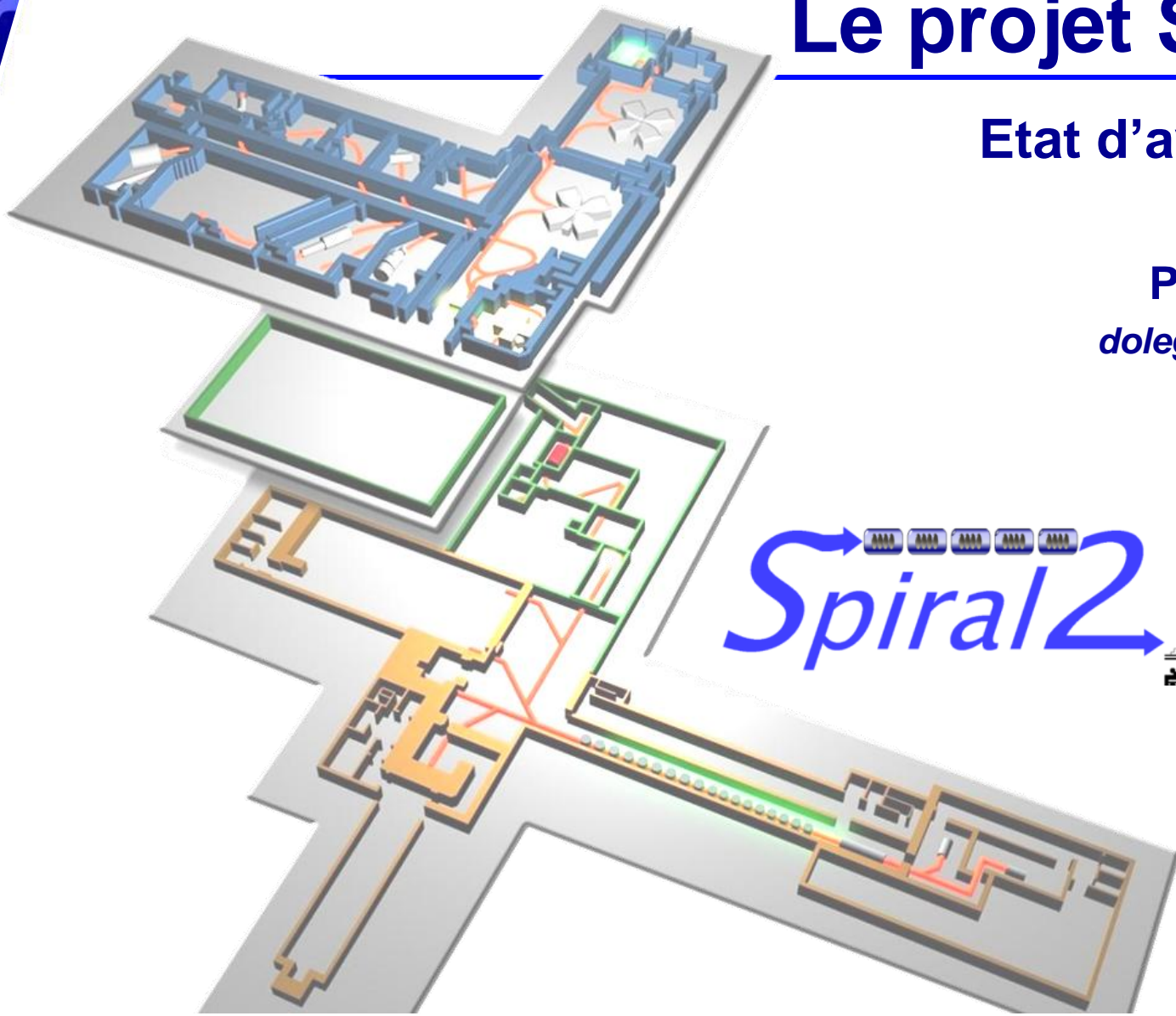


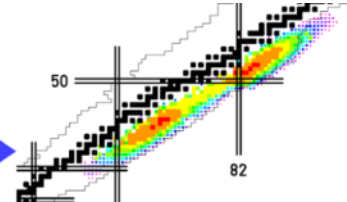
Le projet Spiral 2

Etat d'avancement

P. Dolégiéviez
dolegieviev@ganil.fr
GANIL- Caen



Spiral 2

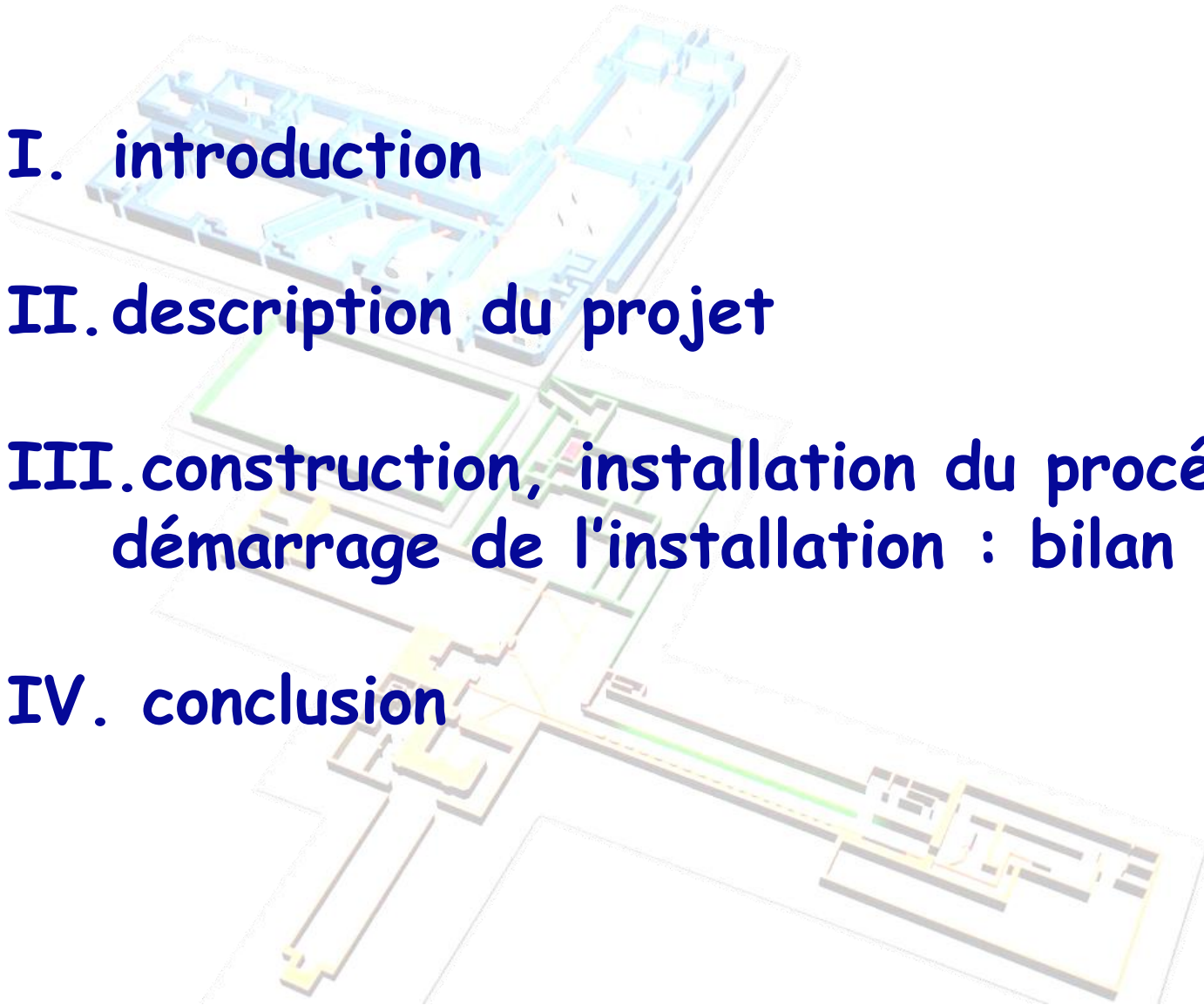


I. introduction

II. description du projet

III. construction, installation du procédé et démarrage de l'installation : bilan

IV. conclusion





mai 2005



R&D and Construction

- CEN Bordeaux-Gradignan (CENBG)
- Centre de Spectro. Nucléaire et Spectro. de Masse Orsay (CSNSM)
- Institut de Physique Nucléaire Orsay (IPNO)
- Institut de Physique Nucléaire Lyon (IPNL)
- Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien Strasbourg (IPHC)
- Laboratoire de Physique Corpusculaire de CAEN (LPC)
- Laboratoire Accélérateur Linéaire Orsay (LAL)
- Laboratoire de Physique Nucléaire et de Htes Energies Paris (LPNHE₂)
- Laboratoire de Physique Subatom. et de Cosmol. Grenoble (LPSC)

	R&D	Construction
DSM	IRFU/SPhN	IRFU/SACM
DSM		IRFU/SIS
DSM		IRFU/SENAC
DSM – Saclay		Expertise
DAM	DPTA	DASE et DP2I
DEN		Expertise
DPSN		Expertise



*large
collaboration
internationale
scientifique et
technique*



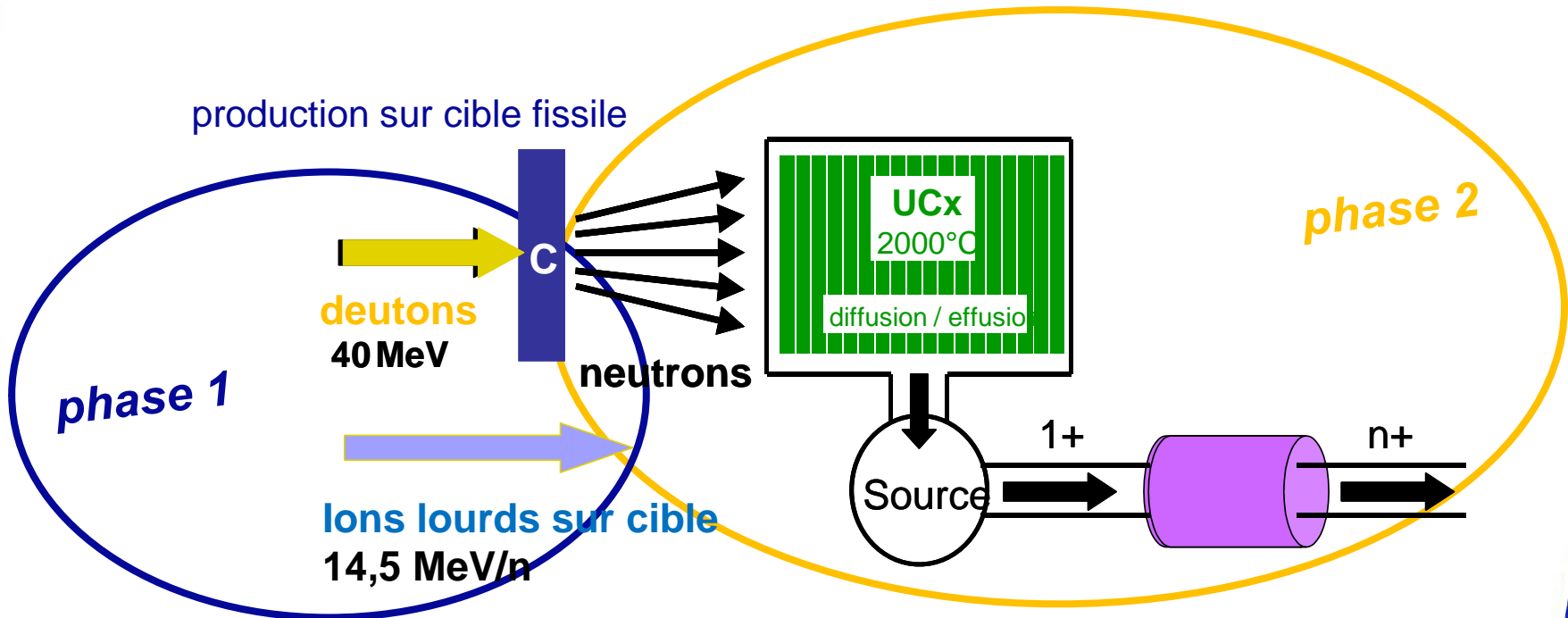
SPIRAL : Système de production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne

Le projet SPIRAL 2

objectif: produire des faisceaux d'ions lourds radioactifs
par réactions de fission ou fragmentation

objectif phase 2
(hors périmètre actuel)

technique (cas majorant vs sûreté) : utiliser un faisceau
primaire de haute intensité pour produire un haut flux de
neutrons sur une cible fissile



faisceaux primaires -> 5 mA

faisceaux secondaires -> 10^9 pps (Sn^{132}) à 10^{12} pps (He)

Présentation du projet

Le projet Spiral 2

GANIL avec SPIRAL 2

DESIR
Désintégration,
Excitation et stockage
des Ions Radioactifs

Phase 2

**S3 : Super
Separator
Spectrometer**

Lignes de
transport LHE

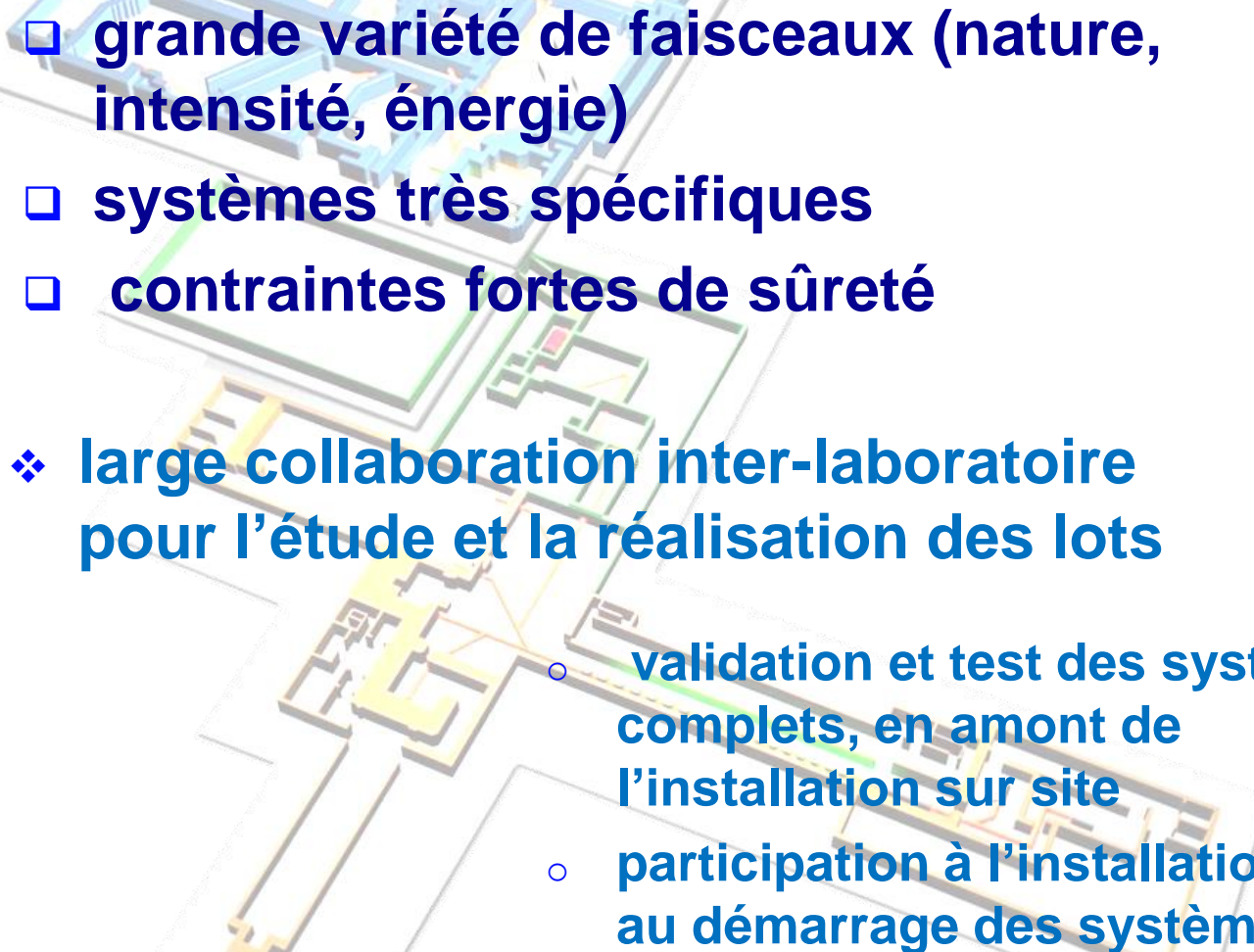
2 sources
d'ions
 $q/A=1/2$, 5 mA
 $q/A=1/3$, 1mA

RFQ

**NFS : Neutrons For
Science**

Acc. linéaire supraconducteur, 40MeV d, 14.5MeV/u IL

Challenges et particularités

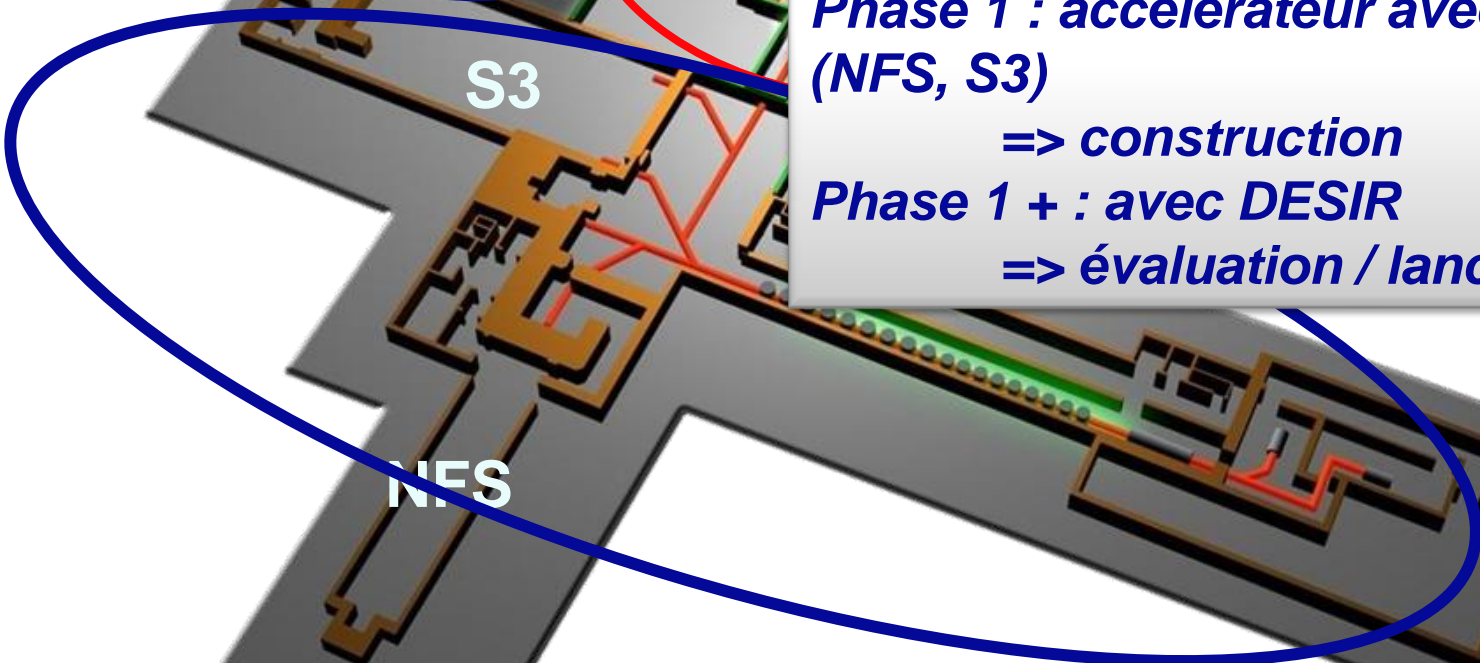
- 
- ❑ grande variété de faisceaux (nature, intensité, énergie)
 - ❑ systèmes très spécifiques
 - ❑ contraintes fortes de sûreté
 - ❖ large collaboration inter-laboratoire pour l'étude et la réalisation des lots
 - validation et test des systèmes complets, en amont de l'installation sur site
 - participation à l'installation et au démarrage des systèmes

Le projet Spiral 2

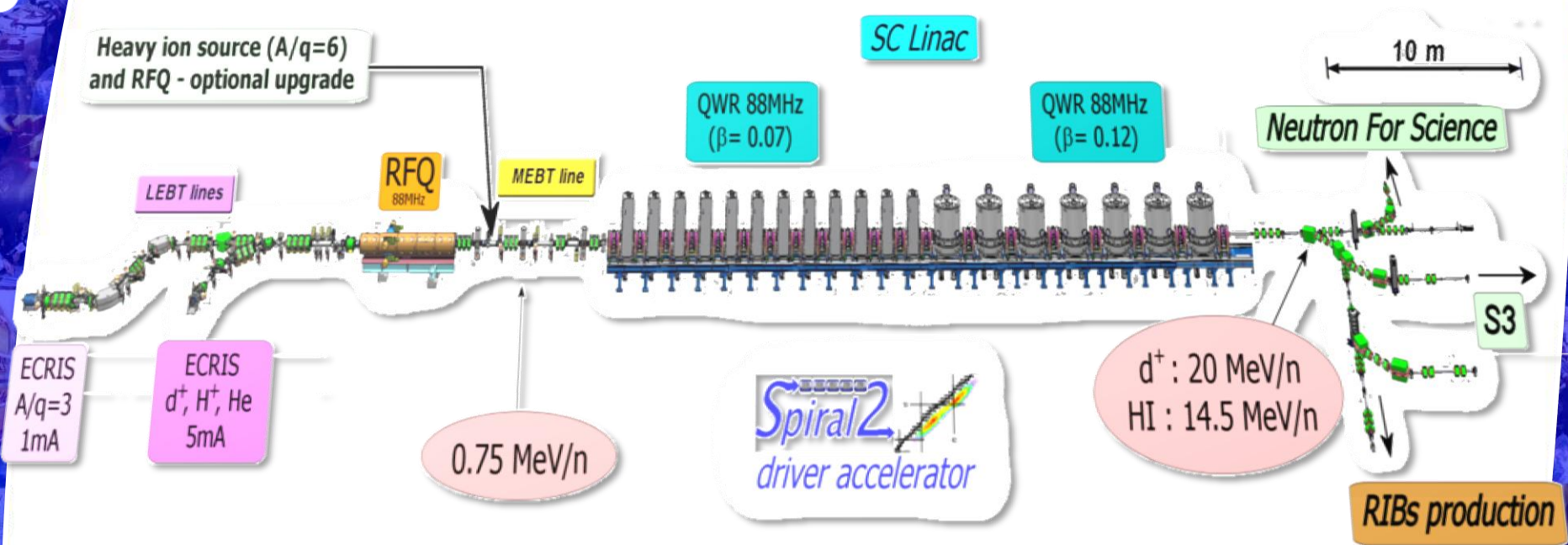
Stratégie de phasage de la construction en plusieurs étapes

Phase 2 : production
=> mise en attente

Phase 1 : accélérateur avec AEL (NFS, S3)
=> construction
Phase 1 + : avec DESIR
=> évaluation / lancement



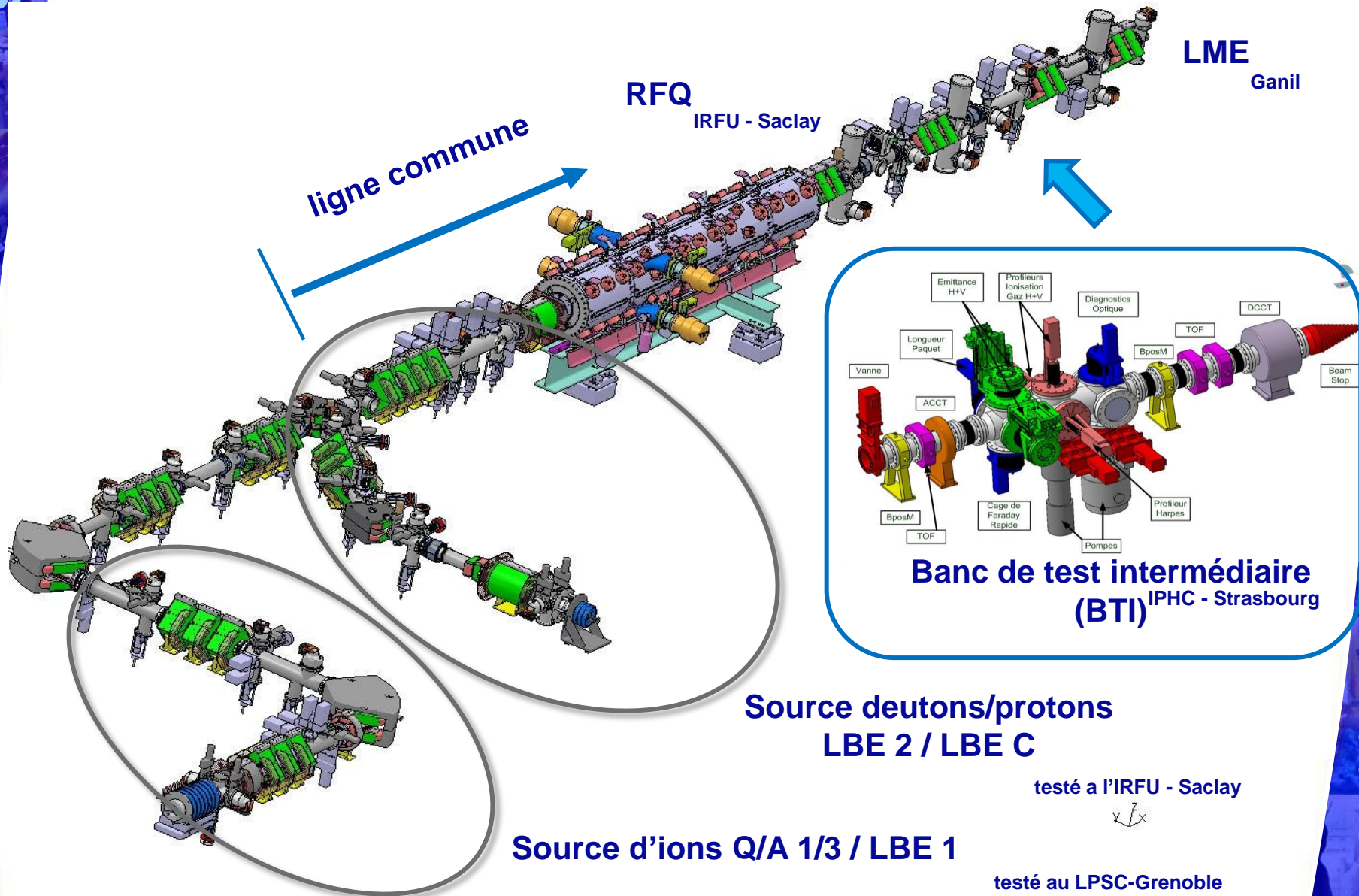
Le projet Spiral 2 l'accélérateur



	Q/A	I (mA)	Energy (Mev/u)	CW max beam Power (KW)
Protons	1/1	5	2 - 33	165
Deuterons	1/2	5	2 - 20	200
Ions	1/3	1	2 - 14.5	45
Ions (option)	1/6	1	2 - 8	48

Le projet Spiral 2

l'injecteur



Le projet Spiral 2

l'injecteur

source d'ions ECR q/A 1/3 et ligne basse énergie



Test de la source et de la
ligne de transport LBE1 au
LPSC (Grenoble)

PHOENIX V2 @ 18 GHz, 47 kV
=> 60 kV
Ar, O, Xe, Ca ..

Tests faisceau 1 mA O⁶⁺,
47 kV (2010)
<P> : 2. 10⁻⁸ mb



Four LCO (ganil)
(ions métalliques)

➤ ligne installée sur le site Spiral2

Le projet Spiral 2

source ECR deutons et ligne basse énergie

l'injecteur



Test de la source Deutons / protons
et de la ligne de transport LBE2-LBEC
à l'IRFU (Saclay)

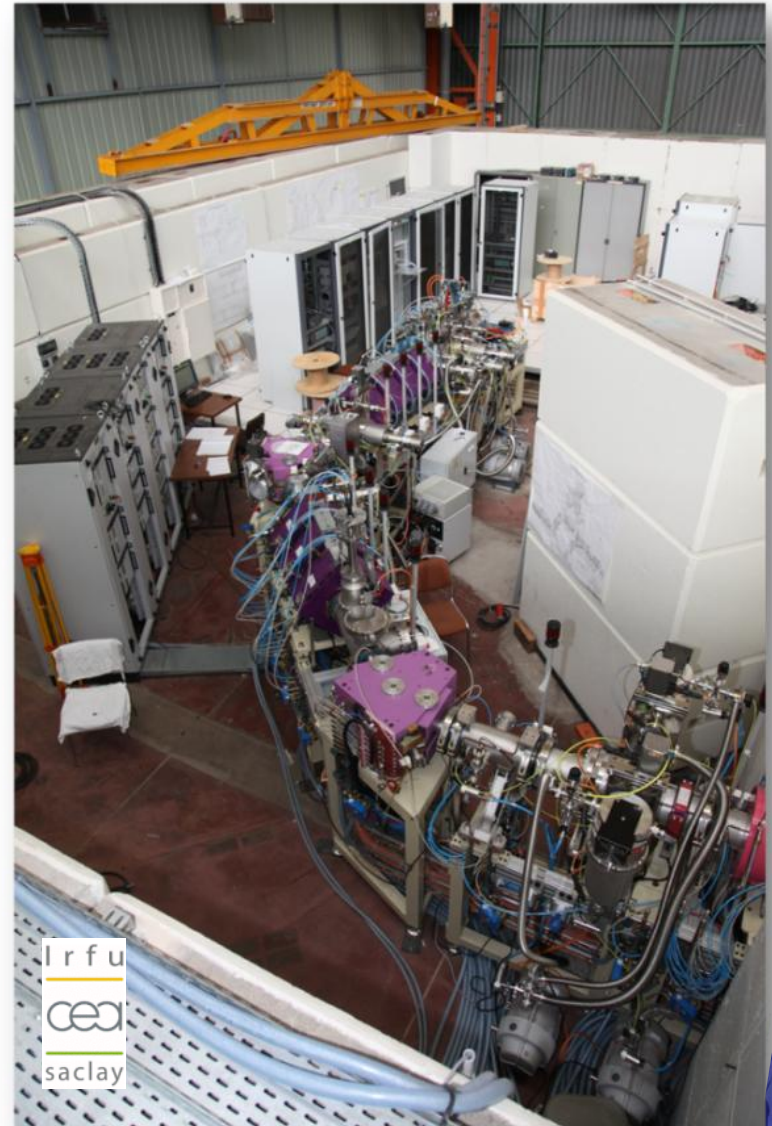
D+ : 5,8 mA

H+ 7 mA

⇒ Protons 5,5 mA en LBEC (2011)

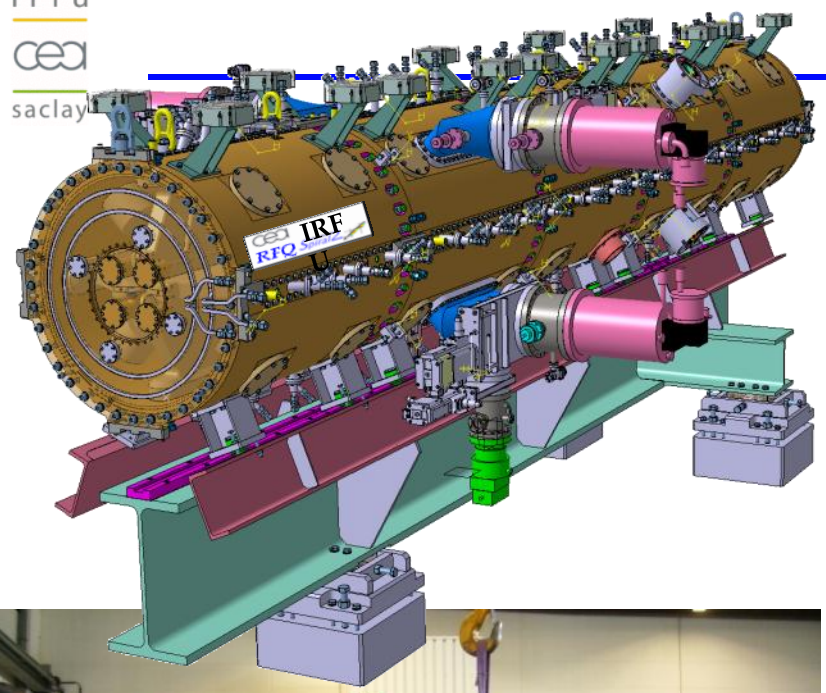
<P> : 10^{-6} mb / $2 \cdot 10^{-8}$ mb

➤ ligne installée sur le site Spiral2

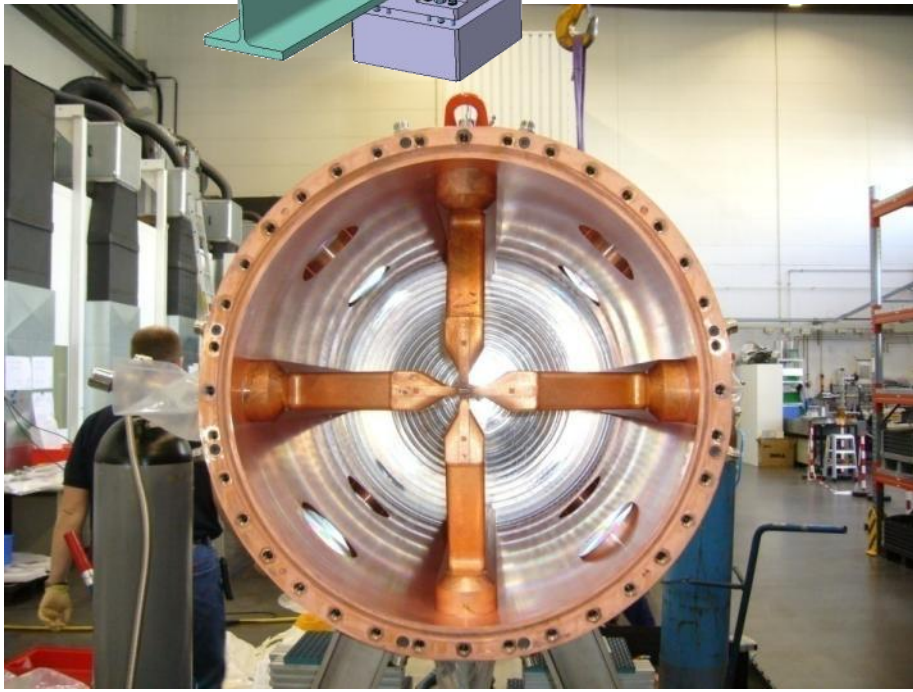


Le projet Spiral 2

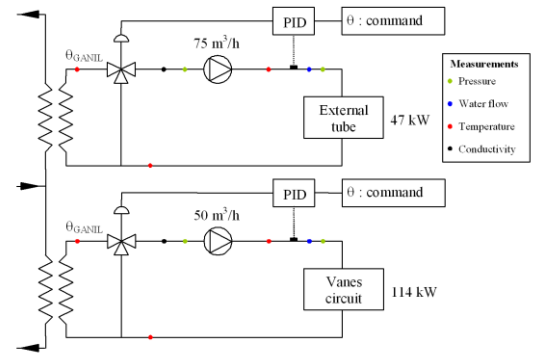
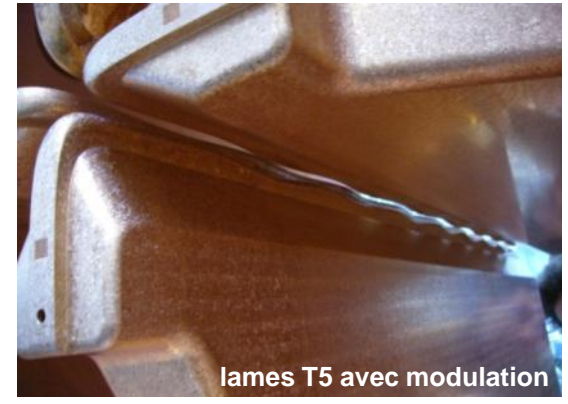
l'injecteur



- RFQ**
- cavité quadripolaire radiofréquence
 - assemblage de 5 tronçons (Φ : 0,78m , l : 1m)
 - structure en Cuivre Cu-C
88 Mhz E : 0,75 MeV/n
<P> : 2.10⁻⁸ mb



➤ système installée sur le site



ajustement en fréquence => syst de refroidissement

Le projet Spiral 2

l'injecteur

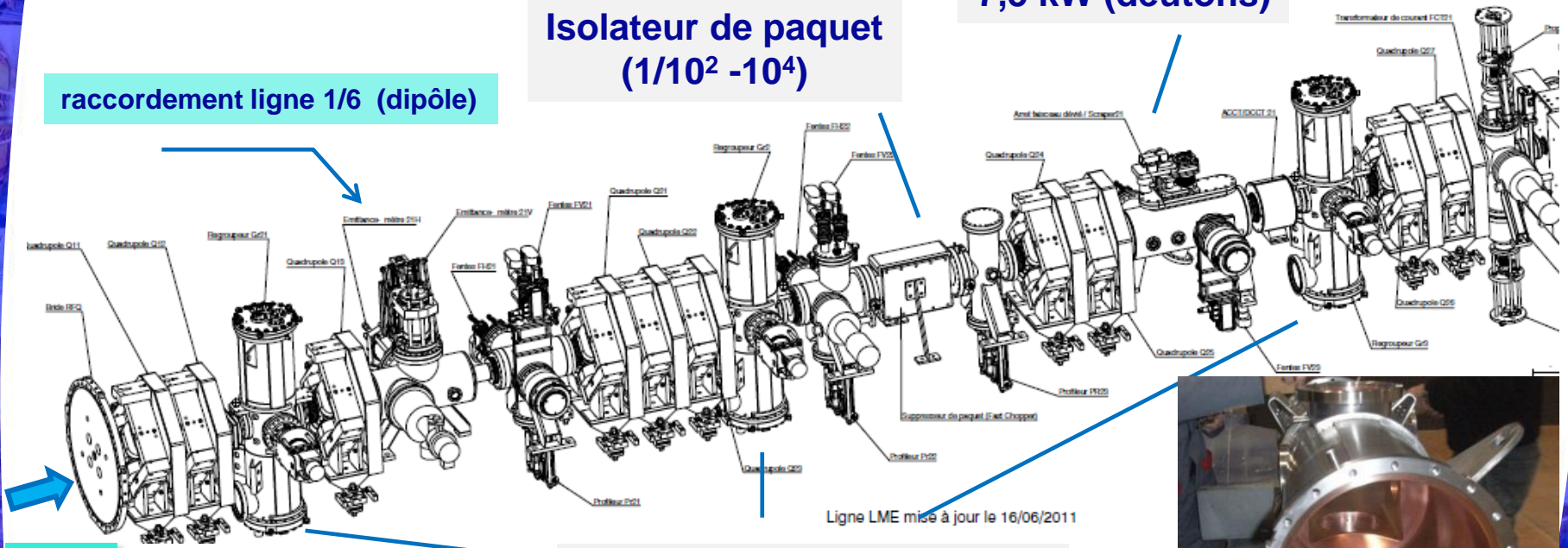
- LME (ligne moyenne énergie)**
- transport sans accélération du faisceau RFQ -> linac
 - maintien des paquets (regroupeurs)
 - mesures du faisceau et limitation du halo (jeux de fentes)
 - suppression de paquets
 - connexion future ligne ions 1/6

linac

Bloc d'arrêt
7,5 kW (deutons)

Isolateur de paquet
($1/10^2 - 10^4$)

raccordement ligne 1/6 (dipôle)



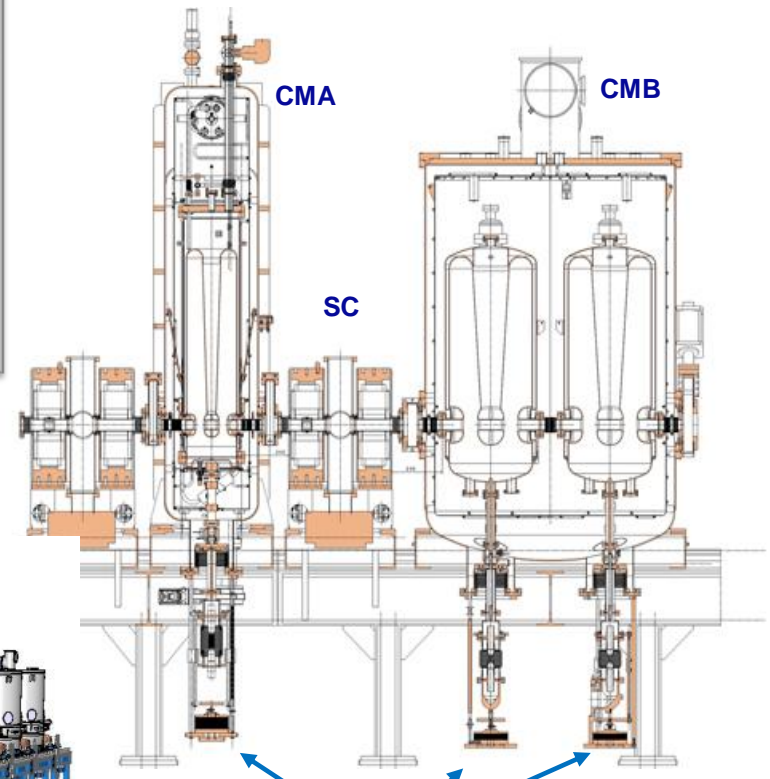
RFQ

Regroupeurs
88 Mhz / Vmax 120 kV
Cavité 'chaude' inox cuivré

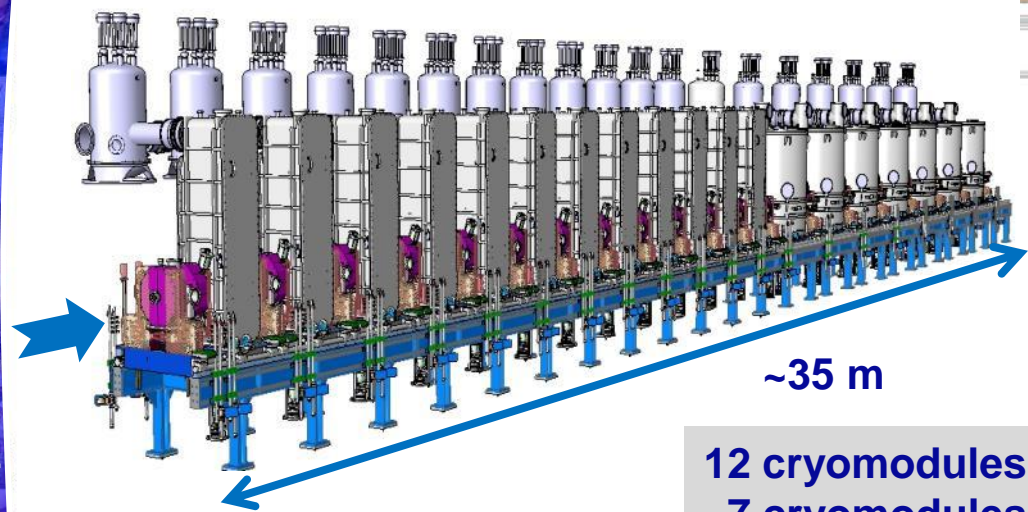


Accélérateur linéaire supraconducteur

E_{max} : 20 MeV/n (deutons)
 14,5 MeV/n (IL)
 26 cavités QWR - 88 Mhz
 E_{acc} : 6,5 MV/m - Nb à T = 4,2 K



Coupleurs HF



~35 m

12 cryomodules A (1 cavité β : 0,07)
 7 cryomodules B (2 cavités β : 0,12)
 20 sections 'chaudes' (Q-pôle, diag, pompage)

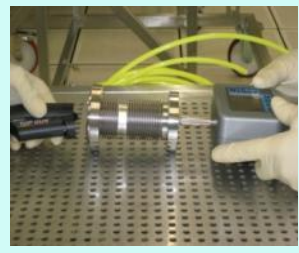
Traitement des cavités et assemblage des CM

linac

chimie et HPR



montage en
salle blanche



! Traque aux particules en SB !

isolation du vide faisceau en SB



Étapes critiques pour les performances des cavités

Cryomodule A



Vacuum vessel

Magnetic shield (against the vacuum vessel wall)

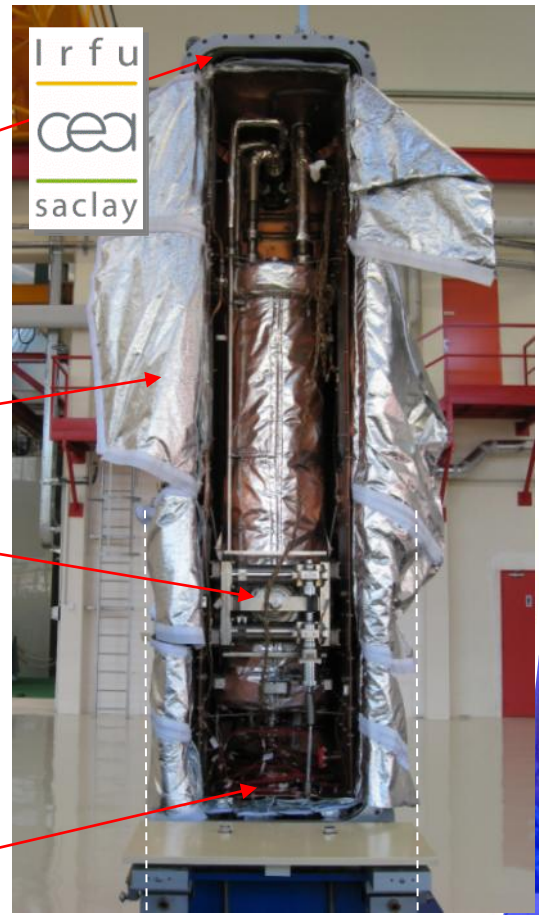
Cryogenic connections (towards valves box)

Superinsulation

Tuning system

Beam valves

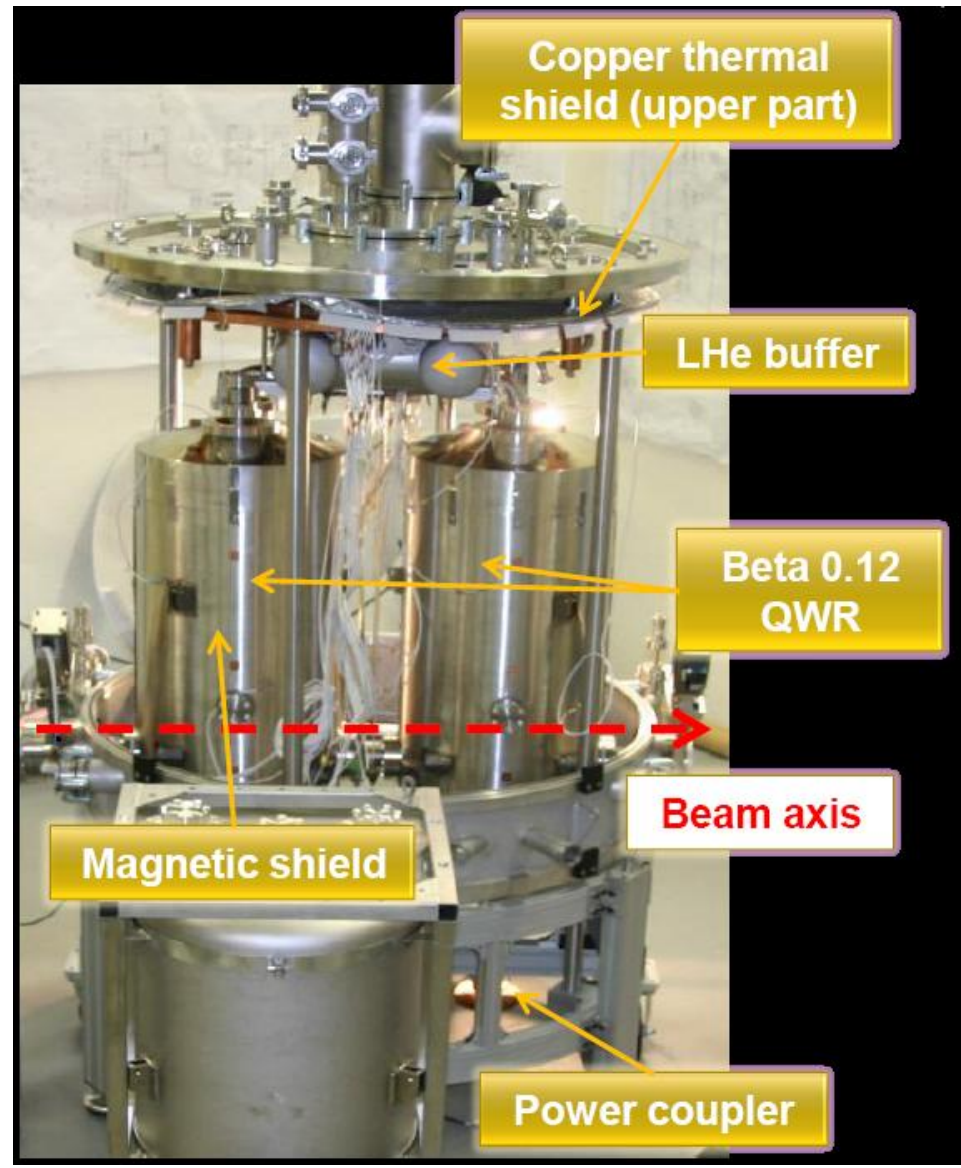
60K thermal screen



610 mm

Le projet Spiral 2

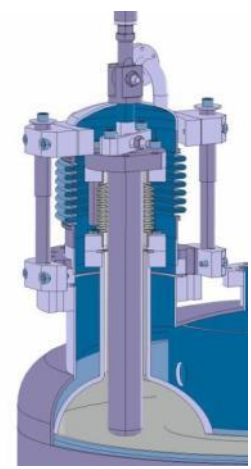
linac



Cryomodule B



écran thermique CMB



Système d'accord HF (plongeur)

Le projet Spiral 2

linac



Coupleurs de puissance RF
10 kW

Test des
cryomodules à 4,2 K
avant installation sur
site

➤ *Tous les
cryomodules sont
sur site en cours
d'installation*

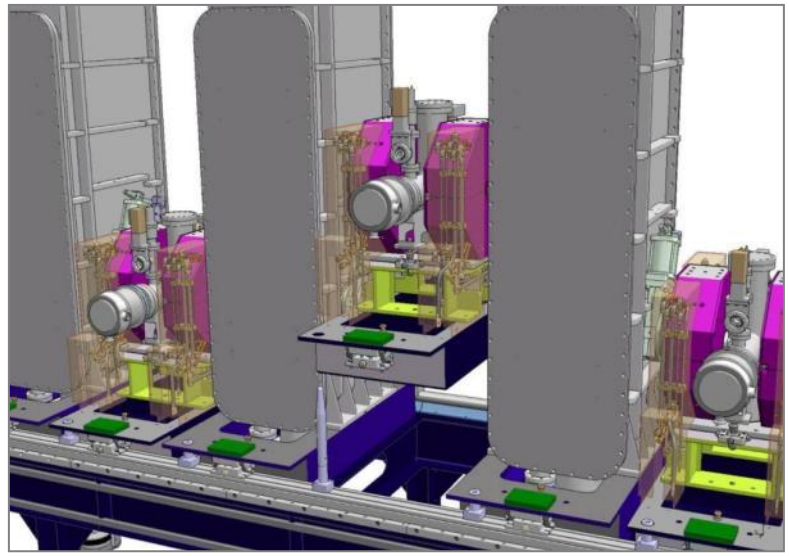


Test CMB avec section chaude

Le projet Spiral 2

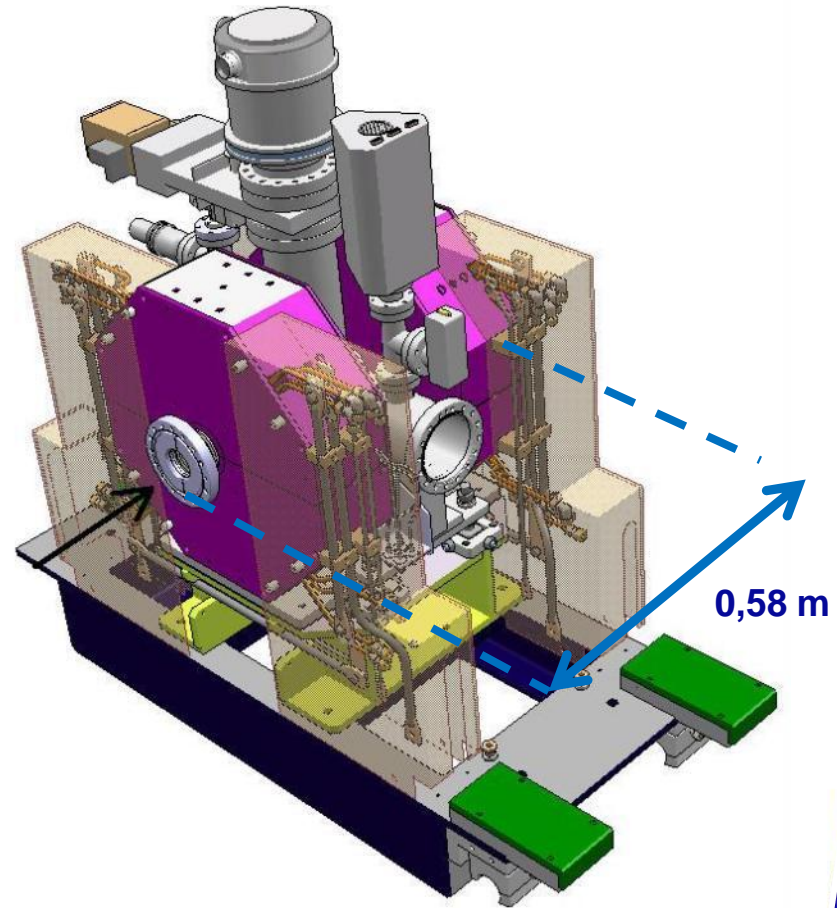
linac

sections 'chaudes'



20 sections 'chaudes'

- ✓ quadripôles de focalisation
- ✓ diagnostics de faisceau
- ✓ système de vide (SC et vide cavités)



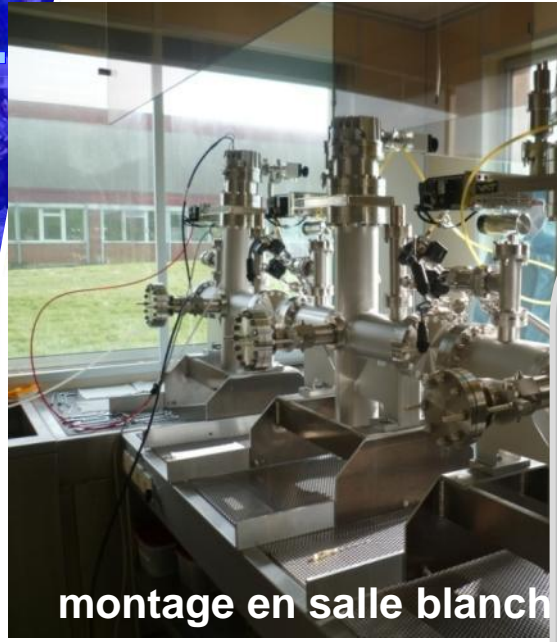
proximité des cavités
HF supra →

exigences liées au risque
pollution (montage, exploitation)

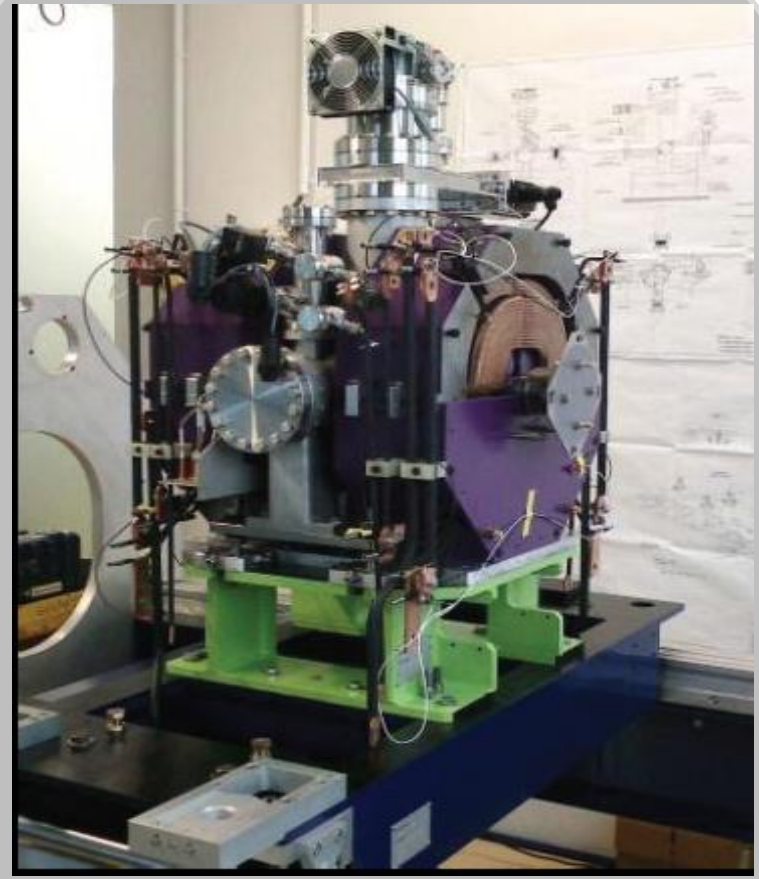
Le projet Spiral 2

linac

Préparation sections 'chaudes'



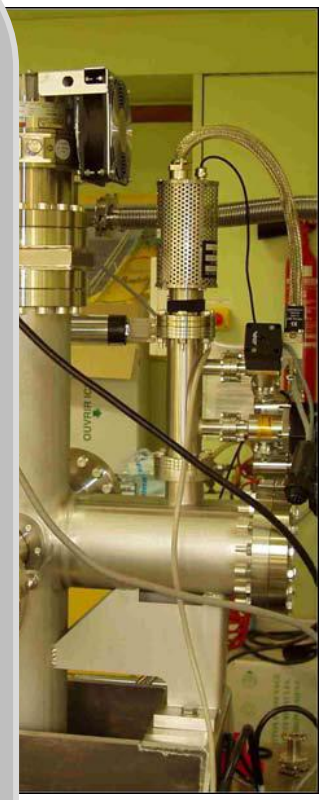
montage en salle blanche



➤ prêt pour l'installation sur le linac

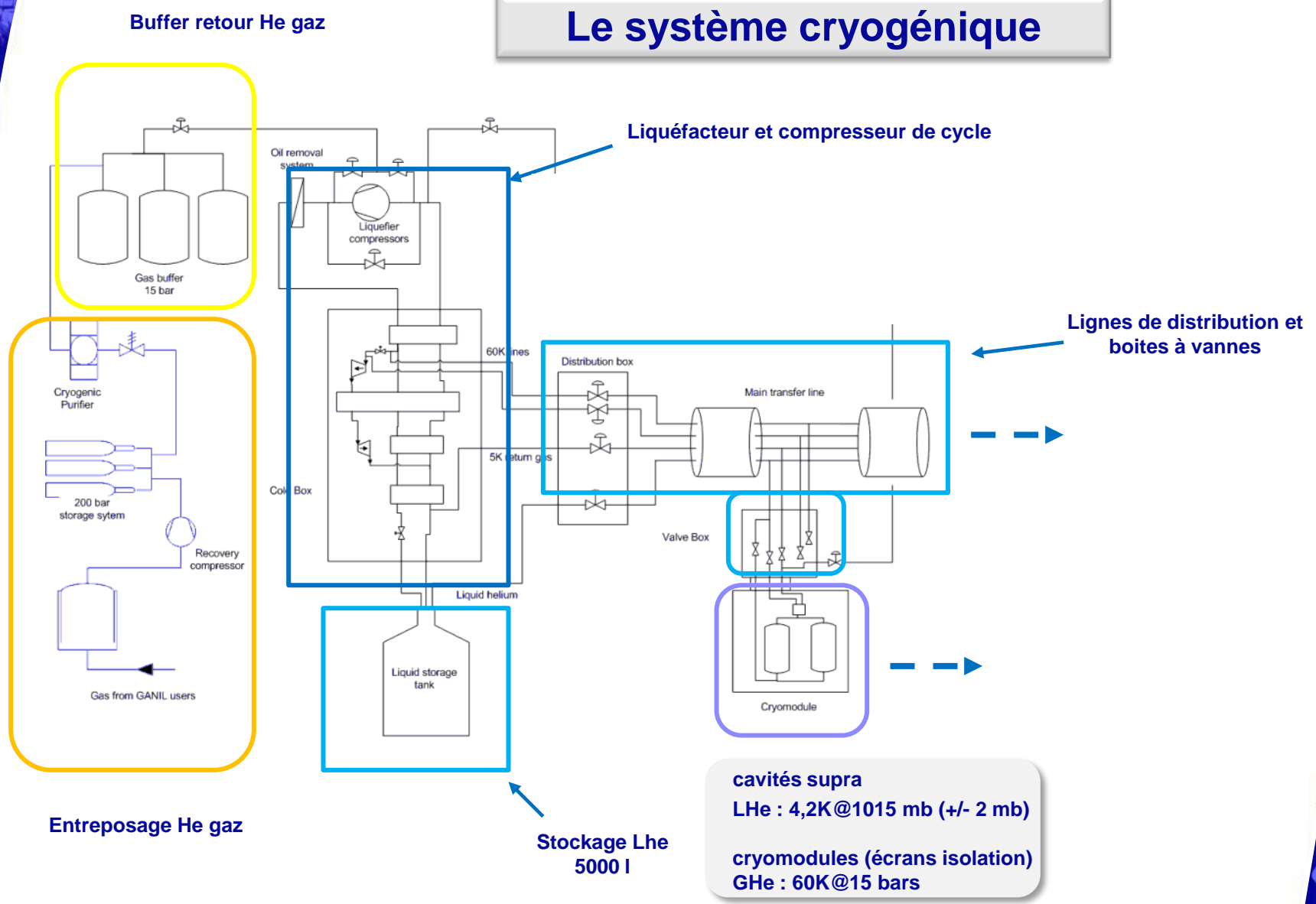


Intégration dans Q-pole et alignement



en vide

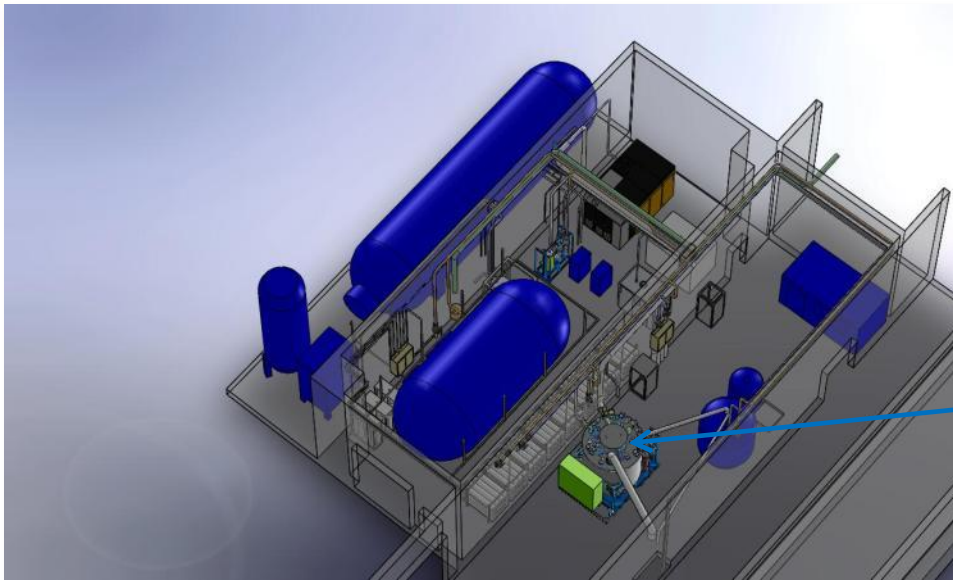
Le système cryogénique



cavités supra
 LHe : 4,2K@1015 mb (+/- 2 mb)
cryomodules (écrans isolation)
 GHe : 60K@15 bars

Le système cryogénique : la boîte froide

Circuit	4.5K	60K	liquéfaction
Linac	709 W	1600 W	
LHE	116 W	320 W	
Ganil			10 l/h
total	825 W	1920 W	10 l/h
Liquéfacteur	1100 W	3000 W	10 l/h



Intégration système cryogénique dans le bâtiment

➤ système installé, en cours de réception



Le système cryogénique : la distribution

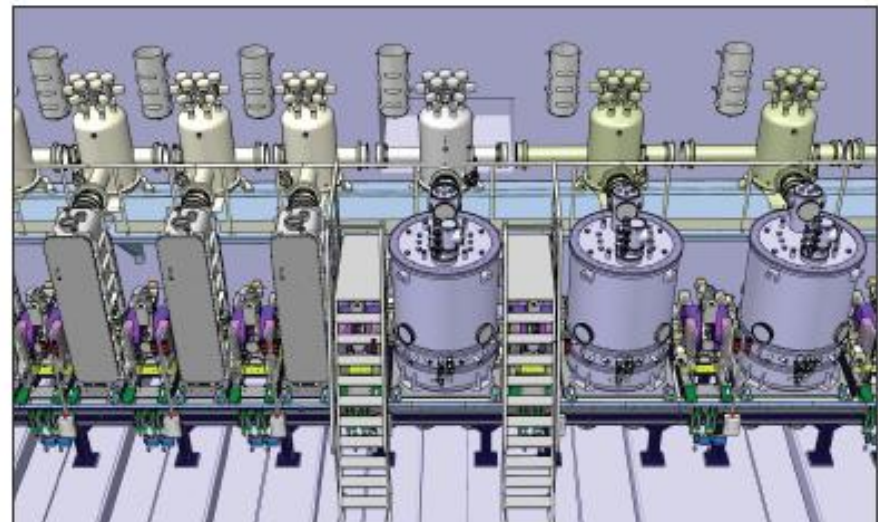


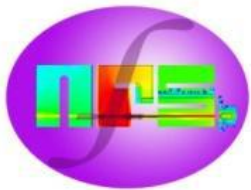
boîtes à vannes

- *système partiellement livré
(non- conformités)*



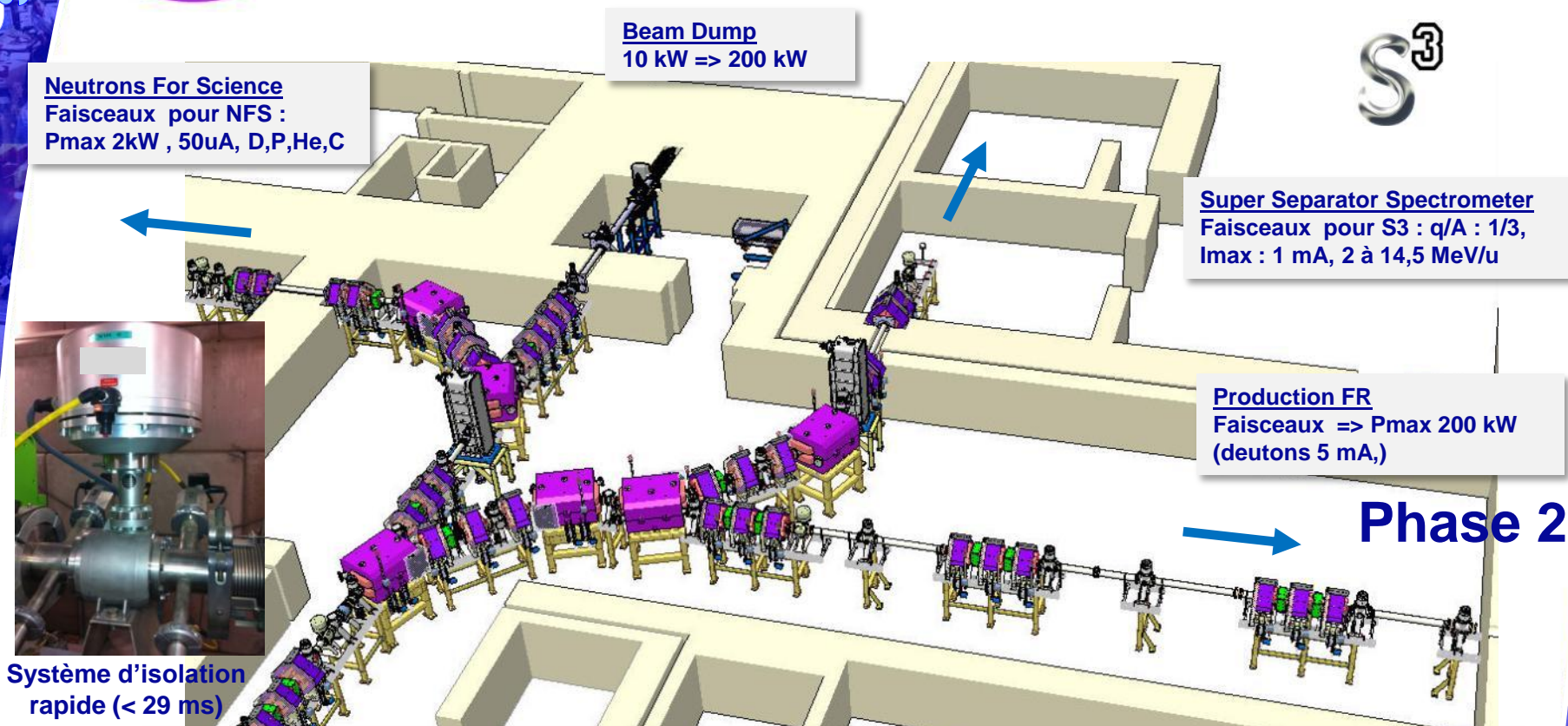
Boîte à vannes prototype en test sur CMB (IPN-O)





Le projet Spiral 2

Lignes de transfert haute énergie



Problématiques particulières :

- transport faisceaux de puissance :
=> protection machine, limitation de l'activation (objectif de dose)
- sûreté - interface points cibles /accélérateur
=> gestion des EIS (dont confinement, gestion des effluents)

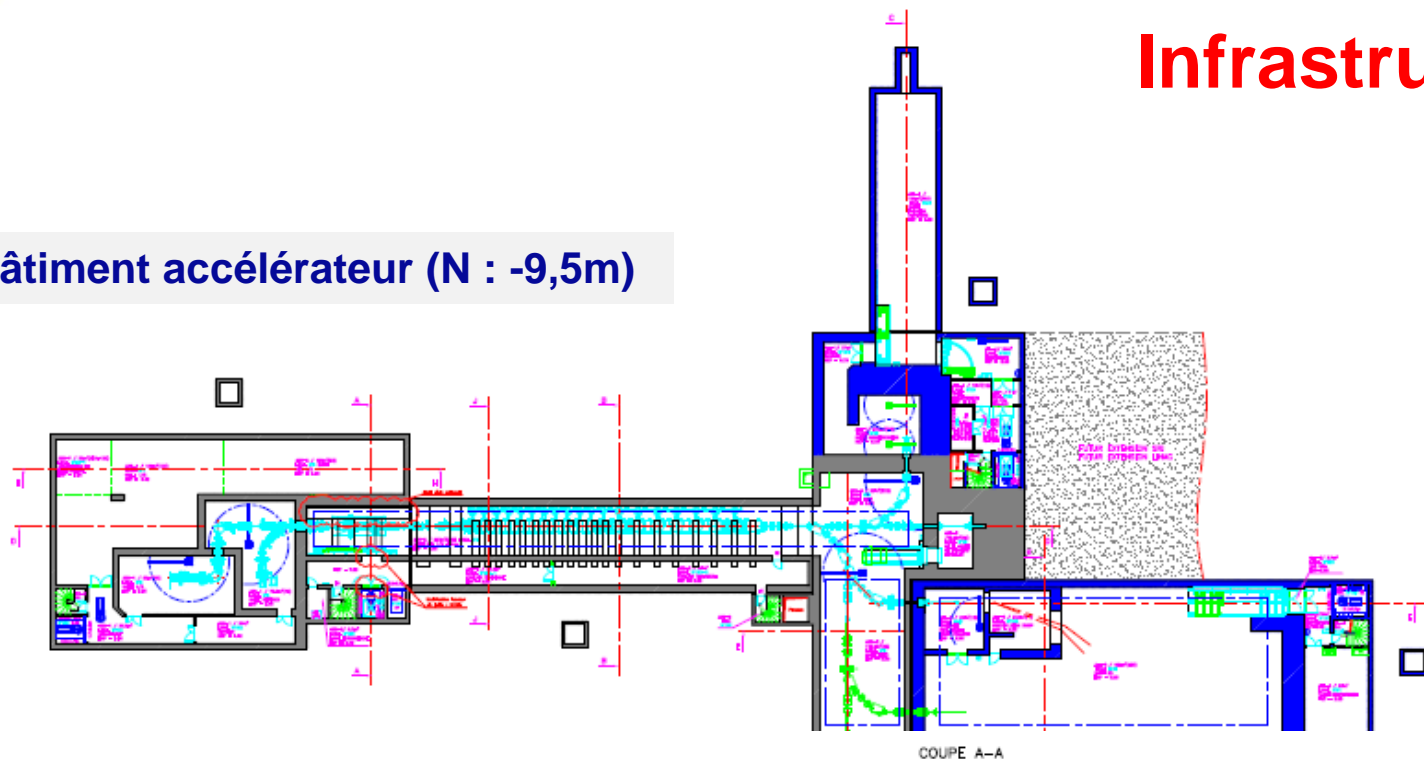
line

Construction, installation des systèmes et démarrage de l'installation : état des lieux

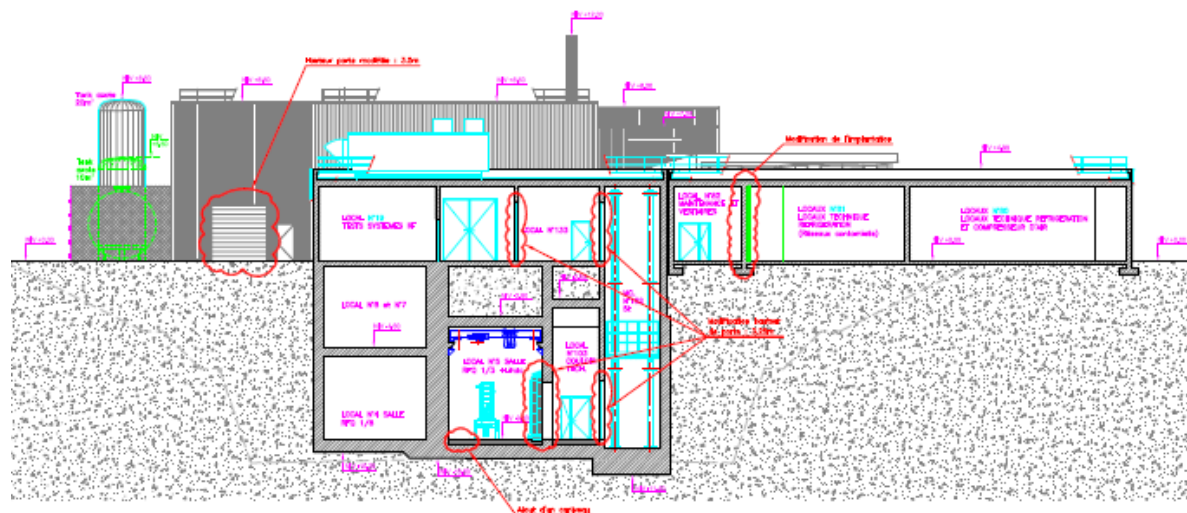
Le projet Spiral 2

Infrastructures

Bâtiment accélérateur (N : -9,5m)



**coupe niveau
salle RFQ linac**



Le projet Spiral 2

Infrastructures



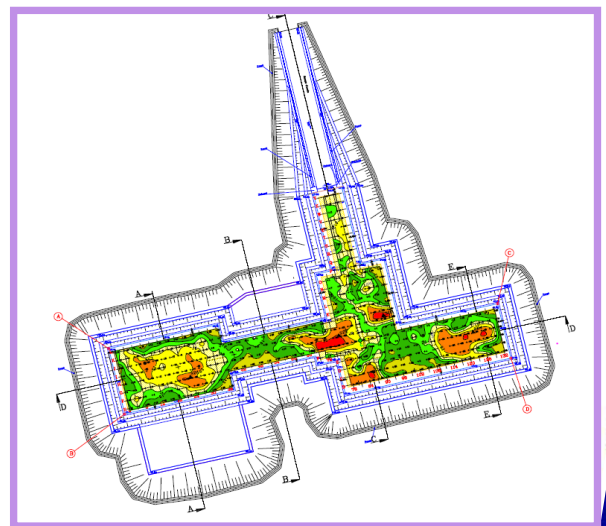
Début chantier
Décembre 2010



Terrassement
Mars 2011
(BRH)



Mai 2011
Etudes sols



Le projet Spiral 2

Infrastructures

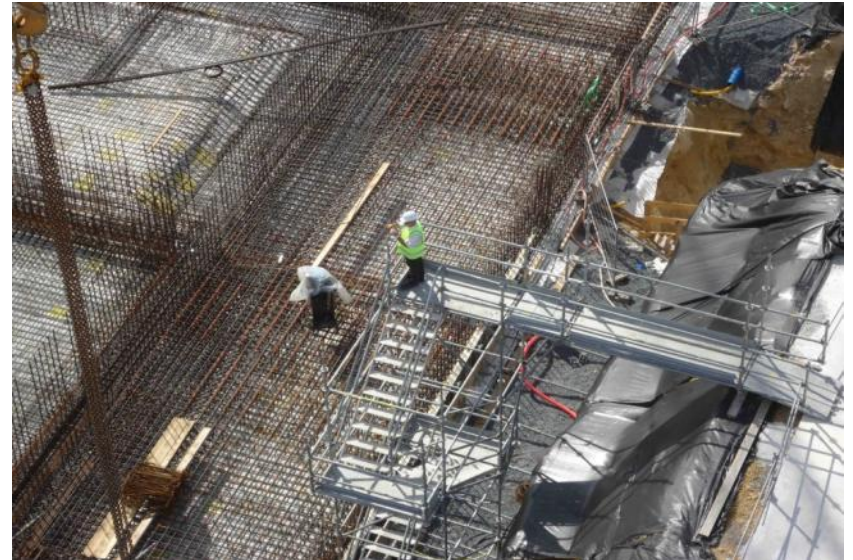


Le projet Spiral 2

Infrastructures



Dimensionnement des infrastructures et du procédé pour prise en compte du risque séisme



Le projet Spiral 2

Infrastructures



03/2013

Quelques chiffres (juin 2013) :

- GC et second œuvre 88%
- 100 personnes sur chantier
- 13800 m³ béton coulé (98 %)
- 2200 t de ferrailage posé (99%)

Le projet Spiral 2

Infrastructures



09/2014

© Patrice Lecomte – 4 septembre 2014

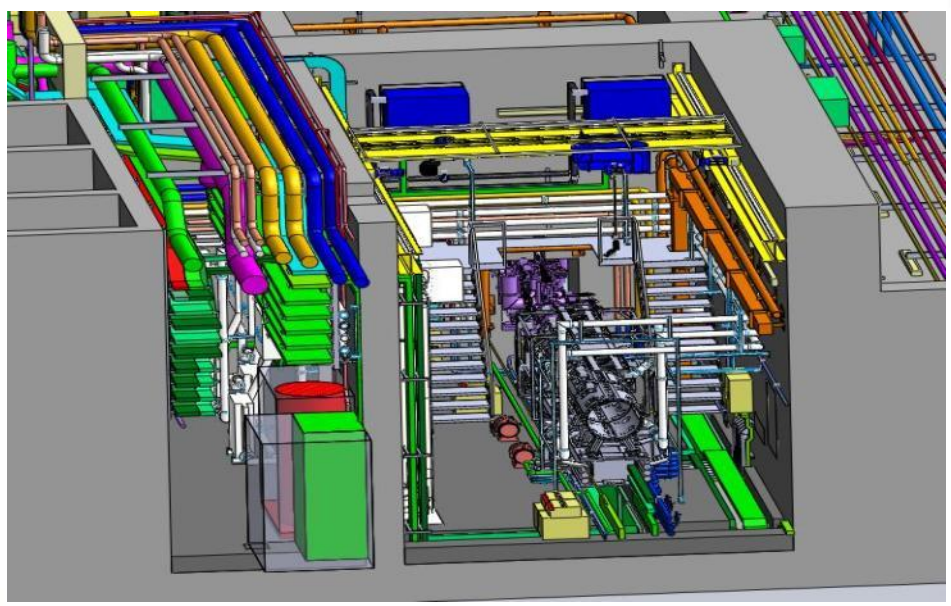
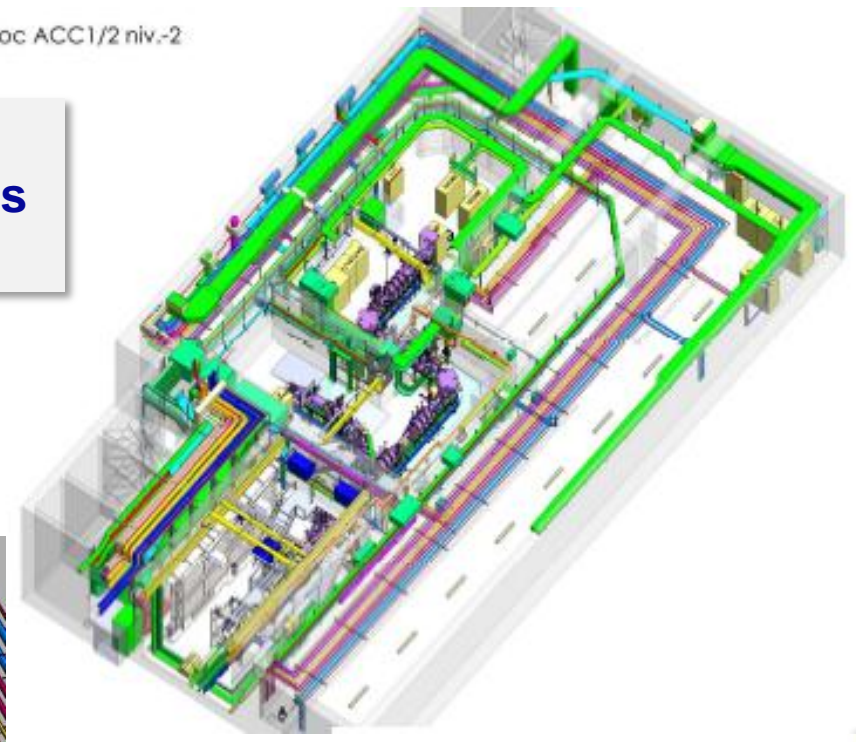
Le projet Spiral 2

Intégration du procédé

maquettes 3D

- ✓ intégration des procédés
- ✓ ingénierie câblage et raccordements
- ✓ bâtiments

Bloc ACC1/2 niv.-2



Vues 3D des procédés +
raccordements + bâtiments

➤ gestion des interférences
(installation / exploitation)

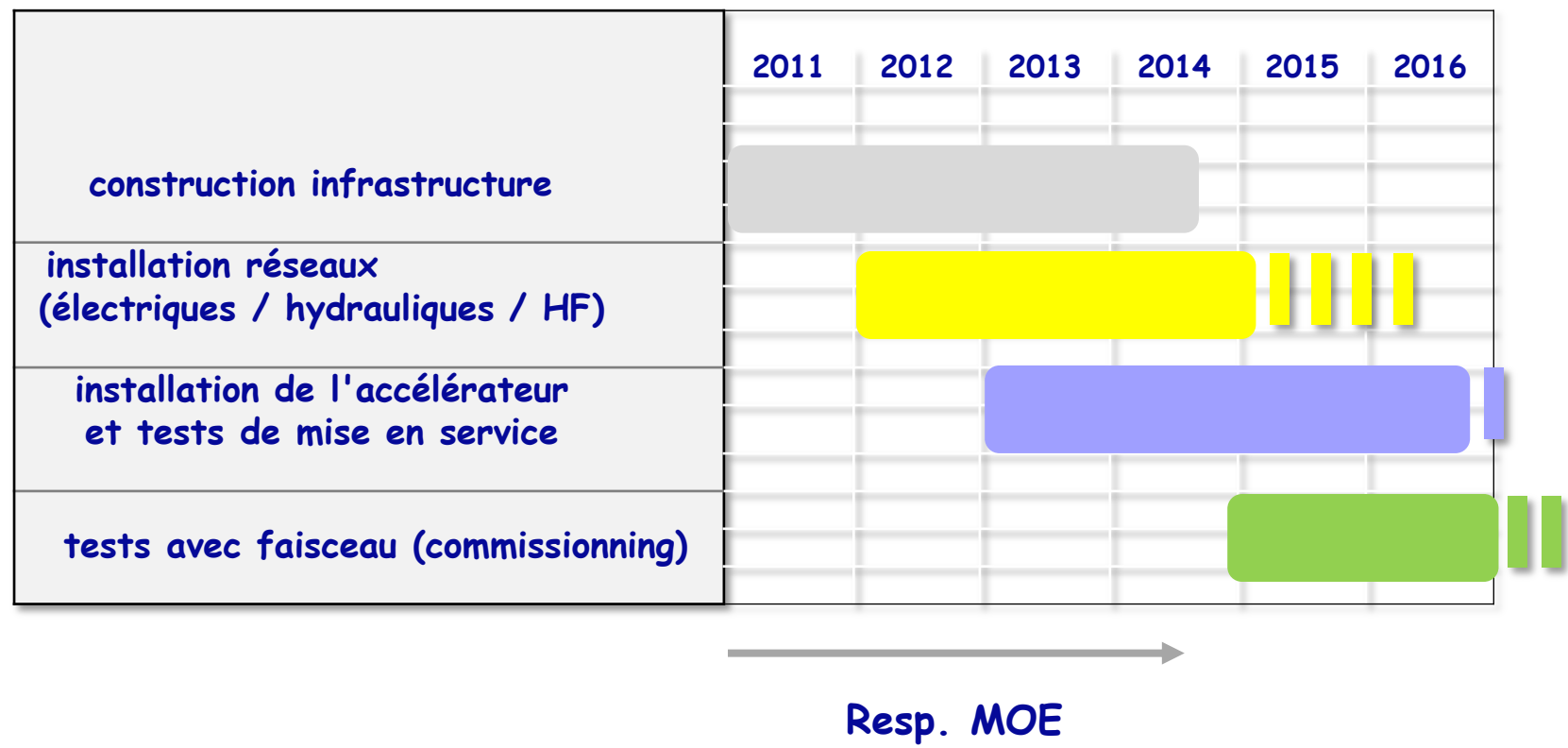
Stratégie

- Démarrer l'installation de l'accélérateur en parallèle de la fin de la construction et de la réalisation des lots bâtiments

Contraintes

- Intervention dans un chantier clos et indépendant (jusqu'à réception des infrastructures)
- gestion des risques liés à la co-activité
- obtenir et maintenir les conditions d'installation des équipements (UHV)
- gérer le planning d'installation vs les plannings lots bâtiment puis commissioning faisceau

Contexte

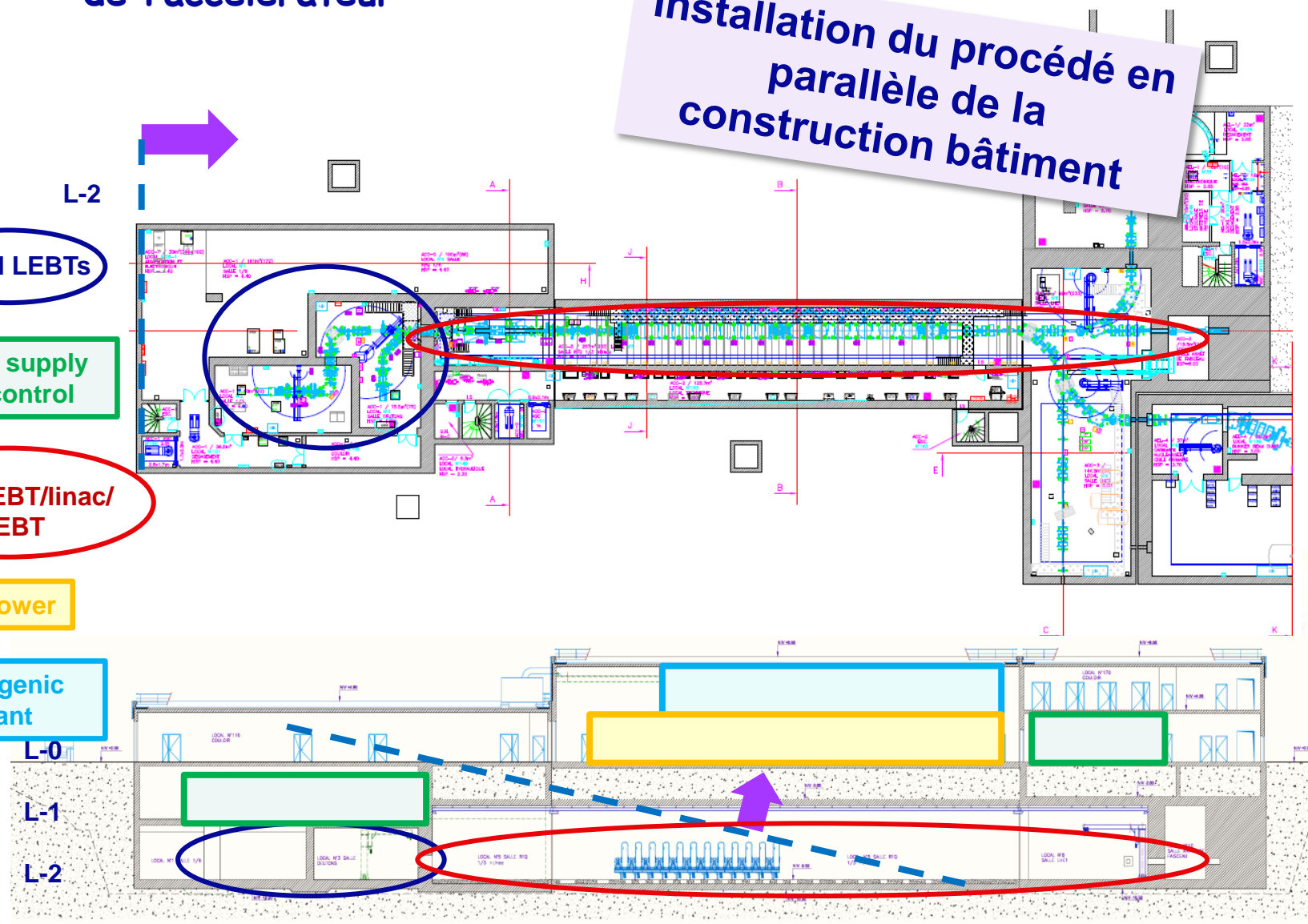


Le projet Spiral 2

Installation

11/2012 début de l'installation de l'accélérateur

Installation du procédé en parallèle de la construction bâtiment



IS and LEBTs

Power supply and control

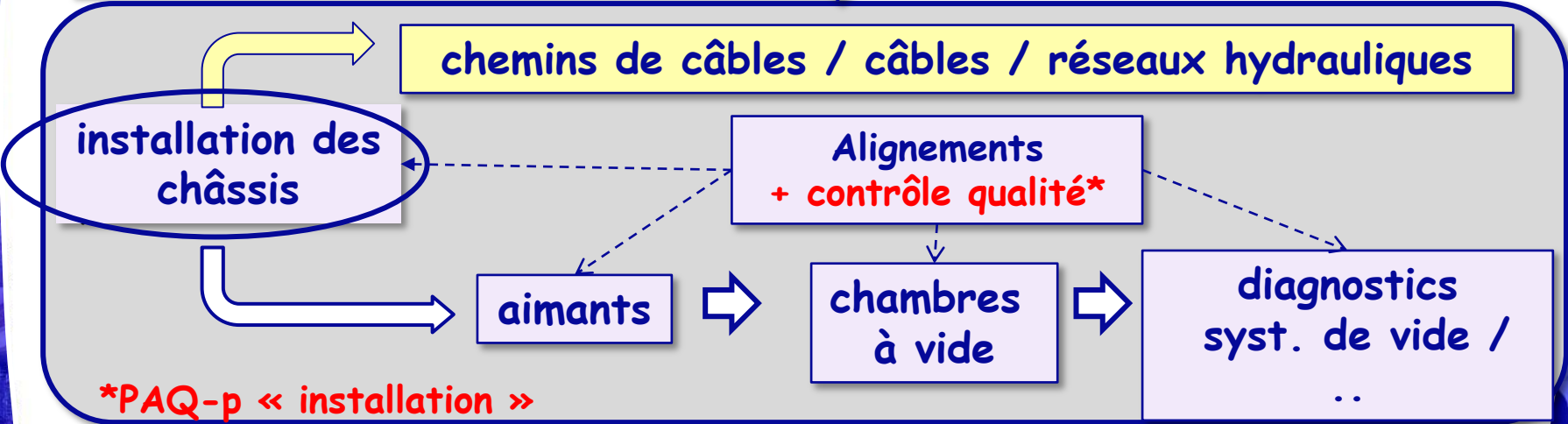
RFQ/MEBT/linac/HEBT

RF power

Cryogenic plant

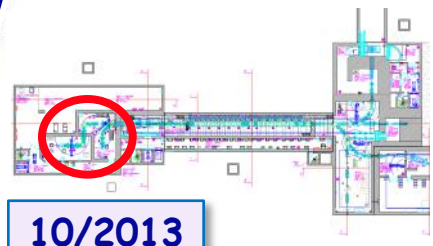
Installation

Zone de livraison
déballage/ contrôles / tests / entreposage



Le projet Spiral 2

Installation sources d'ions et LBE

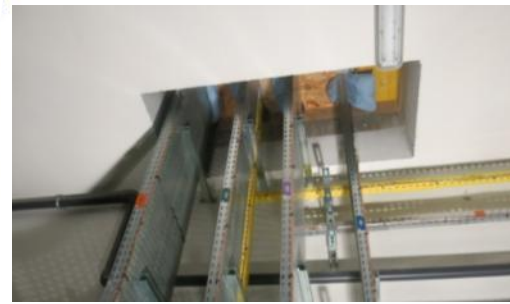


10/2013

➤ installation des chambres à vide et des équipements du procédé

➔ Protection des poussières des zones chantier !

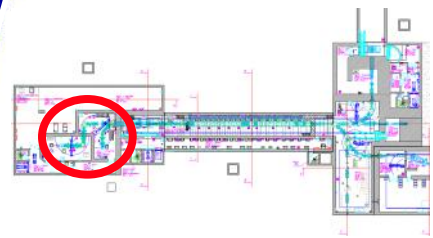
➔ locaux 'accélérateur' : gestion de la co-activité avec les activités 'bâtiment'



Premiers tests vide ligne LBE (10/2013)

Le projet Spiral 2

Intallation sources d'ions et LBE



01/2014



diagnostics faisceau (emittance-mètre /LEBT1)



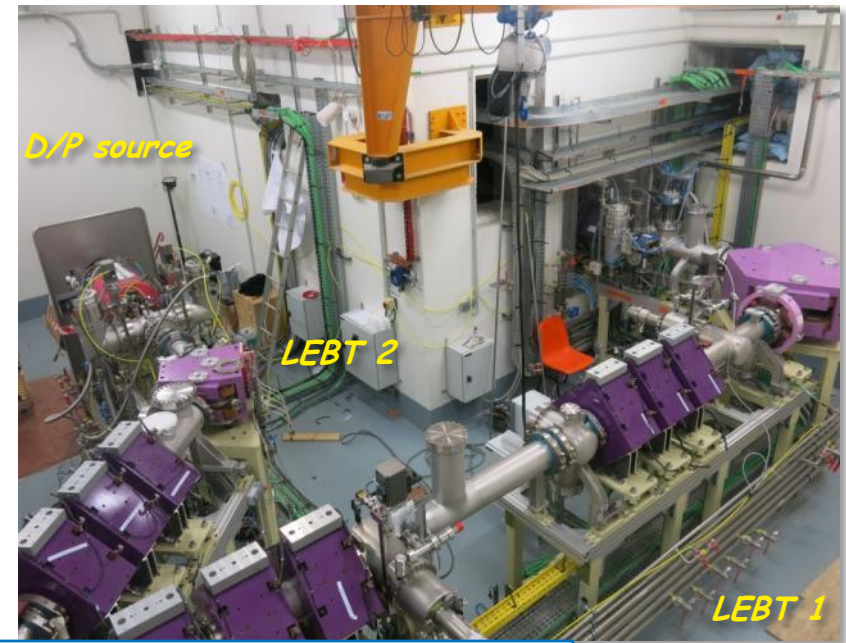
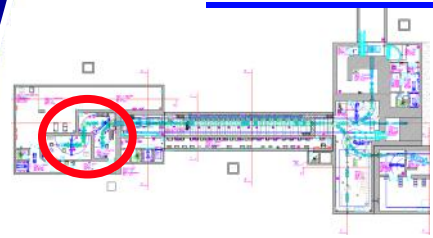
source protons/deutons (03/2014)

source d'ions (06/2014)



Le projet Spiral 2

Intallation sources d'ions et LBE

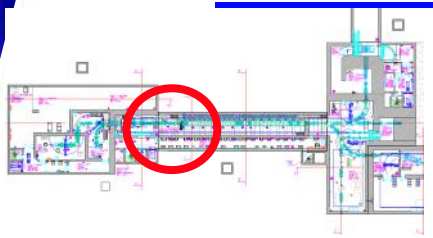


- ✓ 12/2014 faisceau protons dans LBE
- ✓ 7/2015 faisceau Ar dans LBE



Le projet Spiral 2

Installation RFQ



6/2014 - chassis support dans le tunnel



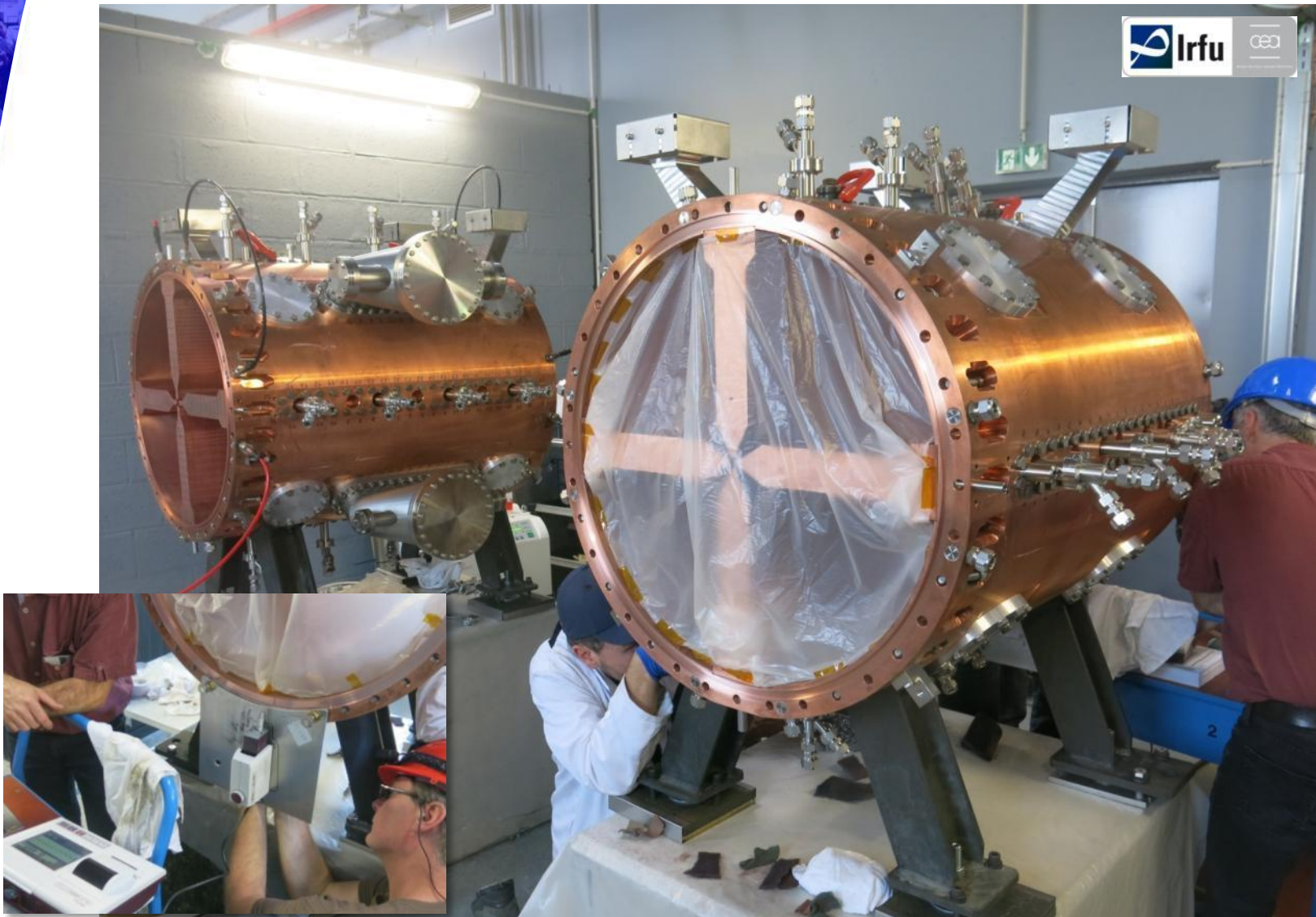
7/2014 - livraison des premières cavités



9/2014 - zone de montage tunnel

Le projet Spiral 2

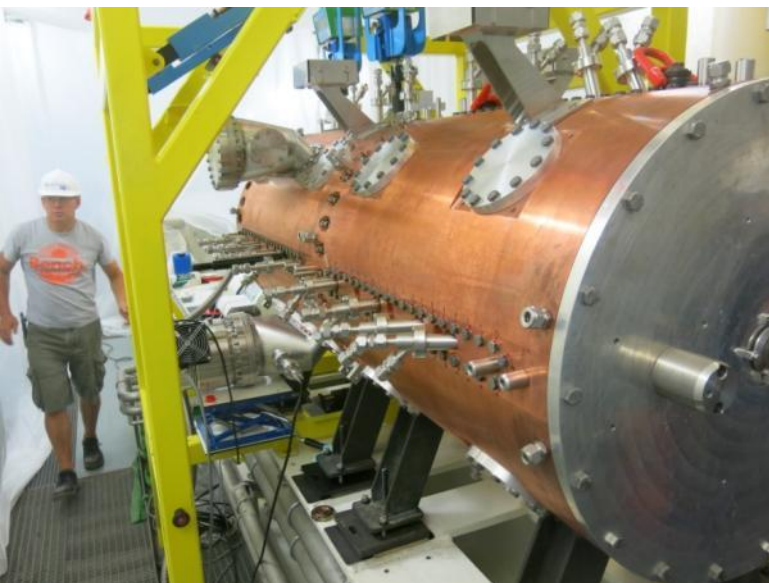
Installation RFQ



9/2014 - préparation avant assemblage des tronçons (plans d'étanchéité)

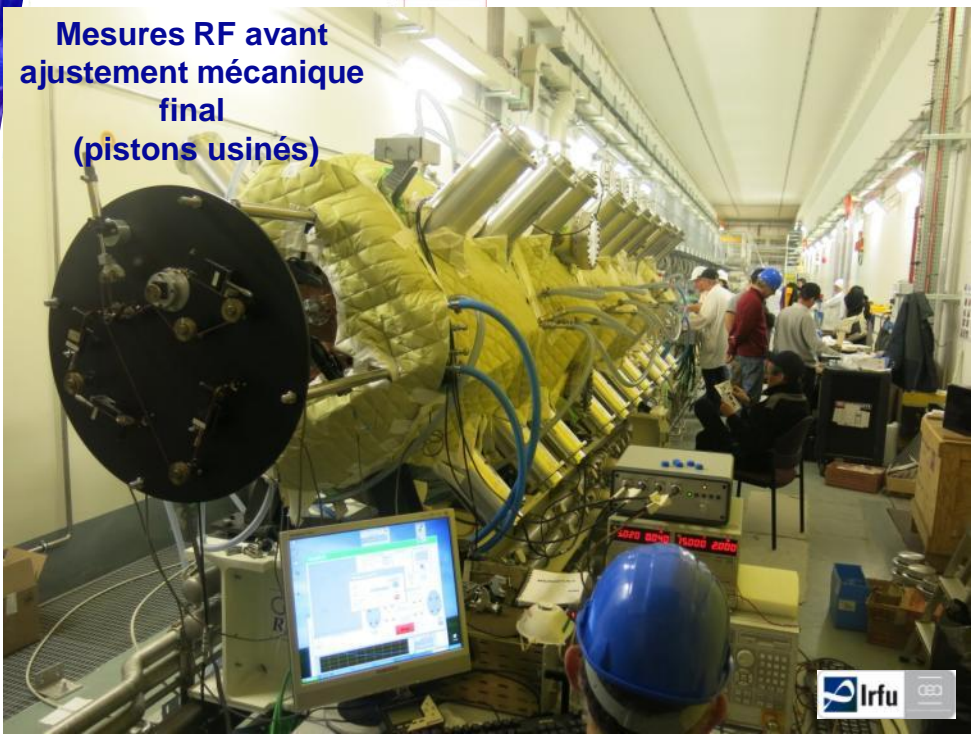
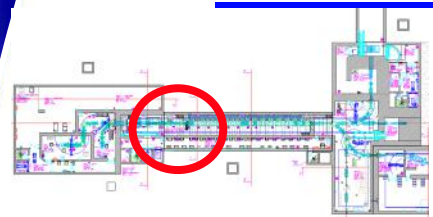
Le projet Spiral 2

Assemblage final (alignement, tests d'étanchéité) **Installation RFQ**

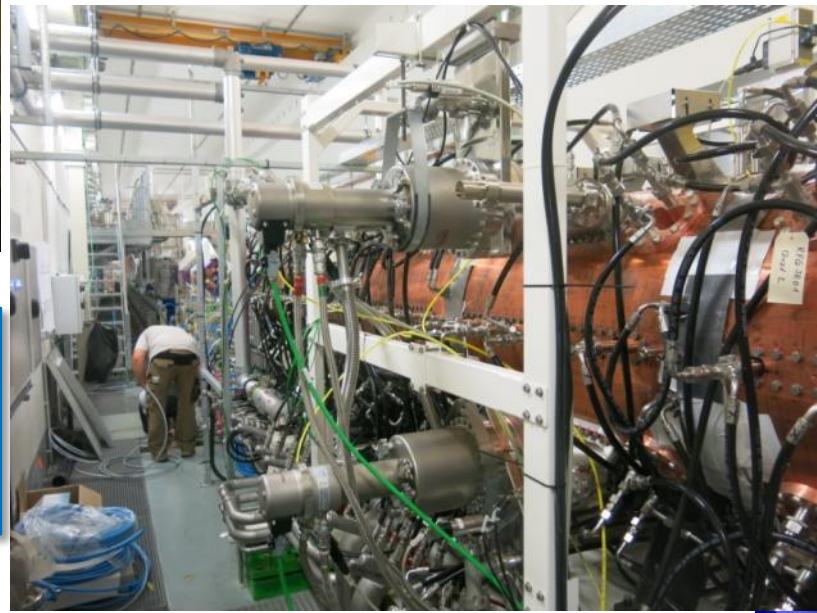
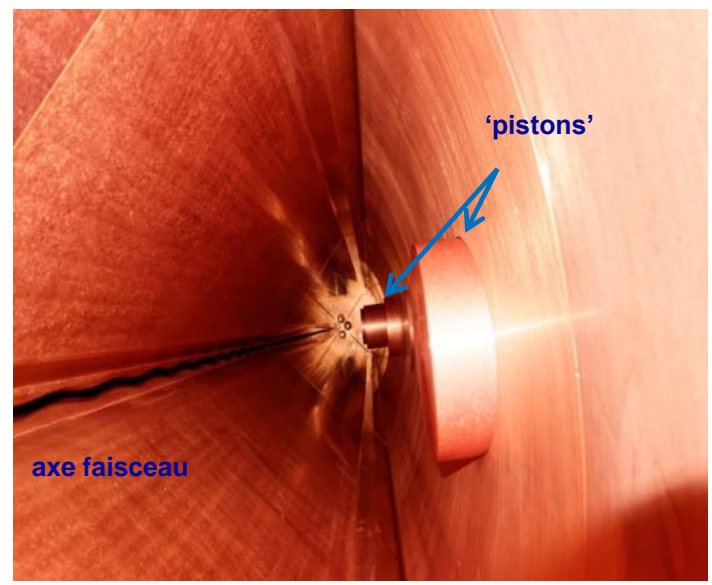


Le projet Spiral 2

Installation RFQ



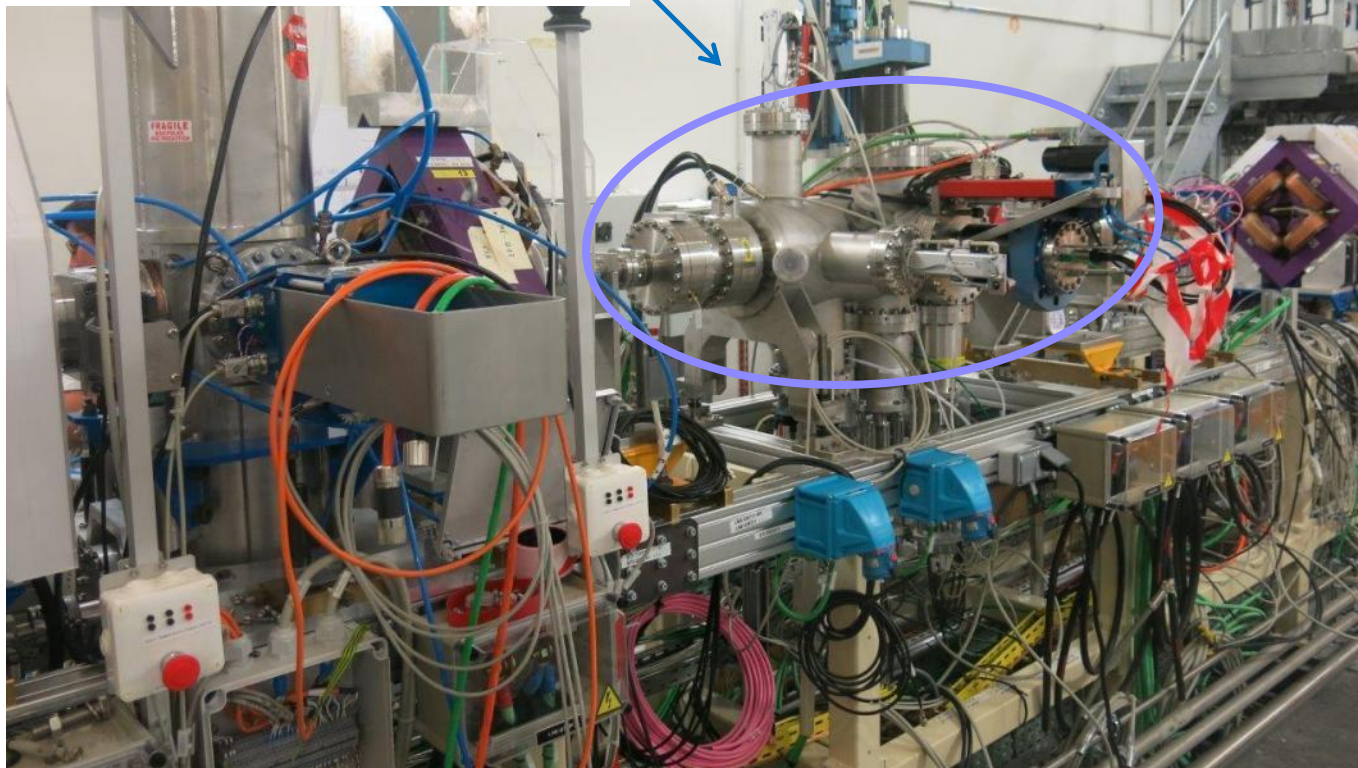
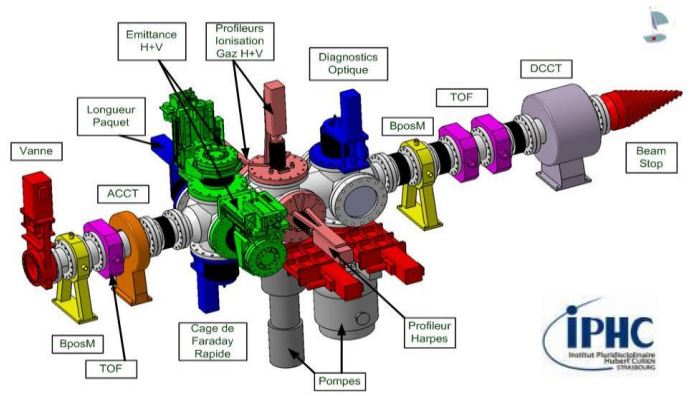
Mesures RF avant ajustement mécanique final (pistons usinés)



- ✓ RFQ opérationnel : montée en puissance progressive
- ✓ 12/2015 : 1^{er} faisceau de protons accéléré sur le BTI (5mA - $T_{RFQ} \sim 100\%$)

Le projet Spiral 2

banc de test de l'injecteur (BTI)



RFQ



linac

Tests des caractéristiques des faisceaux accélérés par le RFQ, avant injection dans le linac / tests diagnostics sur l'installation

Le projet Spiral 2

Installation système cryogénique



Livraison réservoir hélium (04/2014)



He dewar



'baudruche' He

Le projet Spiral 2

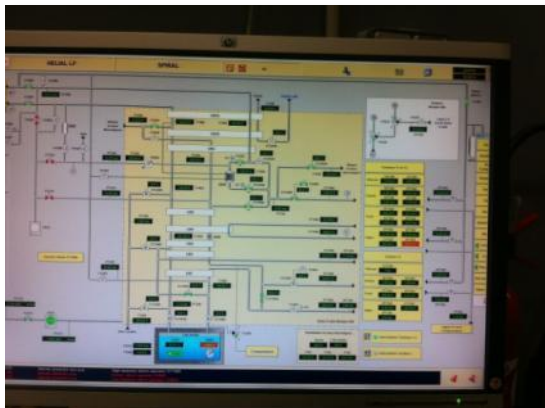
Installation système cryogénique



Réfrigérateur He



- ✓ 07/2015 : production d'He Liquide
- ✓ validation des performances (puissance cryogénique et stabilité en pression)

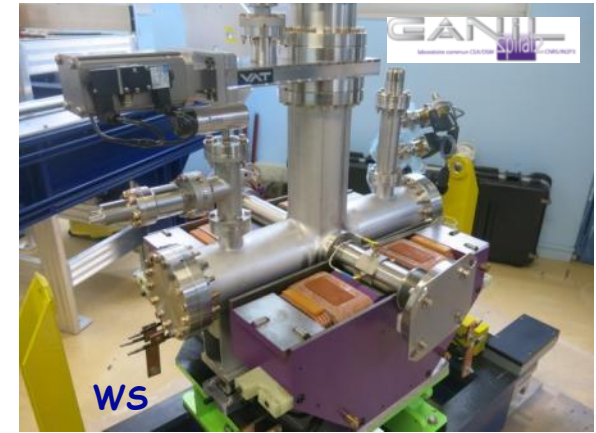


Le projet Spiral 2

Installation du linac



Cryomodules :
Entreposage zone tampon et contrôles avant installation (défect chocs / vide / RF)



Le projet Spiral 2

Installation du linac

Châssis et réseaux

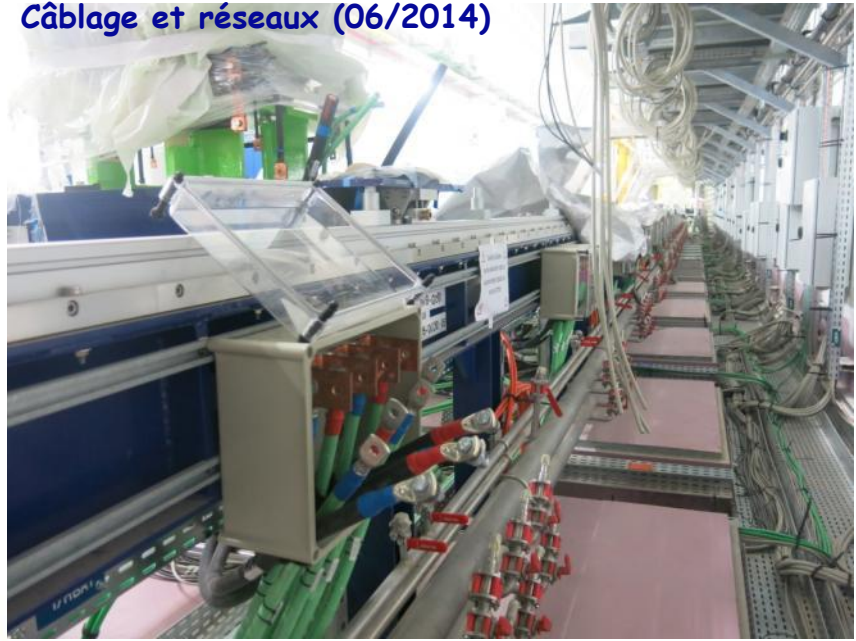


tunnel linac (06/2013)



Chassis support

Câblage et réseaux (06/2014)



Alignment (06/2014)

Le projet Spiral 2

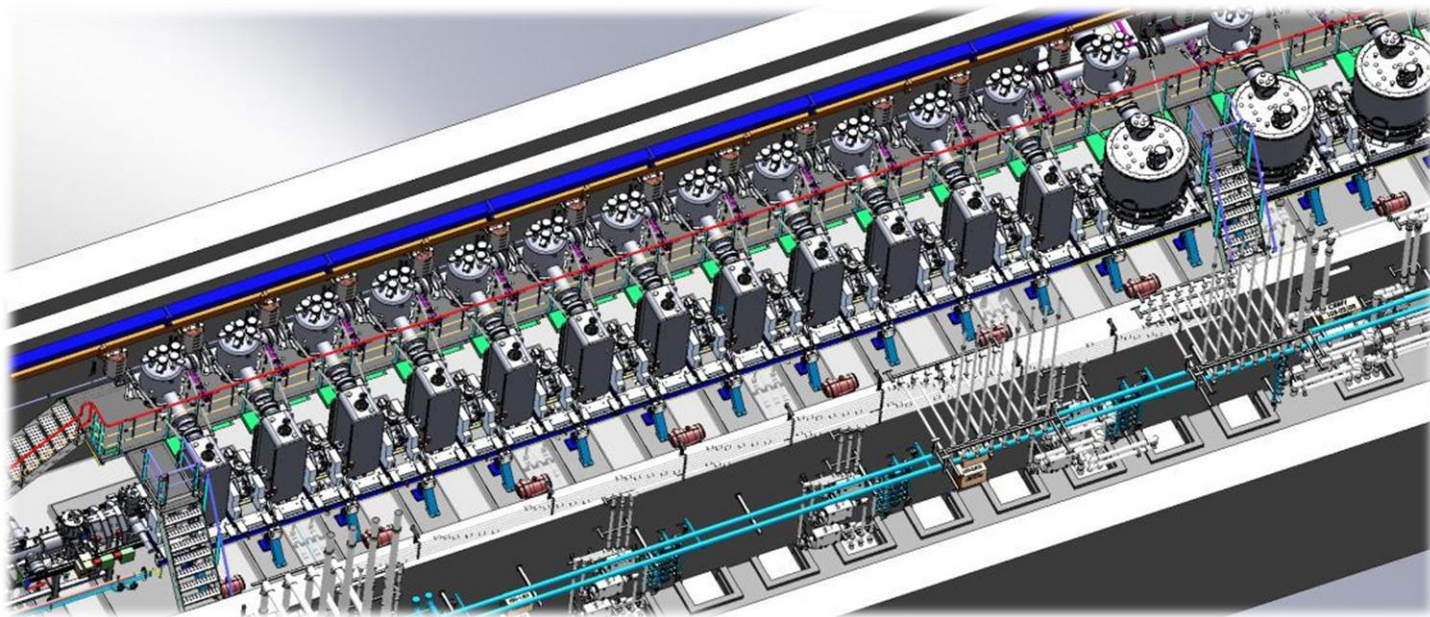
Installation du linac



Mise au propre avant installation éléments linac

Contraintes d'installation pour le linac

- contrôles avant descente dans le tunnel (points d'arrêt LOMC)
- ordre de raccordement des équipements dans le tunnel
 1. boîte à vannes
 2. cryomodules
 3. section 'chaudes'
- positionnement des cryomodules suivant leurs performances (RF, cryo)
- raccordement des sections chaudes entre cryomodules sous flux laminaire
- co-activité avec début du commissioning (test faisceau avec le RFQ fin 2015)



Le projet Spiral 2

Installation du linac



! NC sur les éléments de liaisons !



Le projet Spiral 2

Installation du linac

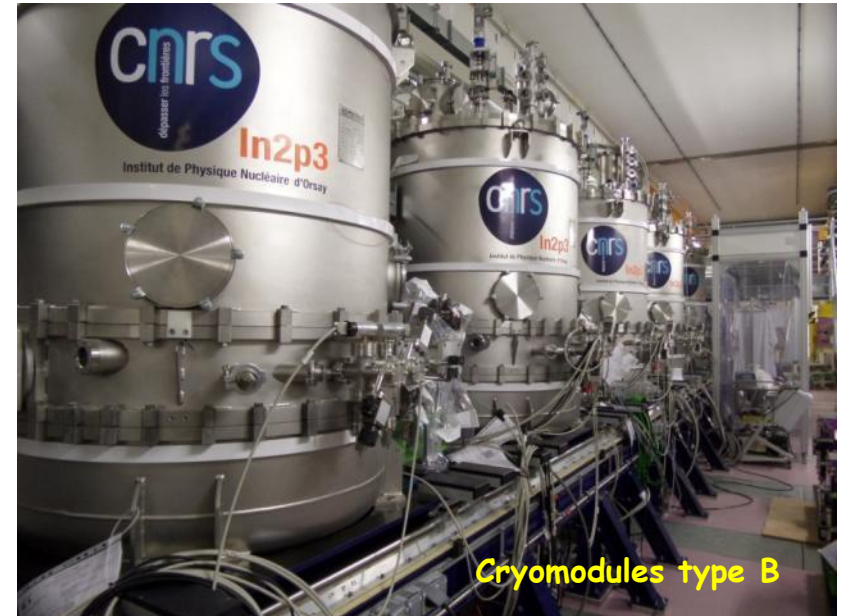
Raccordement sections 'chaudes'



- risque de pollution par poussière => intervention sous flux laminares (ISO 5)
 - risque migration vers cavité => aération et mise sous vide 'lente'

Le projet Spiral 2

Installation du linac



Bilan
reste 3 cryomodules à
installer et 10 sections
chaudes à raccorder

Le projet Spiral 2

les lignes hautes énergies



Installation en cours

- raccordement des réseaux
- reprise mécanique des châssis !
- installation des chambres à vide mi-2016

Le projet Spiral 2

Systèmes auxiliaires



Réseau de distribution RF

réfrigération



Systèmes HF

Amplificateurs HF

Contrôle commande



Poste de commande opérationnel, au rdv avec pour le premier faisceau accéléré avec le RFQ en Décembre 2015 !

- ✓ installation en // de la construction bâtiment
stratégie payante (à la date de la réception des bâtiments, mi-2014, plus de 70 % de l'injecteur est installé)
- ✓ contrôle qualité : à toutes les étapes !
Indispensable dans la phase d'installation (anticipation dans la gestion des non conformités)
- ✓ installation en // du commissioning faisceau
dans la limite de l'évolution du zonage radiologique

prochains jalons 2016

- fin de l'installation de l'accélérateur supraconducteur et des lignes 'haute énergie'
- tests faisceau avec le RFQ (He, O₂, métalliques)
- mise froid de l'accélérateur
- obtention de l'autorisation de mise en service complète (ASN)
- tests HF des cavités supra
- tests faisceau de D₂ avec le RFQ sur BTI

Le projet Spiral 2



Merci de votre attention