

# Supraconductivité non conventionnelle

Ariane Soret

Exposé modal supra - Ecole Polytechnique

2017-2018

## Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

## Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)

# Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...

# Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"

# Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

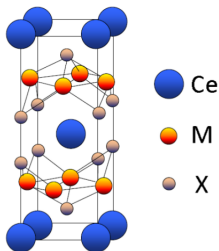
- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hult) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS

# Un peu d'Histoire...

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  brise  
règle 4 de Matthias)

## Fermions lourds :



**Figure:** Cellule générique  $CeM_2X_2$ , ( $M = Cu, Ni, Ru, Ph, Pd, Au...$ ,  
 $X = Si, Ge$ )

## Propriétés

- Matériau magnétique ;
- Compétition entre moments magnétiques localisés et flip de spin des électrons de conduction ;
- Paires de Cooper plus petites que dans SC conventionnels.



De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)
- 1980 : SC dans composés organiques ( $T_c > 10 K$ )

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hult) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)
- 1980 : SC dans composés organiques ( $T_c > 10 K$ )

Théorème de Mermin-Wagner : pas d'ordre longue-portée à 2D...

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)
- 1980 : SC dans composés organiques ( $T_c > 10 K$ )

Théorème de Mermin-Wagner : pas d'ordre longue-portée à 2D...

- Pourtant : cuprates (1986)

De 1911 à nos jours...

- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)
- 1980 : SC dans composés organiques ( $T_c > 10 K$ )

Théorème de Mermin-Wagner : pas d'ordre longue-portée à 2D...

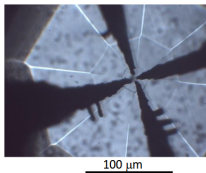
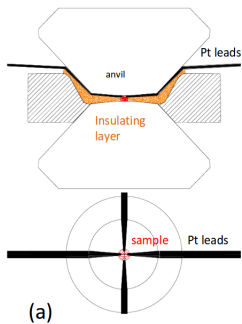
- Pourtant : cuprates (1986)
- Aujourd'hui : modèles pour cuprates, SC induite par  
stimulation lumineuse/pression...

De 1911 à nos jours...

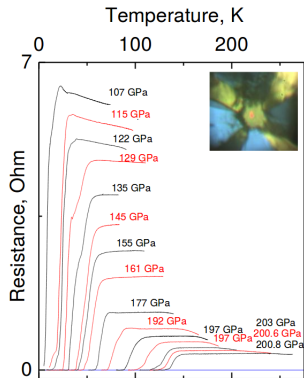
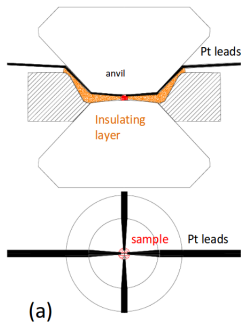
- 1911 : découverte de la supraconductivité (SC)
- 1950 : règles empiriques pour un bon SC (Matthias et Hulm) :  
haute symétrie cristalline, haute densité d'états électronique,  
pas d'oxygène, pas de magnétisme, pas d'isolants...  
... et "stay away from theorists!"
- 1957 : théorie BCS
- 1979 : SC dans fermions lourds,  $T_c = 18.5 K$  max ( $\rightarrow$  viole  
règle 4 de Matthias)
- 1980 : SC dans composés organiques ( $T_c > 10 K$ )

Théorème de Mermin-Wagner : pas d'ordre longue-portée à 2D...

- Pourtant : cuprates (1986)
- Aujourd'hui : modèles pour cuprates, SC induite par  
stimulation lumineuse/pression...
- SC à température ambiante ! (mais pas pression ambiante...  
 $\sim 90 GPa$ )



(b)



"Conventional superconductivity at 203 K at high pressures in the sulfur hydride system", A. P. Drozdov, M. I. Erements, I. A. Troyan, V. Ksenofontov & S. I. Shylin, Nature volume 525, (Sept 2015)



## But de l'exposé

- Quels mécanismes autres que BCS donnent SC ?
- Quelles sont les pistes actuelles de recherche ?

## 1 SC dans systèmes fortement corrélés

- Rappels sur BCS
- Retour sur les cuprates
- Composés organiques

## 2 SC hors-équilibre

## 3 Perspectives de recherche

# Outline

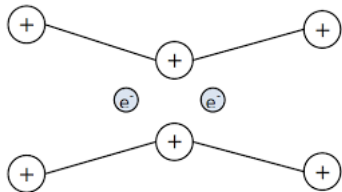
## 1 SC dans systèmes fortement corrélés

- Rappels sur BCS
- Retour sur les cuprates
- Composés organiques

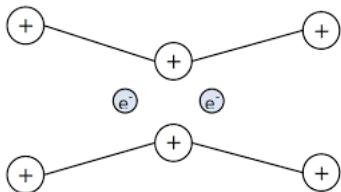
## 2 SC hors-équilibre

## 3 Perspectives de recherche

## Rappels sur BCS

*Cooper pair of electrons.*

## Rappels sur BCS



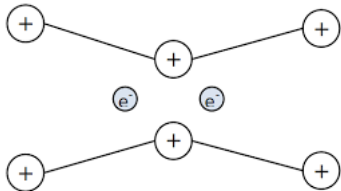
*Cooper pair of electrons.*



## A retenir

- Interaction attractive
- Système à l'équilibre

## Rappels sur BCS

*Cooper pair of electrons.*

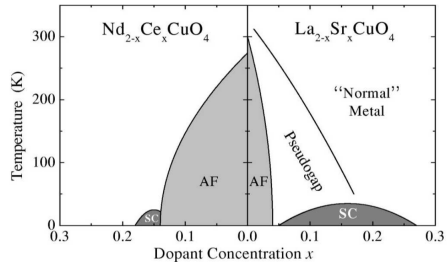
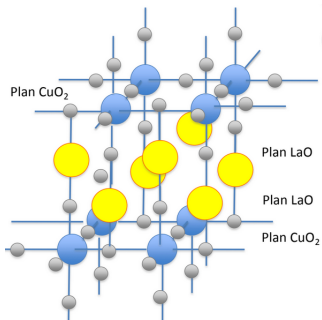
## À retenir

- Interaction attractive
- Système à l'équilibre

## Limites...

Cuprates et composés organiques brisent BCS et théorie des bandes !

## SC dans les cuprates : systèmes fortement corrélés



## Pour résumer

- Bien décrit par modèle de Hubbard à forte interaction...
  - ... à condition de prendre en compte répulsion coulombienne + fluctuations AF
- ("bataille" entre Anderson et Scalapino, science e-letters 5-10 déc 2007)

Sujet actif de recherche...

- L. Fratino, M. Charlebois, P. Sémon, G. Sordi, A.-M. S. Tremblay, Phys. Rev. B 96, 241109 (2017)
- M. Ferrero, P.S. Cornaglia, L. De Leo, O. Parcollet, G. Kotliar, and A. Georges, Phys. Rev. B 80, 064501 (2009)



## SC dans composés organiques :

- 1980 : (TMTSF)PF<sub>6</sub> ; SC type II ;  $T_c = 0.9K$ , 12 kbar !
- Carbures (NbC  $T_c = 12K$ , MoC  $T_c = 14,3K$ )
- Plus haute  $T_c \sim 40K$  : borures
- C<sub>60</sub> à  $T_c \sim 30K$  (dopage)

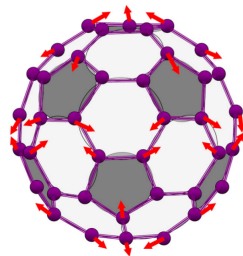


Figure: Fullerène C<sub>60</sub> ; BCS SC onde s, médiation par phonons.

- SC augmentée (voire induite) par pression : exemple de  $\text{Cs}_3\text{C}_{60}$
- Inexplicable par BCS.

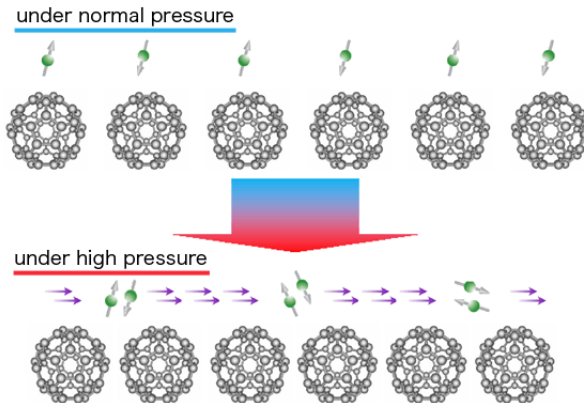


Figure: SC induite par pression dans  $\text{Cs}_3\text{C}_{60}$ . Y. Takabayashi, A. Y. Ganin, P. Jeglic et al Science Vol. 323. no. 5921 (2009)

# Outline

- 1 SC dans systèmes fortement corrélés
  - Rappels sur BCS
  - Retour sur les cuprates
  - Composés organiques
- 2 SC hors-équilibre
- 3 Perspectives de recherche

- SC hors équilibre via illumination  $\Rightarrow$  augmente  $T_c$
- Premières manip (1966) avec micro ondes

Aujourd'hui : maîtriser la SC par excitation photonique.

- Faire "fondre" des phases parasites dans cuprates ;
- Augmenter excitations phononiques (fullerènes et autres).

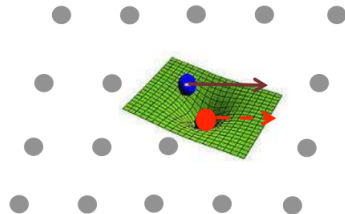
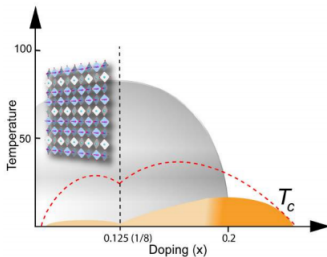
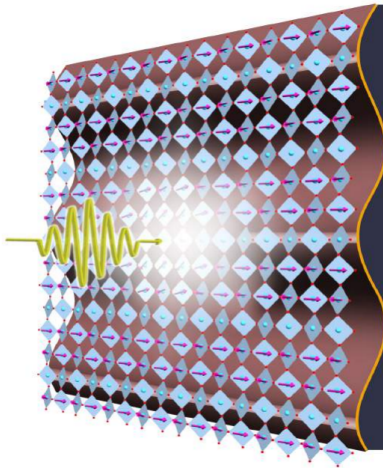


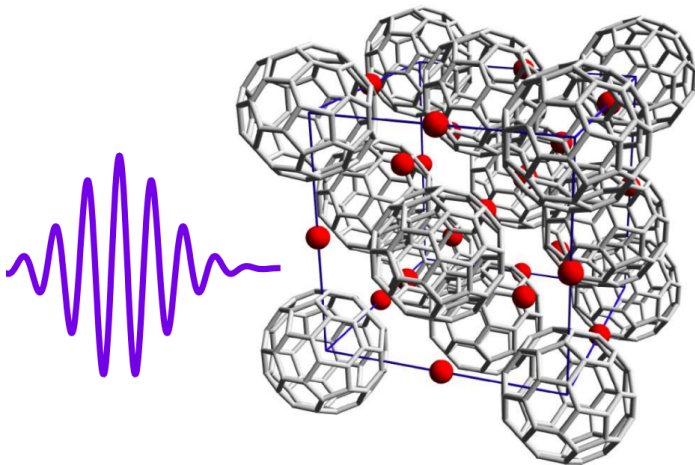
Figure: Cours A. Cavalleri, 23 février 2017, Collège de France



pump



Augmente  $T_c$  de 1K à 80K dans  $LaEuSrCuO$ .



- Excitation photonique de  $K_3C_{60}$
- Comportement SC au-dessus de  $T_c$ .

# Outline

- 1 SC dans systèmes fortement corrélés
  - Rappels sur BCS
  - Retour sur les cuprates
  - Composés organiques
- 2 SC hors-équilibre
- 3 Perspectives de recherche



## Perspectives

- Outils numériques et mathématiques (cluster density mean field theory,...) qui décrivent bien cuprates et composés orga  
→ à exploiter ;
- Beaucoup reste à comprendre (composés orga, fermions lourds, SC hors-équilibre...)
- Piste de SC induite par lumière ;
- SC à température ambiante...
- et pression ambiante ?

Merci !  
Questions ?

