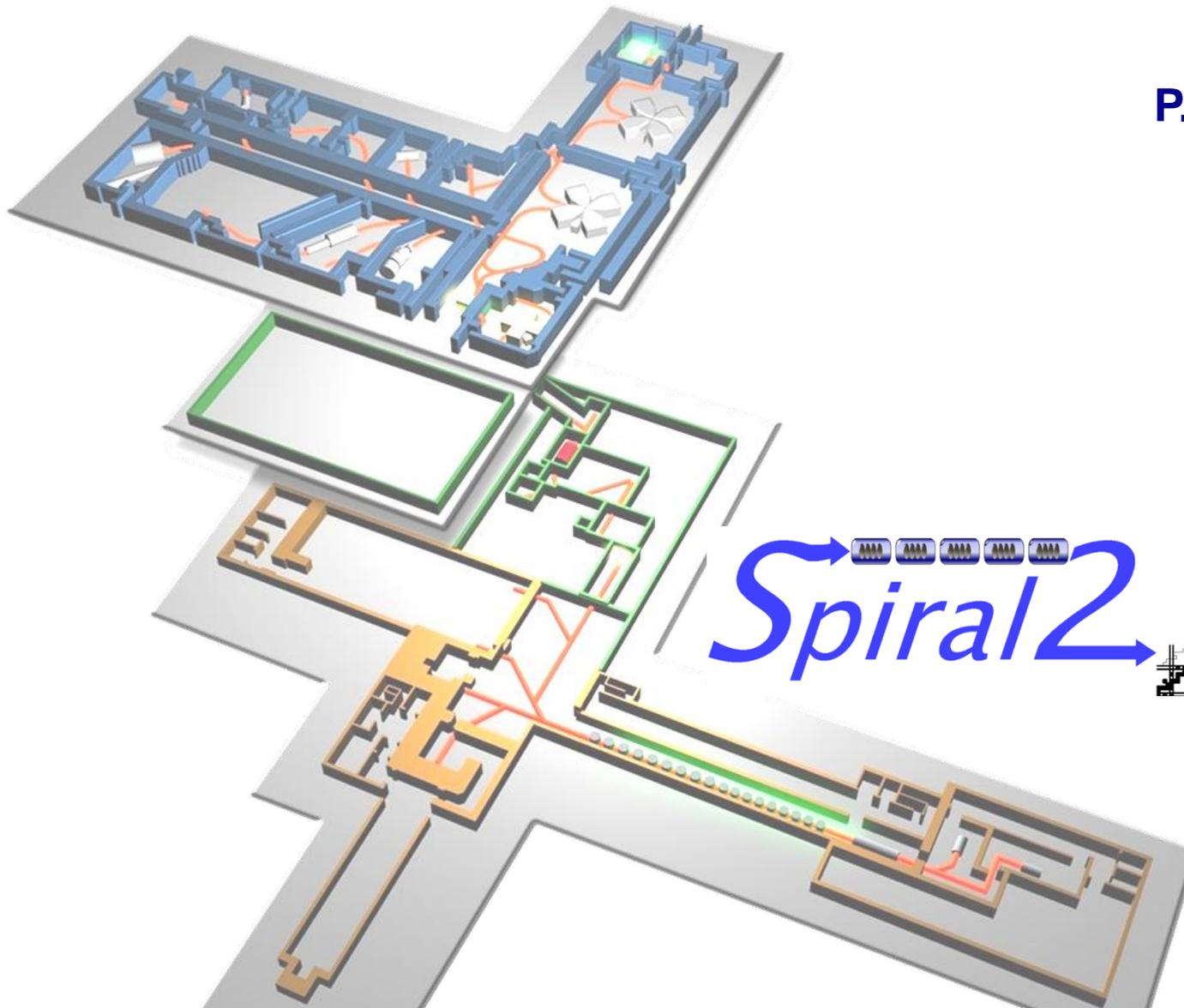


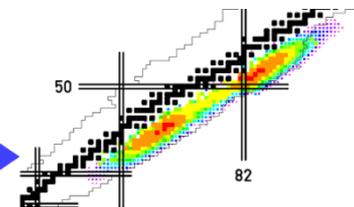
# Le projet Spiral 2

## État de la construction

P. Dolégiéviez  
GANIL- Caen

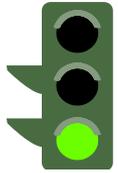


*Spiral 2*



- **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<sub>2</sub>)
- 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*

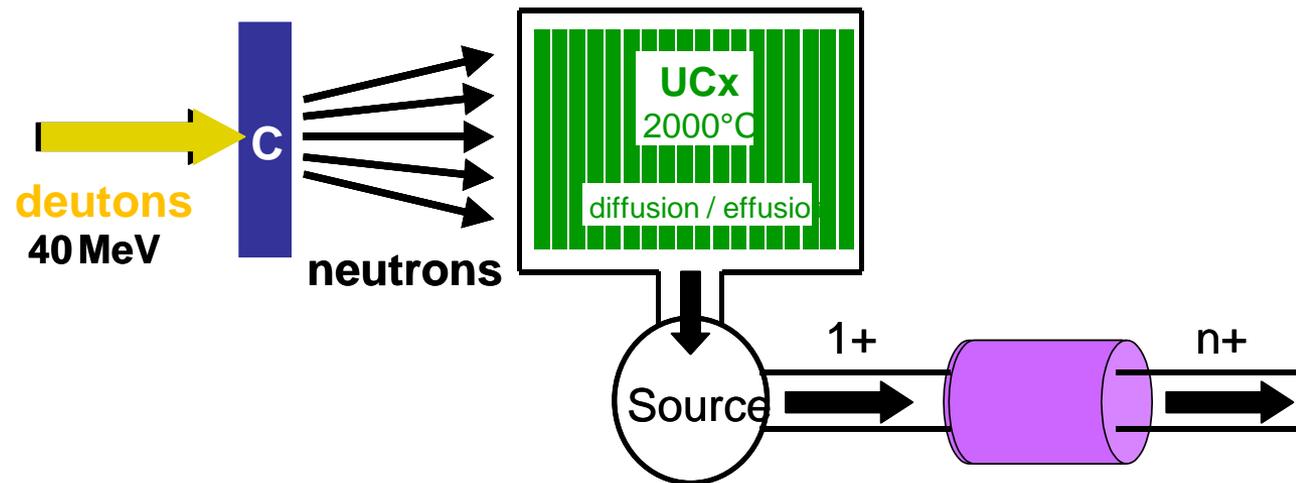


*SPIRAL : Système de production  
d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne*

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

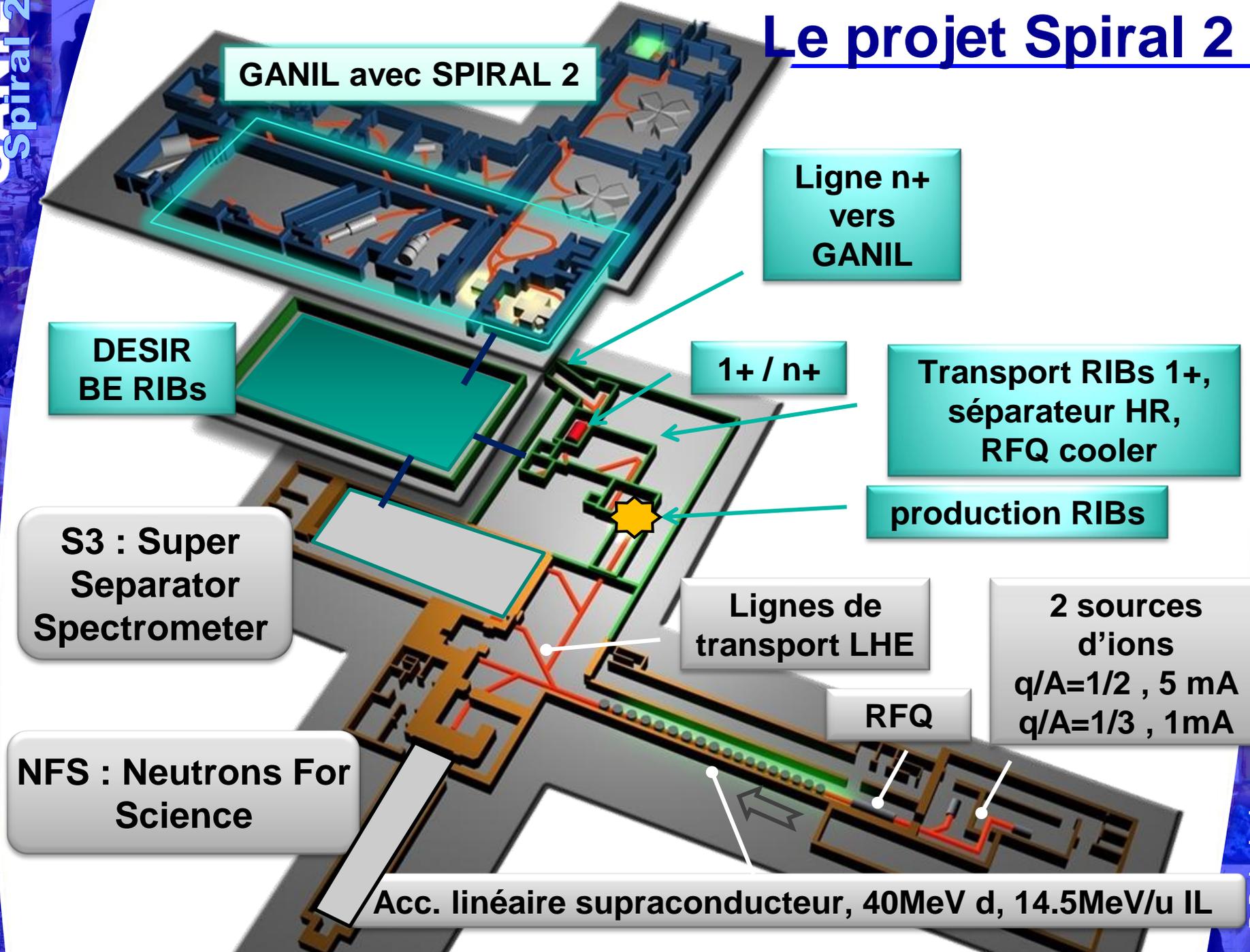
principe



faisceaux primaires -> 5 mA

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

# Le projet Spiral 2



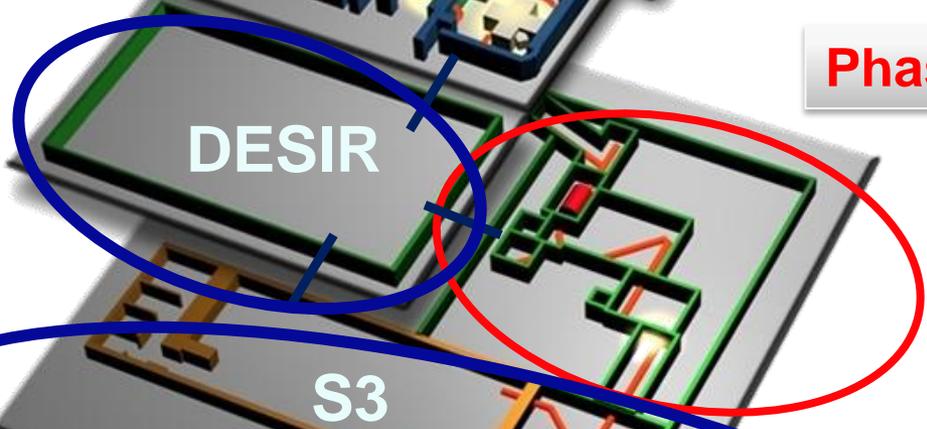
## Challenges et particularités

- 
- ❑ 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

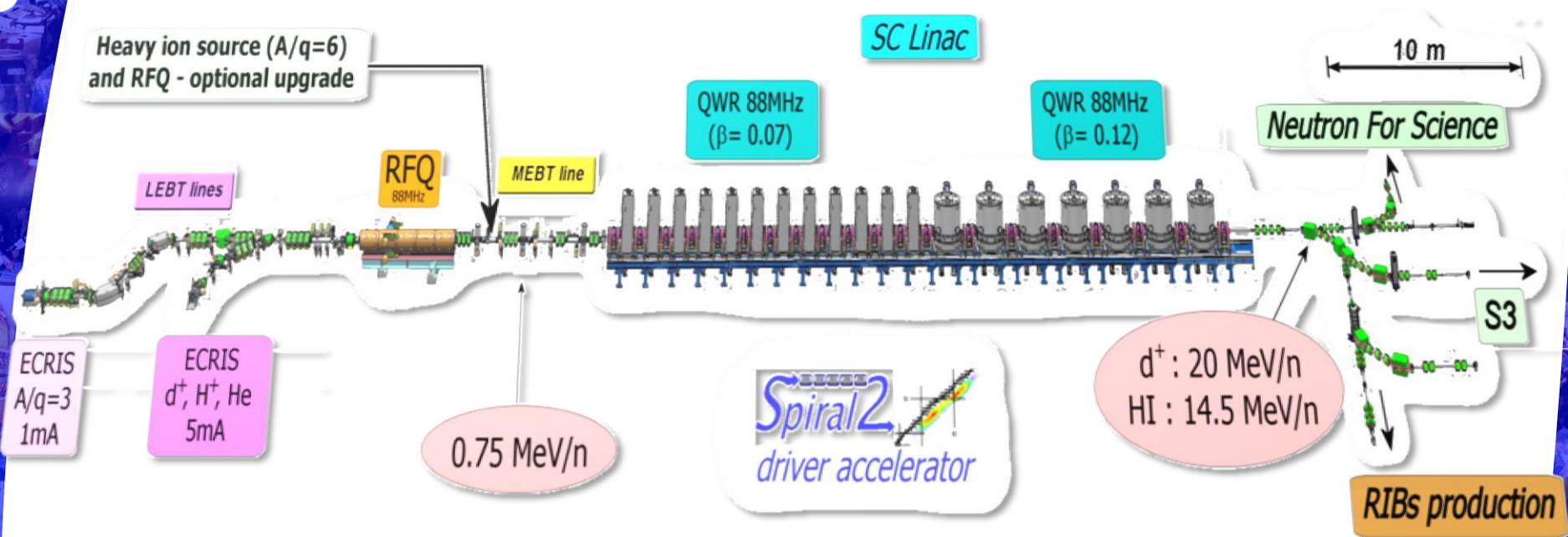
Stratégie de phasage de la construction en plusieurs étapes

**Phase 2 : production**



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

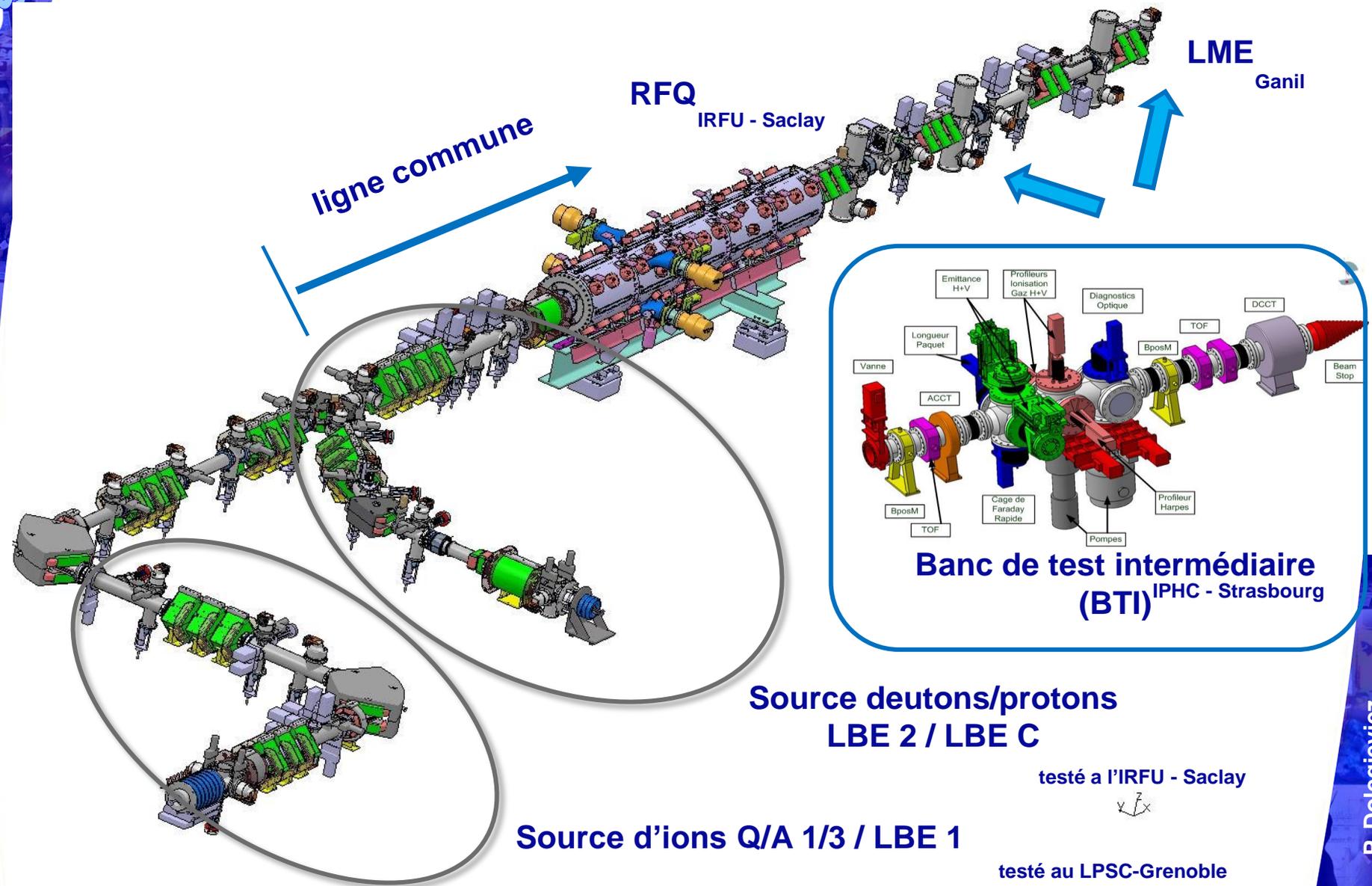
# Le projet Spiral 2 l'accélérateur



	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



Source deutons/protons  
LBE 2 / LBE C

testé a l'IRFU - Saclay



Source d'ions Q/A 1/3 / LBE 1

testé au LPSC-Grenoble

# 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



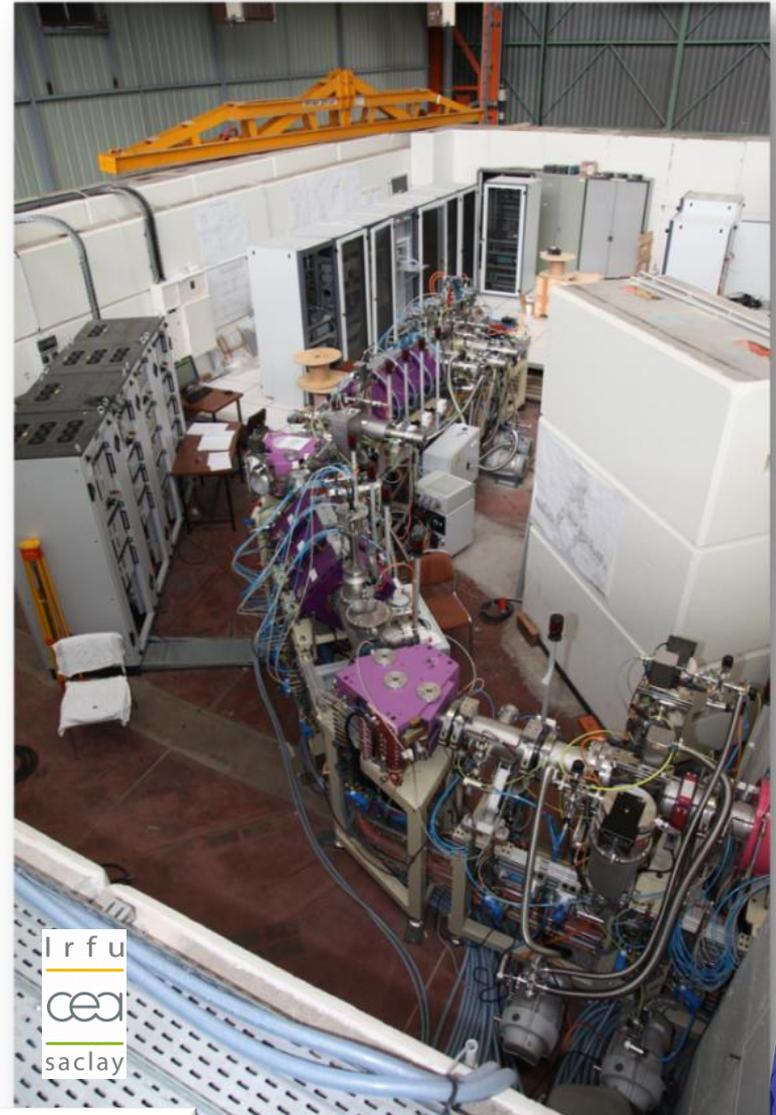
Test de la source Deutons / protons  
et de la ligne de transport LBE2-LBEC  
à l'IRFU (Saclay)

D+ : 5,8 mA

H+ 7 mA

⇒ Protons 5,5 mA en LBEC (2011)

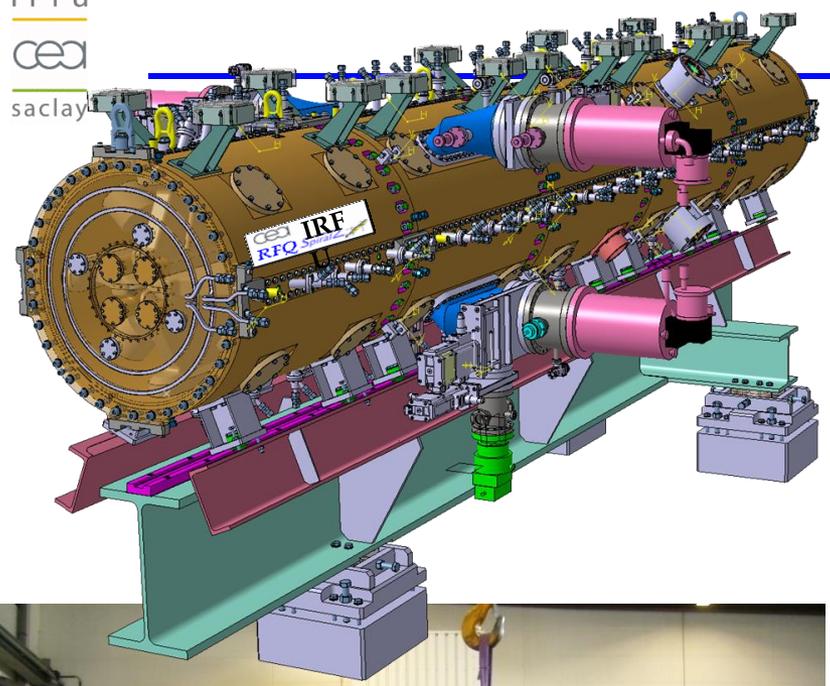
<P> :  $10^{-6}$  mb /  $2 \cdot 10^{-8}$  mb



➤ ligne en cours d'installation sur le site Spiral2

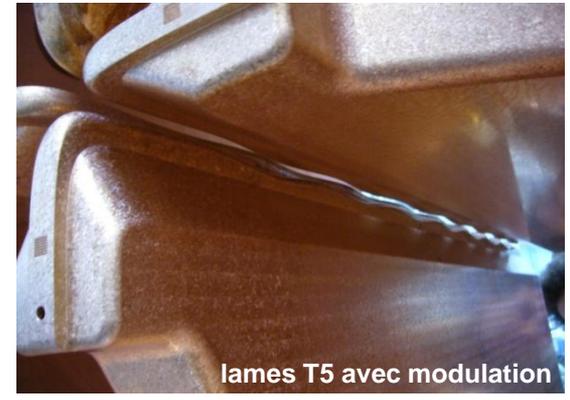
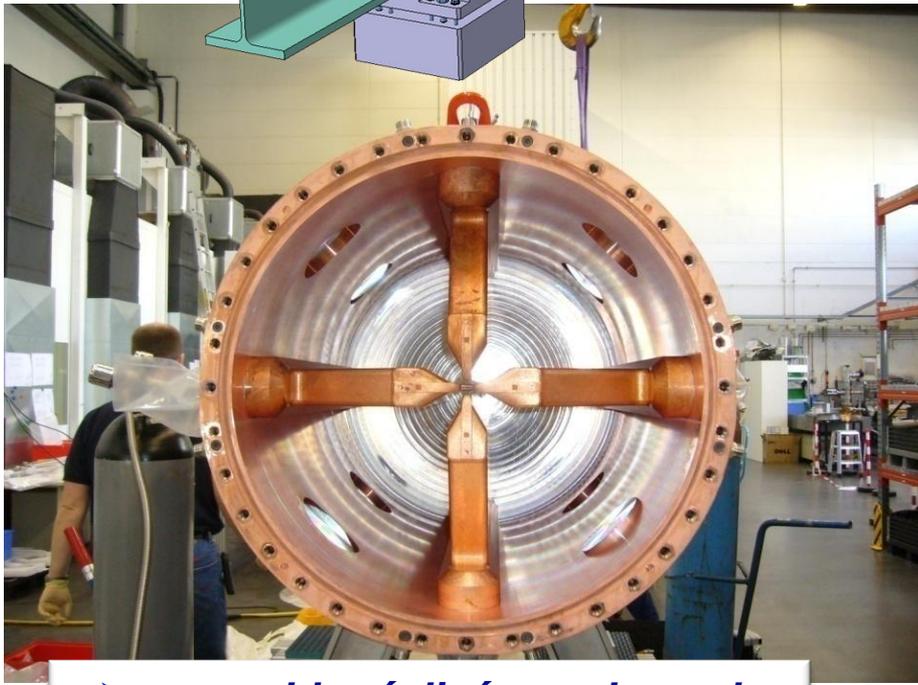
# Le projet Spiral 2

## l'injecteur



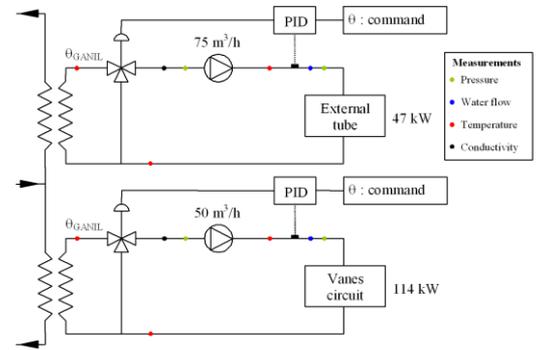
### RFQ

- cavité quadripolaire radiofréquence
- assemblage de 5 tronçons  
( $\Phi : 0,78m$  ,  $l : 1m$ )
- structure en Cuivre Cu-C  
88 Mhz E : 0,75 MeV/n  
 $\langle P \rangle : 2.10^{-8}$  mb



lames T5 avec modulation

➤ ensemble réalisé, en phase de réception chez le constructeur



ajustement en fréquence => syst de refroidissement

# Le projet Spiral 2

## l'injecteur

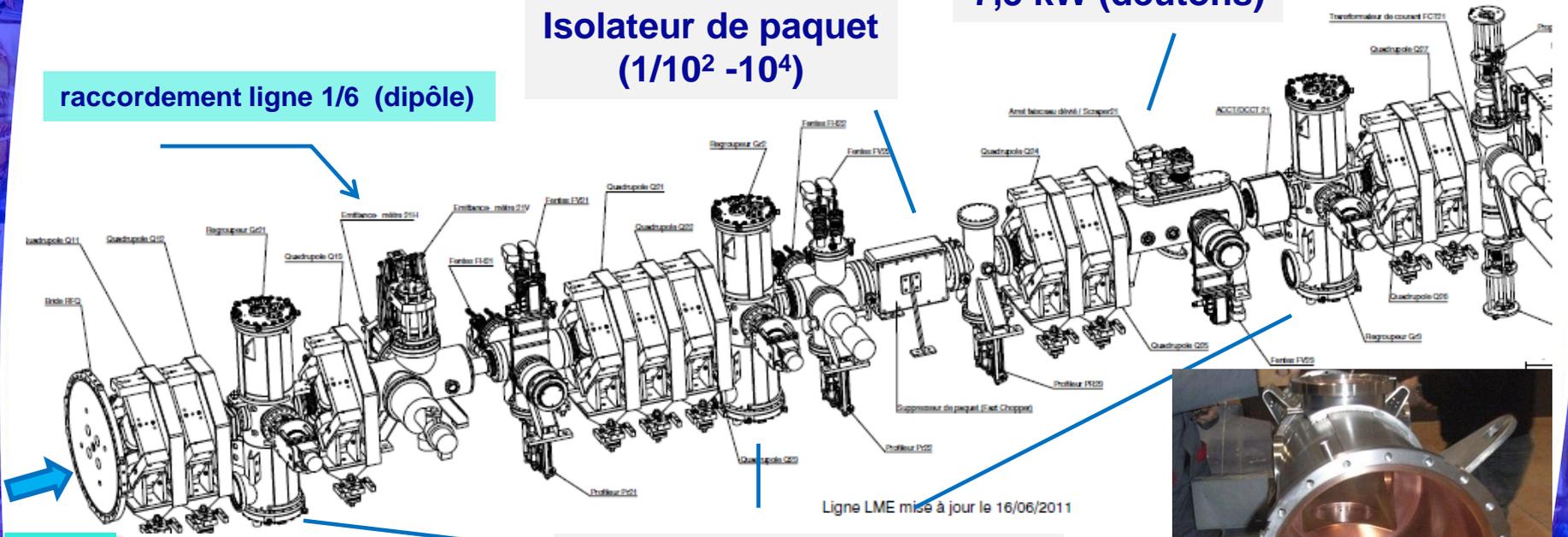
- LME (ligne moyenne énergie)**
- transport sans accélération du faisceau RFQ -> linac
  - maintien des paquets (regroupeurs)
  - mesures du faisceau et limitation du halo (jeux de fentes)
  - suppression de paquets
  - connexion future ligne ions 1/6

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



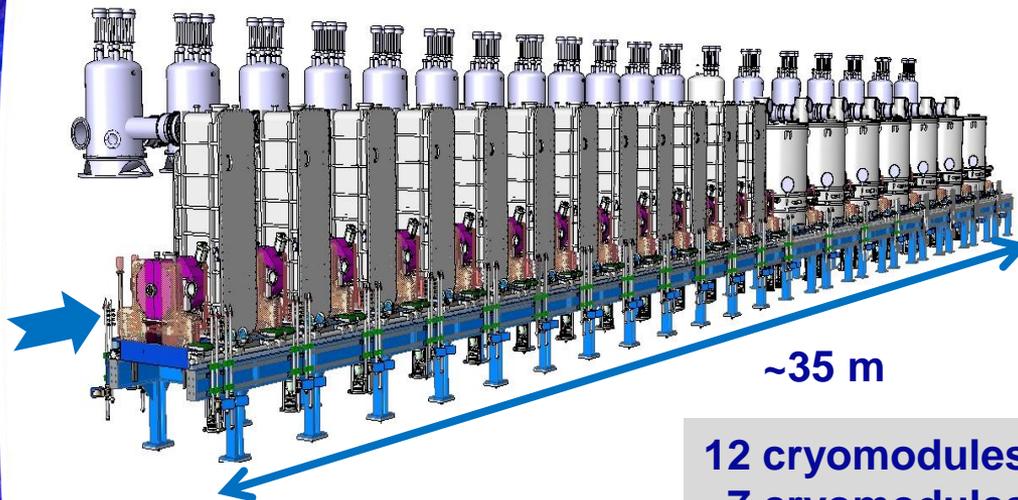
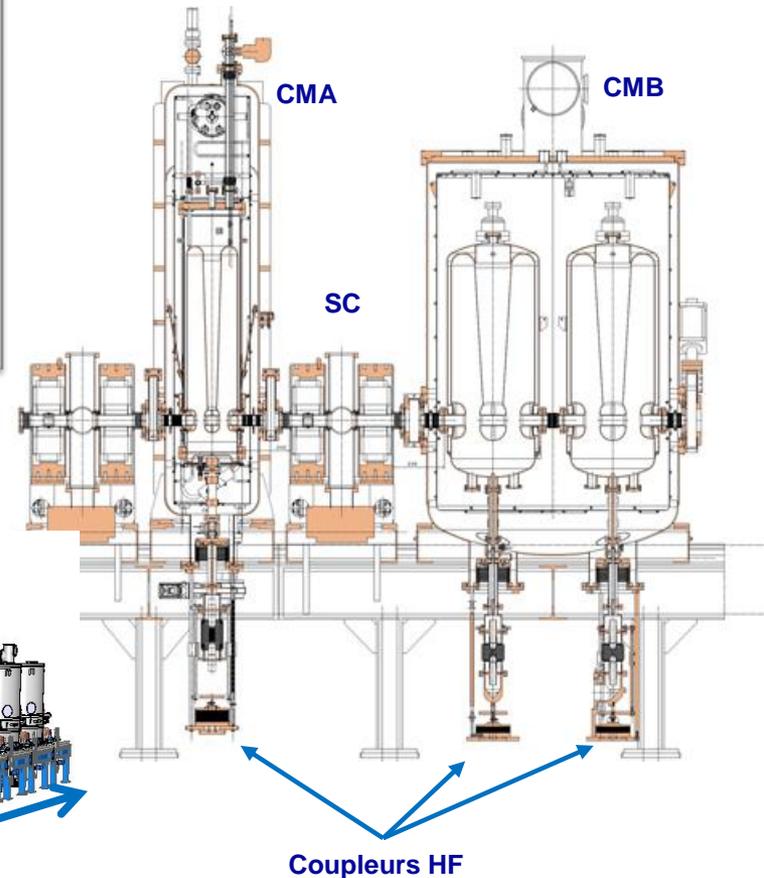
# Le projet Spiral 2 linac

## 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



~35 m

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)

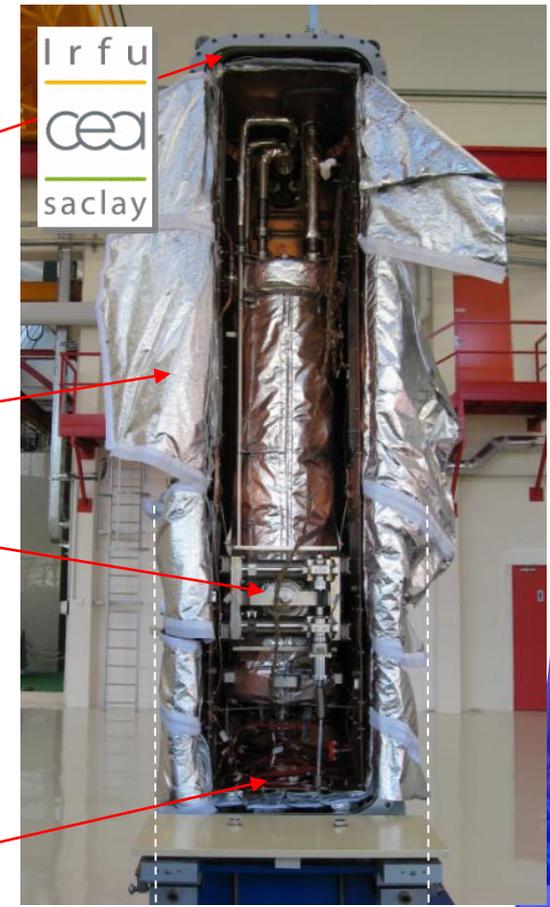
Cryogenic connections (towards valves box)

Superinsulation

Tuning system

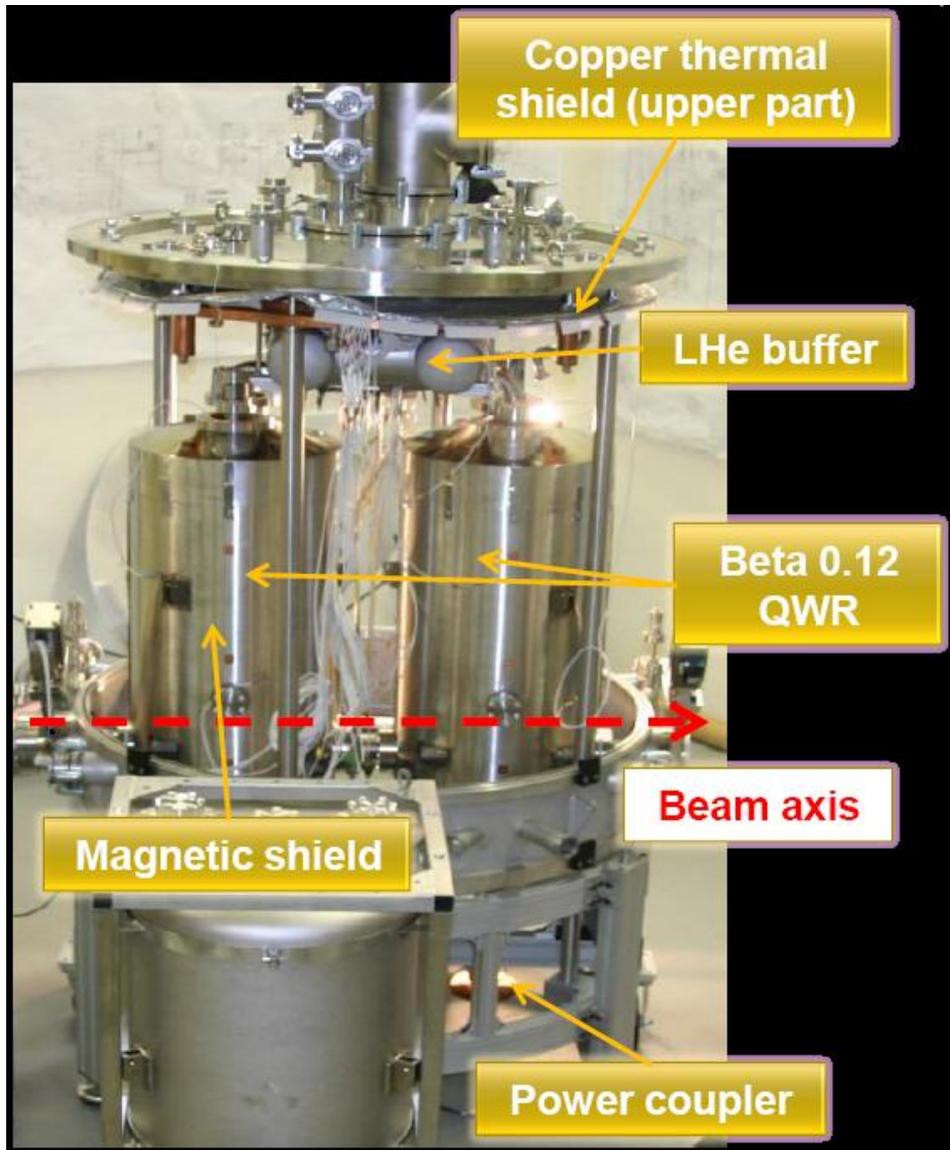
Beam valves

60K thermal screen



610 mm

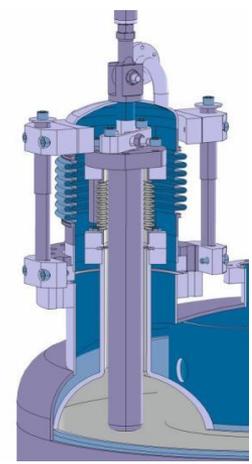
# Le projet Spiral 2 linac



## Cryomodule B



écran thermique CMB



Système d'accord HF (plongeur)

# Le projet Spiral 2 linac



Test cryomodules à  
4,2 K



Couples de puissance RF  
10 kW

➤ livraison des  
cryomodules en  
cours sur le site  
Spiral 2

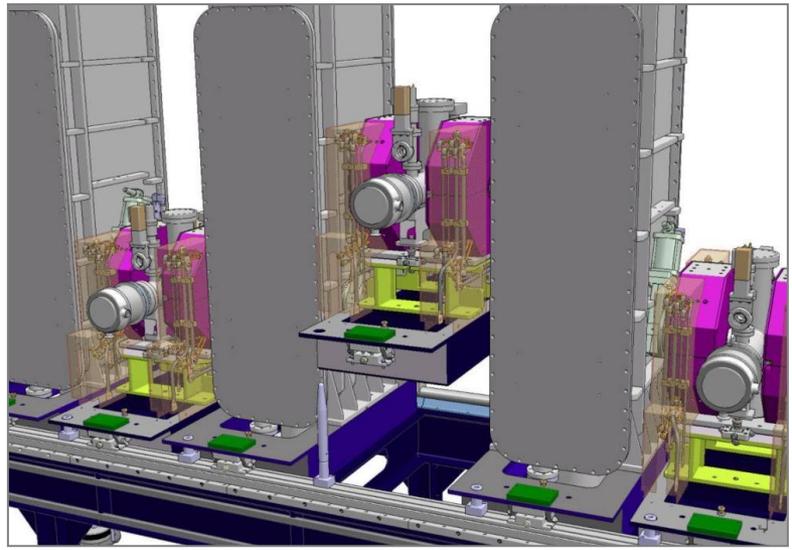


Test CMB avec section chaude

# Le projet Spiral 2

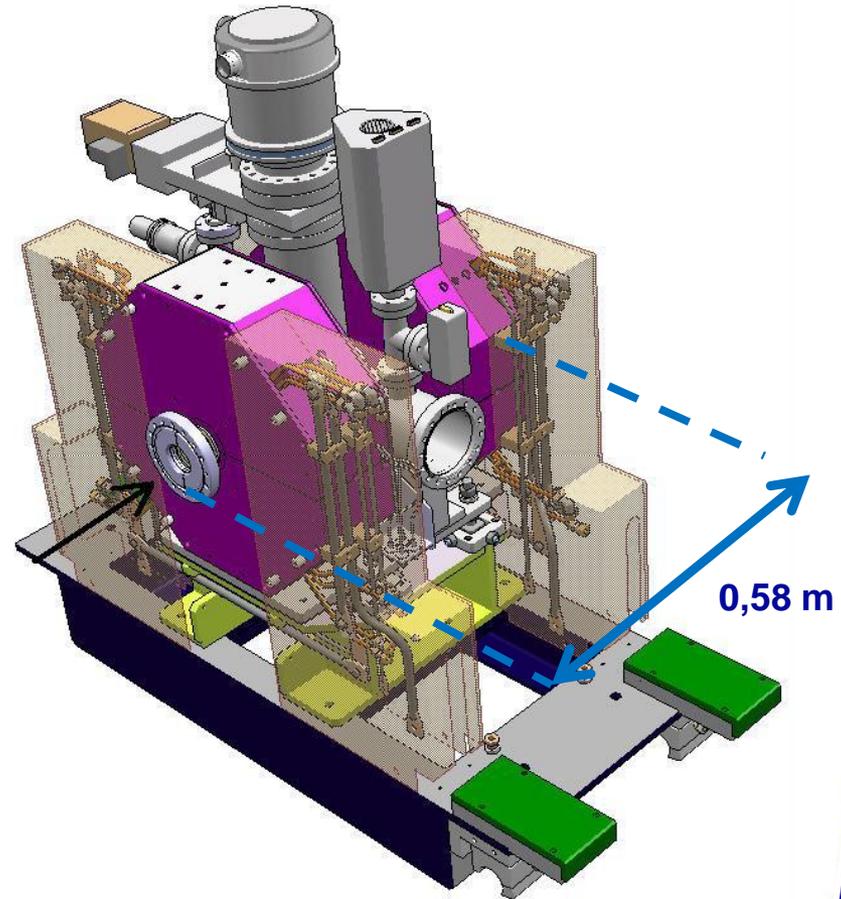
## linac

sections 'chaudes'



20 sections 'chaudes'

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



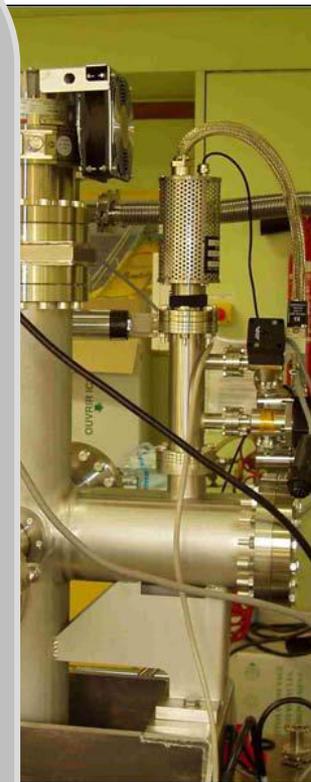
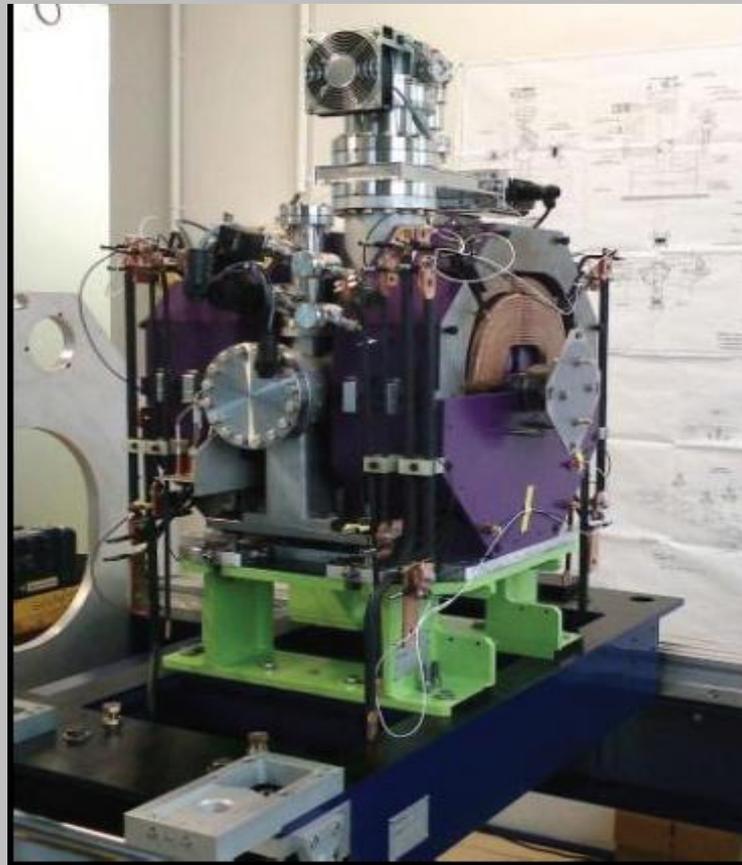
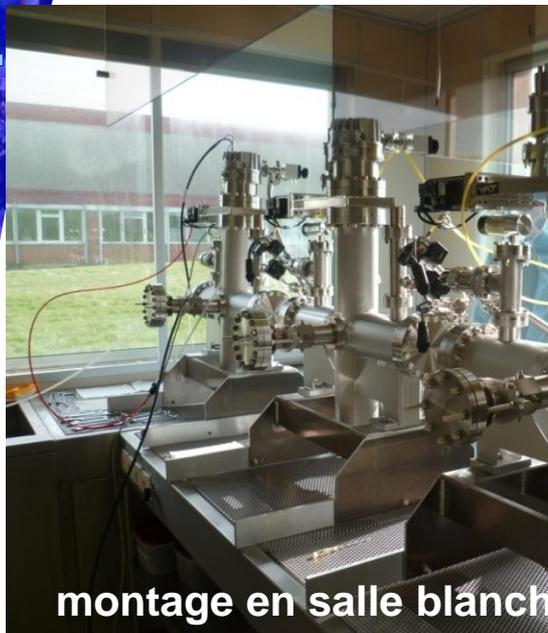
proximité des cavités HF supra →

exigences liées au risque pollution (montage, exploitation)

# Le projet Spiral 2

## linac

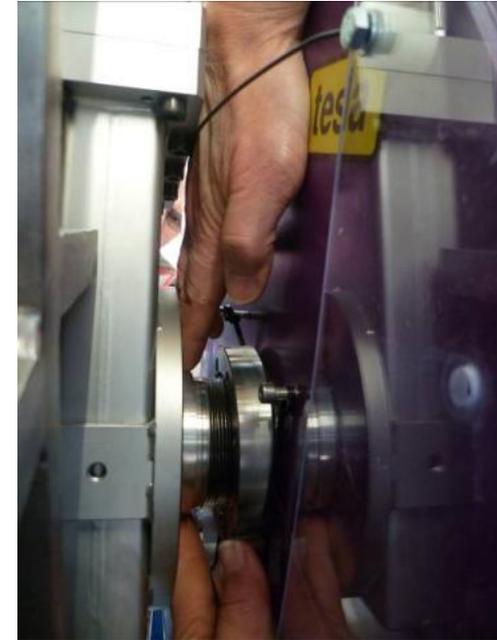
Montage sections 'chaudes'





tests Intégration SC sur CMA

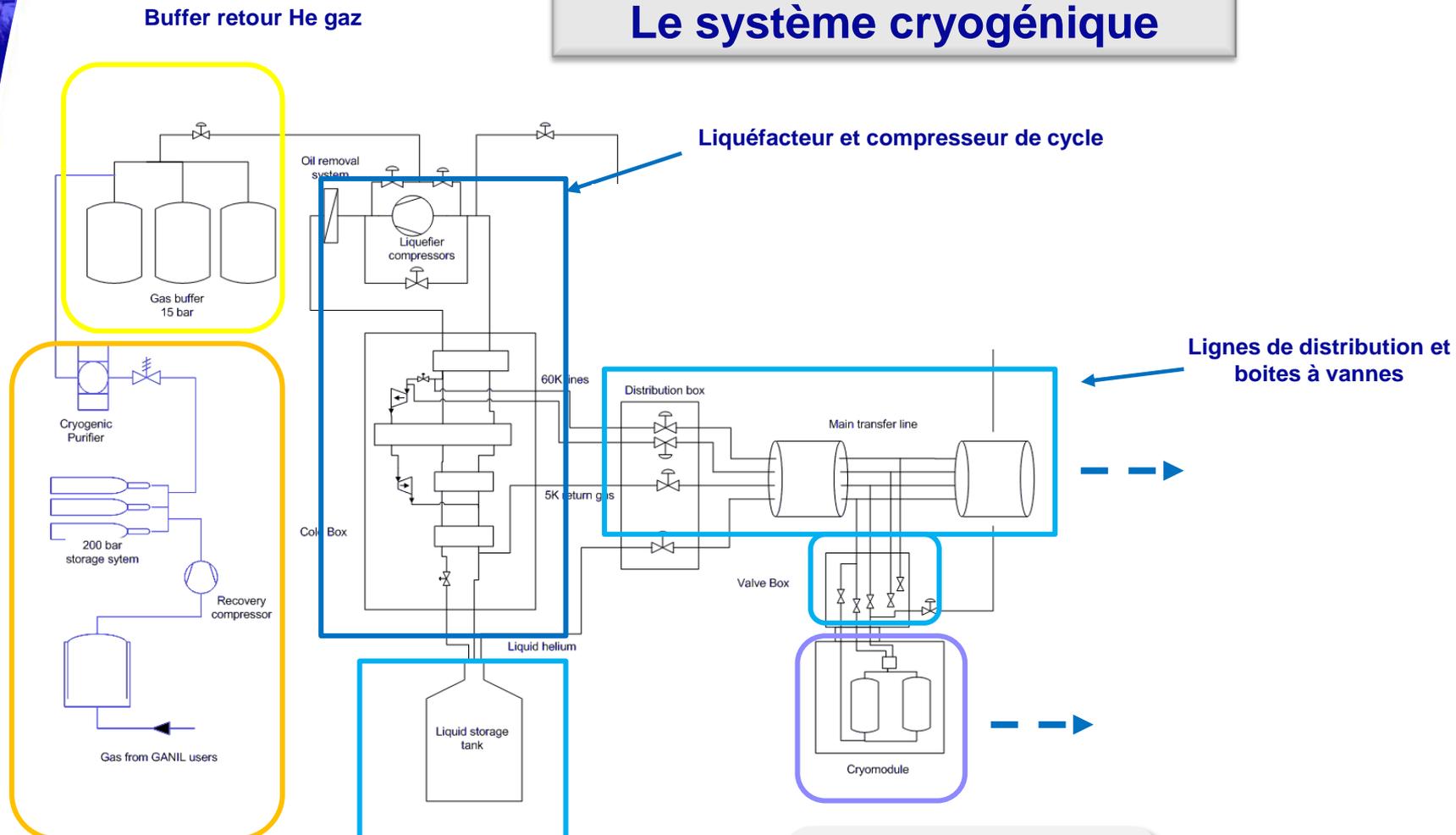
Intégration  
sections 'chaudes'



Raccordement  
bride SC / bride CM

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

### Le système cryogénique



Buffer retour He gaz

Liquéfacteur et compresseur de cycle

Lignes de distribution et boîtes à vannes

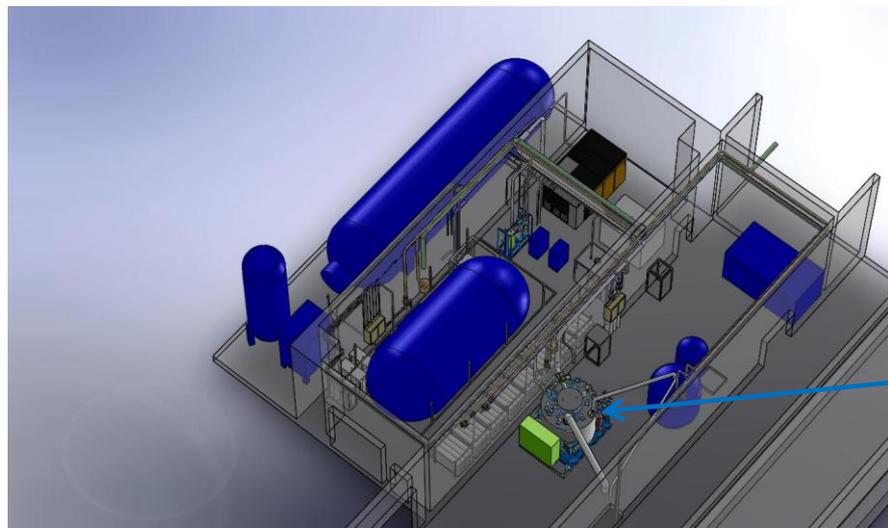
Entreposage He gaz

Stockage Lhe 5000 l

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	<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

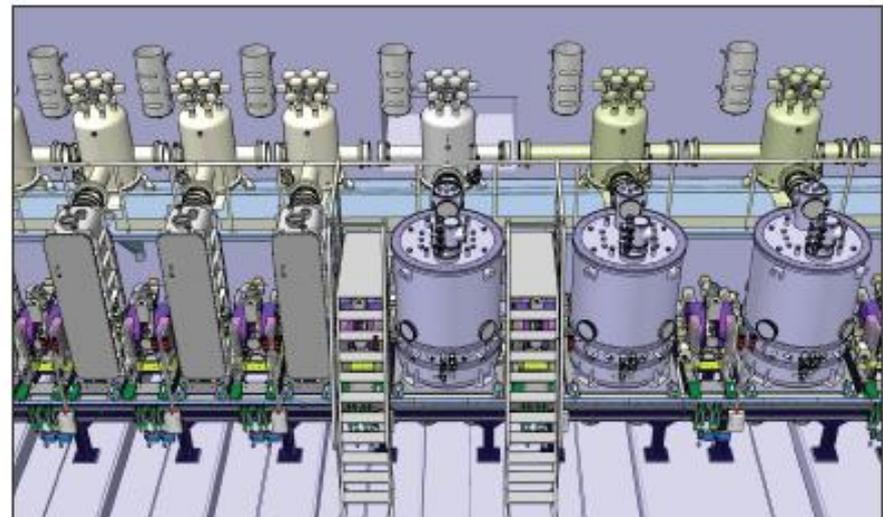
Le système cryogénique :  
la distribution



boîtes à vannes



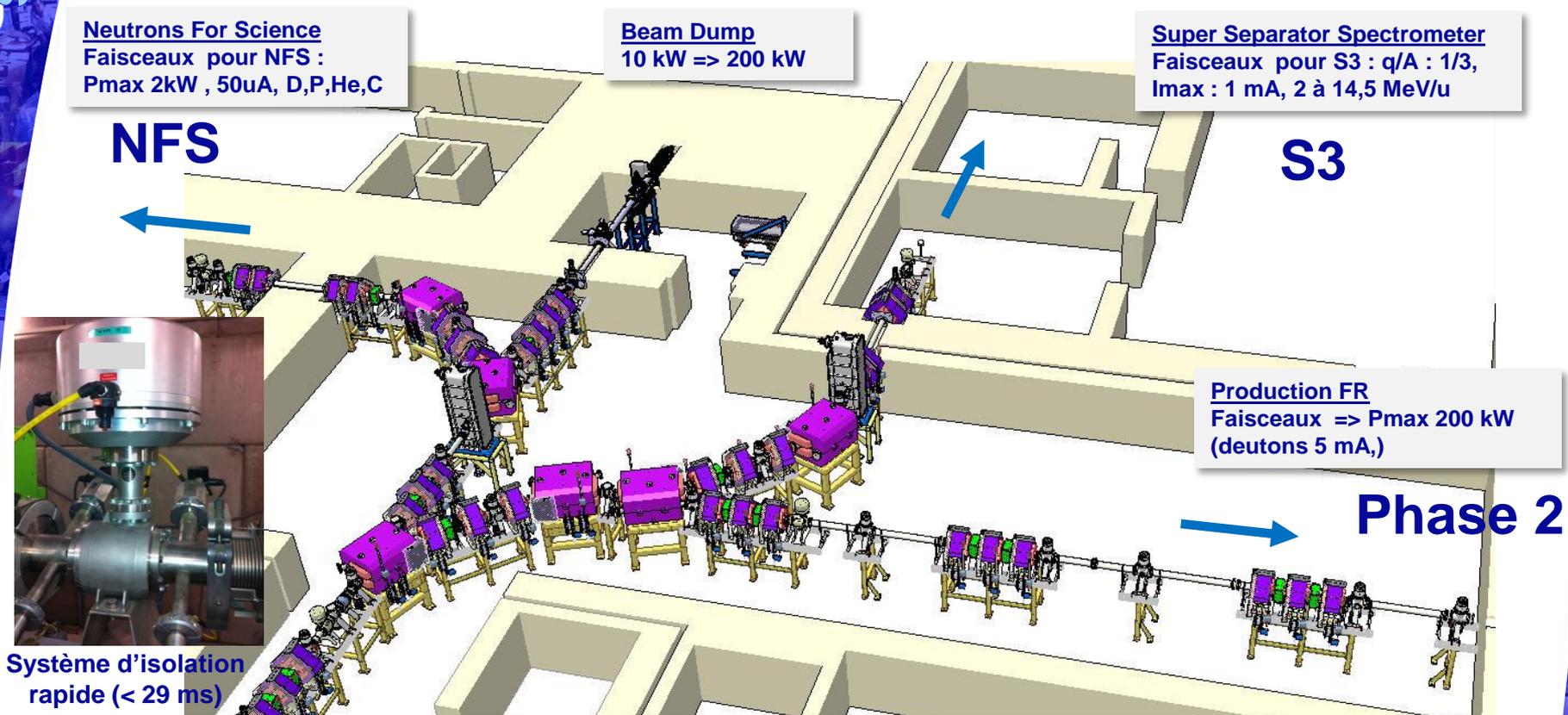
Boîte à vannes prototype en test sur CMB (IPN-O)



➤ 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

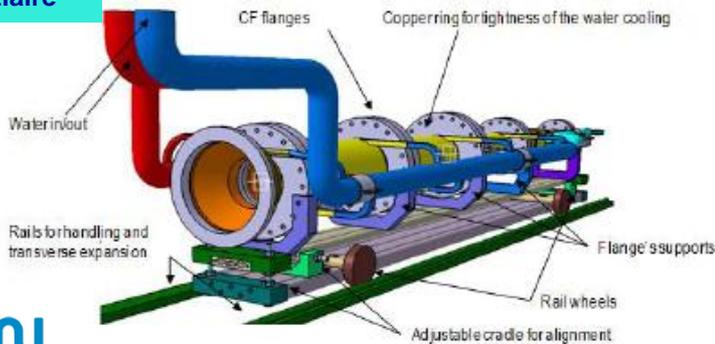
## Lignes de transfert haute énergie

### Arrêt faisceau principal

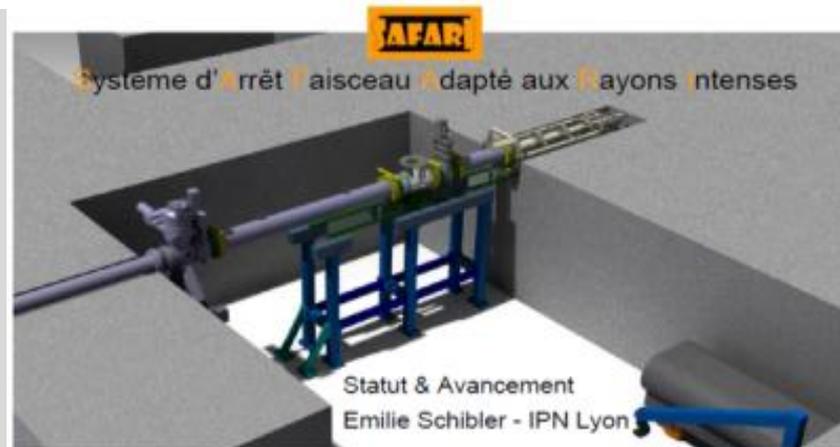
**Fonction : arrêter le faisceau en phase de réglage et de contrôle du faisceau**

- ✓ 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

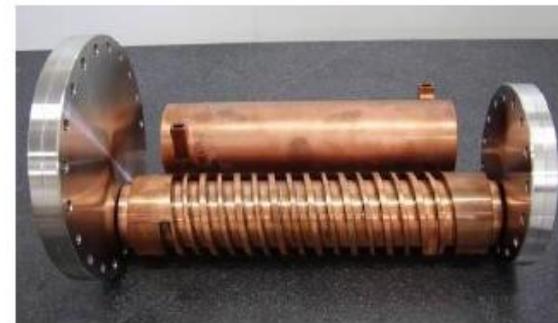


tests thermiques et mécaniques sur prototype



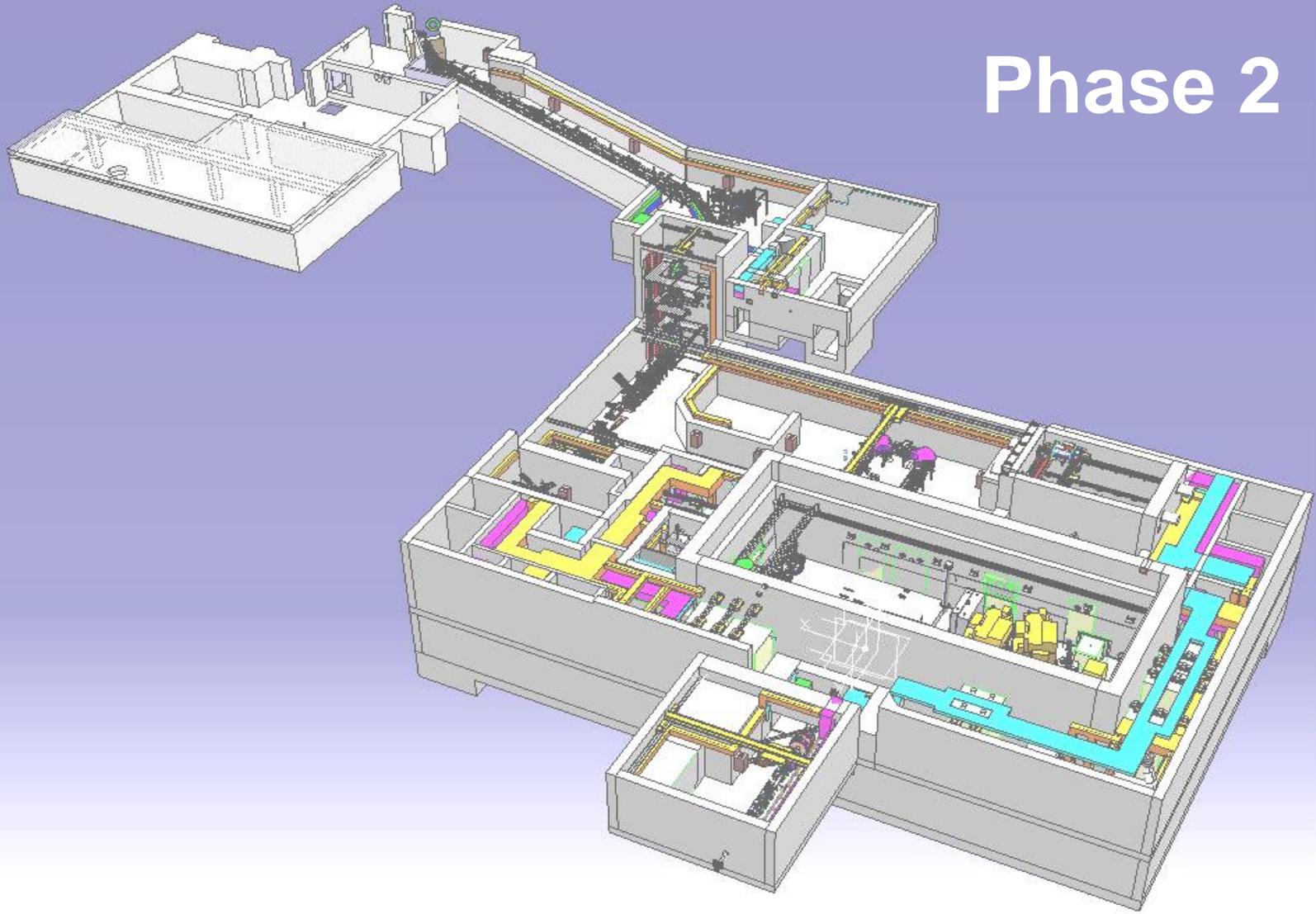
Structure de l'AF : longueur totale 1609mm, ce design fait suite à des processus itératifs variés

- 6 sections de cuivre Cu OFHC (Cu sans oxygène) séparées par des brides CF, faible volume à pomper
- Réduction du rayon interne progressif :  $r_{max} = 48mm$  (3 $\sigma$  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

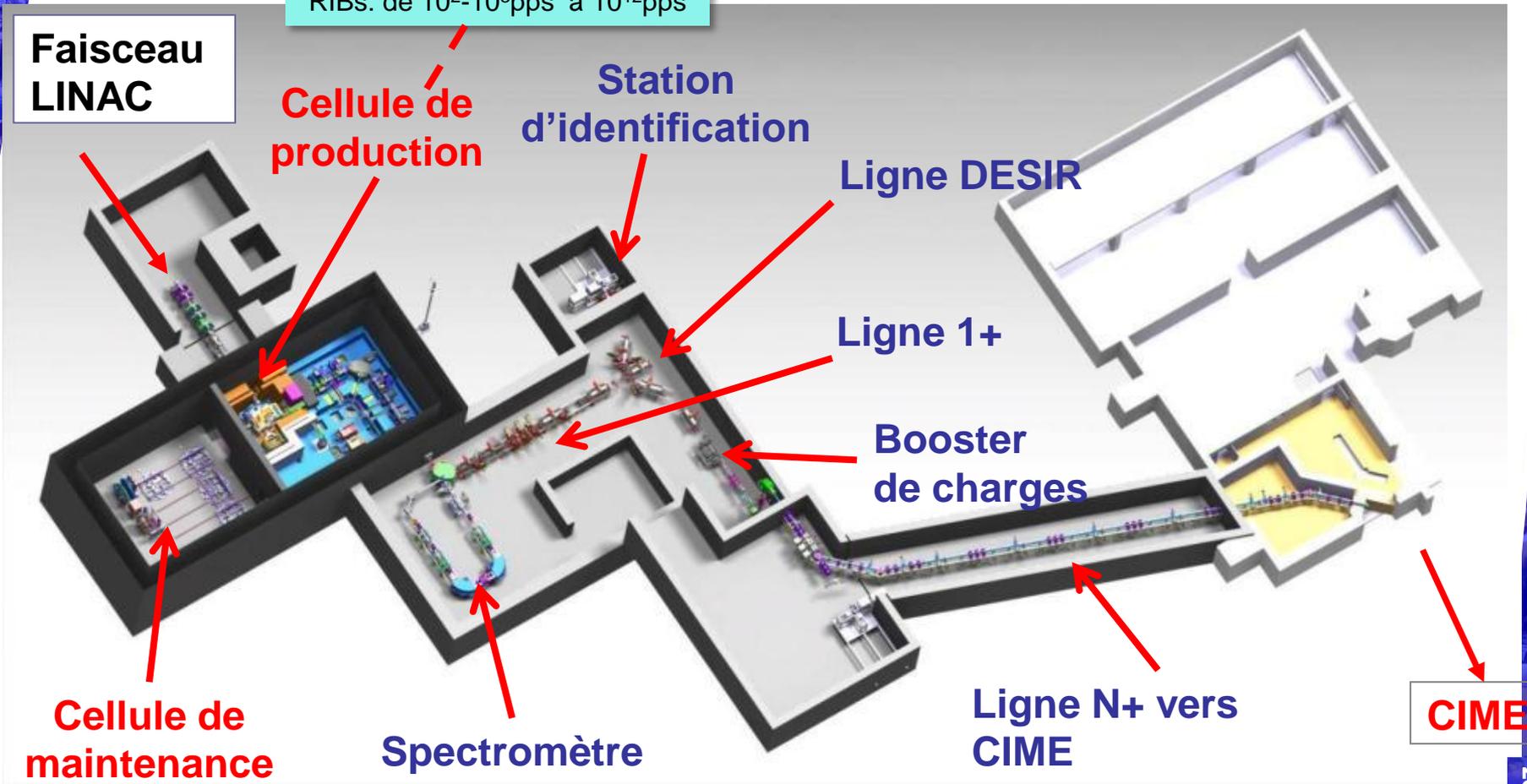
## Phase 2



# Le projet Spiral 2

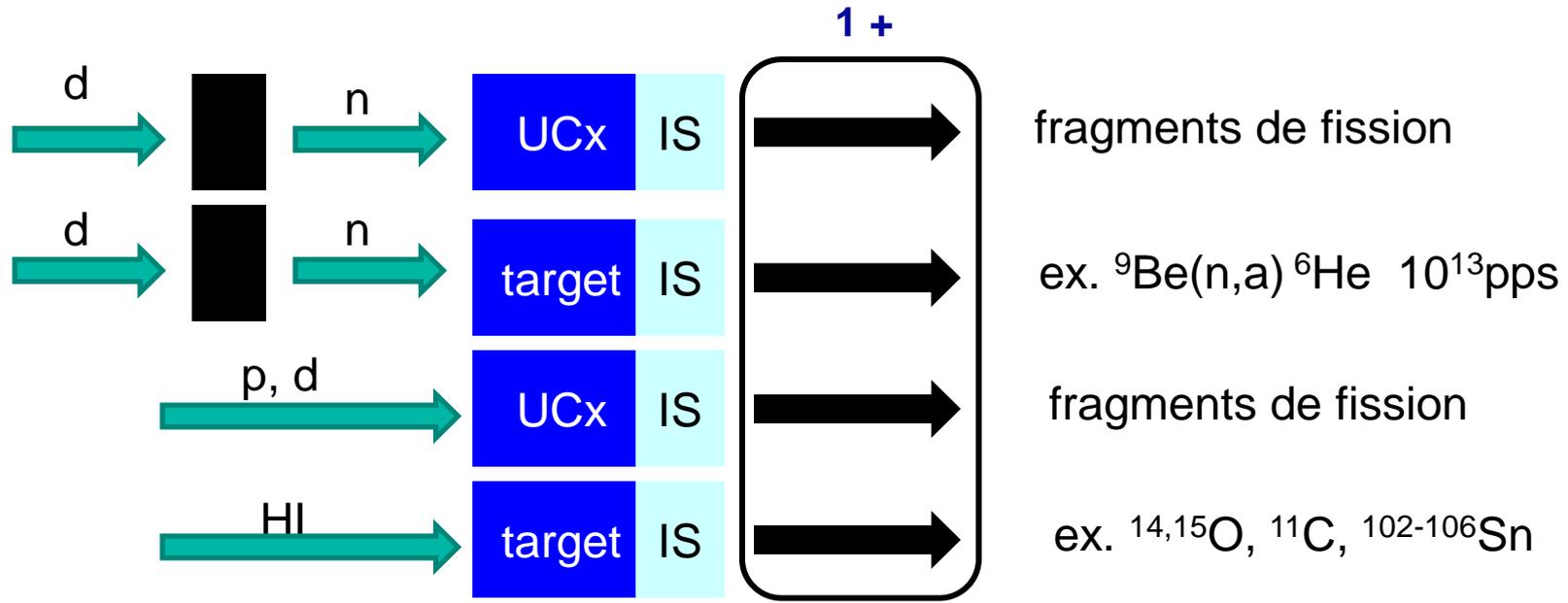
## Phase 2

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



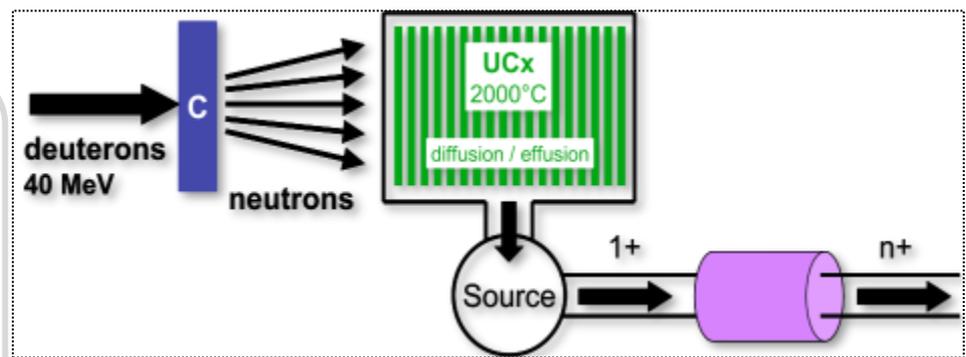
**Domaine de fonctionnement :**  
 $\leq 60\text{keV}$  et  $1\text{-}15\text{ MeV/nucl.}$

### Plusieurs méthodes de production



jusqu'à 2.3 kg UC<sub>2</sub> HD

### cas dimensionnant

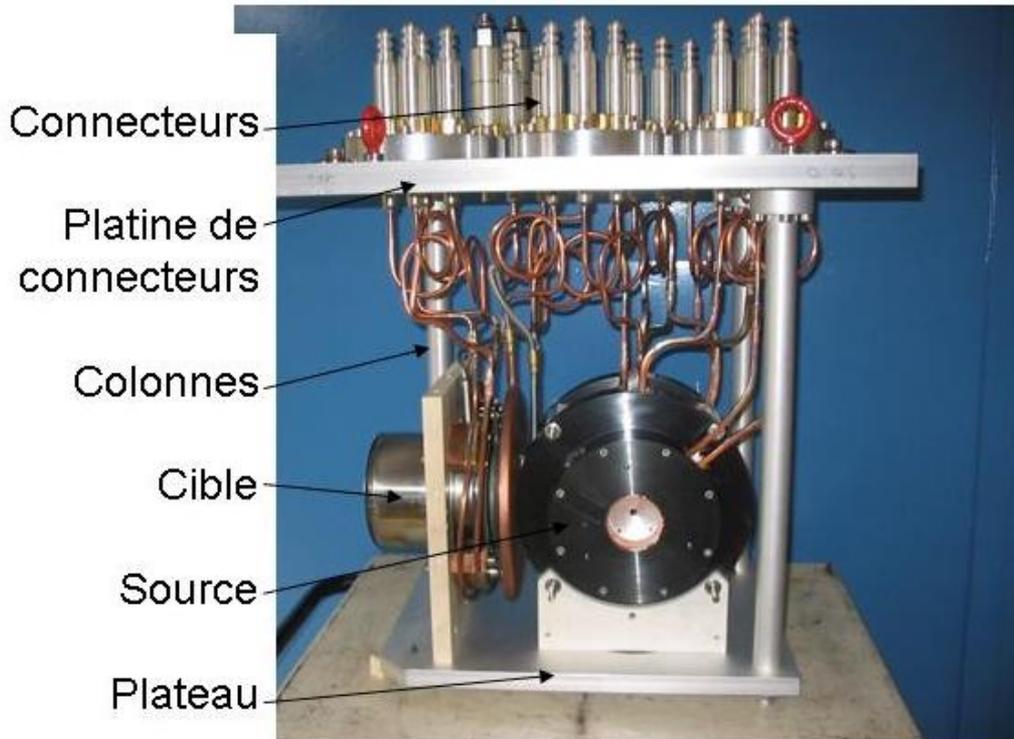


### Plusieurs types de sources d'ionisation

- ✓ 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

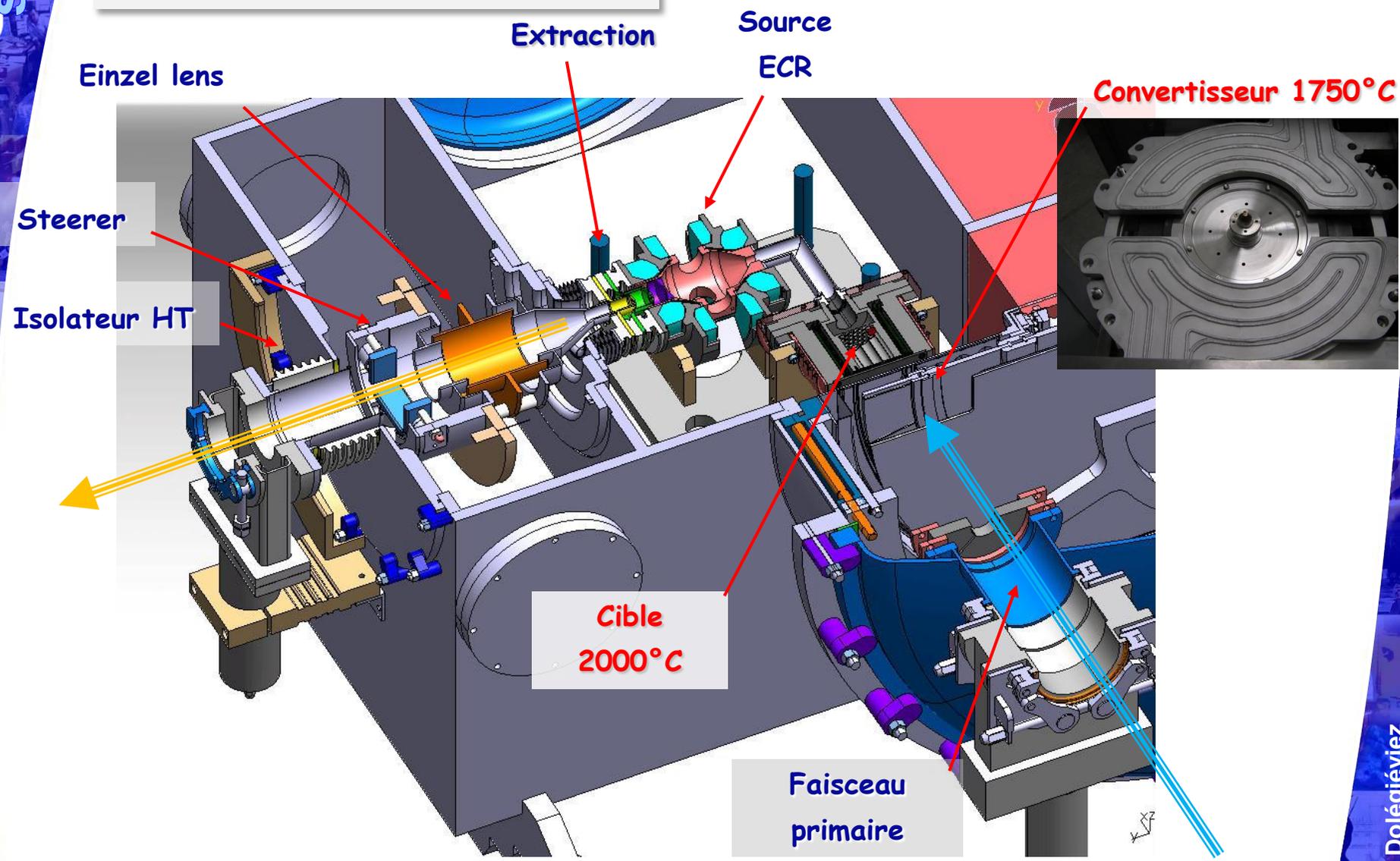


Tantale



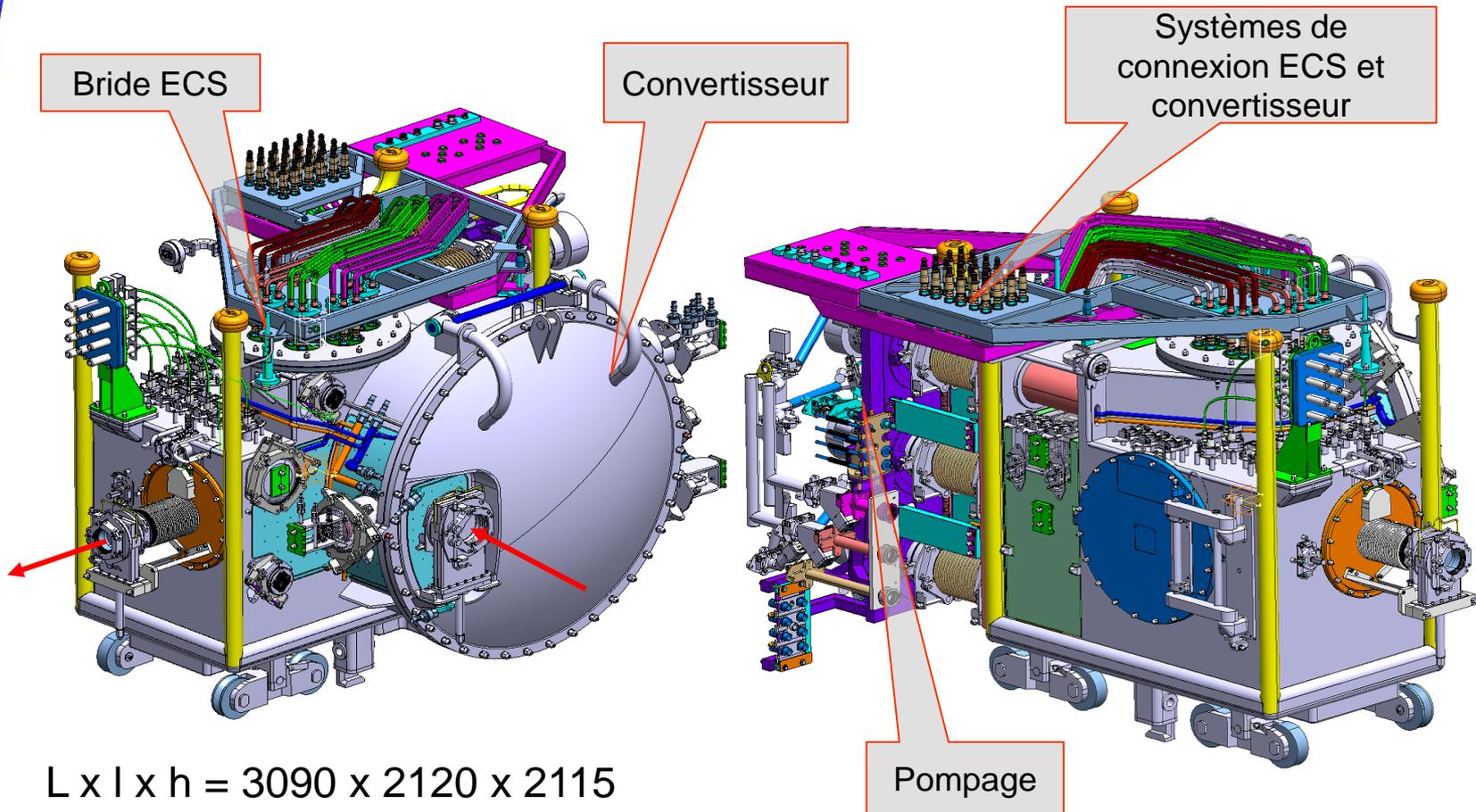
Graphite

### module de production



## module de production

## Phase 2

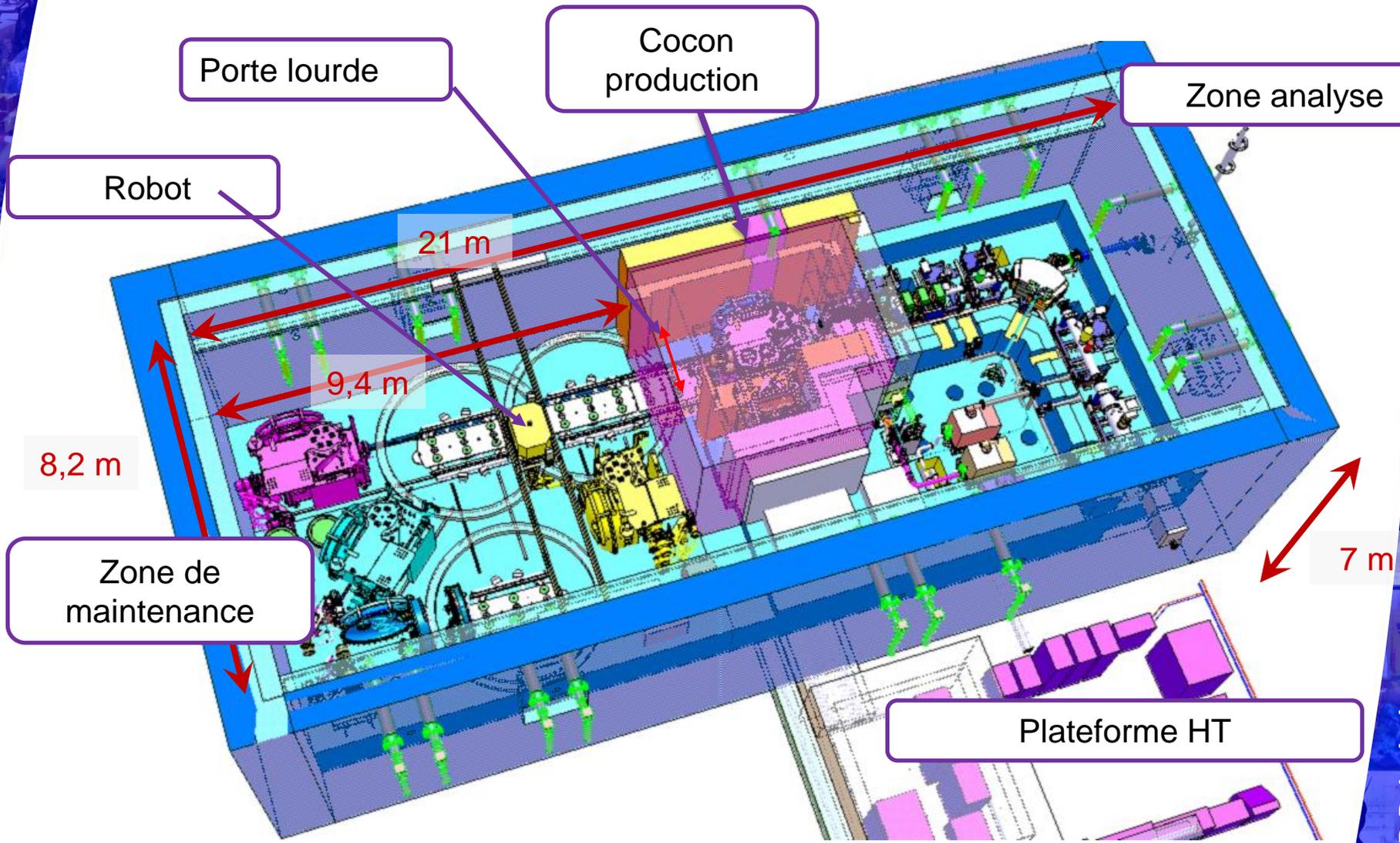


L x l x h = 3090 x 2120 x 2115  
 Poids Total : 8900 kg

# Le projet Spiral 2

## zone de production : intégration du procédé

## Phase 2



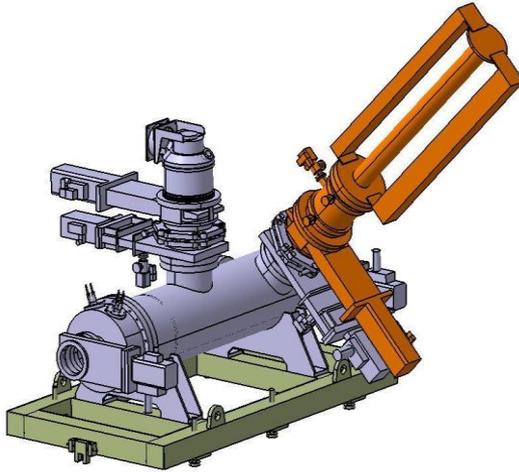
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

Contamination labile



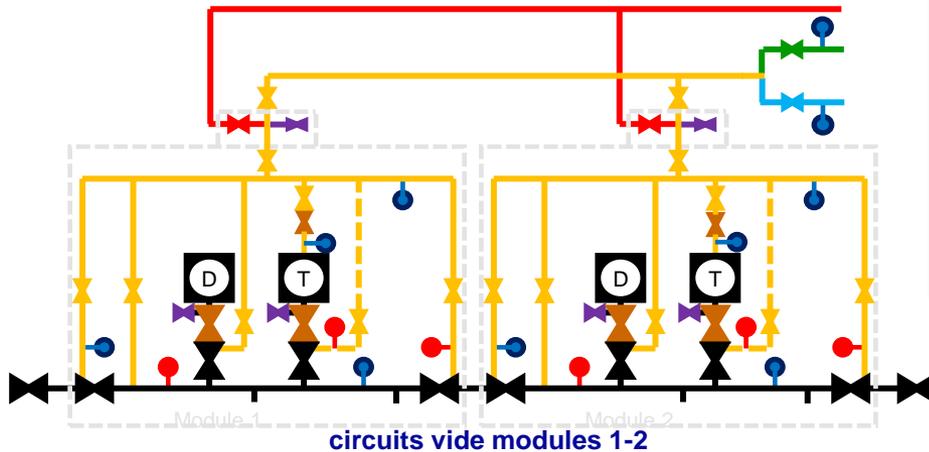
confinement du process et  
entreposage des effluents gazeux



- ✓ 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



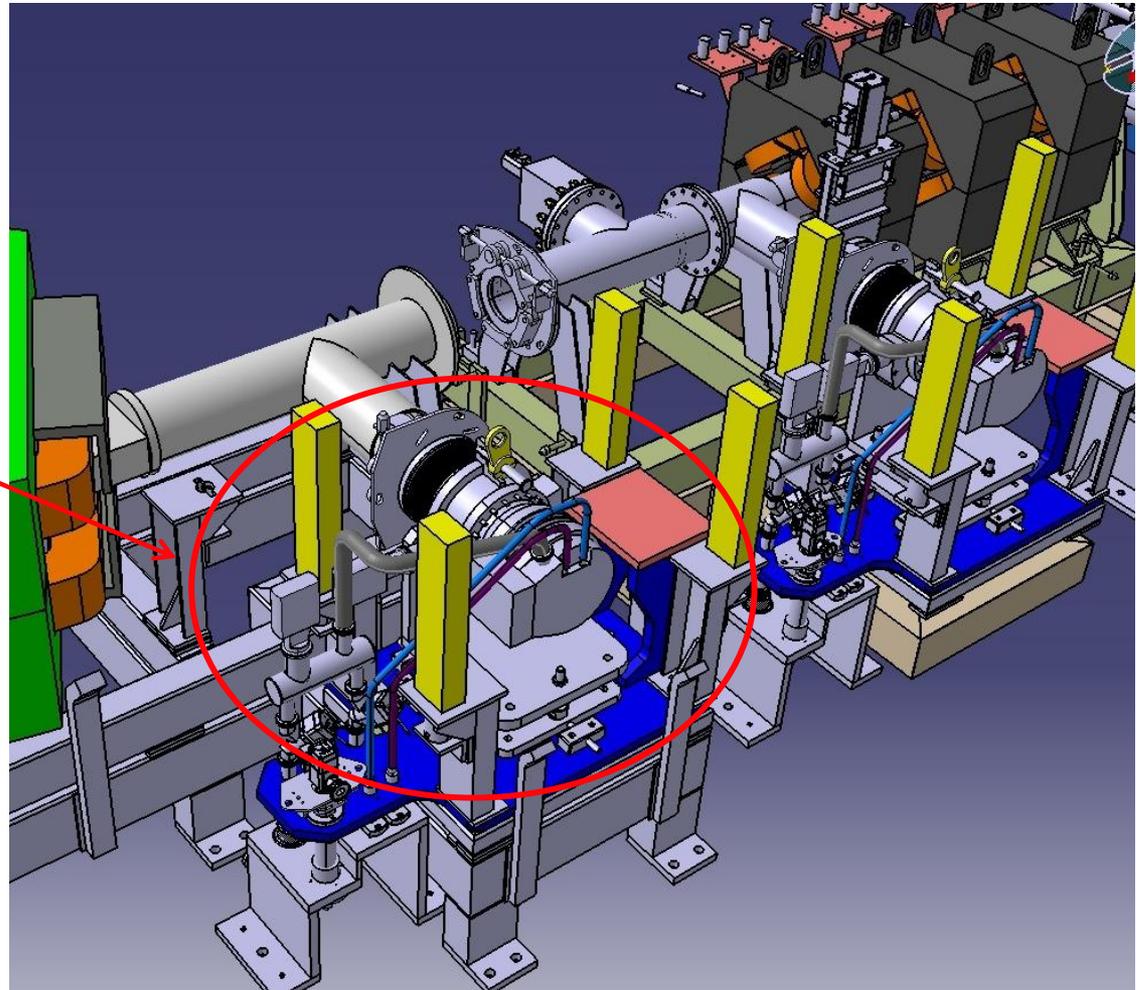
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

modules en zone de production : exploitation téléopérée

module de pompage  
en zone de production

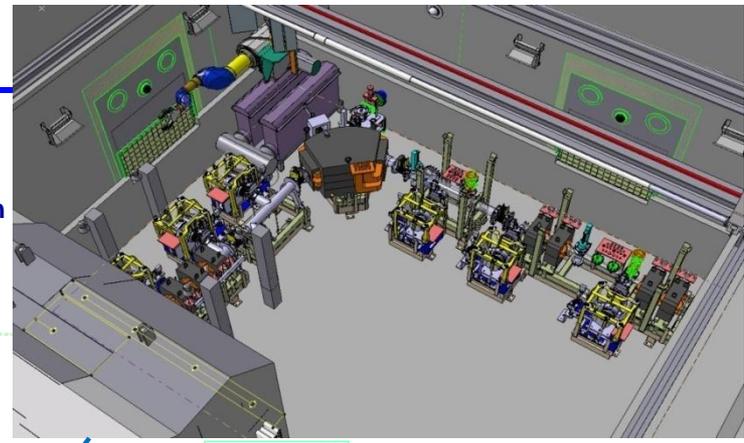
challenge :  
nucléarisation d'un  
procédé type  
accélérateur



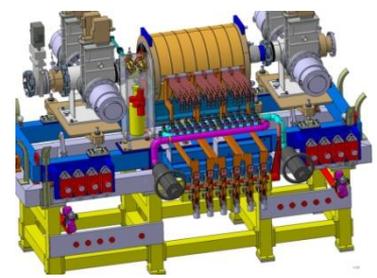
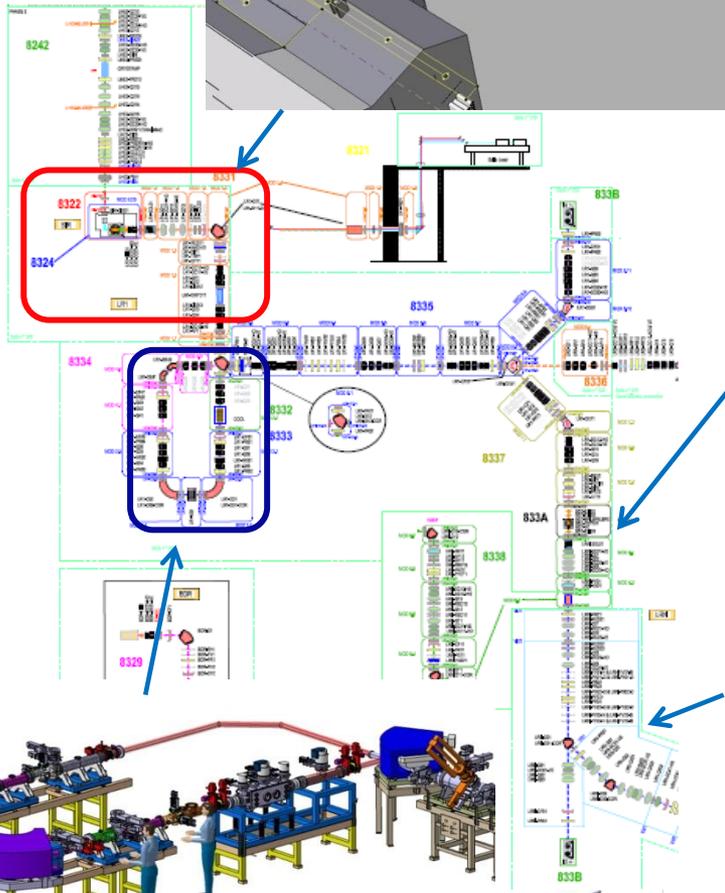
# Le projet Spiral 2

## Phase 2

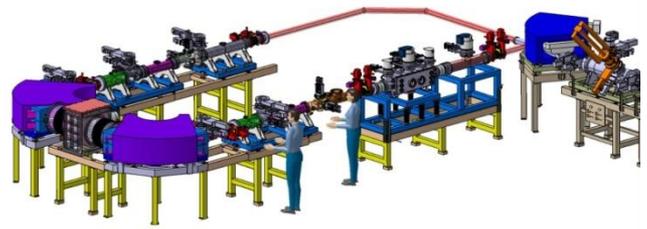
1+ zone production



conception modulaire de l'installation

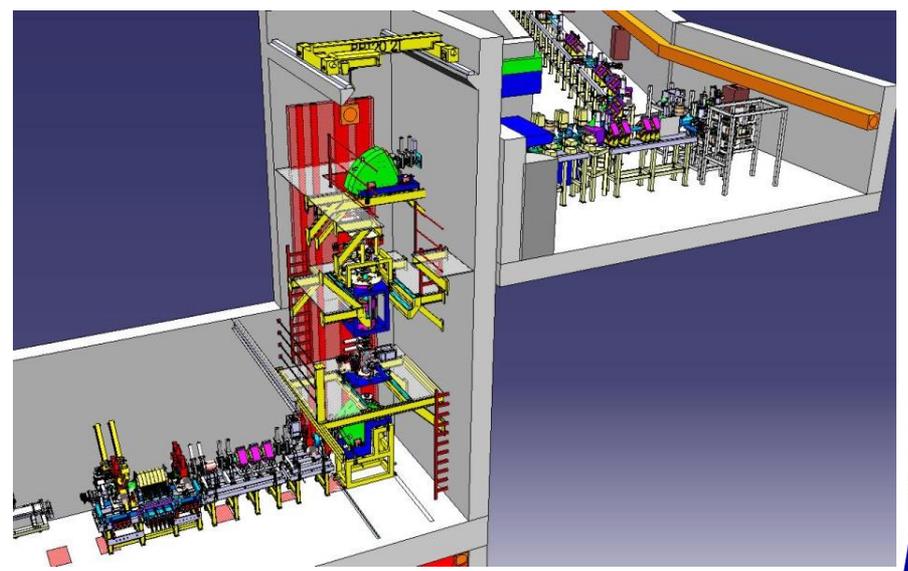
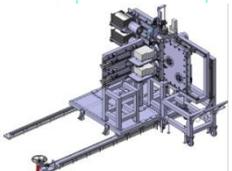


Booster 1+/n+



HRS - RFQ cooler

identificateur



N+ analyse booster et ligne jonction CIME (Ganil)



# Le projet Spiral 2

## Bâtiments Ph1



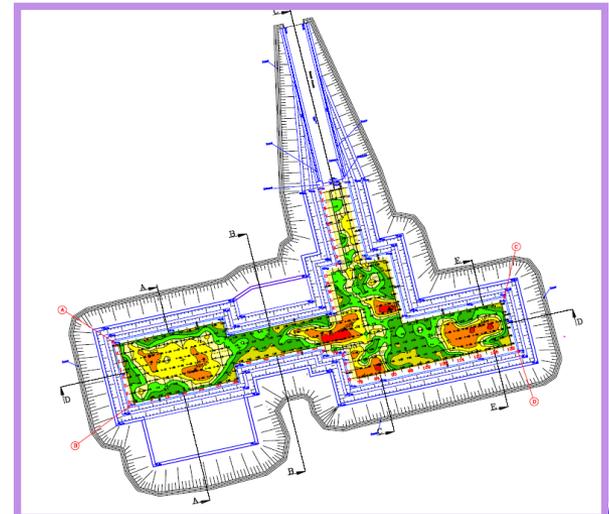
Début chantier  
Décembre 2010



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

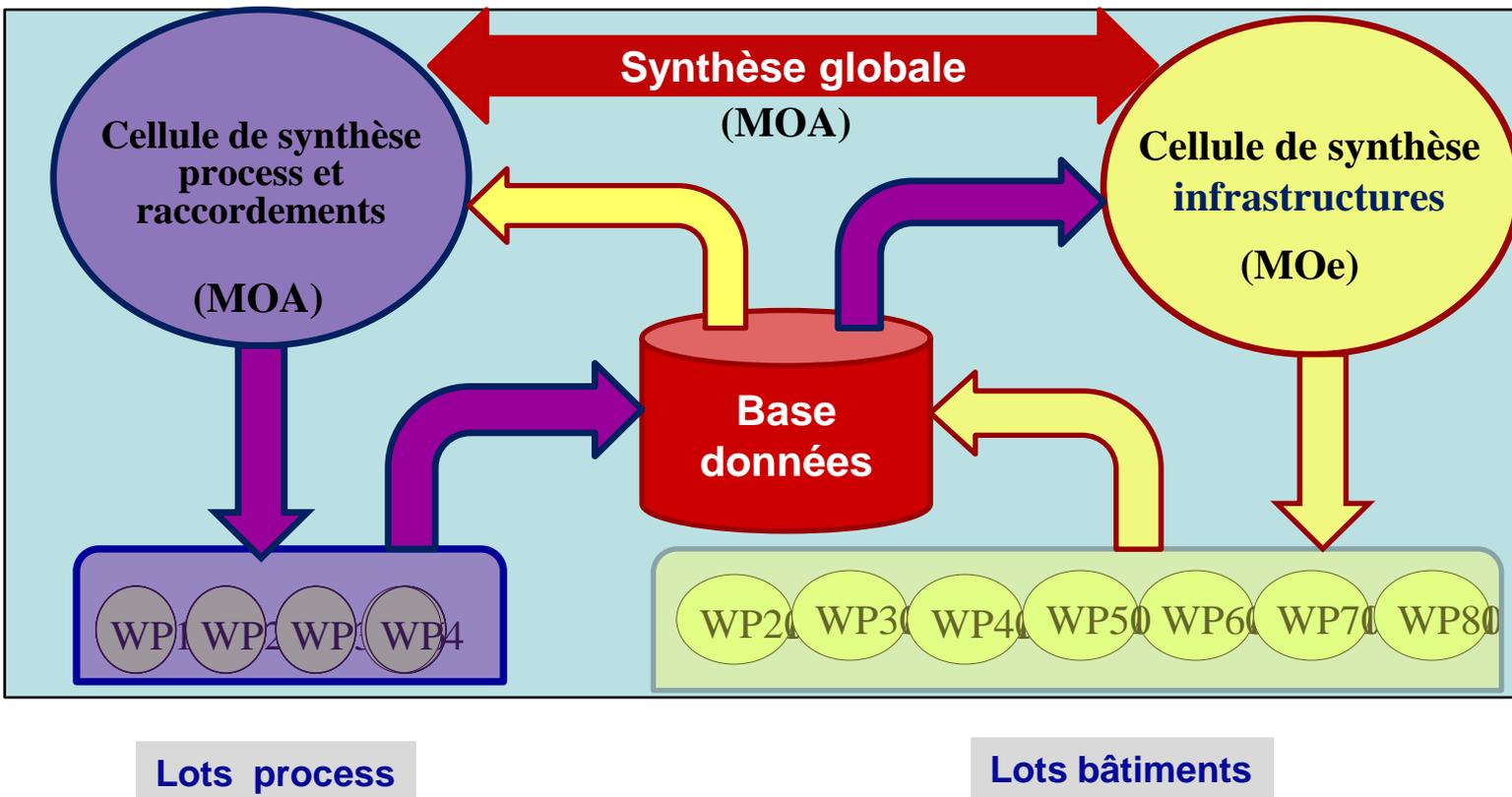


# Le projet Spiral 2

## 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



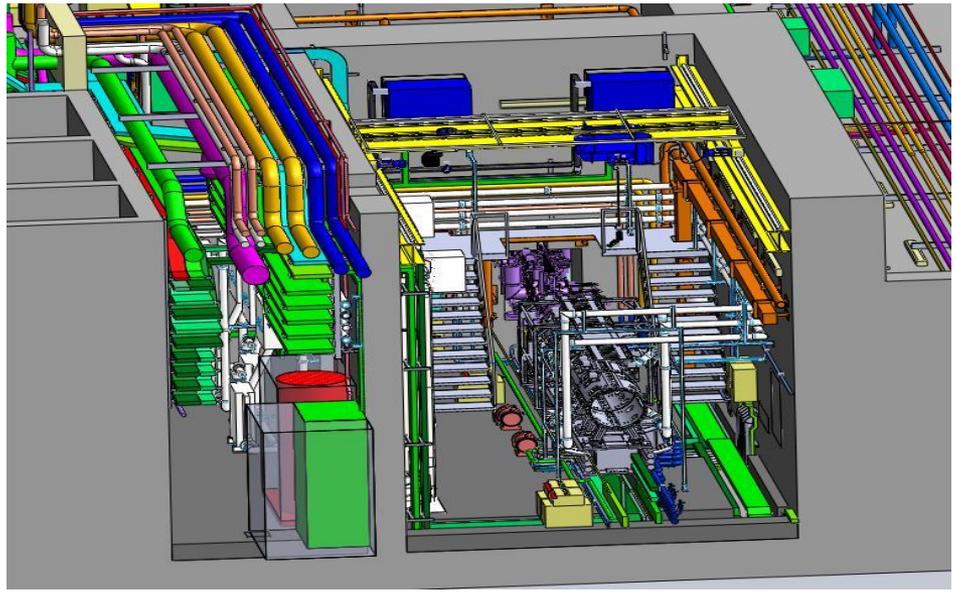
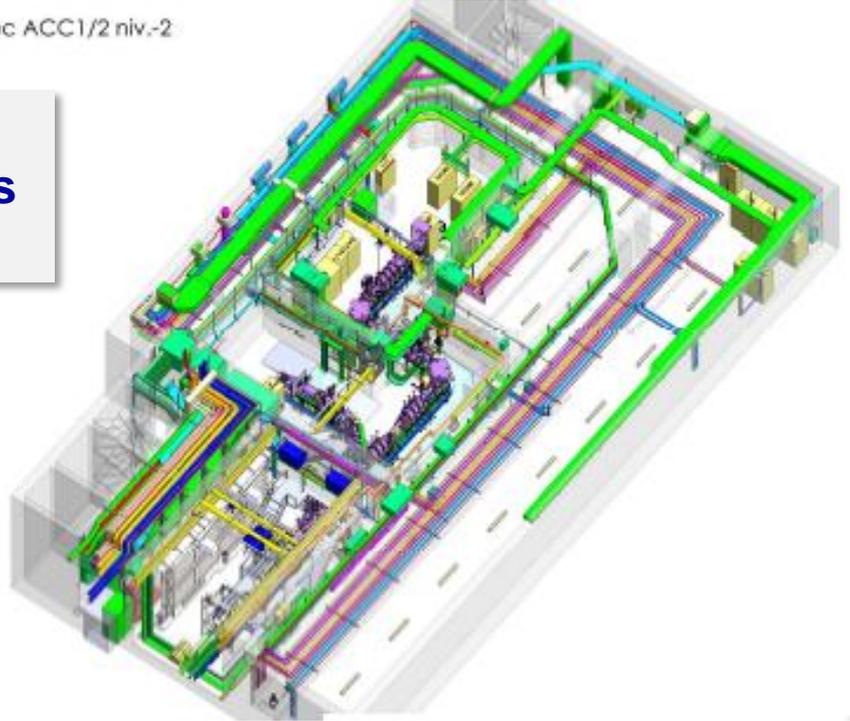
# Le projet Spiral 2

## 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

## Intallation

### 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



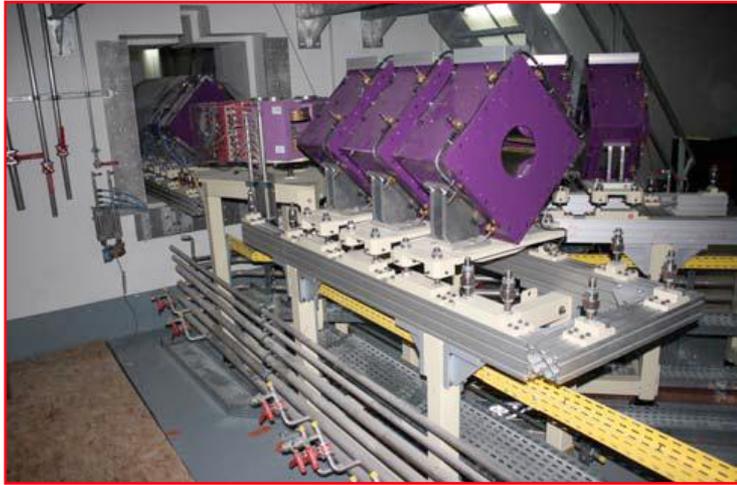
### Entreposage avant installation

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



# Le projet Spiral 2

## Installation

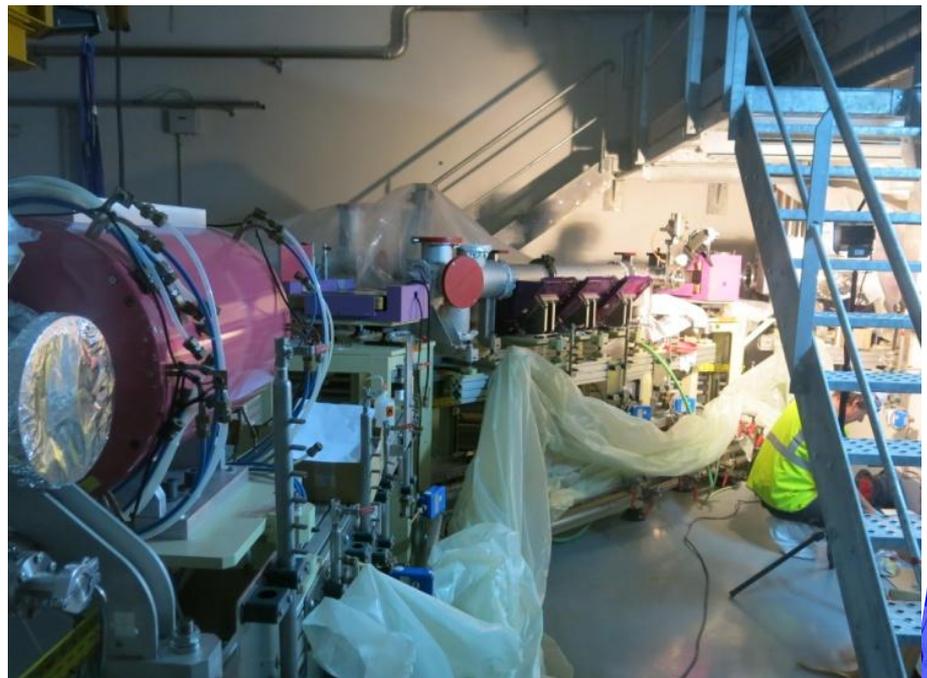


➤ *début de l'installation du procédé - fin 2012*

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)

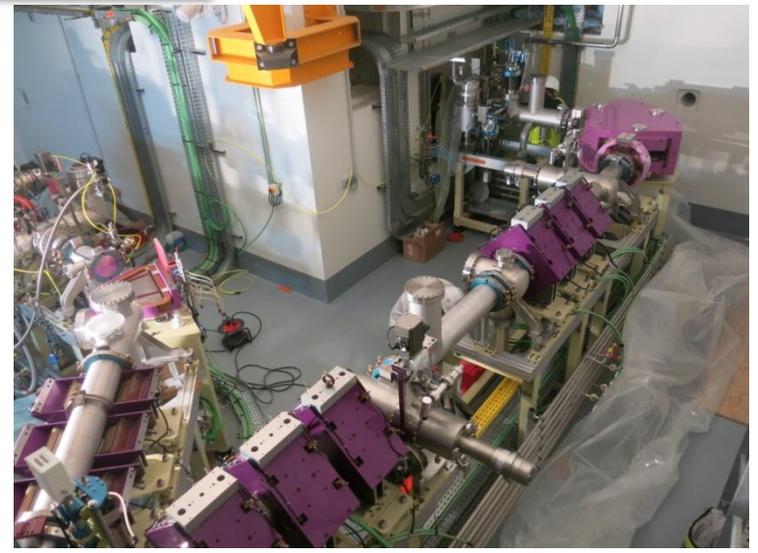
# Le projet Spiral 2

## Intallation



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

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



# Le projet Spiral 2

## Installation



➤ *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**

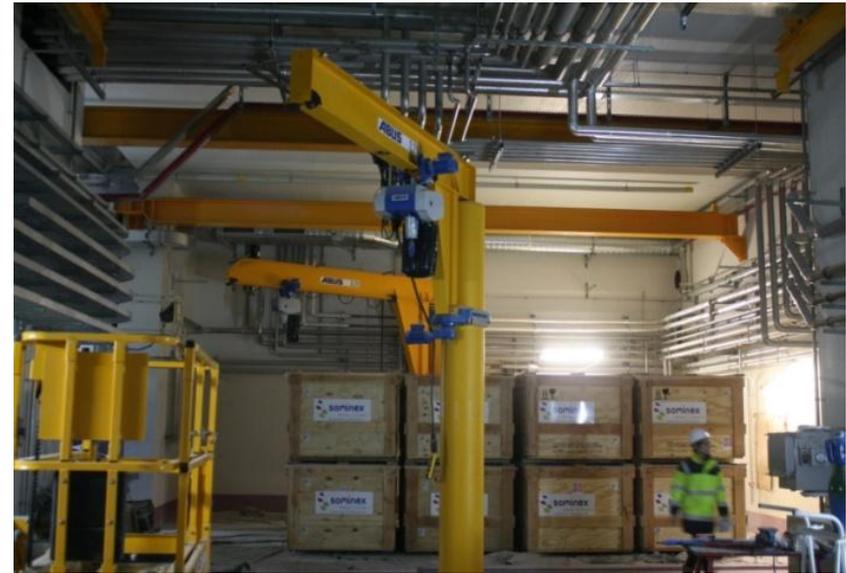
# Le projet Spiral 2

## Installation



Salle des Alimentations et électroniques  
(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***



***Merci de votre attention***