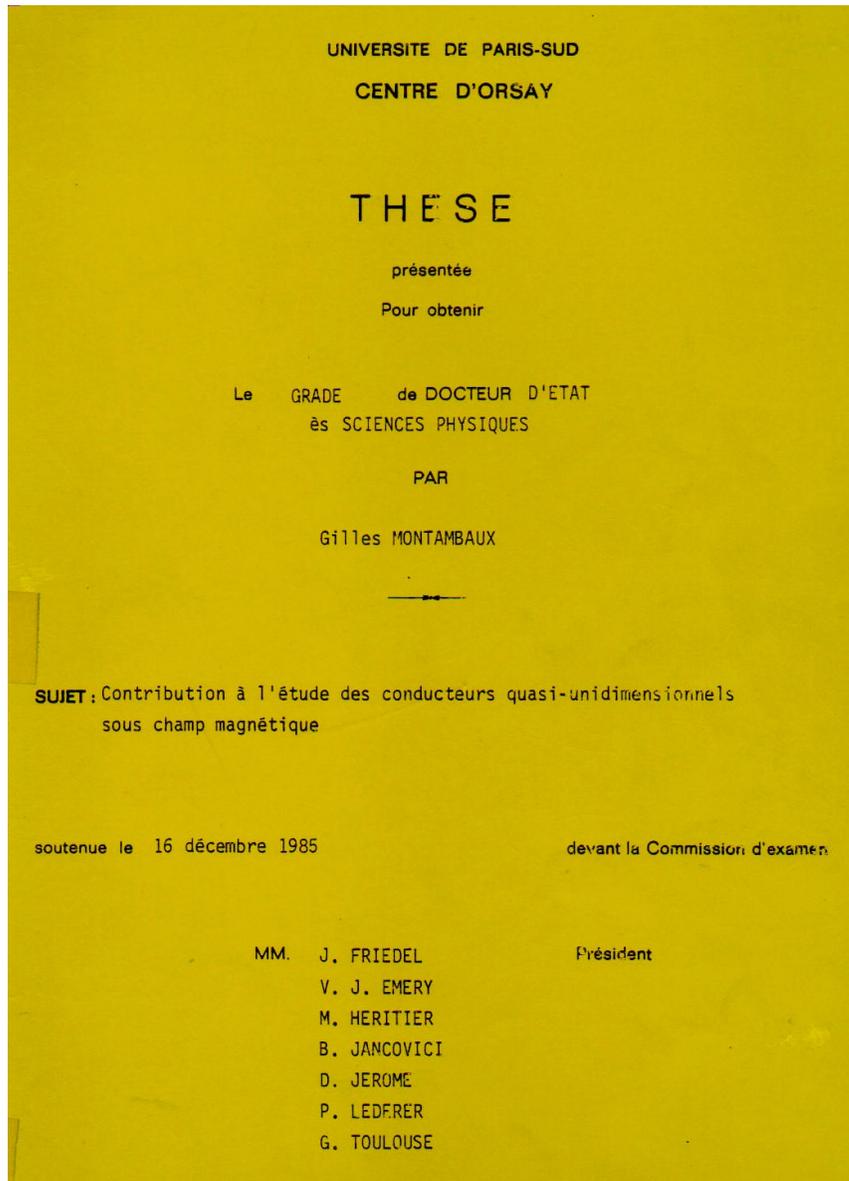


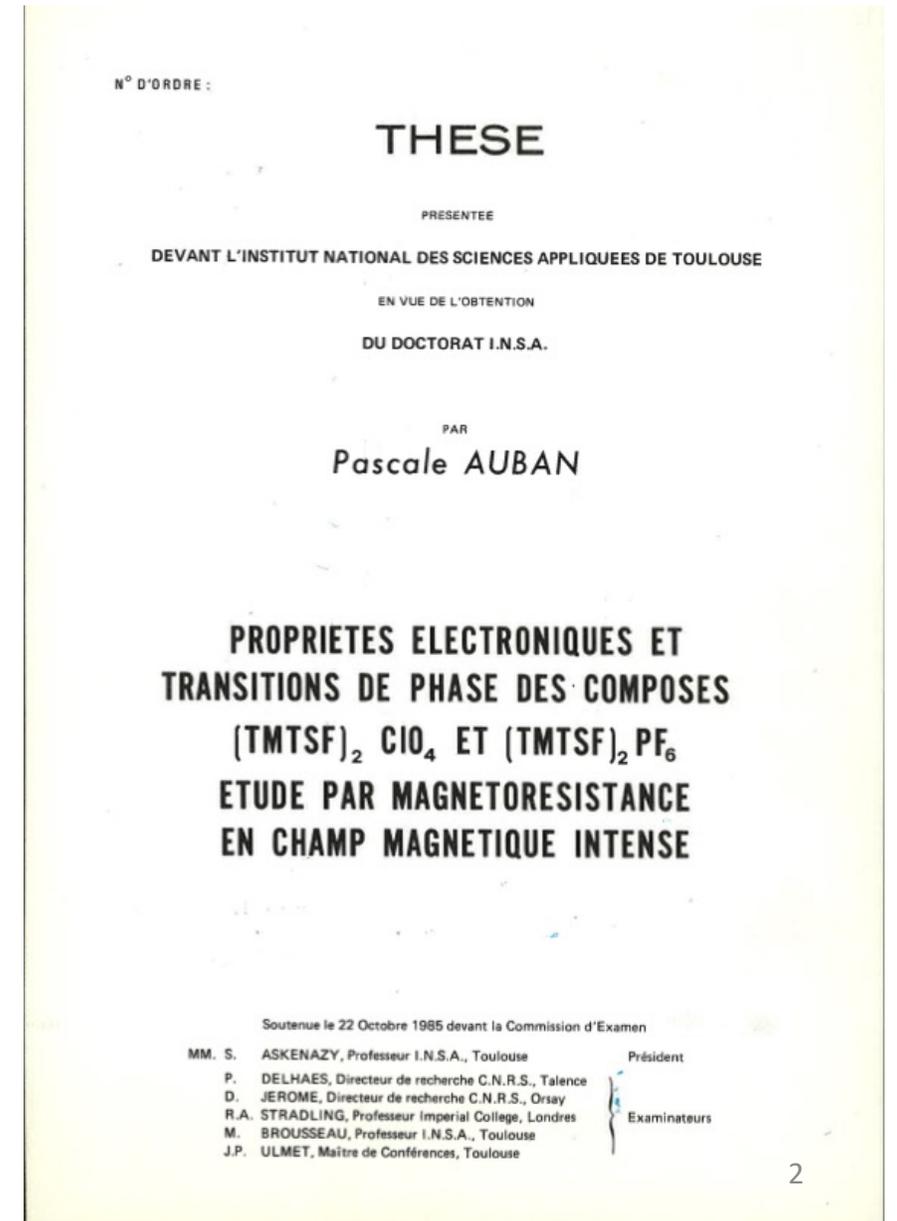
Sur les hauts plateaux du Mont Ambaux
Une longue marche: 1984 -- 2016



Etude des conducteurs quasi-unidimensionnels sous champ magnétique: deux acteurs et actrices



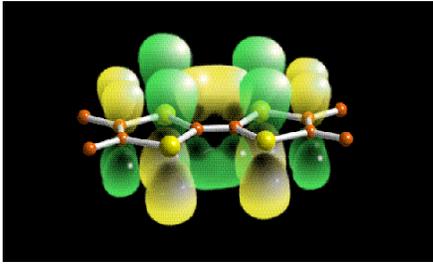
D. Jerome, Université Paris-Sud



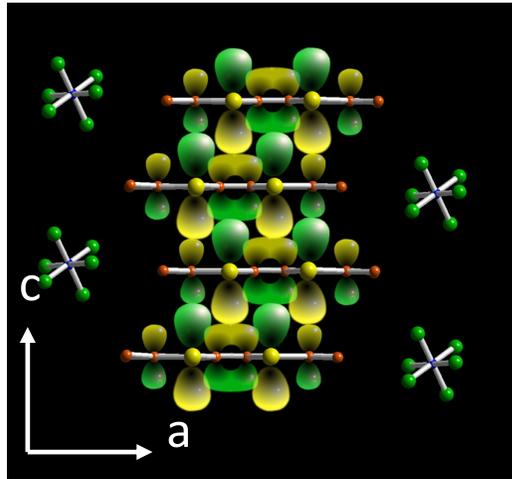
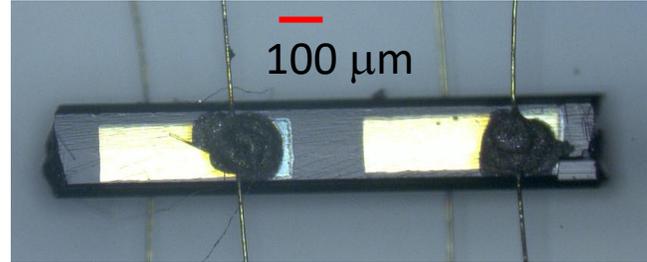
50% des publications de Gilles les plus citées le sont sur les conducteurs organiques

Zak phase and the existence of edge states in graphene	Delplace, P.; Ullmo, D.; Montambaux, G.	PHYSICAL REVIEW B	NOV 23 2011	2011	300
Tilted anisotropic Dirac cones in quinoid-type graphene and α -(BEDT-TTF)(2)I-3	Goerbig, M. O.; Fuchs, J. -N.; Montambaux, G.; Piechon, F.	PHYSICAL REVIEW B	JUL 2008	2008	260
Merging of Dirac points in a two-dimensional crystal	Montambaux, G.; Piechon, F.; Fuchs, J. -N.; Goerbig, M. O.	PHYSICAL REVIEW B	OCT 2009	2009	245
STABILITY OF THE SPIN-DENSITY WAVE PHASES IN (TMTSF) ₂ CLO ₄ - QUANTIZED NESTING EFFECT	HERITIER, M; MONTAMBAUX, G; LEDERER, P	JOURNAL DE PHYSIQUE LETTRES	1984	1984	228
QUANTIZED HALL-EFFECT AND A NEW FIELD-INDUCED PHASE-TRANSITION IN THE ORGANIC SUPERCONDUCTOR (TMTSF) ₂ PF ₆	COOPER, JR; KANG, W; AUBAN, P; MONTAMBAUX, G; JEROME, D; BECHGAARD, K	PHYSICAL REVIEW LETTERS	OCT 30 1989	1989	181
PERSISTENT CURRENTS IN MESOSCOPIC METALLIC RINGS - ENSEMBLE AVERAGE	MONTAMBAUX, G; BOUCHIAT, H; SIGETI, D; FRIESNER, R	PHYSICAL REVIEW B	OCT 15 1990	1990	180
PERSISTENT CURRENTS IN ONE-DIMENSIONAL DISORDERED RINGS OF INTERACTING ELECTRONS	BOUZERAR, G; POILBLANC, D; MONTAMBAUX, G	PHYSICAL REVIEW B	MAR 15 1994	1994	173
New magnetic field dependence of Landau levels in a graphenelike structure	Dietl, Petra; Piechon, Frederic; Montambaux, Gilles	PHYSICAL REVIEW LETTERS	JUN 13 2008	2008	171
SPIN SUSCEPTIBILITY OF THE TWO-DIMENSIONAL ELECTRON-GAS WITH OPEN FERMI-SURFACE UNDER MAGNETIC-FIELD	MONTAMBAUX, G; HERITIER, M; LEDERER, P	PHYSICAL REVIEW LETTERS	1985	1985	144
QUASI-ONE-DIMENSIONAL SUPERCONDUCTORS IN STRONG MAGNETIC-FIELD	DUPUIS, N; MONTAMBAUX, G; DEMELO, CARS	PHYSICAL REVIEW LETTERS	APR 26 1993	1993	142

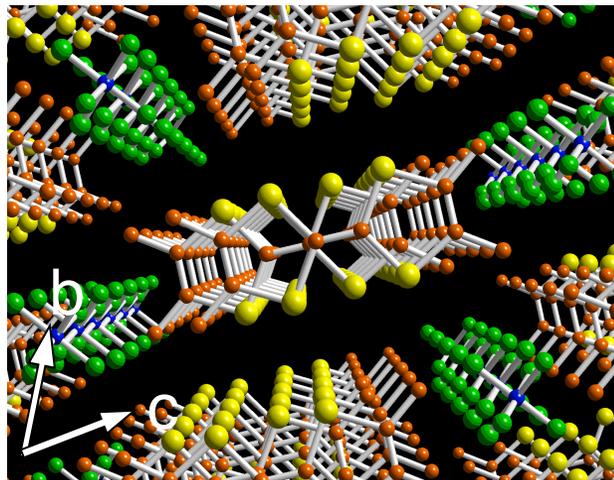
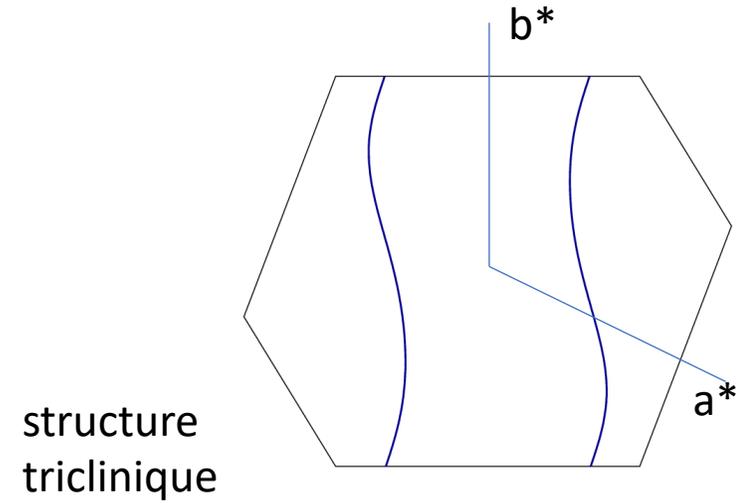
Les matériaux: Sels de Bechgaard (1945-2017)



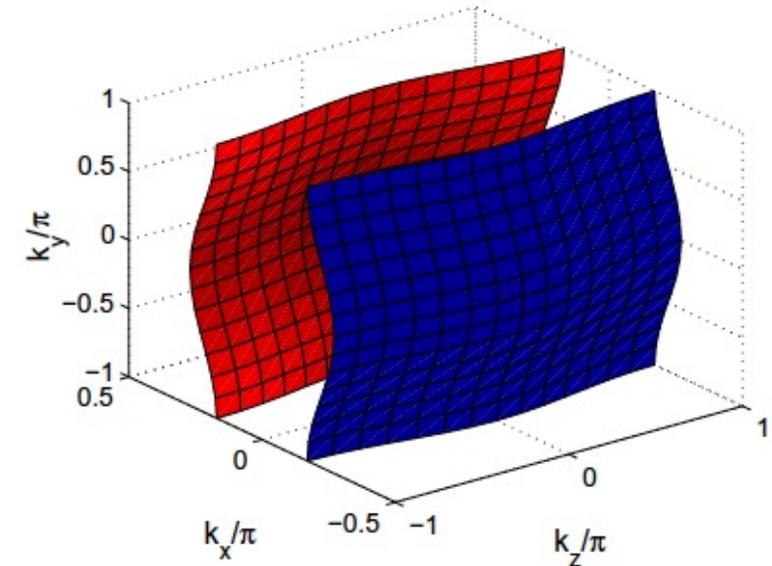
Donneur TMTSF



TMTSF₂X
X= PF₆, ClO₄, NO₃,

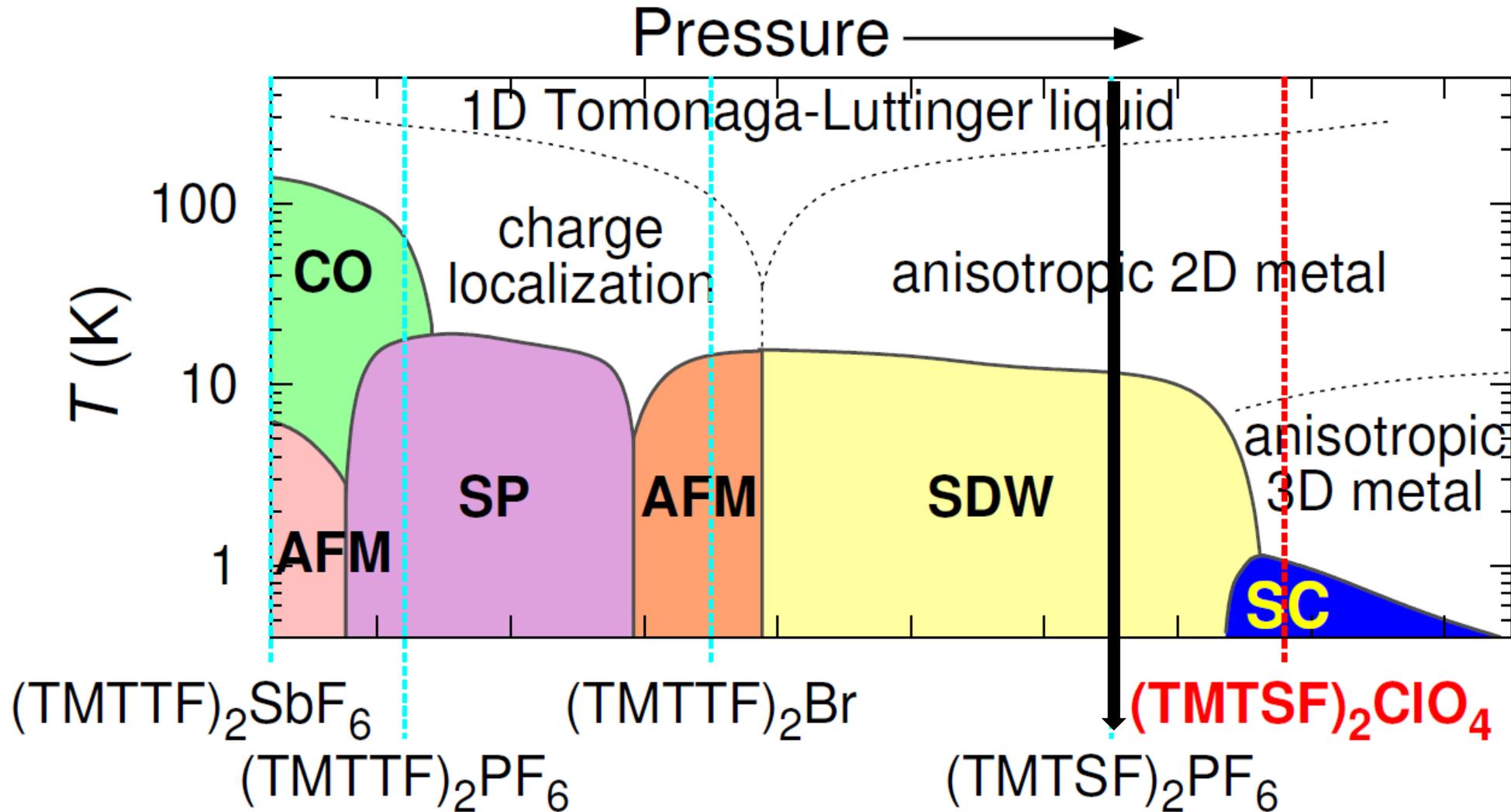


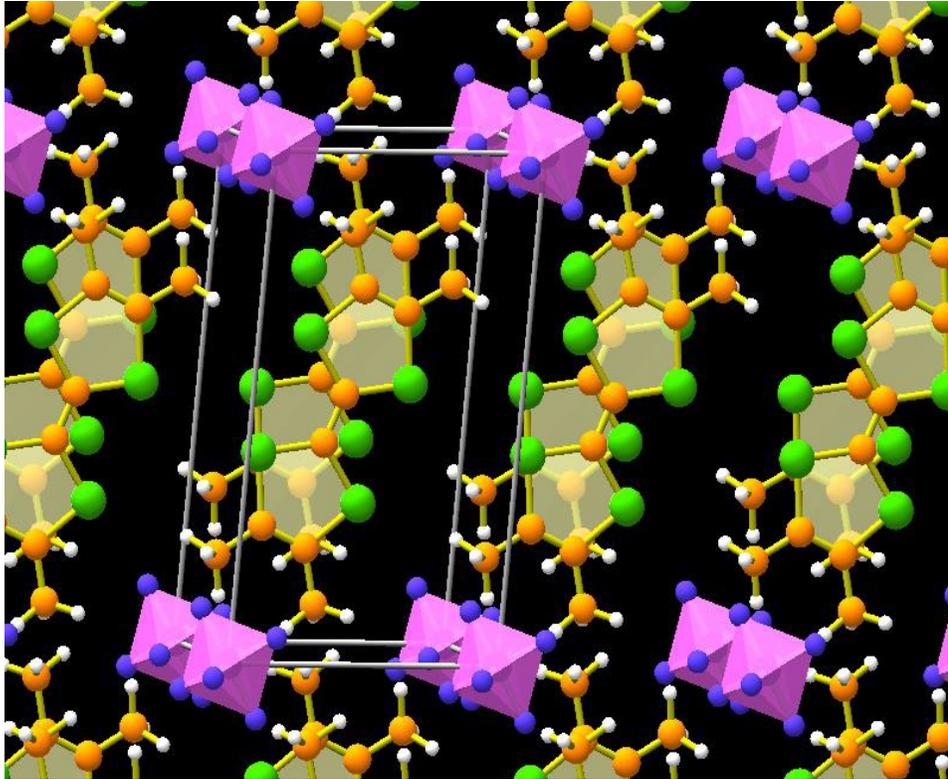
Quasi 1D



Modèle orthorhombique

Le diagramme des Q-1D: vaste programme!

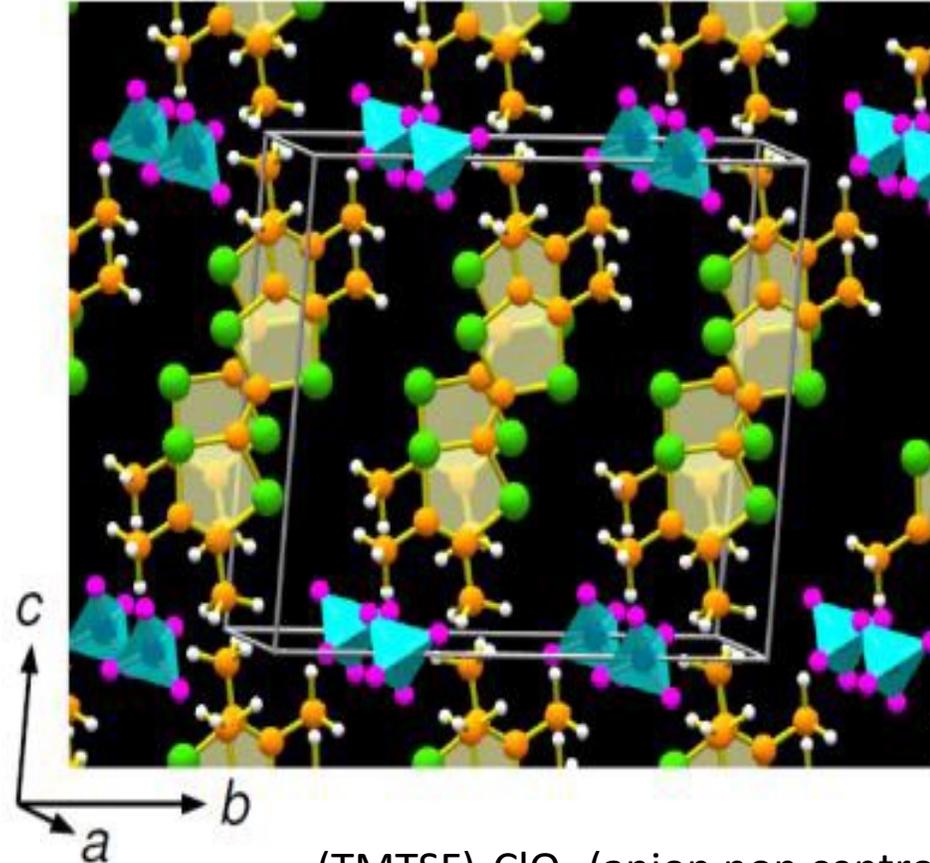




$(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ Périodicité b

Mais, périodicité $2a$ pour $(\text{TMSF})_2\text{NO}_3$ $P=0$

NO_3 anion plan triangulaire, non centrosymétrique



$(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$ (anion non centrosymétrique)

Périodicité $2b$, état Relax

Périodicité $2b$ pour $(\text{TMSF})_2\text{NO}_3$ (sous pression)

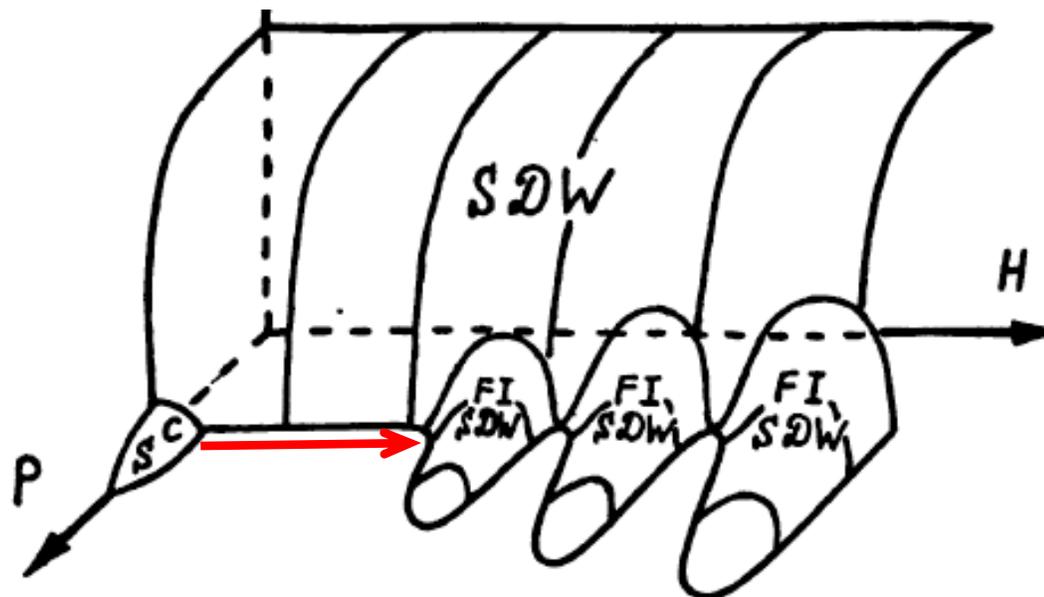
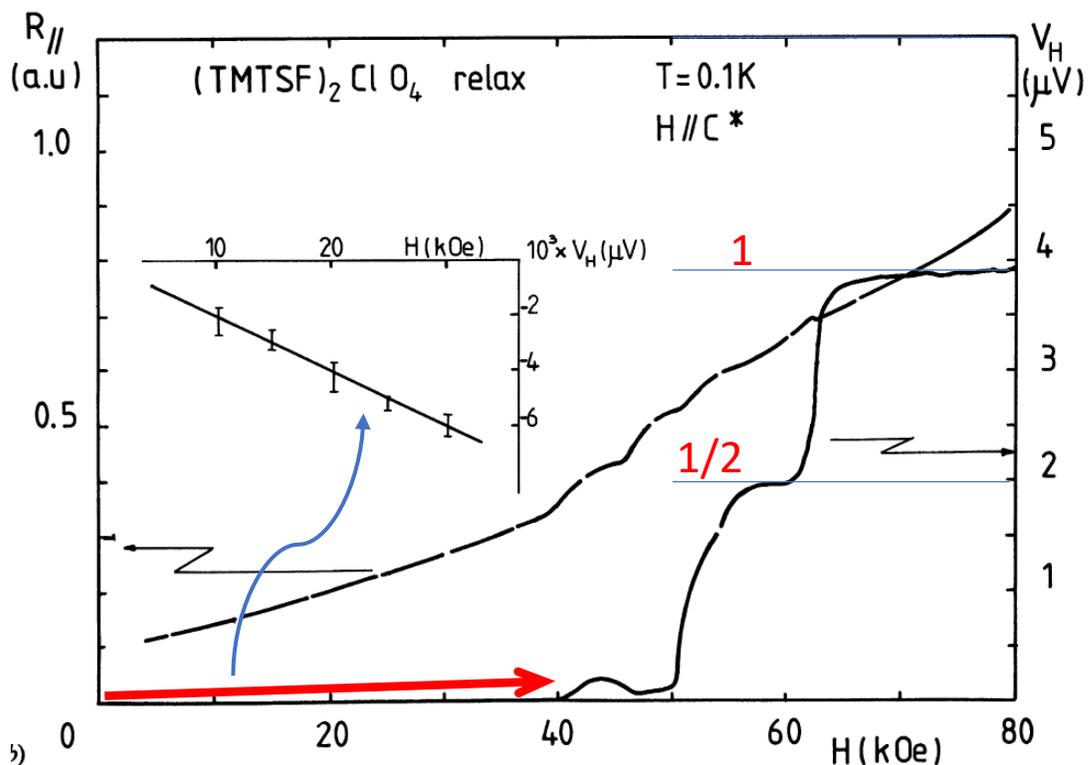
D'après S. Yonezawa

Low-field and anomalous high-field Hall effect in $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$

M. Ribault, D. Jérôme, J. Tuchendler (*), C. Weyl and K. Bechgaard (**)

Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

1983



On the stability of the quasi-one-dimensional metallic phase in magnetic fields against the spin density wave formation

L. P. Gor'kov and A. G. Lebed'

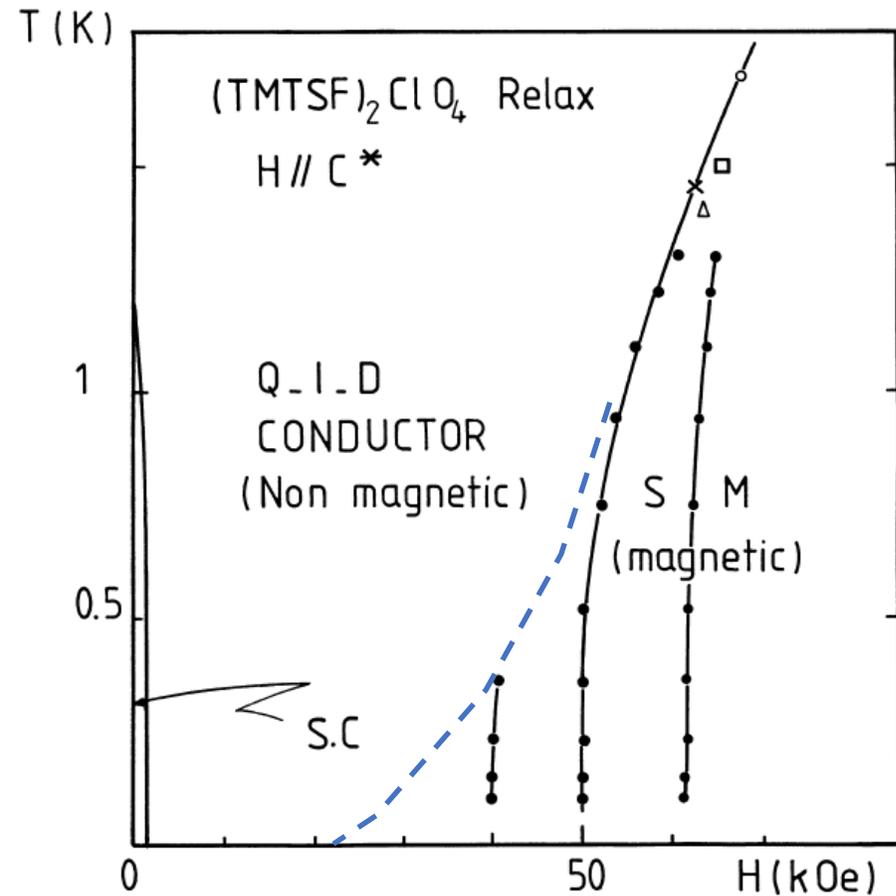
J. Physique Lett. **45** (1984) L-433 - L-440

1984

L.D. Landau Institute for Theoretical Physics, The USSR Academy of Sciences, 117334 Moscow V-334 ul. Kosygina 2, U.S.S.R.

- $H < 4\text{T}$ Effet Hall normal = 1 porteur/maille
- $H > 4\text{T}$ Effet Hall quantifié $\rightarrow \approx 10^{-2}$ porteur/maille

Exploration des phases haut champ



- Ces phases, semi métalliques sont ordonnées magnétiquement
[T. Takahashi et F. Creuzet: Se⁷⁷ RMN à Orsay](#)
- Champ seuil: 2T à T=0K

Bases du modèle HML (orthorhombique)

$$E(\vec{k}) = v(|k_{//}| - k_F) - 2t_b \cos k_{\perp} b - 2t'_b \cos 2k_{\perp} b$$

C'est t'_b qui décide de la physique de ces matériaux

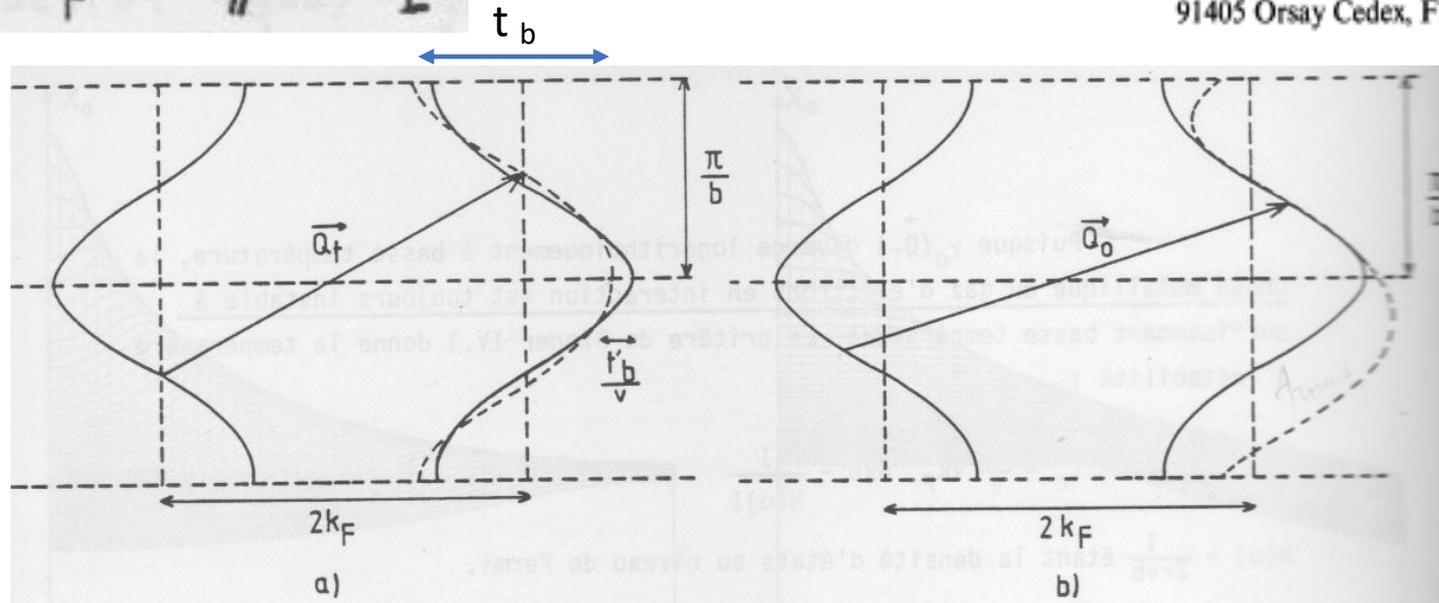
Stability of the spin density wave phases in $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$: quantized nesting effect

Jour. Phys. Lett 1984

M. Héritier, G. Montambaux and P. Lederer

Laboratoire de Physique des Solides (*), Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 91405 Orsay Cedex, France

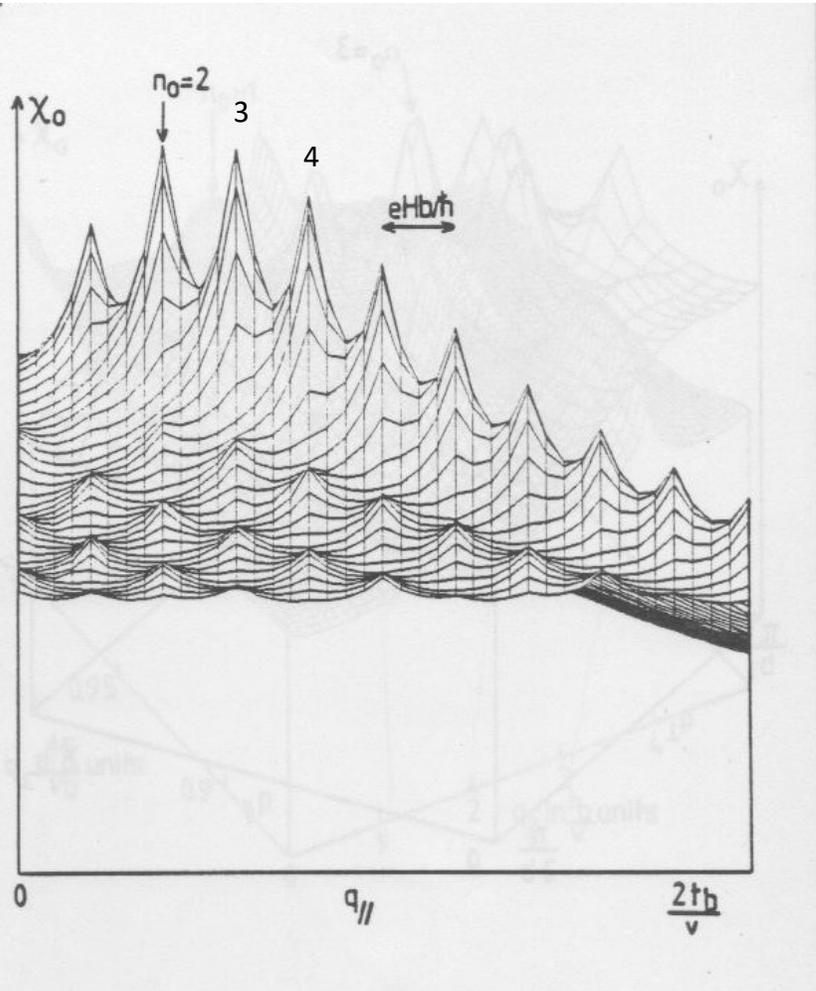
$$\vec{Q} = (2k_F + q_{//}, q_{\perp})$$



$\vec{Q}_t = 2k_F, \pi/b$, électrons et trous.
 Meilleur nesting pour $t'_b = 0$
 Mais mauvais nesting si $t'_b \neq 0$

Meilleur nesting en champ nul $\rightarrow \vec{Q}_o = 2k_F + q_{//}, q_{\perp}$
 Poches: $A \propto t'_b / h v_F b$

Phases SDW sous champ



- Susceptibilité électronique $\chi(q_{\parallel})$ avec $t'_b \neq 0$
- La fonction de Bessel d'ordre n donne le maximum avec T_c déterminé par une condition de Stoner, $1 - U\chi(Q_{\max}) = 0$
- Sous champ: susceptibilité est max à des valeurs quantifiées de $q_{\parallel} \rightarrow$ Nesting quantifié
- $q_{\perp} \neq \pi/b$

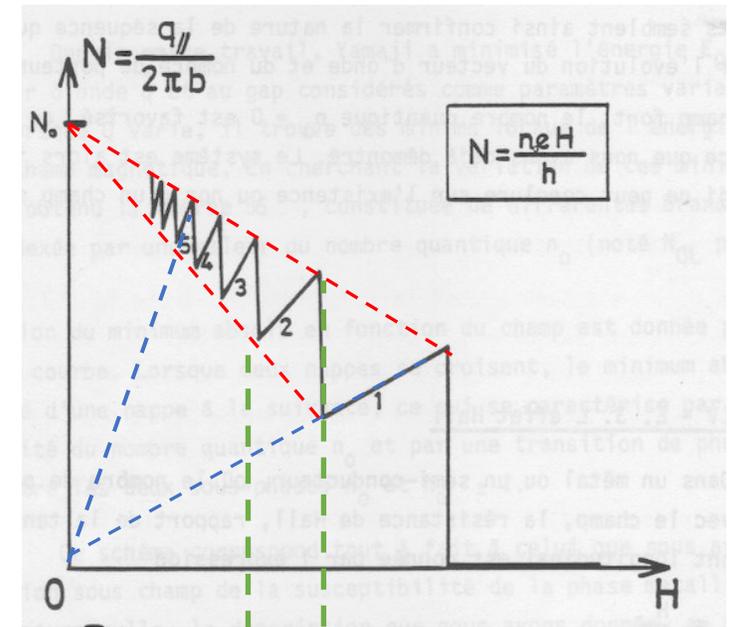
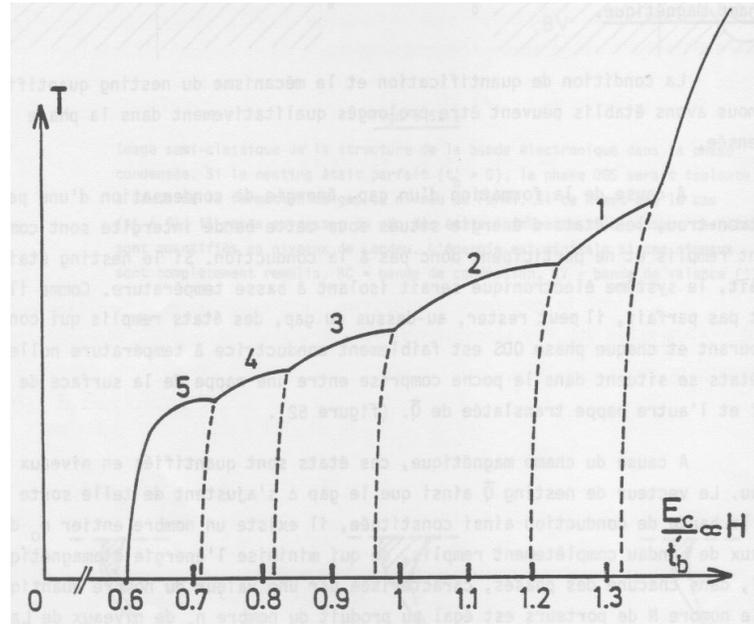
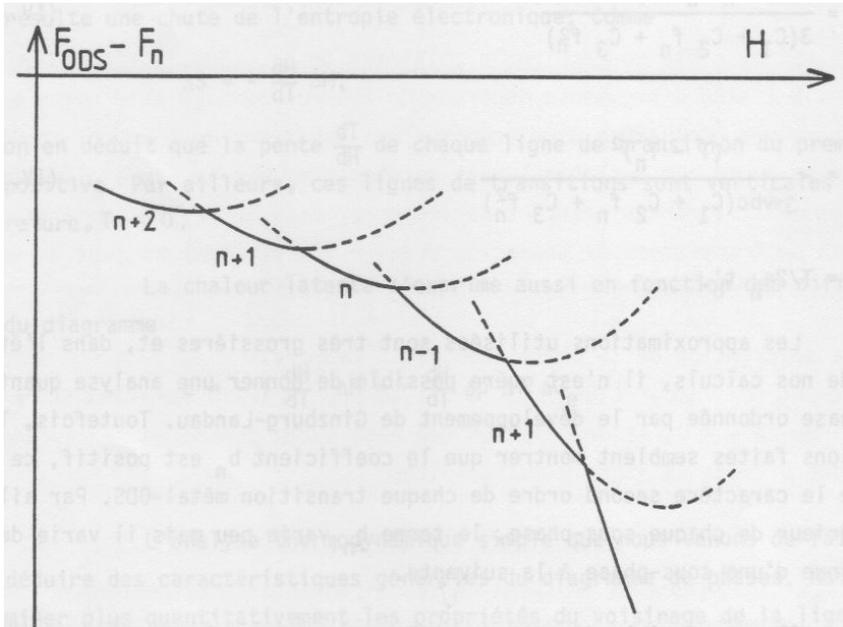
Energie libre



Phases



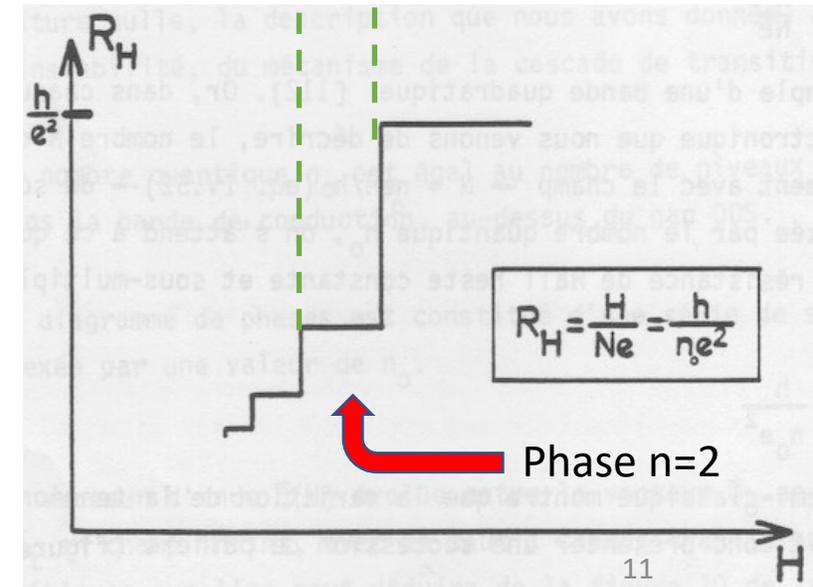
Porteurs /poche



- Ajustement de $q_{//}$ avec le champ,
Minimum de l'énergie diamagnétique

- $\vec{Q}_0 = 2k_F + q_{//}, q_{\perp}$

1. Effet Hall est quantifié dans chaque phase
2. Effet 3D $\rightarrow (H_T \text{ seuil}) \quad T_{c_{2D}}(H_T) = t'_c$
3. Phase très haut champ, $n=0$? **Terra incognita**



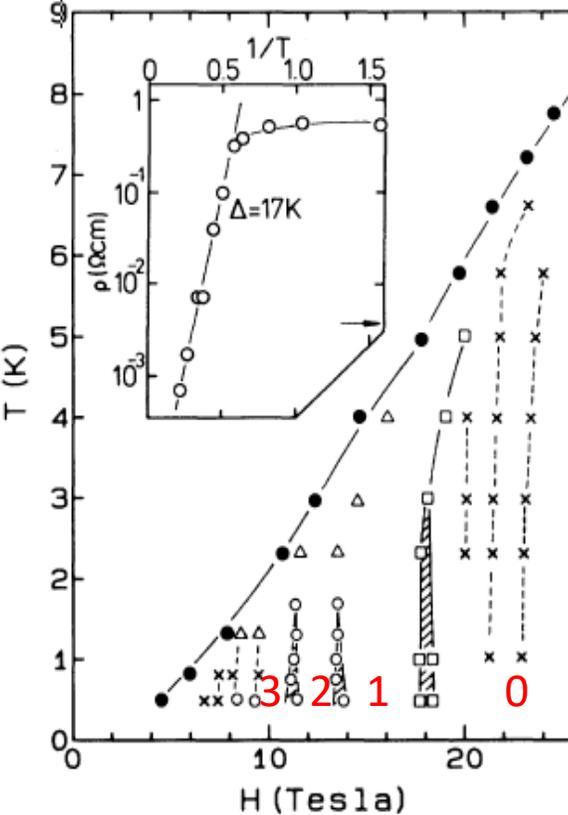
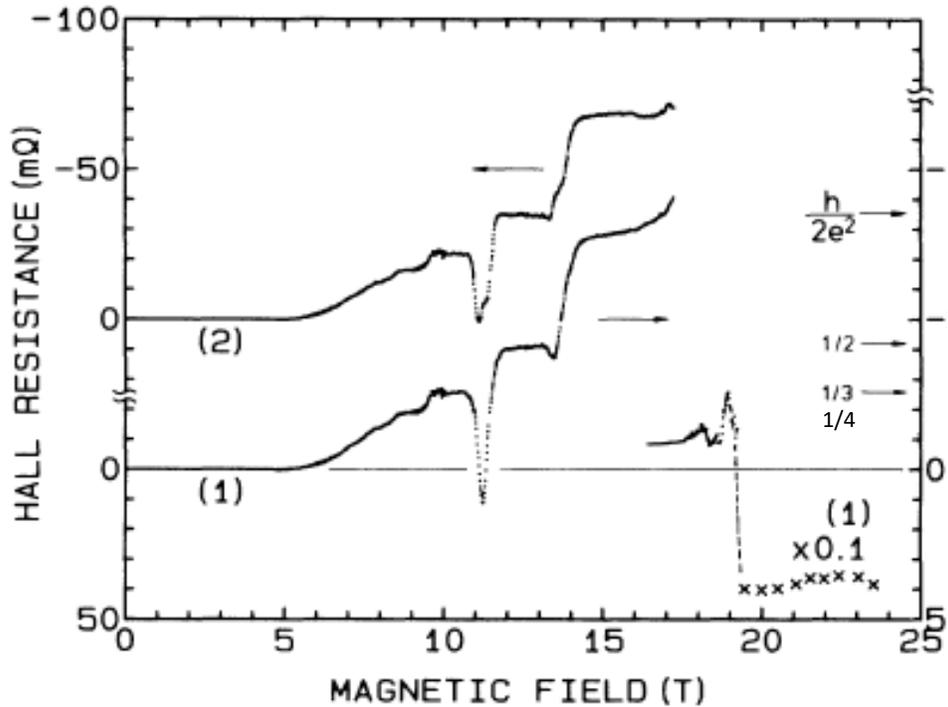
Quantized Hall Effect and a New Field-Induced Phase Transition in the Organic Superconductor $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$

J. R. Cooper,^(a) W. Kang, P. Auban, G. Montambaux, and D. Jérôme
Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

K. Bechgaard

Department of General and Organic Chemistry, H. C. Oersted Institute, Copenhagen, DK-2100, Denmark
 (Received 24 July 1989)

TMTSF₂PF₆ sous pression au LCMI. 1989



J. Phys. C: Solid State Phys. **19** (1986) L293–L298. Printed in Great Britain

LETTER TO THE EDITOR

Magnetic-field-induced spin-density-wave phases in the quasi-1D electron gas: structure of the transition line

G Montambaux, M Héritier and P Lederer

Laboratoire de Physique des Solides, Bâtiment 510, Université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cédex, France

Nesting quantifié explique:

Resistance de Hall/ plan moléculaire
 $h/2e^2 = 12.9\text{k}\Omega$

Limites des plateaux $H_n \propto$ loi de Haas-Shubnikov

$$H_n = H_f / (n + \gamma)$$

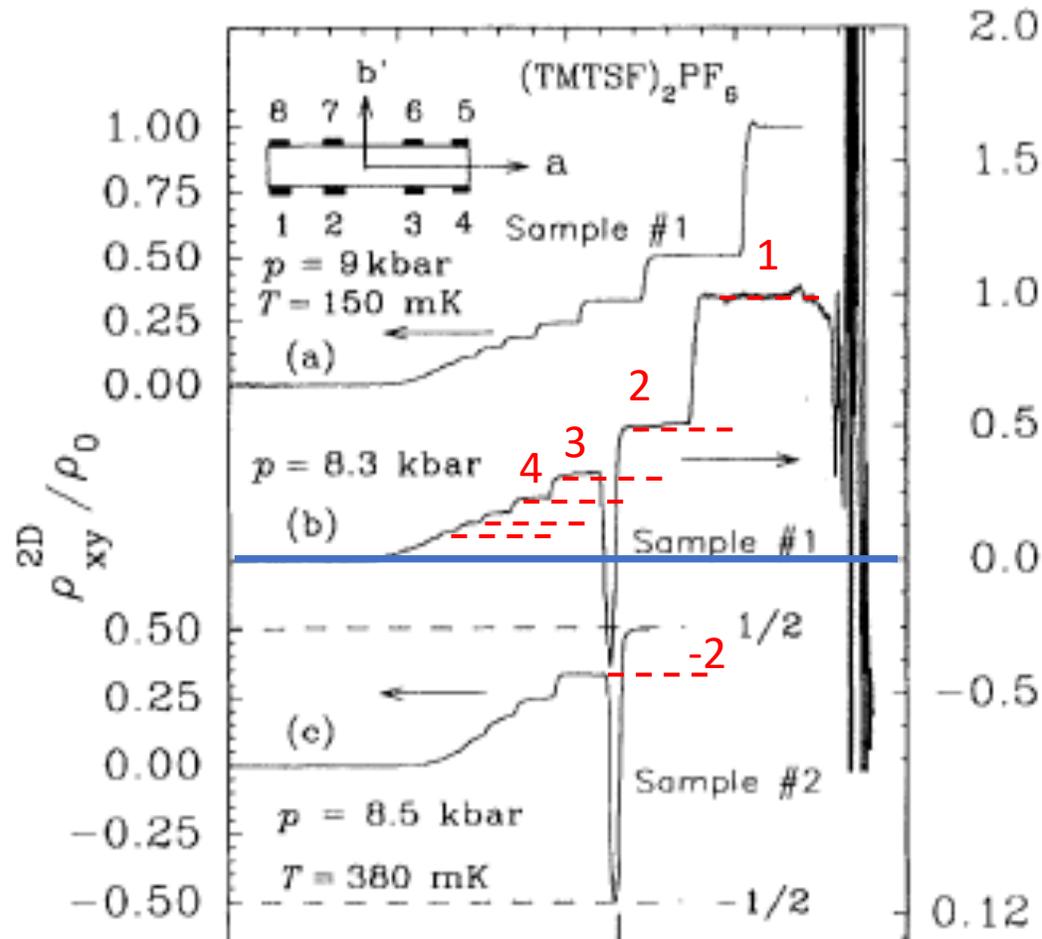
H_f (60T) \rightarrow aire de poche en champ nul $\propto t'_b$
 $= 0.5\%$ BZ

Problèmes pending:

- paliers négatifs, 2,-2,4,-4
- oscillations rapides au-delà de 20 T

Sign Reversal of the Quantum Hall Number in $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$

L. Balicas, G. Kriza, and F.I.B. Williams,
en 1995 à Saclay



The Quantum Hall Effect in quasi-1D conductors

G. Montambaux and D. Zanchi

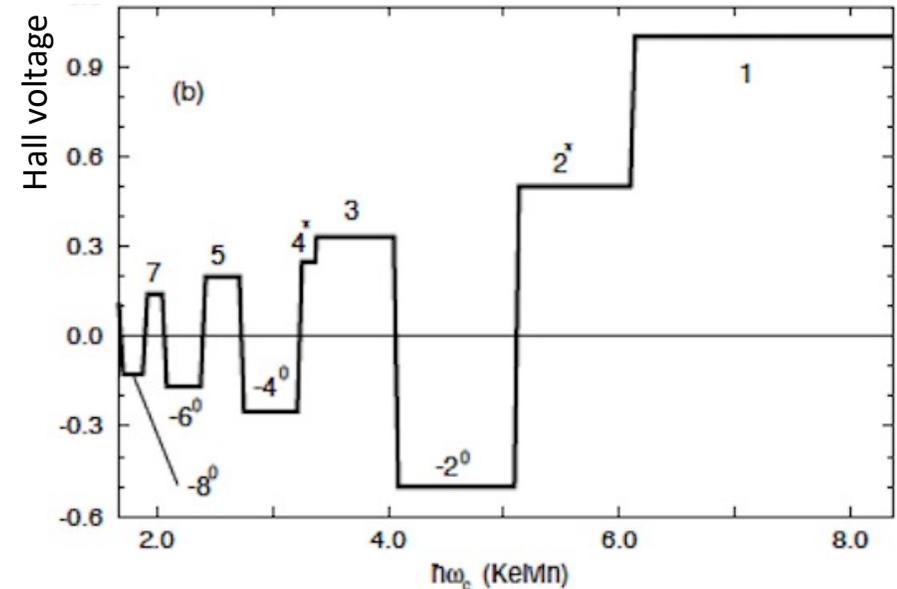
Laboratoire de Physique des Solides, associé au CNRS
Université Paris-Sud
1405 Orsay, France

Synthetic Metals 86 (1997) 2235-2240

Développement de Fourier de la dispersion transverse,

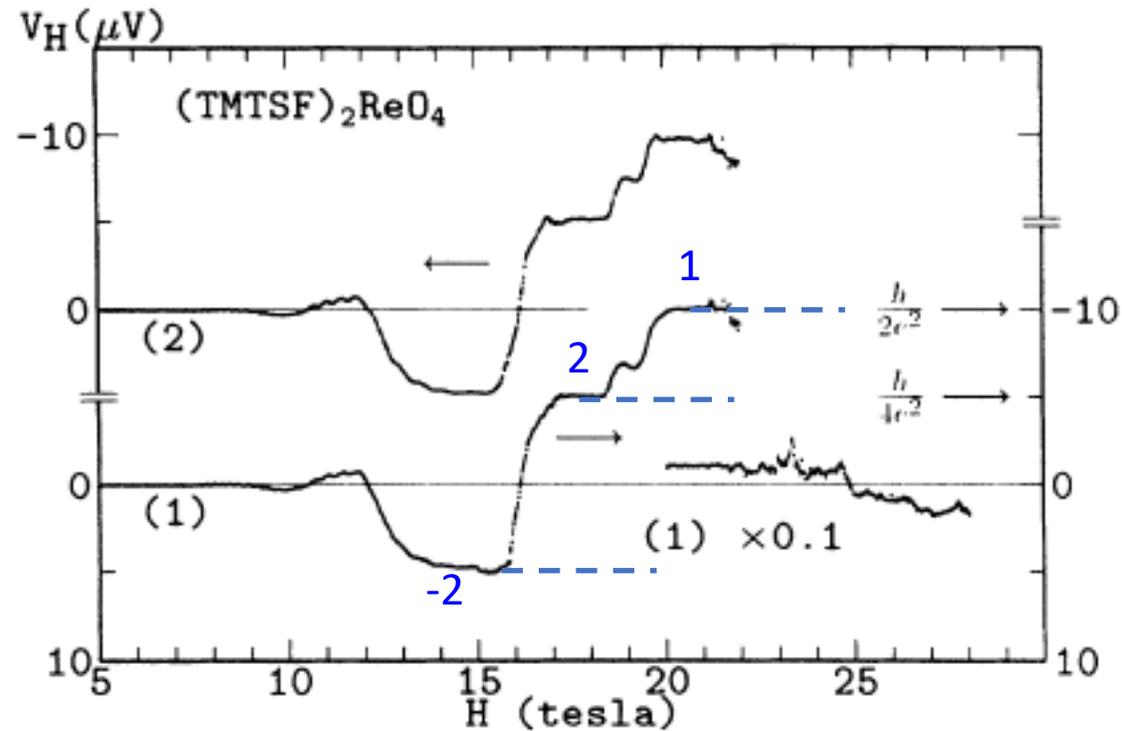
$$T_{\perp}(p) = -2tb \cos p - 2t'b \cos 2p - 2t3 \cos 3p - 2t4 \cos 4p$$

Très sensible aux valeurs des paramètres (pression)



Quantized Hall effect in the organic superconductor $(\text{TMTSF})_2\text{ReO}_4$ (TMTSF=tetramethyltetraselenafulvalinium)

W. Kang,* J.R. Cooper,† and D. Jérôme
*Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91405
Orsay, France*



Cas de TM_2ReO_4 sous pression ($0,1/2$)
Equivalent à $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$ (Ribault)

Au-delà de 10-20 Tesla: ça se corse!

Des oscillations $\approx 230\text{T}$, observées en magnéto-résistance (poches $\gg t'_b$)

1. Modulation SDW +magnetic breakdown \rightarrow reconstruction de surface de Fermi
2. Modulation SDW+Modulation de structure + magnetic breakdown \rightarrow reconstruction de la surface de Fermi
3. Modulation de structure + magnetic breakdown \rightarrow interférences Stark

*Comptes Rendus Physique 2016 ,
jubilé J.Friedel*

*Tout ce que vous voulez savoir
sur les oscillations rapides!*

**Rapid magnetic oscillations and magnetic breakdown
in quasi-1D conductors**

*Oscillations magnétiques rapides et rupture magnétique dans les
conducteurs quasi-1D*

Gilles Montambaux, Denis Jérôme

R-(TMTSF)₂ClO₄ Oscillations rapides (dans la phase métal, T>8K)

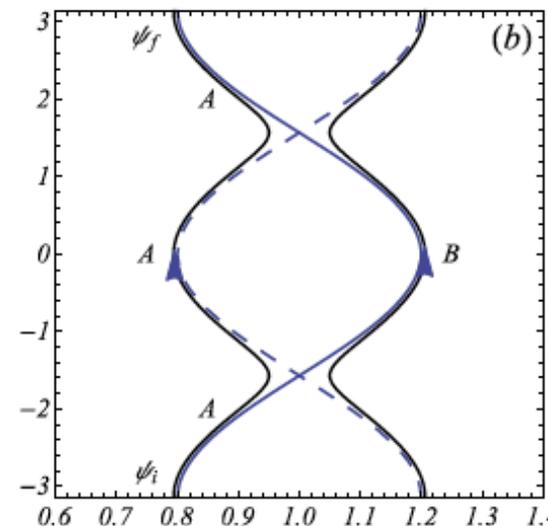
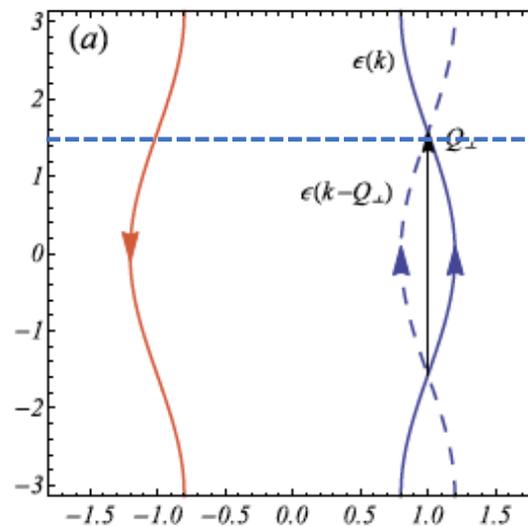
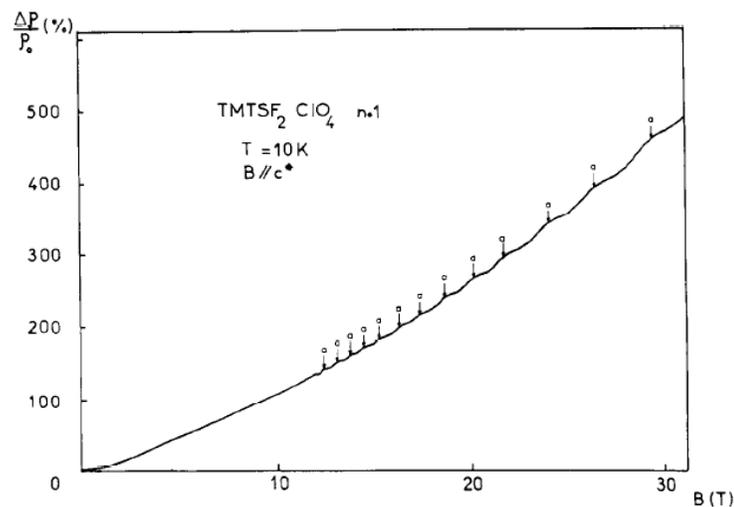
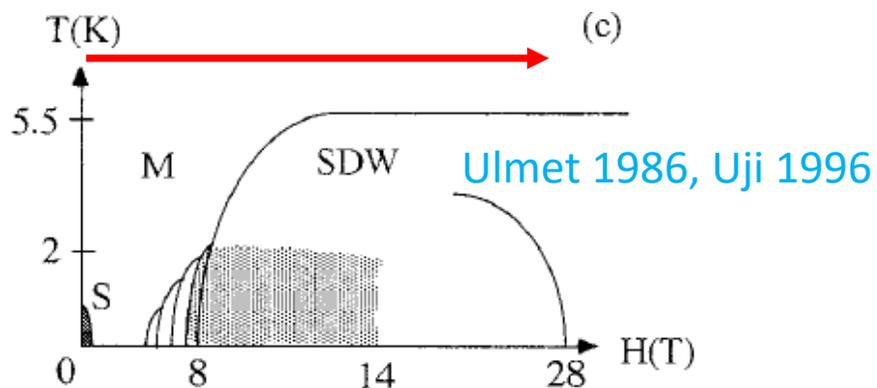
avec modulation structurale, 2b

Pas de poches SdH possibles, même sens

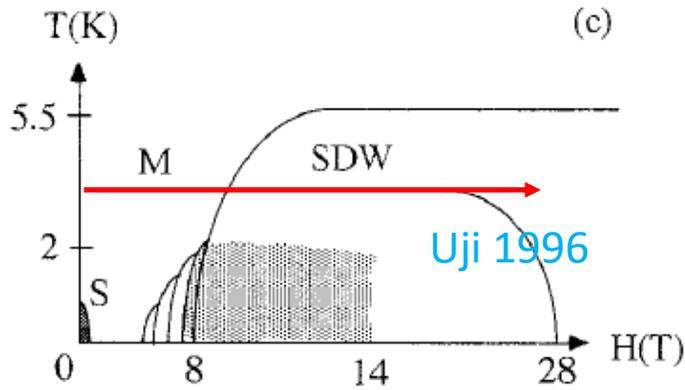
Interférences Stark entre chemins AAA et ABA visibles seulement sur le transport

$$\sigma_{osc} \propto 2p_{\perp}(1 - p_{\perp}) \cos(2\pi \frac{B_f}{B} + 2\varphi_s)$$

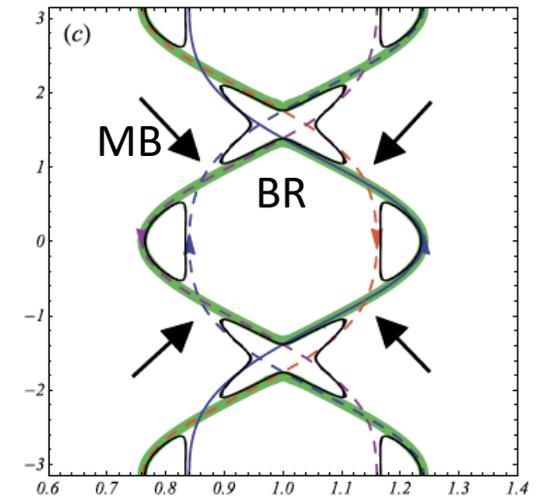
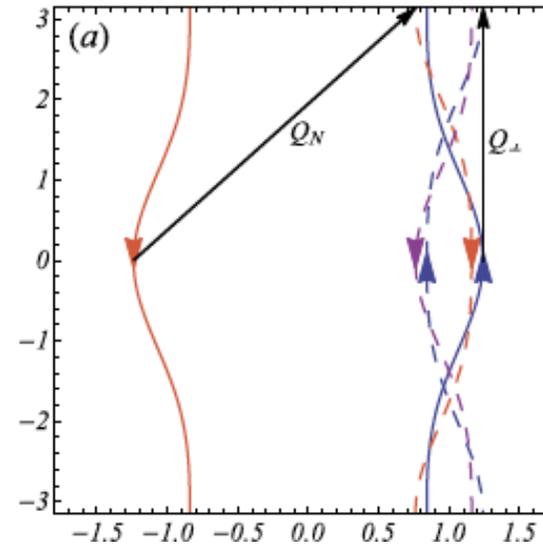
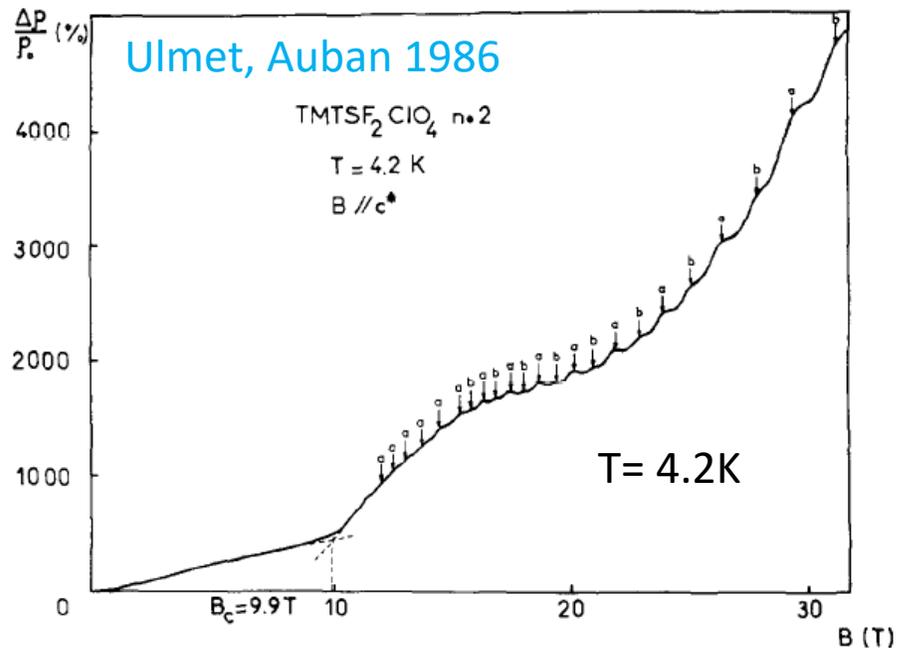
Mise en ordre de ClO₄ non-centrosymétrique, à 24K
 → modulation $Q_{\perp} = (0, \pi/b)$ → Repliement de bandes, $b^*/4$



R-(TMTSF)₂ClO₄: Oscillations rapides dans la phase FISDW avec modulation structurale, 2b

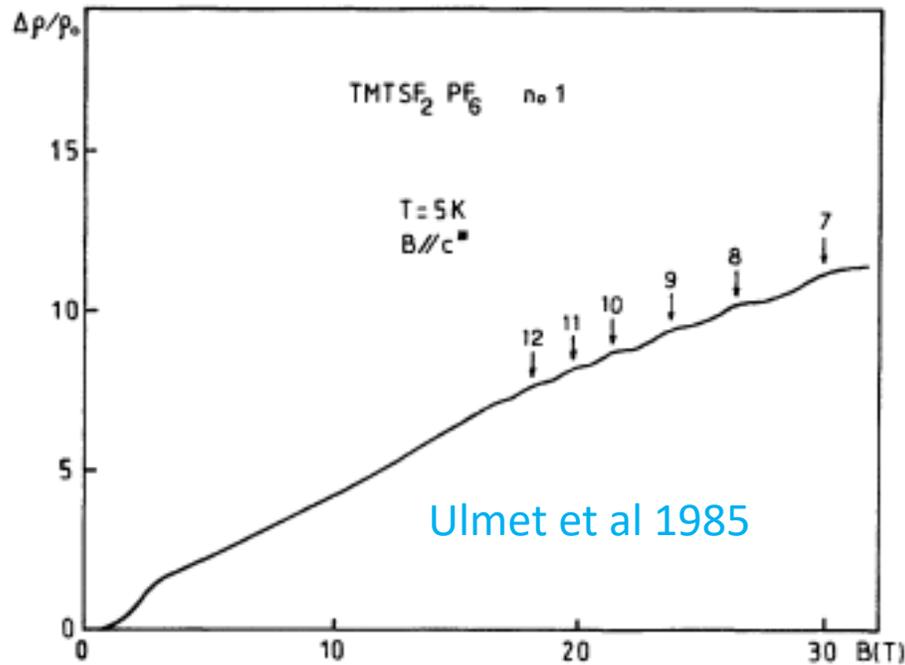


$Q_N = 2k_F, \pi/b$ par RMN
MB+BR, circuit vert



$(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$, $P=0$ kb : Oscillations haute fréquence dans la phase SDW; pas de modulation structurale

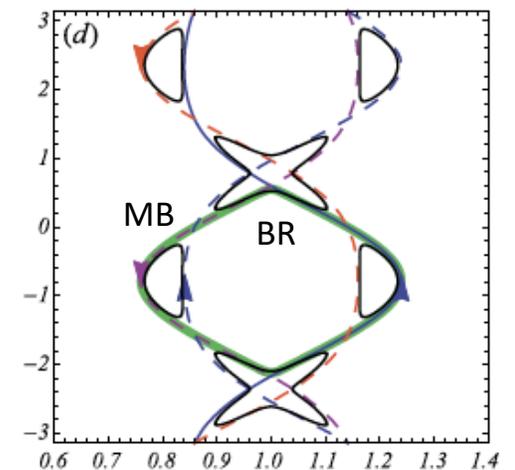
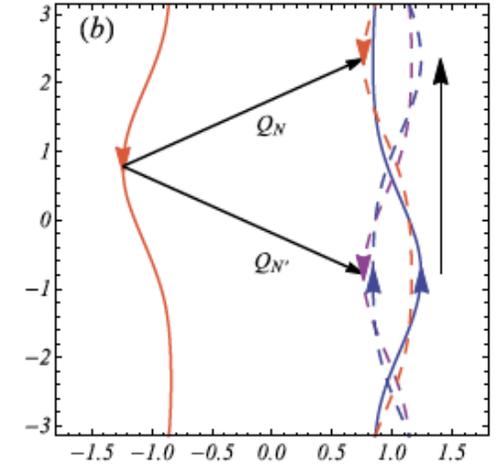
$(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ pression ambiante,
 $H_f = 230\text{T} \rightarrow 3\text{-}5\% \text{BZ}$



Hypothèse de deux distorsions magnétiques commensurables dans une structure triclinique en accord avec NMR ($a^*/2, b^*/4, 0$)

$$Q_N = (2kF \pm \frac{\pi}{2b}), \text{ le meilleur nesting triclinique}$$

Magnetic breakdown et réflexion de Bragg
 circuit vert $\rightarrow 3\% \text{BZ}$



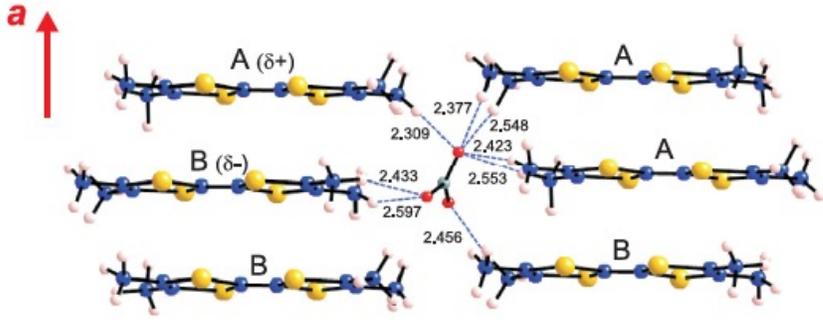
(TMTSF)₂NO₃, P= 0 kbar: Modulation structurale // + SDW

Aleman, Pouget, Canadell, 2014

Calcul ab initio → Rôle négligeable du gap anion

par NMR, $(a^*/2, b^*/4, 0) = (2k_F, \pi/2b)$

Identique à SDW de PF6 à P=0 kb

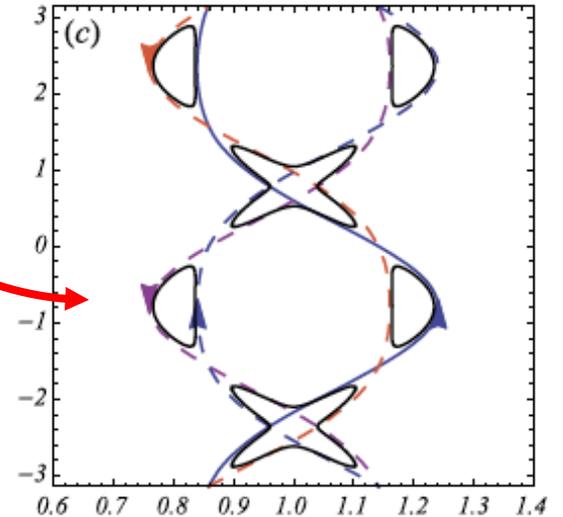
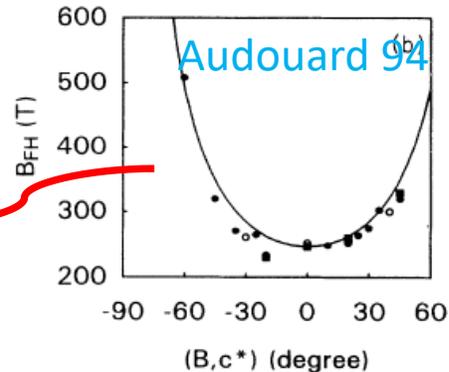
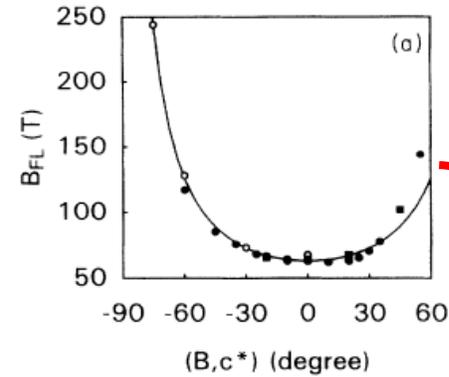
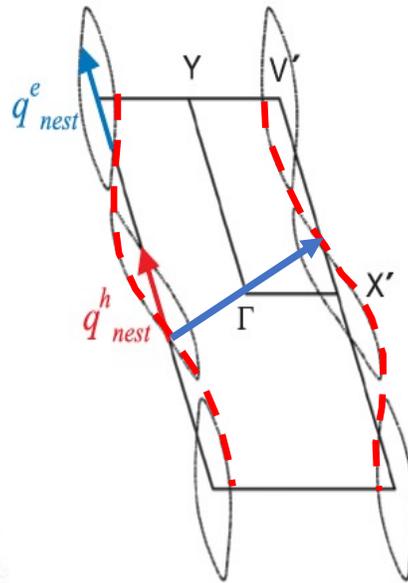
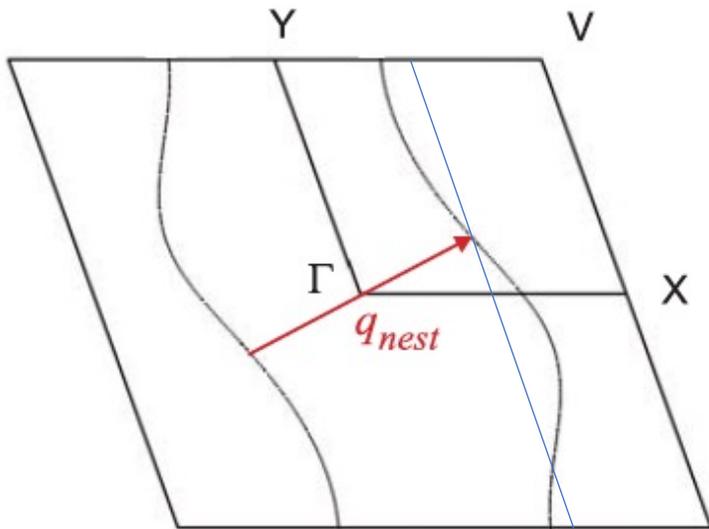


Ordre anions $(2a, 0, 0)$ à 45K

→ 2D FS

SDW à 9K magnetic breakdown

→ F= 248T et F=63T



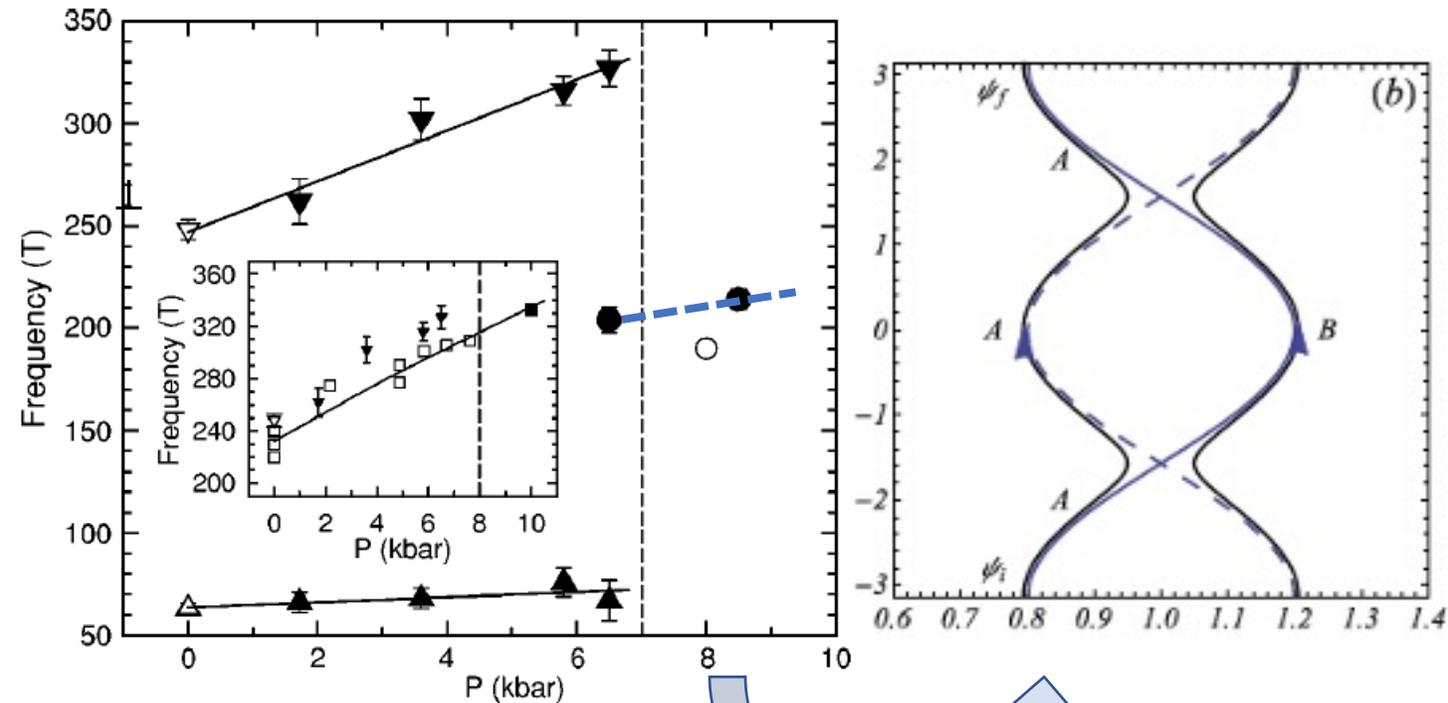
(TMTSF)₂NO₃ sous pression: Modulation structurale \perp , 2b pas de SDW

Changement d'ordre anionique observé
 $P > 7$ kbar, ordre (0,2b,0) **comme R-ClO₄**

Pas de SDW, Phase métal: $T \rightarrow 0$ K

AMRO \rightarrow Q1D FS [Wuon Kang 2009](#)

\rightarrow Suggestion de Gilles
Oscillations Stark à 215T
Comme pour TM₂ClO₄ métal à fort champ

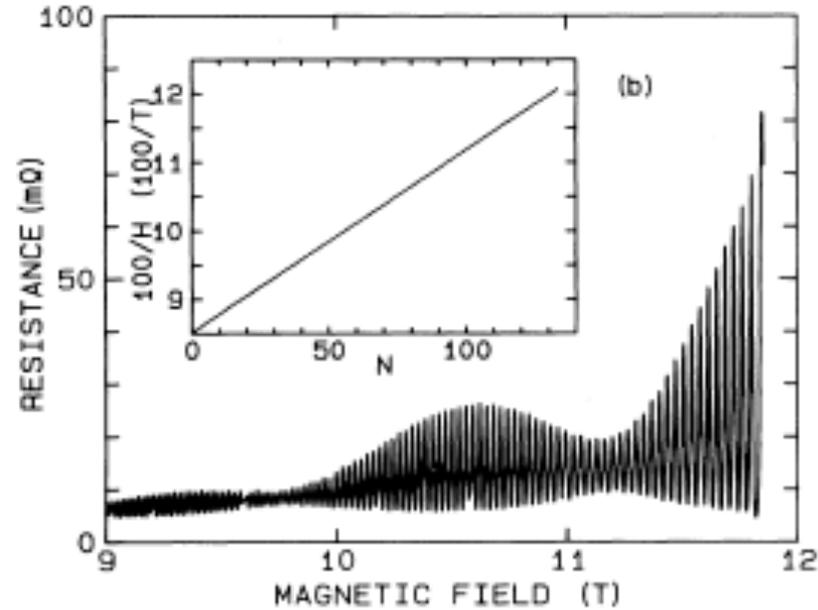
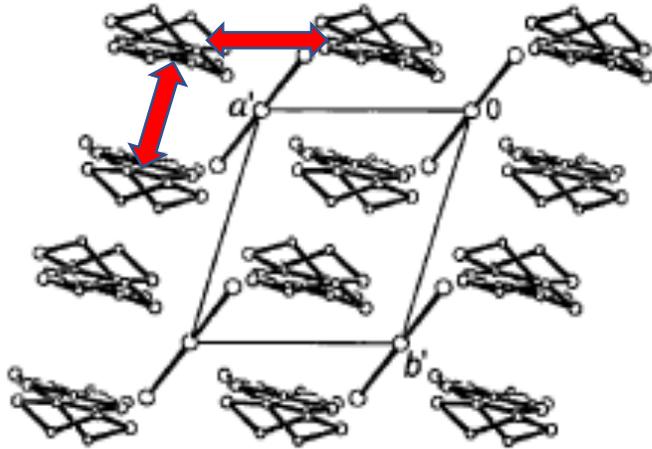
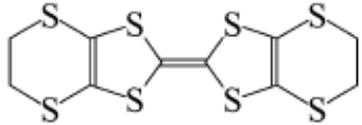


Vignolles et-al 2005

Observation of Giant Magnetoresistance Oscillations in the High- T_c Phase of the Two-Dimensional Organic Conductor β -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$

W. Kang, G. Montambaux, J. R. Cooper,^(a) D. Jérôme, P. Batail, and C. Lenoir
Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France
 (Received 15 February 1989)

BEDT-TTF



$\beta_{\text{H}}\text{-ET}_2\text{I}_3$, \rightarrow Groupements CH_2 ordonnés/pression
 $\rightarrow T_c=8\text{K}$ et surface Fermi 2D

Oscillations géantes: très haute fréquence $3730 \text{ T} \rightarrow 50\%$ de BZ
Surface de Fermi cylindrique dans le plan a'-b'

Battements entre deux séries d'oscillations $\rightarrow t_{(a-b)}/t_c = 140$

Et pour terminer!

- *Merci à Gilles pour plus de 30 ans d'une collaboration théorie-expérience, étroite et fructueuse pour tous.*

- *Still plenty of food for thoughts !*

- *Toute connaissance de la réalité vient de l'expérience et aboutit à elle!*

A. Einstein cité par Gilles

- *A corollary (of that view) is that theorists should not live in ghettos, but be immersed in experimentalist communities*

Ph. Nozières,

Sixty Years of Condensed Matter Physics, Annual. Rev. Condens.Matter Phys. 2012. 3:1–7