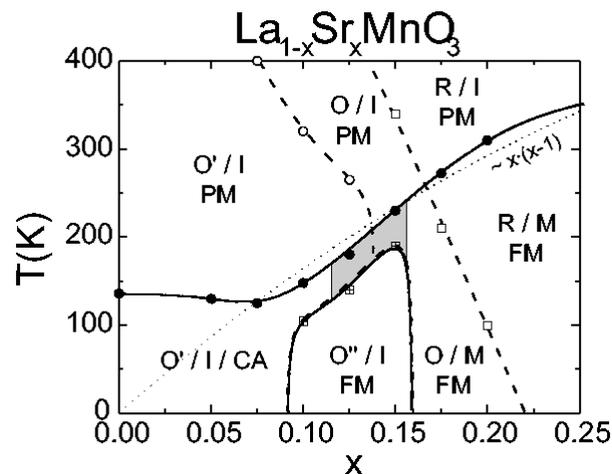


Dynamique de spin et ségrégation de charges dans les manganites

Martine Hennion, Fernande Moussa, Sylvain Petit
Gaël Biotteau, Pascale Kober (CEA-Saclay, LLB)
Loreynne Pinsard (ICMMO), Yakov Mukovskii (MISIS)
Alexander Ivanov (ILL)

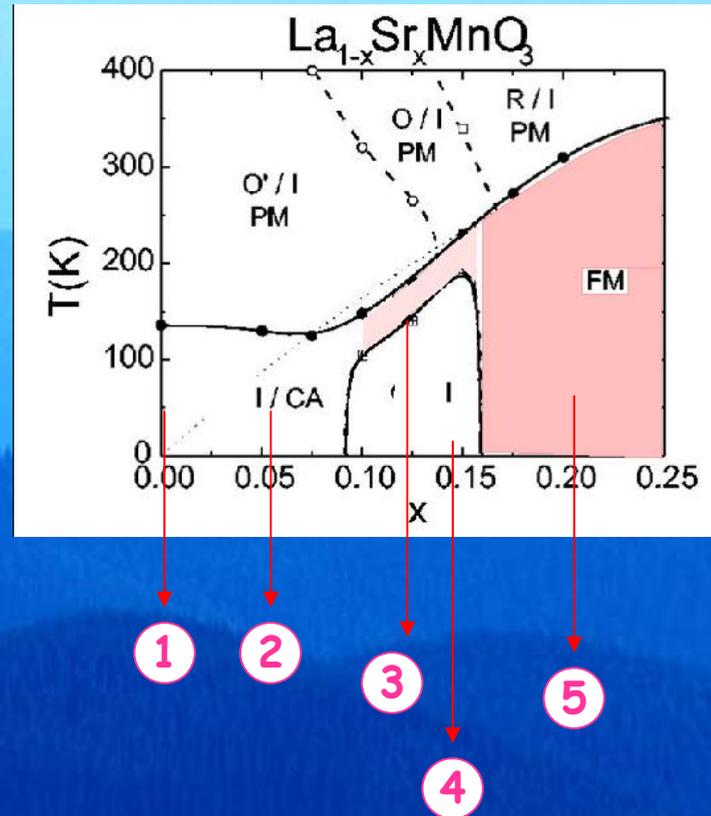
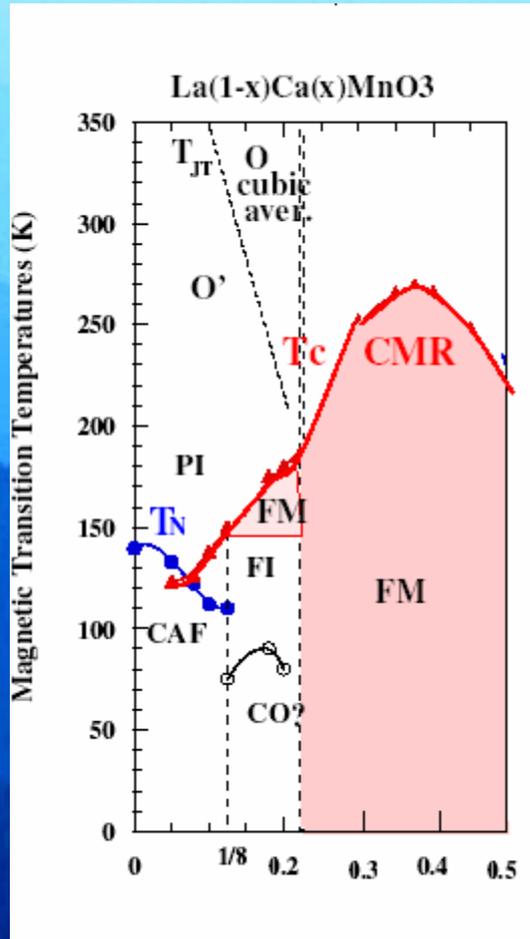
1. Propriétés de transport, CMR : intérêt technologique
2. Diagramme de phases riche : nombreux degrés de liberté : spins, charge, orbitales



3. Nouvelle physique : ségrégation de charges à une échelle nanoscopique. De quelle nature ?

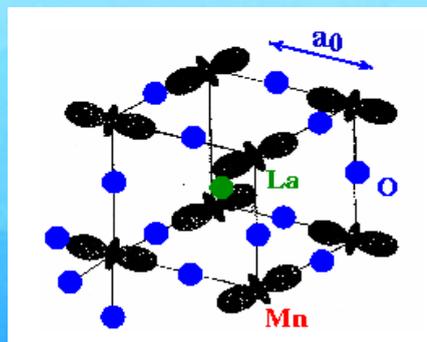
- 1. Introduction**
- 2. Neutrons**
- 3. Dynamique de spin et ségrégation de charges**

I. Introduction

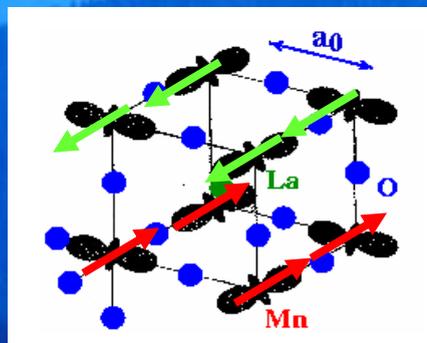
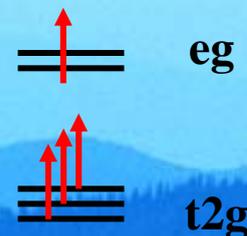


Phénoménologie identique, avec des variations liées à la taille du dopant Ca,Ba,Sr

Introduction

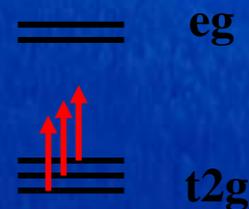


Structure « cubique »
 LaMnO_3 : Mn $3+$
 Config électronique Mn
Couplage de Hund

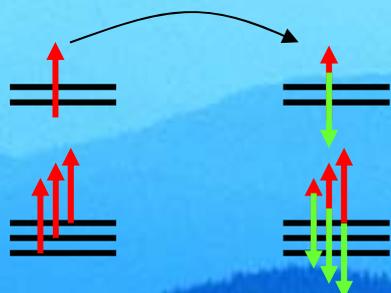


La dégénérescence est levée par l'effet **Jahn-Teller** :
 mise en ordre des orbitales (**couplage électron-phonon**)
 qui implique un ordre magnétique AF de type A

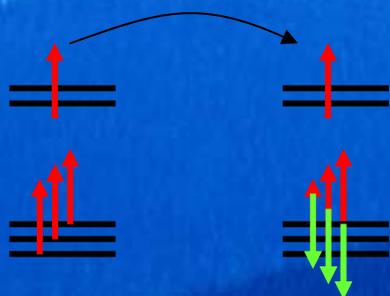
Dopage en trous par substitution sur le site du La
 Mn^{3+} devient Mn^{4+} (non Jahn-Teller)



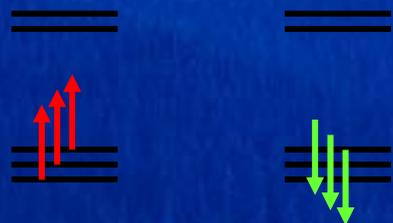
Quelle phénoménologie en fonction du dopage ?



$x=0$: le principe de Pauli donne une tendance **AF** (réduction de l'énergie cinétique)



Double échange : le trou peut sauter plus facilement si alignement **F** (sinon, il faut payer J_H)



$x=1$: alignement **AF** des spins t_{2g} (observation expérimentale)

Introduction

$$H = \sum_{i,j,a,b,\sigma} t_{a,b} c_{i,a,\sigma}^{\dagger} c_{j,b,\sigma} - J_H \sum_i \sigma_i \cdot S_i + J \sum_{i,j} S_i S_j - H_{JT}$$



Etat canté ?
Séparation de phases ?

Ségrégation de charges ?
CMR ?

Etude de la dynamique de spin

II. Neutrons et dynamique de spin

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial E_f \partial \Omega} = \frac{k_f}{k_i} r_o^2 \left(\frac{1}{2} g F(q) \right)^2 e^{-2W} \sum_{\alpha\beta} \left(\delta_{\alpha\beta} - \frac{q_\alpha q_\beta}{q^2} \right) \mathcal{S}(q, \omega)^{\alpha\beta}$$

$$\mathcal{S}(q, \omega)^{\alpha\beta} = \int dt e^{-i\omega t} \langle S_q^\alpha S_q^\beta(t) \rangle$$

$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial E_f \partial \Omega} \propto \frac{k_f}{k_i} \sum_{k,s} I_{k,s} \{ (1 + n_{k,s}) \delta(\omega - E_{k,s}) + n_{k,s} \delta(\omega + E_{k,s}) \}$$

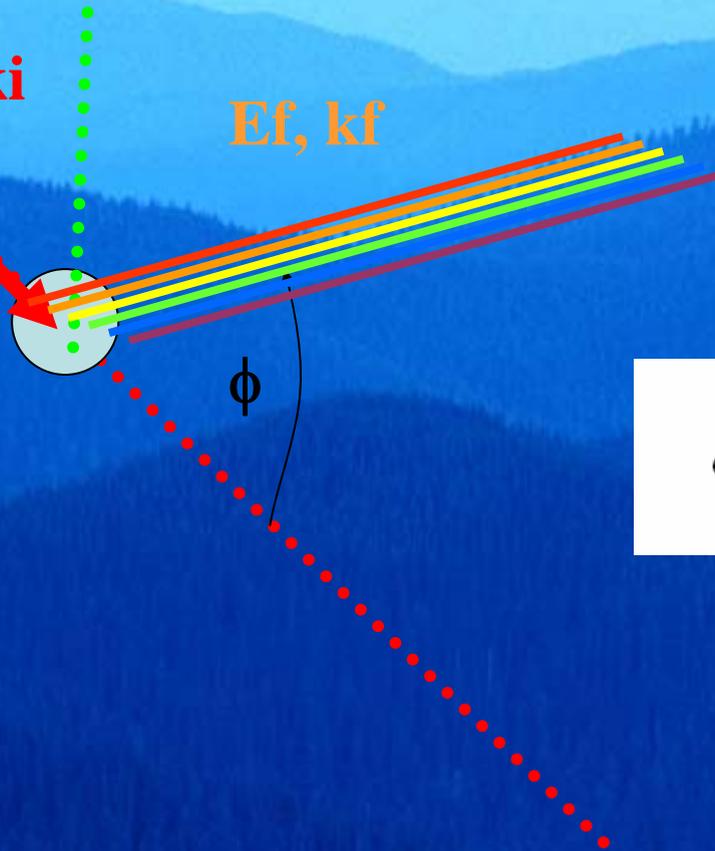


« 3 axes »



E_i, k_i

E_f, k_f



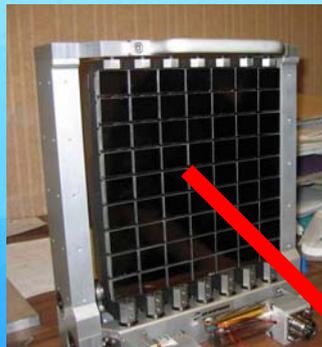
$$\frac{\partial^2 \sigma}{\partial E_f \partial \Omega}$$

$$\omega = k_i^2 - k_f^2$$

$$\vec{Q} = \vec{k}_i - \vec{k}_f$$

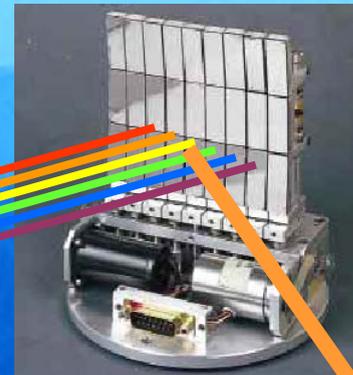
$$\cos \phi = \frac{k_i^2 + k_f^2 - Q^2}{2k_i k_f}$$

« 3 axes »



E_i, k_i

E_f, k_f



E_f

Q

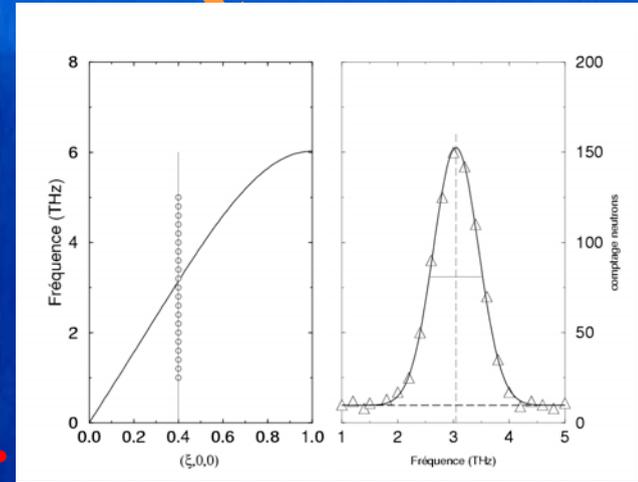
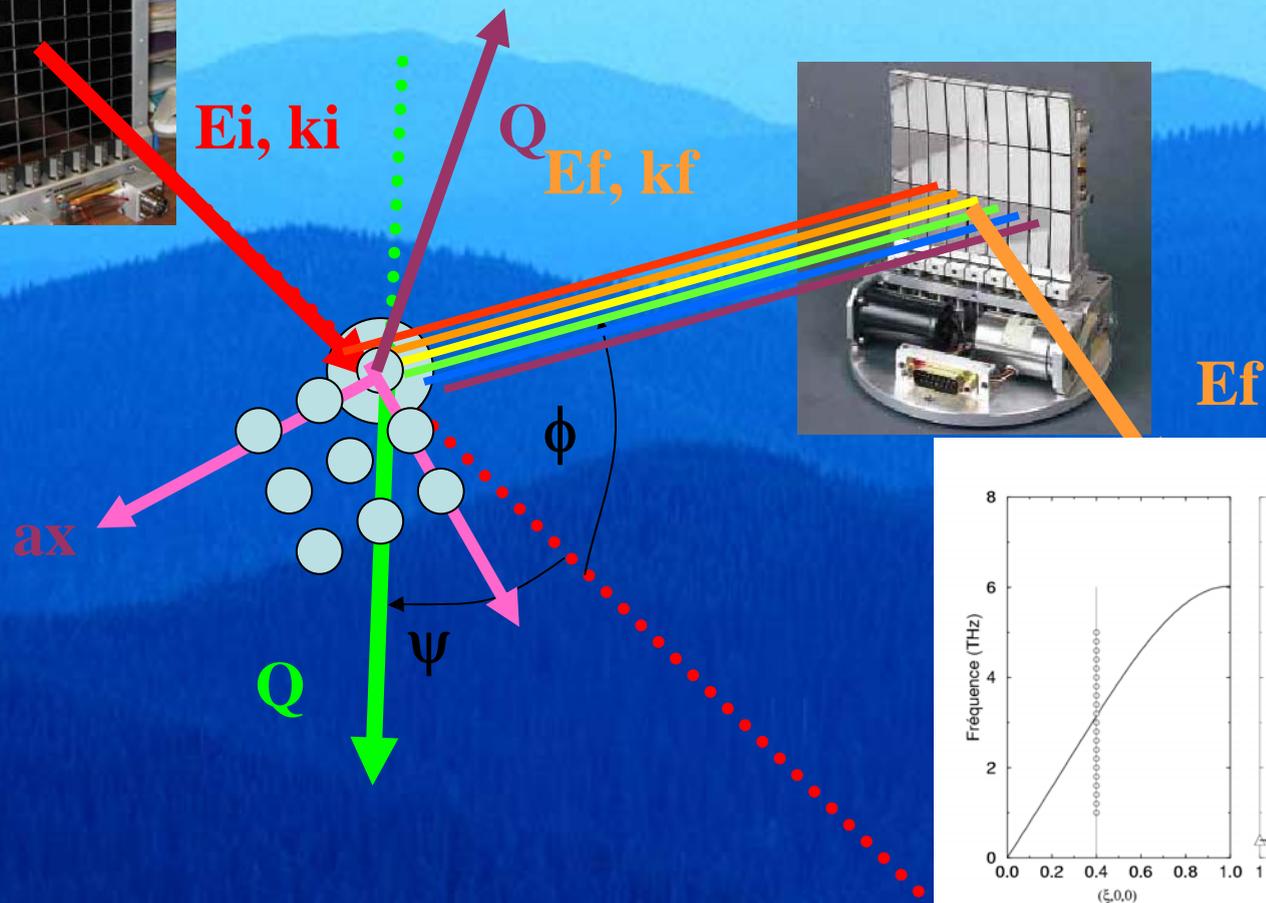
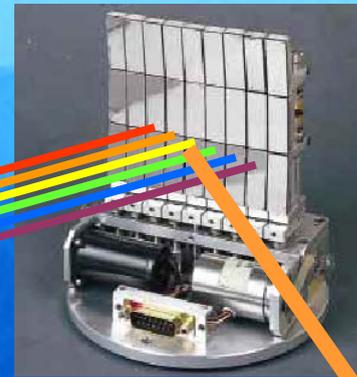
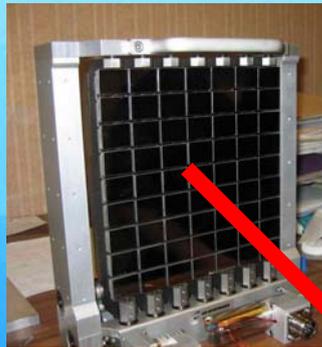
ψ

ϕ

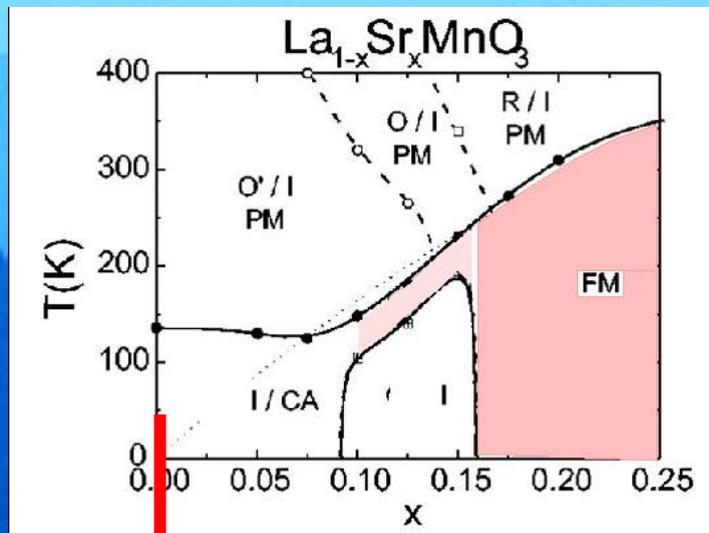
$$\cos \psi = \frac{k_i^2 - k_f^2}{2k_i Q} + \frac{1}{2} \frac{Q}{k_i}$$

$$2d \sin \theta = n\lambda.$$

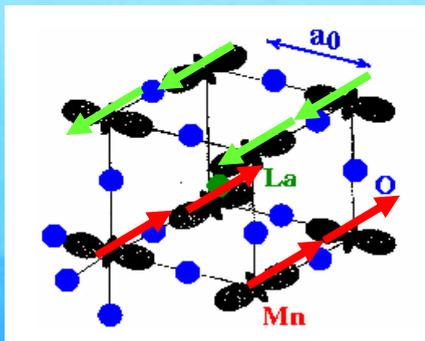
« 3 axes »



III. Dynamique de spin et ségrégation de charges

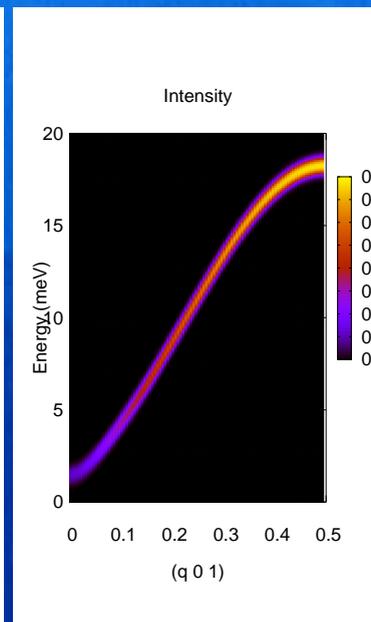
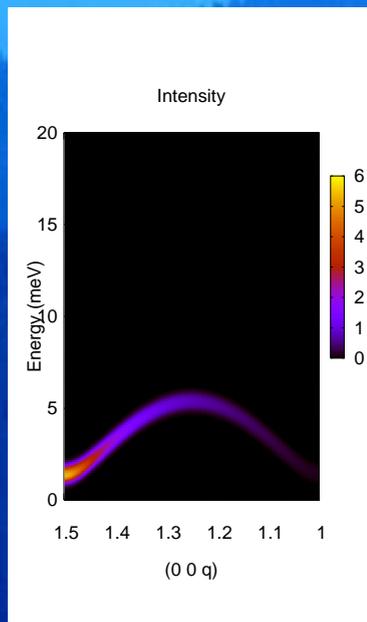
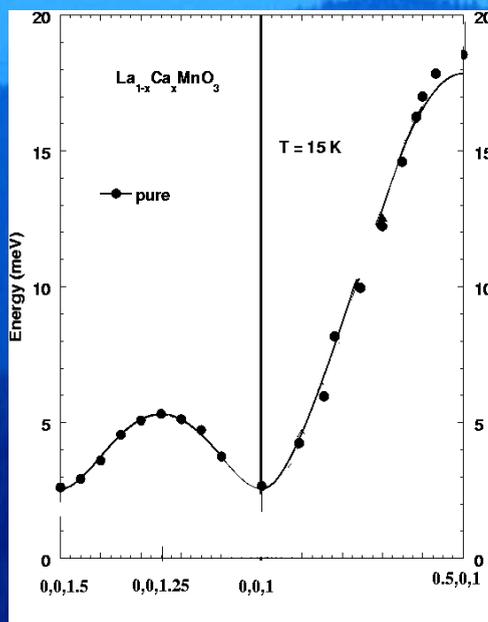


Dopage nul

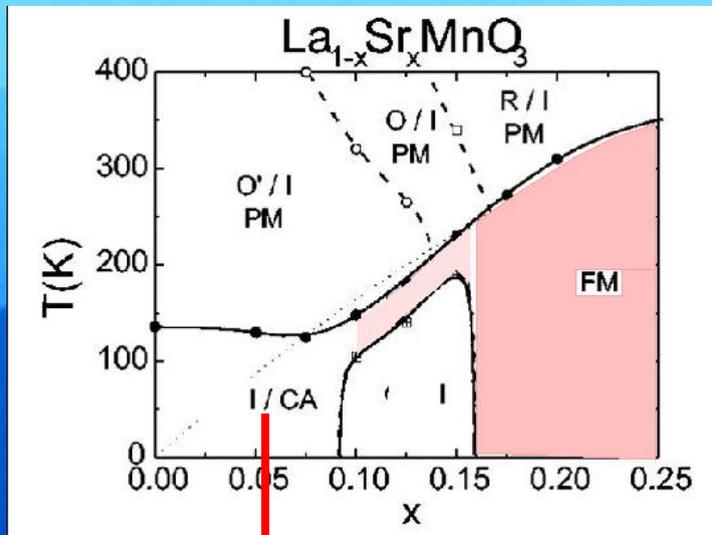


AF type A : plans ferro empilés AF
Super-échange J_{ab} Ferro et J_c AntiferroF

$$H = \sum_{m,n,i,j} \vec{S}_{m,i} J_{m,i,n,j} \vec{S}_{n,j}$$

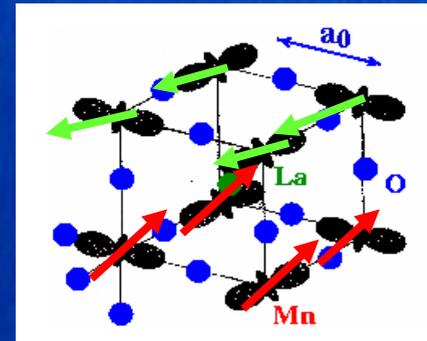
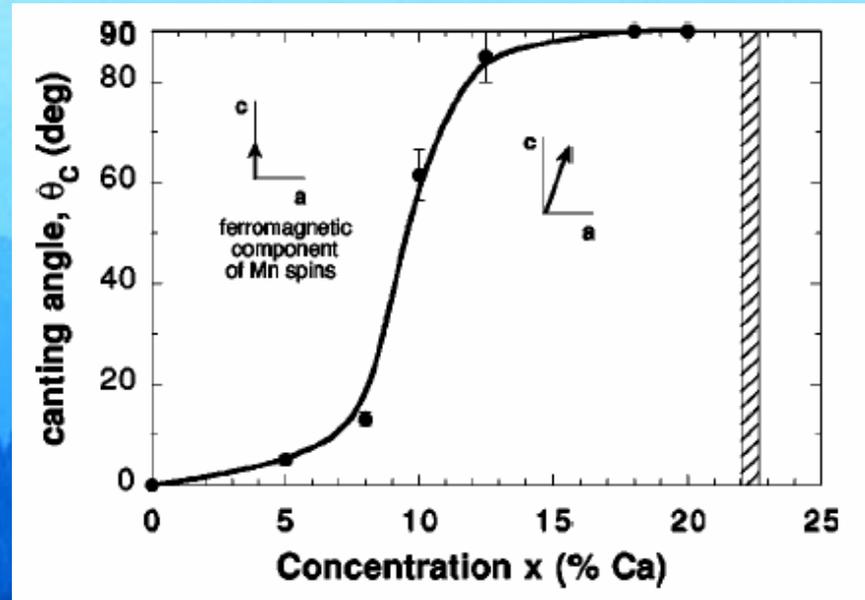


A faible dopage : la phase « cantée »



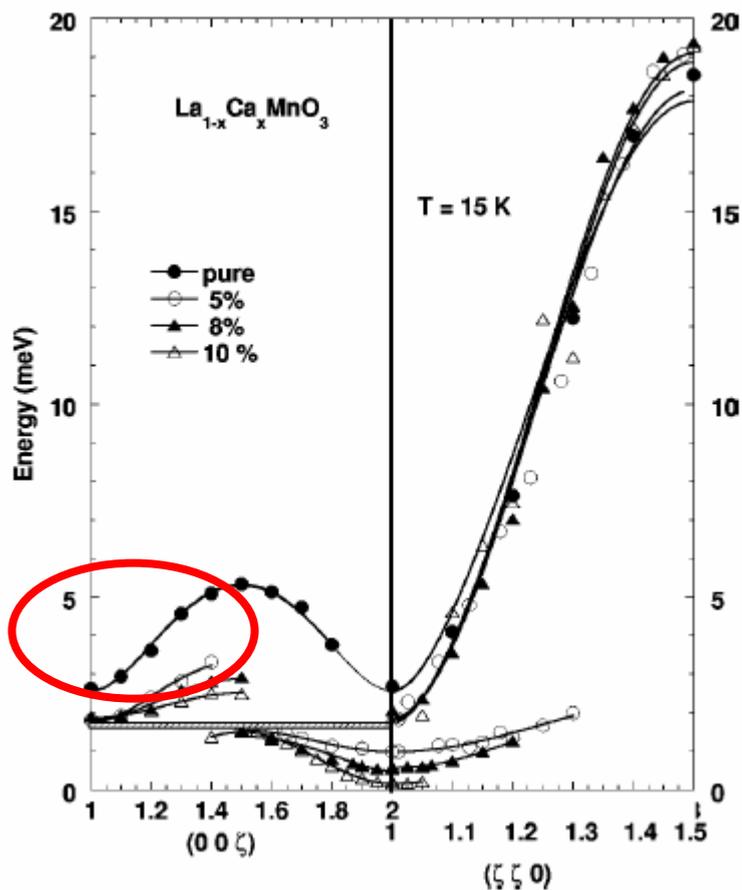
1

2

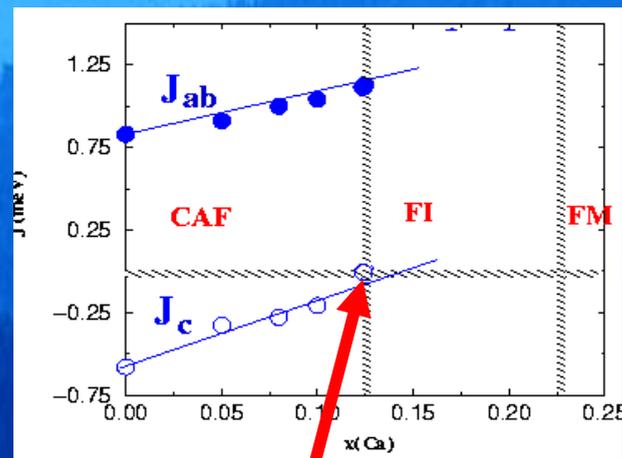


A faible dopage : la phase « cantée »

2 branches d'ondes de spin ...



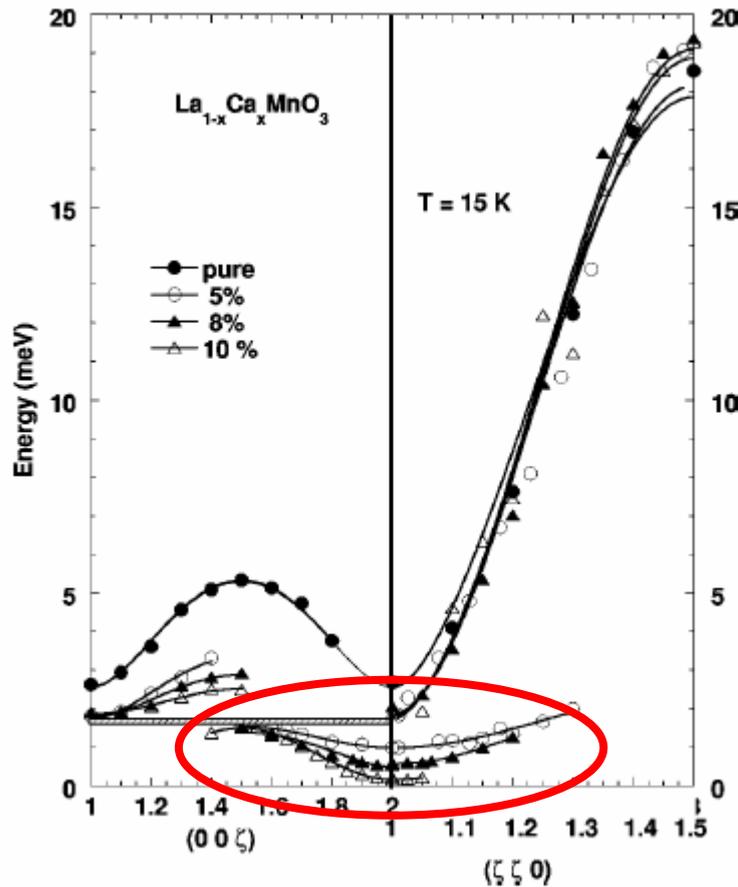
Evolution de la branche type Super-échange



Caractère 2D

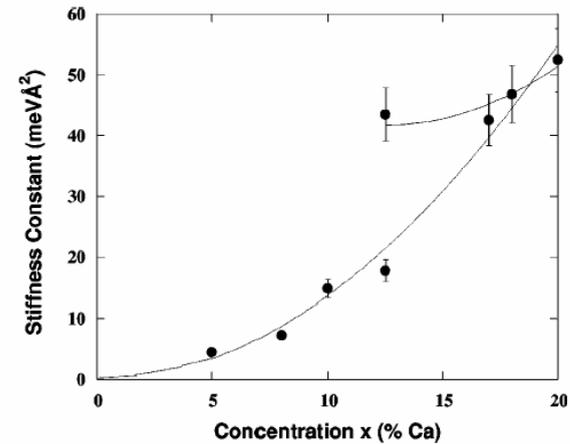
A faible dopage : la phase « cantée »

2 branches d'ondes de spin ...



1. Nouvelle branche induite par le dopage

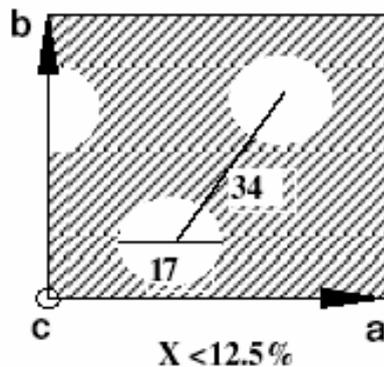
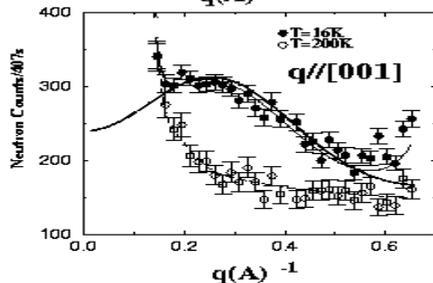
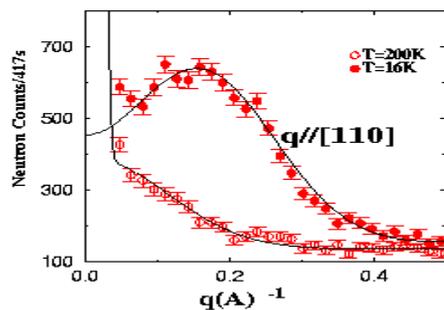
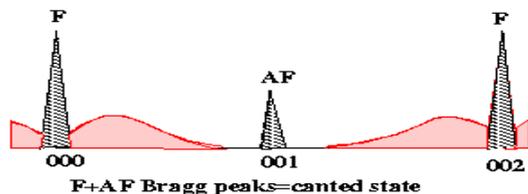
$$\omega = DQ^2$$



2. Toujours sensible à J_c

Phase « cantée » et ségrégation de charges

Diffusion magnétique aux petits angles

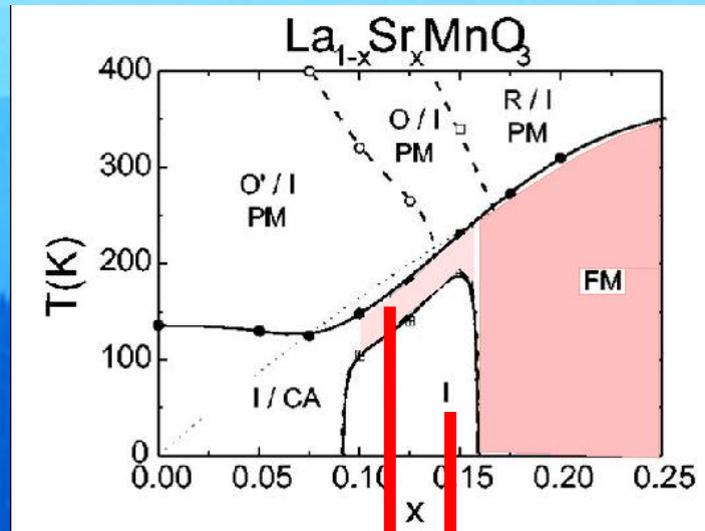


Hennion et al. PRL 81 (1998)

Amas de spin F alignés selon c

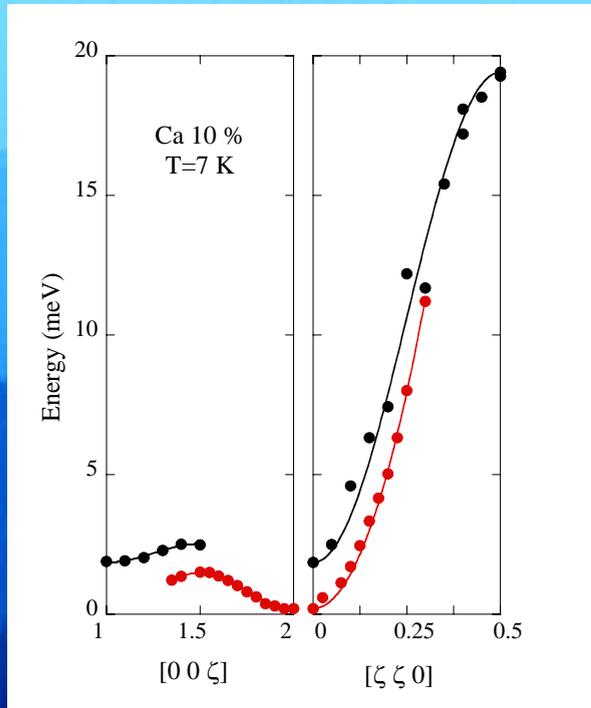
Amas « riches en trous »
Plongés dans une matrice AF

La phase ferromagnétique $x \sim 1/8$

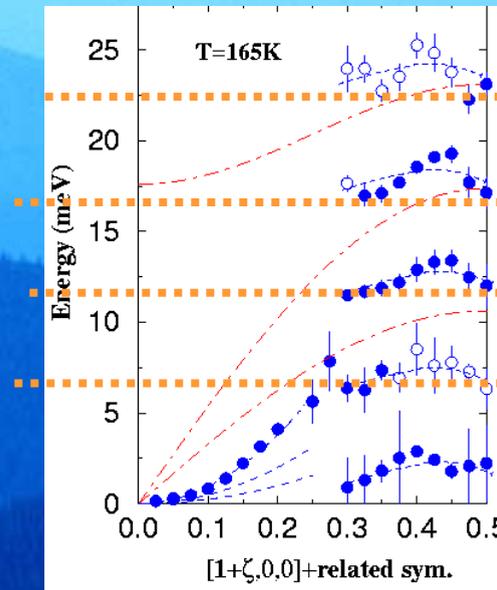


- 1
- 2
- 3
- 4

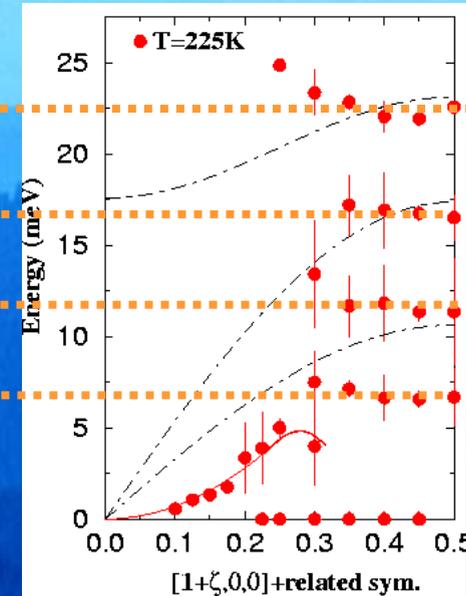
La phase métallique ferromagnétique $x \sim 1/8$: branche dispersée et niveaux discrets



$x=1/8$ $T_c=180$ K



$x=0.15$ $T_c=230$ K



23 meV

17 meV

12 meV

7 meV

La branche SE se brise en morceaux
La branche métallique se développe

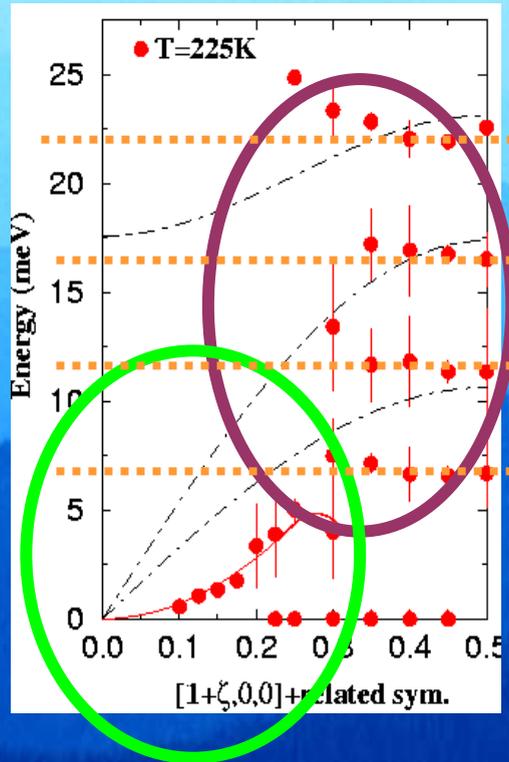
La phase métallique ferromagnétique $x \sim 1/8$: branche dispersée et niveaux discrets

23 meV

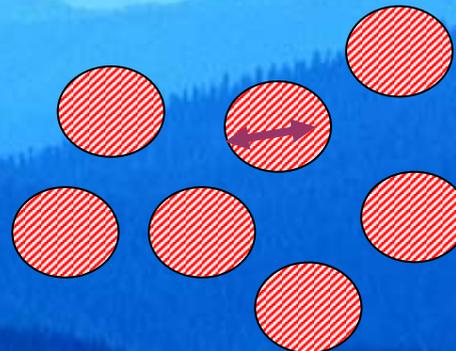
17 meV

12 meV

7 meV



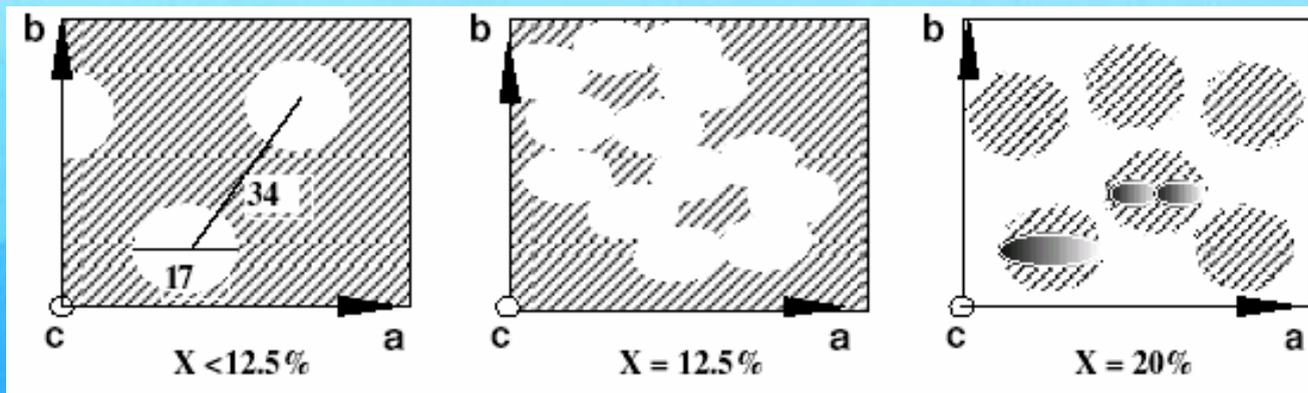
**Centre de zone : ondes de grande λ
milieu moyen ferromagnétique**



F. Moussa et al. PRB **67** (2003),
M. Hennion et al. PRL **94** (2005),
M. Hennion et al. PRB **73** (2006)

**Bord de zone : ondes de courte λ
Les neutrons voient des hétérogénéités,
avec une structure interne (taille 4a)**

Où en est-on ?



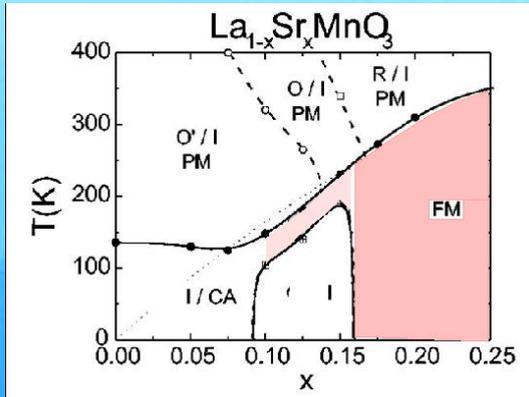
Amas ferro
« riches en trous »

Percolation
Le système devient
purement F

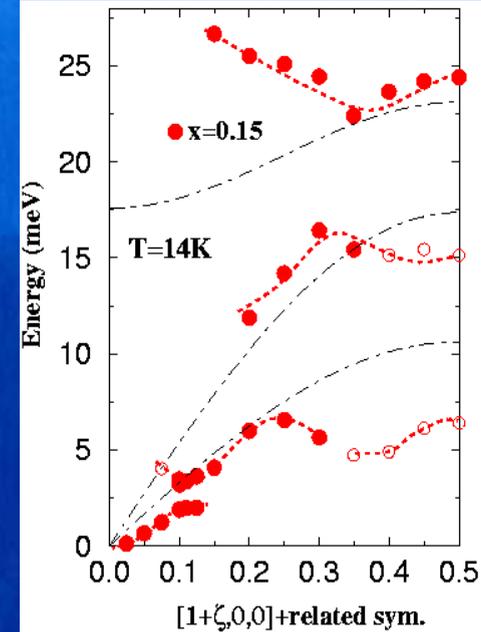
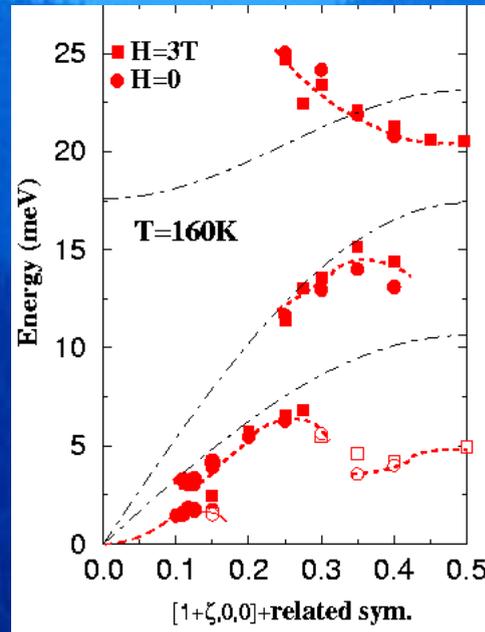
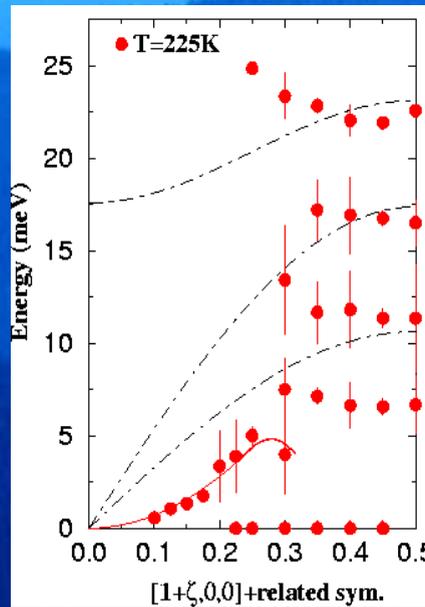
L'image s'inverse

1. Amas magnétiques 2D (taille 4a) : ondes de spin stationnaires ?
2. Par continuité avec les faibles dopages, le caractère anisotrope des niveaux discrets suggère qu'il s'agit de clusters « pauvre en trous » et donc qu'il existe une ségrégation de charges à très petite échelle.

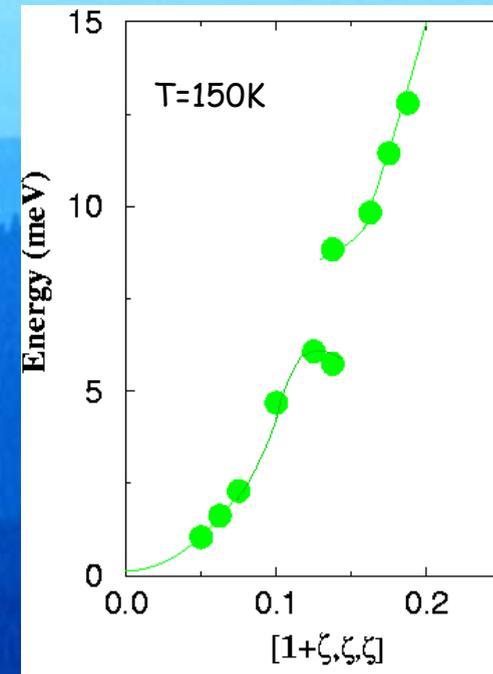
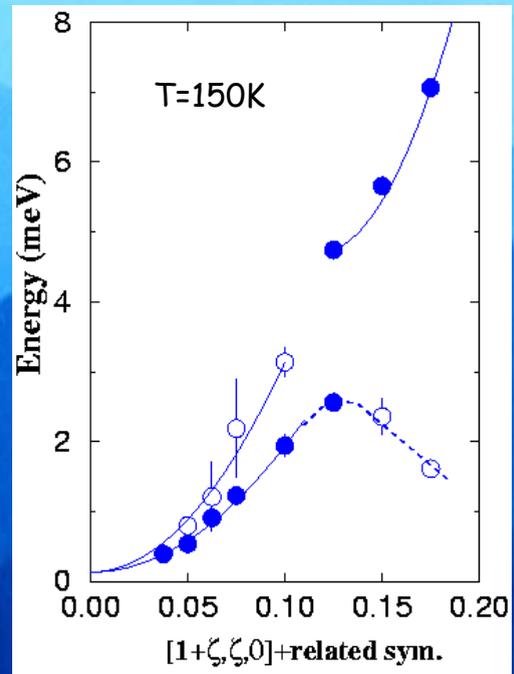
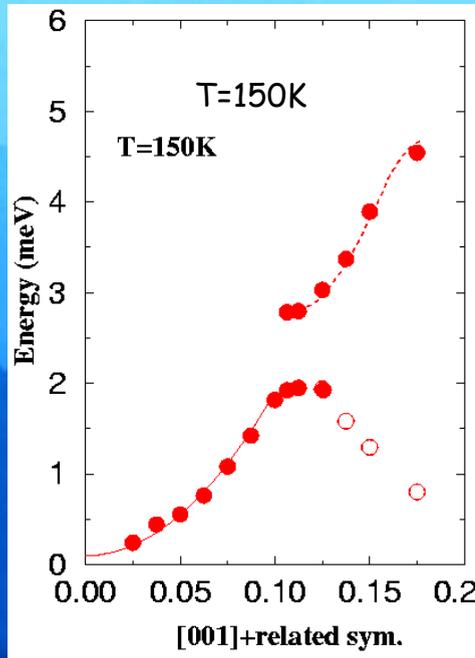
La phase isolante ferromagnétique $x \sim 1/8$: O'O''



A basse température, dans la phase O'O''
ferromagnétique isolante, les niveaux s'organisent ...

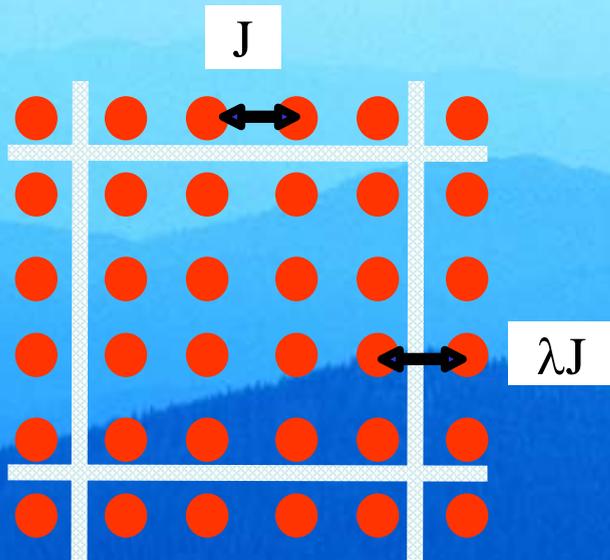


La phase isolante ferromagnétique $x \sim 1/8$: $O'O''$



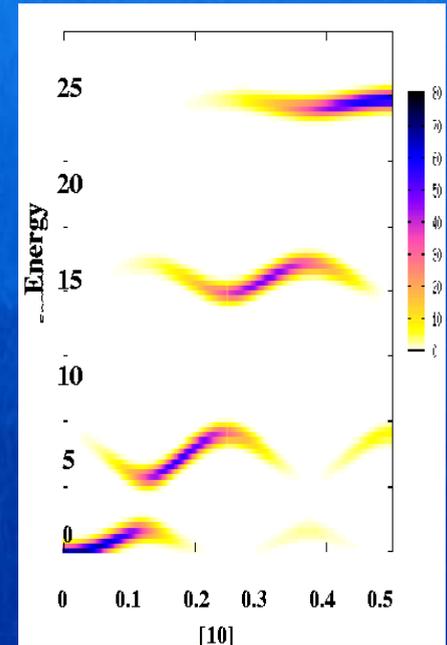
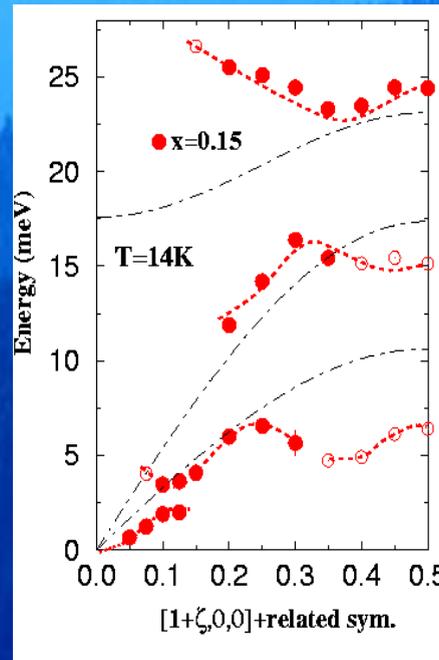
Ouverture d'un gap à $q \sim 0.125$ à T_{co} et repliement de la dispersion dans toutes les directions de symétrie

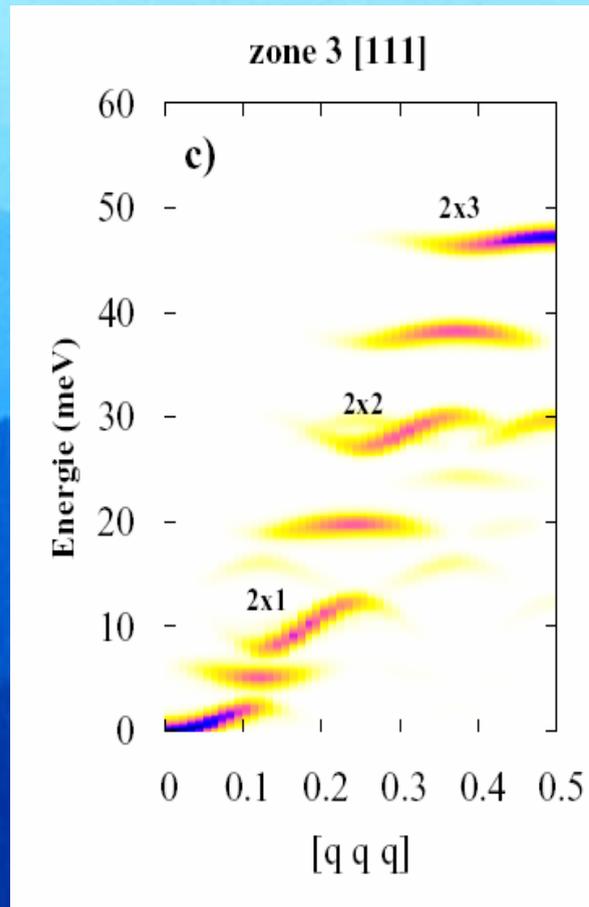
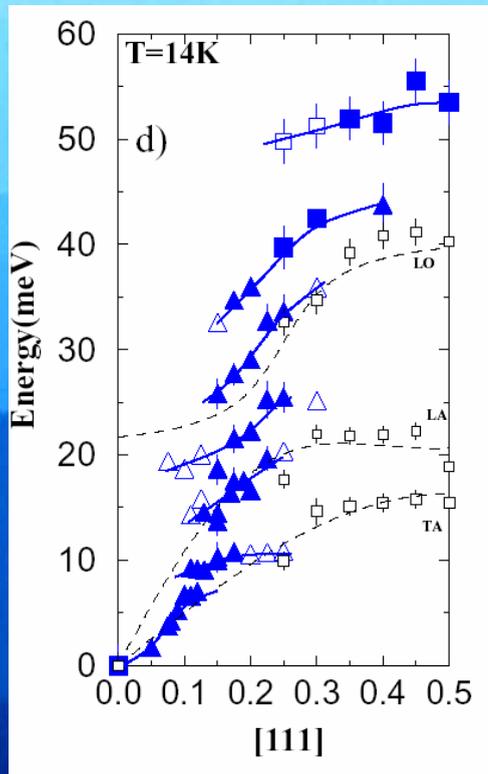
Nouvelle périodicité de $4a$



$$H = \sum_{m,n,i,j} \vec{S}_{m,i} J_{m,i,n,j} \vec{S}_{n,j}$$

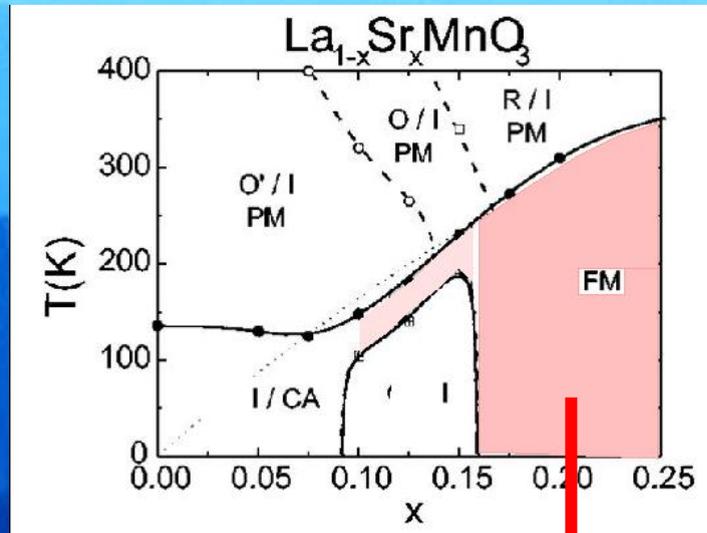
Stripes ferromagnétiques
Domaines 4 x 4
Charges localisées
 $\lambda \sim 0.2$





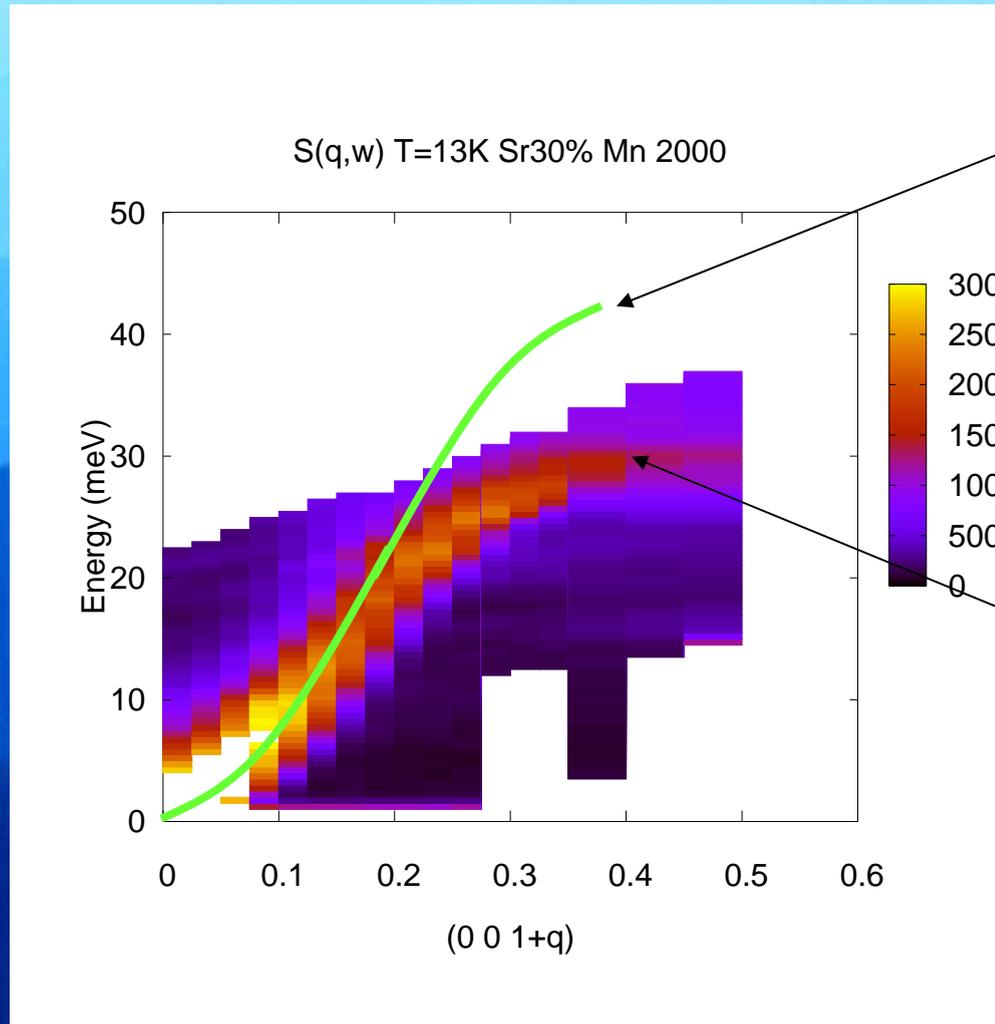
**Pas de couplage
entre plans : $J_c = 0$**

La phase métallique



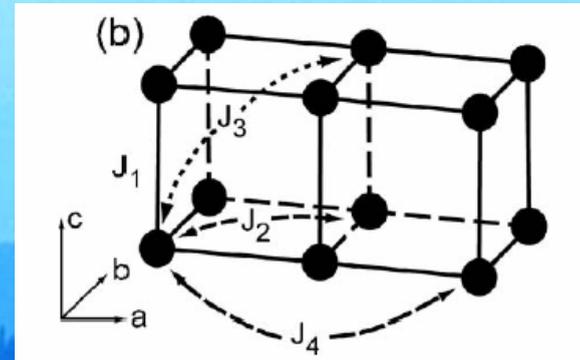
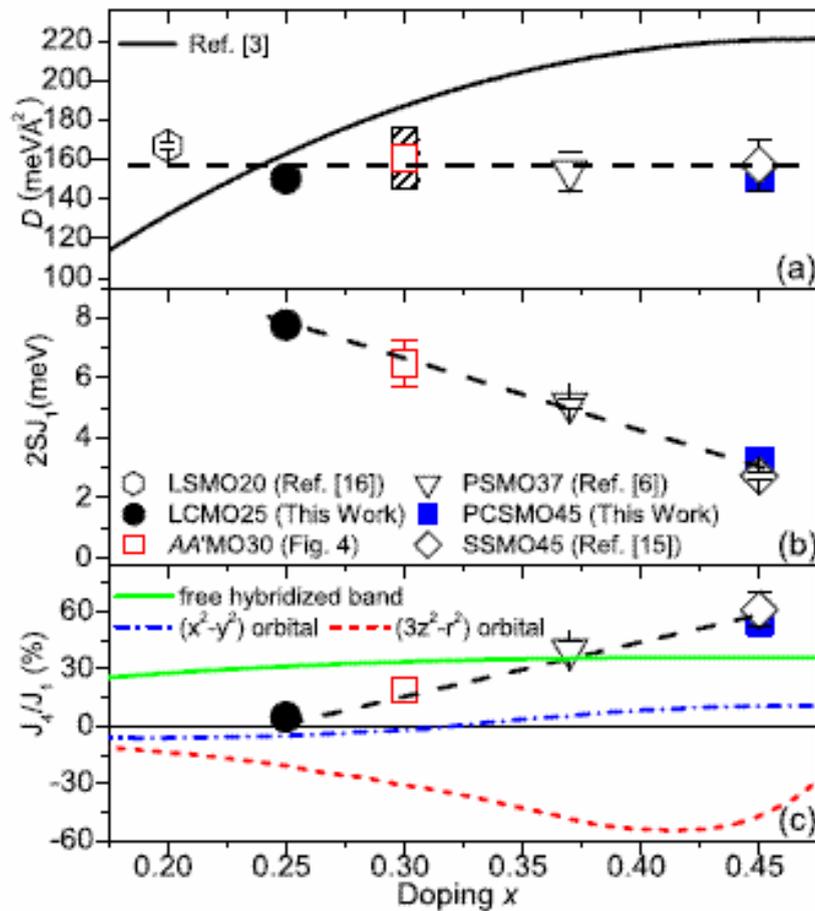
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

La phase métallique : le « softening »



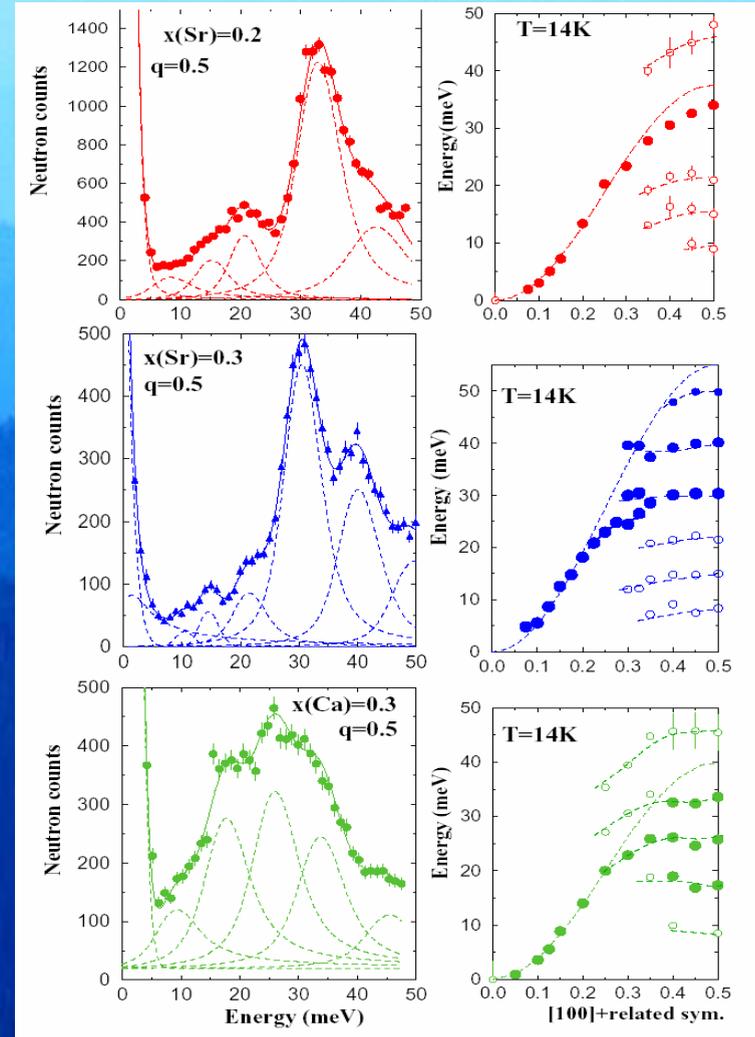
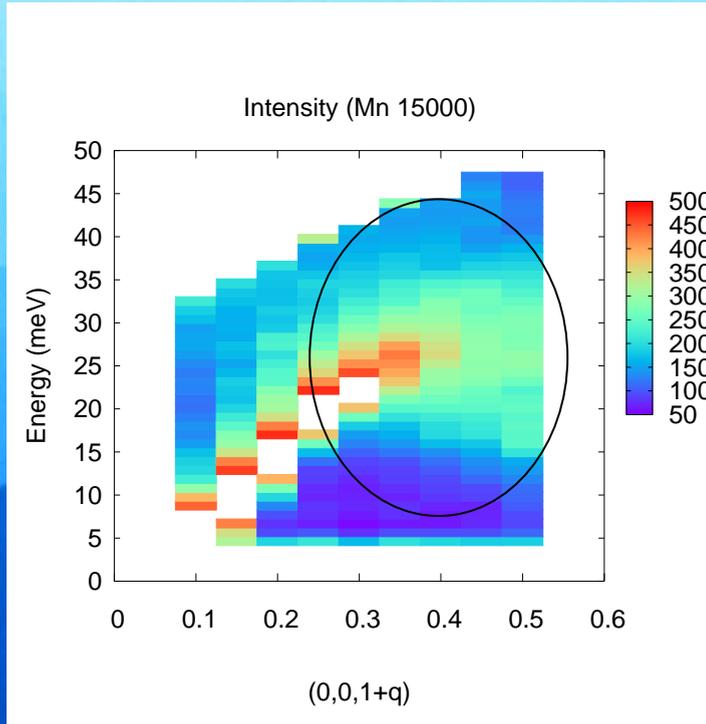
**Modèle de double
échange:
Dispersion classique F**

**« Amollissement »
de la dispersion
En bord de zone**



F. Ye, P. Dai and J. Fernandez-Baca,
PRL **96** (2006) 47204

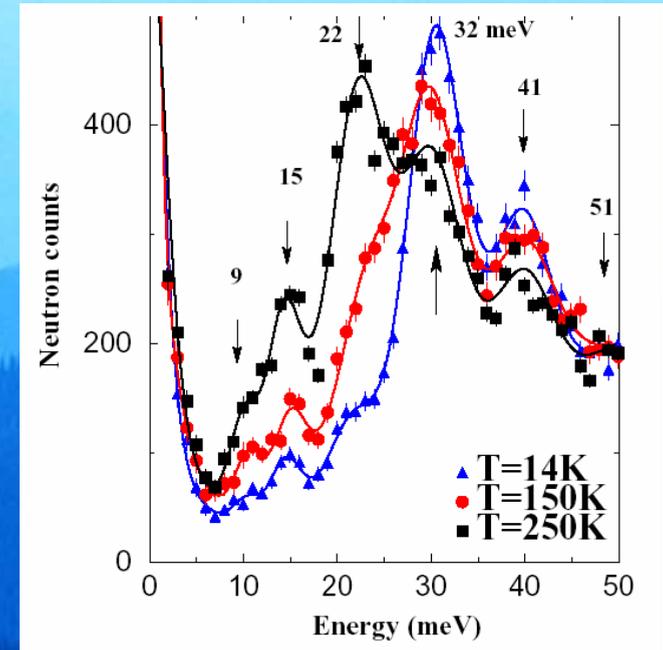
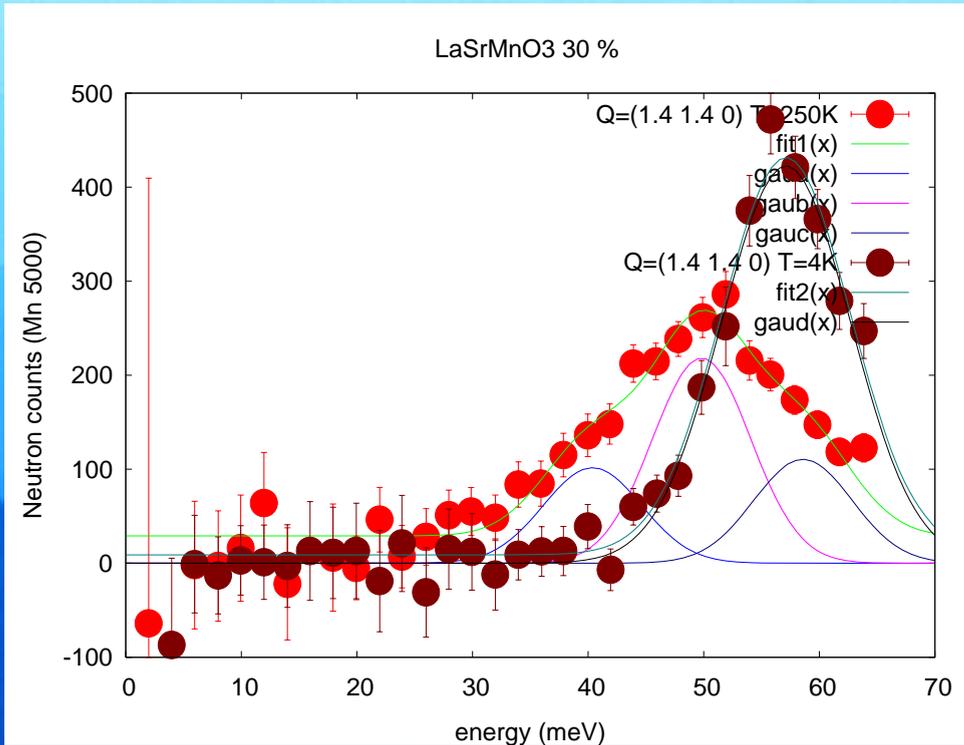
En fait, on observe des niveaux ... jusque dans la phase métallique



51 meV
41 meV
32 meV
22 meV
15 meV
9 meV

1. Niveaux surnuméraires
2. Phénomène général,
indépendant du type de dopant

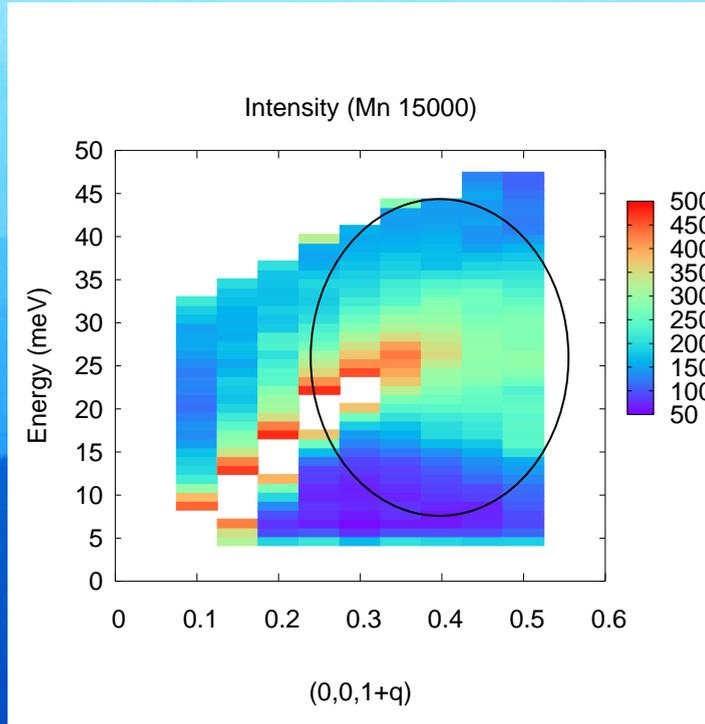
Phase métallique et ségrégation de charges



L'origine magnétique est confirmée par les mesures de neutrons polarisés

Evolution en température complexe : à basse température, le niveau à 32 meV est majoritairement peuplé

Phase métallique et ségrégation de charges



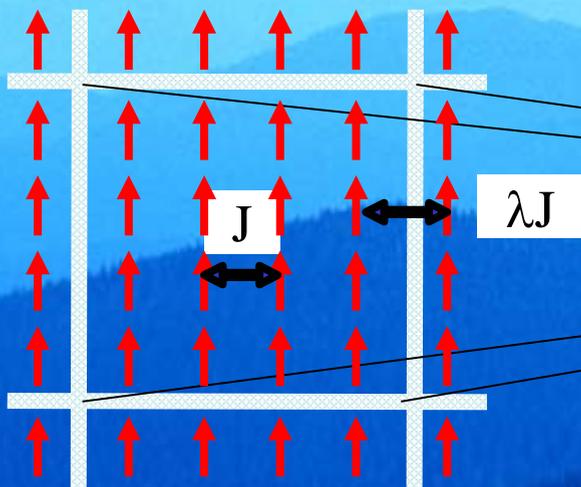
Le softening : un artéfact ?

~~J_1, J_4~~

Il s'agit d'un niveau de cluster, et non de l'amollissement d'une branche unique

Signature de la ségrégation de charges à petite échelle.

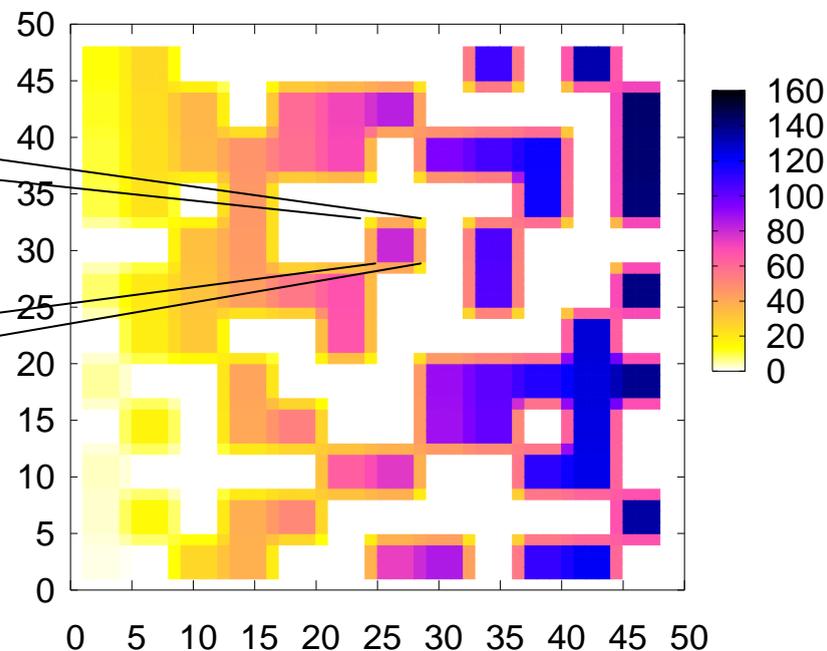
Phase métallique et ségrégation de charges



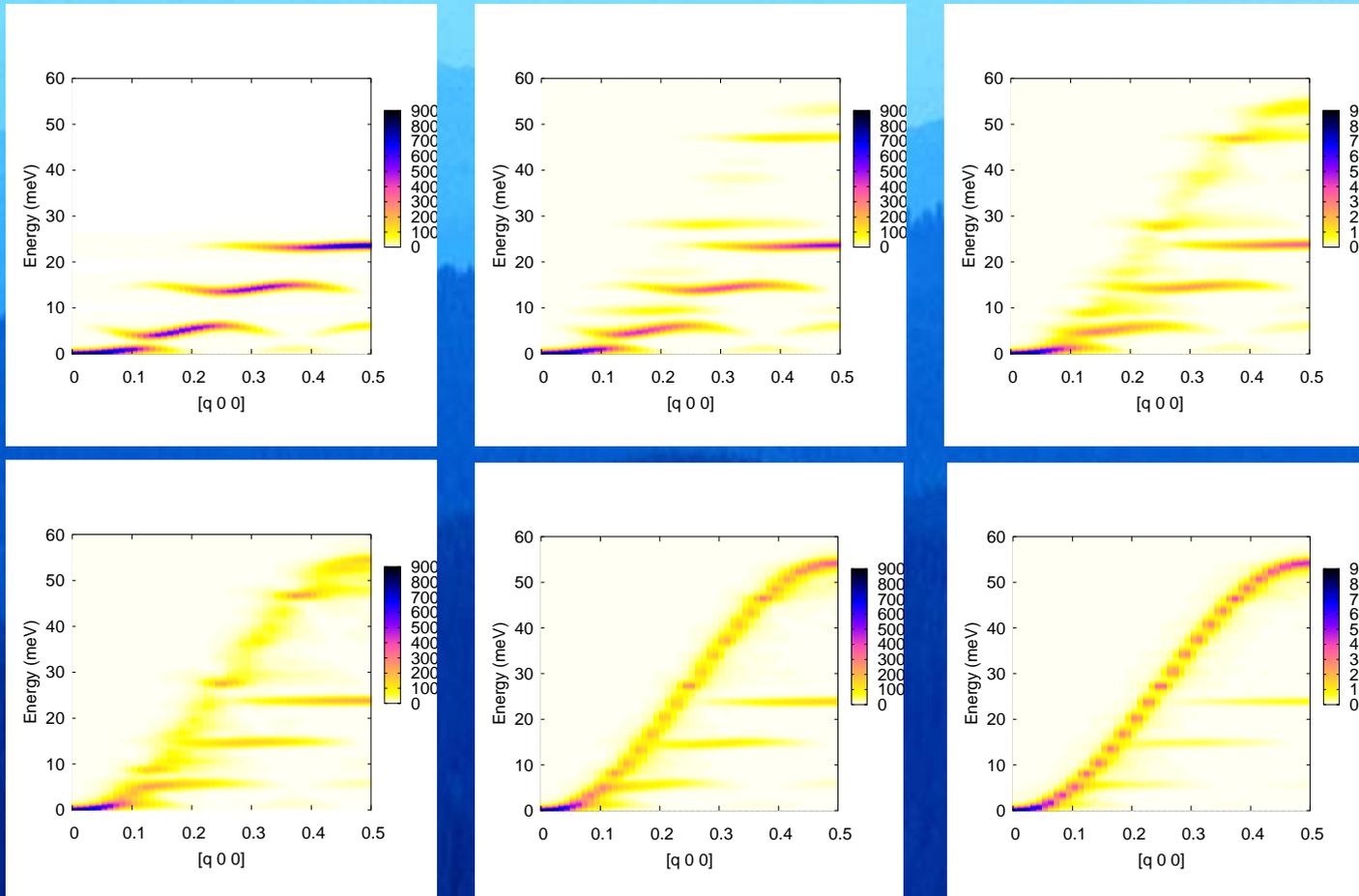
Tentative de modélisation :

Clusters « isolant » J

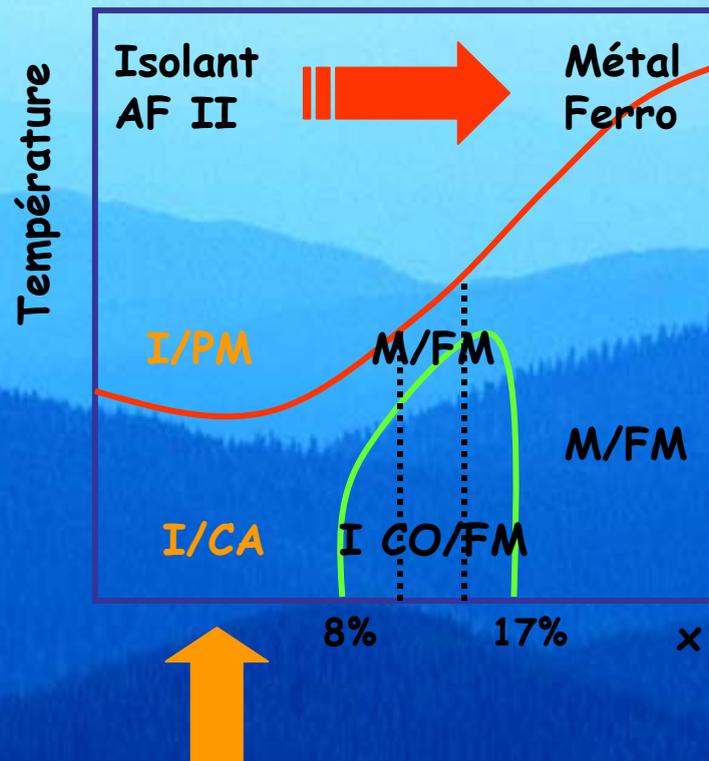
Clusters « métalliques » J'



Augmentation du nb de clusters « métalliques »

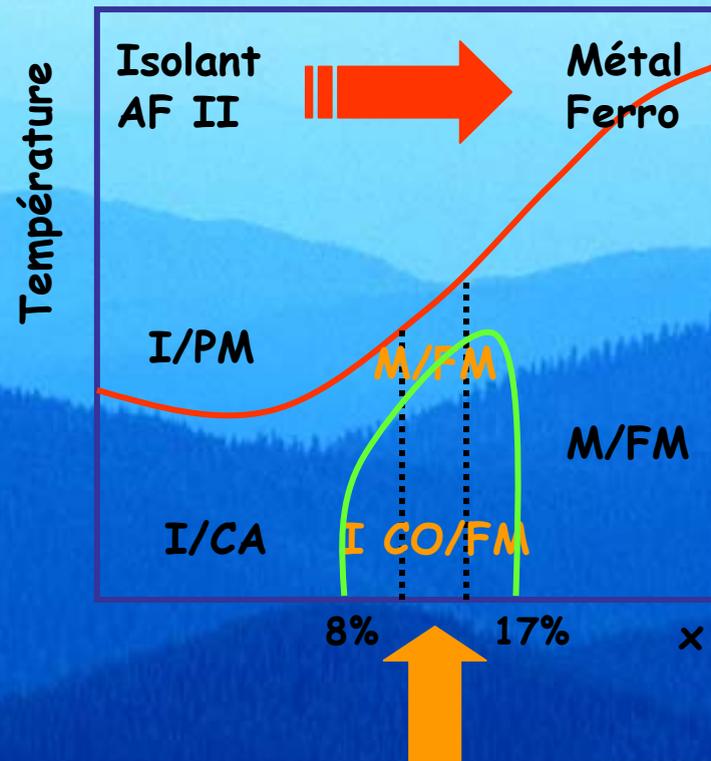


Résumé



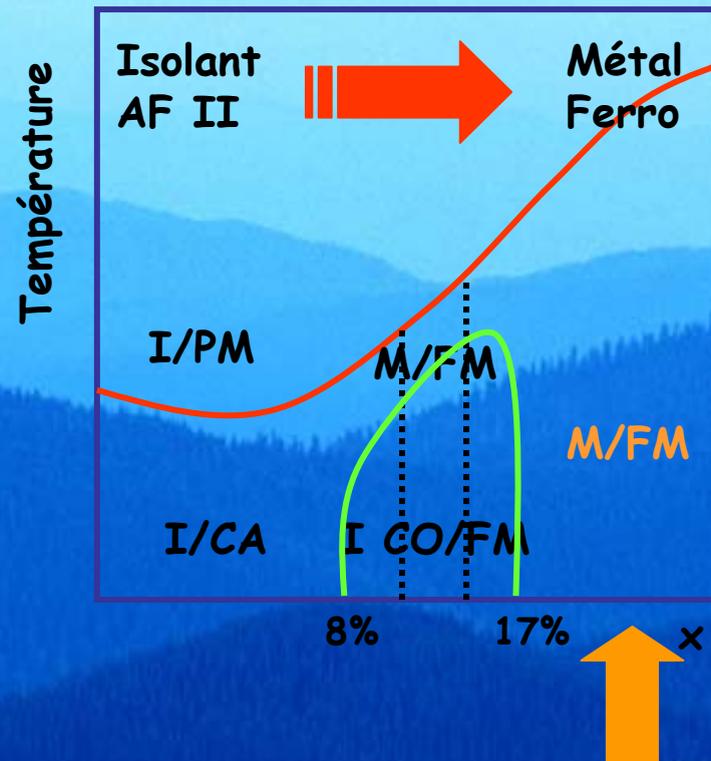
**Petits amas riches en trous
 alignés ferro selon c dans une
 matrice AF cantée**

Résumé



Domaines 4x4 dans le plan (a,b) pauvres en trous
La phase O'O'' correspond à la mise en ordre des domaines
pour $T < T_{co}$

Résumé



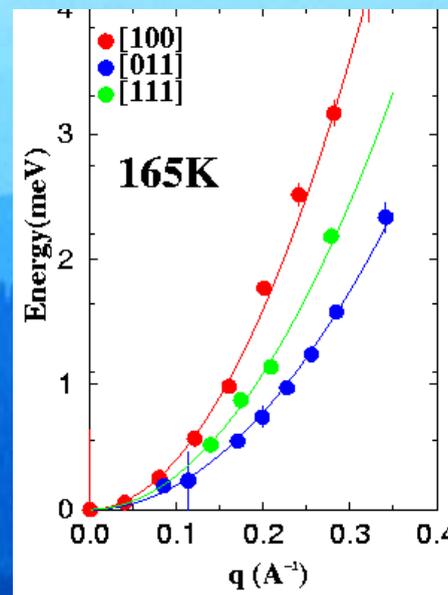
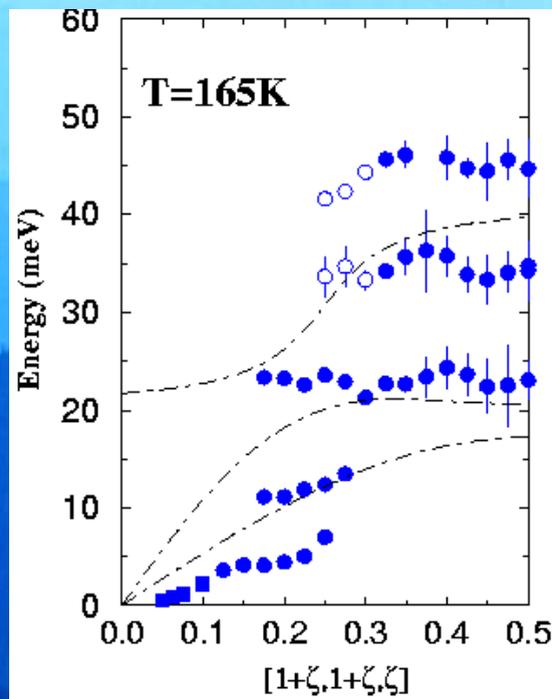
Persistence des domaines et de leur structure interne.

Merci pour votre attention



La phase métallique ferromagnétique $x \sim 1/8$: branche dispersée et niveaux discrets

$x=1/8$ $T_c=180K$



$$\omega = DQ^2$$

$$E_B^{100} = 8SJ_{a,b} \quad E_B^{001} = 8SJ_c$$

$$E_B^{111} = 2E_B^{100} + E_B^{001}$$

$$J_c \approx 0 : \mathbf{2D !!}$$

$$D[100]=D[010]=D[110]$$

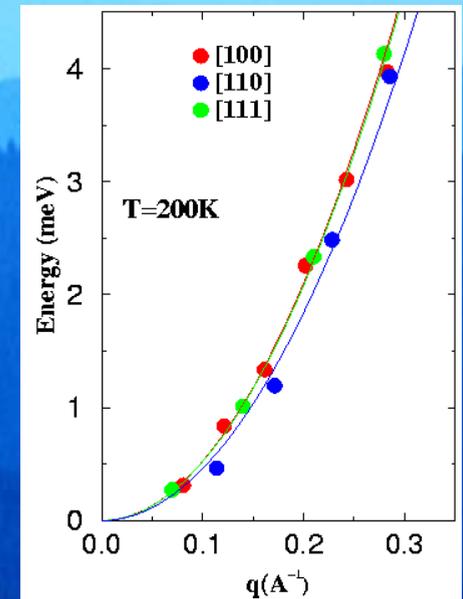
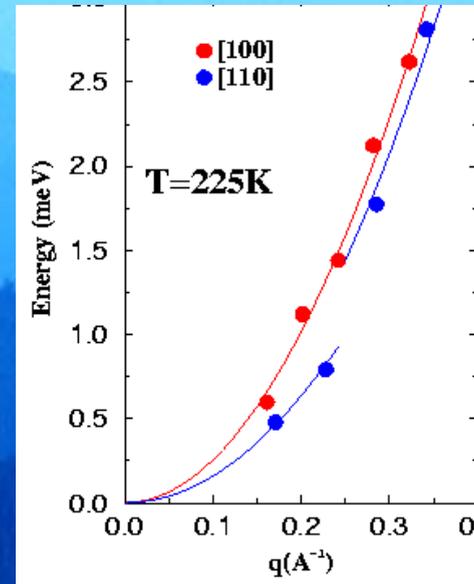
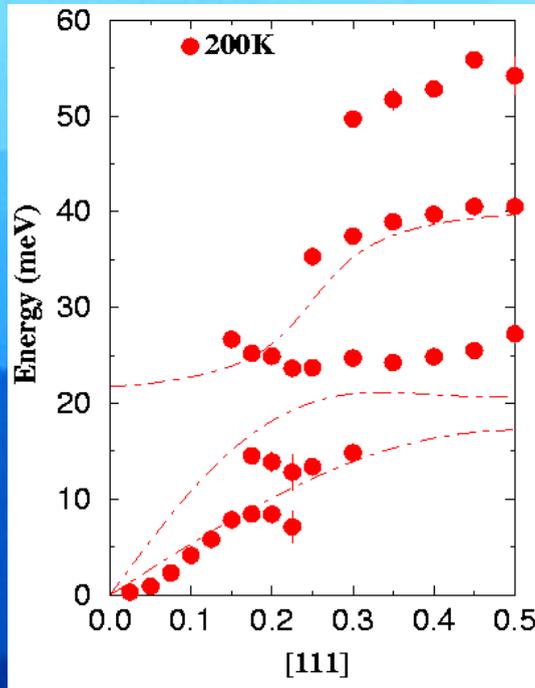
$$D[011]=1/2(D[010]+D[001])$$

$$D[111]=1/3(D[100]+D[010]+D[001])$$

$$\mathbf{2D !!}$$

La phase isolante ferromagnétique $x \sim 1/8$: branche dispersée et niveaux discrets

$x=0.15$ $T_c=230K$



Niveaux « faiblement 3D »

$$\omega = \mathcal{D}Q^2$$

D isotrope