

# Physique de la déformation : les polycristaux

Sébastien Merkel

Professeur, département de Physique

Laboratoire UMET (Unité Matériaux et Transformations)

[sebastien.merkel@univ-lille.fr](mailto:sebastien.merkel@univ-lille.fr)

# 8- Textures dans les métaux

# 8- Textures dans les métaux

## *a-* Tests classiques

## Textures dans des polycristaux

- Phénomène complexe ;
- Besoin de modélisation multi-échelle ;
- Très dépendantes de l'historique du matériau.

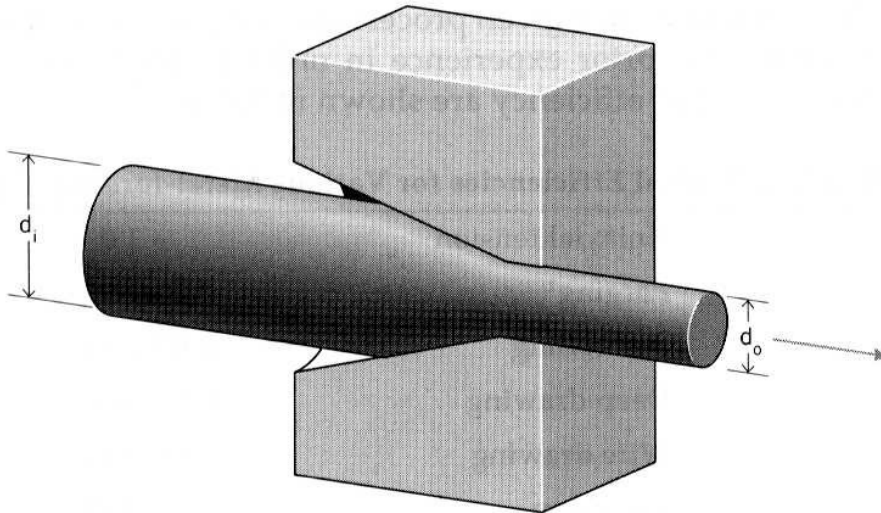
Si technique de déformation compliquée :

- Textures compliquées ;
- Difficiles à interpréter.

On utilise souvent un nombre limité de tests classiques :

- Compression ;
- Traction ;
- Laminage ;
- Et d'autres...

# Traction / Tréfilage

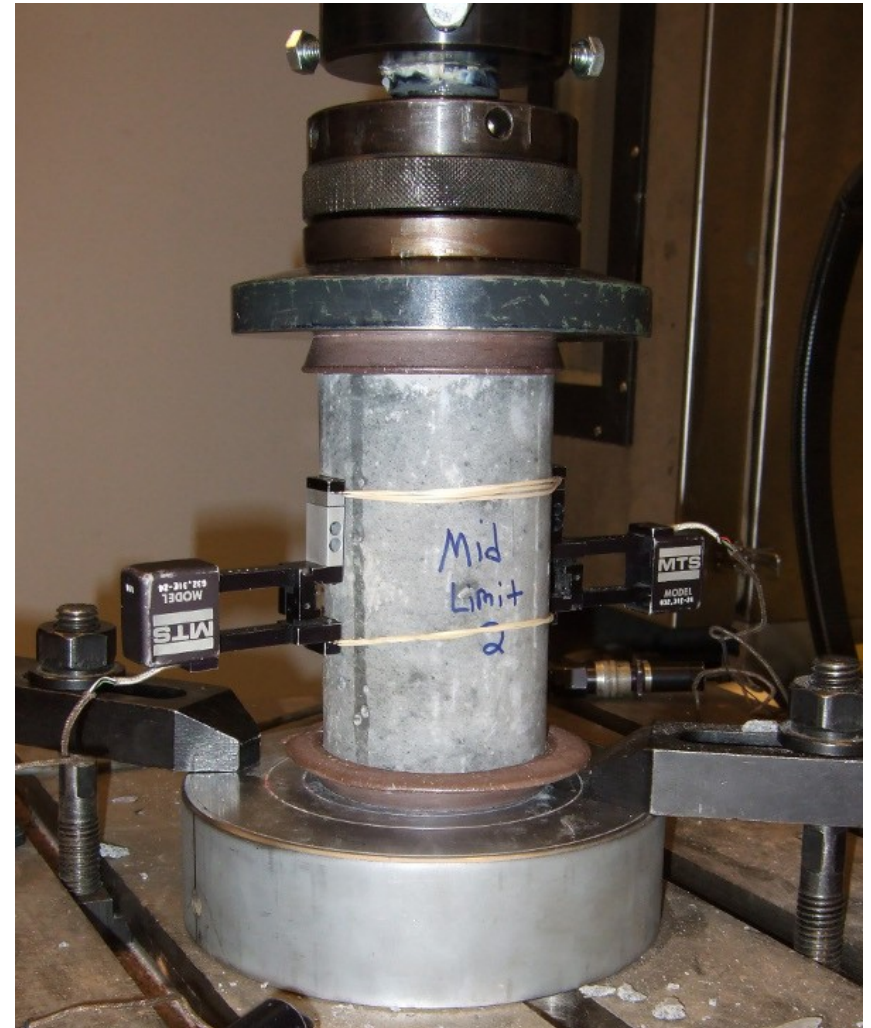


$$\epsilon = \begin{bmatrix} -\Delta/2 & 0 & 0 \\ 0 & -\Delta/2 & 0 \\ 0 & 0 & +\Delta \end{bmatrix}$$

Images :  
- Wikipedia  
- A. Rollet



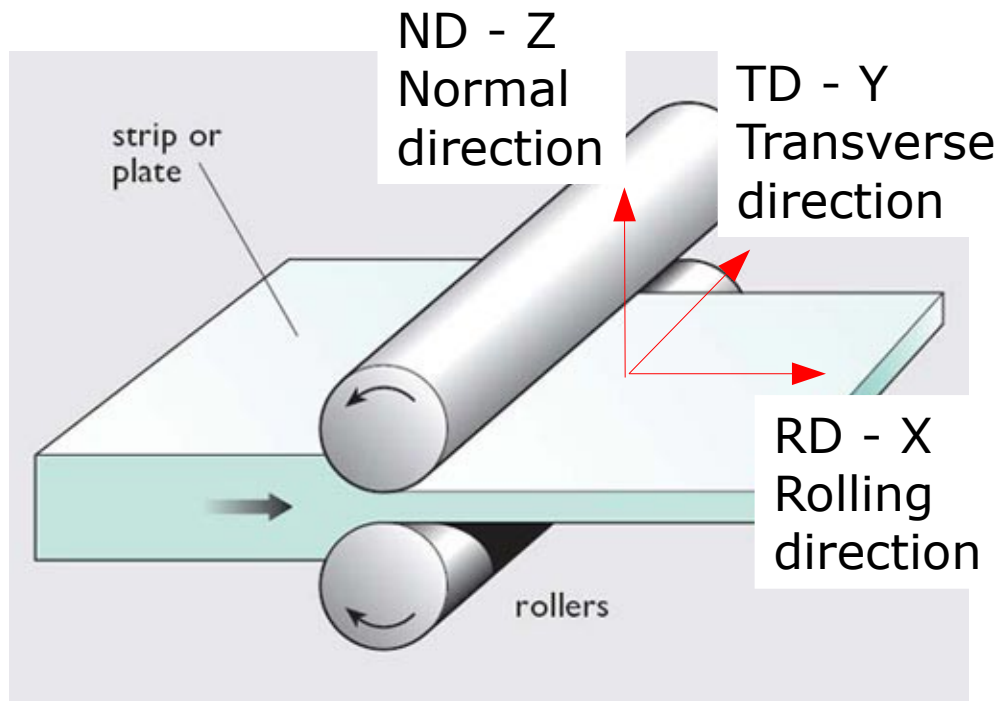
# Compression



$$\epsilon = \begin{bmatrix} \Delta/2 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta/2 & 0 \\ 0 & 0 & -\Delta \end{bmatrix}$$



# Laminage



$$\epsilon = \begin{bmatrix} \Delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\Delta \end{bmatrix}$$

# 8- Textures dans les métaux

## *b*- Structure cubique faces centrées



# Systemes de glissement – fcc

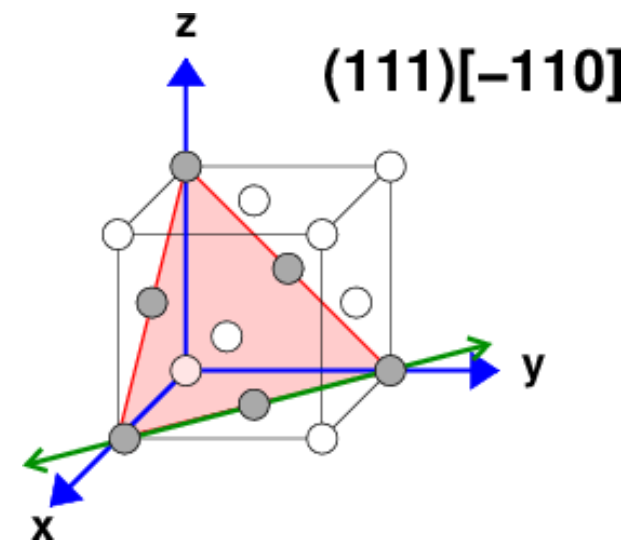
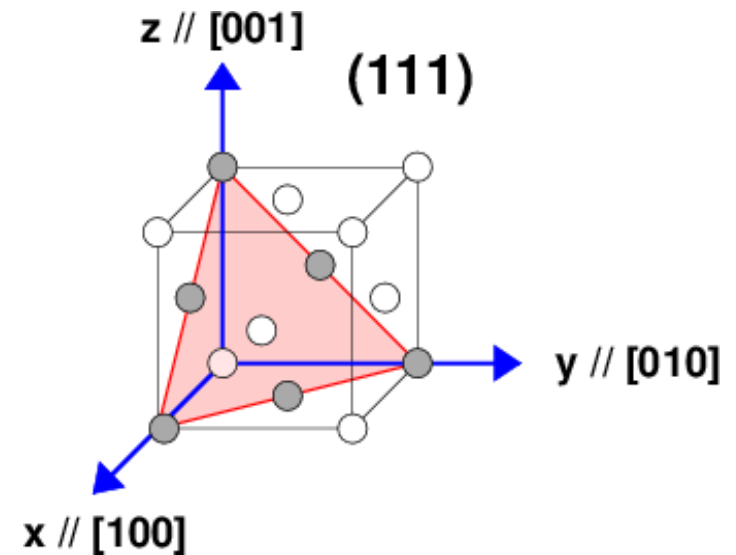
Systemes de glissement dans la structure fcc :

- direction de glissement :  $\langle 110 \rangle$
- plan de glissement :  $\{111\}$

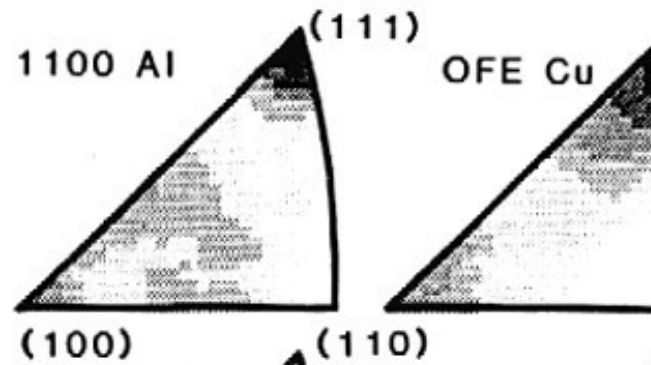
Systeme :  $(111)[-110]$

4 plans  $\{111\}$  :  $(111)$ ,  $(\bar{1}11)$ ,  $(1\bar{1}1)$ ,  $(11\bar{1})$  ;

- Pour chacun : 3 directions  $\langle 110 \rangle$  ;
- 12 systemes de glissement pouvant operer, chacun, dans 2 directions (+ ou -).

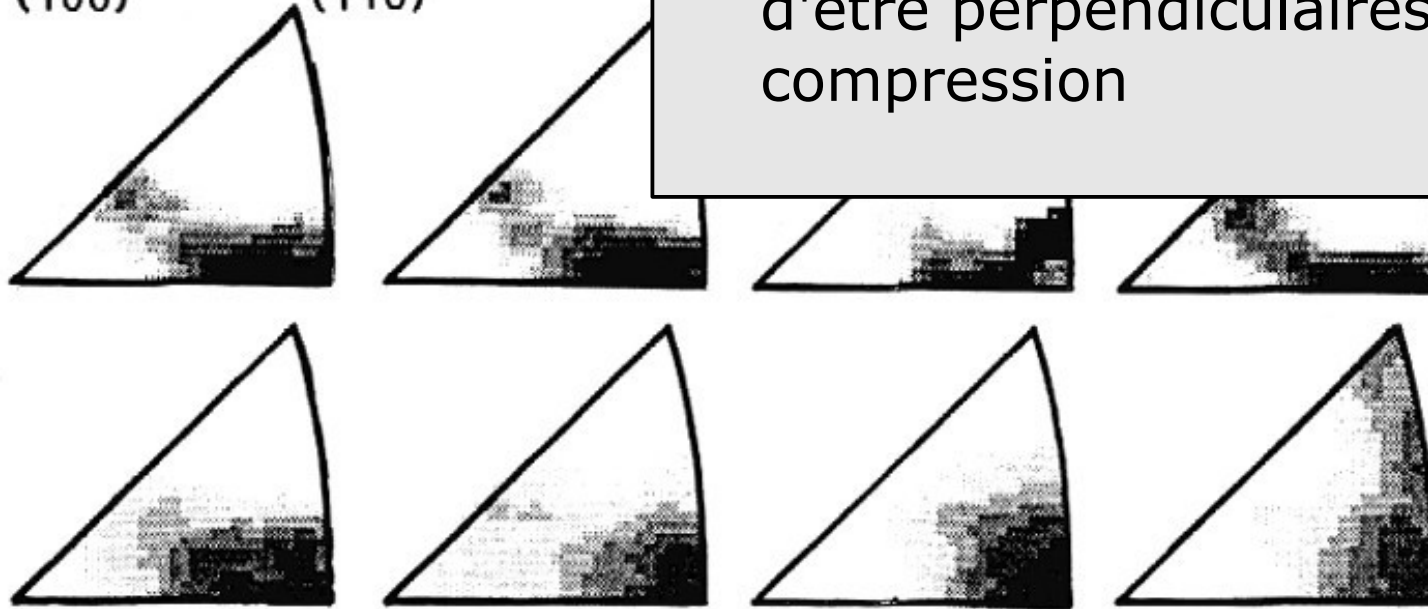


# Fcc - Textures en compression



Rapidement :

- Métaux fcc en compression
- Maximum en 110
- Plans (110) ont une forte probabilité d'être perpendiculaires à la direction de compression

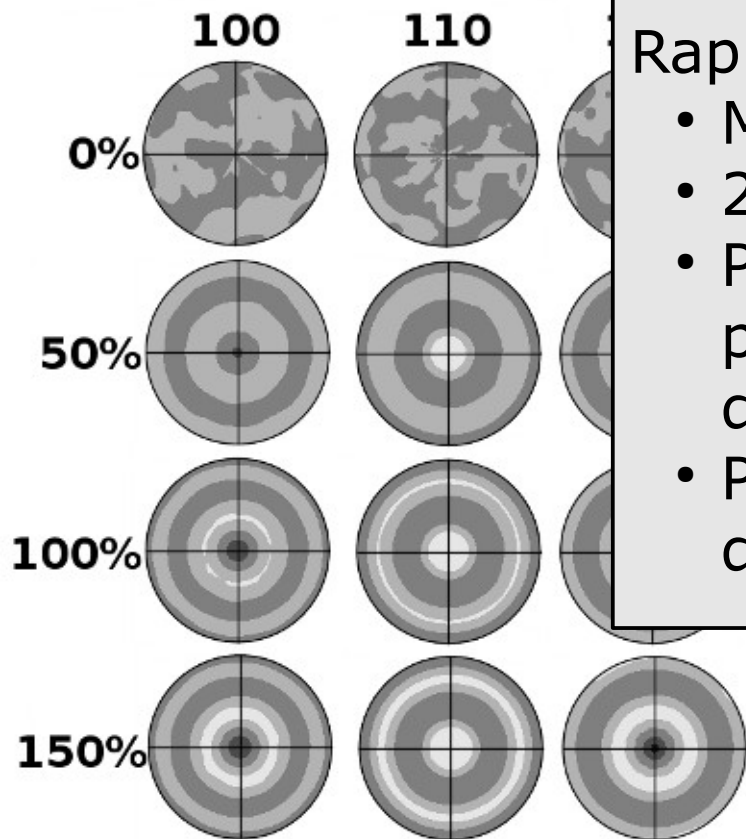


Texture  
expérimentale

Image Kocks, Tomé, Wenk, 1998  
Ch. 5

# Fcc - Textures en traction

Simulation de textures en extension pour un métal fcc

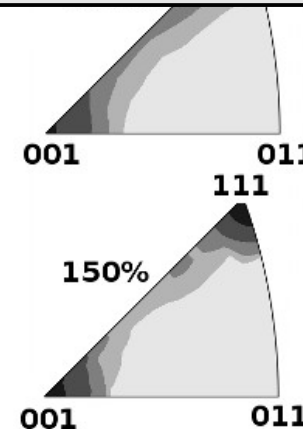


Figures de pôles (direction d'extension au centre)

Rapidement :

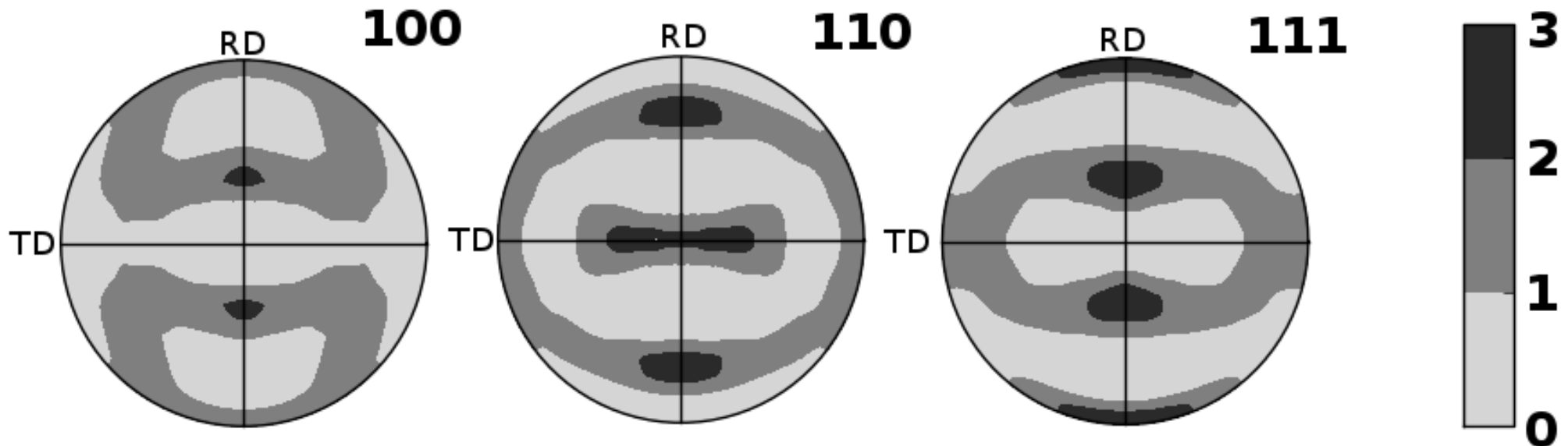
- Métaux fcc en traction ;
- 2 maxima en 100 et 111 ;
- Plans (100) et (111) ont une forte probabilité d'être perpendiculaires à la direction de traction;
- Poids relatifs des maxima en 100 et 111 dépend du matériau.

0.3  
0.0



Figures de pôles inverses de la direction d'extension

# Fcc - Textures en laminage



Simulation de laminage à 50 % pour un métal de structure fcc

Caractéristiques grossières des textures de laminage pour un métal fcc :

- Plans  $(110)$  // plan de laminage ;
- $\langle 1\bar{1}2 \rangle$  // direction de laminage.

En fait, on prend souvent référence sur des textures obtenues sur des métaux « classiques » (cuivre, laiton...) et on compare aux textures de l'alliage considéré.

# **8- Textures dans les métaux c- Structure cubique centrée**

# Systemes de glissement – bcc

Systemes de glissement dans la structure bcc :

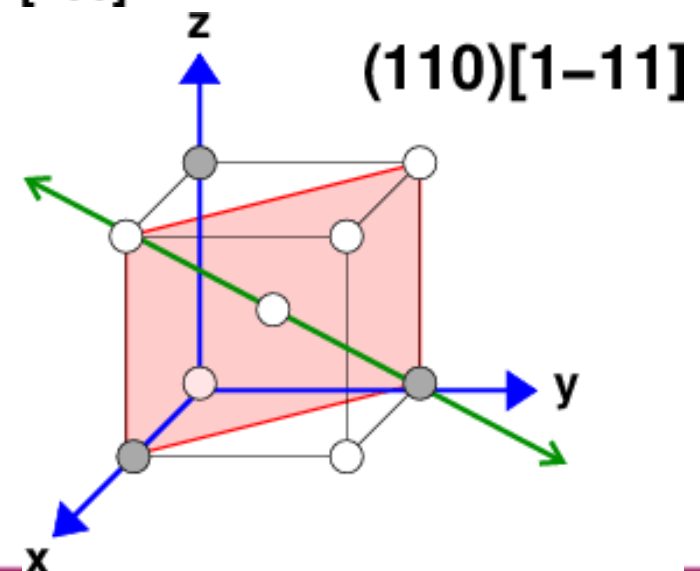
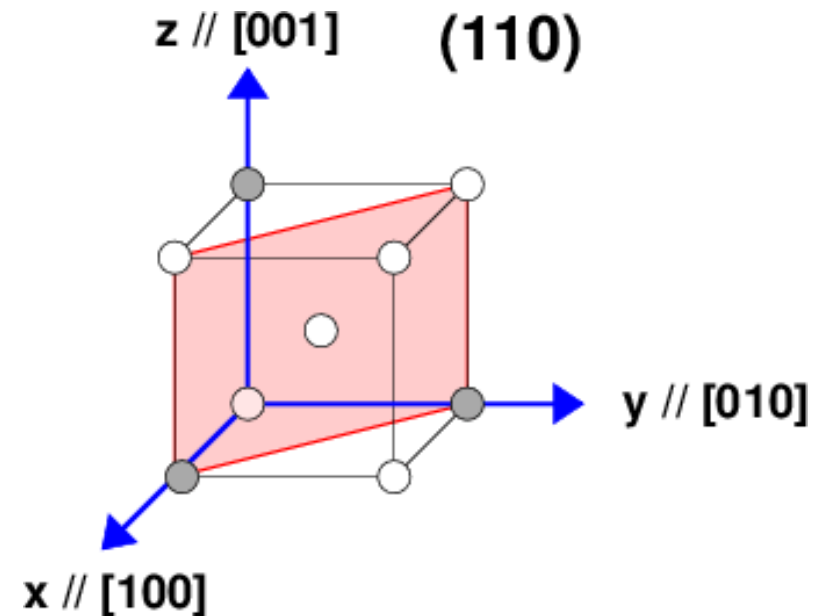
- direction de glissement :  $\langle 111 \rangle$
- plan de glissement :  $\{110\}$

Systeme :  $(110)[1-11]$

Autres plans possibles, toujours avec direction de type  $\langle 111 \rangle$ .

6 plans  $\{110\}$  :  $(\bar{1}10)$ ,  $(01\bar{1})$ ,  $(10\bar{1})$ ,  $(110)$ ,  $(011)$ ,  $(101)$  ;

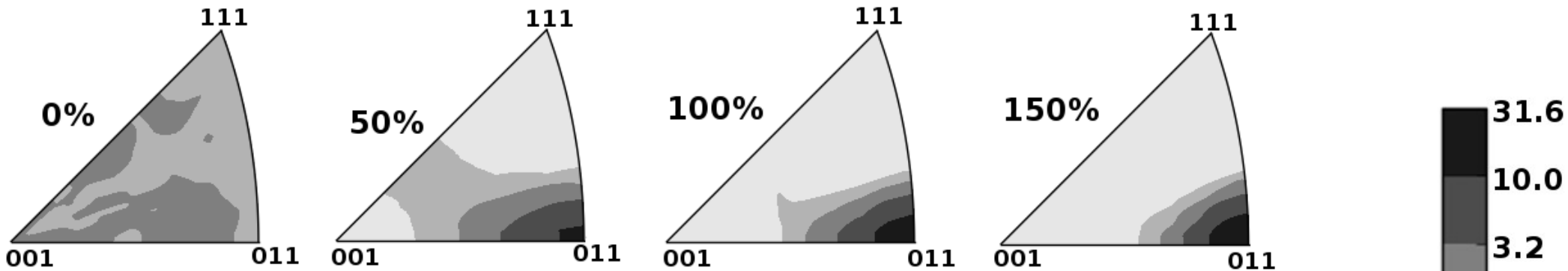
- Pour chacun : 2 directions  $\langle 111 \rangle$  ;
- 12 systemes de glissement pouvant operer, chacun, dans 2 directions (+ ou -).



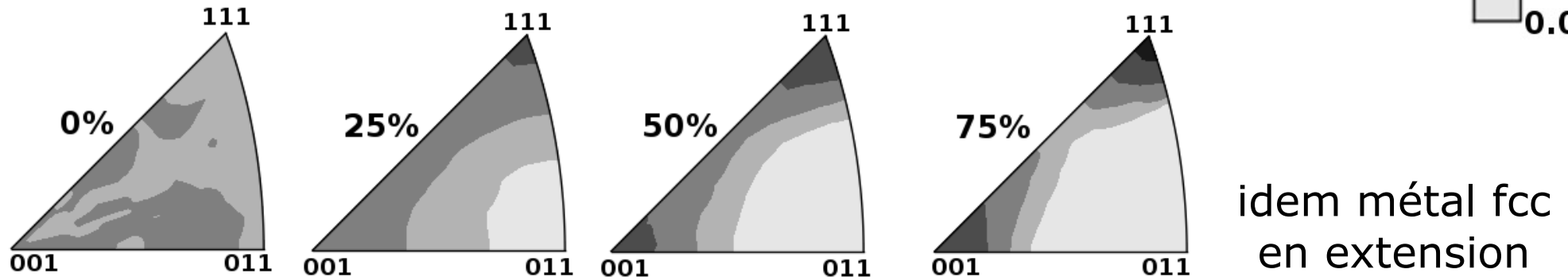
# Bcc- Textures de traction et compression

Simulation de textures en extension pour un métal bcc

idem métal fcc en compression



Simulation de textures en compression pour un métal bcc





# Comparaison fcc/ bcc

Systèmes de glissement :

- Fcc :  $(111)[-110]$
- Bcc :  $(110)[1-11]$

Fcc en compression

~ bcc en traction

Fcc en traction

~ bcc en compression

Textures en traction :

- Fcc : 2 maxima, en 001 et 111, minimum en 011
- Bcc : maximum en 011

Textures en compression :

- Fcc : maximum en 011
- Bcc : 2 maxima, en 001 et 111, minimum en 011

Textures en laminage :

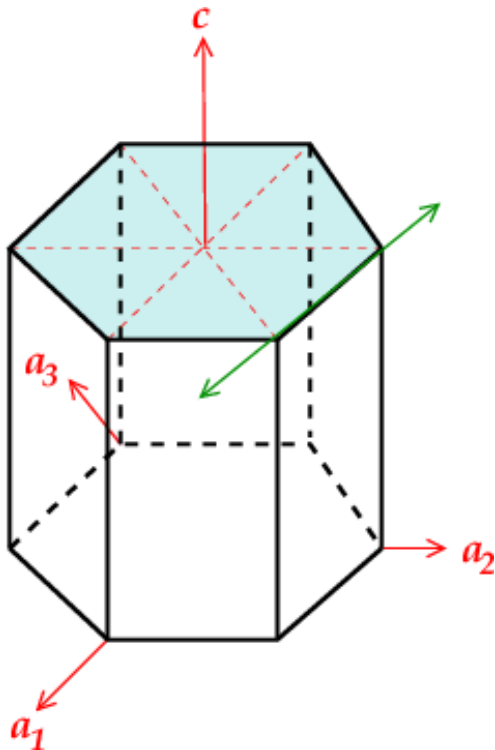
- Plus compliqué.
- On passe des textures de métaux fcc à des textures de métaux bcc en inversant les directions RD et ND dans la projection.

# **8- Textures dans les métaux**

## **c- Structure hexagonale compacte**

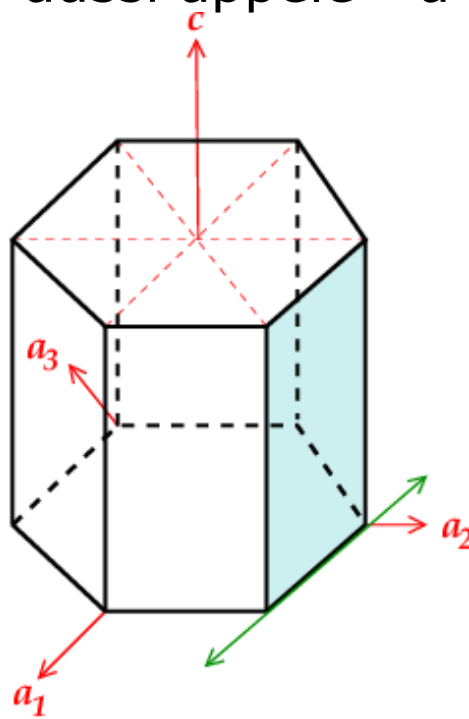
# Systemes de glissement hcp : $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

Systemes avec vecteur de Burgers de type  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$   
aussi appelé  $\langle a \rangle$



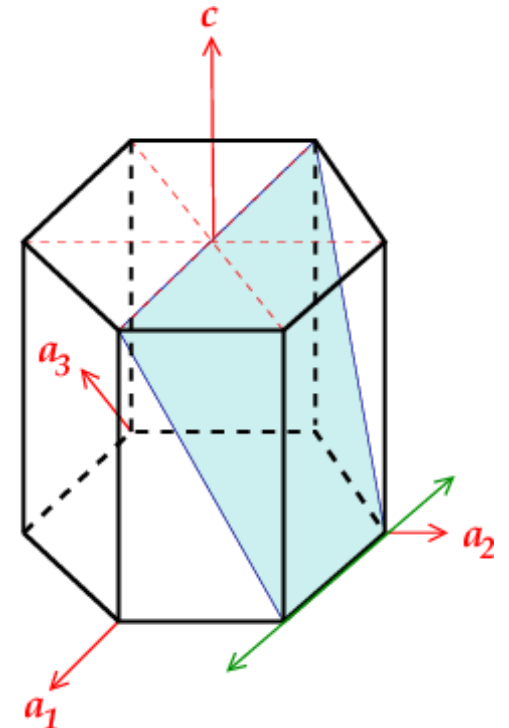
Glissement basal  
 $(0001)[11\bar{2}0]$

3 systemes equivalents



Glissement prismatique  
 $(01\bar{1}0)[11\bar{2}0]$

3 systemes equivalents

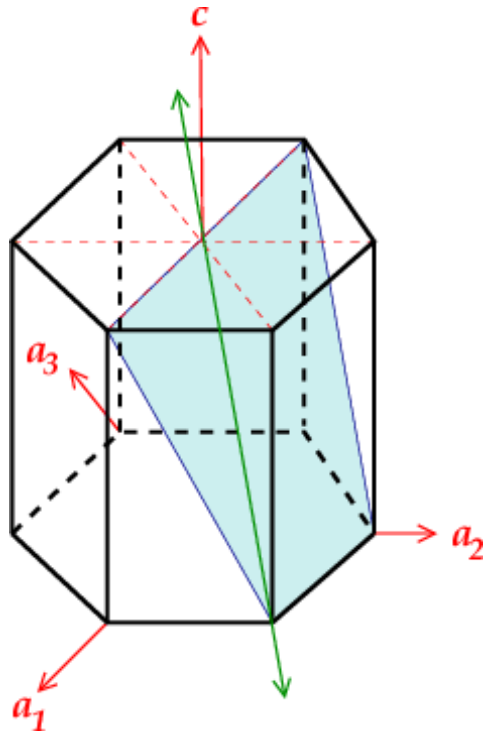


Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$   
 $(01\bar{1}1)[11\bar{2}0]$

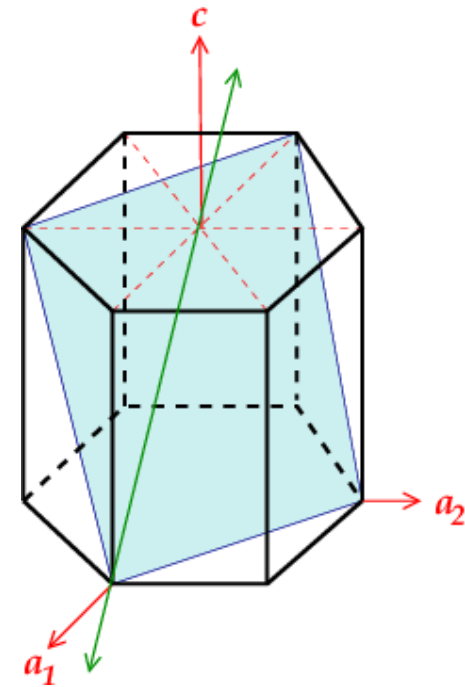
6 systemes equivalents

# Systemes de glissement hcp : $\langle 11\bar{2}3 \rangle$

Systemes avec vecteur de Burgers de type  $\langle 11\bar{2}3 \rangle$   
aussi appelé  $\langle c+a \rangle$



Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$   
1er ordre  
 $(10\bar{1}1)[11\bar{2}3]$   
12 systemes equivalents

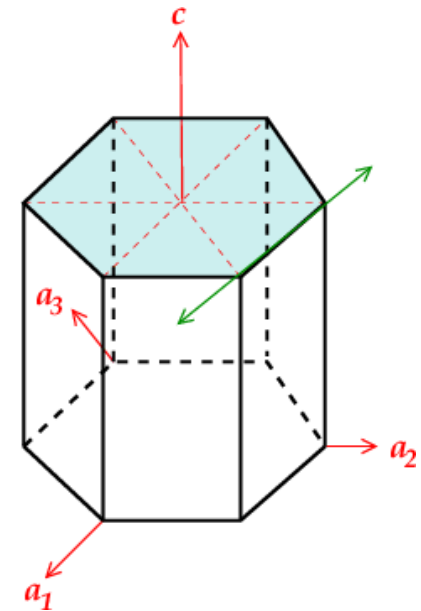
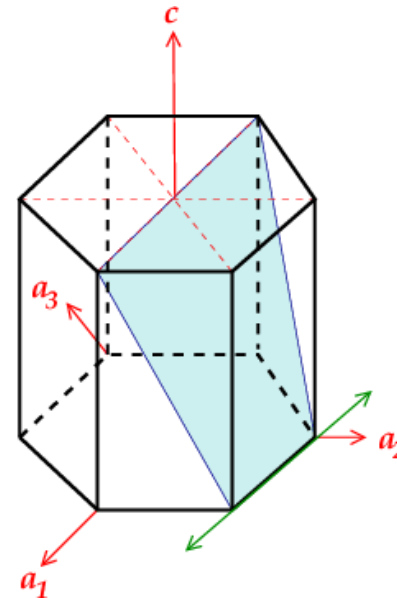
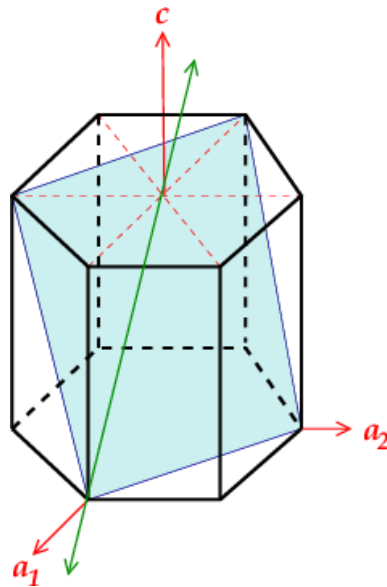


Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$   
2nd ordre  
 $(11\bar{2}2)[11\bar{2}3]$   
6 systemes equivalents

$$c/a > 1,633$$

## Métaux hexagonaux avec $c/a > 1,633$

- Cd, Zn;
- Glissement basal ;
- Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$  ;
- Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$  second ordre ;
- Macles.



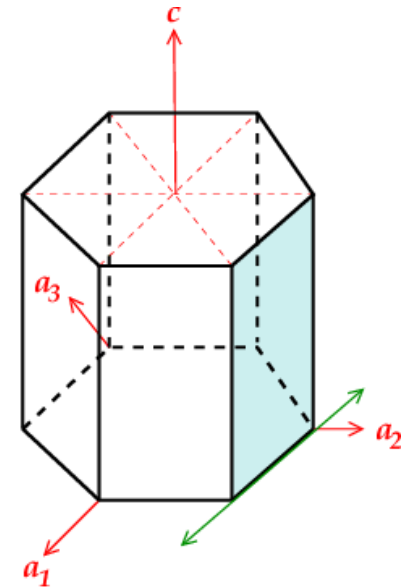
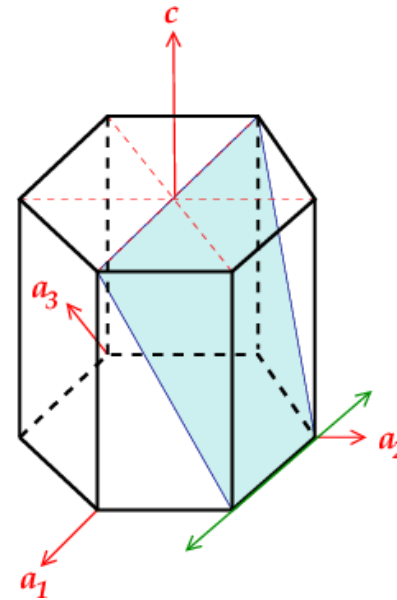
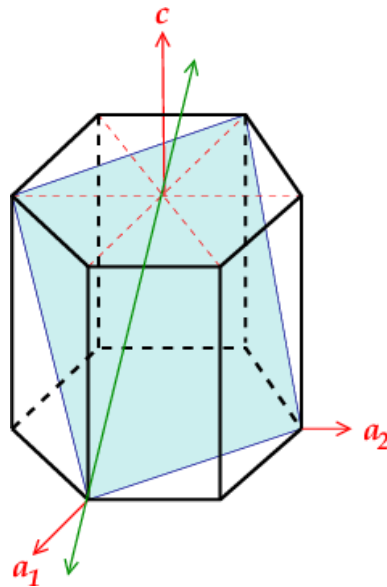
### Notes :

- Le glissement basal est largement dominant ;
- Les macles sont très importants.

$$c/a < 1,633$$

## Métaux hexagonaux avec $c/a < 1,633$

- Zr, Ti, Hf ;
- Glissement prismatique ;
- Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$  ;
- Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$  second ordre ;
- Macles.



### Notes :

- Il peut aussi y avoir du glissement basal.
- Les macles sont très importants.

# Hcp - Textures en traction / compression

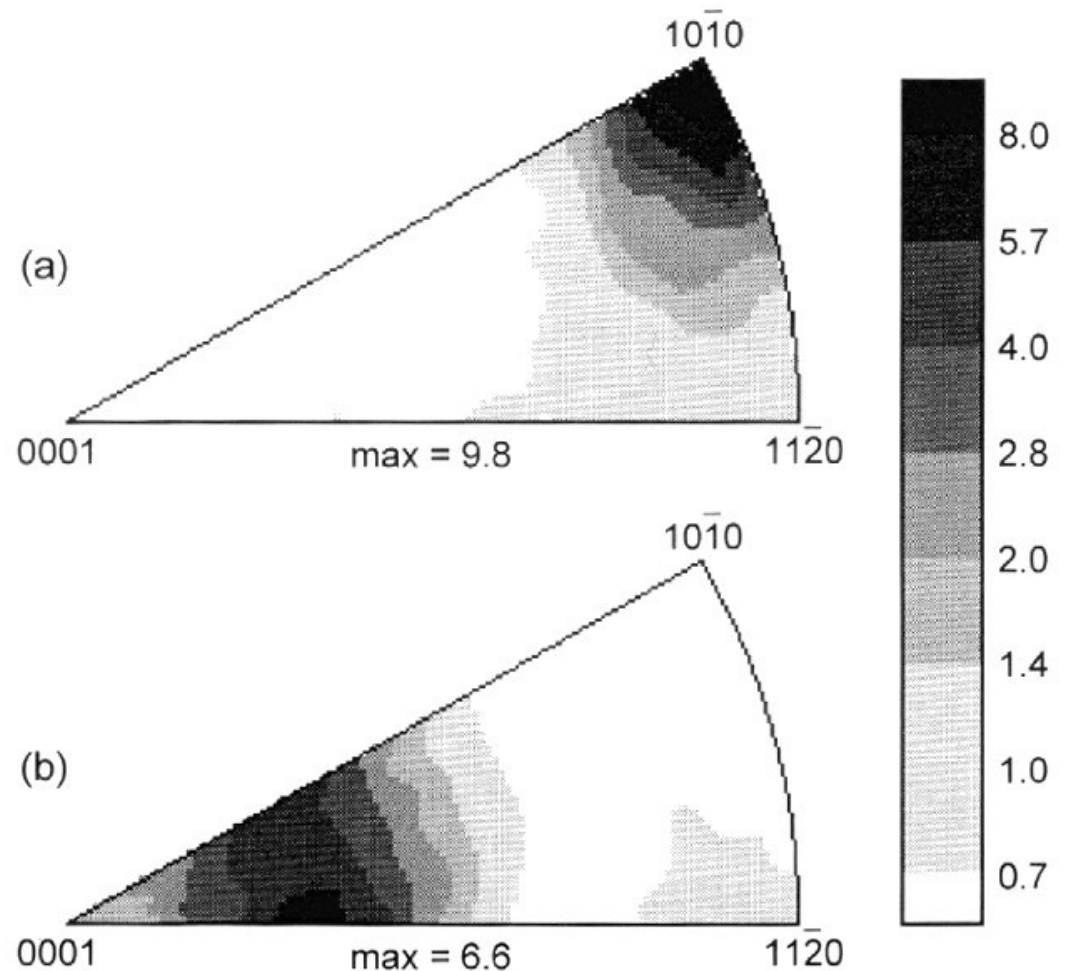
## Titane pur

Traction :

- Maximum en 10-10

Compression :

- Maximum proche de 0001
- 25° de 0001, ~  $\langle 11\bar{2}4 \rangle$



**Fig. 20.** Inverse pole figures of pure titanium: (a) extruded to a von Mises equivalent strain of 1.75 (extrusion-axis inverse pole figure), (b) forged and cross-rolled to a von Mises equivalent strain of 1.98 (plate normal inverse pole figure).



# Comparaison Titane/ Zirconium

Règle générale dans métaux hcp :

- Comportement compliqué par l'activité des macles ;
- Considérations simples sur systèmes de glissement peu efficaces ;
- Moins vrai à hautes températures (plus de macles).

Compression Zr

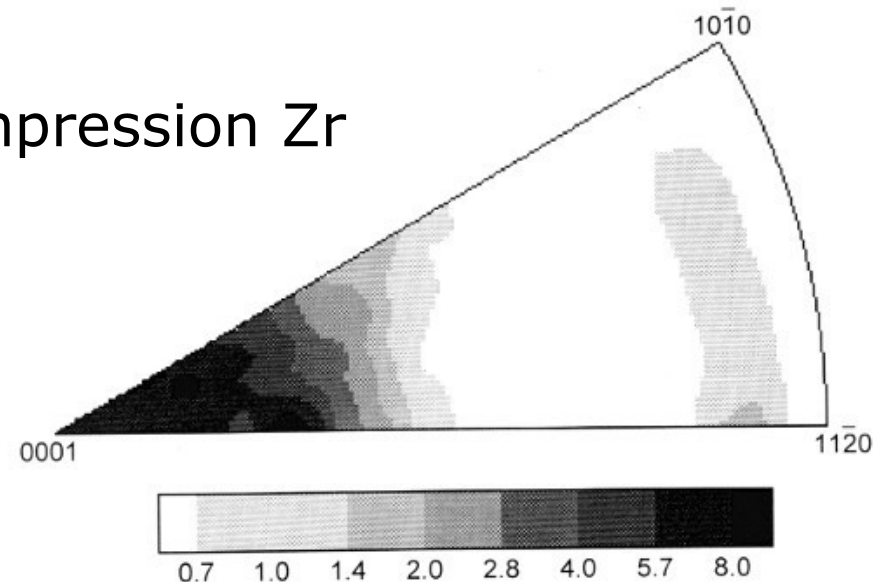
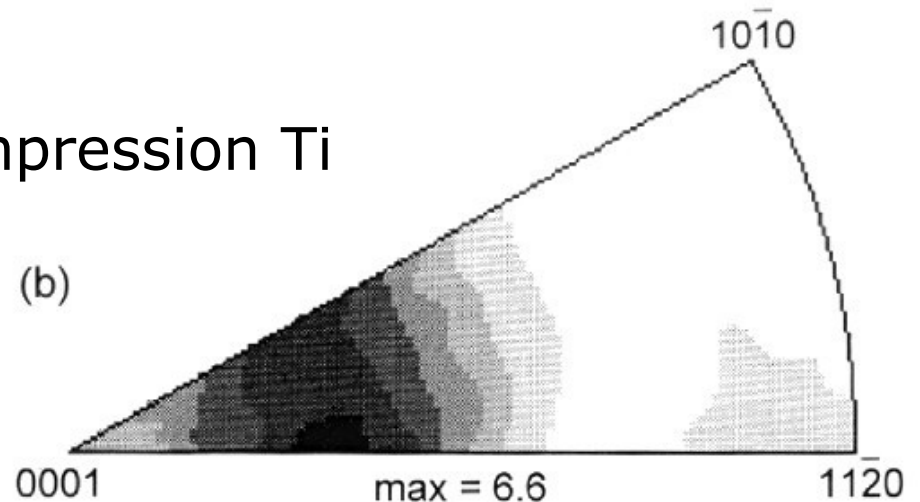


Fig. 21. Inverse pole figure (plate normals) for forged and cross-rolled zirconium.

Compression Ti



# Hcp - Textures en laminage

$c/a > 1,633$  :

0001 se sépare en composante double dans le plan direction de laminage / direction normale

$c/a = 1,633$  :

0001 parfaitement aligné avec la direction normale

$c/a < 1,633$  :

0001 se sépare en composante double dans le plan direction transverse / direction normale

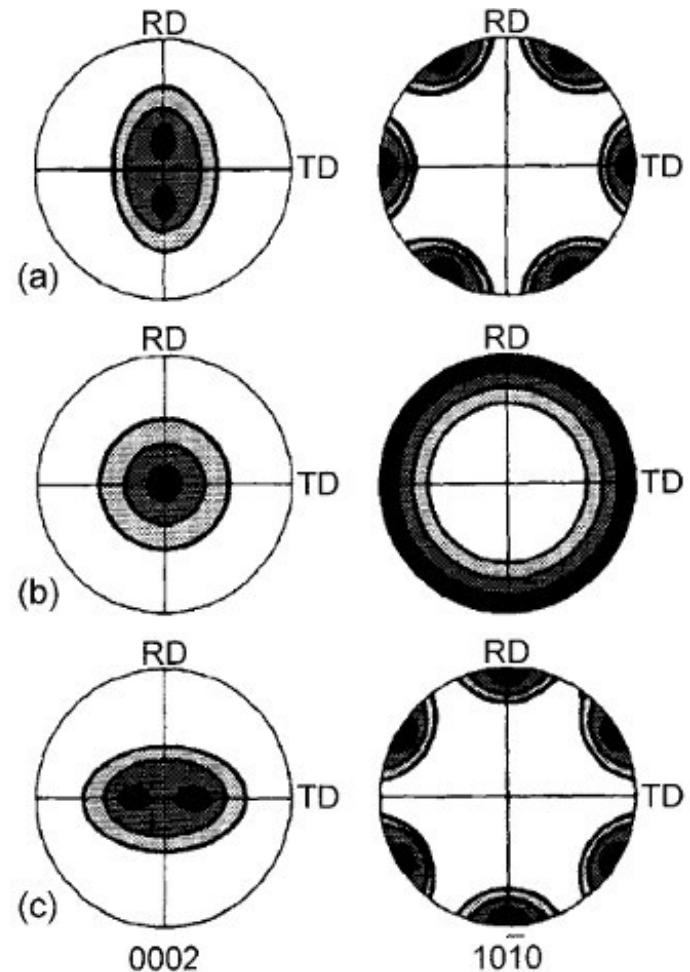


Fig. 22. Schematic rolling textures in hcp metals with  $c/a$  ratios of (a) greater than 1.633, (b) approximately equal to 1.633 and (c) less than 1.633. 0002 and  $10\bar{1}0$  pole figures. [TENCKHOFF 1988].