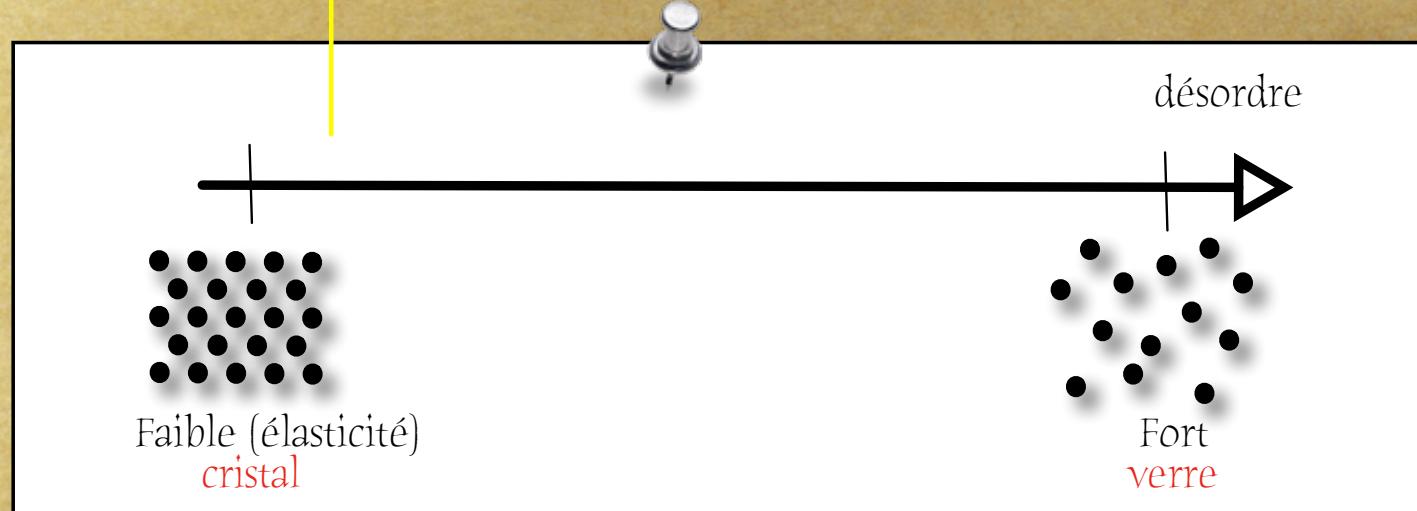


Le verre de Bragg : une nouvelle structure de la matière

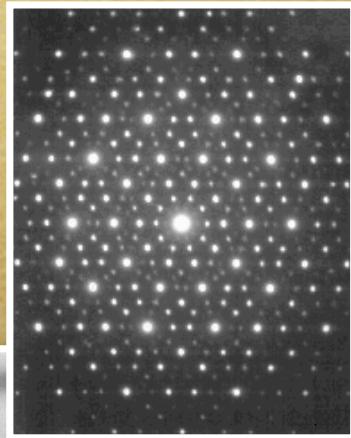
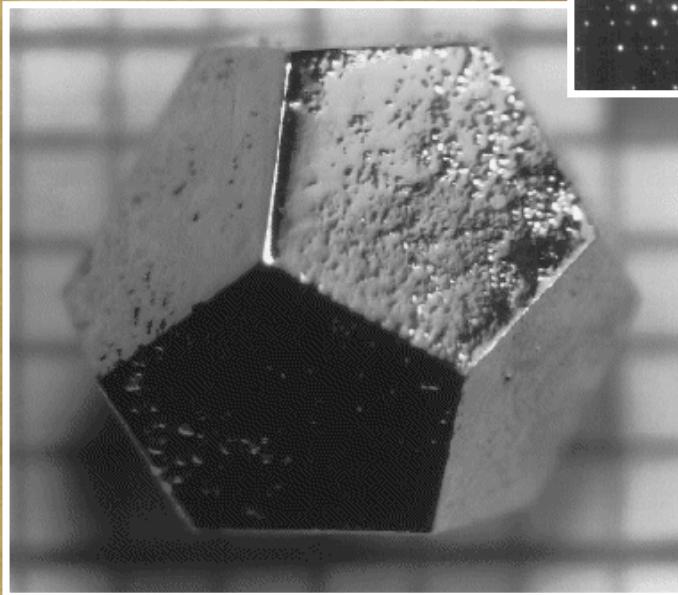
où : le résultat d'une "interaction multiple"

T.Klein, J.Marcus (LEPES-Grenoble)
R.Cubitt (ILL-Grenoble)
T.Giarmarchi (DPMC-Genève), P.Le Doussal (ENS-Paris)

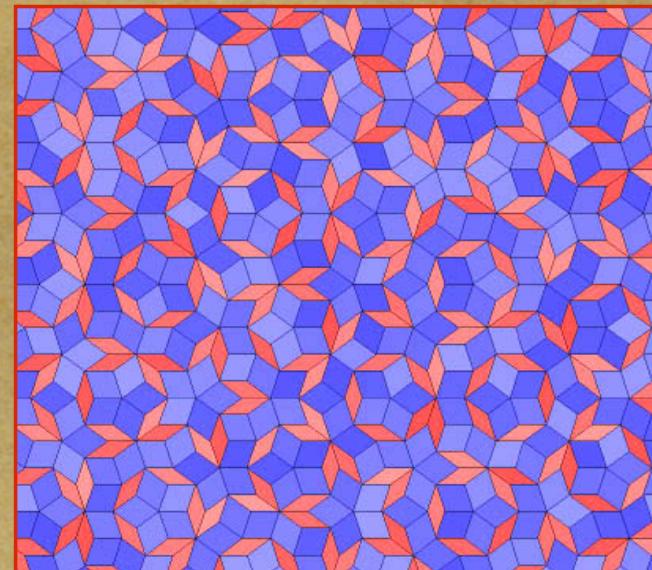
Quasi-cristaux



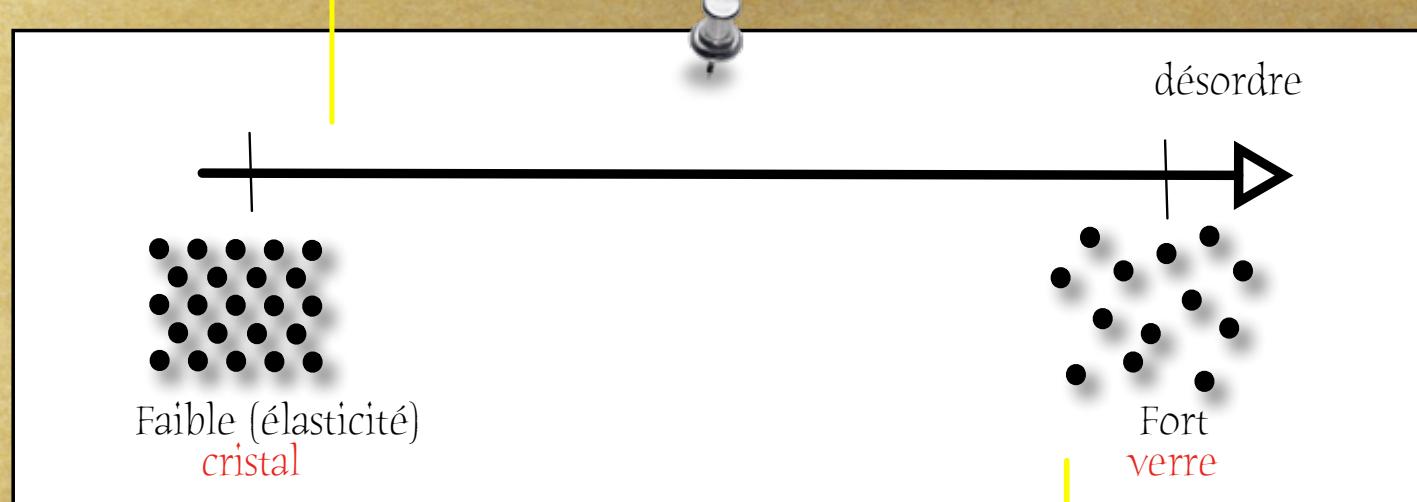
alliages inter-métalliques :*AlCuFe, AlPdMn,...*
symétrie d'ordre 5 (ou 10)
INCOMPATIBLE avec une périodicité en translation



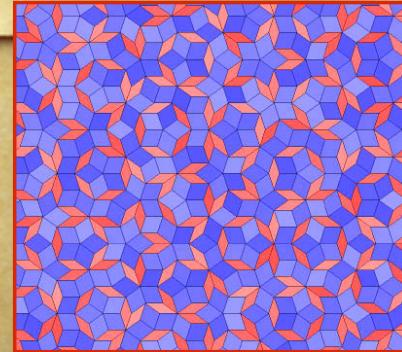
Pavage de Penrose



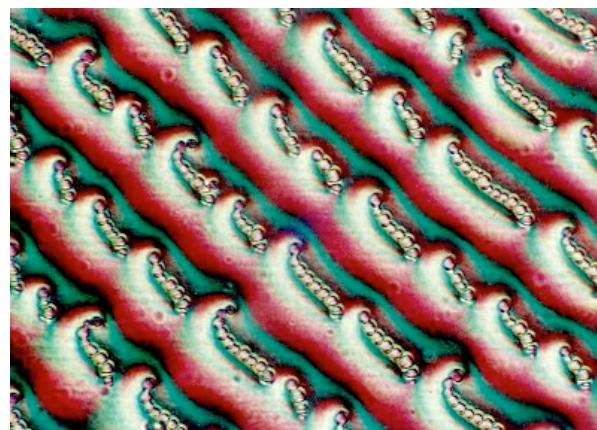
“anti”-métaux, extrêmement résistants
très faible adhérence,....



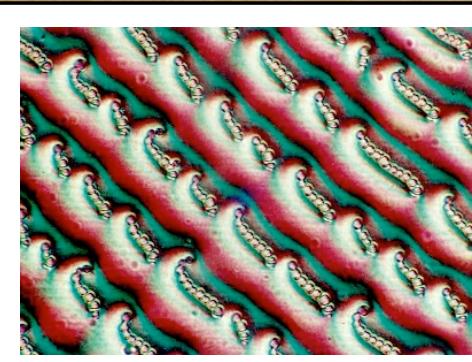
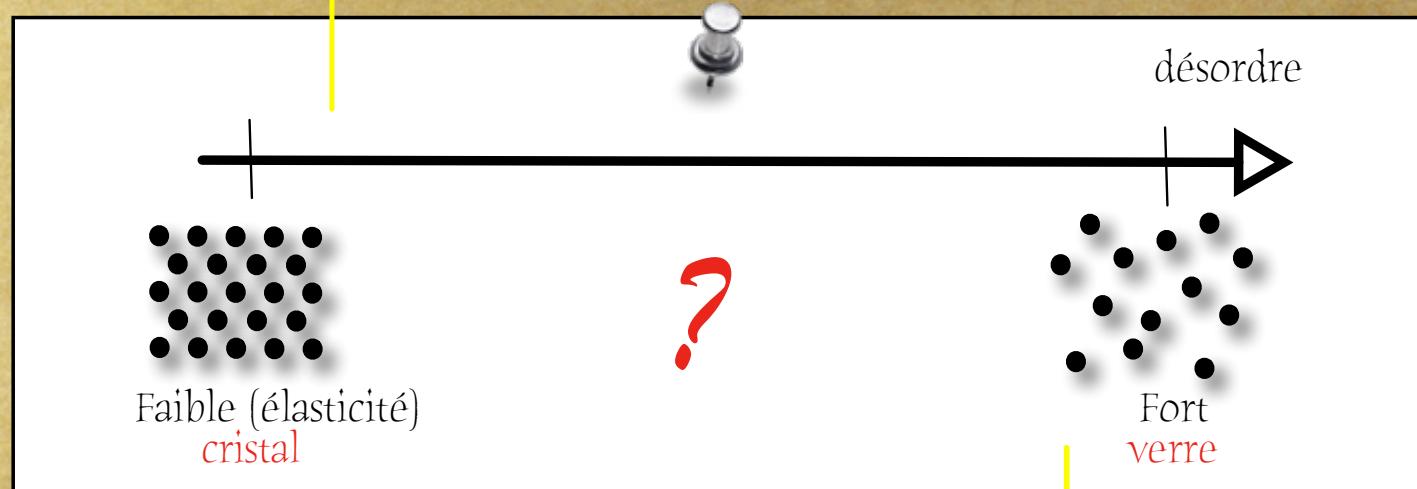
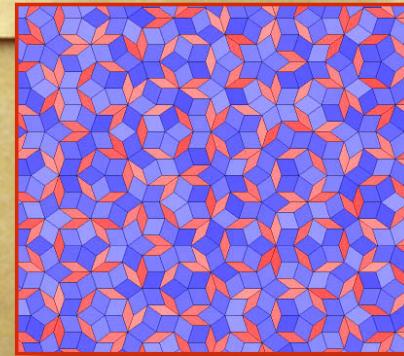
cristaux liquides

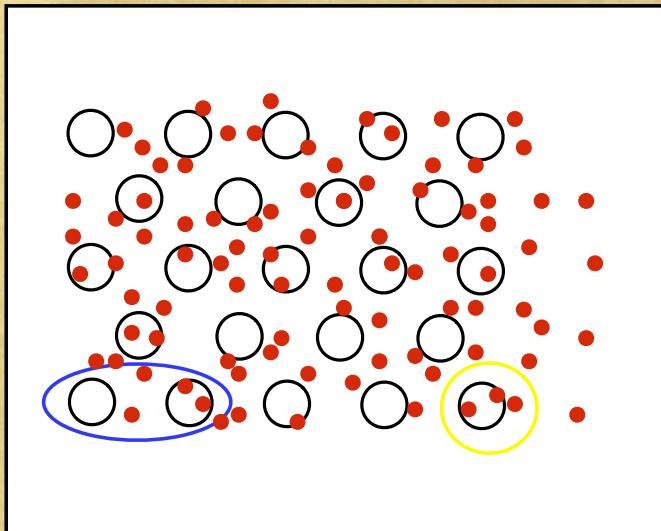


*Molécules de formes allongées (cholestérol,...)
pouvant adopter une orientation préférentielle
mais distribuées (quasi-)aléatoirement*



*systèmes d'affichage, tissus, peintures,....
propriétés mécaniques intéressantes (Kevlar)*





*interactions élastiques
entre "particules"*

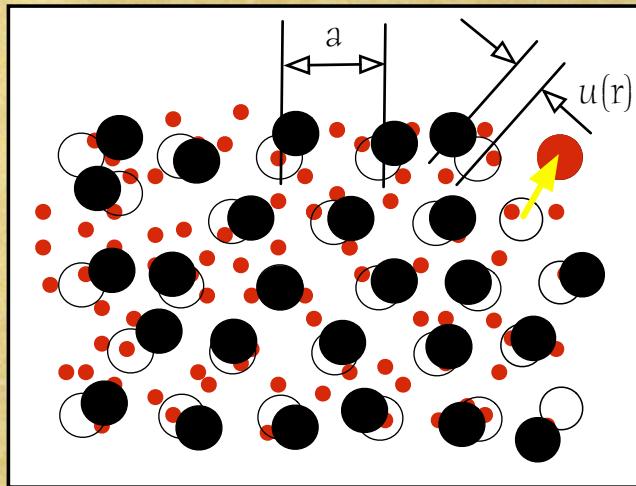
*interaction
"particules-défauts"*

ce problème est caractéristique d'un grand nombre de systèmes tels : les cristaux électroniques, les billes chargées, les ondes de densité de charges, les vortex dans les supraconducteurs.....

**les systèmes élastiques en interaction
avec un désordre**

attention.... "double interaction" : particule-particule et particule-désordre suppose l'existence de 2 échelles de longueur et ce concept ne s'applique donc pas aux cristaux atomiques

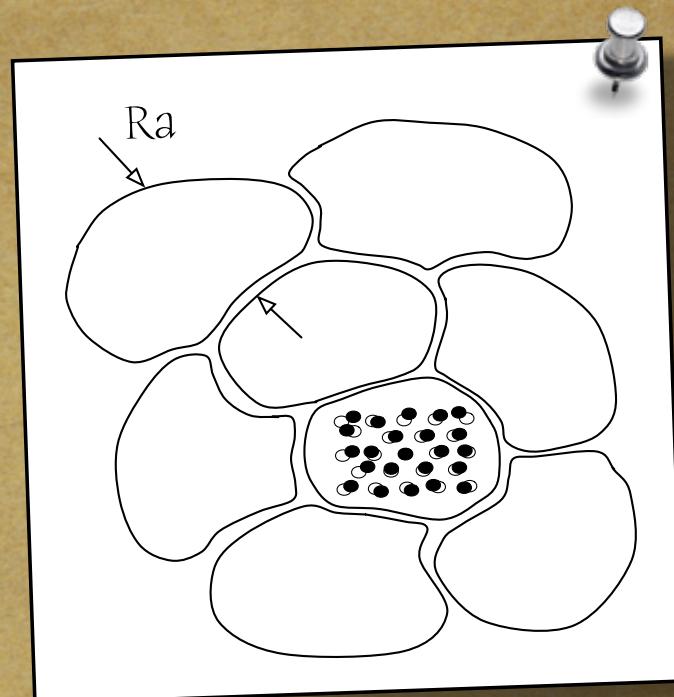
mais les lignes telles les parois de domaines magnétiques, les fronts de mouillage ou de feux de forêts, les lignes de fracture et/ou les dislocations.... relèvent de la même problématique



le décalage (u) est d'autant plus grand que l'on s'éloigne du centre ($\langle u^2 \rangle \sim r^{2\zeta}$) régime dit de "variété aléatoire"

que se passe-t-il si $\langle u^2 \rangle > a^2$???

le système se brise en "cristallites indépendantes" de taille R_a ($\langle u^2(R_a) \rangle = a^2$)



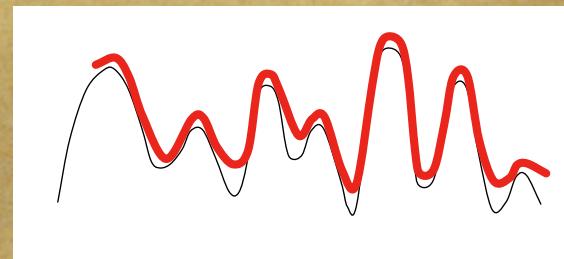
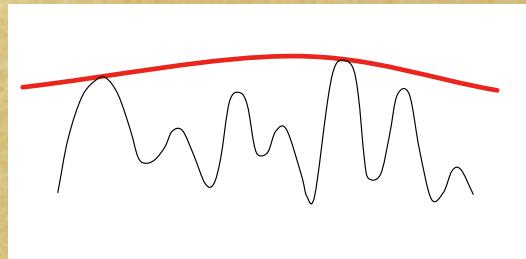
ou existe-t-il une nouvelle structure de la matière
ni totalement ordonnée, ni totalement désordonnée ???

cette structure - si elle existe - a été baptisé
VERRE DE BRAGG

T.Giamarchi & P.Le Doussal, PRL 1994

en fait, une telle structure n'avait jamais été clairement observée ...

en effet son existence résulterait du compromis subtil entre **élasticité** et **désordre**



si les interactions élastiques
>> désordre
la ligne reste "presque" droite
<-> cristal

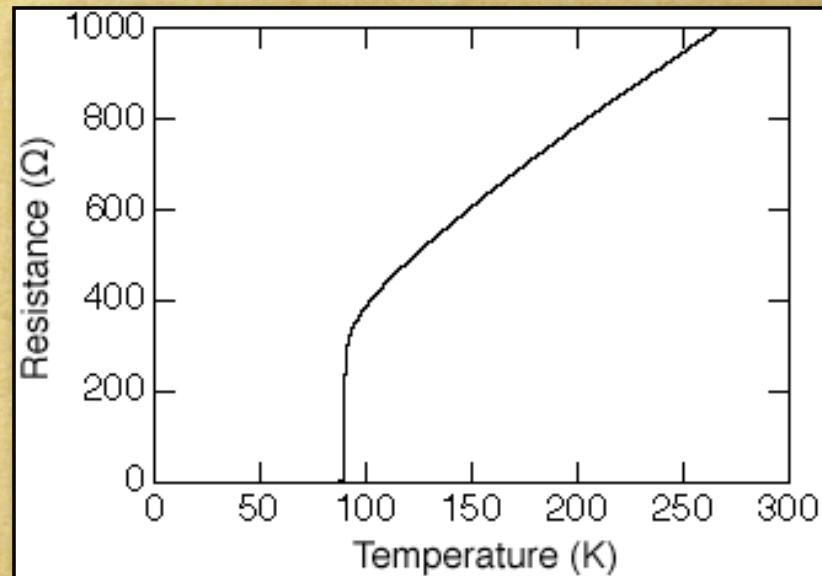
si les interactions élastiques
<< désordre
la ligne se déforme pour
s'adapter au désordre <-> verre

mais on s'intéresse au cas où les
interactions élastiques ~ désordre

cette condition est difficile à remplir : comment faire varier le
désordre de façon contrôlée ???

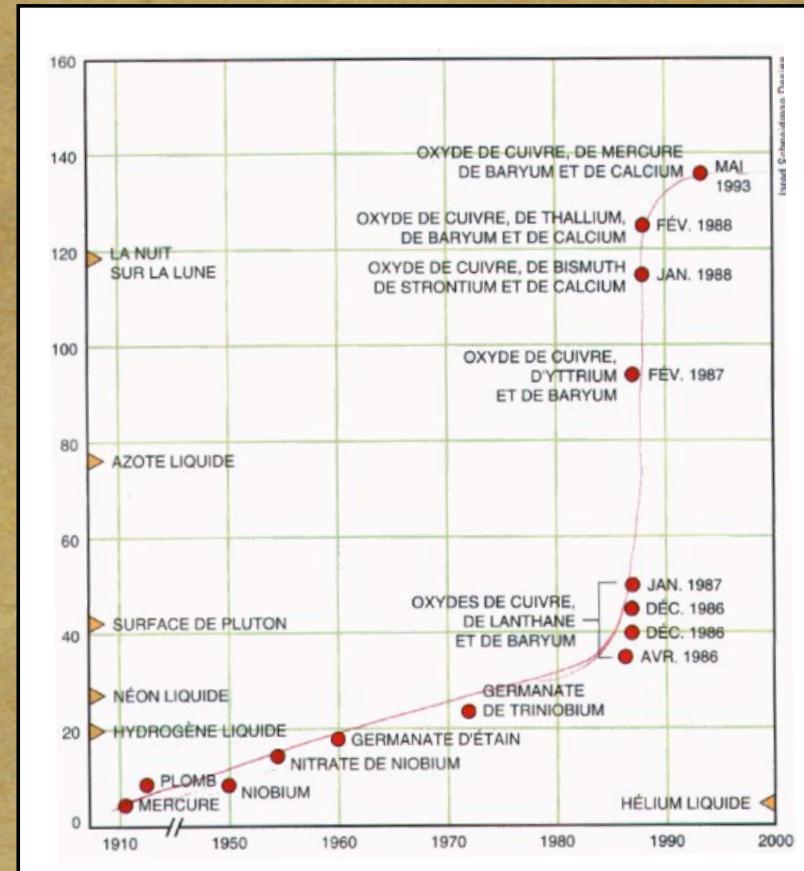
Les matériaux supraconducteurs

UNE RESISTANCE ELECTRIQUE **PARFAITEMENT NULLE**

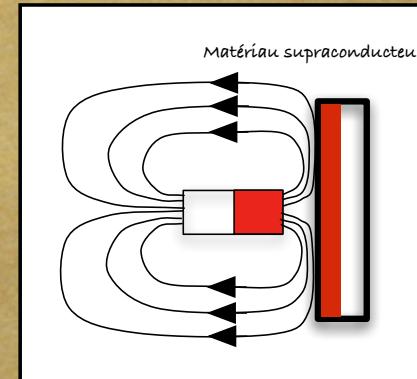
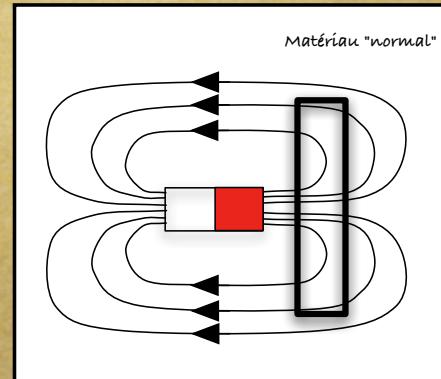


- Lignes électriques
- stockage d'énergie
- aimants : imagerie médicale, tokamak,...
- moteurs, ordinateurs

-> 164K $HgBaCaCuO$, 30GPa - Oct.93



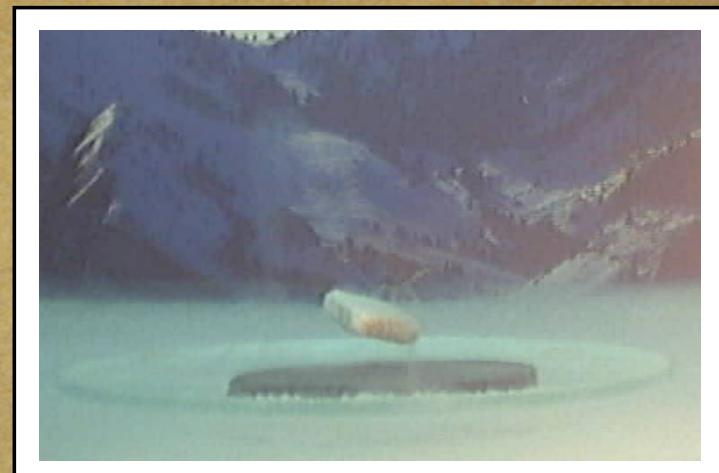
... des propriétés magnétiques étonnantes

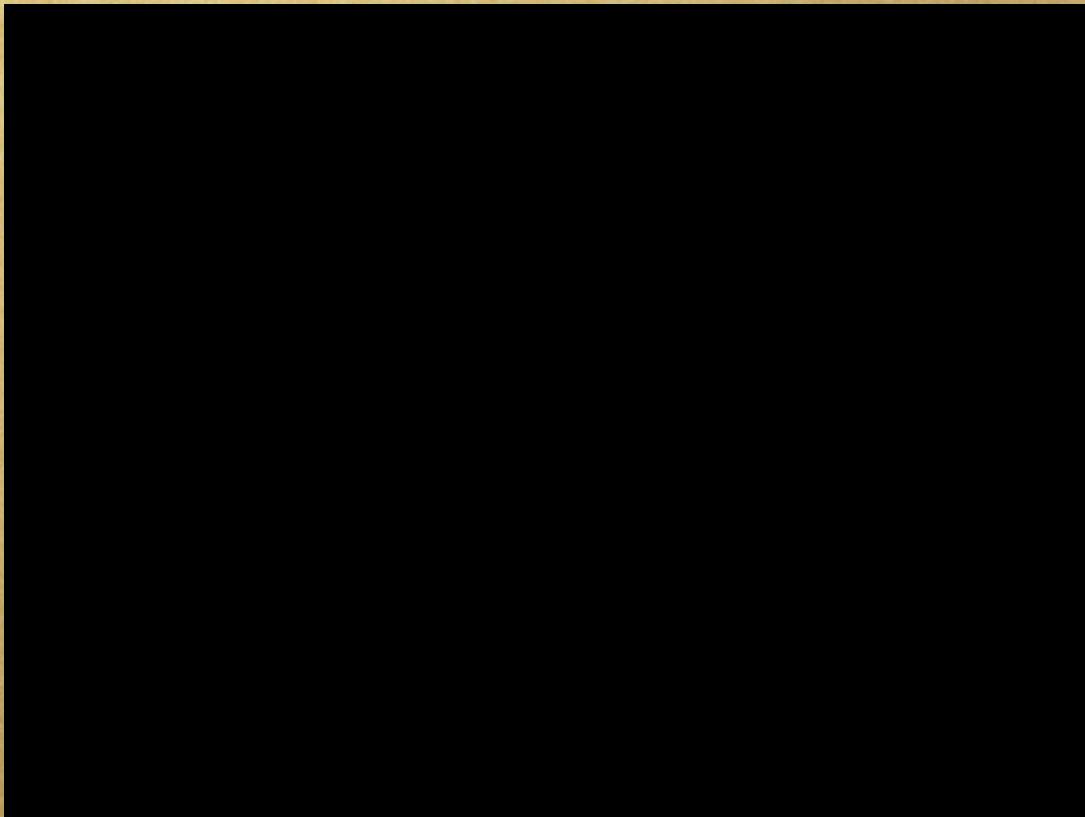


expulsion totale des lignes de champs ($B=0$)

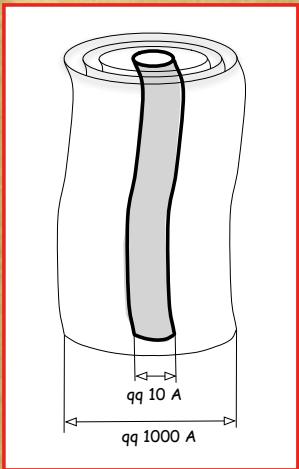


Le supraconducteur "s'adapte"
les pôles nord restent en regard l'un de l'autre
phénomène de **LEVITATION**





MLX01-Maglev, train à lévitation supraconductrice : 550km/h 24 Dec. 97



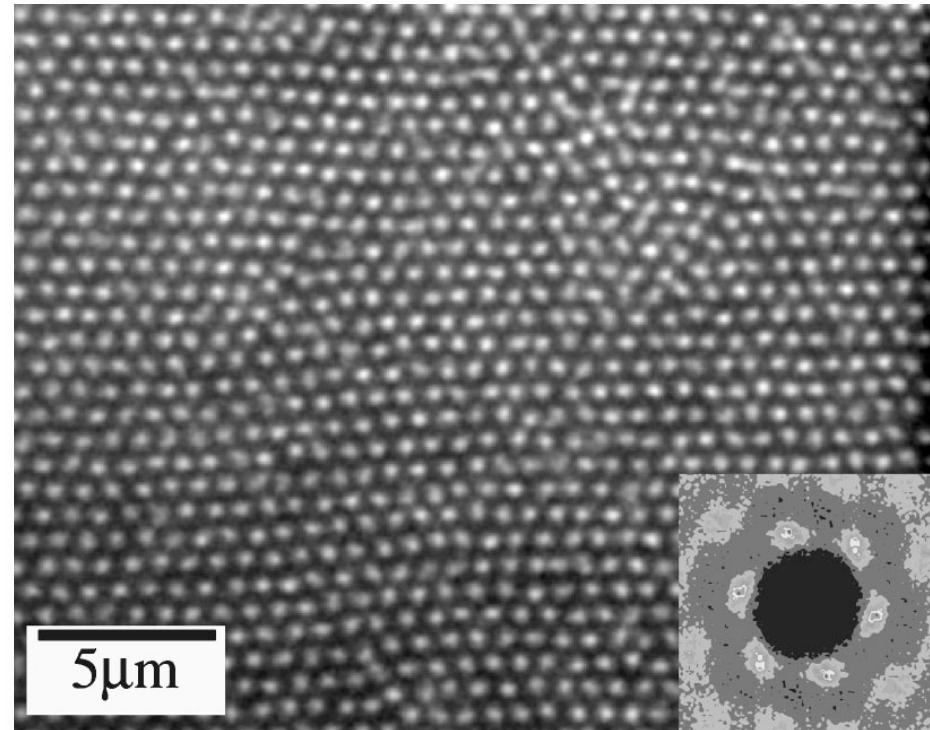
*Courant
élastique)*

H_{c1} \longleftrightarrow H_{c2}
état "mixte"

Vortex : ligne constituée d'un cœur de phase normale (non supraconductrice) parcourue par un champ magnétique (quantifié) et entourée de courants électriques (permettant l'écrantage de ce champ)

- > interaction entre vortex (système)
- > création d'un réseau hexagonal (Abrikosov)
- > interaction avec les défauts (répartis aléatoirement)
- > création d'un verre de vortex

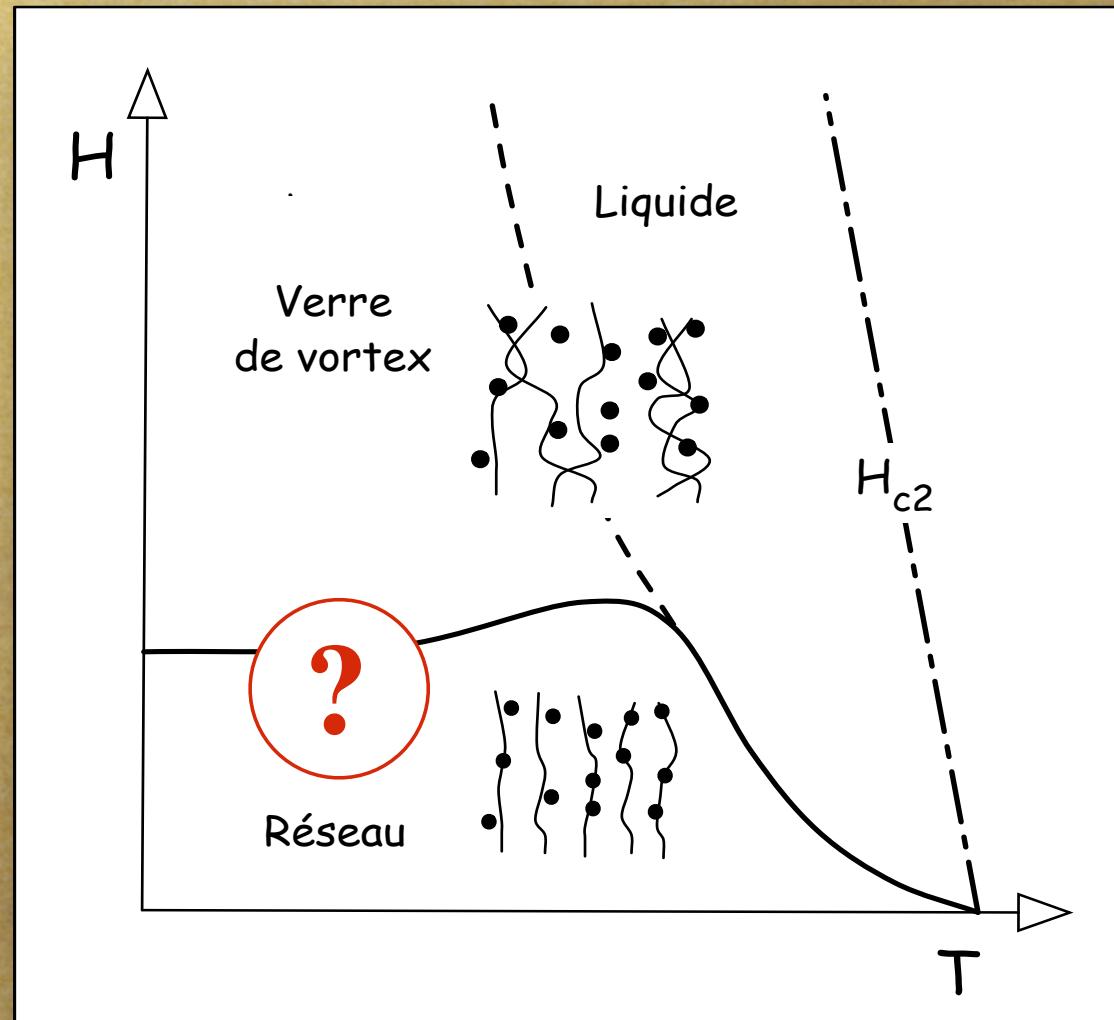
Phase normale



NbSe₂, 4.2K,
36G Fasano et al.
décoration Bitter

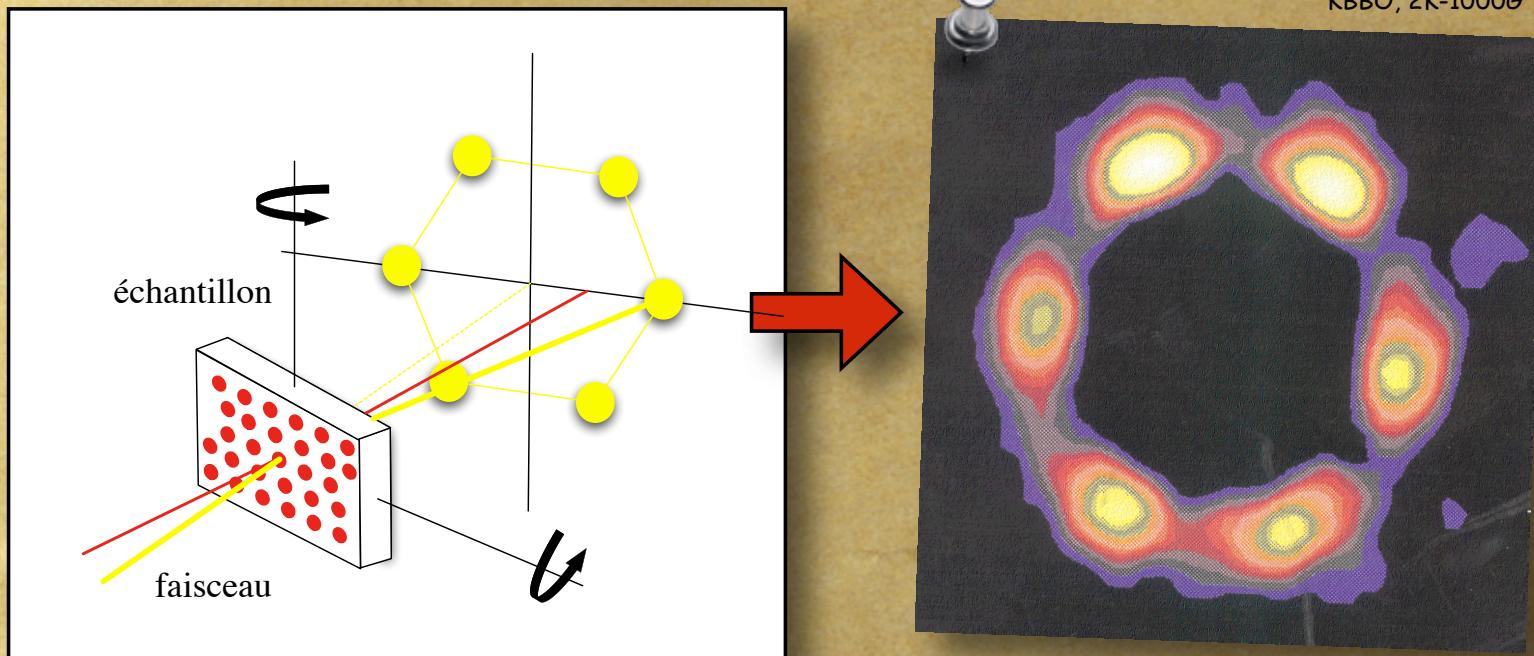
pas de dislocation mais "une sorte de désordre"....
s'agit-il du verre de Bragg ????

NON : régime dit de "variété aléatoire" , $\langle u^2 \rangle \sim r^{2\zeta}$
le désordre est trop faible !!!

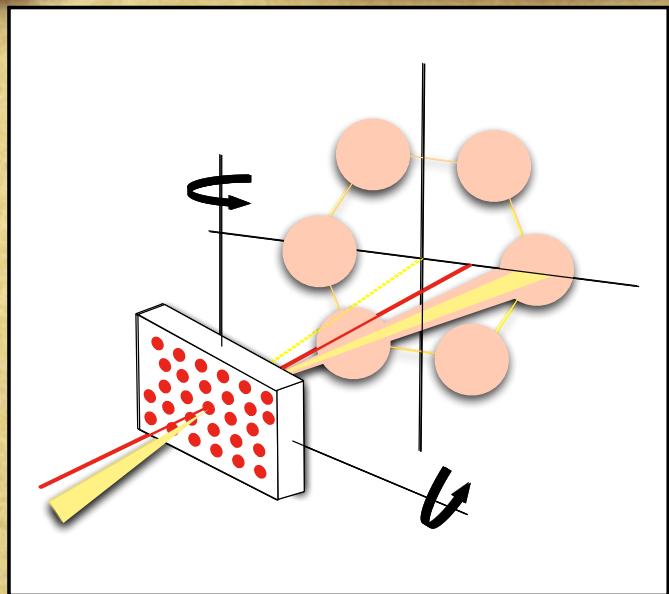


Diffraction de neutrons

sensible à la distribution du champ magnétique donc des vortex

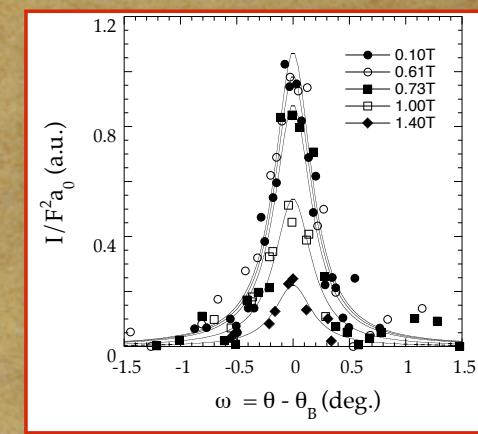
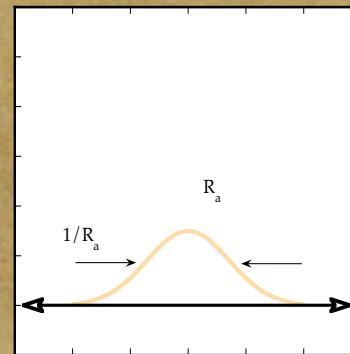
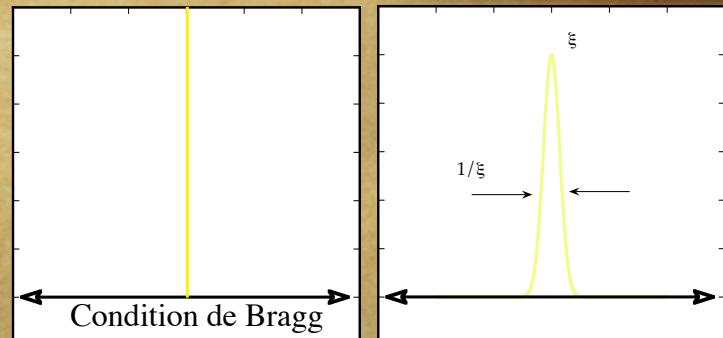


Coll. R.Cubitt, Institut Laue-Langevin, Grenoble



système parfait *+résolution expérimentale*

→ *système désordonné*



une augmentation du désordre (i.e. une diminution de R_a) entraîne un effondrement **ET** un élargissement du pic

en fait, l'augmentation du désordre (i.e. la diminution de R_a) entraîne bien un effondrement du pic mais **SANS** élargissement

Cet effet n'est possible que si
 $u(r)$ croît mais très lentement pour $R > R_a$*

$$\langle u^2(r) \rangle = A_0^{-2} \ln(r/R_a) \quad (A_0 = 1/K_0)$$

(variété aléatoire $R < R_a$: $\langle u^2 \rangle \sim r^{2\zeta}$)

*c'est cette variation qui caractérise le **verre de Bragg** : une structure....*

- ⌚ **intermédiaire entre le cristal** : présentant un ordre à longue portée "presque parfait" (sans aucune dislocation)
- ⌚ **et le verre** : présentant un grand nombre d'états métastables et une dynamique de type vitreuse

** effet "Debye-Waeller" conduit à un comportement équivalent mais ici l'effondrement est induit par H et non pas T*

*La diffraction de neutrons dans le solide de **vortex**
a permis de montrer que l'état fondamentale
de tout **système élastique** en présence de désordre (faible)
est le **VERRE DE BRAGG***

pour en savoir plus....

T.Klein et al., Nature 413, 404 (2001)

T.Klein et K.van der Beek, Images de la physique, Ed.CNRS (2002)

T.Giamarchi & P.Le Doussal Physical Review Letters 72, 1530 (1994)