

Première année d'exploitation de SPIRAL2

Angie Orduz
Physicien des Accélérateurs
Groupe de Physique des Accélérateurs - GANIL

Remerciements à : Marco Di Giacomo, Jean-Michel Lagniel , Didier Uriot, Guillaume Normand,
Pierre-Emmanuel Bernaudin, Christophe Jamet, Alain Savalle



- Introduction
- Première année d'exploitation
- Perspectives
- Conclusions



GANIL (CEA-CNRS):
un laboratoire multidisciplinaire
et multi-utilisateurs

Collaboration avec les laboratoires nationaux et
des partenaires internationaux

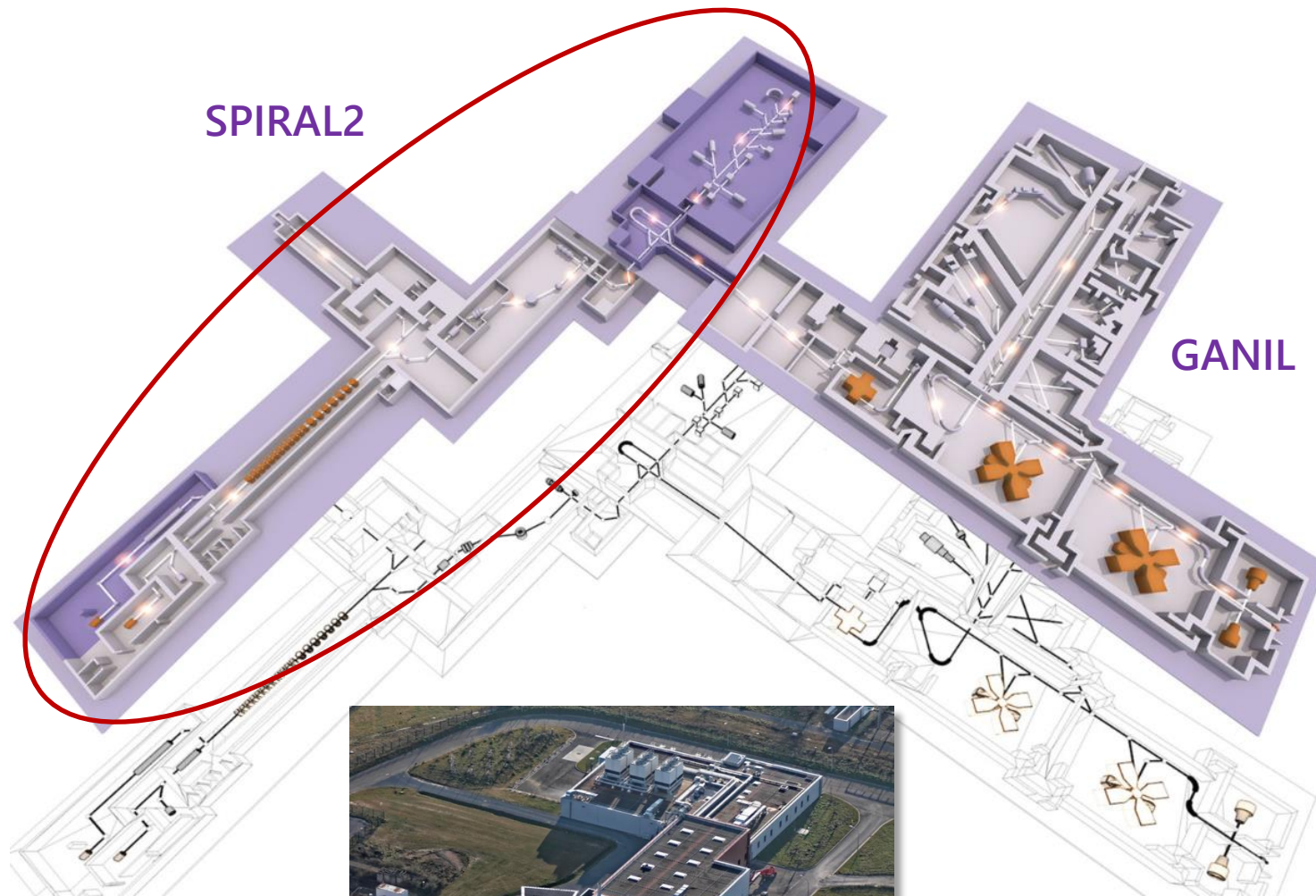


BARC (India), INFN (Italia)
IFIN-HH (Romania), IFJ-PAN (Poland)
SOREQ (Israel), INRNE-BAS (Bulgaria)

Particles	H ⁺	D ⁺	ions	NEWGAIN
A/Q	1	2	3	7
Max I (mA)	5	5	1	1
Max energy (MeV/A)	33	20	14	7
Max beam power (kW)	165	200	44	49

SPIRAL2

GANIL



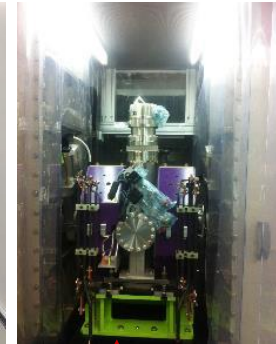
ECR A/Q \leq 3



Section bas β (0.07)



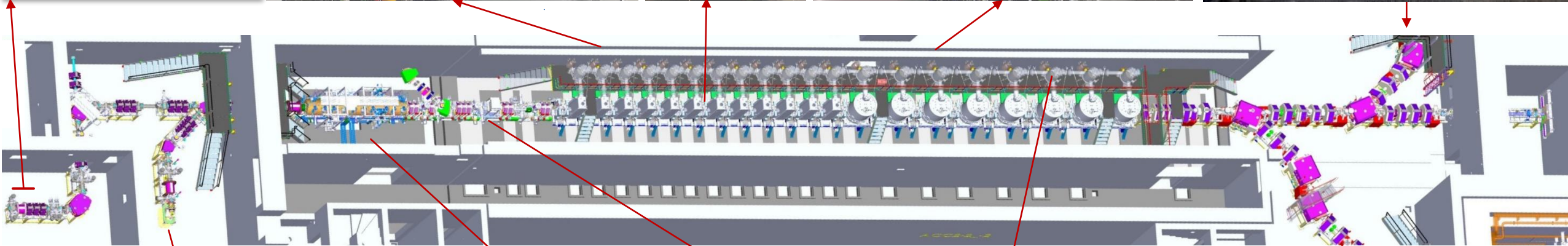
Section chaude



Section haut β (0.12)



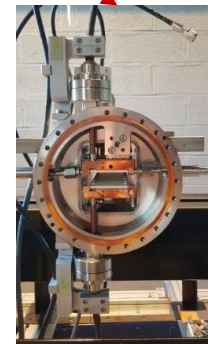
NFS (convertisseurs)



ECR H⁺/D⁺



RFQ



SdP

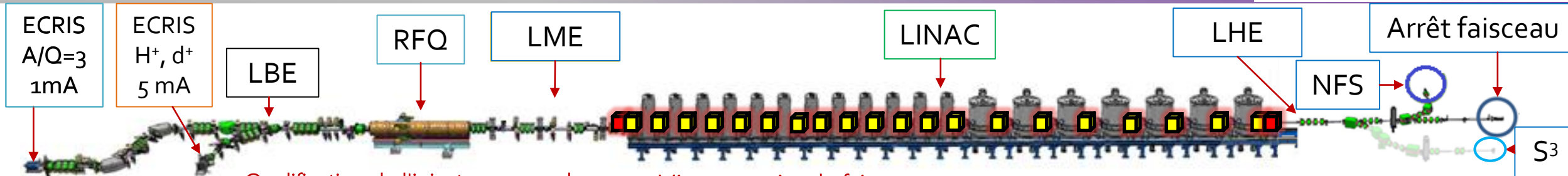


Système de distribution cryogénique



S³

Mise en service des faisceaux



Qualification des sources d'ions et de la LEPT (LPSC-Grenoble et CEA-Saclay)

Construction du bâtiment et des outils

Qualification de l'injecteur sur un banc de test intermédiaire (GANIL)

- Reproduire les résultats précédents
- Performances de la RFQ
- Plateforme de diagnostic
- Caractéristiques du faisceau à la sortie du RFQ
- 2014 1st faisceau H⁺ @2 mA H/D (Dec)
- 2015 1st Faisceau Ar⁹⁺ @ 230 μA source Phoenix (Jul) / 1st RFQ H⁺ (Dec)

2018 Fin de la mise en service avec le banc de test intermédiaire.
retiré en 2018

Mise en service du faisceau jusqu'à l'arrêt du faisceau
Autorisation d'exploitation de SPIRAL2, 8 juillet, 2019

1^{er} faisceau dans le linac, 28 oct
1^{er} faisceau dans NFS, 11 déc

Caractérisation et premières expériences dans la salle NFS

33MeV H⁺ (2019)
40 MeV ⁴He²⁺, D⁺ (2020)
50 μA D⁺ NFS (2021)

Première année de fonctionnement de SPIRAL2 dans la salle NFS

50% du temps pour la physique

Préparation pour la salle S³
7 MeV/A ¹⁸O⁶⁺, ¹⁸O⁷⁺, ⁴⁰Ar¹⁴⁺
0.73 MeV/A ¹⁸O⁶⁺, ¹⁸O⁷⁺, ⁴⁰Ar¹⁴⁺

Test cavité en panne

Fonctionnement SPIRAL2

65% pour la physique
14% pour des études machines

Préparation pour la salle S³
14.5 MeV/A ¹⁸O⁶⁺

Test cavité en panne
Etude variation pression SC

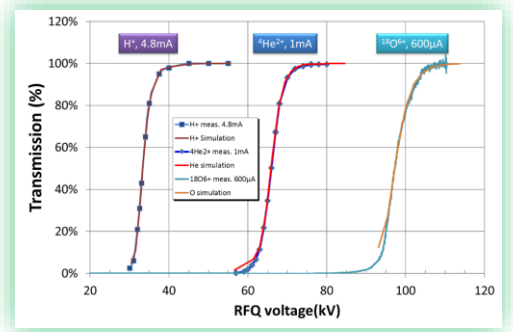
2009-2012

2014-2018

2019-2021

2022

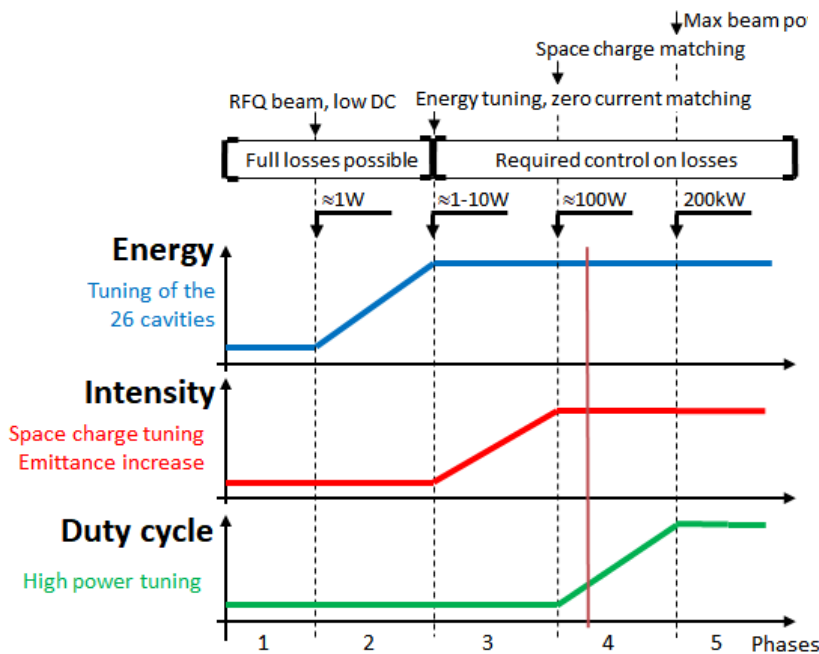
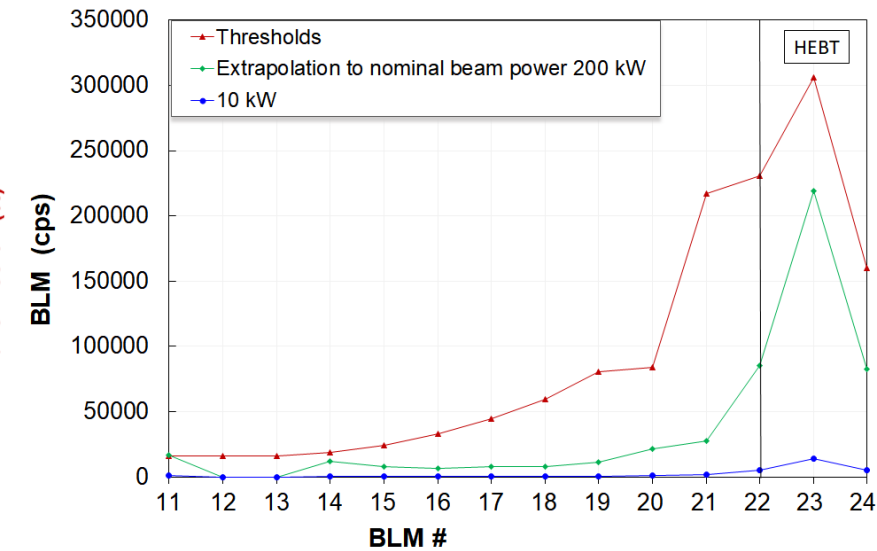
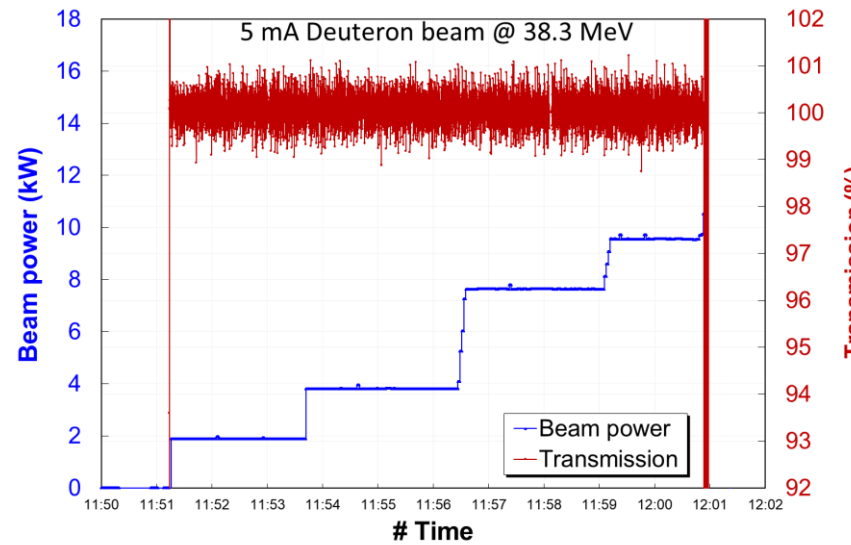
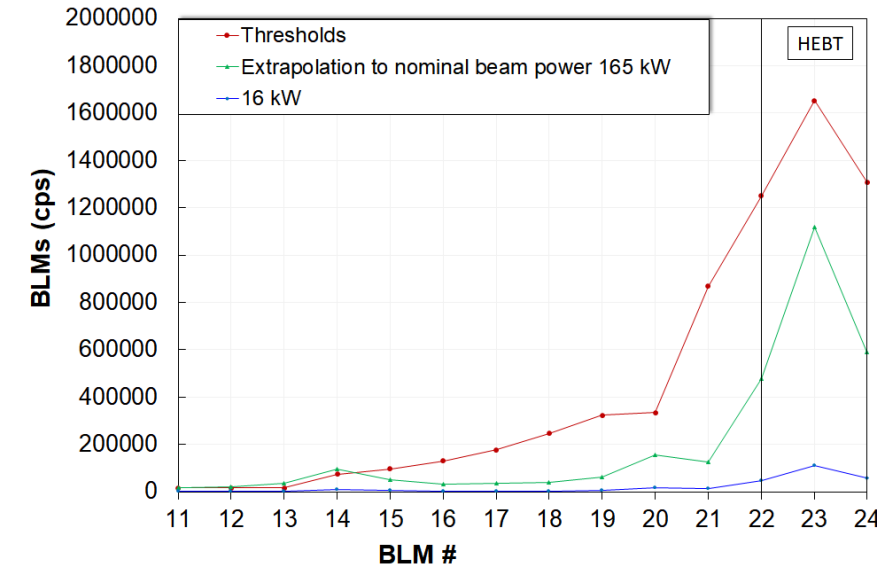
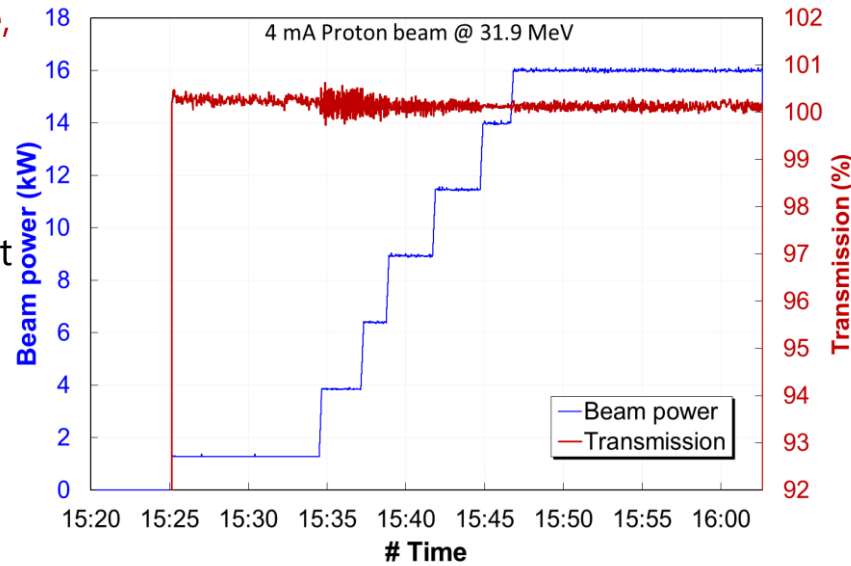
2023



Particule	
OXYGENE	
18 O 8/6+ W=260,0MeV I=0,596mA P=25,8	
A	18
Masse	17.9958689395 UMA
Energie	
Energie 13	14.491 MeV/A

Principaux résultats de la MeSF I

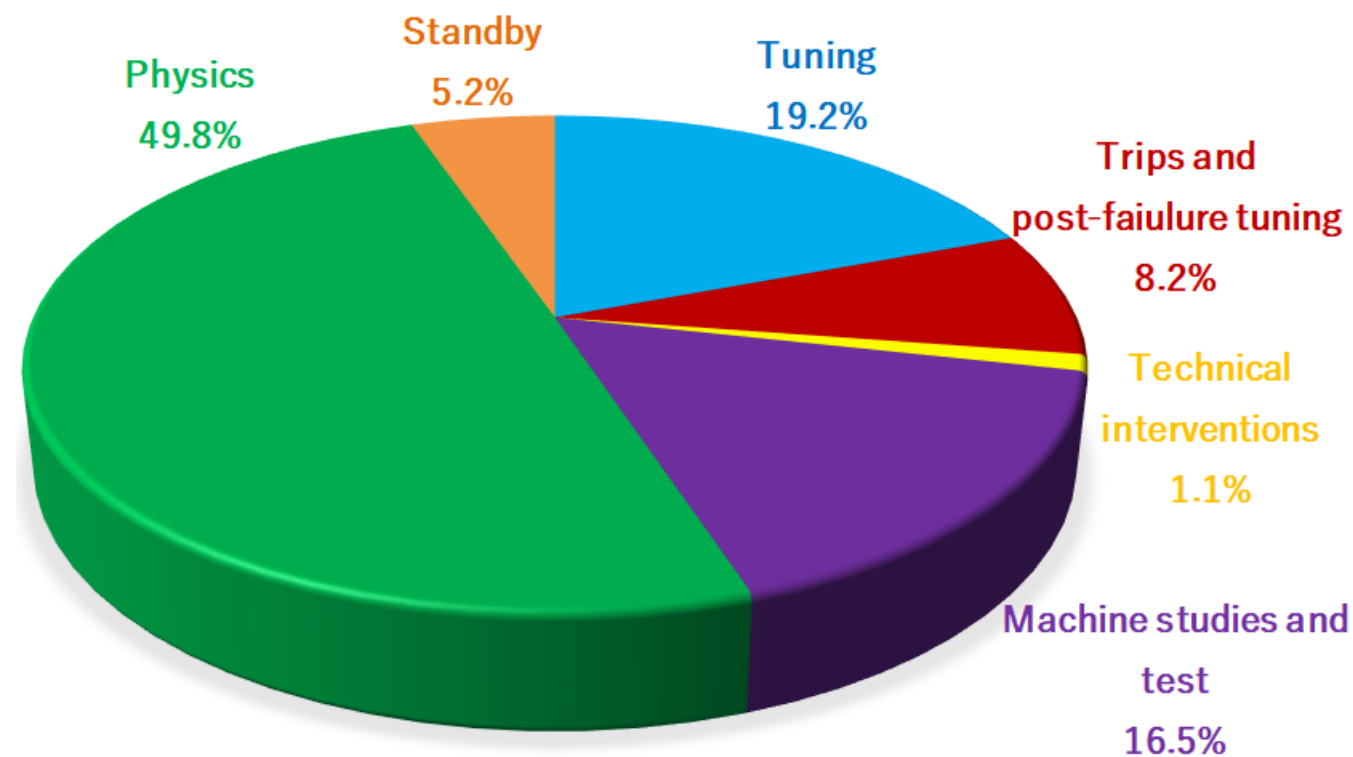
- Stratégie de montée en puissance : énergie, intensité et cycle utile.
- H⁺, D⁺ et ⁴He²⁺ ont été accélérées à leurs valeurs nominales.
- La montée en puissance des faisceaux H⁺ et D⁺ démontre la fiabilité du linac.
- H⁺, 16 kW, 12 ms, 1 Hz, 12% CU. 2020
- D⁺, 10 kW, 1 ms, 10 Hz, 5% CU. 2021



La période de faisceau était en 2022 \approx 3 mois

7 expériences et 3 études préparatoires principales pour la salle experimental S³ ont été réalisées.

- 76% de la physique avec des faisceaux D^+ :
 - ✓ 9 μA et 47 μA sur la cible, 1/100 (SdP).
 - ✓ H^+ , D^+ et $^4He^{2+}$ à partir de 10 MeV/A jusqu'à leur valeur nominale.
- Temps de réglage = réglage du faisceau de l'accélérateur + réglage du LHE.
- Les pannes d'accélérateur ont été réduits de 32% à 8%.
- 75% du temps des étude machine pour les **études de dynamique des faisceaux** avec les faisceaux $^4He^{2+}$, D^+ , $^{18}O^{6+}$ and $^{40}Ar^{14+}$.
 - ✓ Validation des méthodes de réglage + accélération des ions lourds 7 MeV/A.
 - ✓ Test de procédure de variation d'énergie.
 - ✓ Fonctionnement du linac en cas de cavité en panne.
- Études relatives aux systèmes RF et de diagnostic.
- La première expérience de réactions induites par les neutrons dans une cible d'actinide ^{235}U actinide target a été réalisée avec un faisceau de D^+ .



La période de faisceau en 2023 est de ≈ 2.5 mois

6 expériences de physique nuclear et 2 études préparatoires pour la salle experimental S³ sont prévues.

- 65% du temps de faisceau total est prévu pour des expériences de physique, donc 5 des 6 expériences avec des faisceaux D^+ :
 - ✓ Jusqu'à 47 μA sur la cible, 1/100 (SdP).
 - ✓ D^+ et $^4\text{He}^{2+}$ à partir de 7 MeV/A jusqu'à leur valeur nominale.
- 14% du temps de faisceau total pour des étude machine : donc 6% pour les études de dynamique des faisceaux avec les faisceaux $^4\text{He}^{2+}$, $^{18}\text{O}^{6+}$ et $^{40}\text{Ar}^{14+}$.
 - ✓ Validation des applications de réglage.
 - ✓ Accélération d'un faisceau $^{18}\text{O}^{6+}$ jusqu'à son énergie nominale, 14.5 MeV/A.
 - ✓ Validation application variation d'énergie et du rapport A/Q.
 - ✓ Fonctionnement du linac en cas de cavité #6 en panne.
 - ✓ Variation de la pression sur les sections chaudes du linac.
- Études relatives aux systèmes RF et de diagnostic (emitance, profileur non intrusif, BPM).
- La première test pour de la R&D pour la production de radioéléments innovants (projet REPARE).

The screenshot displays the control interface for the SPIRAL2 accelerator. It is divided into two main sections: 'Particule' and 'Energie'.
In the 'Particule' section, the particle type is 'OXYGENE'. Below this, the parameters are listed as '18 O 8/6+ W=260,0MeV I=0,596mA P=25,8'. Further down, the mass number 'A' is set to '18', and the mass is '17.9958689395 UMA'.
In the 'Energie' section, the energy is set to '13' and the energy per nucleon is '14.491 MeV/A'.

1. Méthode avancée (1-2 jours)

- Signature matching + éviter les erreurs de mesure de la phase (effets non linéaires déformant la forme du bunch)
- 1 réglage par an : étalonnage de la tension et établissement des phases de référence.

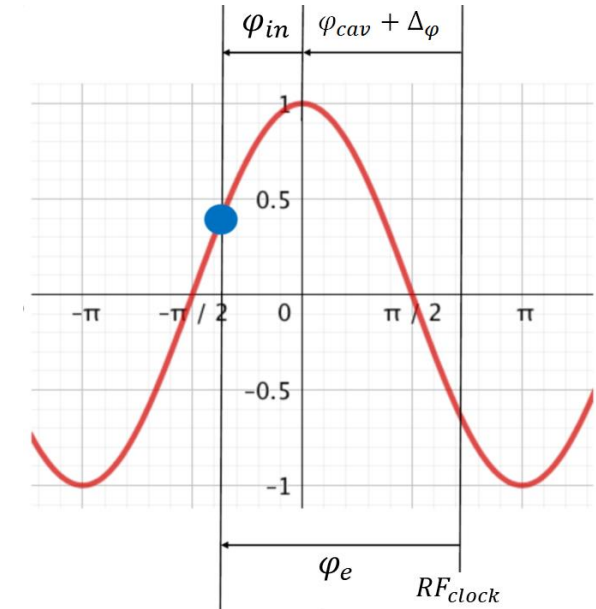
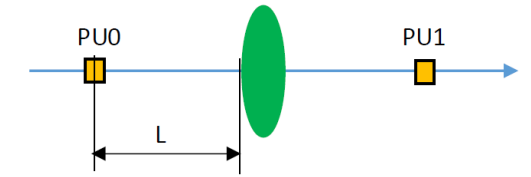
2. Méthode avec phases de référence (<60 min)

- Pas de détuning, pas de scan en phase.
- Mesure de la phase à l'entrée de la cavité.
- Vérification avec la mesure de la phase après la cavité.
- D⁺ => @20 MeV/A $\Delta E/E < 1\%$ / @0.73 MeV/A $\Delta E/E < 1.5\%$
- Sensible à la précision des mesures de phase. Le $\Delta\varphi$ sur le BPM post-cavité attendu/mesuré est possiblement $> 10^\circ$ dans les premières cavités dans certains cas. Au fur et à mesure que le faisceau est accéléré, le $\Delta\varphi$ diminue (en oscillant).

3. Rapport A/Q (<10 min + 1 h réglage LBE)

- Ions lourds à basse énergie pour S³
- Si les BPM ne voient pas le faisceau, un "ion pilote" avec un courant "visible" et le même schéma d'accélération que celui nécessaire pour l'"ion objectif" est utilisé pour un premier réglage.
- Tous les champs \vec{E} et \vec{B} seront ensuite multipliés par $c = \frac{A_2/Q_2}{A_1/Q_1}$
- Réglage de la LBE pour le nouvel ion (LEBT).

Cavity to tune



$$\Delta\varphi = \varphi_{e_ref} - \varphi_{in_ref} - \varphi_{cav_ref}$$

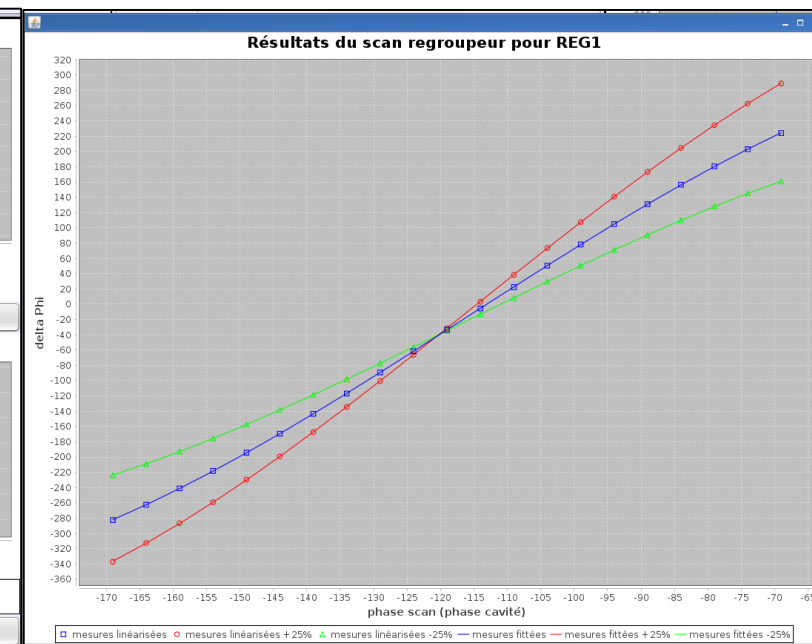
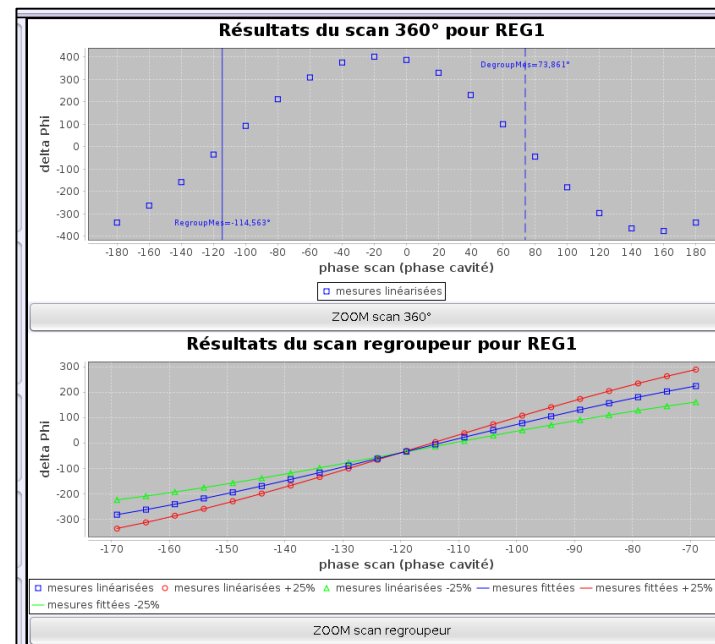
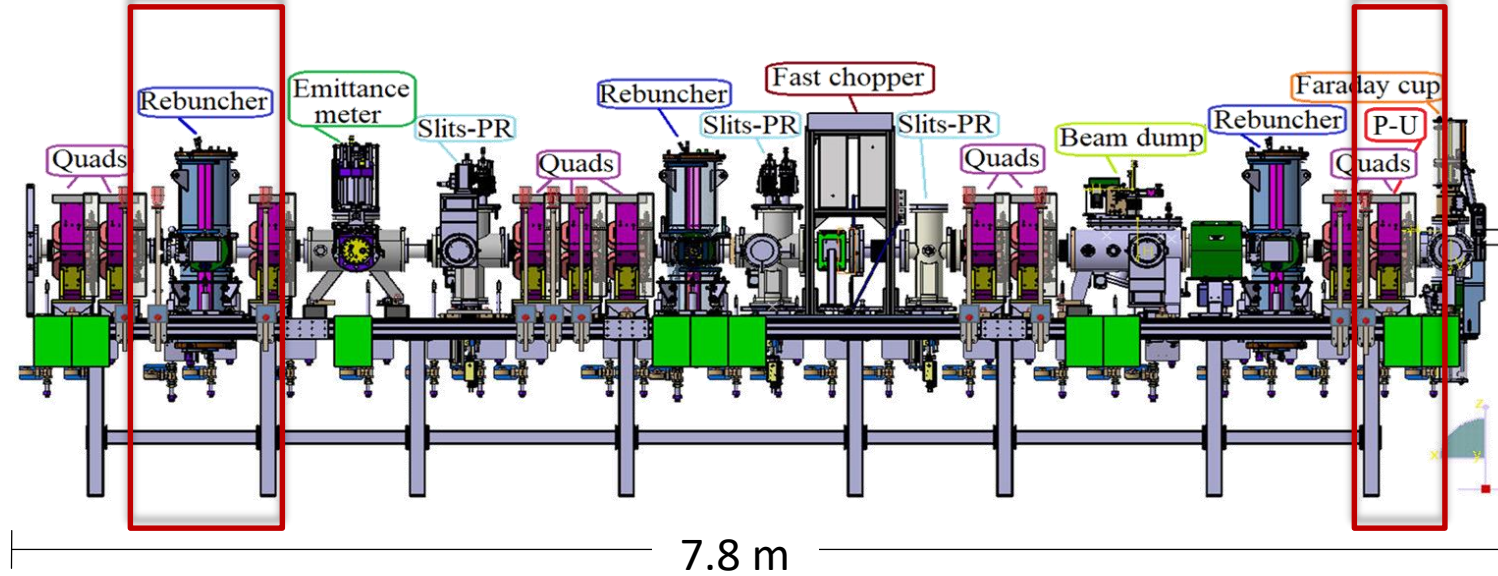
$$\varphi_{cav} = \varphi_e - \varphi_{in} - \Delta\varphi$$

$$\varphi_{e-cav2} = \varphi_{e-cav1} - \varphi_{shift_{cav1}} + Drift$$

G. Normand, et al, "Strategies for SPIRAL2 linac heavy-ion beam tuning", presented at the 14th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'23), Venice, Italy, May 2023, paper TUPA192.

Clé pour régler l'adaptation longitudinale dans le linac.

- Méthode "avancée" => ne fonctionne pas correctement pour le 1er regroupeur (erreur de mesure de la phase).
- "Méthode avec référence" => pas de mesure de phase en amont : impossible.
- **Méthode du croisement :**
 - I. Balayage rapide de la phase de la cavité sur 360° , mesure sur la PC21.
 - II. 3 scans $\pm 20^\circ$ autour de la phase du regroupeur à 3 tensions.
 - III. Les courbes sont ajustées par des polynômes de 3ème ordre => point de croisement (phase regroupeur).
 - IV. La tension de la cavité du regroupeur est obtenue par comparaison des pentes / polynômes obtenus par simulation.
 - V. L'adaptation au linac a été améliorée par un réglage fin du champ magnétique des deux derniers quadripôles et du regroupeur #3 du la LME, ce qui a permis de réduire les pertes.

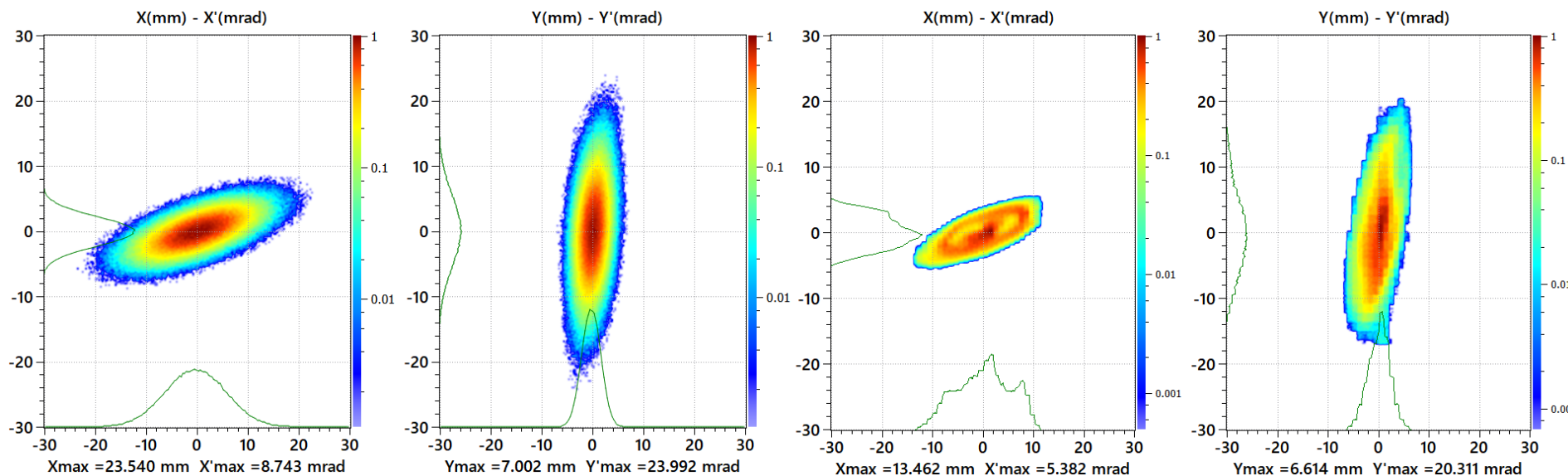


Mesures de l'émittance transversale RMS pour un faisceau de $^{18}\text{O}^{6+}$ de 600 μA .

- 0.32 $\pi.\text{mm.mrad}$ dans le plan horizontal
- 0.46 $\pi.\text{mm.mrad}$ dans le plan vertical

Simulation de référence 600 μA $^{18}\text{O}^{6+}$

Mesure 600 μA $^{18}\text{O}^{6+}$

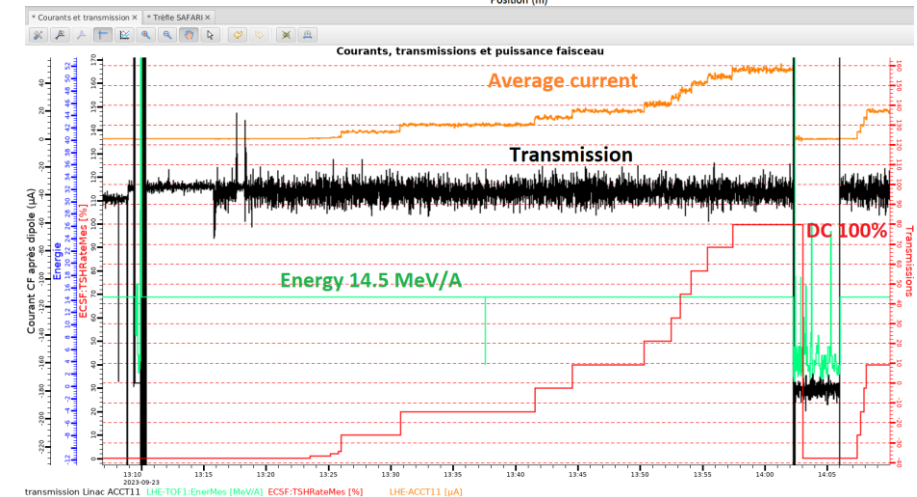
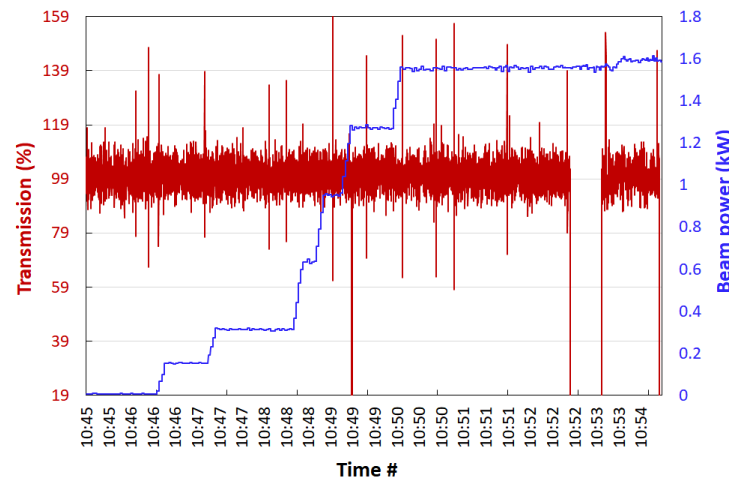
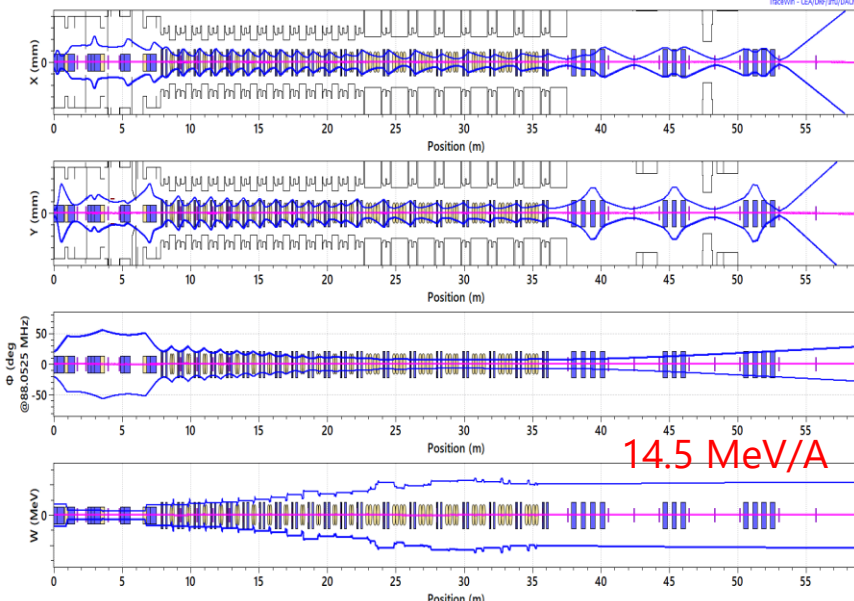
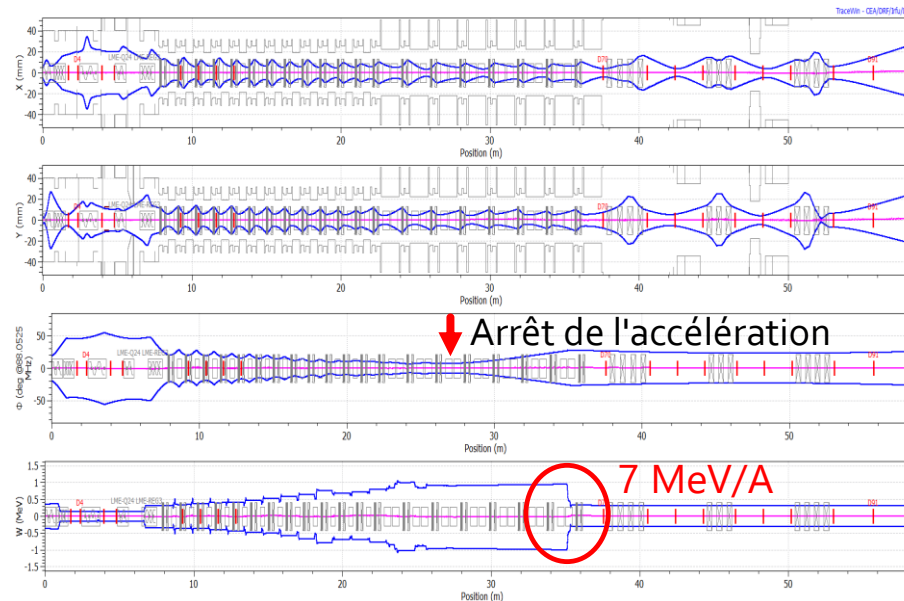


Parameter	Sim	Meas	Δ (%)
$\alpha_{X,X'}$	-0.83	-0.99	19
$\beta_{X,X'}$ (mm/ π .mrad)	3.44	3.40	1
$\alpha_{Y,Y'}$	-0.29	-0.49	69
$\beta_{Y,Y'}$ (mm/ π .mrad)	0.32	0.38	19

Bon accord!

A/Q method test

- Le "faisceau pilote"; $^{18}\text{O}^{6+} \Rightarrow A/Q=3$, facile à produire avec un courant $> 100 \mu\text{A}$, bonne stabilité.
- Le "ion objective"; $^{18}\text{O}^{7+} \Rightarrow$ changement facile et rapide depuis le $^{18}\text{O}^{6+}$, courant détectable par le pick up pour valider la procédure.
- $7 \text{ MeV/A} \Rightarrow$ Les cavités en aval de la cavité #15 ont été éteintes et désaccordées.
- La dernière cavité a été réglée en phase regroupeur, avec une tension telle que la dispersion d'énergie a été réduite par 2.
- $50 \mu\text{A } ^{18}\text{O}^{6+}/^{40}\text{Ar}^{14+}$ en mode regroupeur à 0.73 MeV/A .



Parameter	$^{18}\text{O}^{6+}$	$^{18}\text{O}^{7+}$	$^{40}\text{Ar}^{14+}$
Max E (MeV/A)	14.5	7	7
Max I (μA)	50	78	80
Transmission (%)	99	98	99
Beam power (kW)	2	0.6	1.6

Faisceau $80 \mu\text{A } ^{40}\text{Ar}^{14+}$: Puissance faisceau (blue) et transmission (red).

Faisceau $50 \mu\text{A } ^{18}\text{O}^{6+}$: Energie (verte), transmission (noire), average courant (orange) and cycle utile (red).

Stratégie et tests sans cavités #3, #6 et #8 ont été faites.

Plus l'énergie \uparrow plus le debunching \downarrow

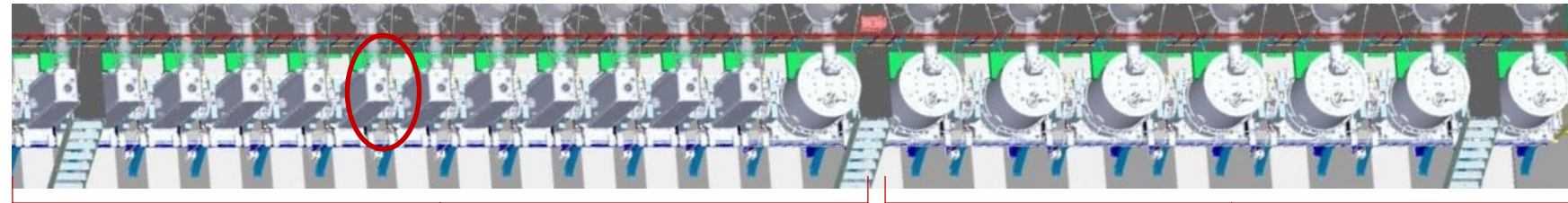
- Cavité haut β en panne : La solution est facile à trouver.
- Une des dernière cavité bas β en panne, possibilité de récupérer la dynamique d'un faisceau sans pertes.

- Rerégler les cavités amont et aval.
- L'acceptance en phase requise.
- Réduction de l'énergie finale du linac ou augmentation de la tension des cavités.

- Première cavité à bas β en panne : un réglage très difficile à basse énergie en raison du fort debunching entre deux cavités.

Les études sont actuellement en cours.

4.5 MeV

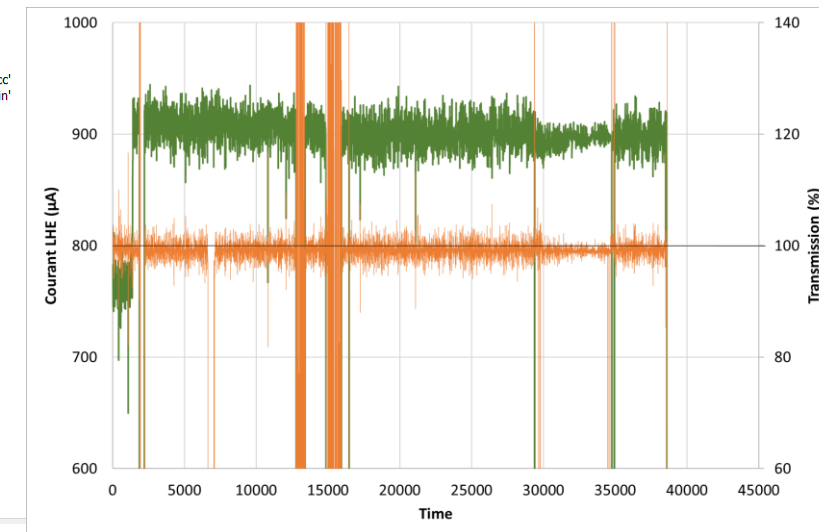
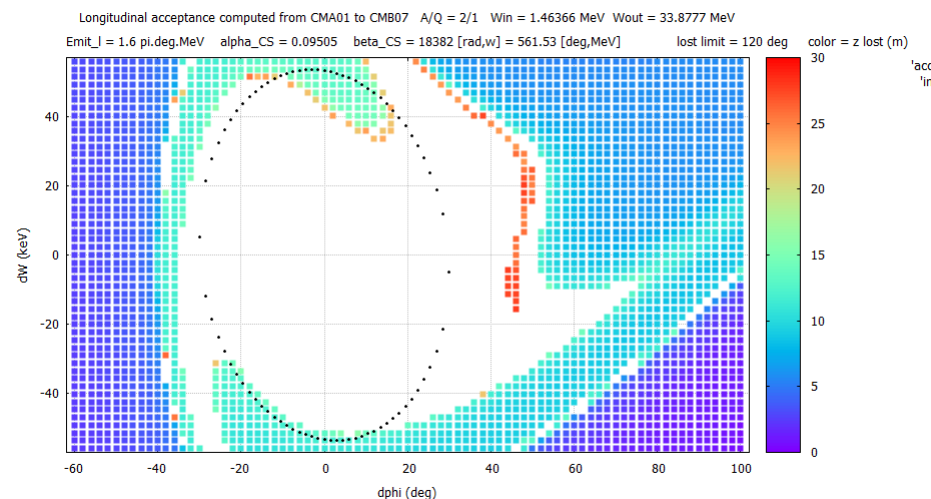


Section bas β

80 MeV

Section haut β

900 μA $^4\text{He}^{2+}$ / 63.87 MeV / 2kW



Adrien PLACAIS, "Derniers développements et stratégies de compensation de pannes de cavités dans les linacs supraconducteurs,"
LPSC –Grenoble Vendredi 11h20.

Variation de l'énergie du faisceau

- Plusieurs énergies pour une expérience.
- Passage manuel (Temps $\approx \Delta E$).
- Deux méthodes ont été testées => étude des définition d'une procédure/application

Définir l'énergie de la dernière cavité



Désaccorder toutes les cavités en aval



BRho est appliqué aux éléments magnétiques



Réglage du steerer et alignement général

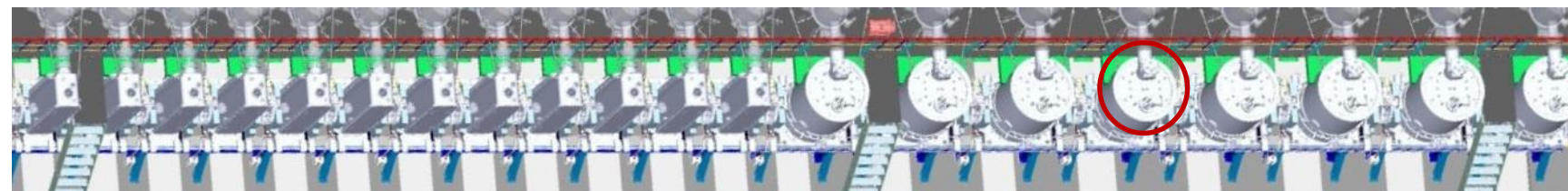
Quitter File Edit Accelerator View Fenetres Imprimer Info Logbook SPM OK

Energie lue sur le TOF (en MeV/A) : 19.995 Etape 1/7 Recherche cavité

Energie voulue (en MeV/A) : 7

changer Energie mise à valeur Quads mise à valeur Steerers STOCKEE

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
cavité	Energie théorique (en MeV/A)	Beta théorique	Brho théorique	nouvelle énergie	nouveau Brho	RF EN	présence RF	position F0	position detuning	champ cavité
LINA-CMA01-CAV1	0.7872 MeV/A	0,0411	0.3833 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	1.2940 MV/m
LINA-CMA02-CAV1	0.8535 MeV/A	0,0428	0.3991 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	1.3190 MV/m
LINA-CMA03-CAV1	0.9340 MeV/A	0,0448	0.4175 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	1.3850 MV/m
LINA-CMA04-CAV1	1.0335 MeV/A	0,0471	0.4392 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	1.4950 MV/m
LINA-CMA05-CAV1	1.1587 MeV/A	0,0498	0.4650 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	1.6710 MV/m
LINA-CMA06-CAV1	1.3203 MeV/A	0,0532	0.4964 T.m			ON	présence RF	ON	non détournée	1.9500 MV/m
LINA-CMA07-CAV1	1.5348 MeV/A	0,0573	0.5353 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	2.3920 MV/m
LINA-CMA08-CAV1	1.8302 MeV/A	0,0626	0.5845 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	3.1070 MV/m
LINA-CMA09-CAV1	2.2571 MeV/A	0,0695	0.6492 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	4.3540 MV/m
LINA-CMA10-CAV1	2.7125 MeV/A	0,0782	0.7118 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4610 MV/m
LINA-CMA11-CAV1	3.1877 MeV/A	0,0823	0.7693 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4930 MV/m
LINA-CMA12-CAV1	3.6209 MeV/A	0,0879	0.8226 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4930 MV/m
LINB-CMB01-CAV1	4.1727 MeV/A	0,0943	0.8832 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4930 MV/m
LINB-CMB01-CAV2	4.7590 MeV/A	0,1007	0.9433 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	5.5010 MV/m
LINB-CMB02-CAV1	5.5857 MeV/A	0,1088	1.0204 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4930 MV/m
LINB-CMB02-CAV2	6.3878 MeV/A	0,1165	1.0934 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4920 MV/m
LINB-CMB03-CAV1	7.2731 MeV/A	0,1243	1.1670 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4990 MV/m
LINB-CMB03-CAV2	8.1558 MeV/A	0,1315	1.2381 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.7580 MV/m
LINB-CMB04-CAV1	9.0355 MeV/A	0,1383	1.3013 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.8250 MV/m
LINB-CMB04-CAV2	9.9056 MeV/A	0,1447	1.3626 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.8900 MV/m
LINB-CMB05-CAV1	10.7142 MeV/A	0,1504	1.4177 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.9540 MV/m
LINB-CMB05-CAV2	11.5106 MeV/A	0,1558	1.4698 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.9550 MV/m
LINB-CMB06-CAV1	12.2943 MeV/A	0,1609	1.5193 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.4350 MV/m
LINB-CMB06-CAV2	13.0295 MeV/A	0,1655	1.5643 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	5.9990 MV/m
LINB-CMB07-CAV1	13.7897 MeV/A	0,1702	1.6097 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	6.8240 MV/m
LINB-CMB07-CAV2	14.4835 MeV/A	0,1744	1.6505 T.m			ON	présence RF	OFF	non détournée	4.3690 MV/m



Section bas β

Section haut β

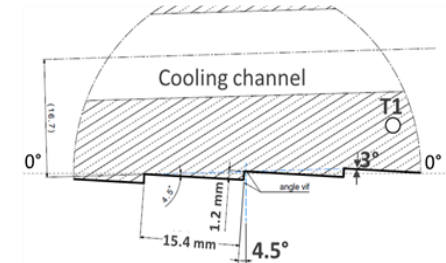
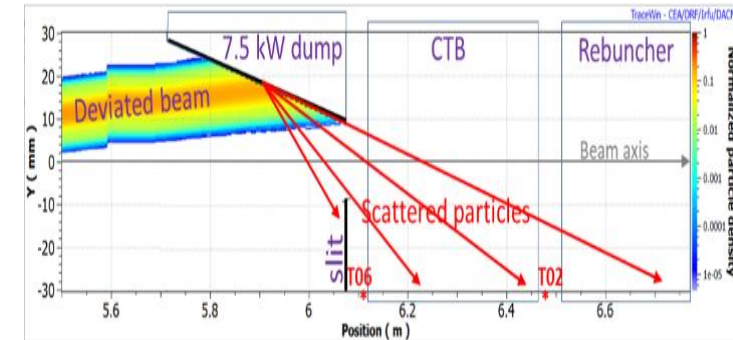
L'application a été testée avec succès cette année

Énergie d'un faisceau de $^{40}\text{Ar}^{14+}$ à 7 MeV/A (#17)

➤ Arrêt du faisceau de Selecteur du Paquets dans la LME

- Les mesures de courant présentaient un **offset** de $\approx 100\mu A$ en 2019.
- L'arrêt faisceau recevant les bunches déviés par le SdP (≤ 7.5 kW) a été affecté par la **diffusion de Coulombienne** => **échauffement important dégradant** les mesures de courant du faisceau.
- L'arrêt faisceau a été redessiné (la surface est passé de plate à en escalier), construite et installée, ce qui a permis de réduire la température et l'offset de courant.

M. Di Giacomo *et al.*, "Upgrade of the medium energy dump geometry for the SPIRAL2 single bunch selector", presented at the 14th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'23), Venice, Italy, May 2023, paper THPA190."



➤ Diagnostic des faisceaux

- Une **nouvelle électronique BPM** pour la **distribution des signaux RF** a été conçue, fabriquée et installée.
- Tous les châssis de distribution sont ajustés pour avoir un $\Delta phase < 0.5^\circ$ entre les sorties.
- L'étalonnage de tous les BPM a été ramené de 1 semaine à 3 jours.

➤ Émissions de rayons X

- Les émissions de rayons X ont commencé à partir de 2020 dans les cavités #2 (section β basse), #14 et #26 (section β haute).
- La tension des cavités #14 et #26 a dû être réduite ($< 8\%$) afin d'assurer la fiabilité de l'exploitation. **Pour compenser, la tension des cavités haut β voisines a été augmentée (6.5 - 8 MV/m).**

➤ Système de cryogénie

Des oscillations thermo-acoustiques (TAO) ont été identifiées fin 2017.

- L'oscillation de pression forte => pour empêcher l'utilisation de cavités SC.
- **Solution temporaire** => rétablir la stabilité du système cryogénique => inconvénients (perturbations périodiques de la pression, limitation de la plage de mesure des capteurs de niveau d'hélium).
- **Un nouveau système de compensation du TAO a été mis au point** : un résonateur RLC qui contrebalance la résonance. Testé avec succès en 2022.

Développement d'un modèle numérique => système de cryogénie.

- Une collaboration avec le département des systèmes basse température du CEA, 2017 => contrôle de la pression et du niveau d'hélium dans l'automate.
- **Le même modèle développé en tant que capteur souple** => la charge thermique sur le bain d'hélium du cryomodule. Paramètres de l'hélium (niveau, pression) et positions des vannes de contrôle.
- **Implémenté dans les PLC de la cryogénie, a été testé en 2022.** Emission d'un champ X de précision dans la cavité #14 en 2022.
- Les développements sont toujours en cours => précision et vitesse.

A. Ghribi *et al.*, "Cryogenic thermoacoustics in the SPIRAL2 LINAC," *Cryogenics*, vol. 124, pp. 103487, 2022. doi.org/10.1016/j.cryogenics.2022.103487

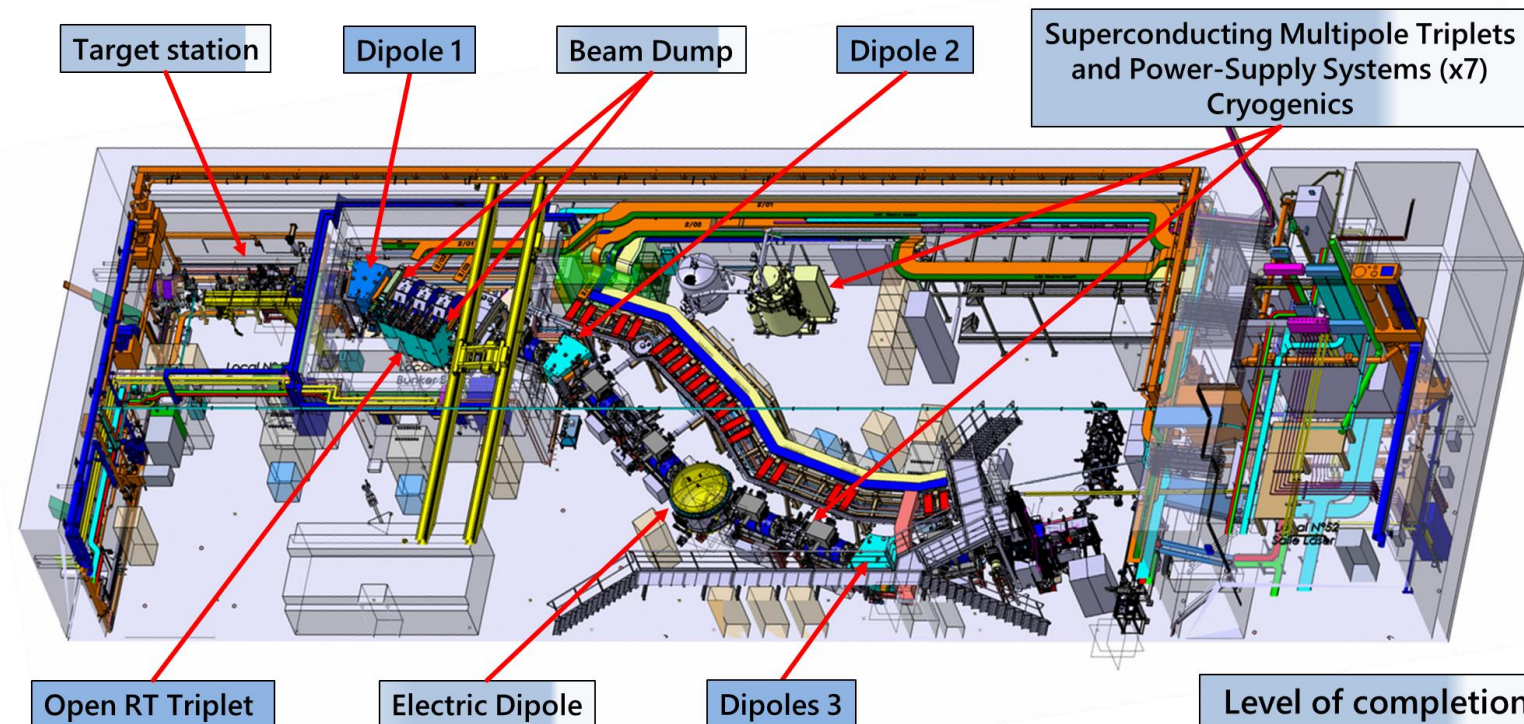
➤ Augmentation progressive du temps de faisceau avec le fonctionnement en parallèle de GANIL et SPIRAL2.

➤ Mise en service de la salle d'expérimentation S³ en 2024.

- La salle d'expérimentation S³ est dans la dernière phase d'installation.
- Des travaux de test, de mesure et de conditionnement sont actuellement effectués sur : la station cible, l'arrêt faisceau, le dipôle électrique, les triplets multipolaires supraconducteurs, le système d'alimentation électrique et le système cryogénique associé.
- L'intégration de la branche basse énergie S³ et du système laser est prévue pour 2024. Ainsi que la mise en service de : Transport de faisceaux, mesures physiques, système de détection.

Préposition préliminaire

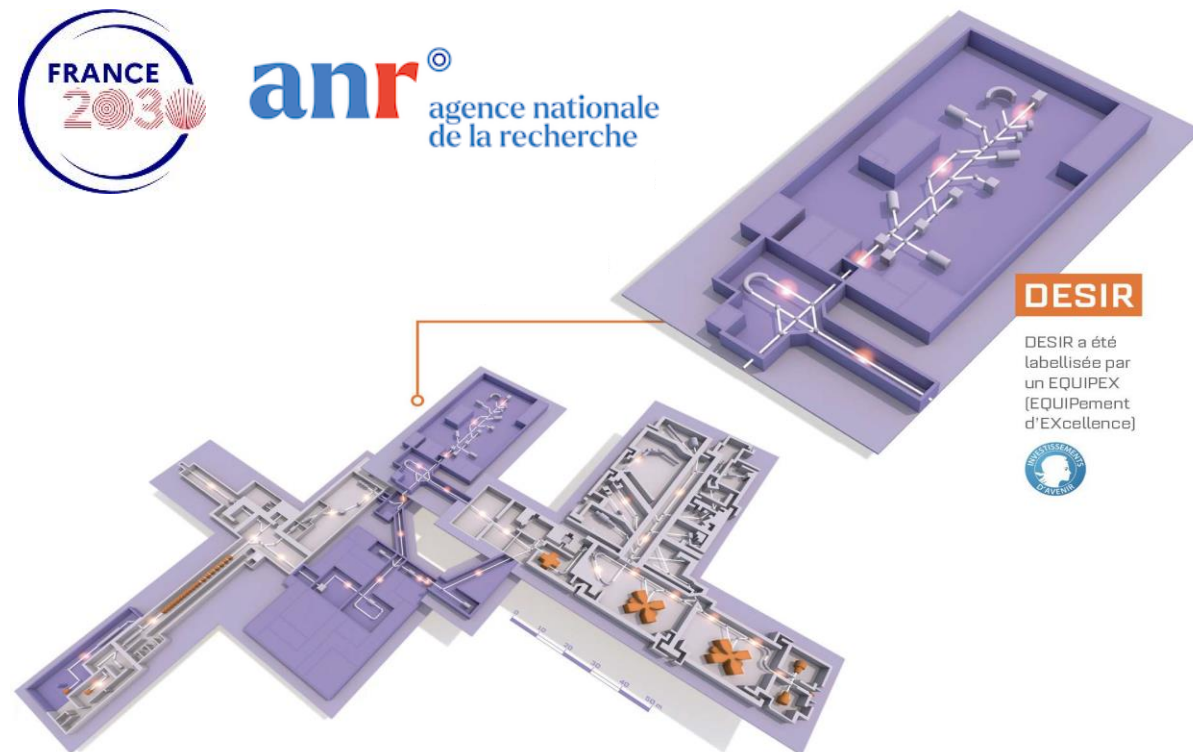
Année	2023												2024											
Opération	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
GANIL																								
SPIRAL2																								



A. Esper et al., "Superconducting multipole triplet field measurements", presented at the 14th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'23), Venice, Italy, May 2023, paper THPA043.

DESIR (DÉcroissance, Excitation et Stockage d'Ions Radioactifs)

- Une installation « **de basse énergie** » qui travaillera avec des énergies de faisceaux jusqu'à quelques dizaines de keV.
- Spectroscopie laser, spectrométrie de masse, mesures de désintégration, et diverses mesures utilisant des pièges à ions.
- DESIR utilisera les faisceaux produits aussi bien par les **cyclotrons** que par **SPIRAL2**. En particulier l'étude des noyaux exotiques produits par le séparateur S³.
- GANIL a obtenu **le 23 juin 2023 le permis de construction**. Les **travaux ont commencé en juillet 2023** par des opérations de terrassements en profondeur. L'objectif est que le bâtiment soit prêt au printemps 2025.



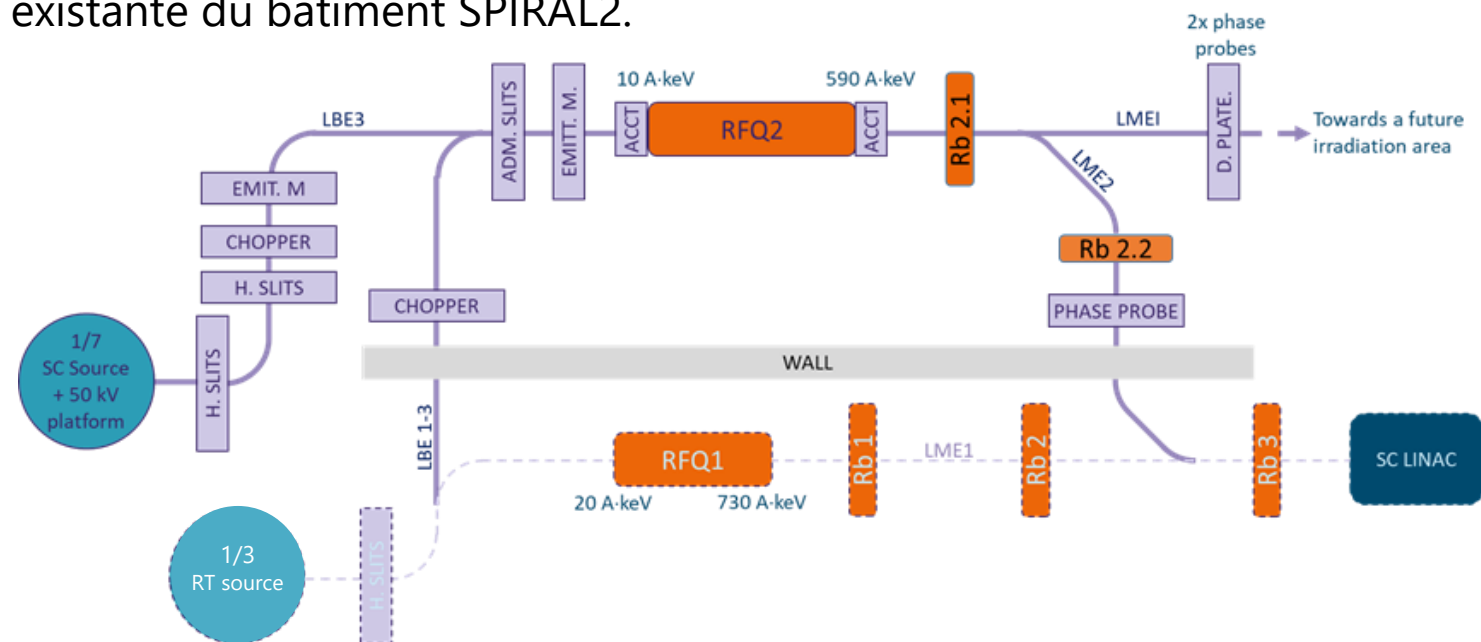
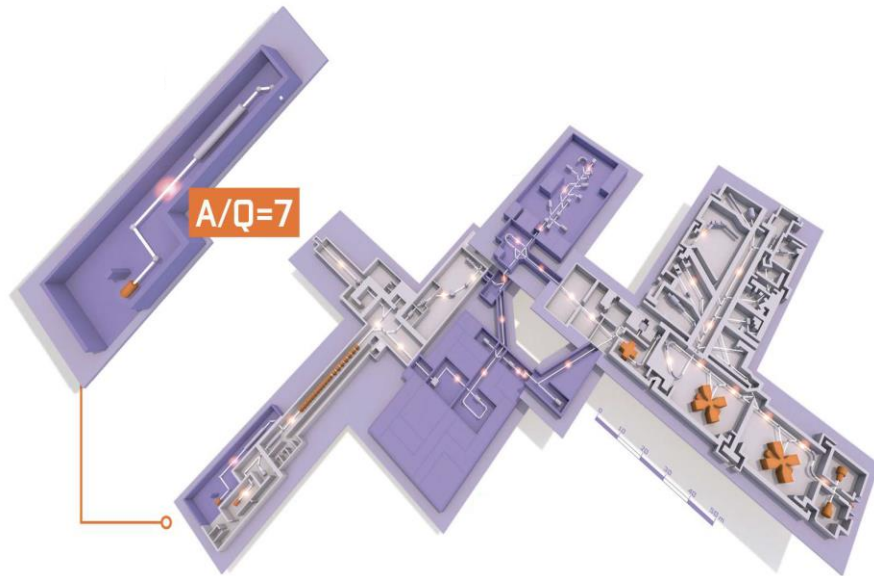
anr ©
agence nationale
de la recherche

Franck VARENNE, "Le projet DESIR"
GANIL
Mercredi 11h00.

NEWGAIN NEW GANIL INJECTOR

- La conception et la construction de ce **nouvel injecteur pour produire et délivrer des faisceaux d'ions lourds $A/Q \leq 7$** avec le linac SC ont commencé en mai 2020. La phase d'étude préliminaire s'est achevée en juin 2021 et la phase d'étude détaillée en avril 2023.
- Le projet est **actuellement en phase de construction**.
- Cet injecteur sera **également connecté à la source existante PHOENIX V3**.
- L'injecteur sera entièrement situé dans une salle existante du bâtiment SPIRAL2.

anr[®]
agence nationale
de la recherche



M. Moscatello *et al.*, "NEWGAIN project at GANIL-SPIRAL2 : design of the new heavy ion injector for the superconducting linac", in Proc. IPAC'23, TUPA193.

GANIL for the next decades. Mercredi 11h00.

- Les 4 phases de mise en service ont été achevées à temps pour permettre une exploitation complète en 2022.
- Le SC linac SPIRAL2 a été mis en service avec succès avec les faisceaux H^+ , D^+ et $^4He^{2+}$.
- Le SC linac SPIRAL2 a fonctionné avec succès en 2022, au cours de sa première année d'exploitation.
- La moitié du temps de faisceau a été utilisée pour des expériences de physique NFS, le reste étant utilisé pour des approfondissements de la dynamique du faisceau et des outils de réglage, également des améliorations des systèmes RF et de diagnostic.
- Pendant la phase préparatoire de S^3 , des faisceaux de $^{18}O^{6+,7+}$ et $^{40}Ar^{14+}$ ont été accélérés pour la première fois dans le linac jusqu'à 14.5 MeV/A et 7 MeV/A, respectivement.

Merci de votre attention !