

Projet MINERVA pour un Linac supraconducteur à protons de 100 MeV et son système cryogénique

Olga Kochebina, Tomas Junquera, Florian Dieudegard
Accelerators and Cryogenic systems, Orsay, France

Dirk Vandeplasseche
SCK-CEN, Mol, Belgium

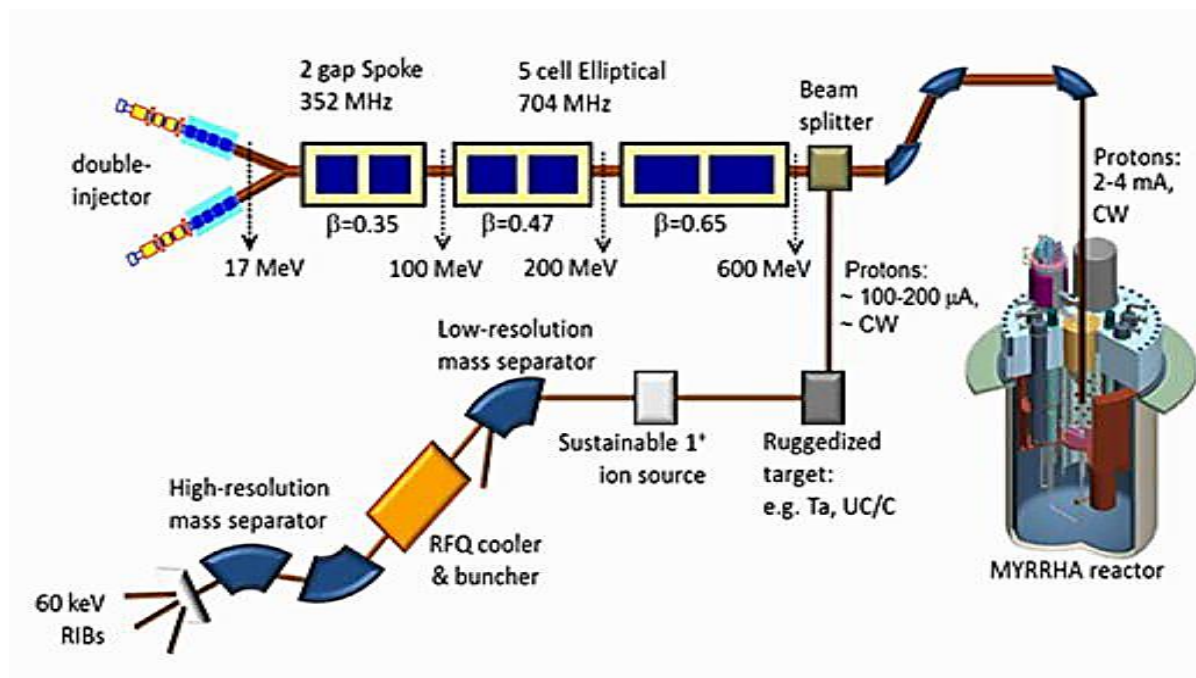
Projet MYRRHA

Projet MYRRHA

Qu'est-ce que c'est ?

- Un démonstrateur de réacteur piloté par accélérateur (ADS) pour la transmutation des déchets nucléaires
- Un démonstrateur du concept ADS à l'échelle préindustrielle
- Un système d'irradiation polyvalent et flexible

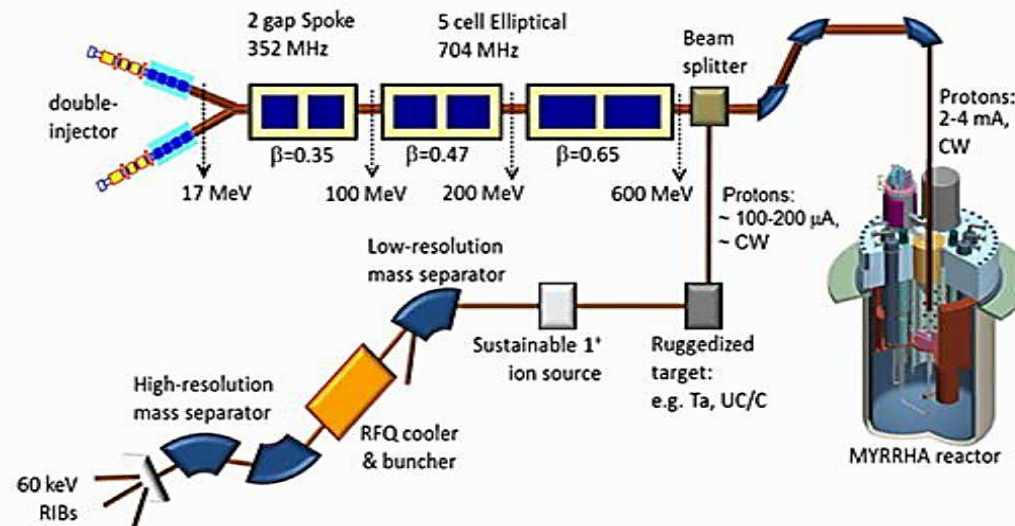
Multipurpose
hybrid
Research
Reactor for
High-tech
Applications



Projet MYRRHA

Accélérateur	
particules	protons
énergie du faisceau	600 MeV
courant du faisceau	De 2.4 à 4 mA

Cible	
réaction principale	spallation
rendement	$2 \cdot 10^{17}$ n/s
matière	LBE (liquide de refroid.)



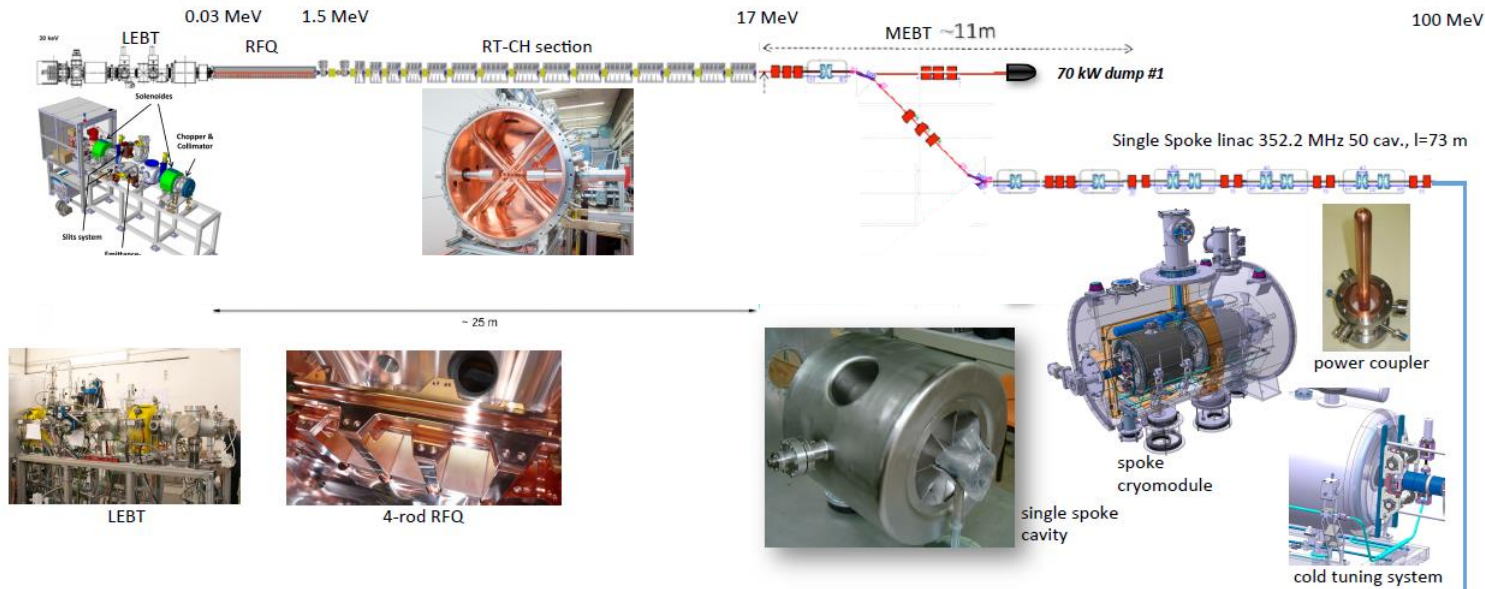
Réacteur	
puissance	De 65 à 100 MW _{th}
k_{eff}	0,95
spectre	neutrons rapides
liquide de refroid.	LBE

Niveau de fiabilité extrême

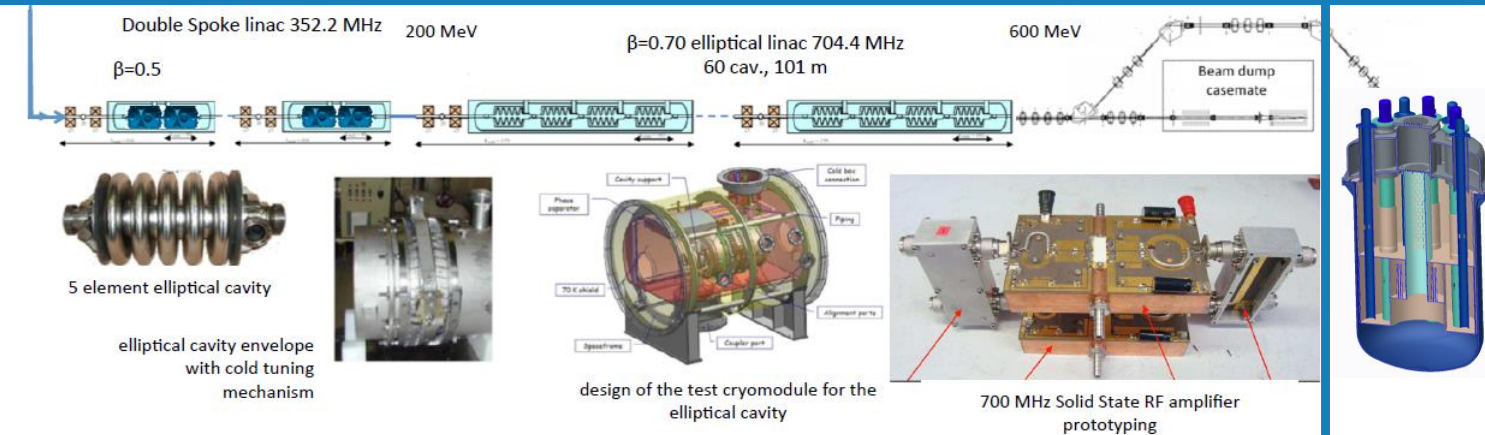
Maximum 10 trips de faisceau de plus de 3 secondes sont autorisés par une période de fonctionnement de 3 mois

Phases du projet MYRRHA

Phase 1 – 100 MeV



Phase 2 – 600 MeV



Phase 3 – Reactor

7 septembre 2018

Décision du gouvernement belge :
budget de **558 M€** pour la **phase 1**

- **287 M€** investissement (CapEx) pour la construction de MINERVA (LINAC 100 MeV + PTF) 2019 – 2026
- **115 M€** pour la suite de la conception, la R&D et les licences pour les phases 2 (LINAC 600 MeV) et 3 (réacteur) pour 2019-2026
- **156 M€** pour OpEx de MINERVA pour la période 2027-2038

**MINERVA =
MYRRHA Phase 1 +
R&D Phase 2 +
R&D Phase 3**

MINERVA : Phase 1 de MYRRHA

Sous-ensemble représentatif du linac MYRRHA complet (600 MeV)

Objectifs

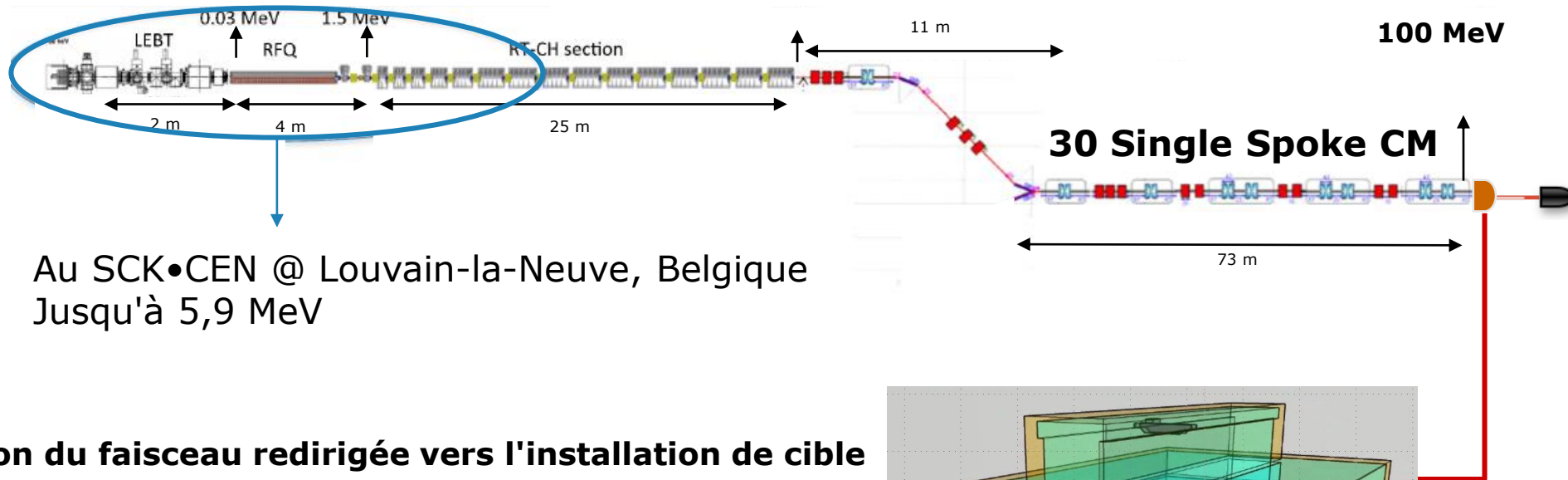
- Mise en œuvre de « Fault tolerance schemes »
- Validation des choix technologiques (pour l'injecteur)
- Évaluation de l'objectif de fiabilité pour le linac MYRRHA

Applications de MINERVA

- Exploiter la fiabilité extrême des accélérateurs, CW, faisceau de protons de haute intensité (jusqu'à 4 mA)
- Système ISOL (Proton Target Facility) capable d'accepter jusqu'à 1/8 du courant du faisceau (500 μ A) → production des isotopes
- Cible de fusion capable d'accepter le courant complet du faisceau

Vue schématique de MINERVA

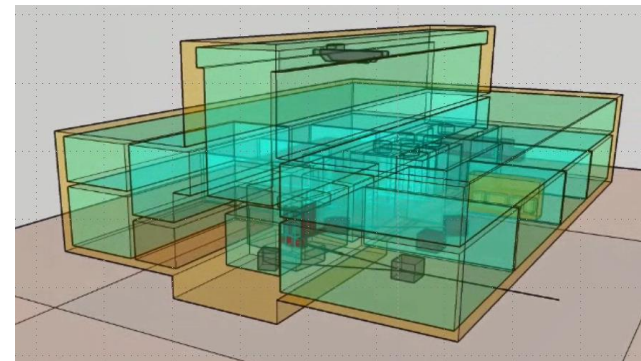
LINAC de proton 100 MeV



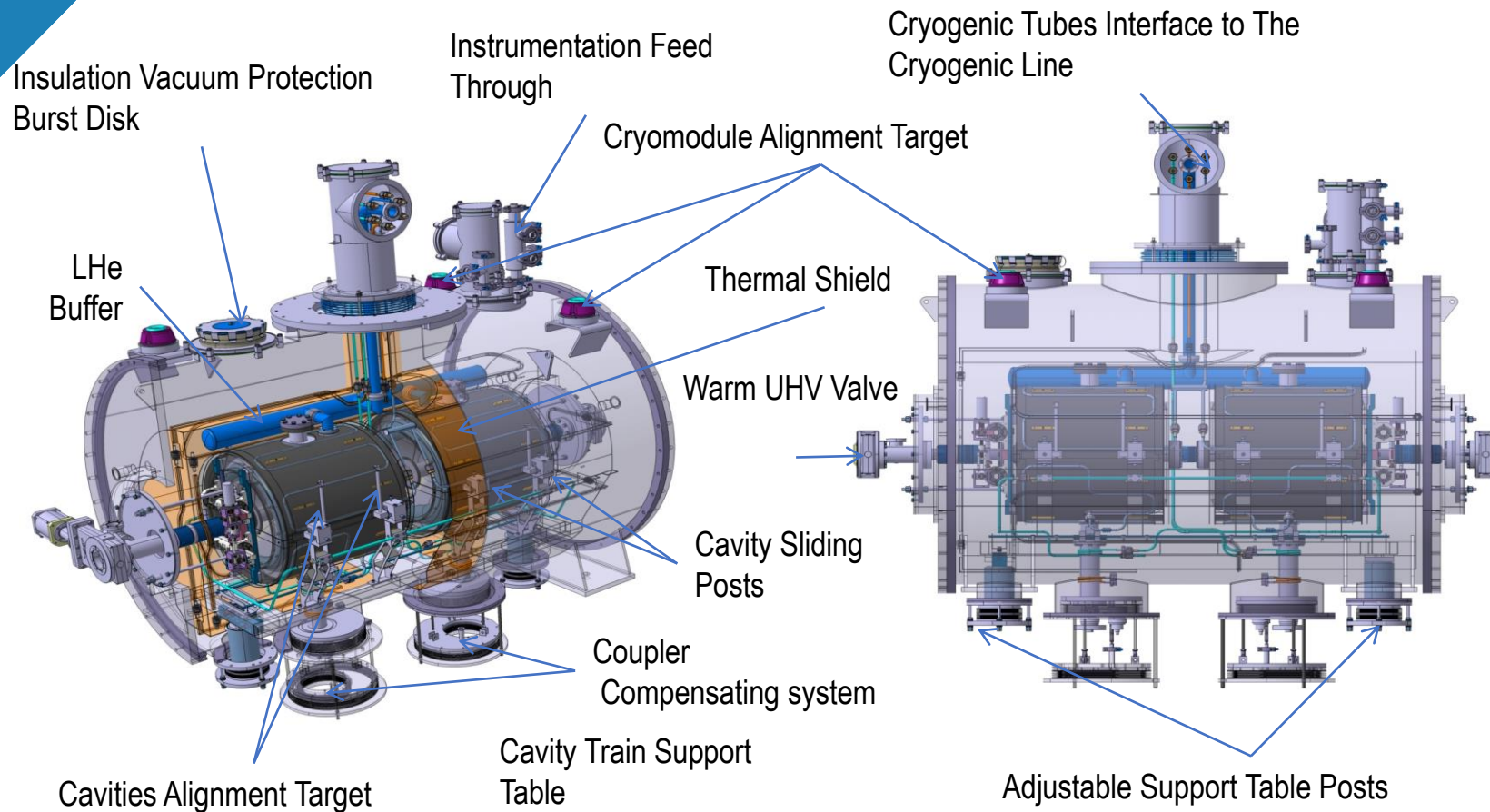
Au SCK•CEN @ Louvain-la-Neuve, Belgique
Jusqu'à 5,9 MeV

Une fraction du faisceau redirigée vers l'installation de cible

Sujet de recherche : études de matériaux pour des cibles de haute intensité (faisceau [4 mA])
Production des isotopes médicaux



Cryomodule de MINERVA



2 Single Spoke Cavities

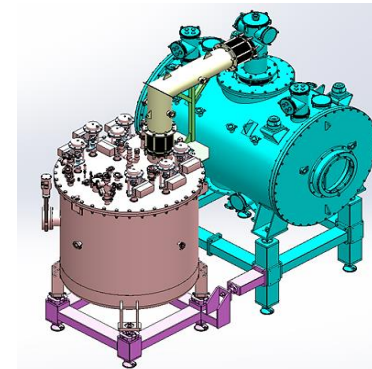
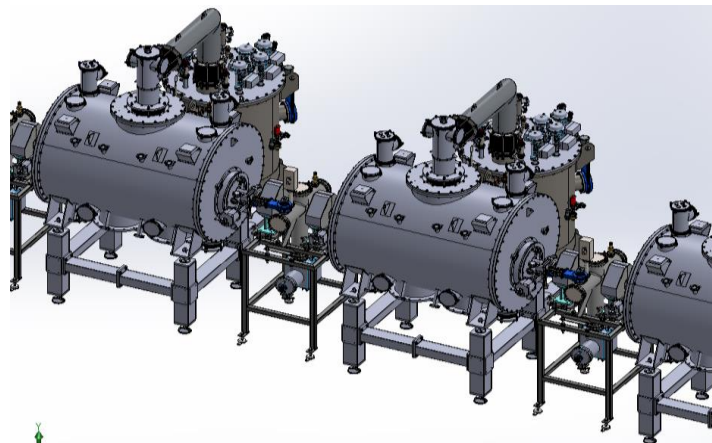
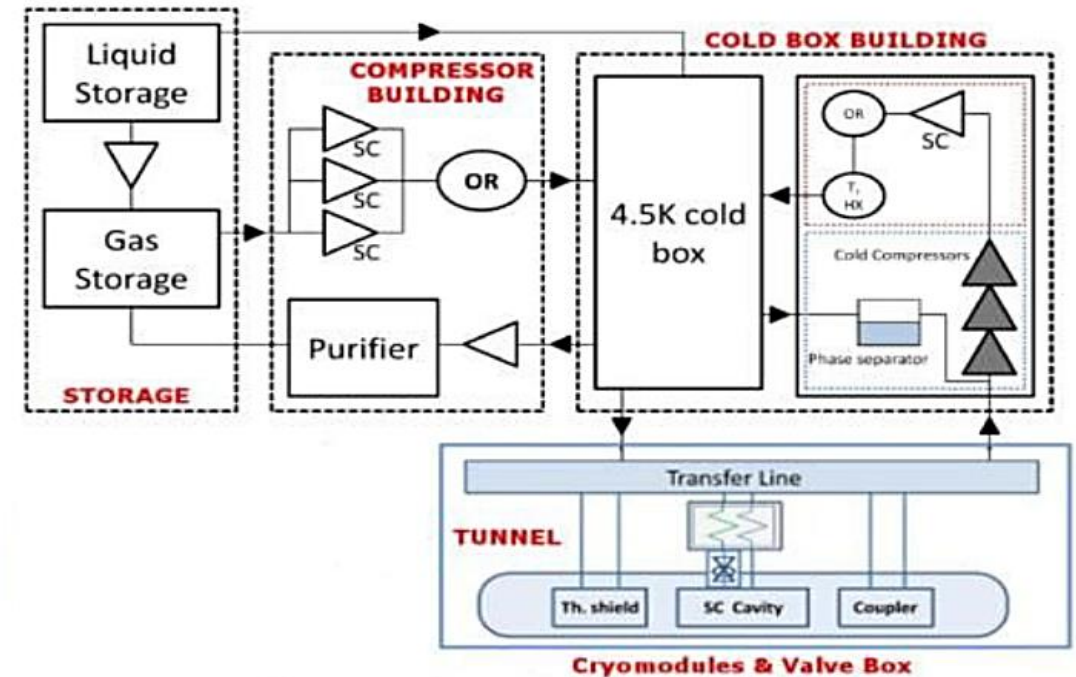
Parameter	Value
Optimal β	0.375
Frequency	352.2 MHz
Nominal E_{acc}	6.4 MV/m
Fault tolerance E_{acc}	8.2 MV/m
Q_0	$2 \cdot 10^9$
L_{acc}	0.32 m
$P_{cav} @ 2K$	8.9 W
L_{CM}	2.2 m

Système cryogénique de MINERVA

Charges thermiques

	Heat losses [W]	T [K]	Equiv. Cryo Power @4.5K [W]
30 Cryomodules	950	2	2156
60 Couplers level 1	180	10	180
60 Couplers level 2	540	60	54
30 Thermal shields	2550	40	255
Total:			2645

Cryo plant and distribution



Phases principales de MINERVA

Phase R&D

- R&D pour des composants du linac supra
- Développements de cryomodule
- Tests de performances du cryomodule @ IPNO (2021-2022)



Phase d'industrialisation : de la R&D à la production

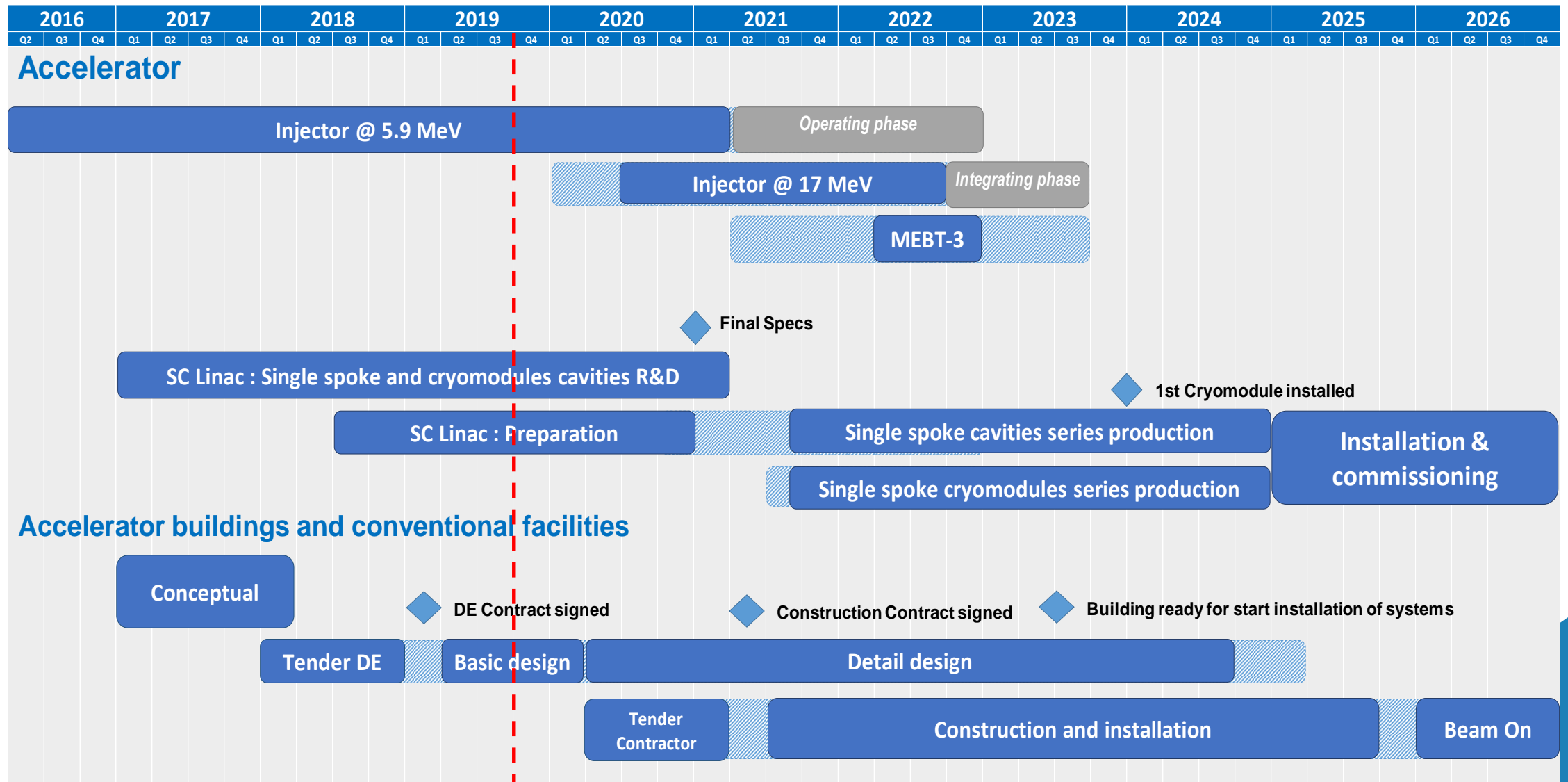
- Etudes d'industrialisation
- Adaptation du cryomodule pour la production en série
- Adaptation de l'outillage industriel

Production en série

- 30 cryomodules
- 60 cavités Spoke
- 60 coupleurs de puissance RF
- Tests intermédiaires et de conditionnement
- Intégration du cryomodule
- Tests finaux du cryomodule

Installation dans le tunnel

MINERVA : Calendrier



État actuel de MINERVA

Conception du LINAC de 100 MeV définie

- Prototypage de composants considéré comme terminé
- Solution technique éprouvée pour tous les composants critiques
- Dynamique faisceau optimisé pour être «fault tolerant»
- Renouveau des collaborations avec des laboratoires et des industriels

Prototypage intégré en cours

- **Les plateformes de tests pour combiner composants et techniques**
 - Pour RFQ, Rebunchers, Cavités CH1 et CH2 à l'IAP Frankfurt
 - Pour les coupleurs RF au LAL
 - Pour le cryomodule à l'IPNO
 - Pour l'injecteur du SCK • CEN LLN
- **Système de contrôle**
 - Contrôle des composants déjà installés
 - Services centraux et systèmes d'archivage
 - Alarmes (en cours)
 - Système d'acquisition de données polyvalent
- **Modularité**



Conclusions

MYRRHA : démonstrateur ADS à moyen terme

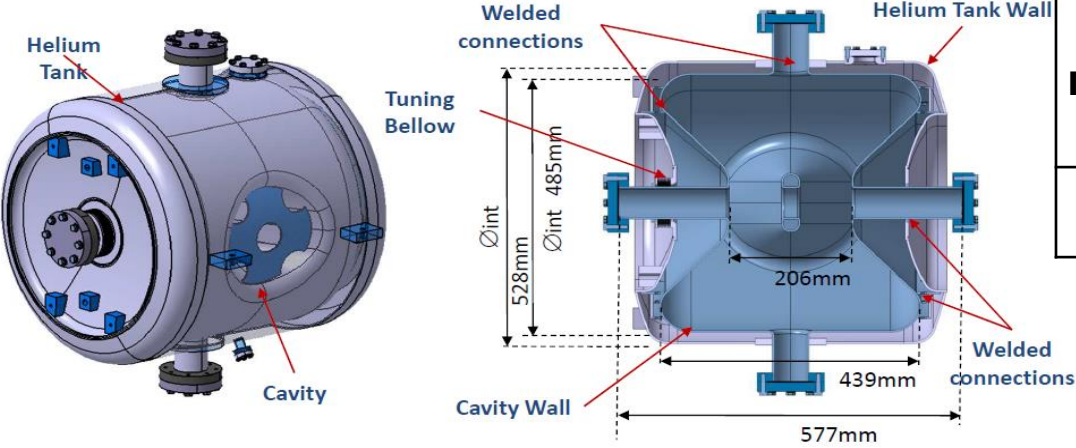
- transmutation d'actinides mineurs
- production de radio-isotopes médicaux innovants

MINERVA Linac : phase 1 du MYRRHA

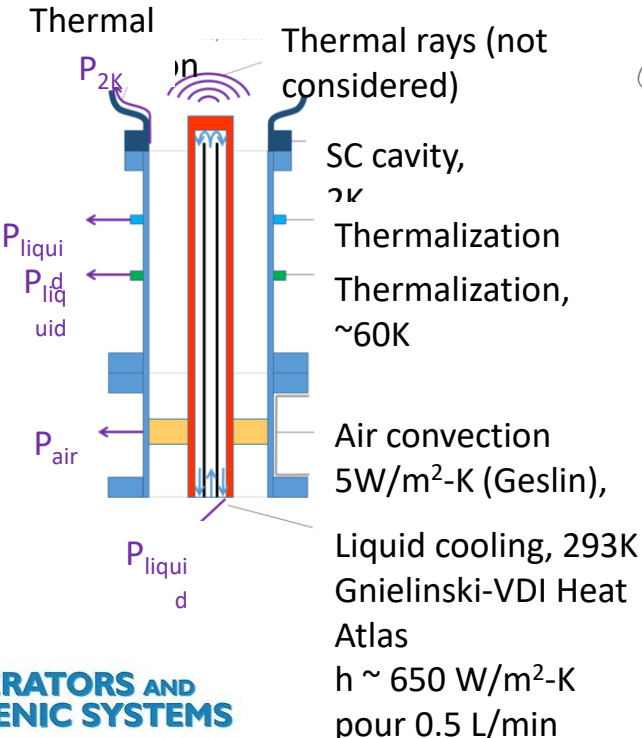
- LINAC supra
- 100 MeV
- Proton
- CW
- Prototypage en cours
- Phase de série en 2021-2026
- Premiers faisceaux en 2026-2027

Backup

Charges thermiques du Cryomodule @ 2K




Dynamic RF losses	Nominal 6.4 MV/m	P = 9.35 W
	Fault tolerance 8.3 MV/m	P = 17 W
	RF coupler heat losses on the 2K LHe bath	P = 1 W
Static losses		P = 2.5 W/m



LPSC Grenoble

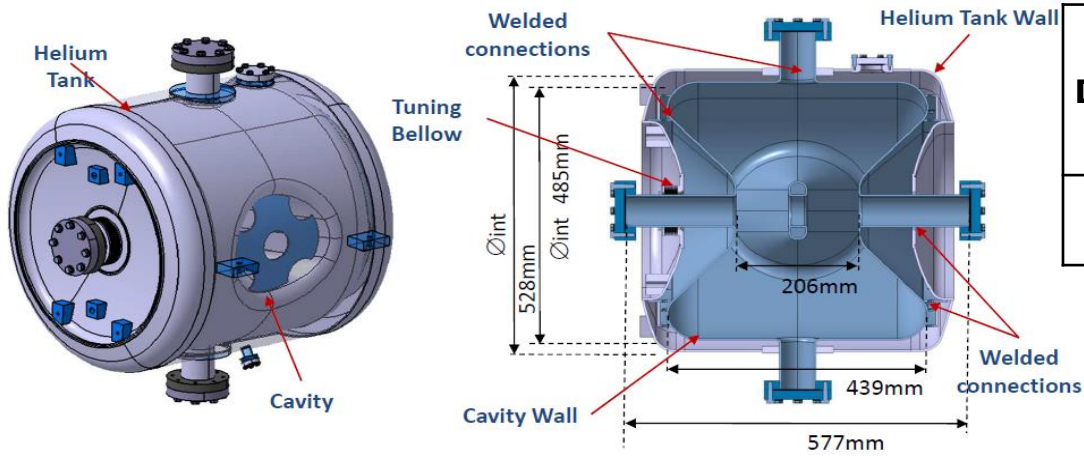
RF Couplers (2 intercepts)	10 K	Static	1 W/coupler
		Dynamic	2 W/coupler
	60 K	Static	1 W/coupler
		Dynamic	8 W/coupler

Thermal shields 40 K: 85 W

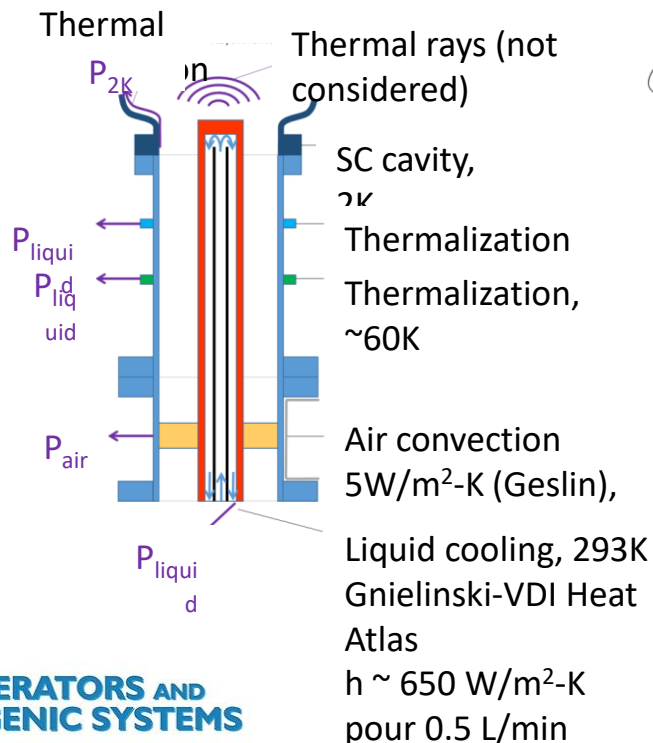


ACCELERATORS AND CRYOGENIC SYSTEMS

16



Dynamic RF losses	Nominal 6.4 MV/m	P = 9.35 W
	Fault tolerance 8.3 MV/m	P = 17 W
	RF coupler heat losses on the 2K LHe bath	P = 1 W
Static losses		P = 2.5 W/m



RF Couplers (2 intercepts)	10 K	Static	1 W/coupler
		Dynamic	2 W/coupler
	60 K	Static	1 W/coupler
		Dynamic	8 W/coupler

Thermal shields 40 K: 85 W

Injecteur @ Louvain-la-Neuve, Belgique

Injector, at LLN up to 5.9 MeV

- Overview
- full injector = 17 MeV : 15 copper CH cavities, separated function design
- 5 mA max \rightarrow 4-rod RFQ

