



ECOLE D'ÉTÉ GN-MEBA

Bordeaux 3-7 juillet 2017

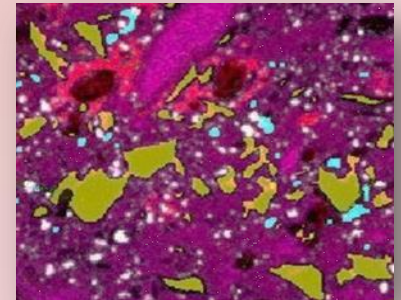
C16

Microscopie Electronique à
Balayage et Microanalyses

MICROSCOPIE DOUBLE COLONNE MEB-FIB

Emmanuel CADEL

GPM
Université de Rouen



Le MEB-FIB un micro-laboratoire

Système d'injection de gaz

Colonne MEB

Colonne FIB

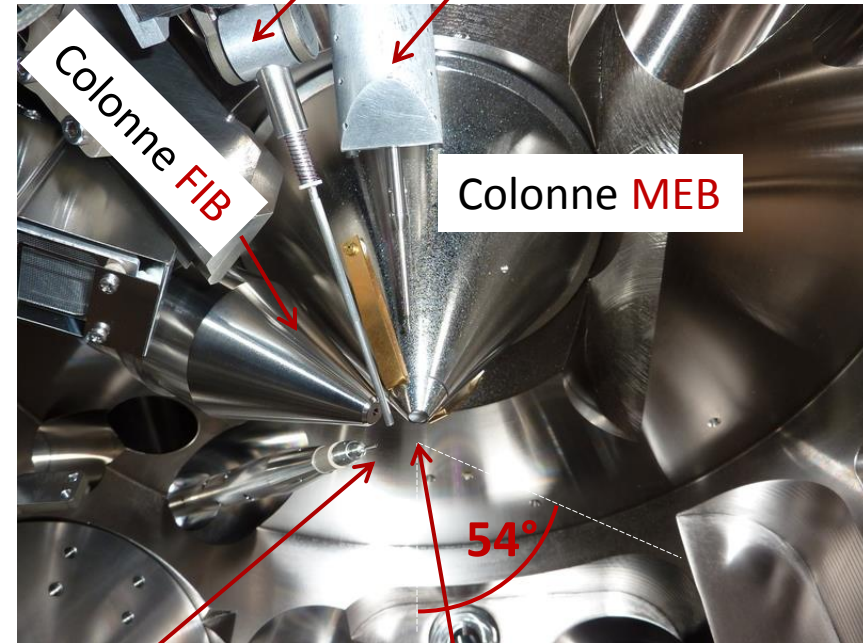
micromanipulateur

tilt 54°

Platine motorisée

Point de coïncidence
des faisceaux MEB et FIB
WD (MEB) = 5 mm

Micromanipulateur OP400
et Kleindiek MM3A



Système d'injection de gaz
monoGIS (Pt) Orsay Physics

Point de coïncidence
MEB - FIB

Comparatif MEB vs FIB

Particle	FIB	SEM	Ratio
Type	Ga ⁺ ion	Electron	
Elementary charge	+1	-1	
Particle size	0.2 nm	0.00001 nm	<u>20 000</u>
Mass	1.2×10^{-25} kg	9.1×10^{-31} kg	<u>130 000</u>
Velocity at 30 kV	2.8×10^5 m/s	1.0×10^8 m/s	0.0028
Velocity at 2 kV	7.3×10^4 m/s	2.6×10^7 m/s	0.0028
Velocity at 1 kV	5.2×10^4 m/s	1.8×10^7 m/s	0.0028
Momentum at 30 kV	3.4×10^{-20} kgm/s	9.1×10^{-23} kgm/s	<u>370</u>
Momentum at 2 kV	8.8×10^{-21} kgm/s	2.4×10^{-23} kgm/s	370
Momentum at 1 kV	6.2×10^{-21} kgm/s	1.6×10^{-23} kgm/s	370
Beam			
Size	nm range	nm range	~
Energy	up to 30 kV	up to 30 kV	~
Current	pA to nA range	pA to μ A range	~
Penetration depth			
In polymer at 30 kV	60 nm	12000 nm	0.005
In polymer at 2 kV	12 nm	100 nm	0.12
In iron at 30 kV	20 nm	1800 nm	0.11
In iron at 2 kV	4 nm	25 nm	0.16
Average signal per 100 particles at 20 kV			
Secondary electrons	100–200	50–75	1.33–4.0
Backscattered electron	0	30–50	0
Substrate atom	500	0	infinite
Secondary ion	30	0	infinite
X-ray	0	0.7	0

www.gel.usherbrooke.ca/casino



www.srim.org



Solutions commerciales MEB-FIB



FEI - Hélios Nanolab G4



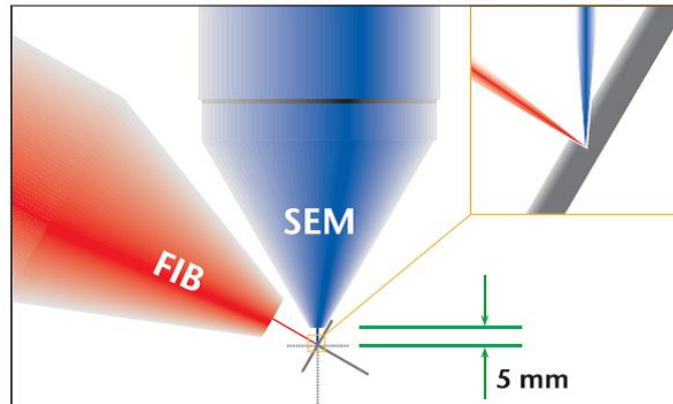
JEOL - JIB 4700F



HITACHI - NB5000

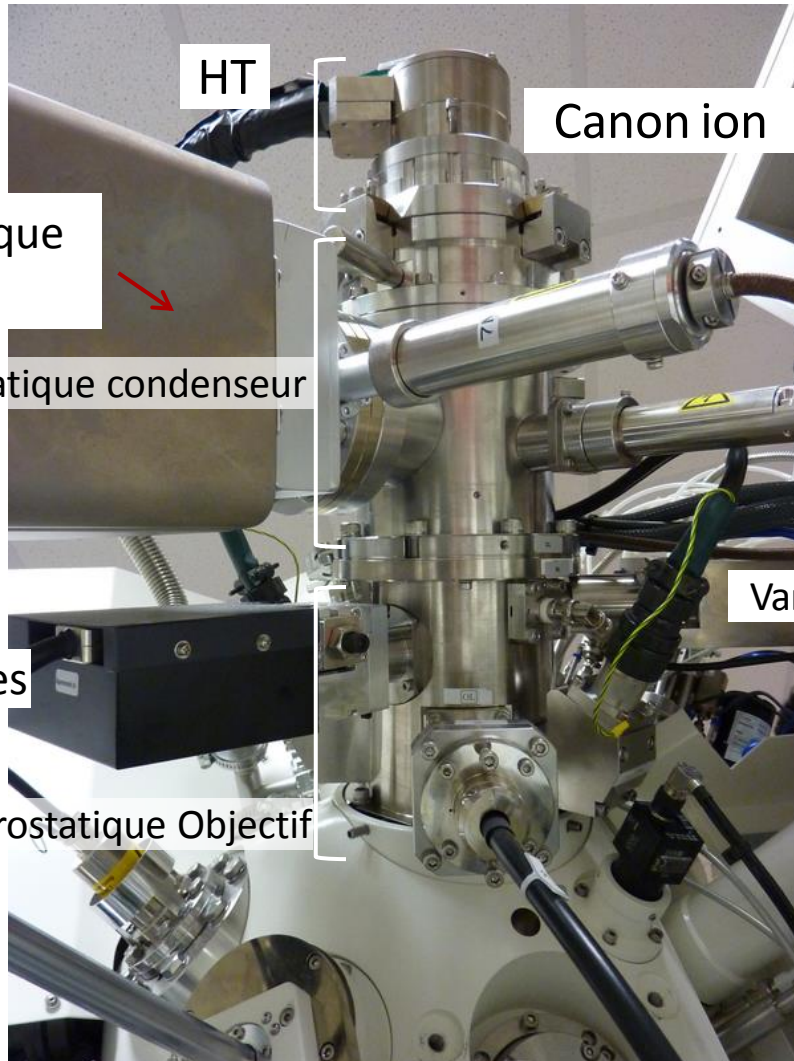


TESCAN - GAIA3

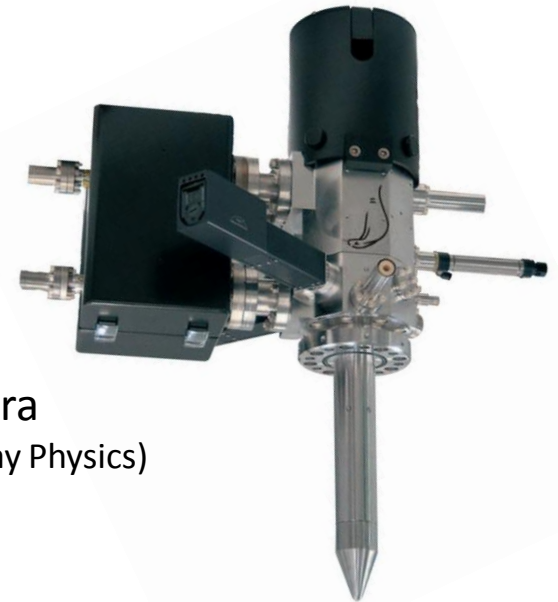


ZEISS - XB550

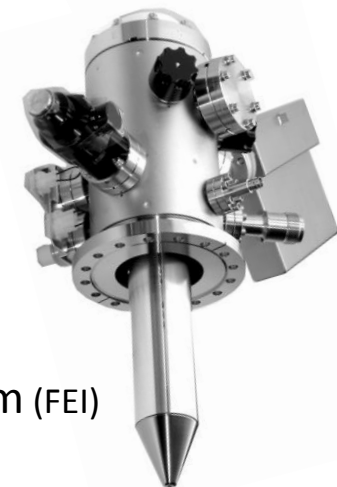
La colonne FIB dans son ensemble



Colonne ZETA – SII – NVISION 40 ZEISS



Cobra
(Orsay Physics)

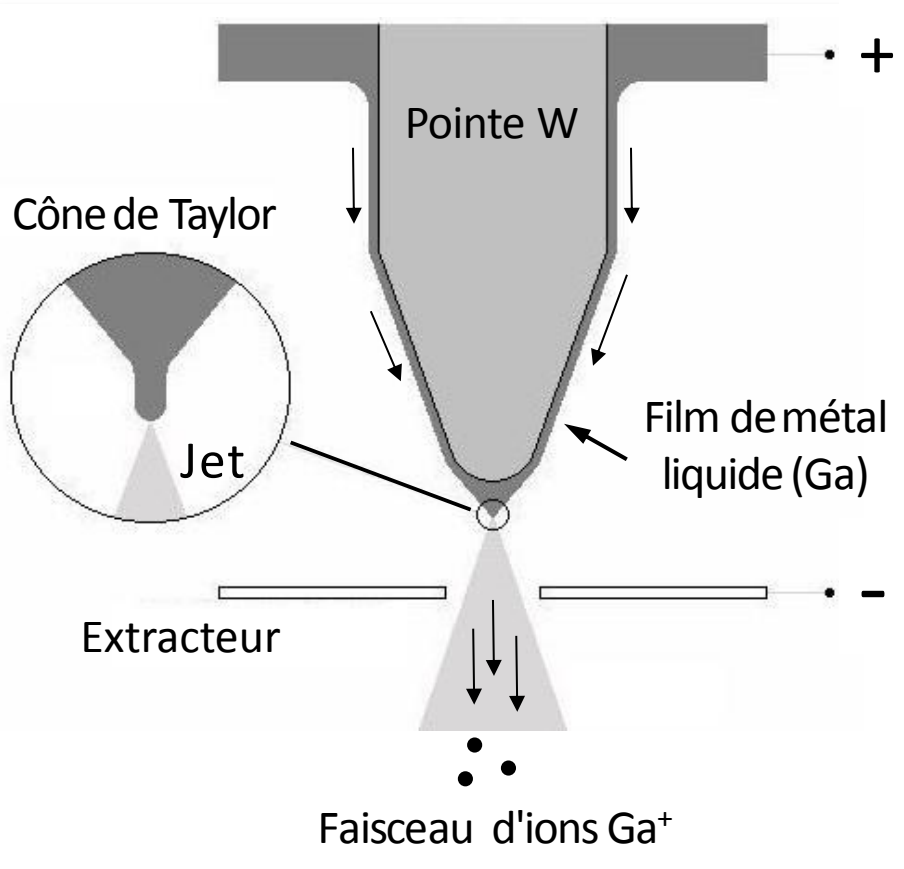


Magnum (FEI)

Principe d'émission des ions dans une source LMIS

source ionique créée à partir d'un métal à l'état liquide

LMIS = Liquid Metal Ion Source – le Gallium en « standard »



- C'est une source à émission de champ comparable aux émetteurs électroniques (FEG)
- Sous champ électrique (extracteur), le Gallium liquide forme un cône de « Gilbert-Taylor »
- Lorsque le champ électrique atteint 10 V/nm à l'extrémité du cône, il y a évaporation par effet de champ d'ions Ga⁺

Tension d'extraction fixe (< 10 kV)

Courant d'émission standard = 2 μ A
régulé par une tension « supresseur »

Taille de la source apparente \approx 50 nm

Formation du cône de Taylor LMIS Gallium

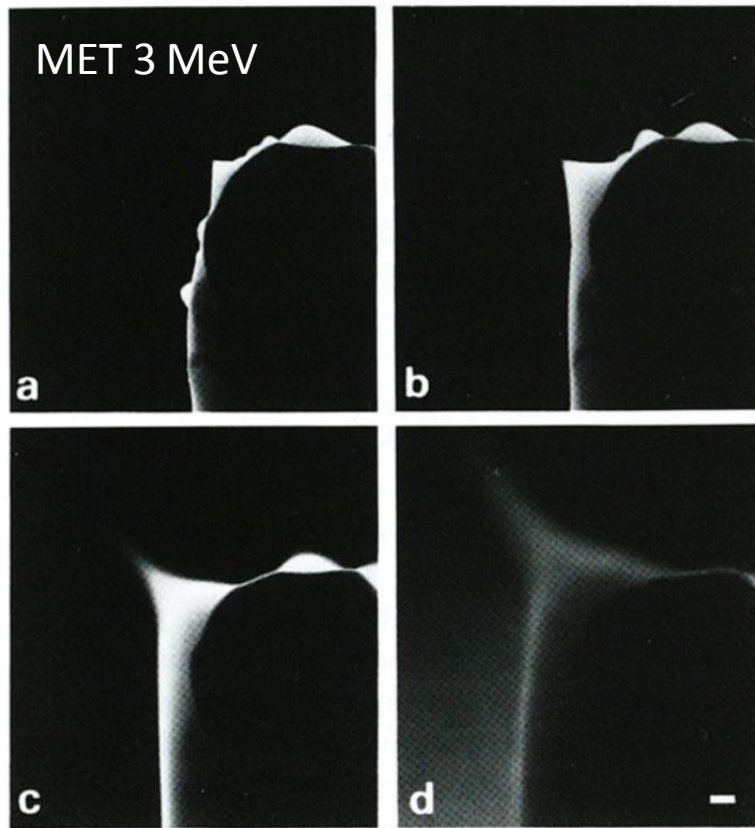


Fig. 3. High current emission regime showing the explosion of the Taylor cone extremity: (a) $I = 20 \mu\text{A}$, $V = 4.9 \text{ kV}$; (b) $I = 80 \mu\text{A}$, $V = 5.1 \text{ kV}$; (c) $I = 100 \mu\text{A}$, $V = 5.4 \text{ kV}$; (d) $I > 100 \mu\text{A}$, $V = 5.6 \text{ kV}$. Marker represents 100 nm.

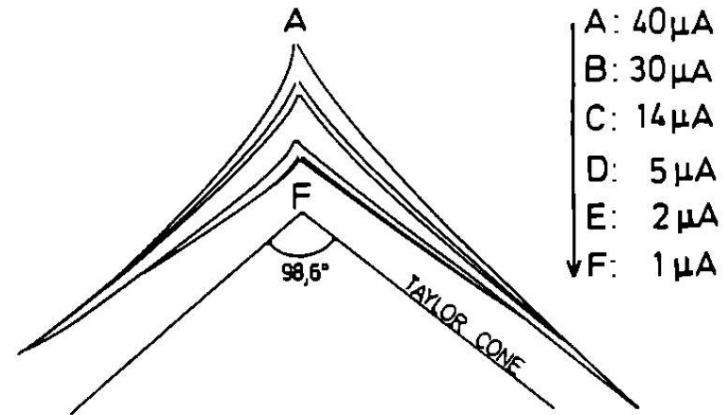
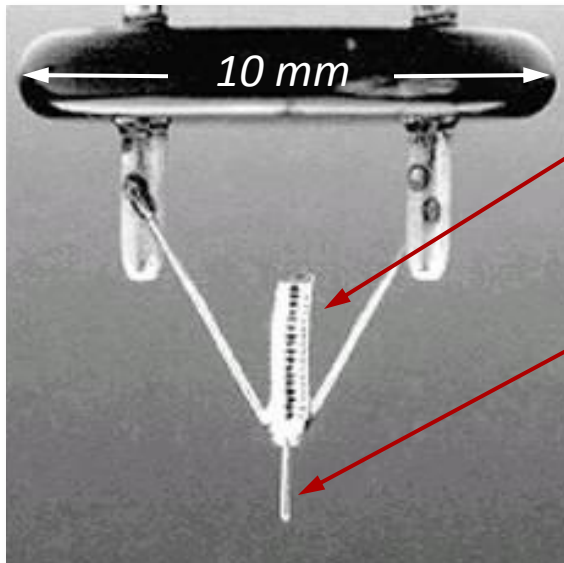
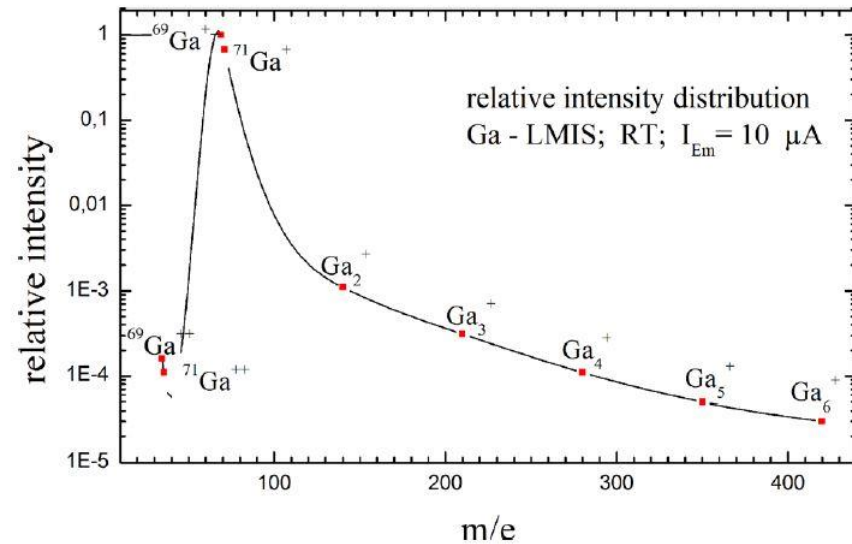


Fig. 5. Evolution of the cusp profile, as a function of the ion current, compared with the Taylor cone.

... pour en savoir plus : *In situ high voltage tem observation of an electrohydrodynamic (EHD) ion source Ultramicroscopy, Volume 16, Issue 1, 1985, Pages 1-8 - G. Benassayag. P. Sudraud*

Pourquoi le Gallium comme source LMIS ?

- Température de fusion basse : $T_f = 29.8 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pression de vapeur saturante faible
- Faiblement réactif chimiquement en particulier avec la pointe W
- Production d'ions : Rapport $\text{Ga}^{2+}/\text{Ga}^+ = 10^{-4}$
- Ion Ga^+ est un ion lourd, $M_{\text{atomique}} = 69.7 \text{ g.mol}^{-1}$
rendement de pulvérisation important

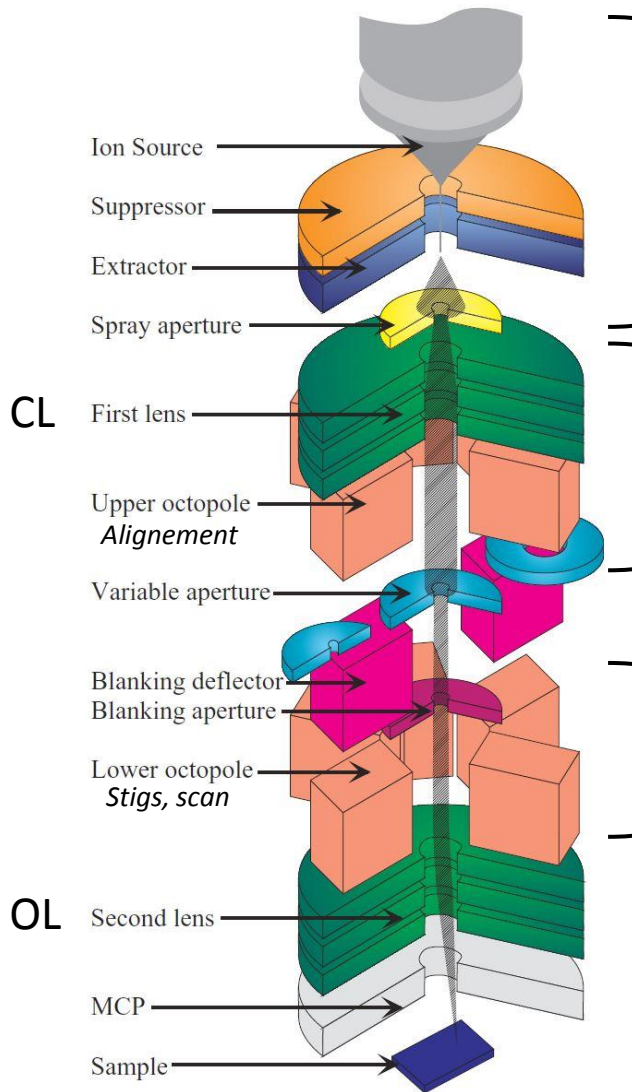


Bobine utile pour le chauffage (si la pointe n'émet plus d'ions Gallium) et sert de réservoir de Gallium (maintenu dans la spirale par la tension de surface)

Aiguille en W : la surface est mouillée par le Gallium liquide
 $\varnothing 2 - 5 \text{ } \mu\text{m}$

durée de vie de la source = 1500 h garantie

Design d'une colonne ionique



La colonne doit être équipée de dispositifs permettant de :

- Générer et réguler un courant d'émission de 2 μA
- Ajuster la tension d'accélération de 0.5 kV à 30 kV
- Ajuster le courant ionique du pA au nA
- Optique ionique : lentille électrostatique Condenseur (CL) et Objectif (OL)
- Déviation rapide du faisceau (beam blanker électrostat.)
- Balayer une surface définie : déflecteurs (Octopole) avant la lentille finale (Objectif).
- Corriger les aberrations : stigmatiseurs (Octopole)

Aberration de sphéricité

Les diaphragmes limitent cette aberration

Aberration de diffraction

négligeable dans le cas d'un faisceau d'ions

$$d_{\text{diffraction}} = 1.22 \lambda / \alpha \left[\begin{array}{l} \lambda_{\text{Ga}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ nm à } 30 \text{ kV} \\ d_{\text{Gallium}} = 0.0025 \text{ nm} \end{array} \right.$$

Les diaphragmes (ouvertures)

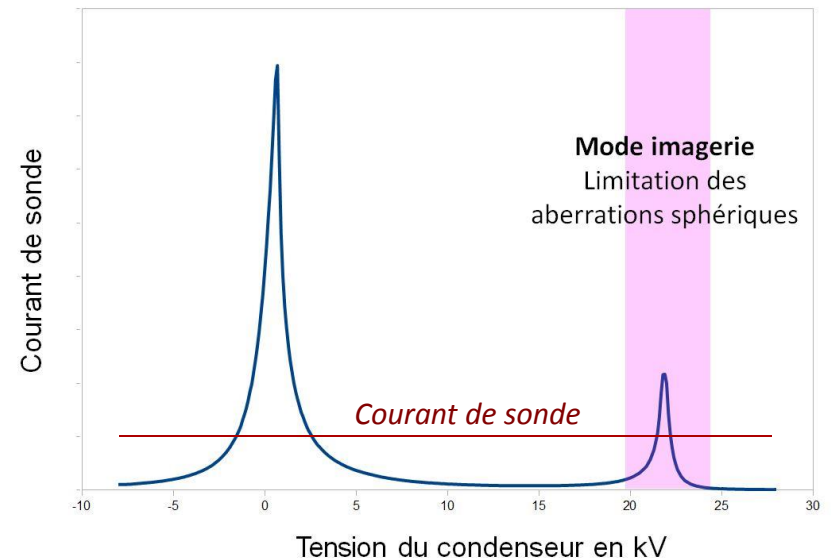
Deux fonctions principales :

- **Limitation des aberrations** : Le diaphragme sert ici à limiter spatialement le faisceau, afin que les ions restent proches de l'axe de propagation.
- **Sélectionner le courant du faisceau ionique** : Le diaphragme placé sur le parcours du faisceau d'ions, limite son intensité et la taille de la sonde.
- Le courant de sonde sur l'échantillon est défini par le **couple Diaphragme - Condenseur** .

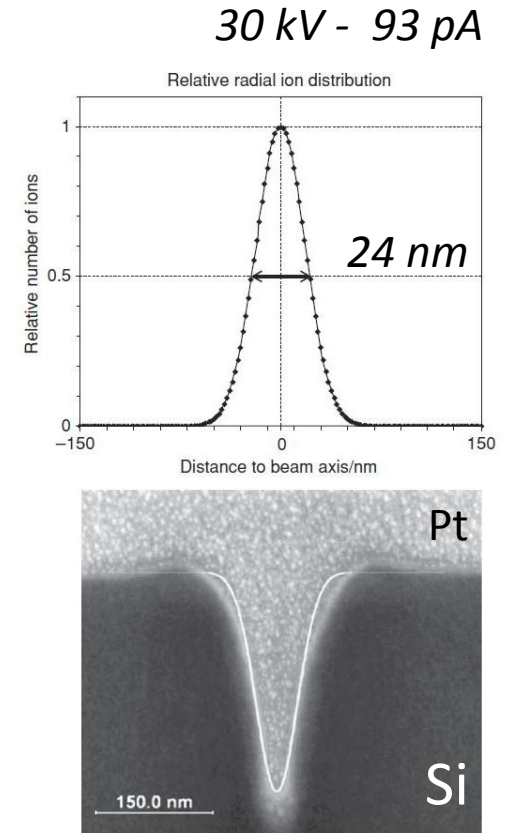
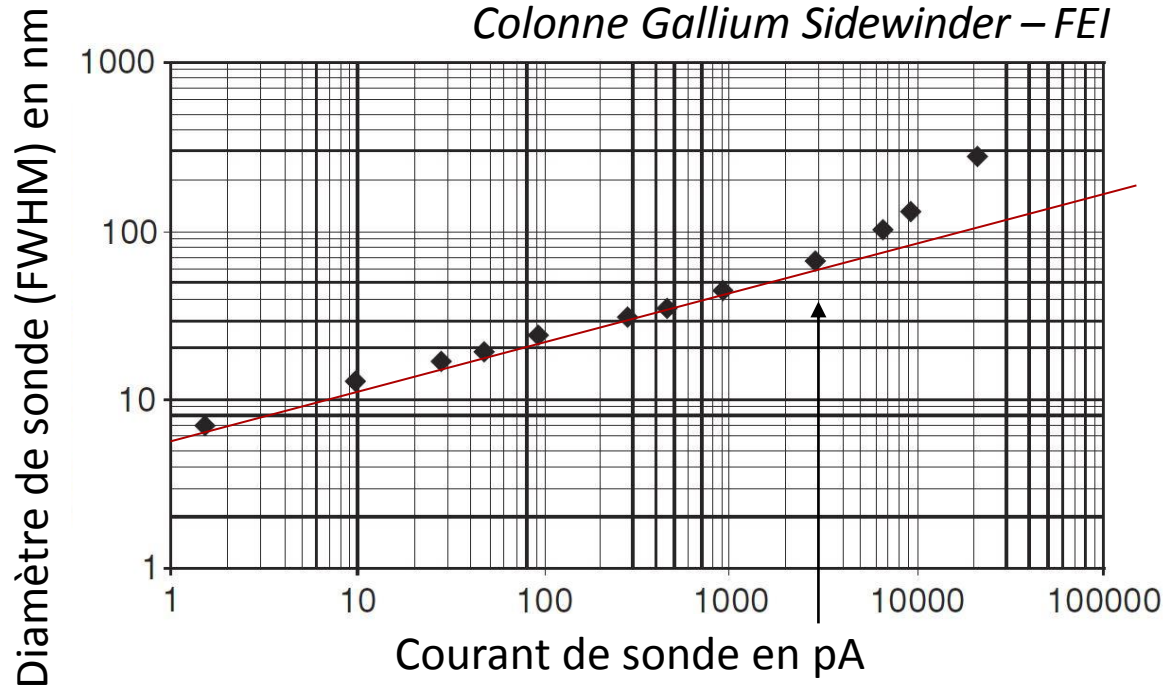
à 30 kV, pour un diaphragme : évolution du courant sur l'échantillon en fonction du condenseur (kV)



*Barrette de diaphragmes :
trous de 20 μm à 900 μm*



Courant, diamètre et profil du faisceau FIB



← faibles courants

Taille de sonde petite
Gain en résolution
2.5 nm à 1 pA (30 kV)

→ forts courants

Taille de sonde devient très grande
Perte de la résolution
Limite actuelle (FIB Ga) : 100 nA

Notion de dose (ions / cm²)

Table 2-2: The current settings of the Quanta 200 at 30 keV and the corresponding beam diameters (FWHM) (FEI 2004)

Current (pA)	Beam Diameter (nm)	Current Density (A/cm ²)	Ion Flux (ion/s/cm ²)
1	7	2.60	1.62E+19
10	12	8.84	5.52E+19
30	16	14.92	9.31E+19
50	19	17.63	1.10E+20
100	23	24.07	1.50E+20
300	33	35.08	2.19E+20
500	39	41.86	2.61E+20
1000	50	50.93	3.18E+20
3000	81	58.22	3.63E+20
5000	110	52.61	3.28E+20
7000	141	44.83	2.80E+20
20000	423	14.23	8.88E+19

- La charge d'un ion Ga⁺ = 1*charge élémentaire = 1.6 10⁻¹⁹ Cb, 1 Cb = 1 A.s donc on trouve :

6.25 10¹⁸ particules chargées / sec dans un faisceau de 1 A,
~ 10¹⁰ particules / s dans un faisceau de 1 nA,
~ 10⁷ particules / s dans un faisceau de 1 pA.

Pour un faisceau Ga⁺ de 1 nA (Ø FWHM 50 nm) ⇔ 1nA sur une « surface faisceau » de 2 10⁻¹¹ cm² soit ~ 51 A/cm² ⇒

$$\text{Flux d'ions (1 nA – 50 nm)} = 3.18 \cdot 10^{20} \text{ ions / s / cm}^2$$

Ordres de grandeur :

Densité de sites atomiques sur une surface : (001) cubique simple (0.3 nm) ~ 10¹⁵ atomes / cm², une couche atomique ~ 0.3 nm.

Soit le rendement de pulvérisation Y = nombre d'atomes extraits / nombre d'ions Ga incidents

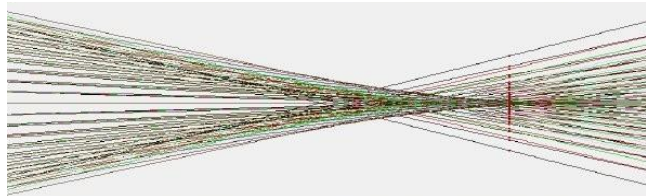
- si le faisceau de 1 nA est appliqué en 1 point (50 x 50 nm², Y=1) de la surface (001) pendant 1 ms, la profondeur atteinte est de 120 nm ! $(10^{10} * 10^{-3}) / (10^{15} * 2.5 \cdot 10^{-11}) * 0.3$

Optimisation du faisceau FIB à fort courant

Une défocalisation de quelques dizaines de volt permet d'avoir un meilleur profil du faisceau en abrasion au détriment de l'image

La focalisation (OL) peut être ajustée

Focalisé



Courant de 15 nA

Image résolue mais l'abrasion n'est pas optimale : les bords du motif ne sont pas nets.

Défocalisé de -60 V

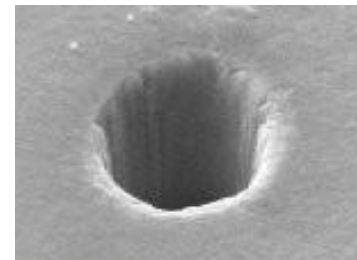
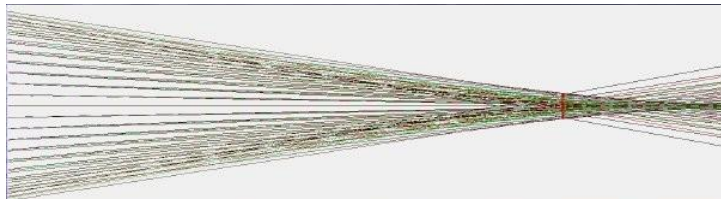
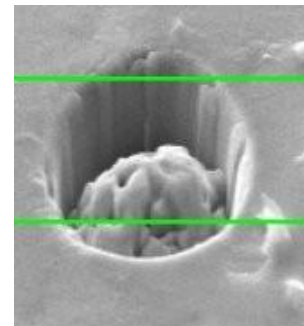
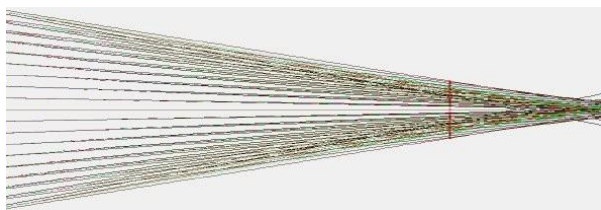


Image moins résolue mais l'abrasion est optimale : les bords du motif sont nets.

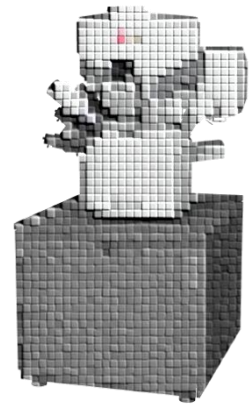
Défocalisé de -110 V



Dégradation de l'image et de l'abrasion.

Condition non optimale

Paramètres du faisceau d'ions



• Faisceau d'ions Gallium :

Intensité : 1pA à 100 nA \Rightarrow taille de la sonde de 6 nm (1 pA) à > 400nm (20 nA)

Dwell time (μ s, \uparrow pour les céramiques)

Tension d'accélération (30 kV - à basse tension perte de résolution / rendement)

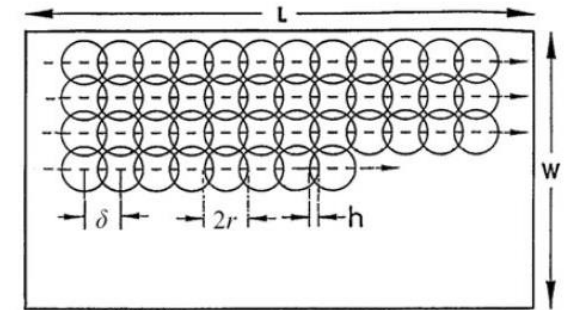
Temps total d'usinage (s)

• Paramètre de balayage (Pattern) :

Forme (rectangle, trapèze, anneau...) et dimensions (μ m)

Recouvrement du faisceau en % = $(2r - \delta) / 2r$

Mode de balayage (raster, serpentine, ...)



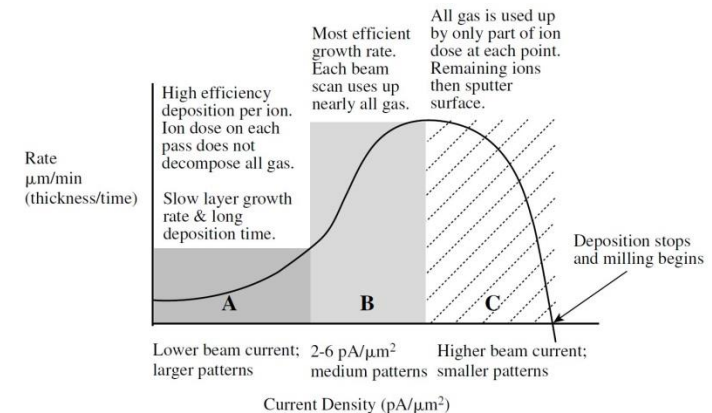
« Raster scanning mode »

Cas particuliers dépôts (GIS) C, Pt, W, SiO2... :

Courant de faisceau \sim aire de la surface $\times 5$ pA / μ m²

Beam overlap = 40 – 70 % !

Dwell time 0.4 μ s pour le C, 0.2 μ s pour le Pt



Gestion de la « redéposition » : stratégie de balayage

« multi pass » serpentine

« single pass » serpentine

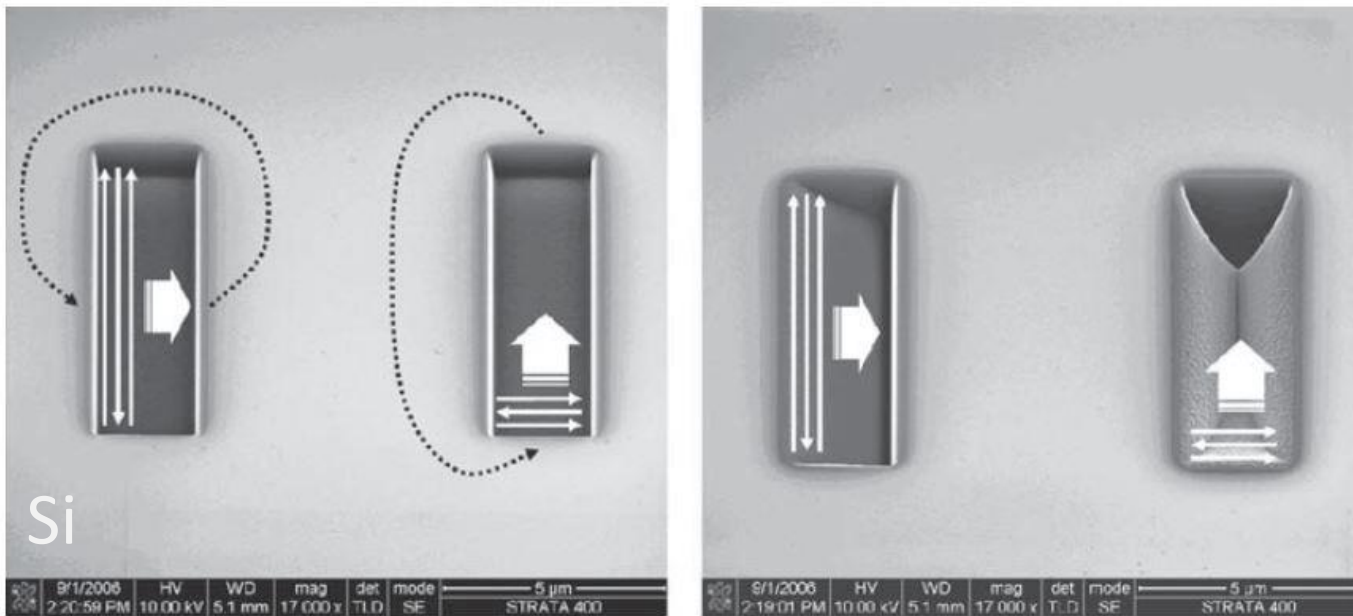
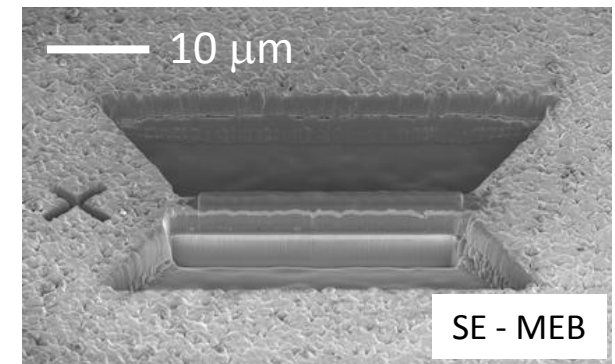
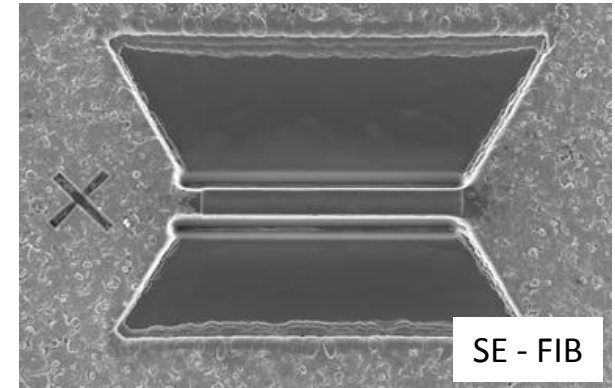
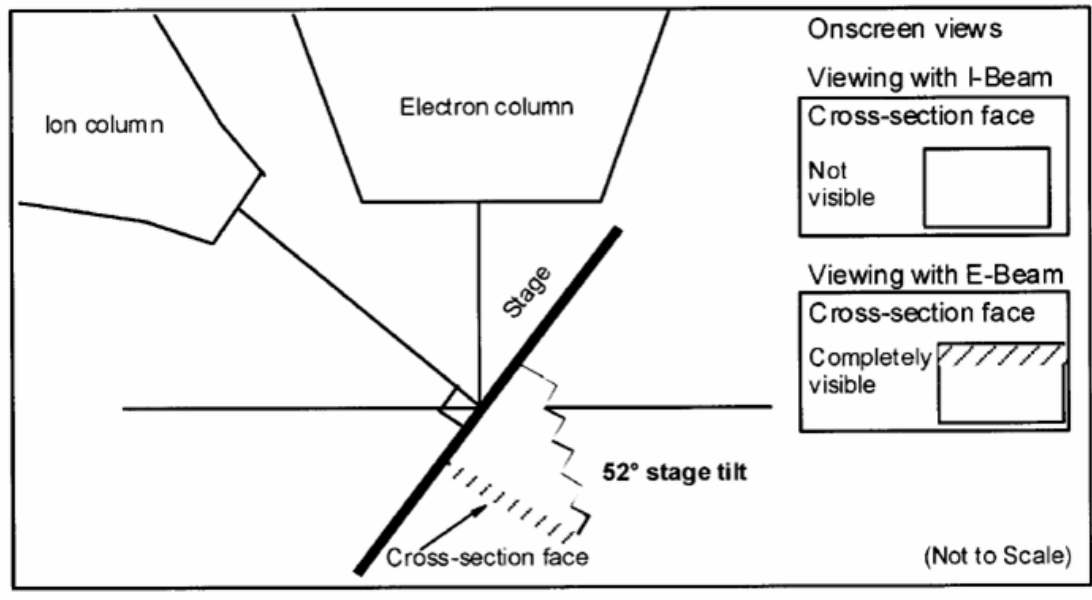


FIGURE 10.11: Two rectangular boxes of $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ were milled into Si with a target depth of $1 \mu\text{m}$ —one with a serpentine sweep parallel to the long side, one with a serpentine sweep parallel to the short side as indicated by the white arrows. The image on the left shows that a multiple pass FIB strategy yields good results independent of the sweep direction. The image on the right shows the results when exactly the same patterns are milled in a single pass. The redeposition of sputtered material inside the pattern is obvious.

Configuration MEB et FIB

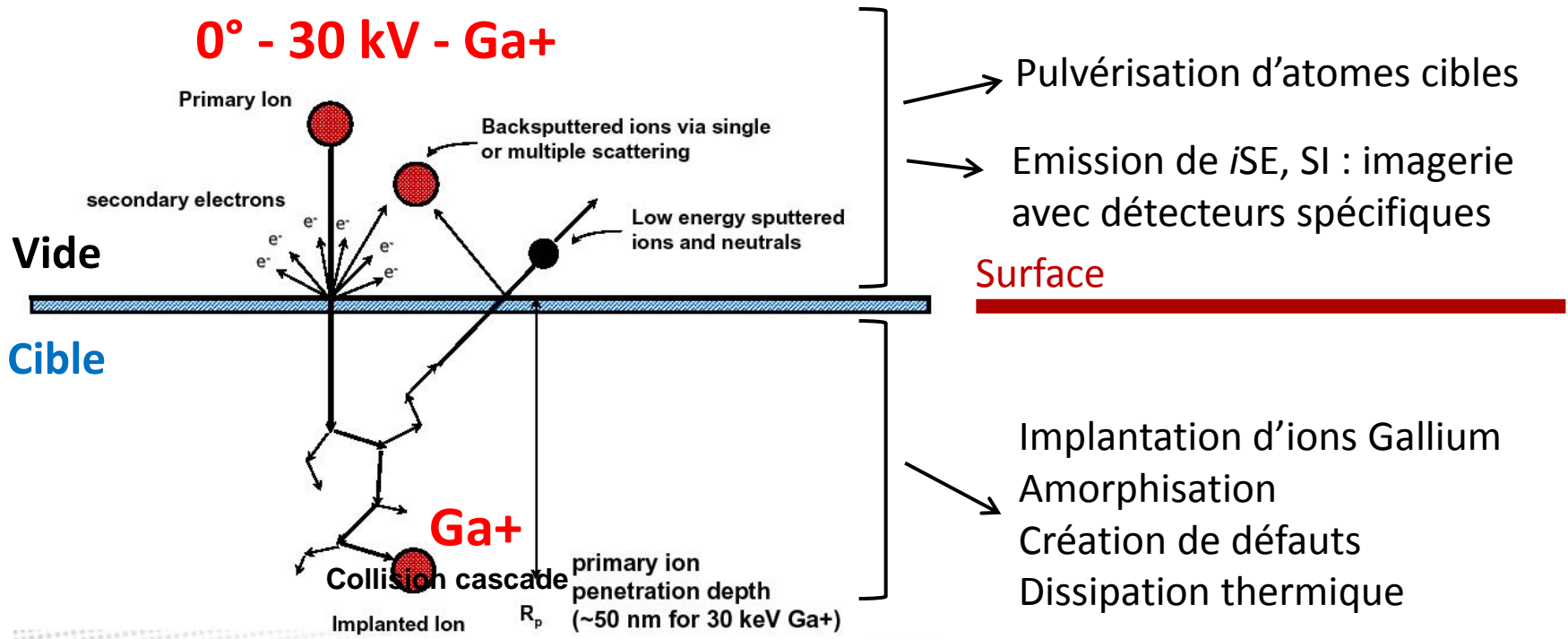
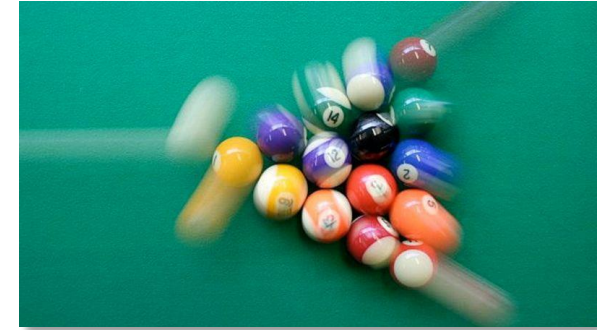
- Surface échantillon généralement perpendiculaire au faisceau FIB (pas nécessaire)
- Zone d'intérêt au point de coïncidence des faisceaux FIB et MEB (si usinage « live »)
- Usinage « live » : Augmentation du courant de faisceau MEB pour compenser la génération de SE durant l'usinage FIB



*Image MEB « déformée » en hauteur
Utilisation d'un « tilt compensation »*

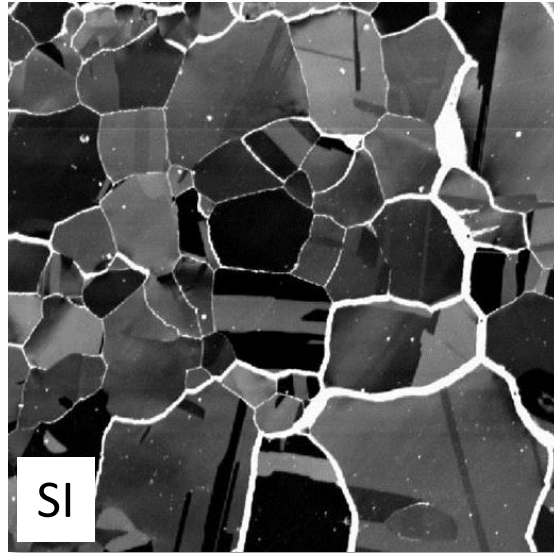
Interaction ion Gallium – matériau cible

- $m_1 \sim m_2$, gamme d'énergie utilisé < 30 kV,
- Régime de cascades linéaires : énergie transférée aux atomes cibles élevée, engendrent eux-mêmes des sous-cascades.

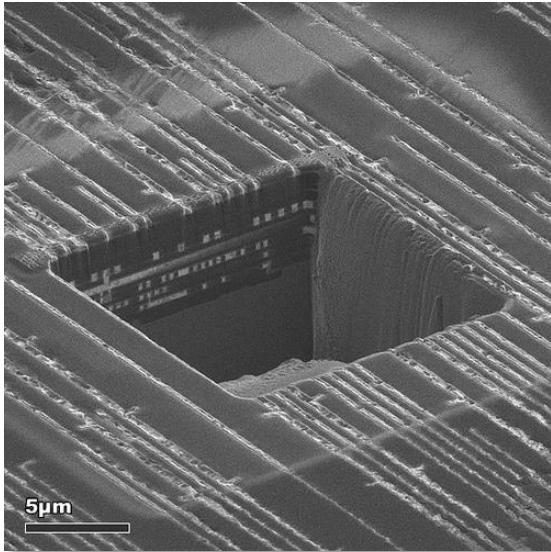


Applications FIB

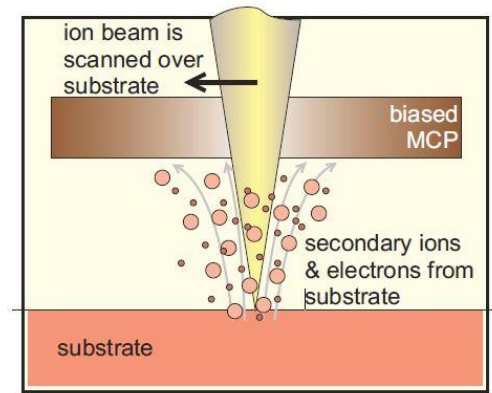
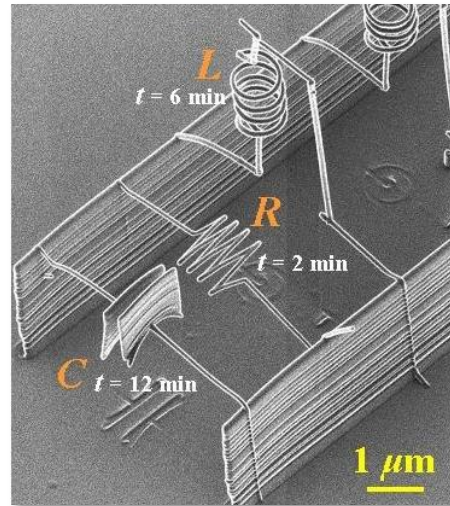
(a) Imagerie



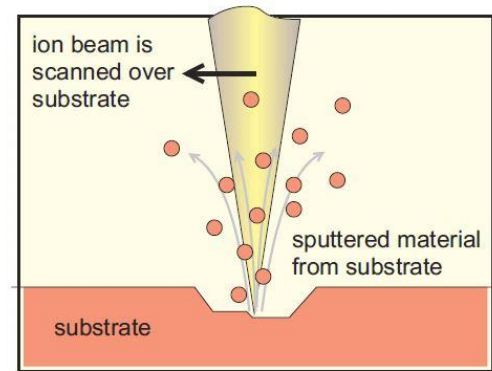
(b) Usinage



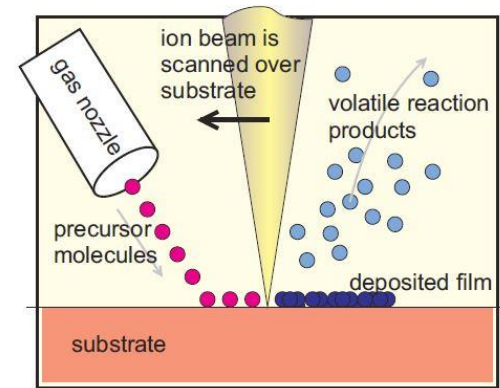
(c) FIB + Gaz = dépôt ou usinage sélectif



(a)



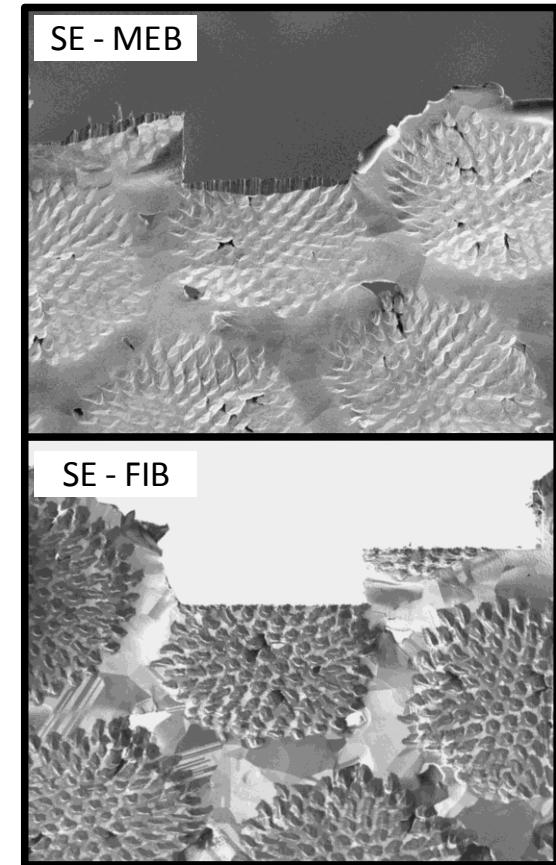
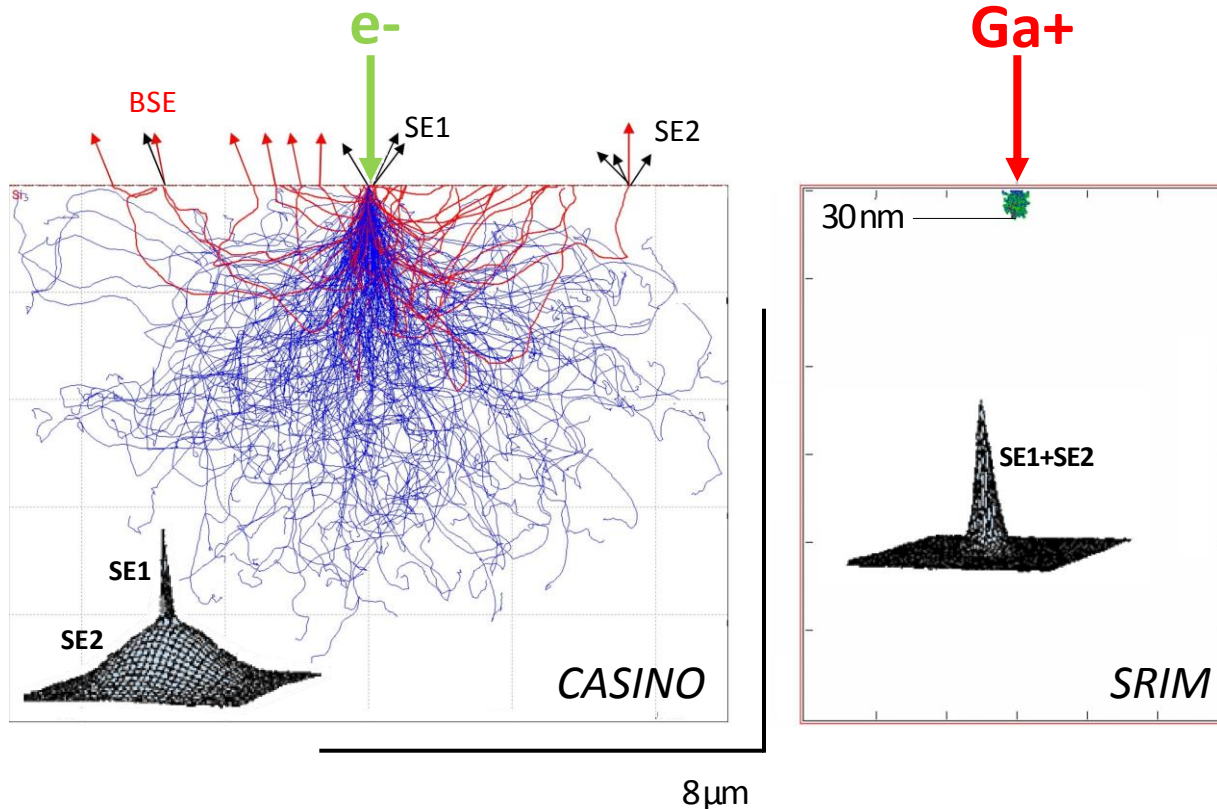
(b)



(c)

Imagerie en FIB : faible courant (pA)

- SE : même détecteur imagerie MEB (iSE)
- SI : accélérés par grille détecteur polarisée négativement, conversion e^- (MCP)
- Meilleure sensibilité à la surface
- Résolution spatiale ~ 2.5 nm (30kV – 1pA)... limitée par l'abrasion ionique



Trajectoires des électrons et des ions Ga^+ accélérés à 30kV dans Si

Imagerie en FIB - Contraste

- Contraste de numéro atomique Z : lié au pouvoir d'arrêt du Gallium

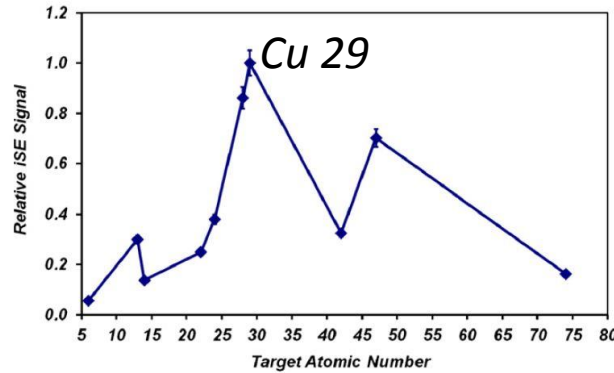
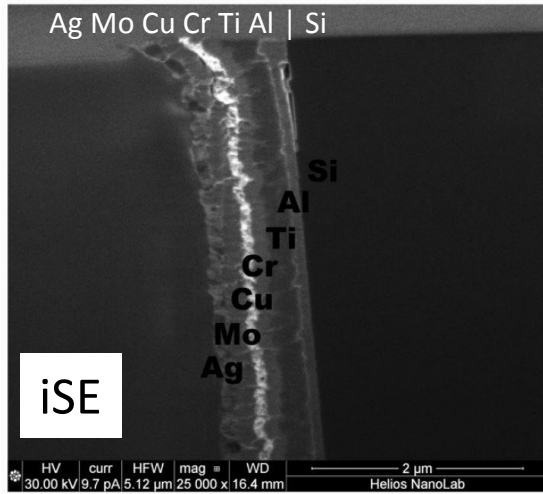
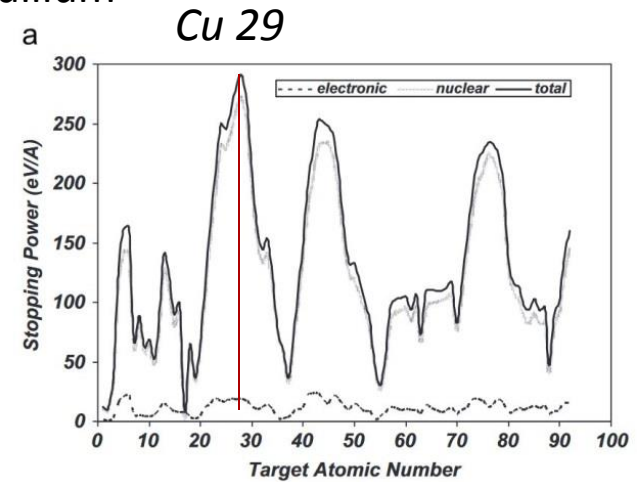
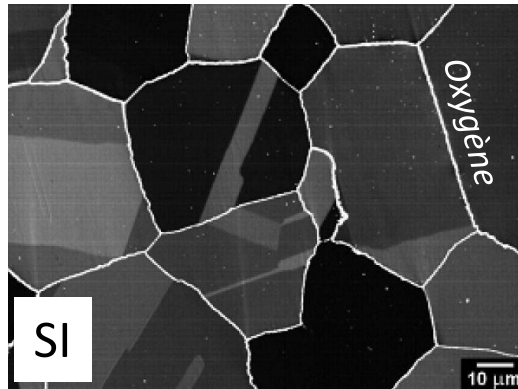


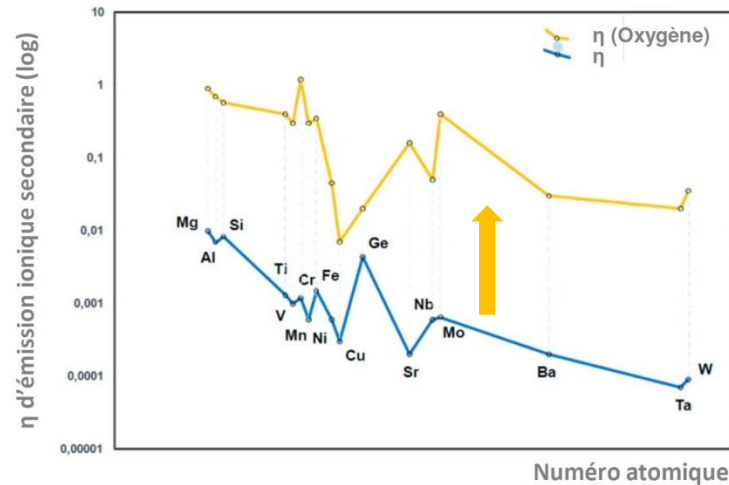
Fig. 4. Relative normalized iSE grayscale signal obtained for C(Z=6), Al(Z=13), Si(Z=14), Ti(Z=22), Cr(Z=24), Ni(Z=28), Cu(Z=29), Mo(Z=42), Ag(Z=47), and W(Z=74). The signal is normalized to Cu. The lines connecting the points are for visual aid only.



- Contraste de canalisation (prononcée en ions secondaires)



Corrosion intergranulaire dans superalliage Ni

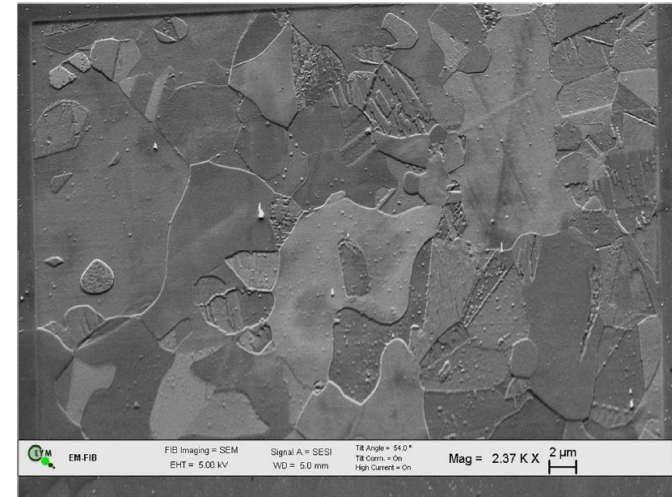


Imagerie en FIB – Limitations

- Usinage pendant l'imagerie

Pour minimiser le phénomène :

- adapter le courant d'imagerie à l'étendue de la surface balayée par le faisceau FIB,
- augmenter la vitesse de balayage,
- éviter de balayer continuellement.



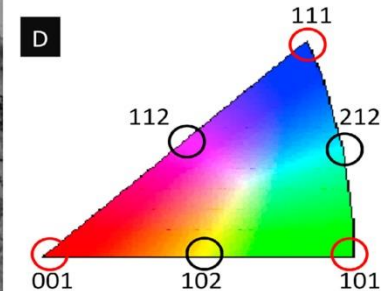
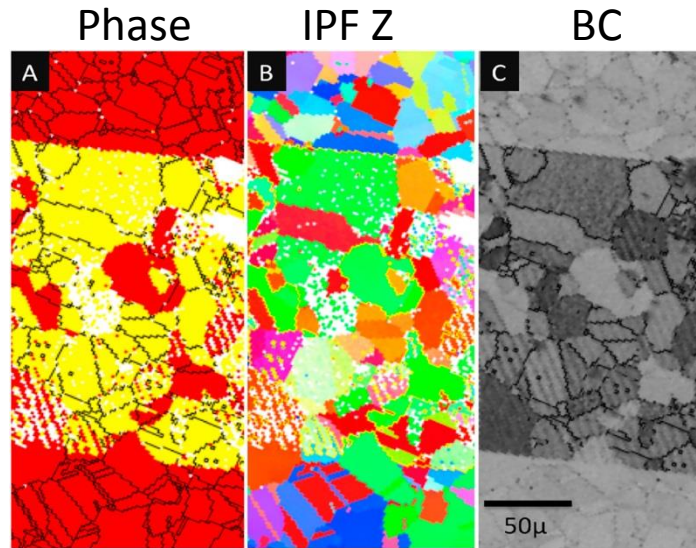
- Transformation sous faisceau d'ions Ga

Implantation volontaire de Ga sur une surface de $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ en utilisant un courant de 7 nA - 30 kV pendant 3 min

Transformation Austenite γ (rouge)



Ferrite α (jaune)



Usinage en FIB – Rendement de pulvérisation Y

$Y \rightarrow$ dépendant du numéro atomique de la cible

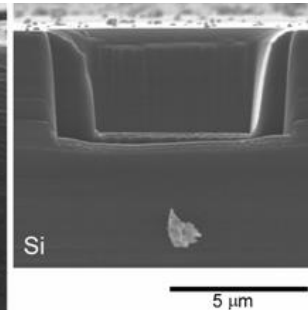
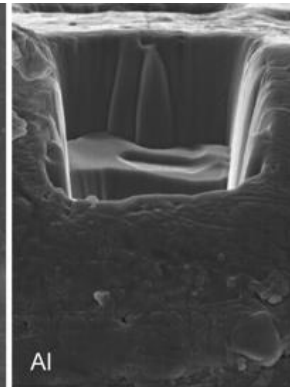
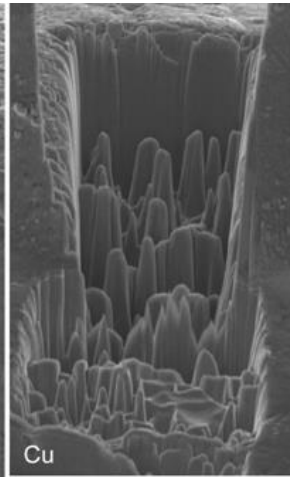
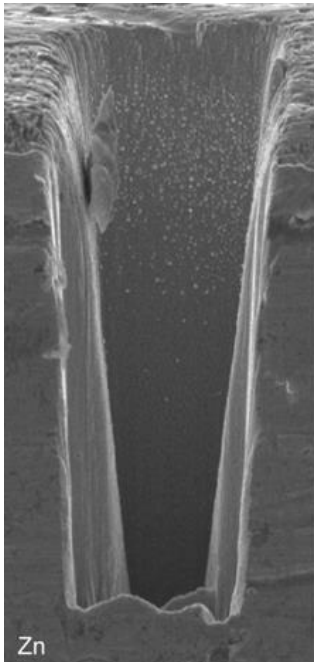
même dose $7.5 \times 10^{12} \text{ Ga}^+$ avec un faisceau FIB de 1 nA – 25 kV

30 Zn : 13.4

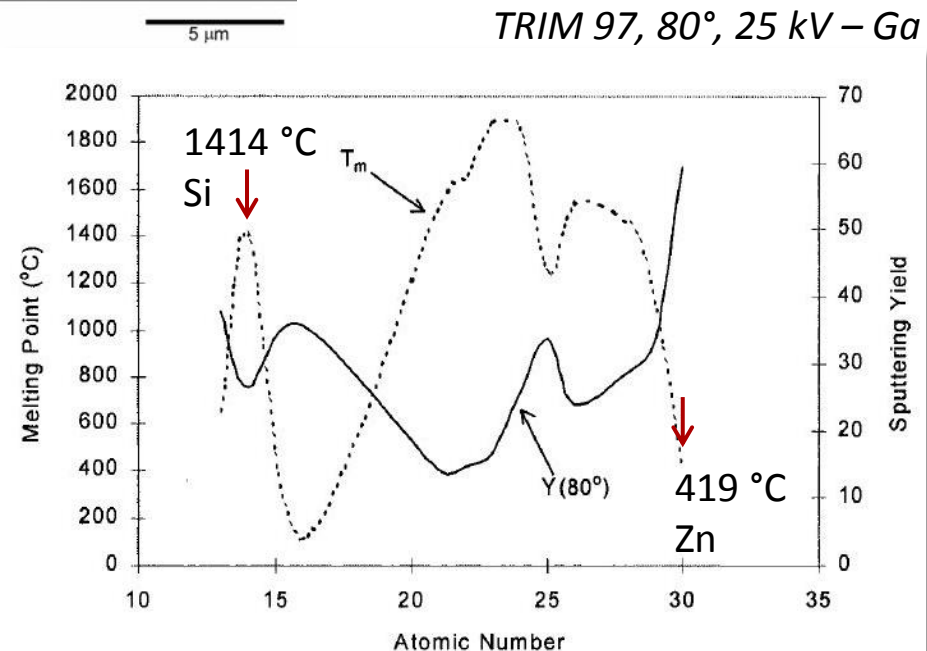
29 Cu : 7.0

13 Al : 3.5

14 Si : 2.1 atoms/ ion Ga +

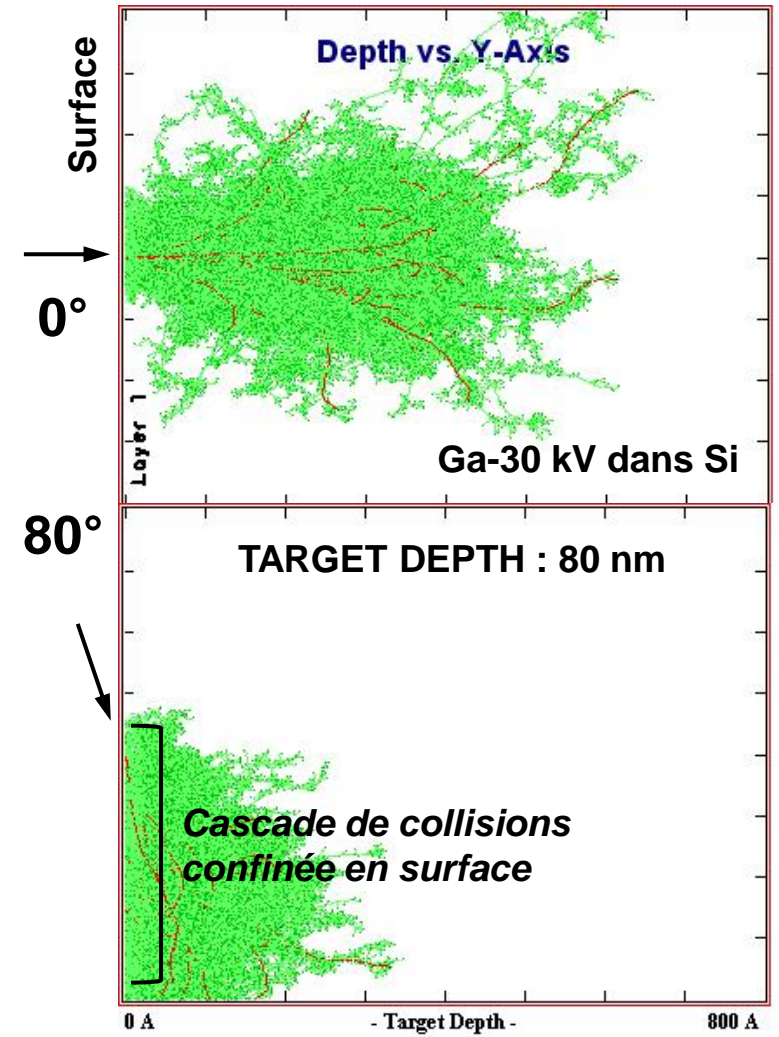
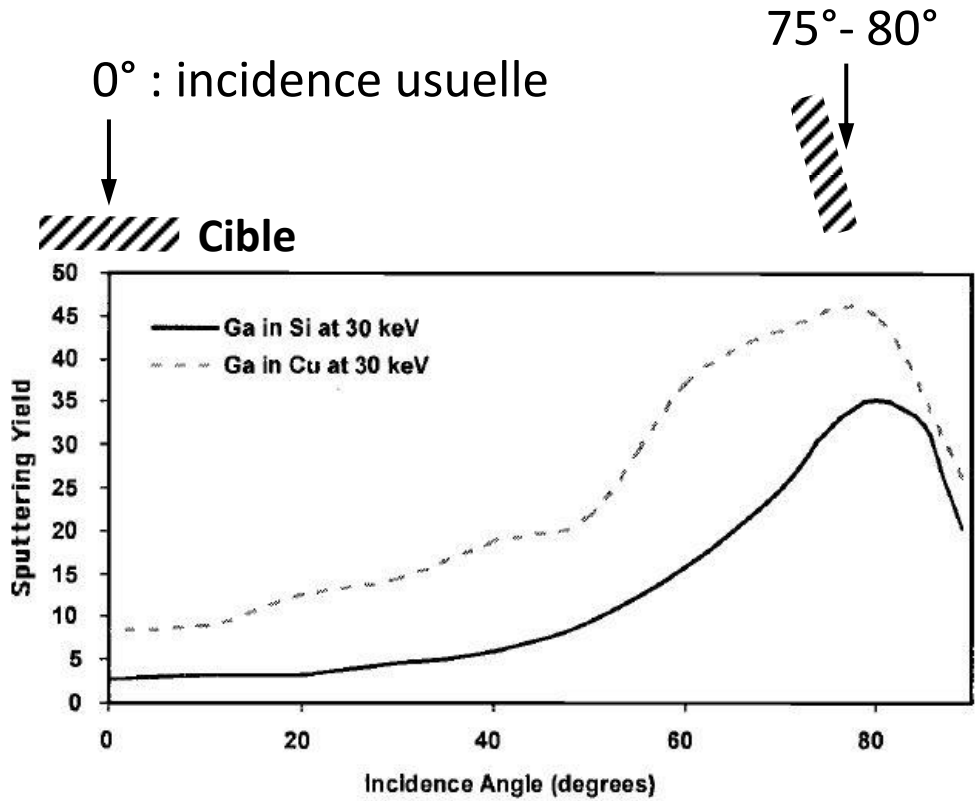


diamant: $200 \mu\text{m}^3/\mu\text{As}$
 Al_2O_3 : $270 \mu\text{m}^3/\mu\text{As}$
Si: $1600 \mu\text{m}^3/\mu\text{As}$



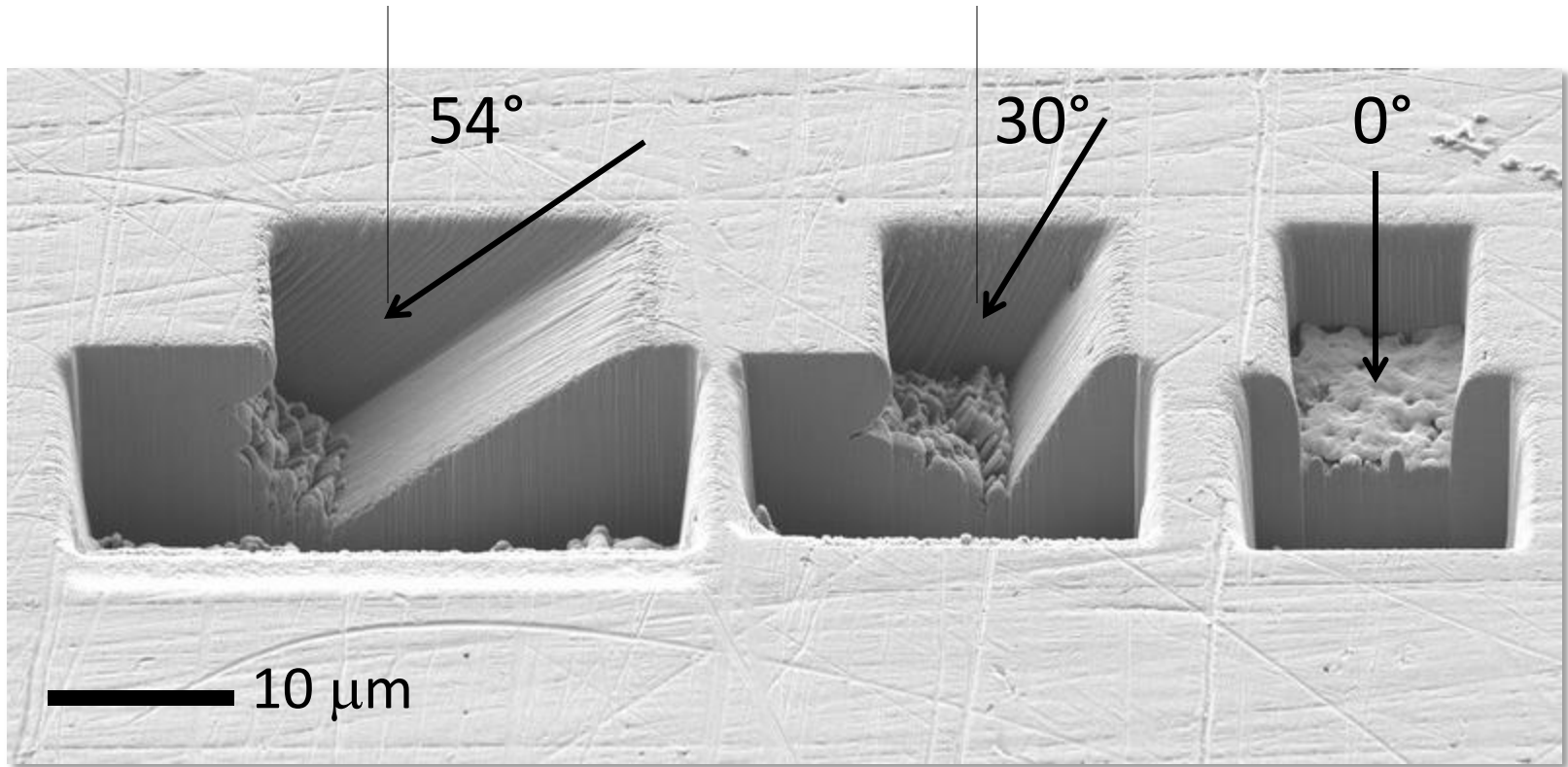
Usinage en FIB – Rendement de pulvérisation Y

$Y \rightarrow$ dépendant de l'angle d'incidence du faisceau



Usinage en FIB – Rendement de pulvérisation Y

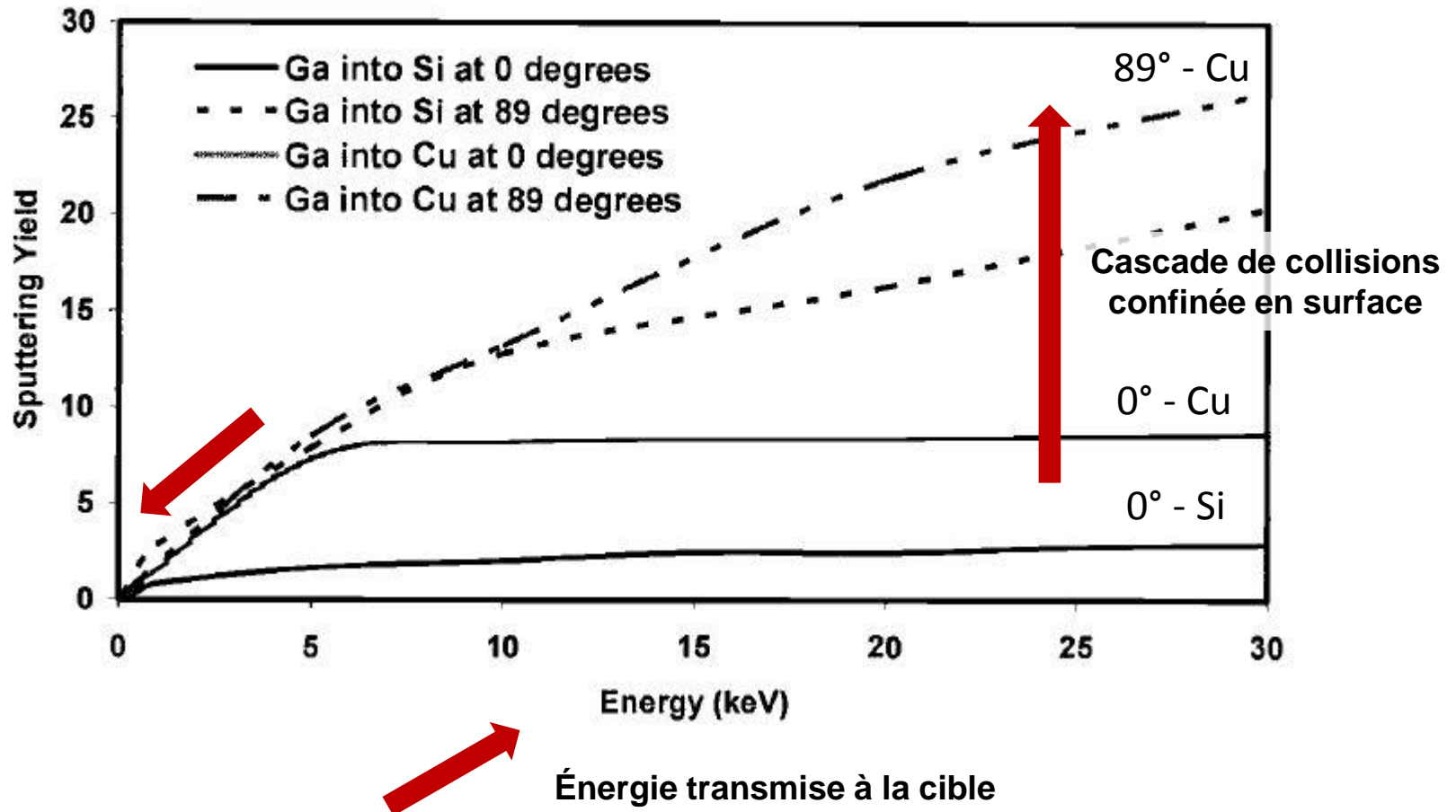
$Y \rightarrow$ dépendant de l'angle d'incidence du faisceau



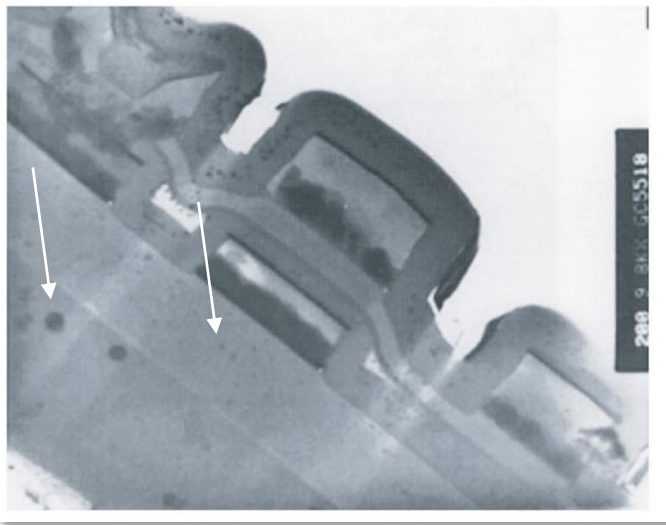
même dose et pattern $10 \times 10 \mu\text{m}$ - FIB Ga-30 kV sur Nickel

Usinage en FIB – Rendement de pulvérisation Y

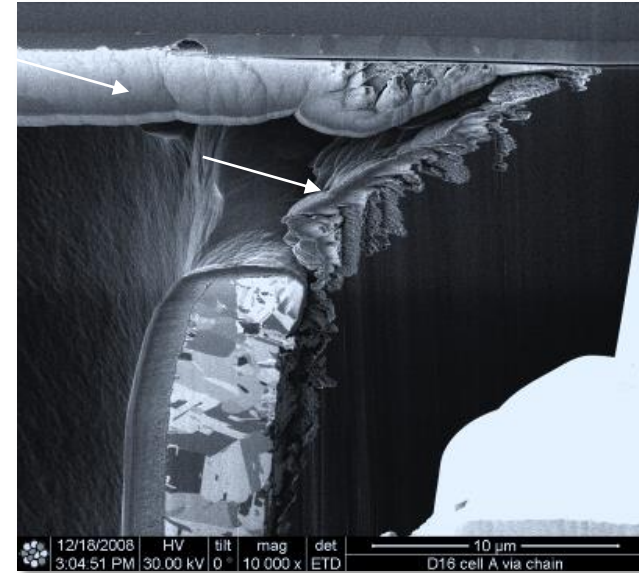
Y → dépendant de l'accélération du faisceau



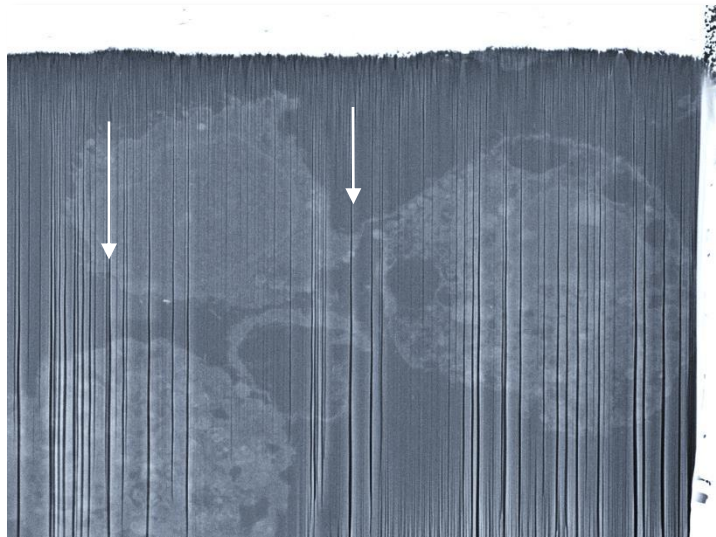
Artefacts « visibles » de préparation FIB



Ga « droplets »



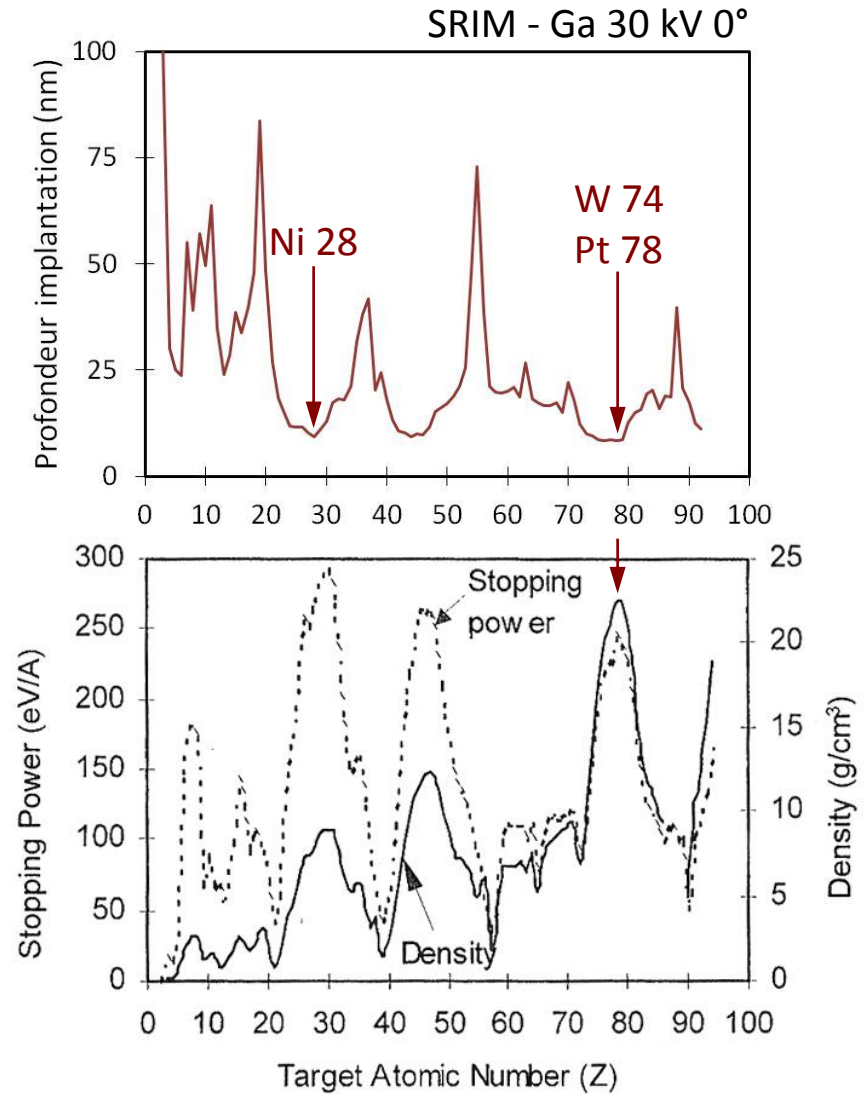
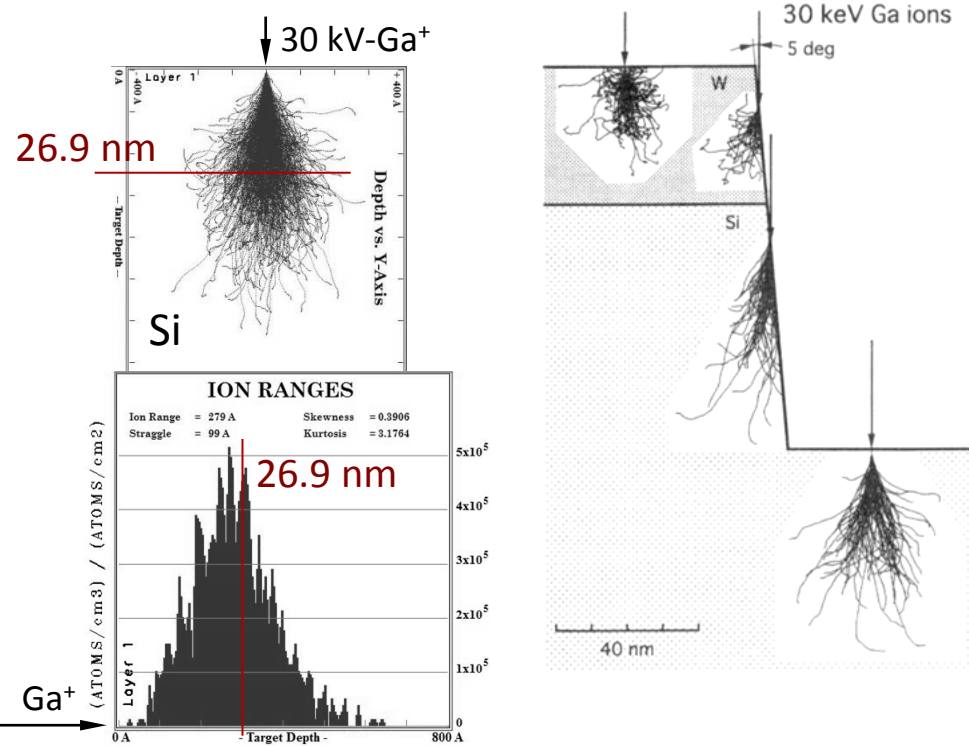
Re-déposition



Effet « rideaux » (curtaining artefact)
conséquence des différents taux de
pulvérisation ou de la topographie de surface.

Implantation du Gallium

- lié au pouvoir d'arrêt du matériau cible



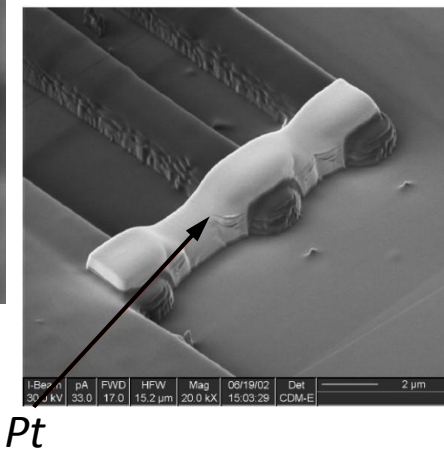
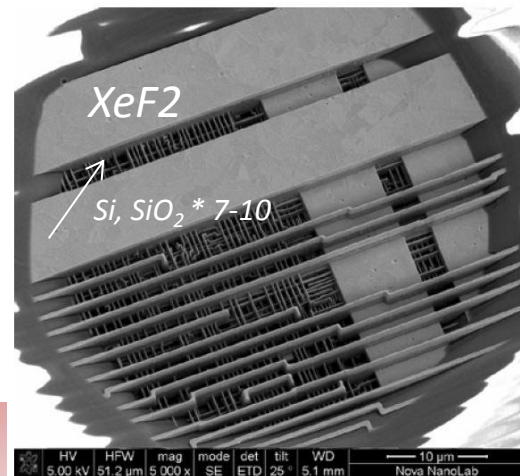
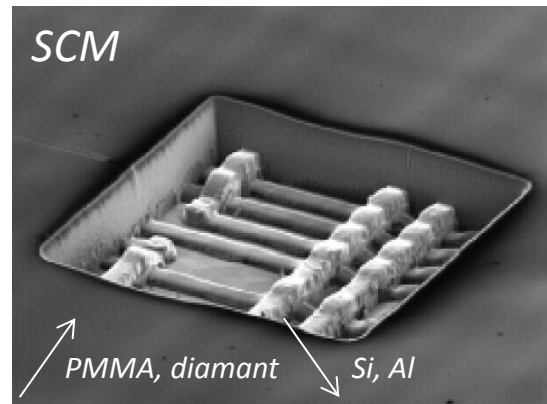
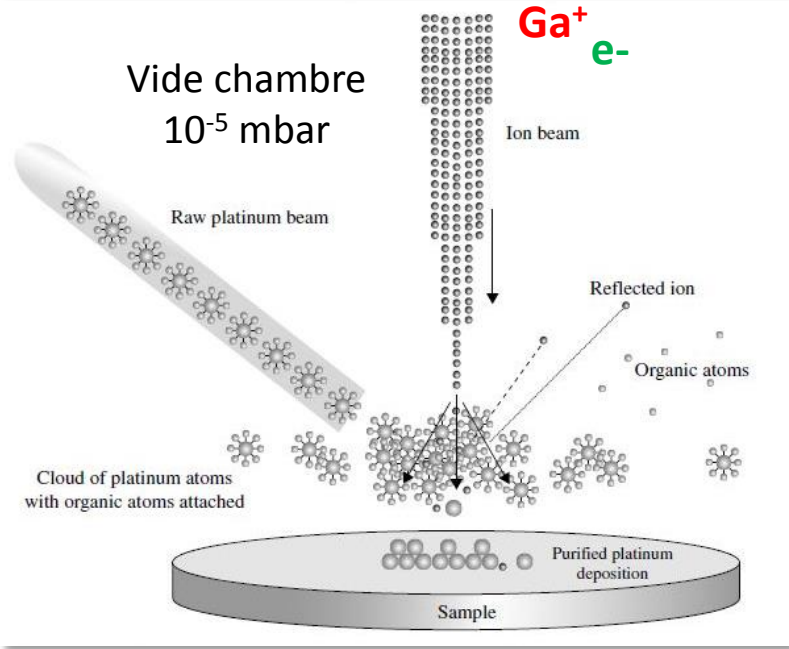
Propriétés d'une couche de protection :

- pouvoir d'arrêt, épaisseur > 150 nm,
- ne réagit pas avec la surface échantillon, (Ni/Si = siliciures – Diffusion C lors d'un dépôt Pt- IBAD...)
- contraste en imagerie MEB ou MET,
- n'introduit pas de contraintes,...

Injection de gaz (GIS)

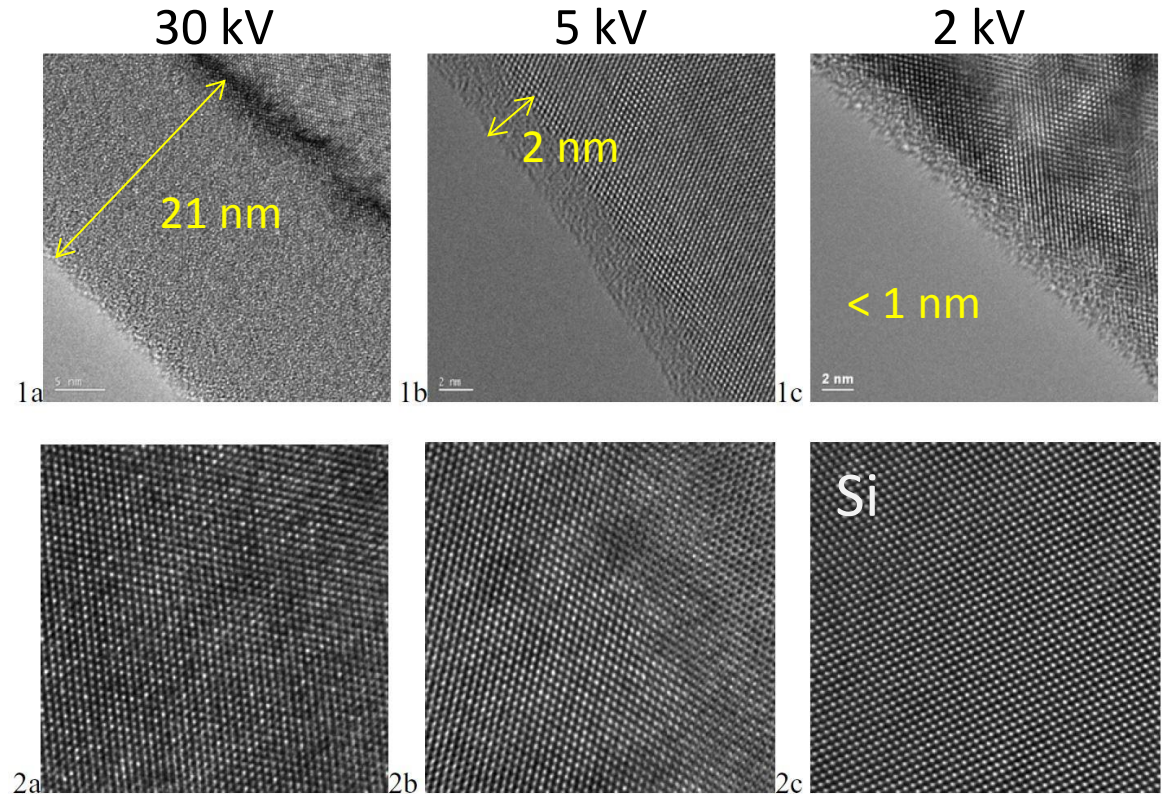
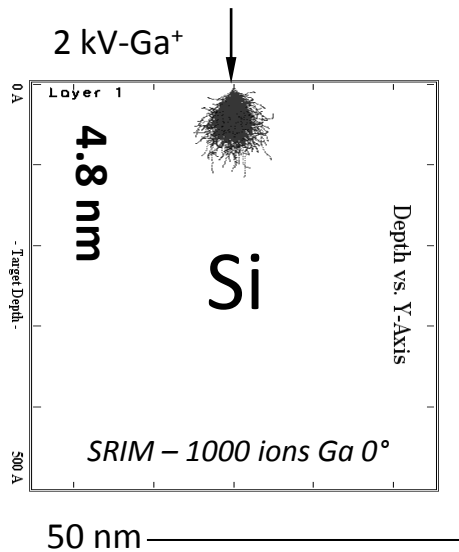
Protections de surface, contacts électriques ou mécaniques, réparations de circuits, ...

- Les molécules organométalliques permettent un passage en phase gazeuse à faible température
- Injection du gaz par l'intermédiaire d'une canule (\varnothing 500 μm) au plus proche de la surface (100 μm)
- Dépôts : Pt, W, C, SiOx, Au, en mode EBAD ou IBAD (contamination Ga et C)
- Gaz réactifs : Iodine, XeF2, Delineation etch, Selective Carbon Milling



Emploi de la basse tension FIB

Réduction de l'implantation Gallium et de l'amorphisation

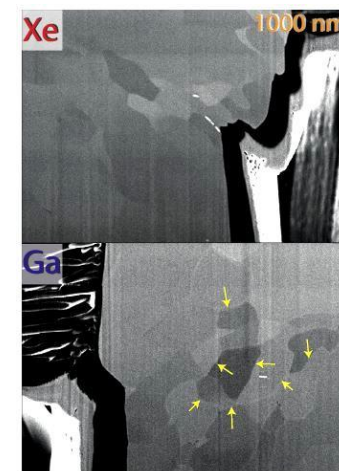
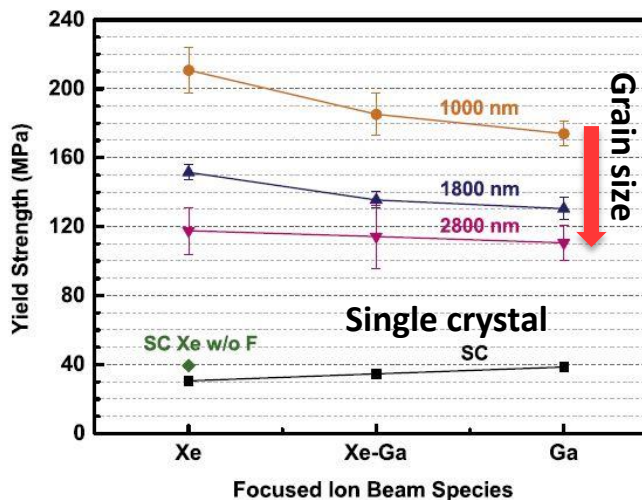
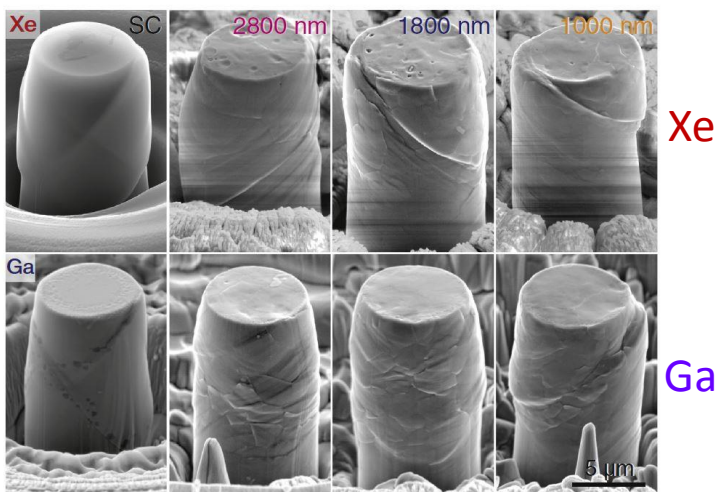
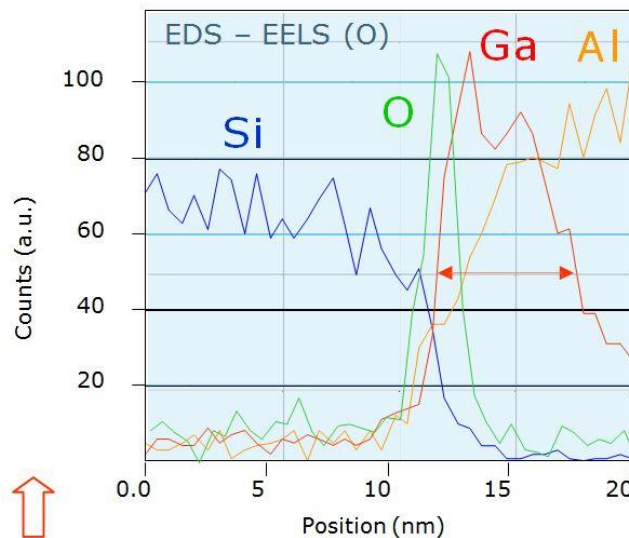
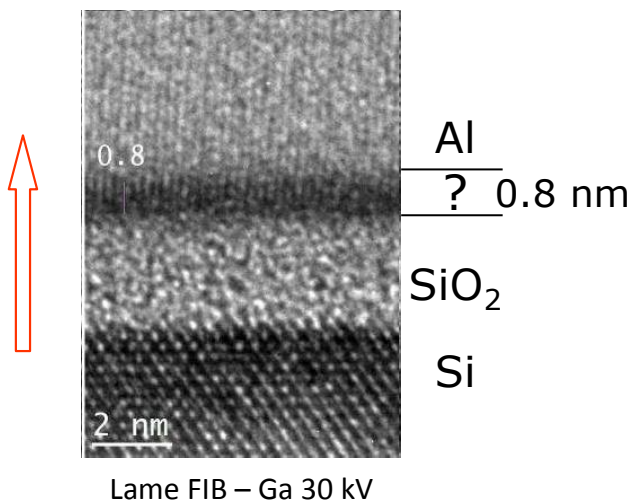


Cs corrected HRTEM images of [110] Si FIB polished at (a) 30 keV, (b) 5 keV, (c) 2 keV

- Amincissement de la lame à 30 kV, arrêt avant irradiation complète de la lame mince
- Nettoyage en incidence de faisceau FIB rasante (~ 5°)
- Choix courant optimal à basse tension pour gravure (vs implantation)
- Besoin futur : amélioration de la résolution du faisceau FIB à basse tension

Artefacts « invisibles » de préparation FIB

- Implantation de Gallium et amorphisation, création de défauts
- « liquid metal embrittlement » du Gallium dans Ag, Al, Cd, Cu, Fe, Sn et Zn

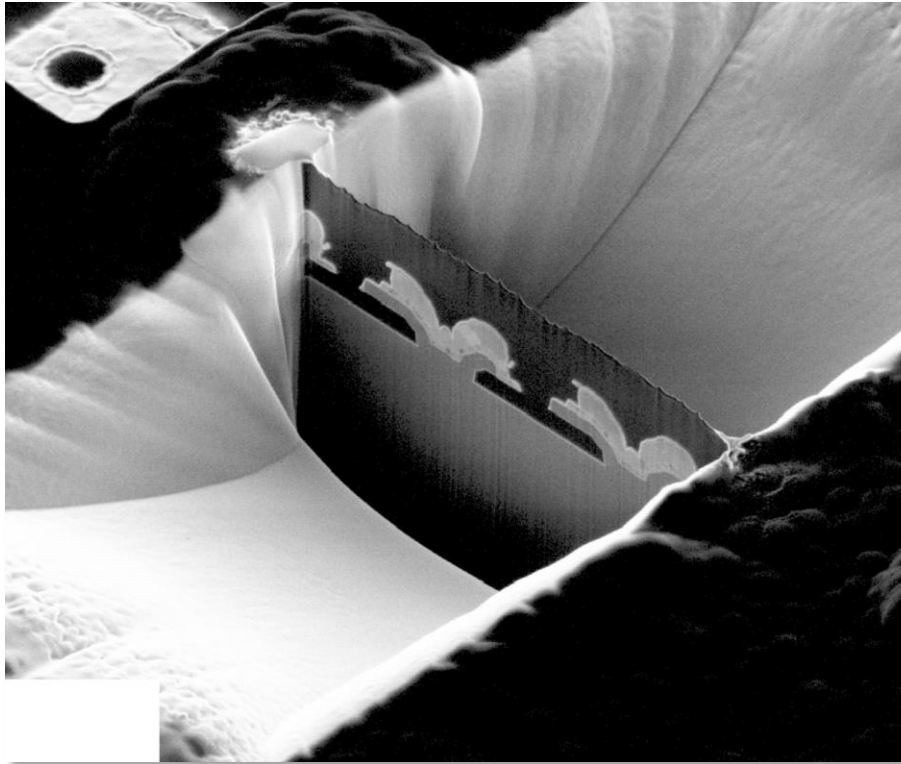


Piliers pour tests compression - FIB 30 kV

Exemple : Cross section

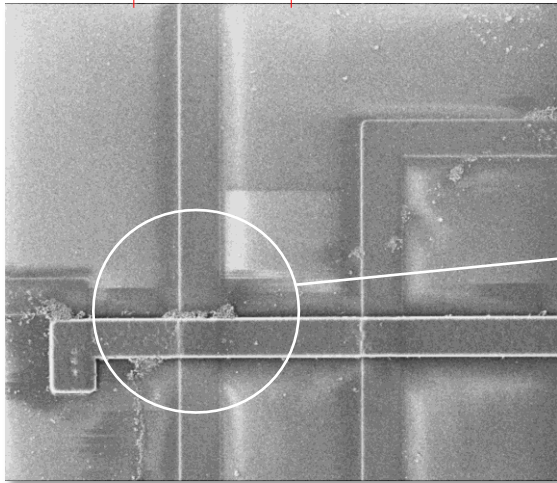
Gravure FIB permettant l'observation d'une section perpendiculaire à la surface

- contrôle d'épaisseur
- contrôle de morphologie ...

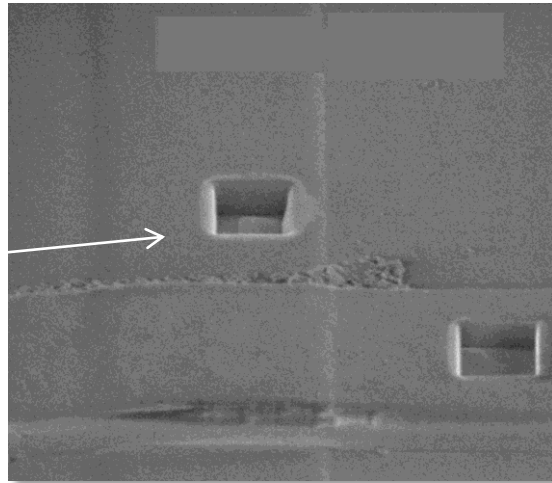


Exemple : Modification de circuit

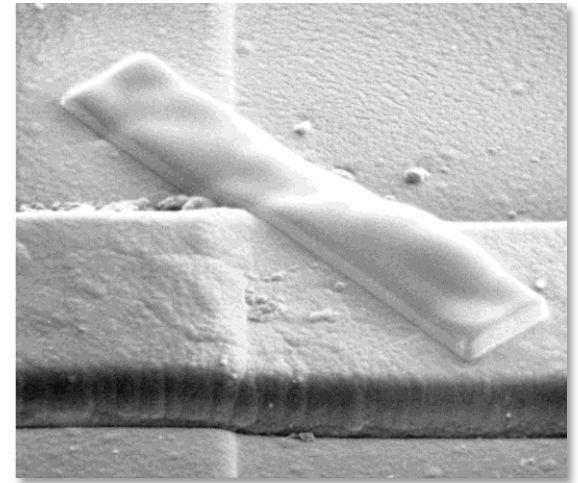
- Jonction entre deux lignes d'or :



Avant modification

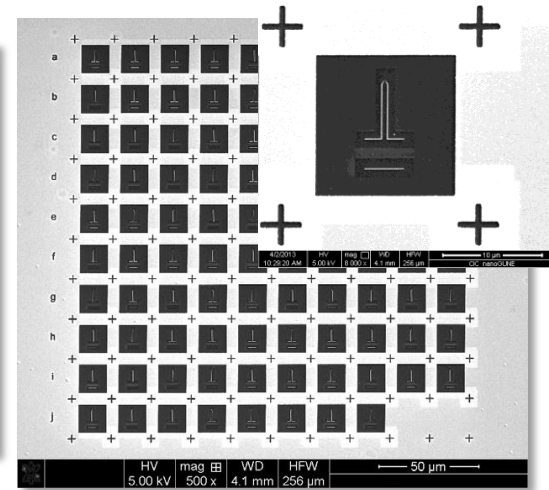
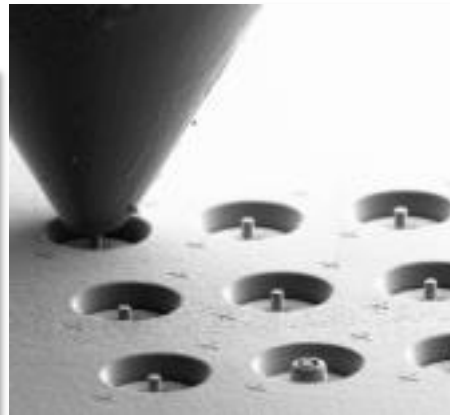
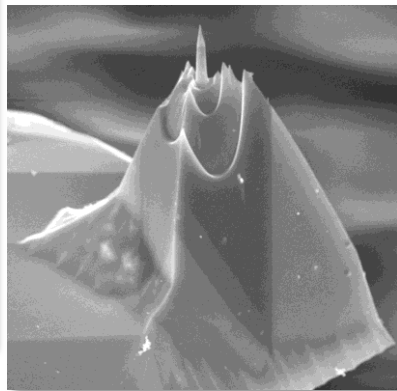
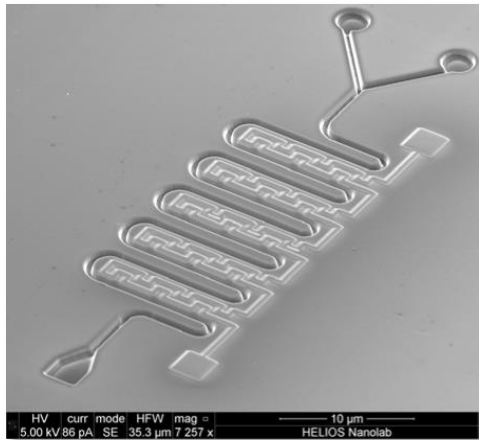


Gravure de la couche isolante

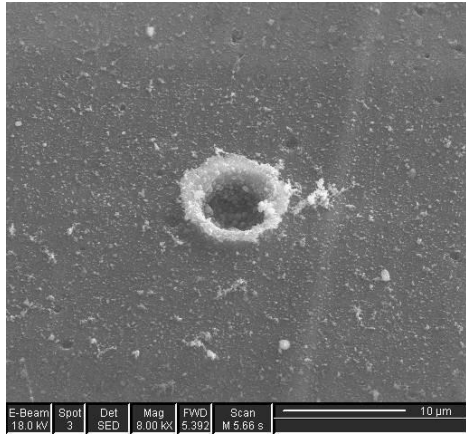


Dépôt de Platine

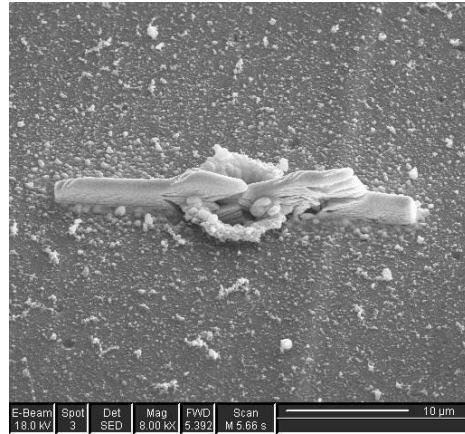
Exemple : Micro et nano fabrications



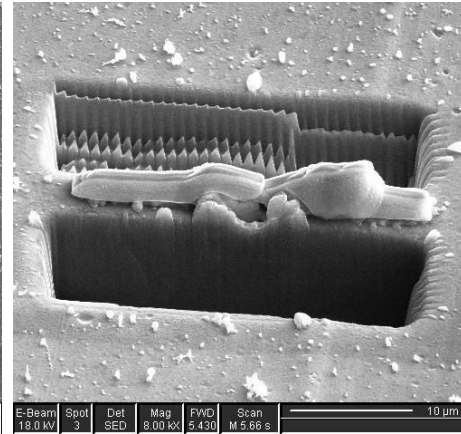
Préparation pour la microscopie en transmission



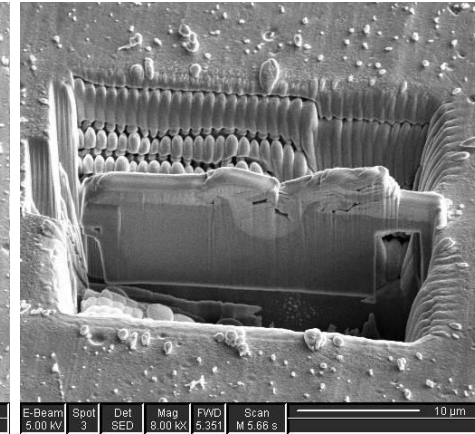
localisation de la zone d'intérêt



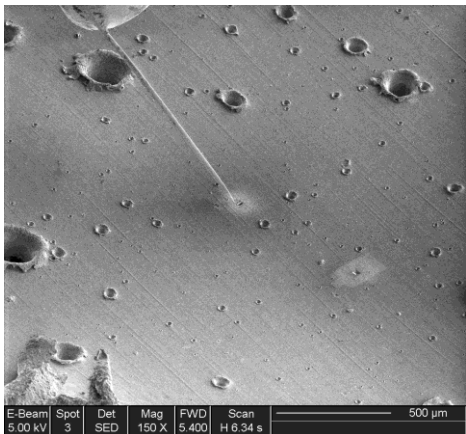
dépôt d'une couche de protection



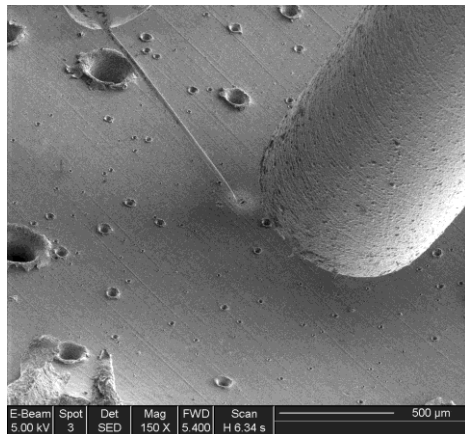
gravure grossière - courant fort



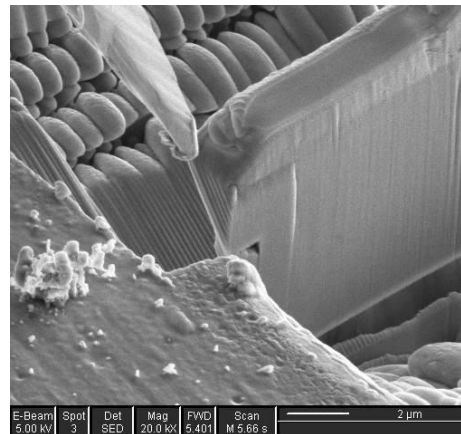
pré-découpe de la lame



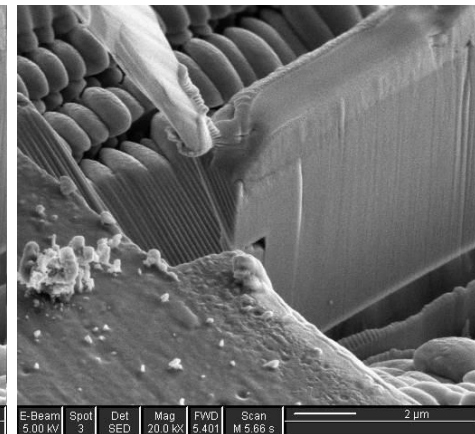
Approche du micro-manipulateur



Insertion canule d'injection de gaz

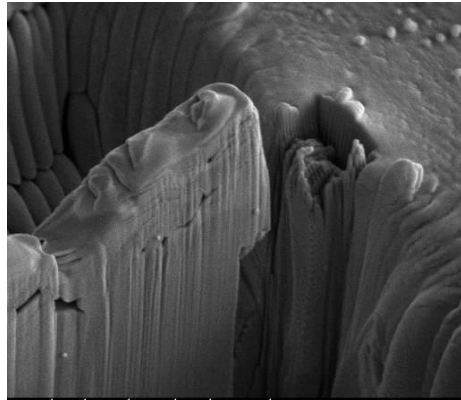


contact pointe - lame

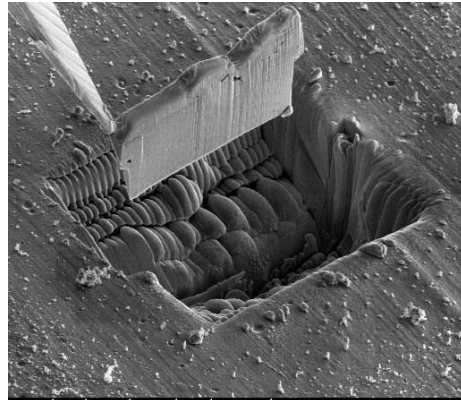


dépôt de platine entre la pointe et la lame

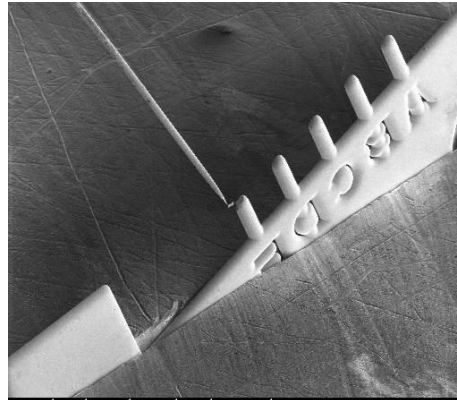
Préparation pour la microscopie en transmission



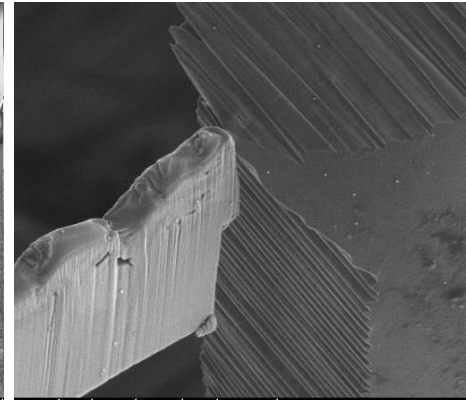
désolidarisation
Lame -échantillon



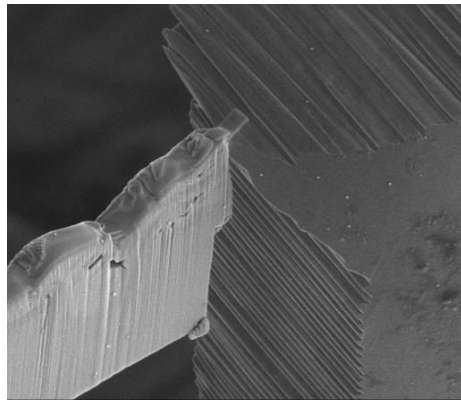
extraction de la lame



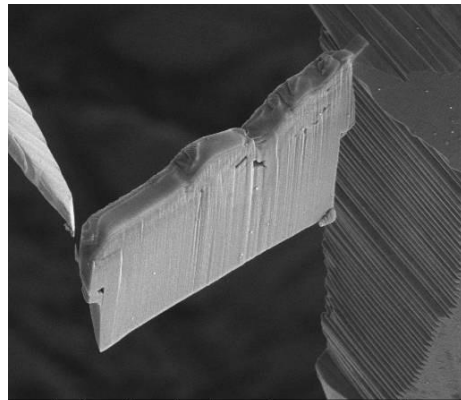
transfert de la lame
vers la grille TEM



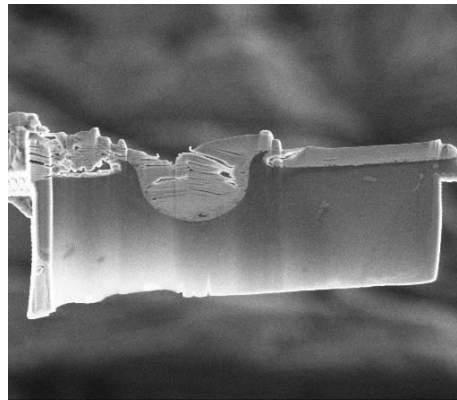
contact lame - grille TEM



dépôt de platine entre
la lame et la grille



désolidarisation
lame - pointe



Amincissement jusqu'à la
transparence électronique

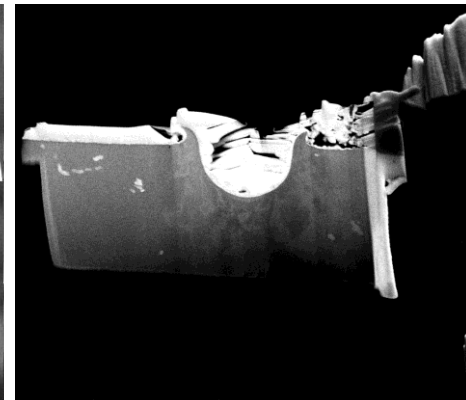
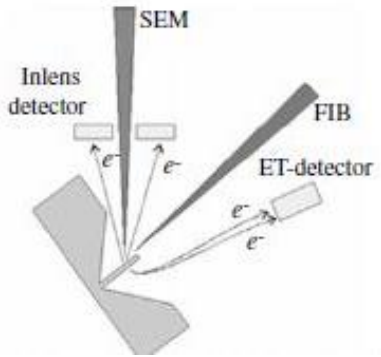


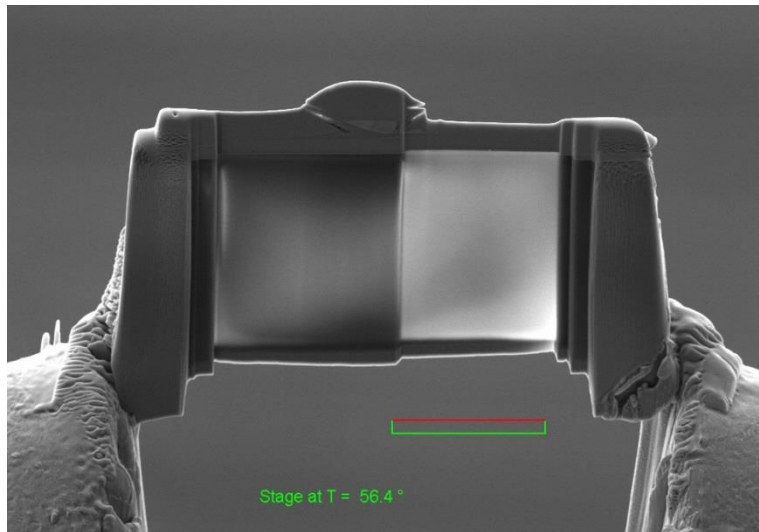
Image en transmission
(détecteur STEM)

Contrôle épaisseur de la lame « fibée »

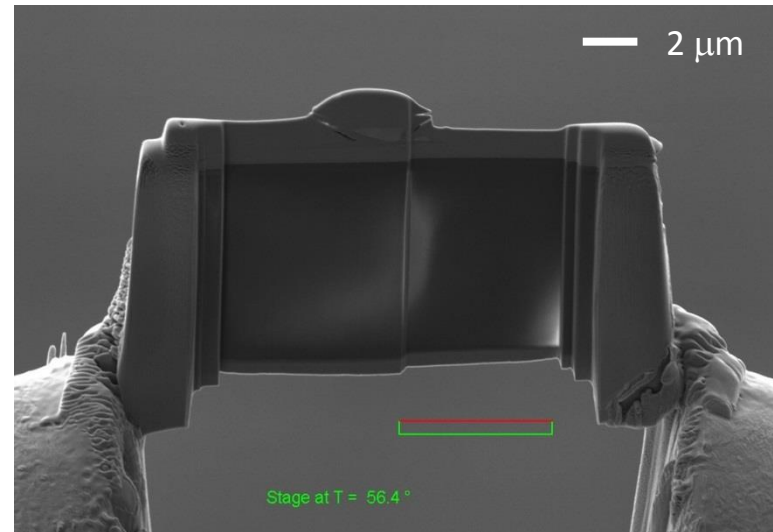


Électrons secondaires générés en face arrière de la lame mince et collectés par le détecteur chambre « ETD »

5 kV – ETD SE



3 kV – ETD SE



Lame FIB 30 kV – Gallium dans Verre - 6 oxydes

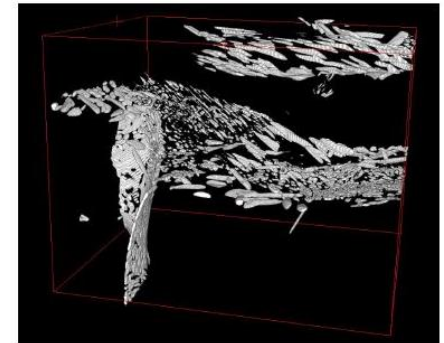
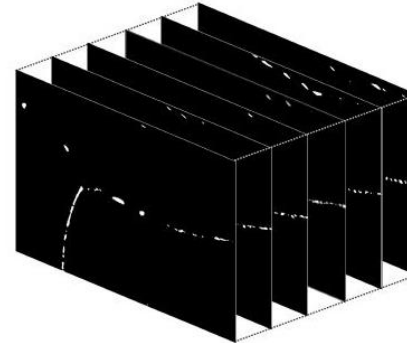
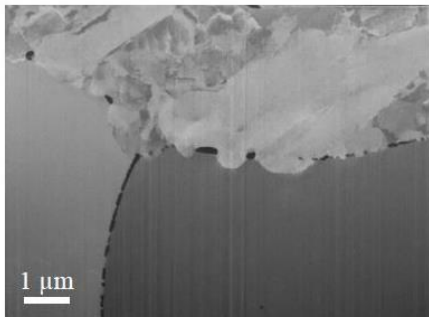
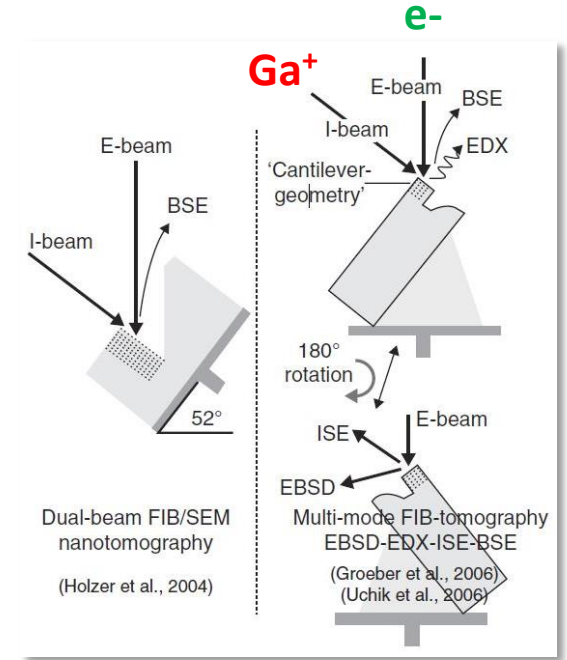
Exemple : Tomographie FIB – CryoFIB (bio,...)

- Gravures FIB successives (serial sectioning)
- acquisition de signaux BSE : 50 slices/h
- correction des images (bruit, Brill. et Contr., artefacts FIB)
- segmentation de l'information (binarisation)
- alignement et reconstruction en 3D
- mais aussi 3D avec signal EDX, EBSD et ISE

Signaux et résolution xy/z

BSE: 2 nm/5 nm EDX : 100 nm/100 nm

ISE : 20 nm/20 nm EBSD : 50 nm/50 nm



acquisition of a stack of n in-lens SE-SEM images



binarisation of the n images using a contrast thresholding



reconstruction of the volume from the n images



segmented precipitates in the FIB-nt volume

Sources alternatives ?

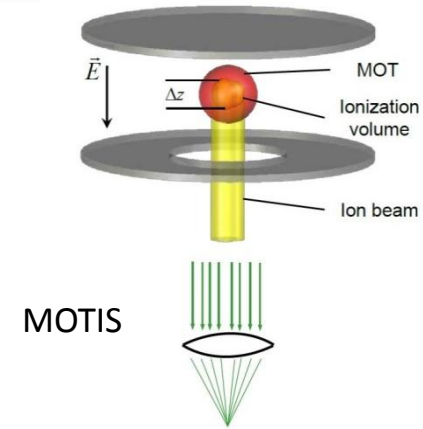
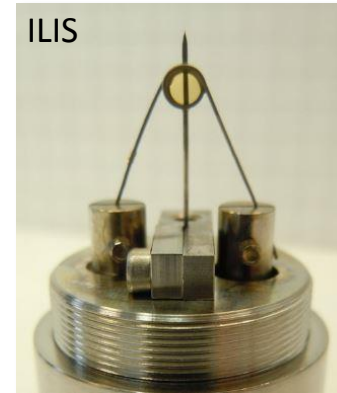
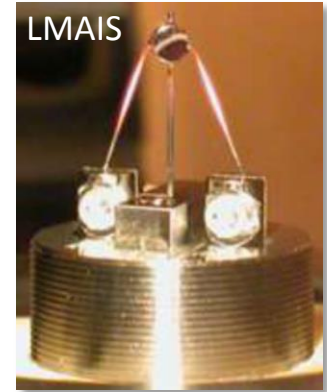
- **LM(A)IS** mono-matériau : Ga, Au, Be, Si, Pd, B, P, As, Ni, Sb, ...
alliage : Au-Si, Au-Ge, Au-Si-Ge, ...

nécessité d'un tri en masse (Filtre de Wien) pour la sélection de l'ion.

- **ILIS** ♠ (Ionic Liquid Ionic Source) : Sel organique partiellement fondu
- **GFIS** ♥ (Gaz Field Ionization Source) : He, Ne, H₂
- **MOTIS** ♣ (Magneto- Optical Trap Ion Source)
 - **Plasma Source** ♦ : Xe

H ♠♠♥																	He ♠♥	
Li ♣	Be											B ♠	C ♠	N ♥	O ♠	F ♠	Ne ♠♥	
Na ♠♠	Mg ♠											Al ♠	Si ♠	P ♠	S ♠	Cl ♠	Ar ♠♥	
K ♠♠♠	Ca ♠	Sc	Ti	V	Cr ♠	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr ♠♥	
Rb ♠	Sr ♠	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd ♠♠	Ag ♠♠	Cd ♠	In	Sn	Sb	Te	I	Xe ♠♥♦	
Cs ♠♠	Ba	La	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg ♠	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr ♠	Ra	Ac	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn						

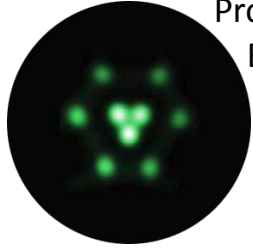
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy ♠	Ho	Er ♠	Tm	Yb ♠
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No



... pour en savoir plus : *Liquid metal alloy ion sources—An alternative for focused ion beam technology*
Applied Physics Reviews 3, 021101 (2016) – L. Bischoff et al.

GFIS et PFIB

Probe Size ~ 0.35nm
 Brightness ~ $5 \cdot 10^9$ A/cm².sr



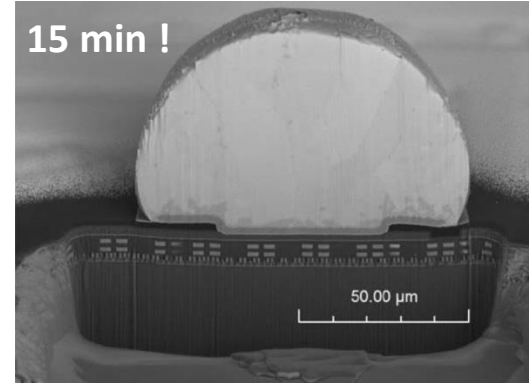
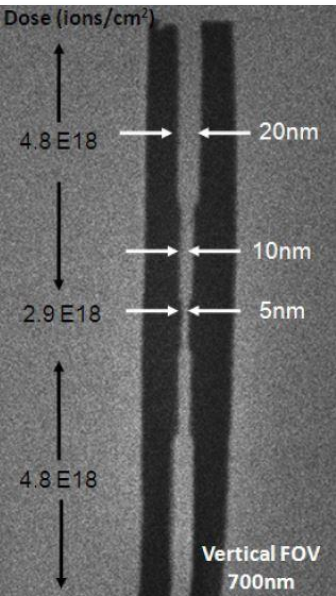
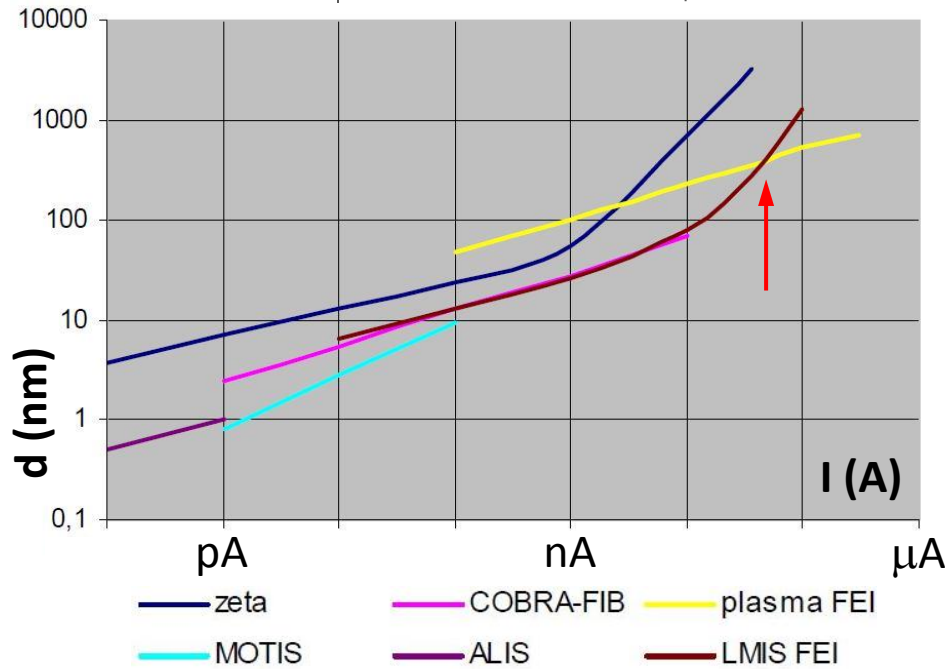
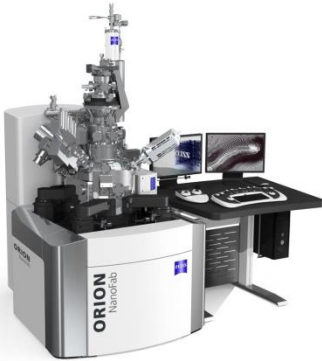
Probe Size ~ 15 μm
 Brightness ~ 10^8 A/cm².sr



nano-fabrication
Imagerie sub nanométrique

Ga⁺ - LMIS
 Applications FIB
 courantes

Gros Volumes
d'abrasion



- He, Ne, colonne Ga
- **3D Nanofabrication** of sub-10 nm structures
- High Resolution Imaging (< 0.5 nm)

- Ga < 5 μm³/h, Xe (1μA) ~ 300 μm³ / h
- 2.5 μA, < 20 nm 30 kV

Pour en savoir encore plus :

Environnement scientifique et technique de la formation



Matériaux : ingénierie et science - UMR 5510



Centre lyonnais de microscopie - FED 4092

Microscopie à balayage double faisceaux (FIB / SEM) : un instrument multiple

OBJECTIFS

- Acquérir ou parfaire ses connaissances théoriques et pratiques utiles à l'utilisation d'un FIB / SEM
- Appréhender de manière pratique l'acquisition et les premiers traitements des données de type 3D
- Savoir optimiser les dépôts *in situ* et les usinages FIB (notamment pour la préparation des lames TEM)

PUBLICS

Chercheurs, ingénieurs et techniciens intéressés par les différentes applications du FIB / SEM

Afin d'adapter le contenu du stage aux attentes des stagiaires, un questionnaire téléchargeable ICI devra être complété et renvoyé au moment de l'inscription.

PRÉREQUIS

Avoir des bases en microscopie électronique à balayage

PROGRAMME

- Histoire des faisceaux de particules chargées et des appareils à double faisceaux
- Interactions ions - matière
- LMIS, autres sources et optiques FIB
- Rappels sur l'imagerie SEM utiles à la nano-tomographie
- Principes de la nano-tomographie FIB / SEM et exemples d'applications
- Premiers traitements d'une suite d'images (utilisation du logiciel Open Source FIJI)
- Mécanismes et stratégies de dépôt assistés par FIB ou SEM
- Simulation des interactions FIB / échantillon par une approche de type Monte-Carlo (utilisation du logiciel Open Source SRIM / TRIM) - application à la préparation d'une lame TEM
- Introduction à l'imagerie ionique et à la cartographie d'orientations cristallines par contraste de canalisation FIB (technique iCHORD: ion CHanneling ORientation Determination)

Voir programme détaillé téléchargeable ICI.

Alternance de cours (50 %) et de TD / TP (50 %)

EQUIPEMENTS

FIB Zeiss NVision 40, micromanipulateurs Klocke Nanotechnik, EDX-EBSD Oxford Instruments, NanoPatterning and Visualisation Engine (NPVE) - FIBICS.
Il est conseillé aux stagiaires de venir avec leur propre ordinateur portable.

RESPONSABLES

Thierry DOUILLARD
Ingénieur d'études
UMR 5510

Florent DALMAS
Maître de conférences
UMR 5510

Armel DESCAMPS-MANDINE
Ingénieur d'études
UMS 3623

LIEU

VILLEURBANNE (69)

ORGANISATION

5 jours ; de 4 à 6 stagiaires

COÛT PÉDAGOGIQUE

2500 Euros

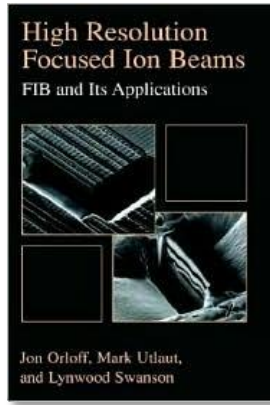
A L'ISSUE DE LA FORMATION

Evaluation de la formation par les stagiaires ; attestation de formation

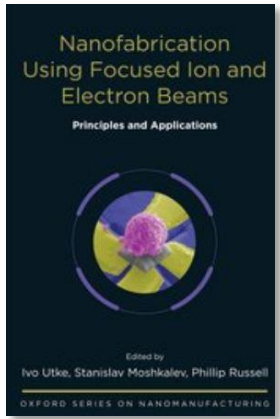
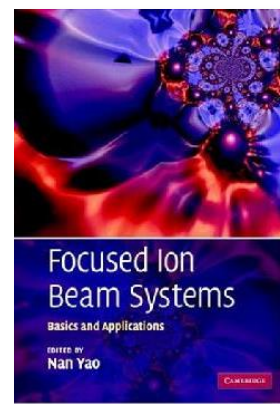
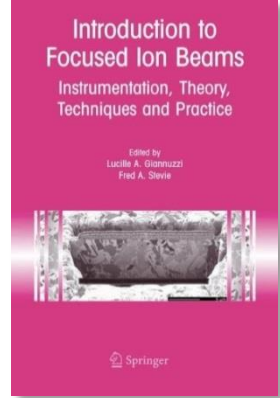
DATE DU STAGE

17095 : du lundi 20/03/2017 au vendredi 24/03/2017

J. Orloff



L. Giannuzzi

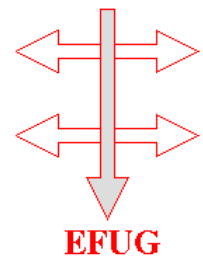


• GN-MEBA « Imagerie et analyses : de la 2D à la 3D, Le MEB-FIB: principe et applications » 1-2 décembre 2011.

• FIB User's Group Meeting :

<http://efug.imec.be/> depuis '97
« Extended FIB literature list » 03/17

<http://www.fibsem.net/>



Groupe de Physique des Matériaux - UMR CNRS 6634
emmanuel.cadel@univ-rouen.fr

