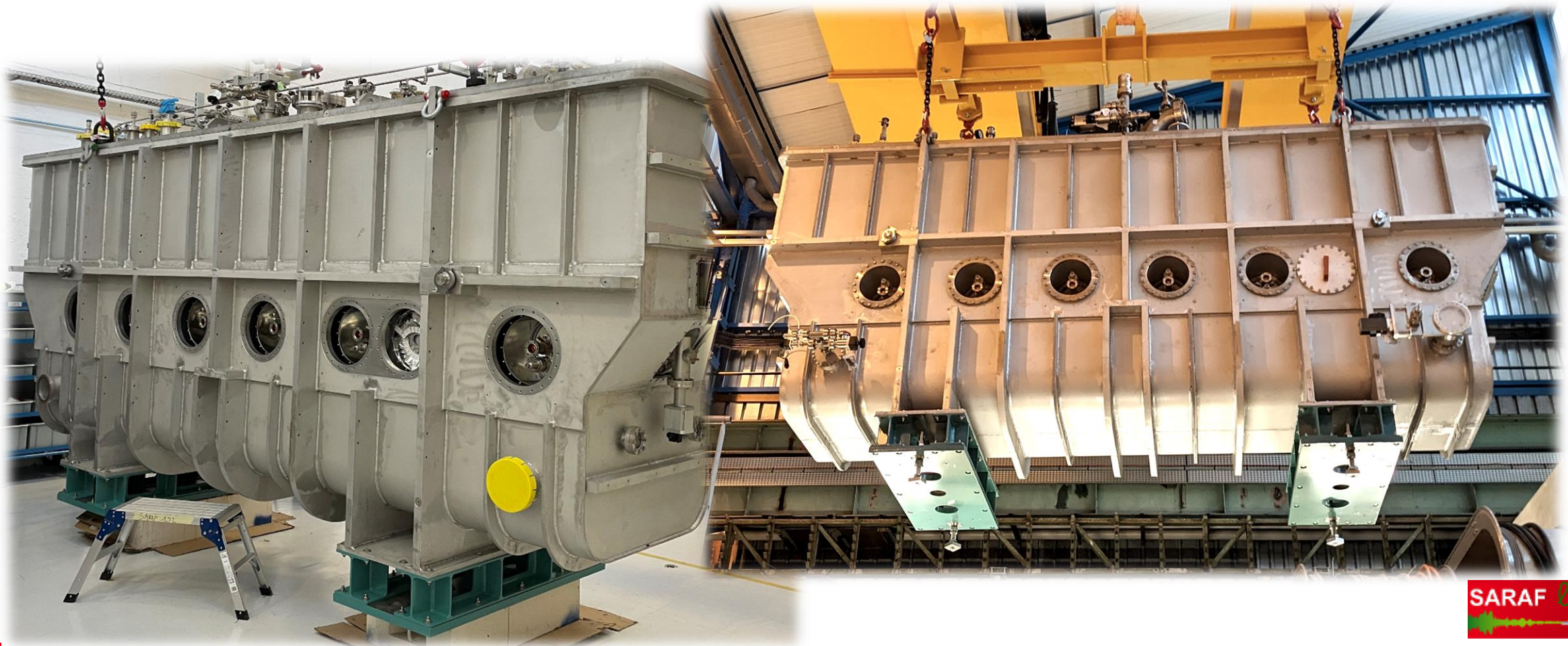


Cavité haut beta avec coupleur et tuner.



Fin 2022 – Assemblage du premier cryomodule

Assemblage de la ligne faisceau du premier cryomodule, second semestre 2022.



Janvier 2023 – Conditionnement des coupleurs.

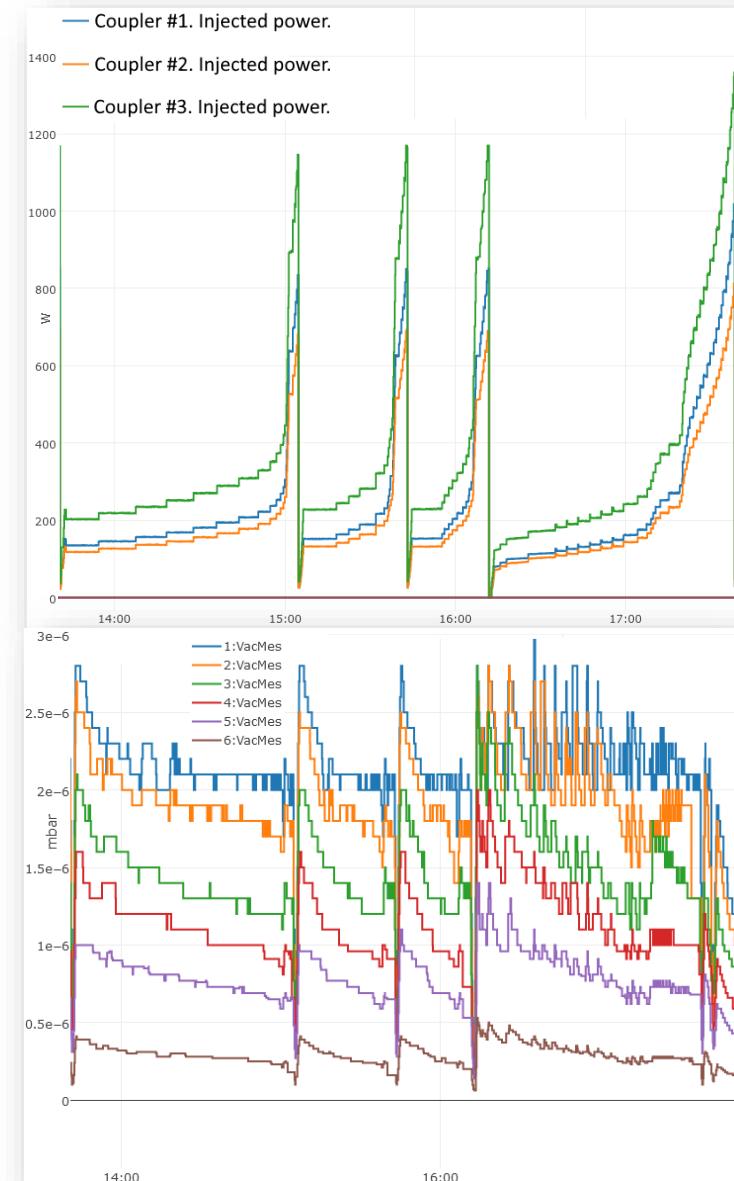
Conditionnement des 6 coupleurs, à température ambiante.

Aucun claquage n'a été observé pendant le conditionnement, qui a duré 6 jours. La pression dans le coupleur n'a jamais dépassé 10^{-5} mbar.

Les coupleurs ont été conditionnés par groupes de 3.

Le pompage est fait au niveau de la ligne faisceau, du côté de la cavité 6. Par conséquence, le conditionnement est plus lent sur les cavités 1 à 3.

A droite, conditionnement des coupleurs 1 à 3, pour des pulses de 100 à 800 ms, à la fréquence de 1 Hz.



Février 2023 – Mise en froid. Premiers tests.



La fourchette acceptable sur Q_{ext} : $[7.4, 16.7] \cdot 10^5$.

Q_{ext} mesuré à partir d'un VNA, puis du temps de décroissance dans la cavité. Mesure VNA en principe plus précise, après calibration.

Tout est bon.

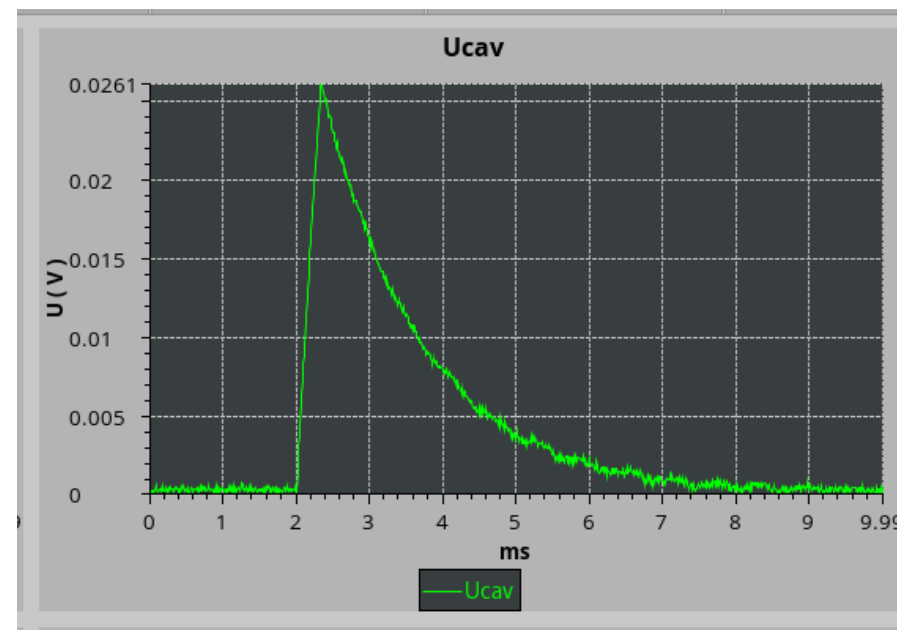
Cav #	1	2	3	4	5	6
$Q_{ext} \times 10^5$	According to VNA					
	14.9	13.6	13.0	13.8	15.5	15.3
$Q_{ext} \times 10^5$	According to decay time					
	12.0	11.2	10.8	14.0	17.1	14.4

A droite : mesure de décroissance du signal.

Mesure de la fréquence des cavités à froid. Tuner range : 0 à 180 kHz. Avant réglage :

Cavity	1	2	3	4	5	6
Shift kHz	68	56	31	47	108	64

Après réglage : 176 MHz +/- 10 Hz. Bande passante ~100 Hz pour toutes les cavités.

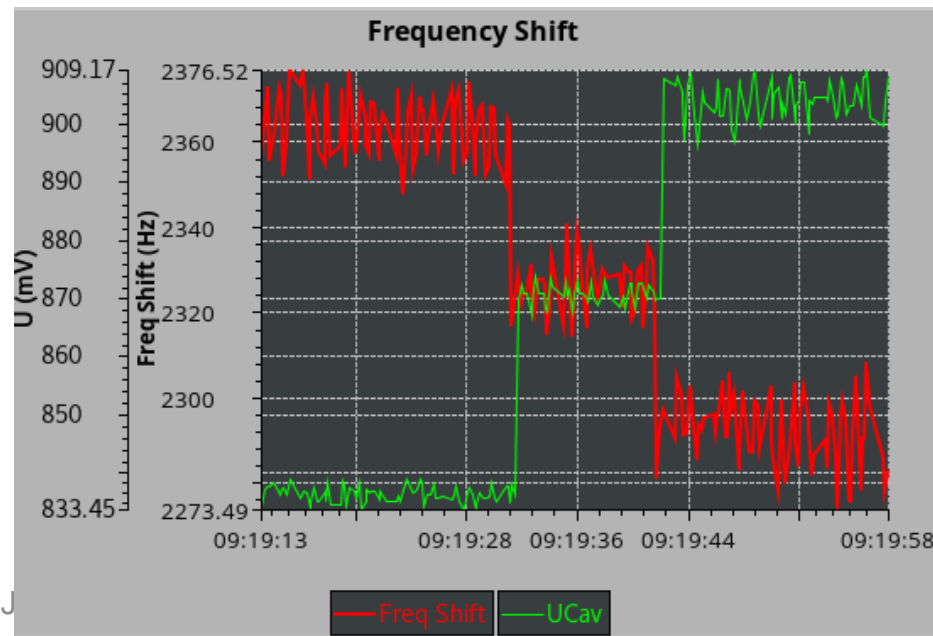


Mars 2023 – Montée en champ progressive.

Mesure de la sensibilité à la pression du bain d'hélium. Objectif : < 5 Hz/mbar.

Cavity	1	2	3	4	5	6
Hz/mbar	1.4	-0.5	1.7	0.6	1.7	2.9

Cavités très stables, peut-être pas besoin d'accord en fréquence en opération.



Mesure du detuning de Lorentz. Les cavités fonctionneront à un champ nominal de 1.0 MV.

Cavity	1	2	3	4	5	6
Hz/MV ²	277	265	230	208	332	183

On voit une certaine variabilité entre deux cavités, de 208 à 332 Hz/MV².

A gauche : exemple de mesure de sensibilité au bain d'hélium et aux forces de Lorentz en PLL.

Mars 2023 – Consommation cryogénique

Toutes les cavités ont été testés jusqu'à 1.09 MV (nominal + 10%).

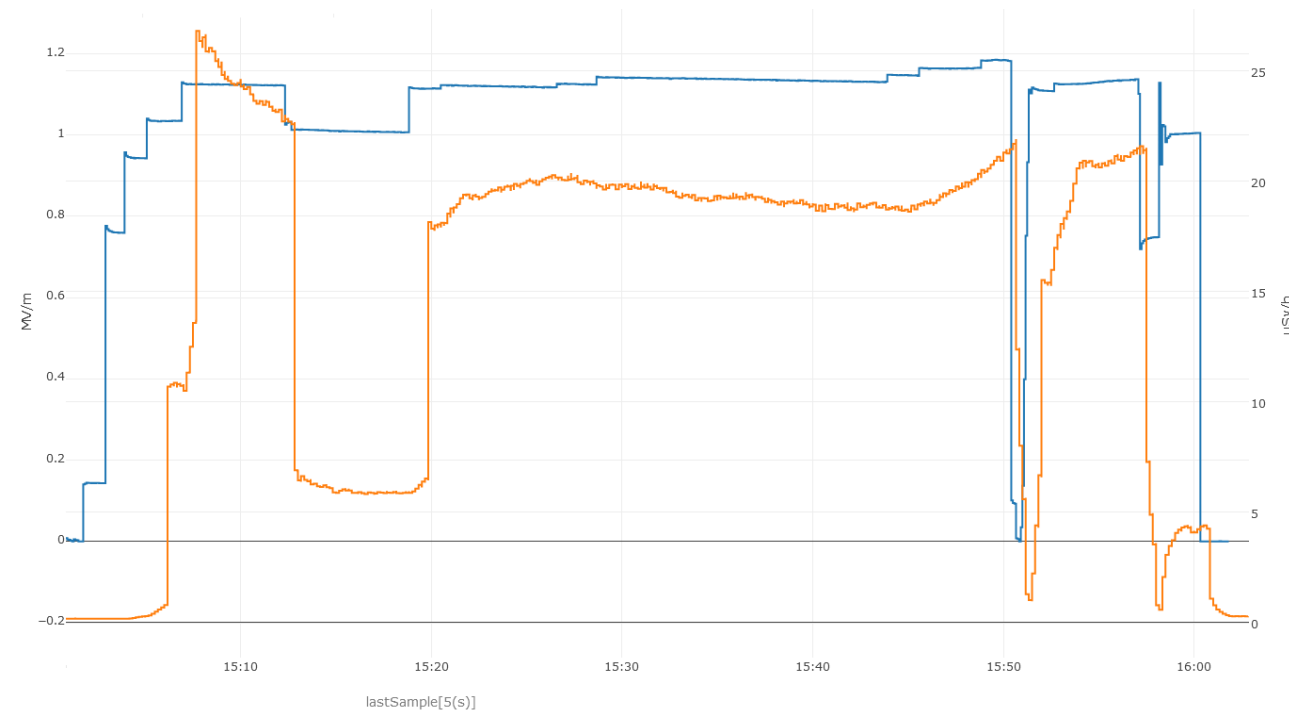
Toutes les cavités ont atteint le champ au premier essai, sauf cavité 6, qui a quenché plusieurs fois avant de l'atteindre.

Forte activité dans cavité 6. Conditionnements 1h40 à 1.05 MV, puis 1h30 à 1.1 MV pour réduire l'émission.

Tests de conditionnement à droite. En bleu : champ accélérateur dans la cavité. En orange, niveau de Rx.

La puissance cryo mesurée pour toutes les cavités était de 5 W +/- 2 W. L'objectif étant < 10 W.

Sauf cavité 6 : 20 W de conso environ avant conditionnement. 7 W +/- 3 W après conditionnement → OK.



Mars 2023 – Stabilité du champ.

Divers tests ont été effectués avec le système LLRF et les systèmes d'accord.

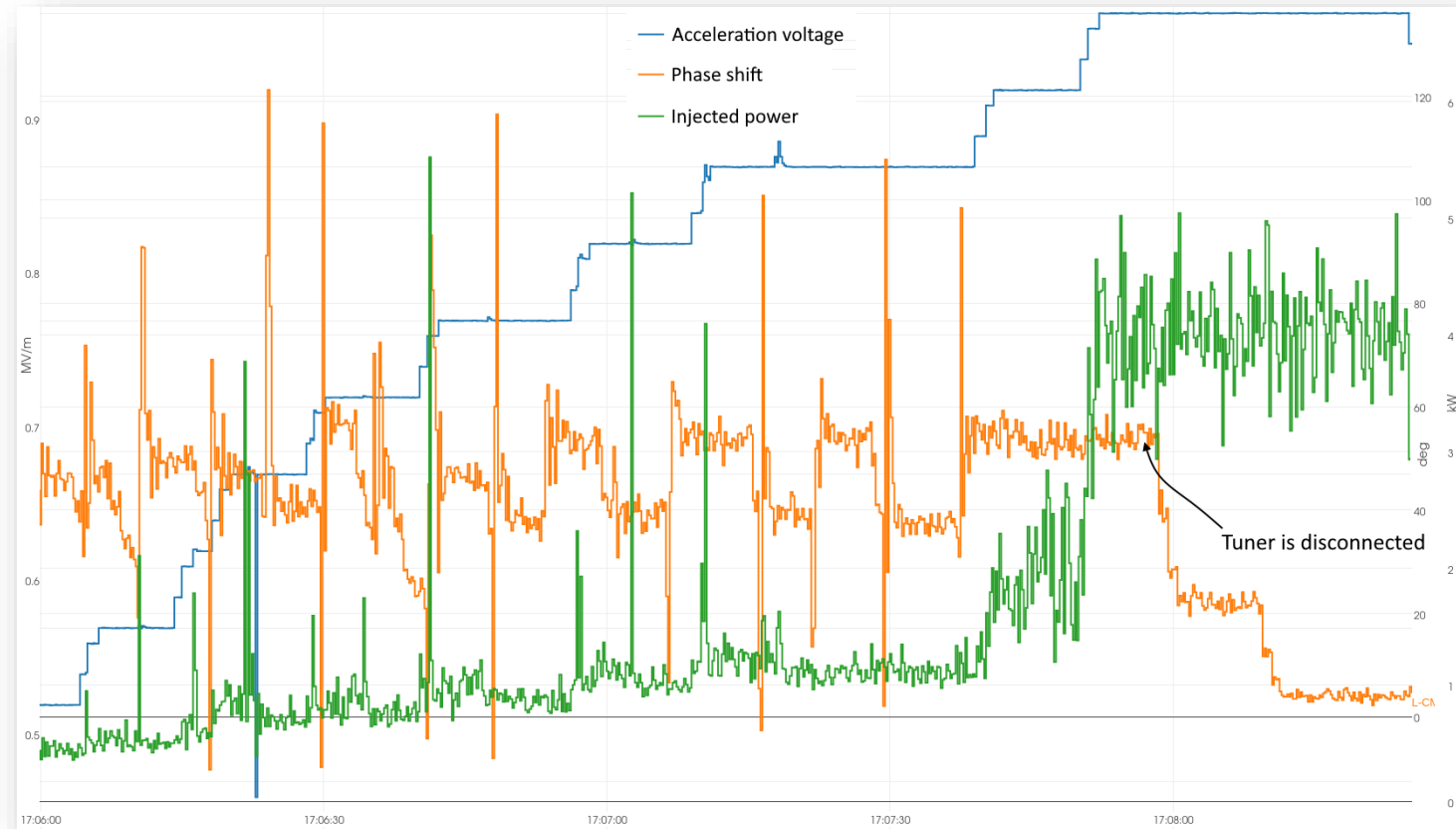
Bugs sur la PLL qui a empêché de la tester à la fréquence de fonctionnement.

Tests effectués : montée en champ sans PLL, et correction progressive avec le système d'accord.

Problème : beaucoup de vibrations dues au système d'accord. → Fortes instabilités.

Toutefois, toutes les cavités ont pu monter au champ avec réglage temps réel par le système d'accord. Sauf cavité 5 qui nécessitait de déconnecter le système d'accord autour du champ nominal.

Prochains tests : réduire vibration des tuners + retester la PLL.



Mars 2023 – Conclusion des tests

Malgré quelques soucis avec le LLRF et les systems d'accord en fréquence, toutes les exigences ont été vérifiées.

Seule une cavité a nécessité du conditionnement pour atteindre le besoin (en terme de conso cryogénique). Toutes les autres sont aux specifications.

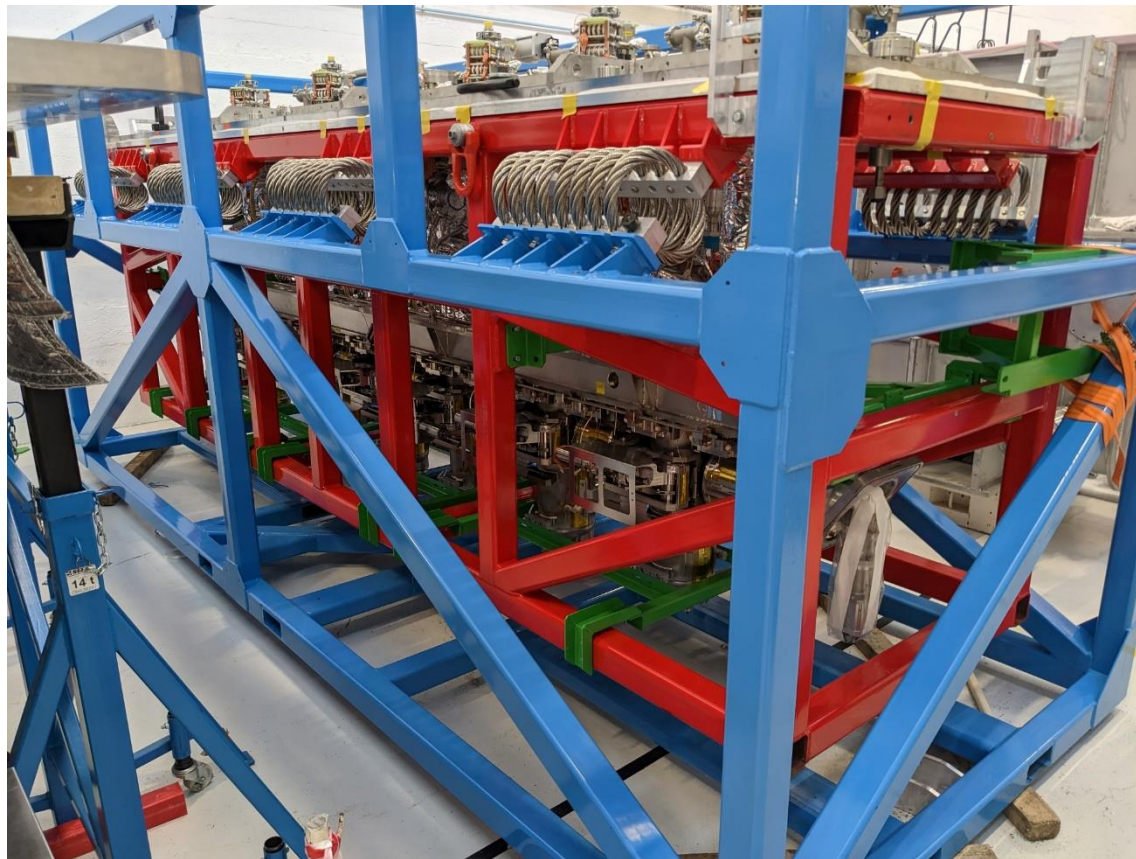
Le facteur de qualité des coupleurs, ainsi que le réglage en fréquence ont été qualifiés.

Prochaine étape : test du CM2. Test des paramètres des contrôleurs des systèmes de réglage (afin de réduire les vibrations), test de la PLL, en principe débuggée.

Avril – Juin 2023 – Démontage et transport.

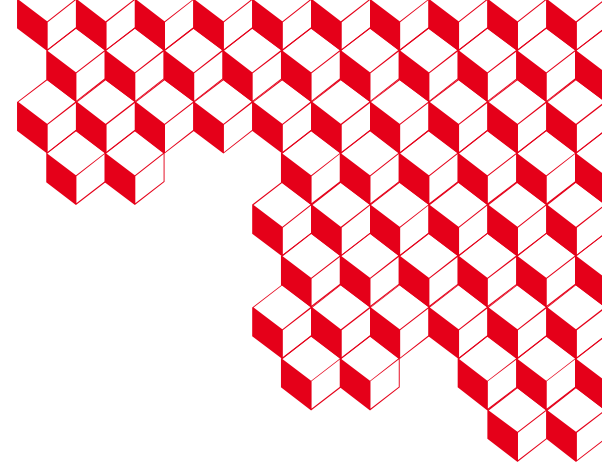
Ci-dessous, cryomodule dans son module de transport.

A droite, envoi du cryomodule par camion (puis avion, puis camion).





irfu



Merci pour votre attention

Des questions?

Jonathan Dumas
IRFU/DACM/LEDA
Guillaume Ferrand
IRFU/DACM/LISAH