

Évolution des textures de déformation lors de la recristallisation en fonction de l'énergie stockée. Application au fer et au cuivre.

A.L. Etter, T. Baudin et R. Penelle

Univ. Paris-Sud, UMR8182, ICMMO, Laboratoire de Physico-Chimie de l'Etat Solide, Orsay, F-91405

Plan de l'exposé

- Activités au sein de l'équipe « Recristallisation et Textures »
- Mécanismes de Recristallisation Primaire dans les matériaux cc
et cfc :
 - Énergie stockée
 - Sous-structures de déformation



Stratégie équipe « Recristallisation et Textures »

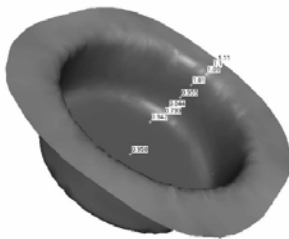
Recristallisation
primaire

Recristallisation
dynamique

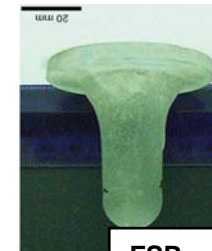
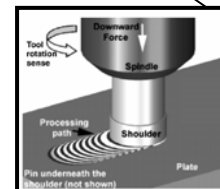
Recristallisation
secondaire

*Maîtriser
Texture et Microstructure*

Optimiser les propriétés physiques



Emboutissabilité



FSP + Emboutissage

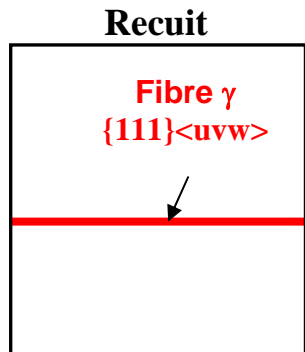
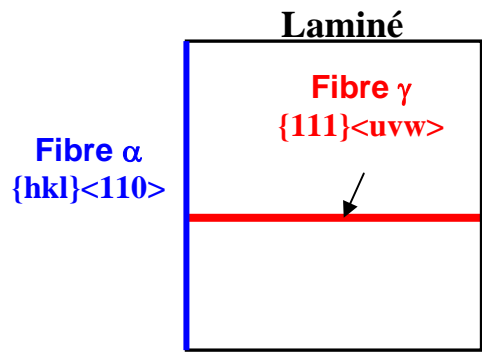
Superplasticité

Problématique : Optimisation des textures de recristallisation

Recristallisation Primaire : Étude comparée dans les matériaux cc et cfc

Cubiques centrés

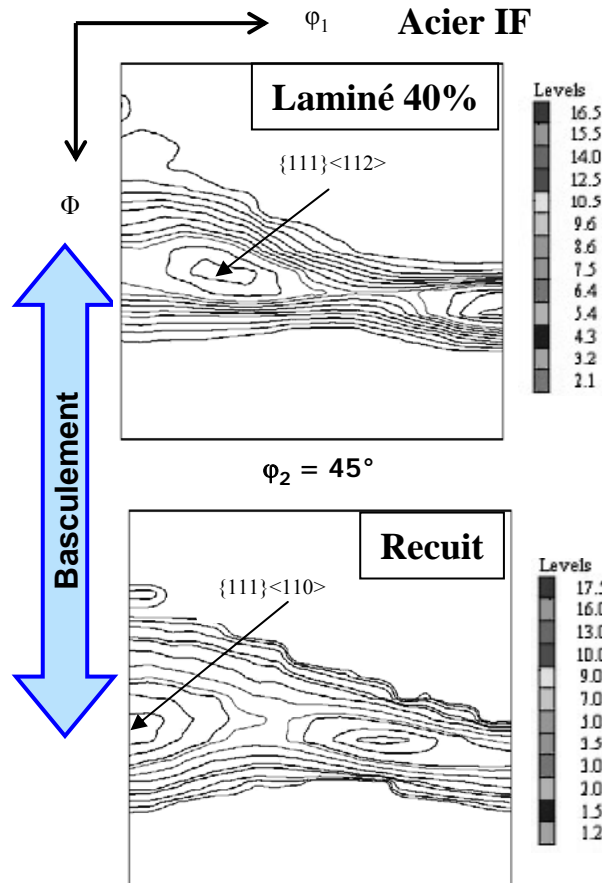
Acier bas carbone



Lesne, 2000

Borbely et al., 2000, 2004

Acier IF



(Samet, PhD, Orsay, 2005)

Problématique : Optimisation des textures de recristallisation

Recristallisation Primaire : Étude comparée dans les matériaux cc et cfc

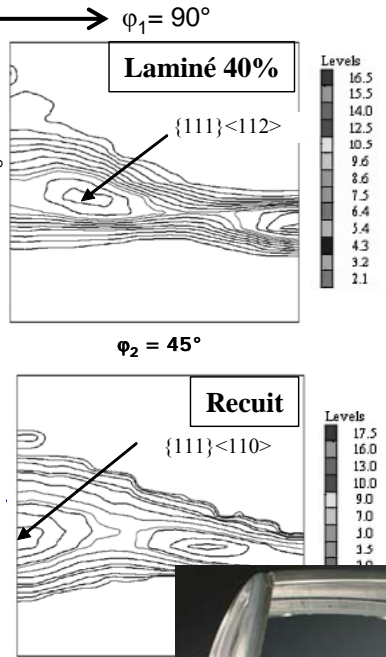
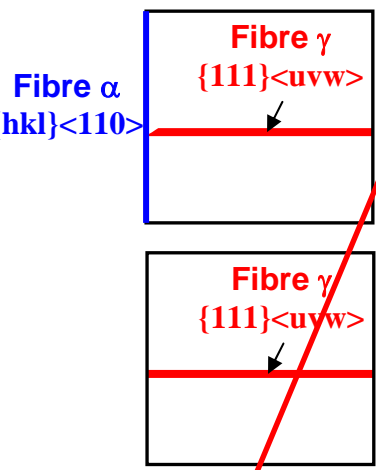
Cubiques centrés

Cubiques à faces centrées

Acier bas carbone

Acier IF

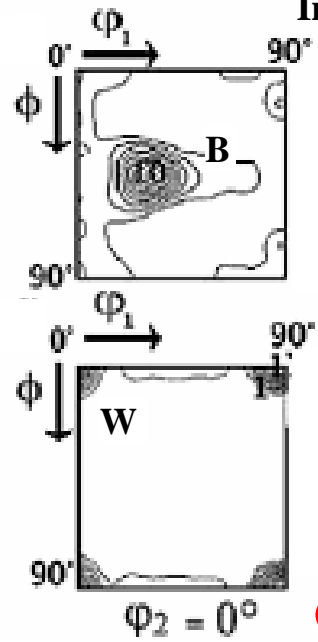
Invar, Cuivre...



Basculement

Fibre gamma recherchée

Propriétés d'emboutissage



Type Cuivre :
 C = {112}<111>
 S = {123}<634>
 B = {011}<211>

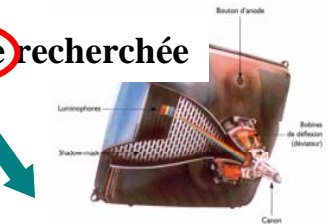
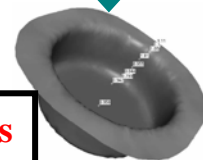
Cube = {001}<100>

Développement

Cube recherchée

Cube à éviter

Cornes



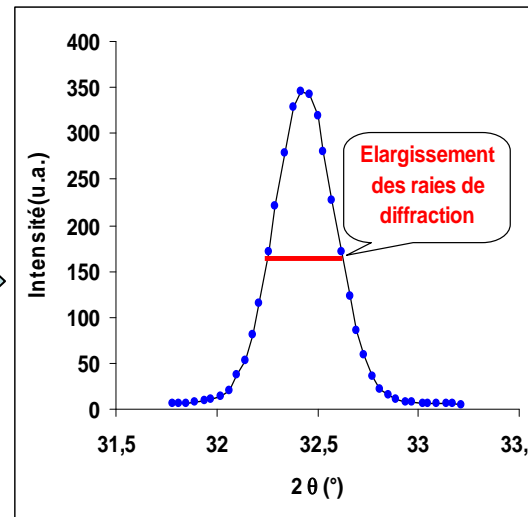
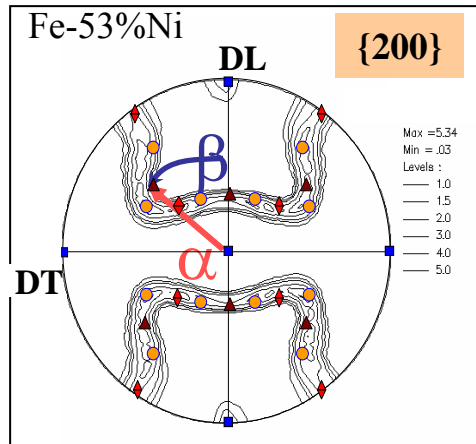
Perçage chimique

(Samet, PhD, Orsay, 2005)

(Julliard, PhD, Orsay, 2001)

Force motrice = Énergie stockée par les grains au cours de la déformation

Énergie stockée : Diffraction des neutrons



La largeur intégrale :

$$b(s) = \frac{\int I(s) ds}{I_{\max}}$$

avec $s = 2\sin(\theta)/\lambda$

Trois contributions :

$$b^2(s) = 1/D^2 + 2\pi \langle \varepsilon^2 \rangle s^2 + b_{\text{inst}}^2(s)$$

Taille des
domaines
diffractant

Micro-
déformation

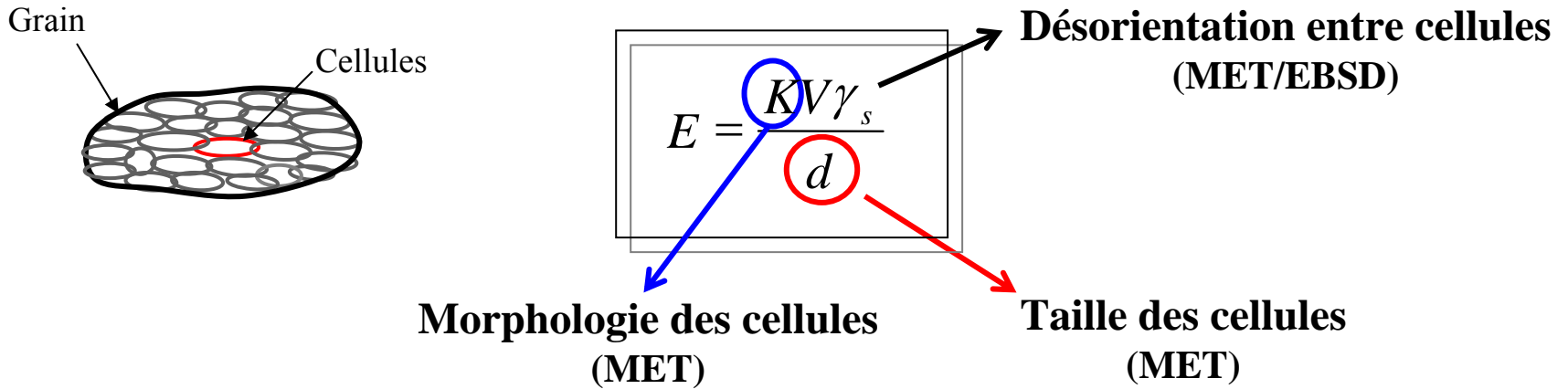
Largeur instrumentale
(diffractomètre)

$$\langle \varepsilon^2 \rangle_{\text{hkl}}(\alpha, \beta) \Rightarrow \bar{E}_j(\alpha, \beta) = \frac{3}{2} \frac{E_{\text{hkl}}}{(1 + 2\nu_{\text{hkl}}^2)} \langle \varepsilon^2 \rangle_{\text{hkl}}(\alpha, \beta) \Rightarrow E(\varphi_1, \phi, \varphi_2)$$

Fonction de distribution

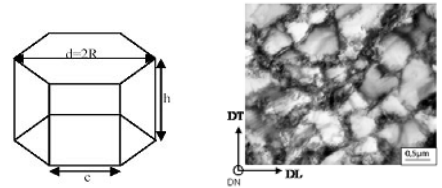
Énergie stockée : Approche de Dillamore

Énergie = Énergie dans les parois de cellules



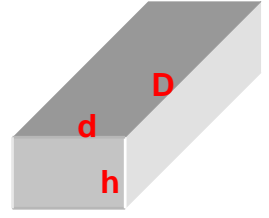
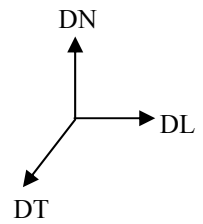
Cellules équiaxes Bandes lamellaires

Apport de la thèse d'A. Samet

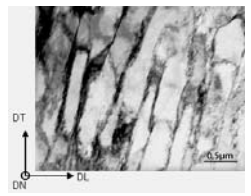


Hexagone : $h = d$

$K' = 3,31/d$



Parallélogramme

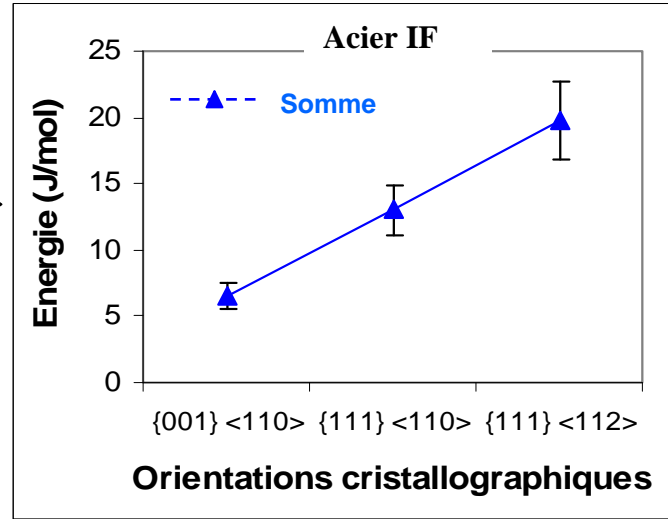


$K' = 1/d + 1/h + 1/D$

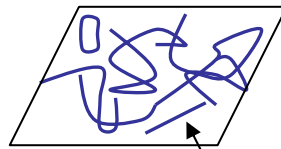
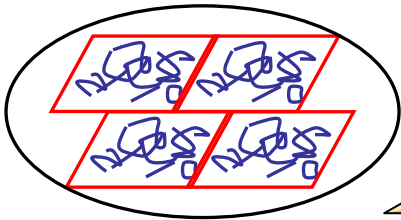
(Dillamore et al., 1967)

Énergie stockée

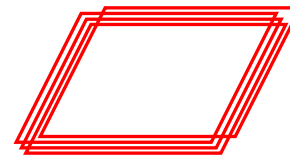
$$E_{TOT} \approx \sum E$$



Grain de sous-structure cellulaire ou lamellaire



$$E_{\text{Neutrons}} \approx E_{\text{dislocations}}$$



$$E_{\text{Dillamore}} = E_{\text{parois}}$$

$$E_{TOT} = E_{\text{Neutrons}} + E_{\text{Dillamore}}$$

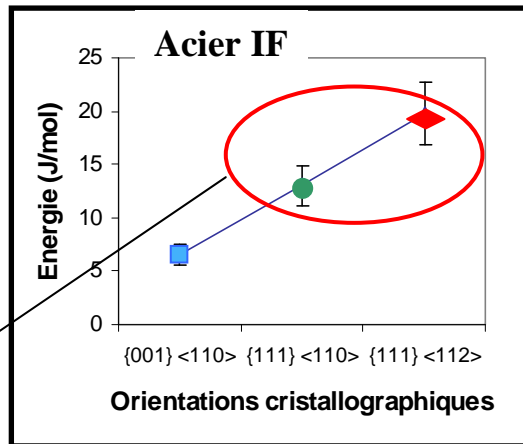
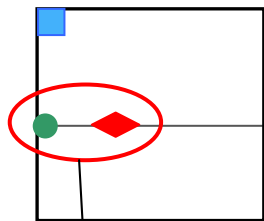
~~E intergranulaire~~

(Borbély et Driver, 2004)

Recristallisation Primaire : Étude comparée dans les matériaux cc et cfc

Force motrice = Énergie stockée par les grains au cours de la déformation

« Fer pur »



$$E_{\text{fibre } \gamma} > E_{\text{fibre } \alpha}$$

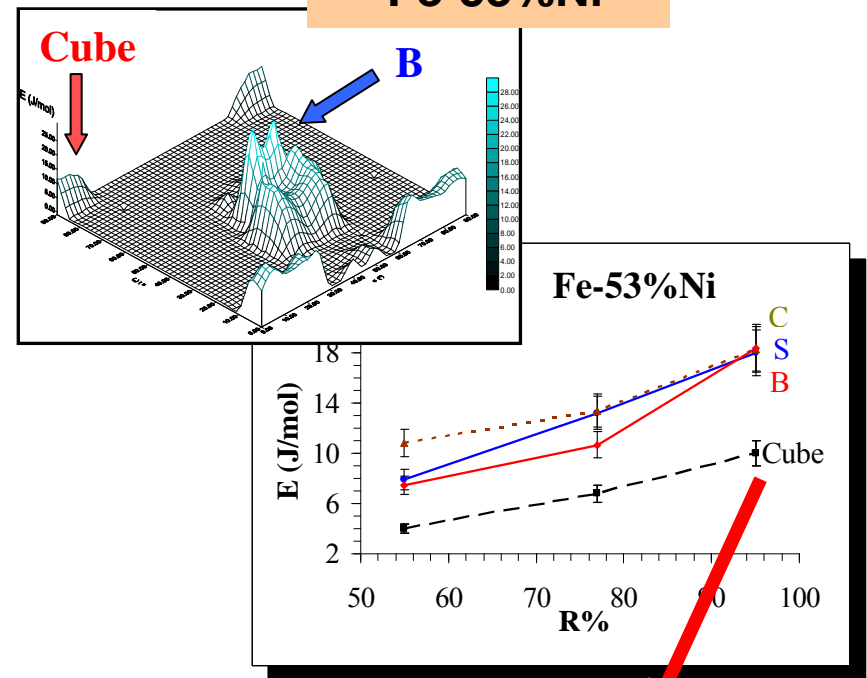
Lesne, 2000

Borbely et al., 2000, 2004

Les composantes de **forte Énergie** se développent en recristallisation



Fe-53%Ni



Les composantes de **faible Énergie** se développent en recristallisation

Paramètre = Morphologie des cellules

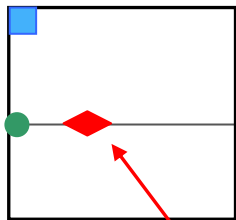
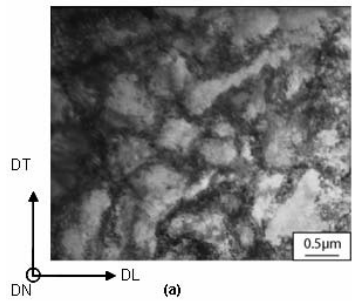
2 types de sous-structure :
 Cellulaire
 Lamellaire

« Fer pur »

Cuivre - Invar

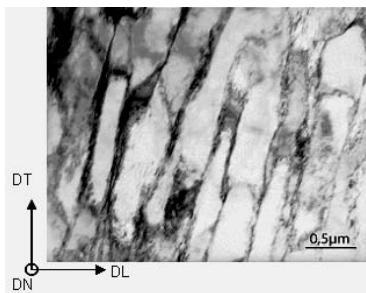
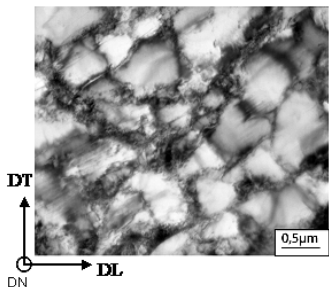
Acier IF

{100}<011>



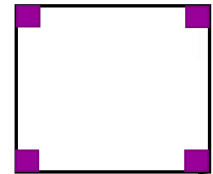
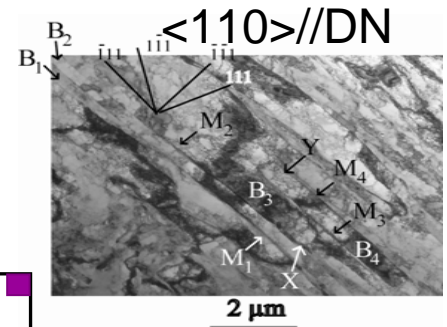
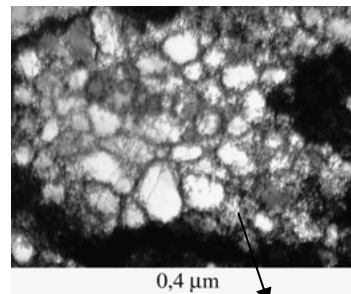
{111}<110>

{111}<112>

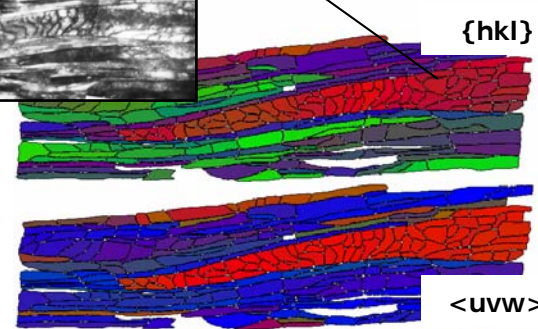
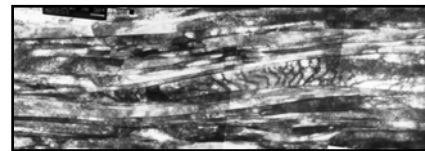


Cuivre

<100>//DN



Invar



La structure cellulaire

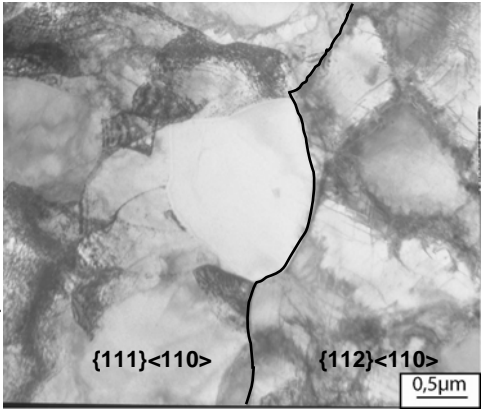
« Fer pur »

Cuivre - Invar

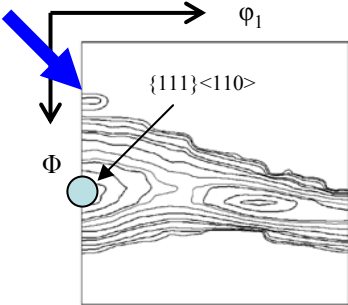
Recristallisation

Acier IF

{111}<110>



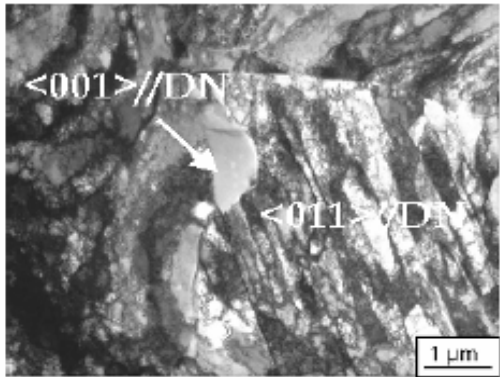
120 à 700°C



Bulging

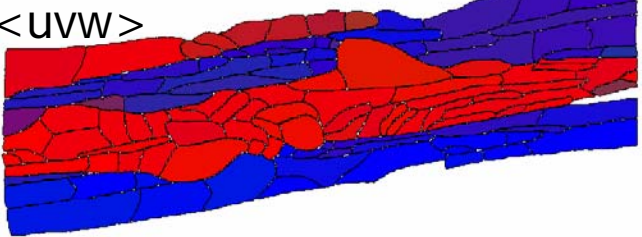
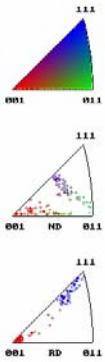
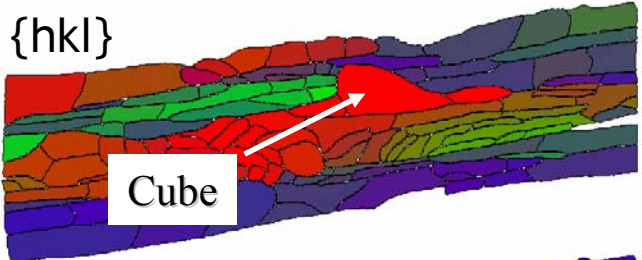
<100> // DN

Cuivre



120 s at 260°C

Invar



**Pendant ce temps là...
la structure lamellaire**

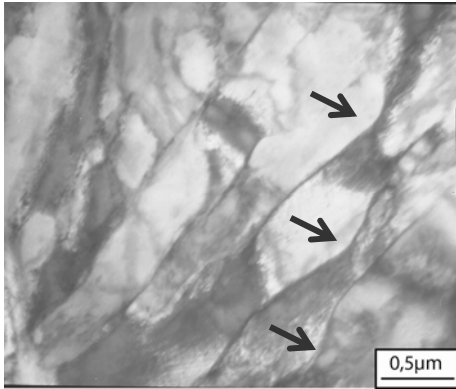
« Fer pur »

Cuivre - Invar

Restauration

Acier IF

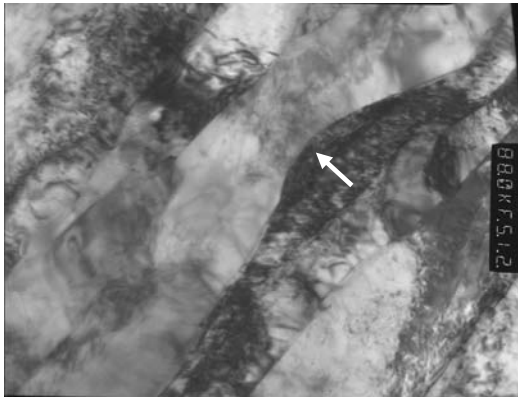
{111}<112>



3 min à 700°C

Invar

LAF



2 min à 600°C

$\Delta\theta$ fort mais sous-joint plat

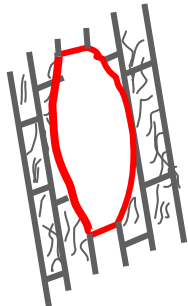


$$P = f(\Delta\theta / R) \rightarrow 0$$

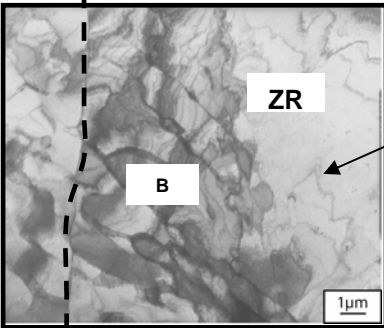


Courbure lente

Recristallisation

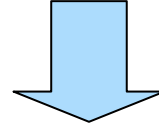


Rex généralisée



{111}<112>

Mécanismes de Recristallisation Primaire



**cubiques centrés
=
cubiques à faces centrées**



Sous-structures

**cellulaires

lamellaires**

Bulging

Rex généralisée

Contribution à la compréhension de la Recristallisation Primaire

« Fer pur »

Invar

