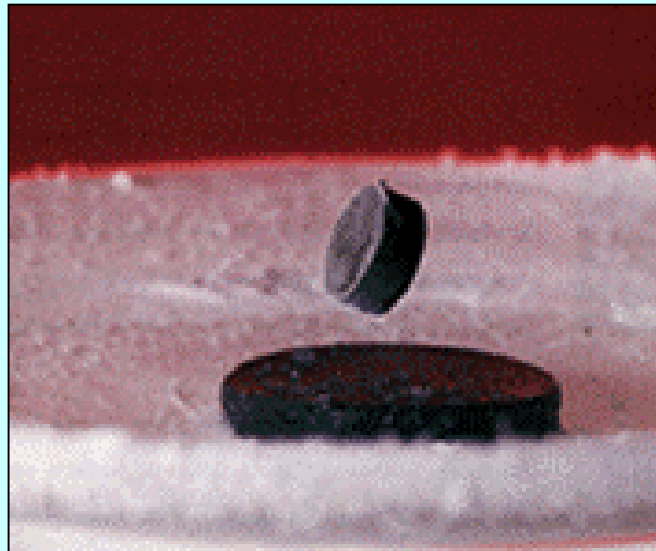


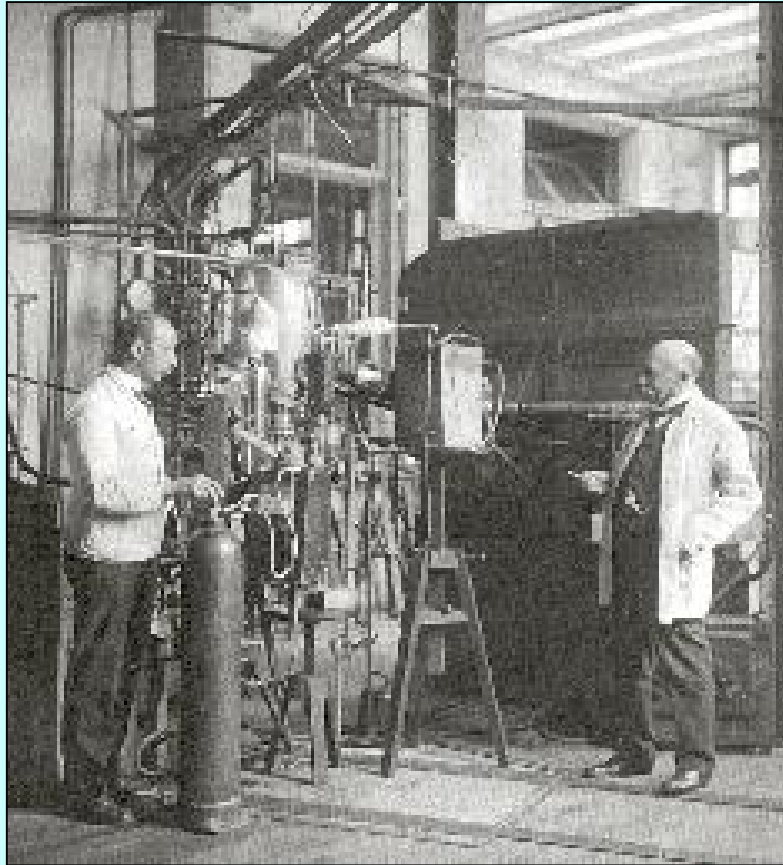
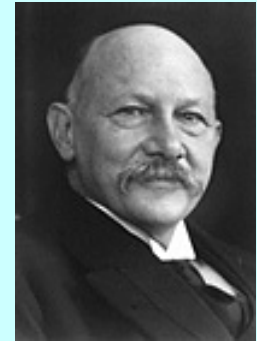
Les Nouveaux Supraconducteurs

Des propriétés fascinantes, une physique à réinventer

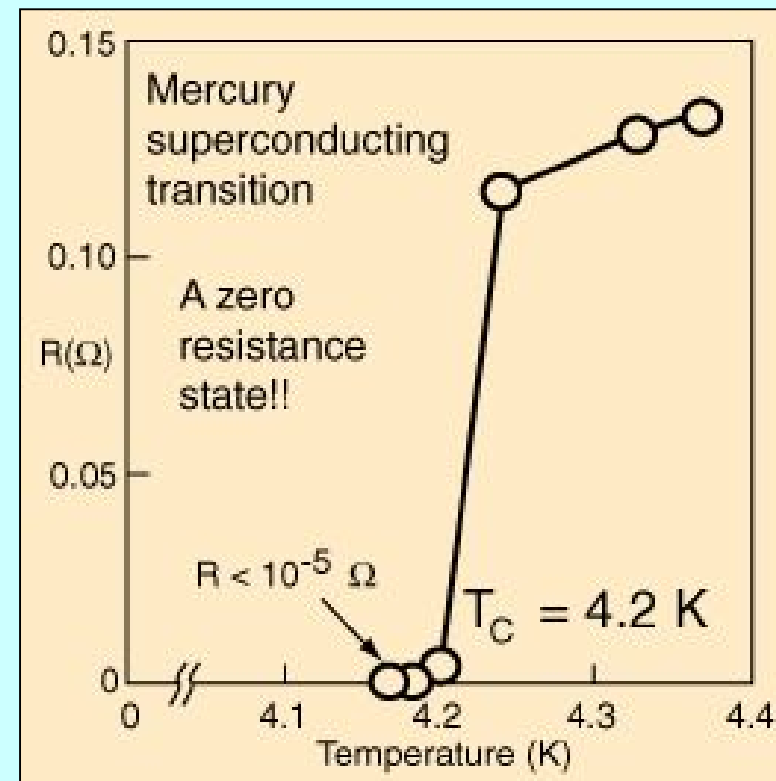


1911, la découverte

1911

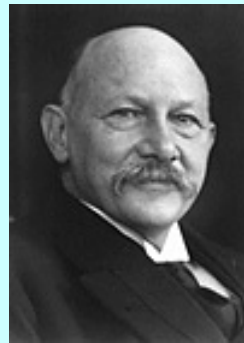


K. Ohnes et son assistant



Leur mesure sur le mercure

Des prix Nobel en pagaille...



Onnes 1913



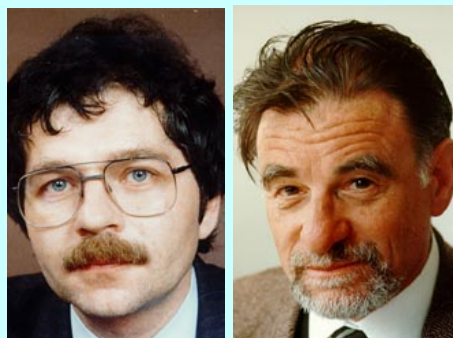
Bardeen Cooper Schrieffer 1972



Josephson 1973



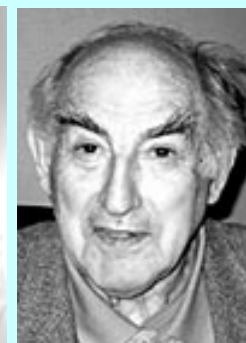
Anderson 1977



Bednorz Muller 1987



Abrikosov



Ginzburg



Leggett 2003

KNOWN SUPERCONDUCTIVE ELEMENTS

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

	1A												0																							
1	1	H											2	He																						
2	3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
3	11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																				
4	19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
5	37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
6	55	Cs	56	Ba	57	*La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
7	87	Fr	88	Ra	89	+Ac	104	Rf	105	Ha	106	107	108	109	110	111	112																			

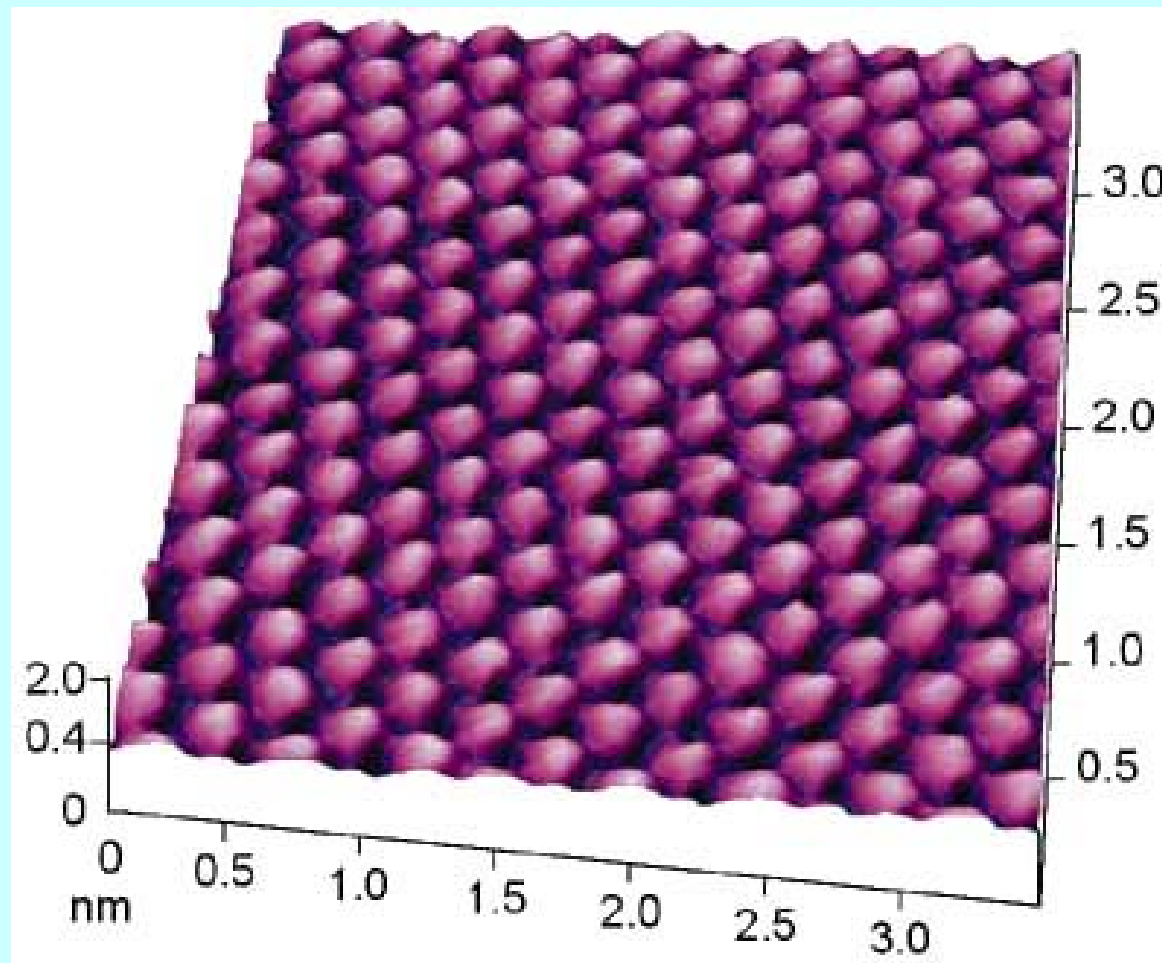
SUPERCONDUCTOR8.ORG

* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Ce qui est vert ou bleu est supraconducteur.

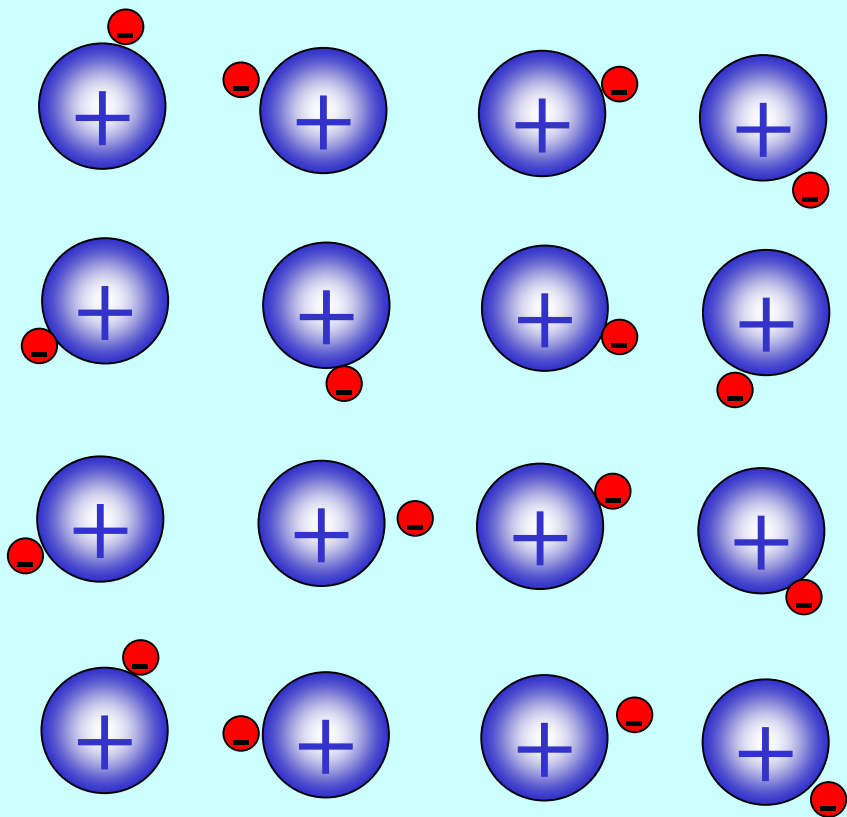
L'explication

La matière : des atomes organisés périodiquement

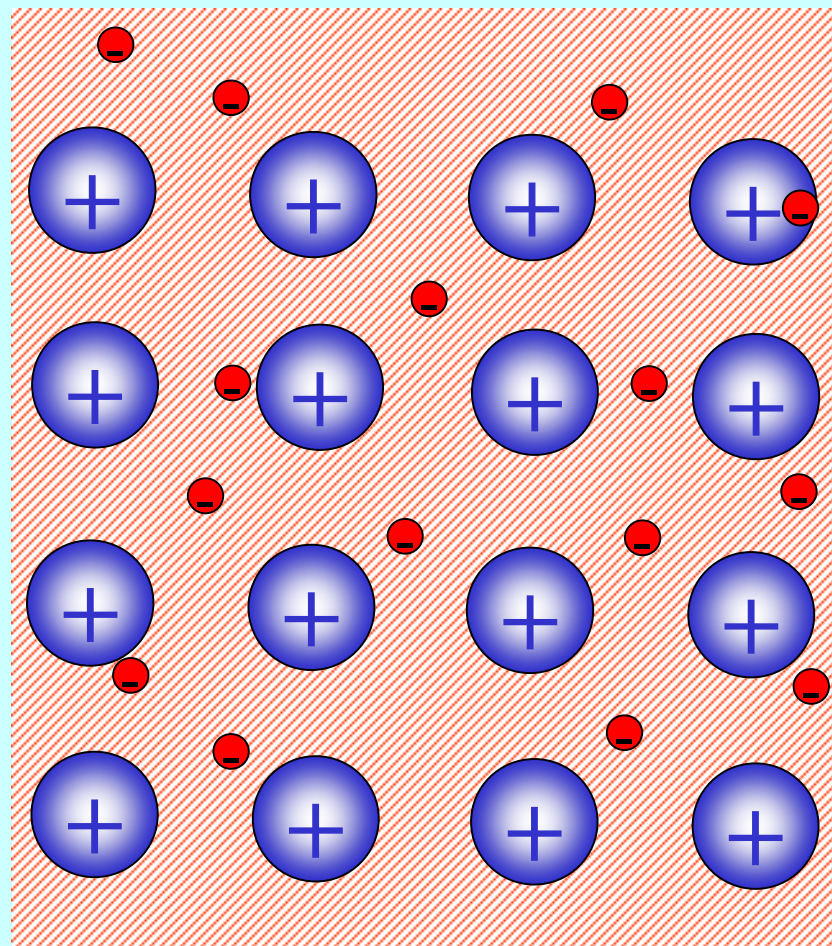


Stm sur une surface de graphite

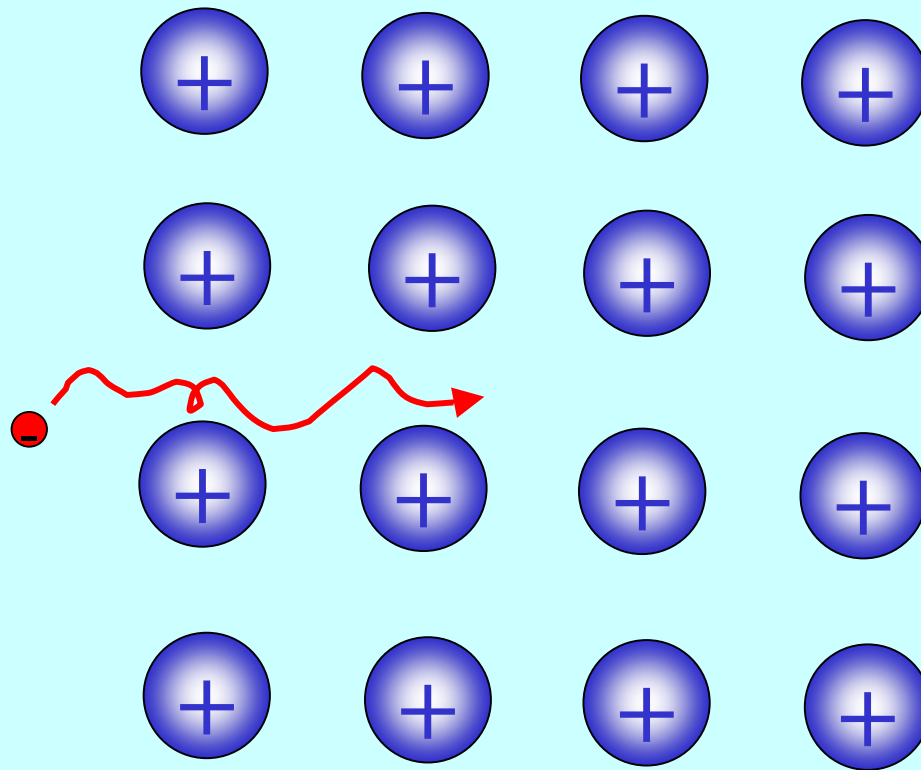
Un isolant



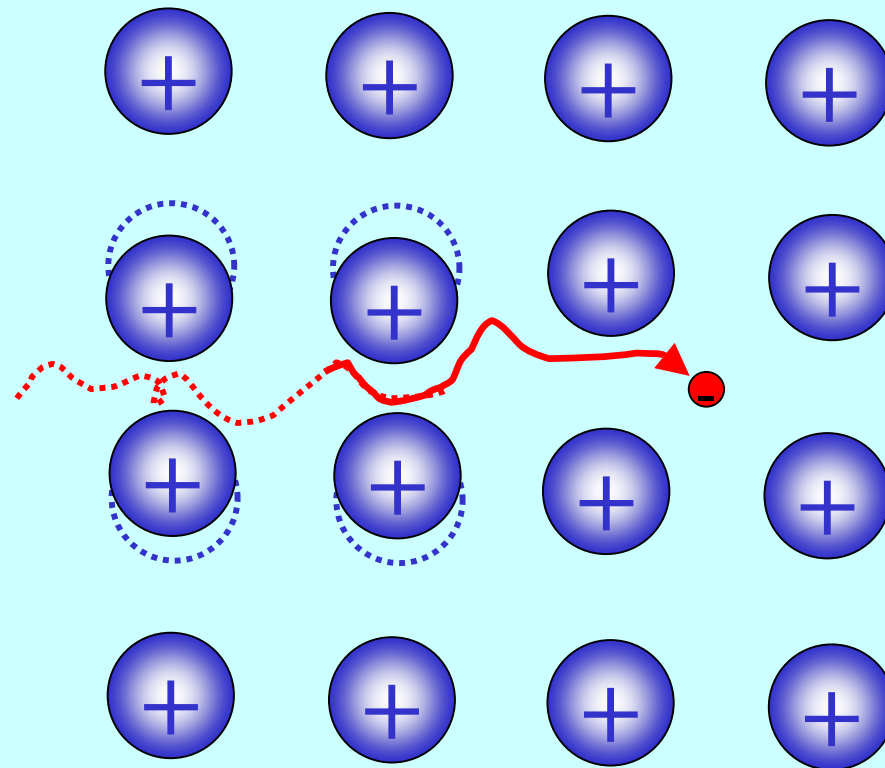
Un métal



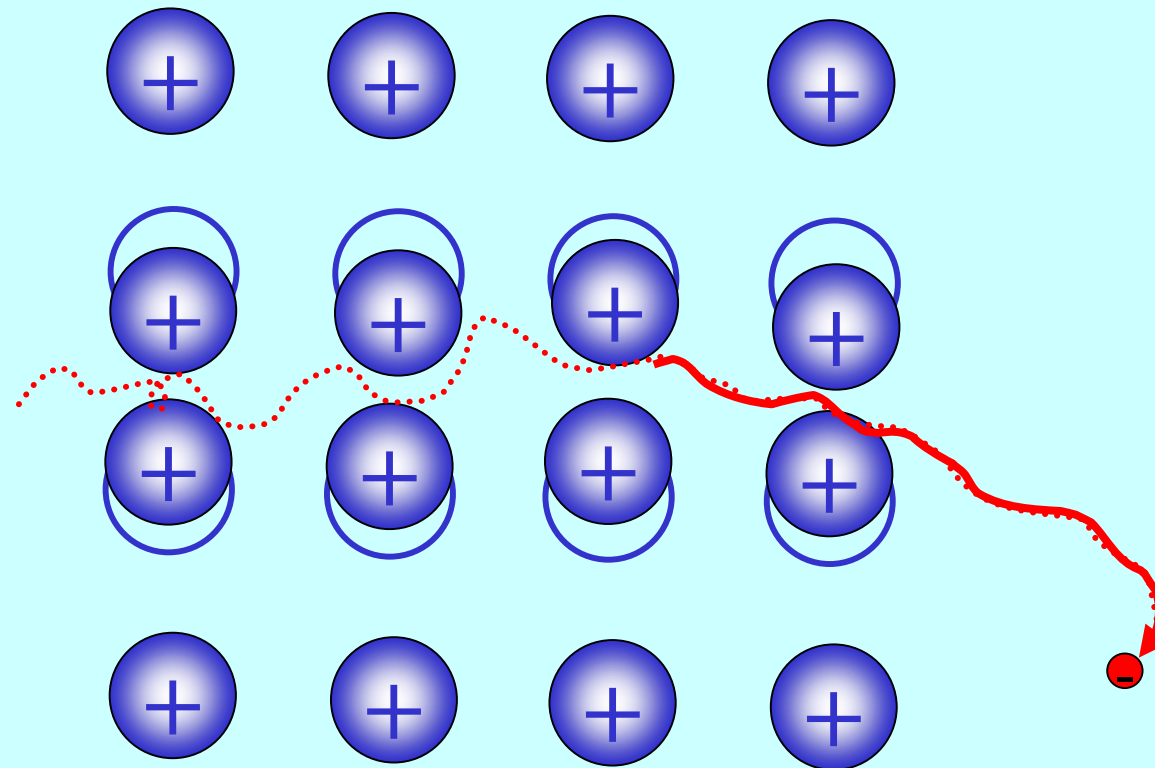
Un électron se déplace dans un métal



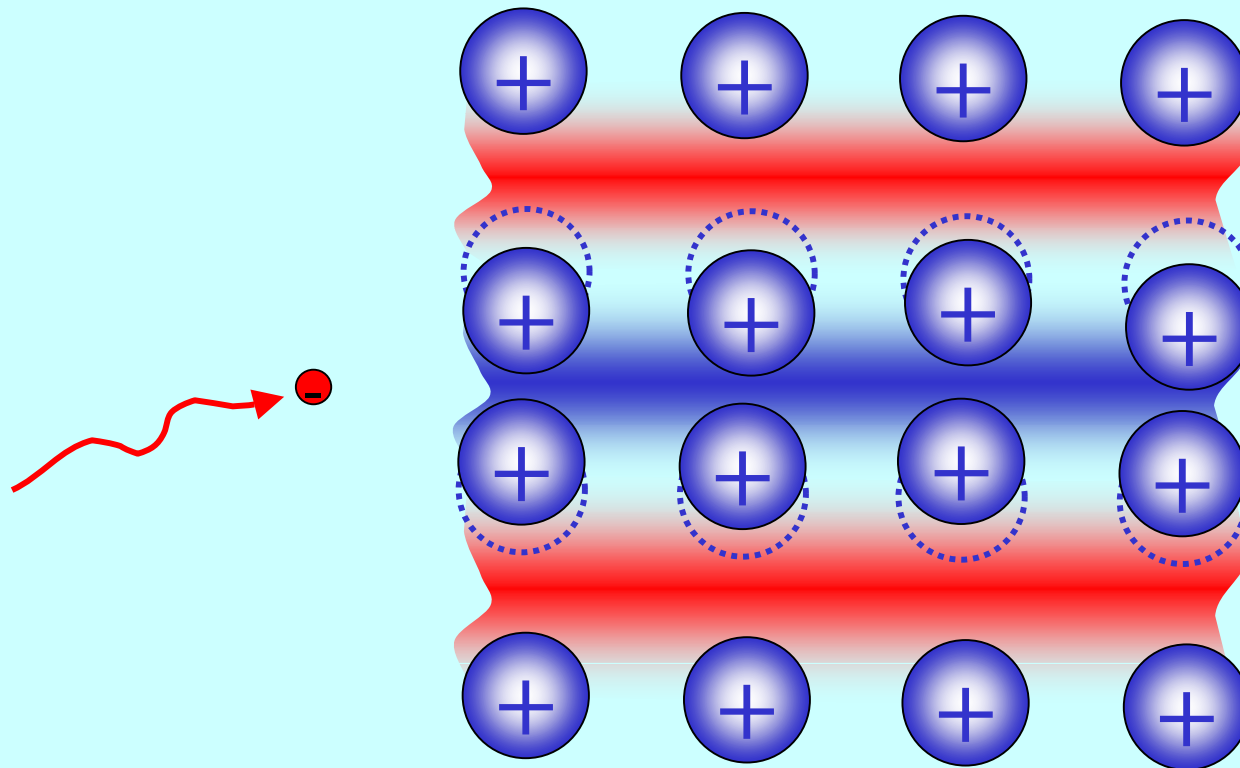
Les ions sont attirés



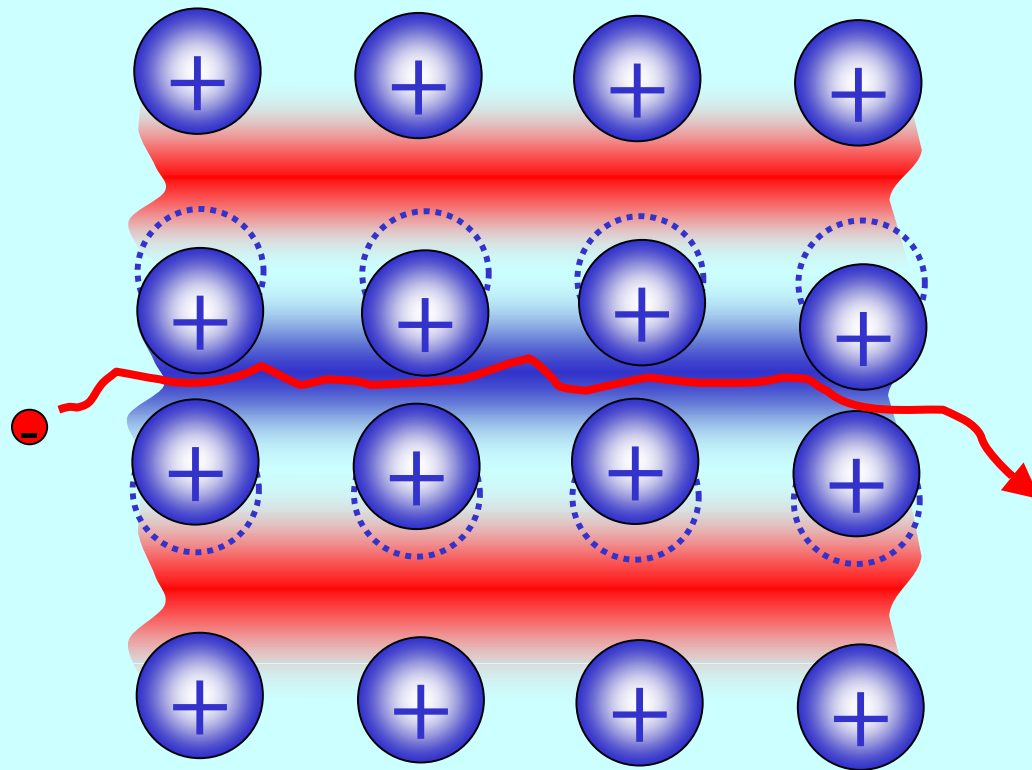
Le réseau d'ions se déforme



Un second électron s'engouffrera
dans la zone positive



Le 2ème électron suit donc le premier
via les déformations du réseau



La théorie BCS



Bardeen Cooper Schrieffer

Ingrédients :

- attraction de deux électrons par les vibrations du réseau
- formation d'un « condensat » supraconducteur

Quelques prédictions :

- résistance nulle, champ magnétique exclu *vérifié*
- existence d'une température critique T_C *vérifié*
- $T_C = 1.14 \Theta_{\text{Debye}} \exp(-1/U_{\text{electrons-vibrations}} n(E_F))$ *vérifié*
- un « gap » isotrope et $2\Delta/k_B T_C = 3.5$ *vérifié*
- T_C proportionnelle à $1/\sqrt{M_{\text{ions}}}$ *vérifié*
- existence de paires d'électrons *vérifié*

Pourquoi n'y a-t-il plus de résistance dans un supra ?



Dans un métal, les électrons sont comme de petites vagues, sensibles à tout défaut

Dans un supra, ils forment une vague unique, que les petits défauts n'affectent pas



1986 : Le choc !

Découverte d'une céramique supraconductrice à une température bien trop élevée !



Bednorz Müller

Z. Phys. B – Condensed Matter 64, 189–193 (1986)

Condensed
Zeitschrift
für Physik B
© Springer-Verlag 1986

Possible High T_c Superconductivity in the Ba–La–Cu–O System

J.G. Bednorz and K.A. Müller
IBM Zürich Research Laboratory, Rüschlikon, Switzerland

Received April 17, 1986

Metallic, oxygen-deficient compounds in the Ba–La–Cu–O system, with the composition $\text{Ba}_x\text{La}_{1-x}\text{Cu}_2\text{O}_{3(1-y)}$ have been prepared in polycrystalline form. Samples with $x=1$ and 0.75 , $y>0$, annealed below 900°C under reducing conditions, consist of three phases, one of them a perovskite-like mixed-valent copper compound. Upon cooling, the samples show a linear decrease in resistivity, then an approximately logarithmic increase, interpreted as a beginning of localization. Finally an abrupt decrease by up to three orders of magnitude occurs, reminiscent of the onset of percolative superconductivity. The highest onset temperature is observed in the 30 K range. It is markedly reduced by high current densities. Thus, it results partially from the percolative nature, but possibly also from 2D superconducting fluctuations of double perovskite layers of one of the phases present.

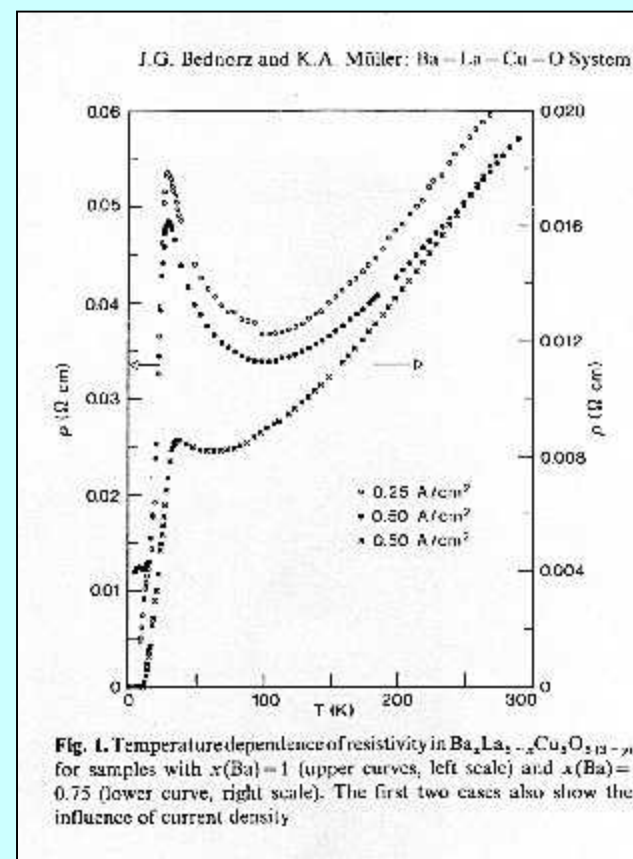
I. Introduction

“At the extreme forefront of research in superconductivity is the empirical search for new materials” [1]. Transition-metal alloy compounds of $A15$ (Nb_3Sn) and $B1$ (NbN) structure have so far shown the highest superconducting transition temperatures. Among many $A15$ compounds, careful optimization of Nb–Ge thin films near the stoichiometric composition of Nb_3Ge by Cavalev et al. and Testardi et al. a decade ago allowed them to reach the highest $T_c = 23.3$ K reported until now [2, 3]. The heavy Fermion systems with low Fermi energy, newly discovered, are not expected to reach very high T_c 's [4].

Only a small number of oxides is known to exhibit superconductivity. High-temperature superconductivity in the Li–Ti–O system with onsets as high as 13.7 K was reported by Johnston et al. [5]. Their x-ray analysis revealed the presence of three different crystallographic phases, one of them, with a spinel structure, showing the high T_c [5]. Other oxides like perovskites exhibit superconductivity despite their small carrier concentrations, n . In Nb-doped SrTiO_3 , with $n = 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, the plasma edge is below the highest optical phonon, which is therefore unshielded

[6]. This large electron-phonon coupling allows a T_c of 0.7 K [7] with Cooper pairing. The occurrence of high electron-phonon coupling in another metallic oxide, also a perovskite, became evident with the discovery of superconductivity in the mixed-valent compound $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ by Sleight et al., also a decade ago [8]. The highest T_c in homogeneous oxygen-deficient mixed crystals is 13 K with a comparatively low concentration of carriers $n = 2.4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ [9]. Flat electronic bands and a strong breathing mode with a phonon feature near 100 cm^{-1} , whose intensity is proportional to T_c , exist [10]. This last example indicates that within the BCS mechanism, one may find still higher T_c 's in perovskite-type or related metallic oxides, if the electron-phonon interactions and the carrier densities at the Fermi level can be enhanced further.

Strong electron-phonon interactions in oxides can occur owing to polaron formation as well as in mixed-valent systems. A superconductivity (metallic) to bipolaronic (insulator) transition phase diagram was proposed theoretically by Chakraverty [11]. A mechanism for polaron formation is the Jahn-Teller effect, as studied by Höck et al. [12]. Isolated Fe^{4+} , Ni^{3+} and Cu^{2+} in octahedral oxygen environment



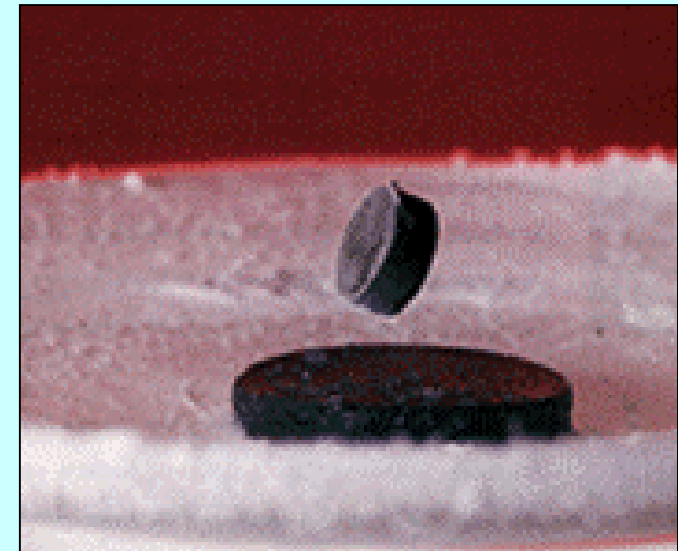
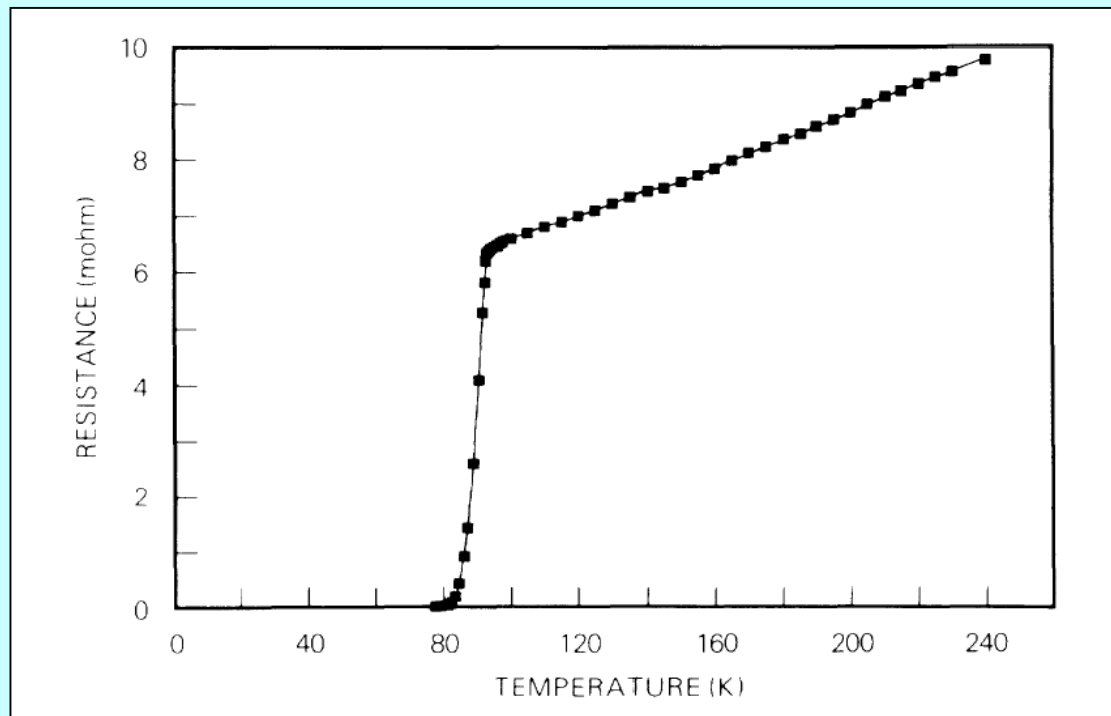
1987, deuxième choc : on franchit la frontière de l'azote liquide !

VOLUME 58, NUMBER 9

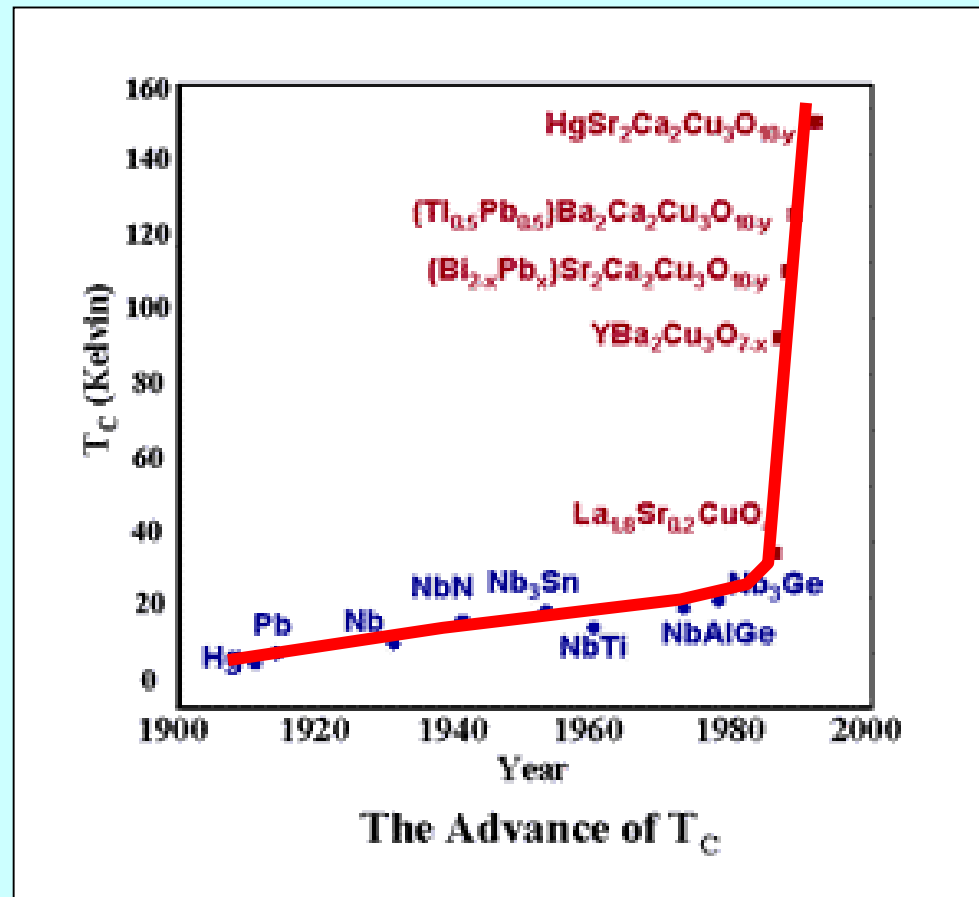
PHYSICAL REVIEW LETTERS

2 MARCH 1987

Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure



Les années qui suivent, les découvertes s'enchaînent :
y a-t-il une limite ?

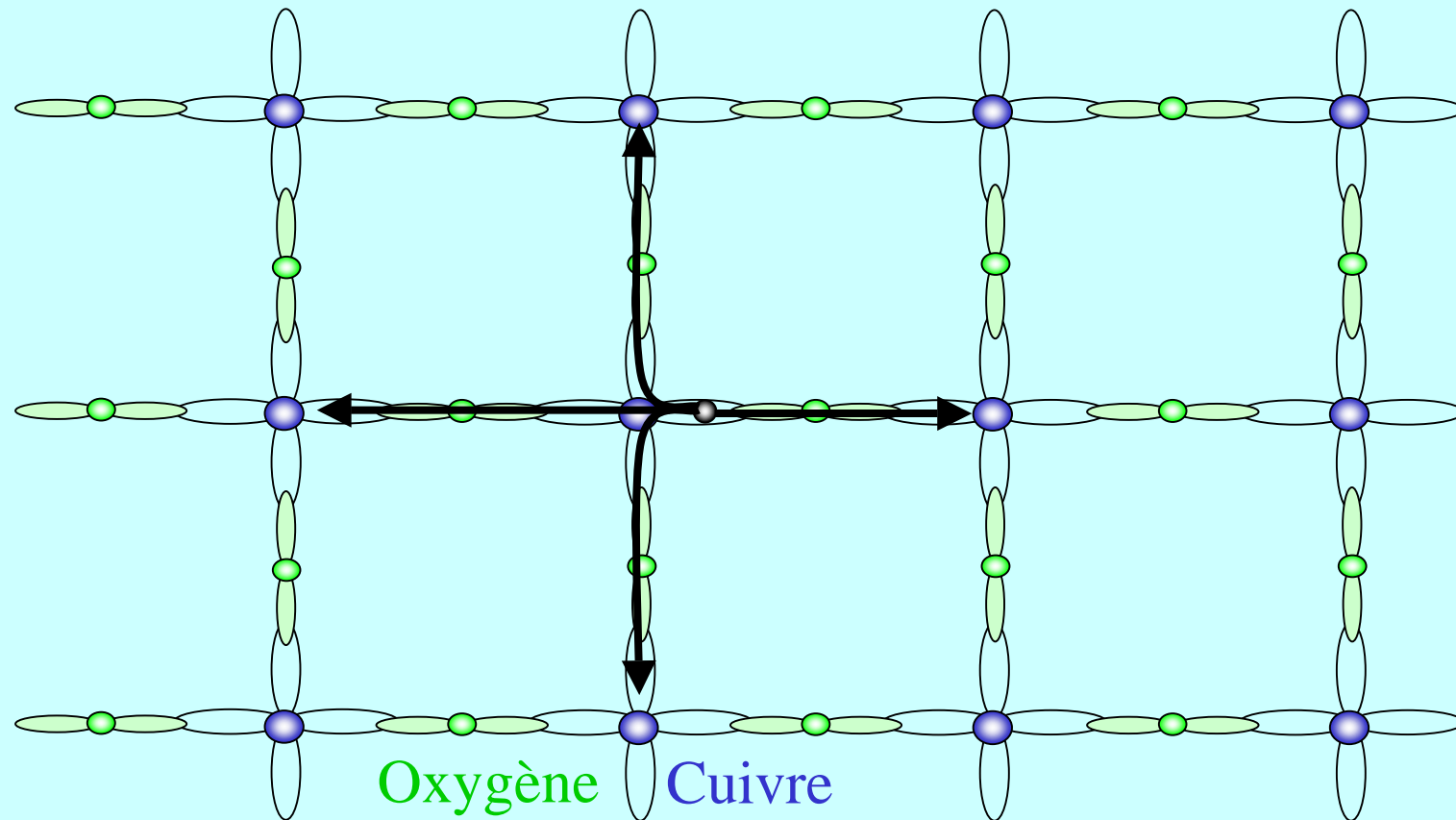


L'évolution des découvertes au cours des années

La théorie BCS pour expliquer les nouveaux supras?

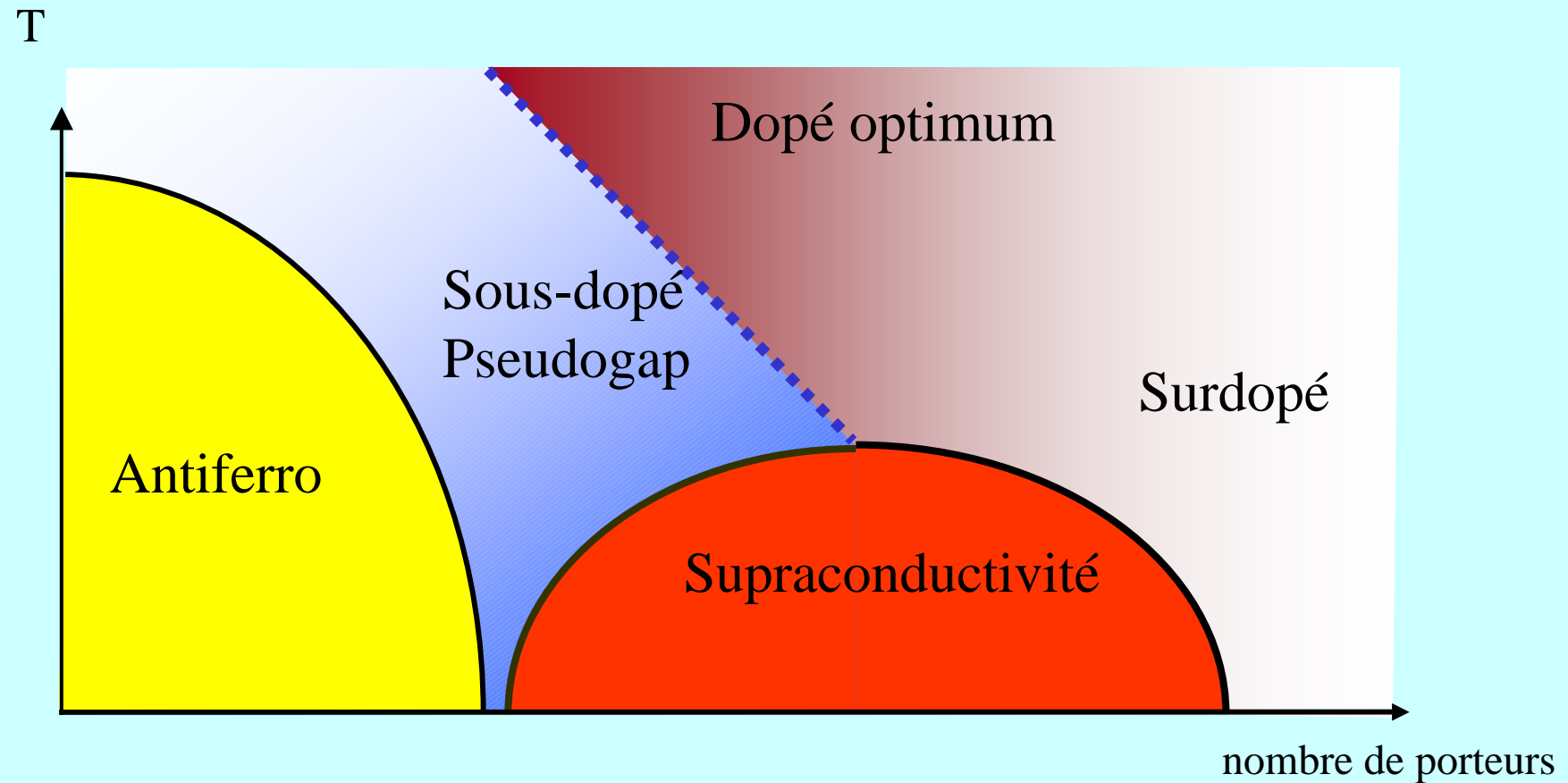
- résistance nulle, champ magnétique exclu *OUI*
- existence de paires d'électrons *OUI*
- existence d'une température critique T_C *OUI*
- Paires de Cooper grâce aux vibrations du réseau *NON*
- Relation liant le « gap » et T_C *NON*
- Forme du « gap » isotrope *NON*

D'où vient la difficulté ?



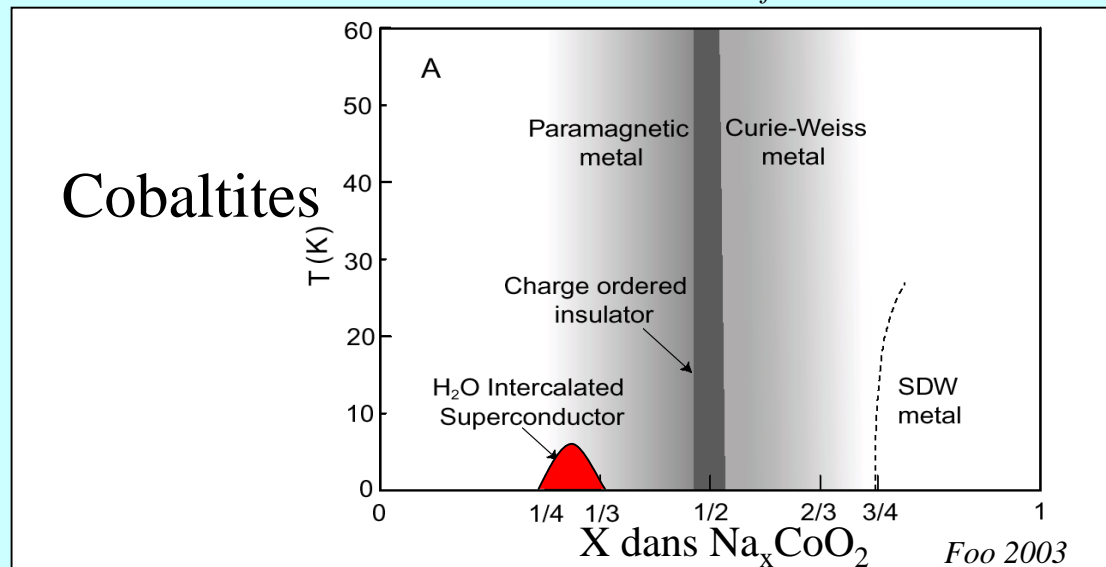
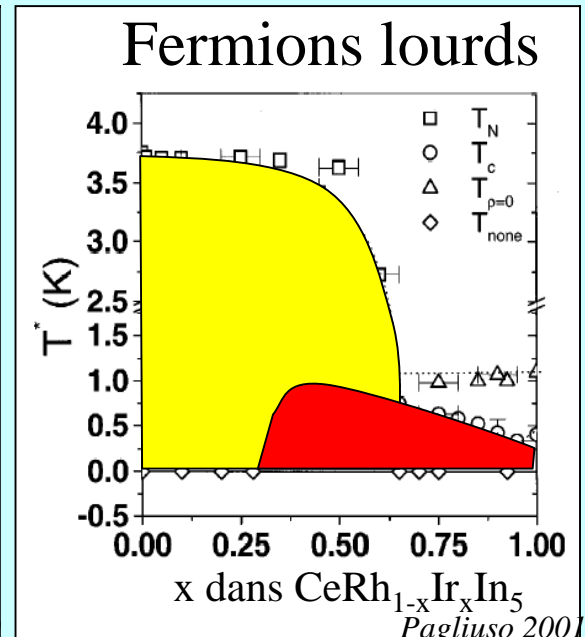
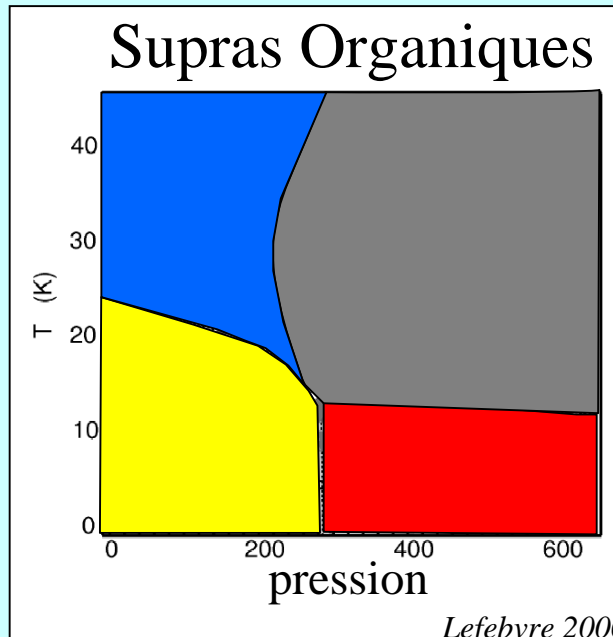
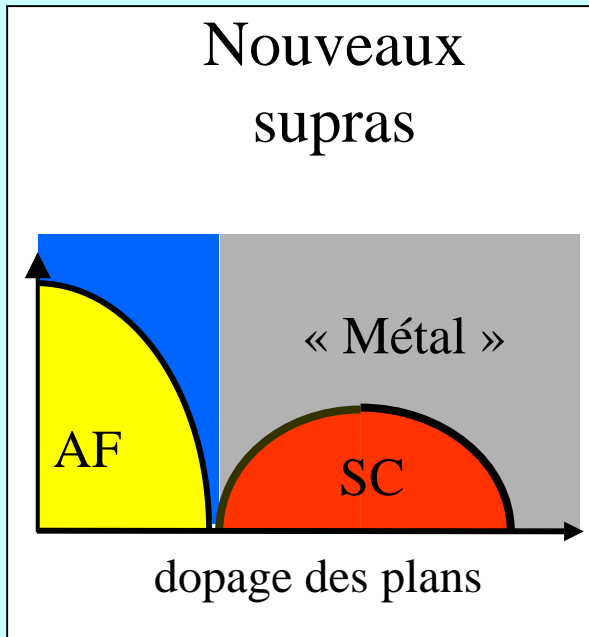
Les électrons dépendent les uns des autres dans leurs mouvements : ils sont « fortement corrélés »

Le diagramme de phase



Des phases très différentes sont obtenues pour des oxydations très proches !

Une physique analogue dans bien d'autres systèmes



Des applications

Transport d'énergie

Plus d'effet Joule, donc plus de pertes.



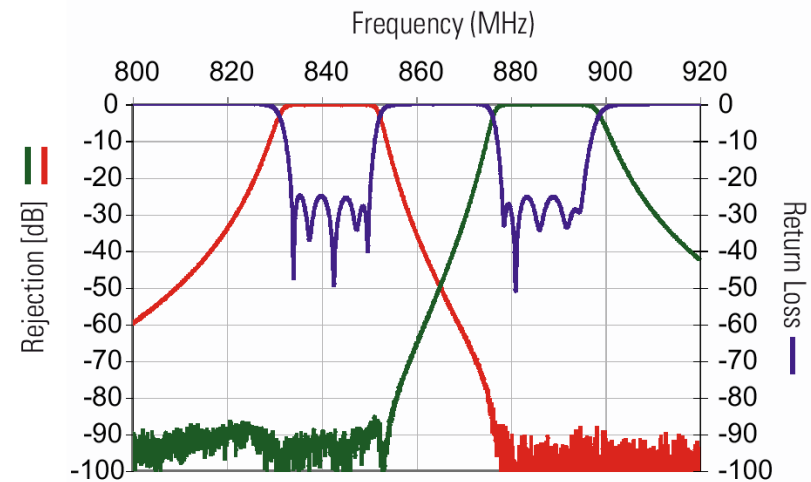
Pirelli : lignes de transmission de l'électricité
Cables de 100 mètre pour délivrer 100 millions de Watt

Filtres en électronique

De très bons facteurs de qualité,
utiles pour les relais de téléphones portables



B-Band Antenna to Receive Port and Antenna to Transmit Port Performance¹

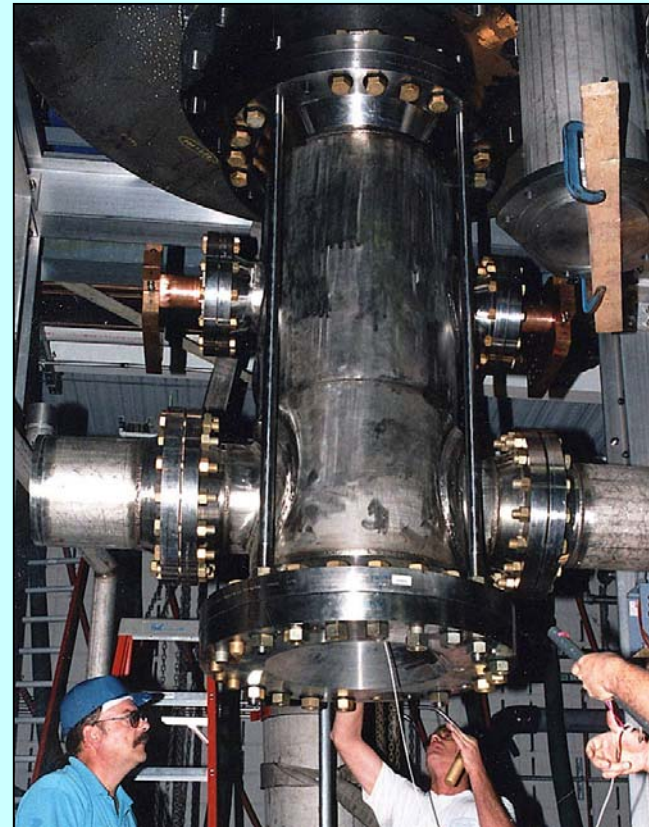


Les champs magnétiques pour la recherche fondamentale

(accélérateurs de particules, laboratoires...)



Une bobine supra



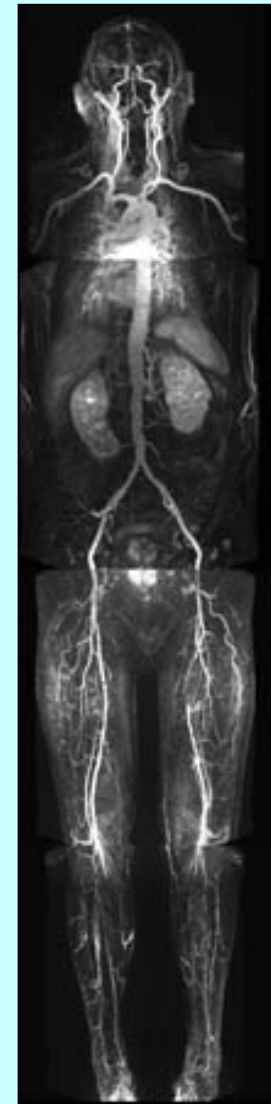
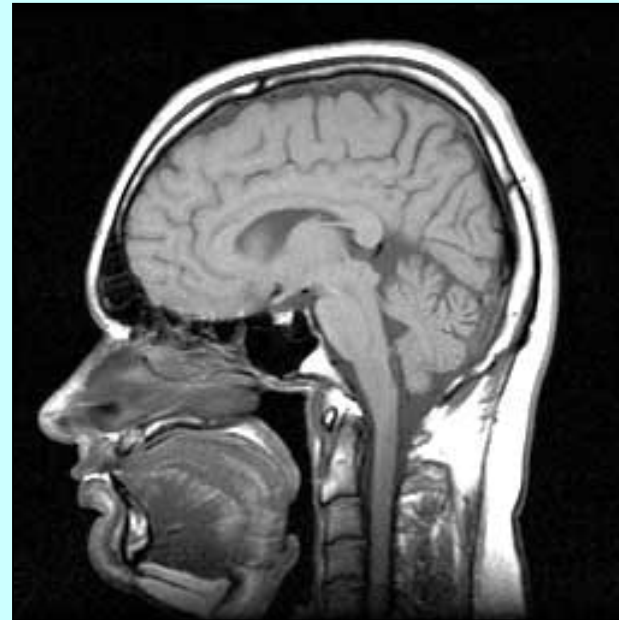
*Une bobine hybride de
45 Tesla (Talahassee)*

Les champs magnétiques pour la recherche fondamentale

Le CERN



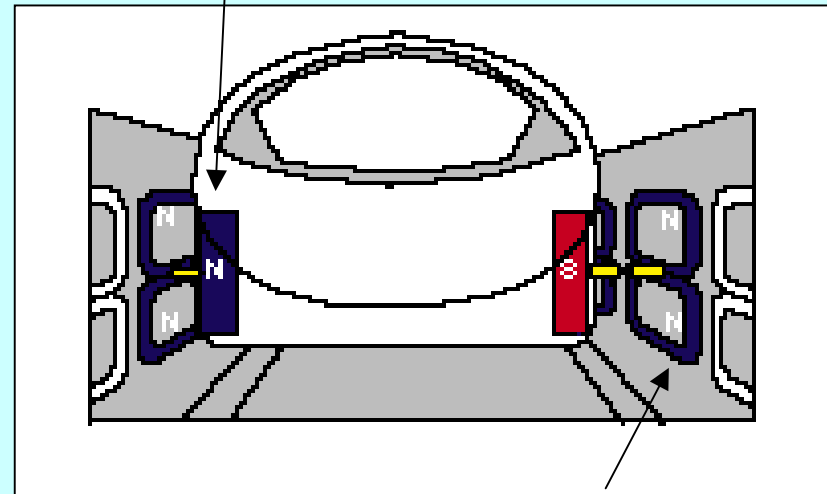
Les champs magnétiques pour l'imagerie médicale (IRM)



Des trains qui lèvent



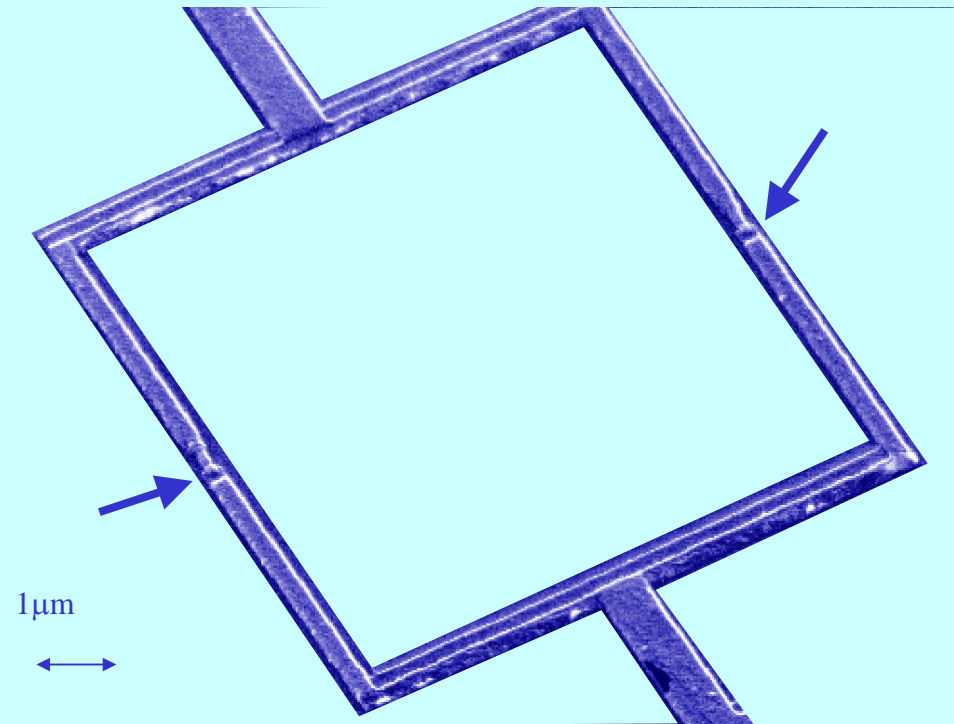
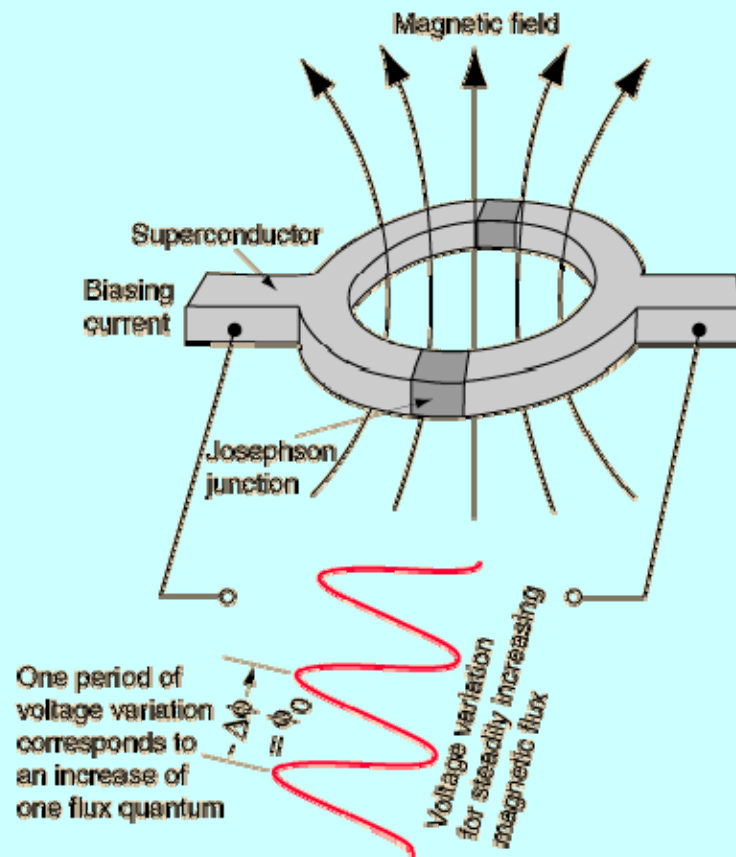
Supra dans le train



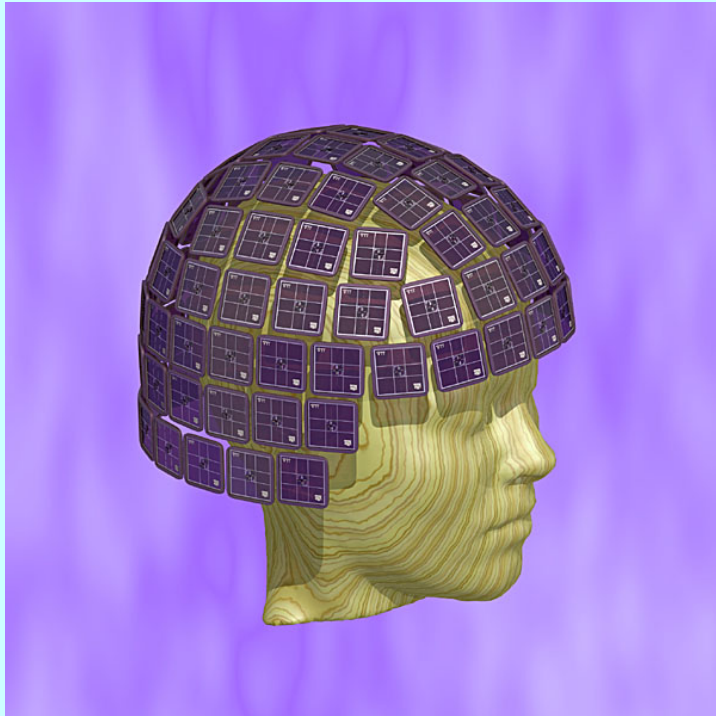
Bobines
Sur les rails

Le SQUID

Une sonde très sensible aux flux magnétiques

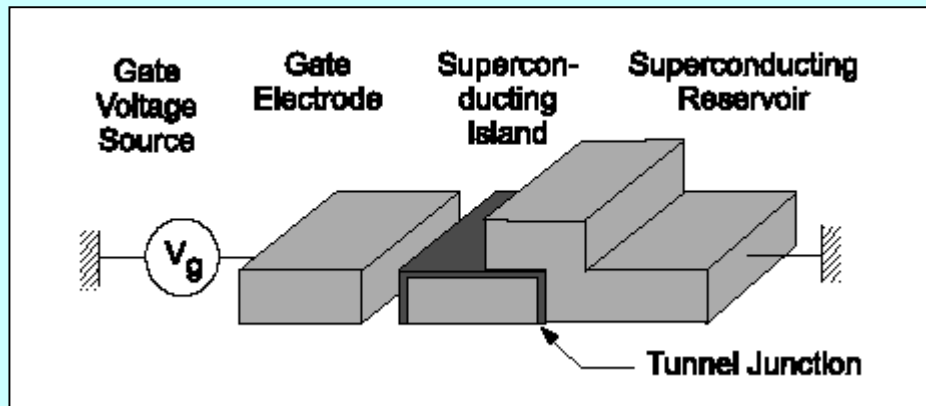


Une application du SQUID: L'imagerie par magnétométrie

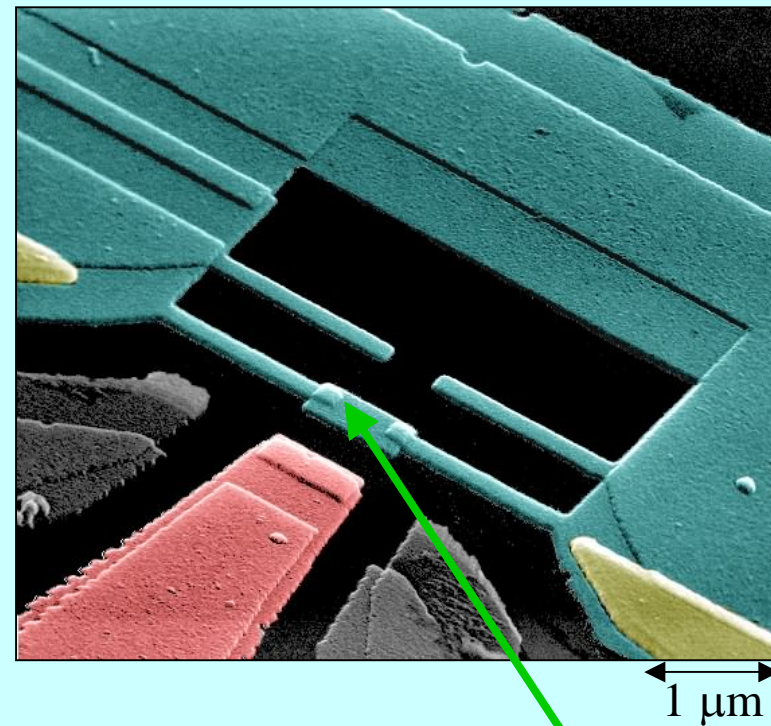


Les ordinateurs quantiques:

On utilise les supraconducteurs et leur caractère quantique pour construire des bits quantiques



On utilise l'effet tunnel des paires d'électrons, qu'on contrôle par des pulses microondes



Île supra

Et nous dans tout ça ?

Un exemple de notre recherche



Henri Alloul



Julien Bobroff



Philippe Mendels



Guillaume Lang



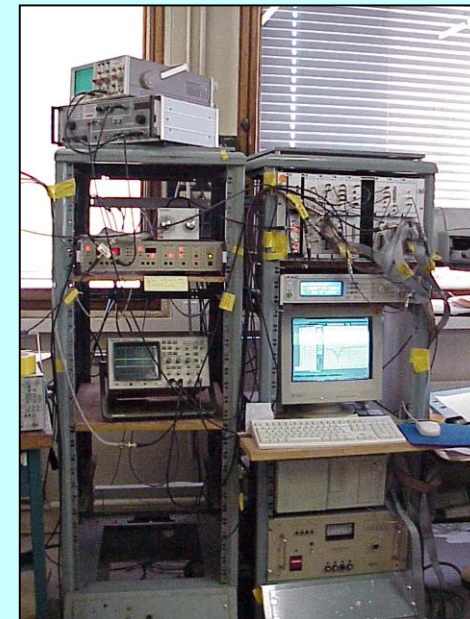
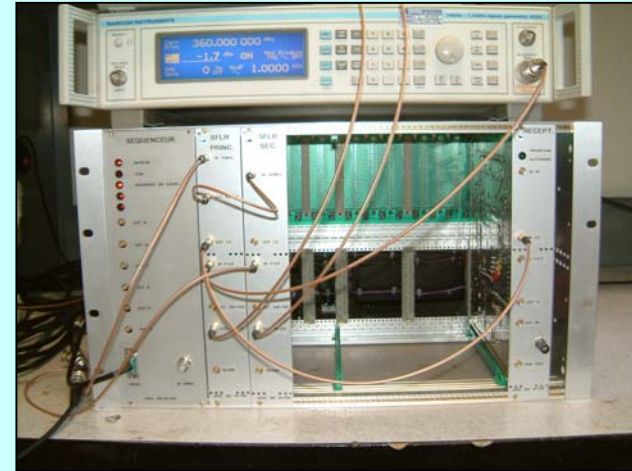
Safia Ouazi

Synthèses : *N. Blanchard*

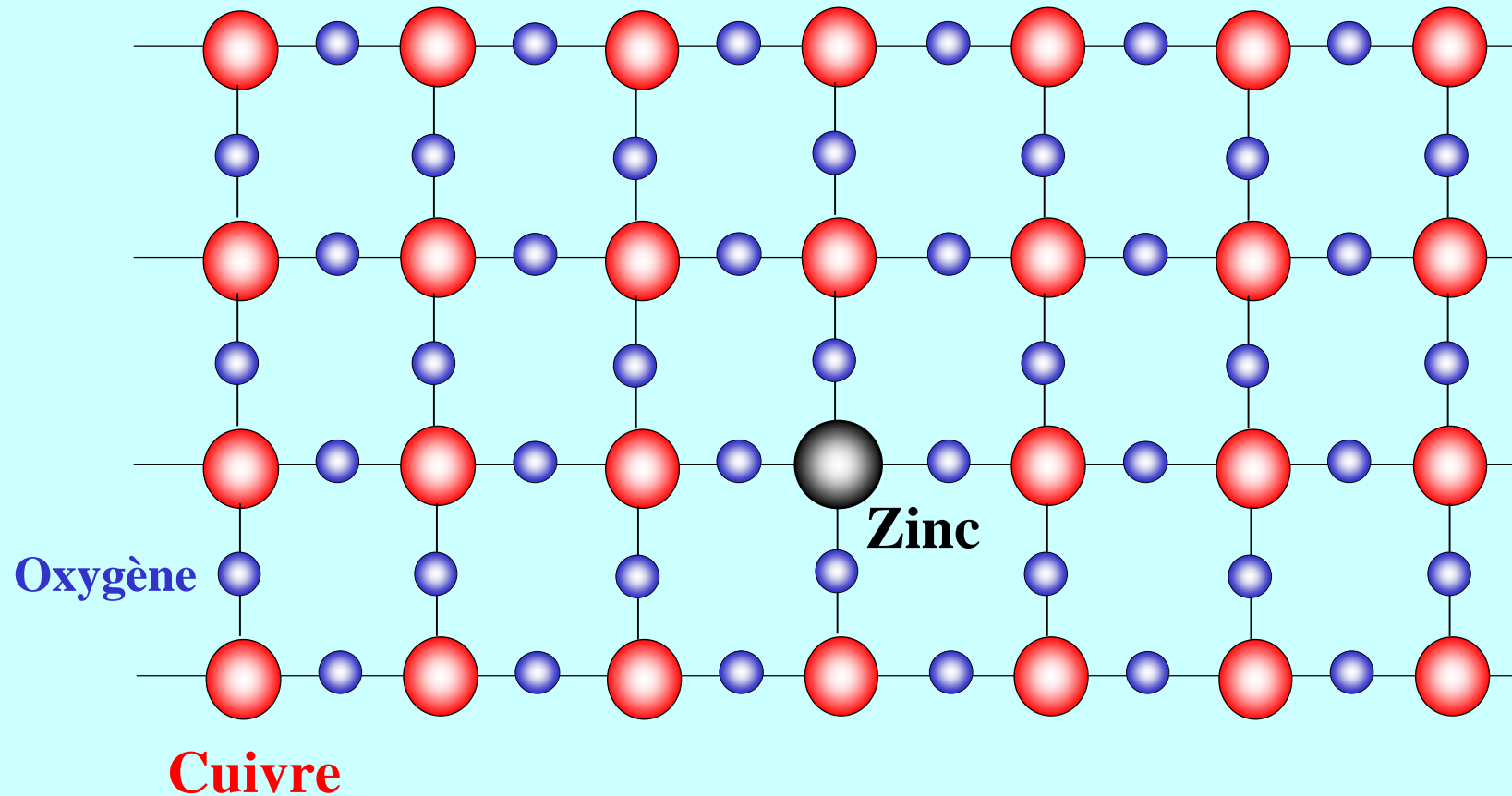
Spectrométrie RMN : *J.P. Cromieres*

Soutien Technique : *électronique, cryogénie, mécanique, instrumentation*

La resonance Magnétique Nucléaire au labo

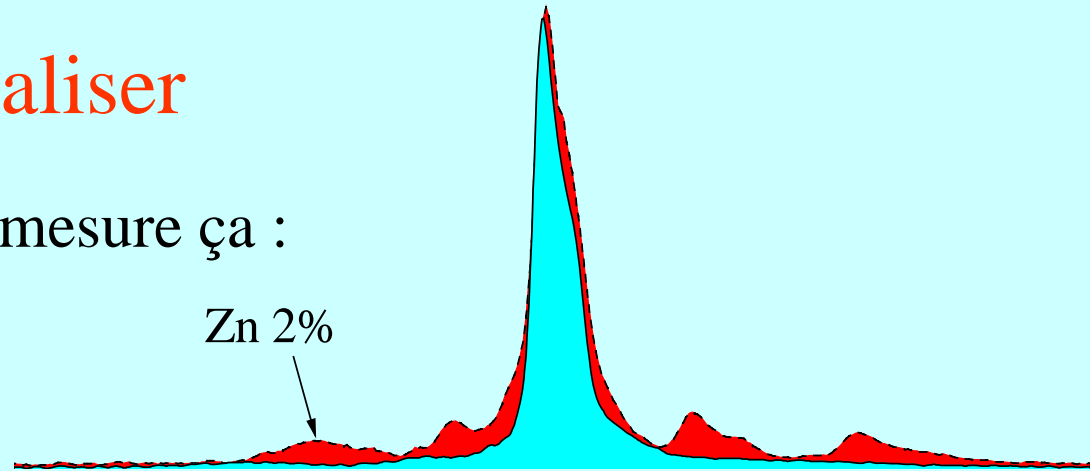


Un exemple de recherche fondamentale :
Visualiser et comprendre l'effet d'une impureté

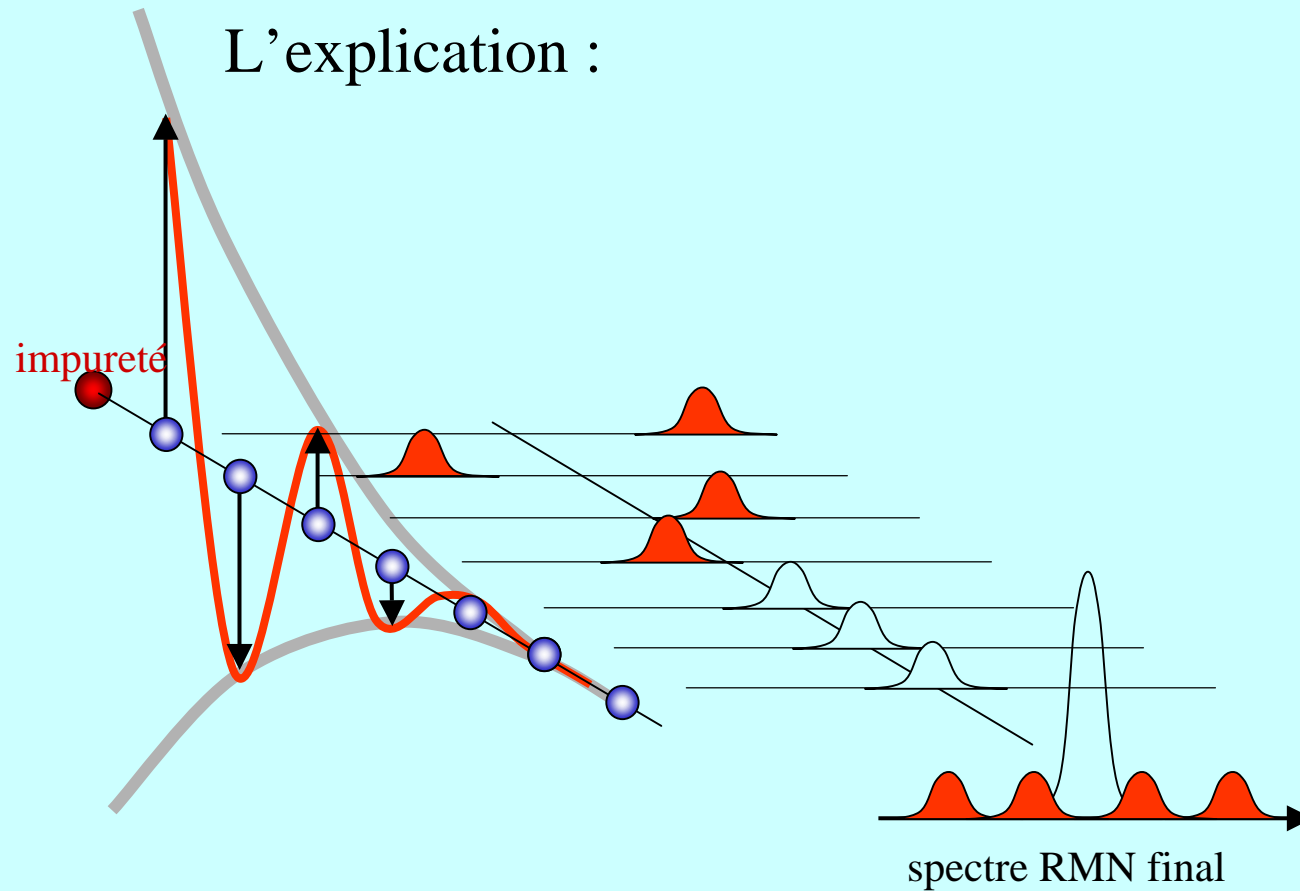


La RMN pour visualiser

On mesure ça :



L'explication :



L'impureté a révélé l'existence
des corrélations magnétiques

