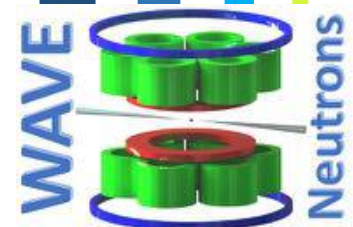
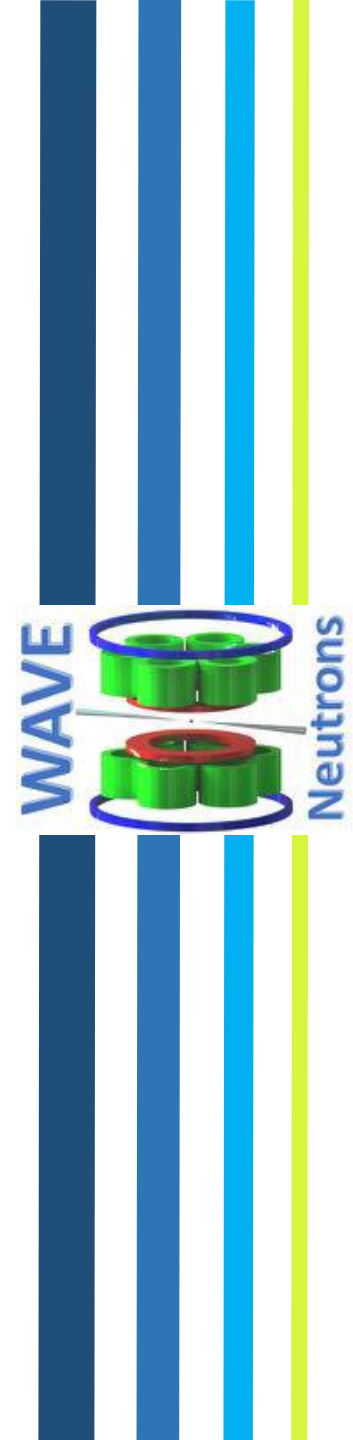


# WAVE

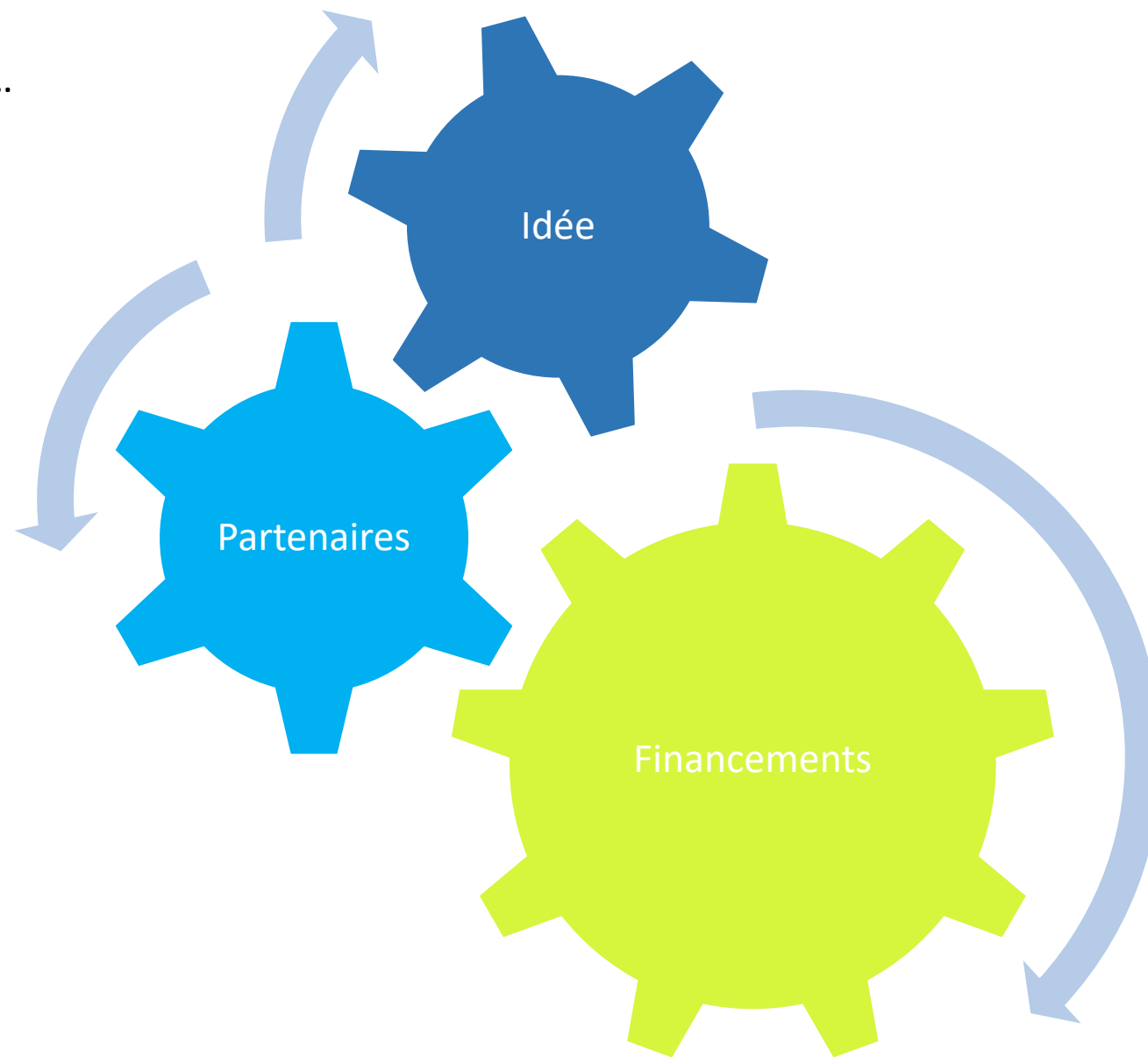


# WAVE

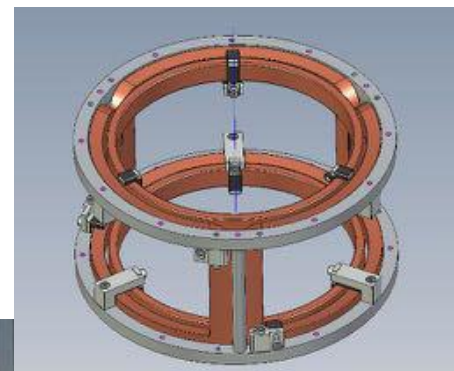
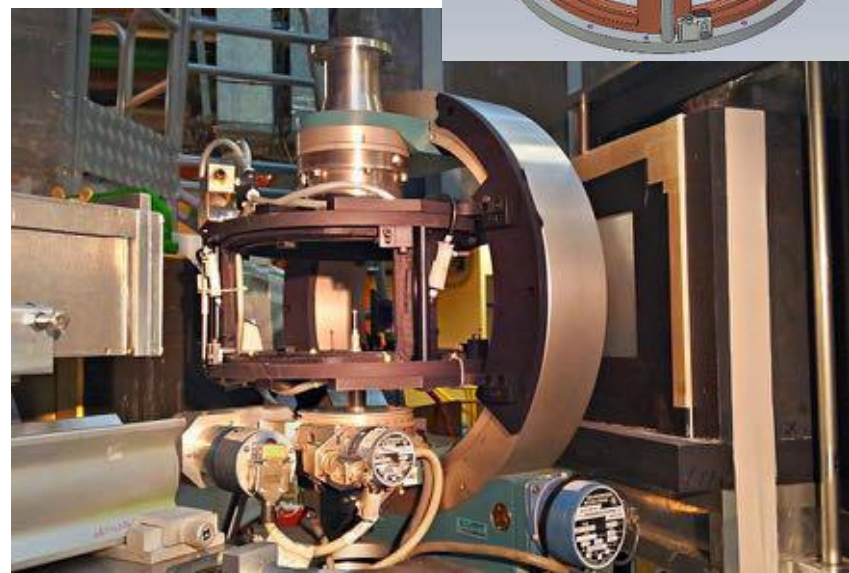
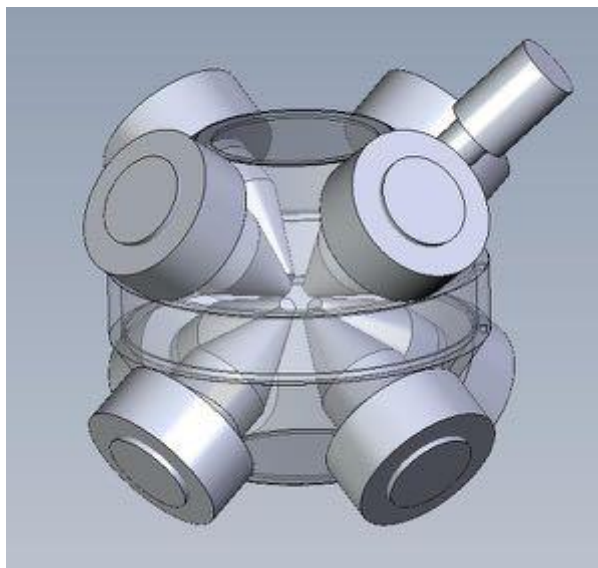
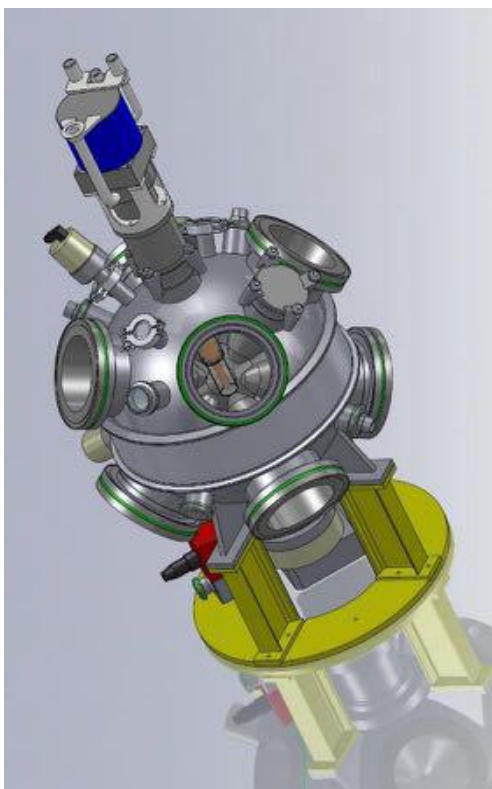
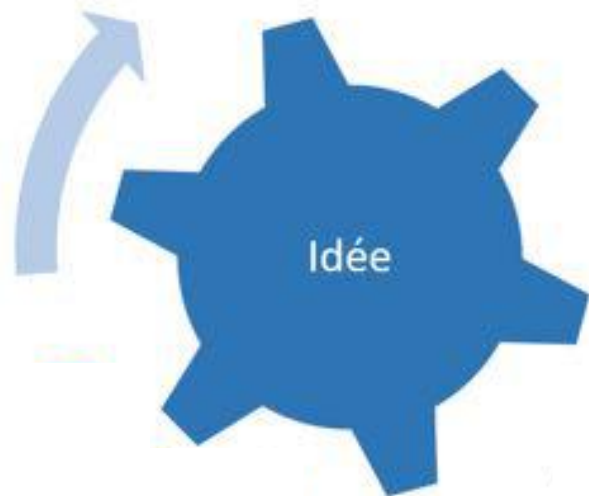




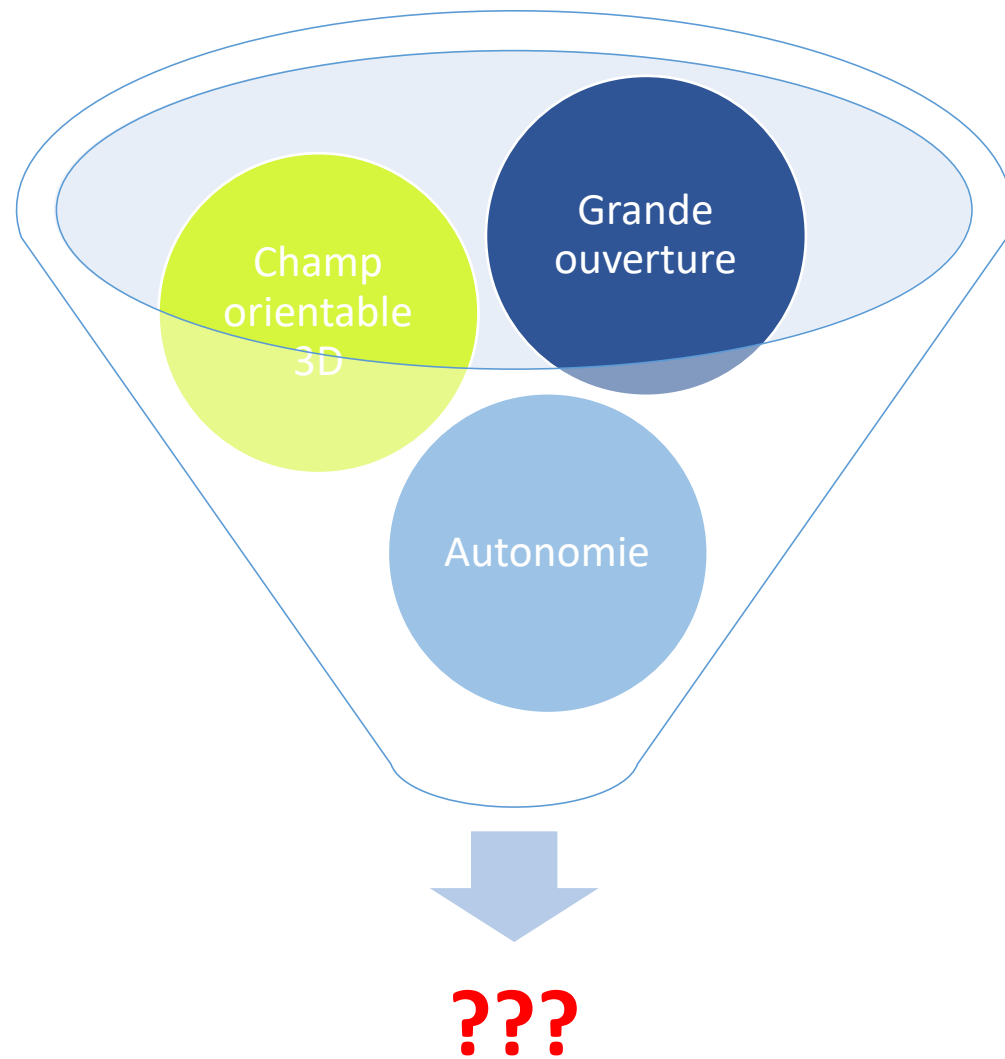
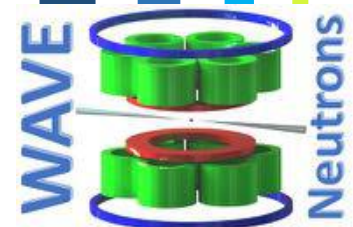
Genèse du projet...



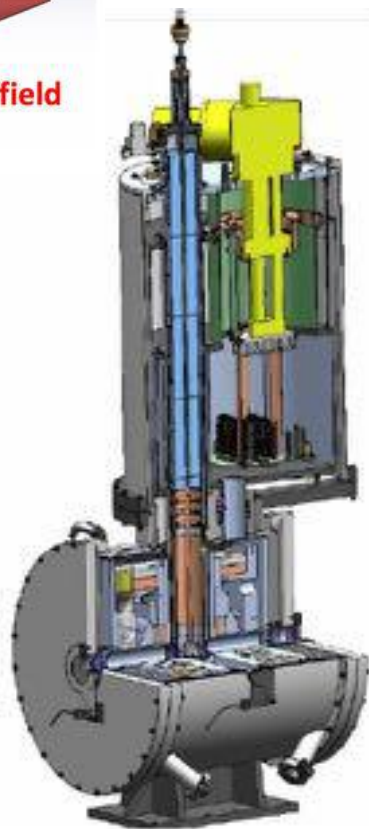
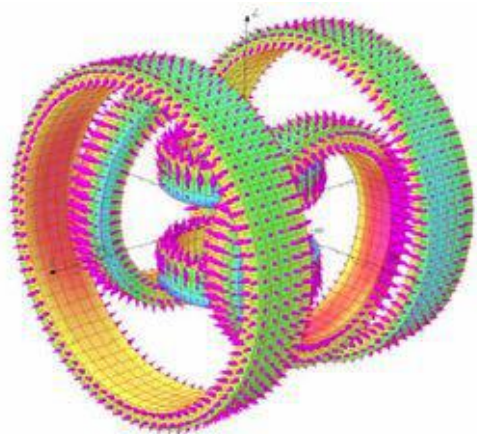
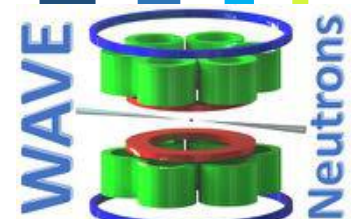
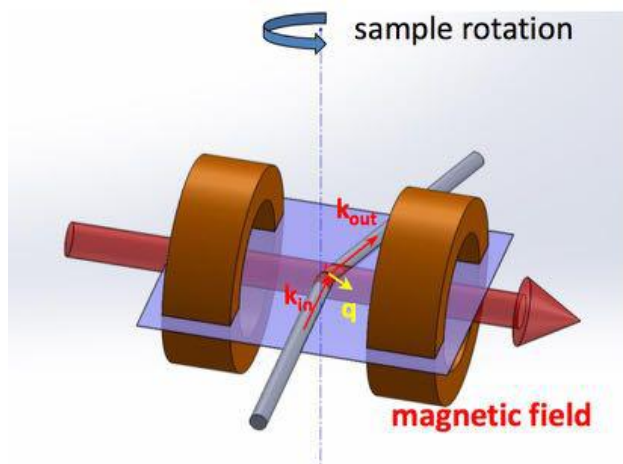
Genèse du projet...



Le concept...

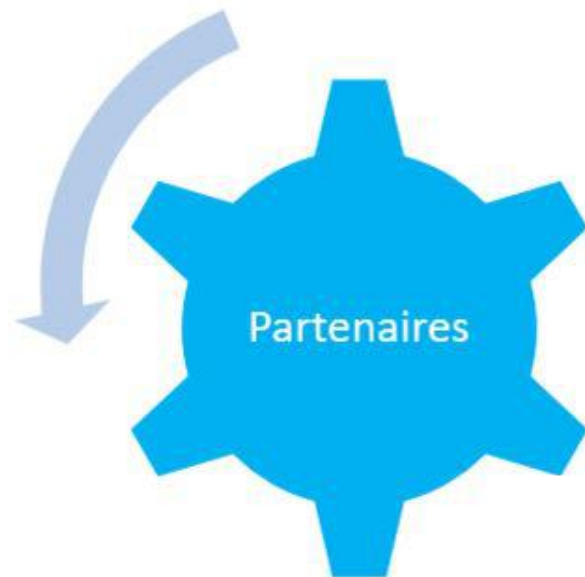
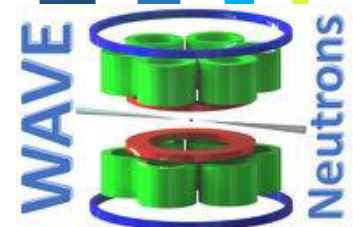


L'offre commerciale...

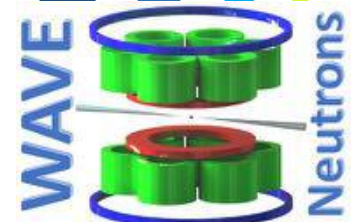
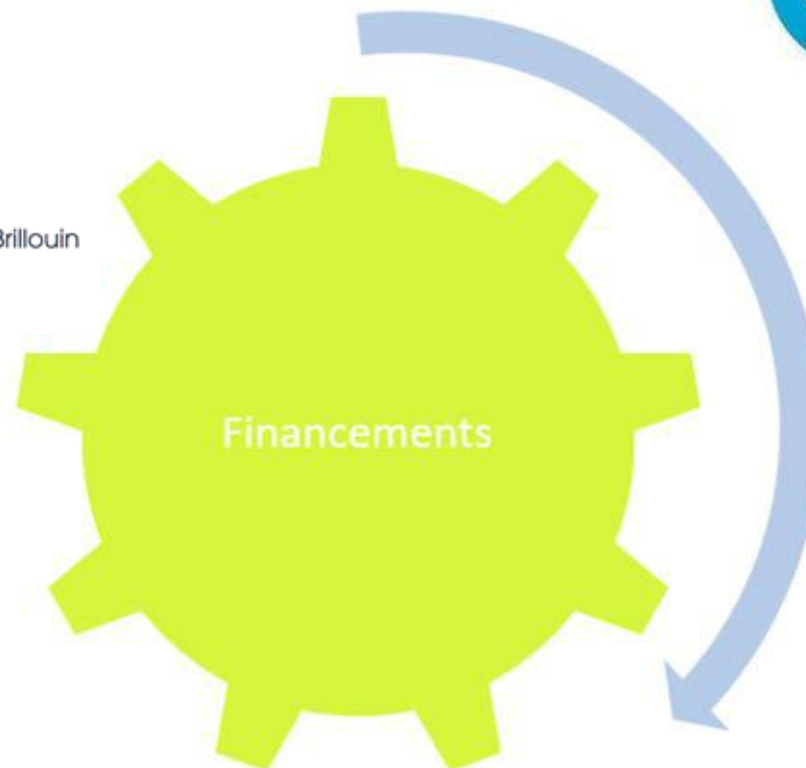


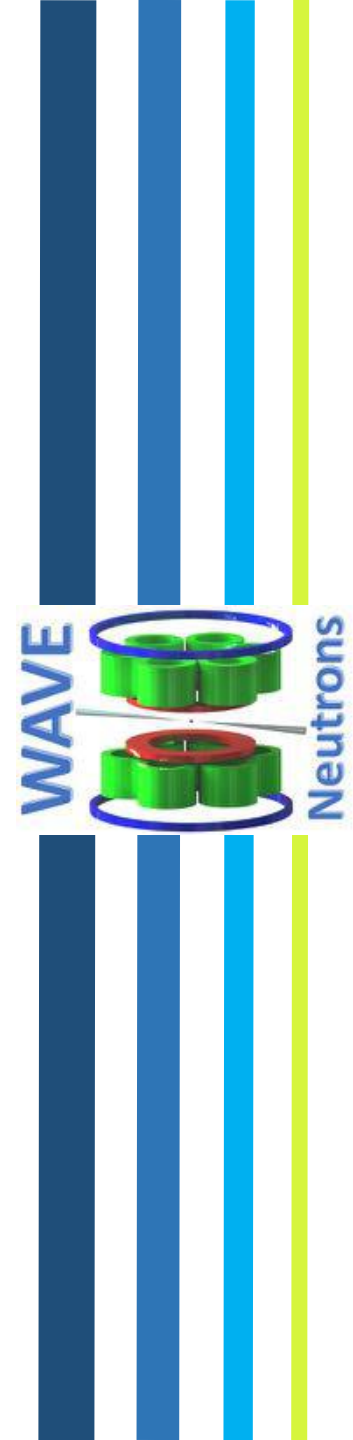
Manufacturer	Maximum field $B_x, B_y, B_z$	Coil type	Homogeneity	Diameter of the sample bore	Angular aperture
Scientific <sup>1</sup> magnet	1T,1T,5T	2 split coils +solenoid	2.2%,2.2%,0.1% within 10x10x10 mm	??	0°
Scientific magnet	2T,2T,6T	2 split coils +solenoid	1% within a 10 mm diameter sphere	??	0°
Scientific <sup>2</sup> magnet	2T,2T,2T	3 split coils	0.1,0.43 and 0.48 % within a 10 mm diameter sphere	50 mm	Adapted for small angle scattering (implemented at the ISIS facility)
Cryomagnetic s <sup>3</sup>	1T,1T,7T, max 1T for vector field	2 split coils +solenoid	0.5%, 0.5% et 0.1% within a 10 mm diameter sphere	89 mm	0°
Janis <sup>4</sup>	1T,1T,2T	??	??		Cone (aperture = 10°) around the direct beam, suitable for reflectivity
Oxford <sup>5</sup>	3T,3T,0T	2 split coils	<10 ppm within a cylinder 10 mm diameter, 5 mm height	75 mm	Cone (aperture = 25°) around the x direction, square (aperture = 8.5°) around y
American Magnetics <sup>5</sup>	1T,1T,4T max 1T for vector field	??	??	50 mm	Optical aperture (a few degrees)
ADC <sup>7</sup>	1 T vector field	8 resistive coils	5% over a 10 mm cube	30 mm	Full horizontal aperture, variable vertical aperture (2.5° in some directions)
Proposed solution (neutron magnet)	1T vector field	Custom, 16 coils	4,4 and 46 ppm in the x and y and z directions within a 10 mm diameter sphere	>100 mm	220° horizontal >±10° vertical

Genèse du projet...

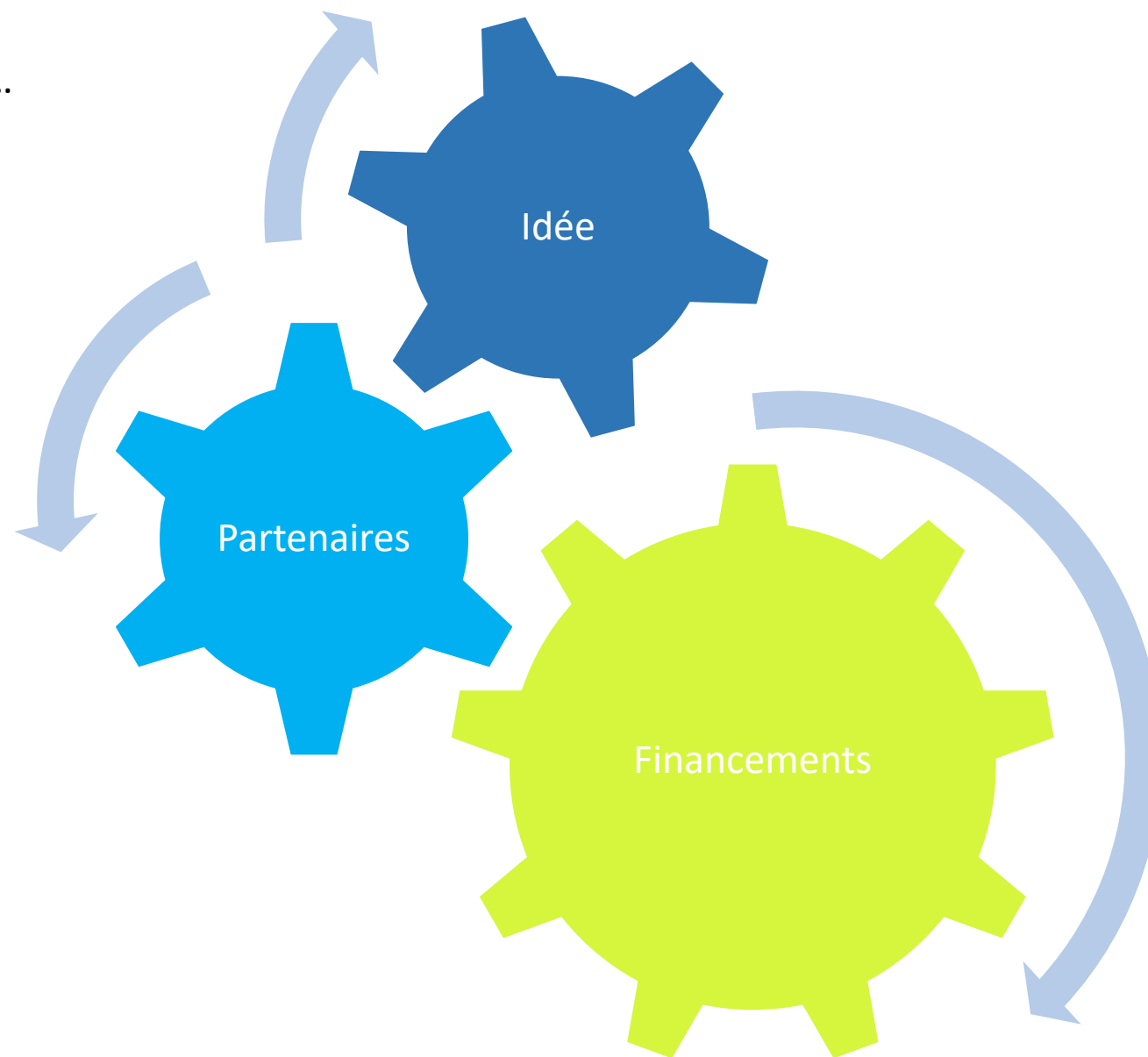


Genèse du projet...

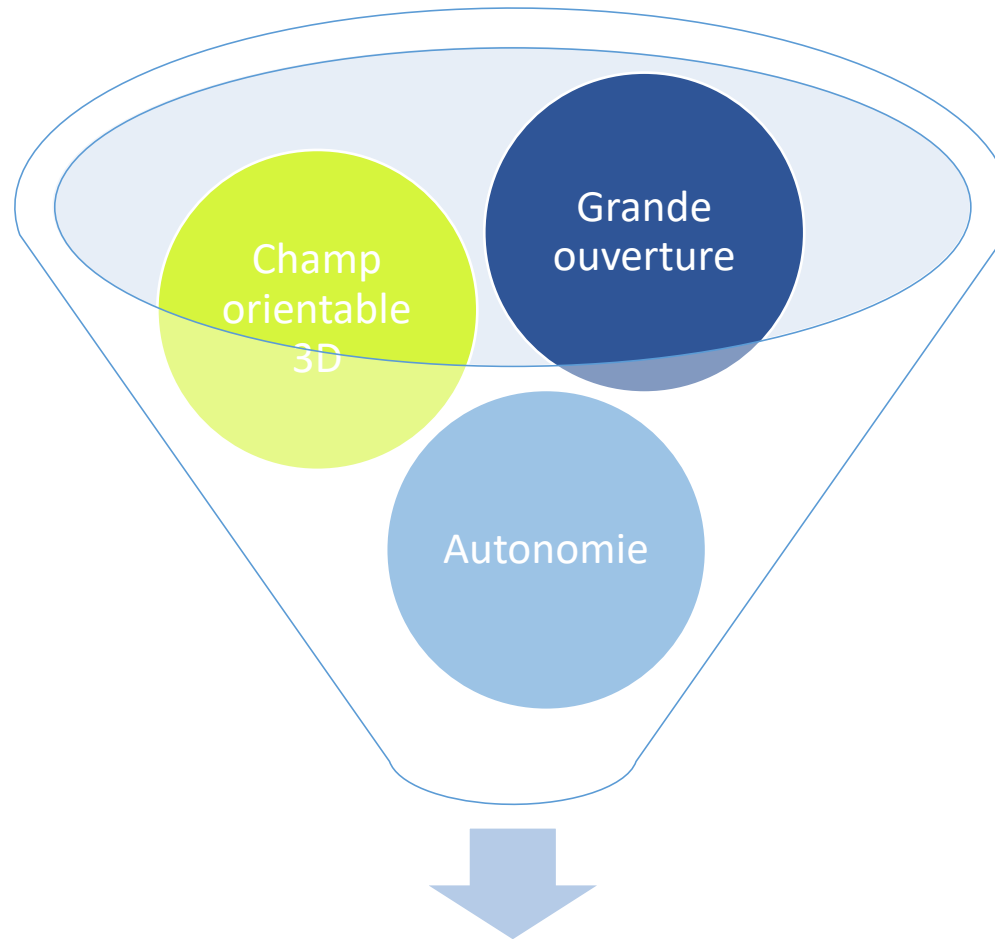




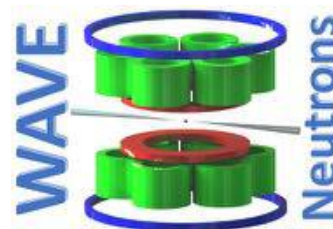
Genèse du projet...



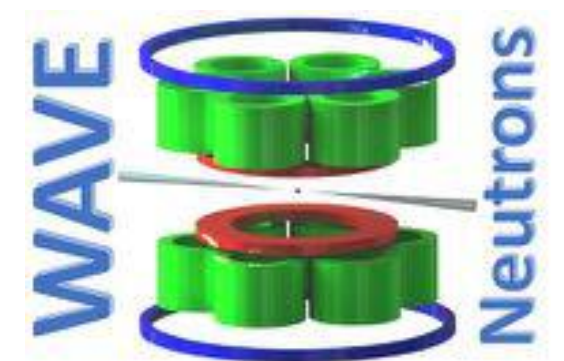
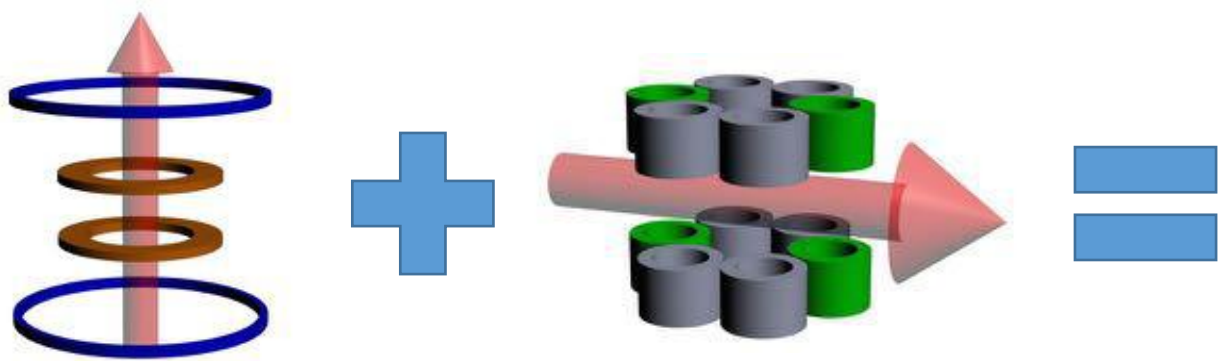
Le concept...



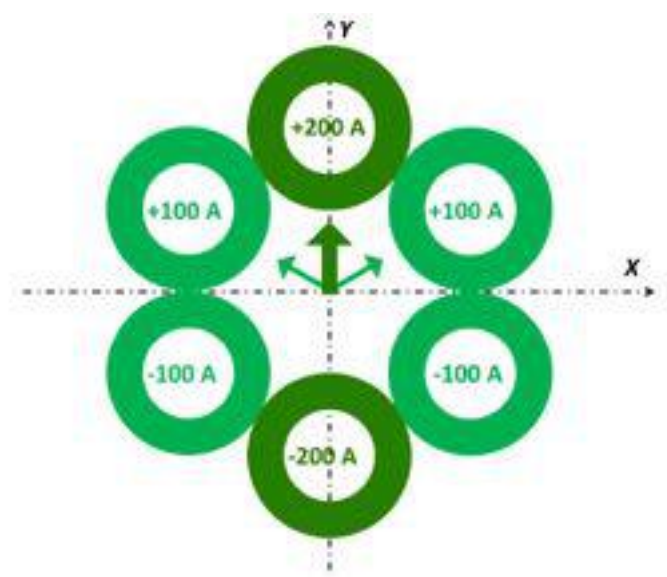
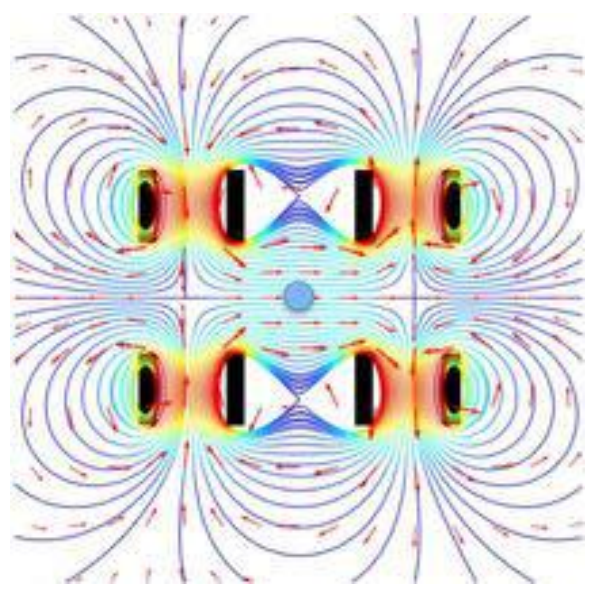
## Wide Aperture VVector magnet



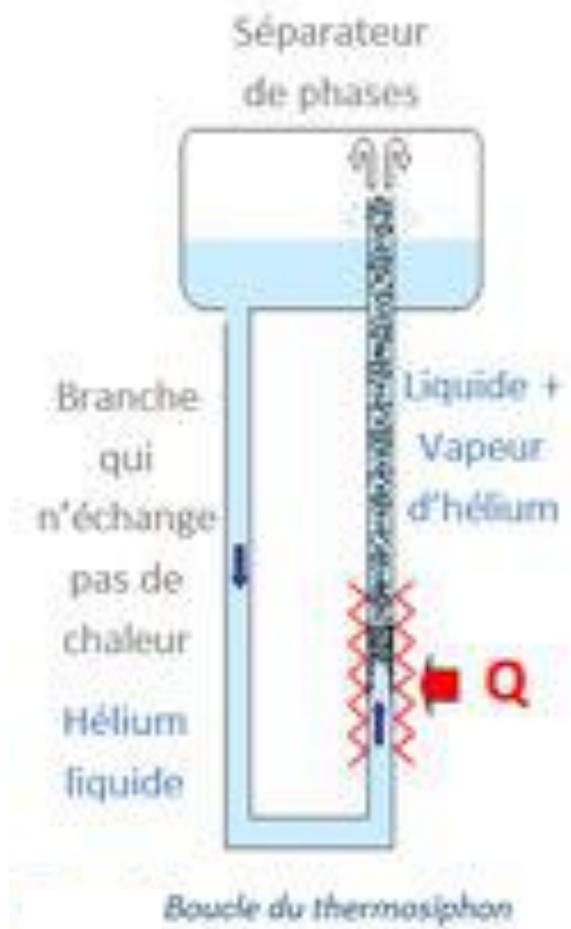
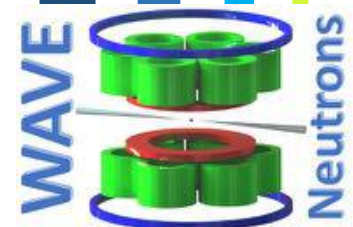
Le principe magnétique...



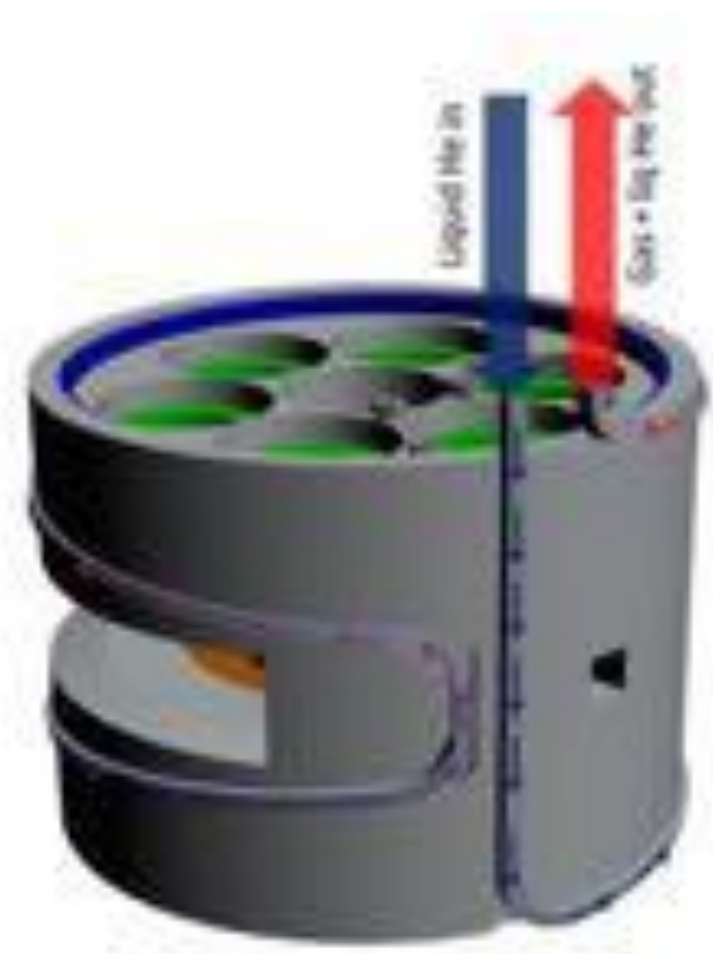
Brevet français #1262070 + extension US



# Le principe cryogénique...



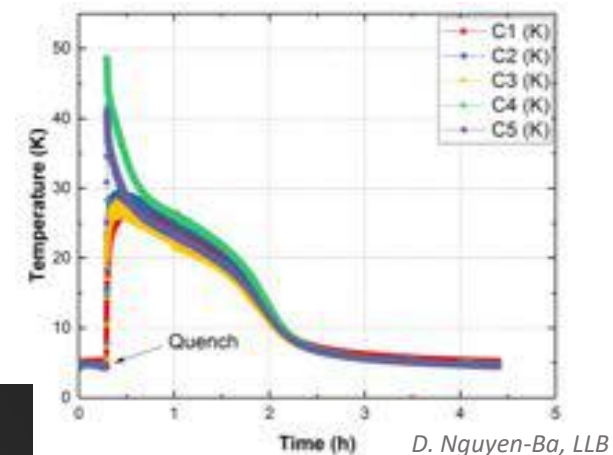
D. Simon, Rapport de stage, IRFU - Mines



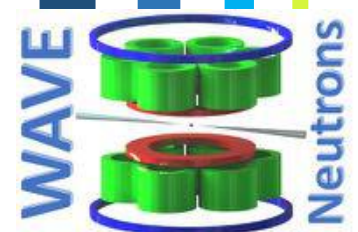
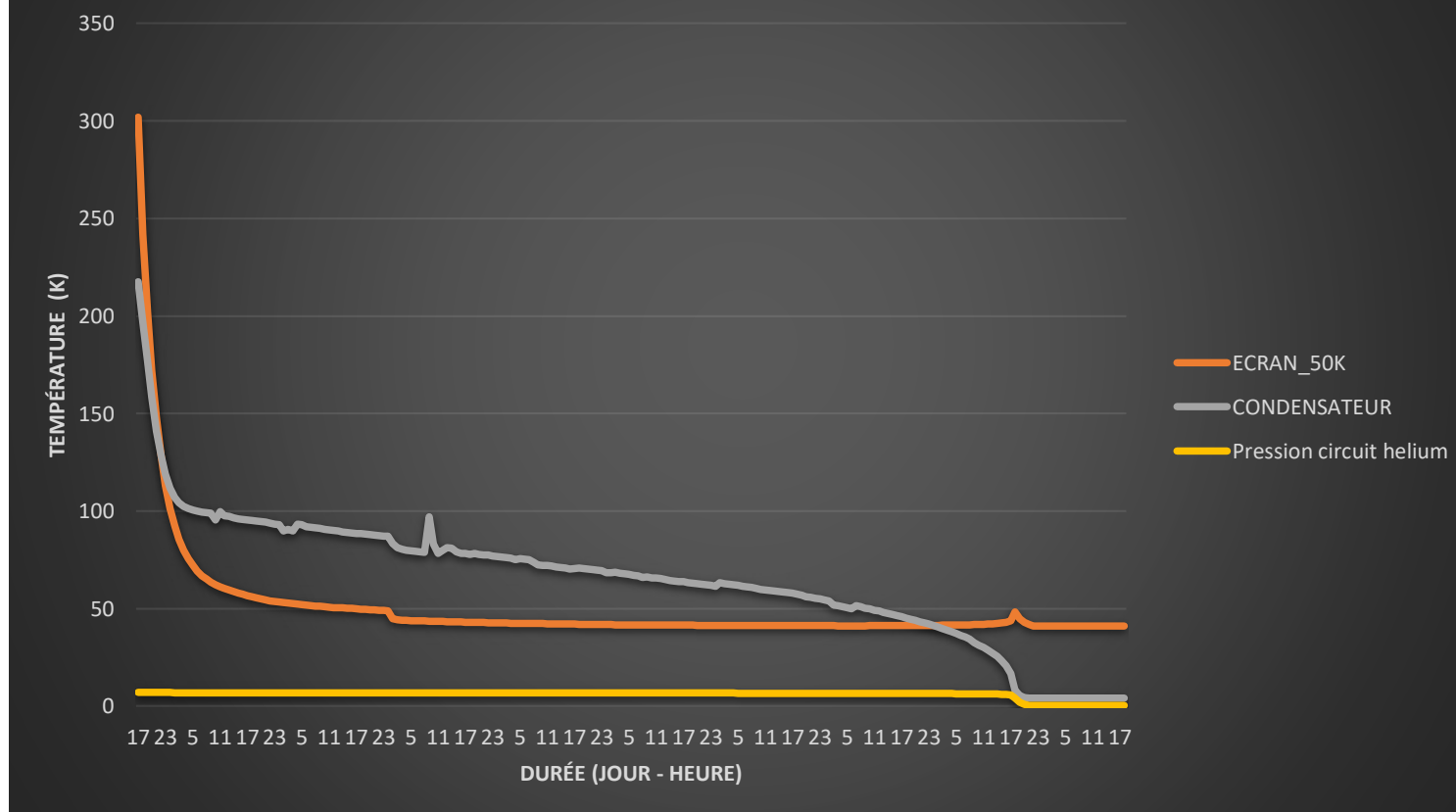
D. Simon, Rapport de stage, IRFU - Mines

Le principe cryogénique...

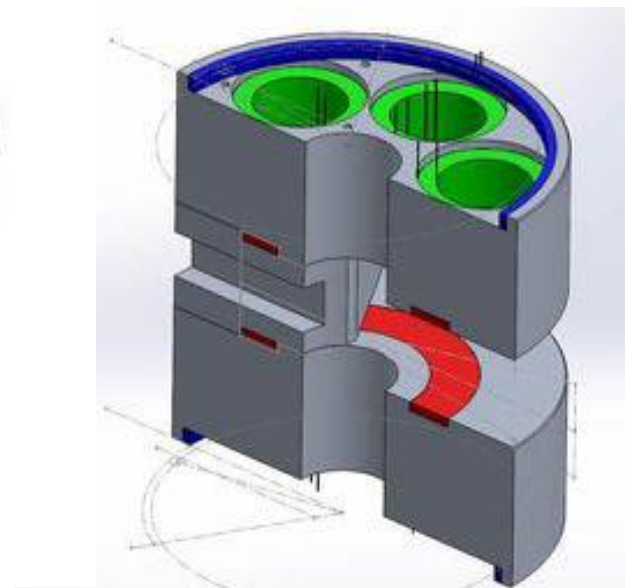
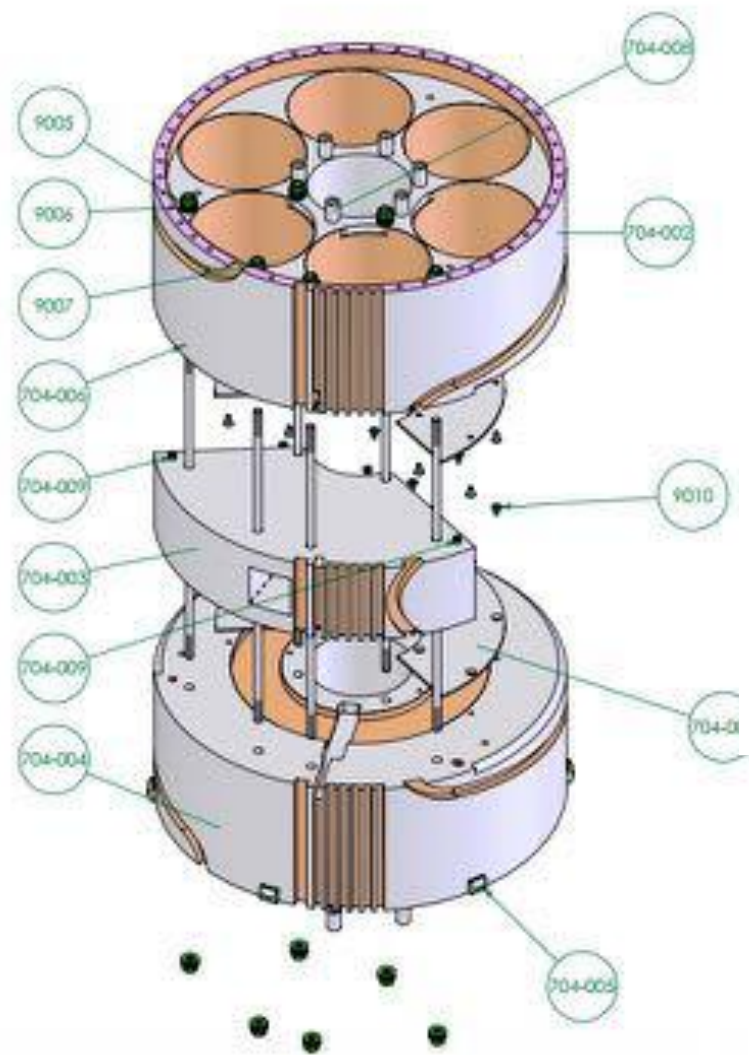
Débit estimé=0,965g/s soit 0,46L/min



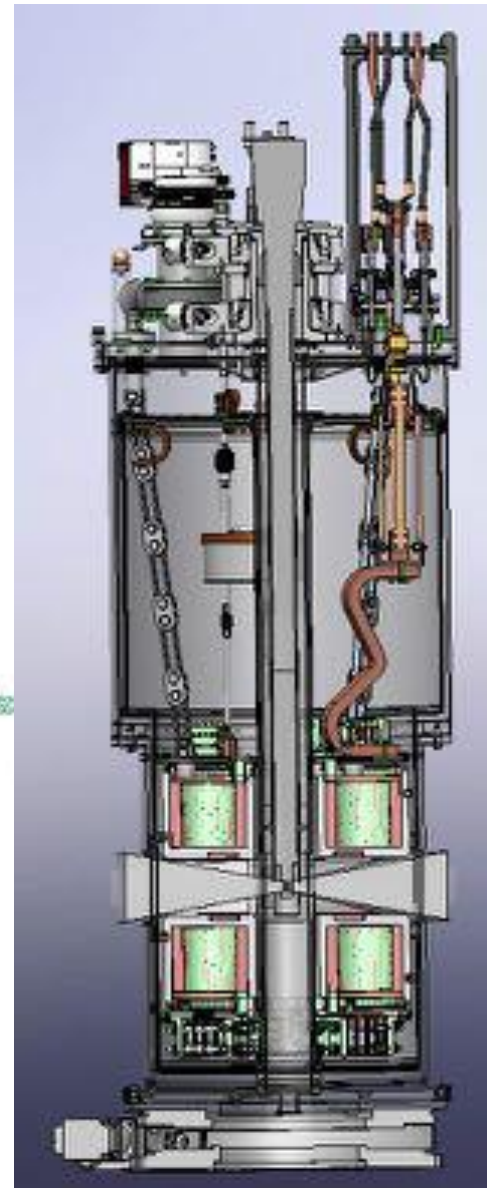
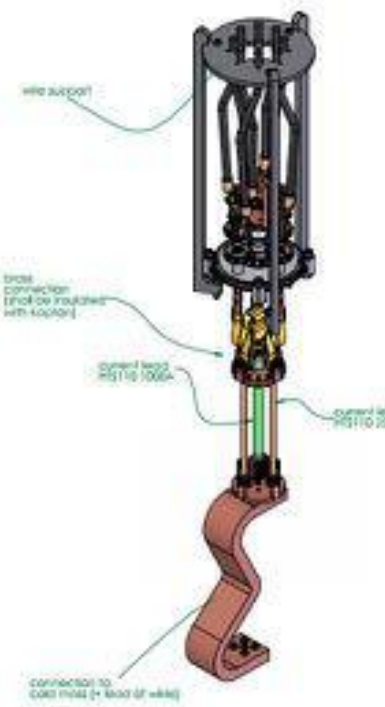
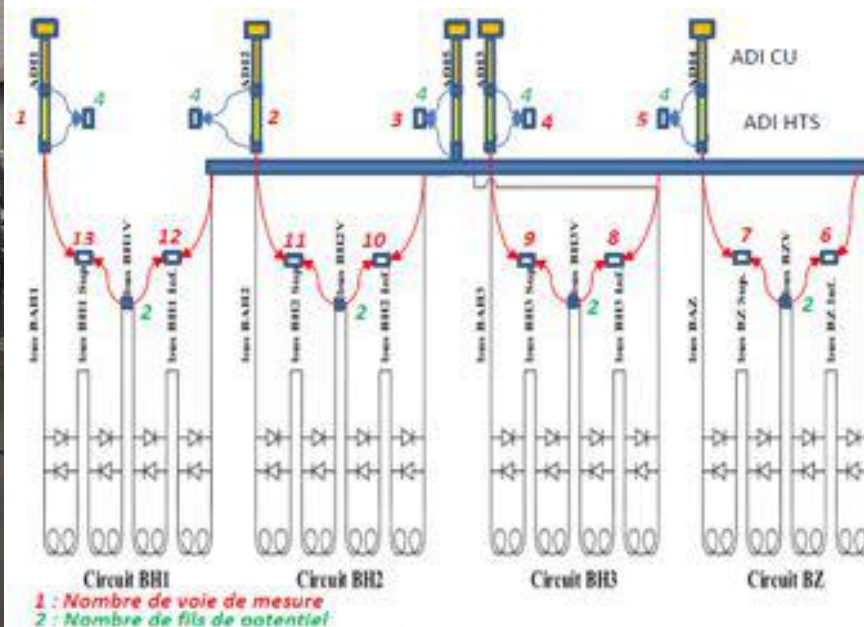
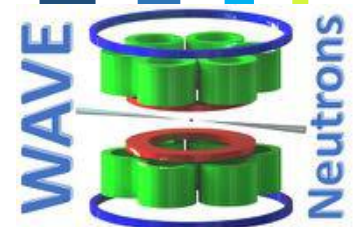
### Mise en froid de Wave Octobre 2018



# Le principe mécanique...

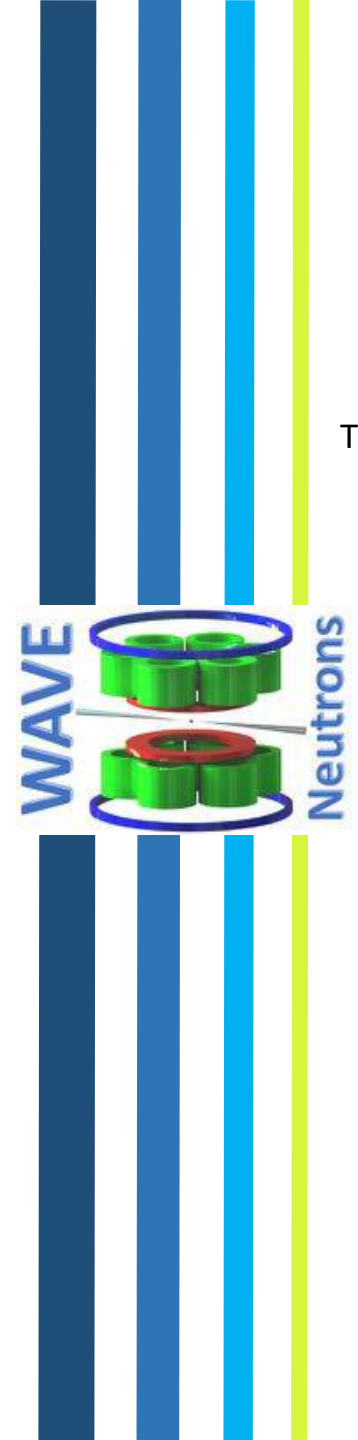


# Le principe électrique...

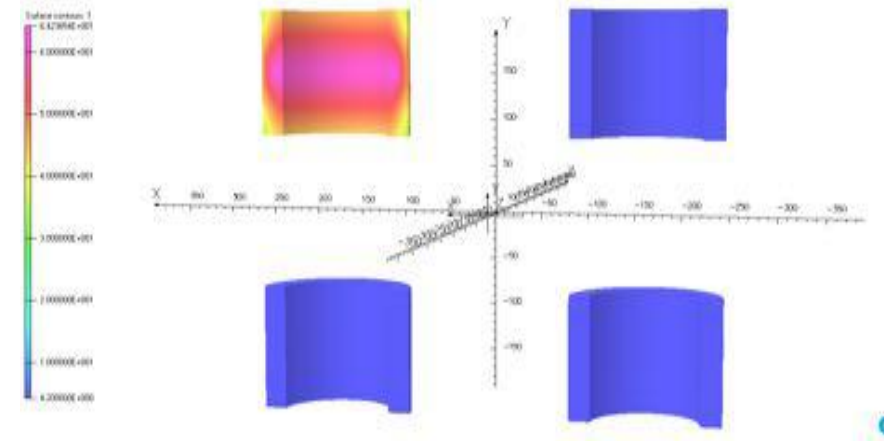
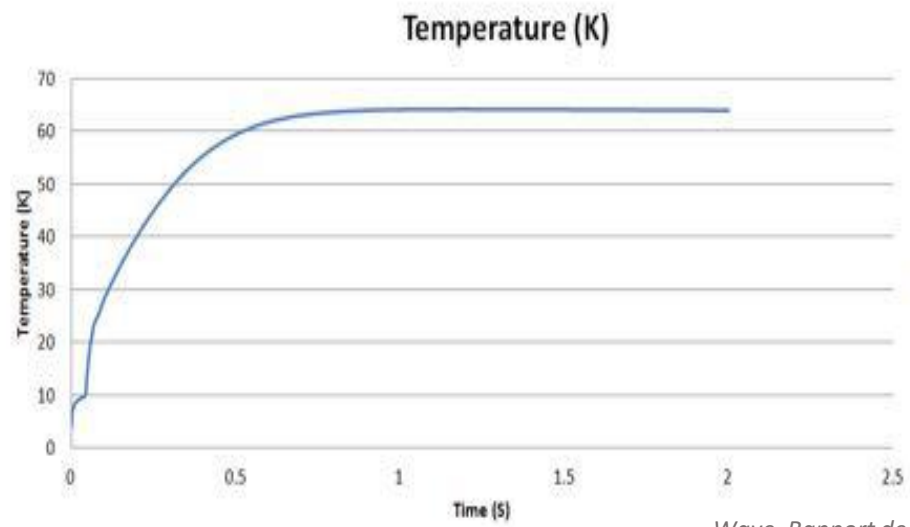
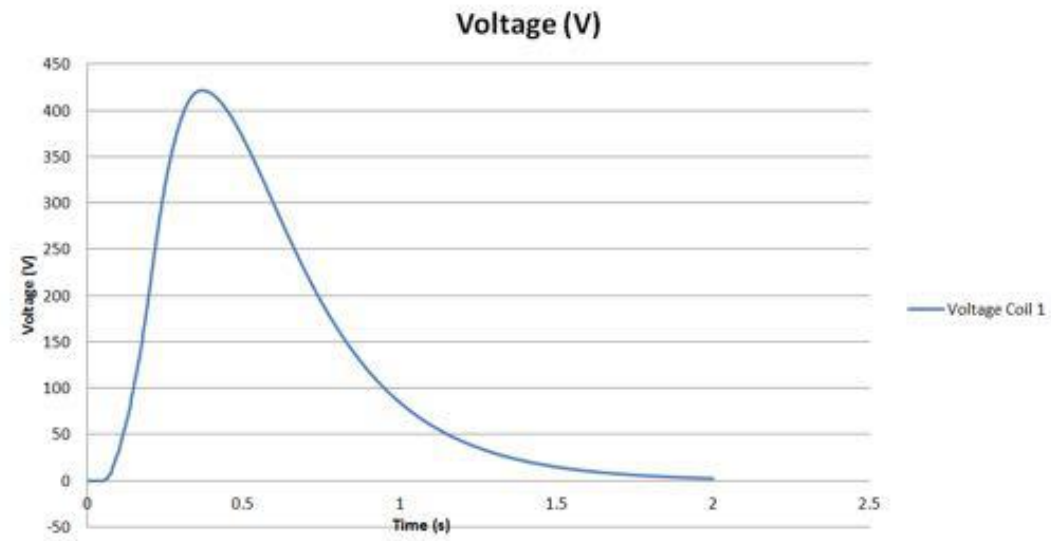
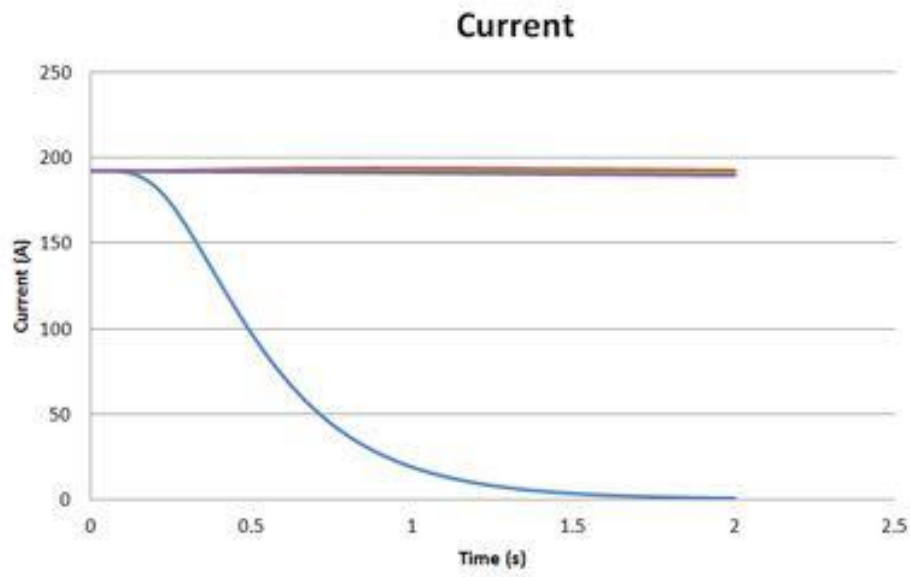


Circuit électrique de Wave, Rapport de conception final, Sigmaphi

Wave, Rapport de conception final, Sigmaphi



# Le principe électrique...



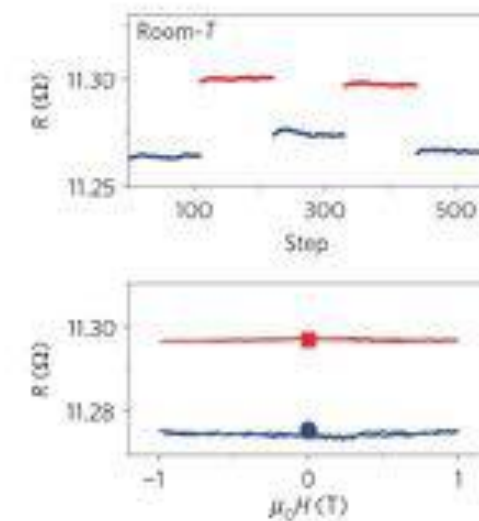
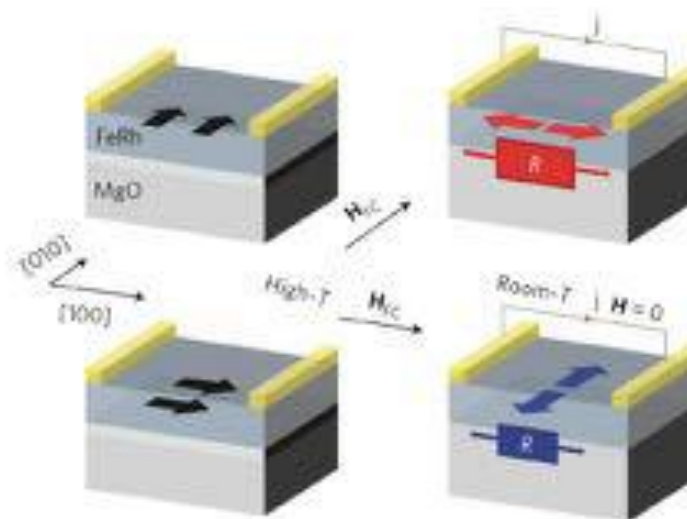
## Wave et la science...

Côté fonctionnel :

- Gain de temps
- Appareil autonome
- Automatisation des tâches
- Utilisable sur de nombreuses aires expérimentales

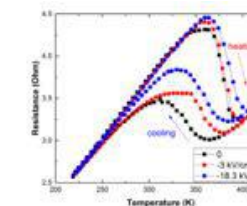
Côté recherche :

- Diffraction classique
- Particulièrement adapté à la spintronique (densité de spin et anisotropie)
- Faire tourner l'échantillon tout en le gardant dans le même vecteur de champ (échantillon à mémoire magnétique)
- Faire des mesures de magnéto-résistance (FeRh par exemple)
- Etudier les glaces de spin (eg.  $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ )
- Etudier les films antiferromagnétiques et leur changement anisotropique (eg. Cr/MgO/Cr Thèse de M.A. Leroy, Bicouche CoO/Fe, Pt/Co80Cr20/Pt)
- Mesure de magnéto-transport SANS NEUTRONS



*Marti et al., Nat. Mat., 2014*

$\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x$  : 1<sup>st</sup> order AFM → FM transition close to RT



07/2017

- 1<sup>ère</sup> mise en froid chez SPE (juillet 2017)
- Première montée à 1,09T
- Réception usine

09/2017

- Installation de Wave sur 6T2
- Réception client
- Test du thermotonome
- Développement logiciel de pilotage

Définitions des caractéristiques de Wave  
 Logiciel de supervision LLB  
 Intégration de la rotation/élévation ech.  
 Training des bobines

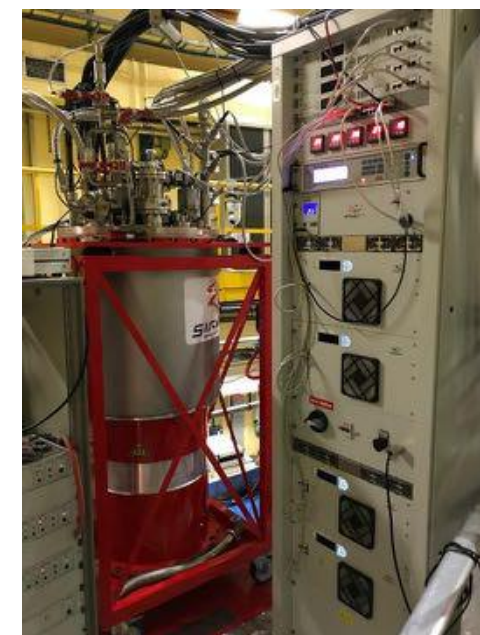
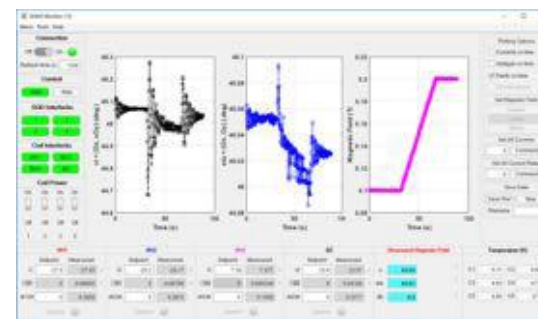
09/2018

- Mesures de l'homogénéité
- Tests de fonctionnement prolongé
- Intégration du pilotage dans Pingouin
- Intégration du displax échantillon

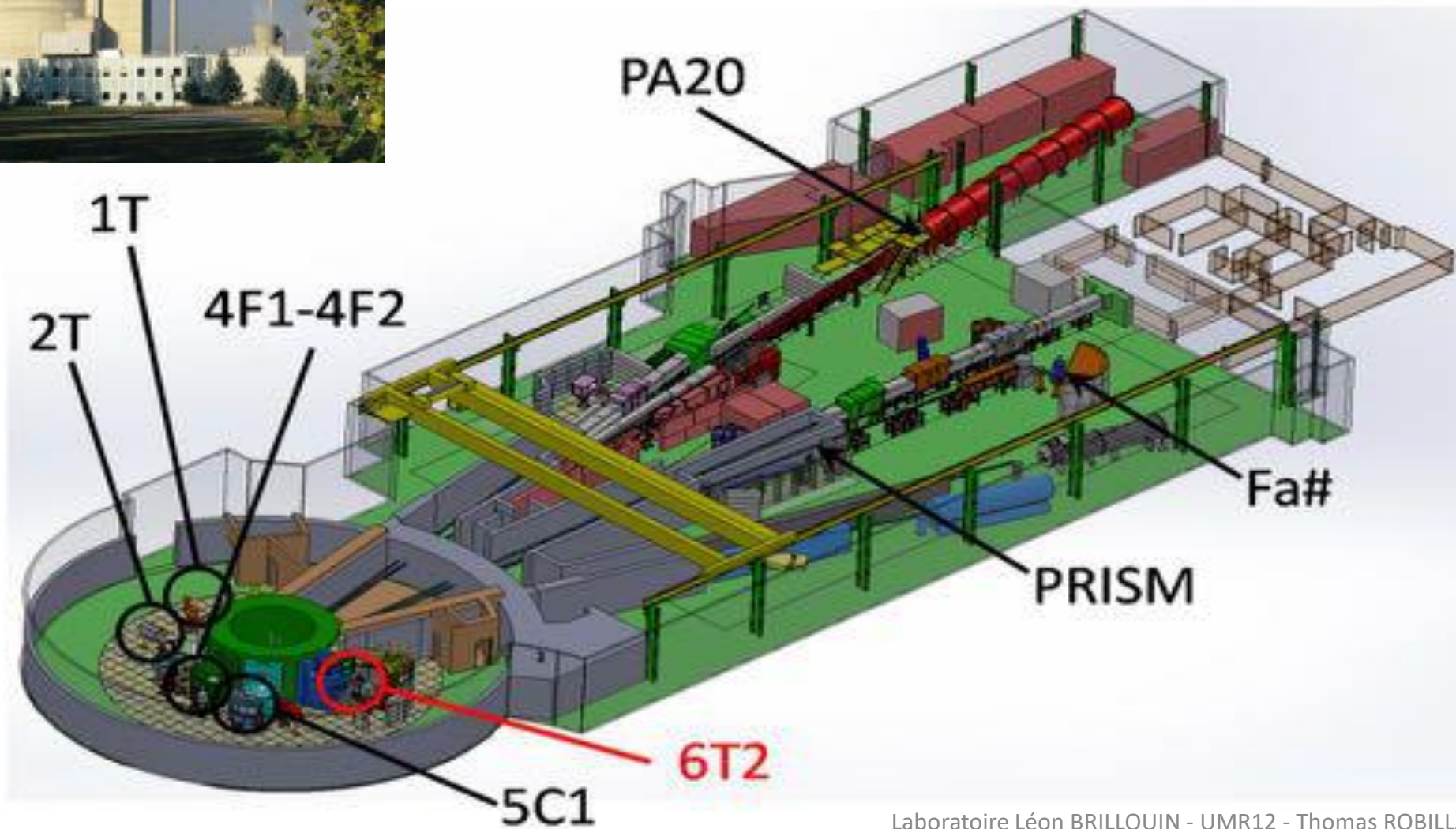
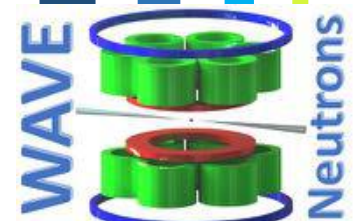
Test du displax

12/2018

- Premier montage sur l'environnement échantillon
- Premier passage dans le faisceau
- Test de polarisation

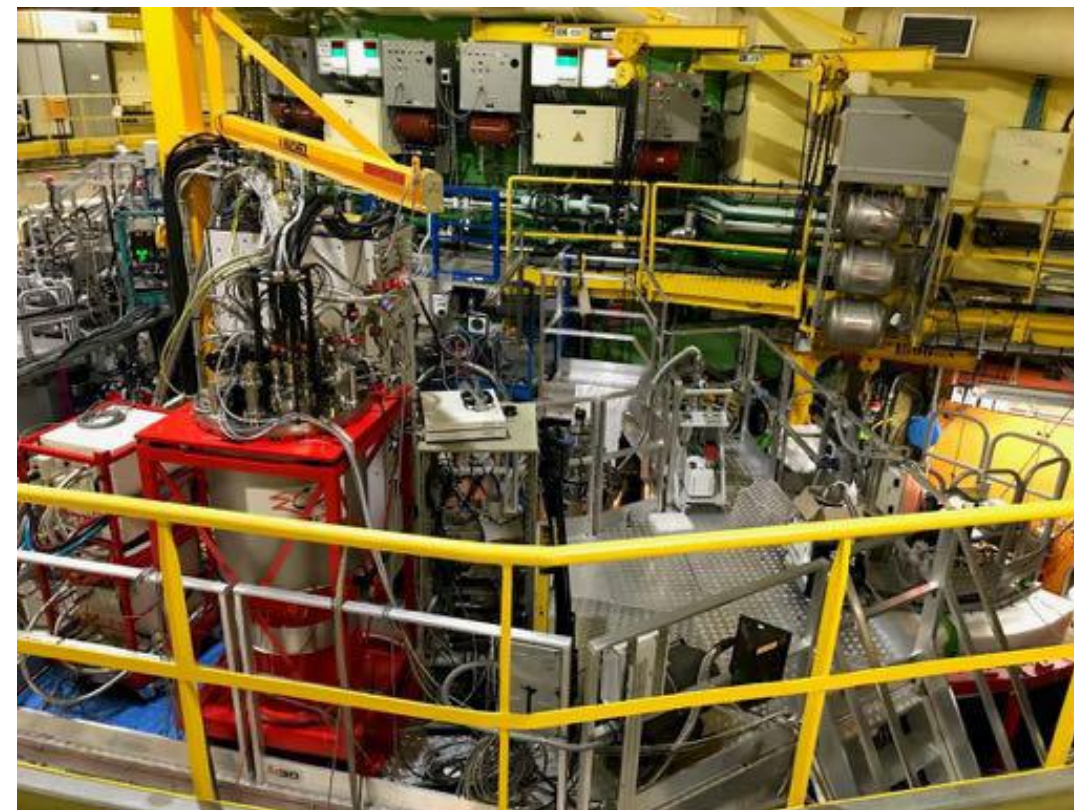
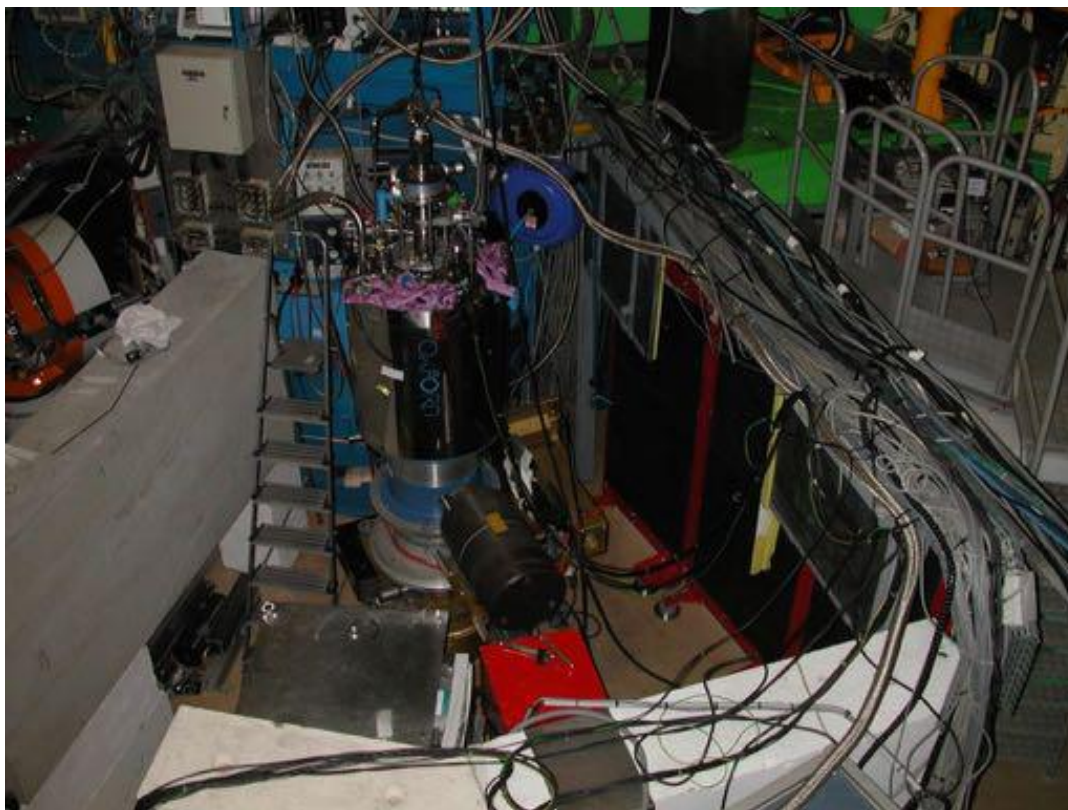


Notre maison...



Un nouveau bébé, ça change la vie...

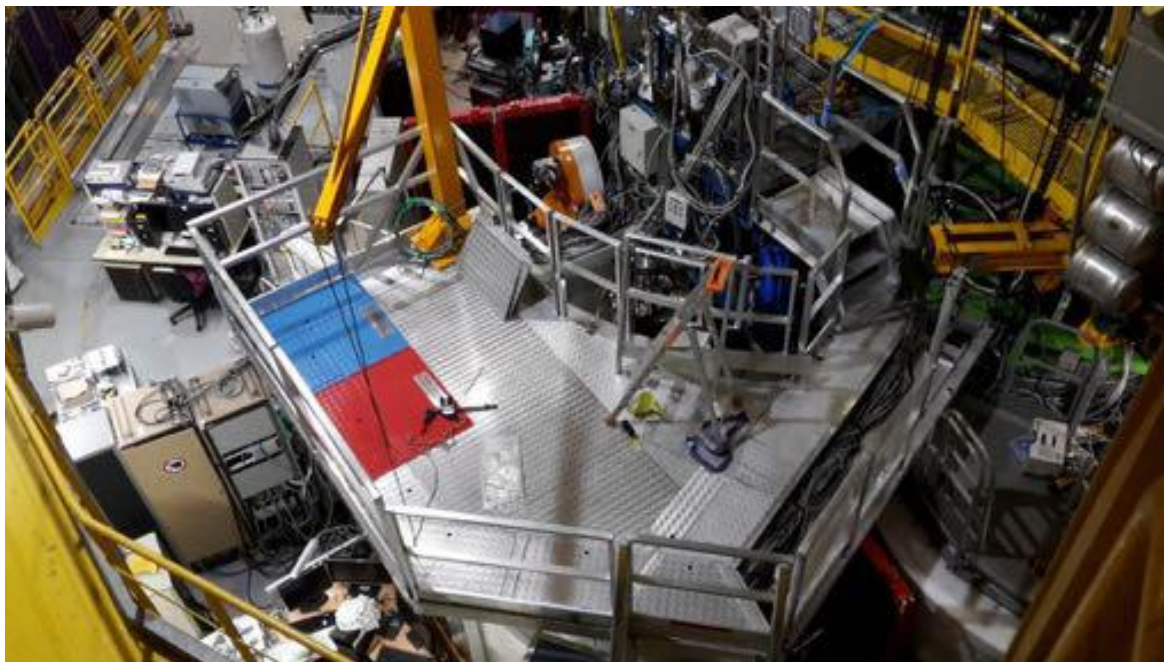
6T2 avant



6T2 maintenant

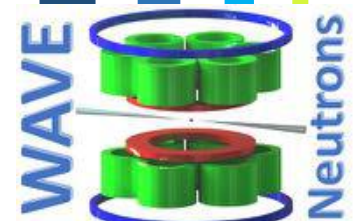
Merci les collègues !

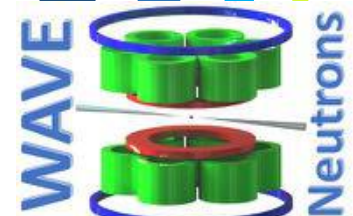
Un nouveau bébé, ça change la vie...



Quelques chiffres:

- 2,6 tonnes de matériel
- 10m<sup>3</sup>
- 450 km





## Caractéristiques de Wave :

2 têtes froides (1x100W@50K et 1x35W@50K+1,5W@4K)

Réglage échantillon XYZ + rotation 360°

Système de positionnement de la masse froide

Puit échantillon à l'ambient et traversant de diamètre 100 mm

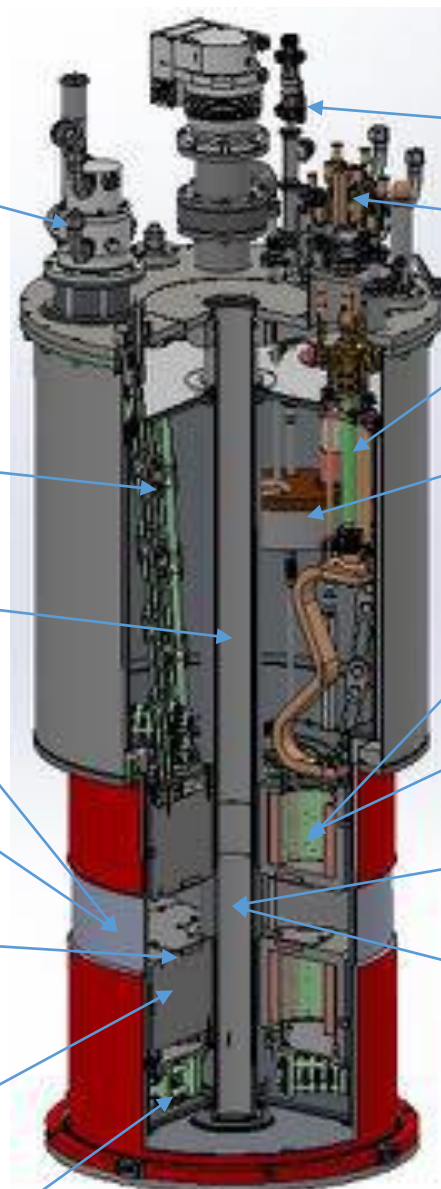
220° d'ouverture horizontale

20° d'ouverture verticale

Masse froide de 150 kg en aluminium  
Suspendue et réglable en position

Jusqu'à 40MPa de pression sur la masse froide pour un déplacement maximal de 0,3mm

Diodes de protection



Circuit He résistant à 8 bars

Piquage d'injection d'hélium liquide

Système antigivre

5 amenées de courant HTc (4x250A et 1x1000A)

Système de liquéfaction interne (1,5L He liquide)

16 bobines dont 2 pour le champ vertical et deux pour le blindage actif

Tolérances et position des bobines <1 mm

**1T dans toutes les directions dans une sphère de 5mm de rayon**

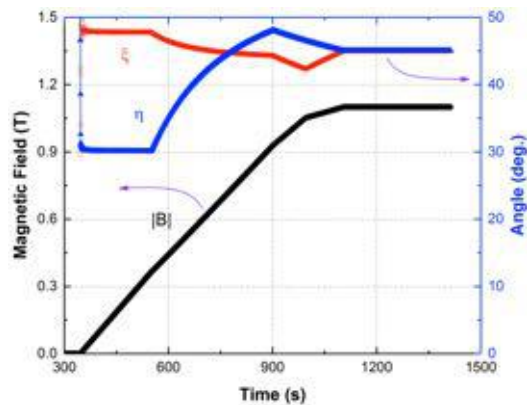
Régulation de la température échantillon de 6K à l'ambient (avec une tête froide 4K)

Déchargement de l'aimant en 200s sans quench

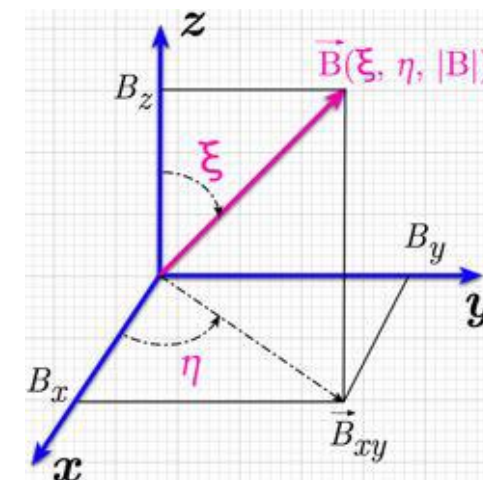
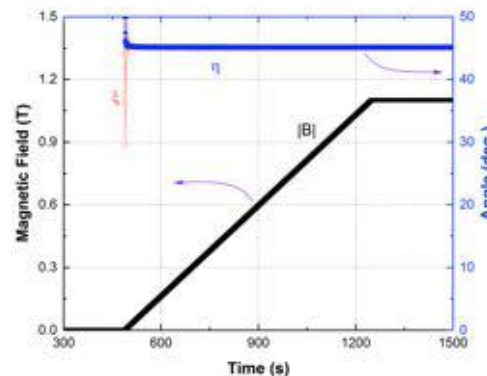
Vitesse attendue de 0,005 T/s

## Tests de Wave :

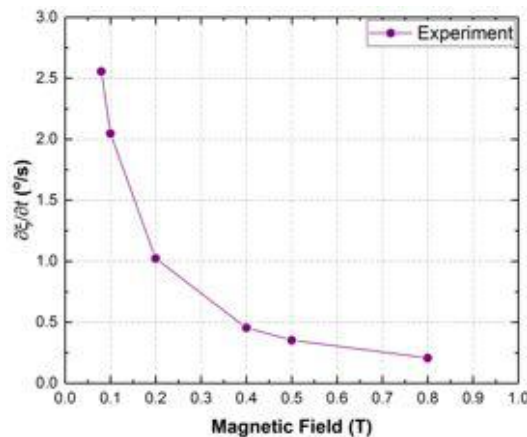
Rampe de champ pilotée :  
Commande B (45°, 45°, 1,1 T)



Nécessité de réguler  
informatiquement la  
montée de champ  
Rampe spécifique à  
chaque bobine  
0 -> 1,1T en 12,5 min

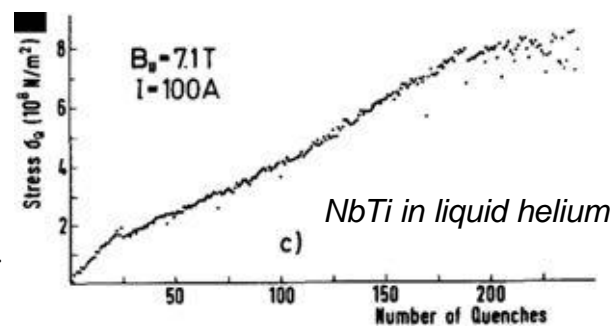


## Vitesse de rotation du champ :

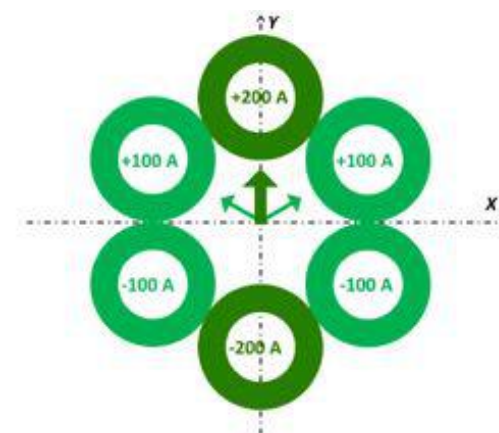


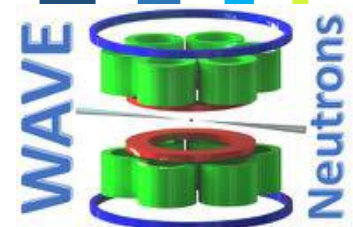
2,1°/s @ 0,1T  
0,3°/s @ 0,5T  
0,2°/s @ 0,8T  
0,1°/s @ 1T  
360° en 1h @1T

## Vitesses de montée: 0,5 à 0,9 A/s



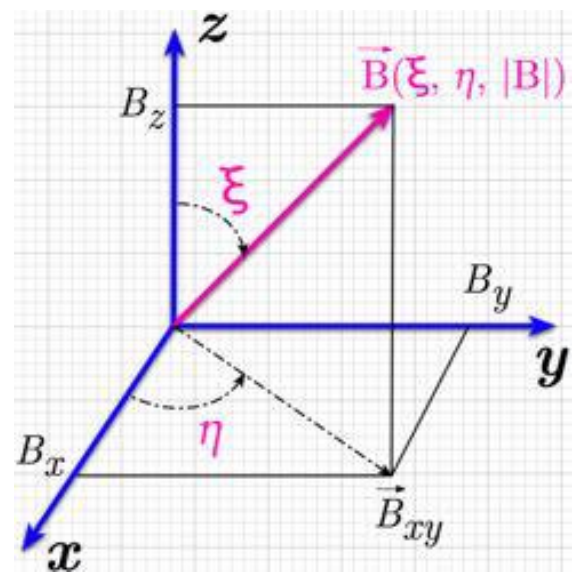
APL. 28, 463 (1976)



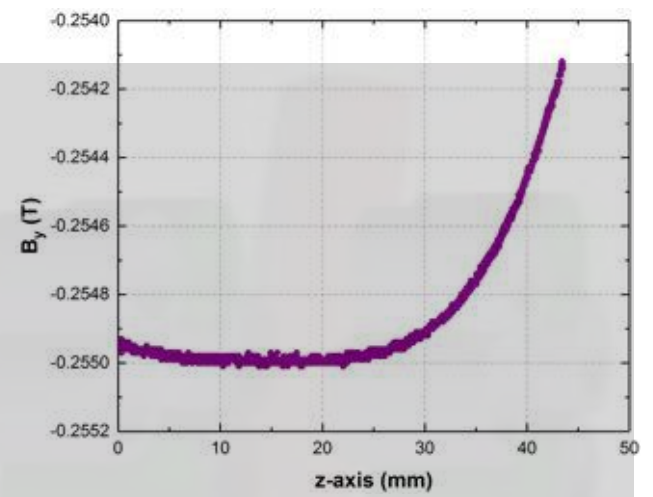
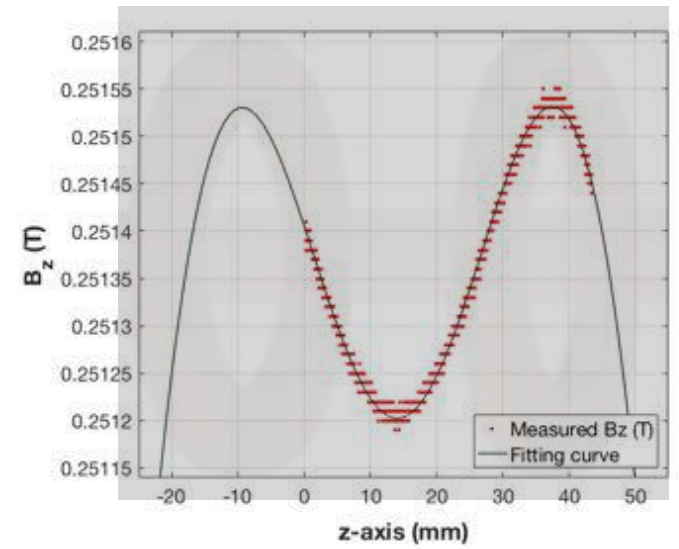
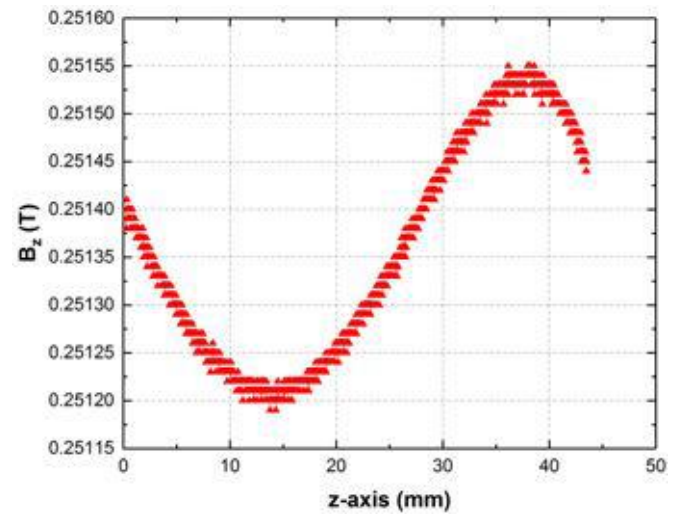


### Homogénéité:

Mesure de champ  $B_z$  le long de l'axe Z  
 Ecart sur une sphère de 10 mm de diamètre  
 0,00005T soit 0,5 gauss  
 1,3 Gauss sur une sphère de 20mm

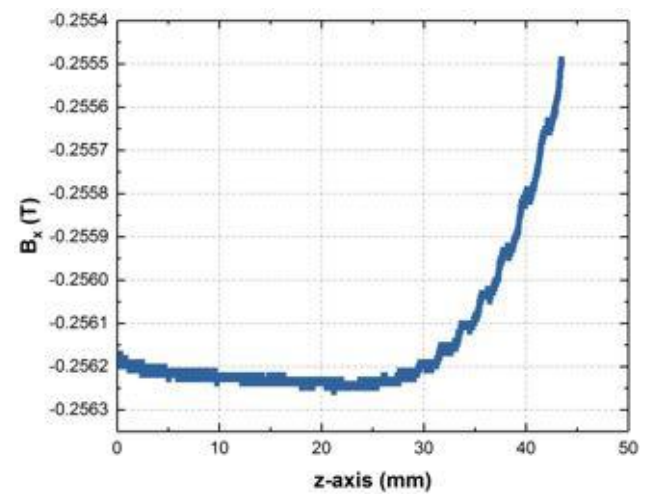


WAVE >  $B=(0, x, 0.25T)$



$B=(90, 90, 0.25T)$

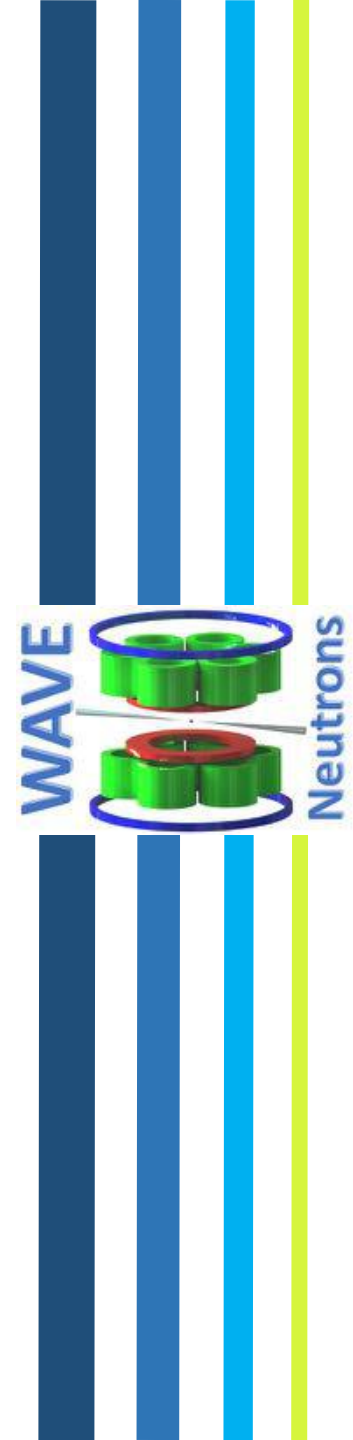
Mesure de champ  $B_y$  le long de l'axe Z  
 <0,1 Gauss/10mm et 0,2 Gauss/20mm



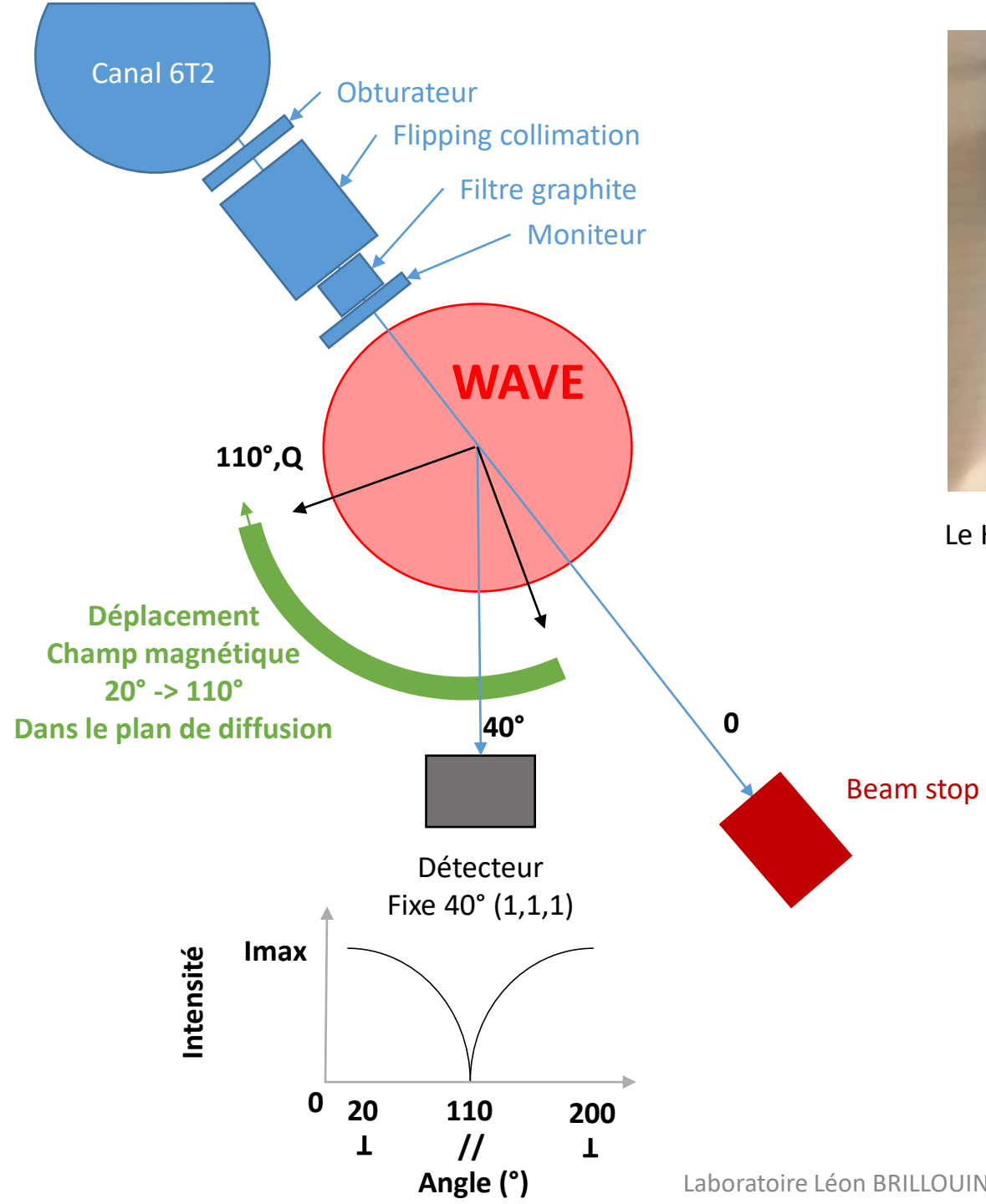
$B=(90, 0, 0.25T)$

Mesure de champ  $B_x$  le long de l'axe Z  
 0,2 Gauss/10mm -> 0,3 Gauss/20mm

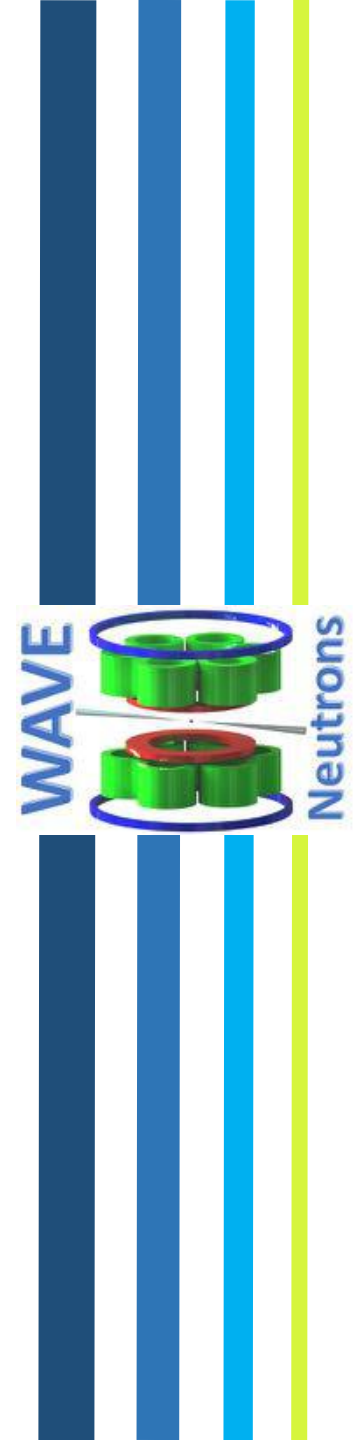
D. Nguyen-Ba, Homogeneity of Wave, LLB



Première fois...

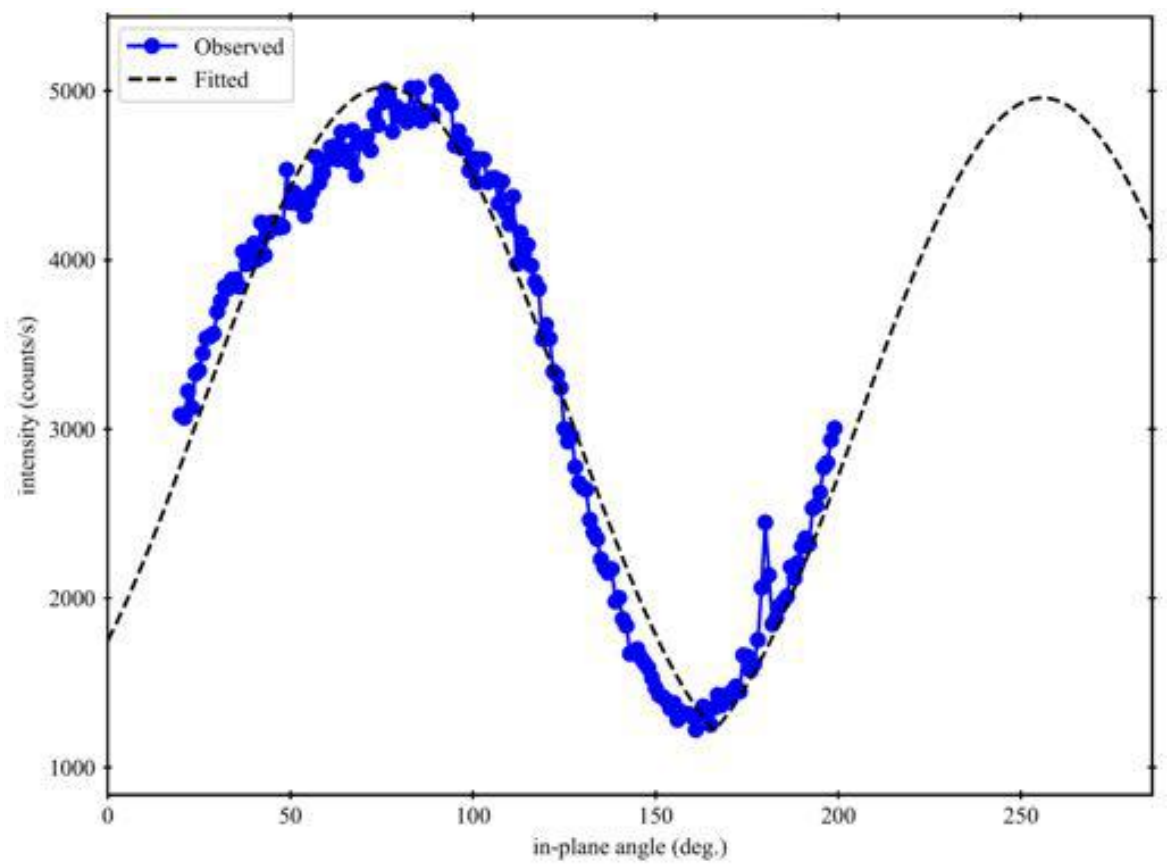


Le Heussler dans sa capuche



Première fois...

Courbe d'intensité dans le plan de diffusion de l'Heusler



Résultats des mesures préliminaires :

- Bonne superposition de la courbes observée et fittée
- Alignement du repère magnétique de Wave avec le repère physique du diffractomètre à faire au prochain run
- Comportement attendu de l'aimant observé

**Prochaine campagne de caractérisation en janvier 2019  
puis ouverture aux utilisateurs**

	Attendu	Mesuré
Intensité max	20°	70°
Intensité min	110°	160°
Delta	90°	90°

Première fois...

Jeudi 6 décembre 2018  
Première mise en place complète et  
premier passage de Wave dans le faisceau



## Retour d'expérience et axes d'évolution...



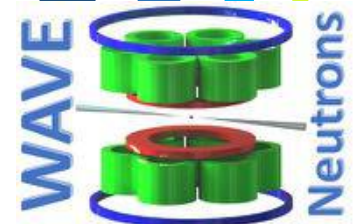
Wave fonctionne et les premières mesures dans le faisceau réussies !  
Mise en place réussie, tout s'emboîte comme prévu !  
Durée d'installation prévue respectée  
Refroidissement échantillon fonctionnel  
Programme de pilotage fonctionne  
Intégration du programme dans Pingouin réussie



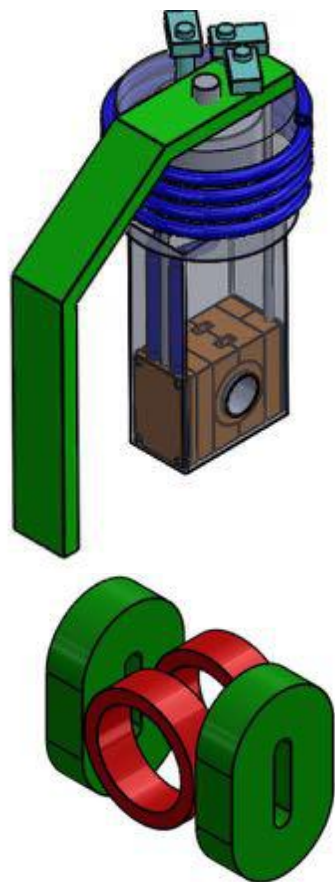
Problèmes électroniques (rotations  $\omega$  et  $\varphi$ )  
Mise en place délicate  
Bug de la régulation Lakeshore → Quenches  
Temps faisceau trop court  
Translation pas assez rapide  
Réglage en hauteur



Régler les problèmes électroniques (déplacements de Wave)  
Faire évoluer un peu la supervision (enregistrement de data)  
Reprendre l'interface displex échantillon  
Optimiser le réglage en hauteur  
Optimiser le programme de pilotage  
Passer le vrai échantillon prévu : Ho<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>



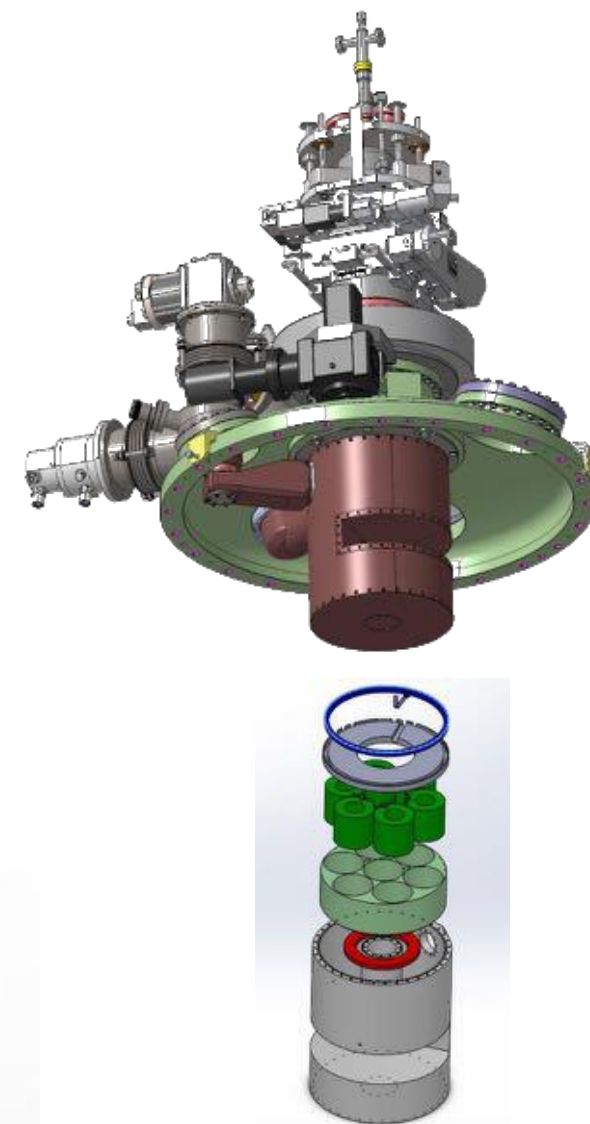
Wave family...



**Nano WAVE**  
HERMES, Synchrotron SOLEIL  
0,4T, 2D (h), 50A  
30x54,5x40 mm



**WAVE**  
6T2, Laboratoire Léon BRILLOUIN  
1T, 3D, 200A  
Diam 550x500 mm

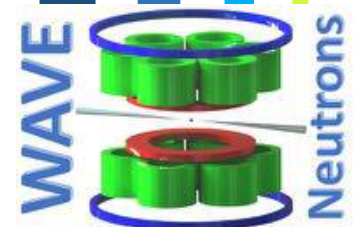


**WAVE Photon**  
SEXTANT, Synchrotron SOLEIL  
1T, 3D  
Brevet BD177525\_22786US

# WAVE



Laboratoire Léon BRILLOUIN - UMR12 - Thomas ROBILLARD



# WAVE

## Laboratoire Léon Brillouin (UMR 012 CEA/CNRS) :

A.M. Bataille, X. Fabreges, T. Robillard, P. Lavie, S. Klimko, J.L. Meuriot; Exil Gaston, F. Connego, W. Josse, D. Nguyen Ba (S. Gautrot, C. Meunier, J. Dupont, F. Legendre, P. Lambert, O. Tessier)

## IRFU :

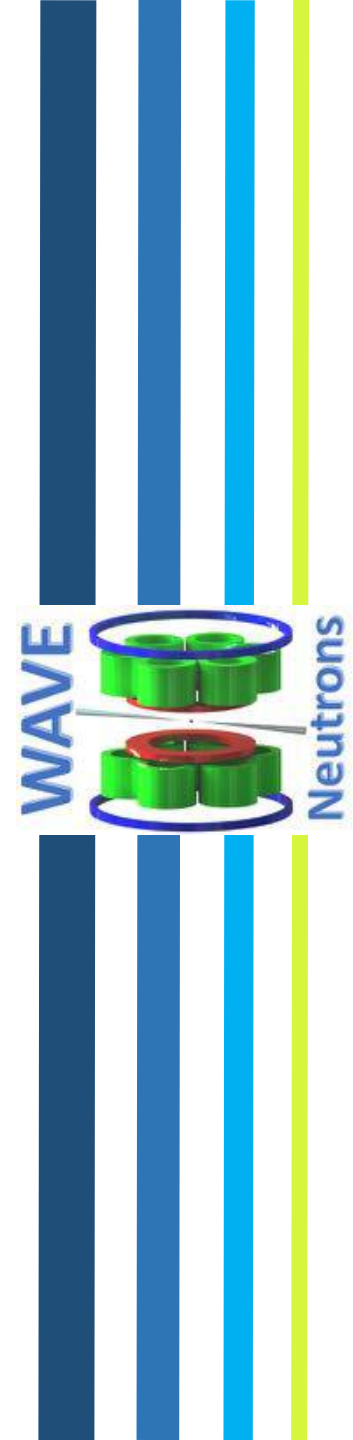
A. Daël, G. Aubert, C. Berriaud, P. Brédy, F. Nunio, A. Peugeot, J.M. Rifflet, F. Molinie D. Simon, A. Madur

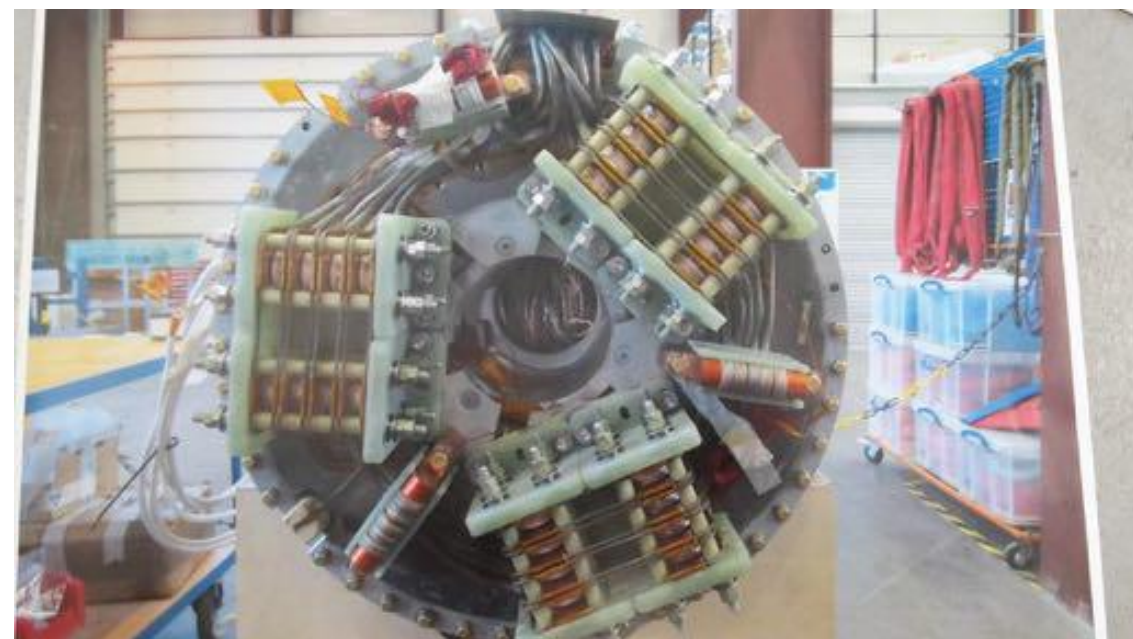
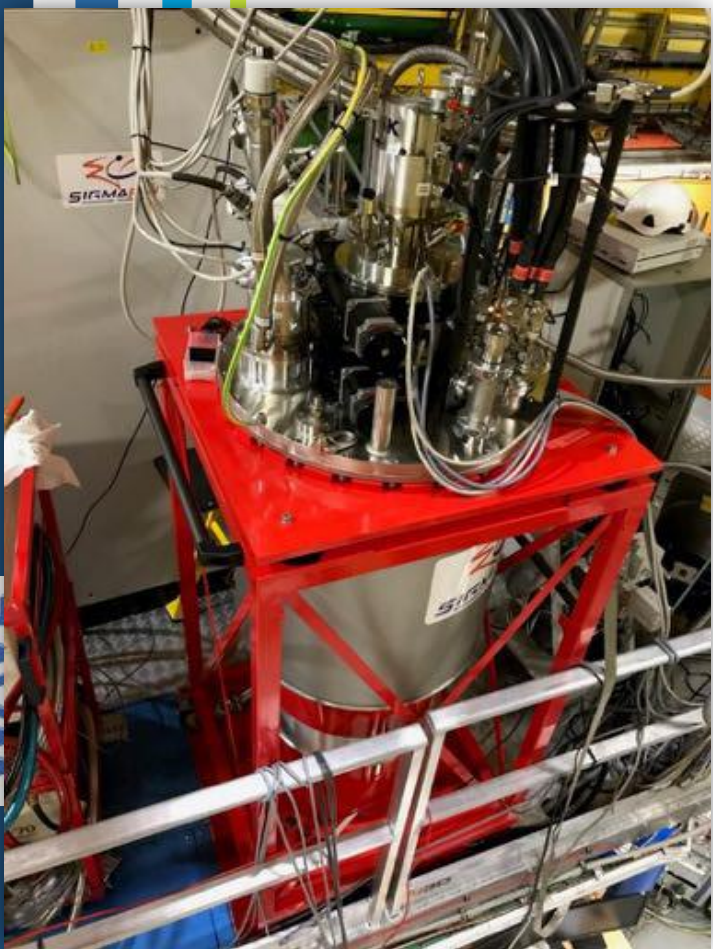
## SigmaPhi :

F. Forest, R. Pasquet, D. Ramauge, L. Belaina, N. Huttin, M. Delbecq

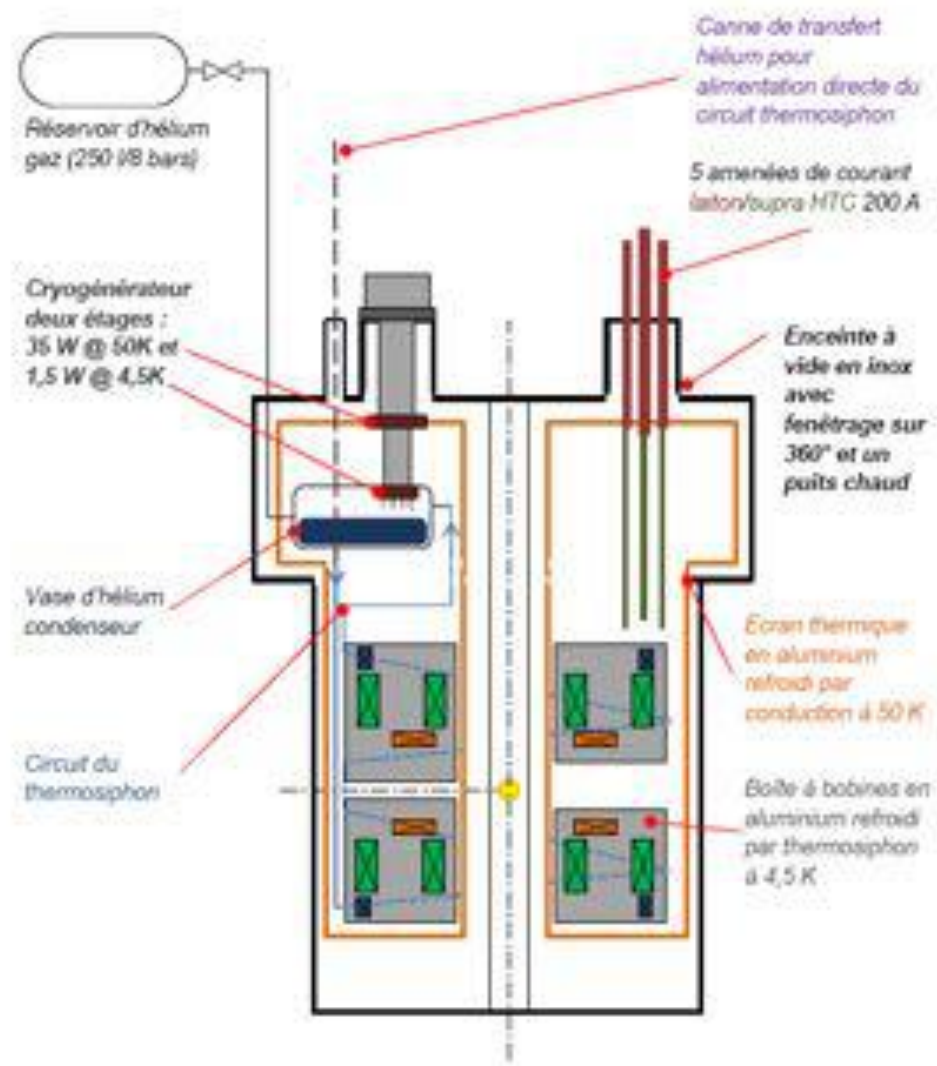
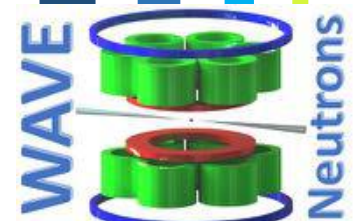
## ID3D :

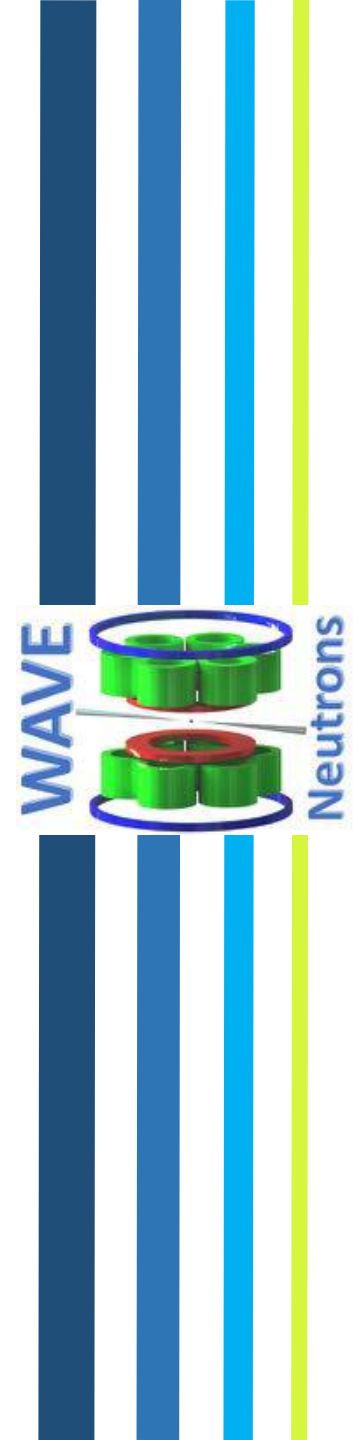
R. Chabrol, C. Michaud, M. Pralong, M. Delfosse



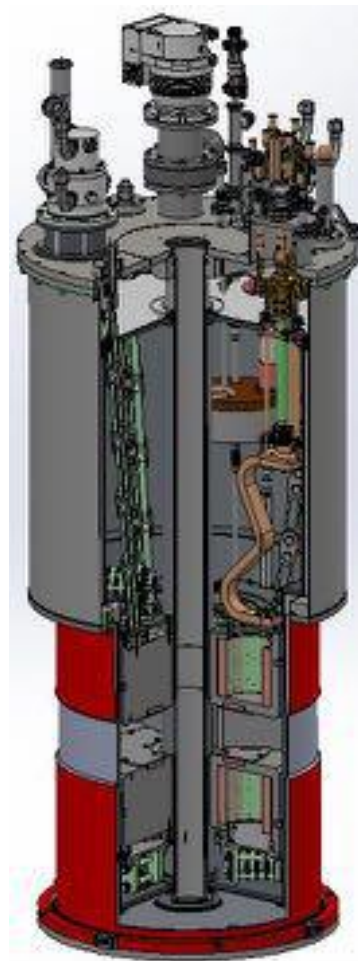
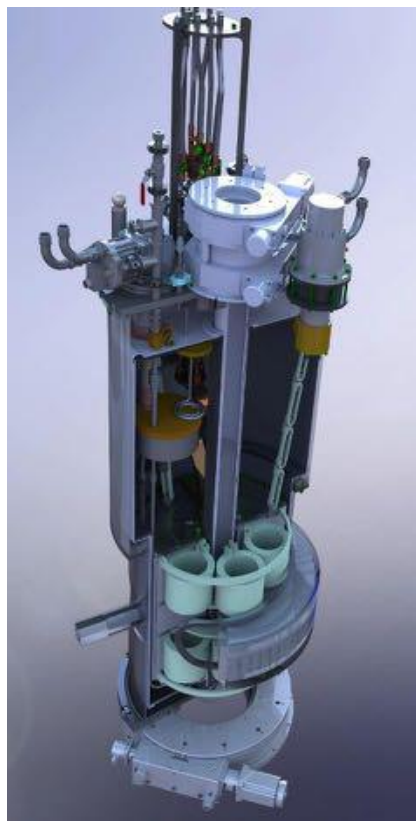


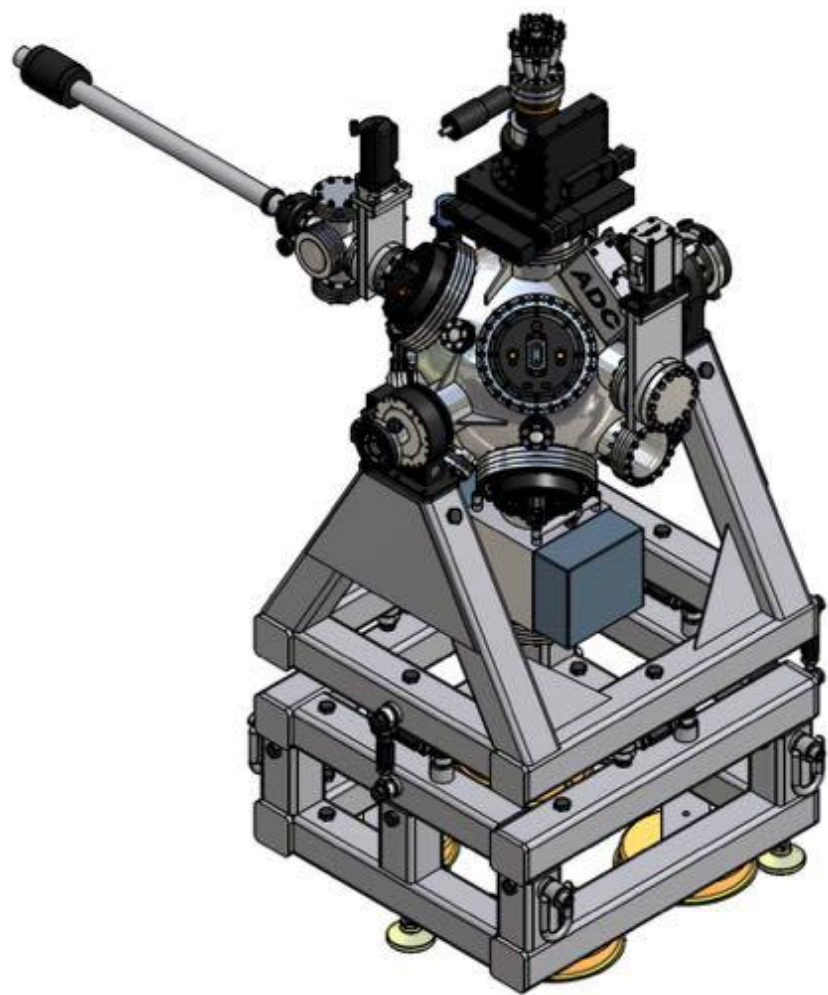
Cryogénie...





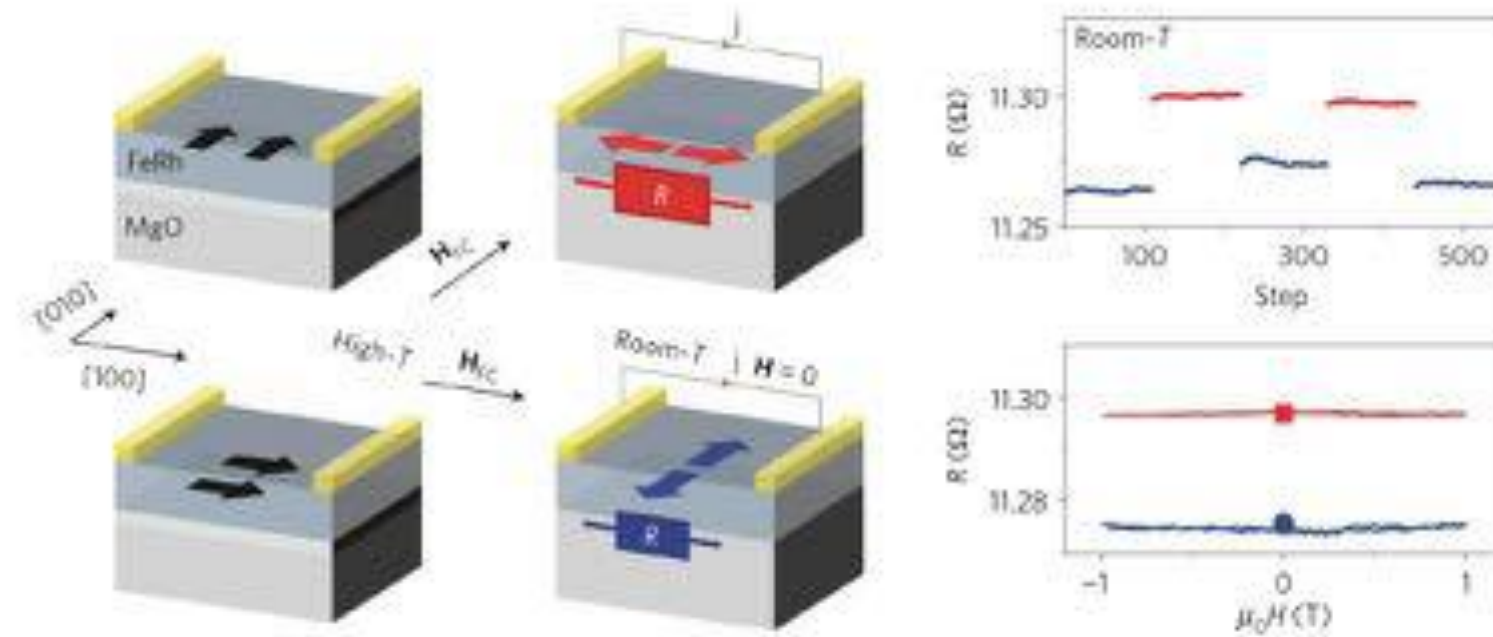
Genèse du projet...





# Quels problèmes de physique ?

- Electronique de spin à base de composés antiferromagnétiques.
- Ex: FeRh, qui présente une magnéto-résistance  $R(H)$  qui dépend de la direction de  $H$  !!

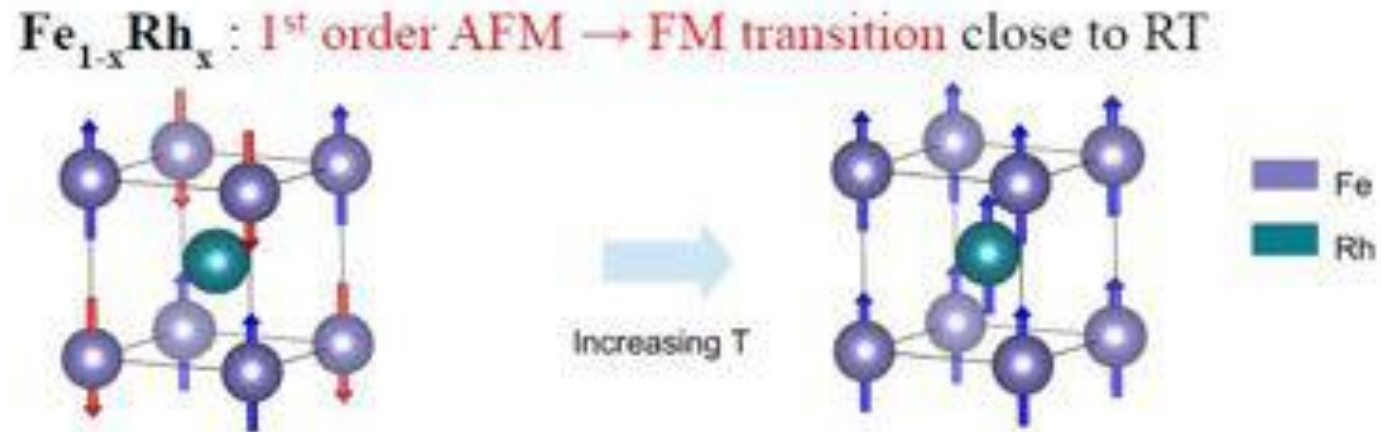


*Marti et al., Nat. Mat, 2014*

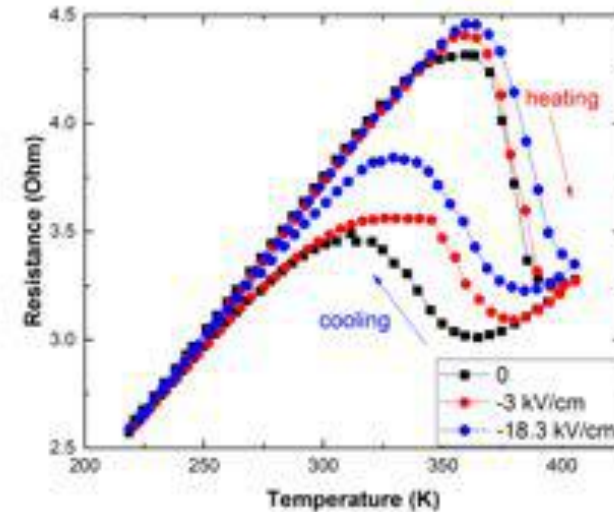
« Room-temperature antiferromagnetic memory resistor »

# Quels problèmes de physique ?

- En fait, il se produit une transition métamagnétique :

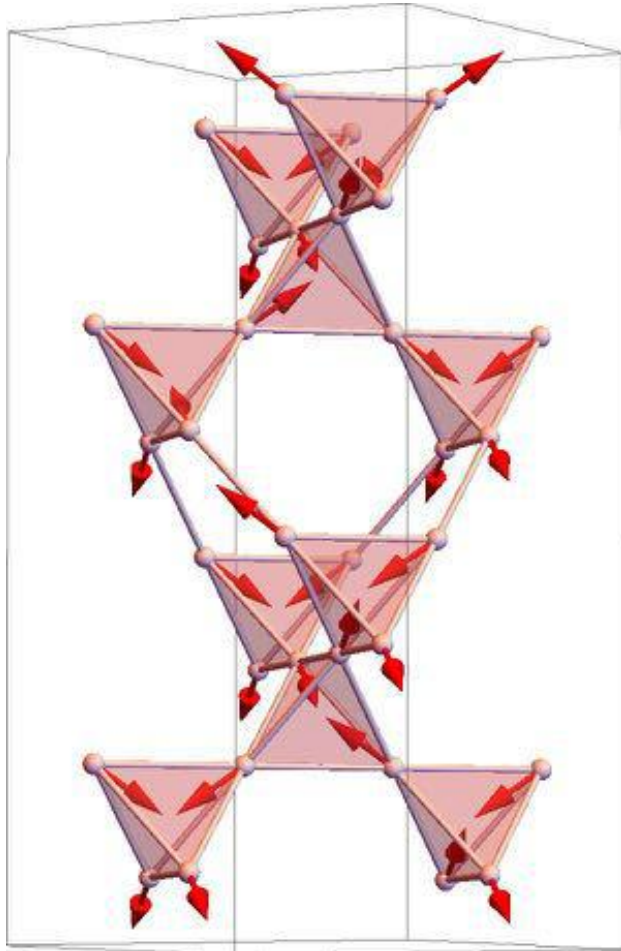


- But du truc : mieux étudier cette transition : comment dépend-elle de H ? De la direction de H ?
- Elle dépend aussi du champ électrique appliqué !
- Prochaines mesures sur Wave (Doan)

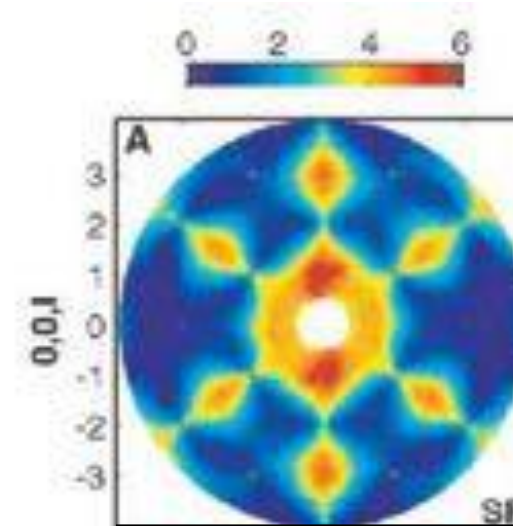
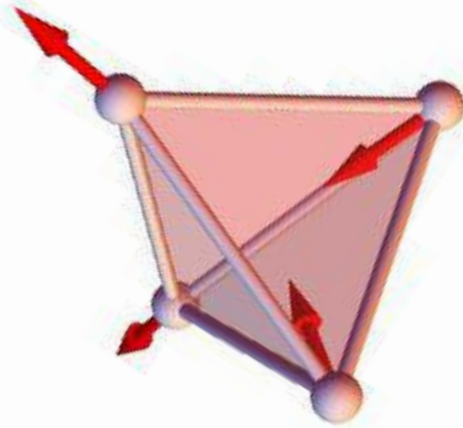


# Quels problèmes de physique ?

- Physique plus « fondamentale » : les glaces de spin ( $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ )



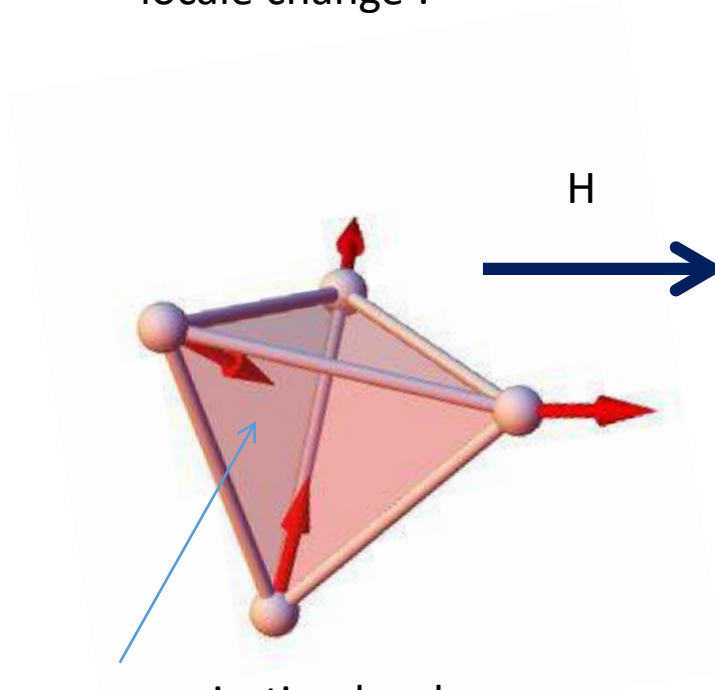
Pas d'ordre magnétique mais présence de diffusion diffuse traduisant une organisation locale « **2 in - 2 out** »



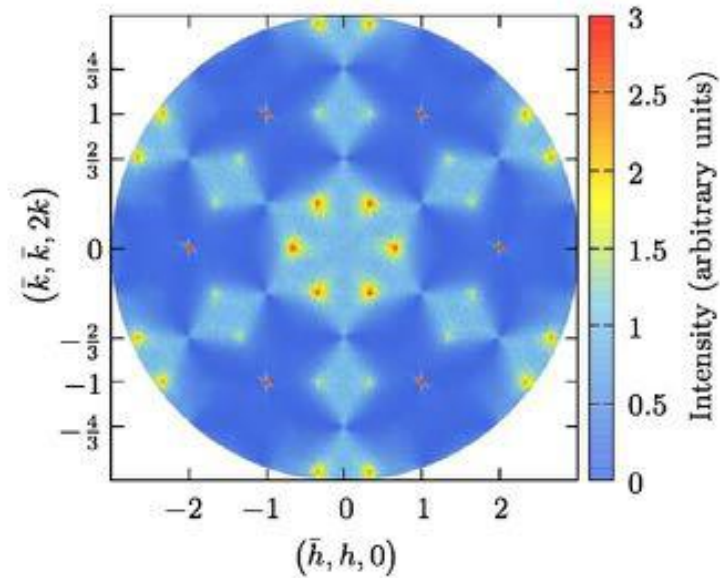
Tom Fennell, Science (2009)

# Quels problèmes de physique ?

- Si  $H < H_c$  ( $H_c=0.9$  T),  $H // [111]$ , l'organisation locale change :



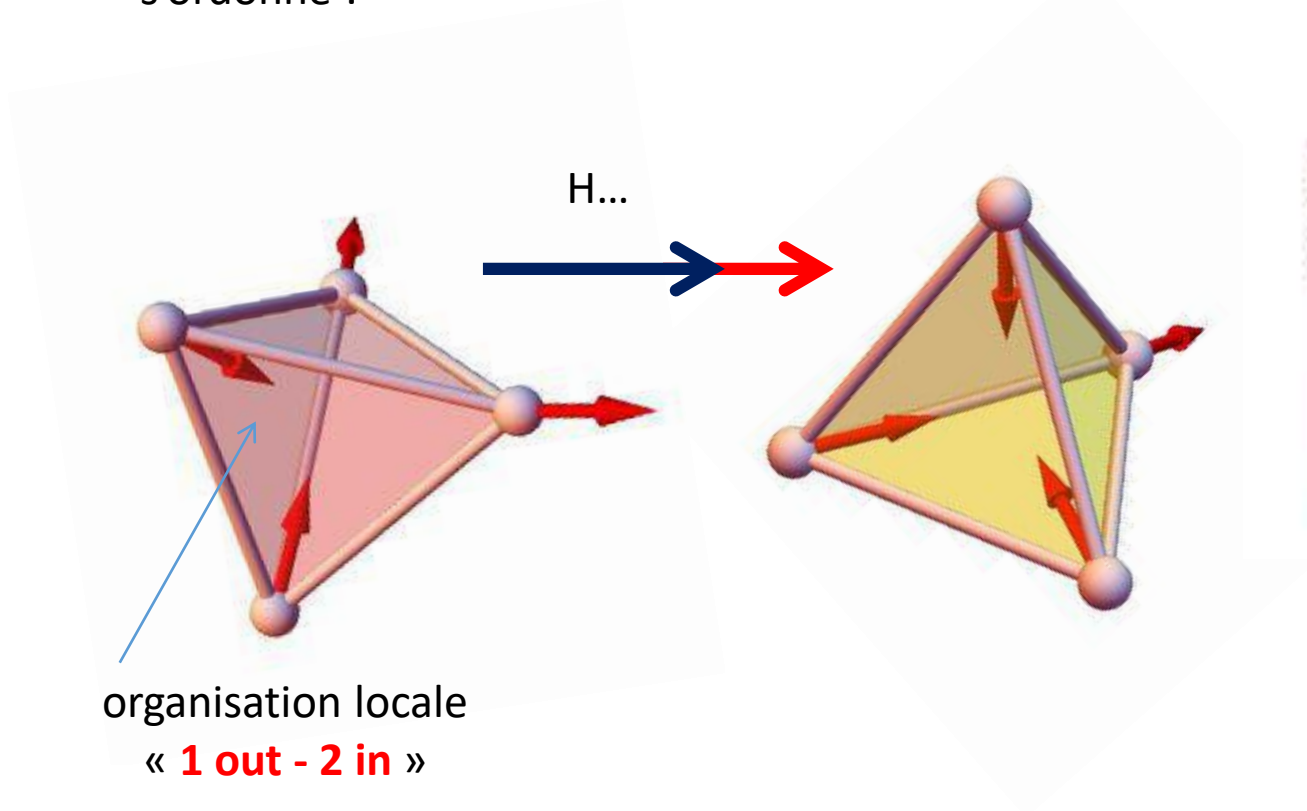
organisation locale  
« **1 out - 2 in** »



Phys. Rev. Lett. 79, 2554 (1997).

# Quels problèmes de physique ?

- Si  $H < H_c$  ( $H_c = 0.9 T$ ),  $H // [111]$ , le système s'ordonne :



- Un léger tilt en dehors de  $[111]$  induit une transition topologique (« Kasteleyn »)

