

# Microscopie à force atomique

Microscopie à balayage avec comme sonde une pointe très fine ( $r =$  quelques dizaines de nm)

La MFA fait partie des microscopies en champ proche qui se caractérisent par l'utilisation d'une pointe que l'on approche très près (0,1 à 10 nm) de la surface de l'échantillon à observer.

- STM (scanning tunneling microscopy): on mesure le courant tunnel entre la pointe et l'échantillon

- SCM (scanning capacitance microscopy): mesure de capacité

- SNOM (scanning near field optical microscopy):

.....

## Quelques caractéristiques de la MFA:

Les observations peuvent être réalisées à l'air

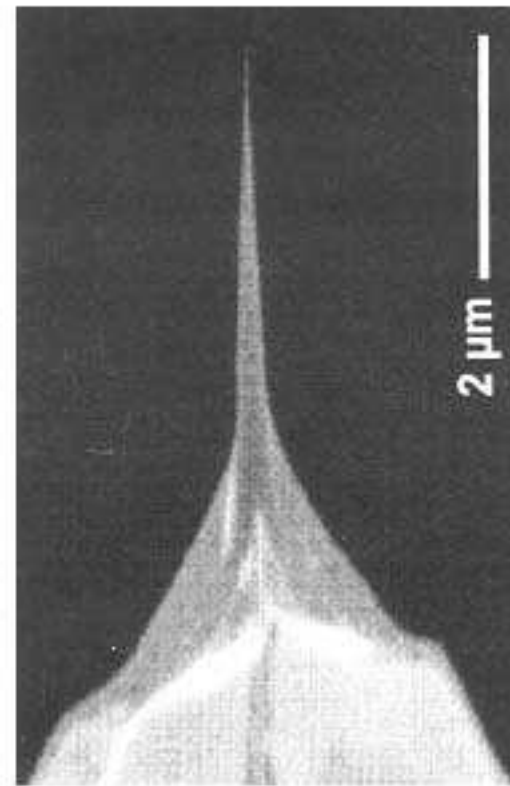
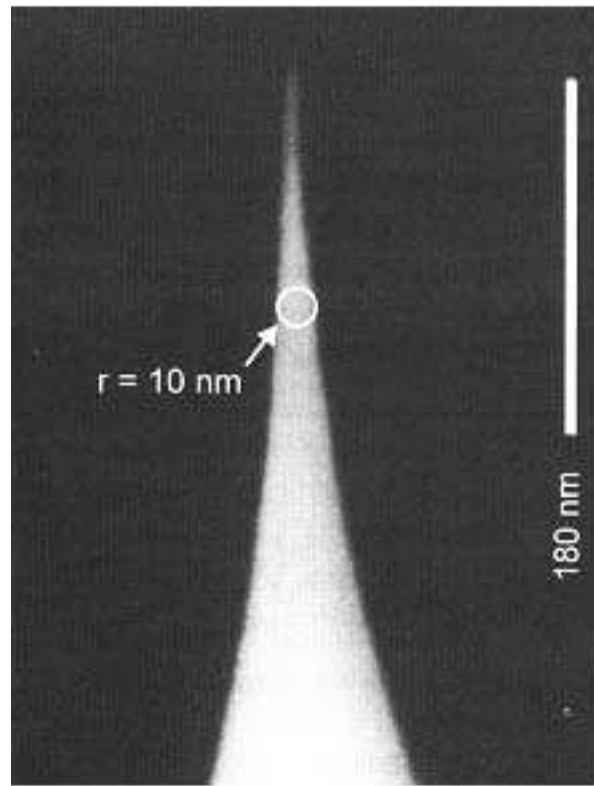
possibilité d'observer de grands échantillons

très peu de préparation

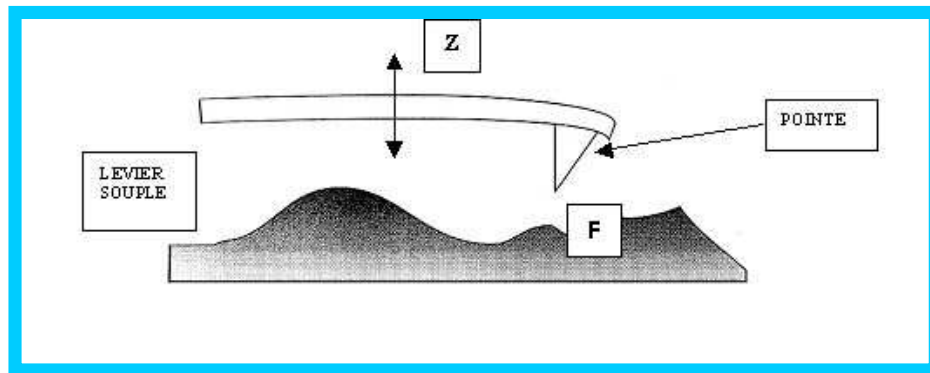
haute résolution (verticalement 0.08 nm)

Surface d'analyse réduite (max. de  $10 \times 10 \mu\text{m}$  à  $100 \times 100 \mu\text{m}$ )

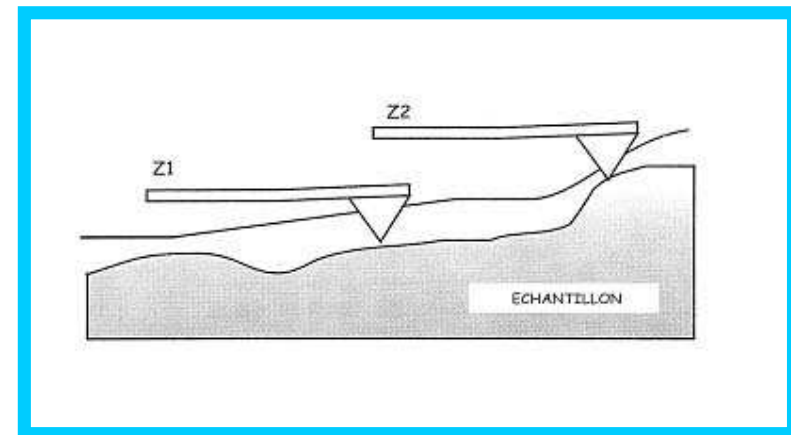
Artefacts possibles (convolution de la forme de la pointe avec celle de l'objet à observer).



Exemples de pointes de MFA

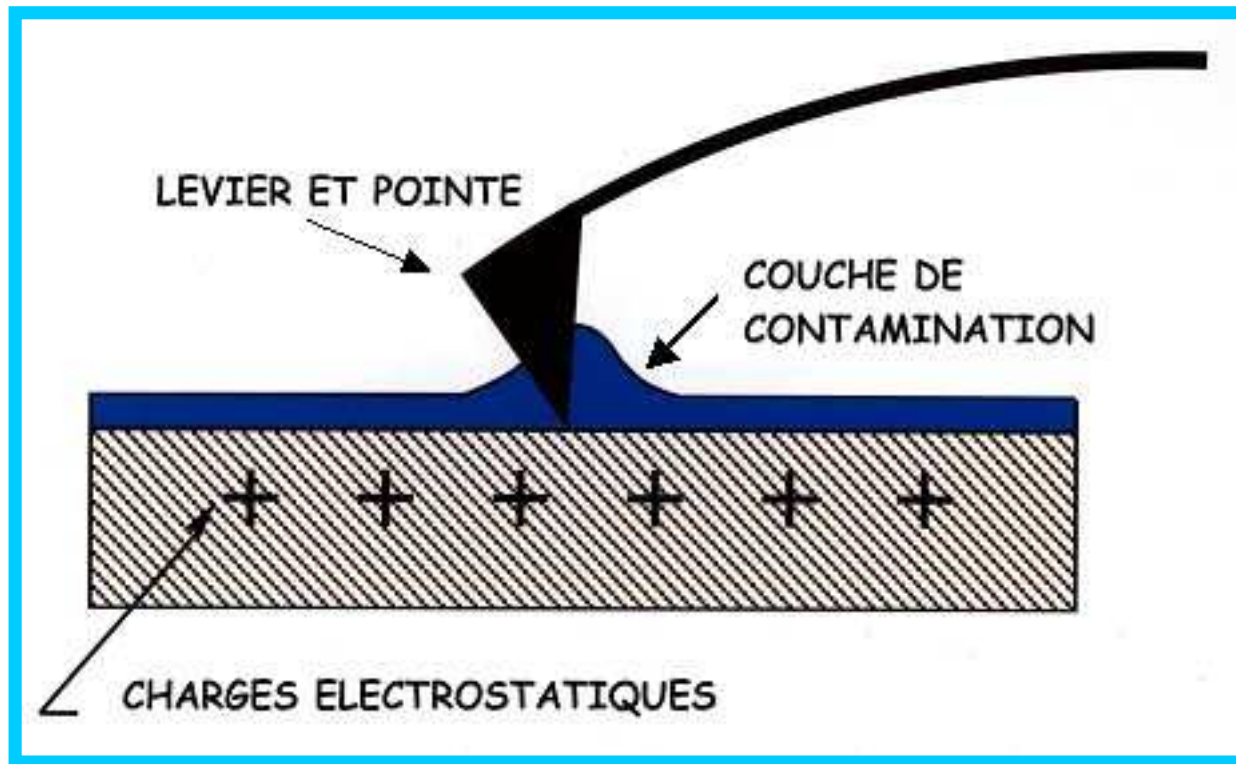


Mode de fonctionnement à hauteur (d'échantillon) constante: on mesure la déflexion du levier qui support la pointe



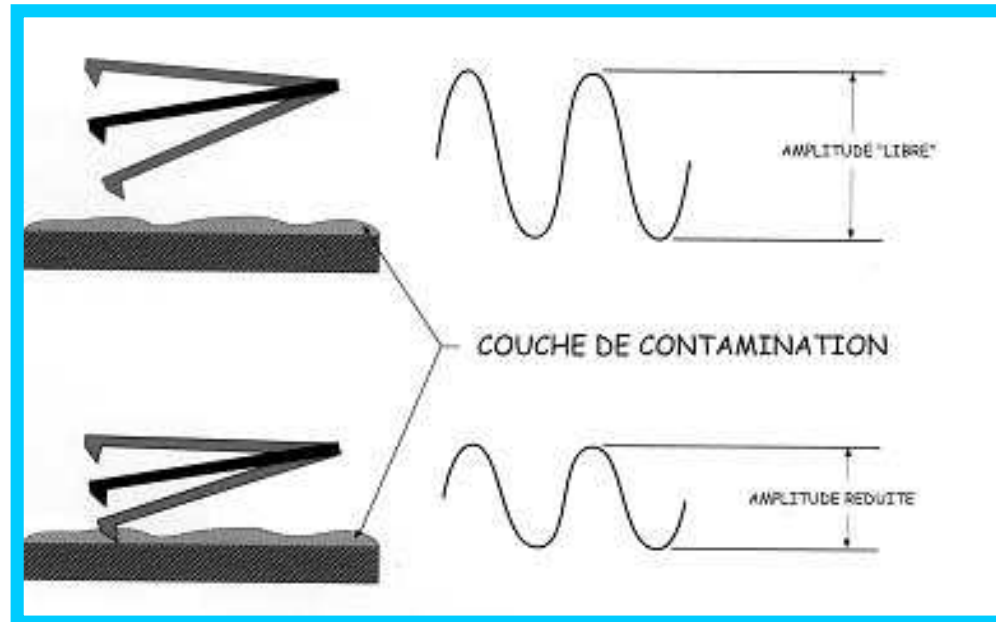
Mode de fonctionnement à force (déflexion) constante: on ajuste la hauteur de l'échantillon pour garder la force constante. La mesure des déplacements verticaux permet de restituer la topographie.

## Mode contact



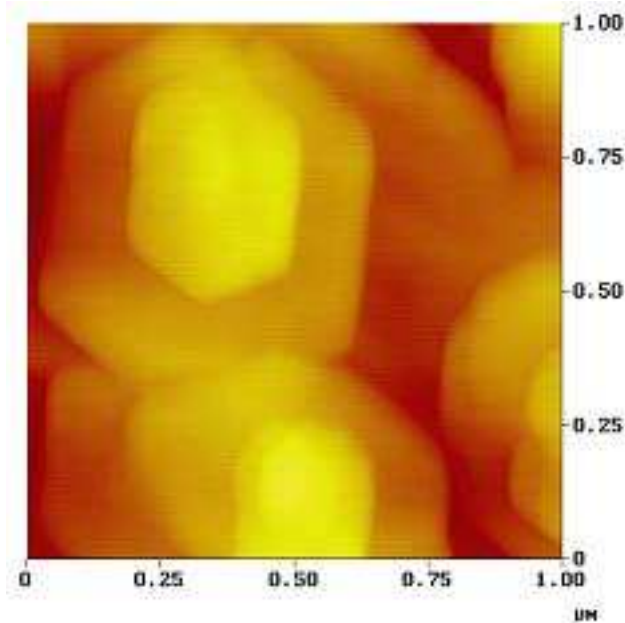
La couche de contamination et les forces électrostatiques ont pour conséquence une diminution de la résolution.

## Mode oscillant résonnant (tapping mode)

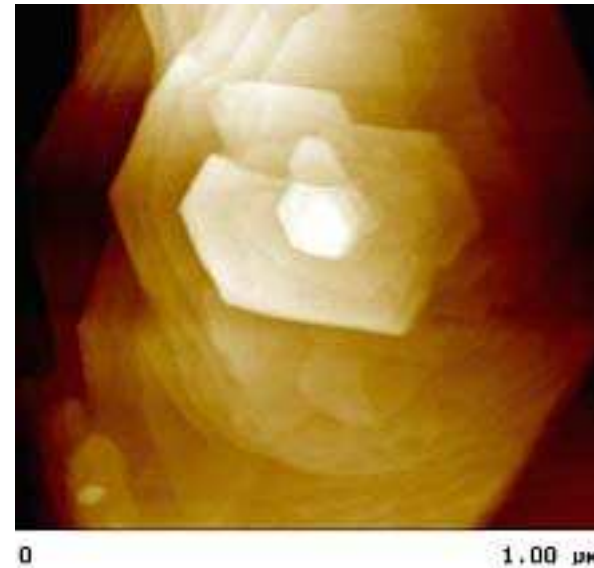


On mesure les variations de l'amplitude d'oscillation pour restituer la topographie de l'échantillon.

## Contact/ oscillant-résonnant: Surface GaN



Mode contact



Mode oscillant résonnant: on visualise des terrasses poly-atomiques

## Croissance de AlGa<sub>0.15</sub>N/ 6H-SiC par EPVOM



Surface de 6H-SiC recuite à 1600°C sous H<sub>2</sub>: formation de terrasses avec marche de hauteur au paramètre c de SiC

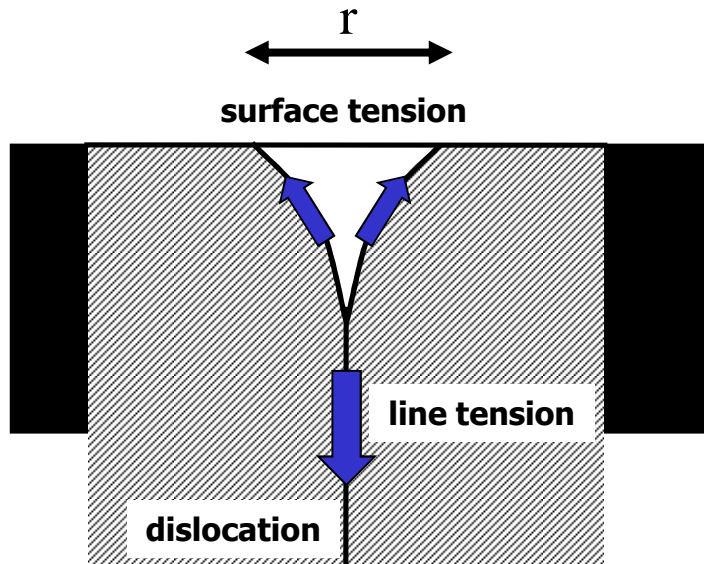


1ers stades de la croissance de Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N sur 6H-SiC : alignement des germes sur les marches de la surface





# Caractérisation des dislocations par MFA



F.C. FRANK, Acta Crystallogr. 4, 497 (1951)

$$r = (b^2\mu)/(8\pi^2\gamma_s)$$

$b$  = vecteur de Burger

$\mu$  = module de cisaillement

$\gamma_s$  = énergie de surface

3 types de dislocations dans  
GaN:

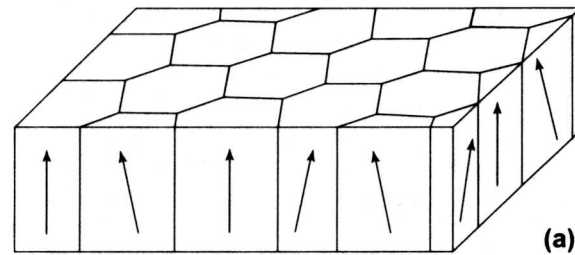
$$a : b = 1/3 \langle 11-20 \rangle$$

$$c : b = \langle 0001 \rangle$$

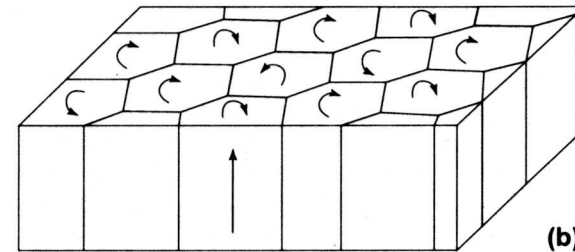
$$a+c : b = 1/3 \langle 11-23 \rangle$$

# Structure colonnaire de GaN

tilt

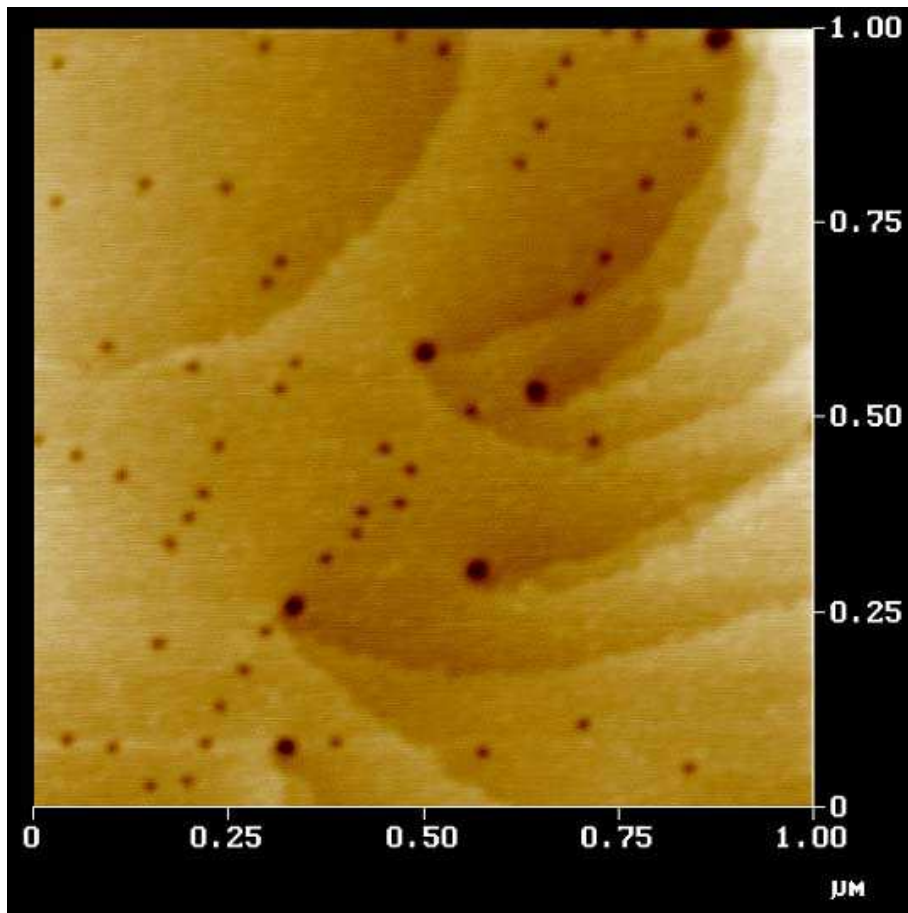


twist



**Dislocations a**

F.A. Ponce Group III Nitride Semiconductor Compounds, Physics and Applications  
(Clarendon Press, Oxford 1998).



2 tailles de dépressions:

petites : dislocations a

grandes : a+c (et c?)

On ne distingue pas de dislocations c.

2 raisons possibles:

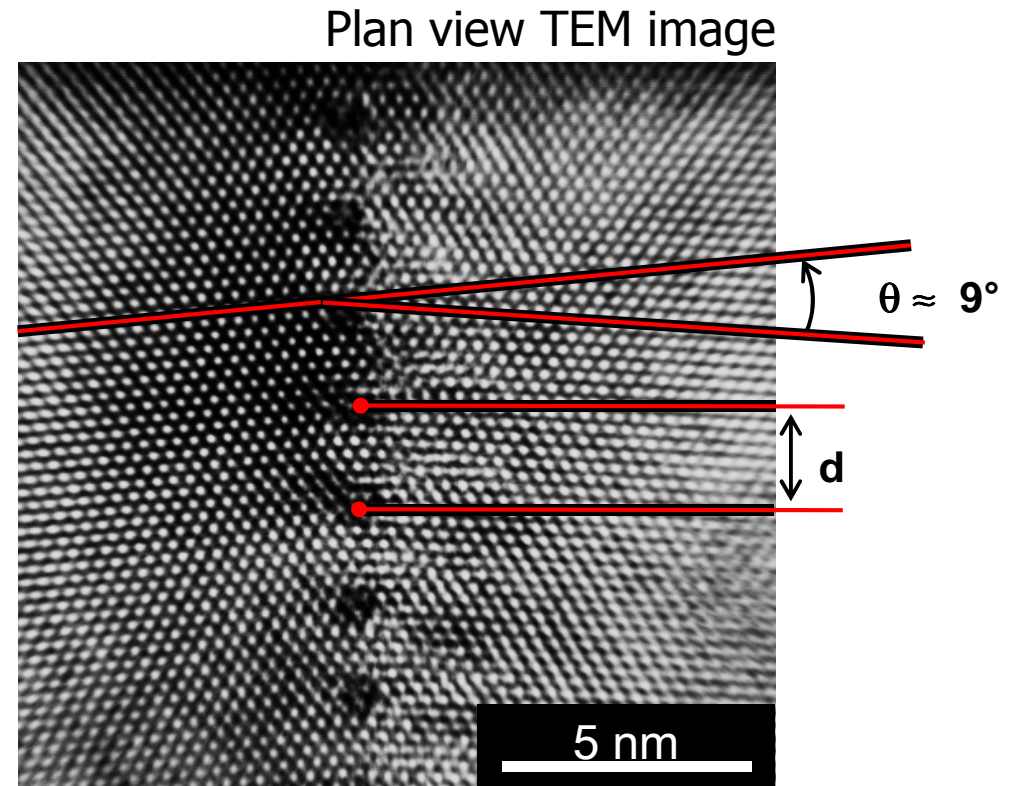
- leur densité est trop faible

- la résolution latérale du microscope ne permet pas de les distinguer des a+c

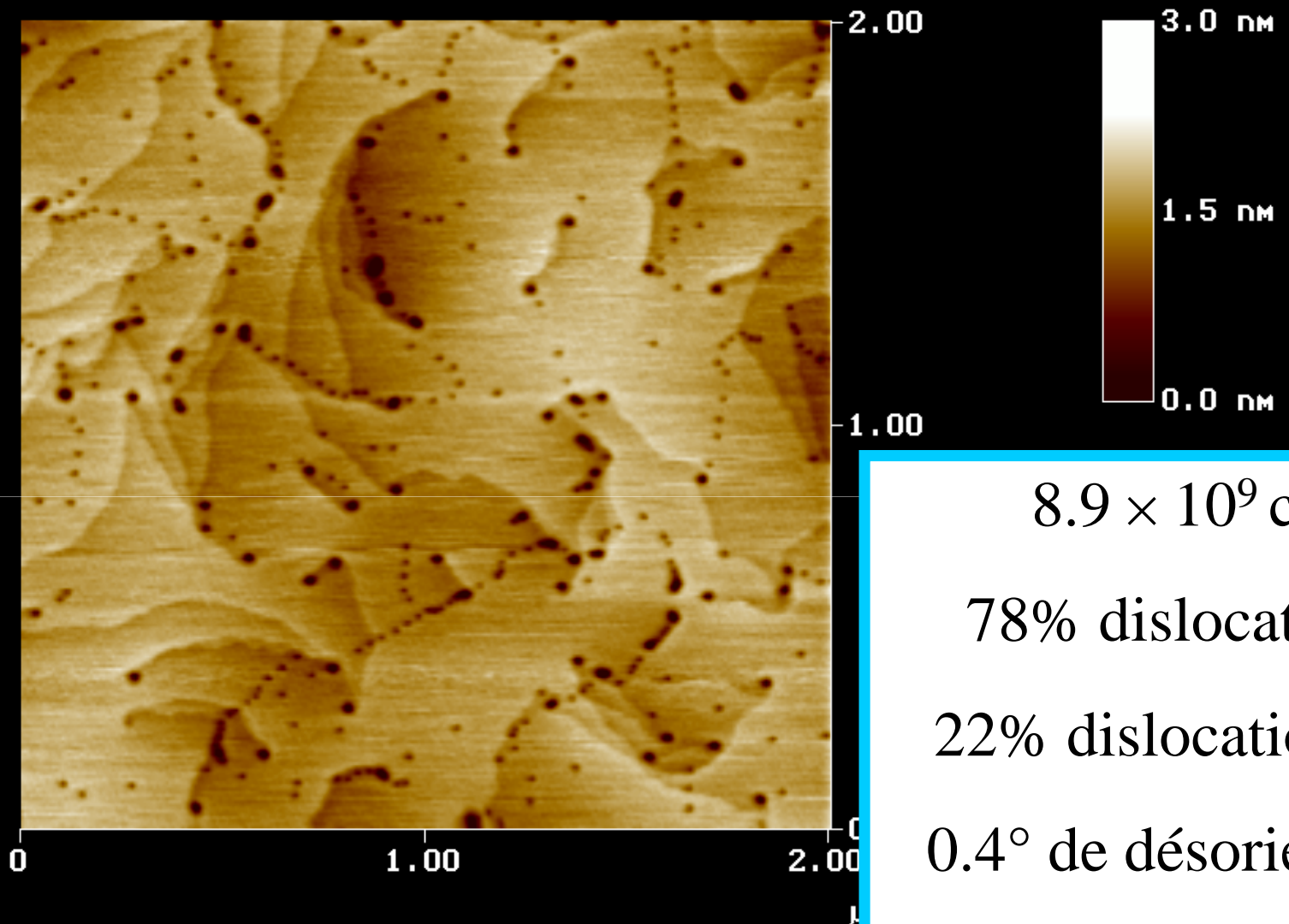
# Désorientation entre grains

Formule de Franck

$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{|\vec{b}|}{2d}$$



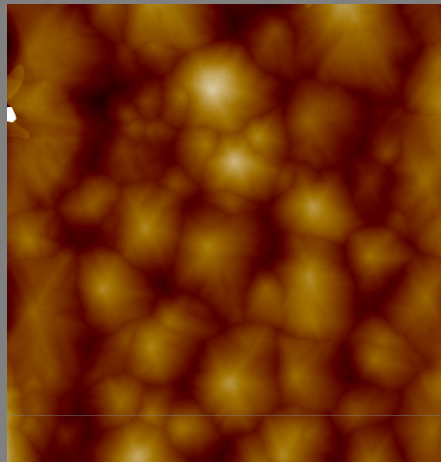
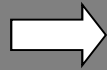
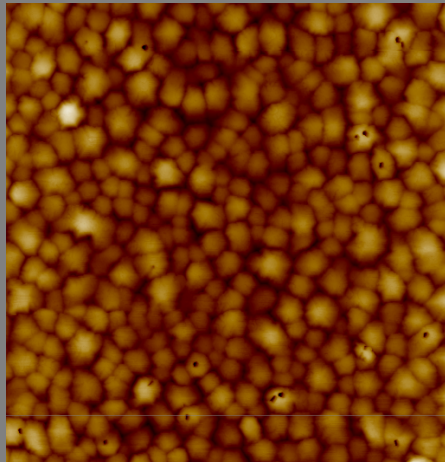
$b$  vecteur de Burger,  $d$  distance entre dislocations,  $\theta$  angle entre grains



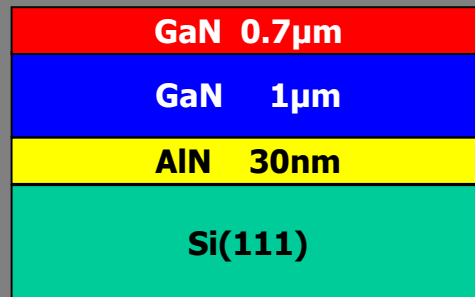
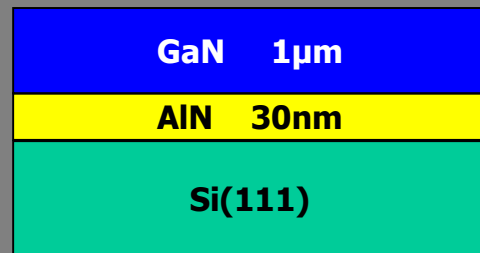
$8.9 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$   
78% dislocations a  
22% dislocations a+c  
0.4° de désorientation

g1328.4mu

# GaN source NH<sub>3</sub> sur Si(111)



  } 2 rapports V/III différents

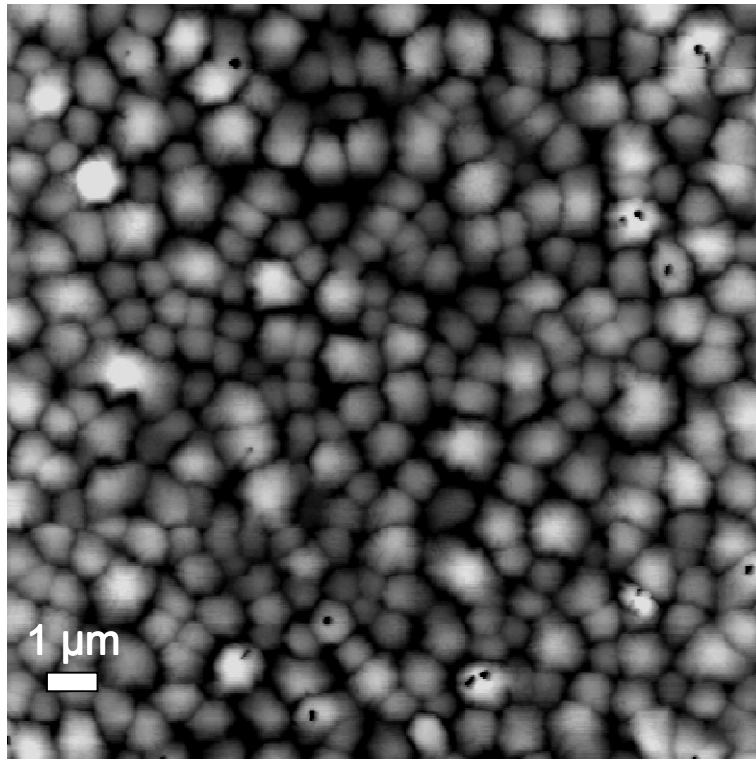


Hypothèse: pas de modification de la densité et de la distribution des dislocations

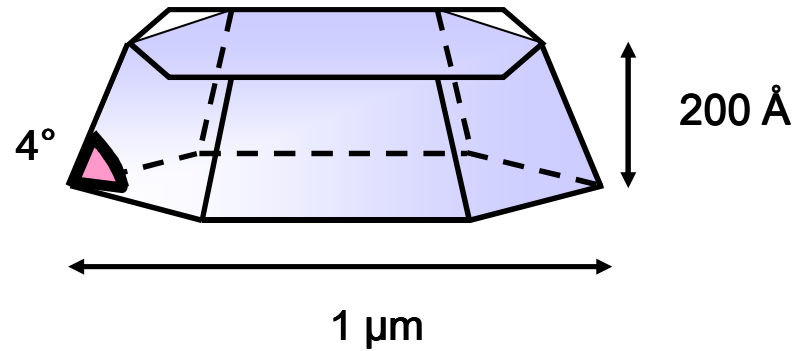


# Rapport V/III = 4 $\Rightarrow$ faible diffusion de surface

image AFM ( $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ ) de 1  $\mu\text{m}$  de GaN  
épitaxié avec un rapport effectif V/III  $\approx 4$

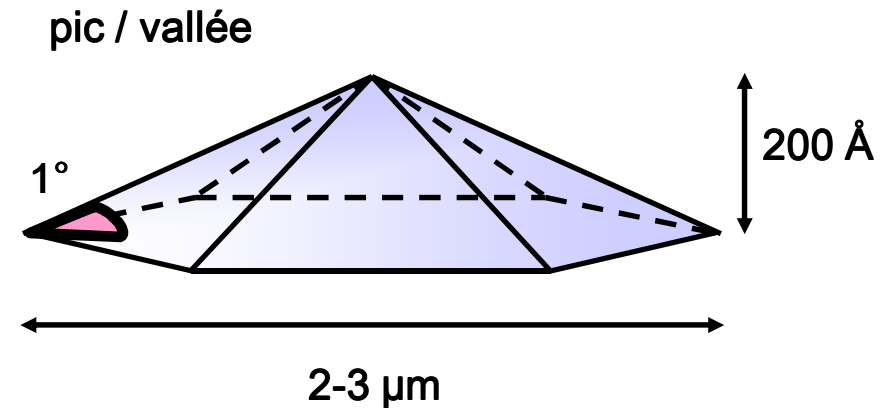
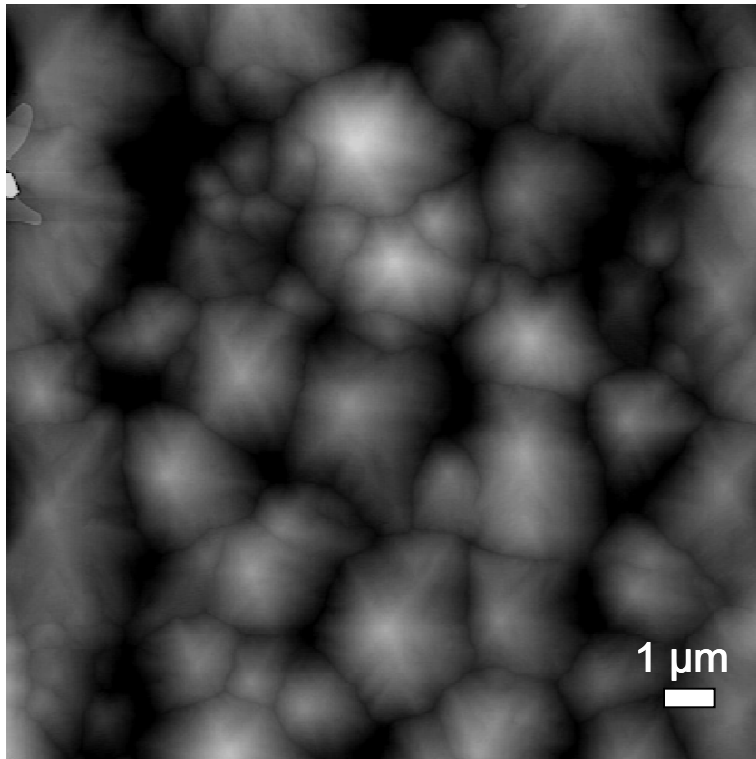


pic / vallée



# Rapport V/ III = 1 $\Rightarrow$ forte diffusion de surface

image AFM ( $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ ) d'une reprise de croissance de GaN épitaxié avec un rapport effectif V/III  $\approx 1$



La morphologie de surface est fonction de la cinétique de surface : phénomène de rugosité cinétique



**La MFA permet de caractériser:**

**croissance nano-structurées**

**morphologie de surface de couches continues**

**densités de dislocations**

**désorientations entre grains**

**La morphologie de surface ne reflète pas obligatoirement la microstructure volumique des couches.**

**La MFA reste un outil de caractérisation de surface.**