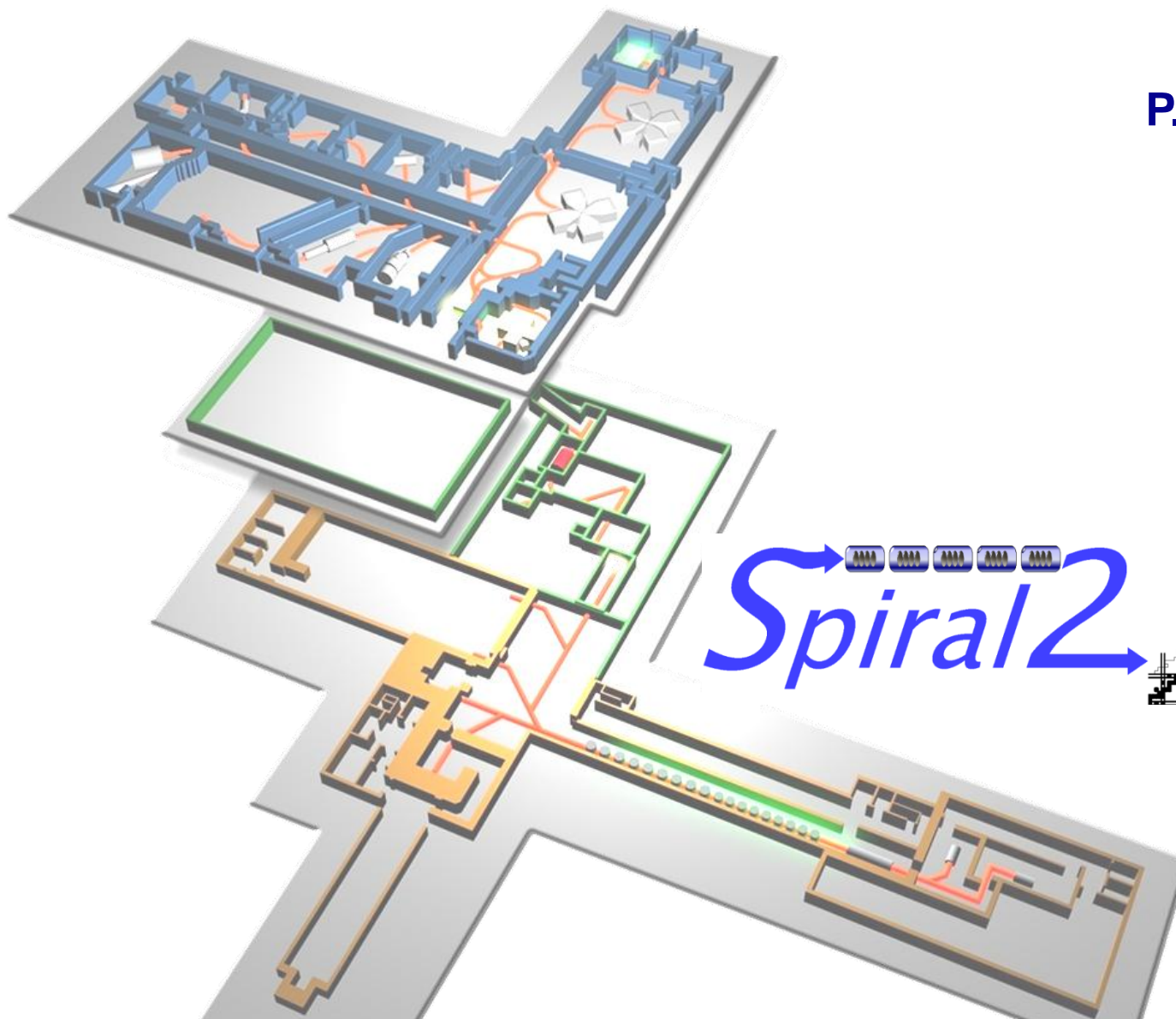


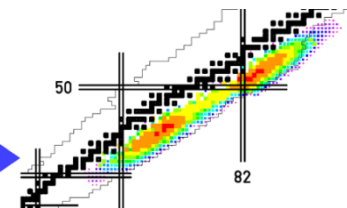
# Le projet Spiral 2

## État de la construction

P. Dolégiéviez  
GANIL- Caen



*Spiral 2*



- **introduction**
- **le projet spiral 2**
  - l'accélérateur
  - les systèmes de production des FR
- **point sur la construction des infrastructures et installation de l'accélérateur**
- **conclusion**

# Le projet Spiral 2



mai 2005



IN2P3



## 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 (LPNHE)

Laboratoire de Physique Subatom. et de Cosmol. Grenoble (LPSC)

Grand Accélérateur National d'Ions Lourds

**GANIL**

Laboratoire commun CEA / DSM - CNRS / IN2P3

## R&D

DSM IRFU/SPhN

DSM

DSM

DSM – Saclay

DAM DPTA

DEN

DPSN

## Construction

IRFU/SACM

IRFU/SIS

IRFU/SENAC

Expertise

DASE et DP2I

Expertise

Expertise



*large  
collaboration  
internationale  
scientifique et  
technique*

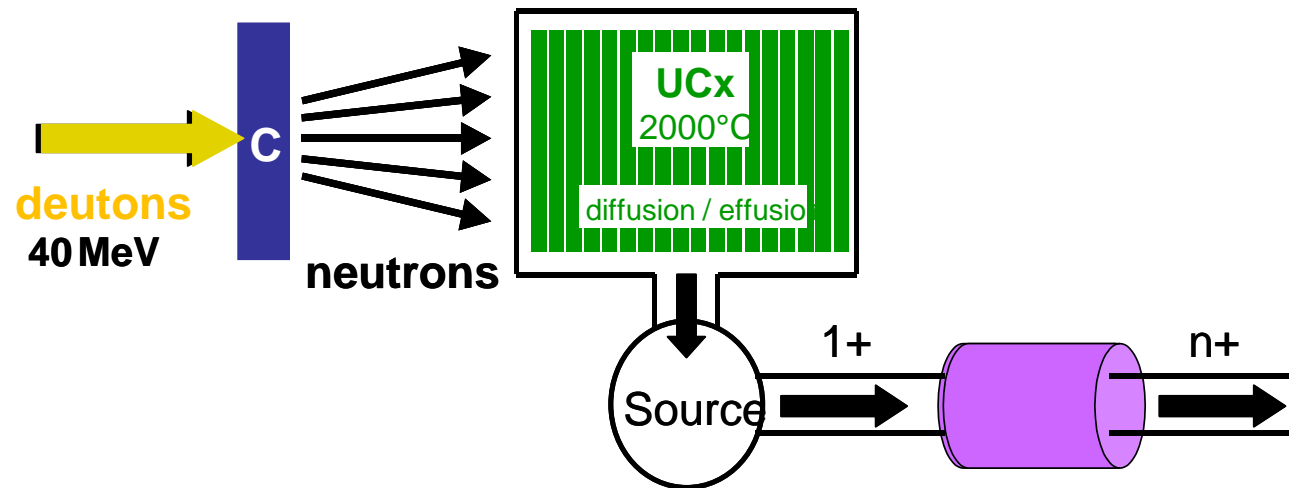


*SPIRAL : Système de production  
d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne*

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

technique utilisée : utiliser un faisceau primaire de haute intensité pour produire un haut flux de neutrons sur une cible fissile

principe

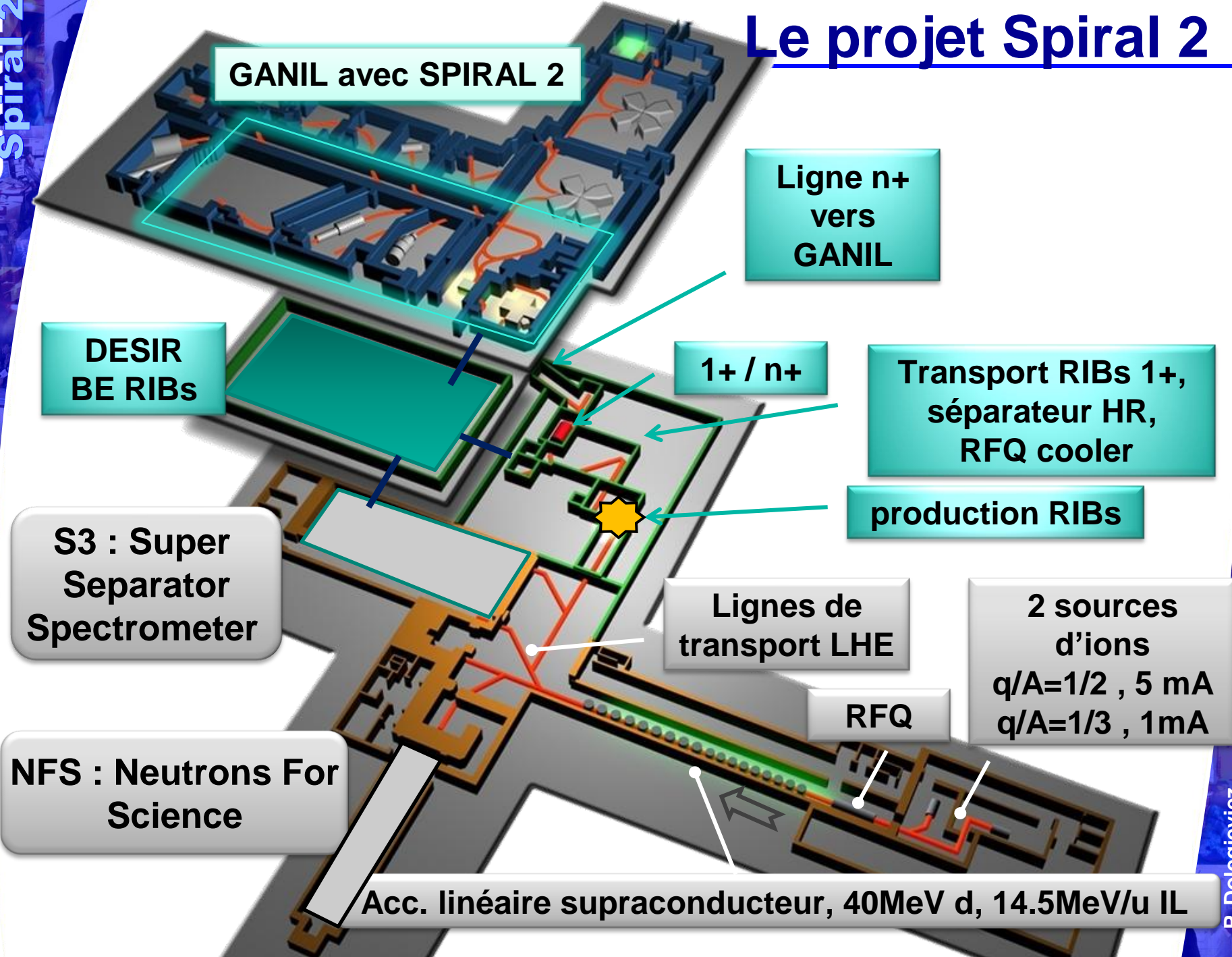


faisceaux primaires -> 5 mA

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



# Le projet Spiral 2



## 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

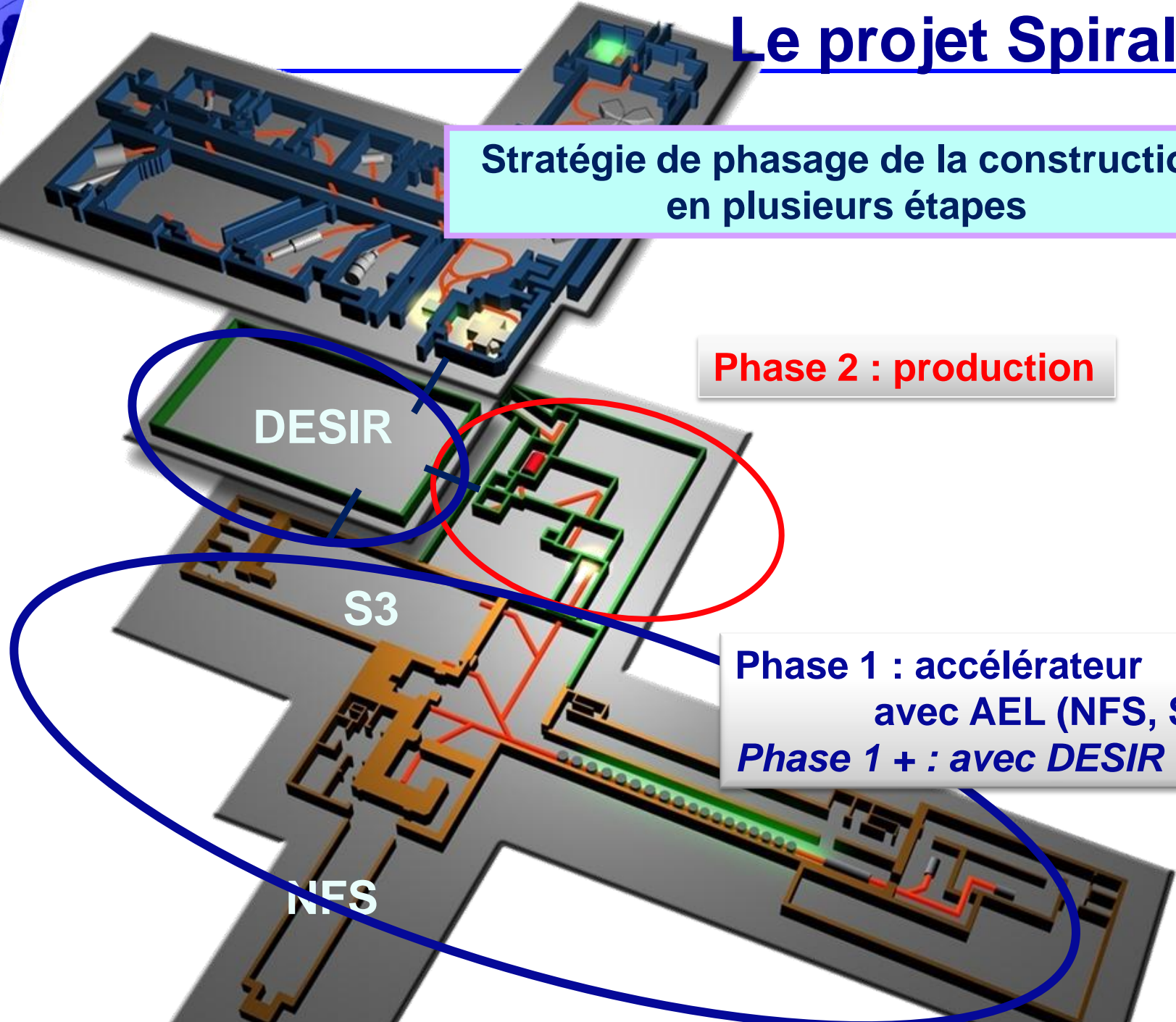


# Le projet Spiral 2

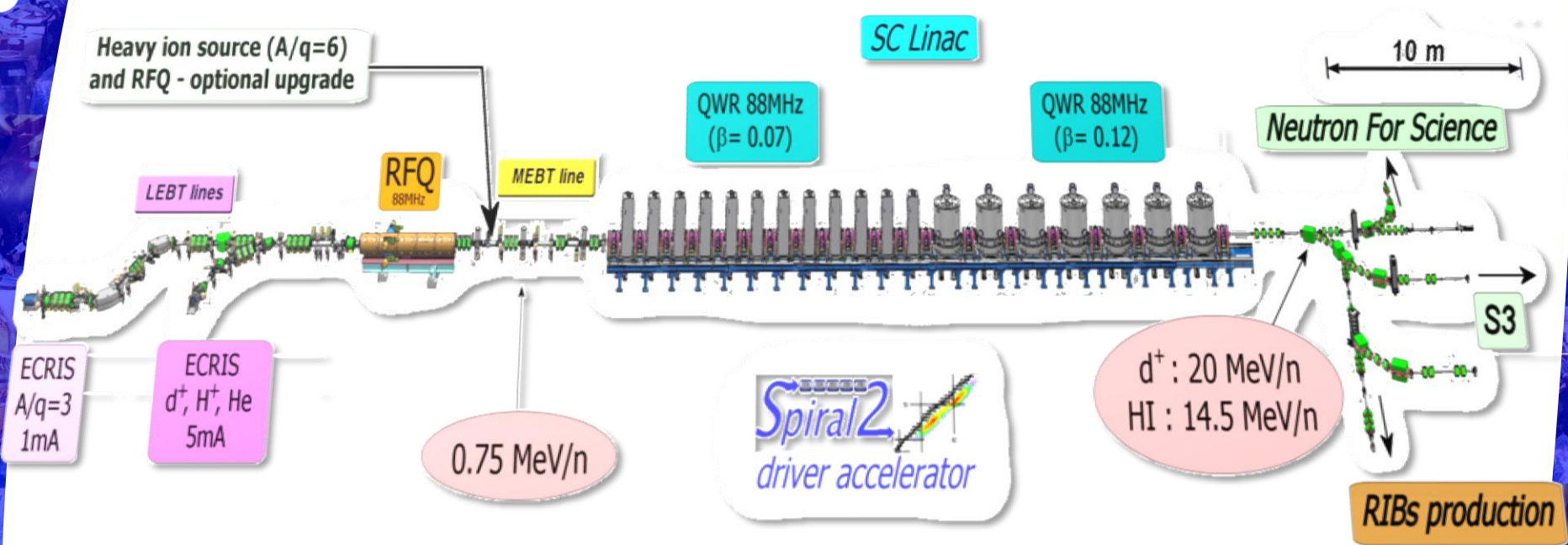
Stratégie de phasage de la construction en plusieurs étapes

Phase 2 : production

Phase 1 : accélérateur avec AEL (NFS, S3)  
Phase 1 + : avec DESIR



# Le projet Spiral 2 l'accélérateur

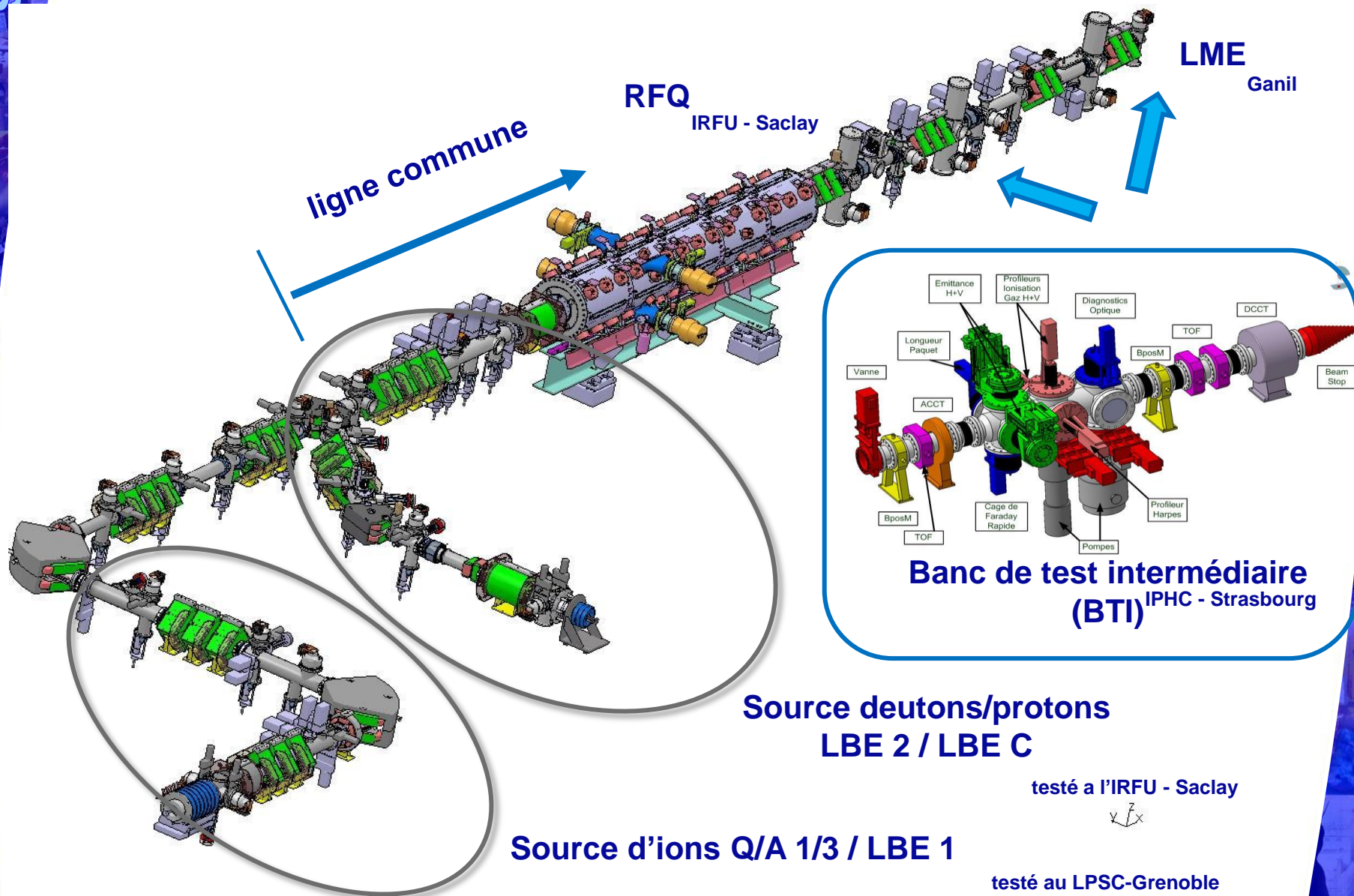


	Q/A	I (mA)	Energy (Mev/u)	CW max beam Power (KW)
Protons	1/1	5	2 - 33	165
Deuterons	1/2	5	2 - 20	200
Ions	1/3	1	2 - 14.5	45
Ions (option)	1/6	1	2 - 8	48



# 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 O<sup>6+</sup>,  
47 kV (2010)  
<P> : 2. 10<sup>-8</sup> mb



Four LCO (ganil)  
(ions métalliques)

➤ ligne en cours d'installation sur le site Spiral2



# Le projet Spiral 2

source ECR deutons et ligne basse énergie

## l'injecteur



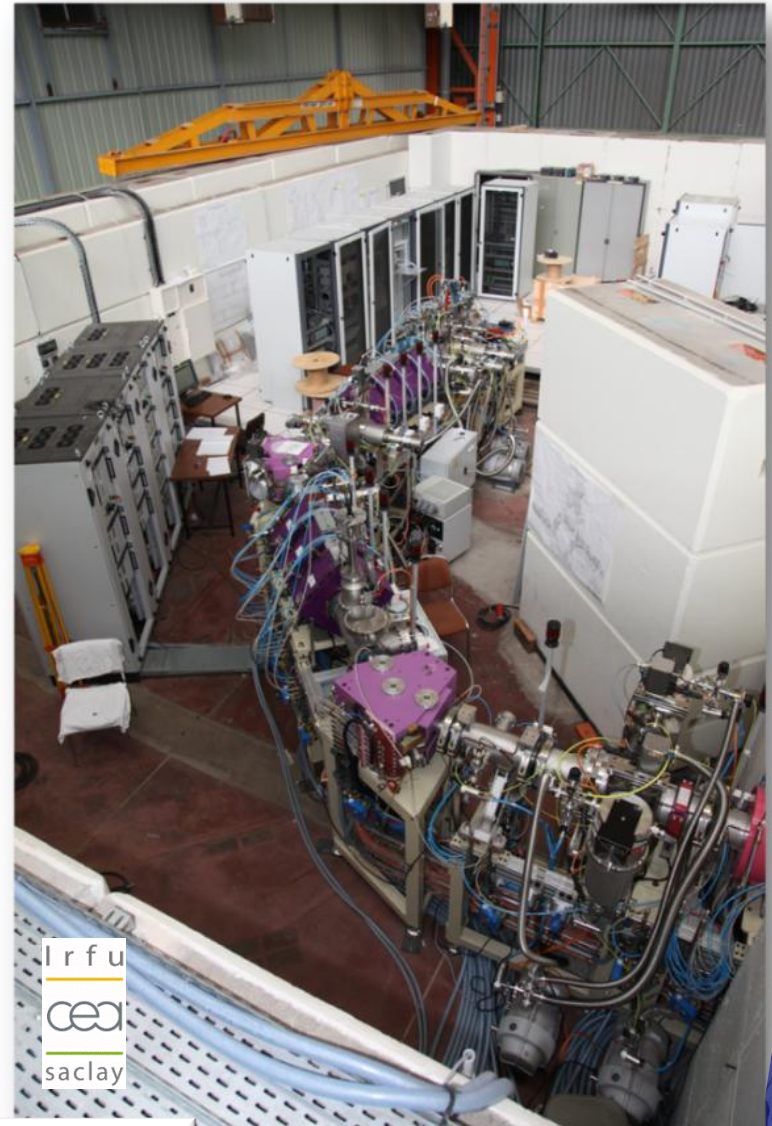
Test de la source Deutons / protons  
et de la ligne de transport LBE2-LBEC  
à l'IRFU (Saclay)

D+ : 5,8 mA

H+ 7 mA

⇒ Protons 5,5 mA en LBEC (2011)

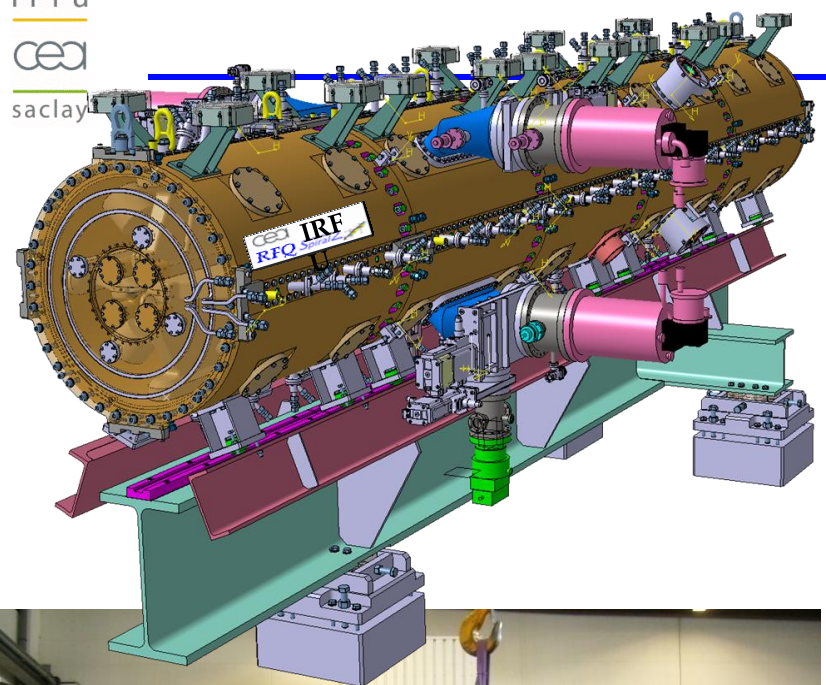
<P> :  $10^{-6}$  mb /  $2 \cdot 10^{-8}$  mb



➤ ligne en cours d'installation sur le site Spiral2

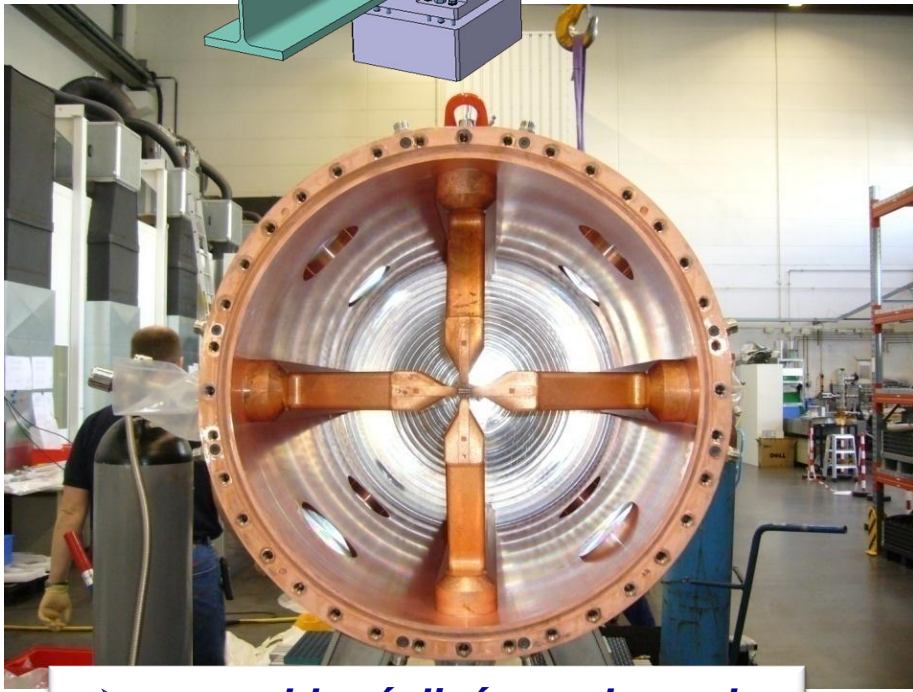
# Le projet Spiral 2

## l'injecteur

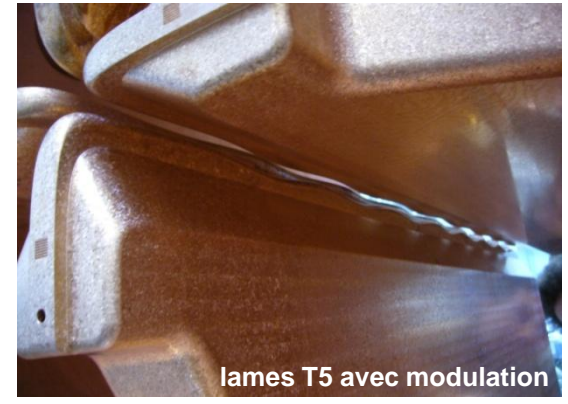


### RFQ

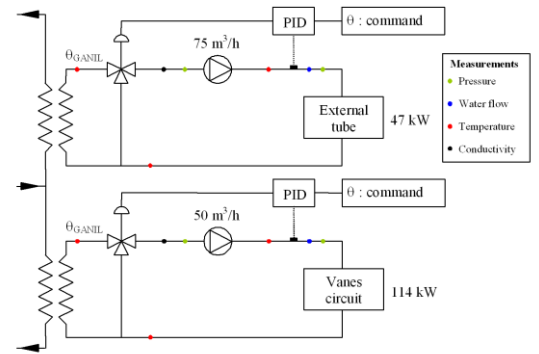
- cavité quadripolaire radiofréquence
- assemblage de 5 tronçons  
( $\Phi : 0,78\text{m}$  ,  $l : 1\text{m}$ )
- structure en Cuivre Cu-C  
88 Mhz E : 0,75 MeV/n  
 $\langle P \rangle : 2 \cdot 10^{-8} \text{ mb}$



➤ ensemble réalisé, en phase de réception chez le constructeur



lames T5 avec modulation



ajustement en fréquence => syst de refroidissement



# Le projet Spiral 2

## l'injecteur

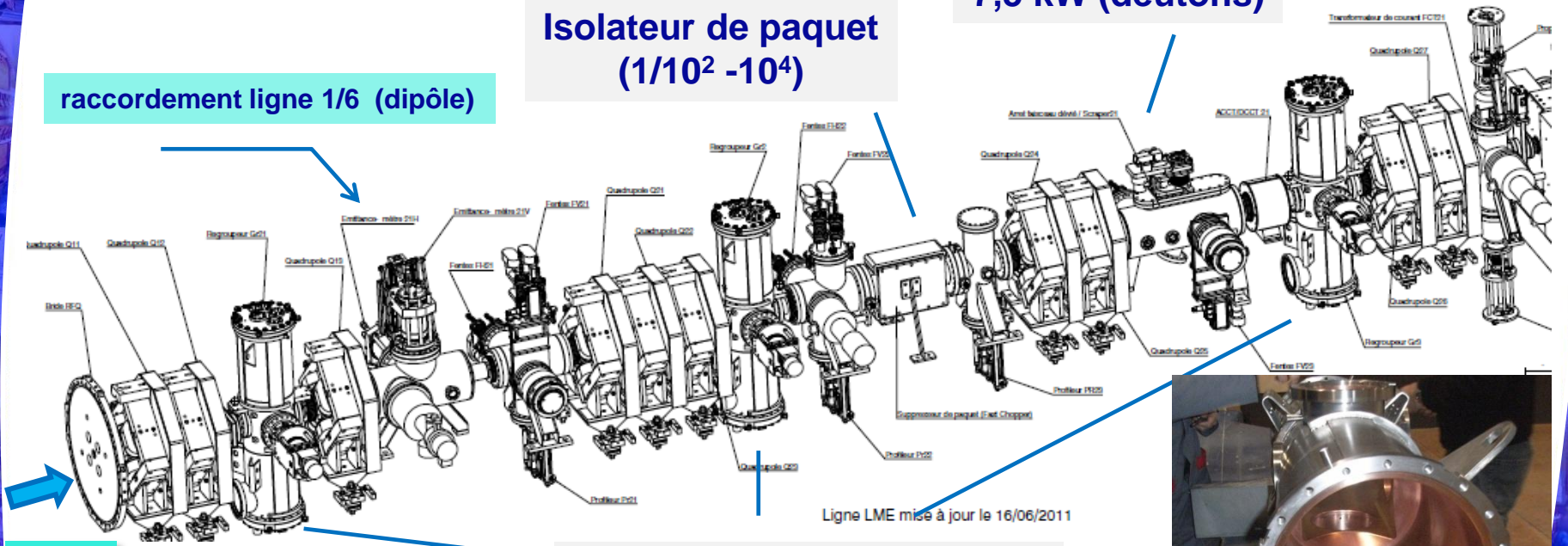
- LME (ligne moyenne énergie)**
- transport sans accélération du faisceau RFQ -> linac
  - maintien des paquets (regroupeurs)
  - mesures du faisceau et limitation du halo (jeux de fentes)
  - suppression de paquets
  - connexion future ligne ions 1/6

linac

raccordement ligne 1/6 (dipôle)

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

Bloc d'arrêt  
7,5 kW (deutons)



RFQ

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

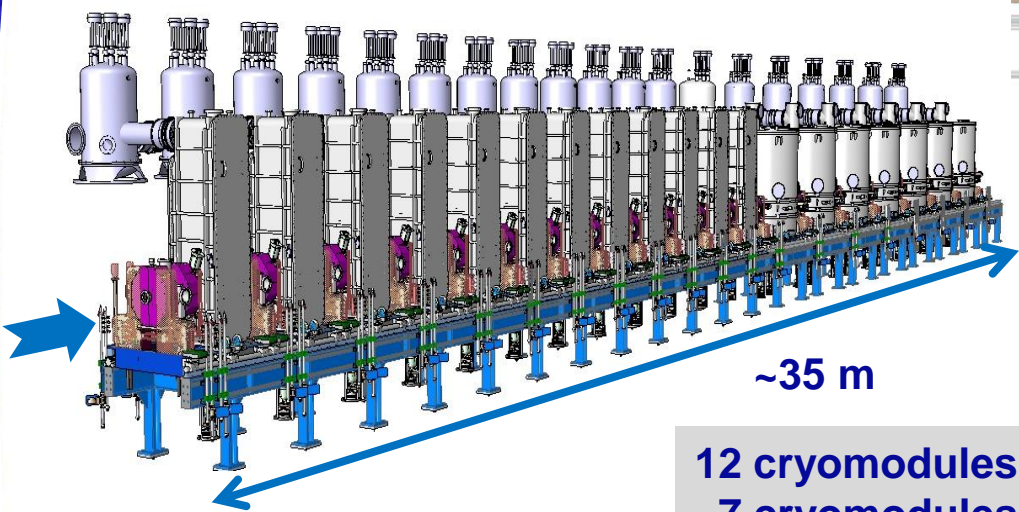
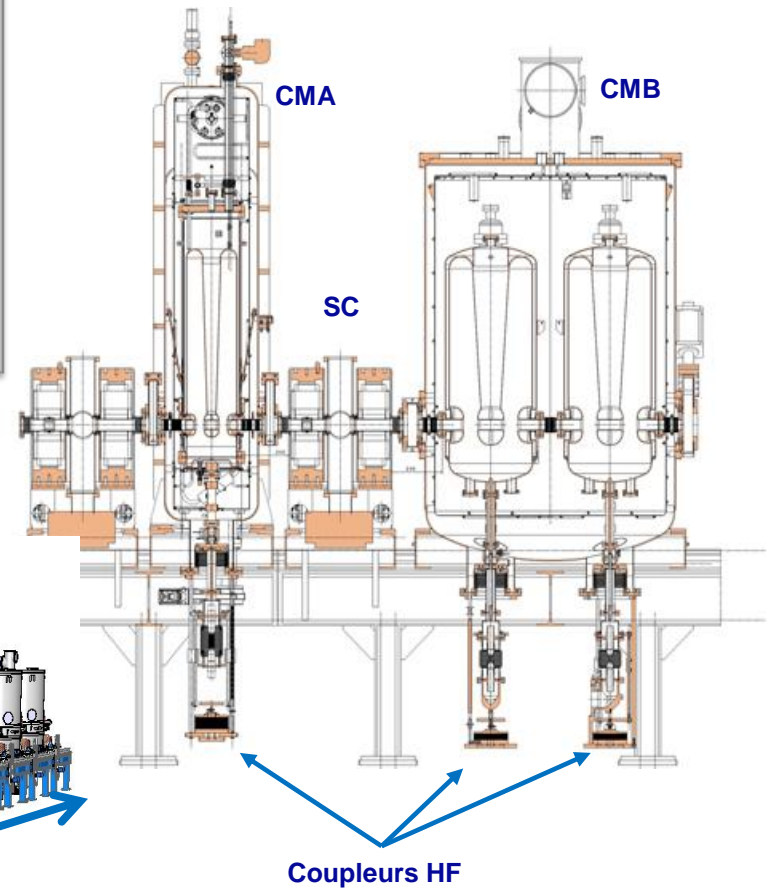
Ligne LME mise à jour le 16/06/2011



# Le projet Spiral 2 linac

## Accélérateur linéaire supraconducteur

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



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



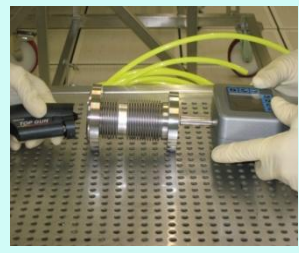
## Traitement des cavités et assemblage des CM

# 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**

# Le projet Spiral 2 linac

## Cryomodule A



Vacuum vessel

Magnetic shield (against the vacuum vessel wall)

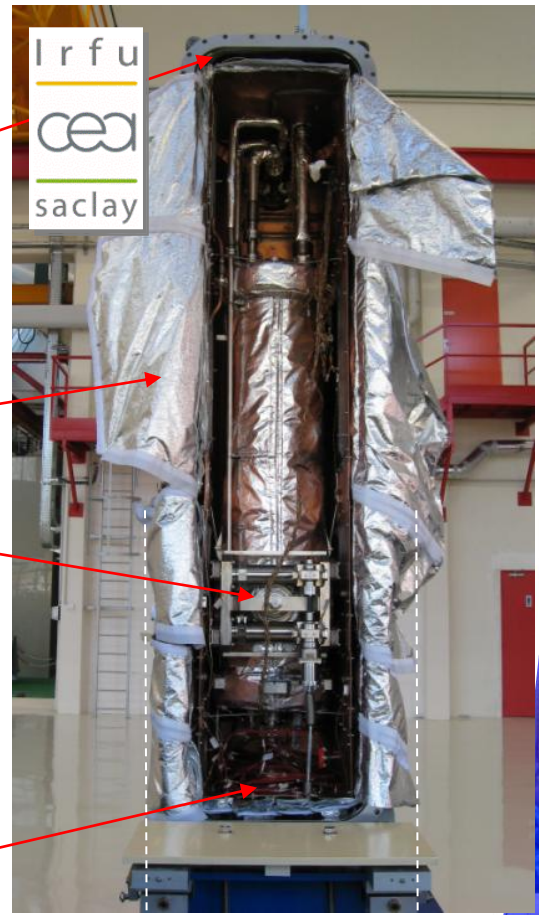
Cryogenic connections (towards valves box)

Superinsulation

Tuning system

Beam valves

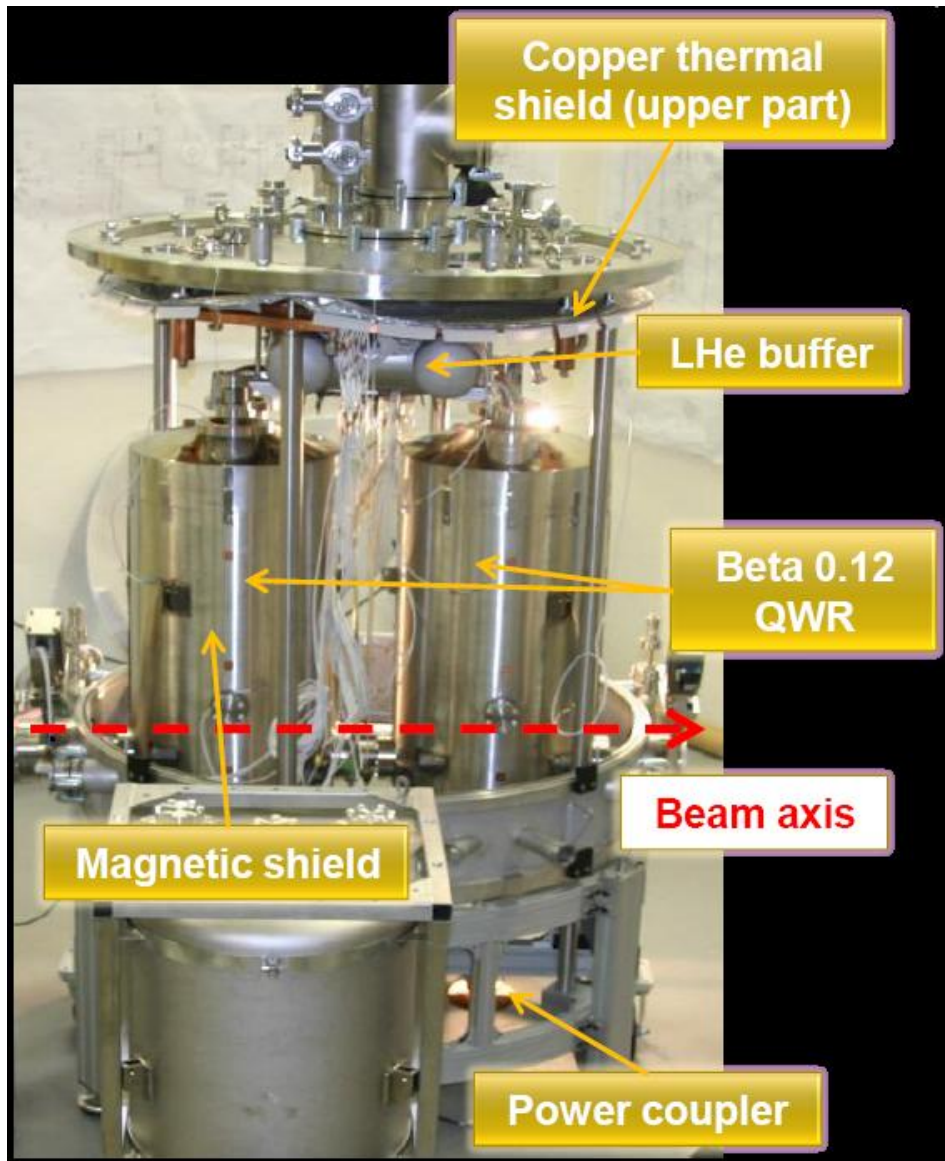
60K thermal screen



610 mm



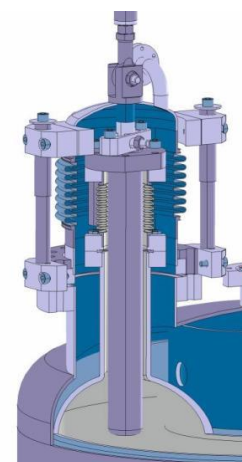
# Le projet Spiral 2 linac



## Cryomodule B



écran thermique  
CMB



Système d'accord HF  
(plongeur)

# Le projet Spiral 2 linac



Coupleurs de puissance RF  
10 kW

Test cryomodules à  
4,2 K

➤ livraison des  
cryomodules en  
cours sur le site  
Spiral 2

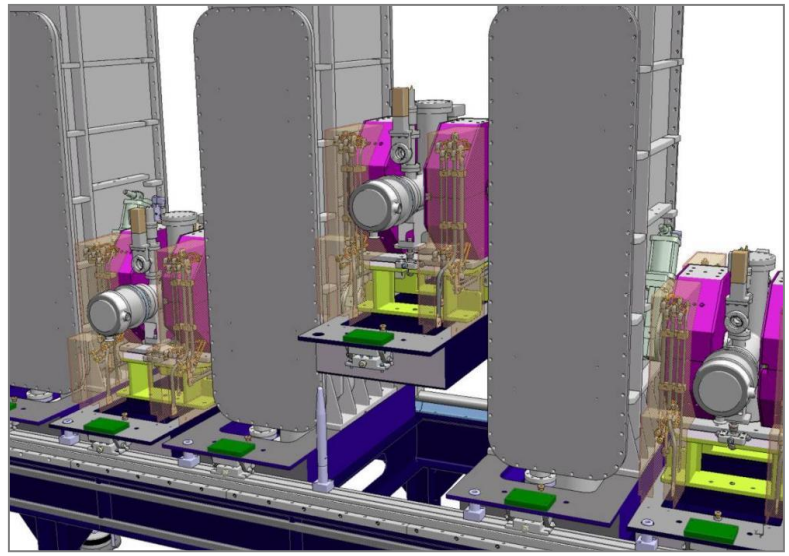
Test CMB avec section chaude



# Le projet Spiral 2

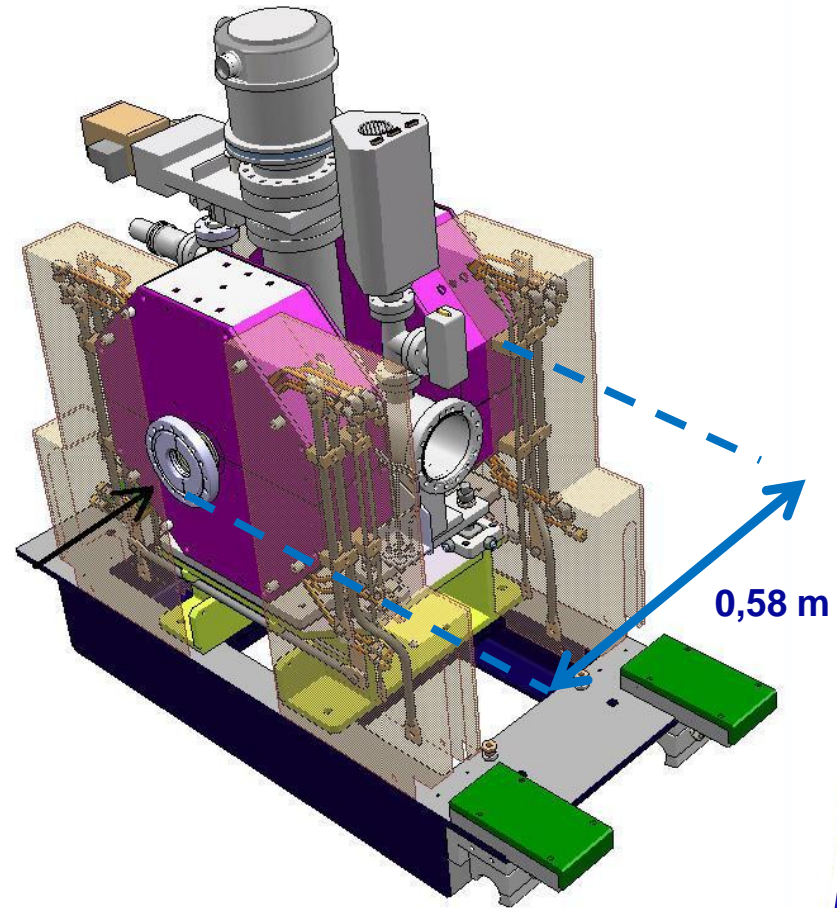
## linac

sections 'chaudes'



20 sections 'chaudes'

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

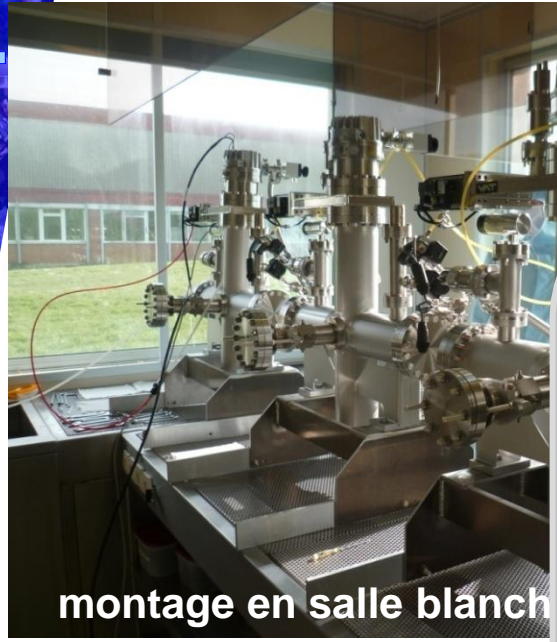


proximité des cavités HF supra →

exigences liées au risque pollution (montage, exploitation)

# Le projet Spiral 2

## linac

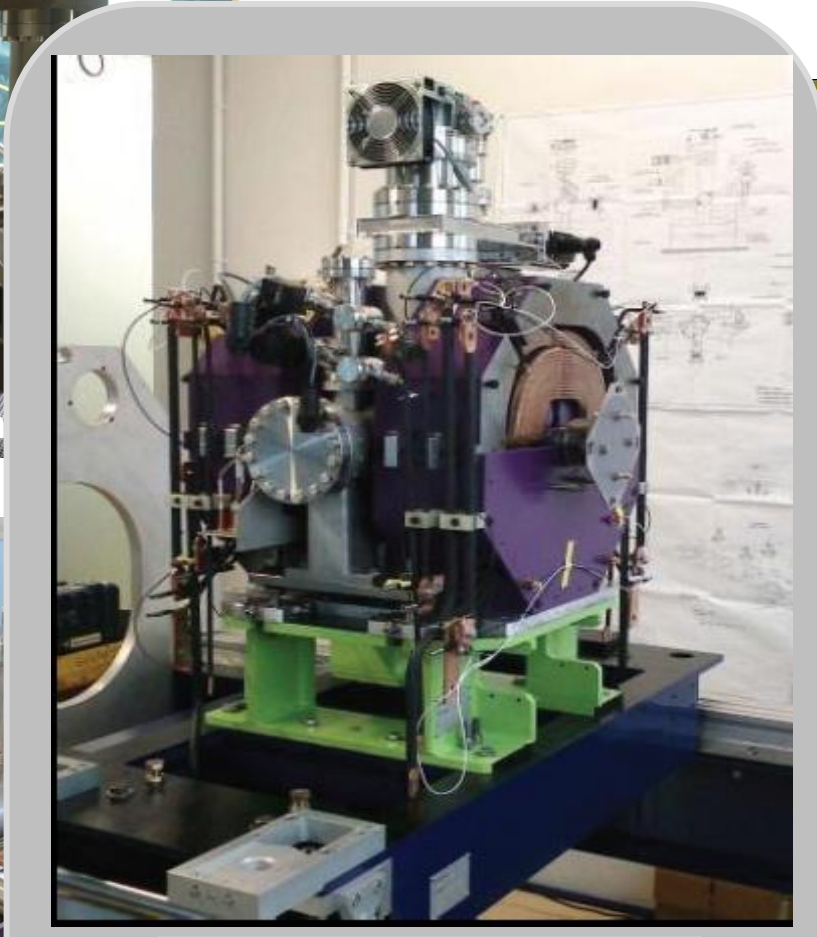


montage en salle blanche

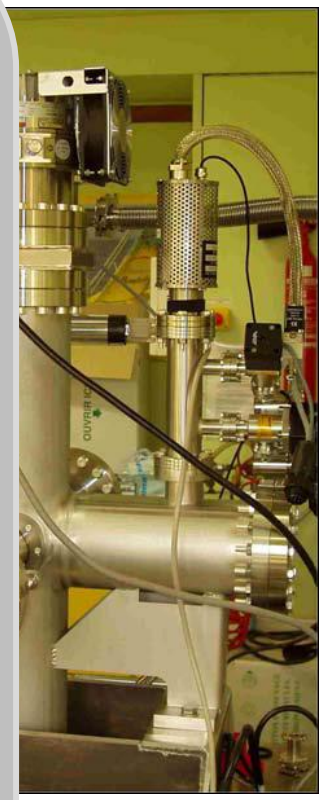


Intégration dans Q-pole et alignement

Montage sections 'chaudes'



➤ prêt pour l'installation sur le linac



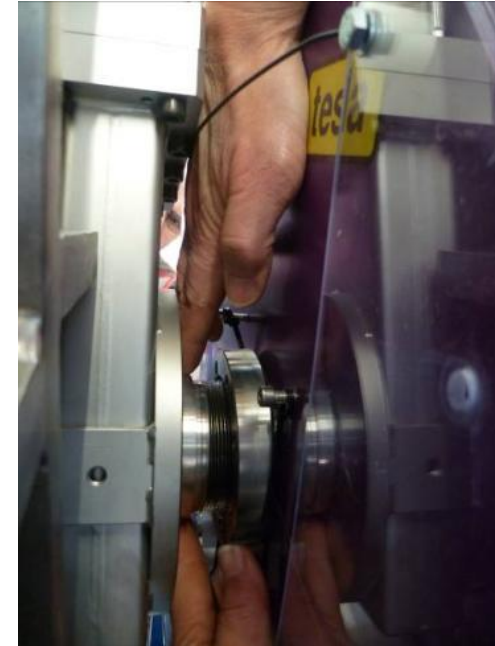
en vide





tests Intégration SC sur CMA

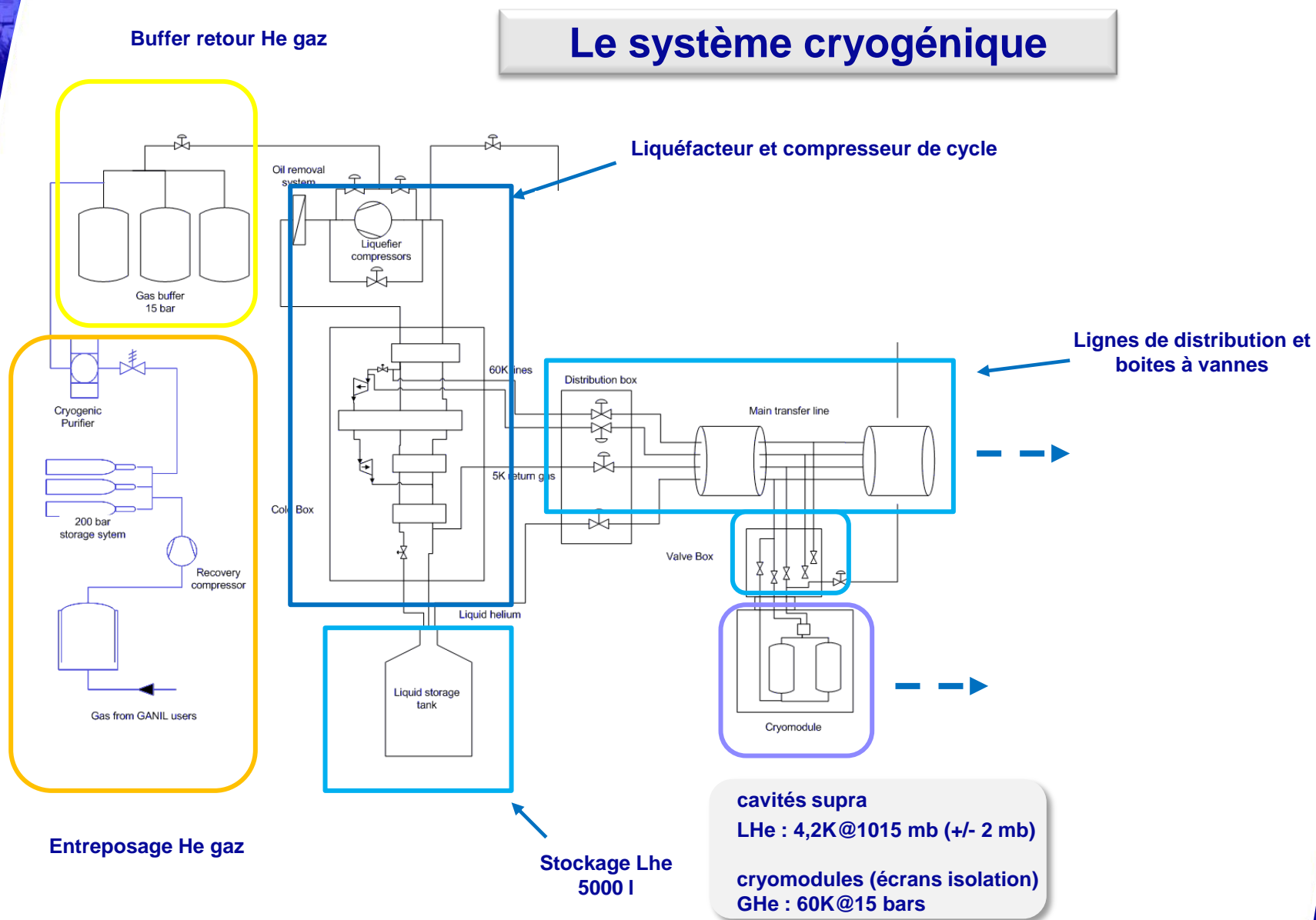
Intégration  
sections 'chaudes'



Raccordement  
bride SC / bride CM

➤ *tests de raccordement avec  
le vide cavité (sous flux  
laminaire)*

### Le système cryogénique



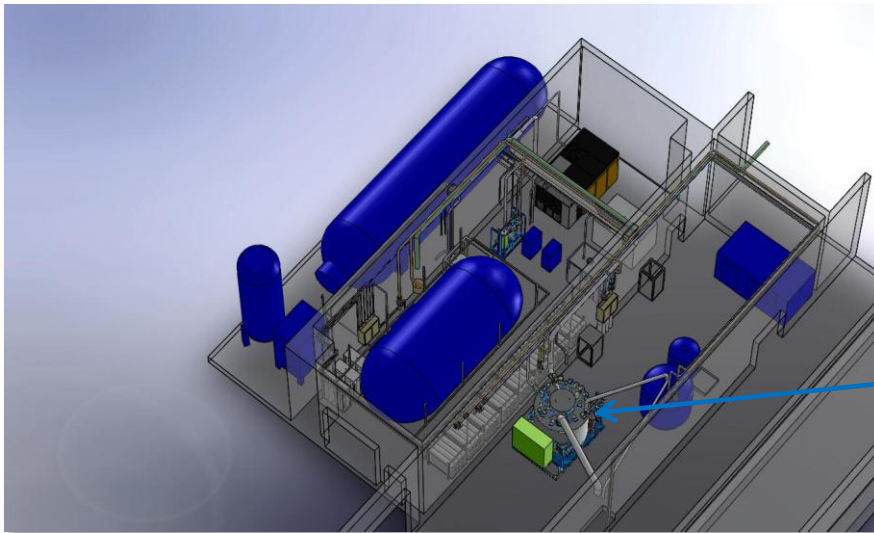


# Le projet Spiral 2

## linac

### 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	<b>1100 W</b>	<b>3000 W</b>	10 l/h



Intégration système cryogénique dans le bâtiment



➤ système réalisé, début d'installation 04/2014



# Le projet Spiral 2 linac

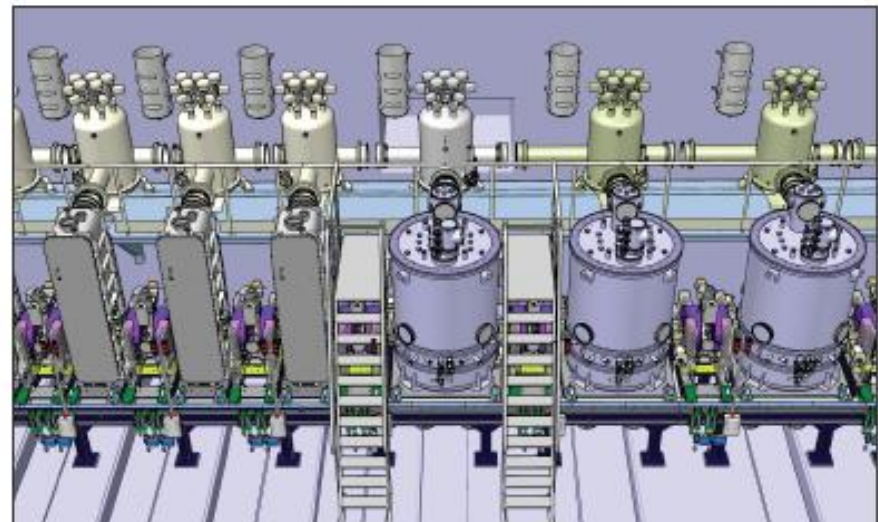
Le système cryogénique :  
la distribution



boîtes à vannes



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

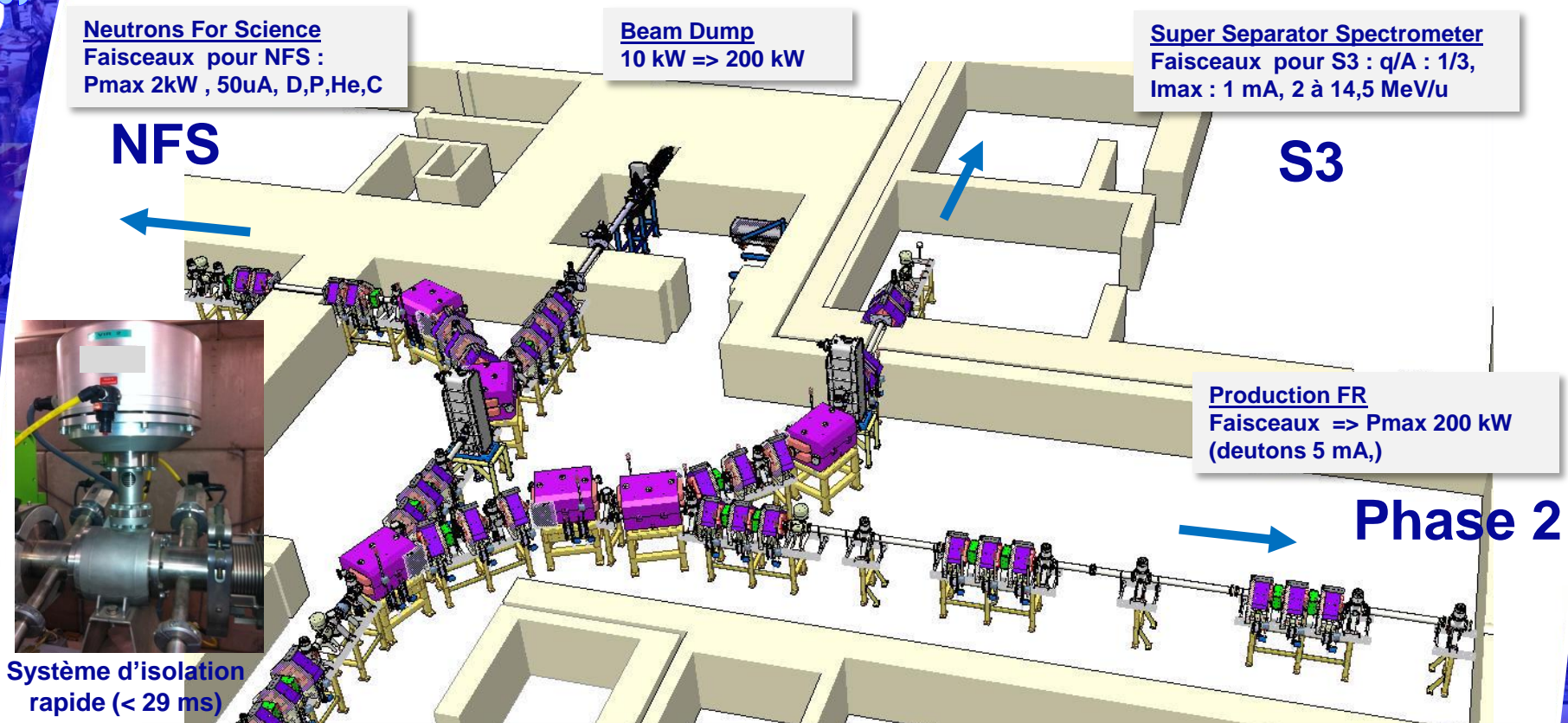


➤ système livré sur le site Spiral 2



# 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

# Le projet Spiral 2

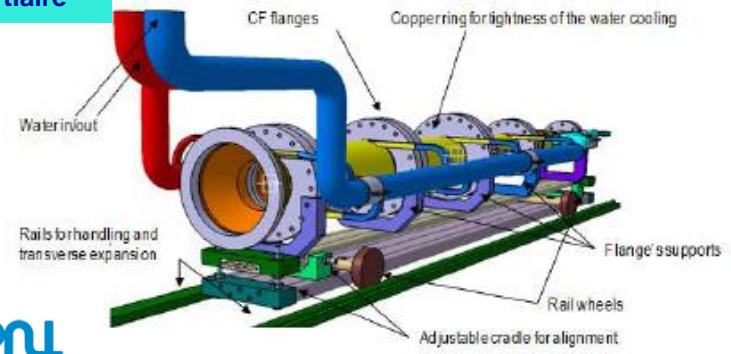
## Lignes de transfert haute énergie

### Arrêt faisceau principal

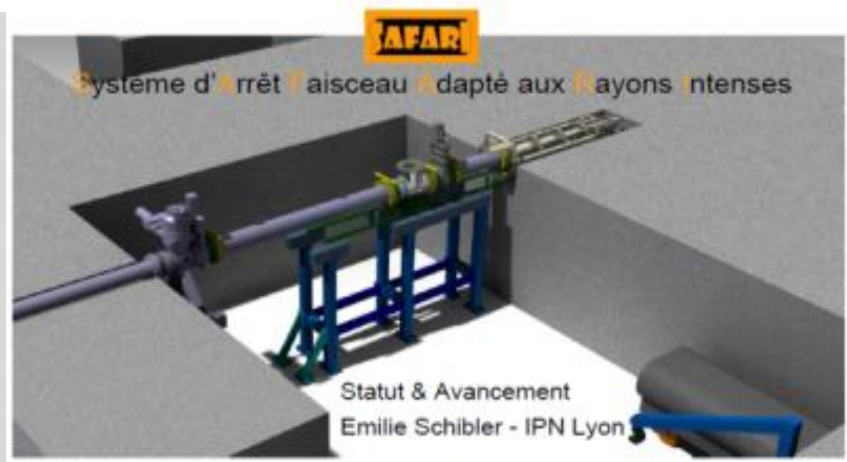
**Fonction : arrêter le faisceau en phase de réglage et de contrôle du faisceau**

- ✓ dimensionnement :  
200 kW deutons (5mA / 40 MeV)
- ✓ en opération :  
limitation du temps et de la puissance déposée (limitation de l'activation de la structure)

### Refroidissement : circuit tertiaire



tests thermiques et mécaniques sur prototype



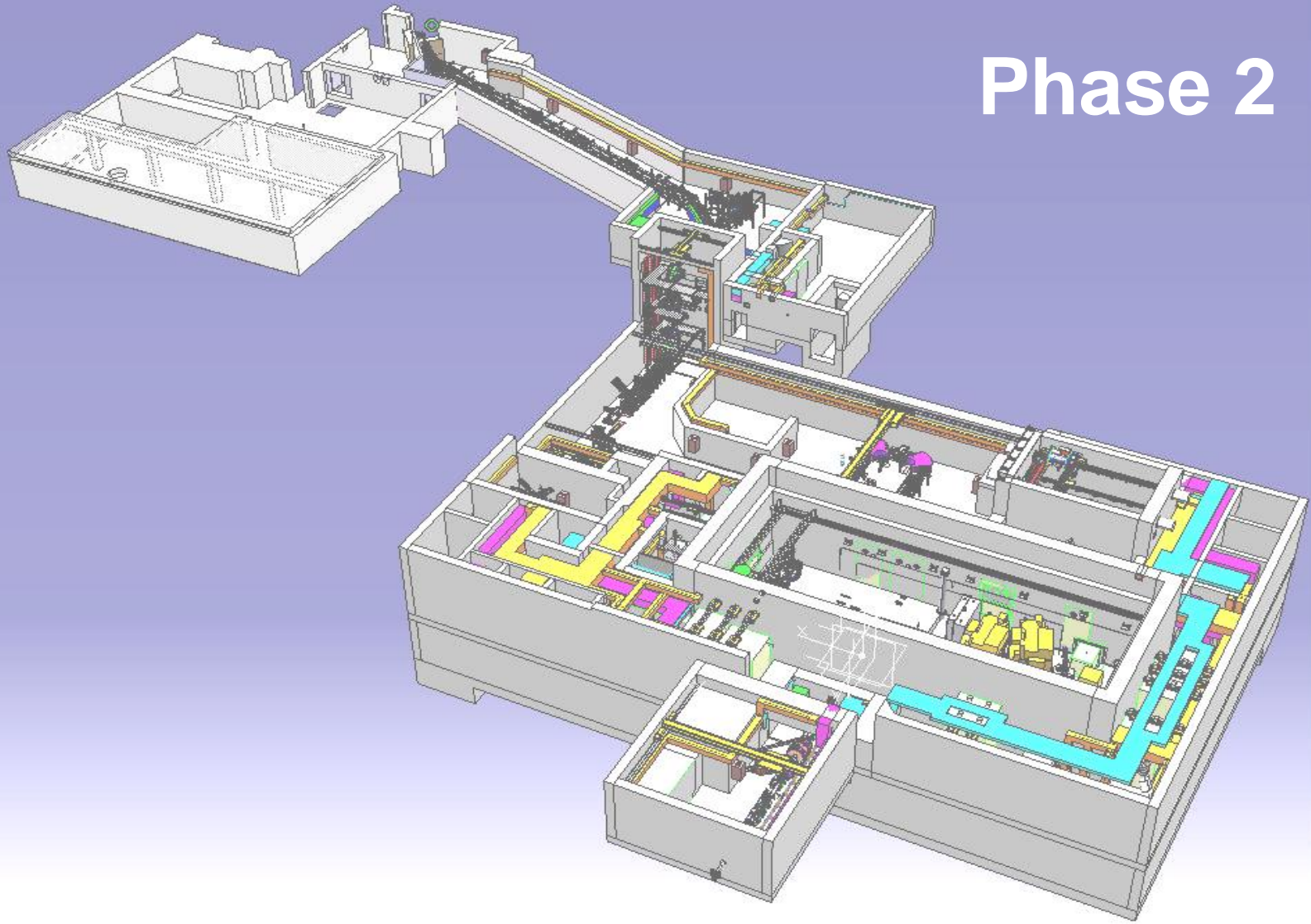
- Structure de l'AF : longueur totale 1609mm, ce design fait suite à des processus itératifs variés
- 6 sections de cuivre Cu OFHC (Cu sans oxygène) séparées par des brides CF, faible volume à pomper
  - Réduction du rayon interne progressif :  $r_{max} = 48mm$  (3σ faisceau)
  - Sections II à IV : refroidissement par canaux avec eau circulant à contre courant, les autres sections sont simples
  - Canaux usinés dans le cuivre : pas de brasage donc limitation des risques de fuite, pas de résistance thermique au contact





# Le projet Spiral 2

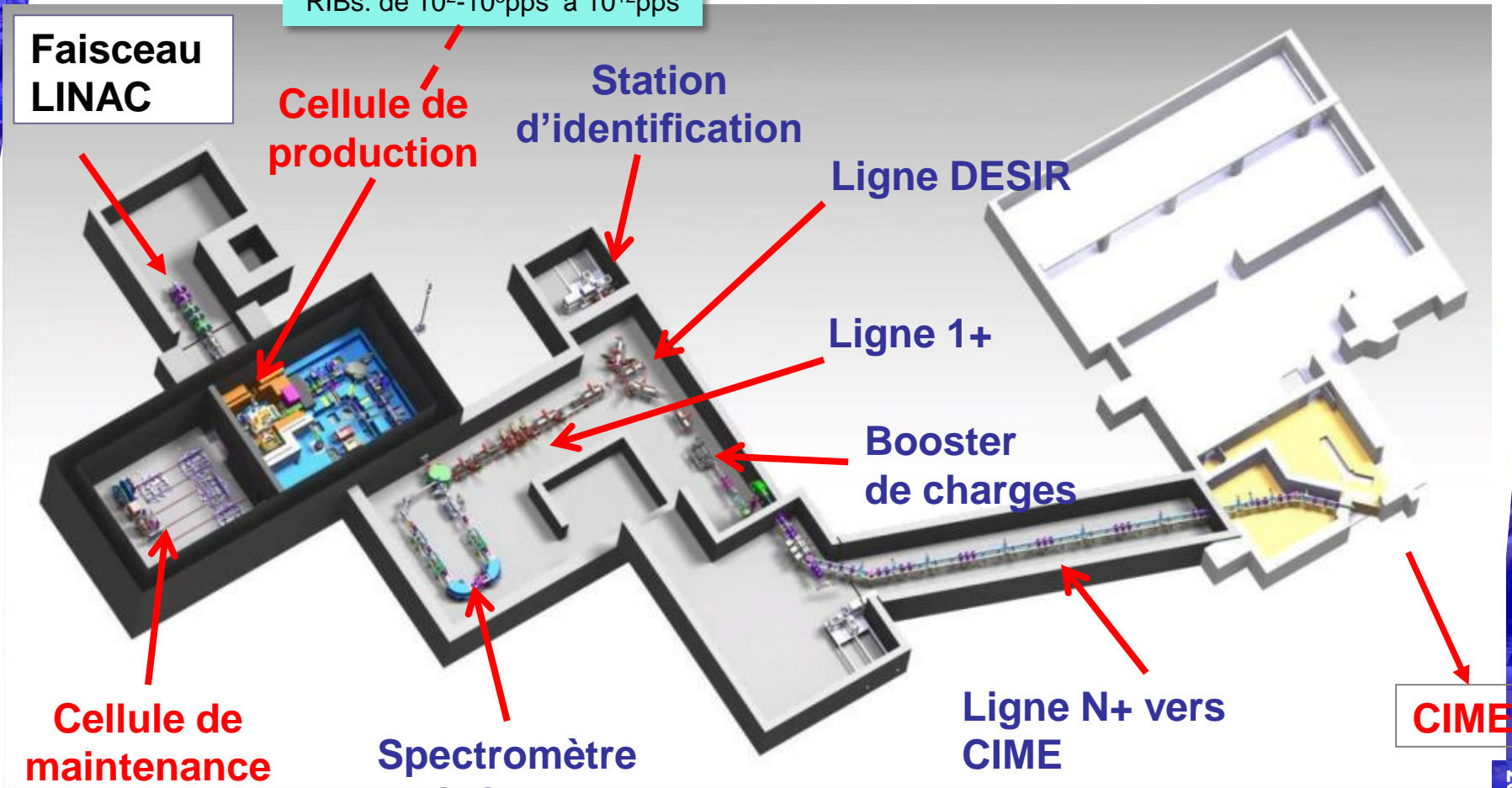
## Phase 2



# Le projet Spiral 2

## Phase 2

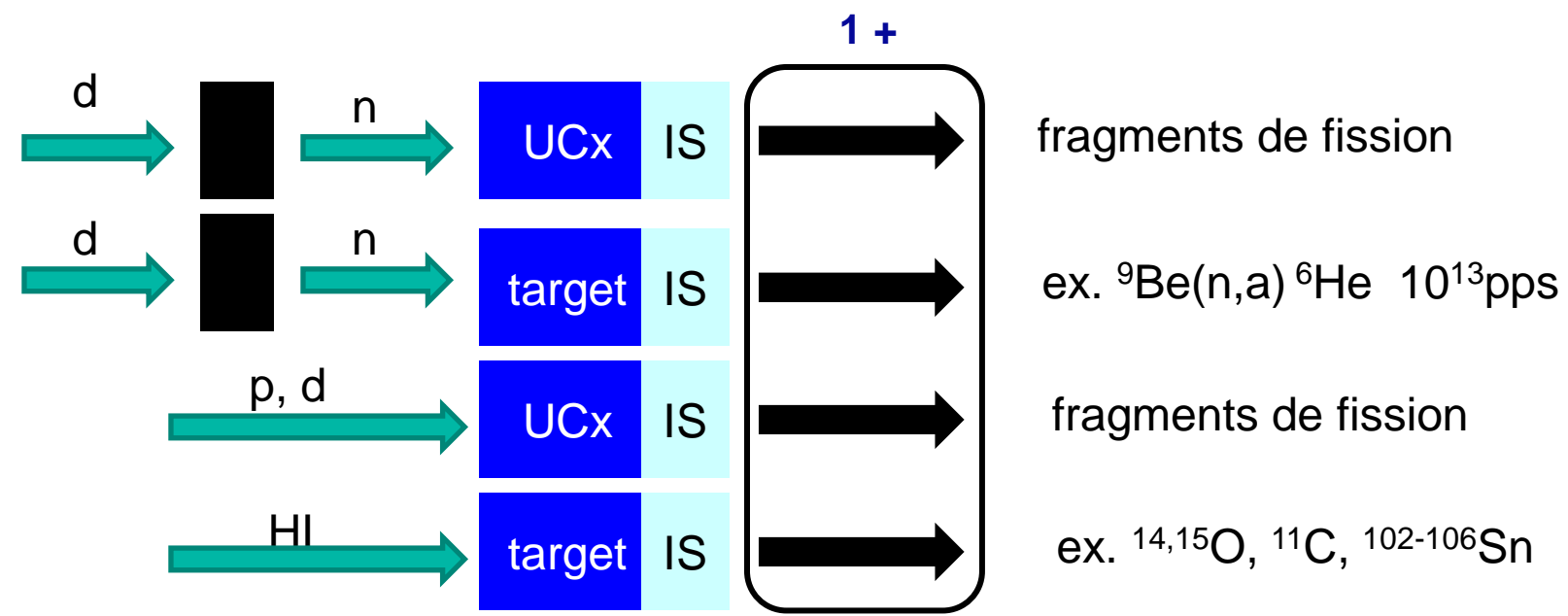
cible (UCx)  $10^{14}$  fissions/s  
run<sub>max</sub> 3 mois  
RIBs: de  $10^2$ - $10^3$ pps à  $10^{12}$ pps



Domaine de fonctionnement :  
 $\leq 60$ keV et 1-15 MeV/nucl.

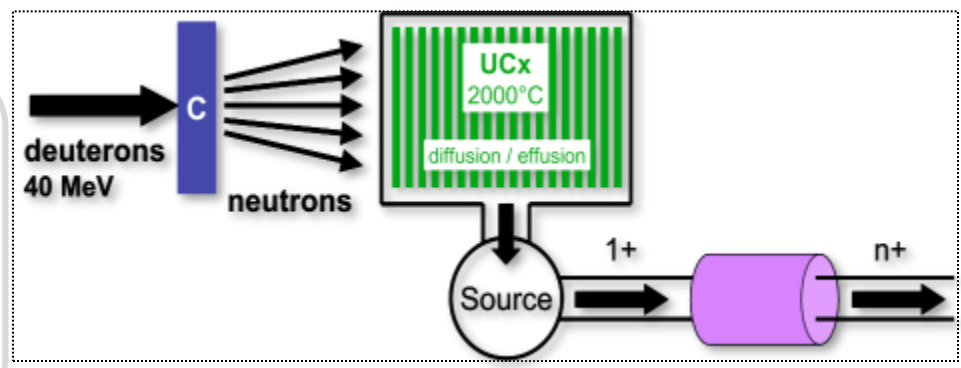


### Plusieurs méthodes de production



jusqu'à 2.3 kg UC<sub>2</sub> HD

### cas dimensionnant

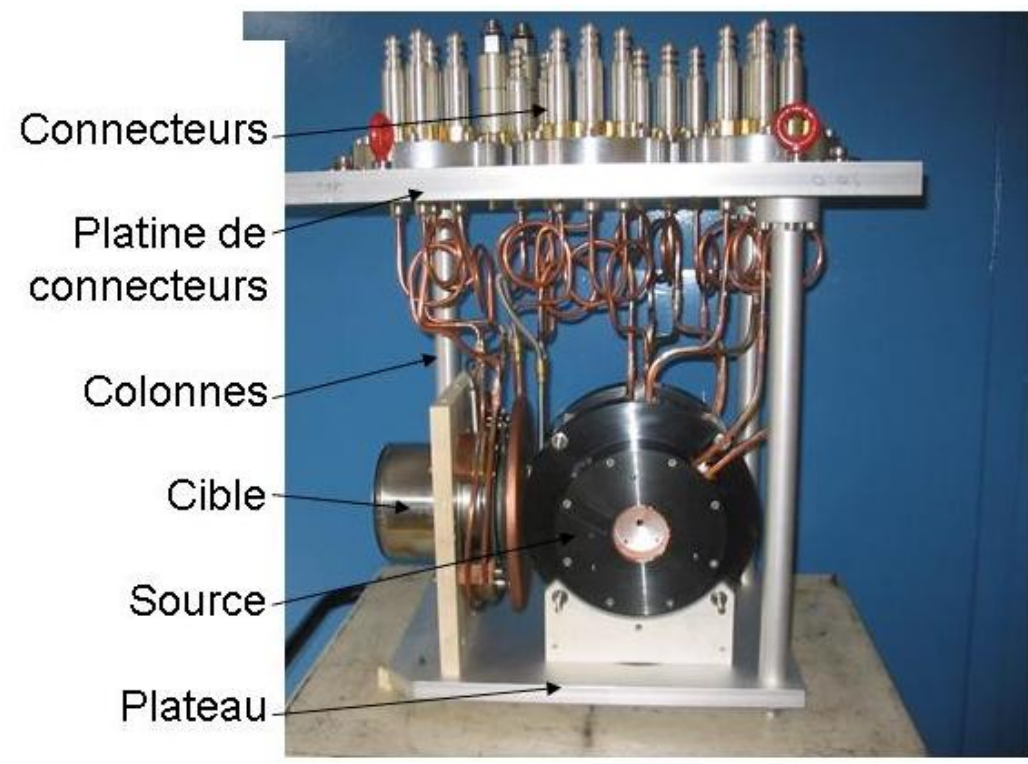


### Plusieurs types de sources d'ionisation

- ✓ ECR
- ✓ ionisation de surface
- ✓ FEBIAD
- ✓ LASER



$\sim 70 < M < \sim 150$



Ensemble cible-source ECR sur chassis d'intégration module de production (60 kV)

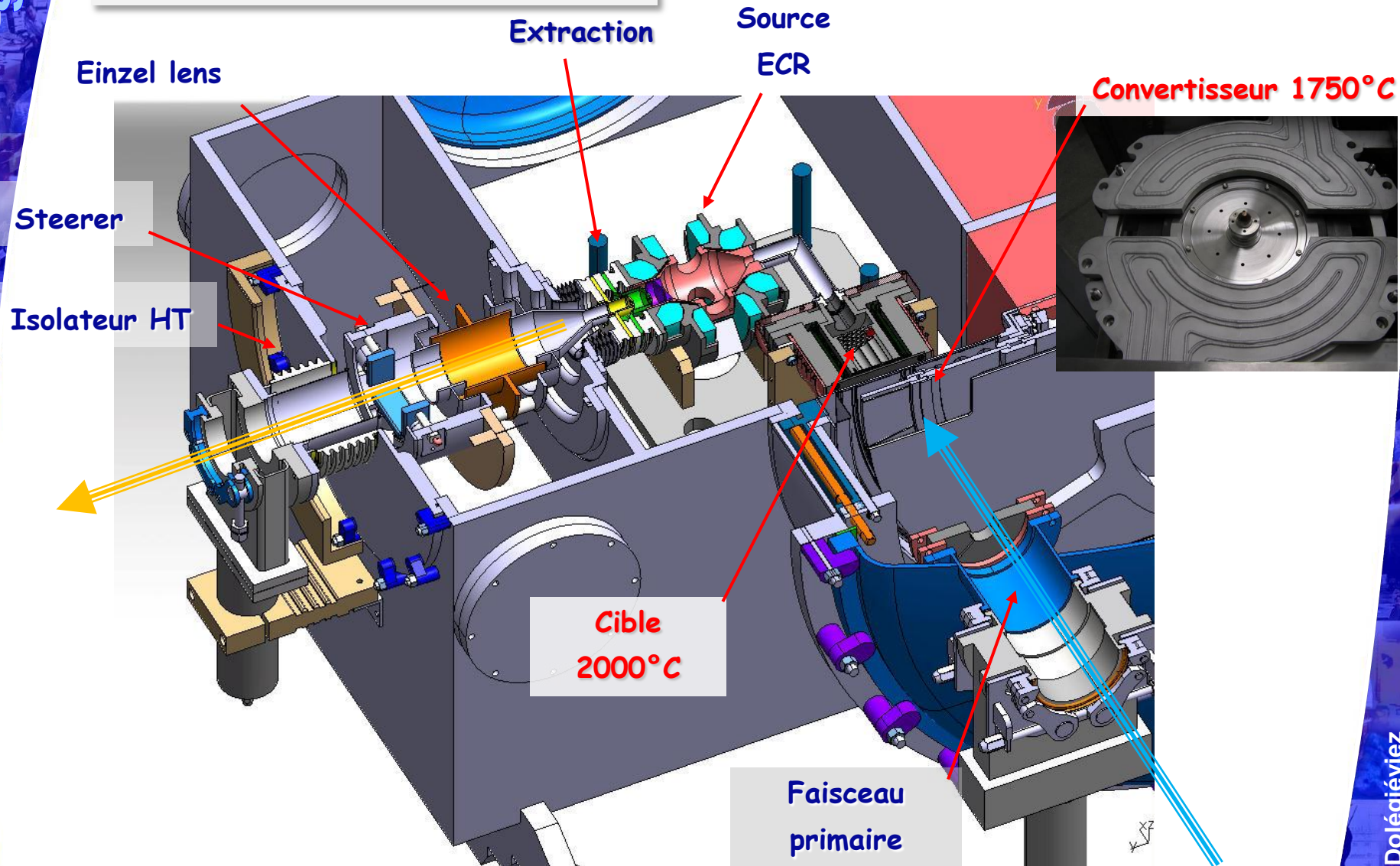
Fours pour cible Ucx  
=> 2100 °C

Tantale

Graphite

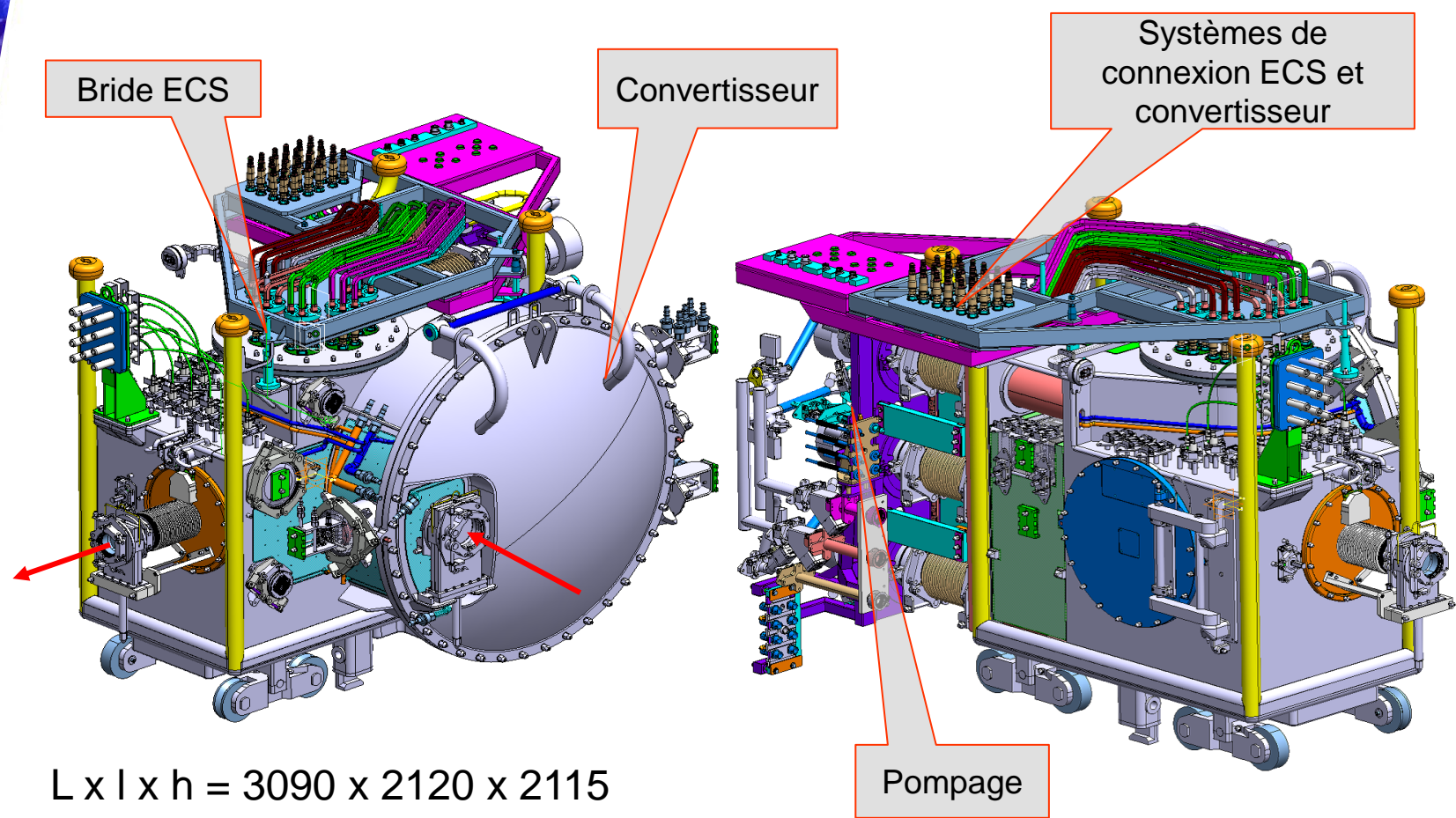


### module de production



## module de production

## Phase 2



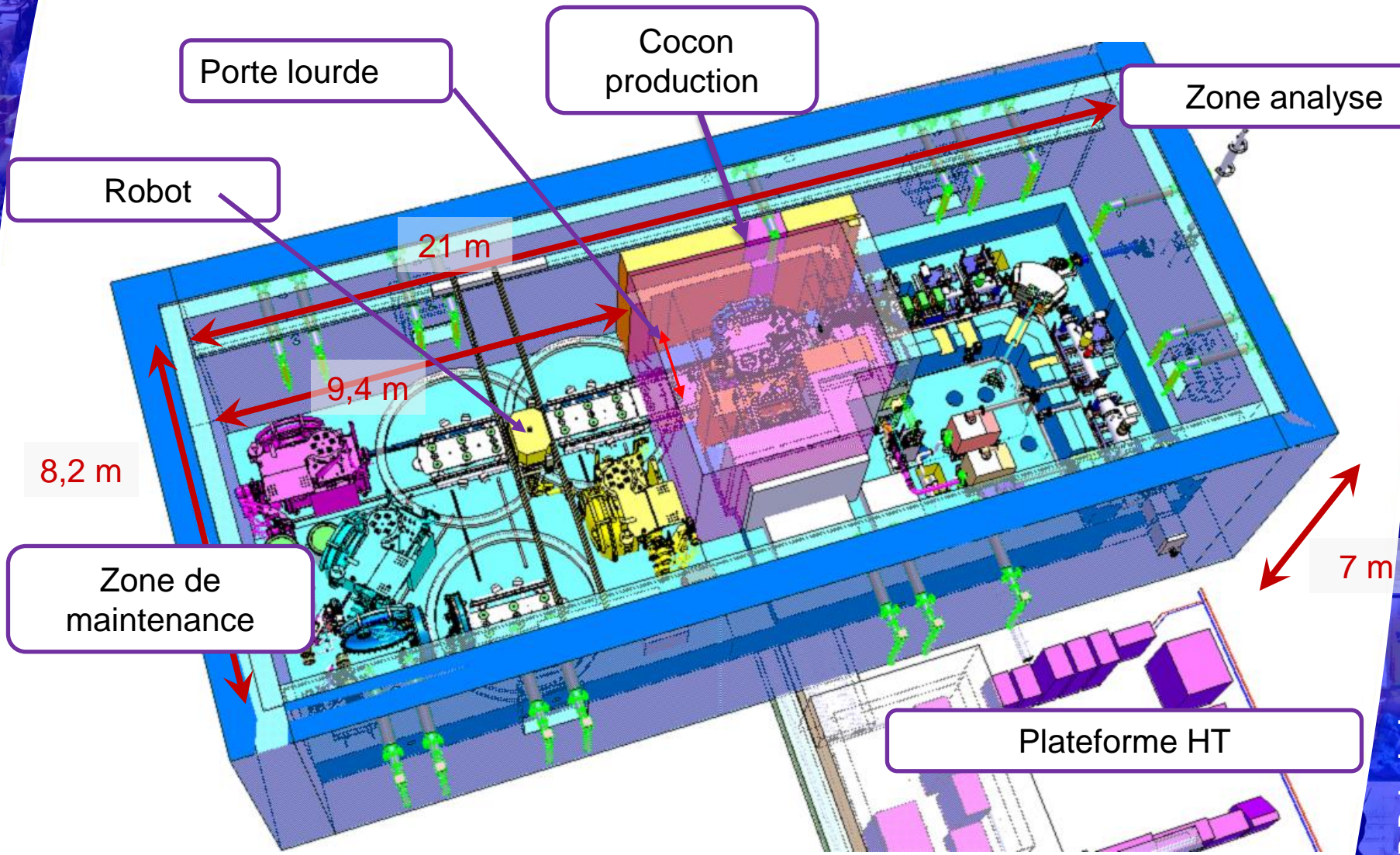
L x l x h = 3090 x 2120 x 2115  
Poids Total : 8900 kg



# Le projet Spiral 2

## zone de production : intégration du procédé

## Phase 2



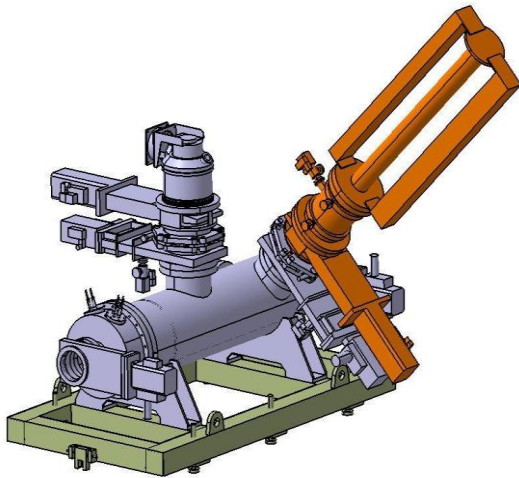
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

Contamination labile



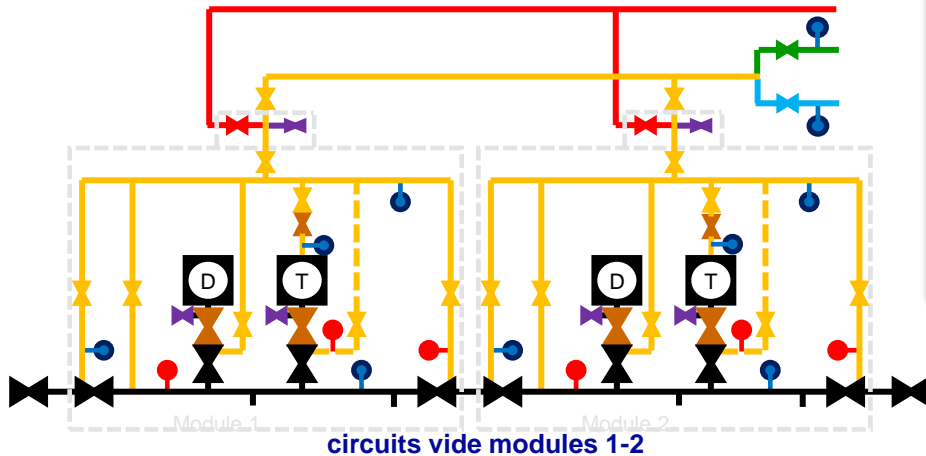
confinement du process et  
entreposage des effluents gazeux



- ✓ conception modulaire du process
- ✓ gestion des flux de pompage

Gestion de tous les effluents gazeux du bat. de production  
=> 2 circuits indépendants :

- - flux de prévidage
- balayage des sas
- test process
- flux de pompage en production





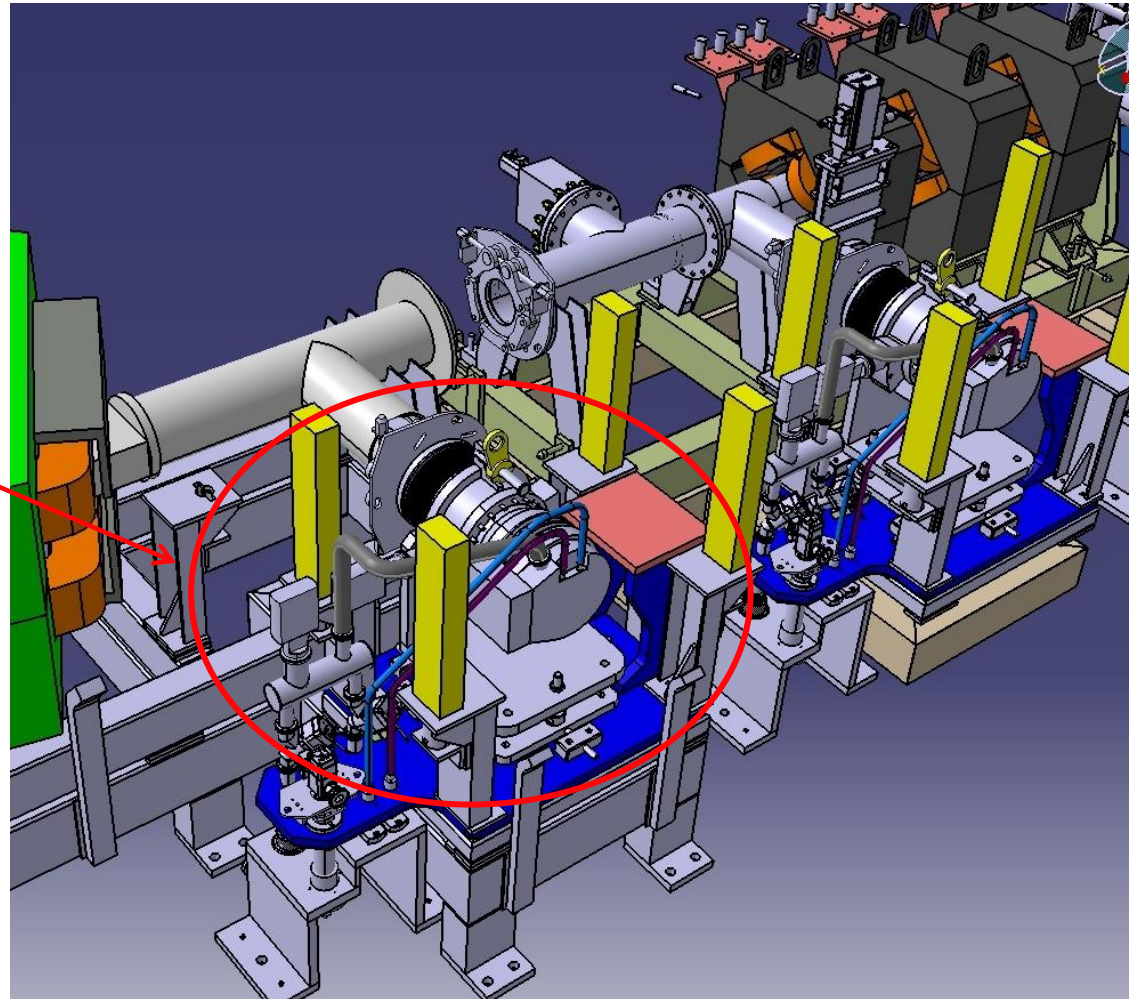
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

modules en zone de production : exploitation téléopérée

module de pompage  
en zone de production

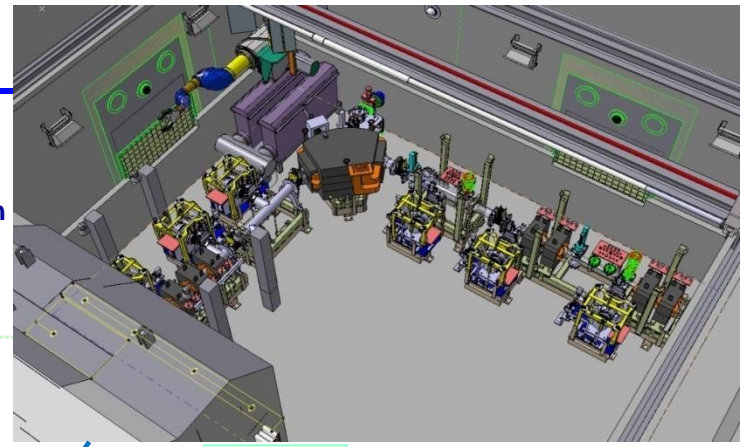
challenge :  
nucléarisation d'un  
procédé type  
accélérateur



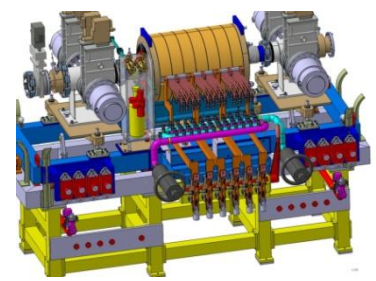
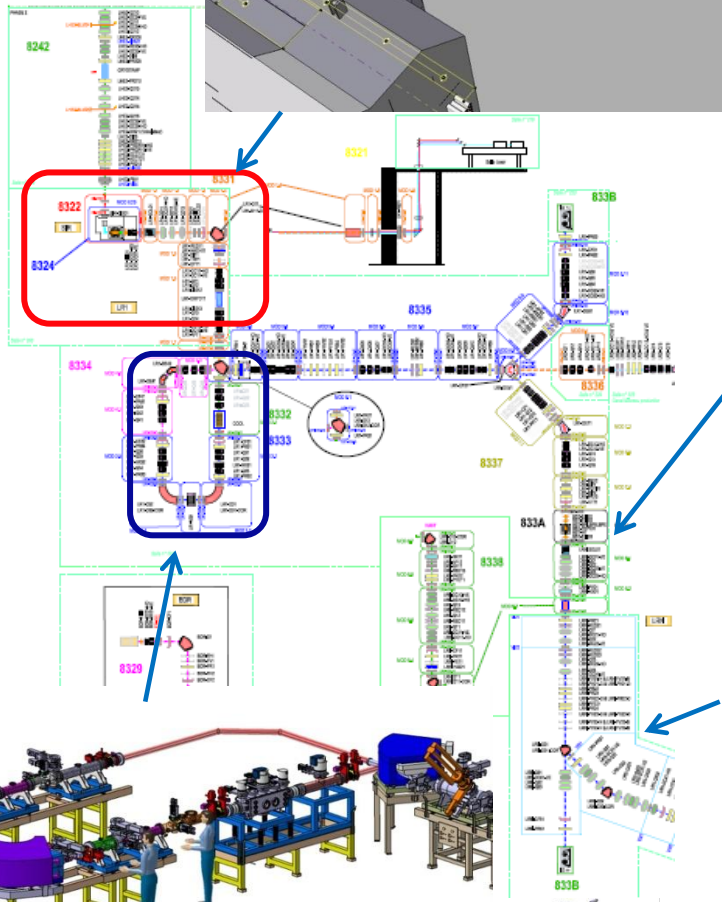
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

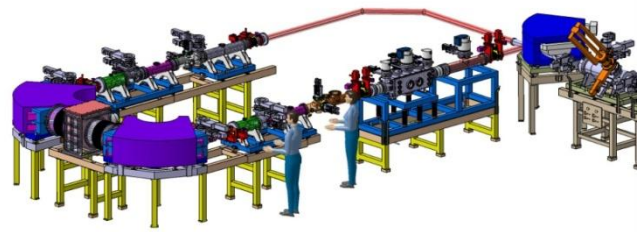
1+ zone production



conception modulaire de l'installation

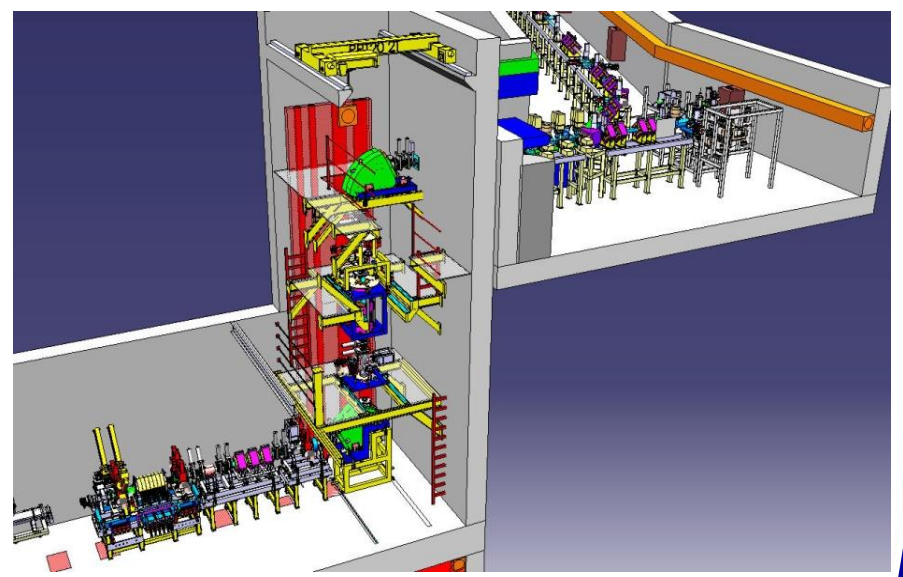
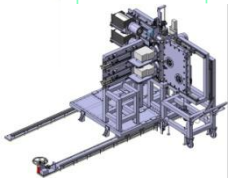


Booster 1+/n+



HRS - RFQ cooler

identificateur



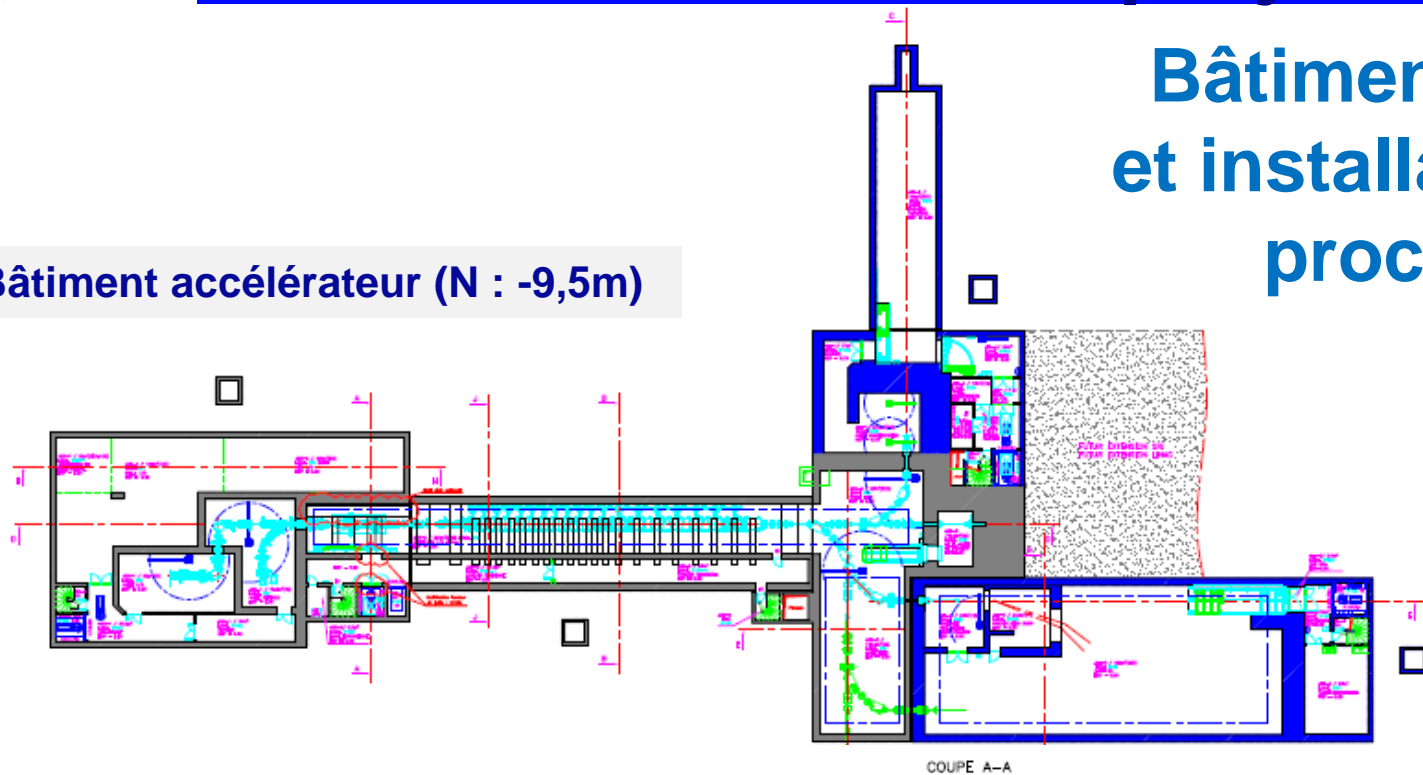
N+ analyse booster et ligne jonction CIME (Ganil)



# Le projet Spiral 2

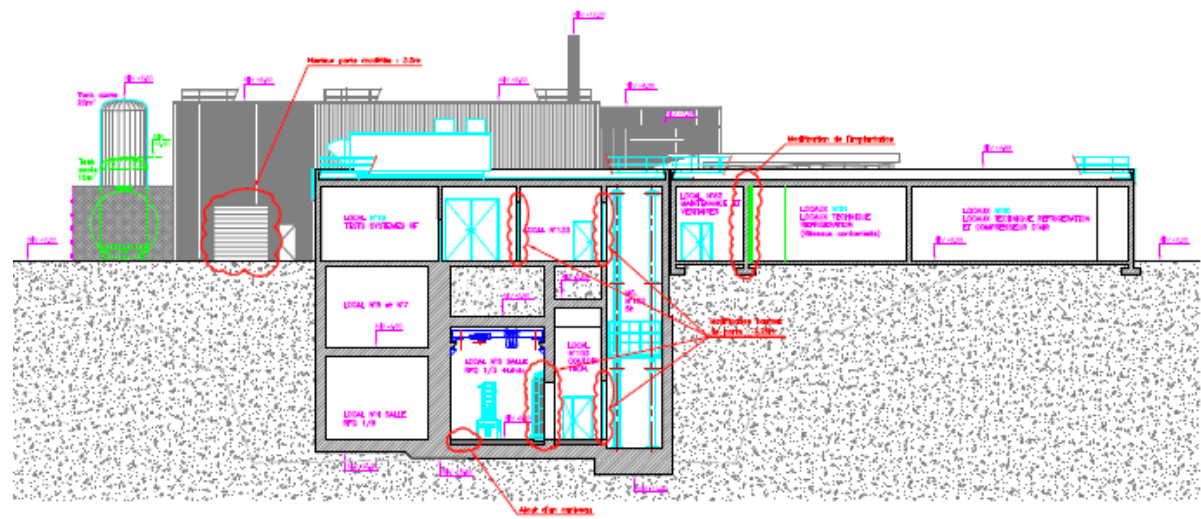
## Bâtiments Ph1 et installation du procédé

Bâtiment accélérateur (N : -9,5m)



COUPE A-A

coupe niveau  
salle RFQ linac



# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



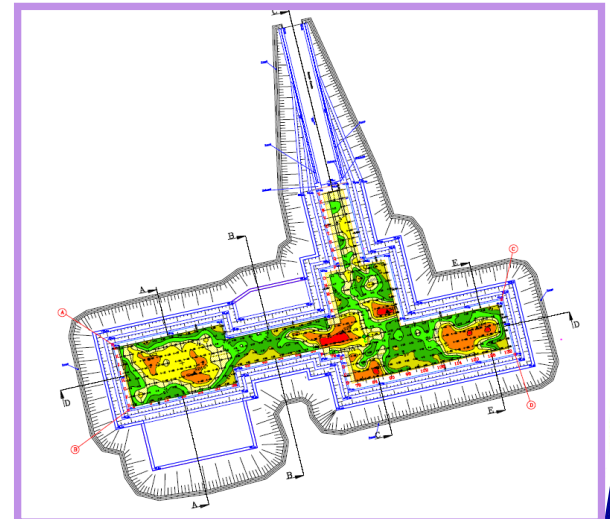
Début chantier  
Décembre 2010



Terrassement  
Mars 2011  
(BRH)



Mai 2011  
Etudes sols





# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



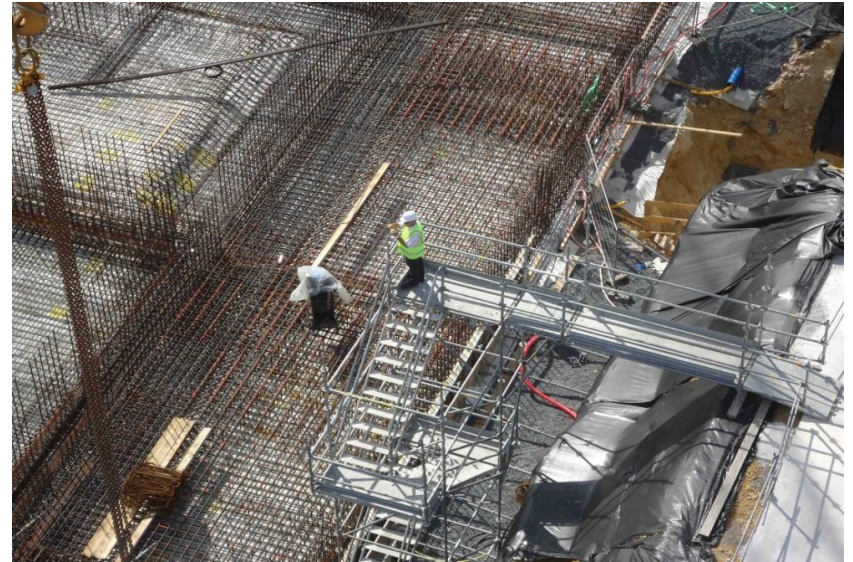


# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



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





# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



03/2013

### Quelques chiffres (juin 2013) :

- GC et second œuvre 88%
- 100 personnes sur chantier
- 13800 m<sup>3</sup> béton coulé (98 %)
- 2200 t de ferrailage posé (99%)



# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



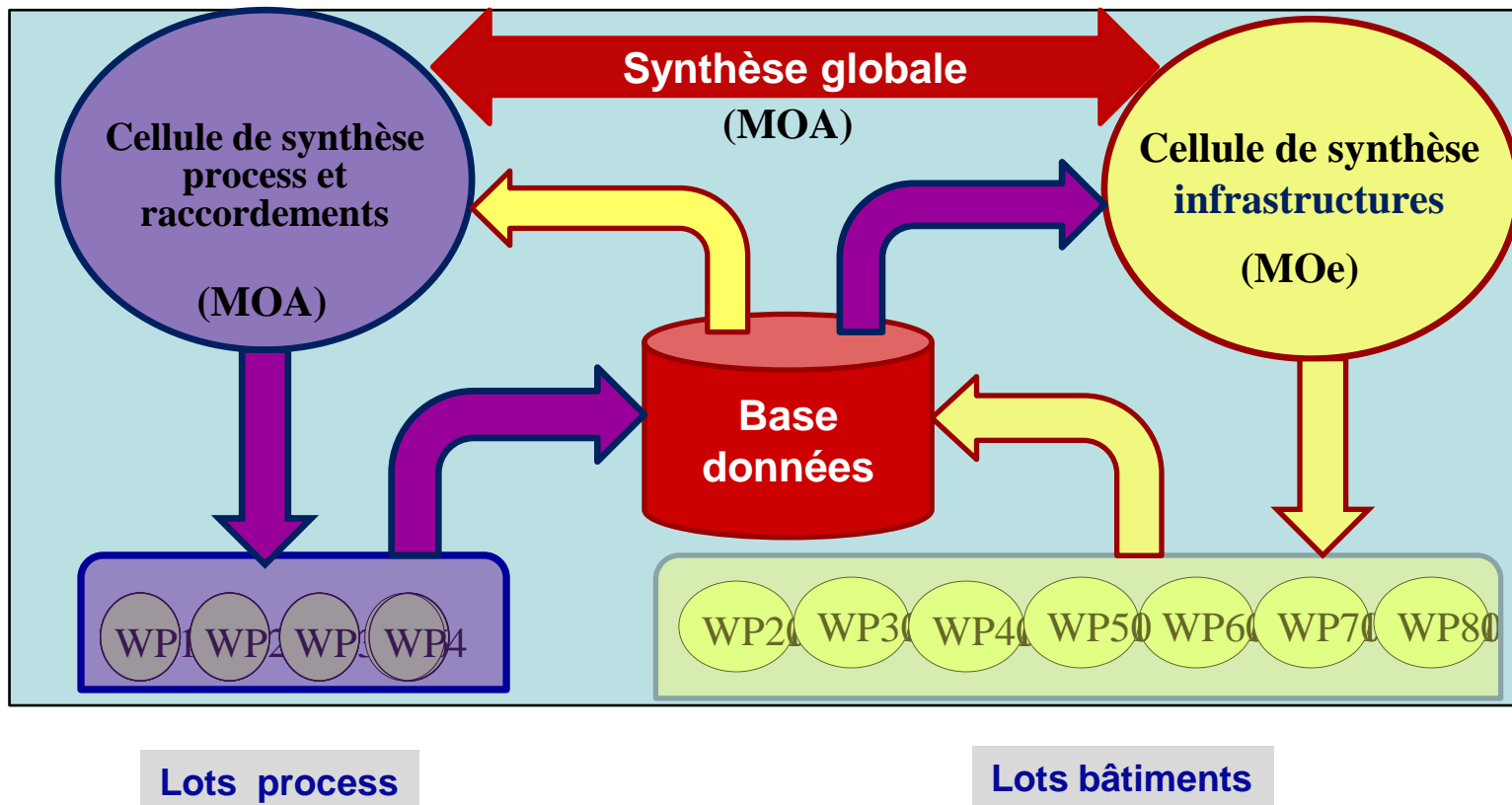


# Le projet Spiral 2

## Intégration du procédé

S'assurer de la bonne intégration des procédés et servitudes dans les bâtiments et valider le Génie Civil

Planifiée d'Avril 2011 à Février 2012



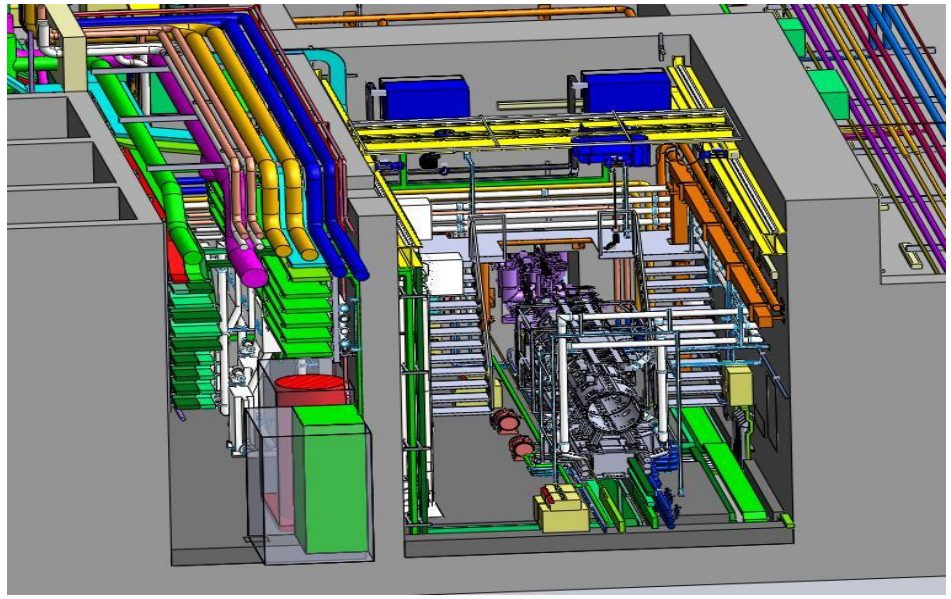
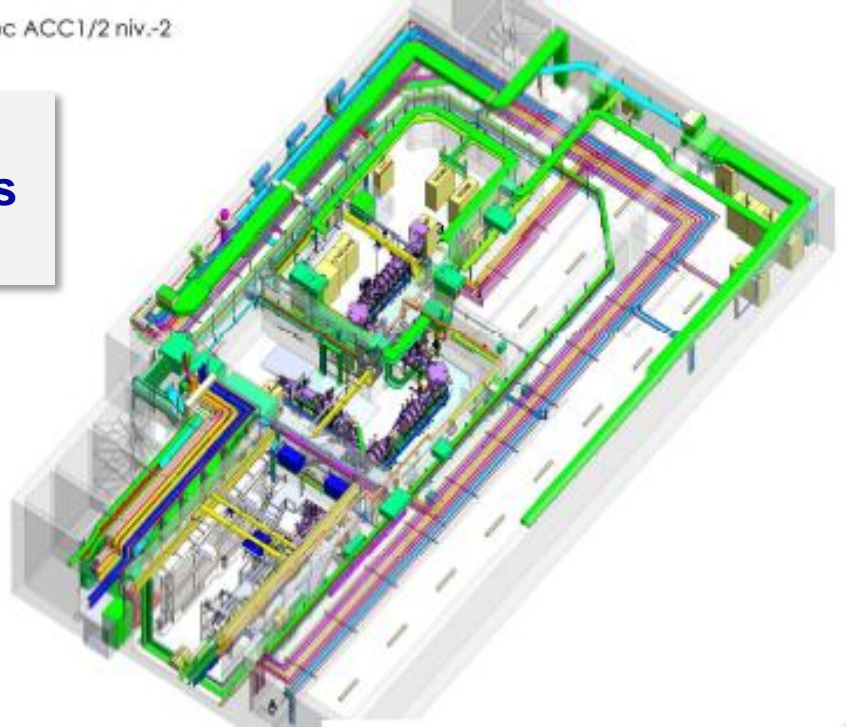
# Le projet Spiral 2

## 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)



# Le projet Spiral 2

## Installation

### 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
- 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

### Exigence INB : arrêté du 10/08/84

- Prise en compte des exigences qualité, pour assurer l'installation et garantir le fonctionnement des systèmes et en particulier des EIS

# Le projet Spiral 2

## Installation



### Entreposage avant installation

- zone tampon entre livraison et phase d'installation
- contrôle à réception sur site





# Le projet Spiral 2

## Installation

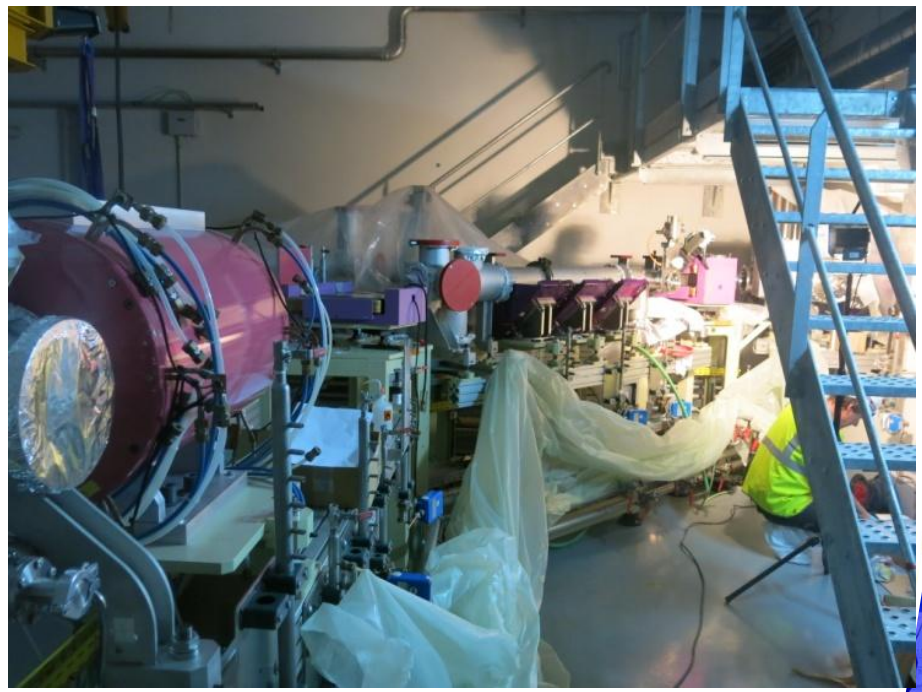


➤ *début de l'installation du procédé - fin 2012*

Installation / alignement des premiers Q-pôles dans les murs

➤ *début installation des chambre à vide – mi 2013*

*problématique poussières !  
isolation et nettoyage des salles  
d'installation*



ligne basse énergie LBE2 (Oct. 2013)



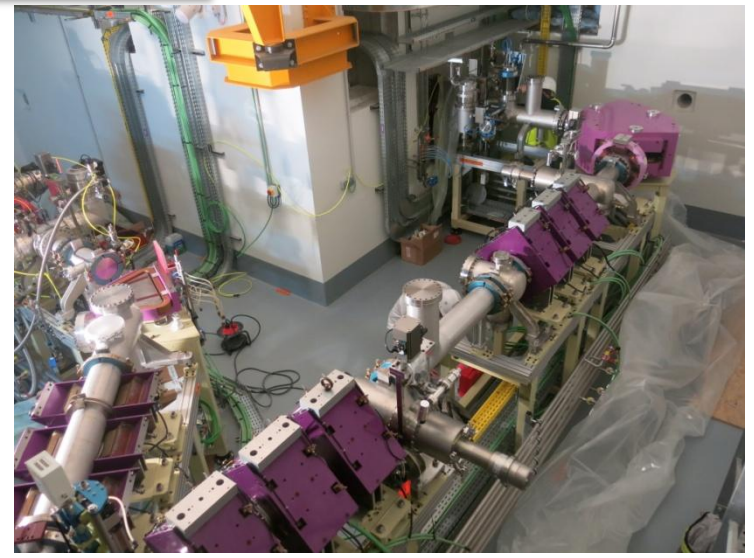
# Le projet Spiral 2

## Intallation



➤ *mise sous vide  
première section  
LBE1 – Nov. 2013*

**Ligne basse énergie  
LBE1/LBE2/LBEC**





# Le projet Spiral 2

## Intallation



➤ *salle linac : chassis CM et support BAV installés*

*Prochaine étape : mise au propre pour installation équipements (CM/SC/BAV)*



Support système cryo et réchauffeurs



couloir linac



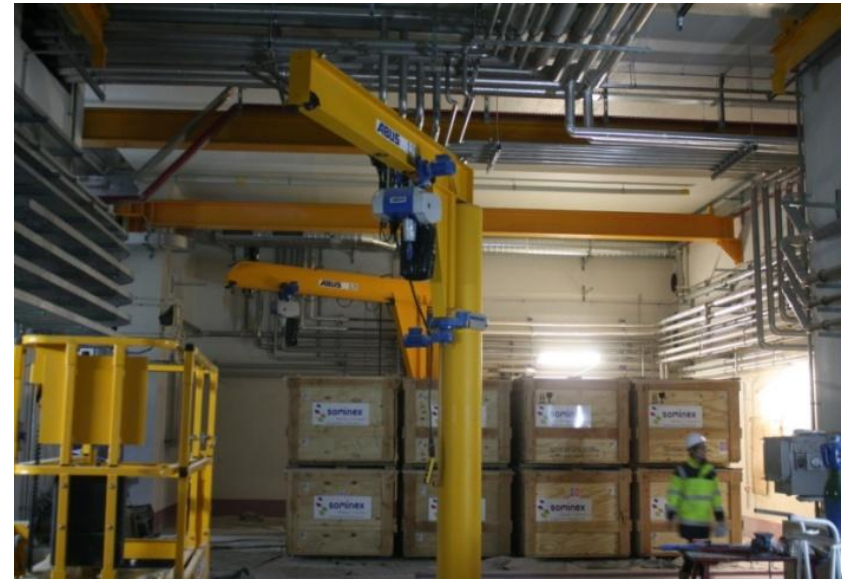
# Le projet Spiral 2

## Installation



Salle des Alimentations et électronique  
(début installation des baies cette semaine)

Salle lignes haute énergie (LHE)



Salle d'expérience S3

Salle d'expérience NFS





# Le projet Spiral 2

## conclusion

- ✓ *l'installation de l'accélérateur à démarré*
- ✓ *organisation mise en place afin de gérer la coactivité entre équipes process et équipes bâtiment*
- ✓ *un premier REX souligne l'importance de la démarche qualité dans la phase d'installation (anticipation gestion des non conformités)*
- ✓ *prochains jalons à court terme :*
  - *reception des utilités 05/2014 - bâtiments 07/ 2014*
  - *tests des sources et LBEs avec faisceau – mi 2014 (si autorisation de mise en service DMES-p)*

***poursuivre l'installation de l'accélérateur en //  
des tests***

# Le projet Spiral 2



***Merci de votre attention***