



Plasticité de micro piliers de semiconducteurs : effet de taille et transition fragile-ductile

F. Mignerot, B. Kedjar, H. Bahsoun, S. Parent, C. Tromas, L. Thilly

Institut P' • UPR CNRS 3346
SP2MI • Téléport 2
11, Boulevard Marie et Pierre Curie • BP 30179
F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex



Sommaire

- Contexte de l'étude
- Fabrication des micro-piliers
- Micro-compressions *in-situ*
- Extraction de lames minces
- Conclusion et perspectives

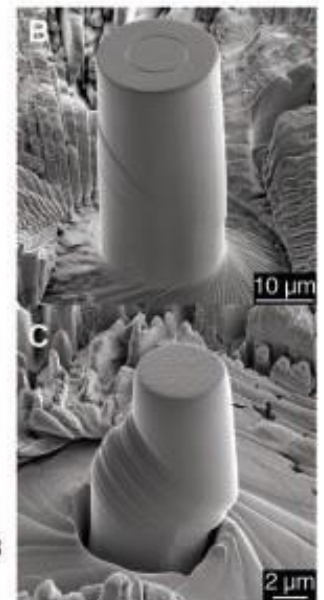
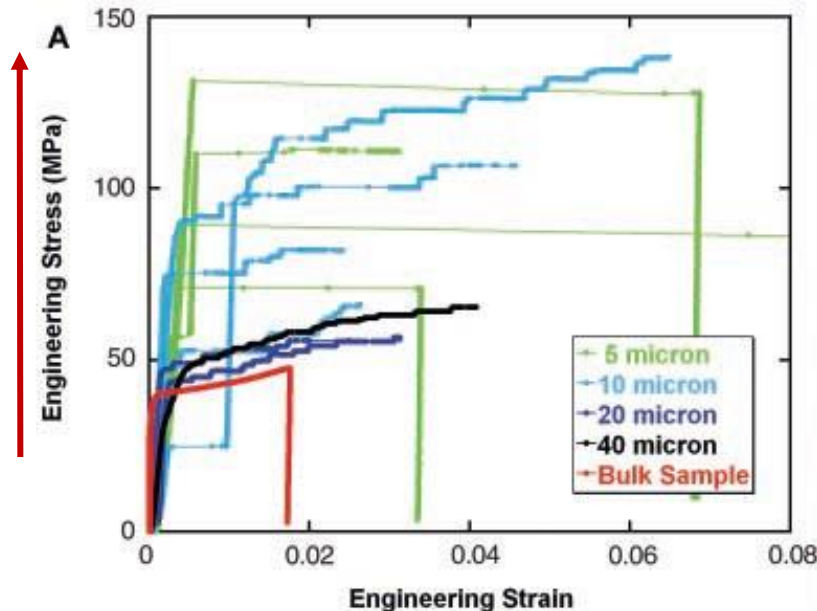
Contexte de l'étude

Réduction de la taille des échantillons

Comportement mécanique différent

Augmentation de la limite d'élasticité

Modification des propriétés mécaniques (effets de taille extrinsèques)

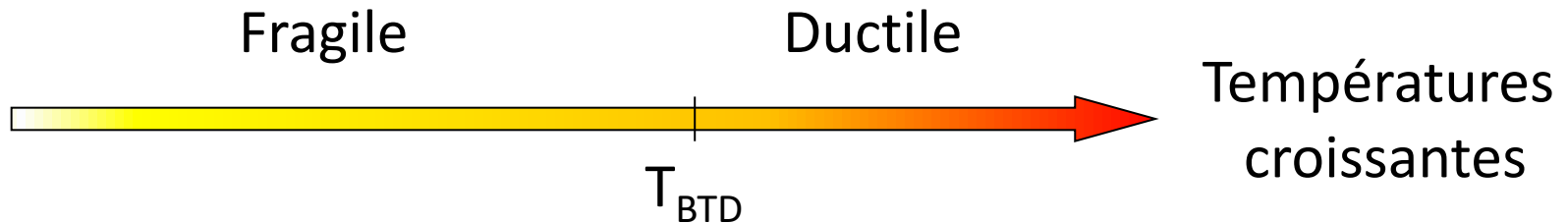


[1] Uchic *et al.*, Science, 2004

Contexte de l'étude

Cas des semi-conducteurs

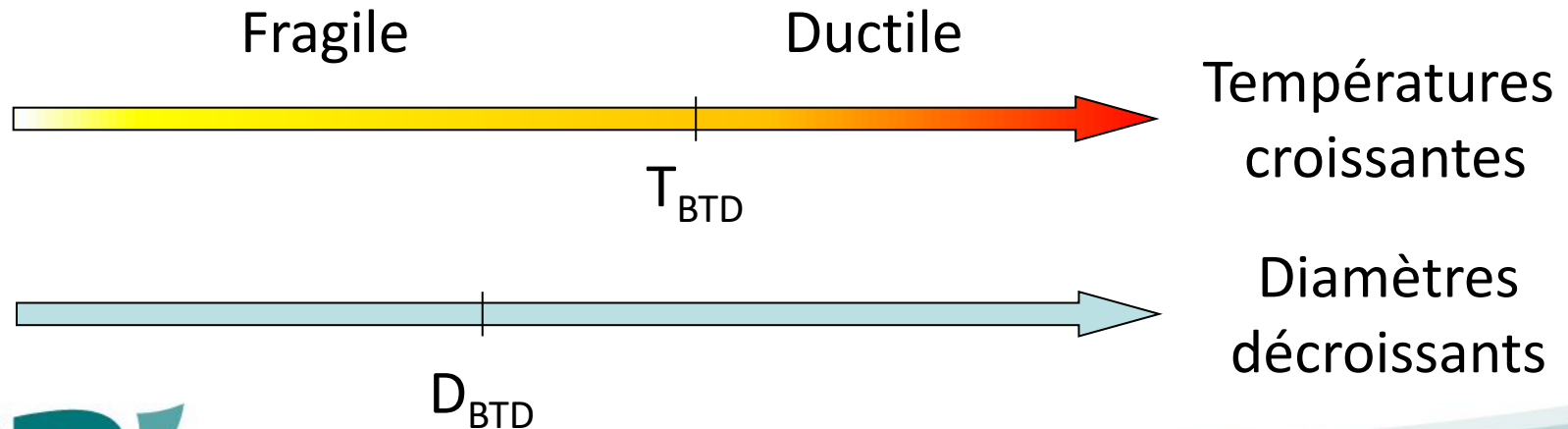
- Une transition fragile-ductile qui apparait :
 - En fonction de la température (taille échantillon constante)



Contexte de l'étude

Cas des semi-conducteurs

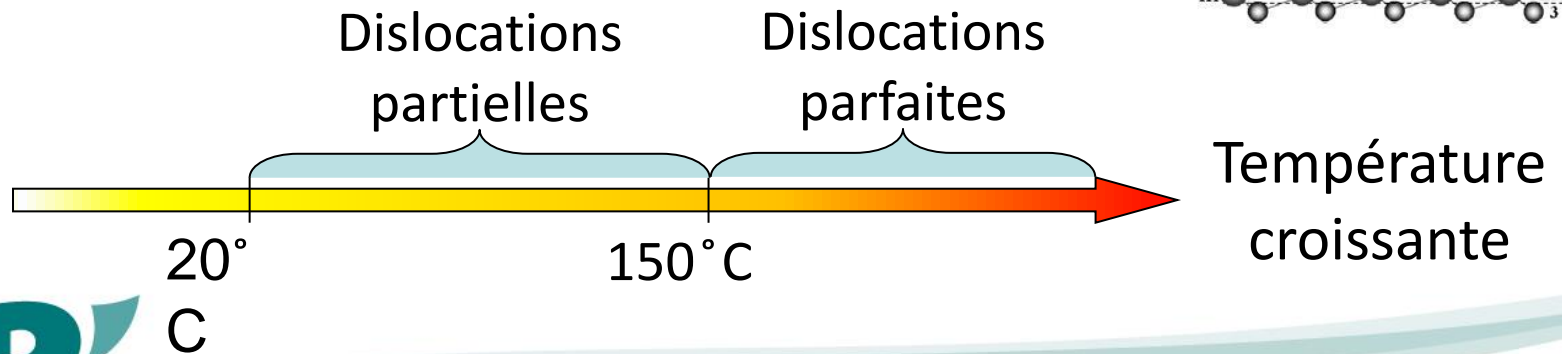
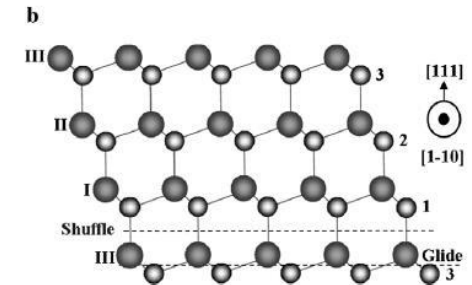
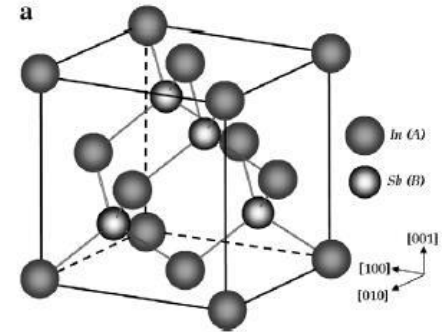
- Une transition fragile-ductile qui apparait :
 - En fonction de la taille (à température constante)



Contexte de l'étude

Cas de l'antimoniure d'indium (InSb)

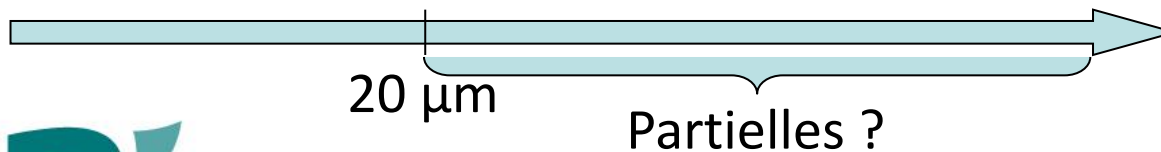
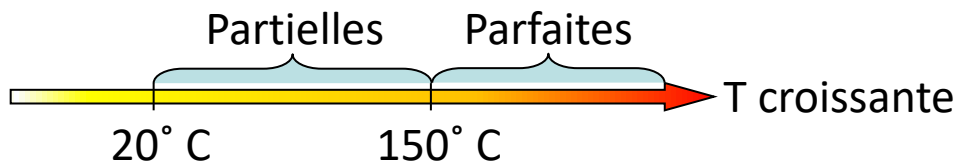
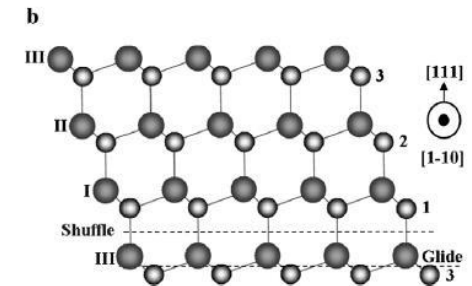
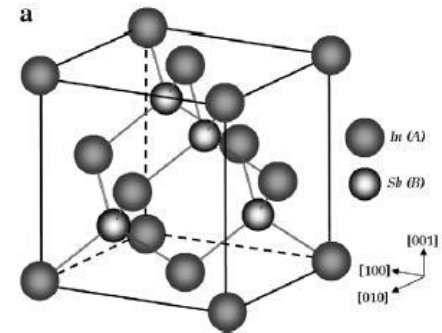
- Structure zinc-blende
- 2 types de plans de glissement
 - Glide
 - Shuffle



Contexte de l'étude

Cas de l'antimoniure d'indium (InSb)

- Structure zinc-blende
- 2 types de plans de glissement
 - Glide
 - Shuffle



Diamètres
décroissants
T = 20°C

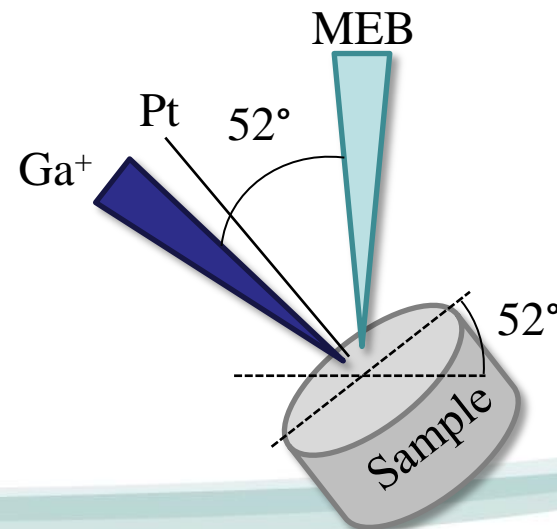
Sommaire

- Contexte de l'étude
- Fabrication des micro-piliers
- Micro-compressions *in-situ*
- Extraction de lames minces
- Conclusion et perspectives

Fabrication des micro-piliers

Le FIB

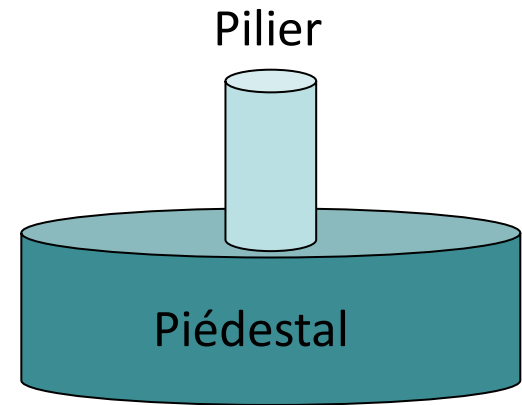
- Dual Beam
- Helios NanoLab G3 CX
 - Colonne électronique
 - Colonne ionique
- Ions Ga^+
- De 1 keV à 30 keV



Fabrication des micro-piliers

Le protocole expérimental

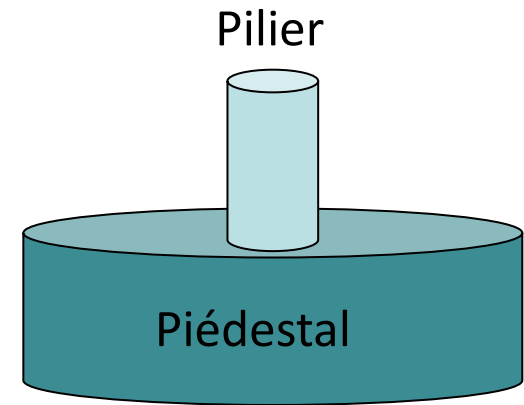
- 1 pilier sur un piédestal
- Rapport d'aspect $H/D=3$



Fabrication des micro-piliers

Le protocole expérimental

- Réaliser en bord d'échantillon
 - Permet d'ajuster la hauteur
 - Permet de retirer le platine
 - Rend le sommet bien plan

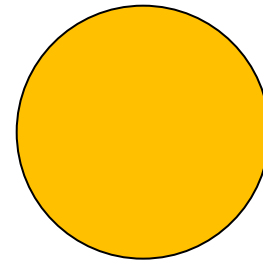


Fabrication des micro-piliers

Le protocole expérimental

- Gravure à 90°
- Dépôt de Pt

Top view

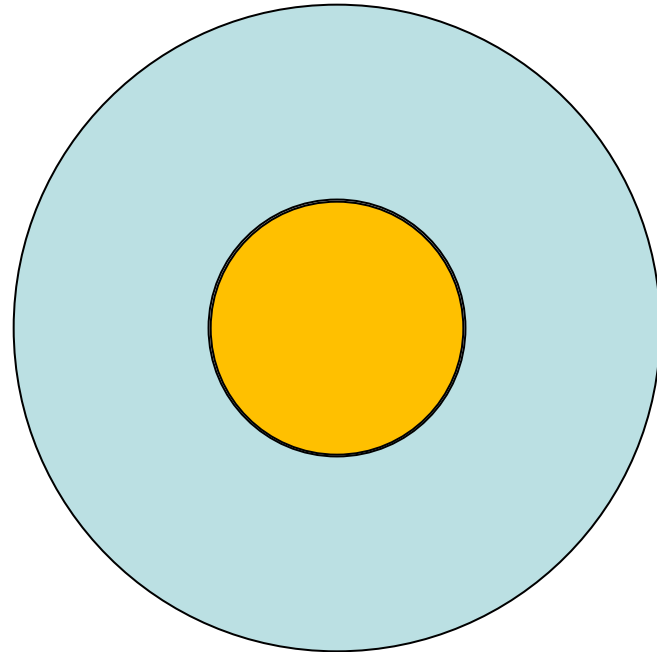


Fabrication des micro-piliers

Le protocole expérimental

- Gravure à 90°
- Dépôt de Pt
- 2 anneaux
 - 1^{er} à 9 nA

Top view

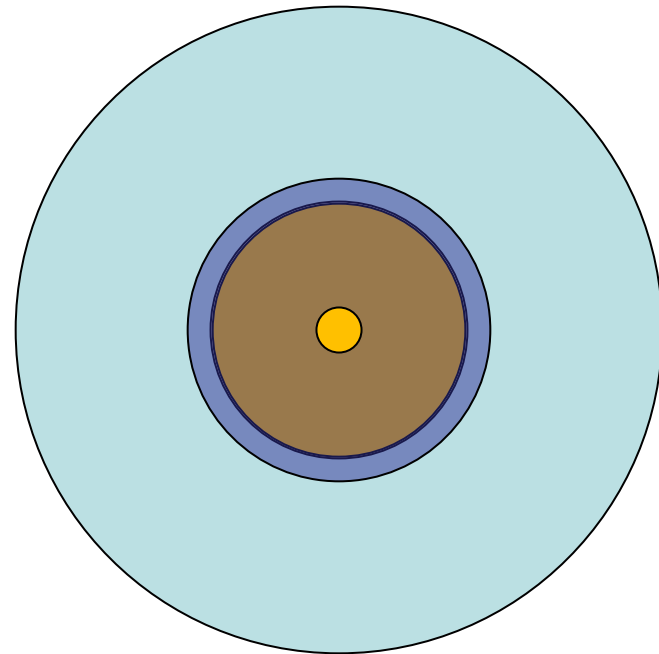


Fabrication des micro-piliers

Le protocole expérimental

- Gravure à 90°
- Dépôt de PT
- 2 anneaux
 - 1^{er} à 9 nA
 - 2^{ème} à 80 pA

Top view

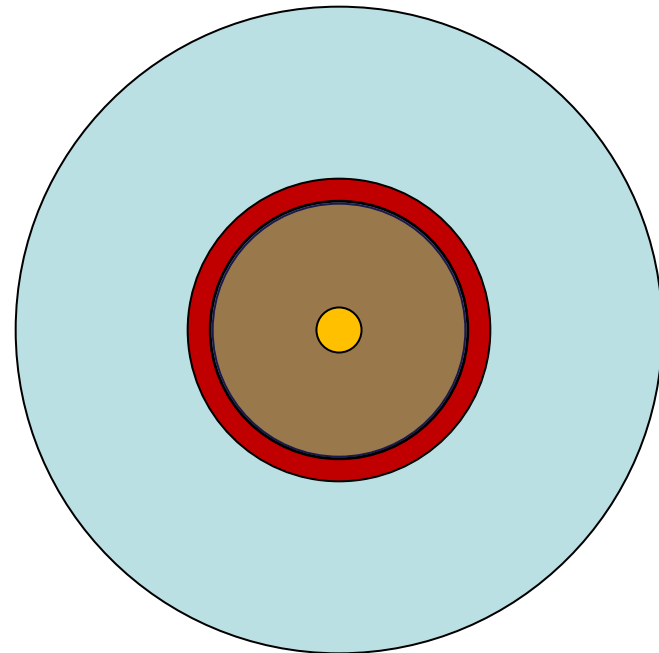


Fabrication des micro-piliers

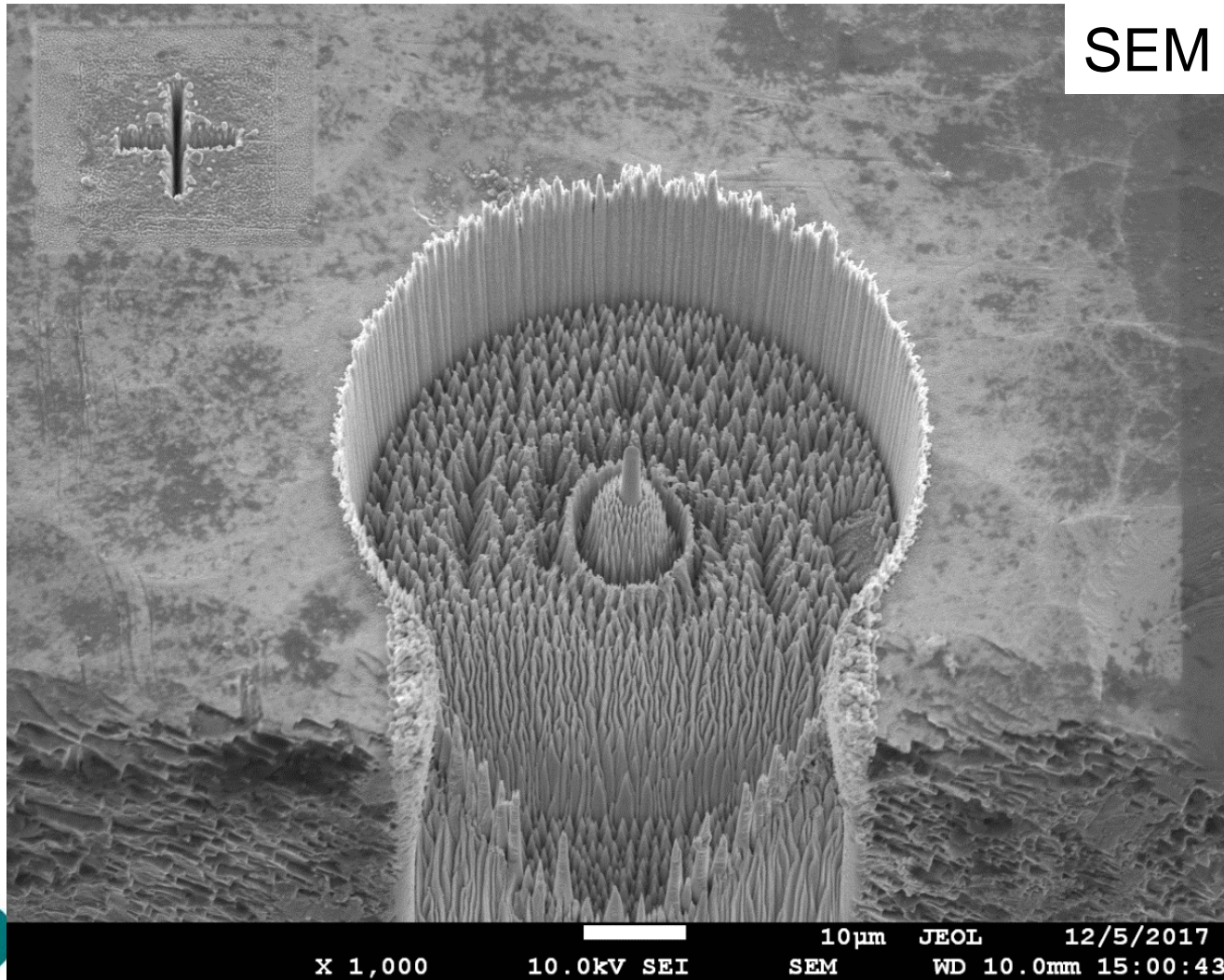
Le protocole expérimental

- Gravure à 90°
- 2 anneaux
 - 1^{er} à 9 nA
 - 2^{ème} à 80 pA
- Recouvrement
 - Evite les effets de « mur »

Top view



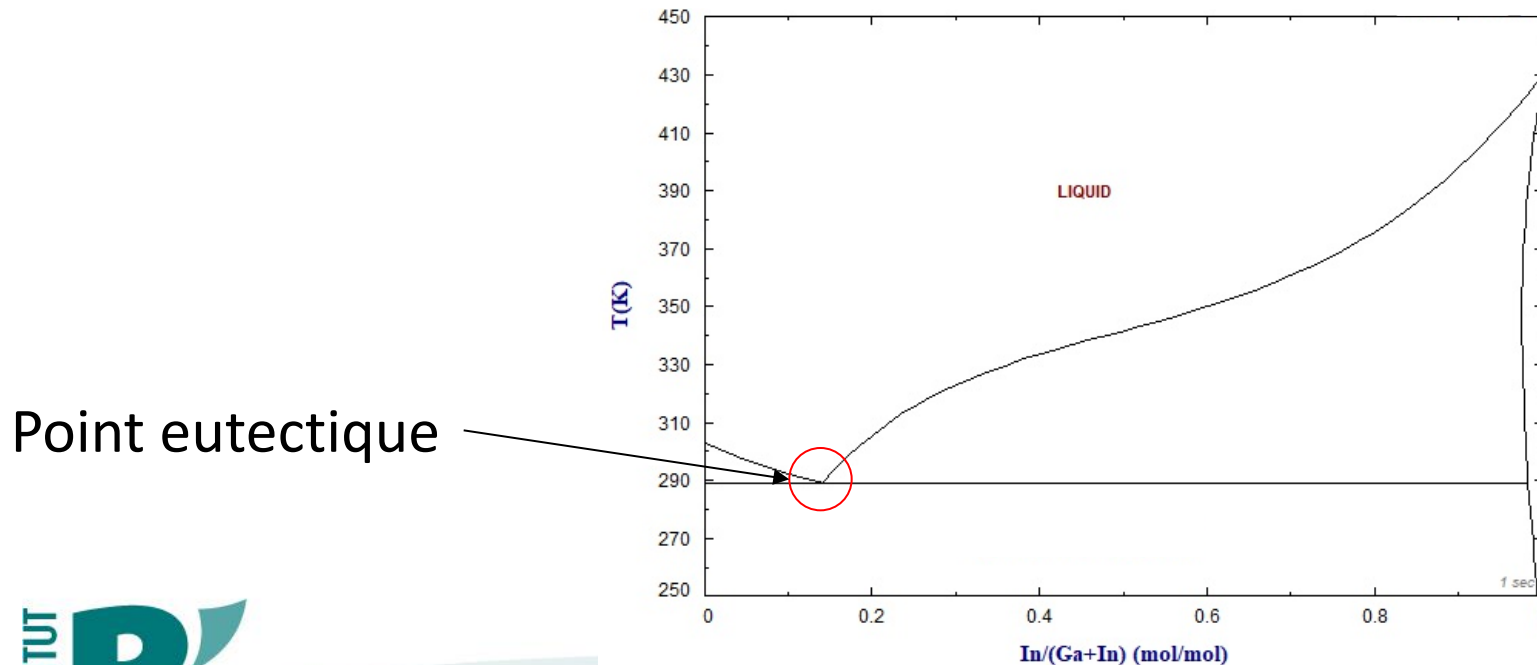
Fabrication des micro-piliers



Fabrication des micro-piliers

Réaction entre le gallium et l'indium

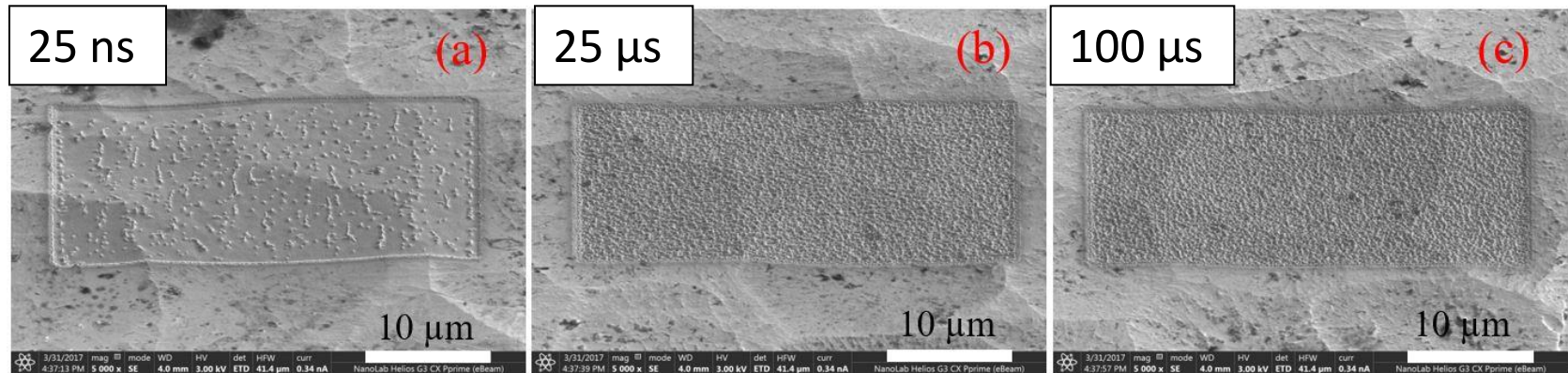
- Température ambiante



Fabrication des micro-piliers

Réaction entre le gallium et l'indium

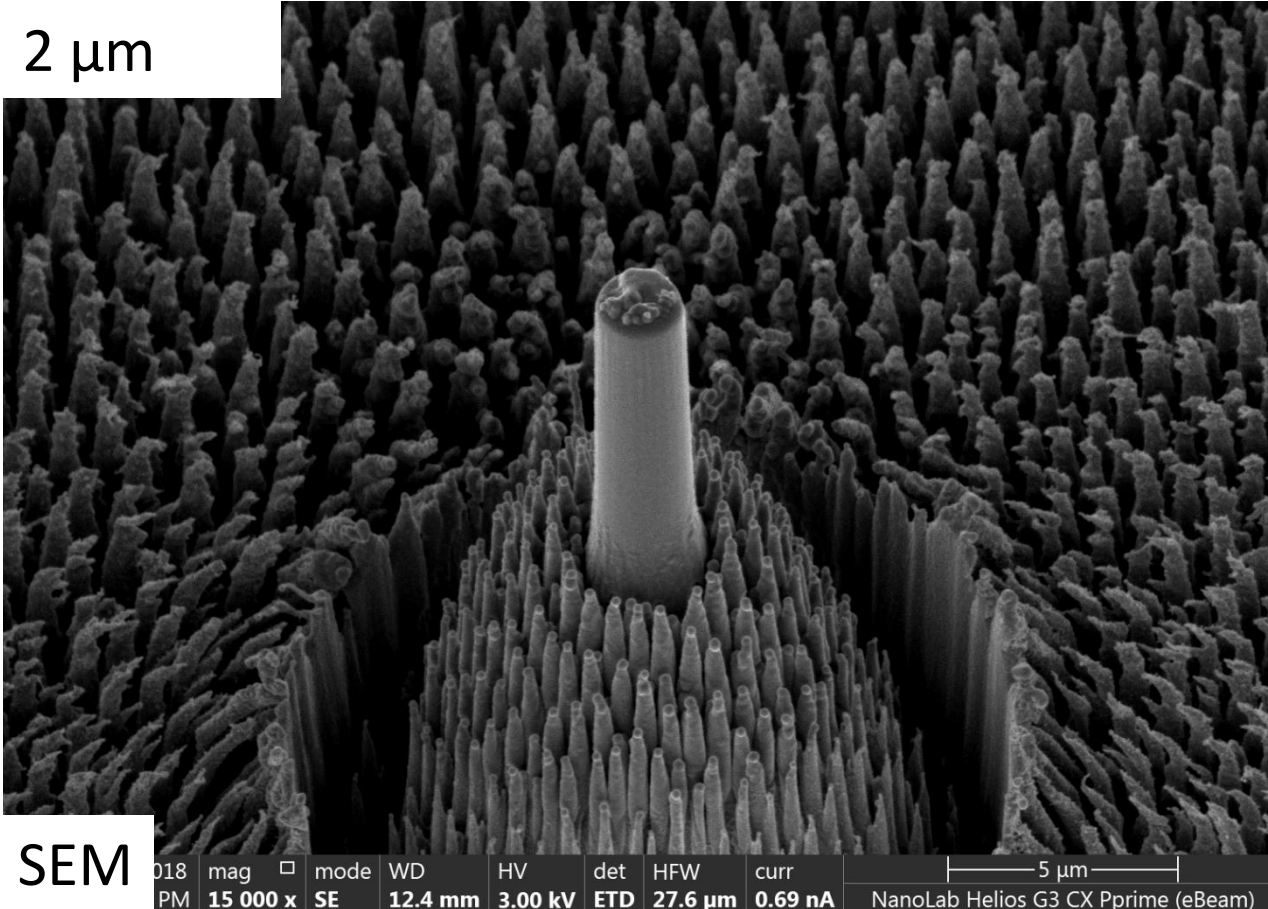
- Le Dwell Time



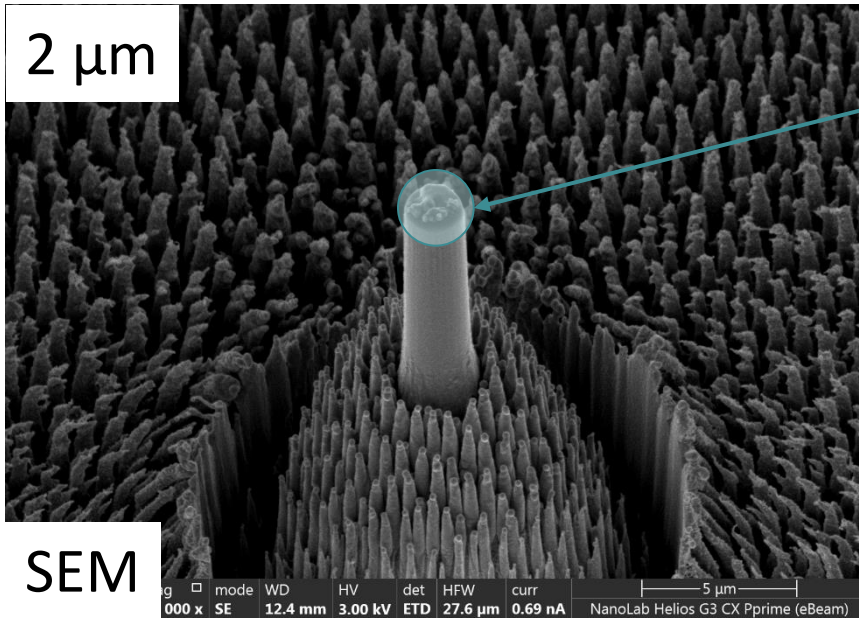
Dégradation moins importante de la surface pour 25 ns

Fabrication des micro-piliers

2 μm

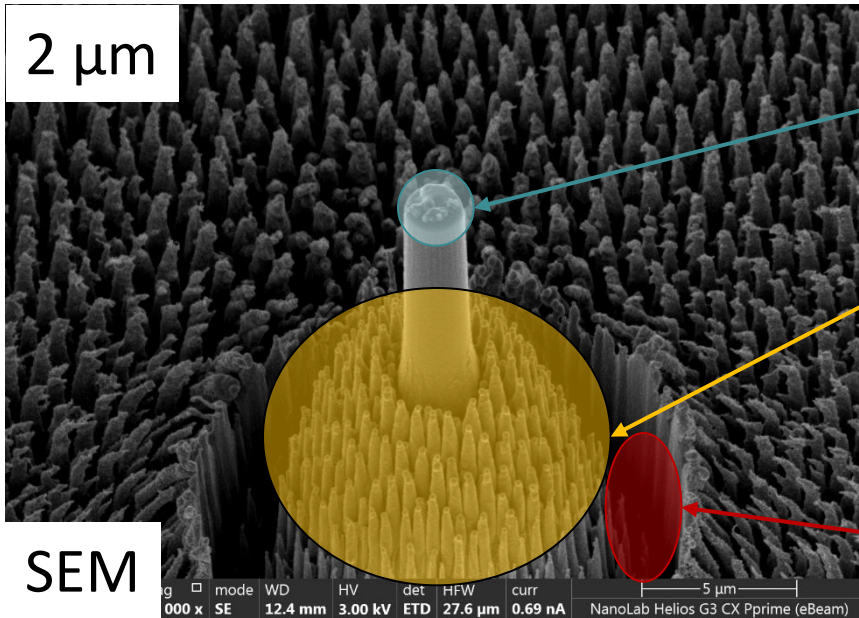


Fabrication des micro-piliers



Redépôt important au sommet

Fabrication des micro-piliers

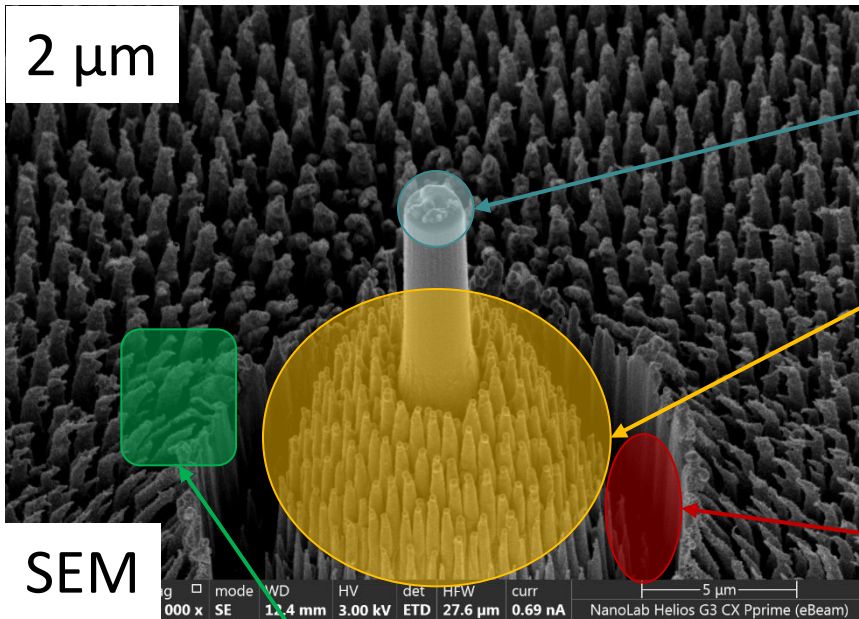


Redépôt important au sommet

Piédestal

Surcreusement lié au recouvrement

Fabrication des micro-piliers



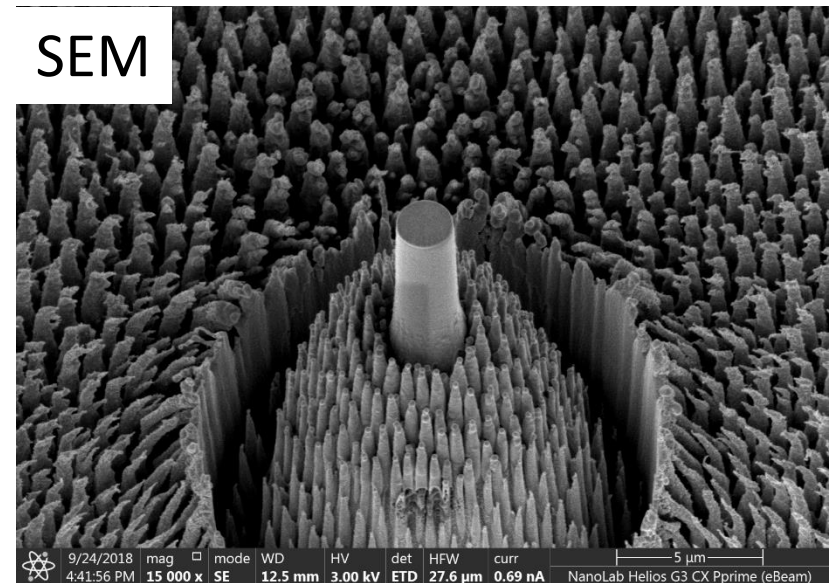
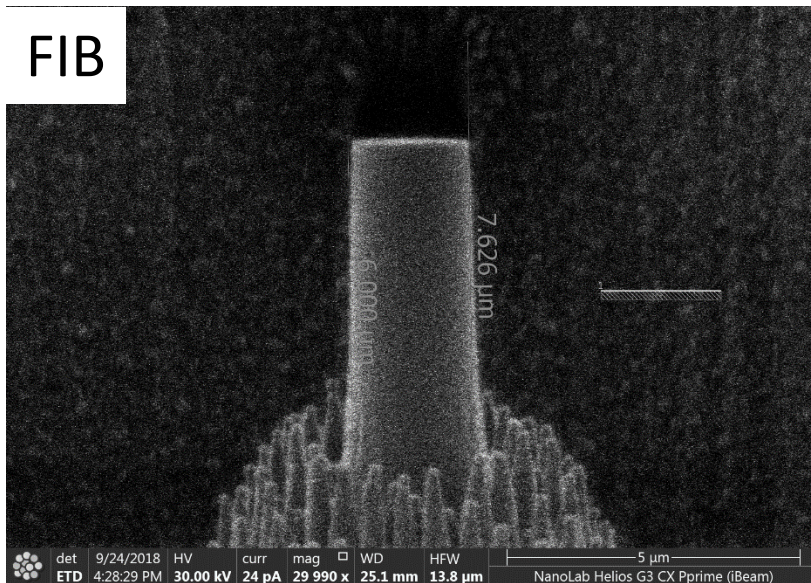
Redépôt important au sommet

Piédestal

Surcreusement lié au recouvrement

Dépôt – microstructure coloniale résultant de la réaction Ga-In

Fabrication des micro-piliers

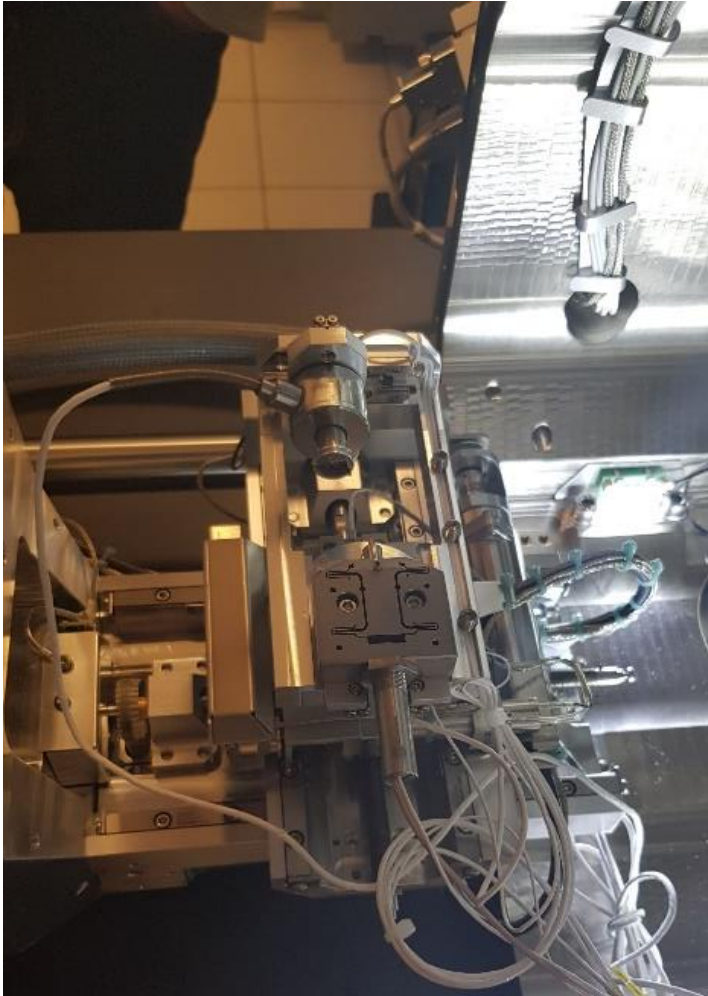


Sommaire

- Contexte de l'étude
- Fabrication des micro-piliers
- **Micro-compressions *in-situ***
- Extraction de lames minces
- Conclusion et perspectives

Micro-compression *in-situ*

- Nanoindenteur *in-situ* Alemnis

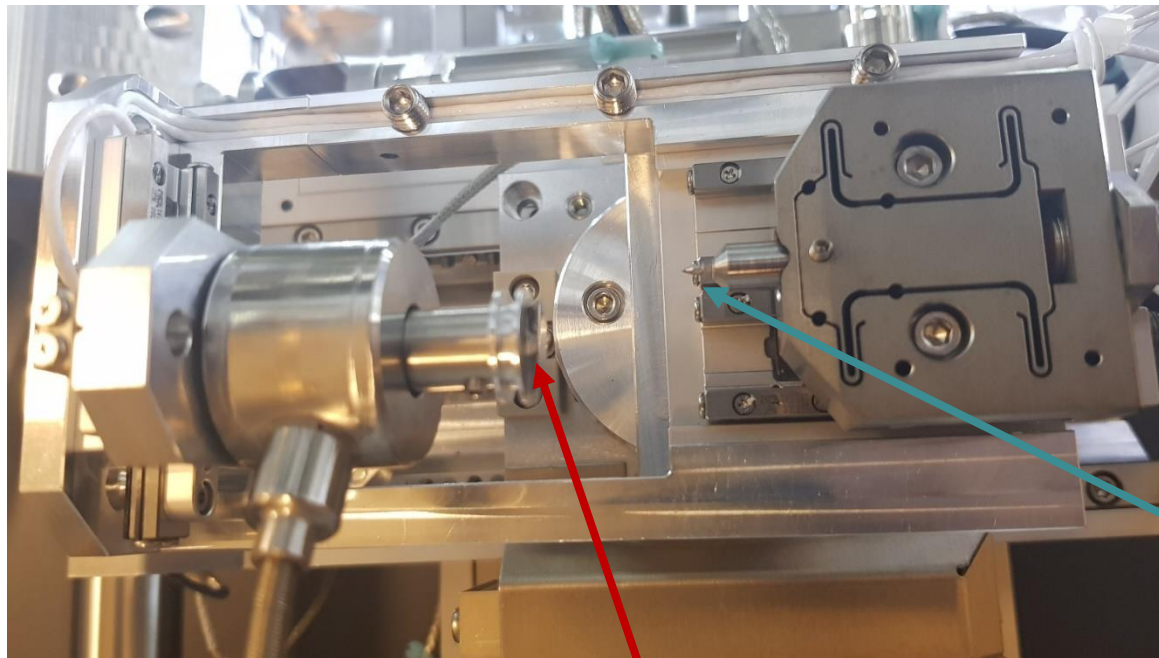


Données techniques :

- Dimensions : 163 X 65 X 57 mm
- Pointes : poinçon plat, Berkovich
- Force maximale : 0,5 N
- Pilotage en force ou déplacement imposé

Micro-compression *in-situ*

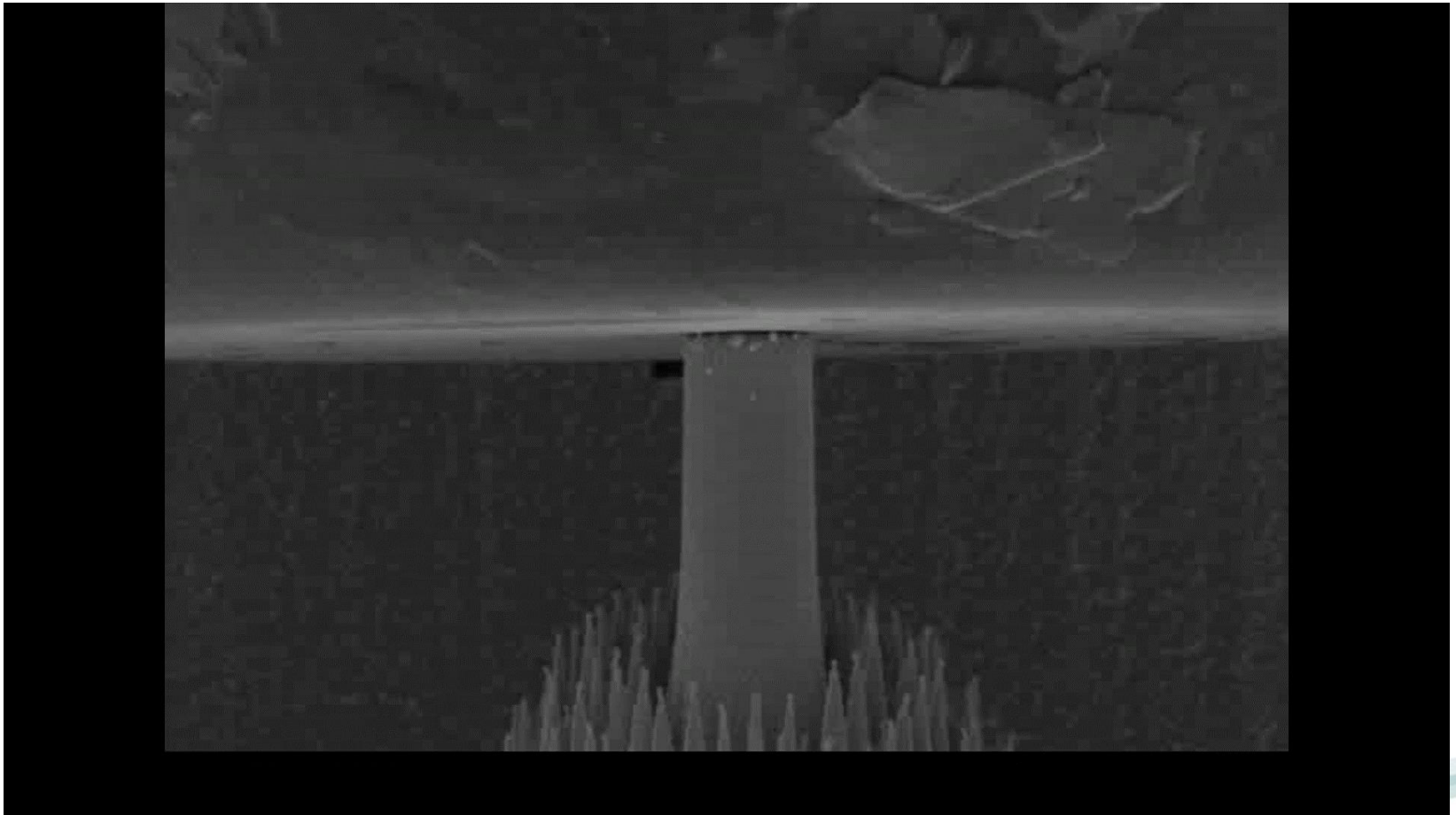
- Nanoindenteur *in-situ* Alemnis



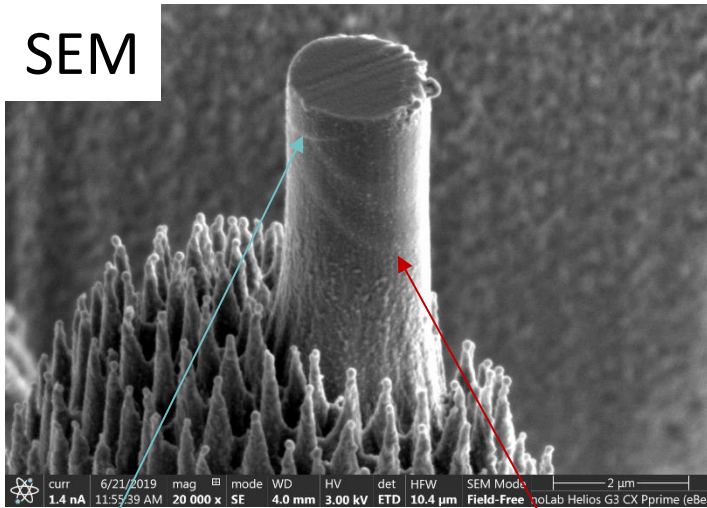
Echantillon

Poinçon plat

Micro-compression *in-situ*

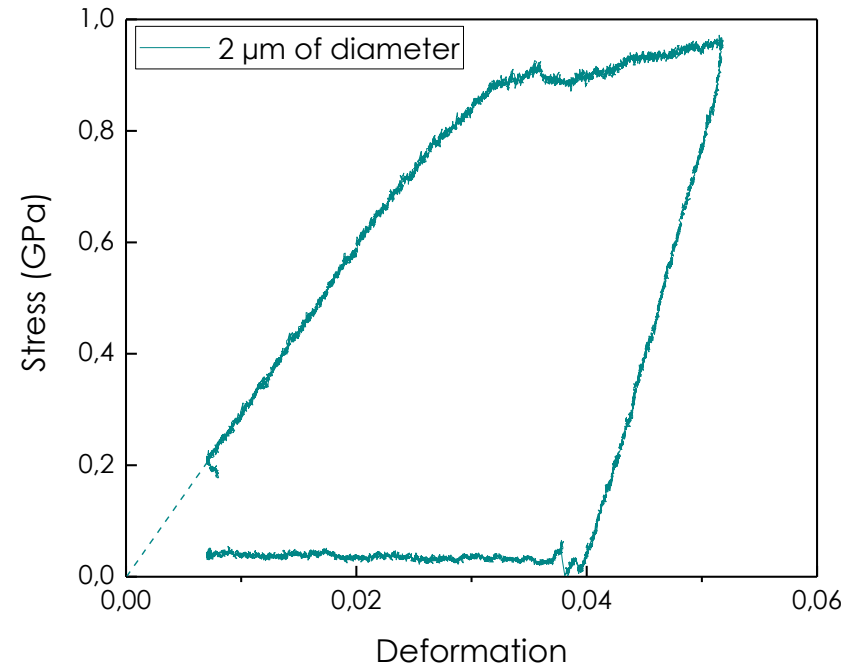


Micro-compression *in-situ*



Système de glissement secondaire

Système de glissement primaire



Sommaire

- Contexte de l'étude
- Fabrication des micro-piliers
- Micro-compressions *in-situ*
- **Extraction de lames minces**
- Conclusion et perspectives

Extraction de lames minces

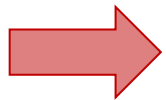
Objectifs

- Observer les défauts induits et les caractériser

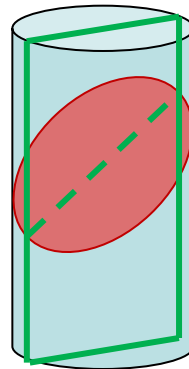
Extraction de lames minces

Objectifs

- Observer les défauts induits et les caractériser



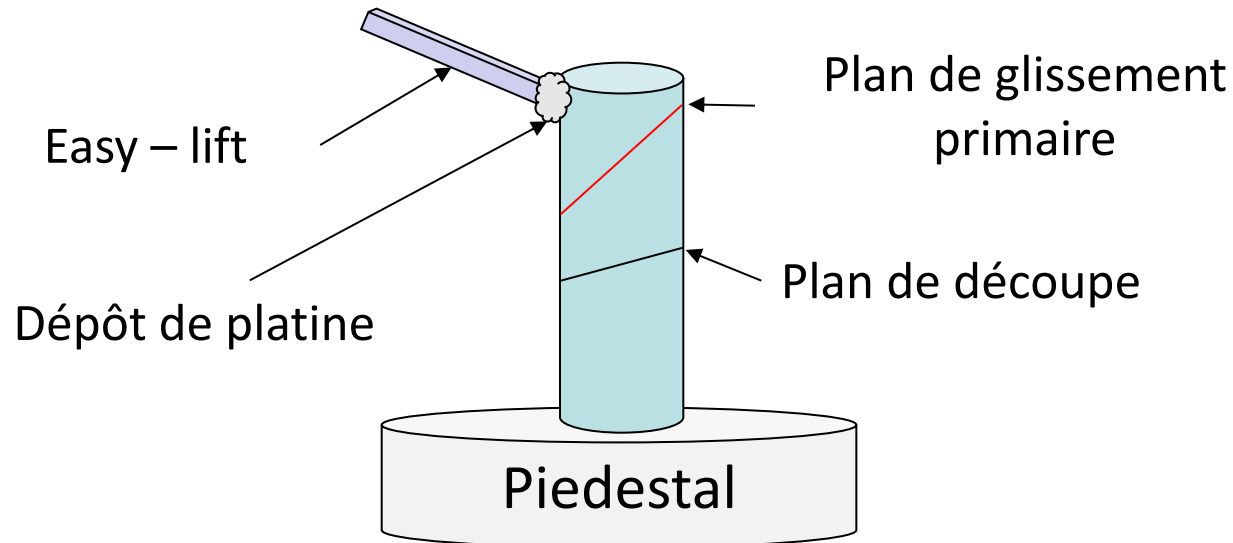
Réalisation d'une lame au sein d'un pilier d'InSb



Extraction de lames minces

Protocole expérimental

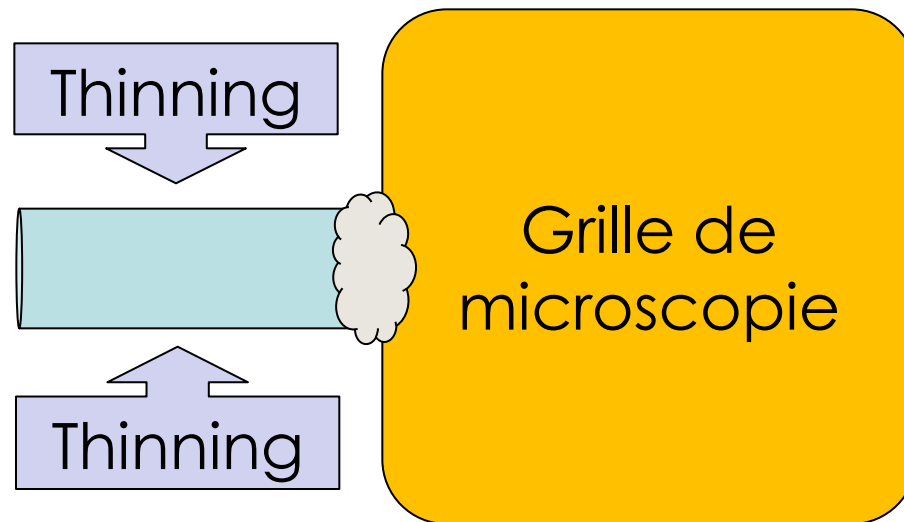
- Etape 1 : extraction du pilier



Extraction de lames minces

Protocole expérimental

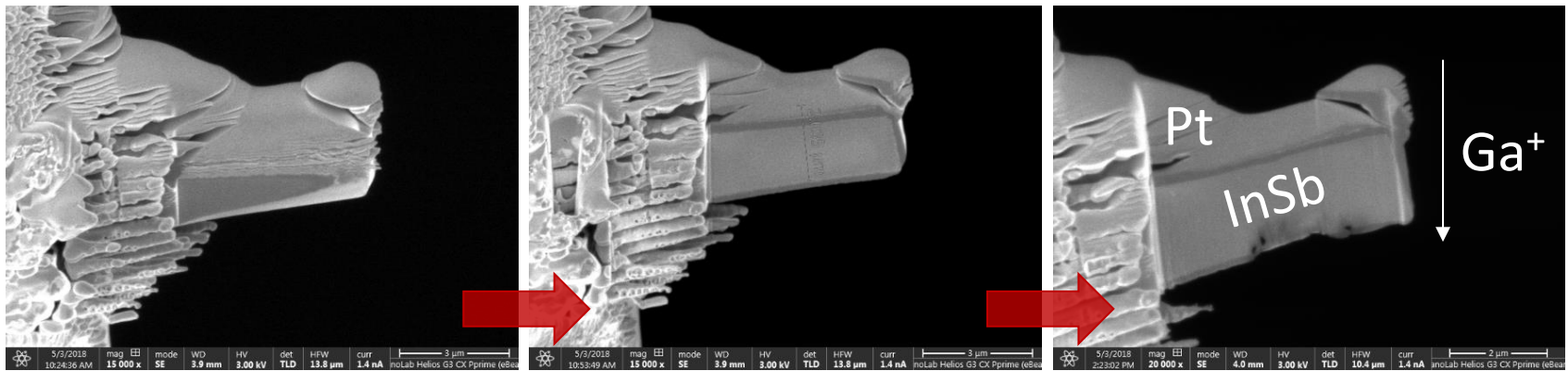
- Etape 2 : collage sur la grille et amincissement



Extraction de lames minces

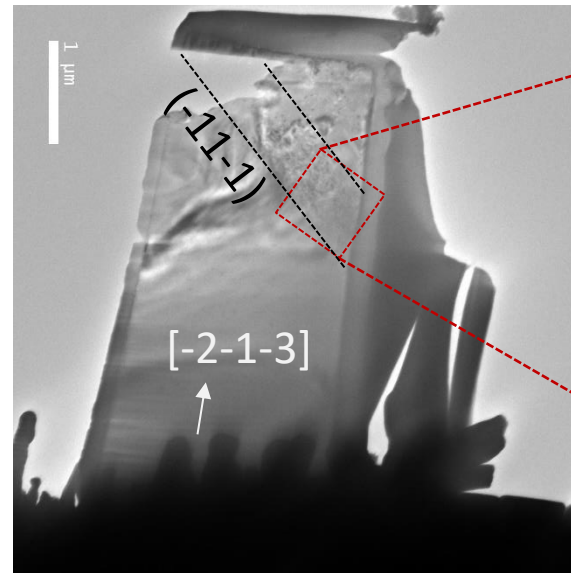
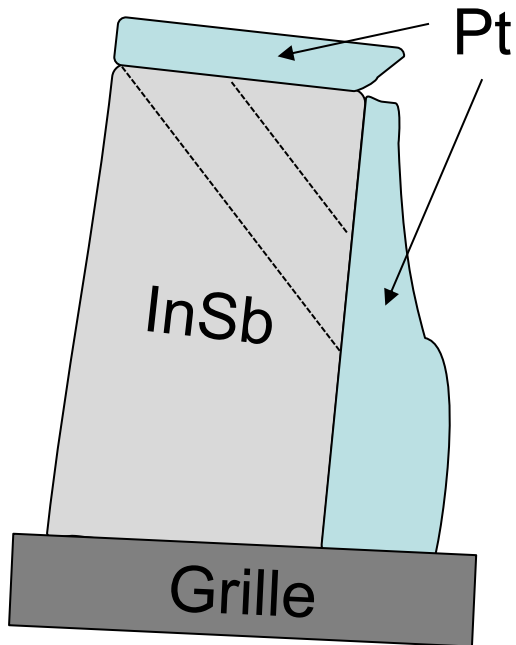
Protocole expérimental

- Résultat (images SEM)

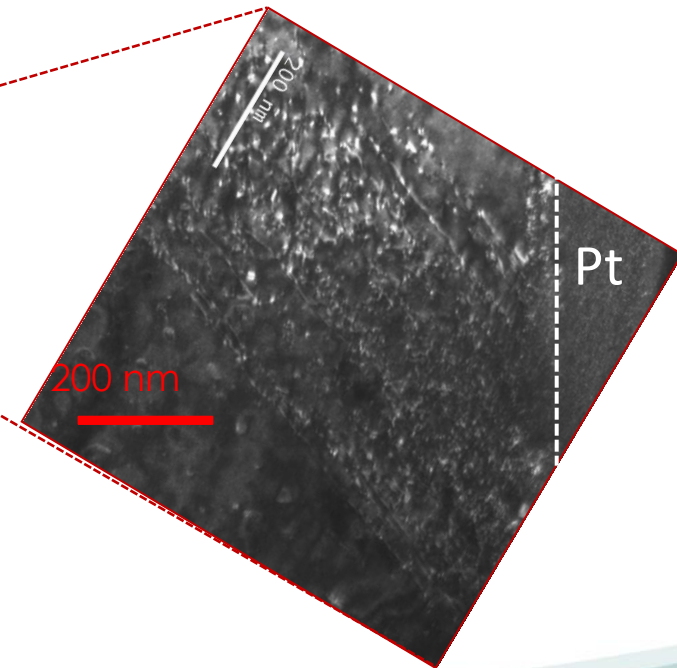


Extraction de lames minces

- Résultat : analyse MET



Champ clair



Champ sombre

Sommaire

- Contexte de l'étude
- Fabrication des micro-piliers
- Micro-compressions *in-situ*
- Extraction de lames minces
- Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion

- FIB indispensable pour cette étude
 - Permet la fabrication des échantillons
 - Permet l'extraction de lames minces
- Compression *in-situ*
 - Observation *in-situ* des mécanismes de déformation
 - Enregistrement des données mécaniques

Conclusion et perspectives

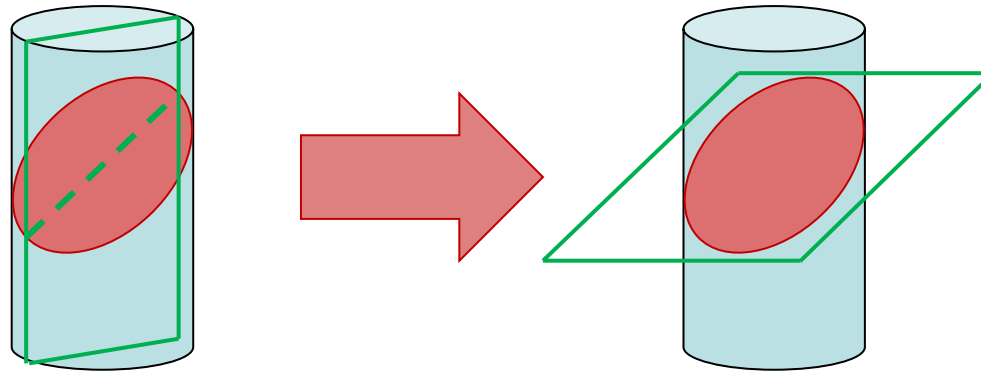
Perspectives

- Réaliser des micro-compressions
 - Faire varier la vitesse de déformation
 - Augmenter le diamètre
 - Avec d'autres matériaux (Si et GaN)

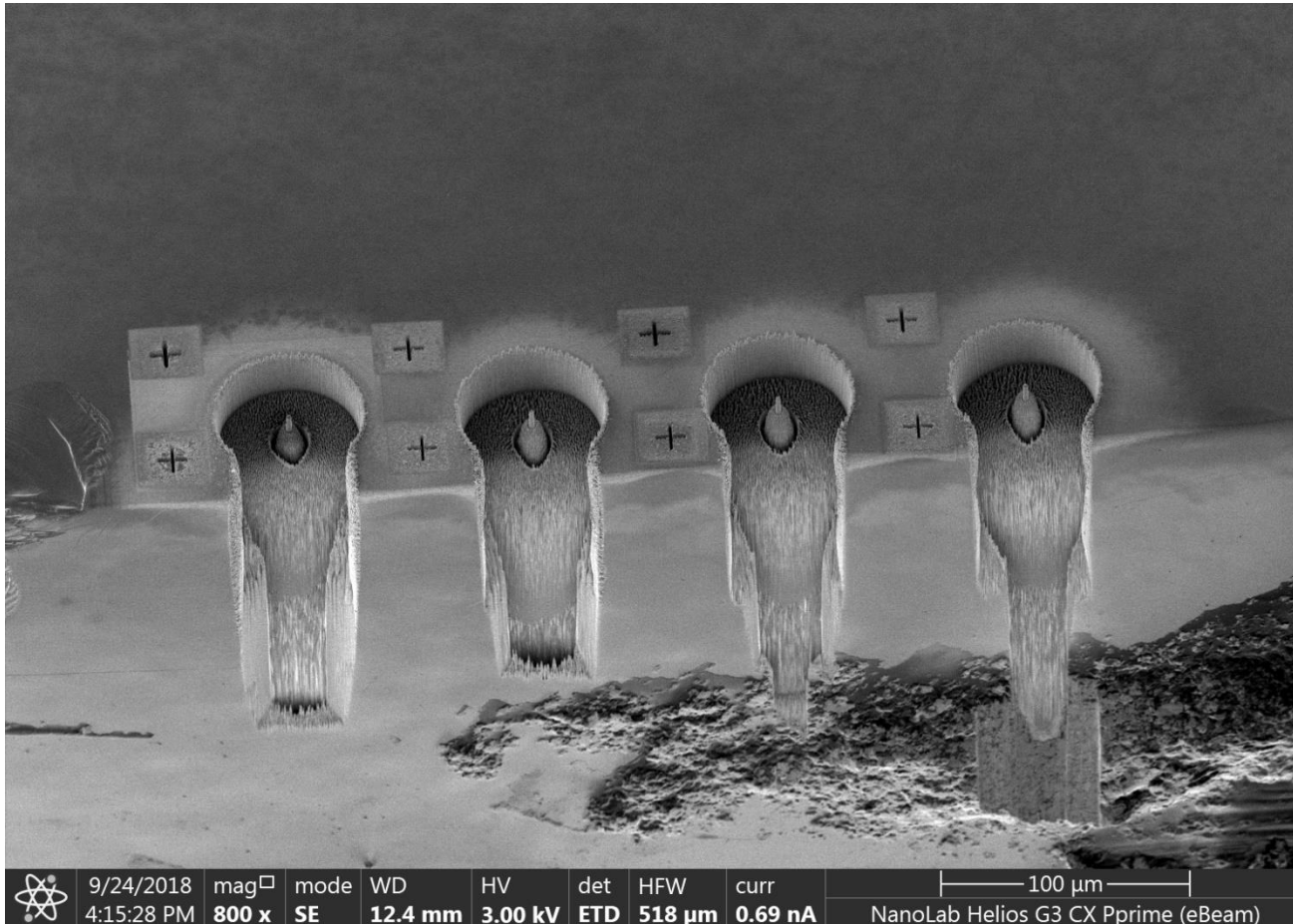
Conclusion et perspectives

Perspectives

- Réduction de la réaction Ga-In
- Réalisation de lames MET le long du plan de glissement primaire



Fabrication des micro-piliers



Micro-compression *in-situ*

