

Concours de l'agrégation externe spéciale

Physique-chimie
option physique

Mise en perspective didactique d'un dossier de recherche



Parcours de formation à et par la recherche



CPGE MPSI/MP

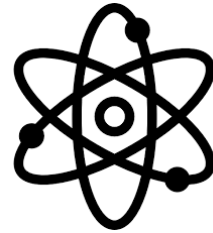
*Lycée La Pérouse-Kérichen Brest -
2013-2015*

Magistère de physique fondamentale

Orsay - 2015-2018

Master ICFP Parcours Matière Condensée

ENS Paris-Saclay - 2018



Stage de licence

CSNSM - Orsay - 6 semaines

Stage de master 1

*Université de Mc Master -
Canada – 3 mois*

Stage de master 2

LPS – Orsay – 3 mois



Thèse de physique

*Etude par Résonance
Magnétique Nucléaire du
magnétisme quantique
dans les composés
kagomé barlowite et
claringbullite substitués au
zinc*

dirigée par le Pr. F. Bert

soutenue le 2 Décembre 2021

*Laboratoire de Physique des
Solides*

« Etude par **Résonance Magnétique Nucléaire** du **magnétisme** quantique

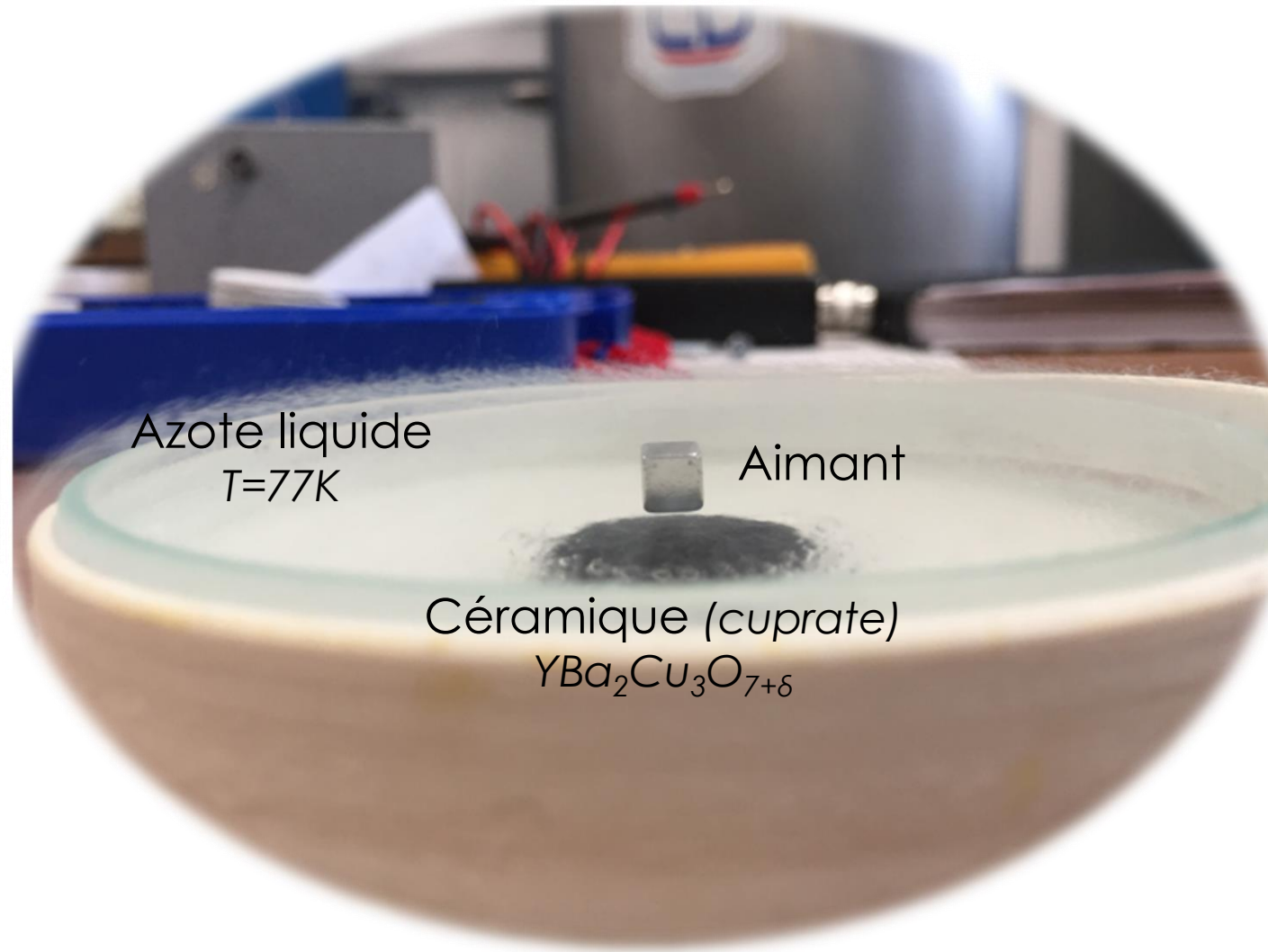
« Etude par **Résonance Magnétique Nucléaire**

du **magnétisme** quantique

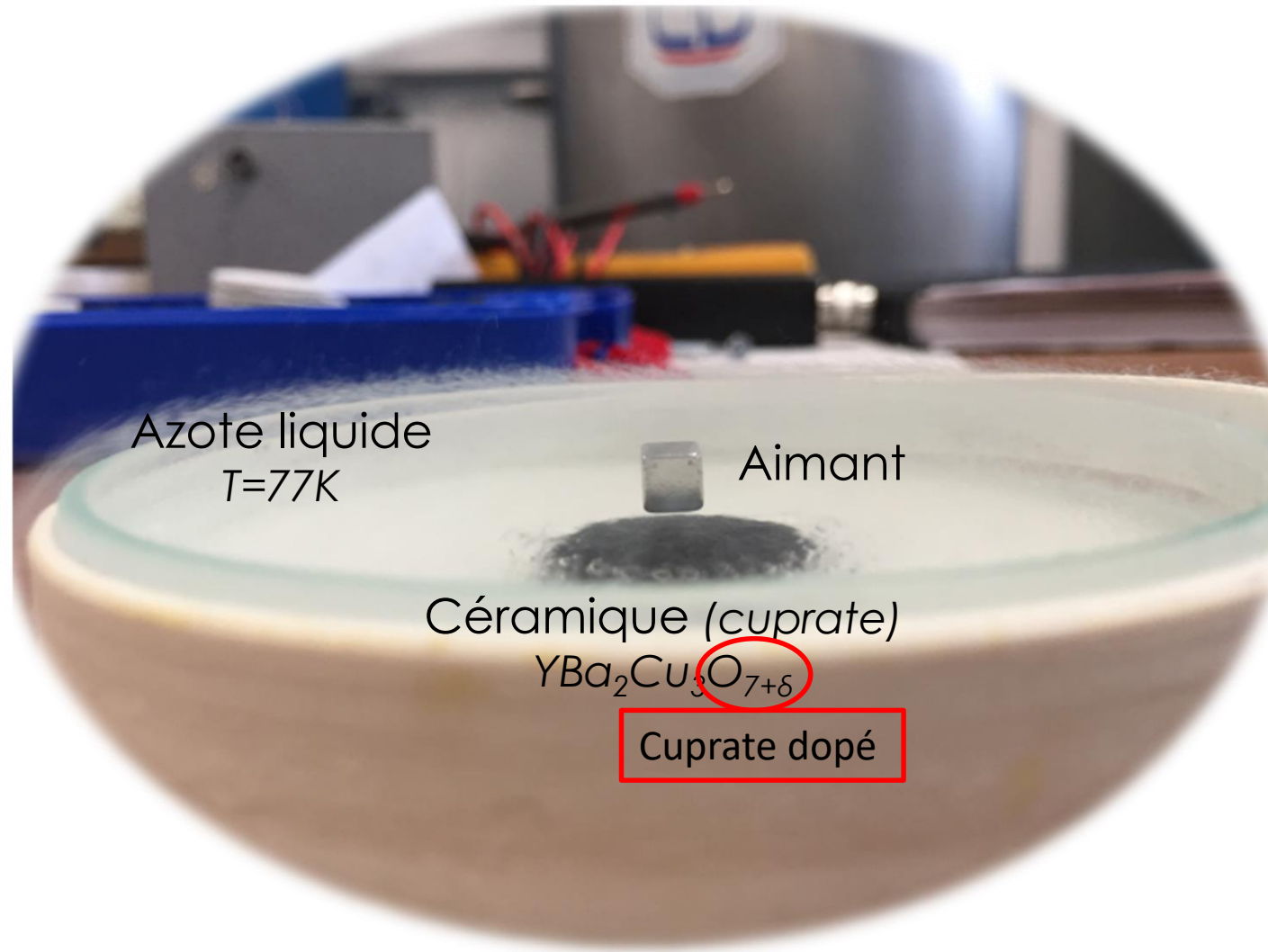
dans les composés **kagomé barlowite** et claringbullite

substitués au zinc »

Introduction au magnétisme quantique

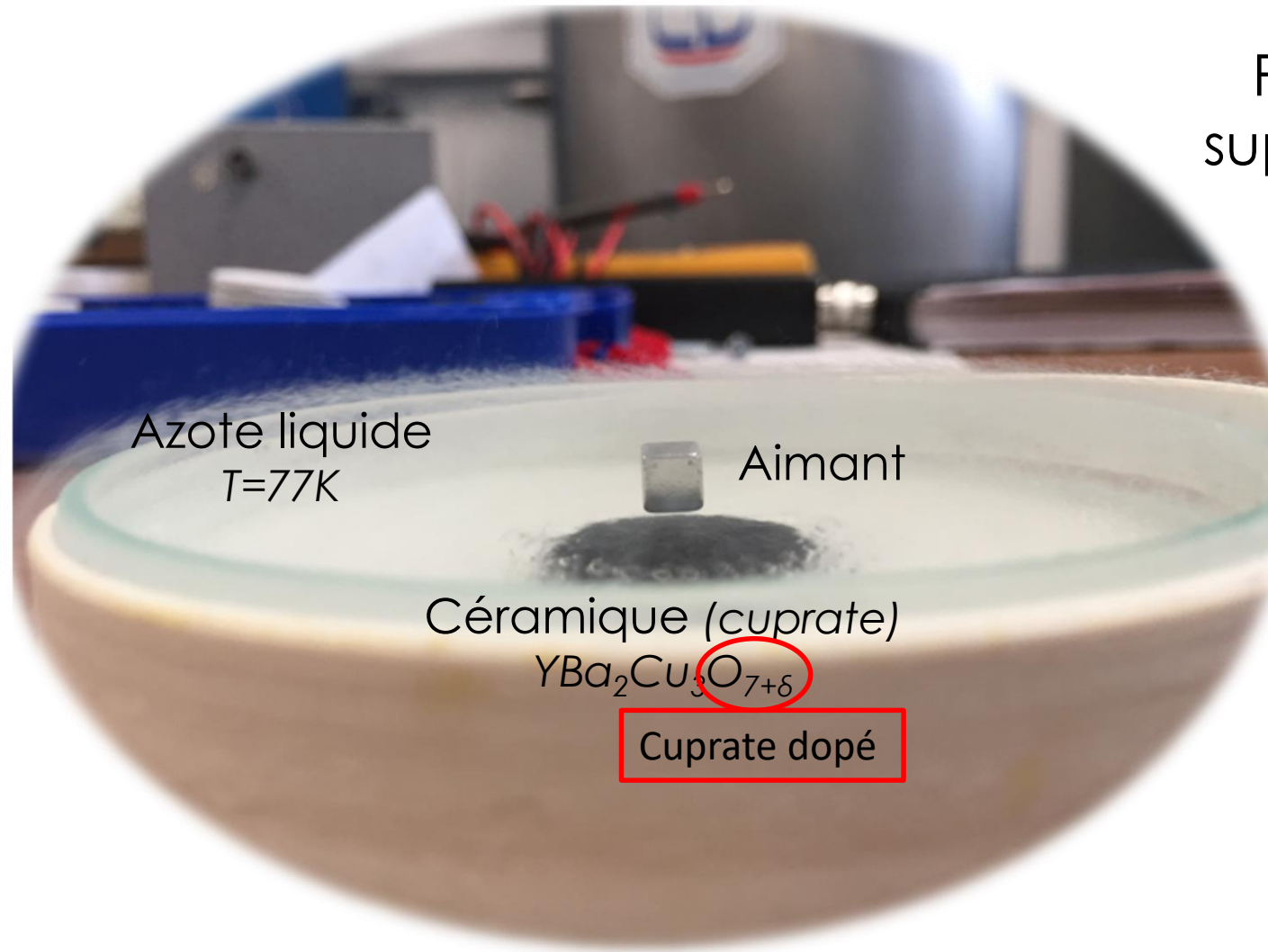


Introduction au magnétisme quantique

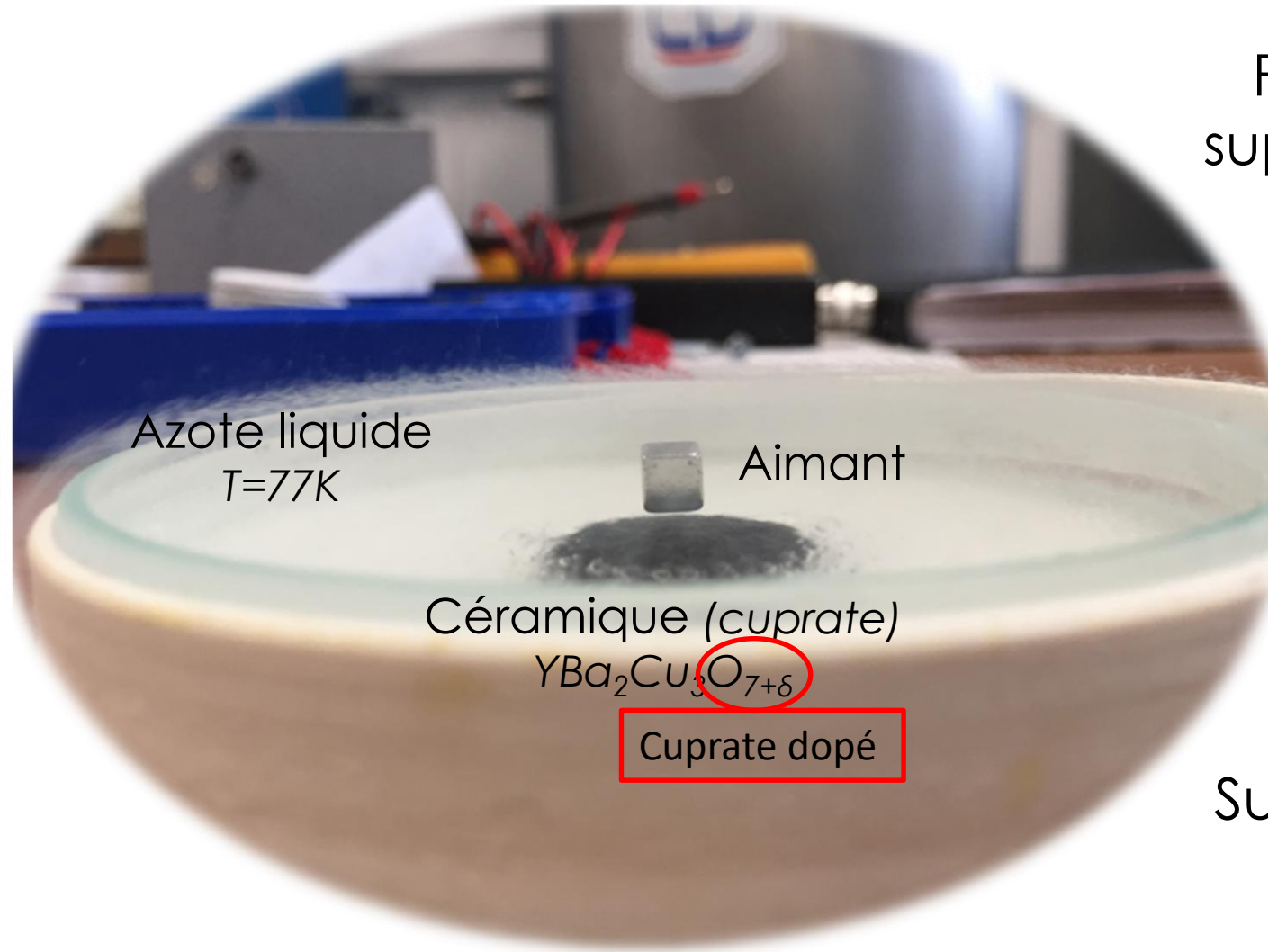


Introduction au magnétisme quantique

Pourquoi est-ce
supraconducteur ?



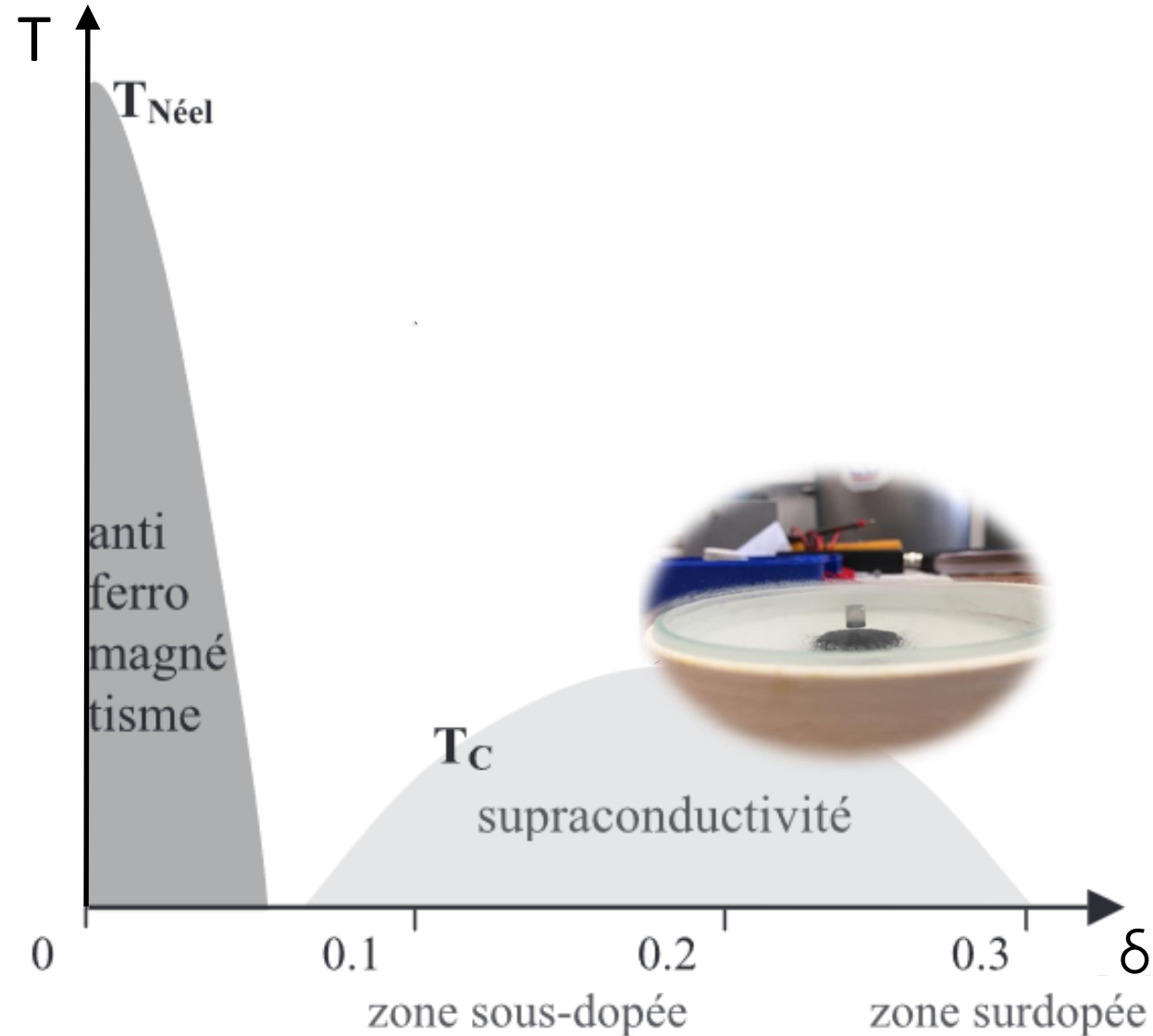
Introduction au magnétisme quantique



Pourquoi est-ce
supraconducteur ?

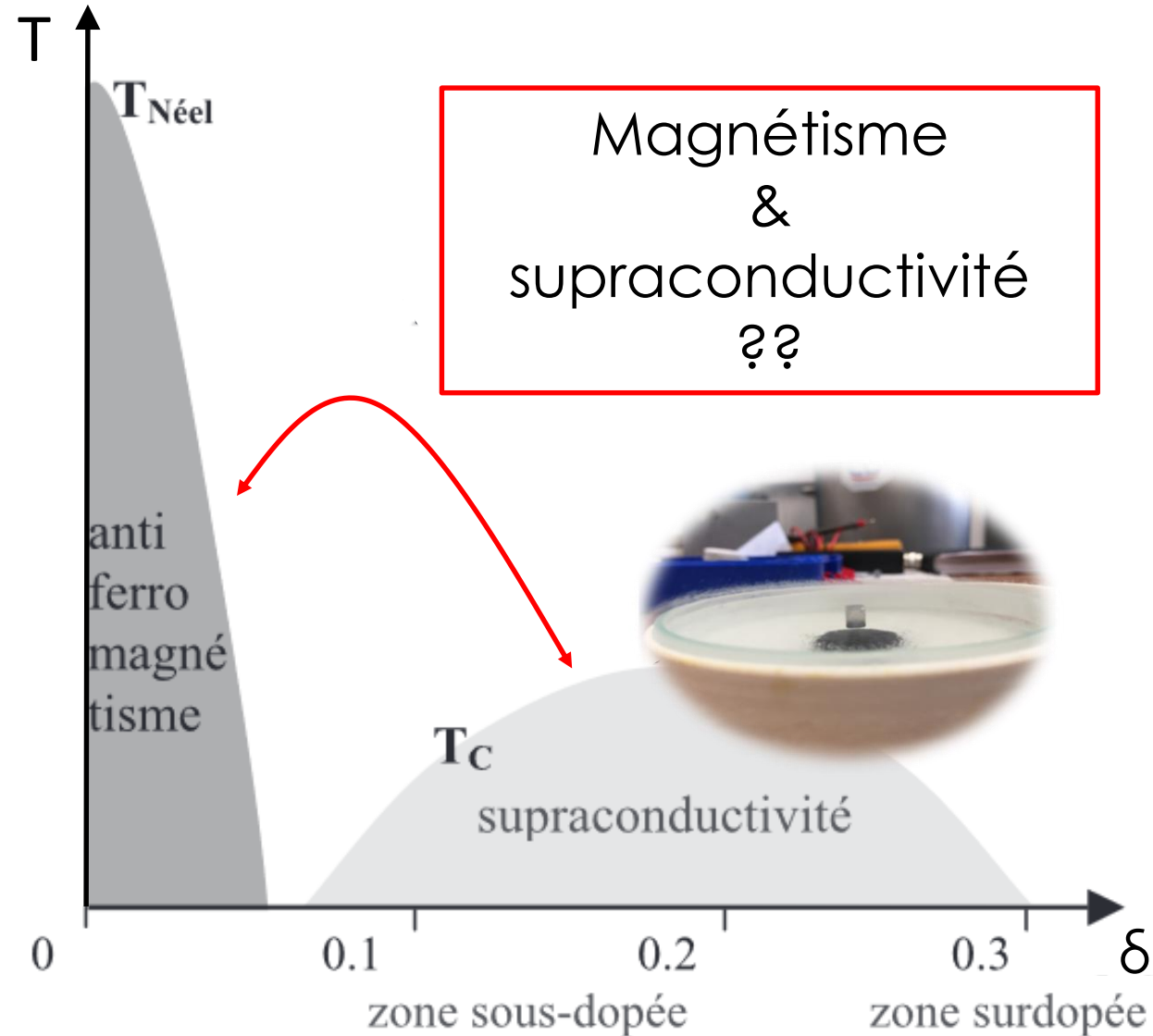
Supraconductivité
à température
ambiante ?

Introduction au magnétisme quantique



Credits : HDR Julien Bobroff

Introduction au magnétisme quantique

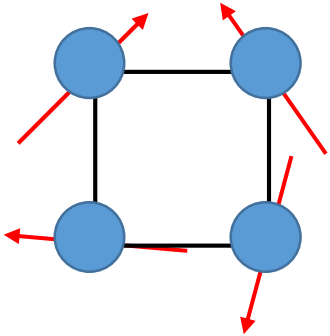


Credits : HDR Julien Bobroff

Introduction au magnétisme quantique

$$E_{mag} = -J \sum_{(i,j)} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

Etat paramagnétique
à haute température

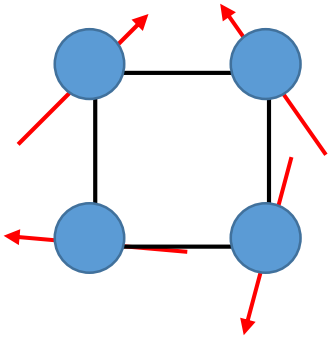


Spins orientés
aléatoirement

Introduction au magnétisme quantique

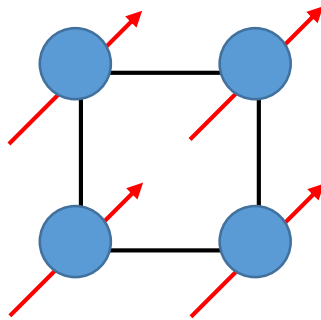
$$E_{mag} = -J \sum_{(i,j)} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

Etat paramagnétique
à haute température



Spins orientés
aléatoirement

$J > 0$: état fondamental
ferromagnétique

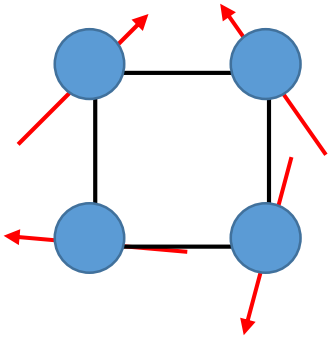


Spins alignés pour minimiser
l'énergie

Introduction au magnétisme quantique

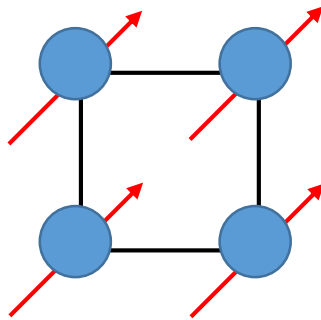
$$E_{mag} = -J \sum_{(i,j)} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

Etat paramagnétique
à haute température



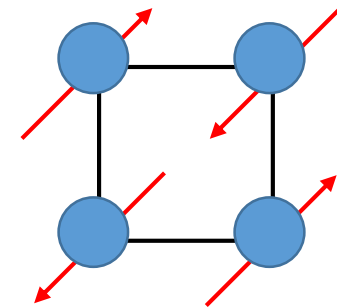
Spins orientés
aléatoirement

$J > 0$: état fondamental
ferromagnétique



Spins alignés pour minimiser
l'énergie

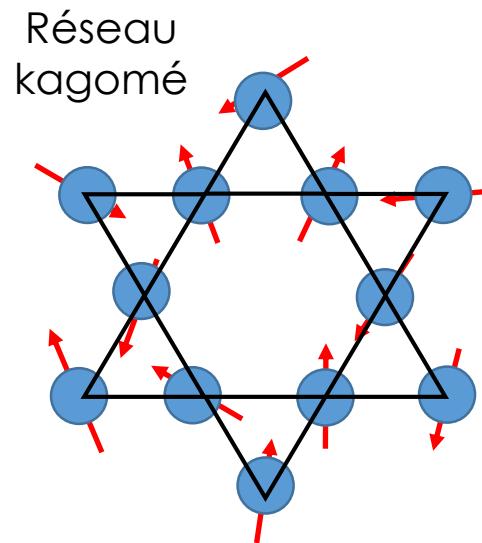
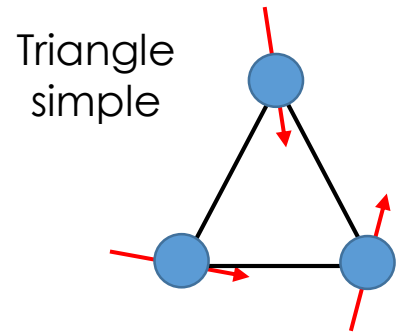
$J < 0$: état fondamental
antiferromagnétique



Spins anti-alignés pour minimiser
l'énergie

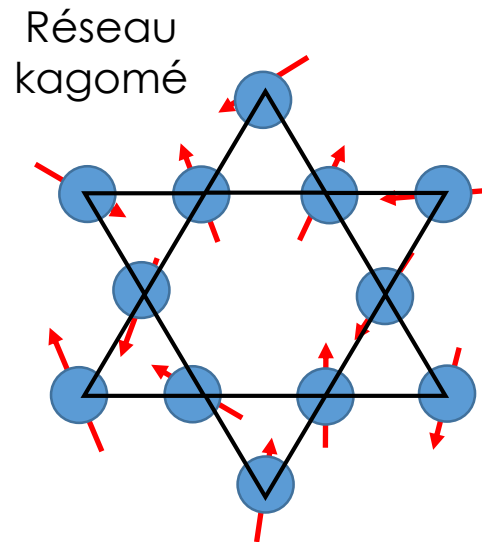
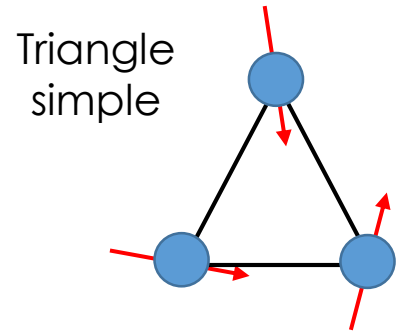
Phénomène de frustration magnétique

Etat paramagnétique
à haute température

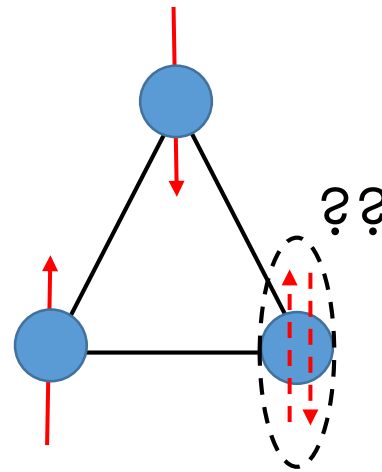


Phénomène de frustration magnétique

Etat paramagnétique
à haute température



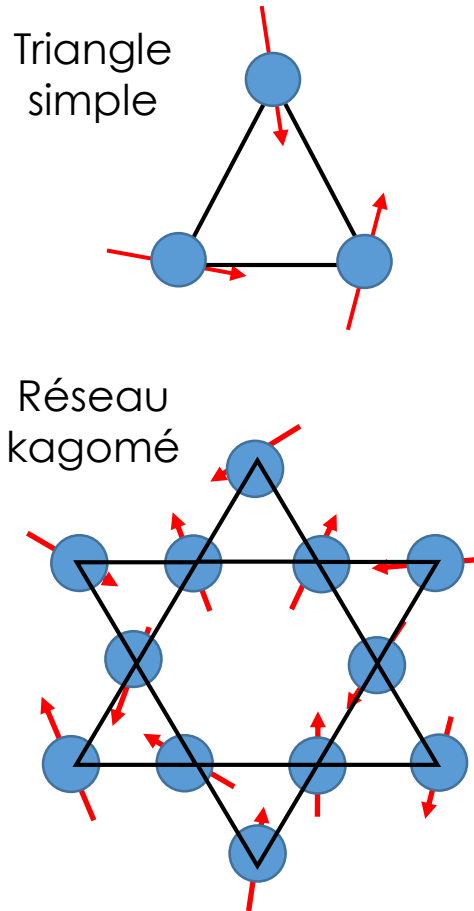
Quel état fondamental ?



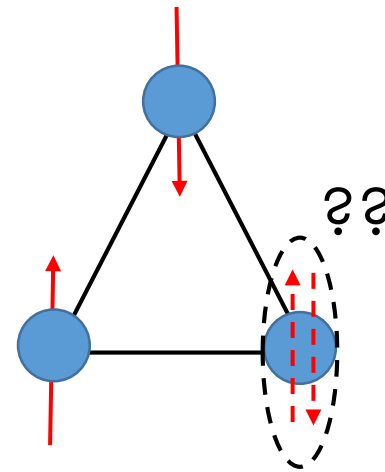
« Frustration »
magnétique

Phénomène de frustration magnétique

Etat paramagnétique
à haute température

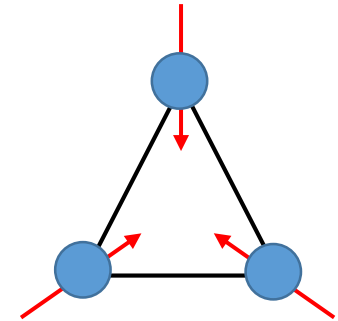


Quel état fondamental ?



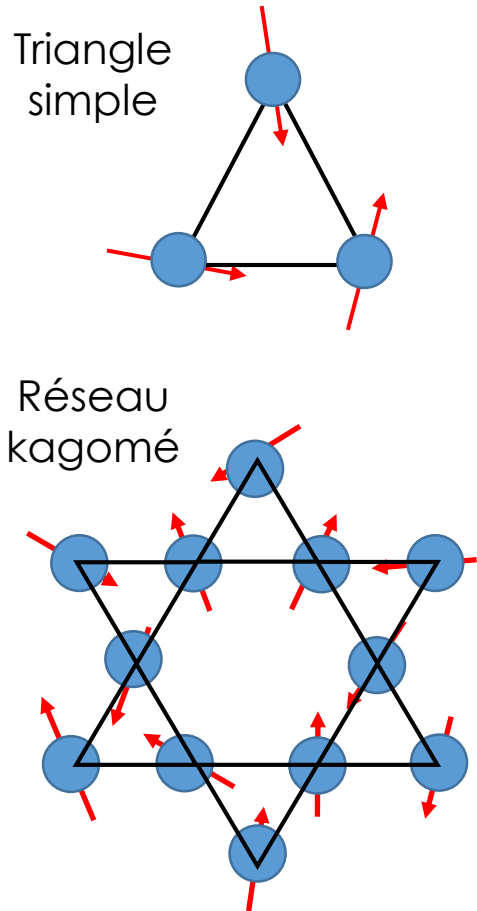
« Frustration »
magnétique

Etat fondamental



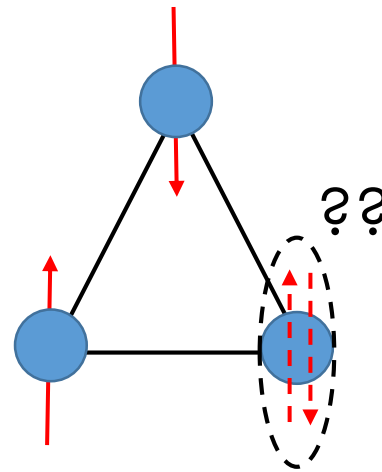
Phénomène de frustration magnétique

Etat paramagnétique
à haute température



12/06/2023

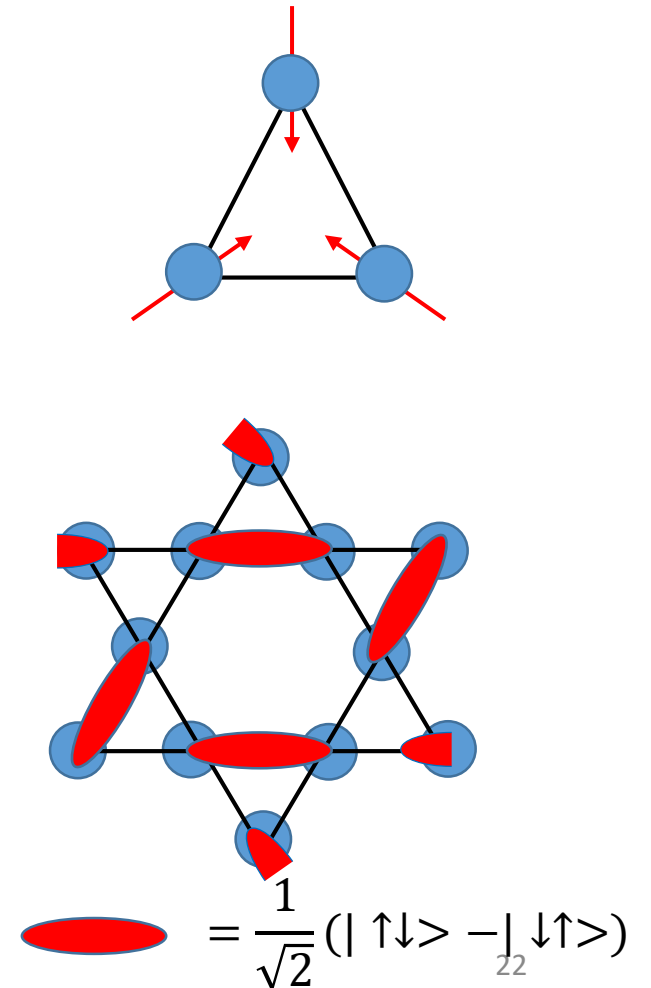
Quel état fondamental ?



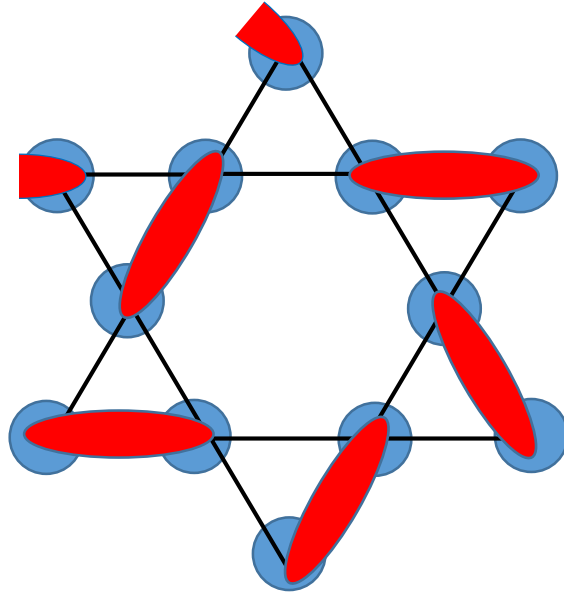
« Frustration »
magnétique

BLP - Concours de l'agrégation externe spéciale 2023

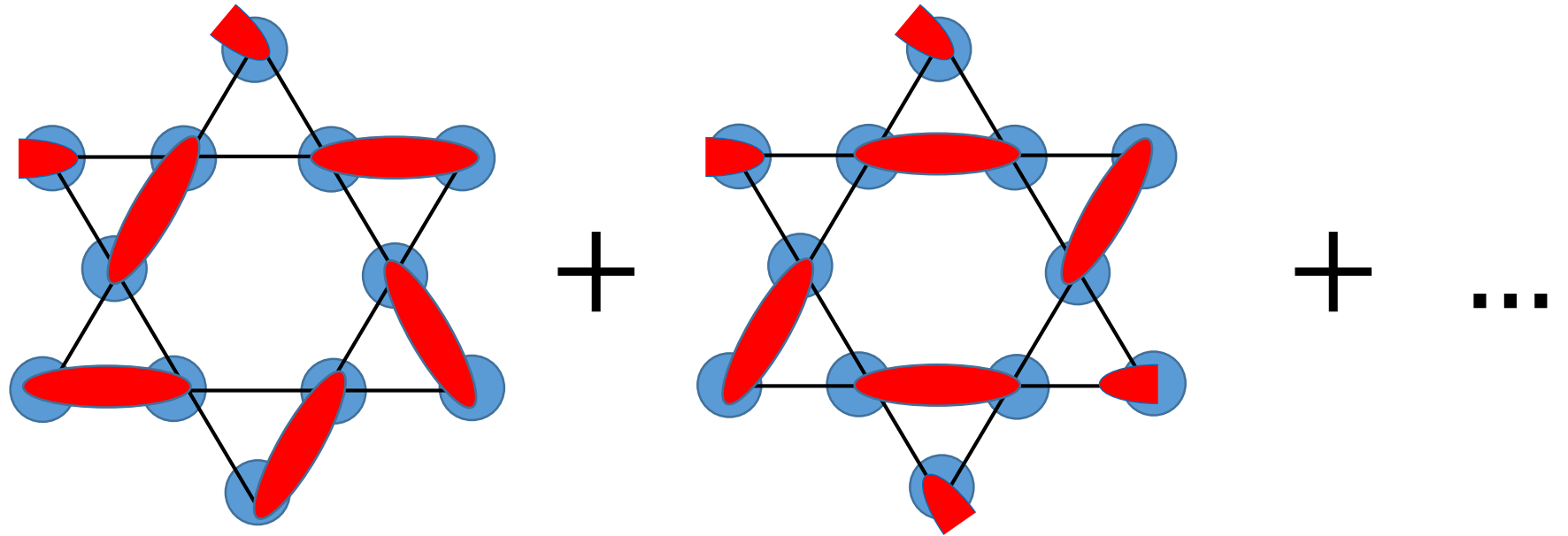
Etat fondamental



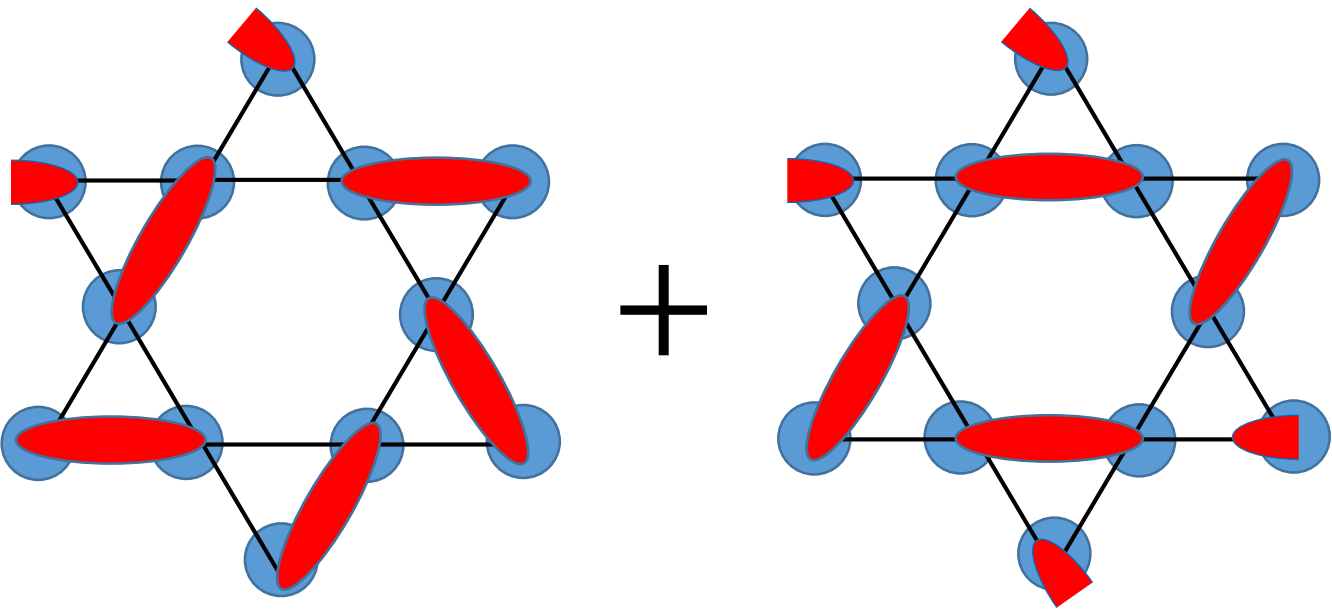
Liquide de Spins Quantiques (LSQ)



Liquide de Spins Quantiques (LSQ)

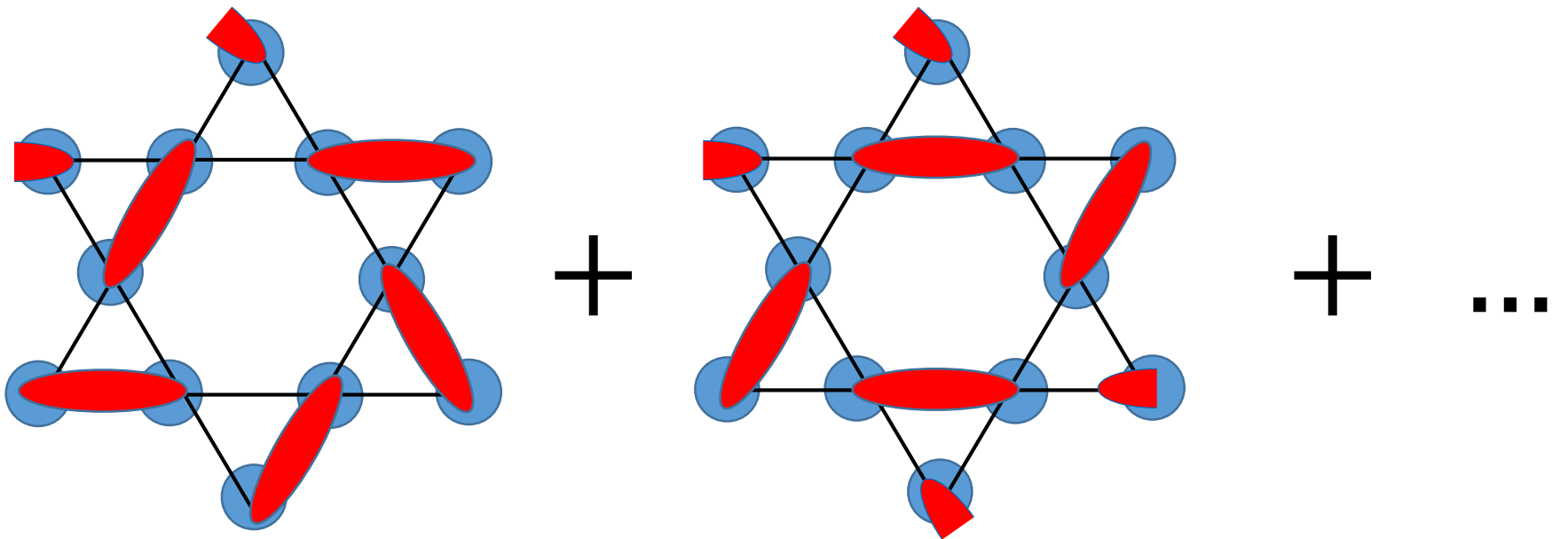


Liquide de Spins Quantiques (LSQ)

$$|LSQ\rangle =$$


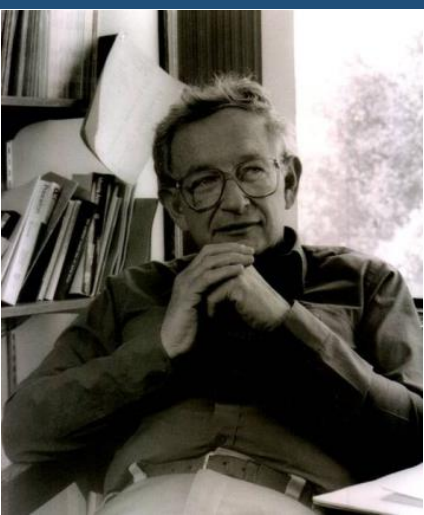
The diagram illustrates the concept of a Quantum Spin Liquid (LSQ) as a superposition of different spin configurations. It features two identical triangular lattices, each composed of 12 blue circular nodes and 18 black connecting lines. Red ellipses represent spin excitations or dimerizations between specific nodes. In the first lattice, red ellipses are located on the horizontal edges of the top and bottom triangles, and on the vertical edges of the middle triangle. In the second lattice, the red ellipses are shifted to different edges, representing an alternative spin configuration. The two lattices are separated by a plus sign, followed by another plus sign and an ellipsis (...), indicating that the LSQ state is a sum of many such configurations.

Liquide de Spins Quantiques (LSQ)

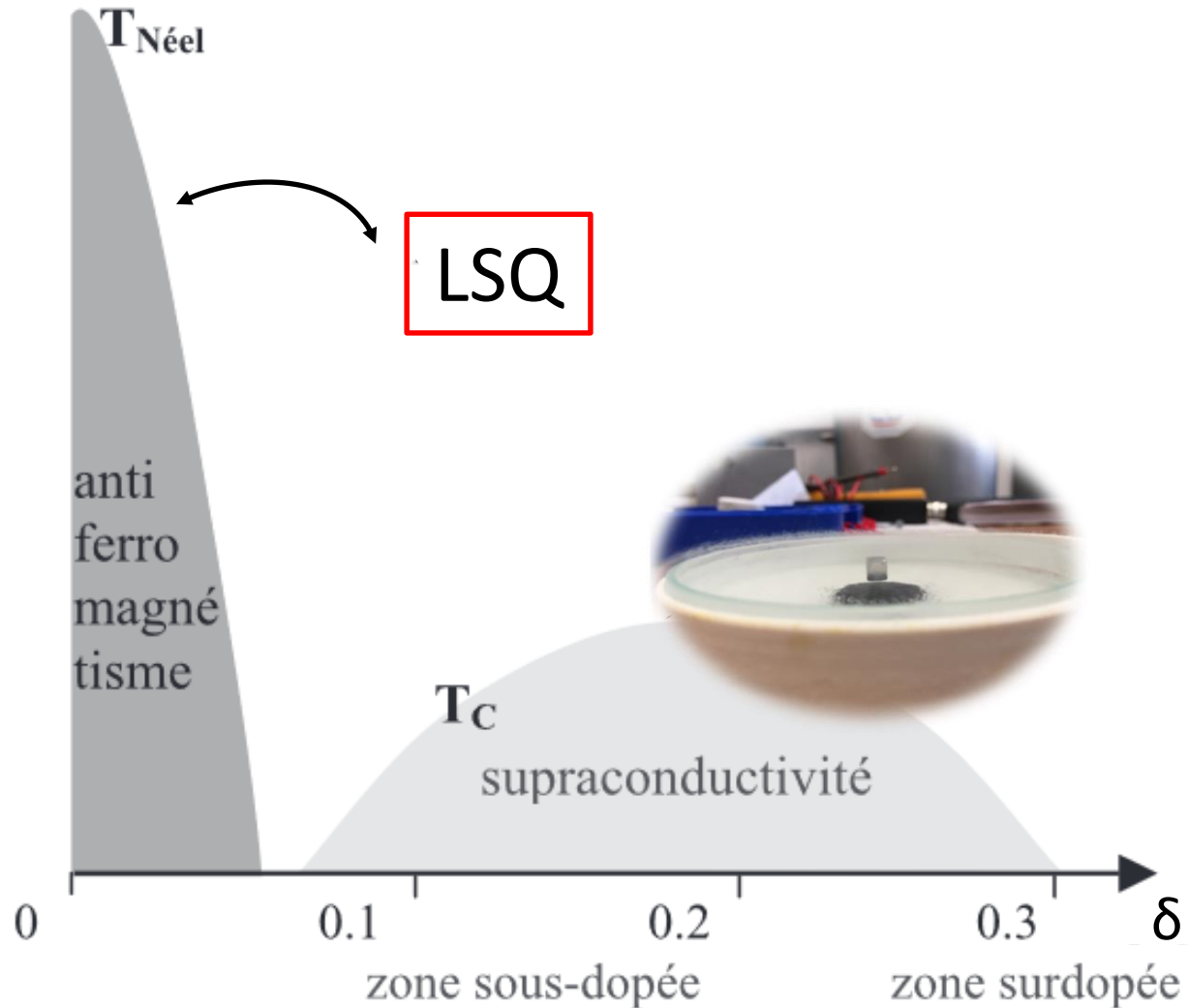
$$|LSQ\rangle =$$


Etat fondamental = superposition quantique de tous les pavages de singulets possible sur le réseau kagomé

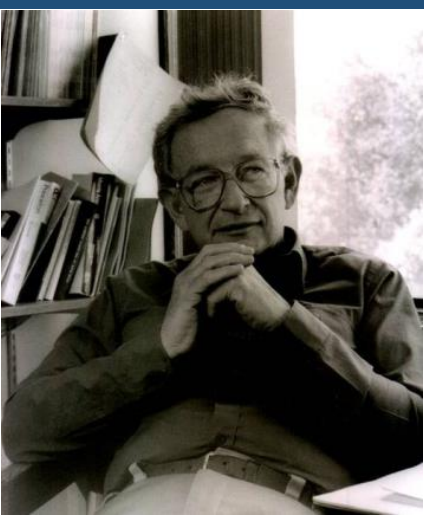
Supraconductivité = LSQ + dopage ?



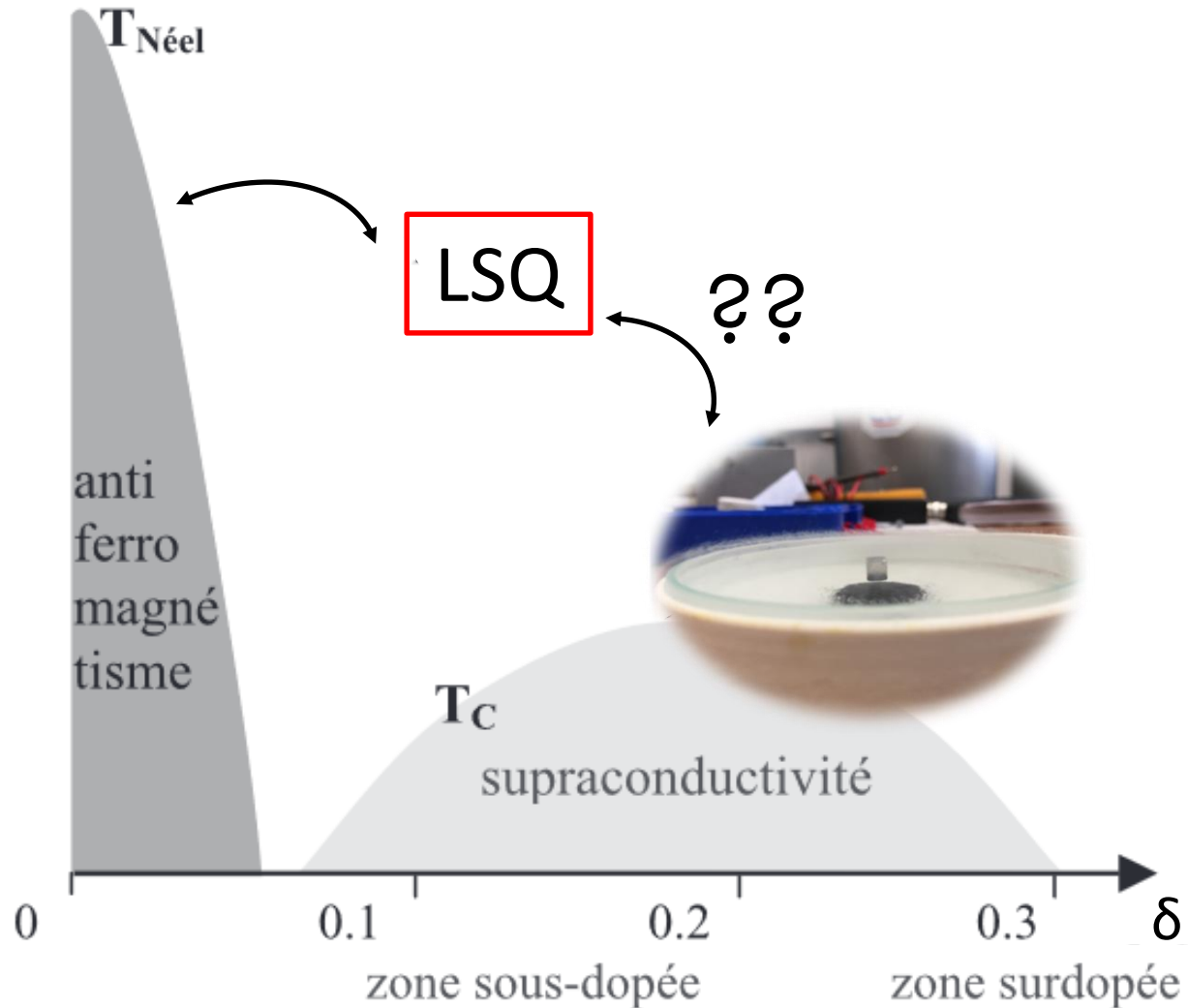
Crédits : Wikipédia



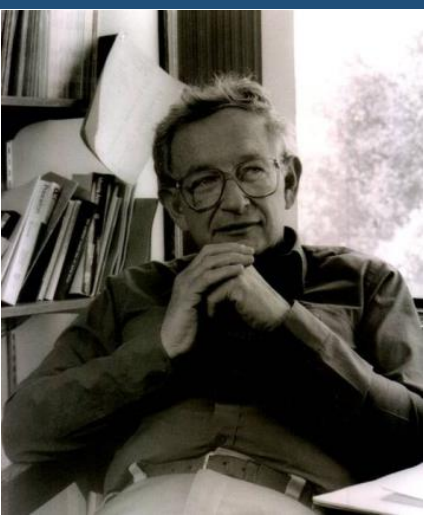
Supraconductivité = LSQ + dopage ?



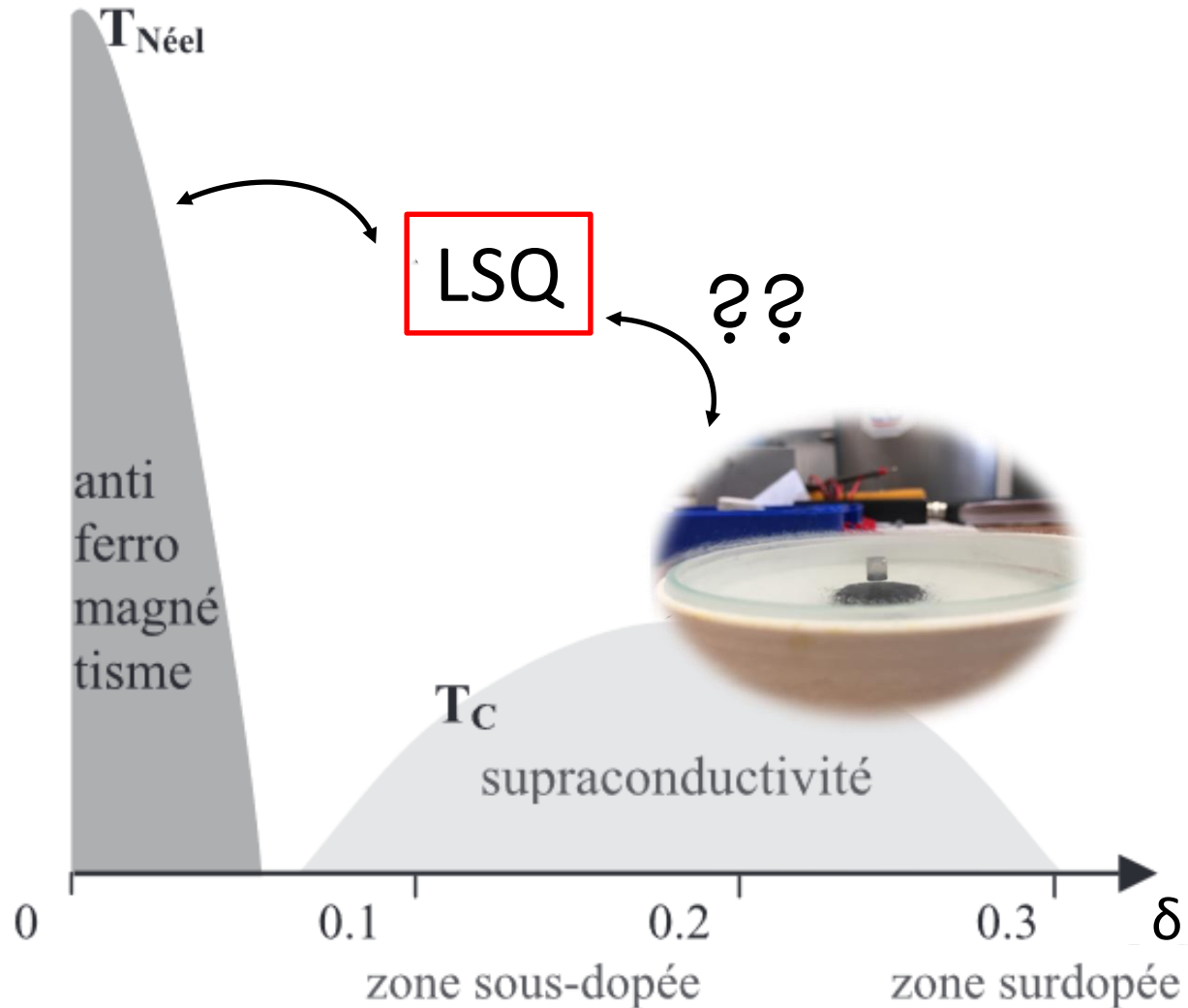
Crédits : Wikipédia



Supraconductivité = LSQ + dopage ?



Crédits : Wikipédia



Ingrédients LSQ :

- ✓ Spins $S=1/2$
- ✓ Interaction AFM
- ✓ Réseau kagomé

Candidats expérimentaux au LSQ

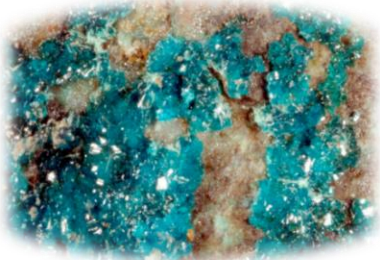
Crédits photos : mindat



Herbertsmithite ★



Brochantite ★



Haydeeite ★



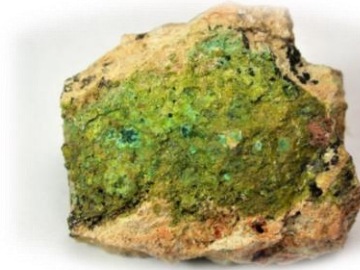
Volborthite ★



Barlowite
Claringbullite ★



Kapellasite ★



Vesignieite ★

Candidats expérimentaux au LSQ

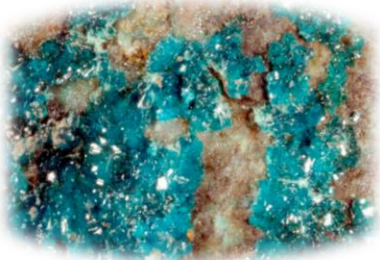
Crédits photos : mindat



Herbertsmithite ★



Brochantite ★



Haydeeite ★



Kapellasite ★



Vesignieite ★



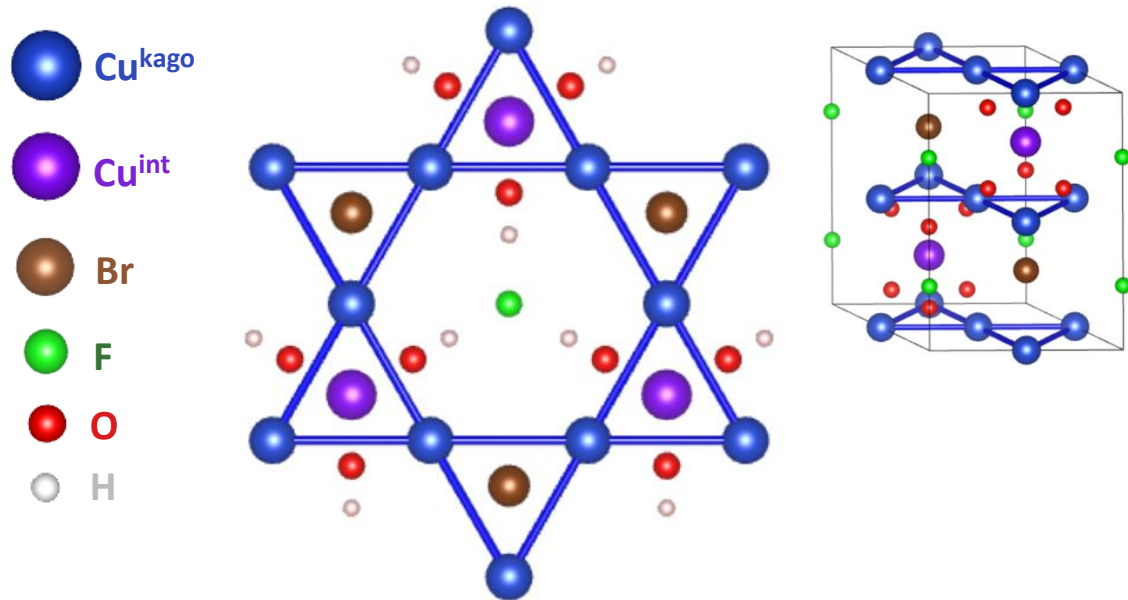
Volborthite ★



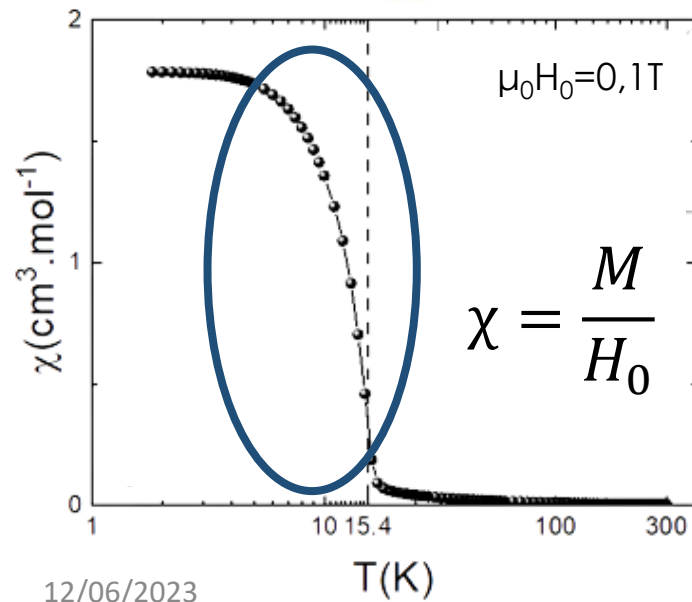
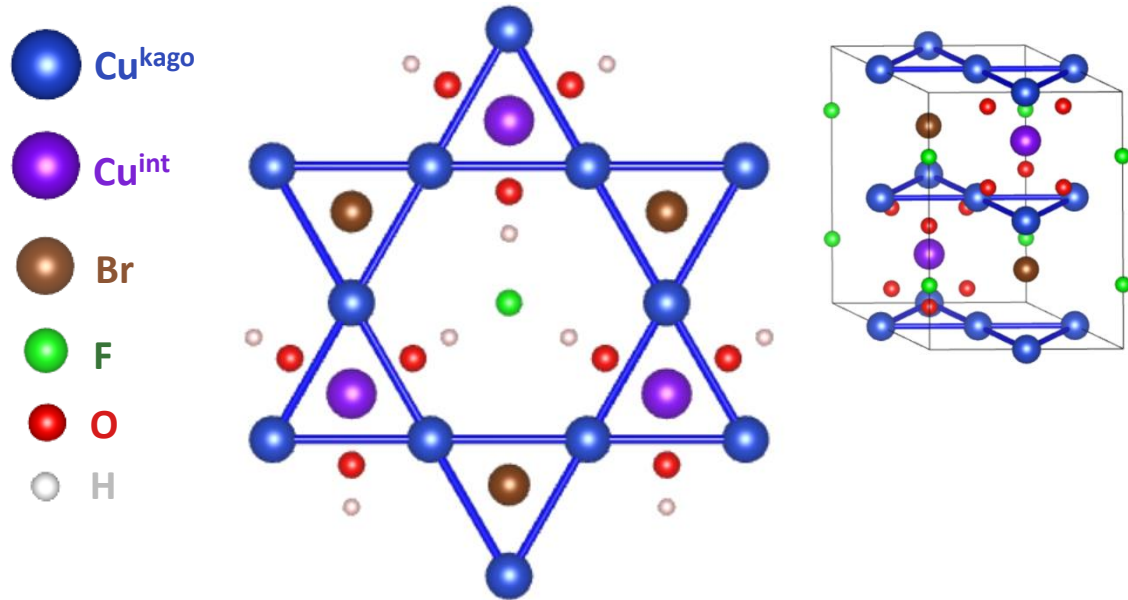
Barlowite
Claringbullite ★



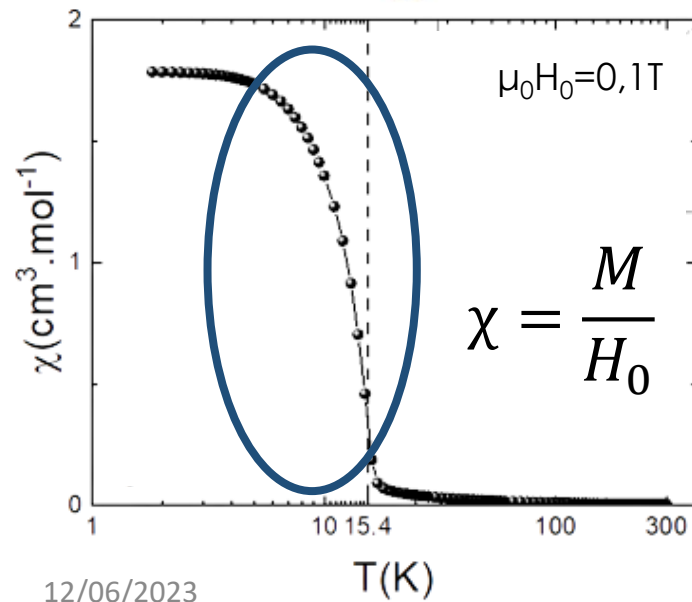
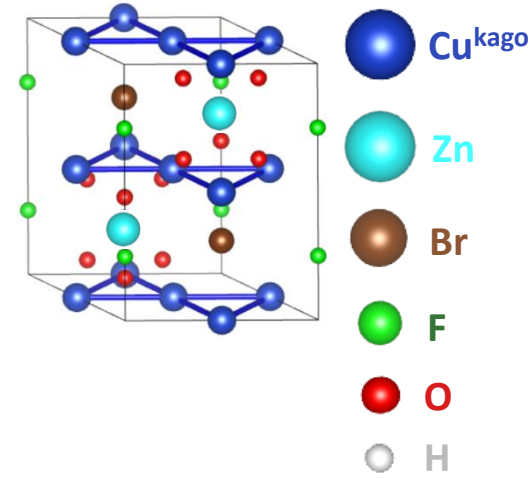
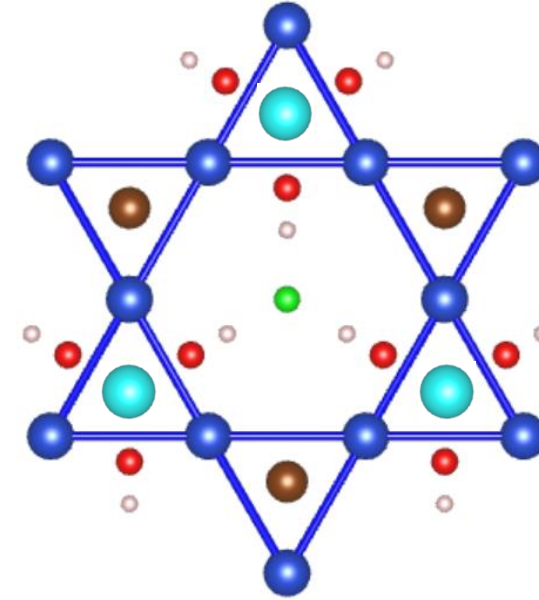
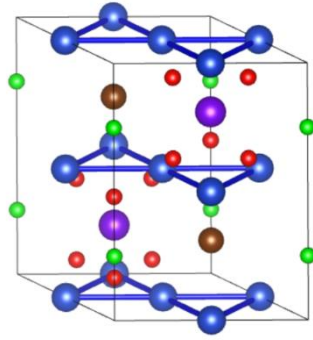
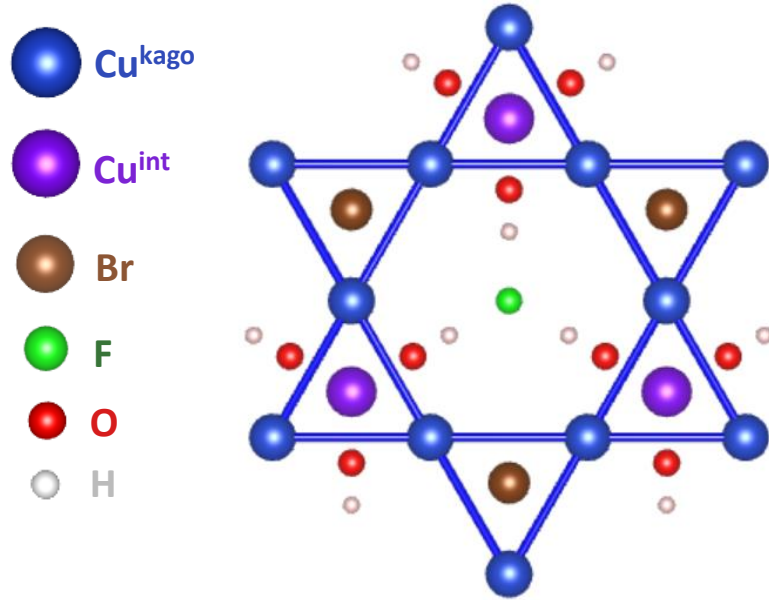
Barlowite $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{FBr}$



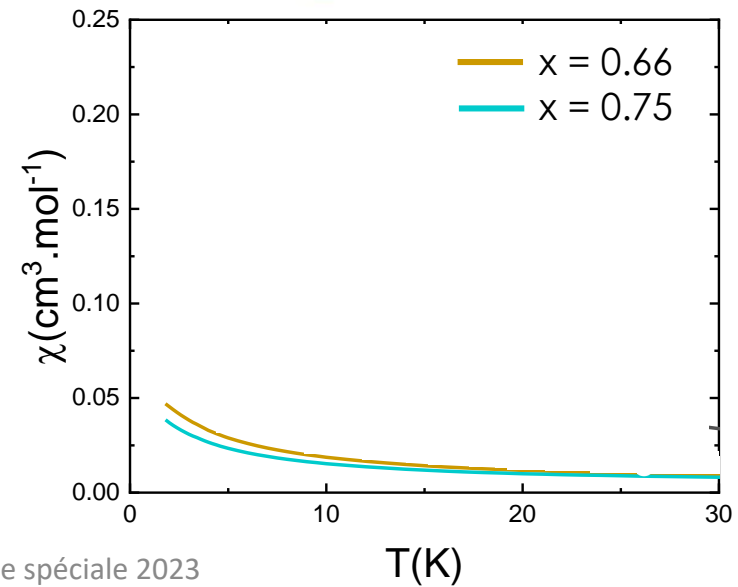
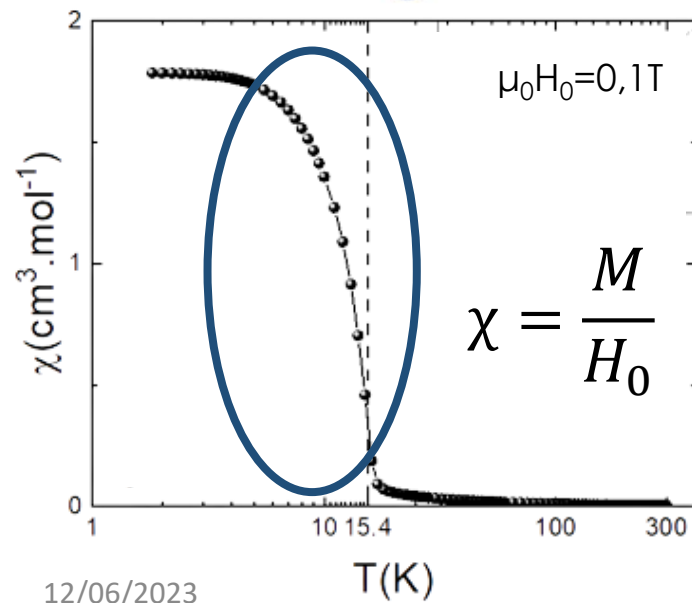
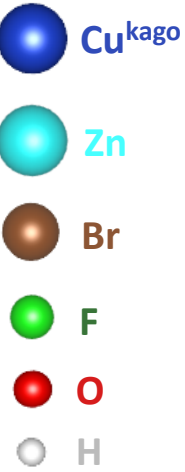
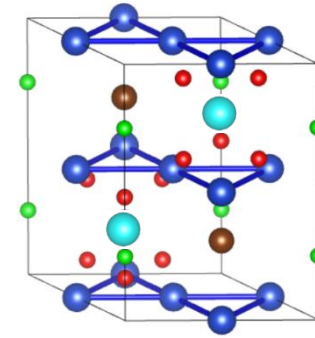
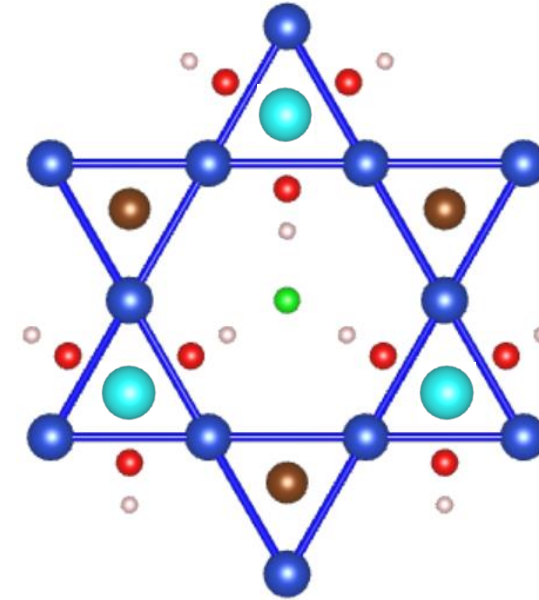
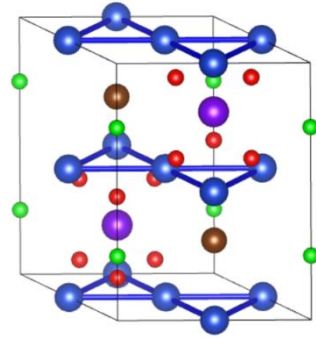
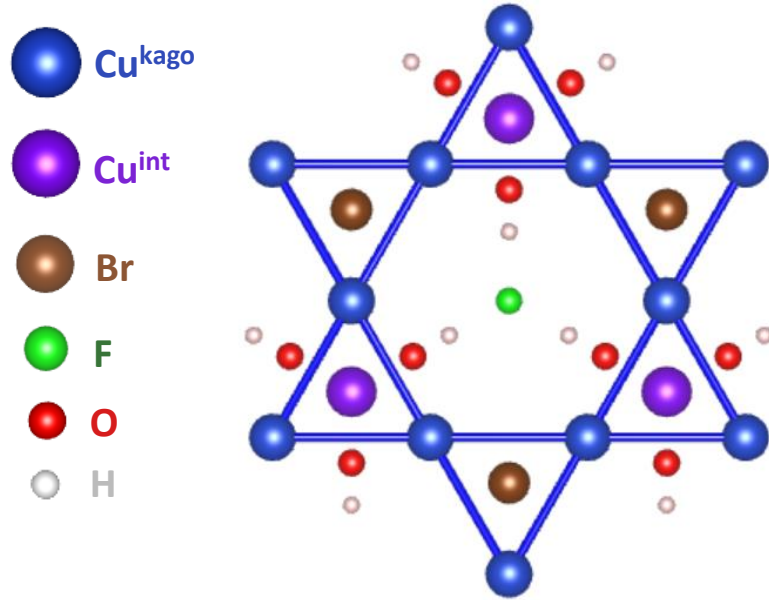
Barlowite $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{FBr}$



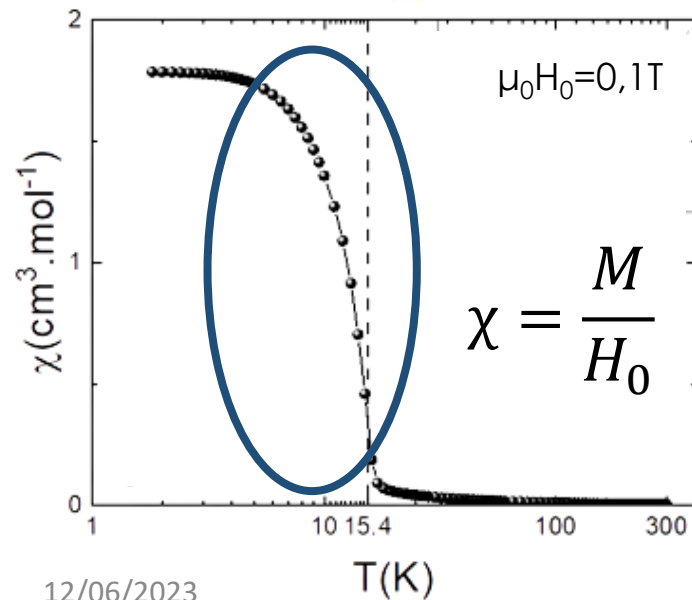
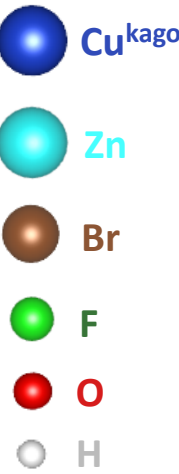
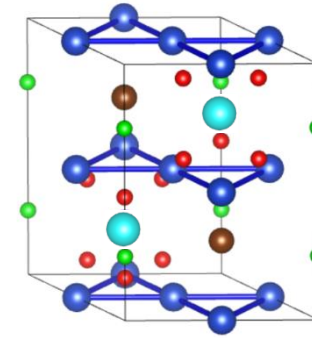
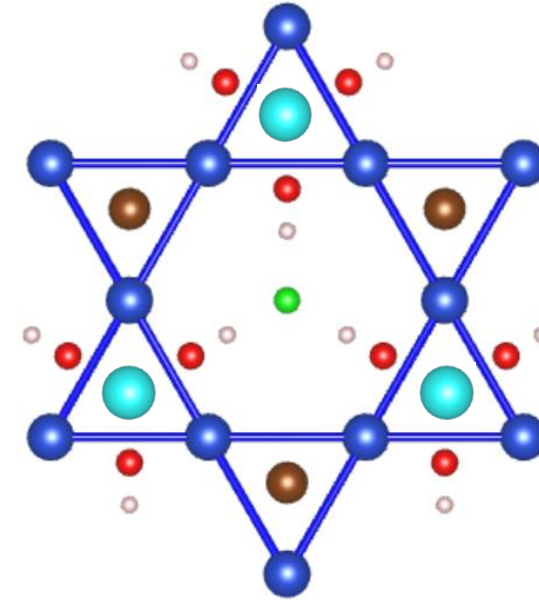
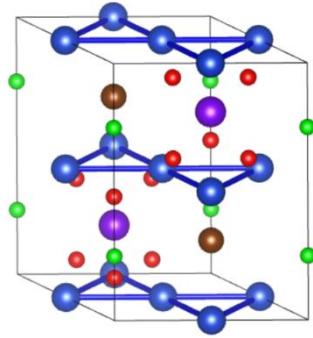
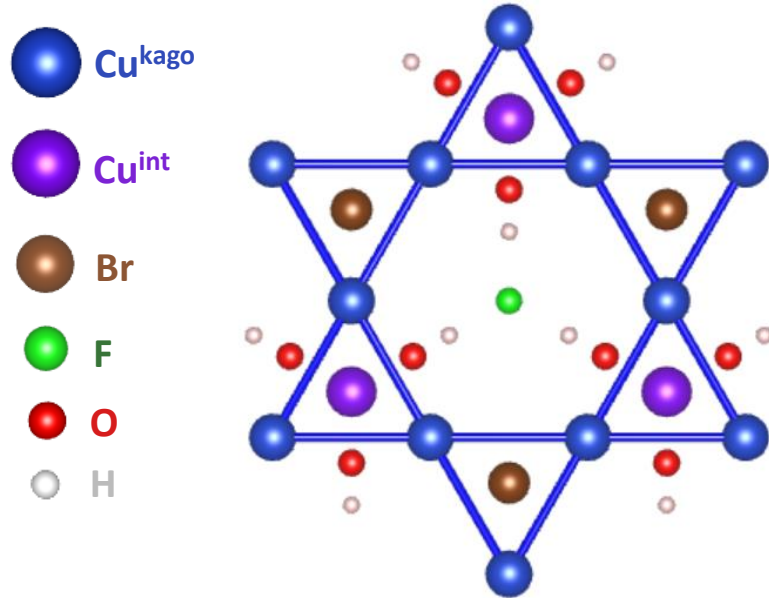
Zn_x-Barlowite



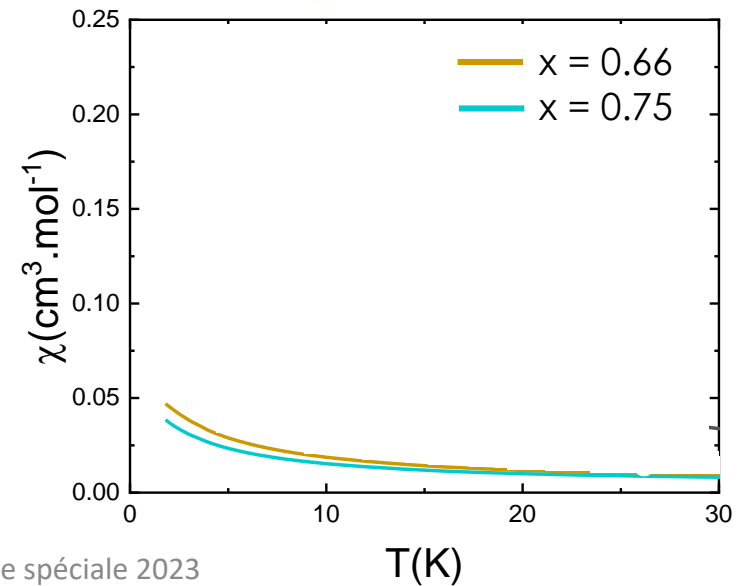
$\text{Zn}_x\text{-Barlowite}$



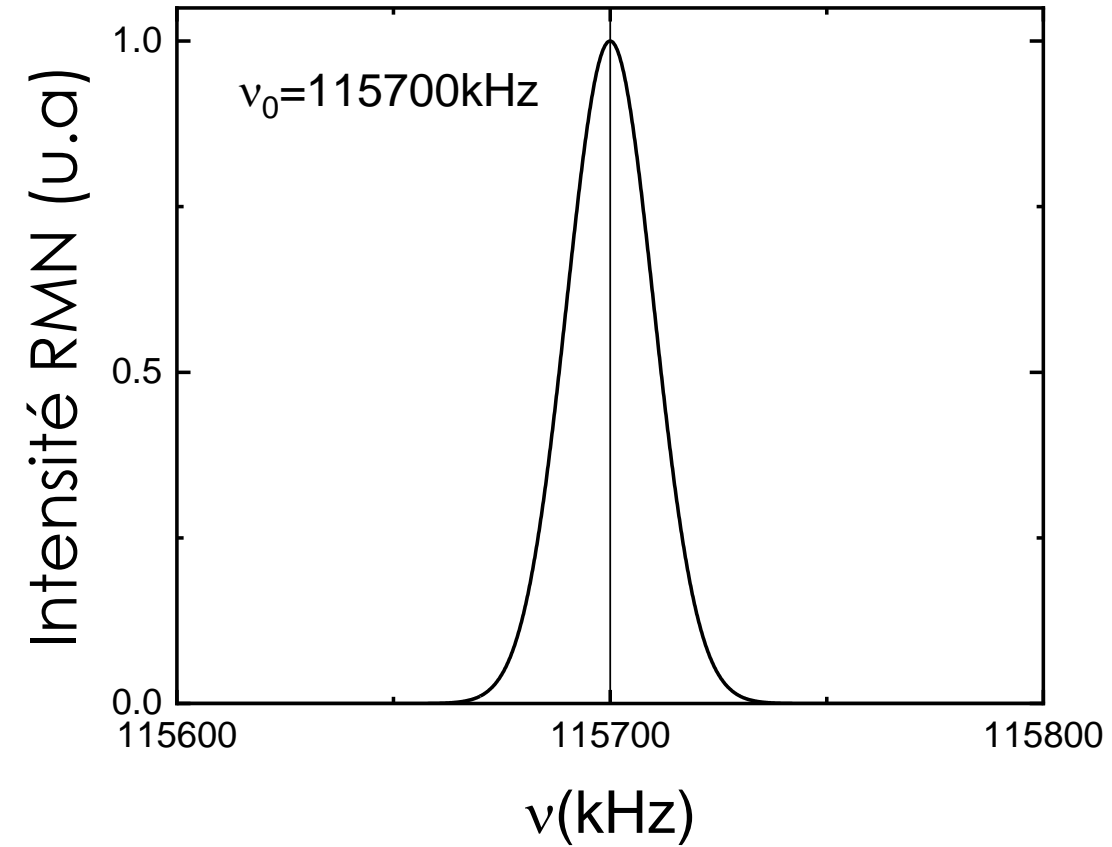
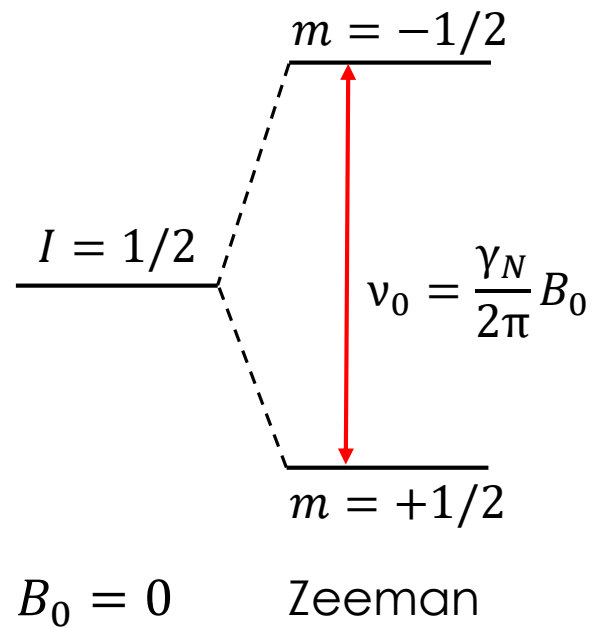
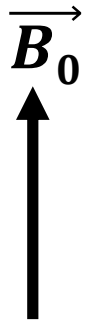
Zn_x-Barlowite



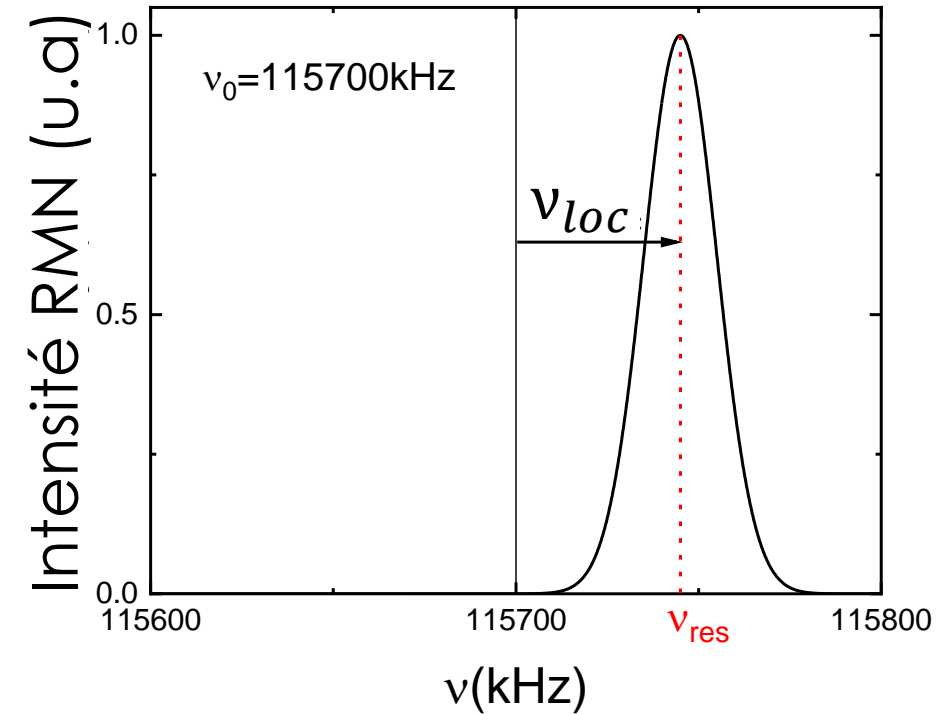
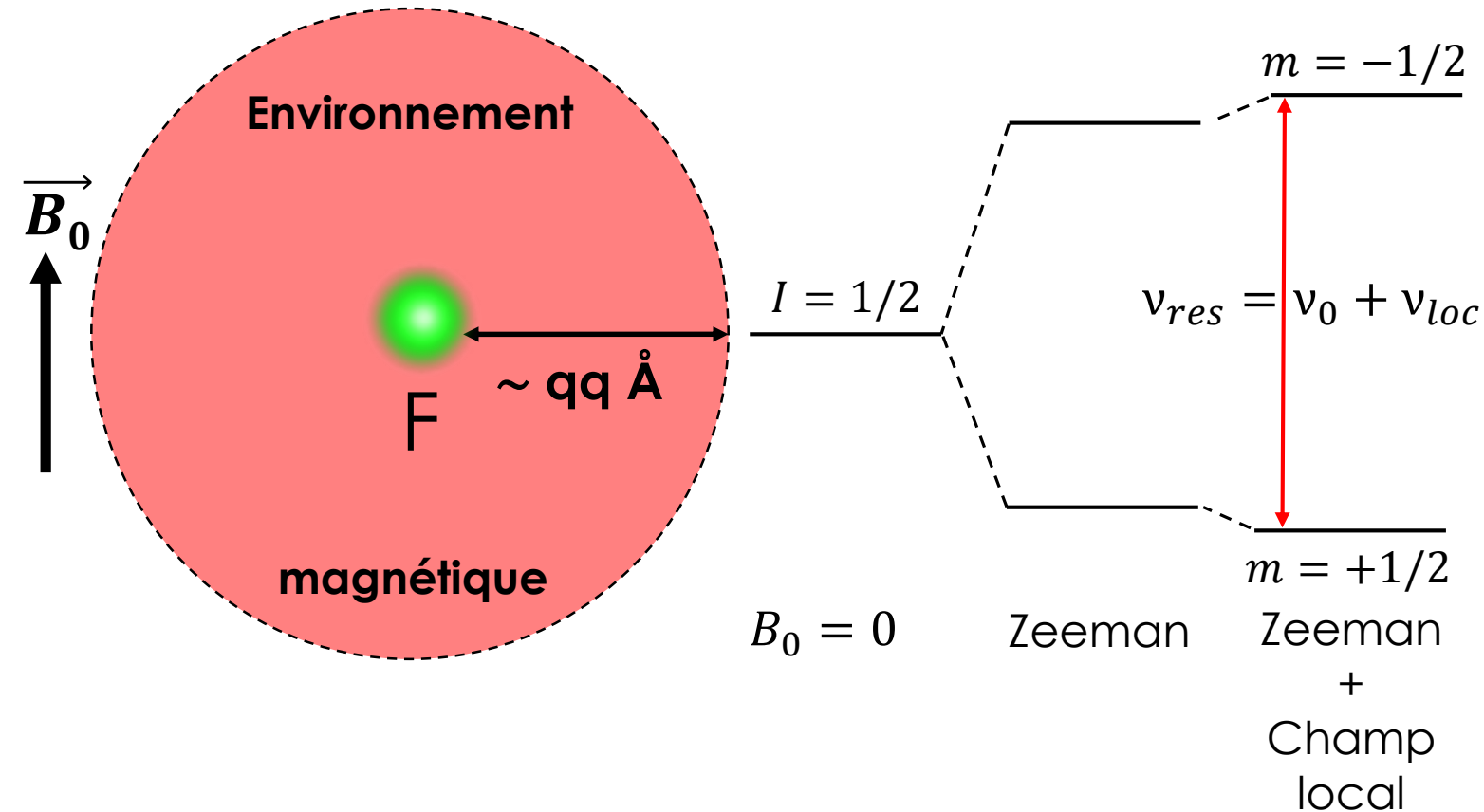
Transition
 magnétique
 supprimée:
 LSQ ?



Résonance Magnétique Nucléaire

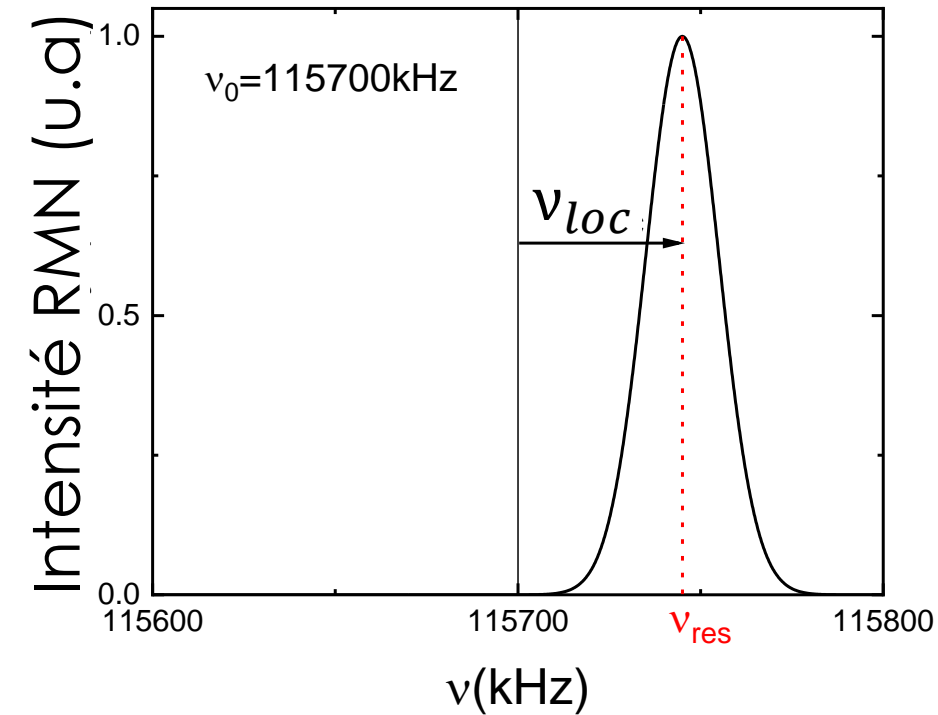
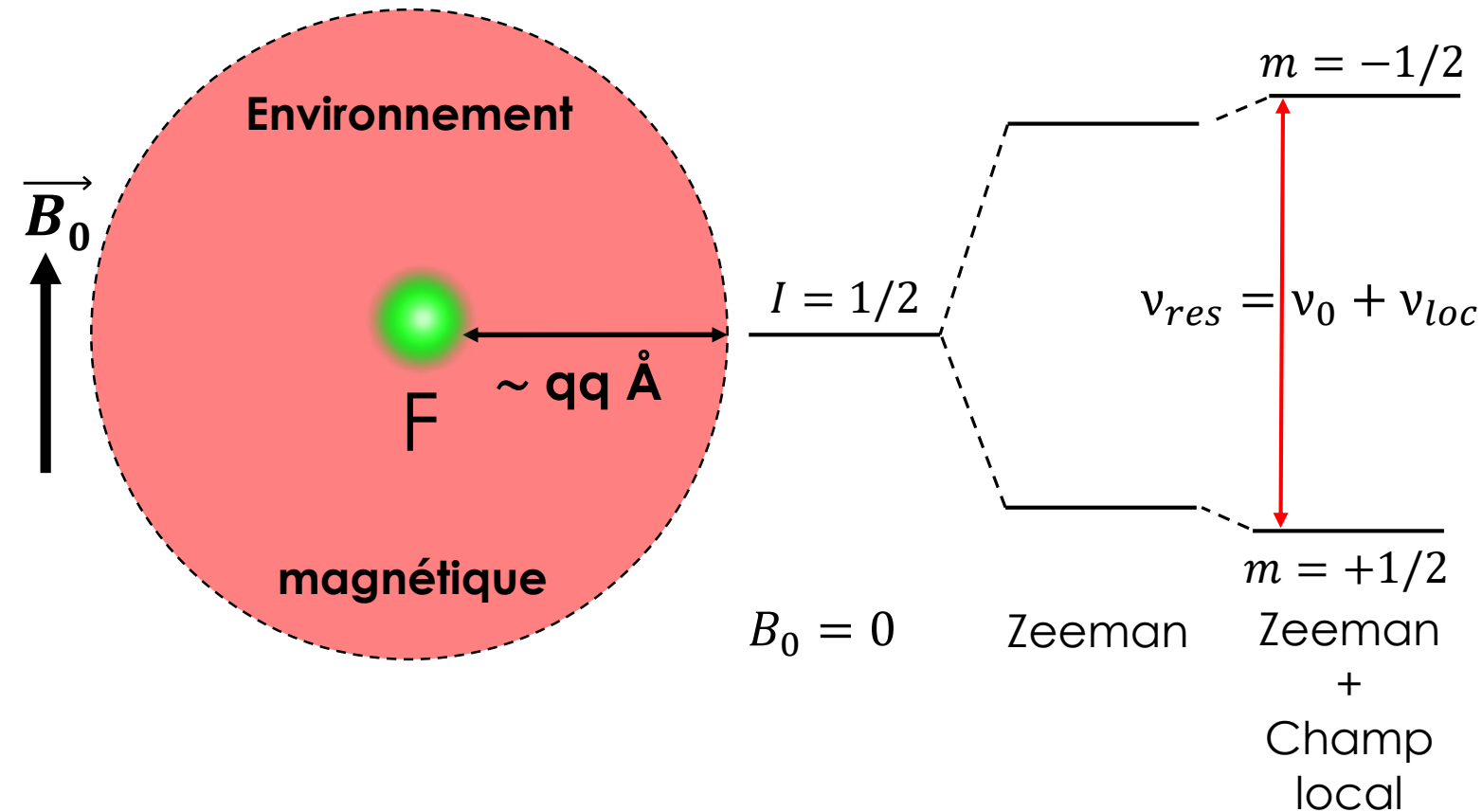


Résonance Magnétique Nucléaire



Noyaux = sondes du champ magnétique local

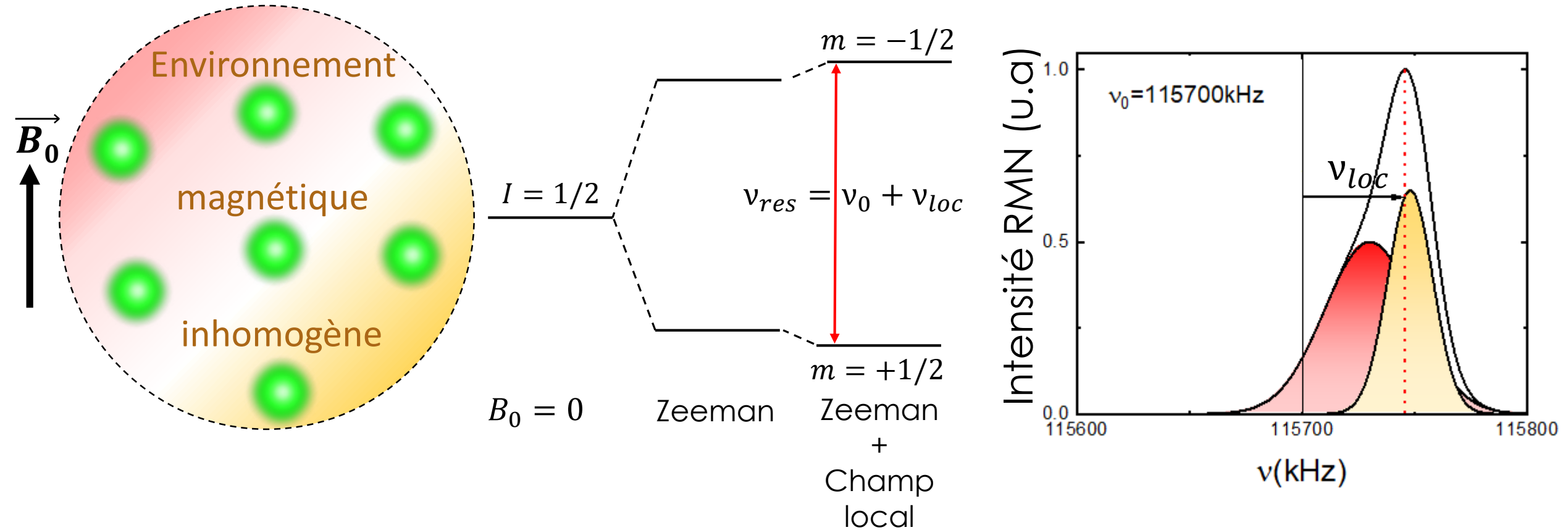
Résonance Magnétique Nucléaire



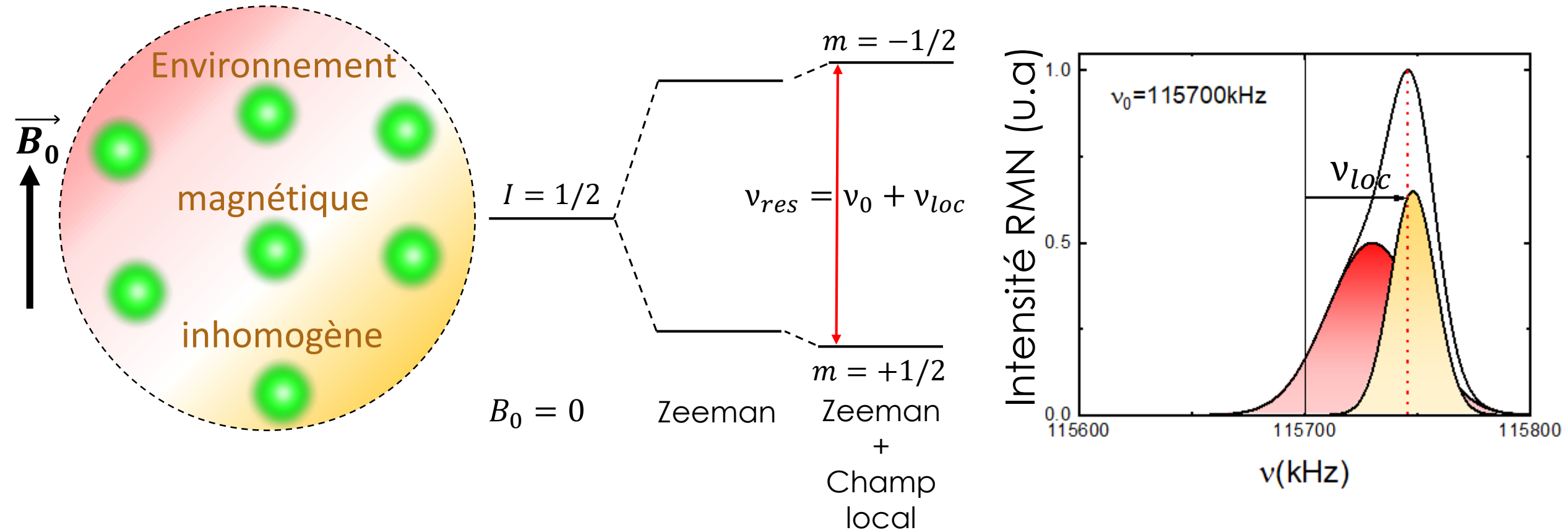
Noyaux = sondes du champ magnétique local

$$\frac{\nu_{res}(T) - \nu_0}{\nu_0} \propto \chi_{loc}(T)$$

Résonance Magnétique Nucléaire

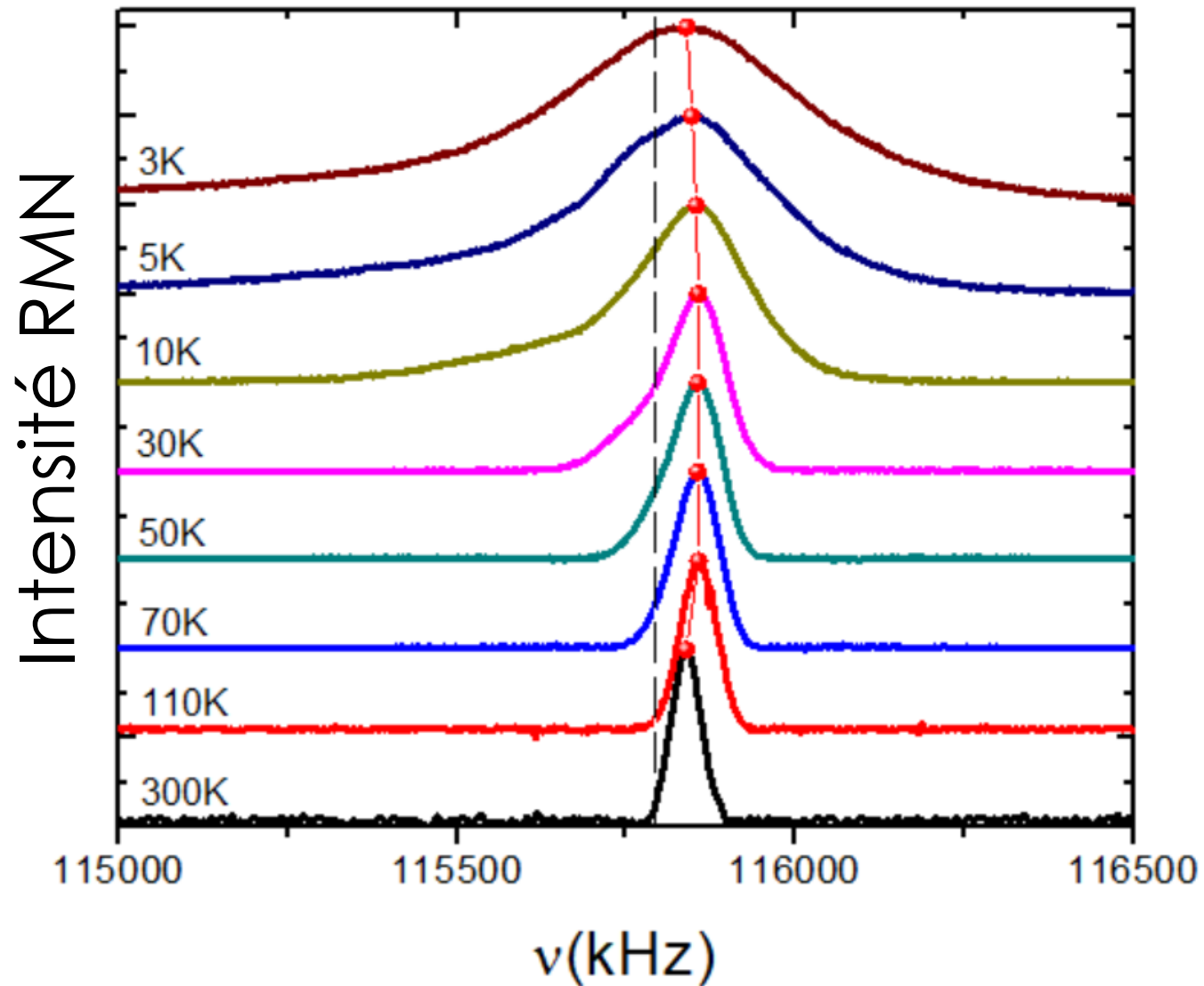


Résonance Magnétique Nucléaire

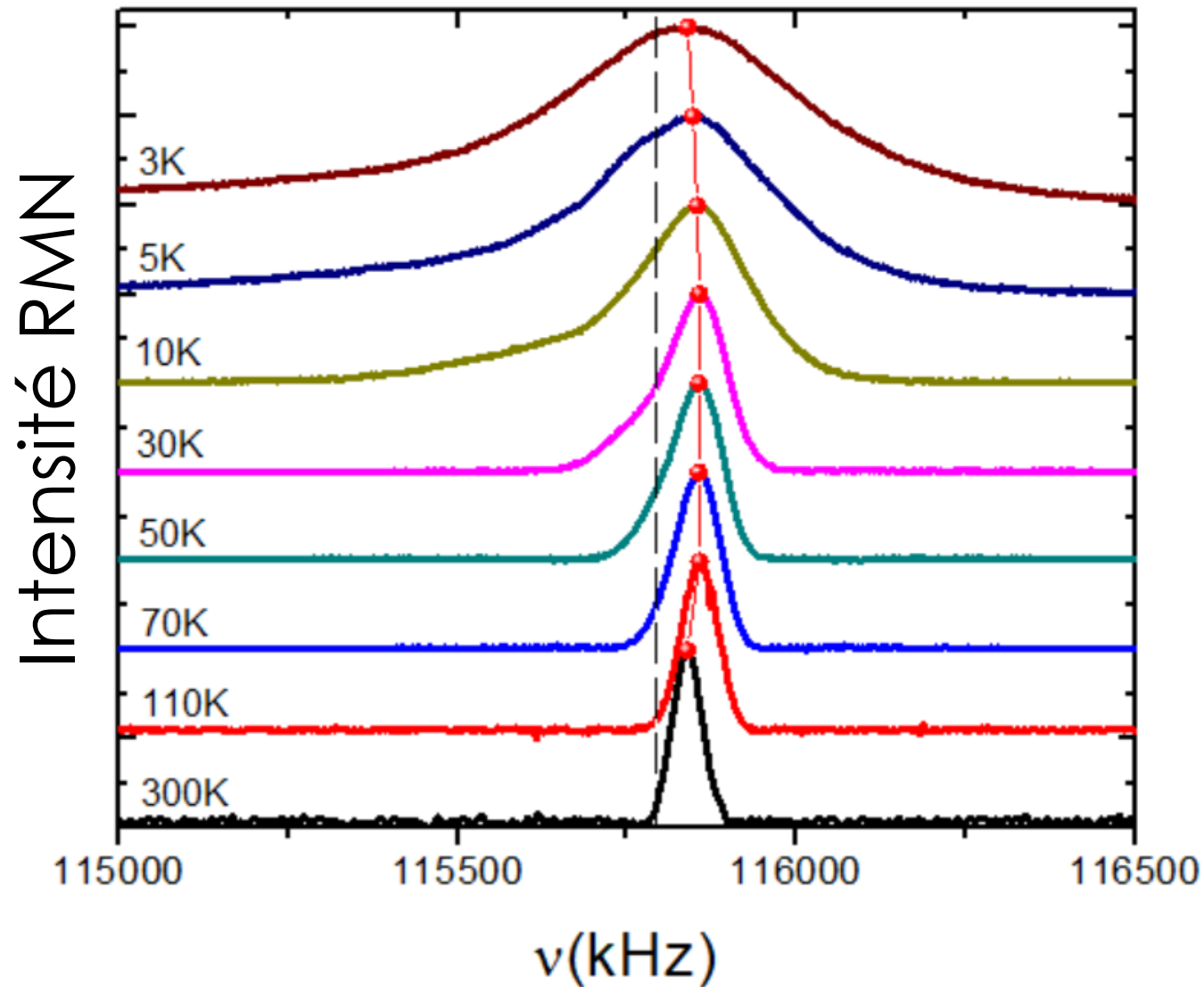


Spectre RMN = histogramme des noyaux résonants à la fréquence ν

Résonance Magnétique Nucléaire sur la $\text{Zn}_{0.75}$ -barlowite

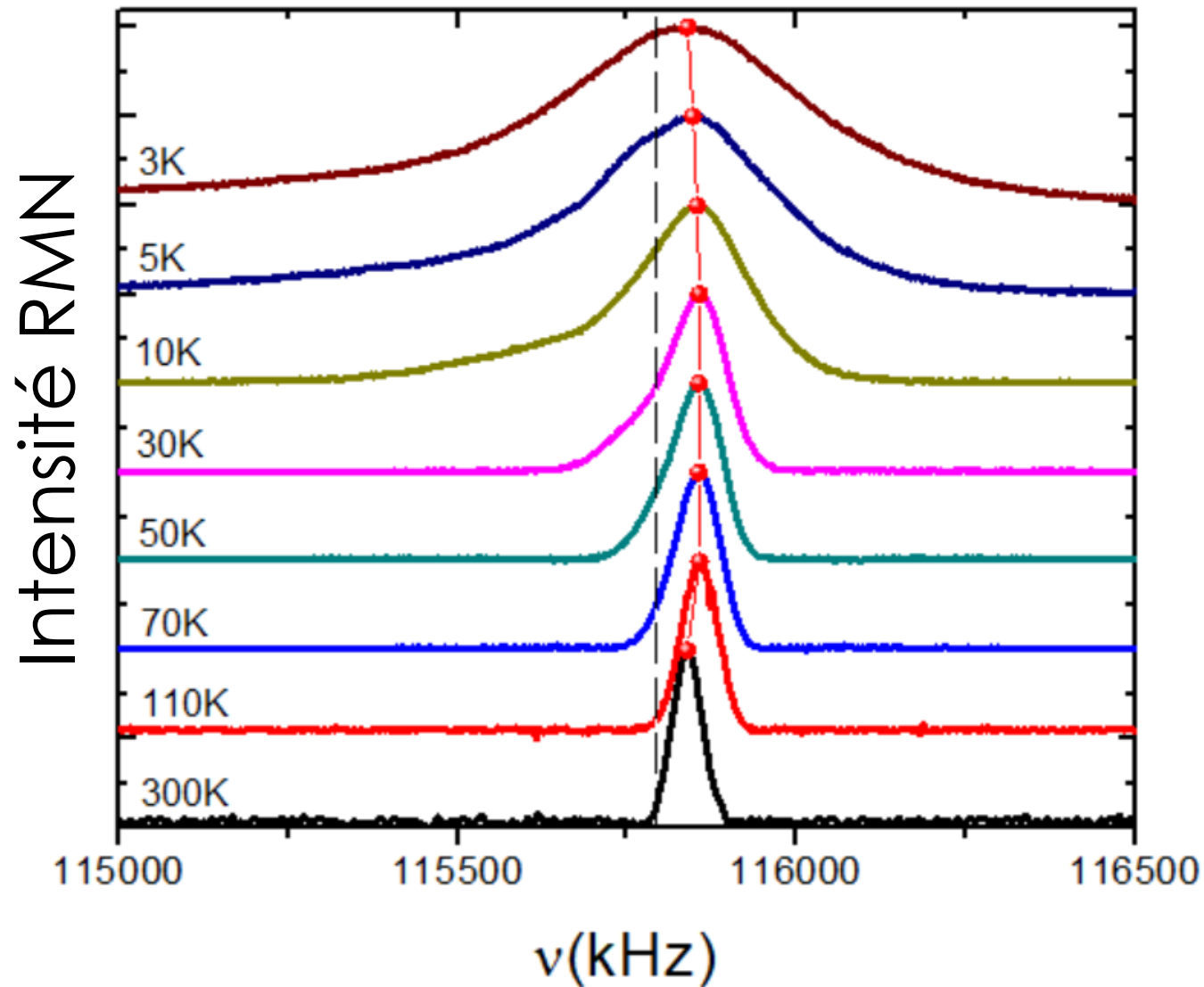


Résonance Magnétique Nucléaire sur la $\text{Zn}_{0.75}$ -barlowite



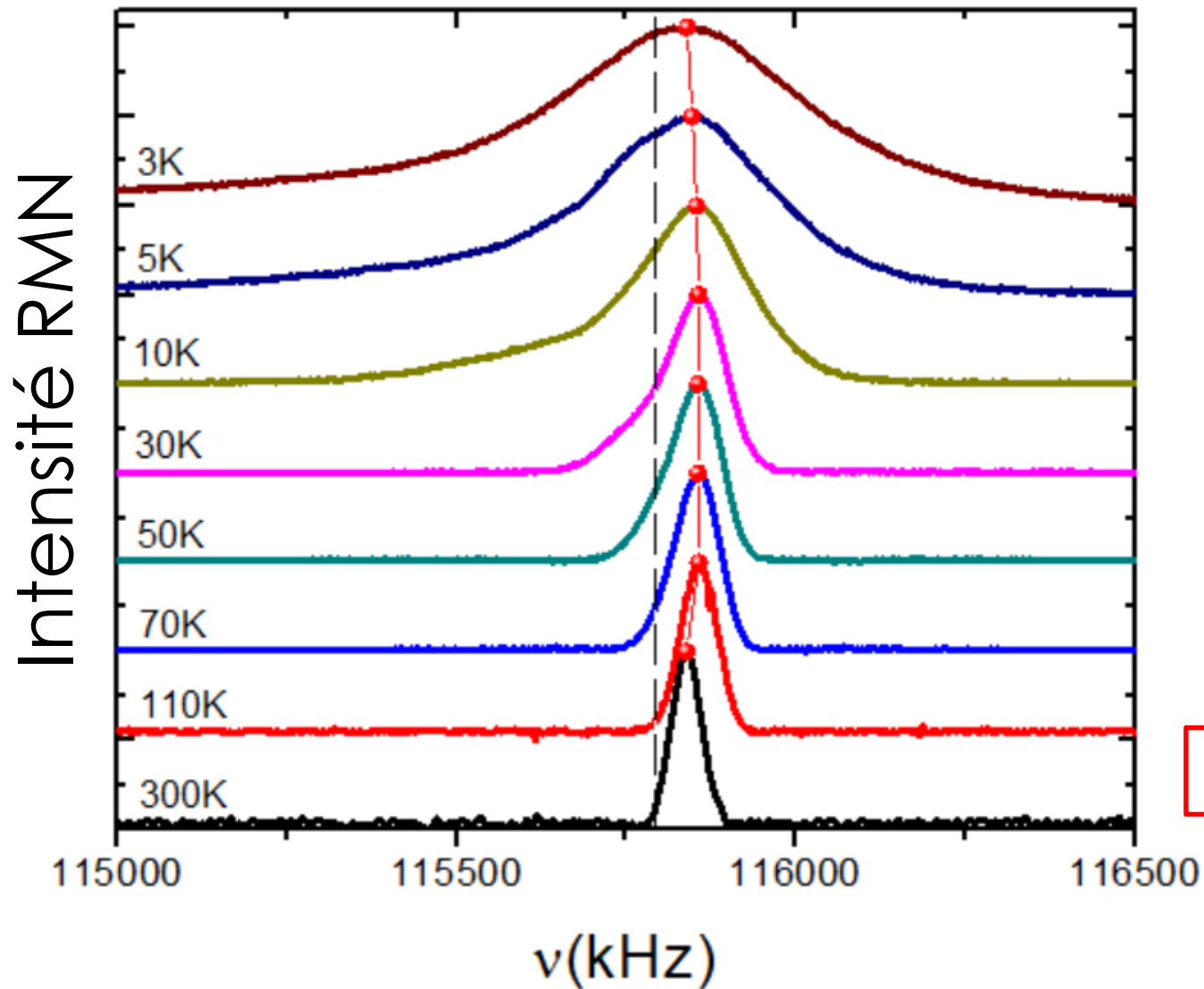
✓ La position de la raie RMN change en fonction de la température

Résonance Magnétique Nucléaire sur la $\text{Zn}_{0.75}$ -barlowite



- ✓ La position de la raie RMN change en fonction de la température
- ✓ La raie RMN s'élargit lorsque T diminue

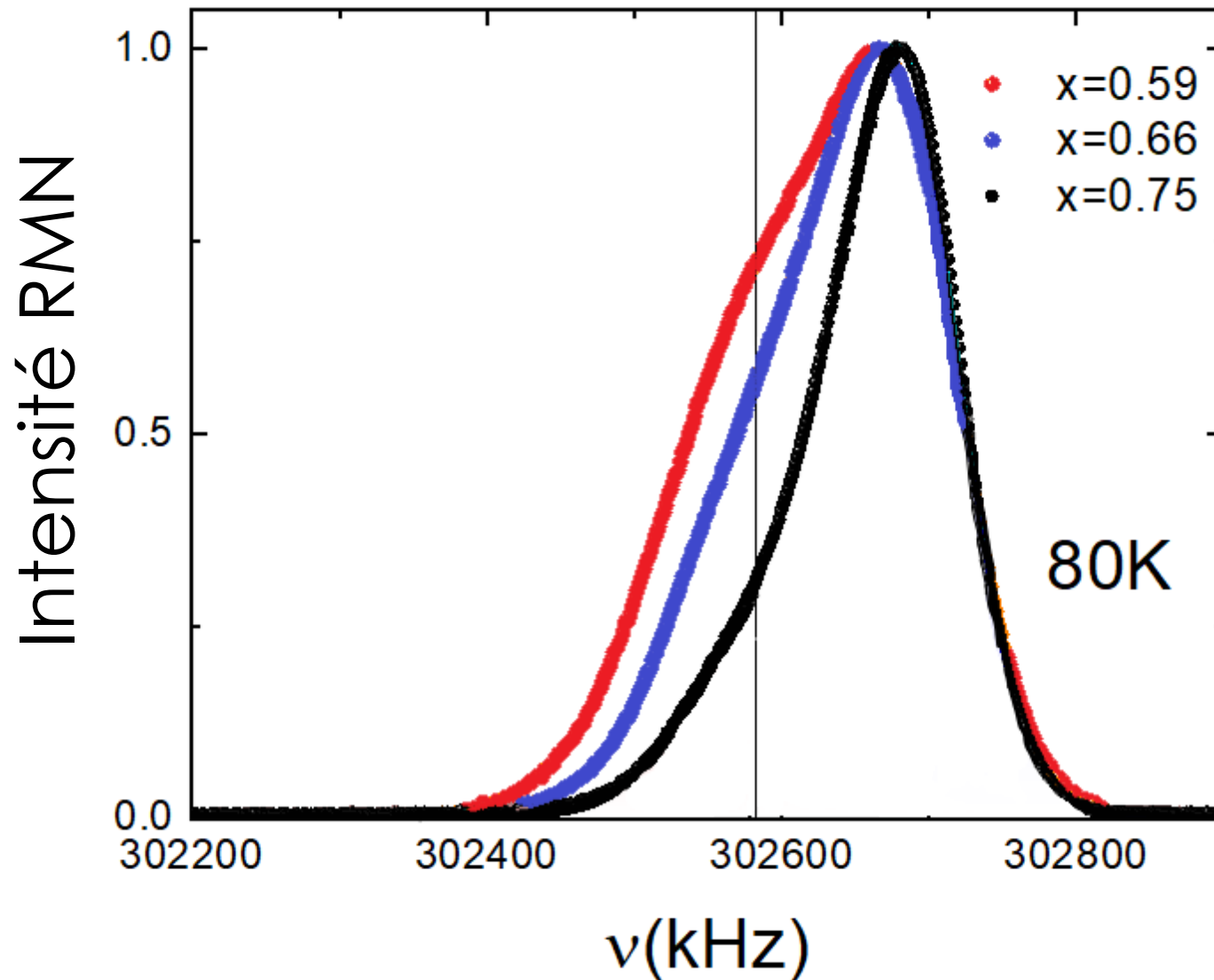
Résonance Magnétique Nucléaire sur la $\text{Zn}_{0.75}$ -barlowite



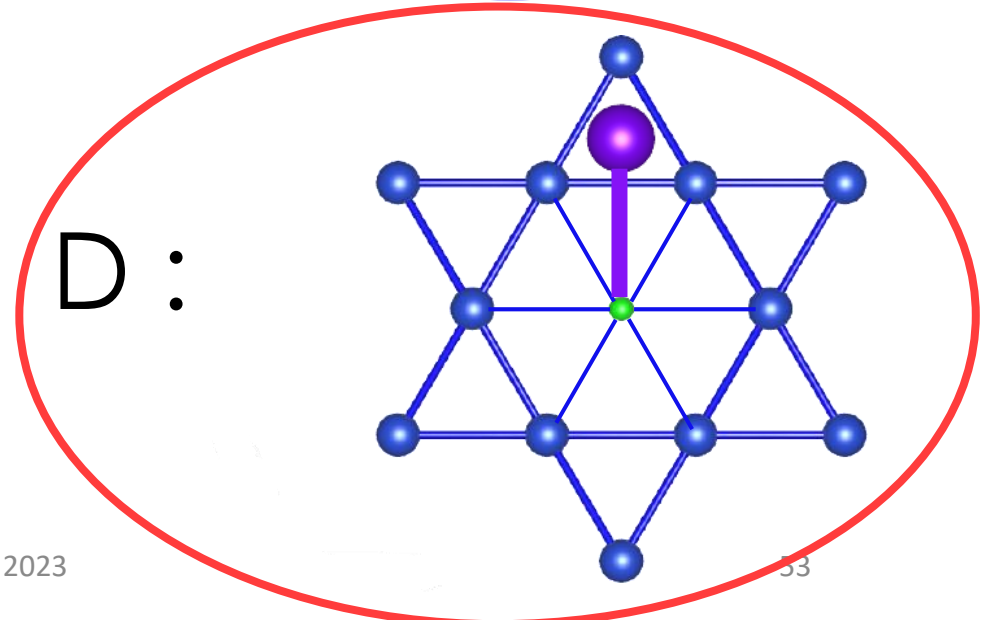
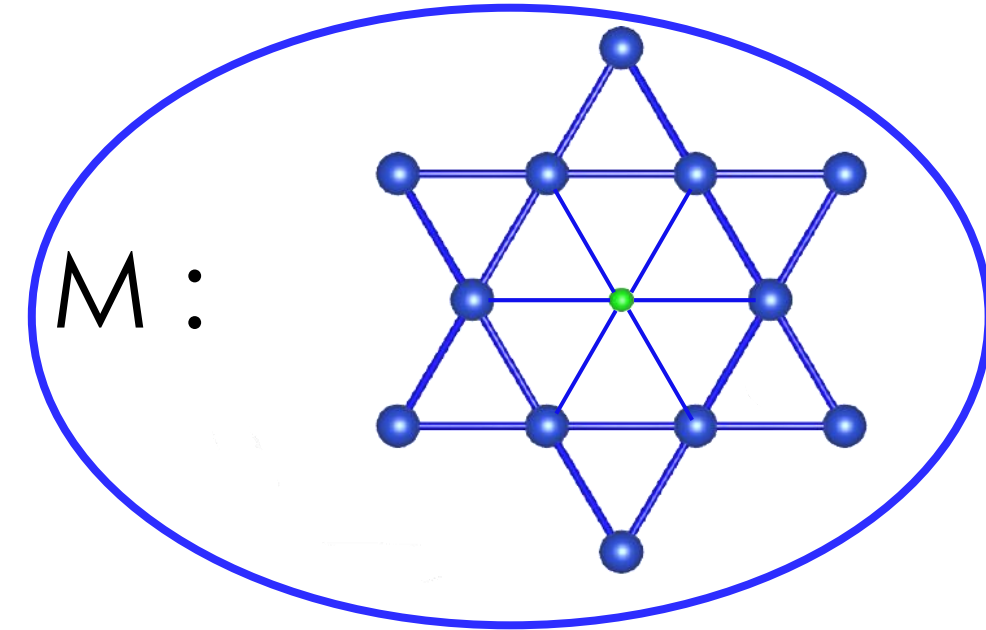
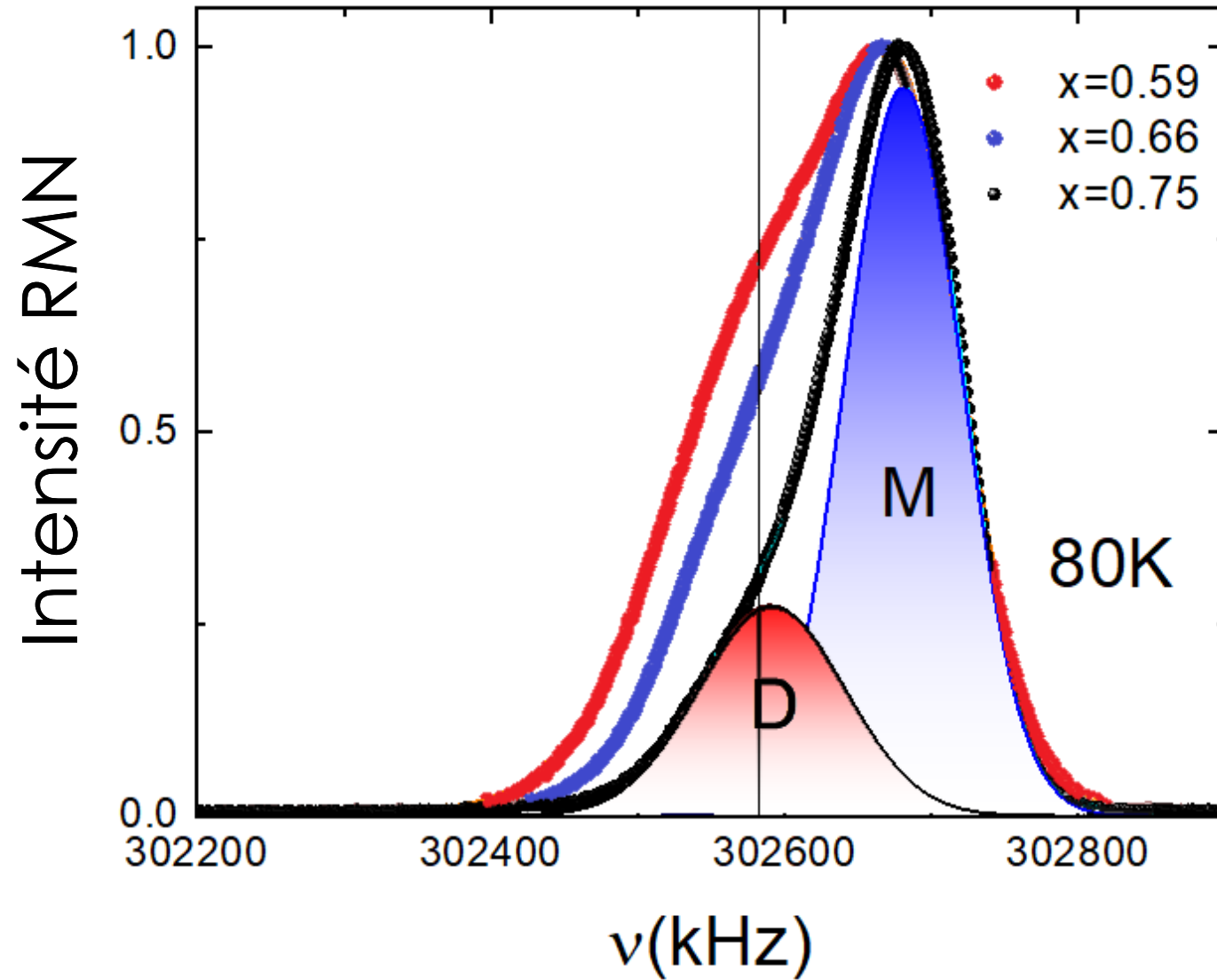
- ✓ La position de la raie RMN change en fonction de la température
- ✓ La raie RMN s'élargit lorsque T diminue

Comment interpréter ?

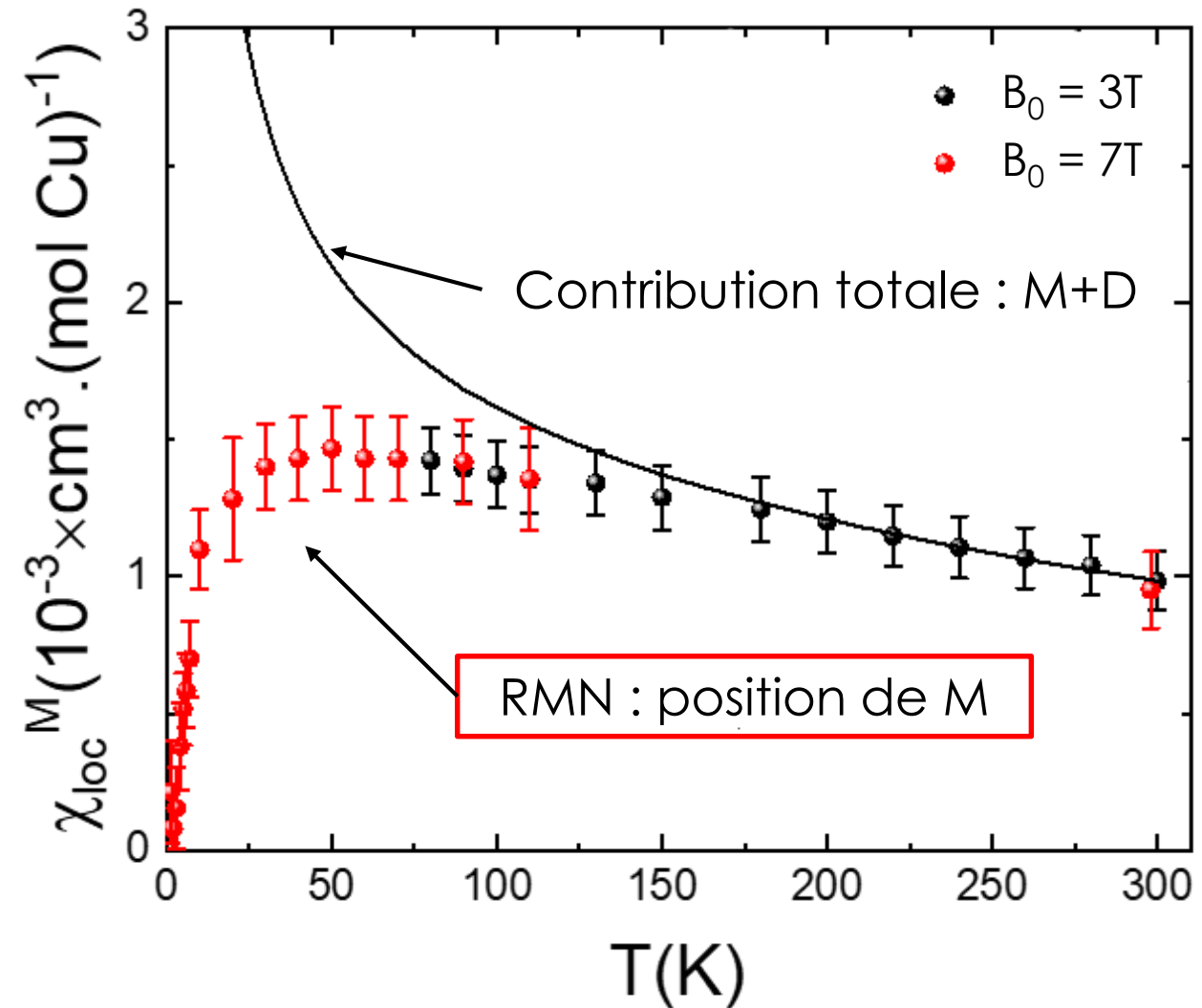
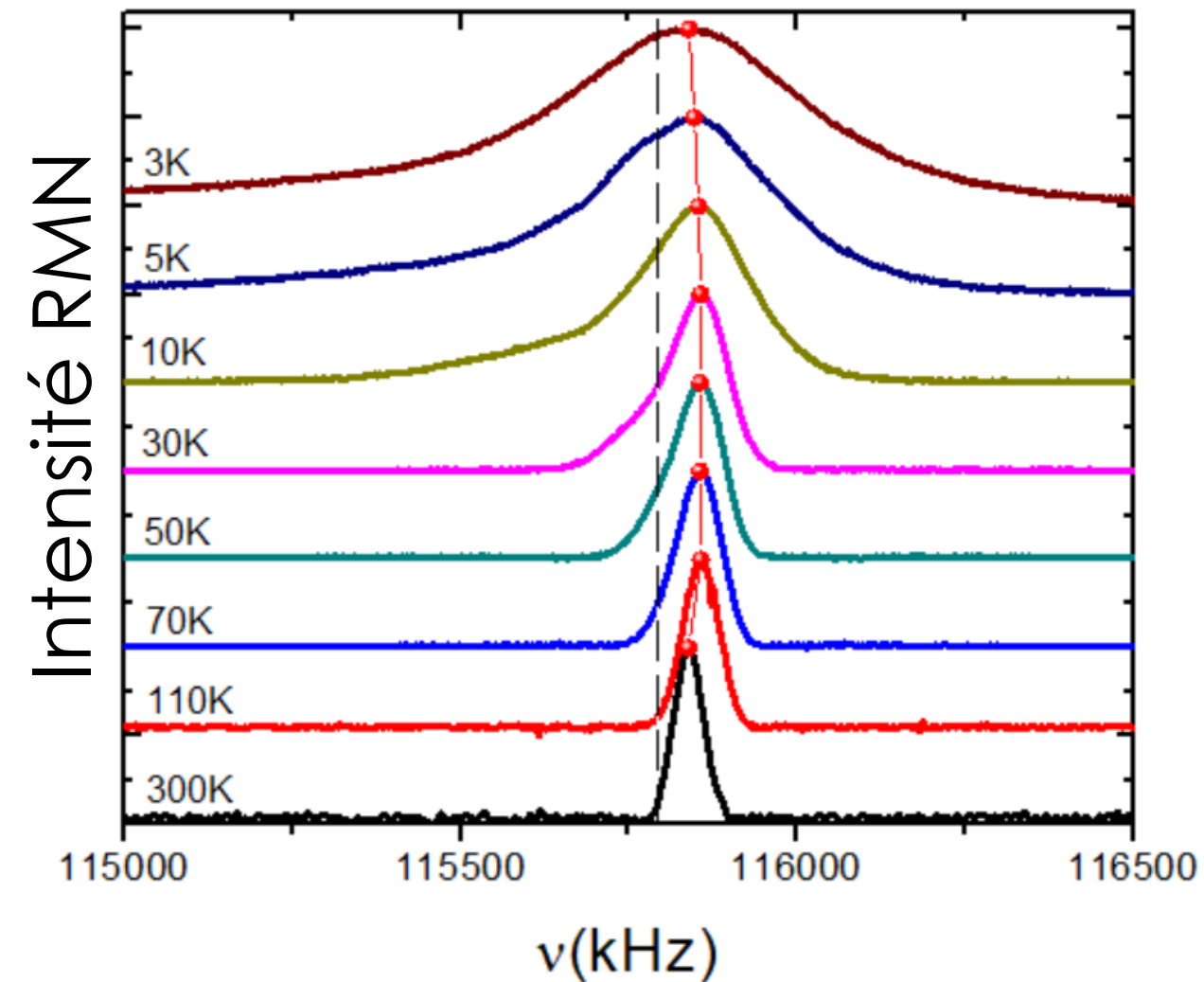
Résonance Magnétique Nucléaire sur différentes Zn_x -barlowites



Résonance Magnétique Nucléaire sur différentes Zn_x -barlowites



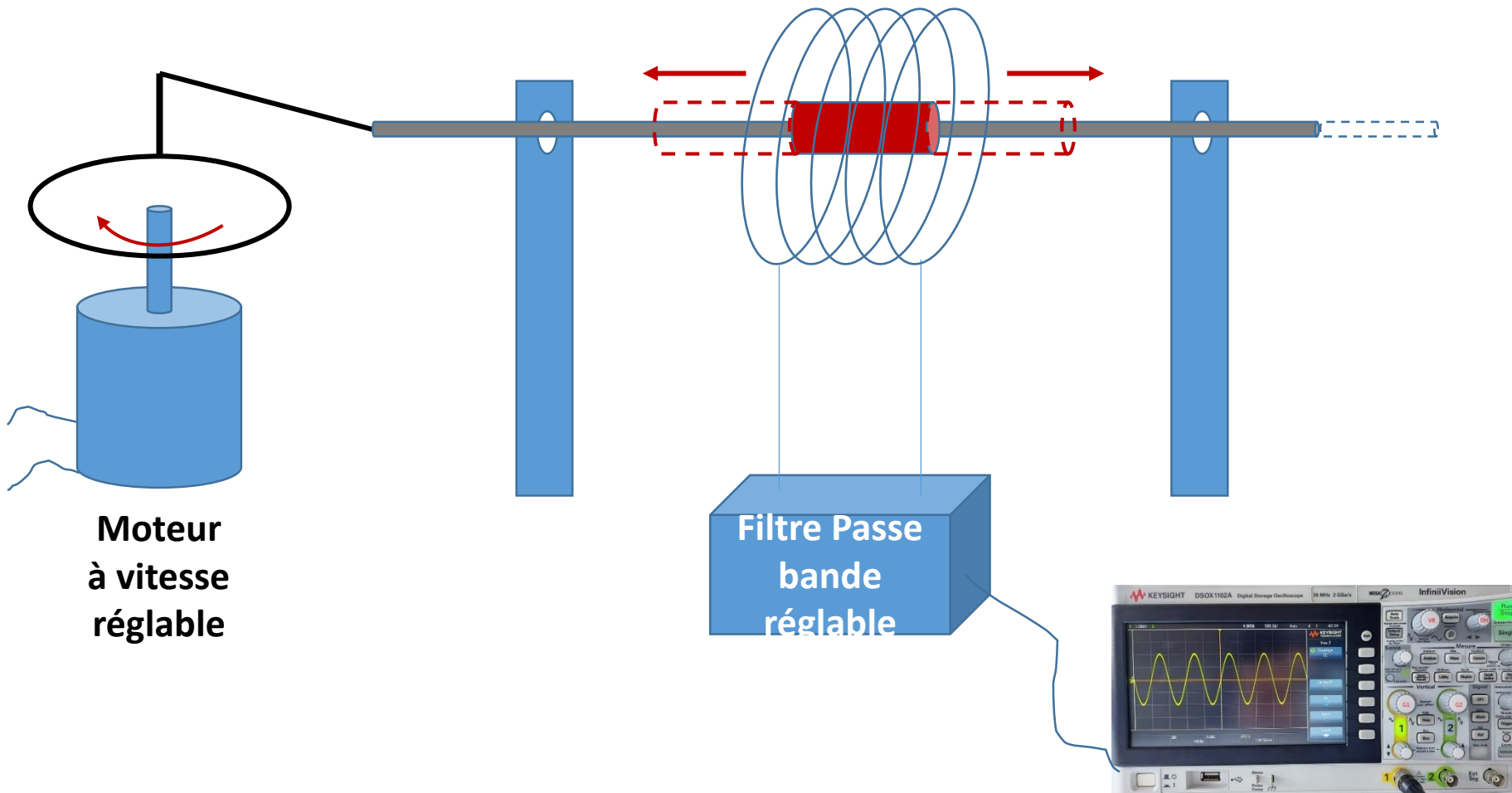
Résonance Magnétique Nucléaire sur la $\text{Zn}_{0.75}$ -barlowite



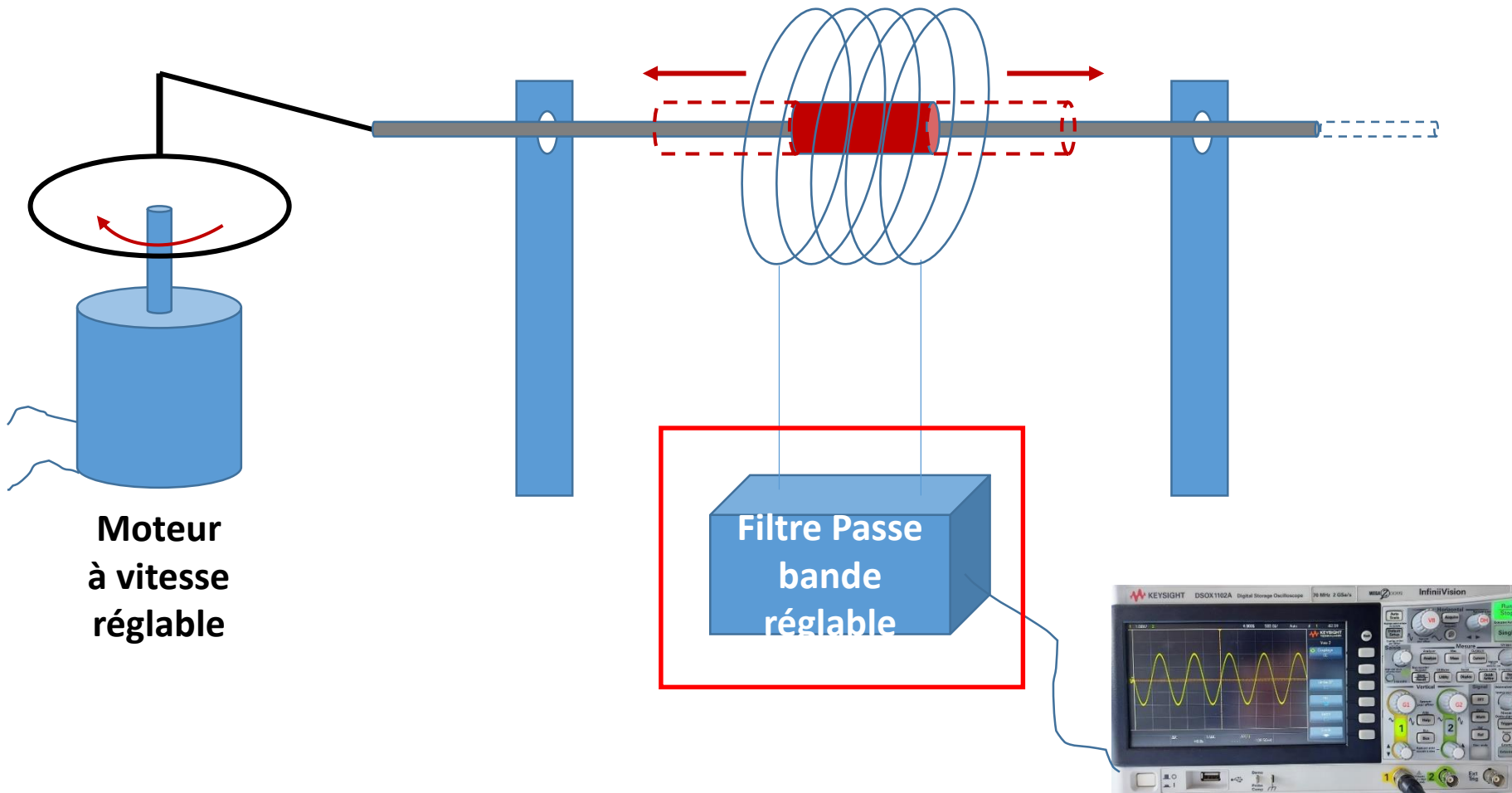
Conclusion

- ✓ Compréhension du spectre RMN des Zn_x -barlowites
- ✓ Méthode de mesure par RMN fiable dans les Zn-barlowites
- ✓ Isolation de la contribution intrinsèque aux plans kagomé

Séquence pédagogique : étude du circuit RLC série



Séquence pédagogique : étude du circuit RLC série



Cahier des charges :

- ✓ Filtre passe-bande
- ✓ Fréquence propre : 10kHz
- ✓ Bande passante : 1kHz

Séquence pédagogique : illustration du filtrage en MPSI

Notions et contenus	Capacités exigibles
8. Filtrage linéaire	

Fonction de transfert harmonique. Diagramme de Bode.

Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.

Crédits : BO MPSI, MESR

Séance de TP de 2h avec un compte rendu par binôme

Séquence pédagogique : étude du circuit RLC série

Etape 1 : construction
du circuit RLC (~30min)



Difficultés envisagées :

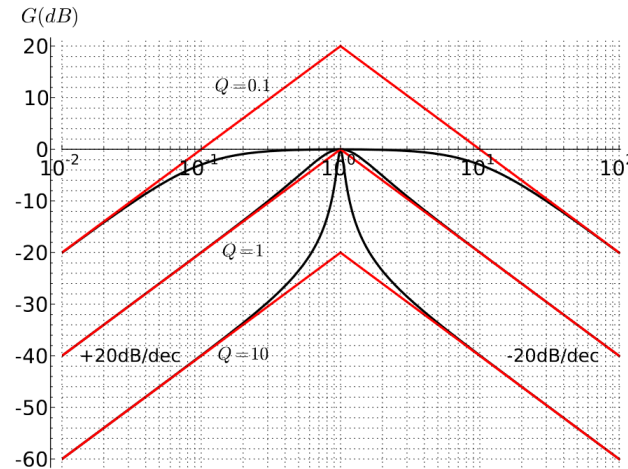
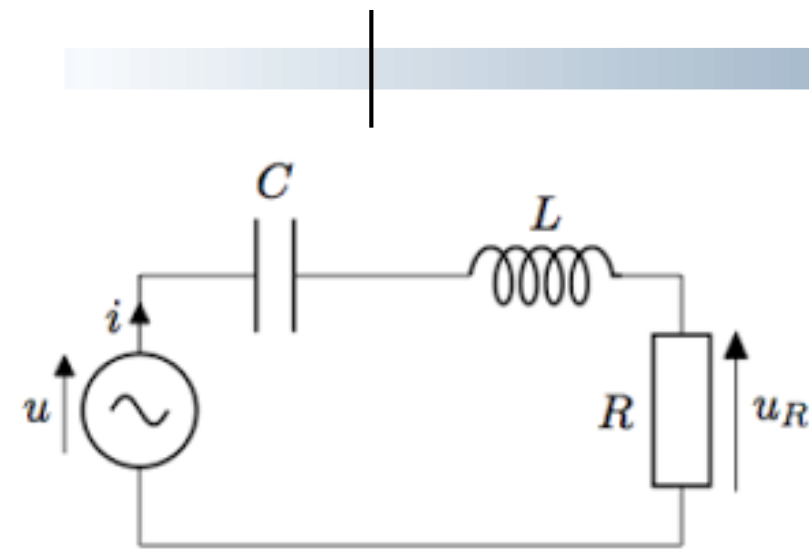
- ✓ Mauvais choix de (L, C)
- ✓ Problème de masse

Séquence pédagogique : étude du circuit RLC série

Etape 1 : construction
du circuit RLC (~30min)

Etape 2 : diagramme de
Bode (~1h)

Progression de la
séance



Difficultés envisagées :

- ✓ Mauvais choix de (L,C)
- ✓ Problème de masse

Difficultés envisagées :

- ✓ Définition du diagramme de Bode
- ✓ Représentation logarithmique

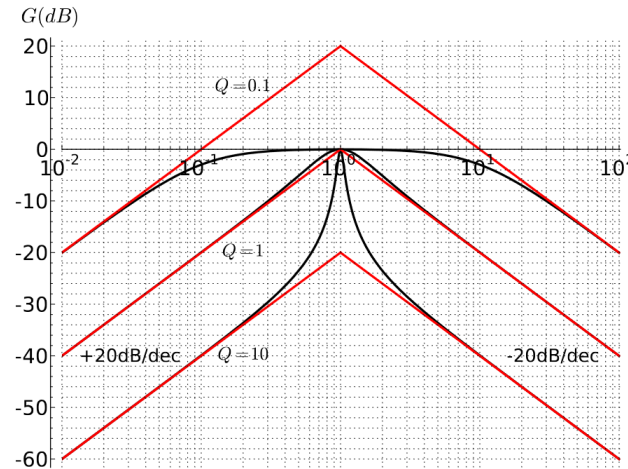
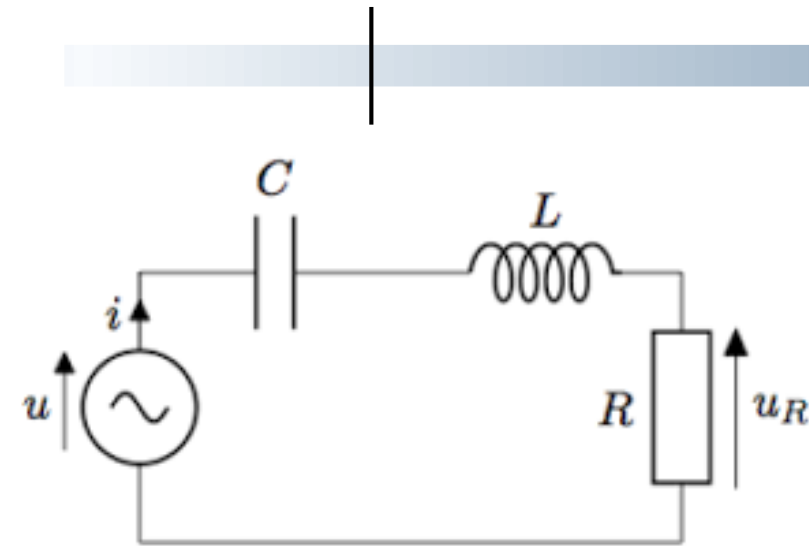
Séquence pédagogique : étude du circuit RLC série

Etape 1 : construction du circuit RLC (~30min)

Etape 2 : diagramme de Bode (~1h)

Etape 3 : Réponse au cahier des charges (~30min)

Progression de la séance



Difficultés envisagées :

- ✓ Mauvais choix de (L,C)
- ✓ Problème de masse

Difficultés envisagées :

- ✓ Définition du diagramme de Bode
- ✓ Représentation logarithmique

Difficultés envisagées :

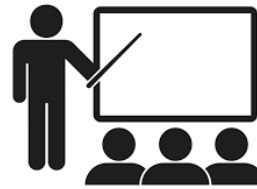
- ✓ Identification du problème
- ✓ Relier bande passante et facteur de qualité

Parcours de formation à et par l'enseignement



**Brevet d'Aptitude aux
Fonctions d'Animateur
(BAFA)**

Depuis 2013



**Tutorat d'élèves de L1 en difficulté
scolaire**

2015-2016



**Préparation à
l'agrégation de
physique au centre de
Montrouge**

2022-2023

**Représentant des
personnels non-
permanents du LPS**

2018-2021

**Monitorat de physique à l'université
Paris-Saclay**

TD de mathématiques pour la physique en
L3/magistère d'Orsay

TD et TP d'optique géométrique en L1 BCST

TD de mécanique du point en L1 BCST

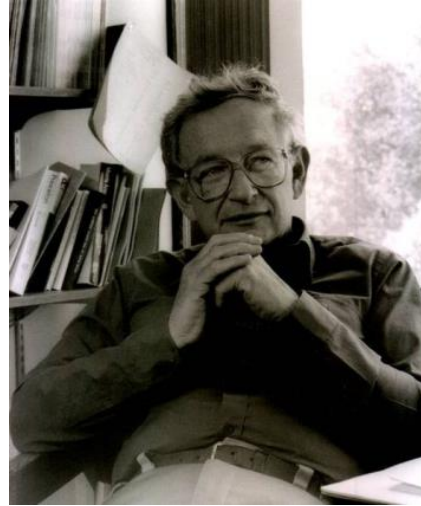
2018-2021

**Stage facultatif de 3
jours au lycée
Condorcet à Montreuil**

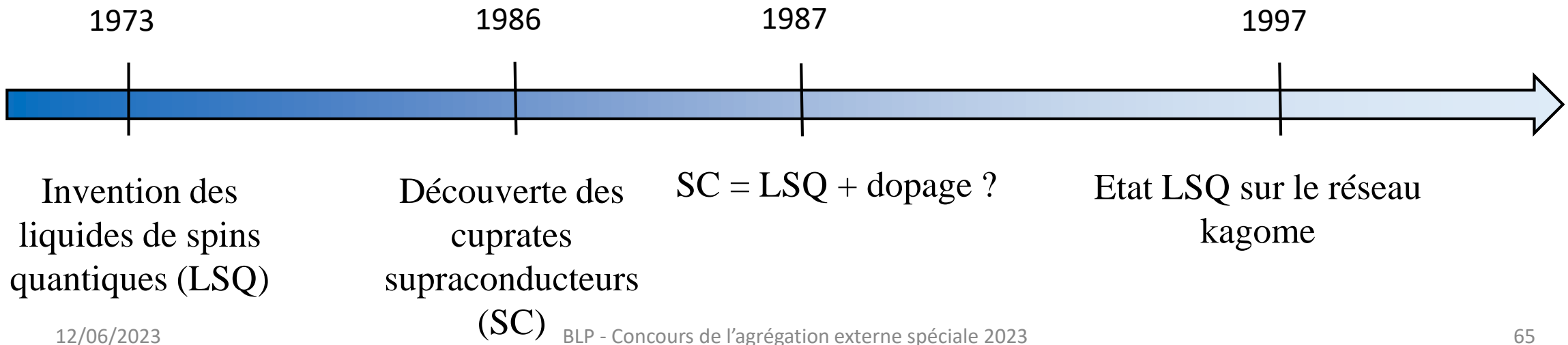
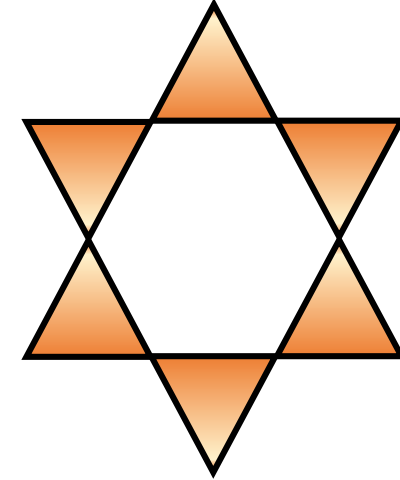
Vers un LSQ sur le réseau kagomé



Credits : wikipédia



Credits : wikipédia



Différents cas de l'antiferromagnétisme

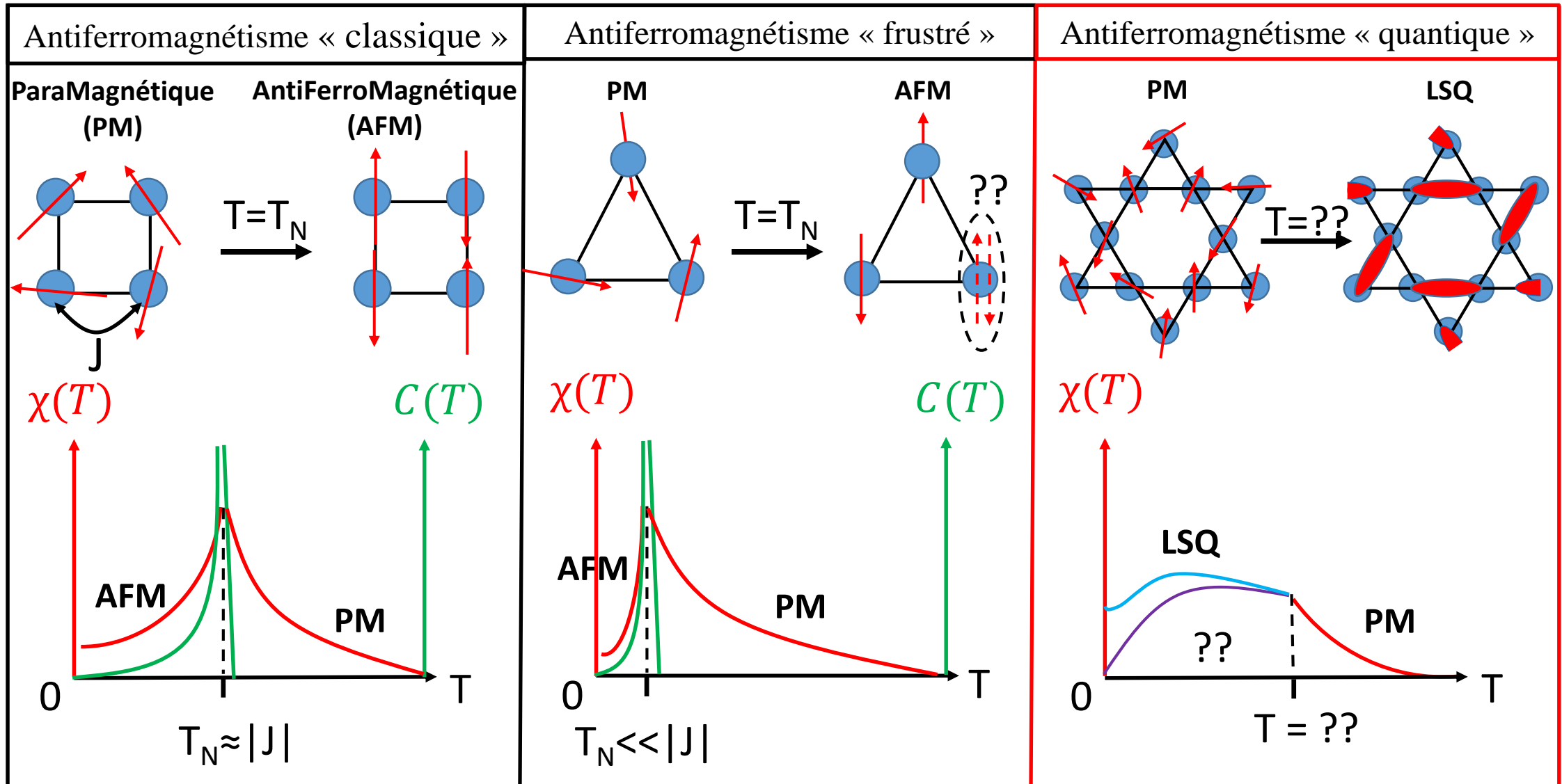


Schéma synoptique de l'expérience

