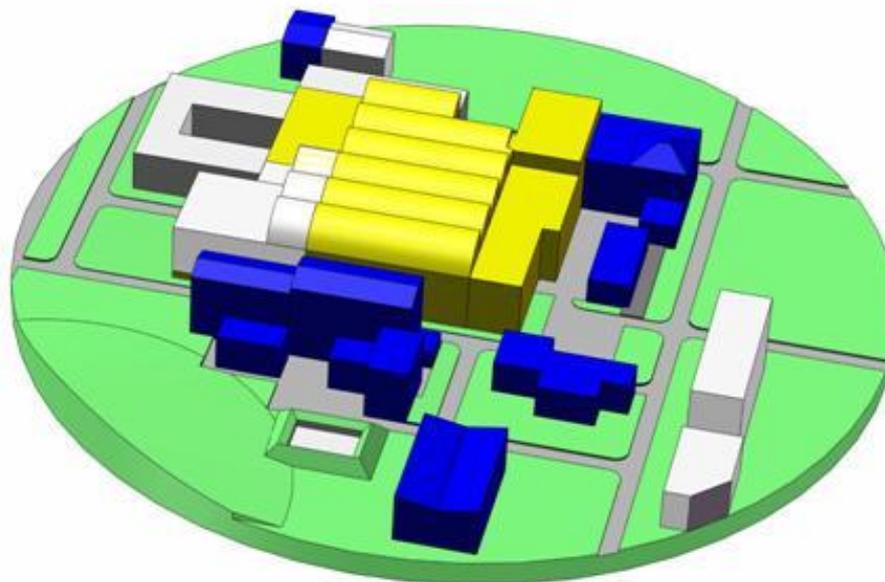


# Analyse globale des risques d'interférences sur le Synergium de l'installation 218



CEA centre de Saclay 31 juillet 2015  
Stage de fin d'études : 9 février - 31 juillet 2015  
Damien Plantegenêt - ENSCMu

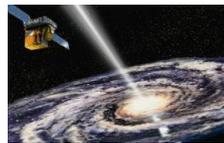


**Objectif : Identification,  
évaluation et maîtrise des  
risques d'interférences  
existant sur l'installation 218**

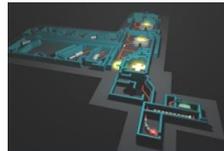
- 1. Introduction**
- 2. Apparition des interférences**
- 3. Les projets et infrastructures**
- 4. Analyse des interférences**
- 5. Conclusion**

# Organigramme de l'Irfu

Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers



**SAp**  
Astrophysique



**SPhN**  
Physique Nucléaire



**SPP**  
Physique des Particules

**SACM**

Accélérateurs,  
Aimants Supra



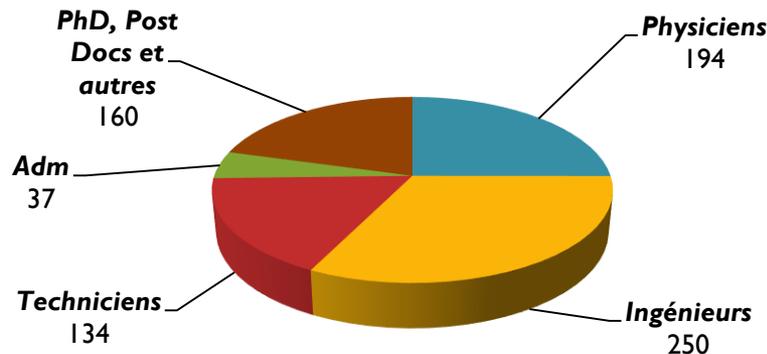
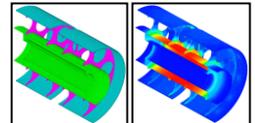
**SEDI**

Electronique, Détecteurs  
Informatique



**SIS**

Ingénierie des Systèmes



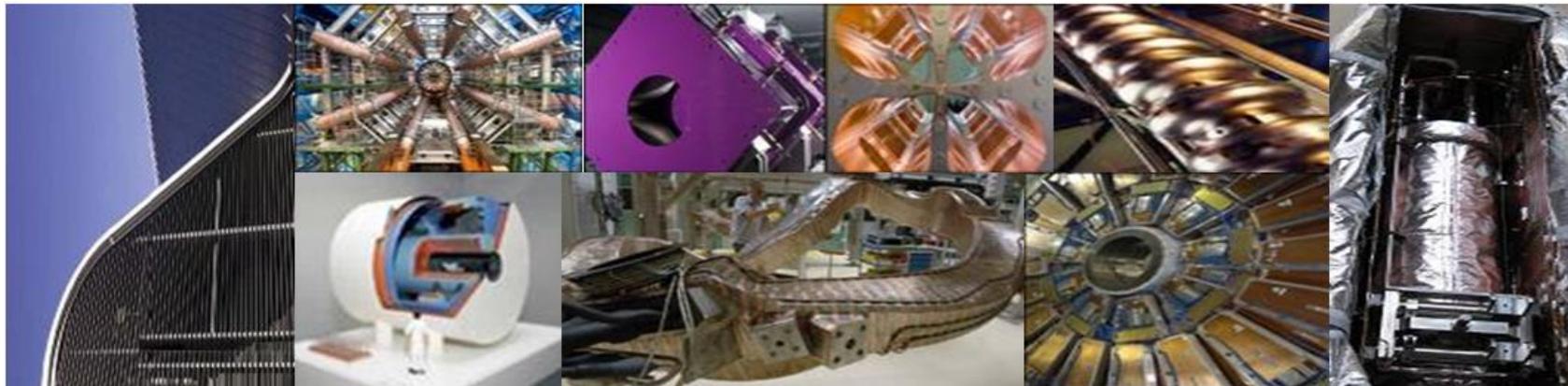
Fonction de l'Irfu :  
recherche et technologie

## Service des accélérateurs, de la cryogénie et du magnétisme (SACM)

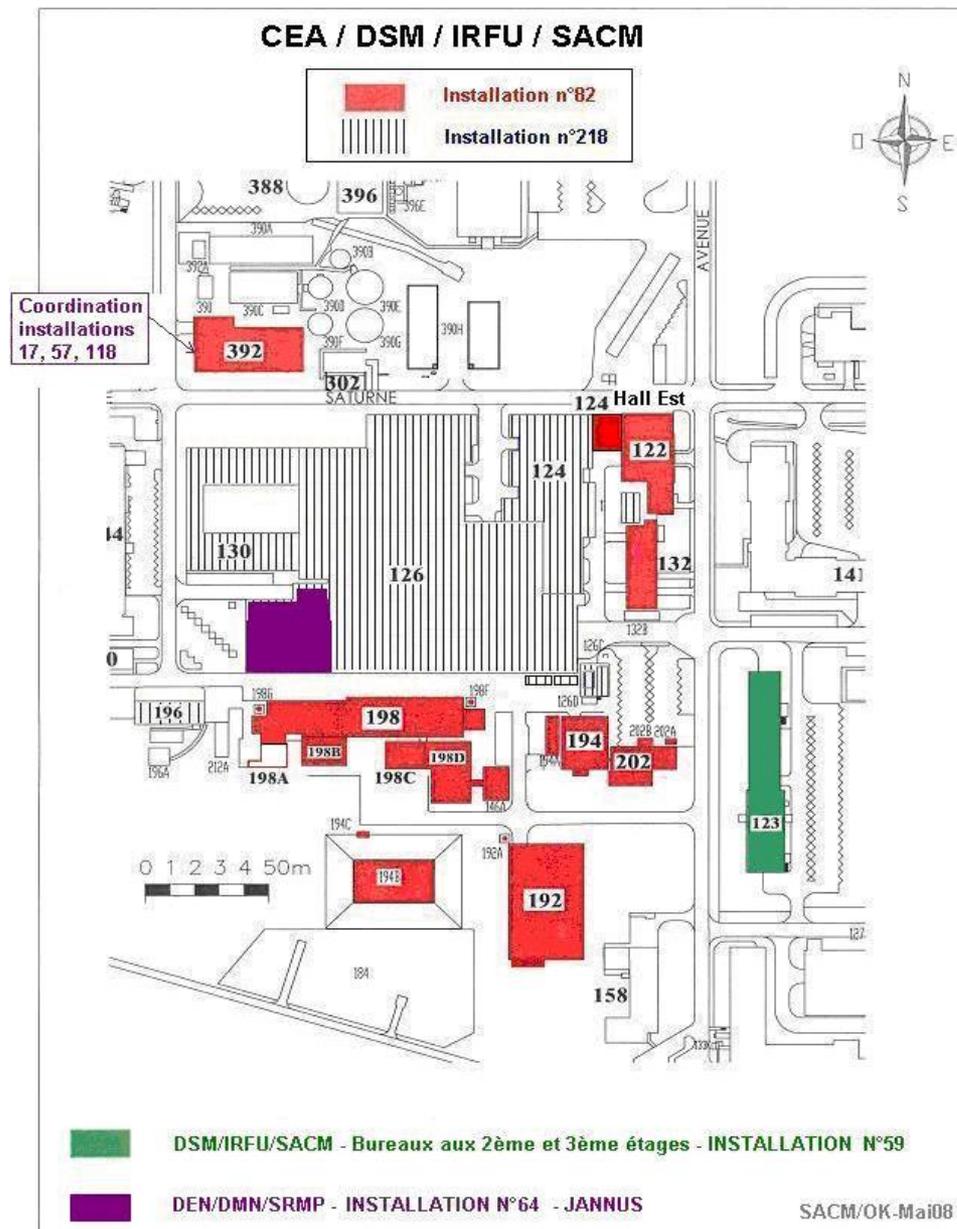
Objectifs : développer et réaliser :

- des accélérateurs de particules,
- des systèmes cryogéniques
- et des aimants supraconducteurs

Les activités sont destinées aux programmes scientifiques de l'Irfu et, plus largement, du CEA et d'organismes internationaux.



# Périmètres sécurité du SACM



1. Introduction
- 2. Apparition des interférences**
3. Les projets et infrastructures
4. Analyse des interférences
5. Conclusion

# Le Synergium a remplacé une installation historique



Accélérateur « Saturne »  
synchrotron à protons en  
fonctionnement de 1958 à 1997

L'une des grandes  
infrastructures de recherche  
française en physique





# Des risques professionnels variés



Des risques plutôt  
classiques en industrie ...

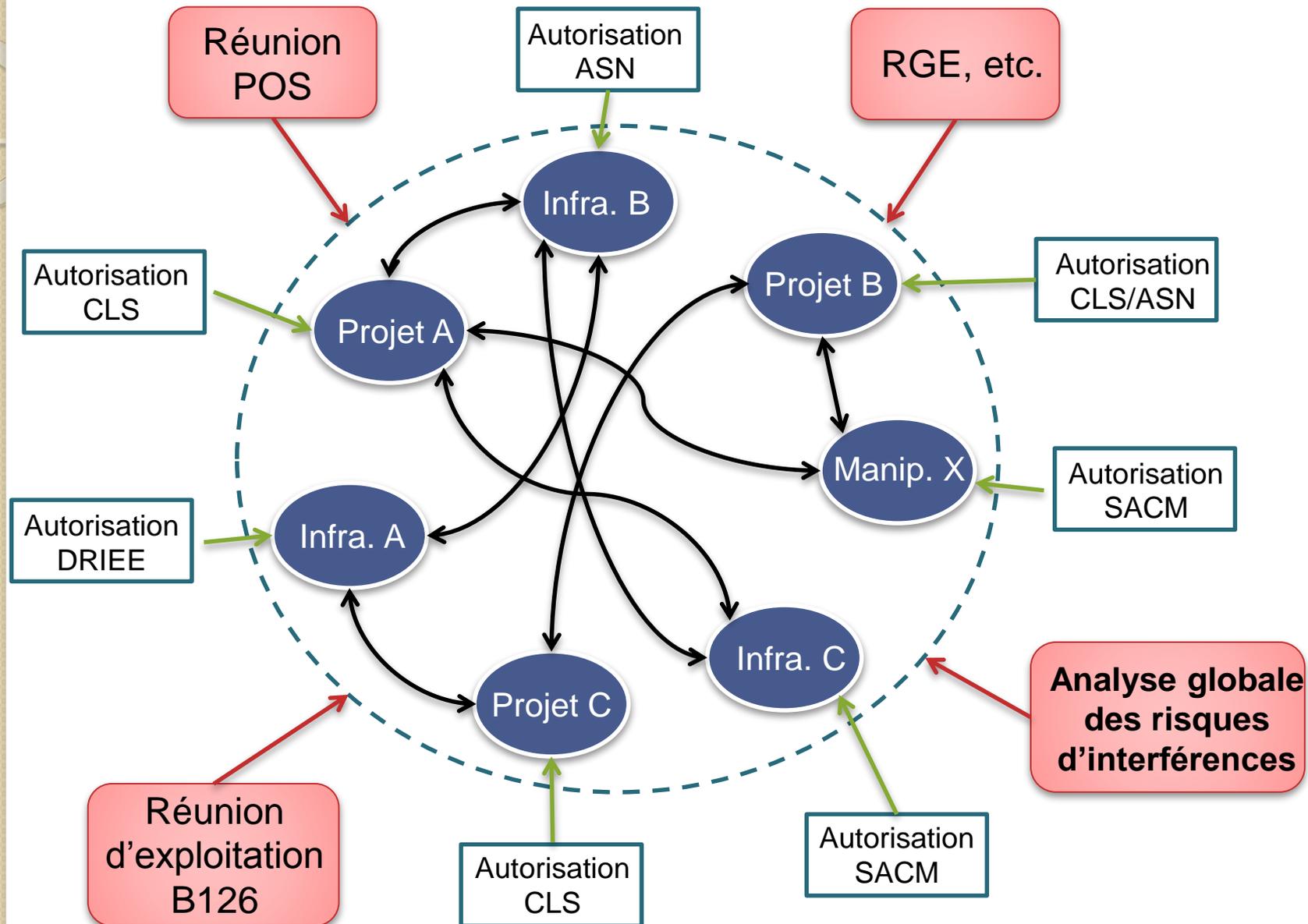
... et d'autres  
moins courants

**Profusion de risques professionnels regroupés sur des  
périmètres plus ou moins restreints  
Nouveaux projets ; chantiers permanents**



**Interférences inévitables  
Aspect technique et organisationnel**

# Cadre du travail



1. Introduction
2. Apparition des interférences
- 3. Les projets et infrastructures**
4. Analyse des interférences
5. Conclusion

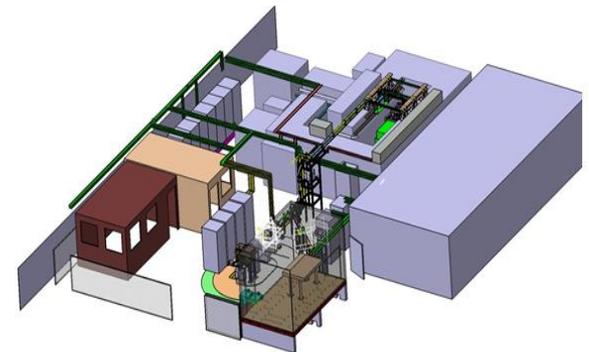
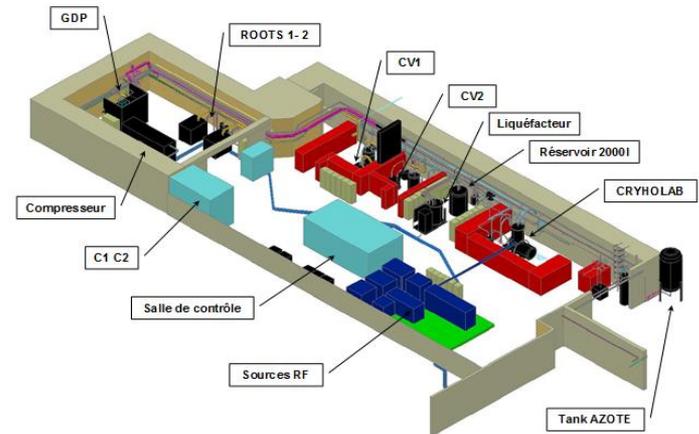
- XFEL
- SUPRATECH chimie – salle blanche
- Plateforme FAIR-BETSI



- Les risques majeurs :



- Irradiateur Cocase
- Accélérateur IPHI
- Plateforme JT60
- SUPRATECH CRYO/HF
- Plateforme GBAR
- Projet ESS : RFQ, coupleurs et ECCTD
- Laboratoire DIVA
- IFMIF



- Les risques majeurs :

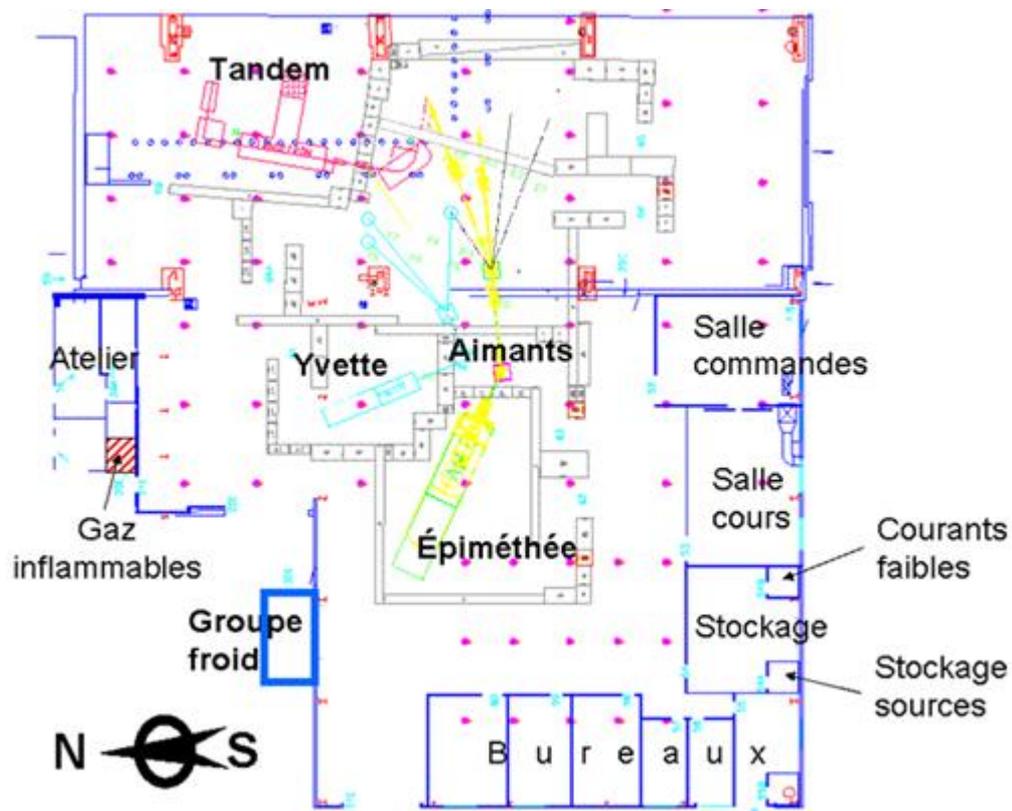


- Hors du Synergium mais dans le bâtiment 126 (séparé par un bardage)
- Dépend de l'installation 64 de la DEN (SACM coordinateur du B126)
- Etude des processus d'endommagement par irradiation et modification contrôlée des matériaux au moyen de faisceaux d'ions

- Principaux risques :



**Manque de coopération  
avec l'installation 218 :  
Problème de co-activité**



- Stockage de déchets nucléaires historiques du CEA
- Déchets TFA en coques de béton préfabriquées (1964-1969)
- 120 coques valorisées comme éléments de construction (bât.196)
- Blocs TE utilisés comme protection biologique sur Saturne (B126)
- Anciens blocs béton TFA de Saturne (Aire 212)



**Chantier d'assainissement sur l'aire 212 et opérations de caractérisation sur le bâtiment 196 en cours**

- Principaux risques



- Alimentation des projets en ondes radiofréquences via un réseau de guide d'onde passant en partie par le sous-sol
- Projets connectés : IPHI, ESS-RFQ, casemate IFMIF-ESS

- 2 klystrons 2 MW continus (remplacement en 2015)
- Installation d'un klystron pulsé courant 2015
- Transformateur à l'extérieur du bâtiment 100 kV
- Poste de charge des chariots automoteurs



- Principaux risques :

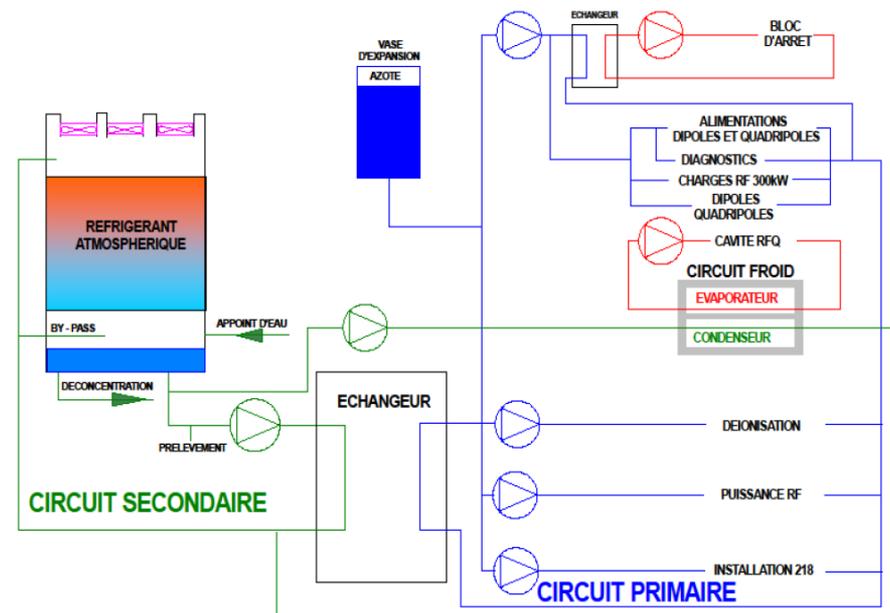
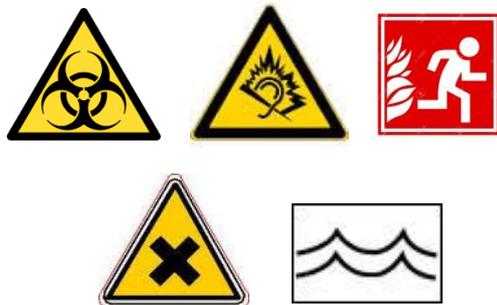


# Irfu Infrastructures de refroidissement

- TAR et salle réfrigération
- Circuit primaire avec circulation d'eau déionisée
- Circuit secondaire
- Echangeur thermique
- Groupes motopompe
- Température d'eau à maintenir < 30°C
- Capacité maximale du circuit : 8 MW

- Stock de glycol
- Produits biocides
- Adoucisseur d'eau

- Principaux risques :

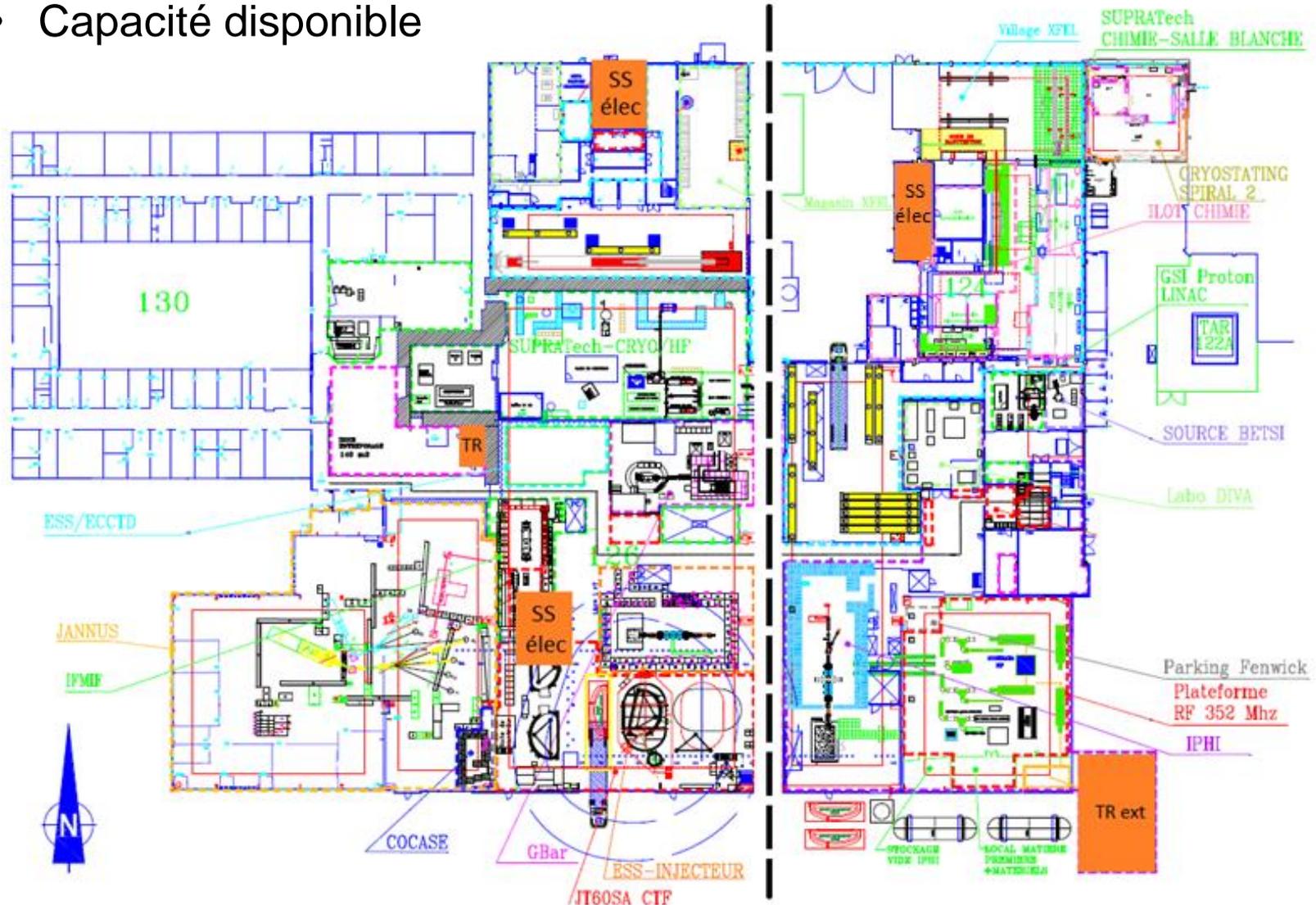


- Hérité de l'ère Saturne : restructurations successives
- 2 niveaux + niveau intermédiaire (couronne)
- Assaini en 2010 pour les infiltrations d'eau
- Etroitement lié au fonctionnement des bâtiments :
  - Sous-stations électriques
  - Salle réfrigération et groupe d'injection automatique (traitement de l'eau)
  - Réseau de guide d'ondes
  - Transit des lignes d'alimentation externes en fluides
  - Cuves de récupération des effluents chimiques
  - Equipements divers, stockages
- Différents problèmes de sécurité et d'interférences :
  - Manque d'éclairage et signalétiques sécurité
  - Evacuations d'urgence et sectorisation
  - Infiltration d'eau et inondation
- Principaux risques :



# Irfu Installations électriques

- Séparation des alimentations
- Capacité disponible



1. Introduction
2. Apparition des interférences
3. Les projets et infrastructures
- 4. Analyse des interférences**
5. Conclusion

# Les interférences

**Nombreux effets de connexions entre les projets**  
**Beaucoup d'interférences aux conséquences variables**

Différentes sources sont à l'origine de situations à problème :

- Configuration et aménagement du périmètre
- Risques professionnels
- Infrastructures partagées
- Réseaux d'alimentation externes
- L'environnement proche de l'installation

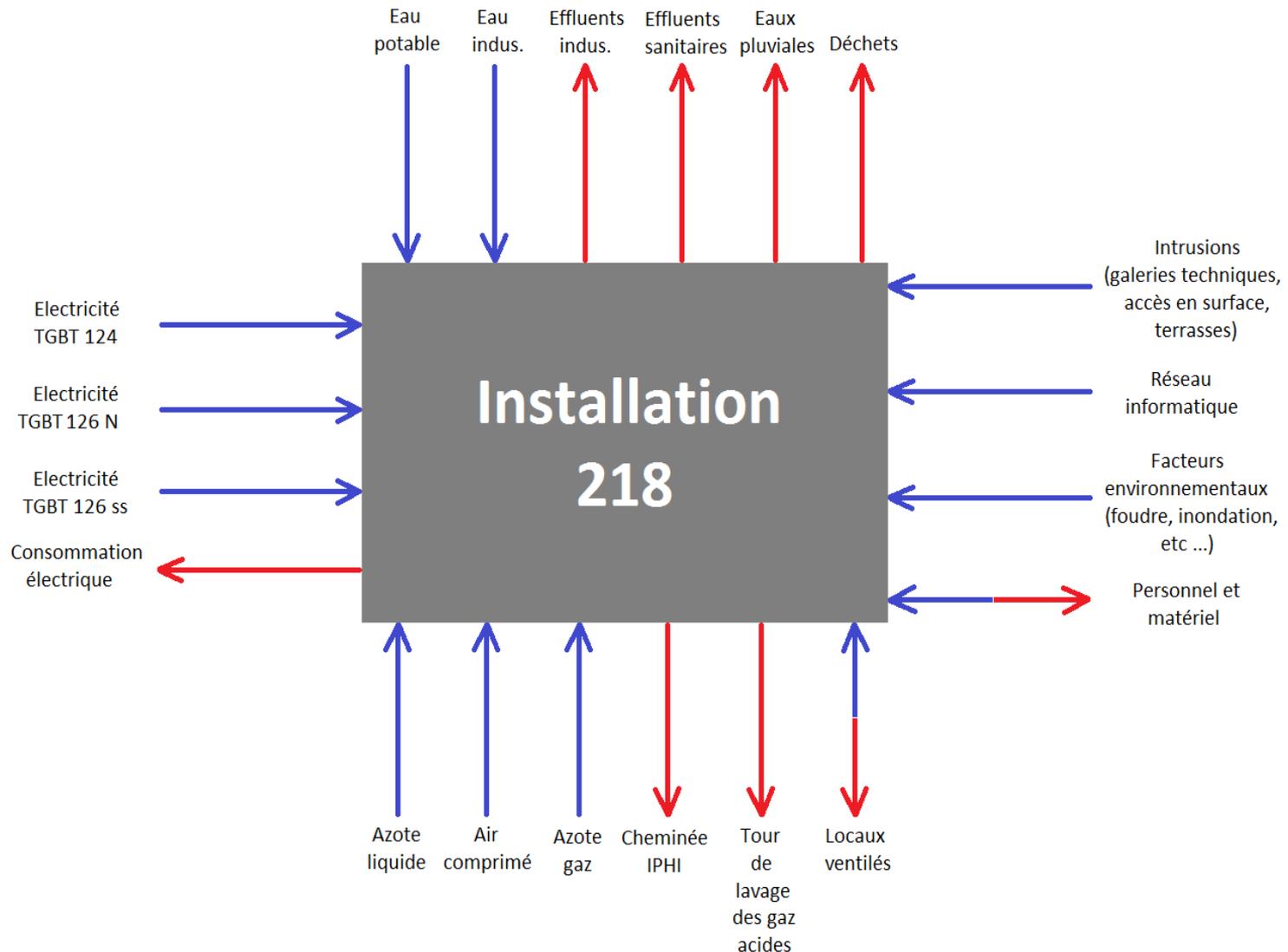
Conséquences :

- Manifestation des interférences à différentes échelles
- Effets internes ou externes à l'installation

 Importance dans l'analyse et l'évaluation des interférences

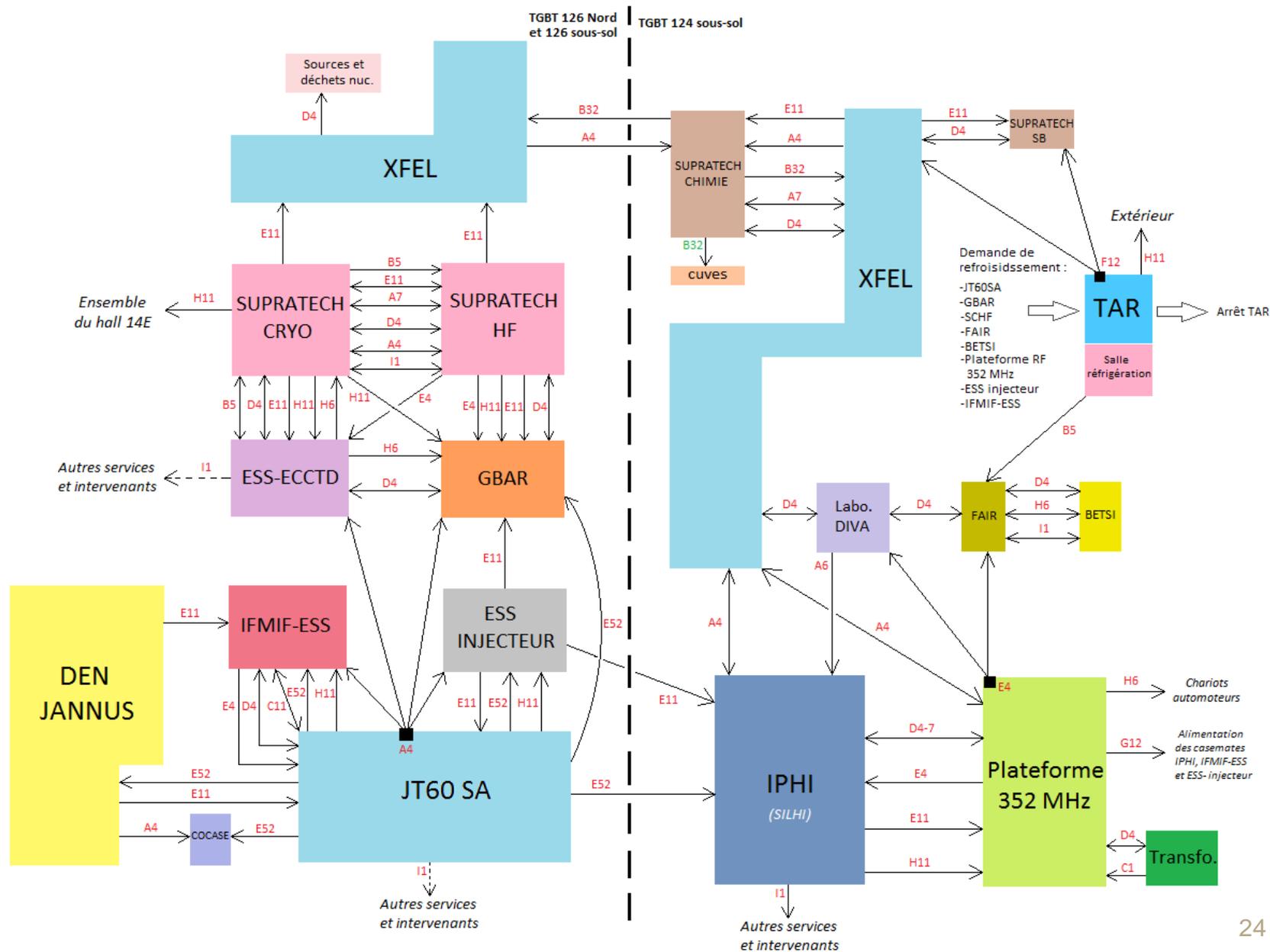
 Utilisation de la grille simplifiée d'analyse de risque MOSAR

# Les interférences de type flux / alimentation à l'échelle de l'installation

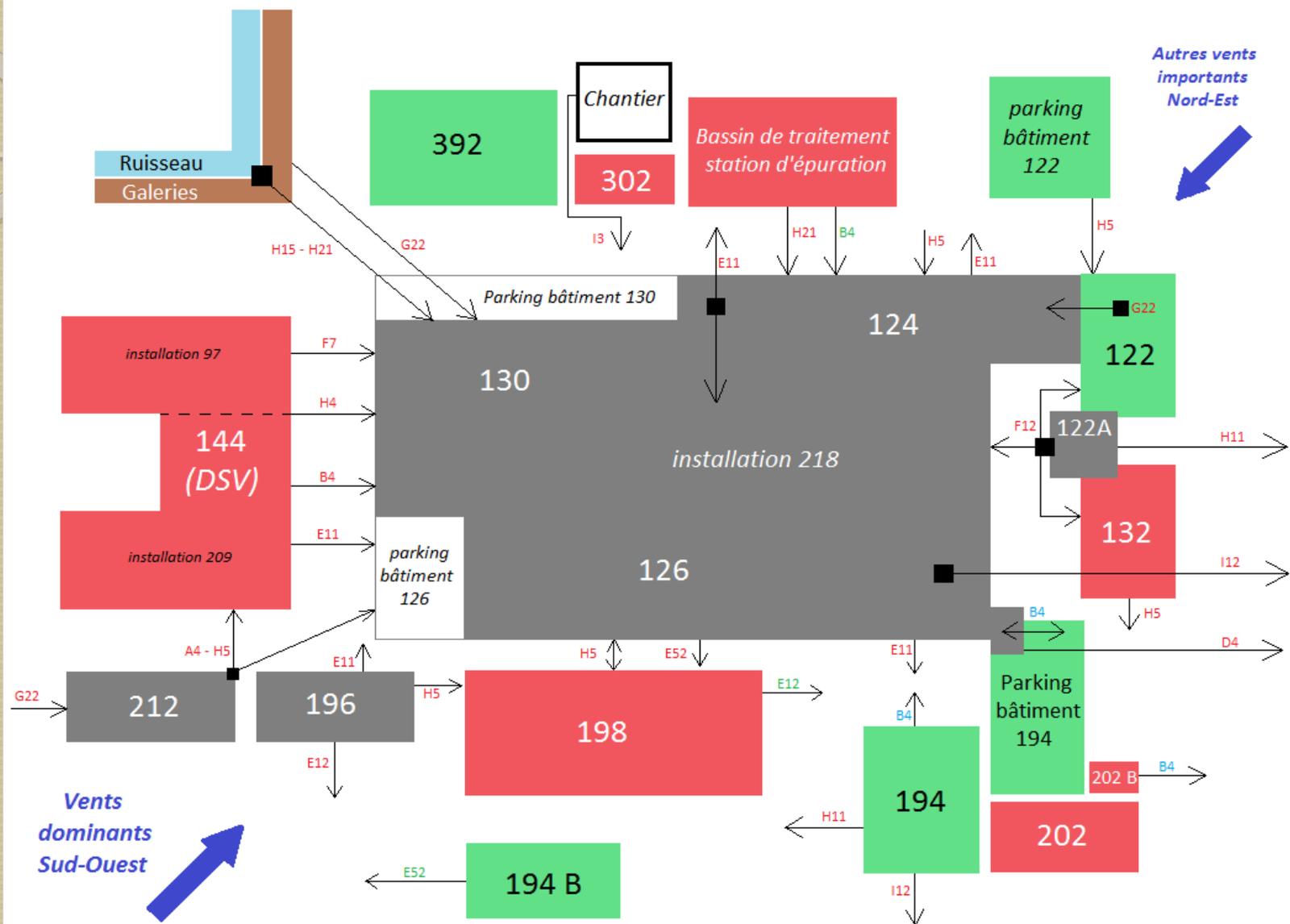




# Les interférences au sein du Synergium



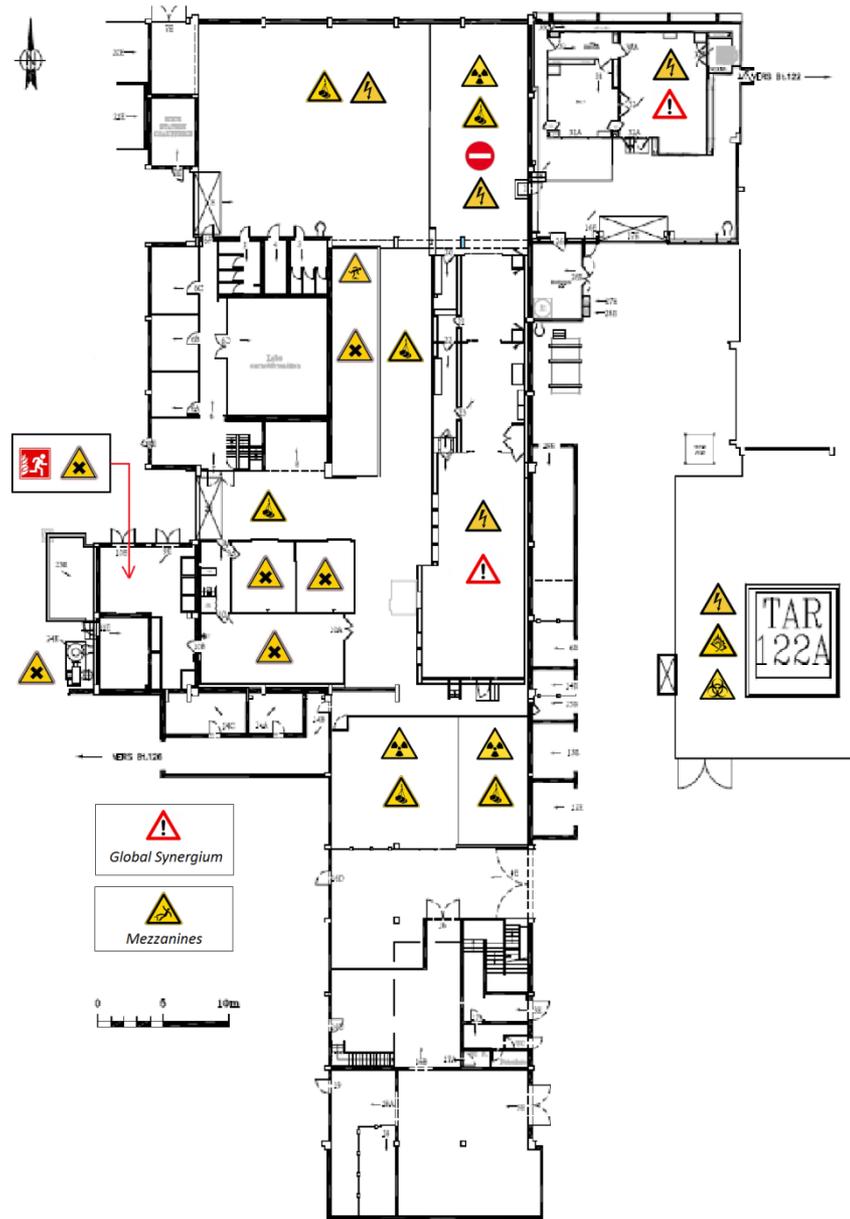
# Les interférences avec l'environnement extérieur



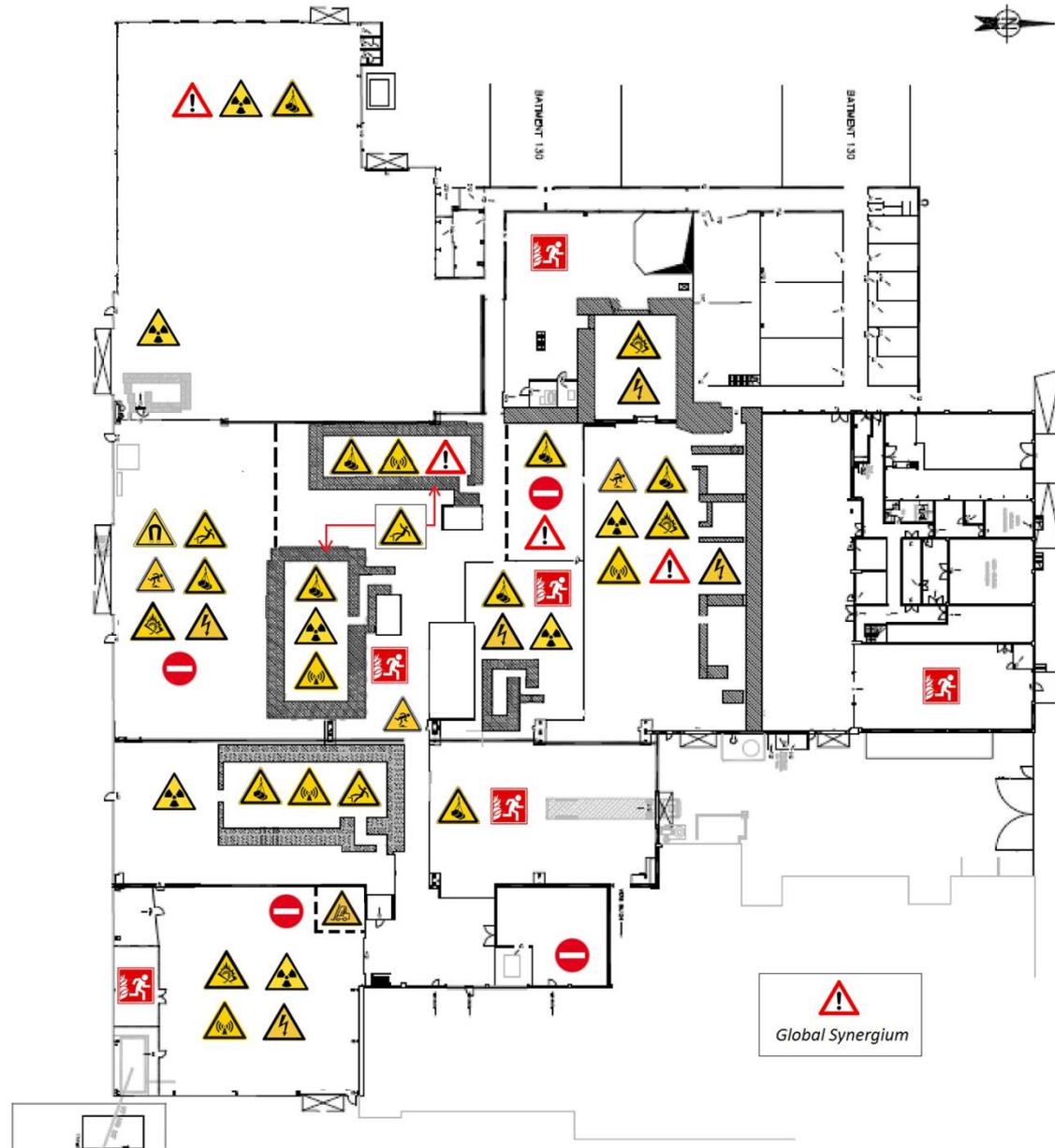
Interférences	Symbole
Chute de plain-pied	
Chute de hauteur	
Manutention mécanisée	
	
Environnement actif	
Exposition au risque chimique	
Coupure électrique et dépassement de capacité	
Incendie	
Rayonnement ionisant	

Interférences	Symbole
Rayonnement RF	
Champ magnétique statique	
Risque biologique	
Accès	
Intrusion	
Risque routier	
	
Co-activité	
Inondation	

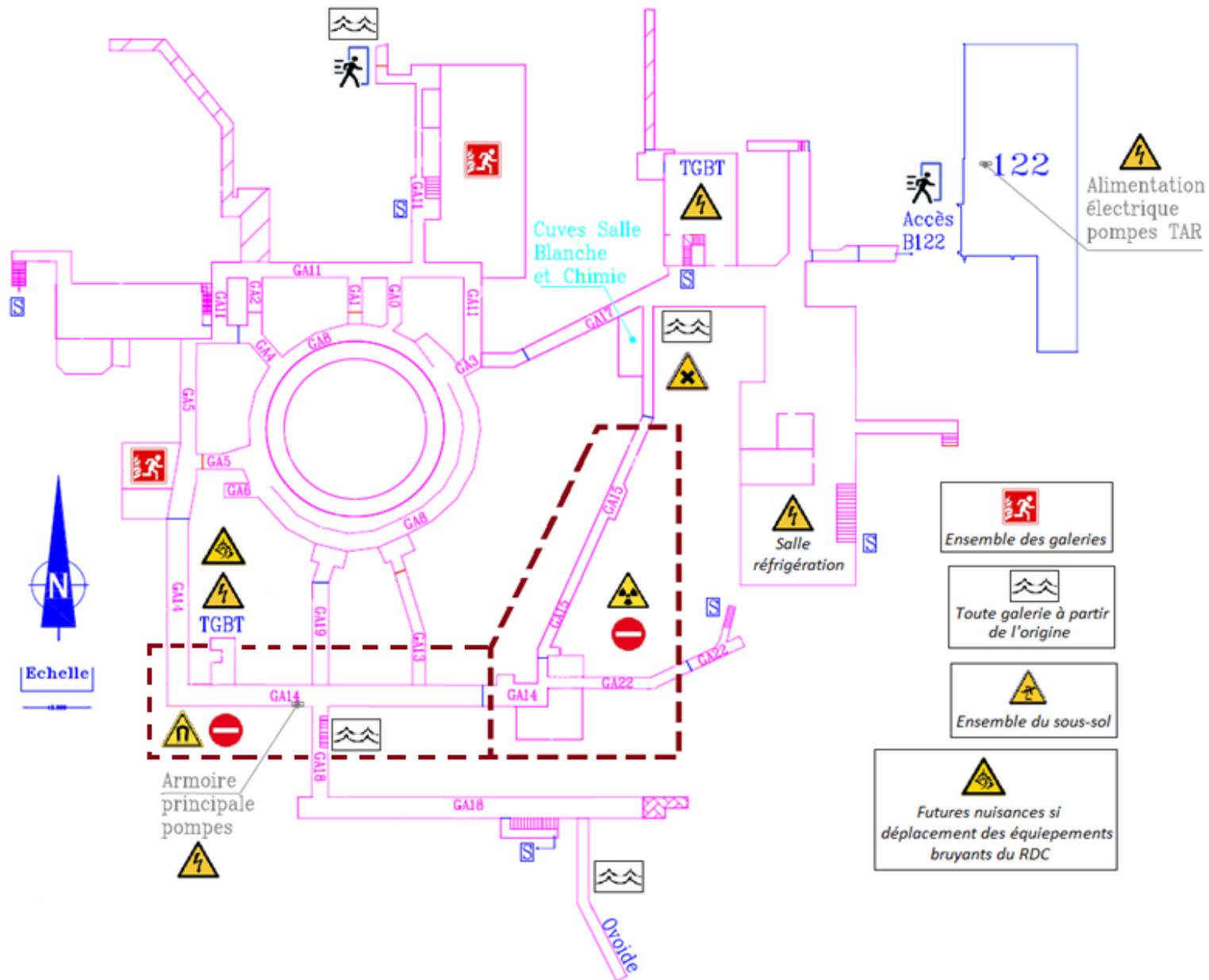
# Irfu Cartographie des interférences : bâtiment 124



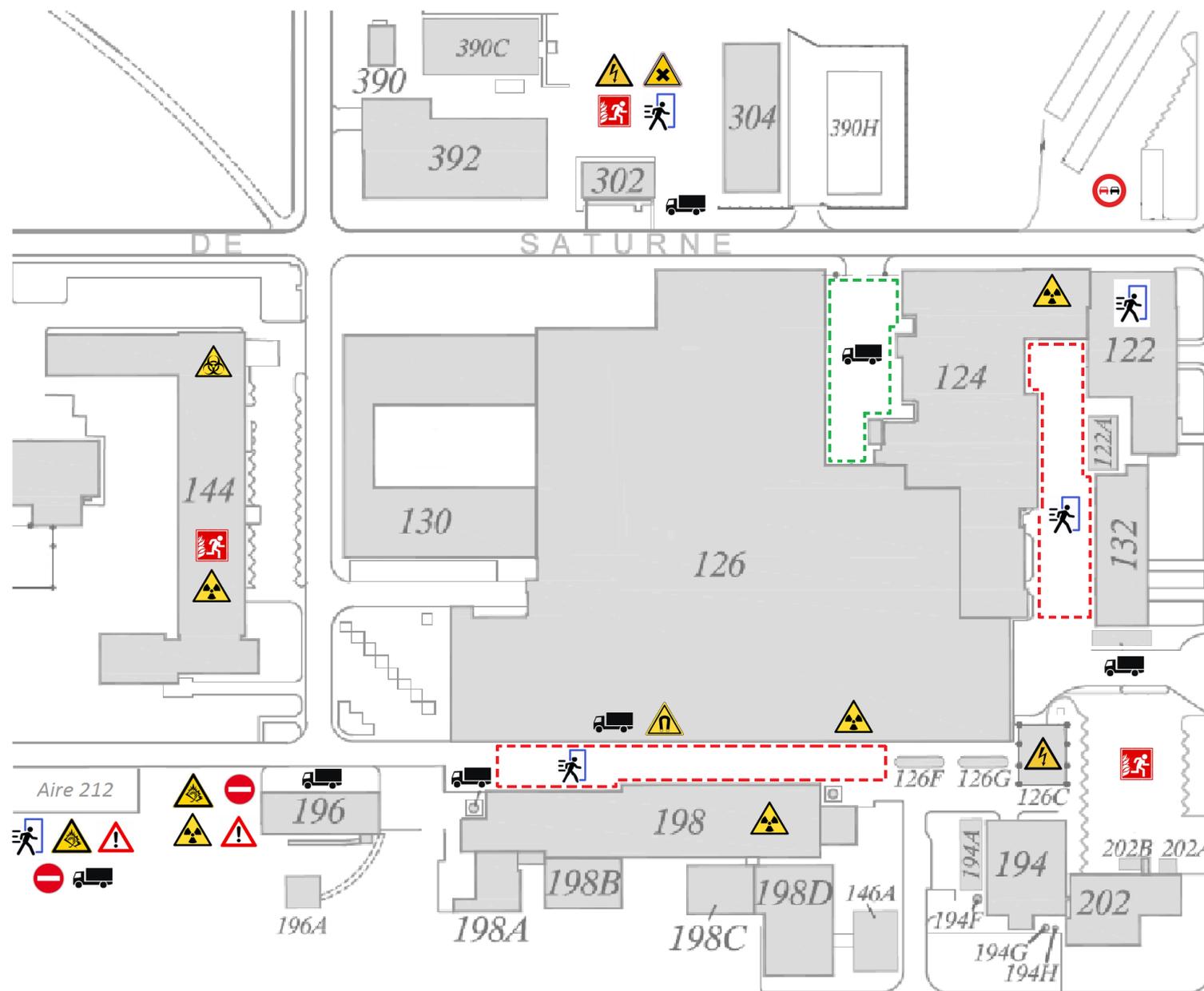
# Irfu Cartographie des interférences : bâtiment 126



# Cartographie des interférences : sous-sol



# Cartographie des interférences : environnement



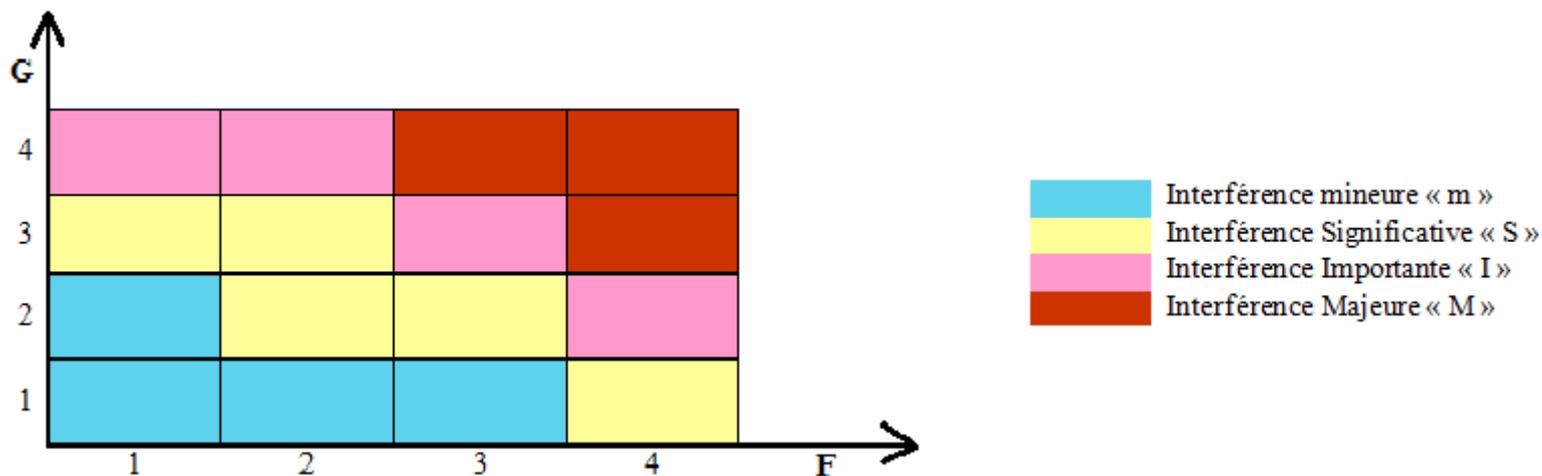


# Quantification

Association de la fréquence à laquelle se manifeste l'interférence et de la gravité de ses conséquences

Valeur affectée à la Fréquence	
1	Rarement
2	Quelquefois
3	Souvent
4	Permanent

Valeur affectée à la gravité	Conséquence de l'agression
1	Conséquences mineures
2	Conséquences significatives
3	Conséquences critiques ou graves
4	Conséquences catastrophiques



**Hierarchisation des interferences pour définir les priorités dans l'établissement d'un plan d'actions**

# Exemple de l'aspect électrique au bâtiment I26

	Zone	F	G	Niveau d'interférence	Remarques
	Compresseur frigorifique et liquéfacteur d'hélium SUPRATECH (coupure électrique)	1	3	S	Possible casse des rouages, délai de réparation
	Equipements sensibles JT60 (coupure électrique)	1	3	S	Electronique fragile, délai de réparation
	Pompes à vide, piège à positons et cryo-cooler GBAR (coupure électrique)	1	3	S	15 jours pour redescendre en froid
	Plateforme 352 MHz et projets connexes (coupure électrique)	1	4	I	Possibles dégâts sur les klystrons, délai de réparation, perte de performances
	Plateforme 352 MHz et projets connexes (défaut d'alimentation RF)	1	2	m	Augmentation de la fréquence au démarrage de ESS-injecteur et IFMIF-ESS ; niveau interférence « significative » à prévoir
	Surconsommation électrique Changement de tarif du centre	2	2	S	Question des réserves de capacité
	Transformateurs et TGBT (incident et feu électrique)	1	3	S	Retour d'expérience



Zone	Mesures en place	F	G	Niveau d'interférence	Plan d'action proposé	F	G	Nouveau niveau d'interférence
Compresseur frigorifique SUPRATECH CRYO/HF (coupure électrique)	Maintenance du compresseur	1	3	S	Procédure de maintenance à rédiger (cf. stage 2016)	1	2	m
Equipements sensibles JT60 (coupure électrique)	Secours sur les éléments indispensables	1	3	S				
Pompes à vide, piège à positons et cryo-cooler GBAR (coupure électrique)	Tirage d'une ligne depuis un bâtiment voisin lors des coupures périodiques	1	3	S	Mise en place d'un secours (faisabilité, coûts et place à préciser)	1	1	m
Plateforme 352 MHz et projets connexes (coupure électrique et dégâts sur les klystrons)	Maintenance des klystrons, respect de la procédure d'arrêt	1	4	I	Installation d'une alimentation de secours couplée aux alimentations auxiliaires	1	2	m
Plateforme 352 MHz et projets connexes (lorsque IPHI, IFMIF-ESS et ESS-injecteur seront tous les 3 en fonctionnement)	Réunion d'exploitation B126	3	2	S	Identification préalable des besoins pour planifier l'alimentation des casemates (fiche de tir)	1	2	m
Surconsommation électrique Changement de tarif du centre	Réserve de puissance disponible sur l'installation	2	2	S	Fiche de demande de démarrage avec info UST Planification des périodes de fonctionnement si besoin est	1	1	m
Transformateurs et TGBT (incident et feu électrique)	Maintenance et contrôle des jeux de barre internes accessibles tous les trois ans ; REX incident 2015 ; rapport du prestataire	1	3	S	Création d'une fonction de « référent électrique » en charge des TGBT et transformateurs du SACM Suivi de la température ambiante, voire amélioration de l'aération du local si dépassement du seuil des 35°C	1	2	m

1. Introduction
2. Apparition des interférences
3. Les projets et infrastructures
4. Analyse des interférences
- 5. Conclusion**

## Travail réalisé :

- Nombreuses interférences sur l'installation 218
- Réalisation d'un premier dossier de diagnostic
- Première quantification

## Travail à poursuivre :

- Analyse détaillée
- Campagne de mesures
- Chiffrage des mesures préventives potentielles
- Concrétisation des mesures adoptées

# **Merci pour votre attention**



## **Des questions ?**

FROM RESEARCH TO INDUSTRY

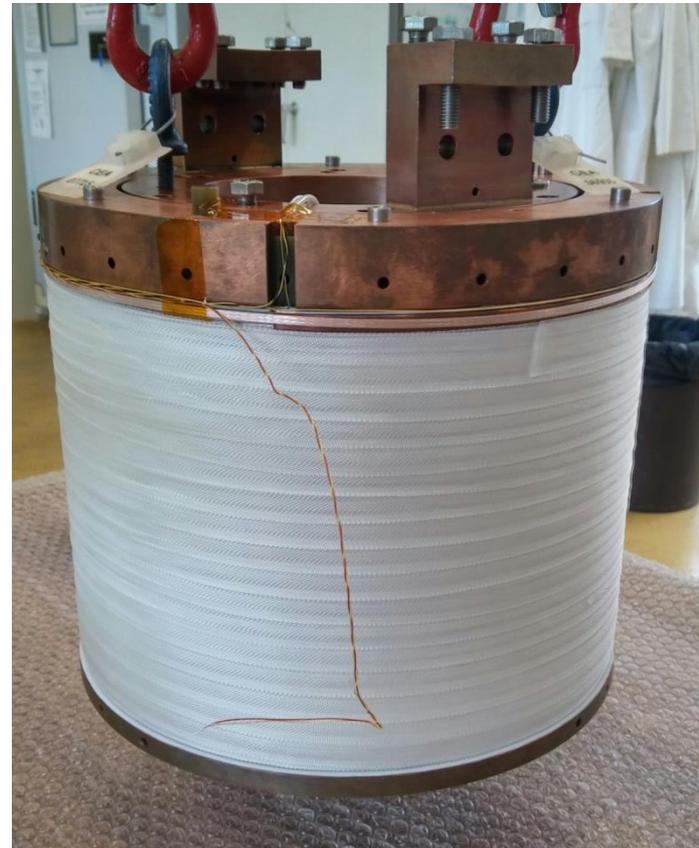
cea



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)



# DÉVELOPPEMENT ET FABRICATION D'UN AIMANT SOLÉNOÏDE DE 1 T EN MGB2



31 JUILLET 2015

Damien RICHARD

1 - INTRODUCTION :  $MgB_2$

2 - ETAT DE L'ART

3 - DEMARCHE EXPERIMENTALE

4 - RESULTATS

### Supraconductivité

Propriété d'un matériau de devenir un conducteur électrique parfait en dessous d'une certaine température appelée température critique

### Domaines d'application

IRM (principale application « commerciale »)

Problématique majeure : le refroidissement des aimants supraconducteurs utilise de l'hélium liquide

- ▶ 1L d'hélium liquide = ~800L Hélium gaz
- ▶ 1L d'hélium liquide = ~10-30€

	NbTi	Nb3Sn	MgB2	BiSCCO	YBaCuO
Température critique	9 K	18 K	39 K	108 K	90 K
Champ critique	14,5 T	28 T	15 T	>100 T	>100 T
Coût	€	€€	€	€€€€	€€€€

## Sensibilité à la déformation en traction

MgB<sub>2</sub> perd ses propriétés supraconductrices au-delà de 0,6% de déformation en traction:

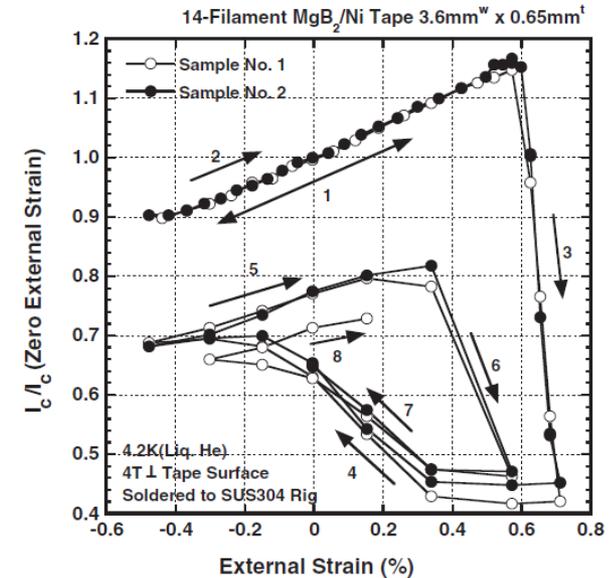
## Risques de détérioration par sur-déformation

- ▶ *Au cours du bobinage*
- ▶ *Sous l'effet des forces magnétiques*
- ▶ *Pendant la mise en froid*

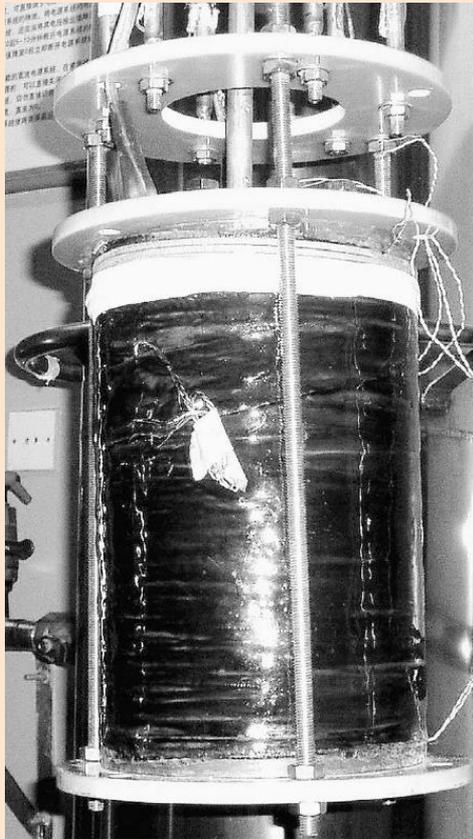
Les propriétés mécaniques du MgB<sub>2</sub> imposent un rayon minimal de déformation de 60 mm

- ▶ *y = demi-épaisseur du conducteur*

$$R_{min} = \frac{y}{\epsilon_c}$$



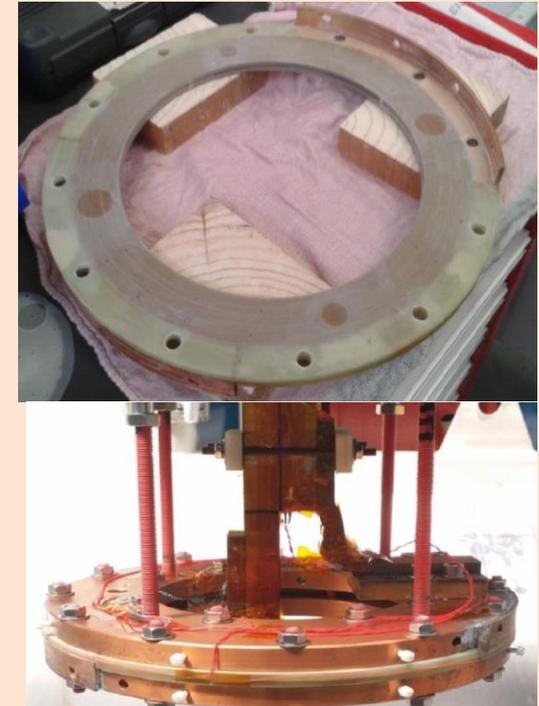
Aimant de 1,5 T

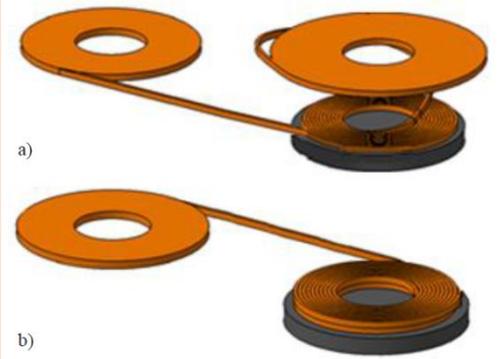


Aimant de 3T



Double galette (CEA)



Aimant de 1,5 T	Aimant de 3T	Double galette (CEA)
Force de bobinage de 30 N	Imprégnation époxy au pinceau entre chaque couche	Diamètre interne de bobinage proche du diamètre critique (100mm)
Dégradation irréversible au-delà de 108 N	Refroidi par conduction grâce à des lamelles de cuivre souples	Imprégnation sous vide
Imprégnation à la résine époxy	Refroidissement par cryogénérateur	Conducteur très similaire à celui utilisé pour le 1 T
Refroidissement par cryogénérateur		

1,5 tours

10 tours

10 tours imprégnés

Amélioration du processus de bobinage

Premier test de l'outillage 1  
T

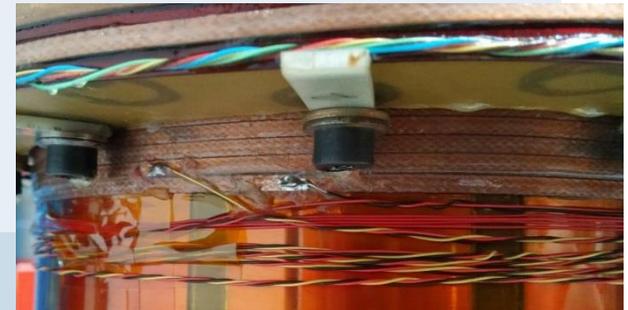
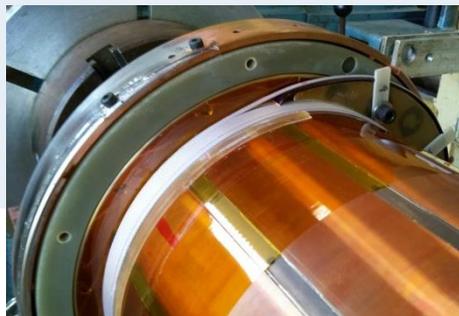
Conception de la pièce de  
sortie

Tests de courant critiques  
en champ propre



2 couches de courte  
longueur

Définition et réalisation  
d'un saut de couche



Test d'imprégnation

Simulation de mise en  
froid

2 couches

2 couches imprégnées

Aimant final

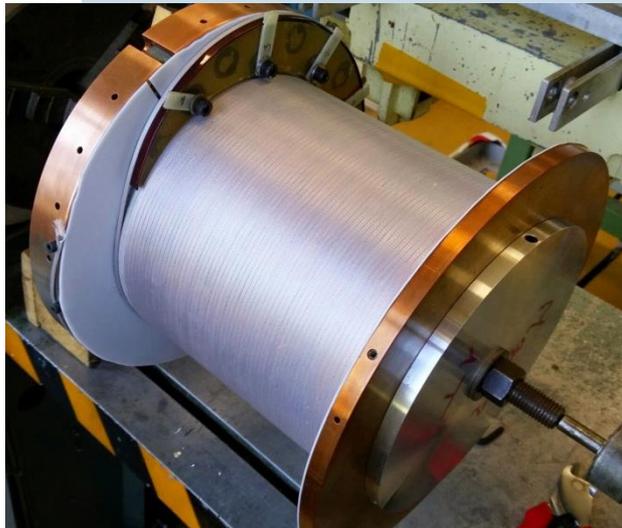
Amélioration du processus de bobinage

Nouveau test d'isolation

Test de saut de couche

Simulation magnétique

Imprégnation sous vide



Imprégnation sous vide  
chez Sigmaphi

Conducteur utilisé  
différent des précédents

## Processus de bobinage

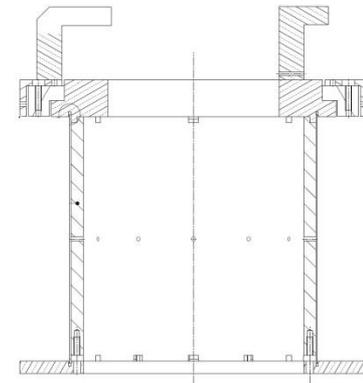
Zone de bobinage : rayon de 100 mm sur 200 mm de longueur

- *Le conducteur ne devrait à priori pas être détérioré lors du bobinage*

Deux zones de soudure avec des rayons différents

- *100 mm et 140 mm respectivement*
- *Nécessité d'une pièce de sortie*

Les sauts de couches et la sortie du conducteurs doivent être réalisés sans rayons inférieurs à 100 mm



## Saut de couche

Rayon de courbure du conducteur dans la direction transverse

- ▶ *Rayon minimal de ~4 m pour éviter toute détérioration*

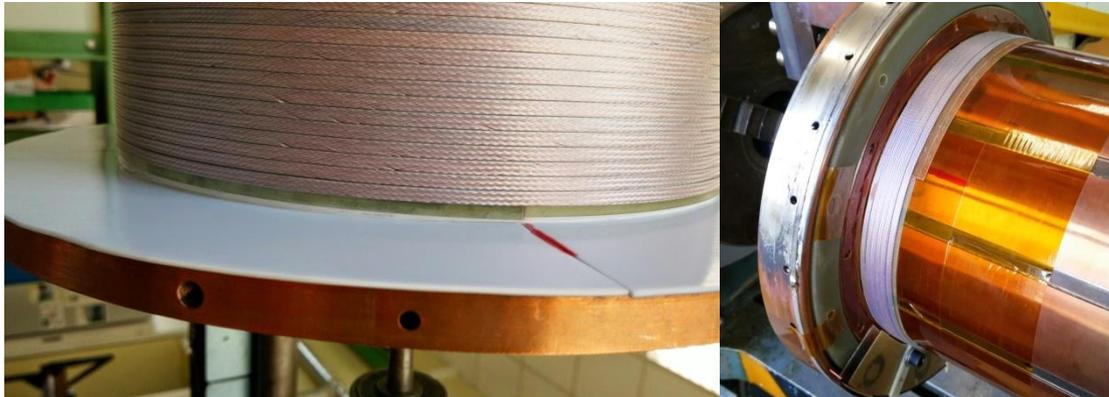
Le saut de couche doit inverser le pas de bobinage du conducteur

Le saut de couche doit être réalisé en un tour complet

## Réalisation pratique

Succession de cales en fibre de verre

- ▶ Cales « en escalier » pour le changement de rayon du conducteur
- ▶ Cales d'épaisseur constante



## Courant critique et quench

Courant maximum pouvant circuler dans un supraconducteur

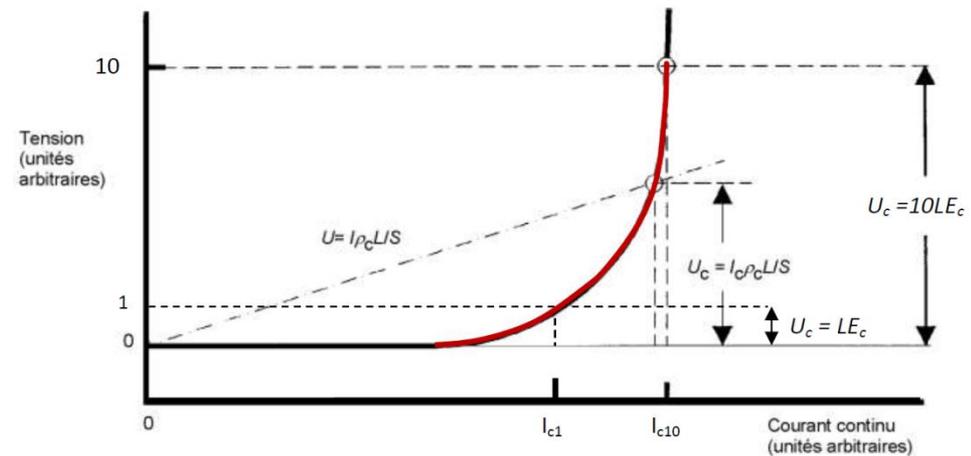
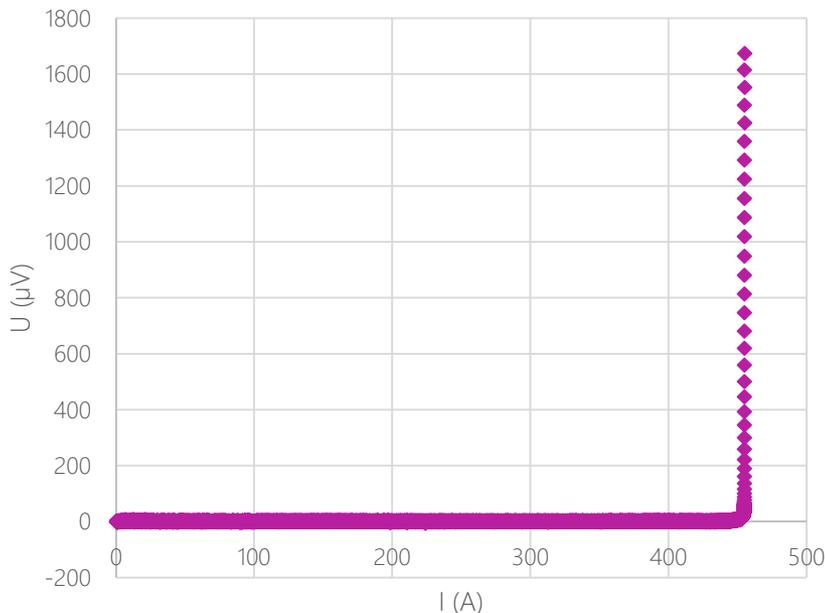
- *Dépend des conditions notamment du champ et de la température*

Au-delà de cette valeur, le supraconducteur redevient résistif

- *Phénomène appelé « quench »*

La tension aux bornes de l'aimant devient mesurable et croit brutalement

Voltage depending on the current ( $E_c$  criteria  $10\mu\text{V/m}$ )



Mesure de courant critique

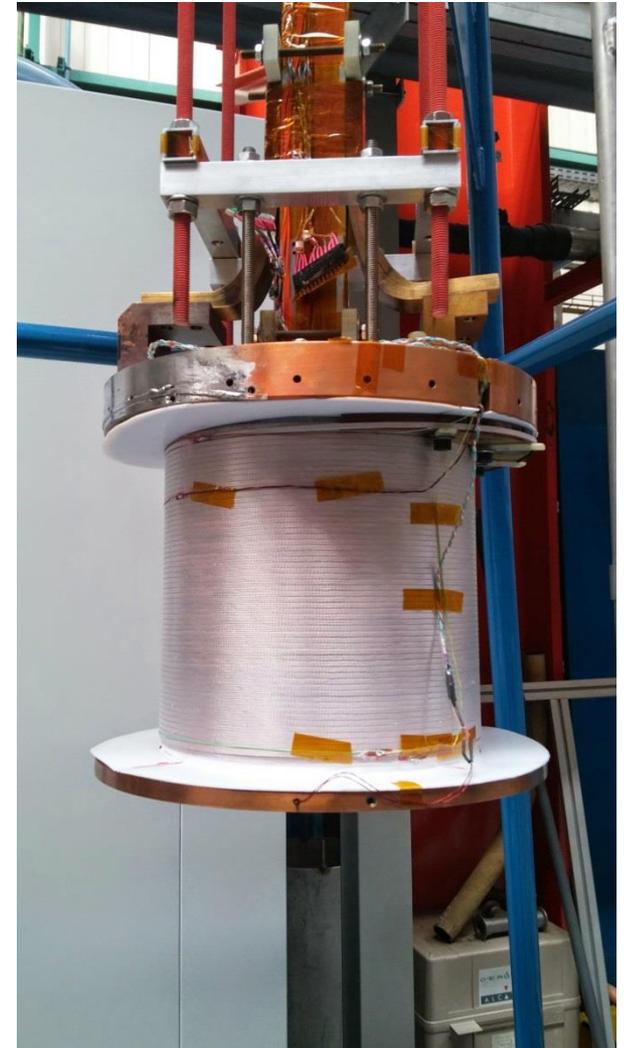
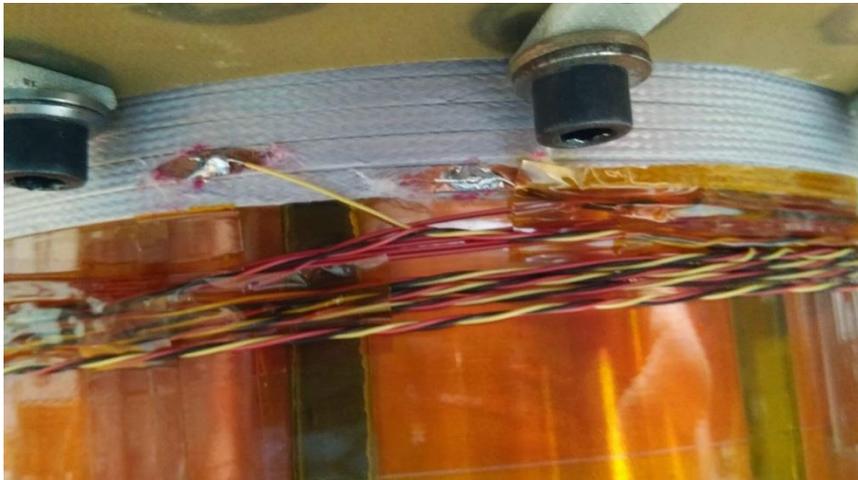
Mesures de tension réalisées grâce à des prises de potentiels

Zones « surveillées » :

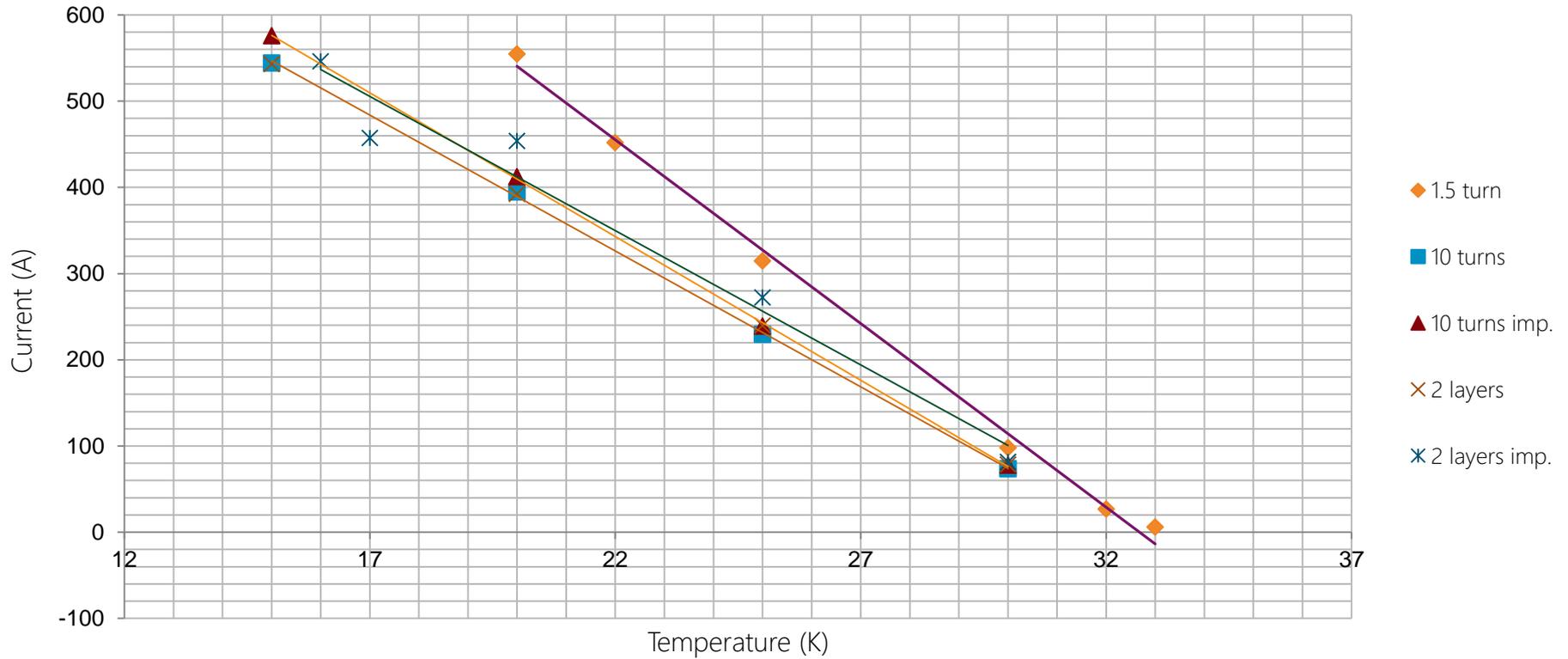
- ▶ *Sauts de couche*
- ▶ « *sortie* » du conducteur
- ▶ *Toute longueur supposée endommagée*

Un quench peut survenir en dehors des longueurs mesurées

- ▶ *Le quench se propage*
- ▶ *Un délai est visible sur l'acquisition*



Critical current depending on temperature for every sample



	1,5 tours	10 tours	10 tours imprégnés	2 couches	2 couches imprégnées
Indice de détérioration	8,74%	0,02%	0,47%	0,17%	4,11%

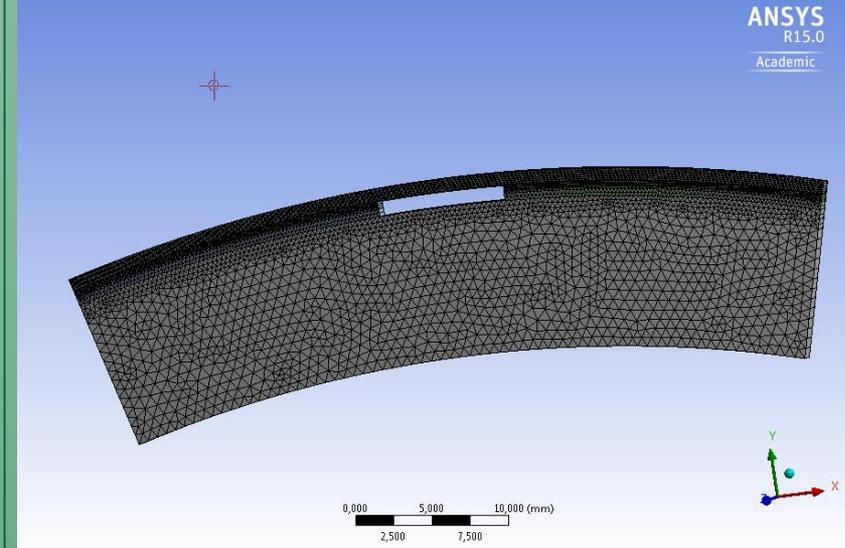
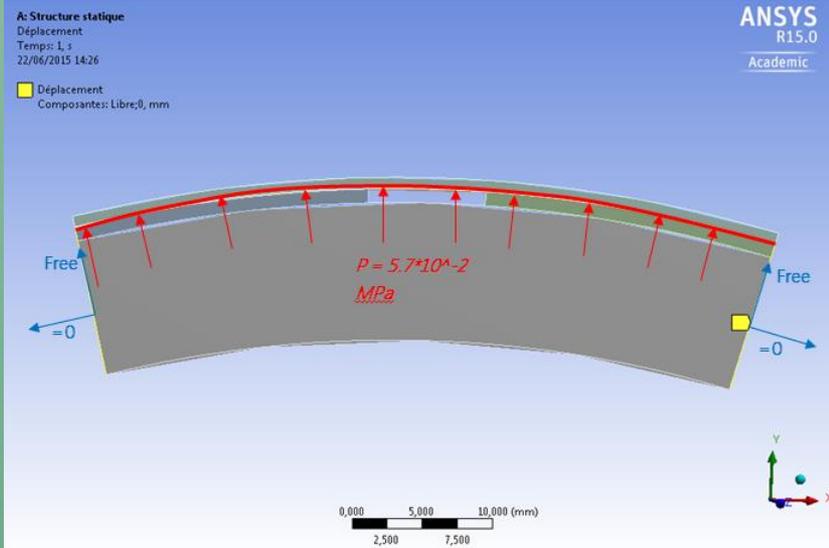
## Simulation de mise en froid

**Objectif :** Déterminer l'impact de l'imprégnation sur la dégradation du conducteur pendant la mise en froid

- Les tests réalisés précédemment avec des échantillons imprégnés ont échoués

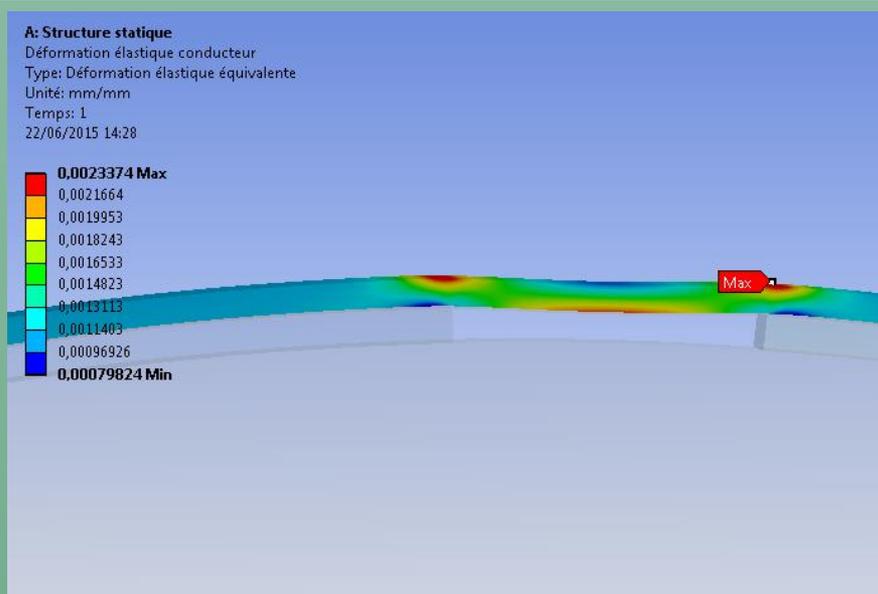
### Géométrie et conditions limites

### Maillage

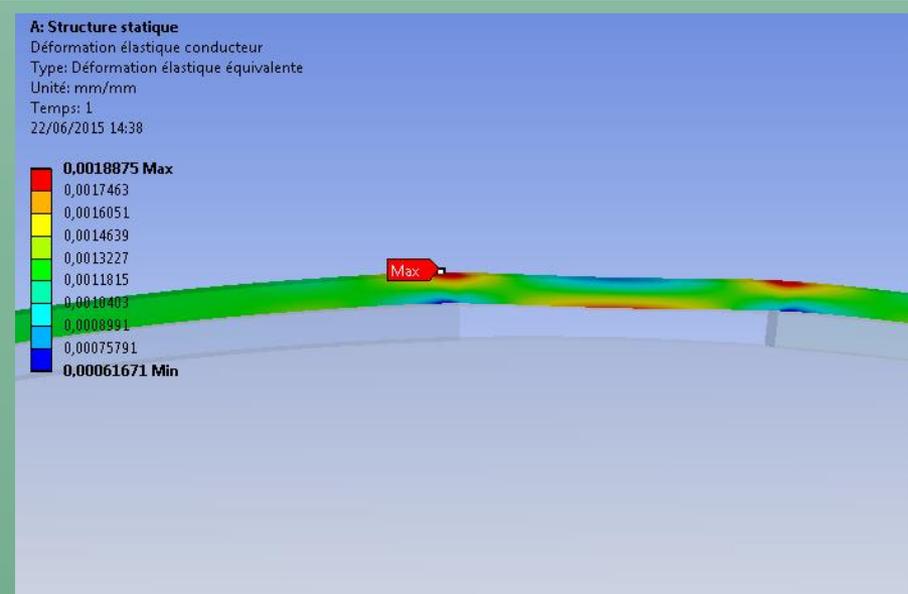


## Simulation de mise en froid - résultats

### Géométrie et conditions limites



### Maillage



Contrainte max

0,23%

Contrainte max

0,18%

Déformation max

249 MPa

Déformation max

196 MPa

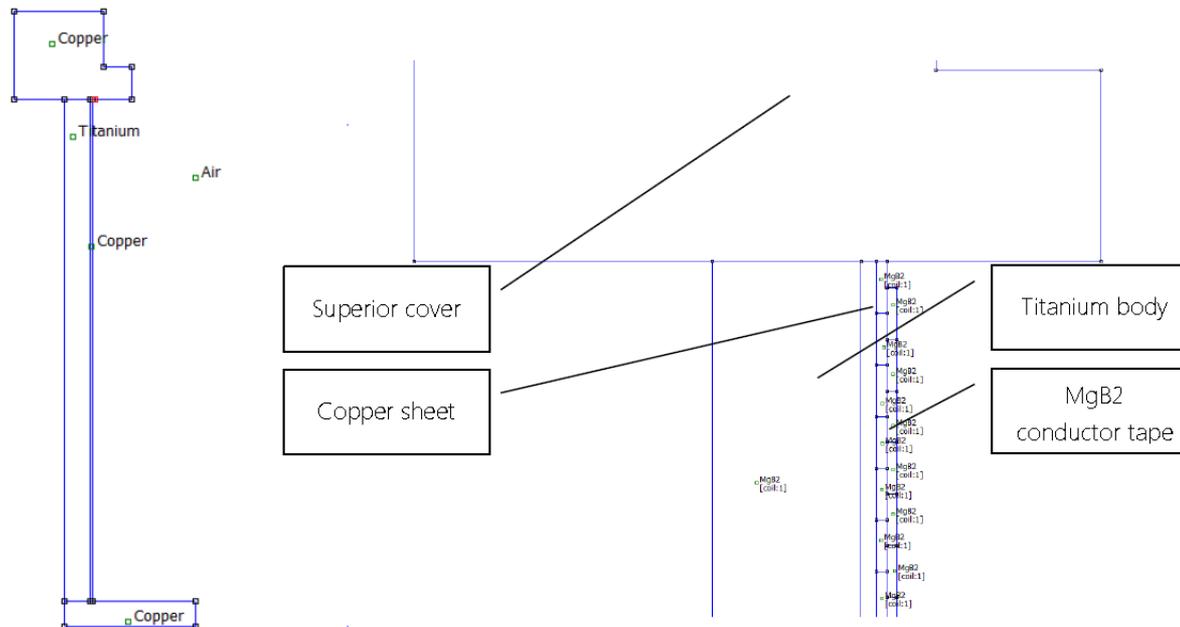
## Simulation magnétique

**Objectif :** déterminer l'impact des forces magnétiques sur la détérioration du conducteur pendant les tests

### Modèle

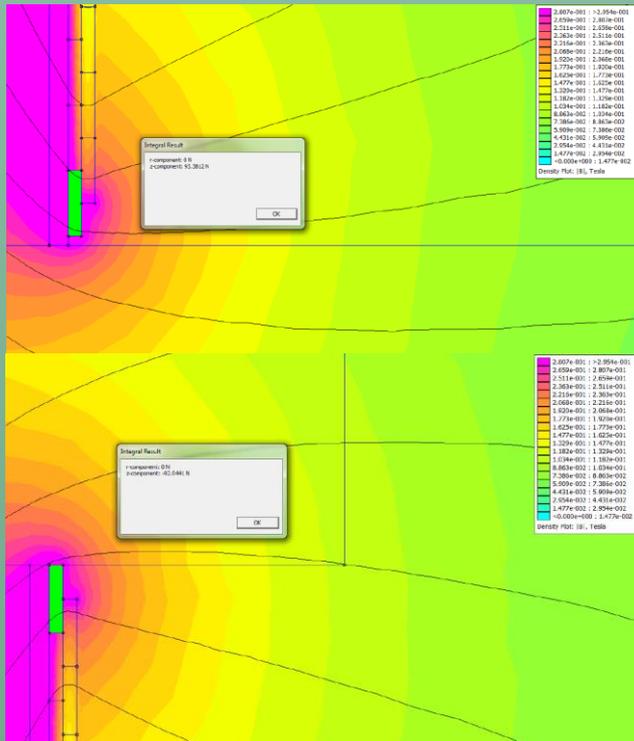
Utilisation de FEMM (Finite Elements Magnetic Method)

- Géométrie considérée axisymétrique
- Prise en compte des propriétés magnétiques des matériaux



## Simulation magnétique - résultats

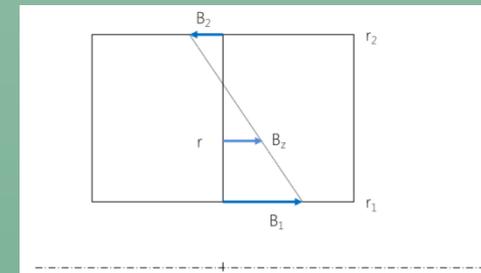
### Forces axiales



Contrainte Max

$2,6 \cdot 10^{-2}$  MPa

### Forces de tension



$$F_T = \frac{ni}{6} B_1 (2r_1 + r_2)$$

$$\sigma_T = \frac{F_T}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Contrainte max :

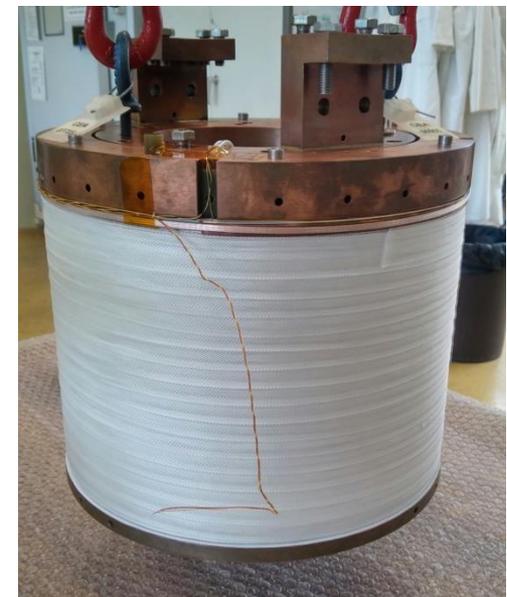
3,56 MPa

L'aimant 1 T final est actuellement terminé ...

Le processus de bobinage est adapté à ce type d'aimant et devrait permettre d'obtenir un aimant pleinement fonctionnel

... mais les tests ne pourront pas être effectués avant un certain temps

- ▶ L'imprégnation sous vide sera réalisée par SigmaPhi en septembre
- ▶ Nous ne prenons pas le risque de tester la bobine sans qu'elle soit imprégnée
- ▶ Les tests sous champ (3 T) risqueraient de l'endommager



FROM RESEARCH TO INDUSTRY



# Etude pour la conception d'un dispositif de test mécanique sur le $\text{MgB}_2$

C. BUISSON

Vendredi 31 Juillet 2015

1. Généralités

2. Etat de l'art

3. Dispositifs viables

4. Simulation et conception

5. Suite

# Généralités

## Supraconductivité et aimants supraconducteurs

Principale application « industrielle » de la supraconductivité (IRM)  
Matériau le plus utilisé: NbTi refroidi à l'hélium liquide

Problème: 1L d'hélium liquide = 10€-30€

## Intérêt des aimants en $MgB_2$

	NbTi	Nb <sub>3</sub> Sn	MgB <sub>2</sub>	BiSCCO	YBaCuO
Température critique	9K	18K	39K	108K	90K
Champ magnétic	14,5T	28T	15T	>100T	>100T
Coût de fab.	€	€€	€	€€€€	€€€€

Refroidissement par conduction solide possible → Plus d'hélium liquide

## Propriétés mécaniques

Perte des propriétés supraconductrices à  $\epsilon \geq 0,6\%$

ET

Les déformations induites par le champ permanent en fonctionnement atteignent **0,5%**

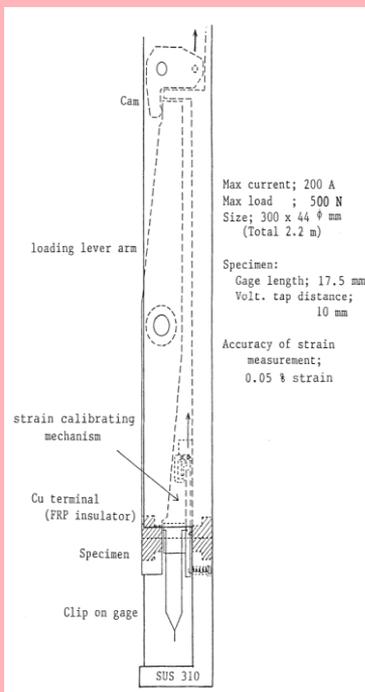
→ Risques non négligeables de détérioration

## Tests sur les propriétés mécaniques du MgB<sub>2</sub>

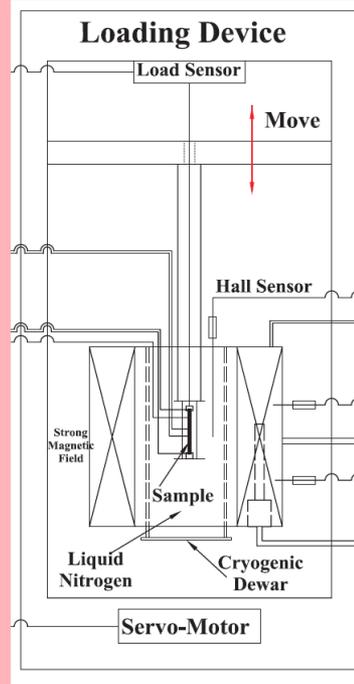
Échantillon	Configuration « bobine » – R=150mm
Déformations: valeurs cibles	$0,6\% \leq \epsilon \leq 1\%$
Charge	Minimale (cible: 1kN)
Contraintes expérimentales	T < 39K – Vide poussé - B <sub>p</sub> =3T
Contraintes matérielles	Compatible avec la station cryogénique existante

## État de l'art

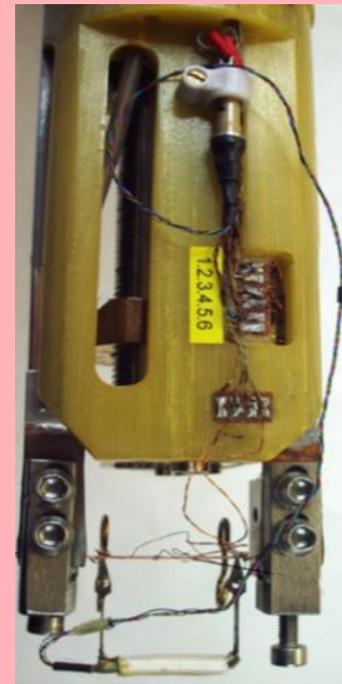
Dispositif de Katigiri



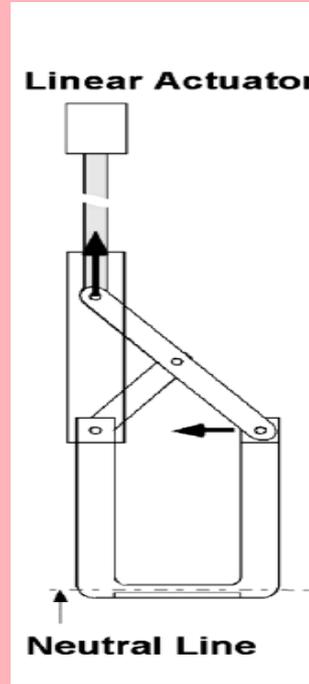
Appareil de test de déformation pour YBCO-CC



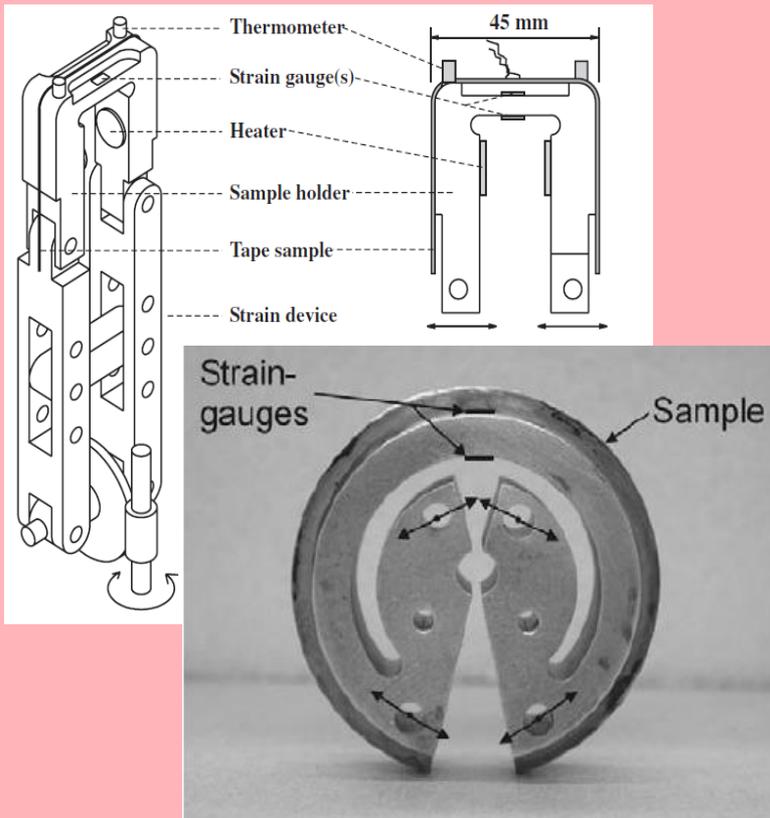
Instrument de test de déformation pour fils de MgB<sub>2</sub>



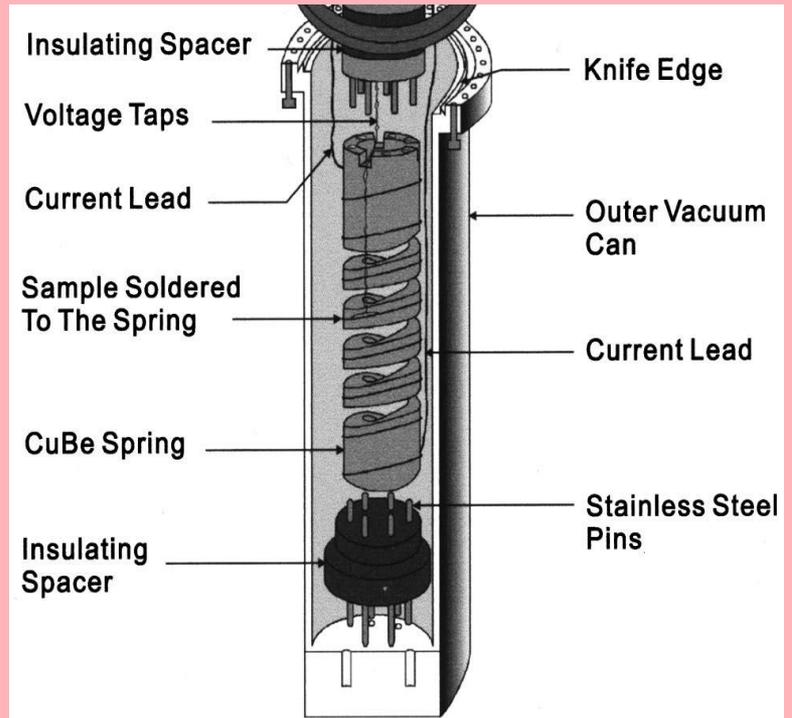
Ressort en U



## « Pacman »



## Ressort de Walter

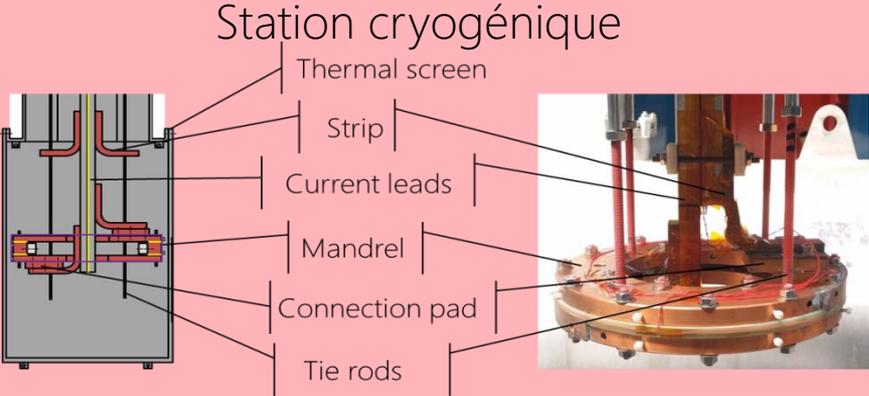


Dispositif	Homogénéité de la répartition de la déformation	Tests sur échantillons longs	"Configuration aimant"	Compatibilité avec la station cryo	Charge minimale
Dispositif de Katigiri	✘	✘	✓	✘	✓
Appareil de test de déformation pour YBaCuO	✓	✓	✘	✘	✓
Instrument de test de déformation pour fils de MgB <sub>2</sub>	✘	✓	✓	✘	✓
Ressort en U	✓	✘	✘	✓	✘
Pacman	✓	✓	✓	✓	✘
Ressort de Walter	✓	✓	✓	✓	✘

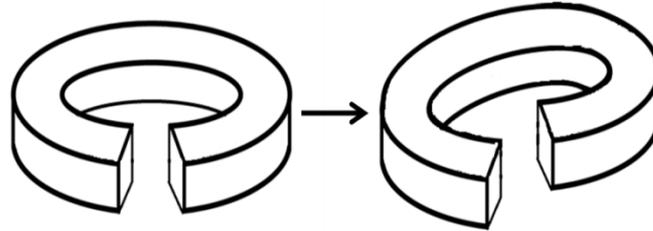
# ÉTAT DE L'ART – Synthèse

Dispositif	Homogénéité de la répartition de la déformation	Tests sur échantillons longs	"Configuration aimant"	Compatibilité avec la station cryo	Charge minimale
Dispositif de Katigiri	✗	✗	✓	✗	✓
Appareil de test de déformation pour YBaCuO	✓	✓	✗	✗	✓
Instrument de test de déformation pour fils de MgB <sub>2</sub>	✗	✓	✓	✗	✓
Ressort en U	✓	✗	✗	✓	✗
Pacman	✓	✓	✓	✓	✗
Ressort de Walter	✓	✓	✓	✓	✗

# Dispositifs viables

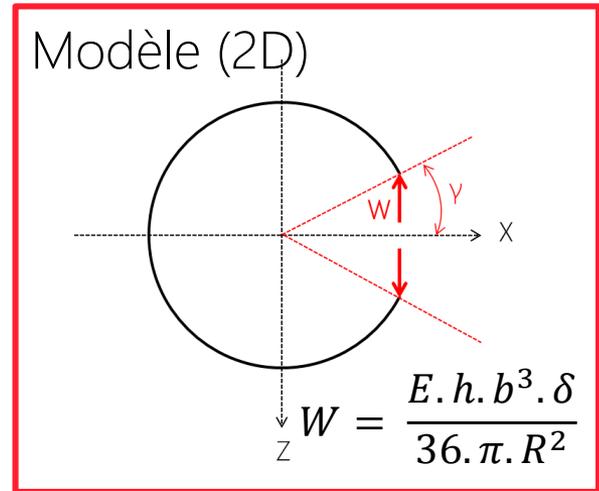
Condition	Contrainte(s)
<p>Station cryogénique</p>  <p>Thermal screen</p> <p>Strip</p> <p>Current leads</p> <p>Mandrel</p> <p>Connection pad</p> <p>Tie rods</p>	<p>Diamètre total <math>\leq 300\text{mm}</math>            Trou central            Prise en compte des tirants            Taille totale du système <math>\leq 420\text{mm}</math></p>
<p>Température (10-39K)</p>	<p>Résistance mécanique à 10K            Lubrification            Minimisation des frottements            Hélium uniquement</p>
<p>Champ permanent (3T)</p>	<p><del>Système stimulé magnétiquement</del></p>
<p>Arrivée de courant 600A</p>	<p>Contact <math>\text{MgB}_2/\text{cuivre} \geq 200\text{mm}</math></p>

## Concept est calculs



For the longitudinal strain:

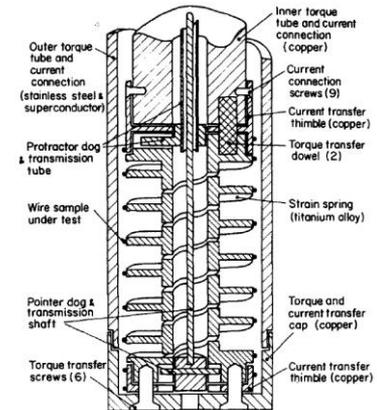
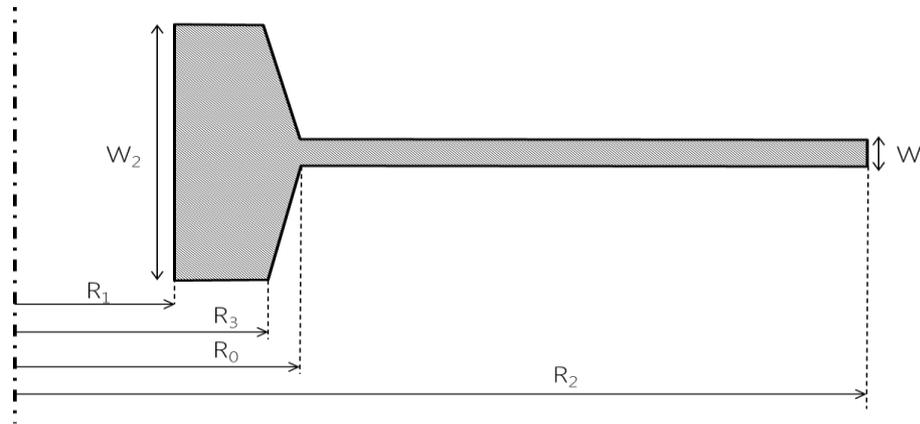
$$\varepsilon = \frac{\delta}{\pi \cdot R^2} = 0,01 \Rightarrow \delta \approx 9,4mm$$



## Valeur de W selon le matériau:

Matériau	Module d'Young E (GPa)	Charge W (N)
Acier	210	1070
Titane Ta6V	110	560
Cuivre	124	632
Polymères (PermaGLAS)	40	205

## Calcul du couple



*Hypothèse*

Comportement d'un ressort de torsion « classique »

$$M = \frac{\alpha \cdot E \cdot b \cdot t^3}{12 \cdot 180 \cdot n \cdot D}$$

Valeur de b

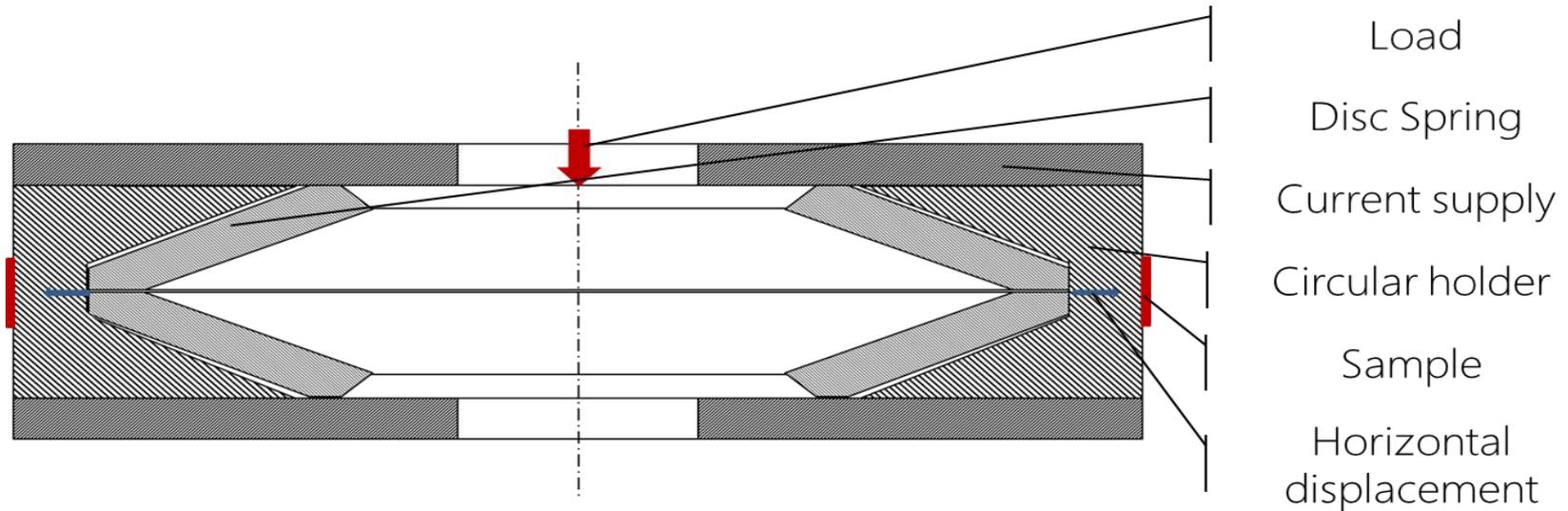
$$b = \frac{(R_3 - R_1) \cdot b_1 + (R_0 - R_3) \cdot b_2 + (R_2 - R_0) \cdot b_3}{R_2 - R_1}$$

Avec: 
$$\begin{cases} b_1 = W_2 \\ b_2 = \frac{W_2 + W_1}{2} \\ b_3 = W_1 \end{cases}$$

$M = 2 \cdot 10^5 \text{ Nm}$

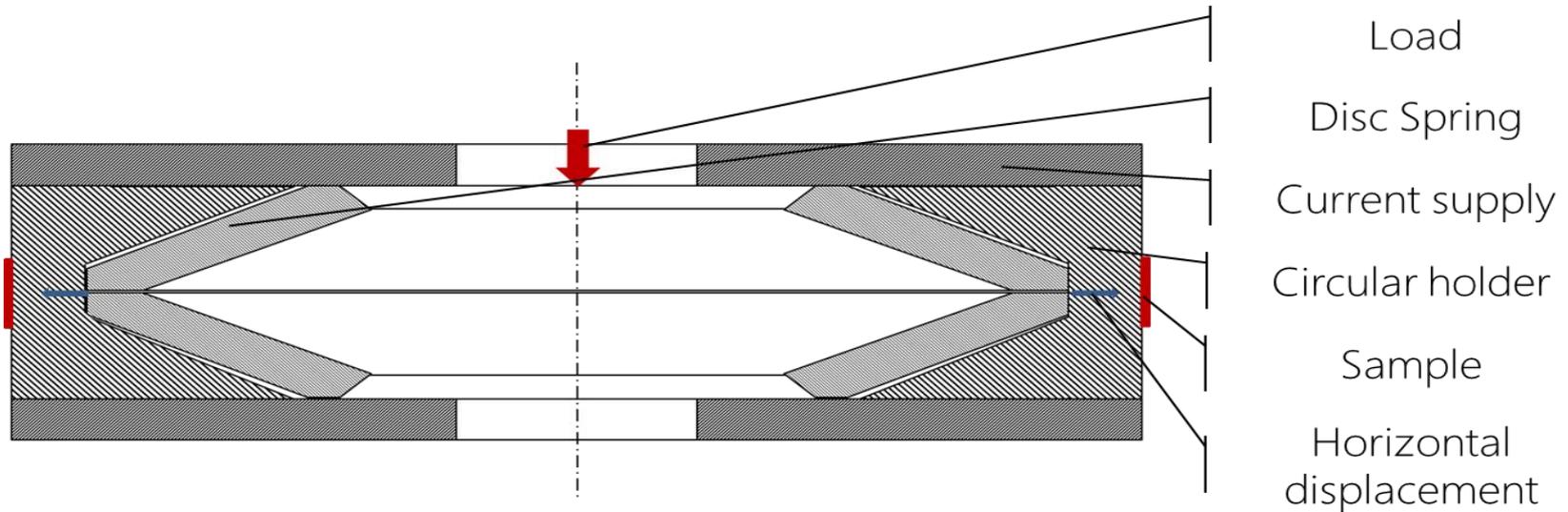
On trouve b=15,8mm

## Concept



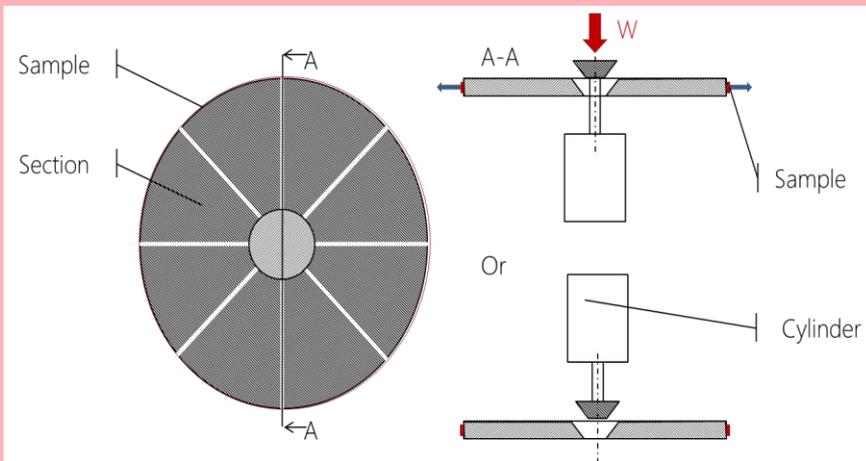
Matériau	a=15mm	a=10mm	a=5mm	a=4mm	a=3mm
Acier	59376 N	39584 N	19792 N	15834 N	11875 N
Cuivre	35060 N	23373 N	10965 N	9349 N	7012 N
Titane	31102 N	20565 N	10367 N	8294 N	6165 N

## Concept

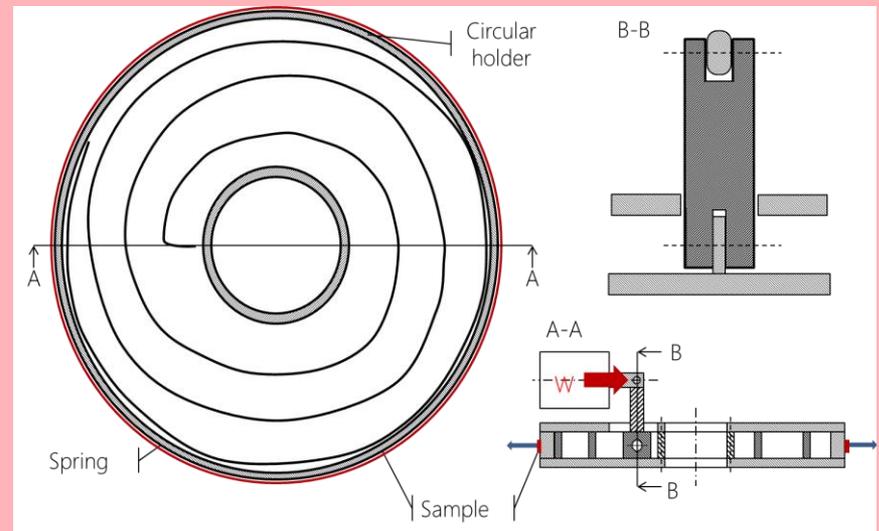


Matériau	a=15mm	a=10mm	a=5mm	a=4mm	a=3mm
Acier	59376 N	39584 N	19792 N	15834 N	11875 N
Cuivre	35060 N	23373 N	10965 N	9349 N	7012 N
Titane	31102 N	20565 N	10367 N	8294 N	6165 N

## Mandrin extensible



## Ressort en spirale



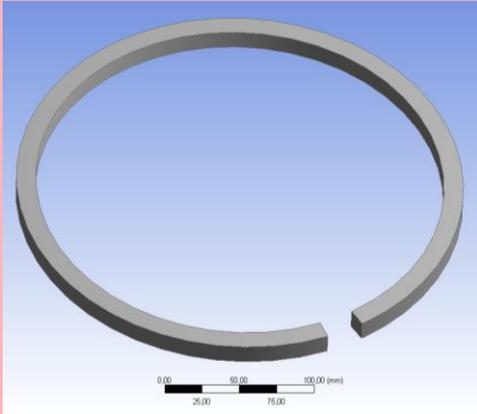
Problème: effet « Stick and Slip »

	Tests sur des échantillons bobinés (300mm)	Charge/Couple (ordre de grandeur)	Controle de la déformation
Pacman 3D	✓	100N-1.000N (!)	✓
Ressort de Walter	✓	$10^5$ Nm	✓
Rondelles Belleville	✓	10.000N	✓
Mandrin extensible	✓	X	✗ Stick & Slip
Ressort en spirale	✓	X	✗ Stick & Slip

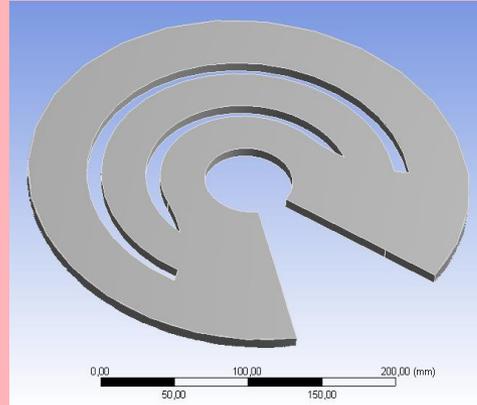
	Tests sur des échantillons bobinés (300mm)	Charge/Couple (ordre de grandeur)	Controle de la déformation
Pacman 3D	✓	100N-1.000N (!)	✓
Ressort de Walter	✓	$10^5$ Nm	✓
Rondelles Belleville	✓	10.000N	✓
Mandrin extensible	✓	X	✗ Stick & Slip
Ressort en spirale	✓	X	✗ Stick & Slip

# Simulation et conception

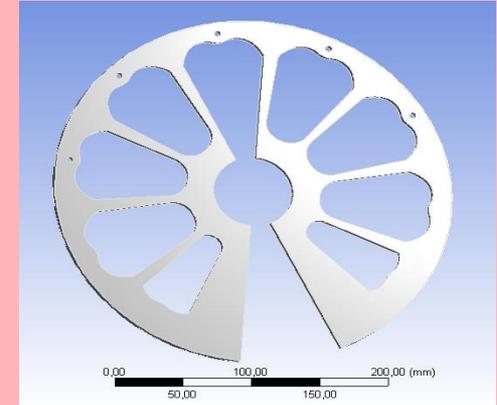
Anneau simple



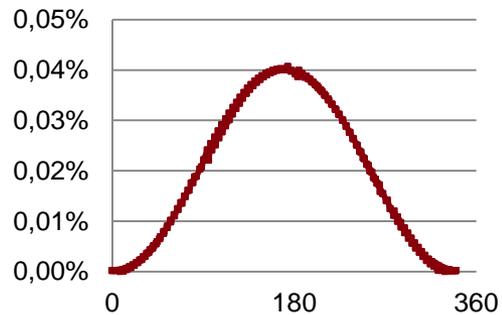
Anneau interne



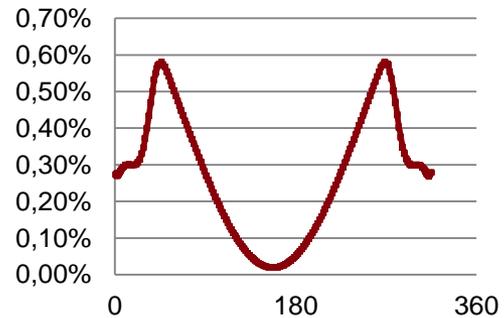
Rayons



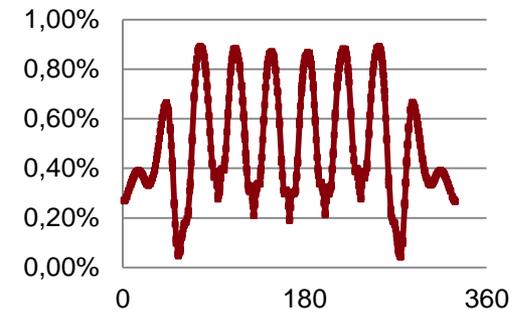
$\epsilon=f(\theta)$



$\epsilon=f(\theta)$



$\epsilon=f(\theta)$



## Deux problématiques

Propager la déformation dans l'échantillon



Module d'Young longitudinal faible



2 matériaux différents



PermaGLAS

$E = 40 \text{ GPa}$   
 $\sigma_y = 860 \text{ MPa}$

Garder une forme circulaire



Module d'Young radial grand



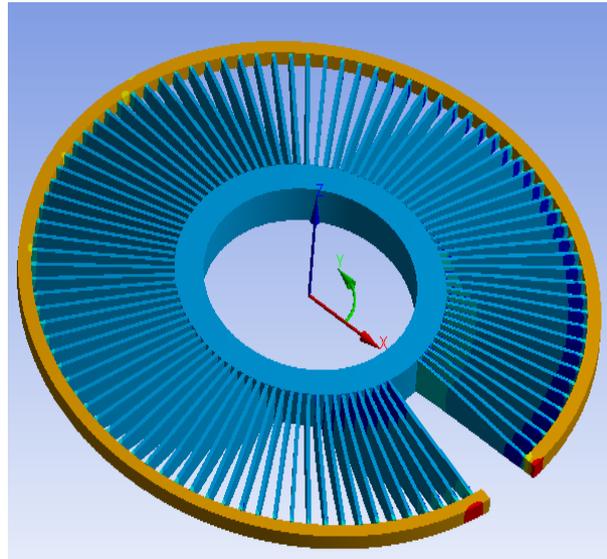
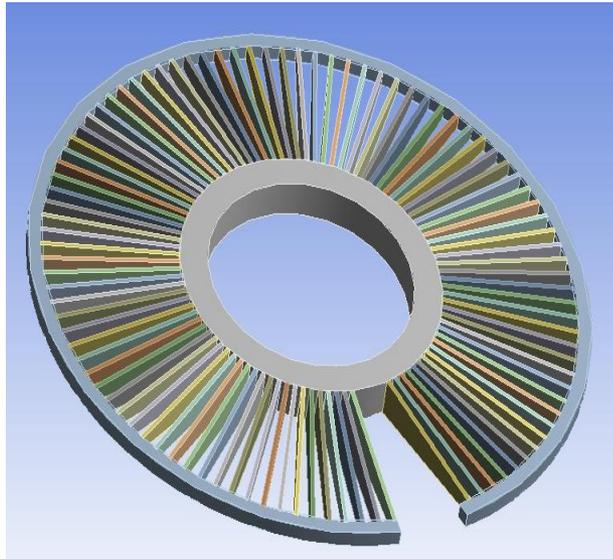
2 matériaux différents



Alliage Titane Ta6V

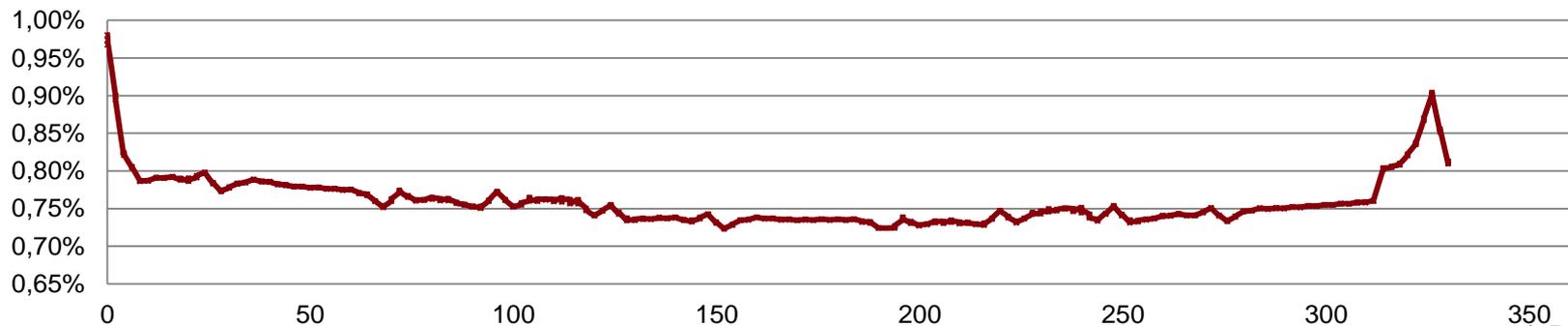
$E = 110 \text{ GPa}$   
 $\sigma_y = 450 \text{ MPa}$

## Modèle 2D

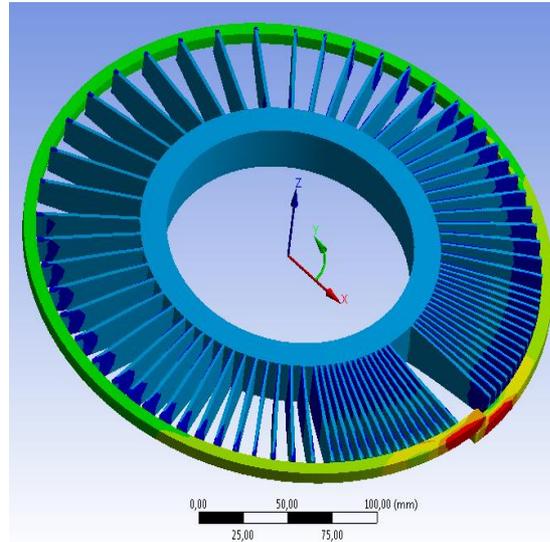
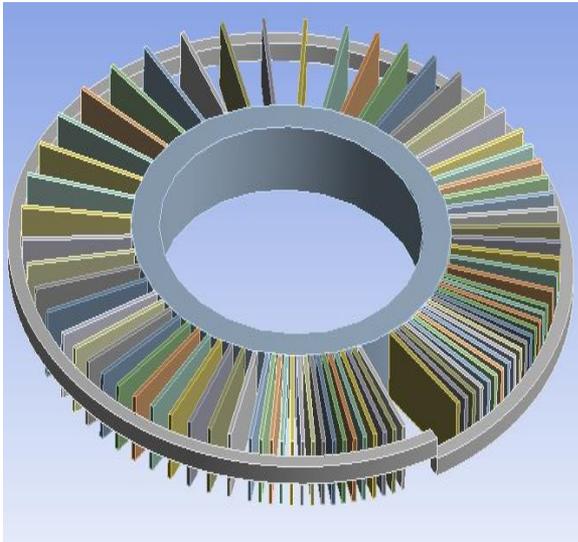


Charge: 14kN  
 Déf. max. : 0,81%  
 Déf. min. : 0,72%  
 Variation: 11%

$$\varepsilon = f(\theta)$$



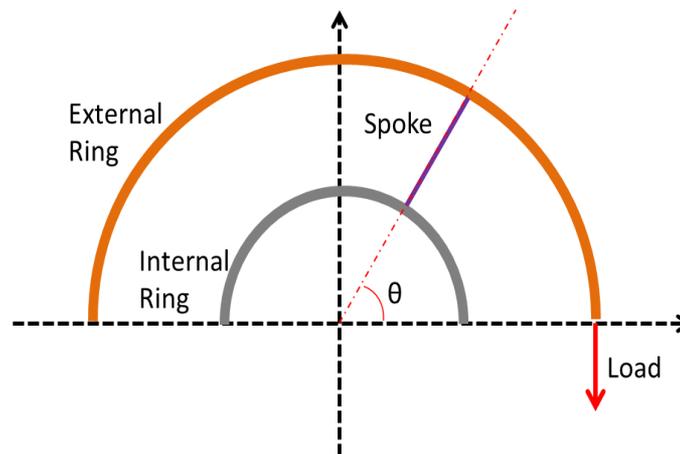
## Modèle 3D



Load: 16kN  
Max. strain: 0,8%  
Min. strain: 0,6%  
Overall variation: 25%

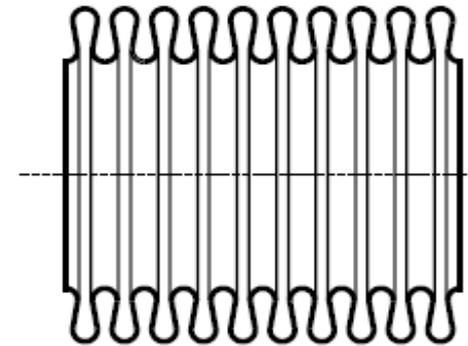
Répartition des rayons

Proportionnelle à  $\sin \frac{\pi - \theta}{2}$



## De nombreuses solutions

- Moteur électrique
- Moteur Piezo-électrique
- Vérin "Conventionnel"
- Moteur pneumatique
- Soufflet métallique



## Dimensionnement des soufflets métalliques

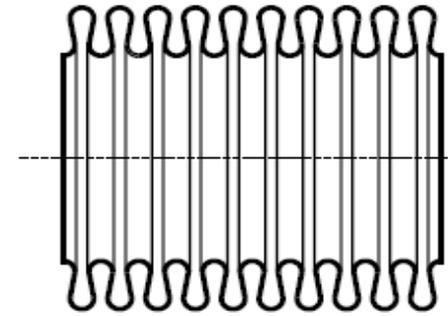
Variable	Valeur cible	Justification
Course (x)	10mm	Déplacement nécessaire
Charge utile ( $F_u$ )	10kN	Minimiser le bras de levier (2 soufflets en dérivation)
Pression interne(P)	Minimale	Normes et sécurité des appareils à pression
Diamètre (D)	Minimal $D < 120\text{mm}$	Minimiser le volume Normes et sécurité des appareils à pression
Longueur (L)	Minimale $L < 150\text{mm}$	

## Dimensionnement des soufflets métalliques

Dans notre cas,

$$b = \frac{20.000}{F_u}$$

Avec  $F_u = P.S - F_r = P.S - \delta.k$



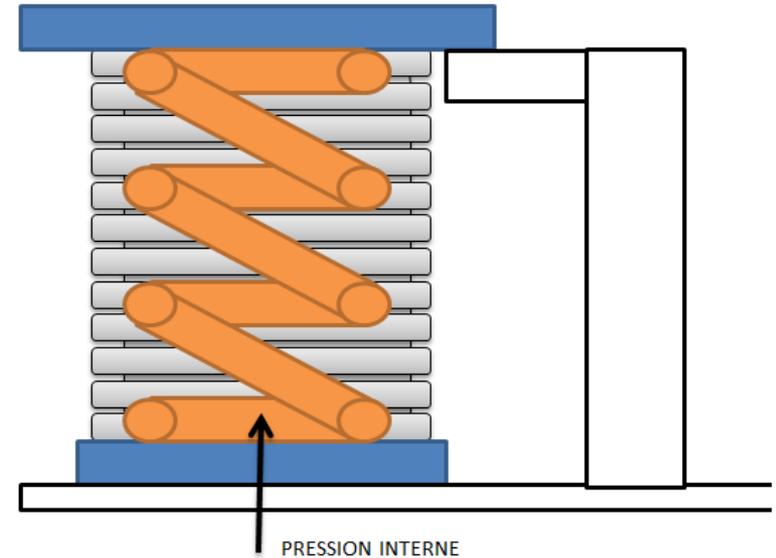
En prenant en compte un coefficient de sécurité et les contraintes de fabrication:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{0.8 * 20.000}{P.S - \delta.k} \leq 1 \\ n = \frac{x}{\delta} < n_{max} \end{array} \right.$$

## Solution

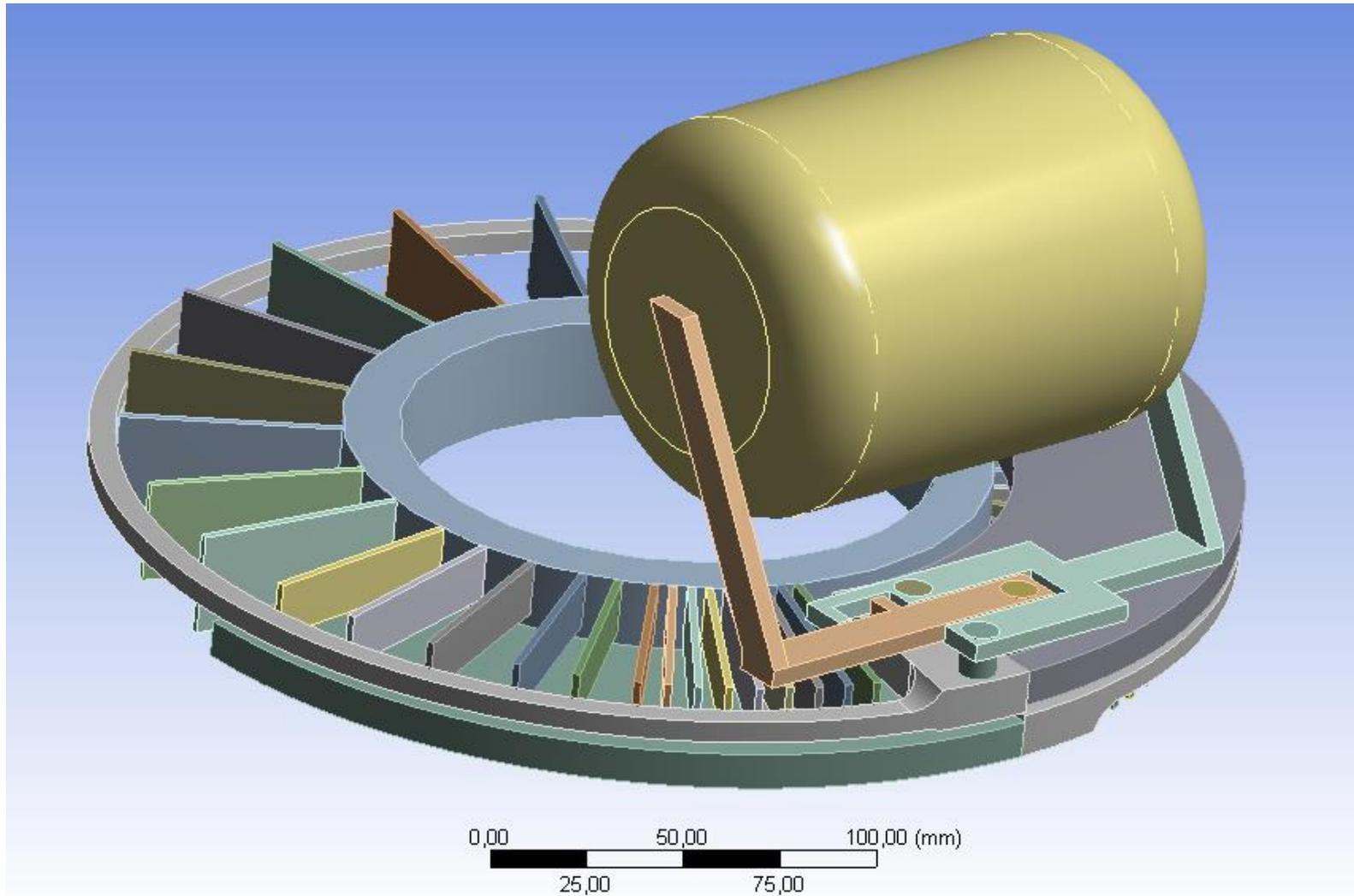
Soufflet	$\delta$ (mm)	S (cm <sup>2</sup> )	P (bar)	Fu (N)
110 x 4 x 30	+/-0,65	115	8,695	9999,25
	8 ondes			

k (N/mm)	Raideur soufflet (N/mm)	Raideur ressort (N/mm)	Raideur globale (N/mm)	Course (mm)
2050	256,25	744	1000,25	10,00



## Études complémentaires

- Comportement sous vide poussé
- Influence du phénomène d'hystérésis



# Suite

## Tests sur le dispositif

- Tests mécaniques sur la maquette 3D à température ambiante
- Tests mécaniques sur un prototype à l'échelle 1:1 dans les conditions de l'expérience

## Tests sur les soufflets

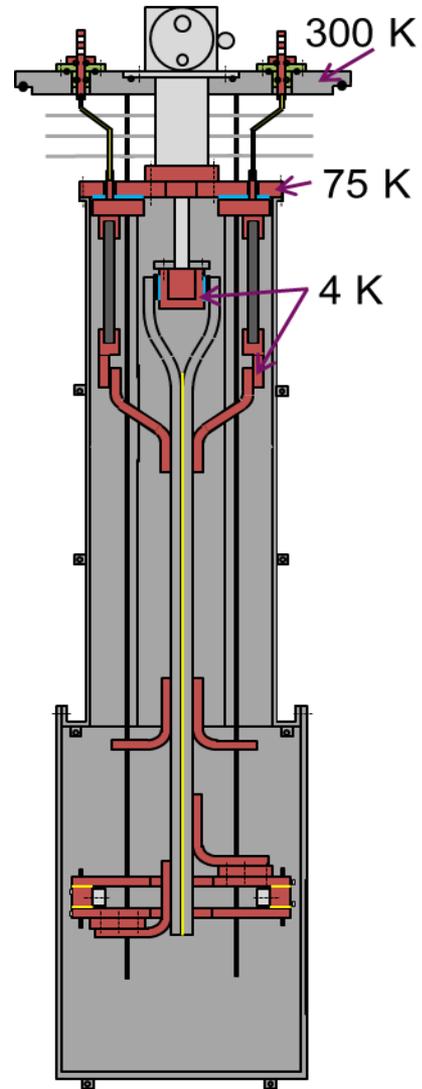
- Comportement sous vide poussé
- Influence du phénomène d'hystérésis

## Réalisation de la liaison entre les soufflets et le Pacman

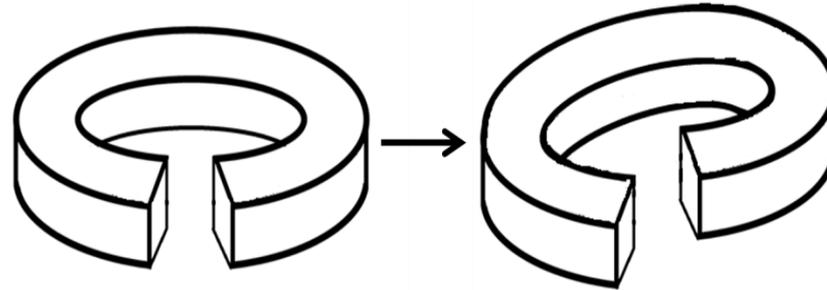
- Simulation ANSYS
- Tests sur le système entier

Merci pour votre  
attention

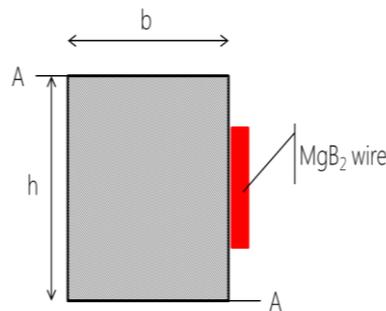
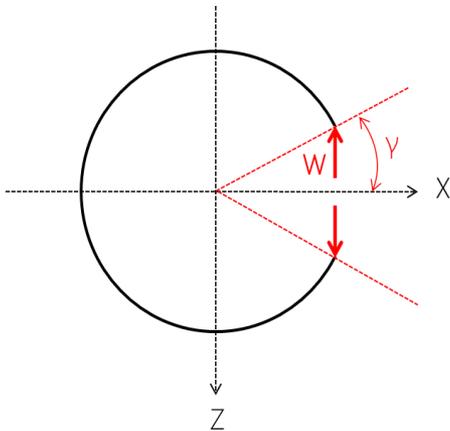
# ANNEXES – Station cryo



## Concept



## Modèle: Calculs préliminaires avec un modèle 2D



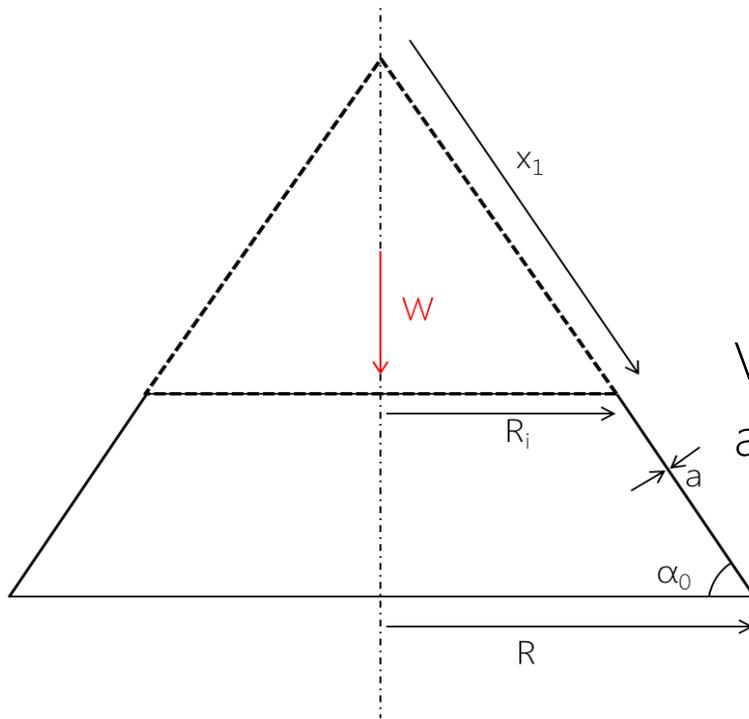
Déplacement de l'ouverture – Formule générale:

$$\delta = \frac{W \cdot R^2}{E \cdot I} \left[ (\pi - \gamma)(1 + 2\cos^2(\gamma)) + \frac{3}{2}\sin(2\gamma) \right]$$

Avec  $\gamma=0$  et compte tenu du profil:

$$\delta = \frac{36 \cdot \pi \cdot W \cdot R^2}{E \cdot h \cdot b^3} \Rightarrow W = \frac{E \cdot h \cdot b^3 \cdot \delta}{36 \cdot \pi \cdot R^2}$$

## Modèle



Variation du rayon:  $\Delta R = \frac{2\pi.R.W}{E.a} . x_1 . \nu . \cot \alpha_0$   
avec  $\Delta R = 1,5\text{mm}$  (CDC)

## Ta6V

Composition	Aluminium	6.00%
	Vanadium	4.00%
	Carbone	<0.08%
	Fer	<0.3%
	Oxygène	<0.2%
	Azote	<0.07%
	Titane	Base
Densité		4.43
Module d'Young		110 GPa
Module de cisaillement		45 Gpa
R		1100 Mpa
Re		1040 Mpa
A%		10%

## PermaGLAS

		G-10CR			G-11CR		
Temperature		295K	76K	4K	265K	76K	4K
Composition	Matrix	Conventional, heat-activated, amine catalyzed, bisphenol-A, solid epoxy resin			Aromatic-amine-hardened, bisphenol-A, liquid-type epoxy		
	Resin weight fraction	32%-36%			28%-33%		
Young's Modulus (GPa)		28.0	33.7	35.9	32.0	37.3	39.4
Poisson's Ratio		0.150	0.190	0.211	0.157	0.223	0.212
Tensile strength (MPa)		415	825	862	469	827	872
Compressive strength (MPa)		375	834	862	396	804	730
Tensile failure strain (%)		1.75	3.43	3.67	1.82	3.21	3.47

$$b_{min} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot l^2 \cdot L_s}{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot h}}$$

## Hypothèses:

- Rayons:  $l \times b \times h$
- Rayons bloqués à chaque extrémité
- Equiré-partition de la charge sur les rayons (Ex: pour le modèle 3D:  $L_s = L/76 = 211\text{N}$ )

$$b_{min} = 1\text{mm}$$