

La supraconductivité en régime RF, la R&D depuis Spiral2 à nos jours

David Longuevergne (IJCLab)





- Qu'est-ce que la SRF
- Les enjeux de la R&D SRF
- Les objectifs de la R&D SRF
- La R&D faite depuis Spiral2 sur le Niobium massif :
 - Les corrections géométriques
 - Les études de piégeage de champ magnétique
 - Les traitements thermiques innovants
 - Le polissage métallographique
- Les nouvelles R&D en cours
 - Dépôts anti-multipacting
 - La décontamination par plasma
 - Les matériaux supraconducteurs alternatifs

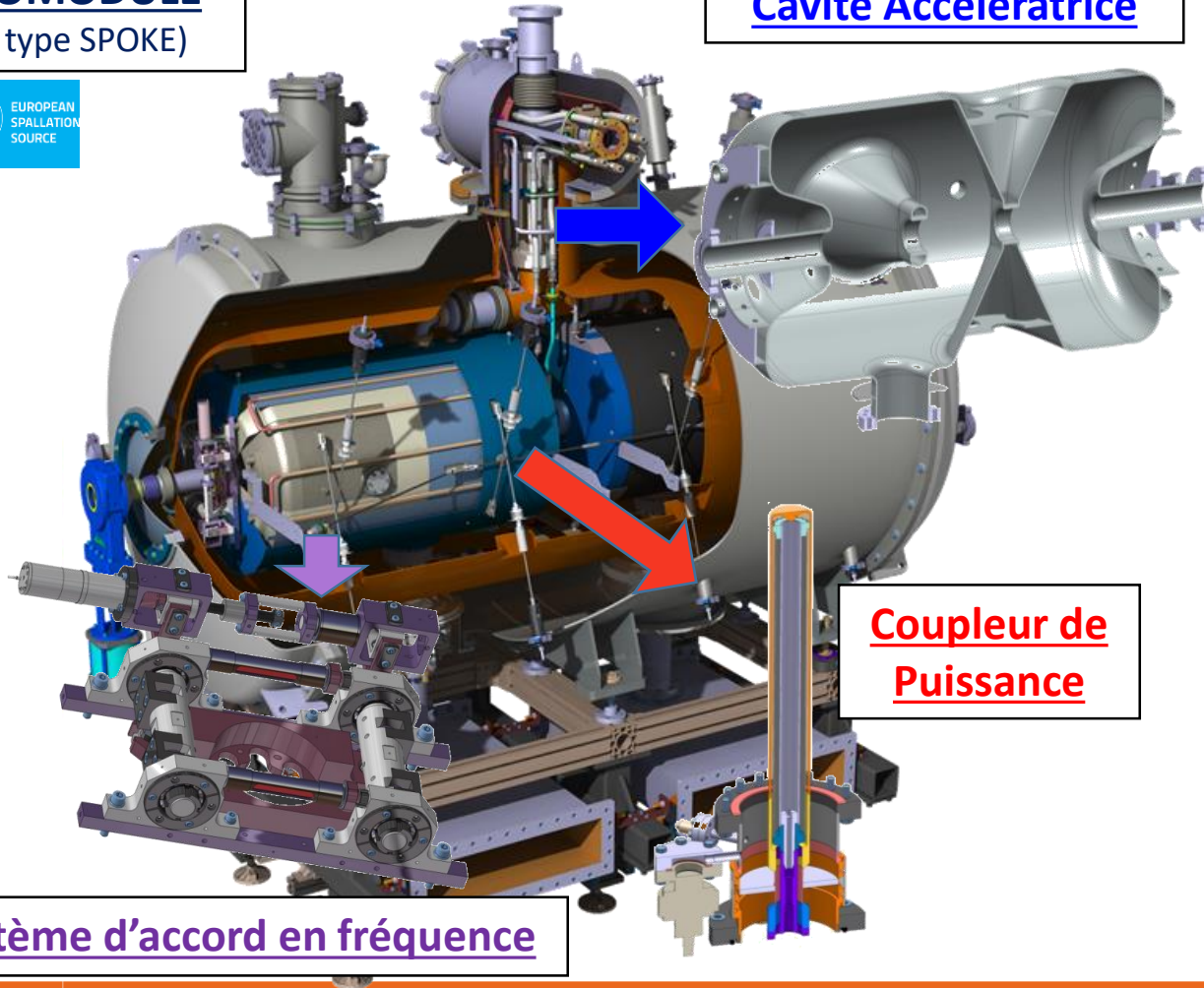


QU'EST-CE QUE LA SRF et pourquoi ?

CRYMODULE
(ESS type SPOKE)



Cavité Accélératrice



**Coupleur de
Puissance**

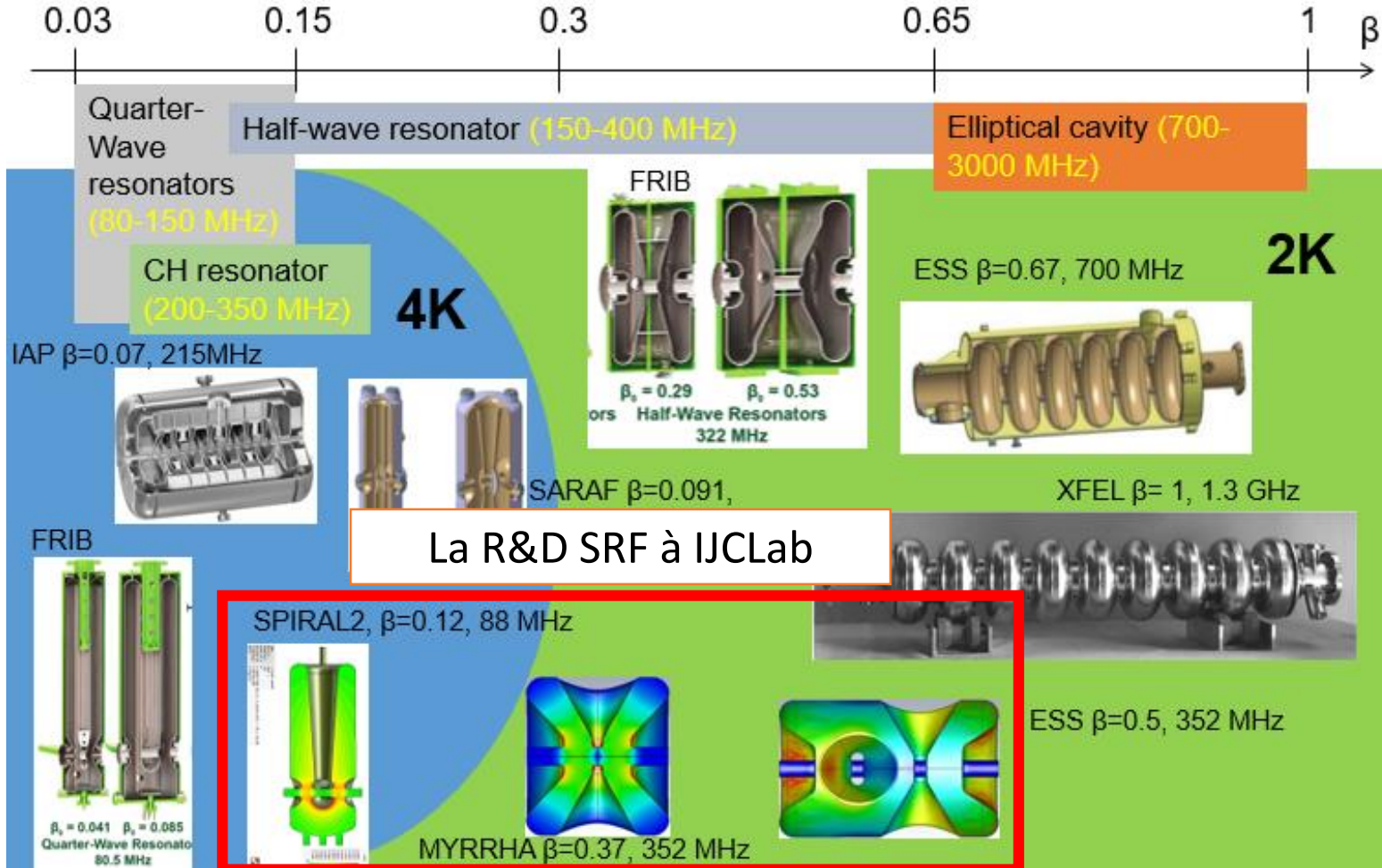
Système d'accord en fréquence

- **Forts gradients accélérateurs**
 - XFEL (23 MV/m, electrons, pulse)
 - LCLS2 (16 MV/m, electrons, CW)
 - SNS (12.5 MV/m, protons, CW)
 - ESS (9 MV/m → 17 MV/m, protons; pulse)
 - PIP-II (10 MV/m → 19 MV/m, proton, CW)
 - FCCee (5.7 → 25 MV/m, electrons)
 - ILC (31.5 MV/m...)
- **Forts cycles utiles ou CW**
 - ⇒ Faisceaux de plusieurs mA pour la génération de flux continu (injecteurs, sources lumière, ...)
- **La dissipation thermique n'est plus le paramètre principal dimensionnant**
 - ⇒ Plus de flexibilité dans la conception
 - ⇒ Résistance de surface $\sim n\Omega$ @2K → $Q_0 \sim 5 \cdot 10^{10}$
 - ⇒ Dissipation de quelques Watts pour plusieurs kWatts transférés au faisceau
- **Fréquence RF plus basse**
 - ⇒ Cavités plus grandes, tube faisceau plus large, acceptances transverse et longitudinale plus grandes
- **Des géométries différentes selon l'énergie**



Les différentes géométries (cavités en Niobium massif)

□ Particle velocity (β) \Rightarrow Cavity frequency (F_0)



La R&D SRF dans le monde





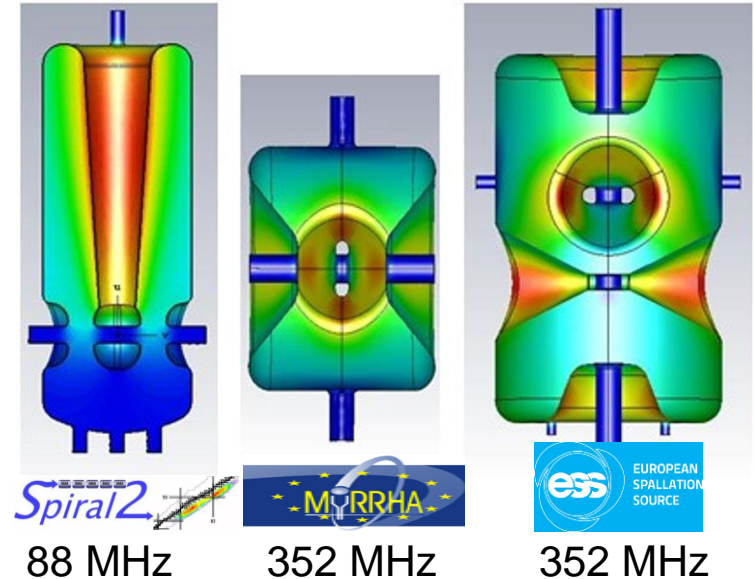
Les enjeux de la R&D SRF cavités en Niobium massif

- **Le coût et temps :**
 - Matériau cher, peu d'industriels (Nb ultra-pur) > 600€/kg
 - Fabrication chère et longue (~ 1 an). Très peu d'industriels qualifiés (2 en Europe)
 - Infrastructure de test (cryostat vertical) et consommation hélium liquide importante (~ 1000L/test)
- **De grands laboratoires et beaucoup de moyens :**
 - Allemagne (DESY, ...)
 - France (IRFU)
 - USA (Jlab, Fermilab, Cornell, ...)
 - Japon (KEK)
- **Les projets de constructions sont les moteurs indispensables pour financer la R&D**
 - IJCLab (ex-IPNO) : Spiral2, ESS, MYRRHA, PIP2

➔ R&D originale sur cavités « basses fréquences »

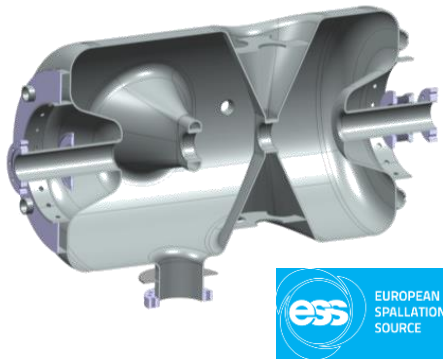
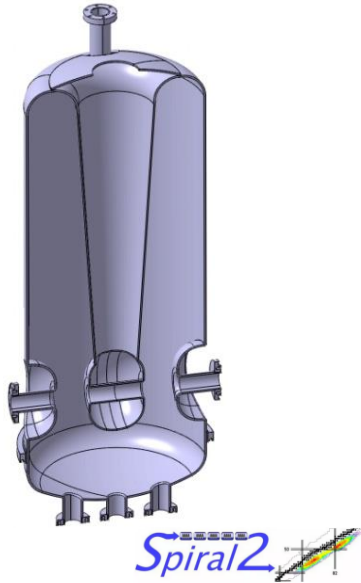


Mono-cellule
elliptique
1300 MHz





Les objectifs de la R&D SRF cavités en Niobium massif



- Fort Gradient : augmentation du gradient atteignable dans les cavités dans le but de la réduction de la taille et du coût de l'accélérateur.
- Haut Q_0 : Diminution de la résistance de surface dans le but de réduire le coût de l'accélérateur (usine cryogénique) et par conséquent augmentation du champ accélérateur nominal
- Fiabilisation cavité en configuration machine : conservation des performances de la cavité équipée de son coupleur de puissance et de son système d'accord en fréquence , augmentation du taux de réussite des traitements de surface



Les limites du Niobium massif

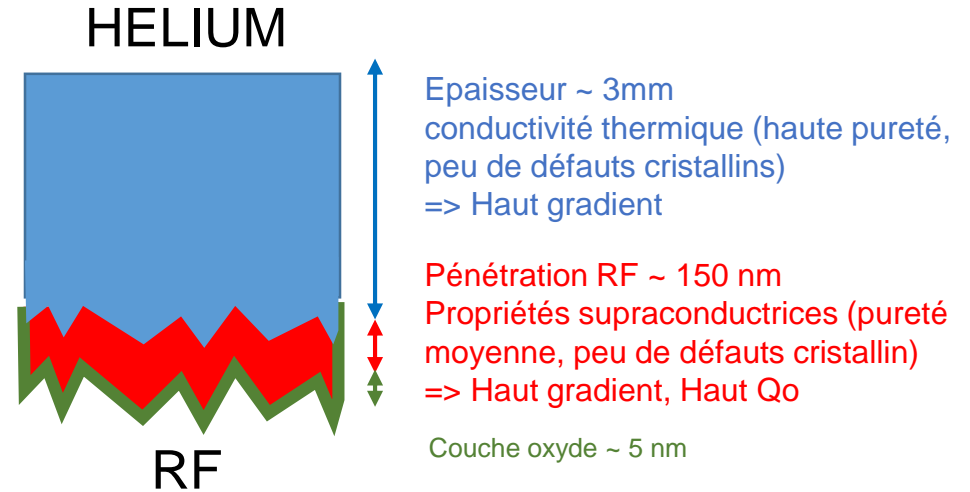
- Température de transition : 9.2 K
- Champ magnétique limite :
 - $H_{c1} \sim 180$ mT pour des champs normaux à la surface
 - $H_{sh} \sim 240$ mT pour des champs parallèles à la surface

- ⇒ Eacc max pour cavité Spiral2 : ~ 25 MV/m
- ⇒ Eacc max pour cavité ESS : ~ 32 MV/m
- ⇒ Eacc max pour cavité elliptique : ~ 60 MV/m

- Surface resistance : $R_s = R_{BCS} + R_{res}$
- $R_{res} \sim 1 - 10$ n Ω (residual magnetic field, surface oxide, ...)

$$R_{BCS} = A(\lambda, \xi, l, v_F) \cdot \frac{\omega^2}{T} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta(0)}{k_B \cdot T}\right)$$

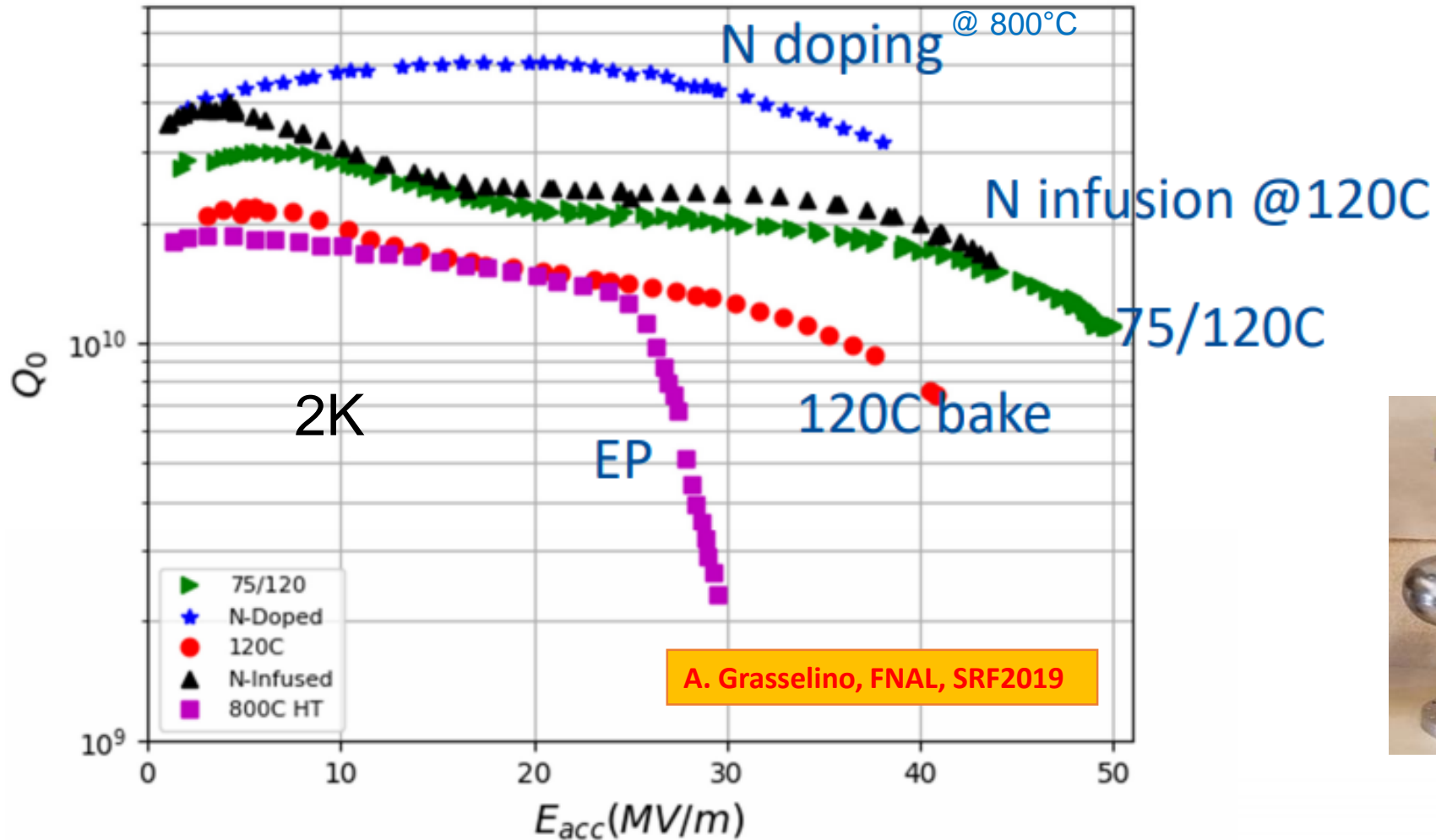
$$Q_0 = G/R_s$$



Q_0 ($R_{res} = 1$ n Ω)	G	4.2K	2K	1.5K
1300 MHz	250	4.2E+08	4.2E+10	1.1E+11
700 MHz	200	1.1E+09	3.8E+10	1.5E+11
352 MHz	110	2.4E+09	5.5E+10	1.0E+11
88 MHz	30	8.3E+09	3.1E+10	3.3E+10



Les limites du Niobium massif





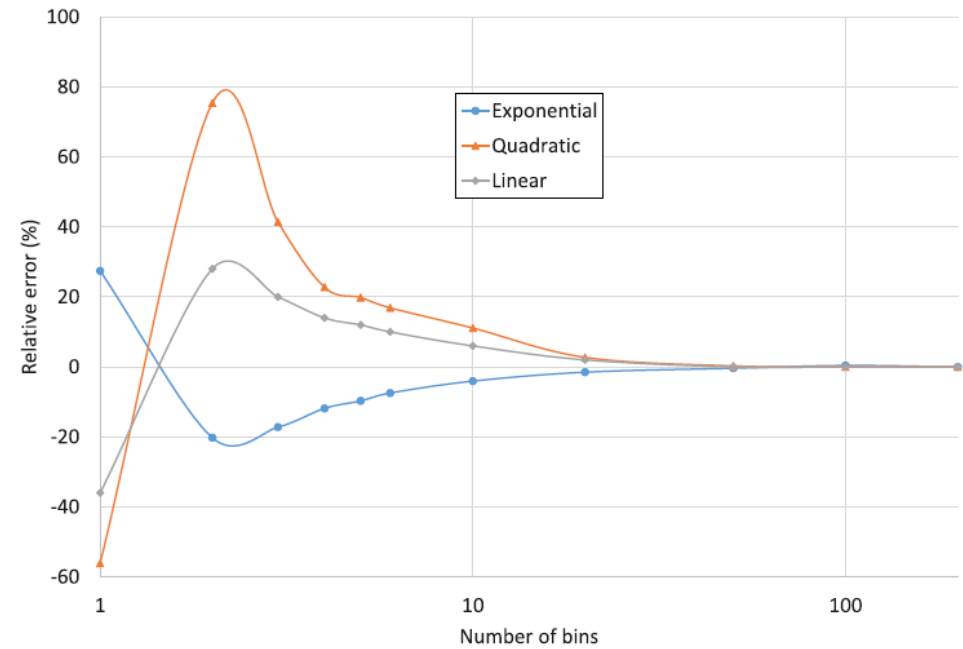
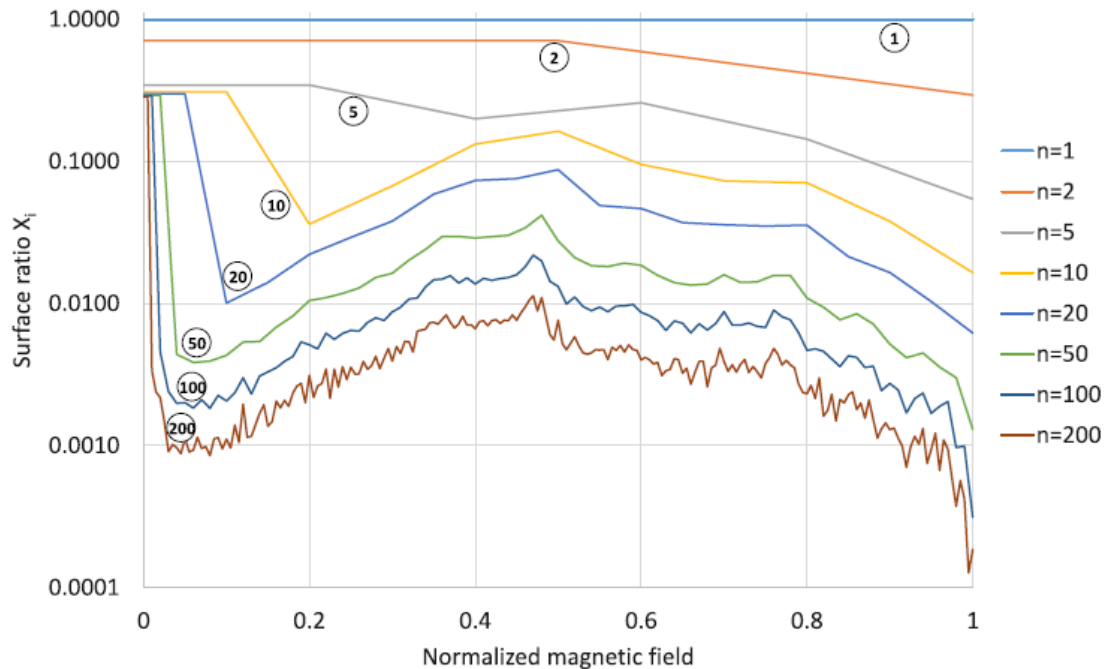
- Qu'est-ce que la SRF
- Les enjeux de la R&D SRF
- Les objectifs de la R&D SRF
- La R&D faite depuis Spiral2 sur le Niobium massif :
 - Les corrections géométriques
 - Les études de piégeage de champ magnétique
 - Les traitements thermiques innovants
 - Le polissage métallographique
- Les nouvelles R&D en cours
 - Dépôts anti-multipacting
 - La décontamination par plasma
 - Les matériaux supraconducteurs alternatifs



- La résistance de surface R_s évaluée globalement via le facteur le qualité Q_0

$$Q_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \frac{U}{P_c} = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \frac{\iiint_V \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \left(\frac{B}{\mu_0}\right)^2 \cdot dV}{\iint_S \frac{1}{2} R_s \left(\frac{B}{\mu_0}\right)^2 \cdot dS} \approx Q_0 = \frac{G}{R_s} \rightarrow Q_0 = G \cdot \frac{\sum_{i=1}^n B_i^2 \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n R_{s_i}(B_i) \cdot B_i^2 \cdot X_i}$$

- Corrections nécessaires pour évaluer les dépendances en champ de R_s





Les études de piégeage de champ magnétique

- La présence de champ magnétique résiduel lors de la transition supraconductrice entraîne son piégeage et l'augmentation de la résistance résiduelle

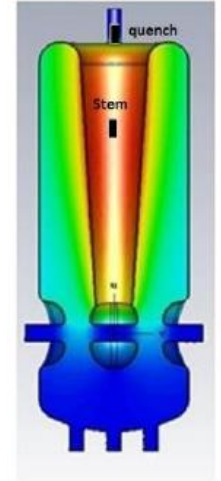
$$R_{res} = \eta_{mag} \cdot S_{mag}(f, T) \cdot H_{res}$$

$$0 < \eta_{mag} < 1$$

$$S_{mag} = \frac{R_n(f, T)}{2 \cdot H_{c2}(T)}$$

- Lors des tests cryogéniques nous avons découvert :

Type of cavity	H_{res} orientation	Measurement (nΩ/mG)	Uniform (nΩ/mG)	S_{mag} eq. (4)	Relative error %
QWR	Vertical	0.006	0.08		+93
QWR	Horizontal	0.05	0.08		+38
SSR	Vertical	0.043	0.12		+64
DSR	Beam axis	0.06	0.12		+50

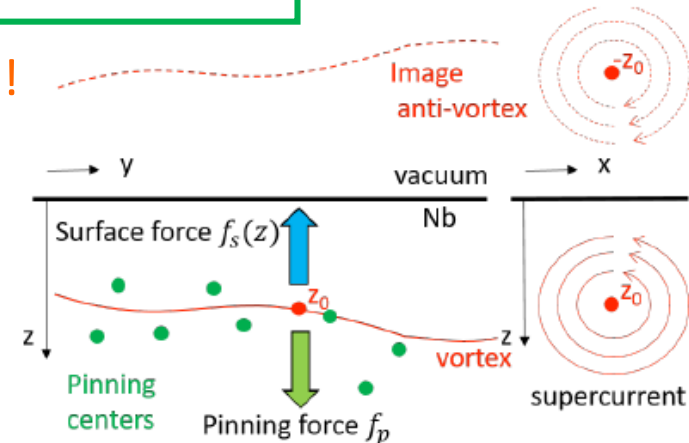
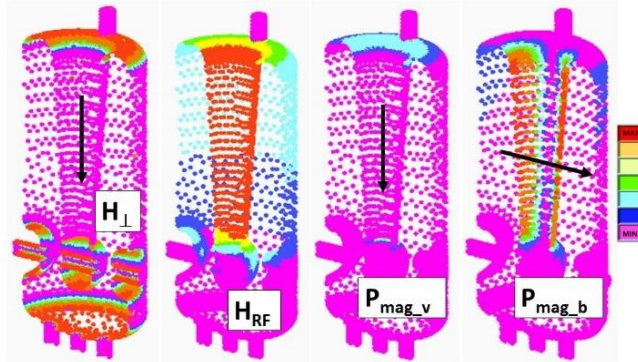


- Seule la composante normale à la surface serait piégée à la surface!

- Un modèle proposé:

$$R_{mag} = R_n \cdot \frac{H_{\perp}}{2 \cdot H_{c2}}$$

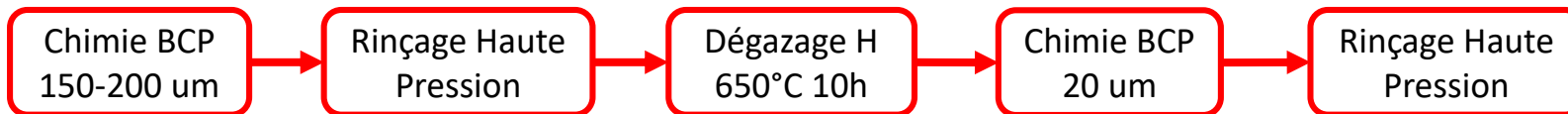
$$S_{mag} = \frac{\iint_S R_{mag} \cdot H_{RF}^2 \cdot dS}{H_{res} \cdot \iint_S H_{RF}^2 \cdot dS}$$



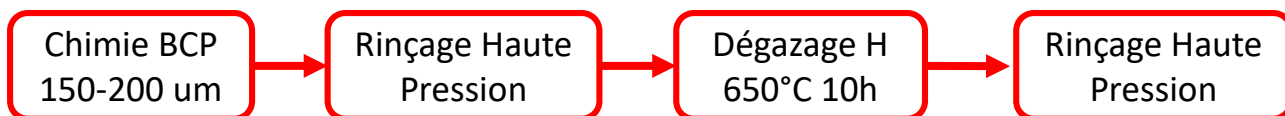


Les traitements thermiques innovants

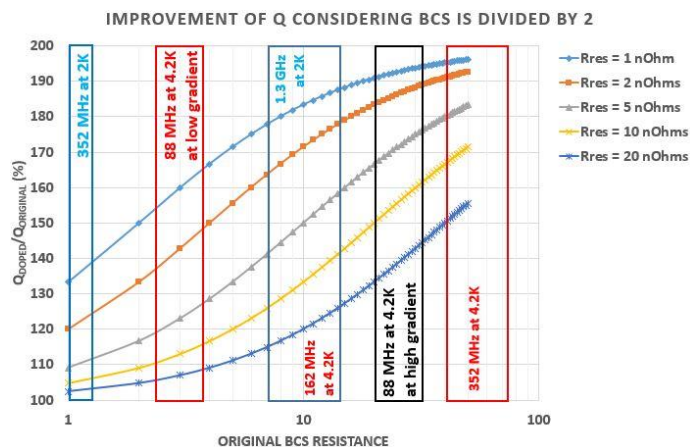
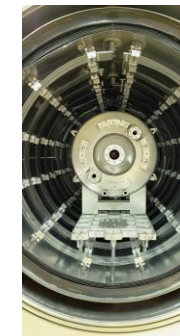
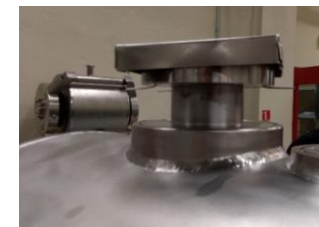
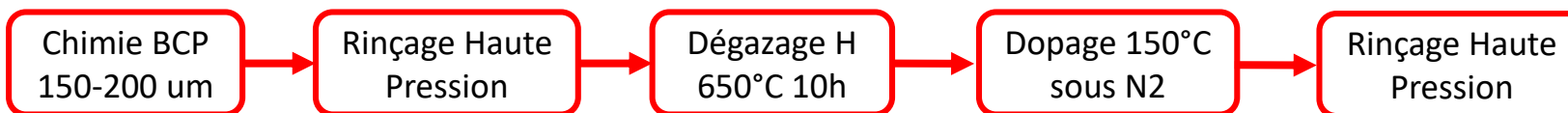
- Le traitement thermique standard sur cavité « Spoke »: 650°C pendant 10h pour dégazer l'hydrogène



- Traitement amélioré : plus simple et meilleure performance



- Le dopage de la surface à l'azote pour opérer à 4.2K?



En collaboration avec IRFU et DESY

- En discussion, les traitements à 300°C sous vide sont très prometteurs également.

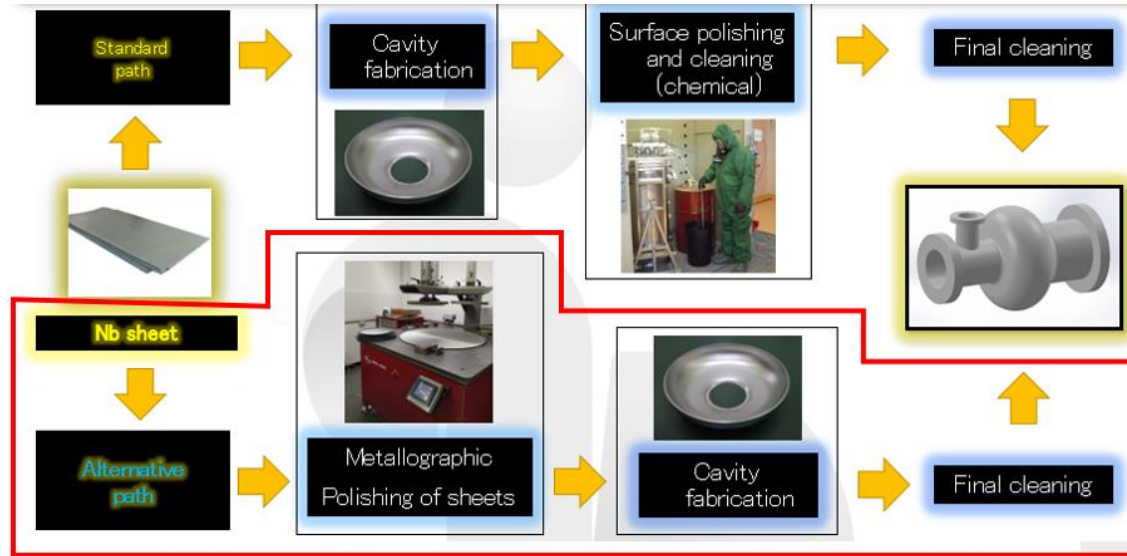


Le polissage métallographique : alternative aux traitements chimiques

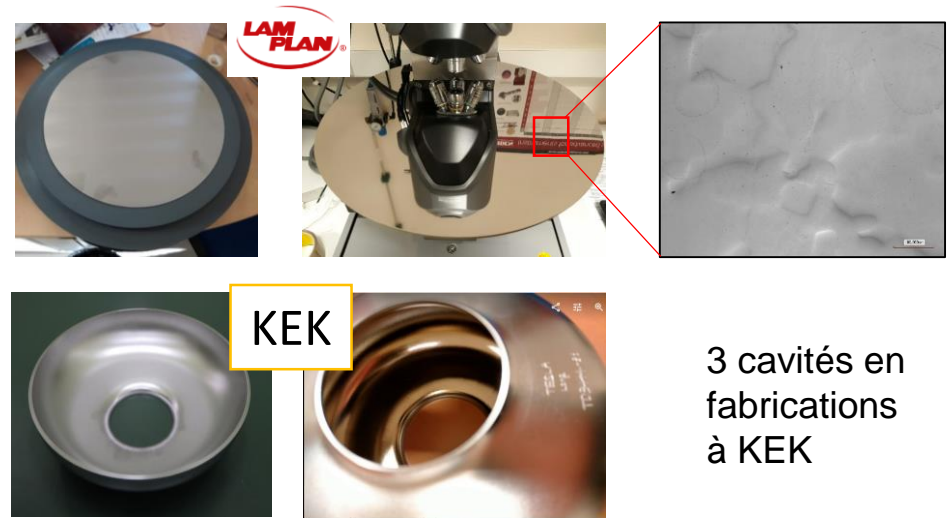
- Les motivations sont multiples :

- Diminution du coût de fabrication et traitement de surface des cavités
- Améliorer l'état de surface du Niobium et étudier son impact sur les performances SRF
- Substrat de meilleure qualité en vue du dépôt de couches minces
- Impact environnemental réduit (moins d'acide utilisé et à retraiter)

- Il faut repenser la manière de fabriquer les cavités



En collaboration avec IRFU et KEK (FJPPL)



3 cavités en fabrication à KEK

- Polissage métallographique optimisé sur échantillons pour le Niobium et contraintes SRF (thèse Oleksandr Hryhorenko, ENSAR2, H2020, 2019)

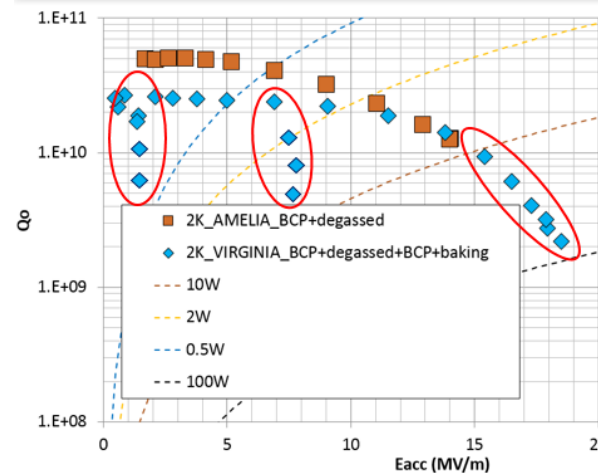
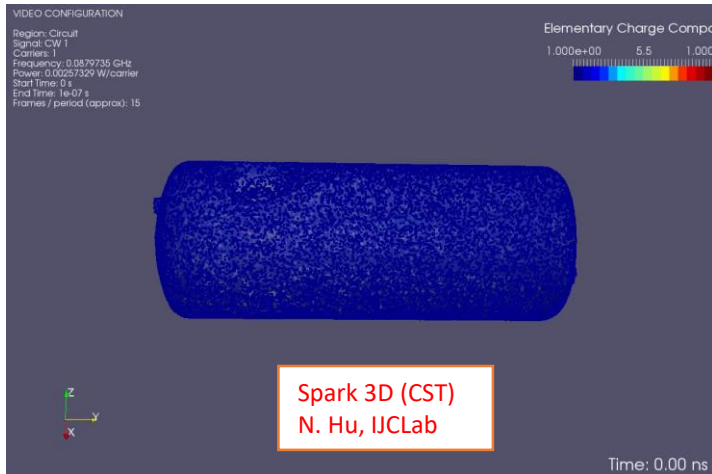


- Qu'est-ce que la SRF
- Les enjeux de la R&D SRF
- Les objectifs de la R&D SRF
- La R&D faite depuis Spiral2 sur le Niobium massif :
 - Les corrections géométriques
 - Les études de piégeage de champ magnétique
 - Les traitements thermiques innovants
 - Le polissage métallographique
- Les nouvelles R&D en cours
 - Dépôts anti-multipacting
 - La décontamination par plasma
 - Les matériaux supraconducteurs alternatifs



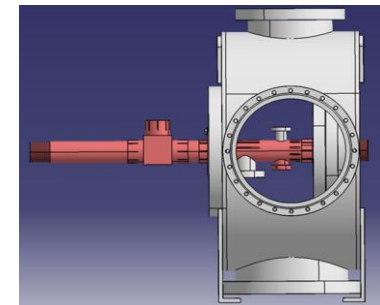
Les nouvelles R&D en cours

- **Multipacting : résonance électronique excitée par champ RF**
 - Composants concernés : cavités, coupleur RF, tube faisceau (e-cloud)
 - Optimisation géométrique : codes de simulations
 - Optimisation surface : réduction SEY (coefficient d'émission secondaire)
- **Collaboration IJCLab, LPSC, SIMAP (INC)**
 - EPISAMA (80 Primes) : Exploration de Procédés d'Ingénierie de Surface Anti-Multipacting pour les Accélérateurs.
 - Thèse : Y. Pisi
 - Recherche de nouveaux matériaux à faible SEY par ALD (Atomic Layer Deposition)



Banc SEY
(IJCLab)

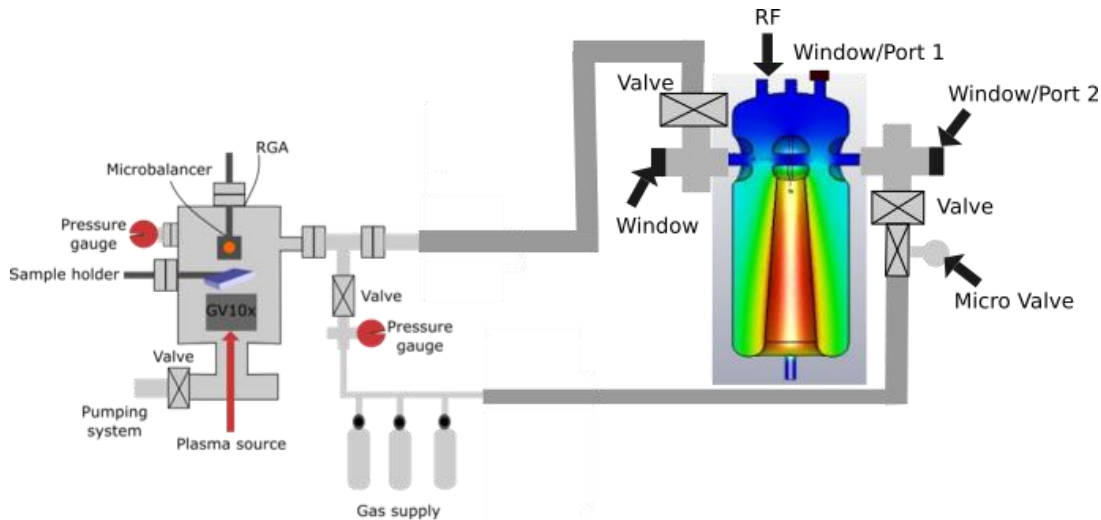
Banc multipactor
(LPSC)





La décontamination par plasma

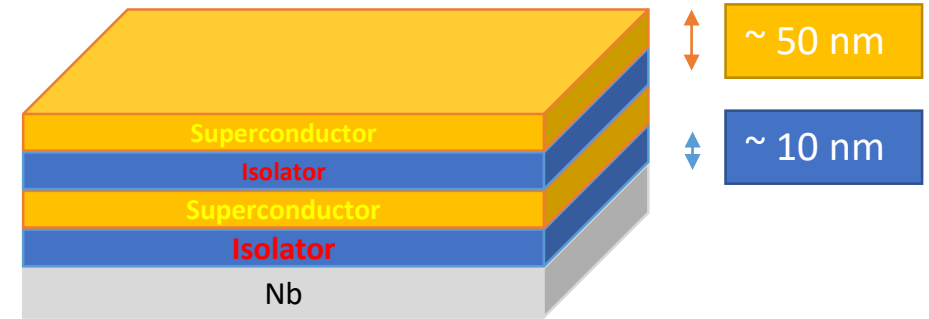
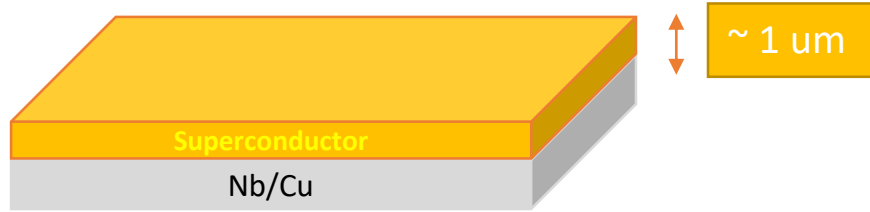
- **Motivations :**
 - Décontamination de cavité « in-situ » sans démontage de cryomodule. Excitation plasma par système RF existant.
 - Réduction du rayonnement X causé par la pollution de surface
- **Collaboration en cours de montage (GANIL, IRFU, LPSC, LPP, INSP (INP))**
- **Banc d'essai en opération à IJCLab**





Les matériaux alternatifs en couche mince

- 2 voies sont étudiées dans la communauté:



Couches épaisses (composés A15)

- A15 : Nb₃Sn, V₃Si déposé sur Niobium ou cuivre
- Utilisation à 4.2K (T_c > 15K)
- Le champ accélérateur peut être potentiellement doublé (~ 100 MV/m)
- Mais des limitations importantes (~ 20 MV/m) à cause de problèmes de stœchiométrie selon orientation cristalline

Les multi-couches (SIS)

- Couches supraconductrices (NbN or NbTiN) séparées par une couche isolante (Al₂O₃, AlN)
- Suggéré par Gurevich en 2007
- L'efficacité dépend du nombre de couches et de leur épaisseurs
- Le blindage multicouche n'a pas encore été démontré sous champ RF intense.
- ALD (Atomic Layer Deposition) est très prometteur

- Collaborations : I-FAST, IRFU
- Rôle IJCLab : traitement thermique, préparation de substrat (polissage métallographique)

Vide&Surfaces Platform for analysis and production of surface and material



PANAMA : Platform for the ANalysis and chAracterization of Materials for Accelerators



A network of instruments and expertise dedicated to accelerator R&D of materials and surfaces. (Superconductors, photocathodes, Ultra High Vacuum, beam lines, ...)



GXRD



SIMS



SEM (EDS + EBSD)

- Grazing angle XRD
- SEY measurement,
- Optical microscope
- Cryogenic test stands (RRR, **thermal conductivity, ...**)
- Cryostat for SRF cavity characterization
- Thin film deposition capabilities (TiN, NEG)
- Metallographic polishing device



- Electronic microscope EDS+EBSD
 - SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometer
 - Confocal microscope
 - Test stand for Specific heat (Cp) measurement
 - XPS
 - **Multi-technique set-up (XPS, LEED, SEY)**

- Magnetometry (Hc1, Hc2)
- Cryogenic test stands (RRR, ...)
- Cryostat for SRF cavity characterization
- Optical microscope
- Metallographic polishing device
- Hardness measurement
- Thin films deposition capabilities (ALD)
- Point contact spectroscopy (superconducting gap)



CONCLUSION

- IJCLab reconnu pour ses contributions aux grands projets accélérateurs
 - Spiral2, XFEL, ESS, MYRRHA et aujourd'hui PIP-II
- Une R&D originale sur cavité « basse fréquence » a rendu IJCLab visible dans la communauté SRF
 - R&D plus lente que pour les elliptiques car plus chère et difficile à fabriquer
 - Mais complémentaire pour affiner notre compréhension des phénomènes physiques impactant la résistance de surface d'un matériau supraconducteur en régime radio-fréquence.
- Aujourd'hui à la frontière des limites du Niobium, la communauté met de plus en plus de moyens dans la recherche de nouveaux matériaux (couche mince, multi-couches).
 - IJCLab doit se positionner dans cette course tout en gardant sa spécificité « basse fréquence ».
 - IJCLab collabore avec des partenaires très avancés dans l'élaboration de couches minces supraconductrices (IRFU, I-FAST) ou autres matériaux (SIMAP).
- L'élaboration de couches minces n'est pas le seul challenge de demain!
 - La caractérisation cryogénique de ces couches sous champ RF intense (bottleneck)
 - La décontamination de surface pour l'opération fiable à des gradients > 40 MV/m



Merci pour votre attention

Toute cette R&D n'aurait pas été possible sans :

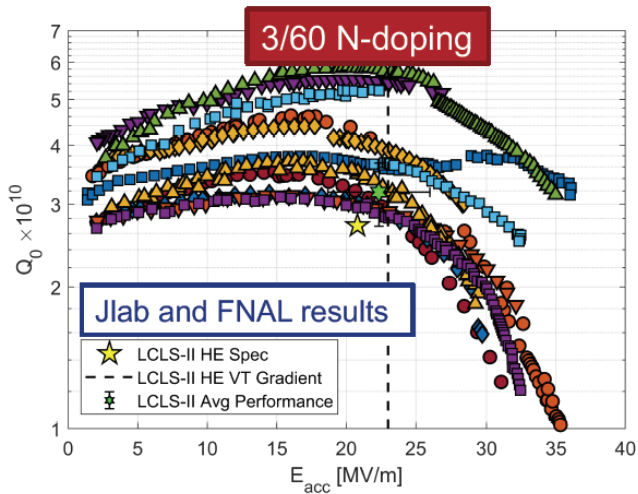
Le soutien de l'IN2P3, la direction du laboratoire (IPNO puis IJCLab) et du pôle accélérateur, tous les intervenants de la plateforme SUPRATECH, le service cryogénie, le service RF, l'équipe MAVERICS et bien sur tous les étudiants (M2, doctorants, post-doctorant, ...)



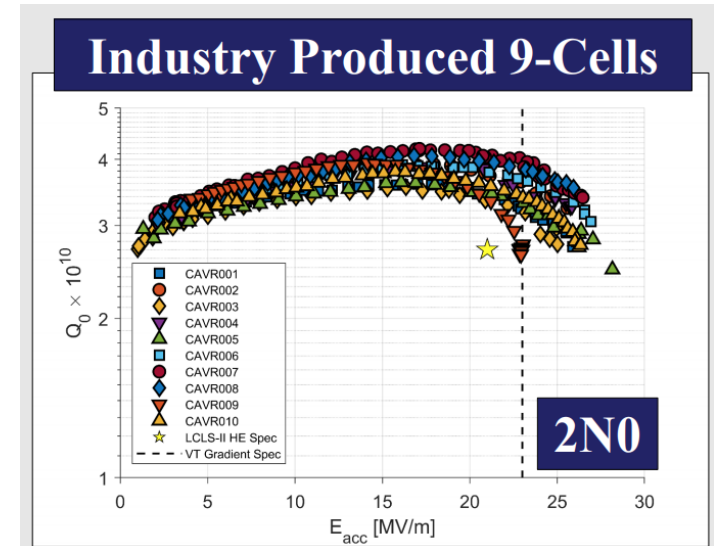
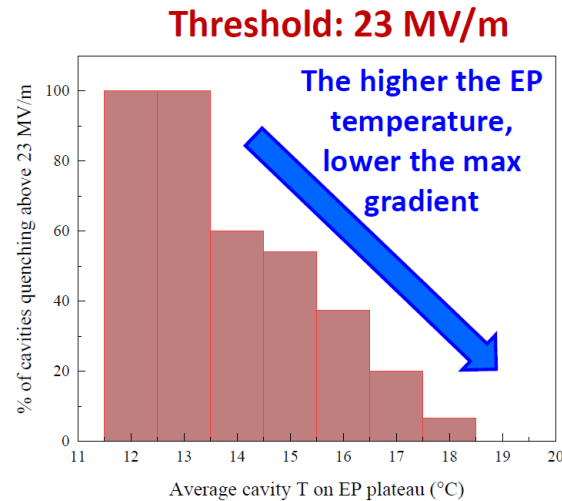
HEAT TREATMENTS : N2 DOPING

- Injection of Nitrogen in the furnace at the end of annealing cycle (800°C 3h) (subsequent EP ~ 5-10 um required)
- Several recipes **2/6**, **2/0** and **3/60** (**Minutes in nitrogen at 800°C/Minutes under vacuum at 800°C**)
- Lower Q_0 but better repeatability with 2/0 => chosen for LCLS2-HE
- Cold EP is the key to reach gradients above 30 MV/m (More uniform removal rate after doping)
- Low residual magnetic field and fast cool-down capabilities are essential (high magnetic sensitivities)

F. Furuta, MOPTEV012, SRF2021



M. Martinello, SRF2021

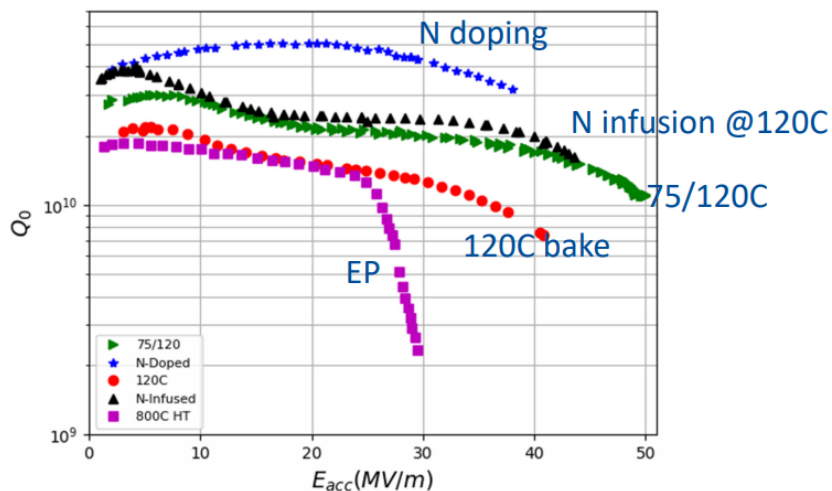


D. Gonnella, TUPFDV003, SRF2021

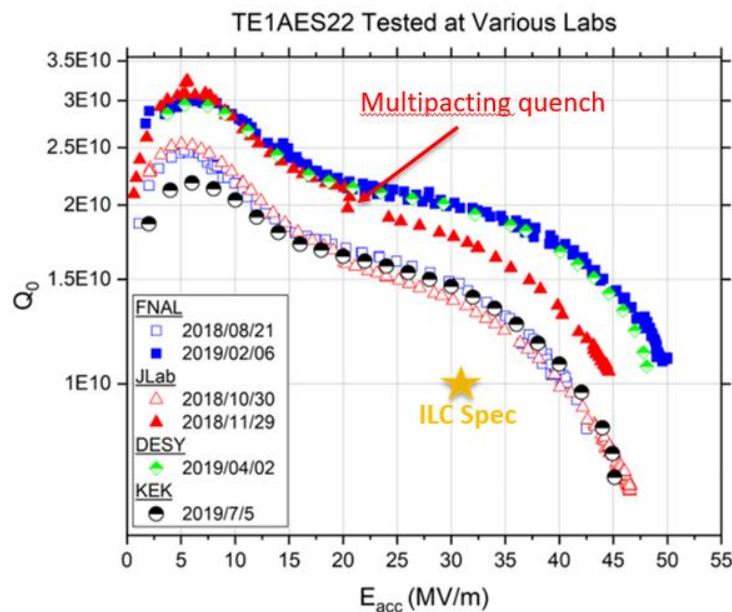


HEAT TREATMENTS : 2-step baking

- Equivalent to Low Temperature Baking 120°C 48h with an additional intermediate step at 75°C during several hours. Associated with cold EP (~11°C).
- Alternative to N2 infusion to reach even higher gradients!
- More promising as simpler to apply (post-oxydation treatment like standard low-T baking)
- Impressive performances verified by world-wide testing (branching observed due to cool-down conditions)

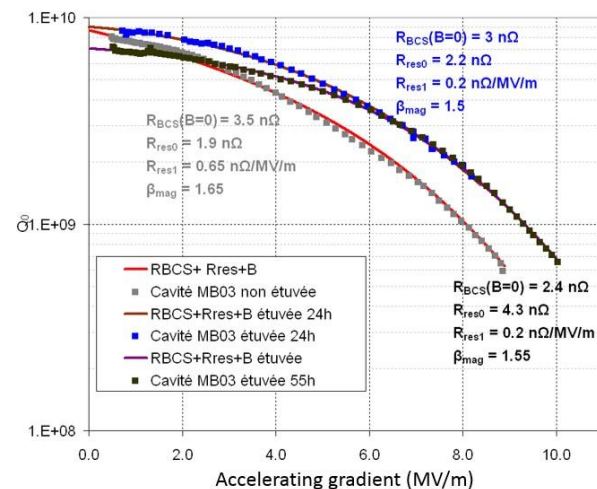


A. Grasselino, FNAL, SRF2019



M. Martinello, FNAL, TTC2020

120°C baking on Spiral2 QWR (Slow T ramp-up ⇔ 2-step ?)



D. Longuevergne, IJCLab, SRF2017



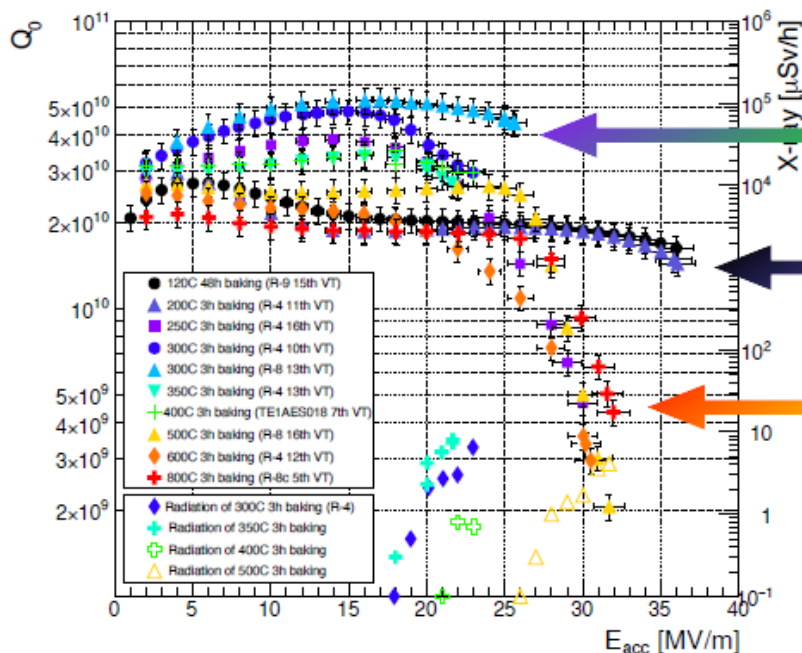
HEAT TREATMENTS : Mid-T baking

- Systematic study at KEK :

Comparison of Q-E curve



- Cavity temperature during measurement
- 120 ~ 600°C baking ... at 2.0 K (2.00~2.01 K)
 - 800°C baking ... at 2.1 K (2.07K)



250 ~ 400°C 3 h

- Extremely high Q value and anti-Q slope are observed
- Highest Q value at 2.0 K is ~ 5E10 for 300°C baked cavity
- Magnetic field was trapped before 2 K measurement of 350°C baked cavity -> Q value is Essentially a bit higher

Standard recipe (120°C 48 h), 200°C 3 h

- 200°C baked cavity follows the standard recipe (120°C 48h)
- Q-E behavior at low E_{acc} is slightly different

500 ~ 800°C 3 h

- High Q value wasn't observed
- HFQS occurred

• Varying the temperature of furnace baking varies Q-E behavior drastically

• In 300 ~ 400°C furnace baking, the cavity is limited at around 25 MV/m?

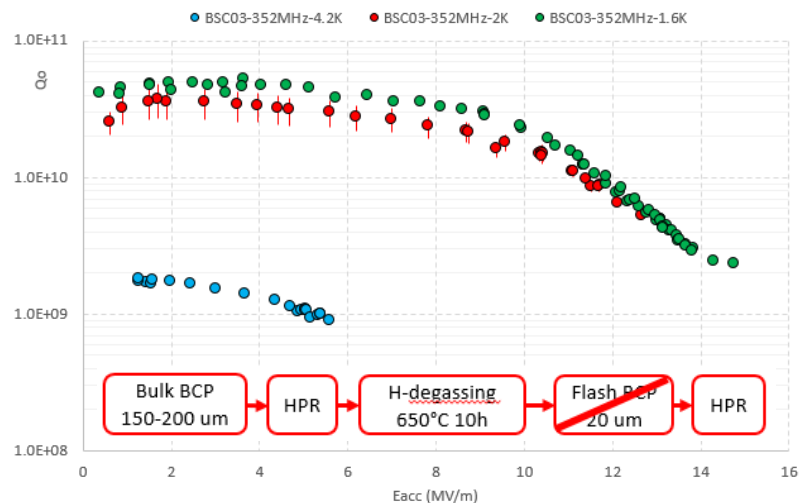
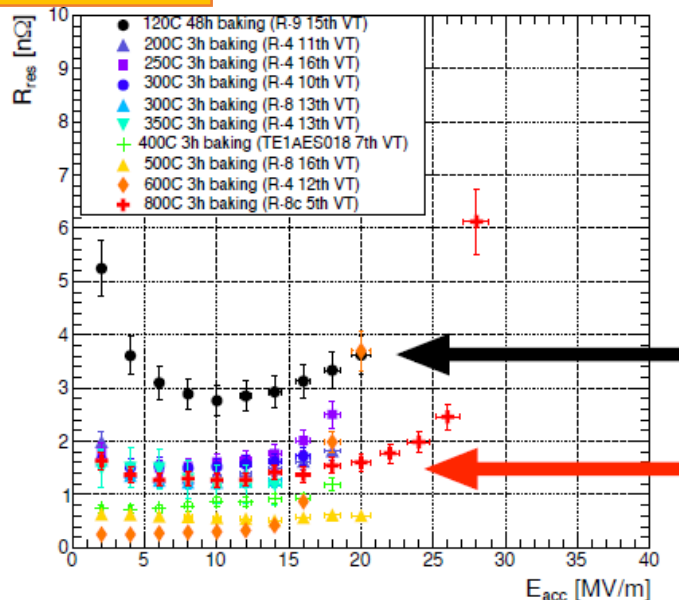
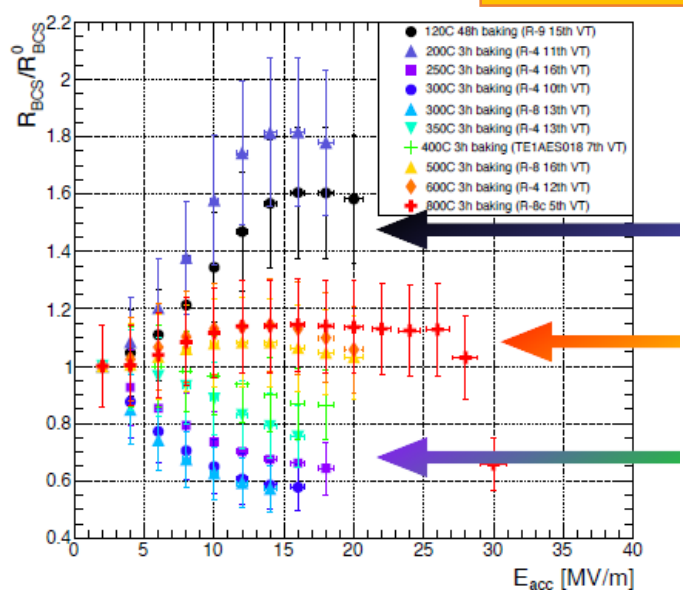
H. Ito, KEK, SRF2021



HEAT TREATMENTS : Mid-T baking

- Temperature between 250-300°C minimizes R_{bcs}
- Temperature between 500-600°C minimizes R_{res}
- Very high Q (Low R_{res}) for Low Beta at 650°C as well observed without subsequent BCP etching.

H. Ito, KEK, SRF2021



MYRRHA
Simple Spoke
Cavity

D. Longuevergne, IJCLab,
TTC2020



Genesis of the research team MAVERICS



The functional performances (accelerating gradients, RF losses, beam quality, Ultra Vacuum, ...) of the accelerator components (accelerating structures, beam lines, etc.) are closely related to the materials

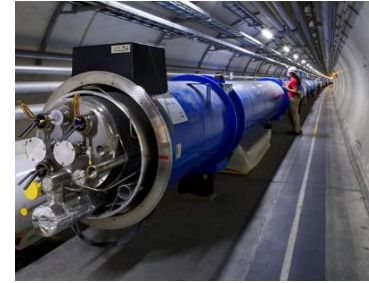
SRF cavities



ESS superconducting materials



LHC beam lines



LHC beam screen



→ the intrinsic limits of the materials currently used are reached!

→ New materials studies are necessary to improve the performances of actual and future particle accelerators

Objective

- ✓ improve our understanding of limiting physical phenomena related to materials and their surface in order to overcome this limitation and propose solution to improve the performances of high energy particle accelerators;
- ✓ Develop:
 - Tests stand and tools dedicated to materials characterization
 - Innovative surface treatment and/or heat treatment processes
- ✓ Study and develop new materials / alternative materials (thin layers)





- **Superconducting properties** of surfaces (surface resistance and magnetic shielding of SRF cavities)
- **Dynamic pressure**
 - Stimulated desorption / Collective effects (electron clouds)
- **Interactions between particles** (electrons, photons, ions) **and material surfaces** (secondary electron emission, modification of surface chemistry)

Goal: Improve the performance of high energy particle accelerators



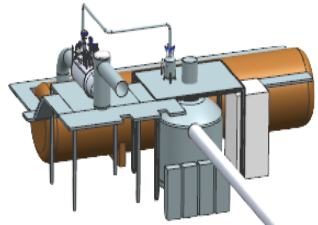
	SRF cavities	Beam lines / vacuum chambers		
	Increase accelerator gradients Reduce RF losses	Multipacting mitigation	Limitation of pressure increases	
Surface treatments	<u>Bulk niobium:</u> Thermal treatments (<i>HELOISE / MP SRF</i>) N doping / infusion (<i>HELOISE/ MP SRF</i>) Polishing (<i>PACCAS/ MP SRF</i>)	<u>All materials:</u> Heat treatments Surface conditioning Plasma cleaning		Surface treatments
Thin layers	<u>Alternative Materials:</u> superconducting multilayers S-I-S (<i>Project AXE SRF / MP SRF</i>)	TiN, amorphous carbon, NEG alloys (<i>Project MULTIPAC du MP SRF + CNRS 80PRIME</i> <i>Project Vacuum / MP NPC</i>)		Thin layers

→ Analysis of material surfaces → Vacuum&Surfaces platform

- Participation in accelerator design / construction projects (ESS, MYRRHA, PIP2)
- Participation in the Transverse Group FATI (metal additive manufacturing) / Project FABBAC



PIP-II LINAC



 **Cryoplant**



Single Spoke
SSR1 X 2
16 Cavities
325 MHz



HWR

CDS



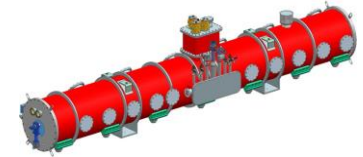
Single Spoke
SSR2 X 7
35 Cavities
325 MHz



Elliptical
LB650 X 9
36 Cavities
650 MHz

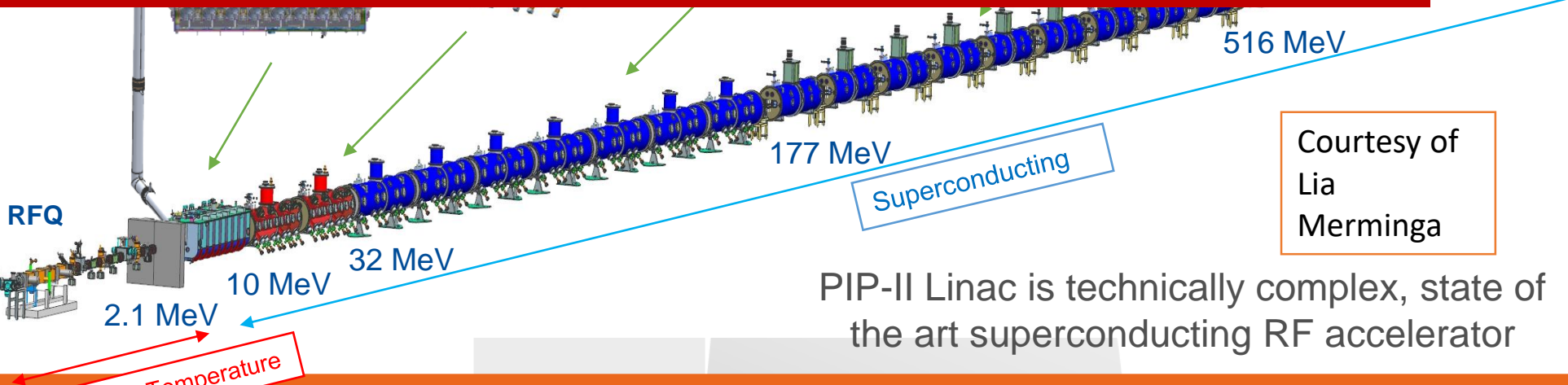


Elliptical
HB650 X 4
24 Cavities
650 MHz



PIP-II is the world's highest energy and power CW proton linac, and the U.S. first accelerator project to be built with major international contributions

H- Ion source



Room Temperature

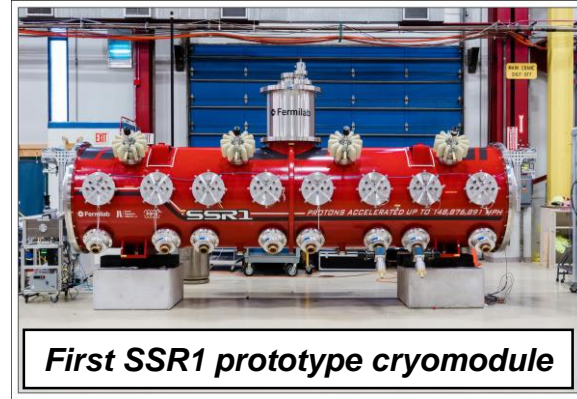
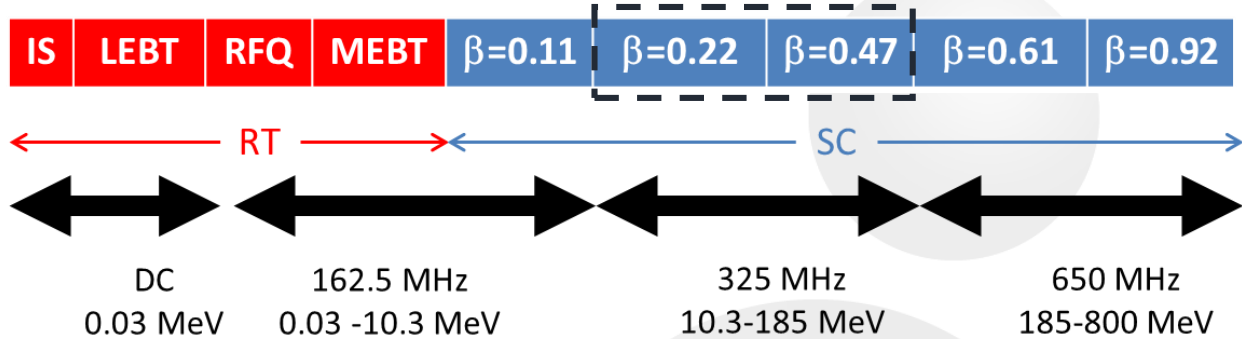
Superconducting

Courtesy of Lia Meringa

PIP-II Linac is technically complex, state of the art superconducting RF accelerator

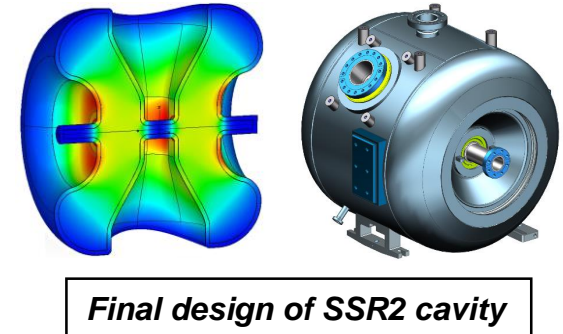
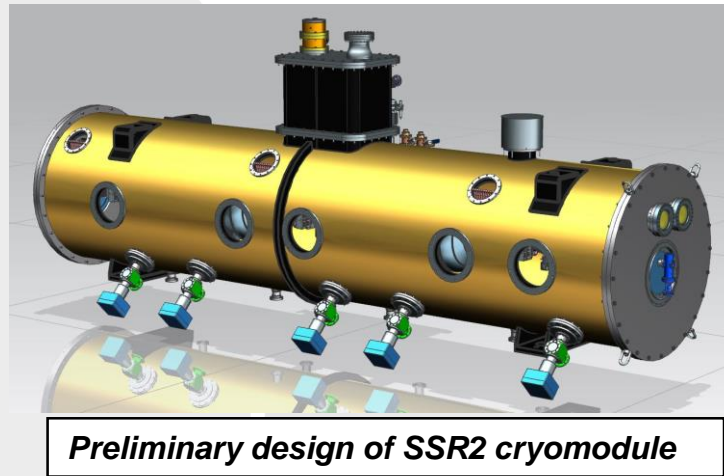


SSR CRYOMODULES



Courtesy of
Lia
Merminga

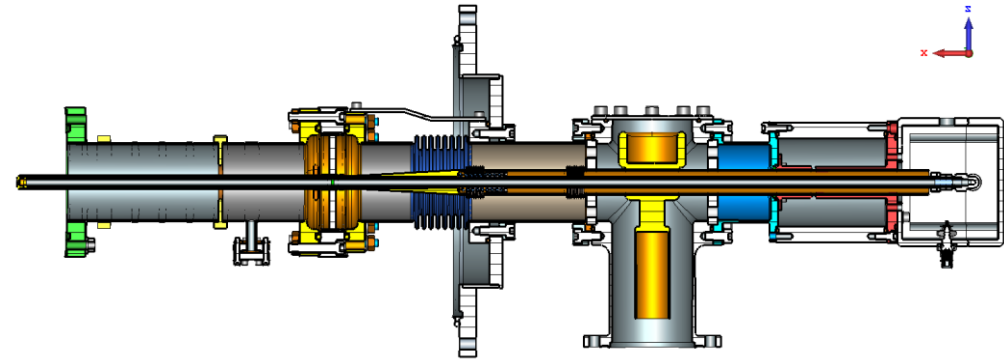
	SSR1	SSR2
# CMs	2	7
Cavities per CM	8	5
Solenoids per CM	4	3
CM configuration c: cavities; s: solenoids	4x (csc)	SCCSCCSC
CM length (m)	5.2	6.5





CAVITIES :

- **Prototyping Phase : 6 cavities built by 2 companies (Zanon and RI)**
 - Support fabrication follow-up of 3 cavities
 - Optimization of surface processing on 4 cavities
 - Validation in vertical cryostat of 4 cavities
 - Shipping of 4 cavities to FNAL
- **Production Phase: 33 cavities**
 - Support fabrication follow-up of 33 cavities
 - Validation in vertical cryostat of 33 cavities
 - Surface re-processing of cavities at IJCLab ~ 25%
 - Shipping of 33 cavities to FNAL

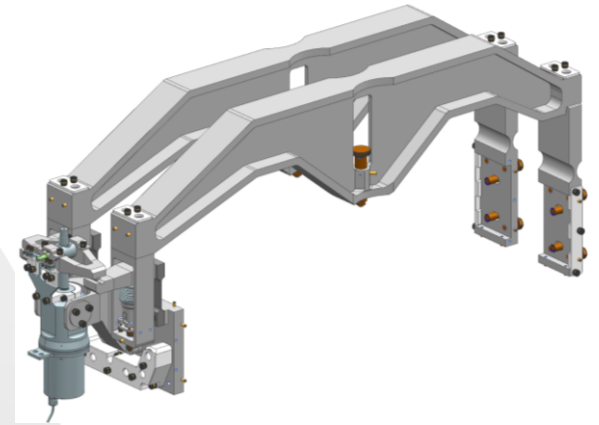


COUPLERS :

- **Prototyping Phase : 8 couplers**
 - Procurement of 4 couplers (**Done in November 2020**)
 - Shipping of 4 couplers to FNAL
 - Support during coupler RF conditioning at FNAL
- **Production Phase : X**

TUNERS :

- **Prototyping Phase : 5 tuners**
 - Procurement of 5 tuners (**Done in November 2020**)
 - Validation in vertical cryostat of 5 tuners
 - Shipping of 5 tuners to FNAL
- **Production Phase : X**





PIP-II 800 MeV SRF LINAC : SSR2 jacketed cavity

- Conception RF par Fermilab
- Conception mécanique commune (Fermilab, IJCLab, BARC)



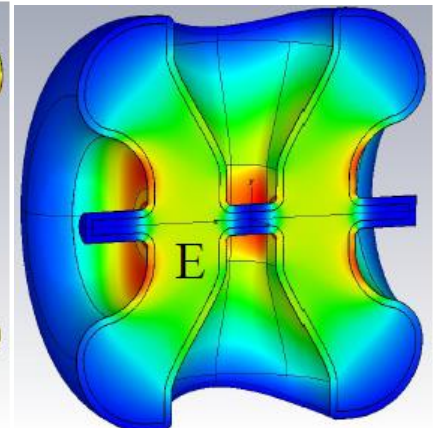
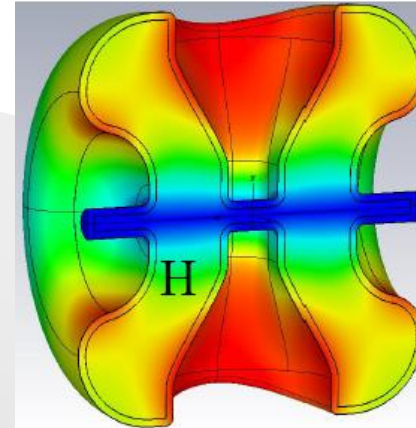
Cavité nue



Cavité avec tank



- ✓ Material : Bulk Niobium
- ✓ $\beta = 0.472$
- ✓ $F_0 = 325$ MHz
- ✓ T : 2K
- ✓ Eacc : 11.5 MV/m
- ✓ $Q_0 > 8^E9$ @ 11.5 MV/m
- ✓ Bpk/Eacc = 6.75 mT/MV/m
- ✓ Epk/Eacc = 3.5
- ✓ $r/Q = 305 \Omega$
- ✓ G = 115



MAVERICS TEAM @IJCLab		High Gradient	High Qo	High reliability in machine configuration (Coupler, tuner, multipacting)
Bulk Niobium @ 2K @ 1.3 GHz	Theoretical limit	229 mT	~9E10	Performance en CV
	Best achieved	~206 mT (CORNELL) ~166 mT (ANL 72MHz) ~156 mT (IPNO 352 M)	~7E10 (N2 doping)	~3E10 (N2 doping) ~160 mT
	Commonly achieved	~100 mT	~2E10	~1E10 >110 mT
Alternative materials (MgB2, Nb3Sn) @ 4.2K @ 1.3 GHz	Theoretical limit	Nb3Sn : 511 mT MgB2 : 425 mT	Nb3Sn : ~1E11 MgB2 : ~1E15	anti-multipacting layer (TiN)
	Best achieved	Nb3Sn : < 70 mT MgB2 : pas de cavité	Nb3Sn : 2E10	
	Commonly achieved	X	X	
Multi Layers (SIS)	Theoretical limit	?? > 1 T	Qo (4.2K) = Qo	X
	Best achieved	X	X	X
	Commonly achieved	X	X	X

P
A
C
C
A
S
-
S
R
F
A
X
E
-
S
R
F
H
E
L
O
I
S
E







P
I
P
-
2
A
X
E
-
S
R
F
H
E
L
O
I
S
E

P
I
P
-
2
M
Y
R
R
H
A
P
A
C
C
A
S
M
U
L
T
I
P
A
C

E
P
I
S
A
M
A
M
U
L
T
I
P
A
C

A
X
E
-
S
R
F

A
X
E
-
S
R
F

 R&D supported by IN2P3
  R&D supported by Projets (MYRRHA, PIP-II)
  R&D non supported
  IJCLab
  LPSC
  External Collaboration (DESY, KEK, FNAL)

Synthèse Structuration SRF

© Pôle ϕ nucl. / D.Verney

Vacuum & Surface Platform (IJCLab)

SUPRATECH Platform & Cryogenic Service (IJCLab)

LPSC

LPSC & RF Tech

SRF PARTNERS						
CERN (Europe, TTC)	HZB Berlin (Germany, TTC)	CEA/IRFU/DACM (France, TTC)	CNRS/INC/SIMAP (CNRS/INC)	DOE/Fermilab (USA, TTC)	KEK (Japan, TTC)	DESY (Germany, TTC)
XX		XX		X	XX	X
		XX			XX	
		XX			XX	
		X			XX	
			X			
					XX	
						X

