

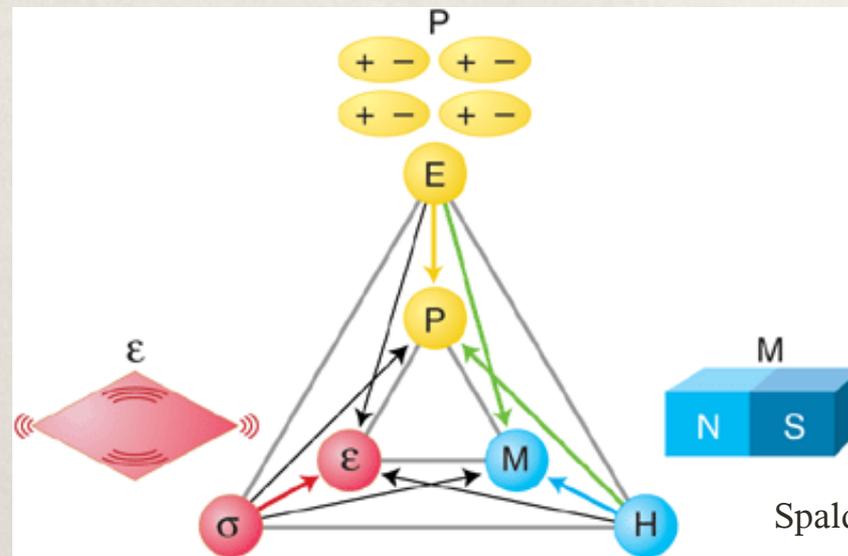


Couplage spin/réseau dans les multiferroïques RMnO_3 hexagonaux

X. Fabrèges, I. Mirebeau, S. Petit, S. Pailhès, A. Forget, L. Pinsard,
P. Bonville

Introduction

- Multiferroïcité : couplage entre deux paramètres d'ordre
 - Magnétisme
 - Ferroélectricité
 - Elasticité

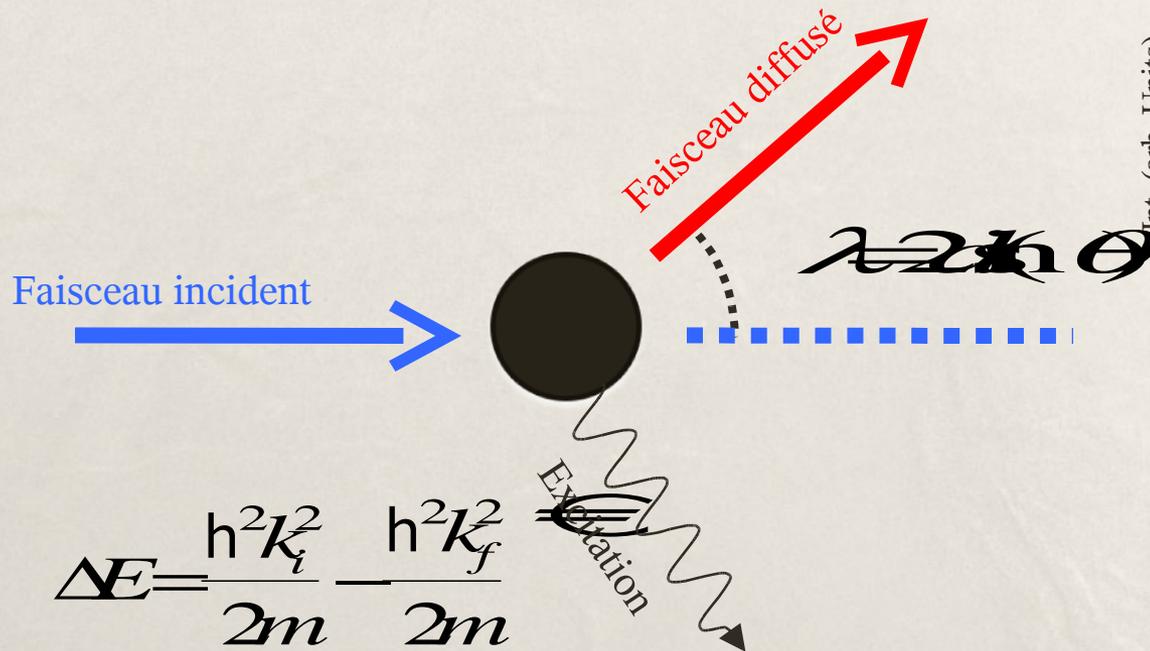


- Applications à l'électronique de spin

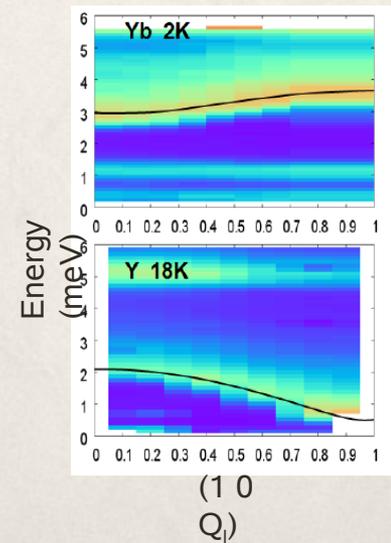
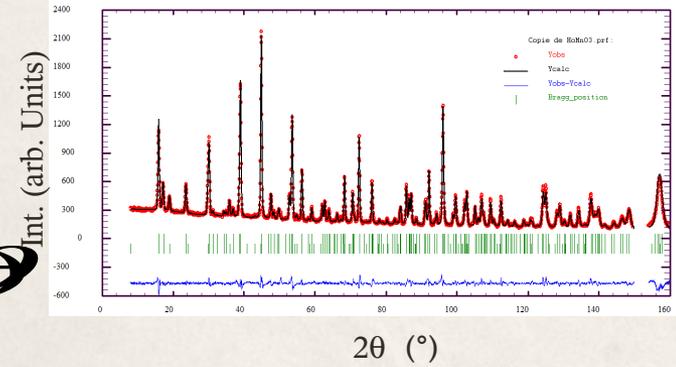
Plan

- Les neutrons
 - Structure nucléaire
 - Structure magnétique
- Couplage spin-réseau
 - Paramètres
 - Super-échange et réseau
- Résultats expérimentaux
 - Diffusion élastique de neutrons
 - Diffusion inélastique de neutrons
- Conclusions

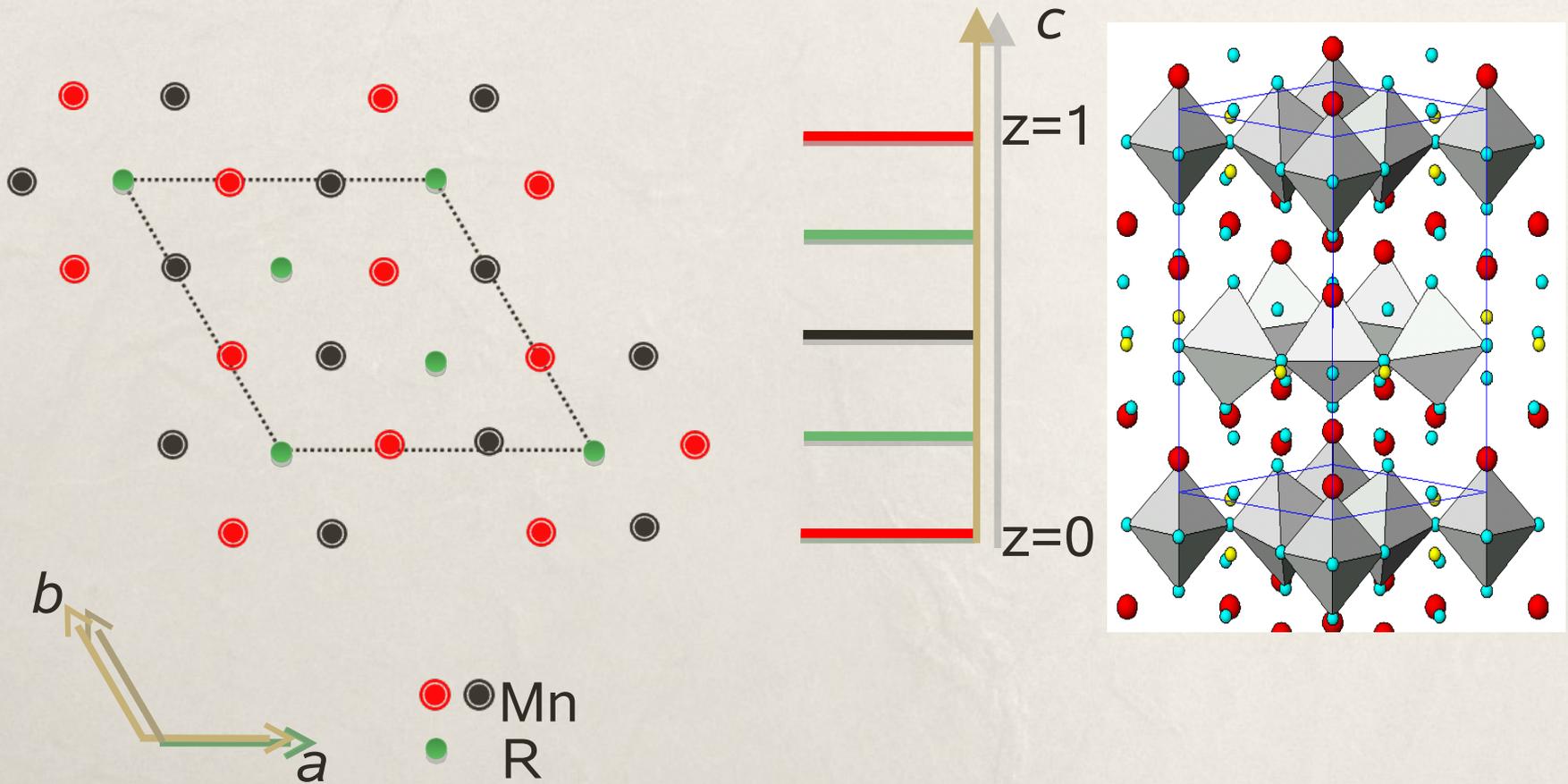
Diffusion de neutrons



$$\Delta E = \frac{\hbar^2 k_i^2}{2m} - \frac{\hbar^2 k_f^2}{2m}$$

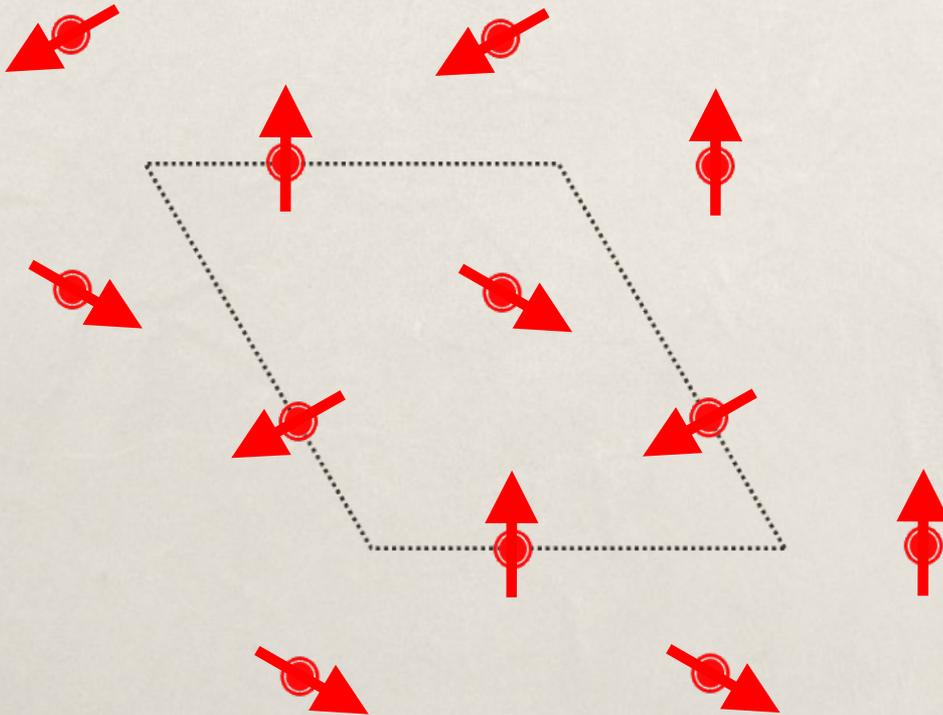


Structure nucléaire

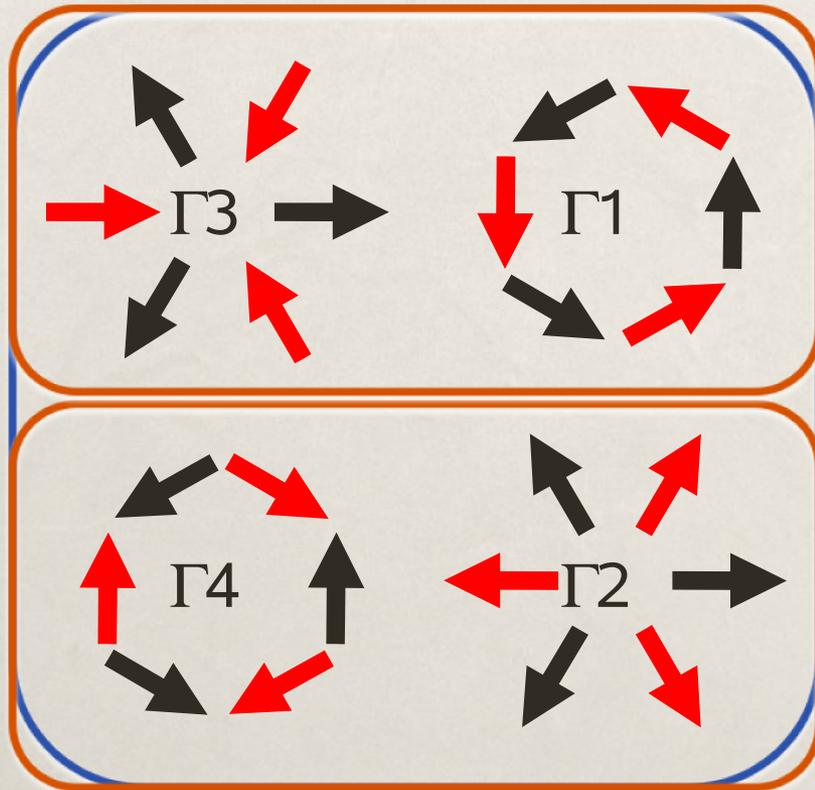


Structures magnétiques

- Ordre dans les plans à 120°



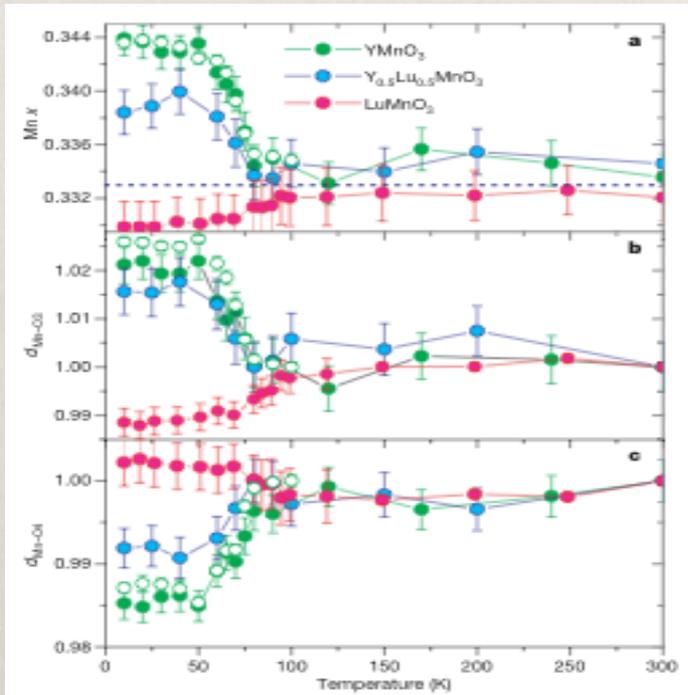
Structures magnétiques



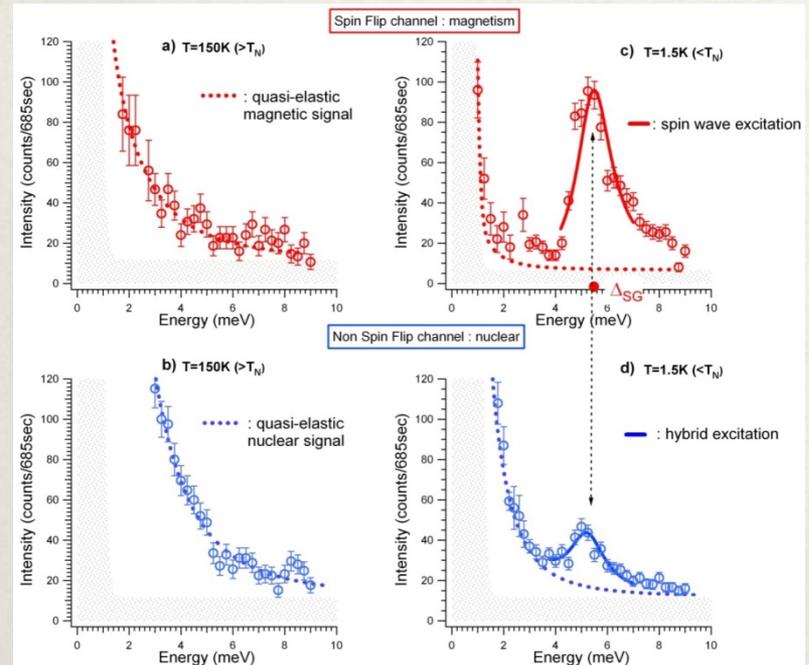
- Ordre dans les plans à 120°
- Les symétries du groupe d'espace $P6_3cm$ permettent 4 grands types d'empilements différents
- Homométrie de certaines solutions

Couplage spin/réseau

- Fort couplage spin/réseau :
 - Transition iso-structurale
 - Mode hybride phonon/magnon

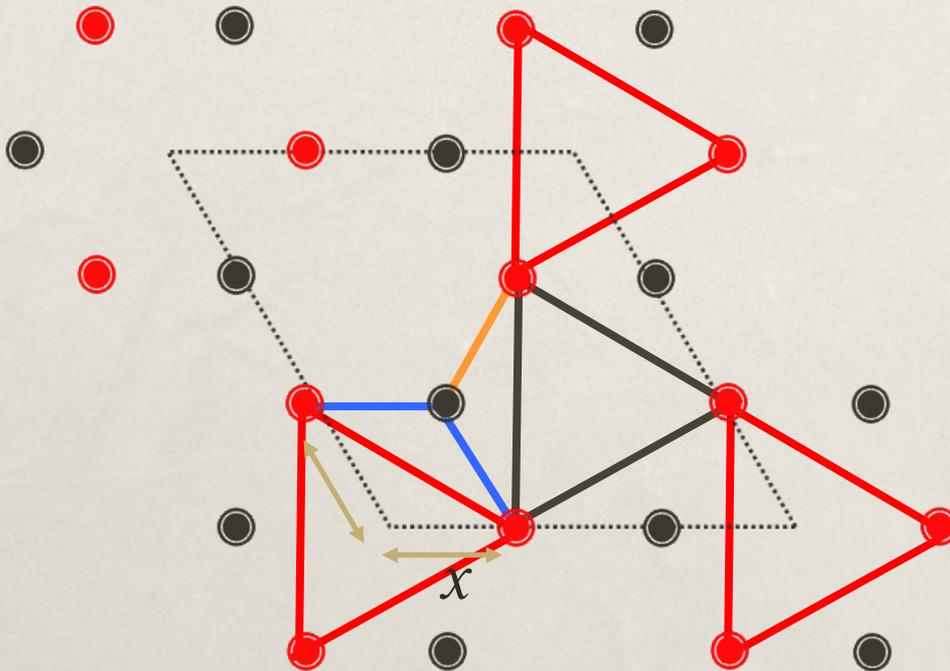


Transition iso-structurale dans Lu et YMnO_3
 Lee *et al.*, Nature, 451 (2008)



Mode hybride dans YMnO_3
 Pailhès *et al.*, PRB, 79 (2009)

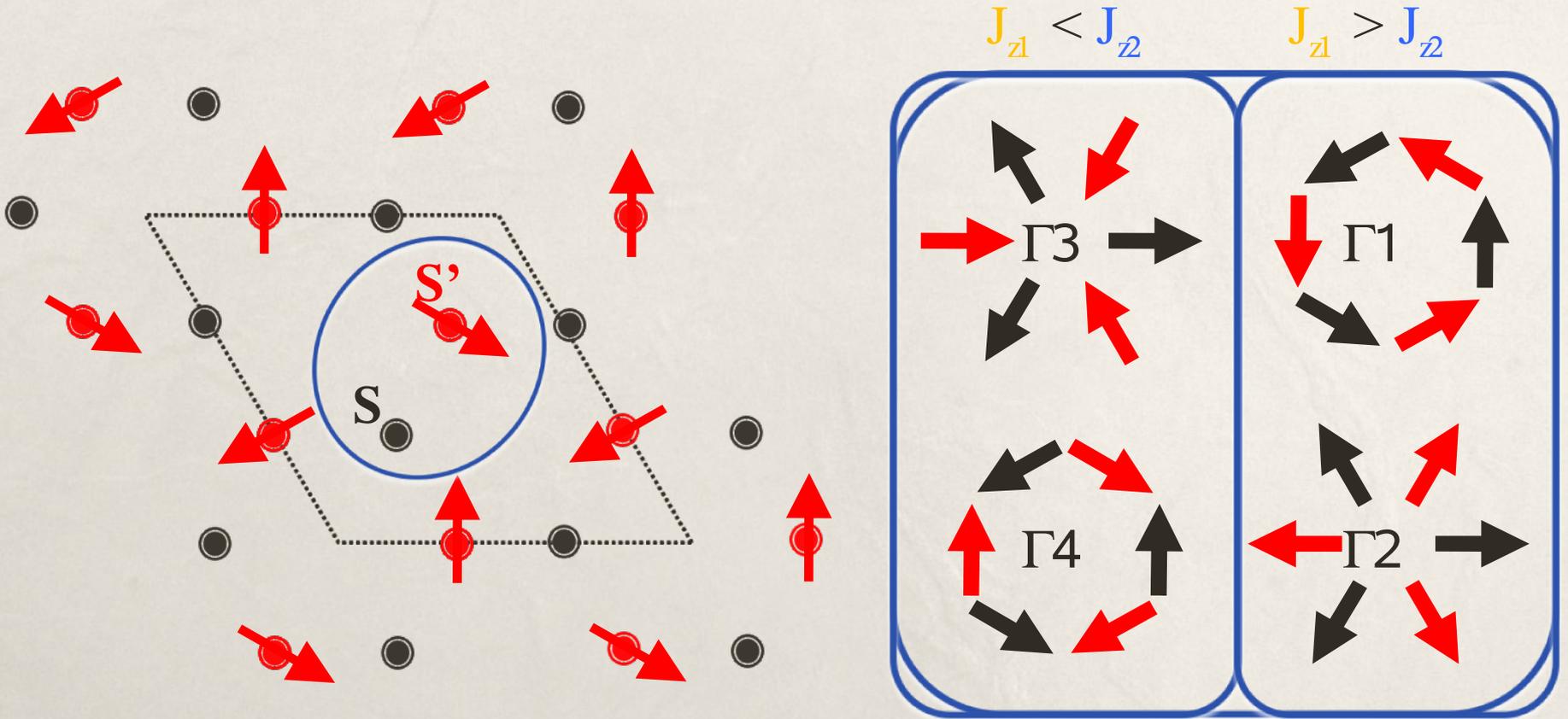
Paramètres



J_{11} et J_{22}

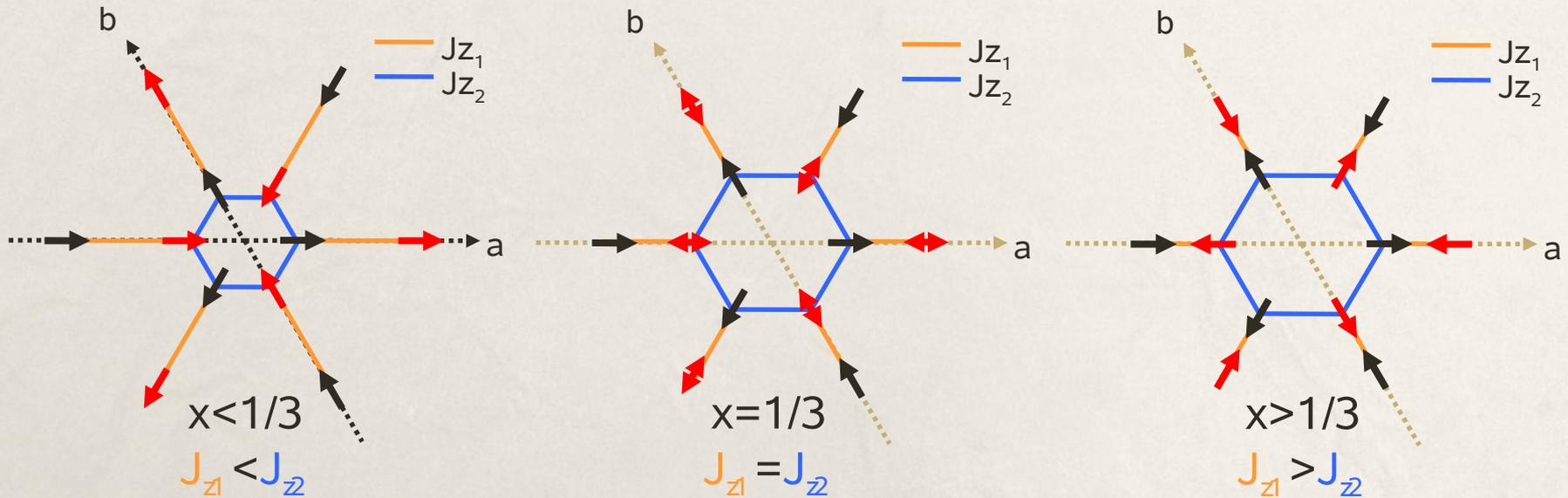
- Mn en position (6c) du groupe d'espace $P6_3cm$: $(x, 0, 0)$
- 2 chemins de super-échange planaire AF entre Mn d'un même plan.
- 2 chemins de super-échange inter-plans AF entre Mn de plans adjacents.

Lien entre x et interactions d'échange



$$E = (J_{z1} - J_{z2}) S S'$$

Lien entre x et Γ



- x contrôle la valeur de $J_{z1} - J_{z2}$
- La position $1/3$ est critique : frustration des interactions inter-plans
- Transition magnétique attendue si x croise la valeur $1/3$

Résultats

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'IUPAC (1985) : 1-18
 NUMÉRO DU GROUPE CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986) : I-VIII
 NOMBRE ATOMIQUE : Z
 MASSE ATOMIQUE RELATIVE (1) : A_r
 SYMBOLE : X
 NOM DE L'ÉLÉMENT : Y

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 IA	2 IIA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 1.0079 H HYDROGÈNE												5 10,811 B BORE	6 12,011 C CARBONE	7 14,007 N AZOTE	8 15,999 O OXYGÈNE	9 18,998 F FLUOR	10 20,180 Ne NÉON
2 3 6,941 Li LITHIUM	4 9,0122 Be BÉRYLLIUM											13 26,982 Al ALUMINIUM	14 28,086 Si SILICIUM	15 30,974 P PHOSPHORE	16 32,065 S SOUFRE	17 35,453 Cl CHLORE	18 39,948 Ar ARGON
3 11 22,990 Na SODIUM	12 24,305 Mg MAGNÉSIIUM	3 21 44,956 Sc SCANDIUM	4 22 47,887 Ti TITANE	5 23 50,942 V VANADIUM	6 24 50,942 Cr CHROME	7 25 54,938 Mn MANGANÈSE	8 26 55,845 Fe FER	9 27 58,933 Co COBALT	10 28 58,693 Ni NICKEL	11 29 63,546 Cu CUIVRE	12 30 65,39 Zn ZINC	13 31 69,723 Ga GALLIUM	14 32 72,64 Ge GERMANIUM	15 33 74,922 As ARSENIC	16 34 78,96 Se SÉLÉNIUM	17 35 79,904 Br BROME	18 36 83,80 Kr KRYPTON
4 19 39,098 K POTASSIUM	20 40,078 Ca CALCIUM	39 88,906 Y YTBRIUM	40 91,224 Zr ZIRCONIUM	41 92,905 Nb NIOBIUM	42 95,94 Mo MOLYBDÈNE	43 (98) 98 Tc TECHNÉTIUM	44 101,07 Ru RUTHÉNIUM	45 102,91 Rh RHODIUM	46 106,42 Pd PALLADIUM	47 107,87 Ag ARGENT	48 112,41 Cd CADMIUM	49 114,82 In INDIUM	50 118,71 Sn ÉTAIN	51 121,76 Sb ANTIMOINE	52 127,60 Te TELURE	53 126,90 I IODE	54 131,29 Xe XÉNON
5 37 85,468 Rb RUBIDIUM	38 87,62 Sr STRONTIUM	57-71 Lanthanides	72 178,49 Hf HAFNIUM	73 180,95 Ta TANTALE	74 183,84 W TUNGSTÈNE	75 186,21 Re RHÉNIUM	76 190,23 Os OSMIUM	77 192,22 Ir IRIDIUM	78 195,08 Pt PLATINE	79 196,97 Au OR	80 200,59 Hg MERCURE	81 204,38 Tl THALLIUM	82 207,2 Pb PLOMB	83 208,98 Bi BISMUTH	84 (209) 209 Po POLONIUM	85 (210) 210 At ASTATE	86 (222) 222 Rn RADON
6 55 132,91 Cs CÉSIIUM	56 137,33 Ba BARYUM	89-103 Actinides	104 (261) 261 Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) 262 Db DUBNIUM	106 (266) 266 Sg SEABORGIUM	107 (264) 264 Bh BOHRIIUM	108 (277) 277 Hs HASSIUM	109 (268) 268 Mt MEITNERIUM	110 (281) 281 Uun UNUNIUM	111 (272) 272 Uuu UNUNIUM	112 (285) 285 Uub UNBIUM	114 (289) 289 Uuq UNQUADIUM					
7 87 (223) 223 Fr FRANCIUM	88 (226) 226 Ra RADIUM																

Lanthanides

57 138,91 La LANTHANE	58 140,12 Ce CÉRIUM	59 140,91 Pr PRASÉODYME	60 144,24 Nd NÉODYME	61 (145) 145 Pm PROMÉTHIUM	62 150,36 Sm SAMARIUM	63 151,86 Eu EUROPIUM	64 157,25 Gd GADOLINIUM	65 158,93 Tb TERBIUM	66 162,50 Dy DYSPROSIUM	67 164,83 Ho HOLMIUM	68 167,26 Er ERBIUM	69 168,93 Tm THULIUM	70 173,04 Yb YTBRIUM	71 174,97 Lu LUTÉTIUM
---------------------------------------	-------------------------------------	---	--------------------------------------	--	---------------------------------------	---------------------------------------	---	--------------------------------------	---	--------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

Actinides

89 (227) 227 Ac ACTINIUM	90 232,04 Th THORIUM	91 231,04 Pa PROTACTINIUM	92 238,03 U URANIUM	93 (237) 237 Np NEPTUNIUM	94 (244) 244 Pu PLUTONIUM	95 (243) 243 Am AMÉRICIUM	96 (247) 247 Cm CURIUM	97 (247) 247 Bk BERKÉLIUM	98 (251) 251 Cf CALIFORNIUM	99 (252) 252 Es EINSTEINIUM	100 (257) 257 Fm FERMIUM	101 (258) 258 Md MENDELÉVIUM	102 (259) 259 No NOBÉLIUM	103 (262) 262 Lr LAWRENCIUM
--	--------------------------------------	---	-------------------------------------	---	---	---	--	---	---	---	--	--	---	---

La masse atomique relative est donnée avec 6 cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.

Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

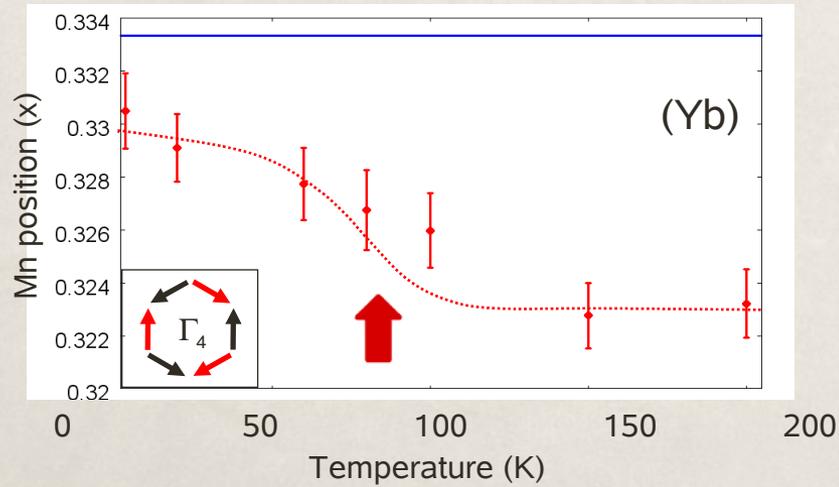
Elastique :

- D2B (ILL)
- 3T2 (LLB)
- G41 (LLB)
- G61 (LLB)

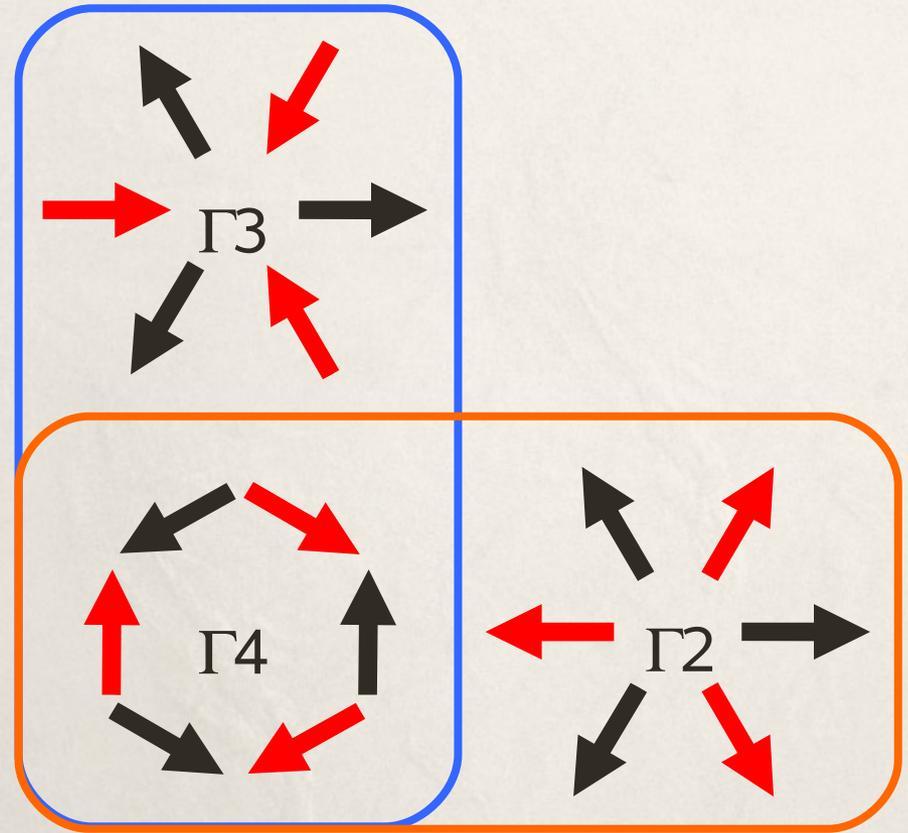
Inélastique :

- 4F1/2 (LLB)
- 2T (LLB)
- IN8/22 (ILL)

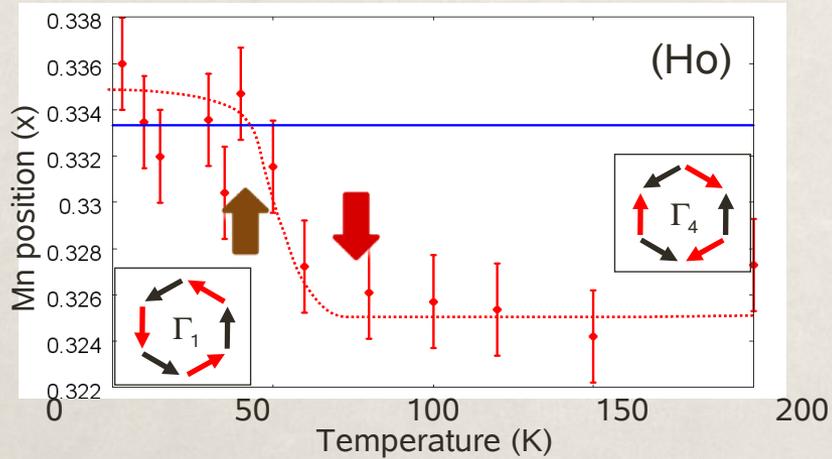
Résultats : YbMnO_3



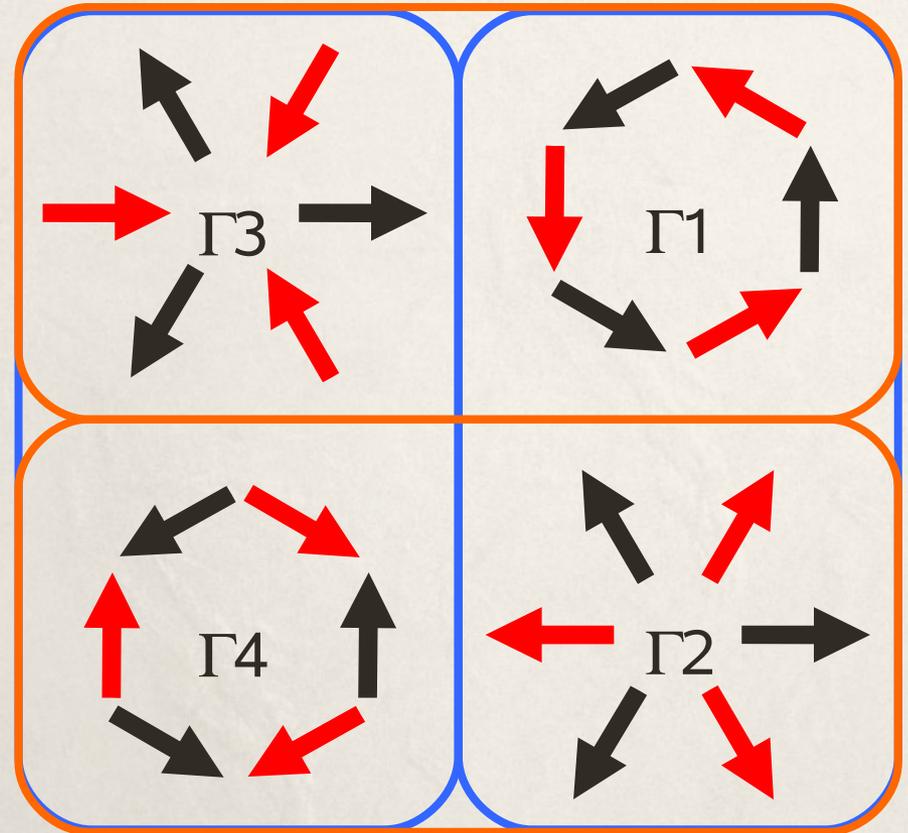
- T_N (86K): $x < 1/3$ et neutrons Γ_2/Γ_4
- Déplacements : 0.02 Angström



Résultats : HoMnO₃



- T_N (75K): $x < 1/3$ et neutrons Γ_2/Γ_4
- T_{SR} (38K): $x = 1/3$
- $T < T_{SR}$: $x > 1/3$ et neutrons Γ_1/Γ_3



Mesures d'ondes de spin

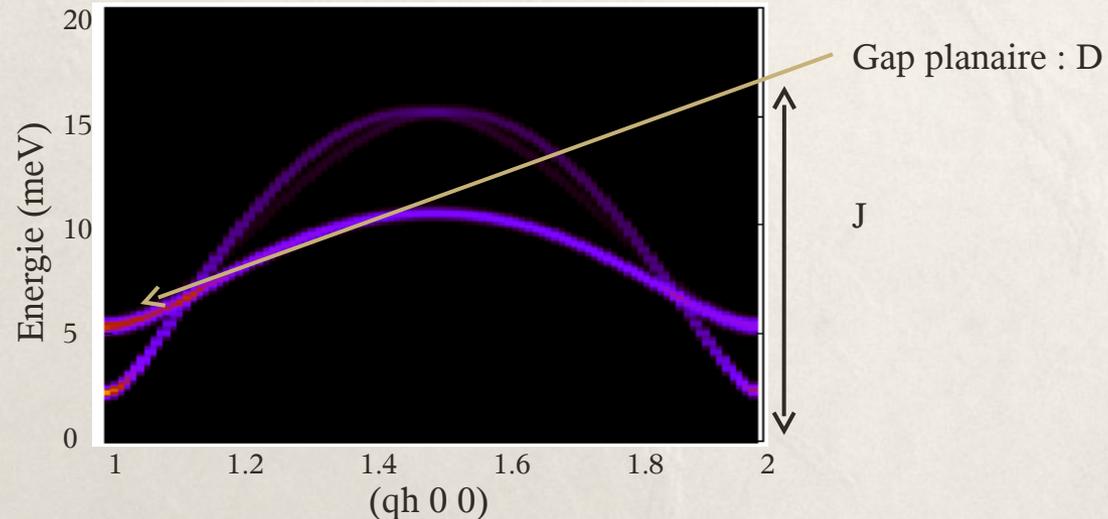
□ Hamitonien d'onde de spin :

□ Terme d'échange

□ Anisotropie planaire

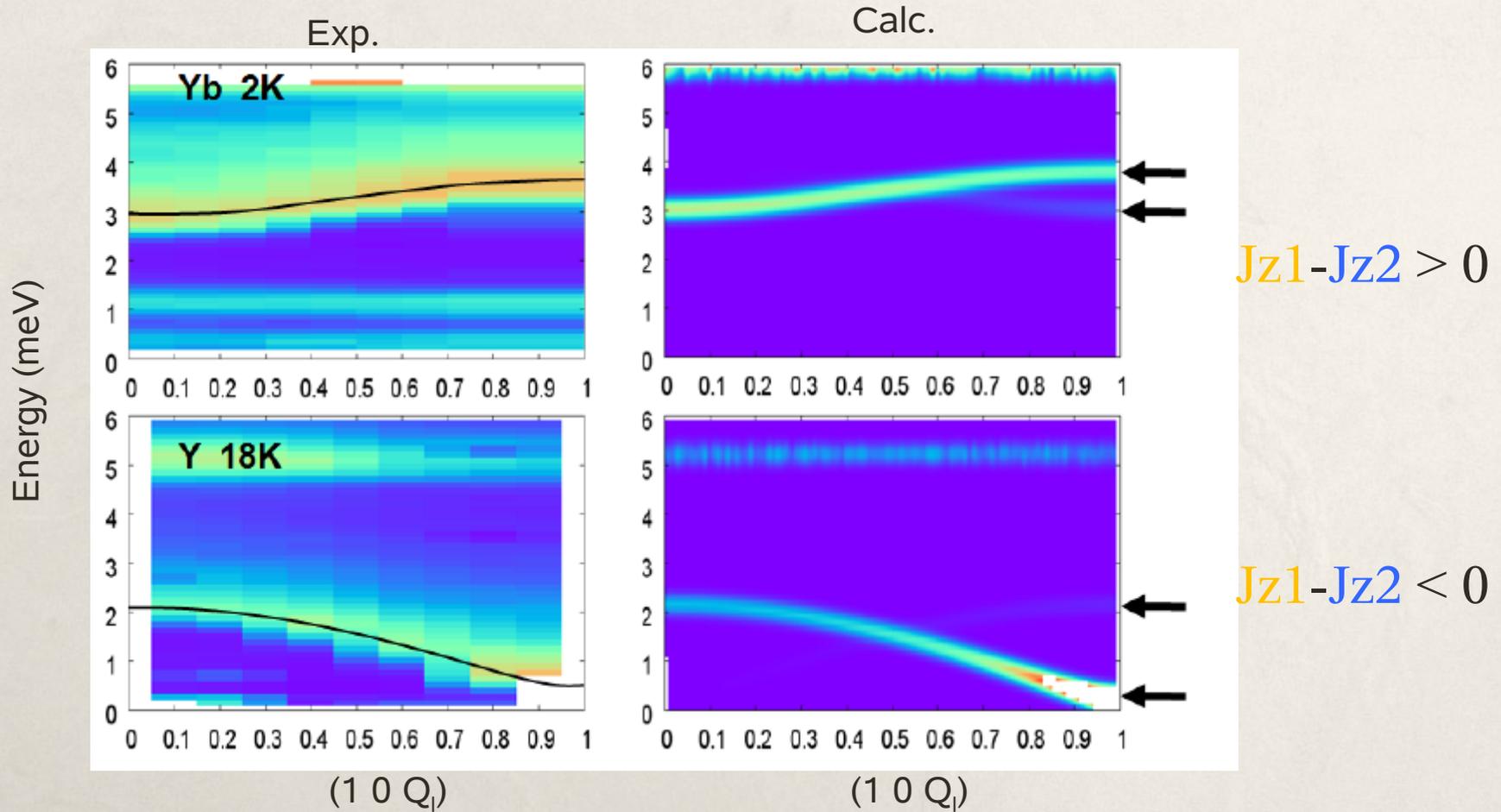
$$H = \sum_{i,j} \frac{1}{2} J_{i,j} \hat{S}_i \cdot \hat{S}_j + \sum_i D S_i^z S_i^z$$

□ Fit des data expérimentales par le calcul donne directement accès aux différents termes (J, J_z, D)

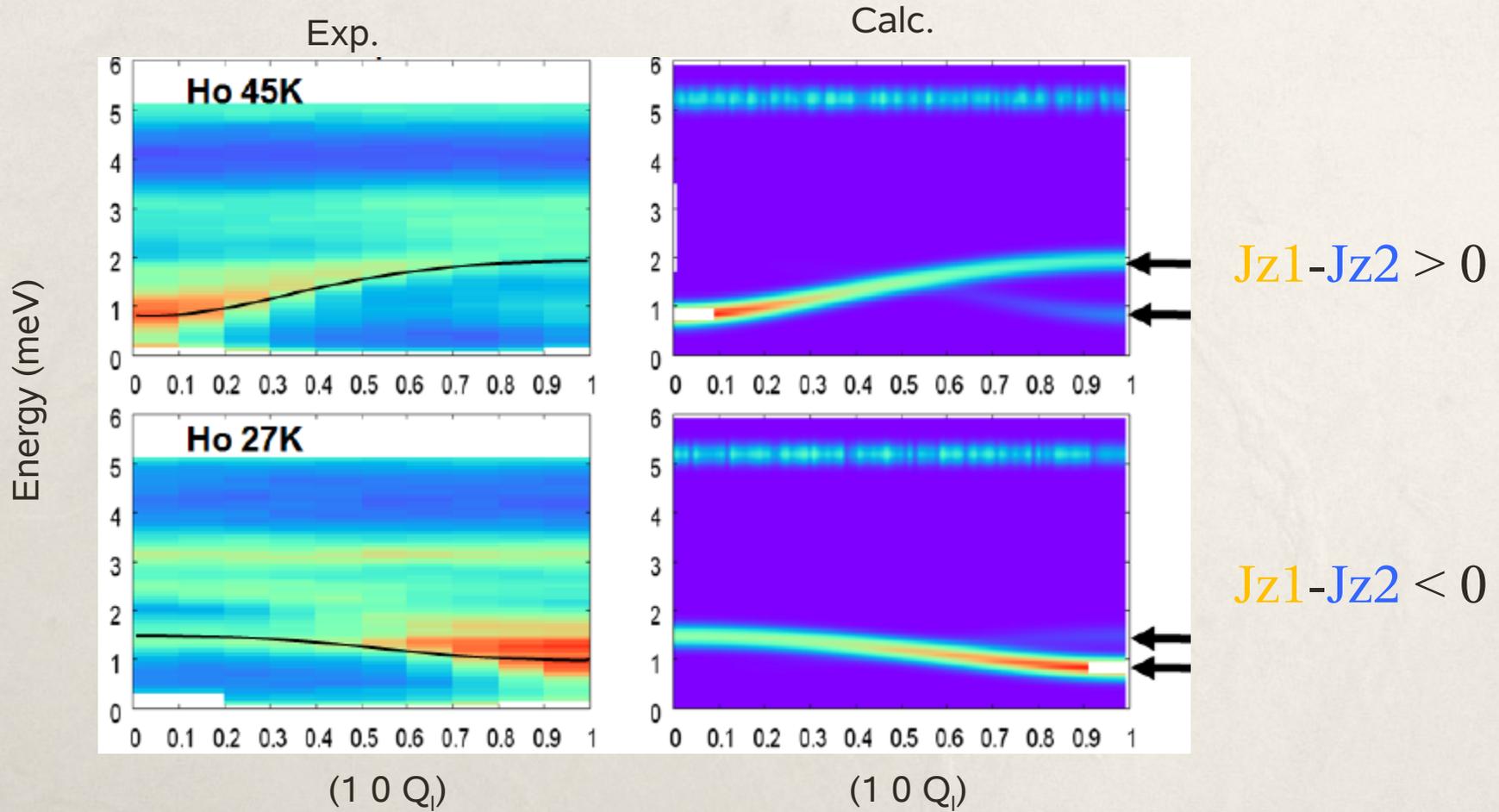


□ Scan en QI

Résultats Y et YbMnO₃



Résultats HoMnO₃



Conclusions

- Corrélation positions/ordre magnétique : valable dans toute la série
 - Position/ordre gamma
 - Hypothèse : couplage $jz1-Jz2$?
- Mesures inélastique cohérente avec l'analyse diffraction
- Occulté la terre rare : mais influence sur le spin des Mn
- Poster interaction Mn(3d)/R(4f)