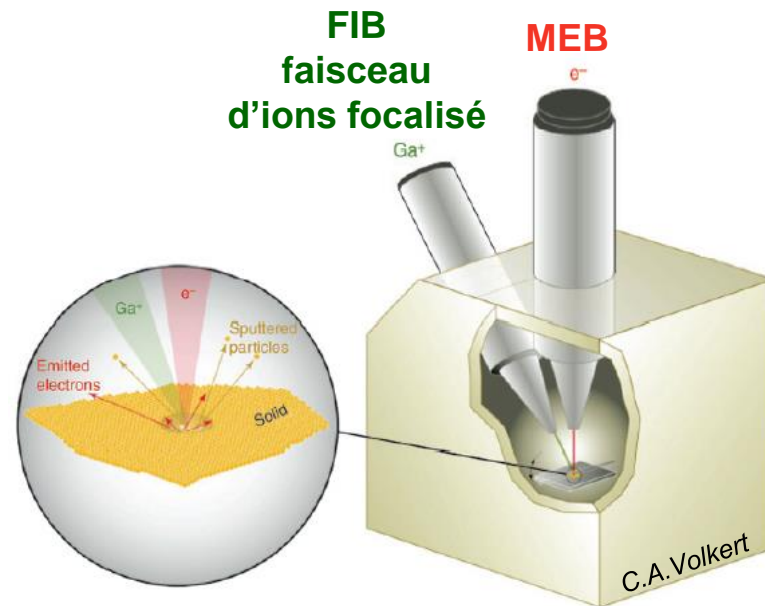


INTRODUCTION A LA THEMATIQUE MEB-FIB

(FIB : Focused Ion Beam)



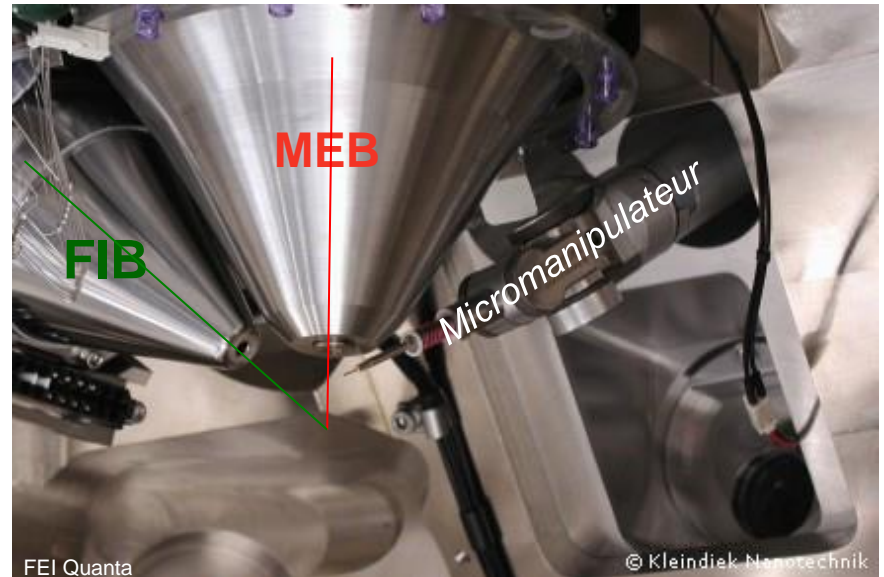
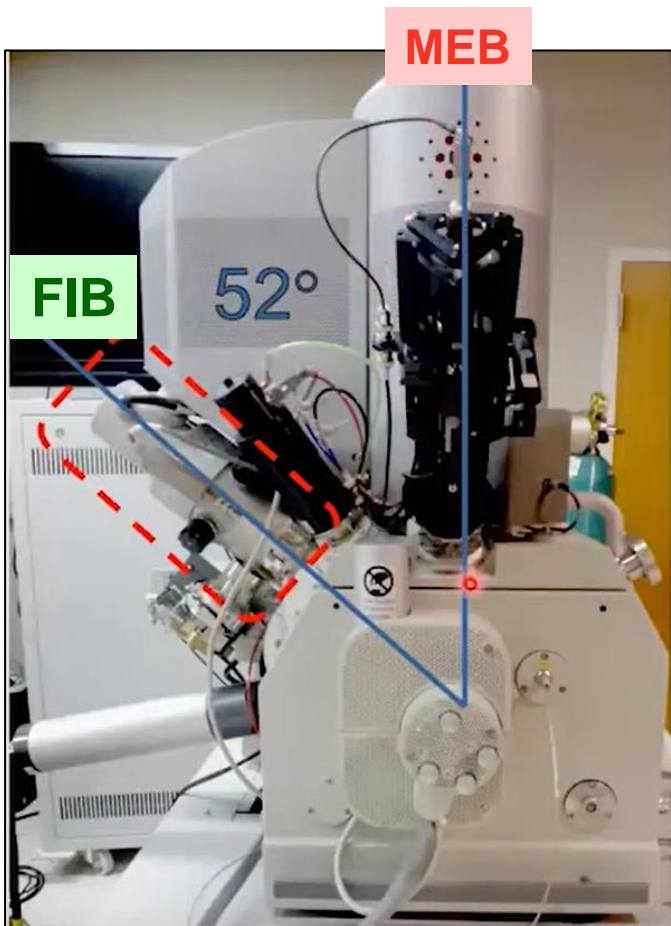
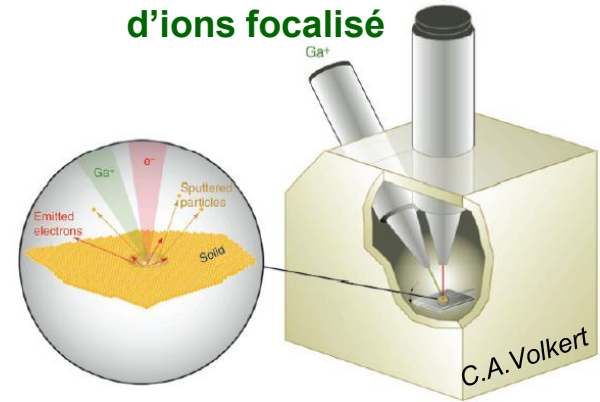
Le microscope double faisceau MEB-FIB

(Focused Ion Beam)

faisceau d'e⁻ couplé à
un faisceau d'ions focalisé (FIB)
à haute brillance

FIB
faisceau
d'ions focalisé

MEB
e⁻



CARACTERISTIQUES des IONS et des ELECTRONS

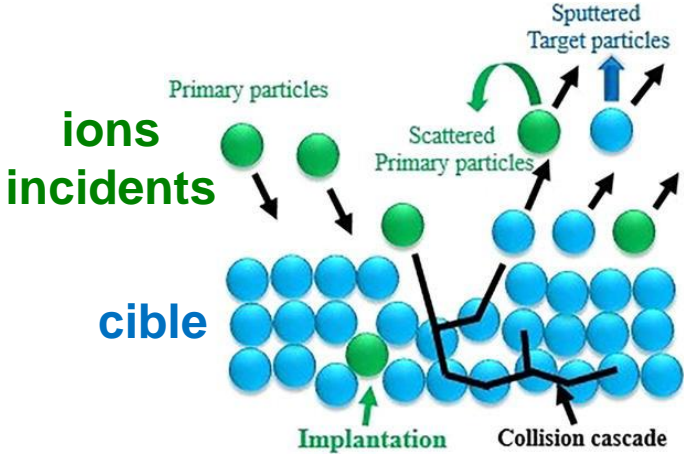
		FIB	MEB	Ratio
Particule	type	ion Ga ⁺	électron	
	charge élémentaire	1	-1	
	diamètre (nm)	0,2	0,00001	20 000
	masse (kg)	1,2 x 10 ⁻²⁵	9,1 x 10 ⁻³¹	130 000
	vitesse à 30 kV	2,8 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁸	0,0028
	vitesse à 1 kV	5,2 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁷	0,0028
	quantité de mouvement à 30 kV (kg.m/s)	3,4 x 10 ⁻²⁰	9,1 x 10 ⁻²³	370
	quantité de mouvement à 1 kV (kg.m/s)	6,2 x 10 ⁻²¹	1,6 x 10 ⁻²³	370
Profondeur de pénétration dans :	fer à 30 kV (nm)	20	1800	
	fer à 2 kV (nm)	4	25	
signal moyen pour 100 particules incidentes à 20 kV	électrons secondaires	100-200	50-75	
	électrons rétrodiffusés	0	30-50	
	atomes cible	500	0	
	ions secondaires	30	0	
	rayons X	0	0,7	

ions :

plus gros ∅
plus lourds
plus lents

plus forte qté. de mvt

moins pénétrants



masse ions élevée → $p = m \cdot v_{\text{ions Ga}^+} \gg p = m \cdot v_{e^-}$

ions incidents

- ⇒ pulvérisation depuis la surface des **atomes cible**
- ⇒ usinage d'objets à l'échelle nm

Les faisceaux d'ions focalisés - HISTORIQUE

- **Années 1970** : application des 1^{ères} sources ioniques focalisées ponctuelles

1975 : **Krohn & Ringo** (USA) : source à métal liquide (Ga)
avec optique de focalisation (21 kV, 10 μ A, $\varnothing_{\text{spot}}$ 15 μ m)

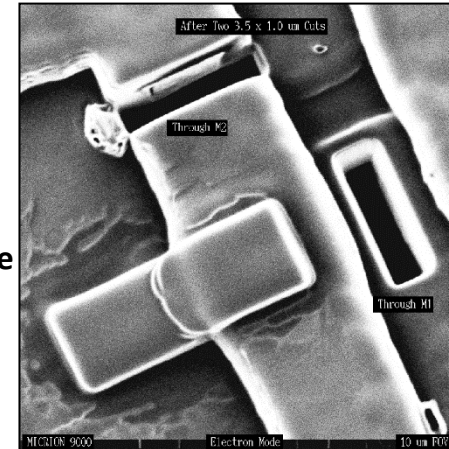
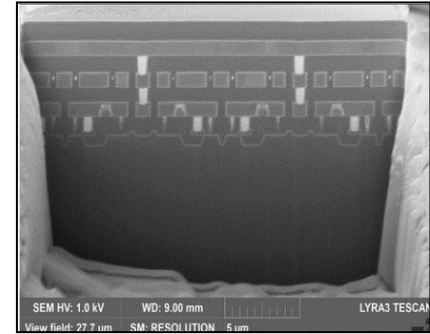
1979 : **Seliger & coll.** (USA) : 1^{er} microscope ionique à balayage (Ga) (57 kV, $\varnothing_{\text{spot}}$ 0,1 μ m)

- **Analyse de défauts dans les puces électroniques**

- **Années 1980** : gravure et dépôt assistés par FIB - resolution < 1 μ m

- **Méthode "mill and fill" : correction des défauts des CI, réparation de masques lithographie**

- **Fin 1980 - début 1990** : préparation de lames MET (épaisseur < 100 nm)



Préparation de lame mince par la technique dite de 'H barre'

1^{ère} technique de préparation de lame mince par FIB

1^{ère} étape réaliser un barreau de 2-3 mm long x 50 μ m largeur contenant la région d'intérêt



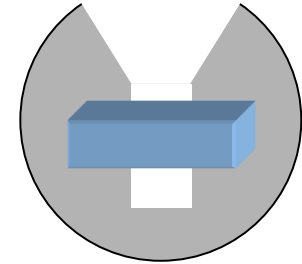
Nécessite les *étapes classiques de préparation* :

Découpe à la scie diamantée

Collage du barreau sur une lame de verre avec de la cire

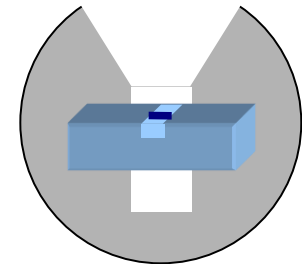
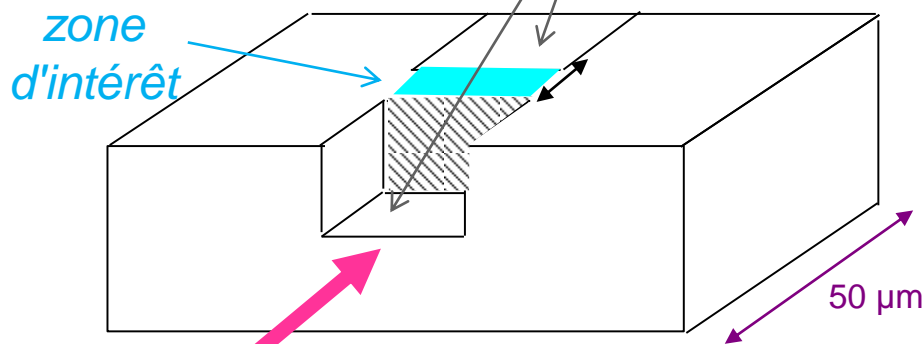
Polissage manuel

2^{ème} étape barreau fixé sur un support MET en forme de U



3^{ème} étape introduction dans le FIB pour créer une zone mince
réalisation de deux tranchées autour de la zone d'intérêt

100 nm d'épaisseur



Observation par MET

Taux de succès = quasi 100%

Les faisceaux d'ions focalisés - HISTORIQUE

- **Années 1970** : application des 1^{ères} sources ioniques focalisées ponctuelles

1975 : **Krohn & Ringo** (USA) : source à métal liquide (Ga)
avec optique de focalisation (21 kV, 10 μ A, $\varnothing_{\text{spot}}$ 15 μ m)

1979 : **Seliger & coll.** (USA) : 1^{er} microscope ionique à balayage (Ga) (57 kV, $\varnothing_{\text{spot}}$ 0,1 μ m)

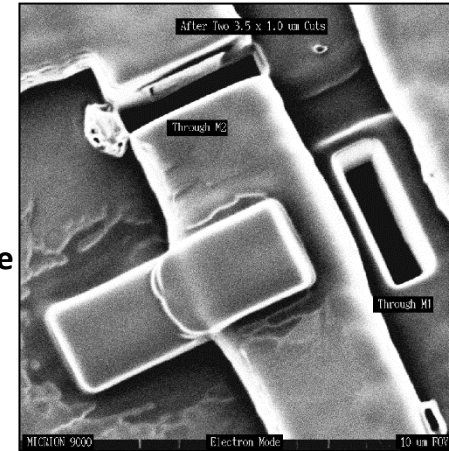
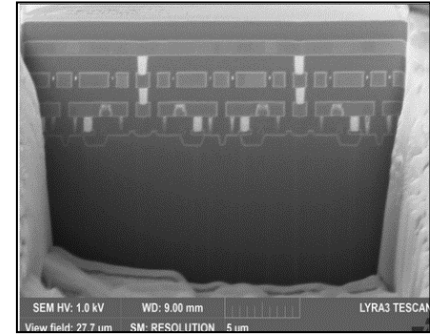
- **Analyse de défauts dans les puces électroniques**

- **Années 1980** : gravure et dépôt assistés par FIB - resolution < 1 μ m

- **Méthode "mill and fill" : correction des défauts des CI, réparation de masques lithographie**

- **Fin 1980 - début 1990** : préparation de lames MET

- **Début années 1990** : commercialisation du microscope à double faisceau MEB-FIB



Les faisceaux d'ions focalisés - HISTORIQUE

- **Années 1970** : application des 1^{ères} sources ioniques focalisées ponctuelles

1975 : **Krohn & Ringo** (USA) : source à métal liquide (Ga)
avec optique de focalisation (21 kV, 10 μ A, $\varnothing_{\text{spot}}$ 15 μ m)

1979 : **Seliger & coll.** (USA) : 1^{er} microscope ionique à balayage (Ga) (57 kV, $\varnothing_{\text{spot}}$ 0,1 μ m)

- **Analyse de défauts dans les puces électroniques**

- **Années 1980** : gravure et dépôt assistés par FIB - resolution < 1 μ m

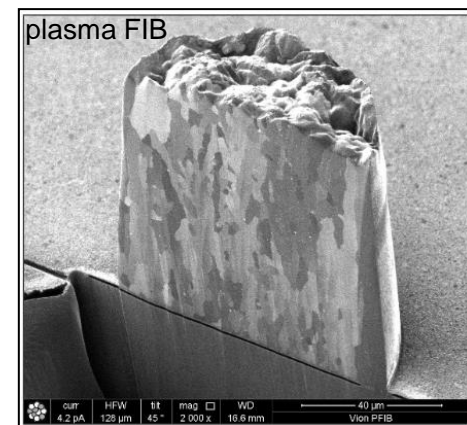
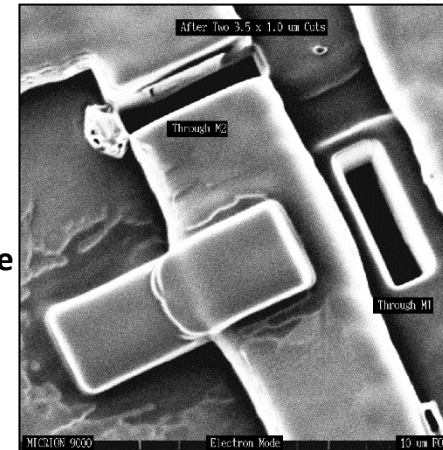
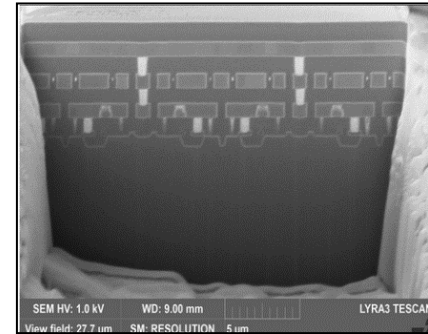
- **Méthode "mill and fill"** : correction des défauts des CI, réparation de masques lithographie

- **Fin 1980 - début 1990** : préparation de lames MET

- **Début années 1990** : commercialisation du microscope à double faisceau MEB-FIB

- **2010 : FIB avec source plasma**
marché en forte progression

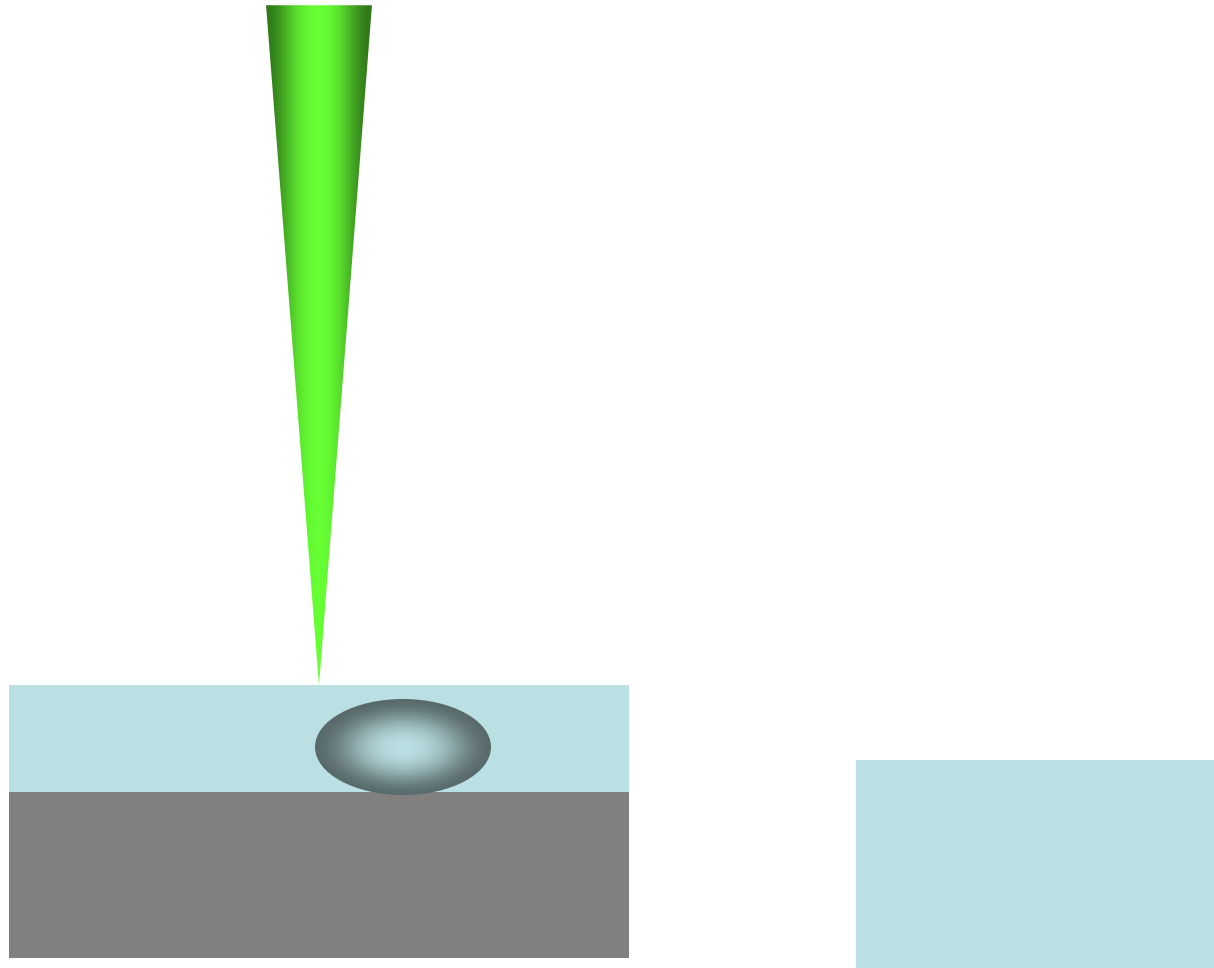
- **MEB-FIB aujourd'hui** : applications diverses - sciences des matériaux et du vivant



Intérêt du microscope à double colonne

SEM imaging

SEM

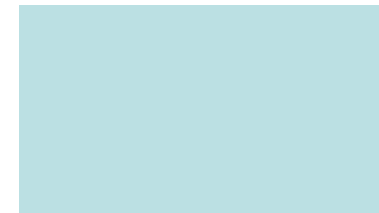
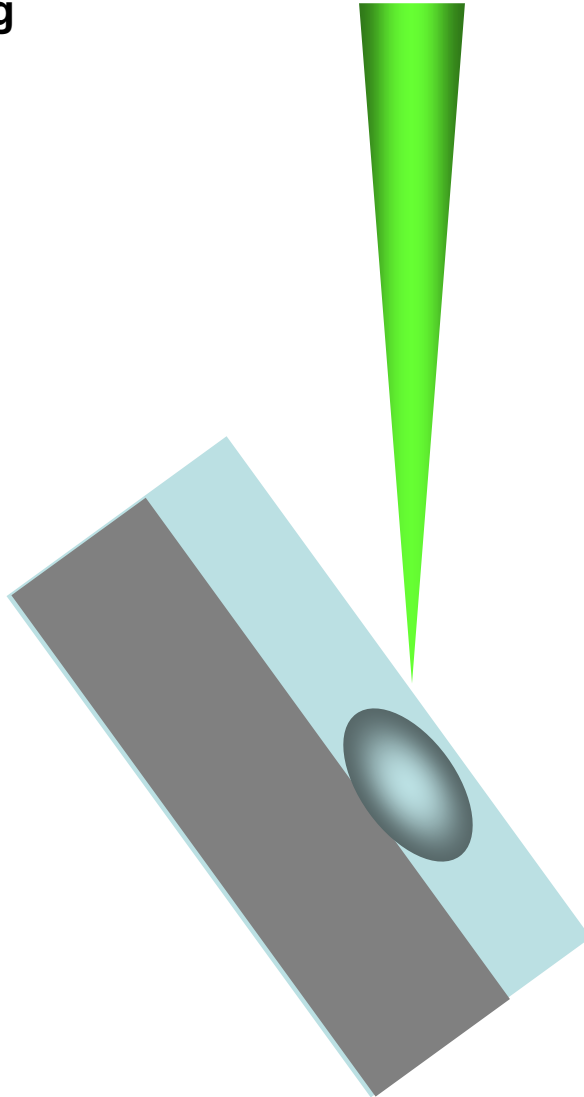


SEM image

Intérêt du microscope à double colonne

SEM imaging

SEM

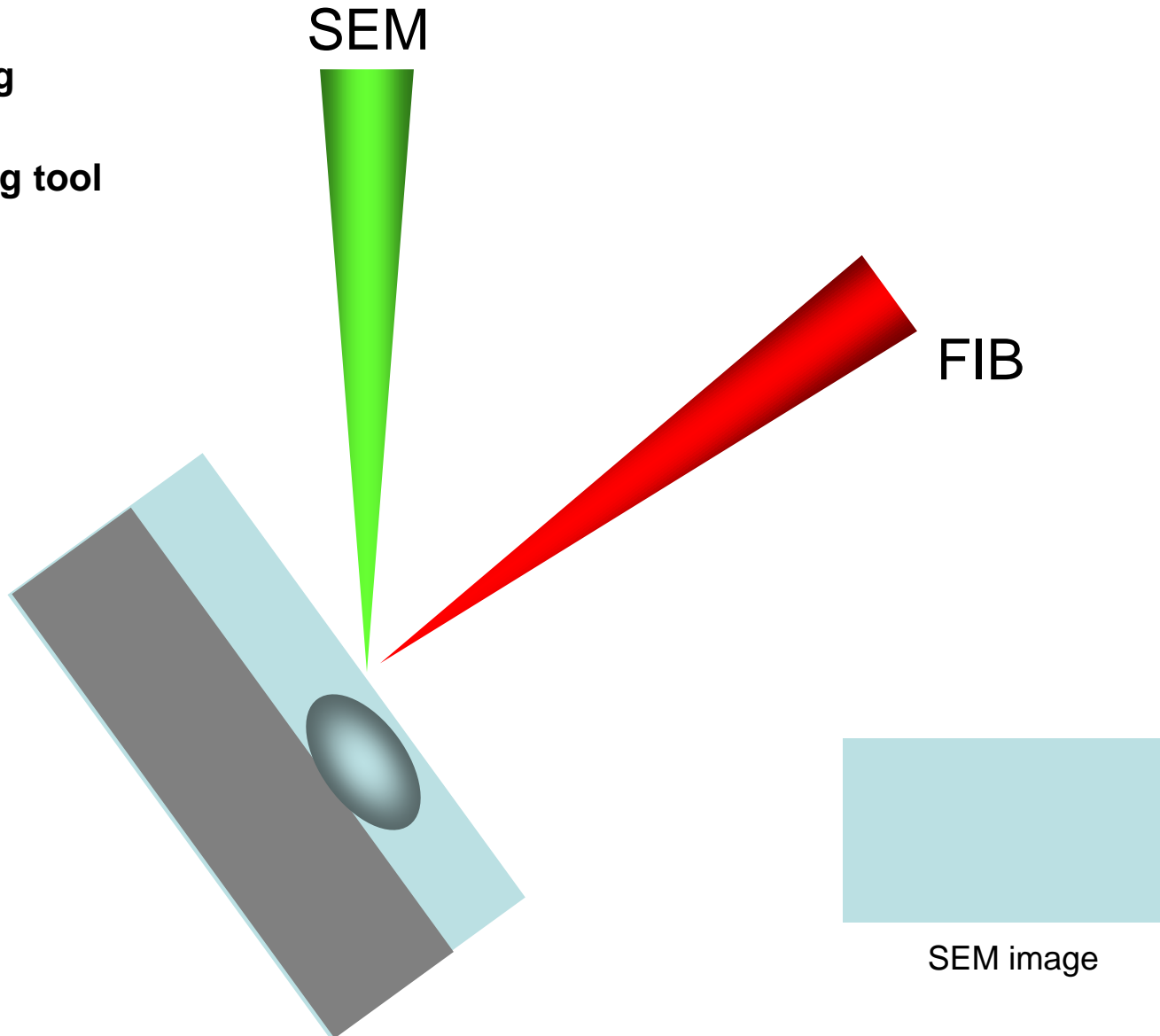


SEM image

Intérêt du microscope à double colonne

SEM imaging

Add a cutting tool



Intérêt du microscope à double colonne

Data Acquisition

Add a cutting tool

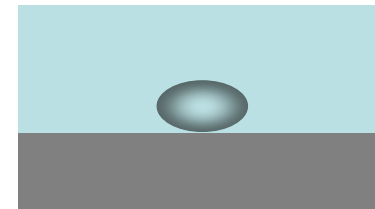
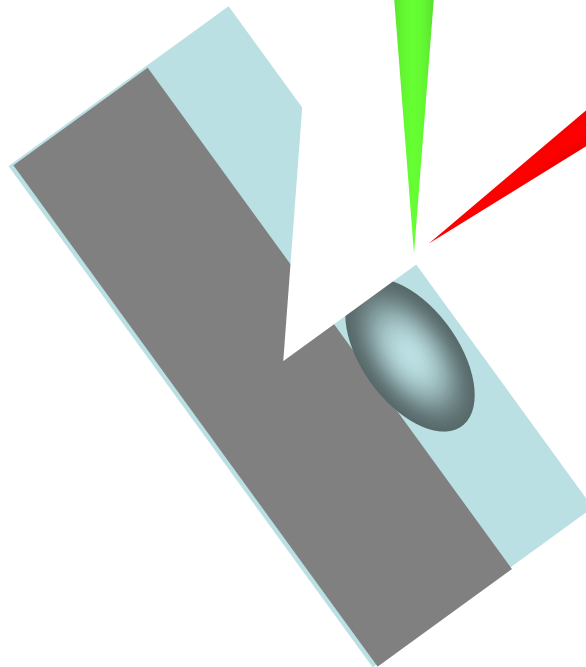
Open up the 3rd dimension

SEM

Image MEB haute résolution en temps réel
pendant l'usinage par faisceau d'ions

- localisation précise de la zone usinée
- contrôle 'en direct' d'une gravure, d'un dépôt
- arrêt de l'usinage sur zone d'intérêt (défaut)..

FIB



SEM image

Intérêt du microscope à double colonne

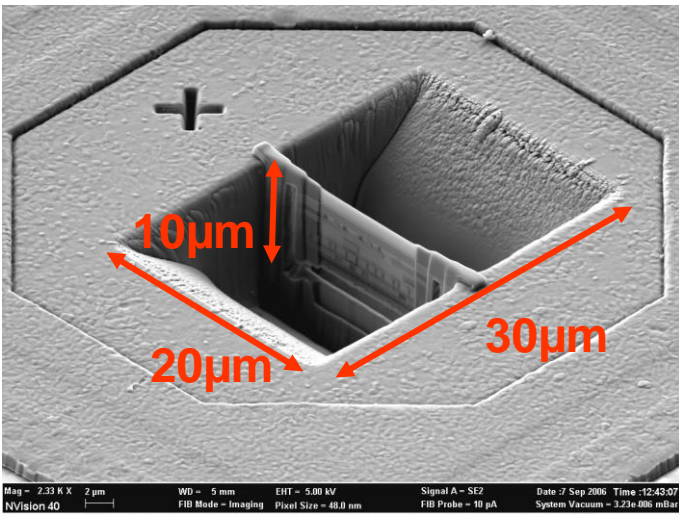
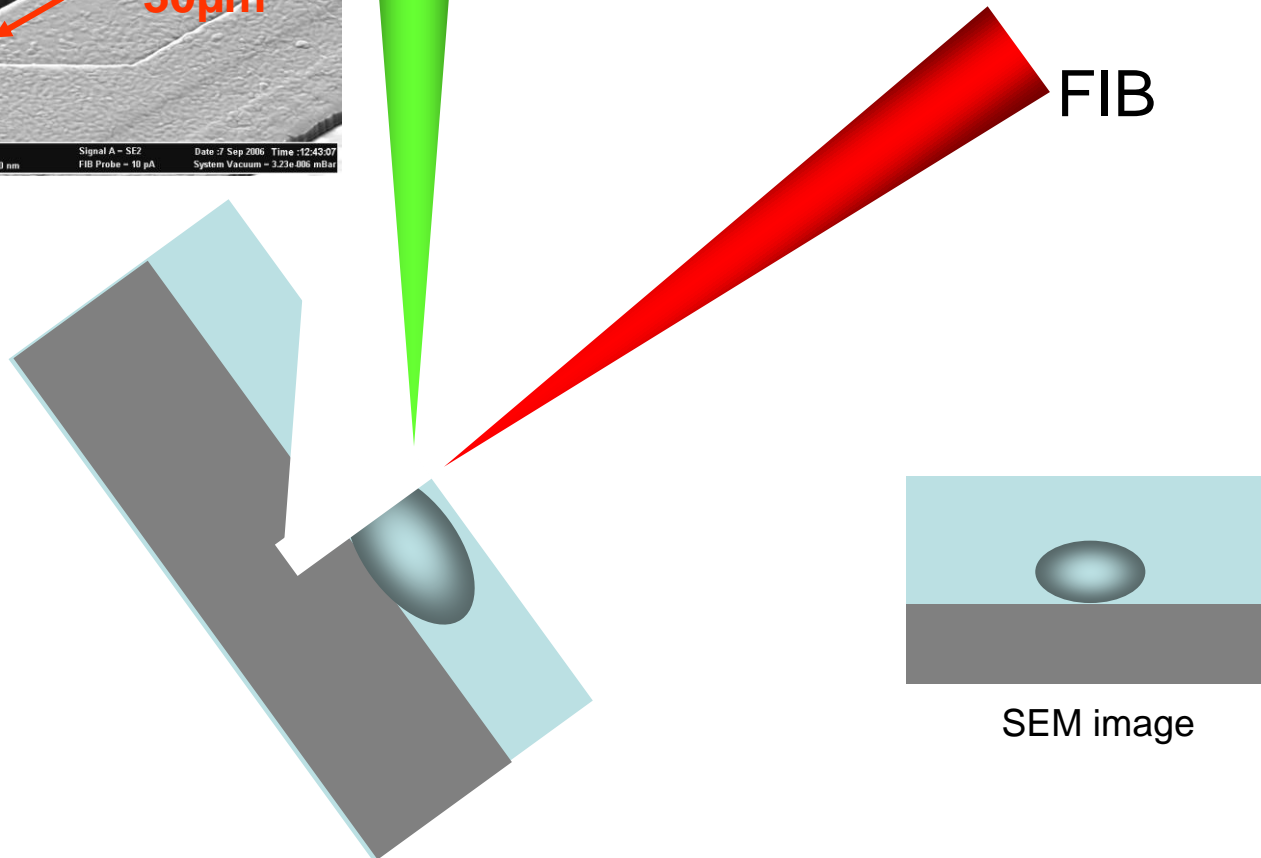


Image MEB haute résolution en temps réel
pendant l'usinage par faisceau d'ions

- localisation précise de la zone usinée
- contrôle 'en direct' d'une gravure, d'un dépôt
- arrêt de l'usinage sur zone d'intérêt (défaut)..



Intérêt du microscope à double colonne

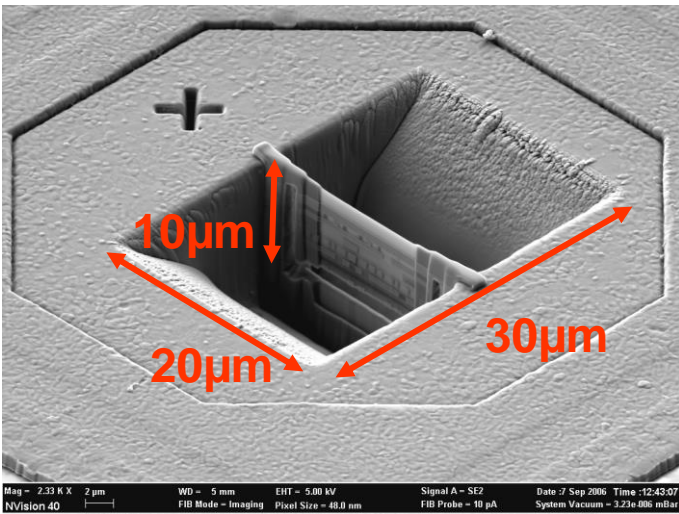
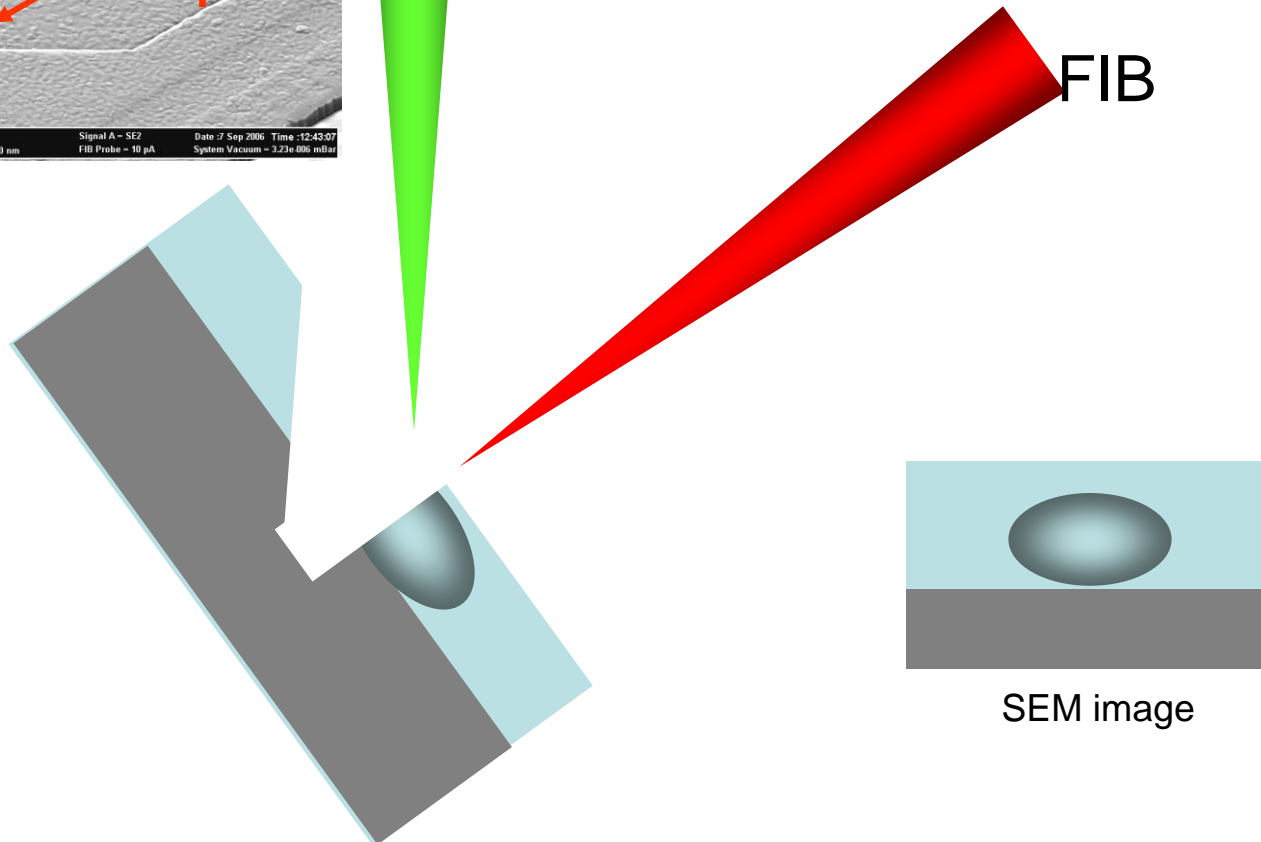


Image MEB haute résolution en temps réel
pendant l'usinage par faisceau d'ions

- localisation précise de la zone usinée
- contrôle 'en direct' d'une gravure, d'un dépôt
- arrêt de l'usinage sur zone d'intérêt (défaut)..



Intérêt du microscope à double colonne

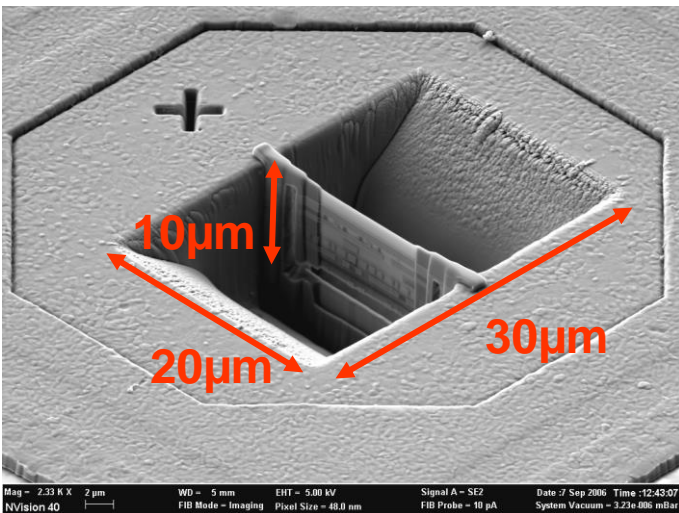
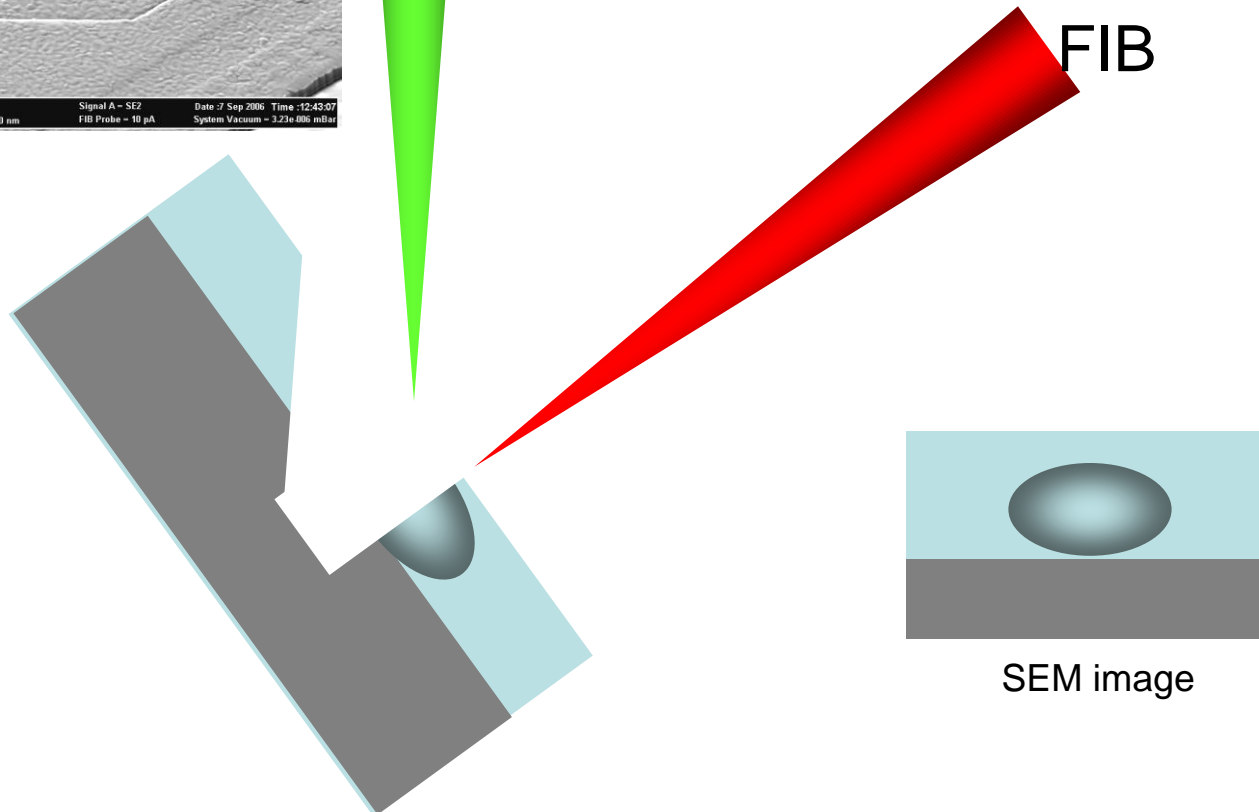


Image MEB haute résolution en temps réel
pendant l'usinage par faisceau d'ions

- localisation précise de la zone usinée
- contrôle 'en direct' d'une gravure, d'un dépôt
- arrêt de l'usinage sur zone d'intérêt (défaut)..



Intérêt du microscope à double colonne

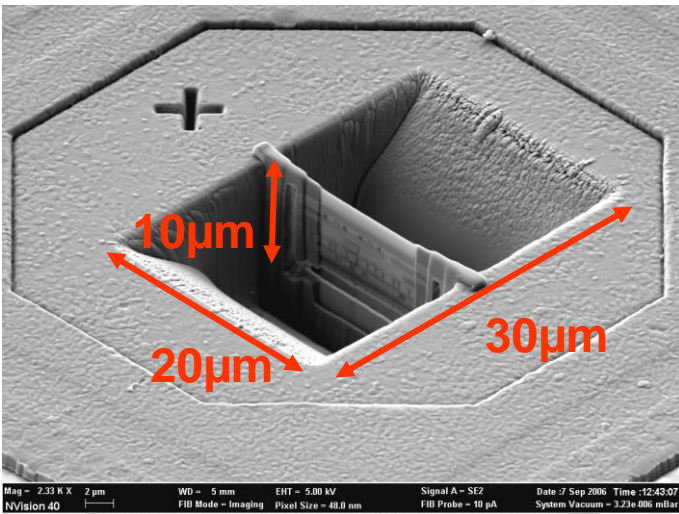
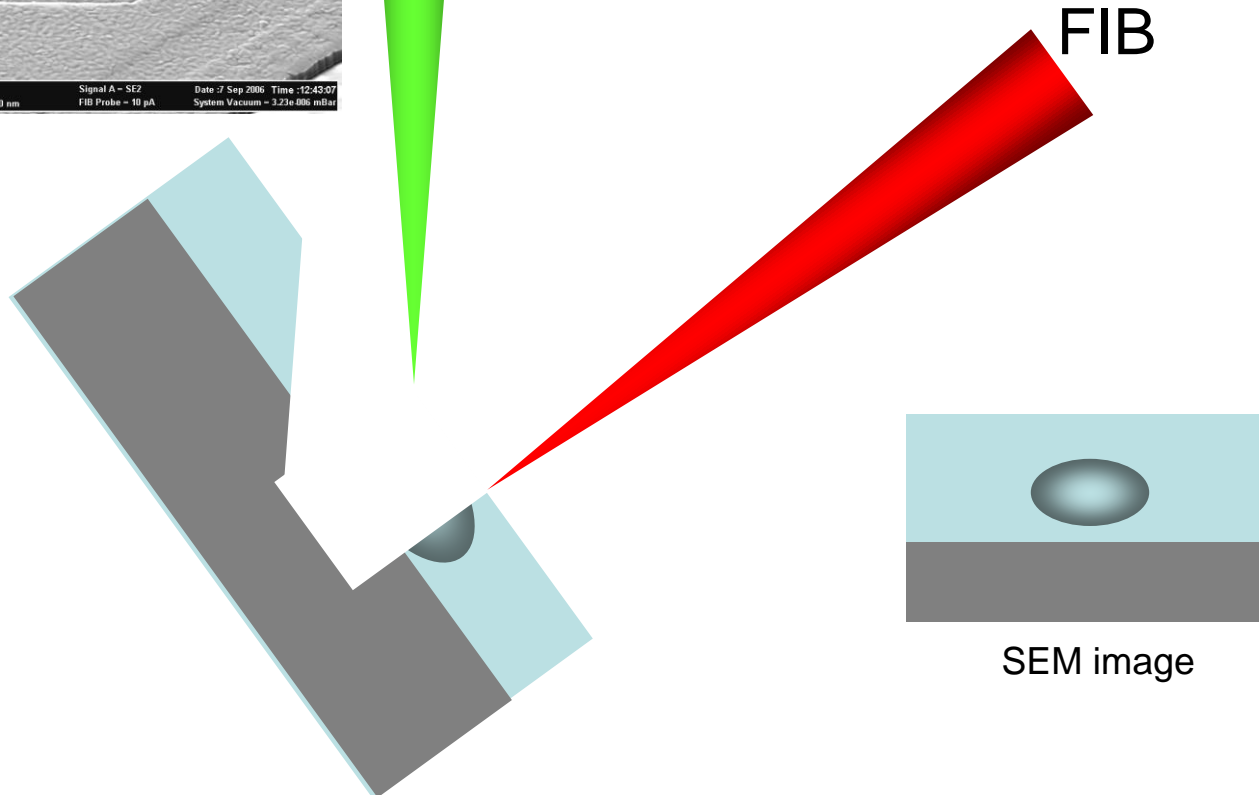


Image MEB haute résolution en temps réel
pendant l'usinage par faisceau d'ions

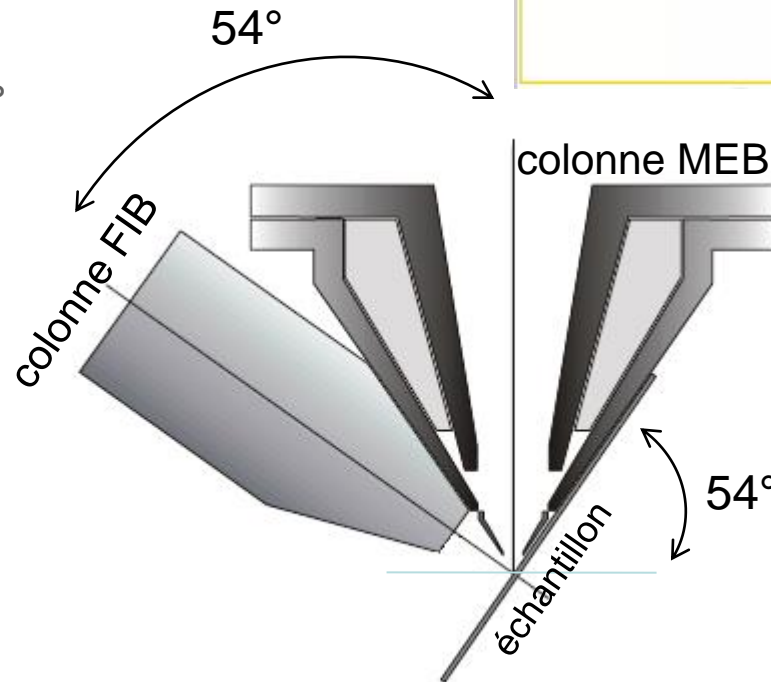
- localisation précise de la zone usinée
- contrôle 'en direct' d'une gravure, d'un dépôt
- arrêt de l'usinage sur zone d'intérêt (défaut)..



Configuration des colonnes FIB-MEB : point de coïncidence

PFIB Amber Tescan : 55°
 $WD_{MEB} : 6 \text{ mm}$
PFIB Helios Thermo Fisher : 52°
 $WD_{MEB} : 4 \text{ mm}$

CrossBeam 550 Zeiss :



$WD_{MEB} = 5 \text{ mm}$
 $WD_{FIB} = 13,5 \text{ mm}$

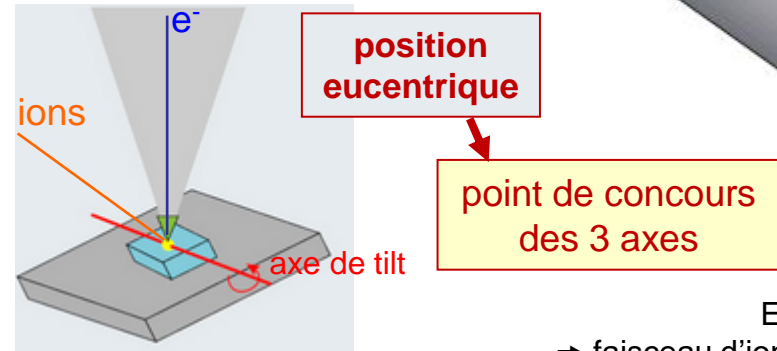
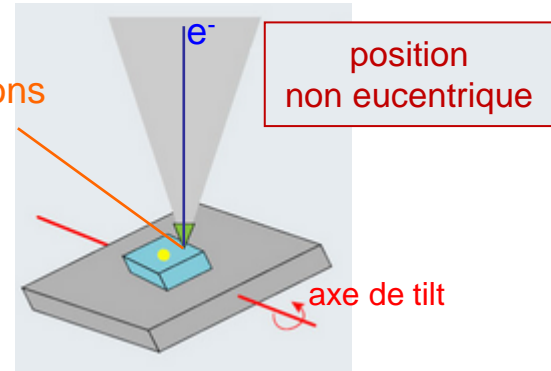
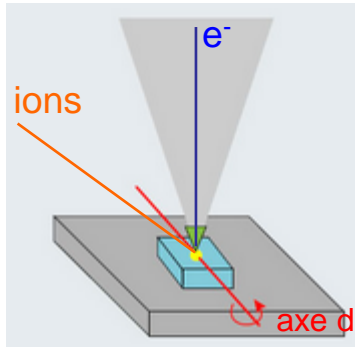
Echantillon incliné à 54°

→ faisceau d'ions normal à la surface de l'échantillon

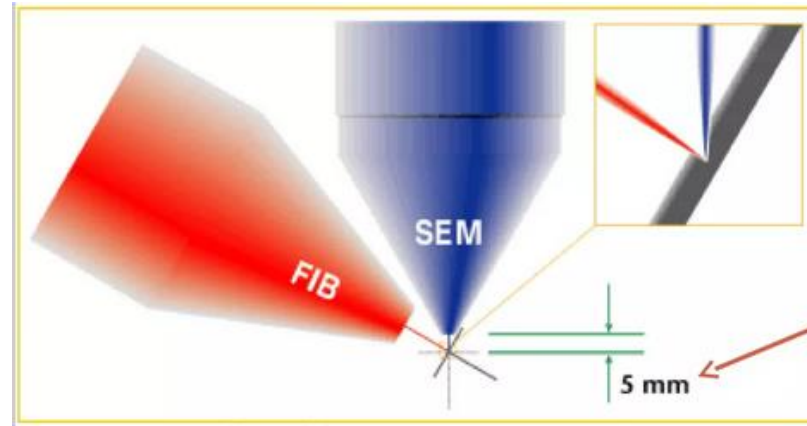
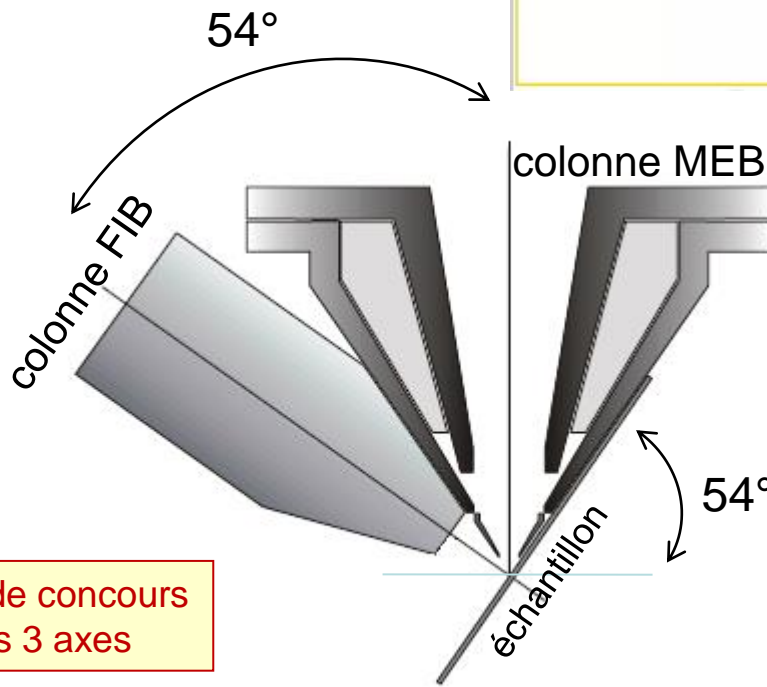
Coïncidence en un même point de l'échantillon des 2 faisceaux focalisés (e^- , ions)

⇒ au MEB et au FIB : image de la même zone d'intérêt

Position eucentrique de l'échantillon



CrossBeam 550 Zeiss :



Fonctionnalités du FIB optimisées pour ce pt. de coïncidence

$WD_{MEB} = 5 \text{ mm}$

$WD_{FIB} = 13,5 \text{ mm}$

Echantillon incliné à 54°

→ faisceau d'ions normal à la surface de l'échantillon

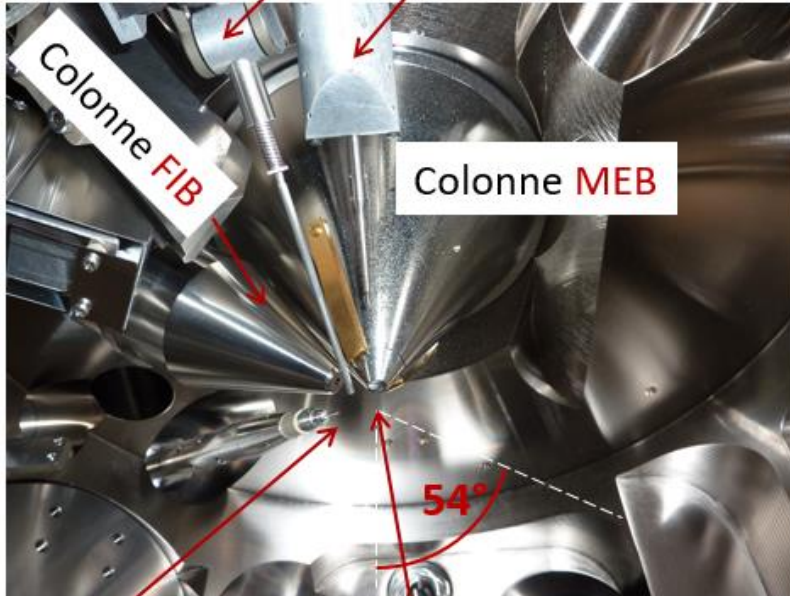
La position de la surface de l'éch. au point de coïncidence des 2 faisceaux focalisés doit correspondre à sa position eucentrique.

Coïncidence en un même pt. de l'éch. des 2 faisceaux focalisés (e^- , ions) et de l'axe de tilt

⇒ au MEB et au FIB : image de la même zone d'intérêt, \forall angle de tilt

Le MEB-FIB : une plate-forme expérimentale

micromanipulateurs



All techniques at common analytical working distance
= FIB coincidence point

système d'injection des gaz
(GazInjectionSystem)

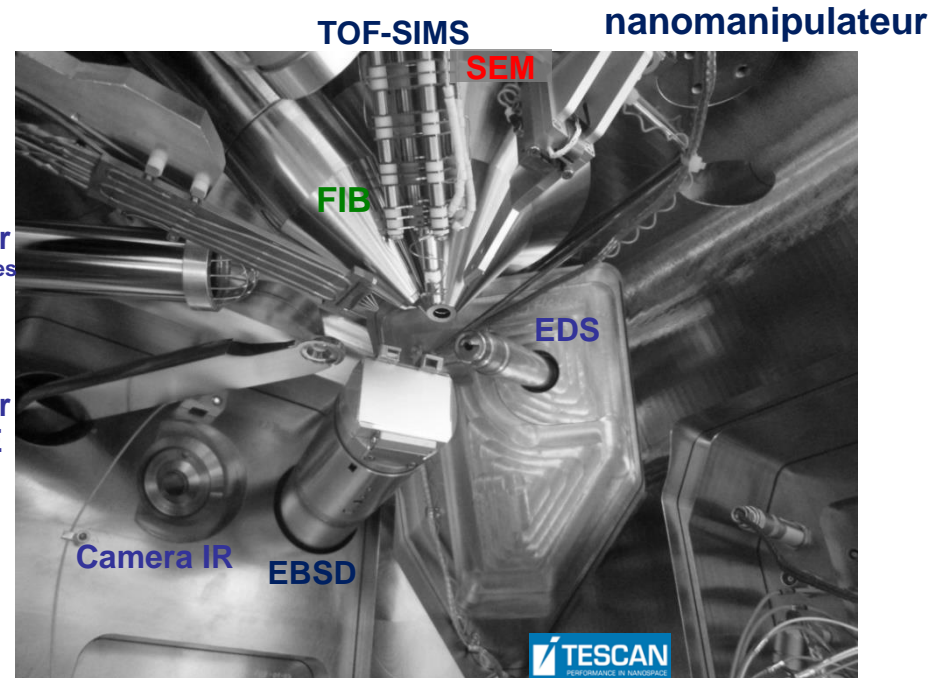
point de coïncidence des faisceaux MEB et FIB
WD (MEB) = 4 ou 5 mm

Doc^t E. Cadel

GIS

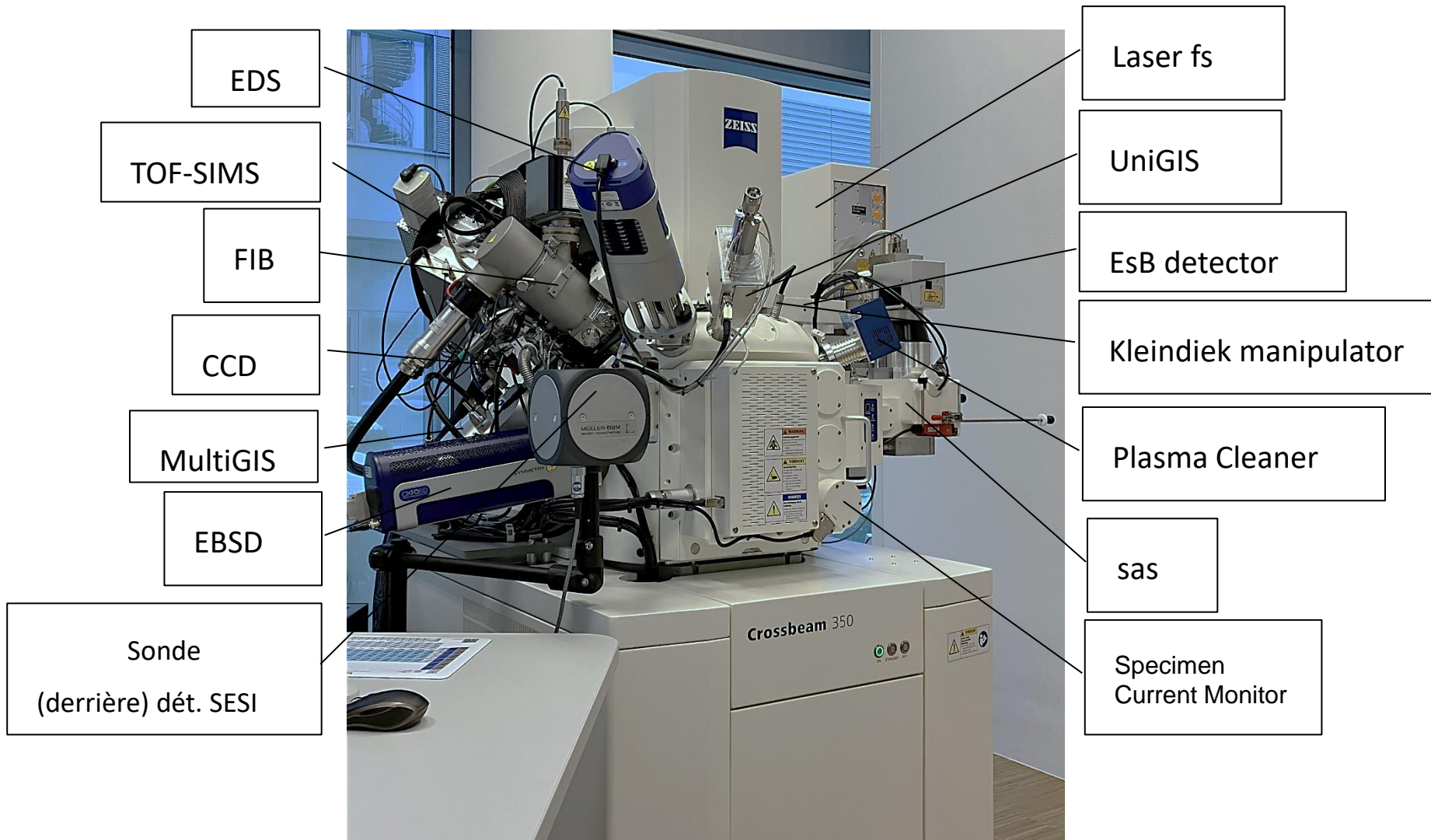
détecteur d'e⁻ 2ndaires

détecteur d'e⁻ BSE



Doc^t D. Barresi

Le MEB-FIB : une plate-forme expérimentale



MEB-FIB : instruments commercialisés

Hitachi - Ethos NX5000

Triple faisceau
FIB Ga et colonne Ar/Xe basse tension



Jeol - JIB-PS500i

FIB Ga



Tescan - Amber X

PFIB Xe



ThermoFisher - Helios 5 Hydra

PFIB Xe, Ar, O, N



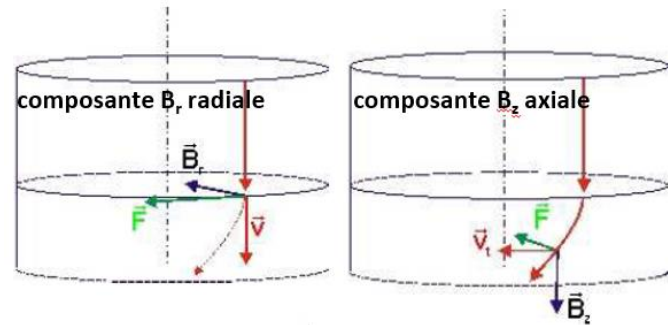
Zeiss - Cross Beam 550

FIB Ga et laser fs.



DEVIATION des IONS

Lentilles électromagnétiques (MEB) :



Force exercée sur la particule chargée :

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Rayon R de la trajectoire hélicoïdale de la particule chargée
→ convergence vers l'axe optique

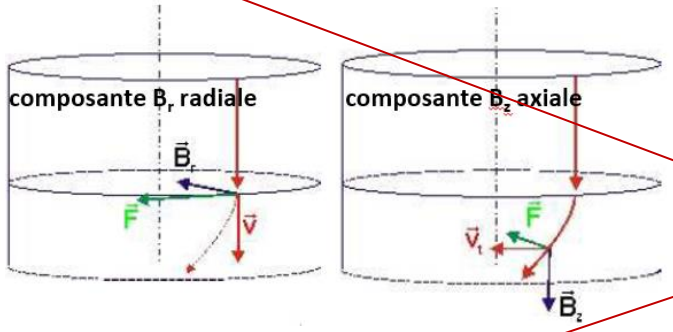
$$R \propto m/q$$

$$m_{\text{ion}} \sim 130\,000 \times m_{e^-}$$

→ la déviation des ions nécessiterait un champ B très intense

DEVIATION des IONS

Lentilles électromagnétiques (MEB) :



Force exercée sur la particule chargée :

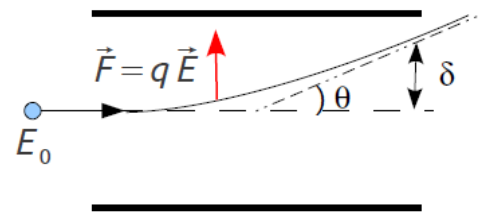
$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Rayon R de la trajectoire hélicoïdale de la particule chargée
→ convergence vers l'axe optique R ∝ m/q

$$m_{\text{ion}} \sim 130\,000 \times m_{e^-}$$

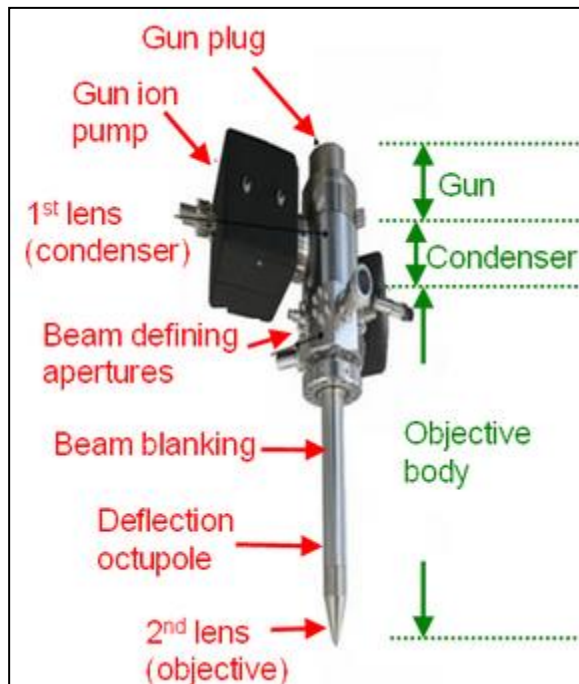
→ la déviation des ions nécessiterait un champ B très intense

Lentilles électrostatiques (FIB) :

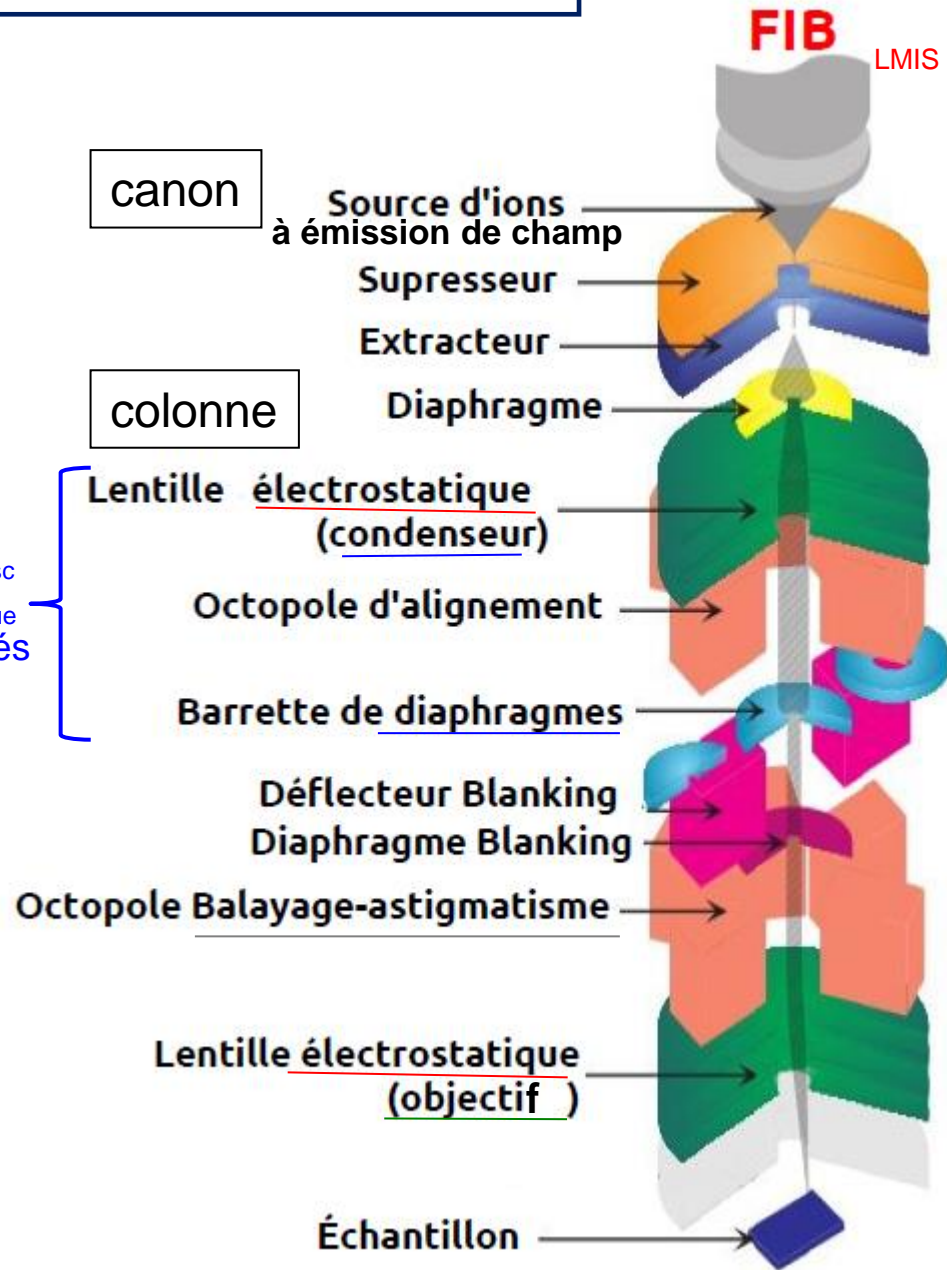


La trajectoire parabolique de la particule chargée
indépendante de sa masse

LA COLONNE IONIQUE - Similitudes avec la colonne MEB



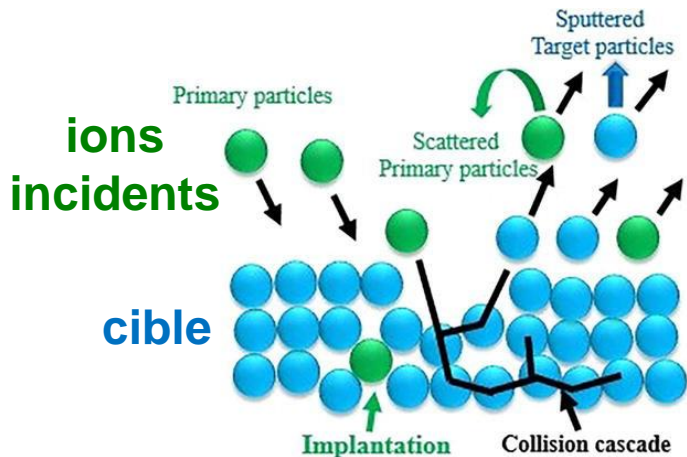
$\varnothing_{\text{faisc}}$
 I_{ionique}
ajustés



CARACTERISTIQUES des IONS → interactions ions-matière
 → choix des conditions opératoires au FIB

		FIB	MEB	Ratio
Particule	type	ion Ga ⁺	électron	
	charge élémentaire	1	-1	
	diamètre (nm)	0,2	0,00001	20 000
	masse (kg)	1,2 x 10 ⁻²⁵	9,1 x 10 ⁻³¹	130 000
	vitesse à 30 kV	2,8 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁸	0,0028
	vitesse à 1 kV	5,2 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁷	0,0028
	quantité de mouvement à 30 kV (kg.m/s)	3,4 x 10 ⁻²⁰	9,1 x 10 ⁻²³	370
	quantité de mouvement à 1 kV (kg.m/s)	6,2 x 10 ⁻²¹	1,6 x 10 ⁻²³	370
Profondeur de pénétration dans :	fer à 30 kV (nm)	20	1800	
	fer à 2 kV (nm)	4	25	
signal moyen pour 100 particules	électrons secondaires	100-200	50-75	
	électrons rétrodiffusés	0	30-50	
incidentes à 20 kV	atomes cible	500	0	
	ions secondaires	30	0	
	rayons X	0	0,7	

ions :
 plus gros ∅
 plus lourds
 plus lents
 plus forte qté. de mvt
 moins pénétrants



masse ions élevée → $p = m \cdot v_{\text{ions Ga}^+} \gg p = m \cdot v_{e^-}$

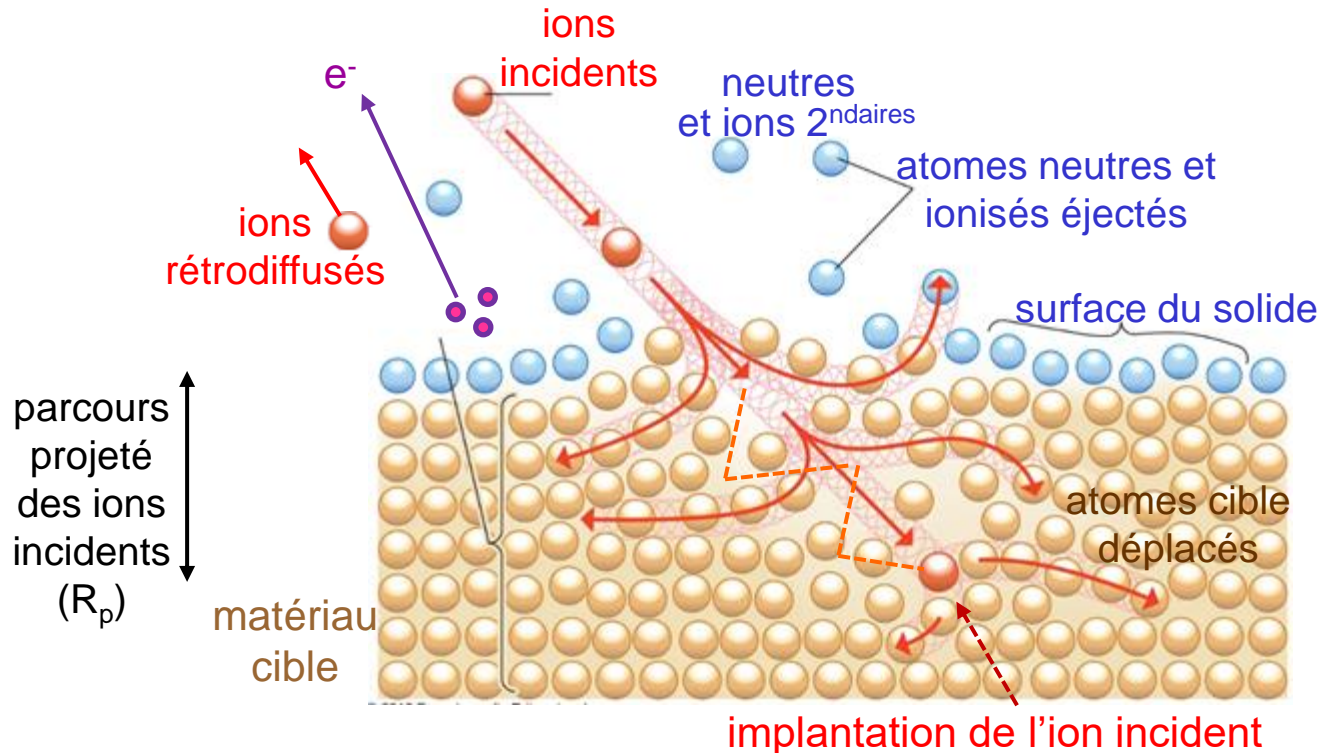
- ions incidents**
- ⇒ pulvérisation depuis la surface des **atomes cible**
- ⇒ usinage d'objets à l'échelle nm

INTERACTIONS IONS - MATIERE

Impact des ions de forte En. (< 30 keV) et de forte qté. de mvt.

- transfert de qté. de mvt. aux atomes cible
- collisions/déplacement en cascade des atomes cible
- pulvérisation en surface des atomes cible et ions 2^{ndaires}

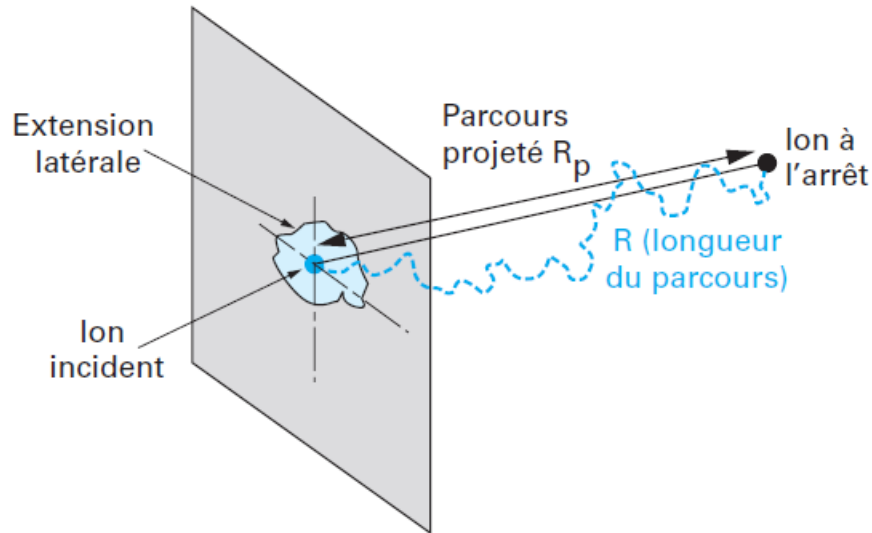
- interaction avec nuage d'e⁻ des atomes cible
- ionisation des atomes
- émission d'électrons



implantation d'ions
amorphisation
création de défauts
dissipation thermique

Parcours total des ions (R)

Inversement proportionnel au pouvoir d'arrêt du matériau cible
- perte moyenne d' $E_{n,ion}$ par unité de distance parcourue ($eV/\text{\AA}$) -

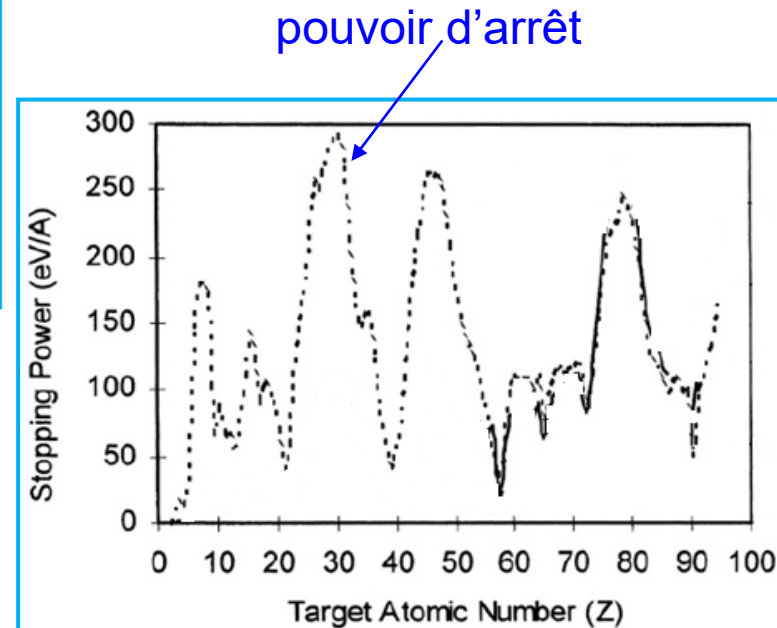


r parcours entre deux chocs.

R parcours total de l'ion avant son arrêt dans la cible.

Sa projection, selon la direction incidente, est R_p .
La projection sur le plan entrant de la cible donne l'extension latérale du parcours.

Trajectoire d'un ion incident dans la matrice



Parcours total des ions (R)

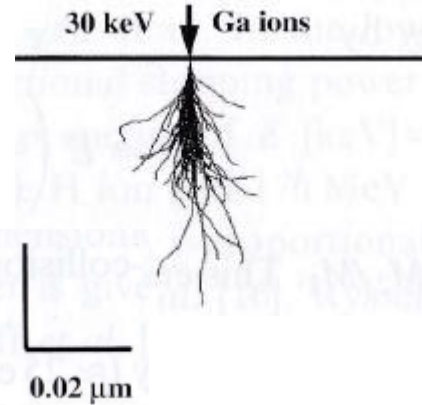
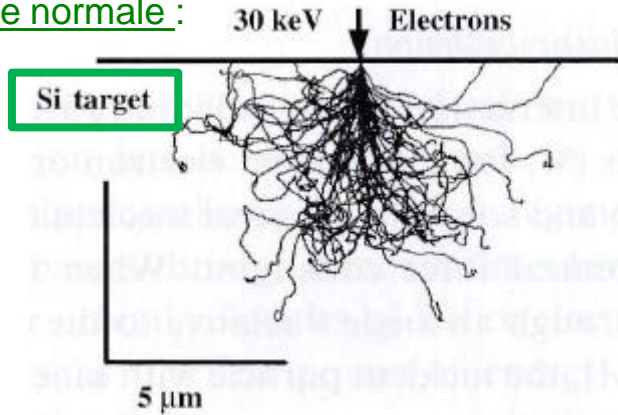
Comparé à celui des e^- aux mêmes énergies

30 kV

incidence normale :

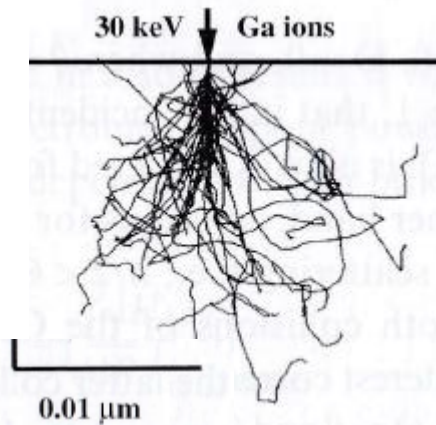
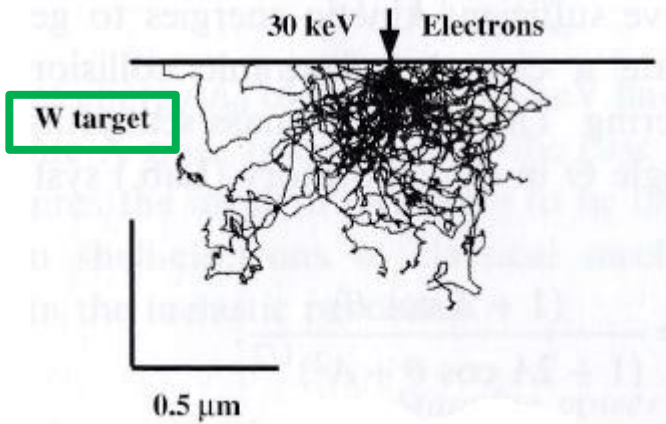
e^-

ions Ga^+



Parcours
Projeté R_p ($\div 250$)

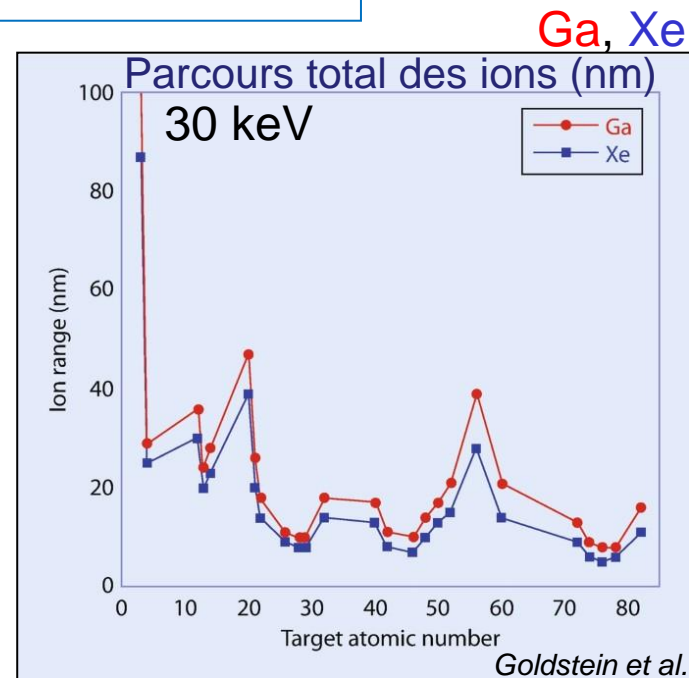
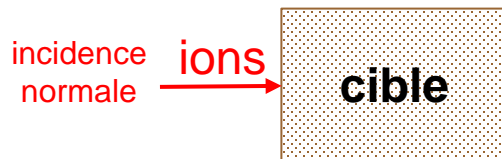
ions : trajectoires
très courtes



Parcours
Projeté R_p ($\div 50$)

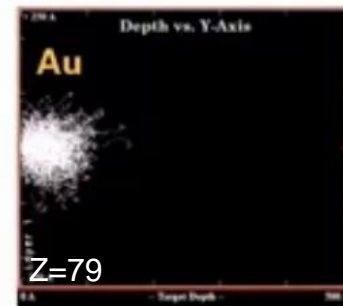
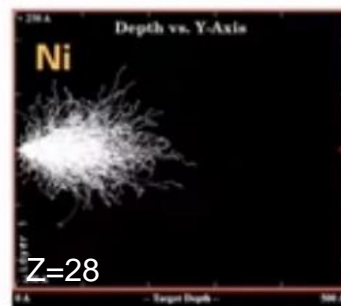
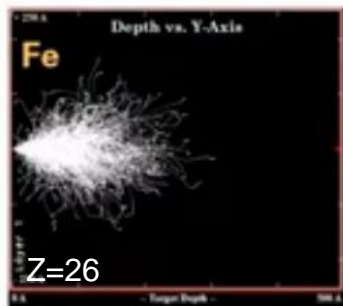
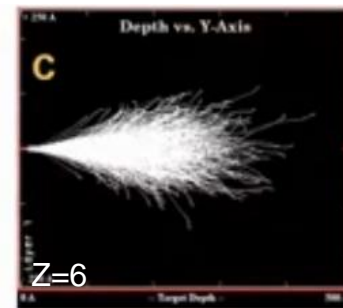
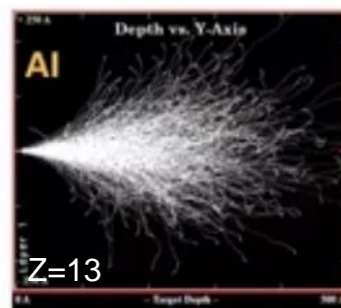
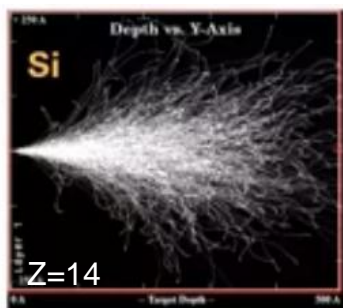
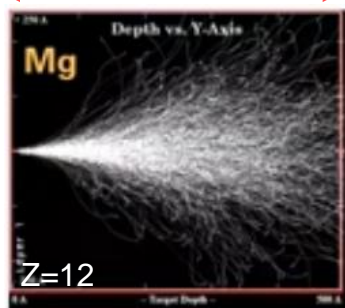
Parcours total des ions : fonction du matériau

à 30 keV :
parcours des ions < 50 nm



50 nm

ions Ga⁺ à 30 keV

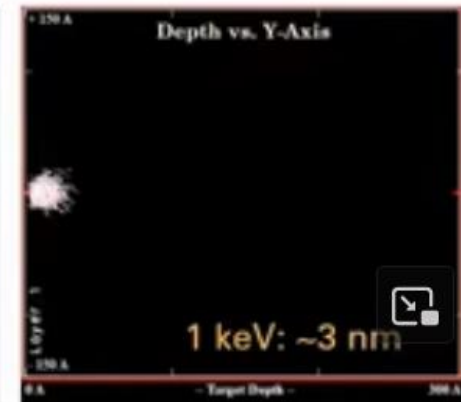
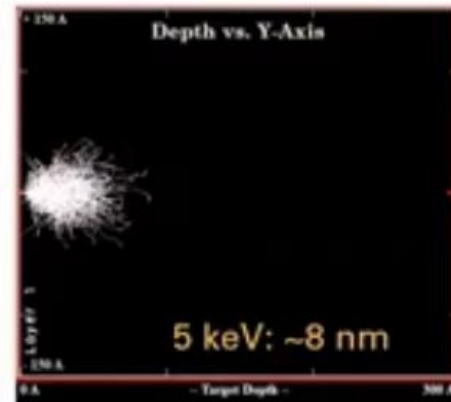
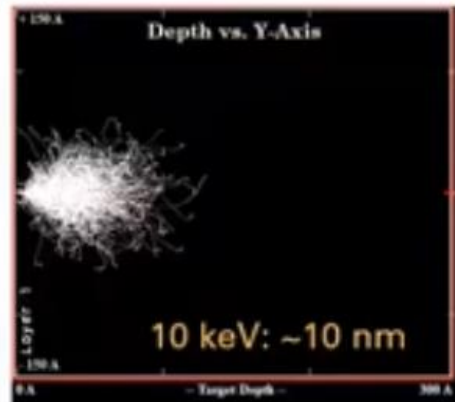
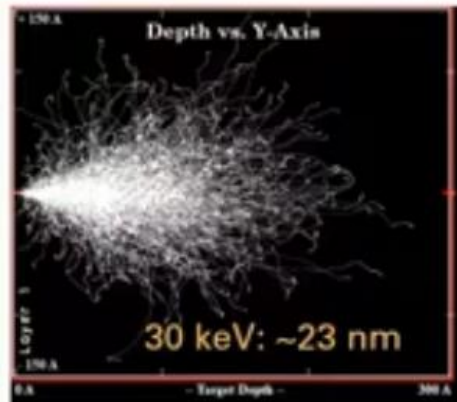


Parcours total des ions : fonction de l'Energie des ions

Profondeur de pénétration ↗ avec En. des ions

incidence normale Ga^+ ions Ga^+ à 30 keV
cible de Ni

30 nm

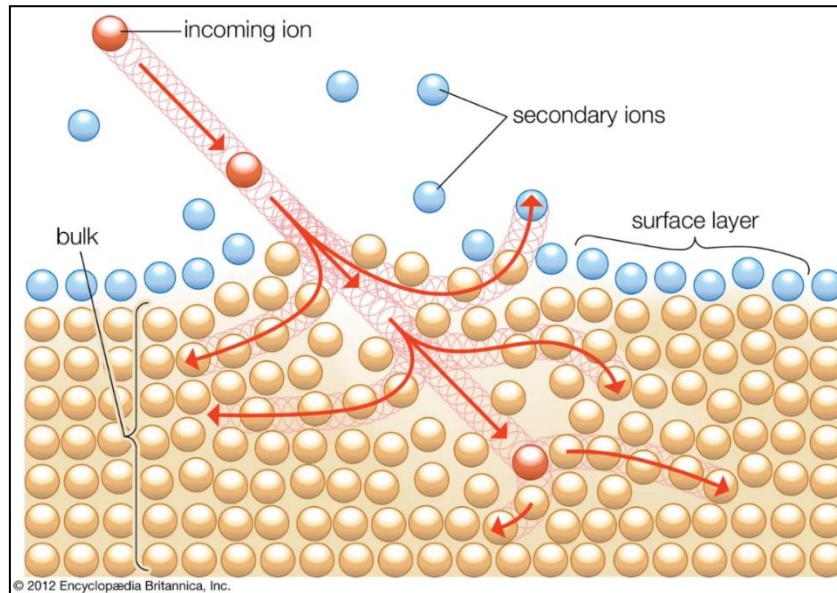


usinage à basse tension :
limite les dommages générés
dans le matériau

Rendement de pulvérisation Y :

Y = nbre. d'atomes cible éjectés par ion incident à la surface du solide

Y : proportionnel au pouvoir d'arrêt



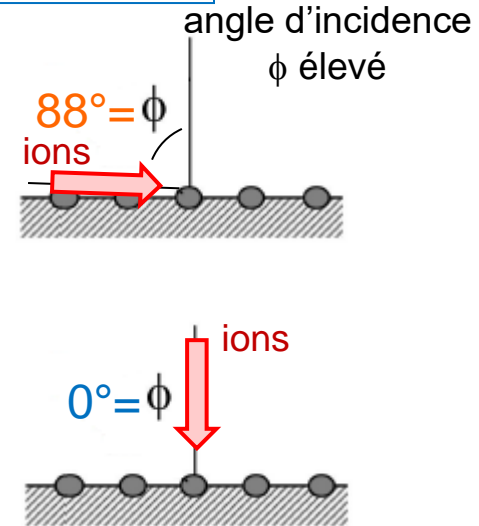
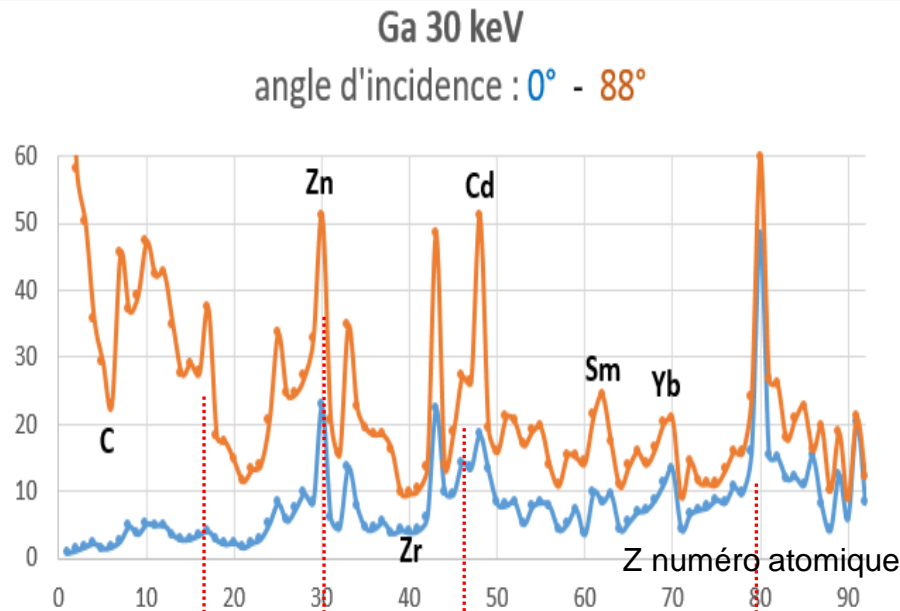
Pulvérisation d'atomes à la surface du matériau
- par atomes en mvt.
- due aux collisions en cascade près de la surface

Plus le **pouvoir d'arrêt** de la cible est élevé

- plus les collisions ont lieu à proximité de la surface
- plus Y est élevé

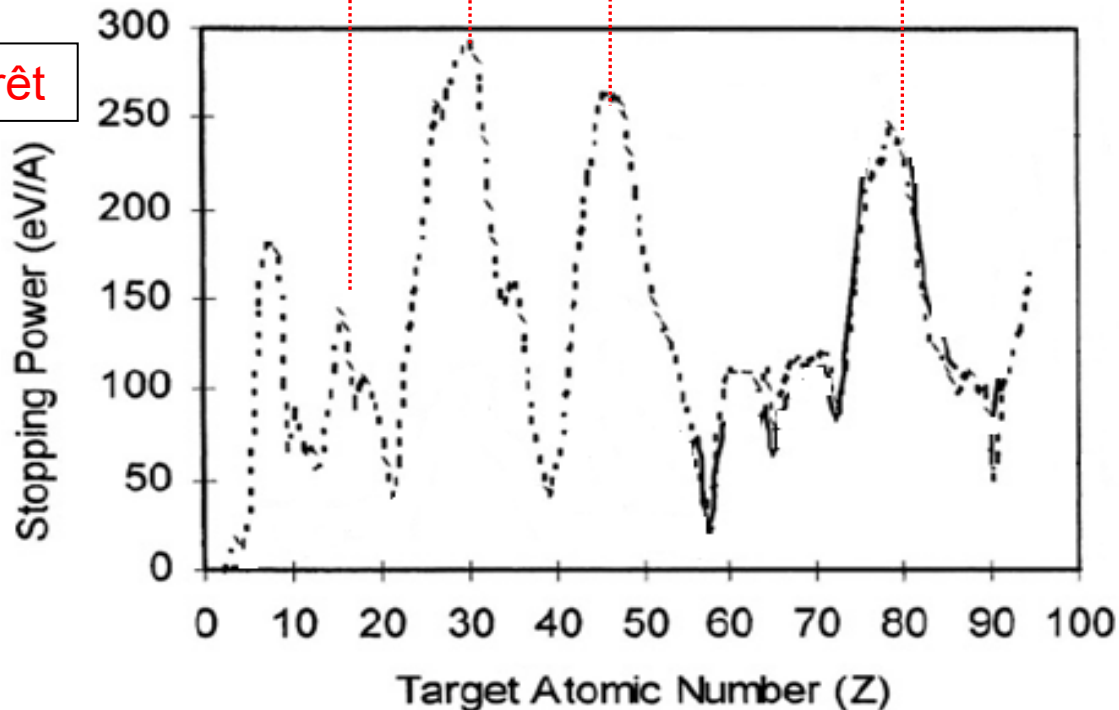
Rendement de pulvérisation Y : fonction du matériau

Rendement de pulvérisation Y



Pouvoir d'arrêt

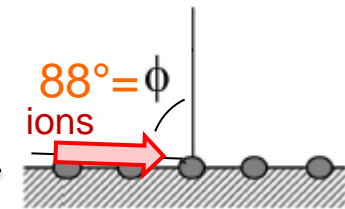
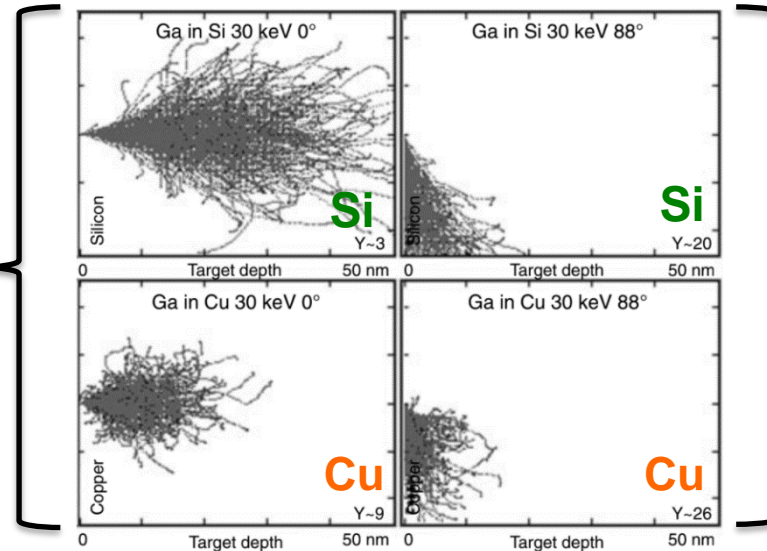
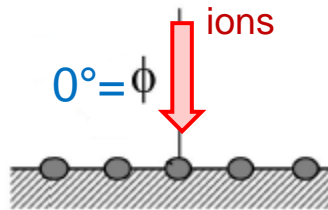
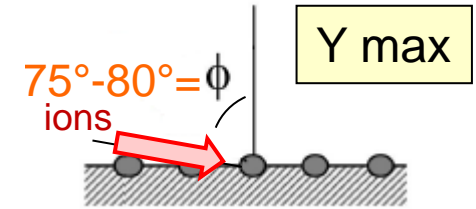
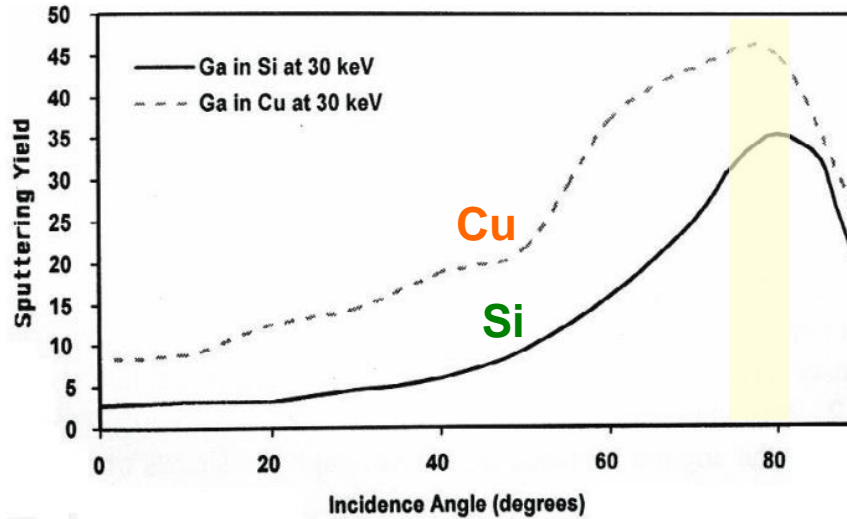
Ga⁺ à 25 kV
 $\phi=0^\circ$



Rendement de pulvérisation Y : fonction de l'angle d'incidence

Rendement de pulvérisation Y

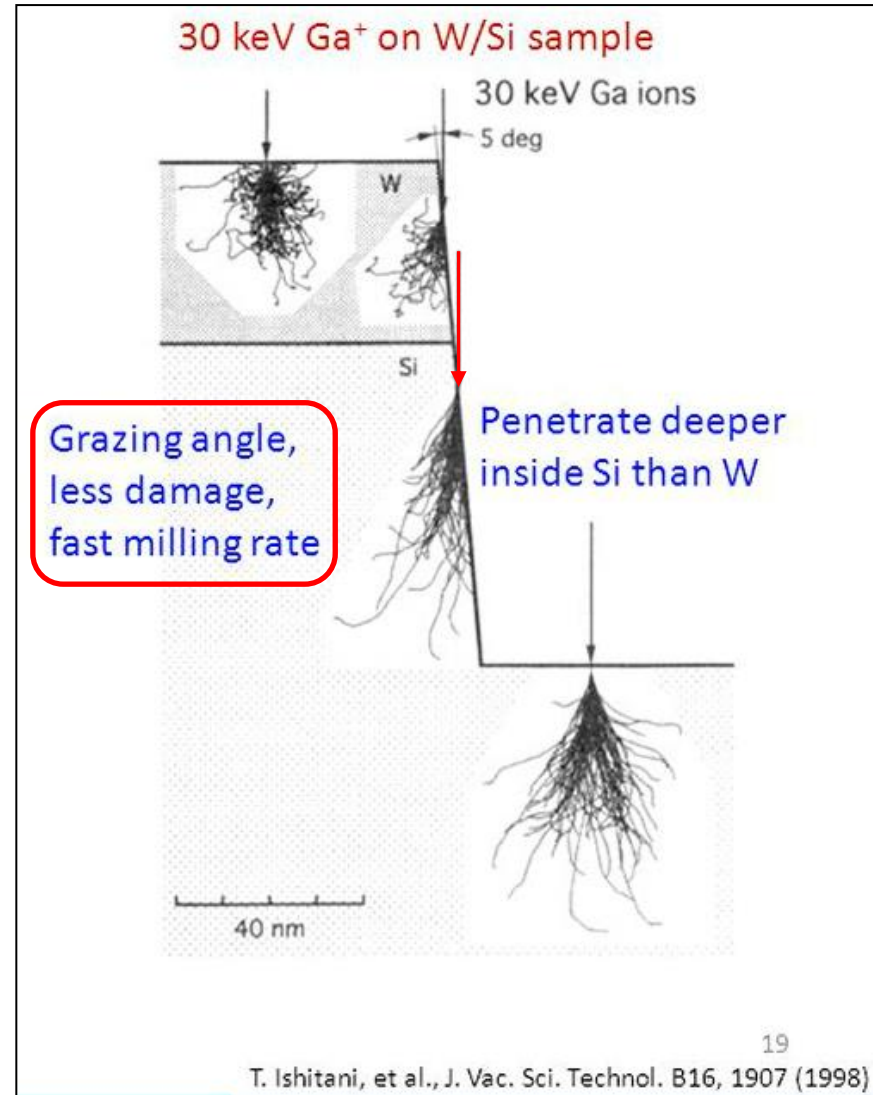
Ga⁺ à 30 kV



Rendement de pulvérisation maximum pour $\phi : 75^\circ - 80^\circ$

Pour ϕ élevé : collisions en cascade \oplus localisées à proximité de la surface

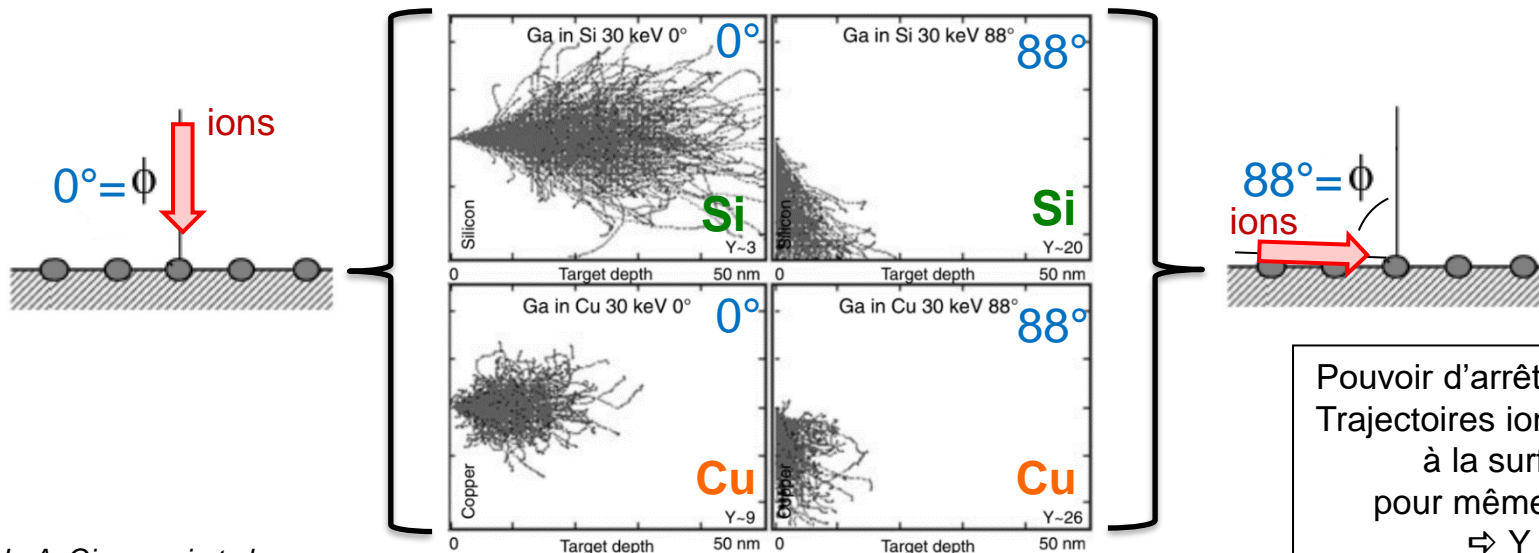
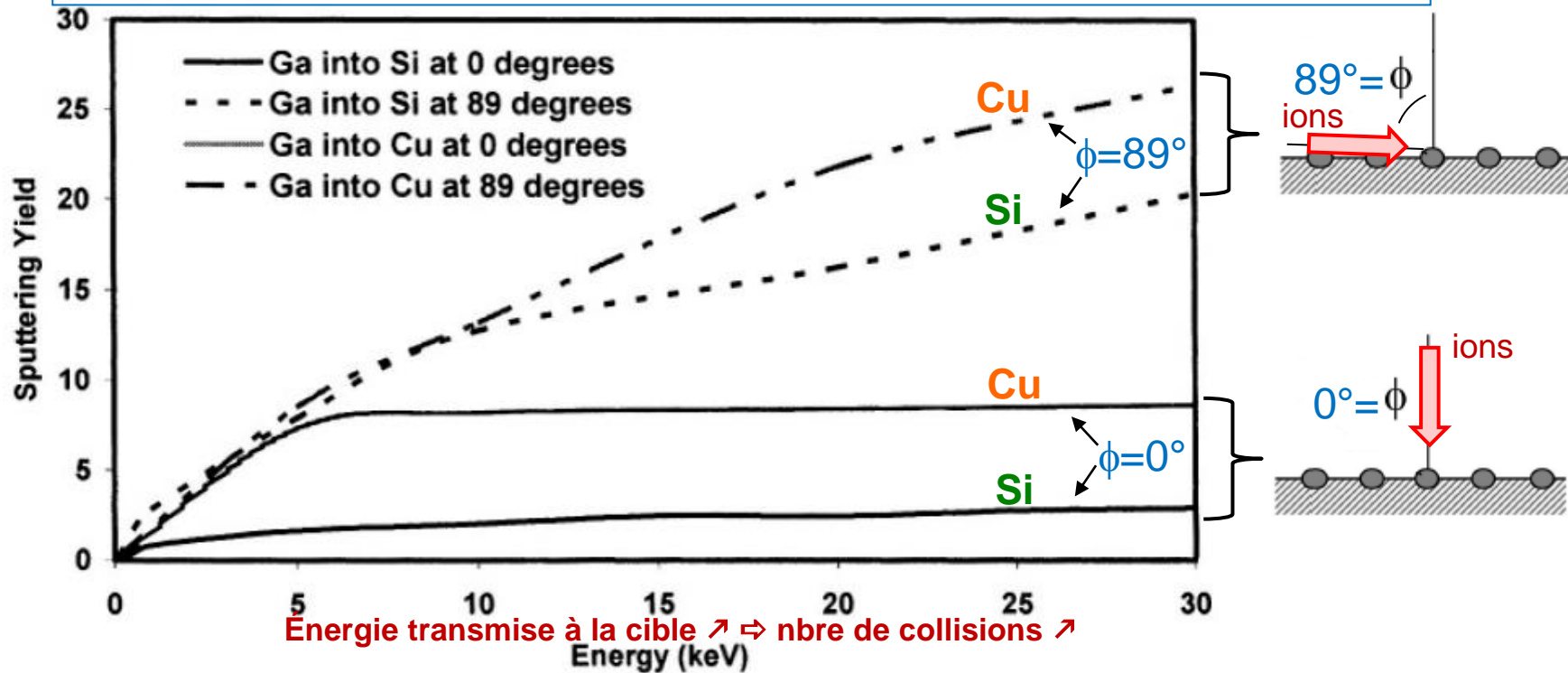
Rendement de pulvérisation Y : fonction de l'angle d'incidence



Rendement de pulvérisation maximum pour ϕ : 75°- 80°

Pour ϕ élevé : collisions en cascade ⊕ localisées à proximité de la surface

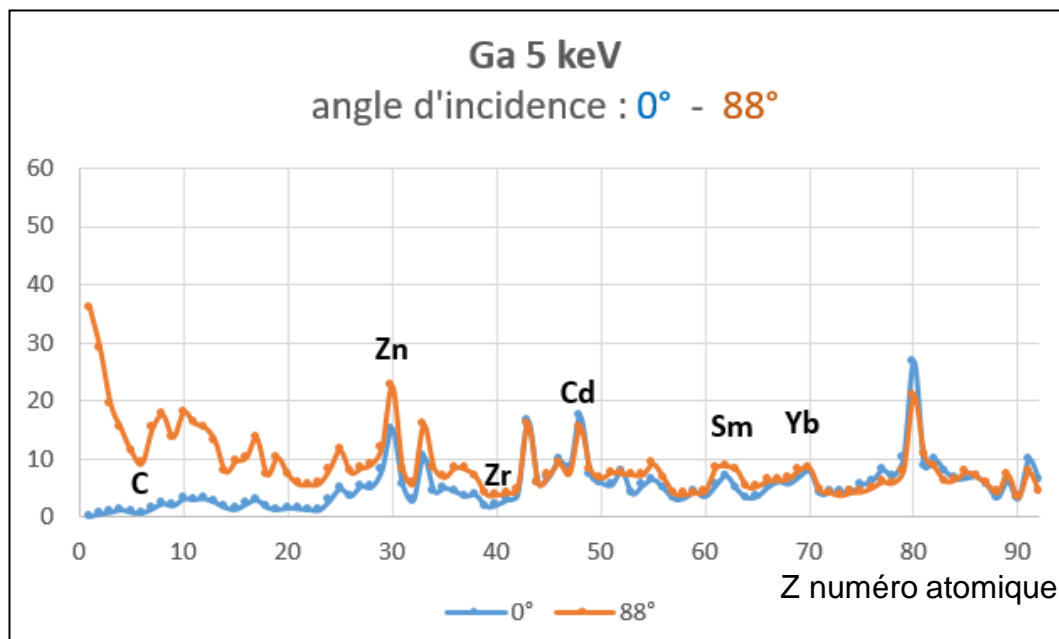
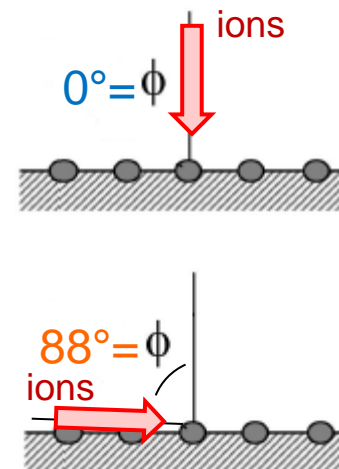
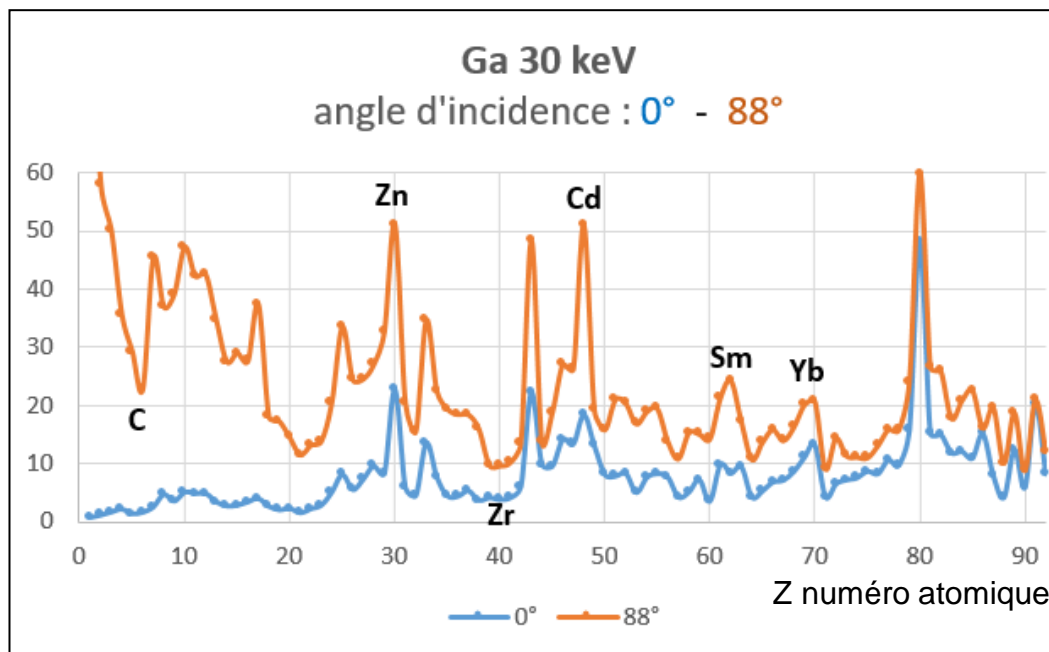
Rendement de pulvérisation Y : fonction de l'énergie des ions



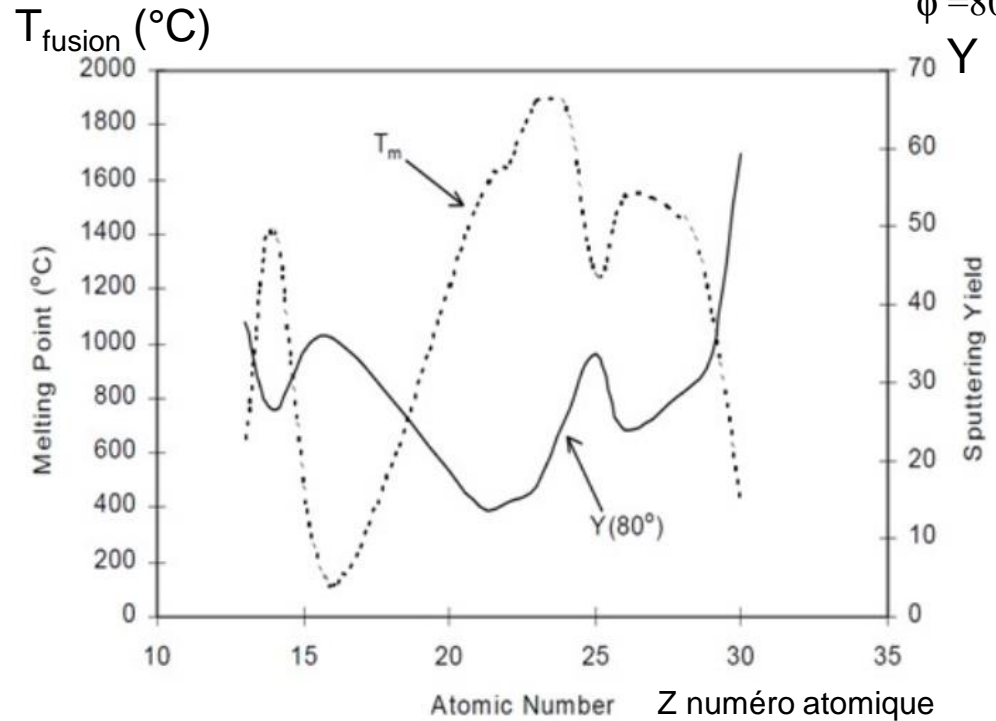
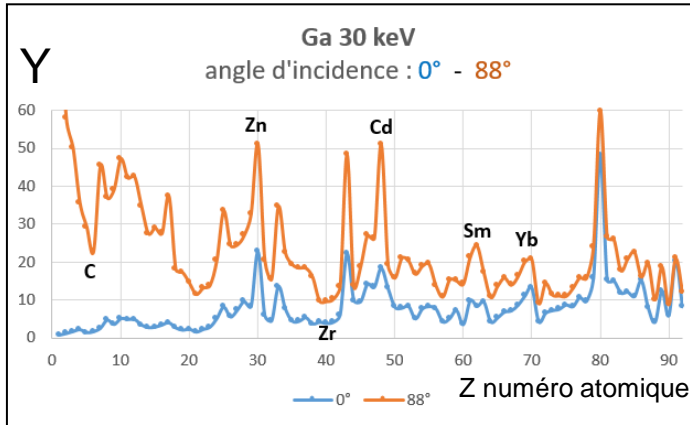
Pouvoir d'arrêt de Cu > à celui de Si
 Trajectoires ions ds. Cu ⊕ confinées à la surface que ds. Si
 pour même En. et ϕ des ions
 ⇒ $Y(\text{Cu}) > Y(\text{Si})$

Rendement de pulvérisation Y : fonction de l'énergie des ions

Rendement de pulvérisation Y



Fluctuations périodiques du rendement de pulvérisation Y



Elles sont la manifestation de l'influence des liaisons interatomiques sur les propriétés du matériau

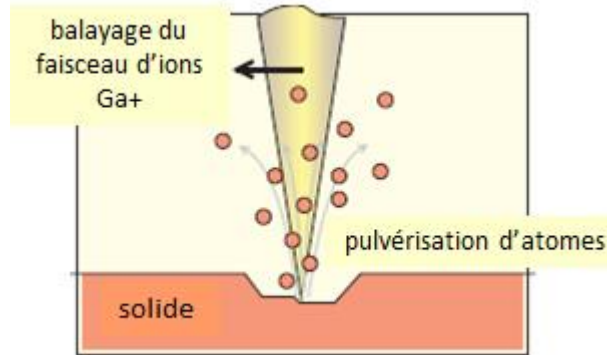
Y inversement proportionnel à T_{fusion} : indication directe de la force de liaison

En général : T_{fusion} plus élevée correspond à : des forces de liaison plus élevées
un matériau plus difficile à pulvériser
Y plus faible

Fonctionnalités du faisceau d'ions

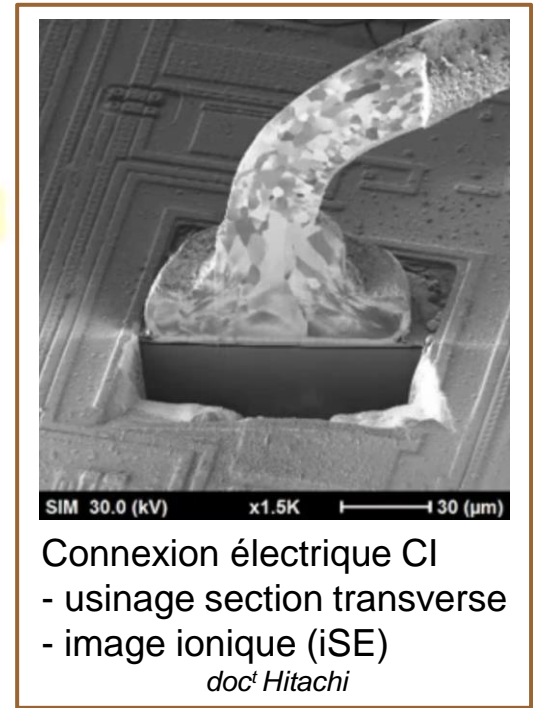
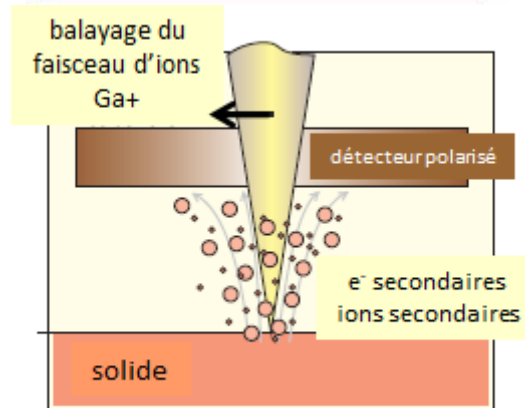
Pulvérisation d'atomes du solide

→ **abrasion** ionique
gravure/usinage



Emission d' e^- et d'ions secondaires

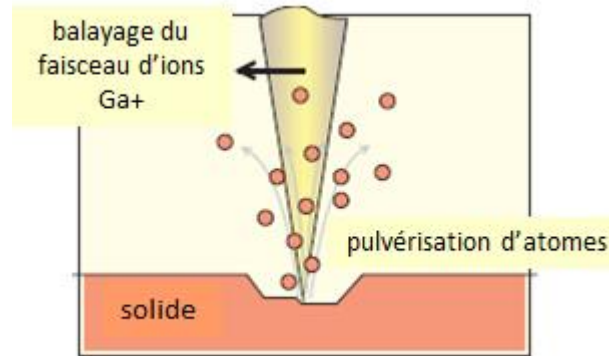
→ **imagerie** ionique



Fonctionnalités du faisceau d'ions

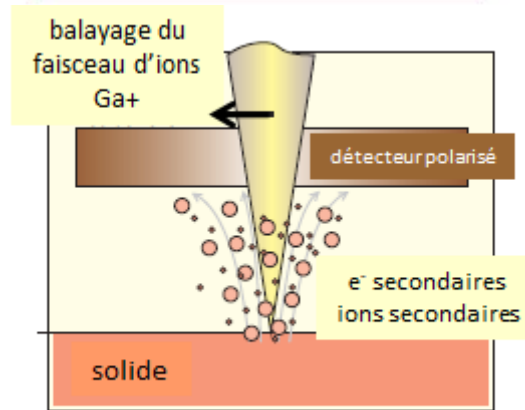
Pulvérisation d'atomes du solide

→ **abrasion** ionique
gravure/usinage



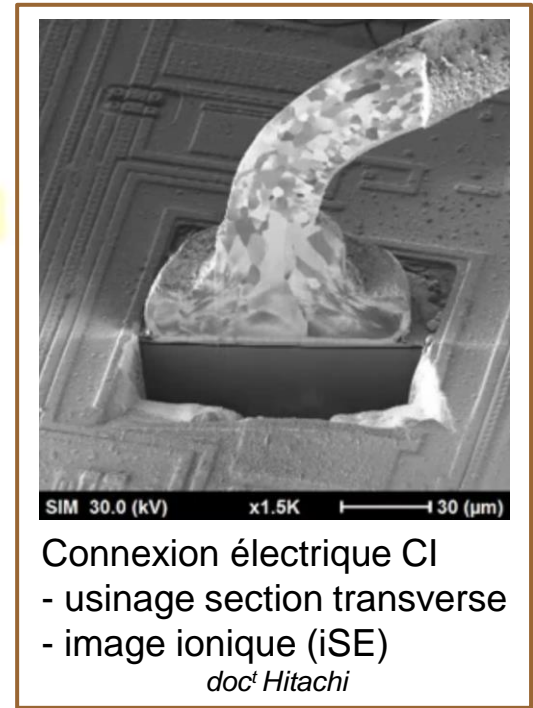
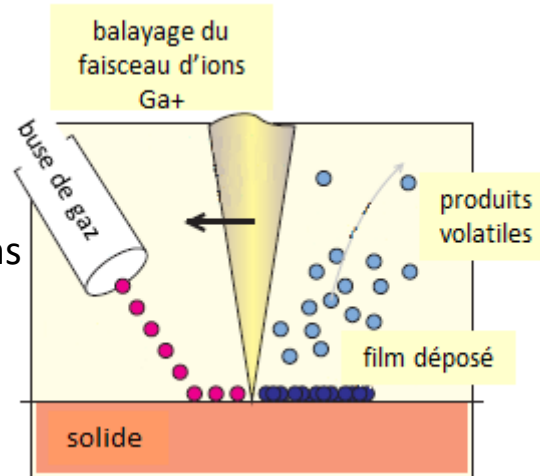
Emission d'e⁻ et d'ions secondaires

→ **imagerie** ionique



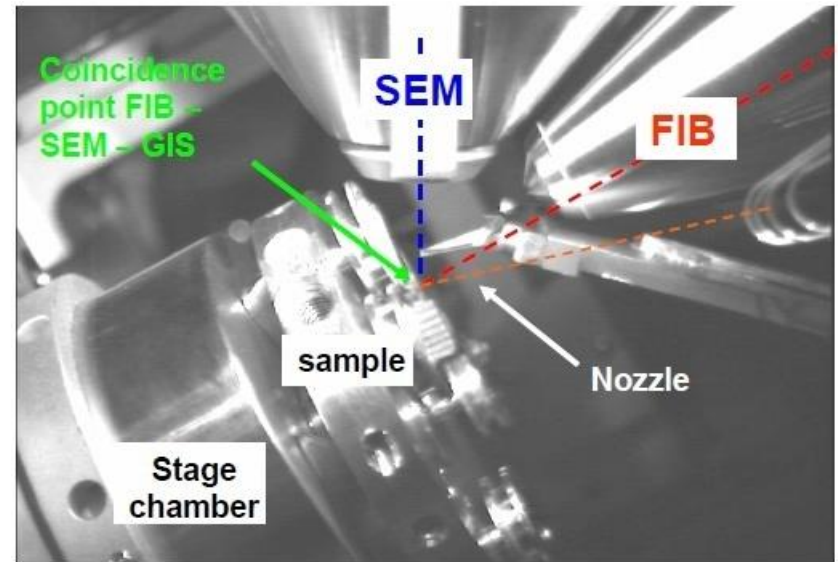
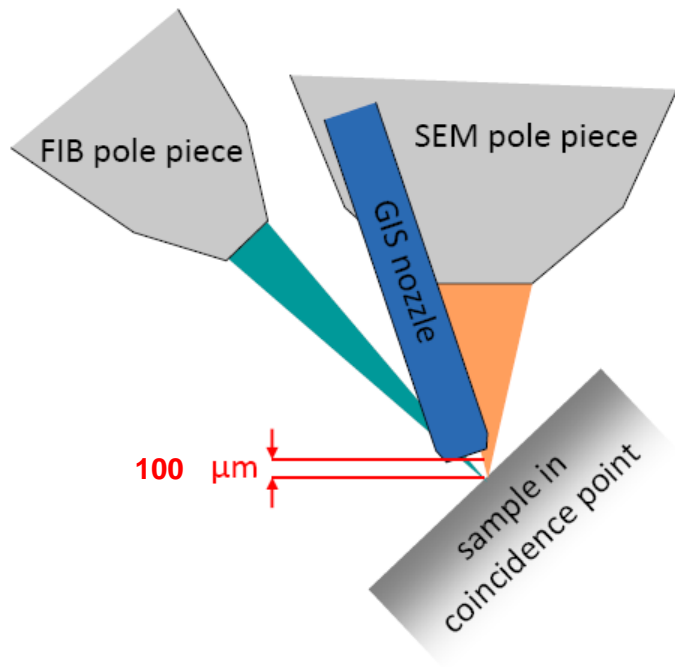
- injecteur de gaz organométallique
précurseur → molécules adsorbées à la surface

→ **dépôt** assisté par faisceau d'ions



Connexion électrique CI
- usinage section transverse
- image ionique (iSE)
doc^t Hitachi

Système d'injection des gaz (Gaz Injection System)



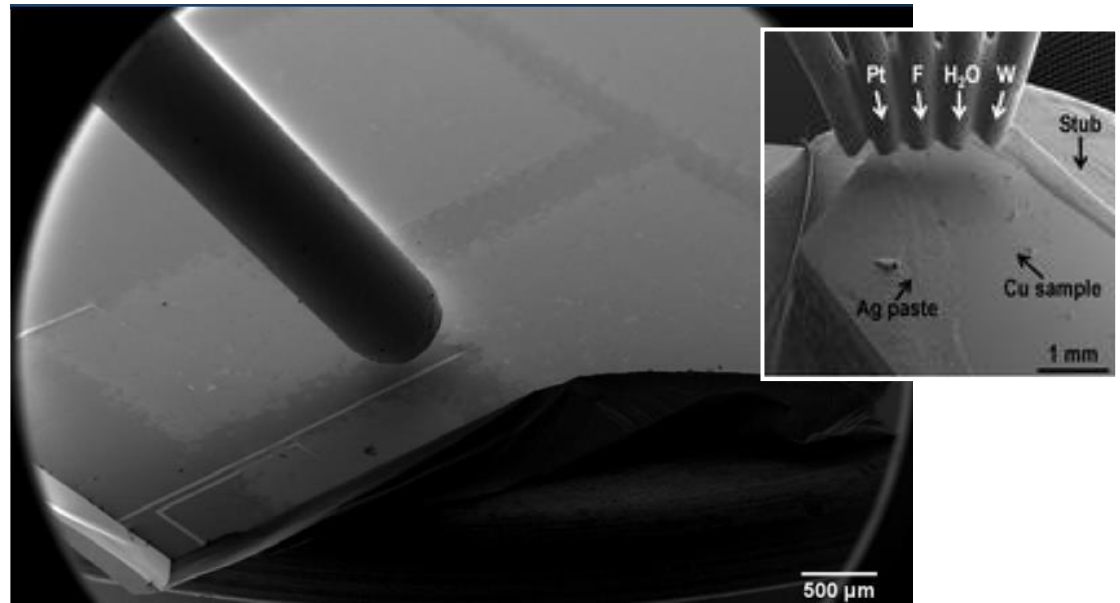
Gaz injecté via la buse :

→ croissance d'un dépôt
à un emplacement spécifique

Pt, W, C, SiO_x : les plus courants

→ gaz réactif : XeF_2 , ..

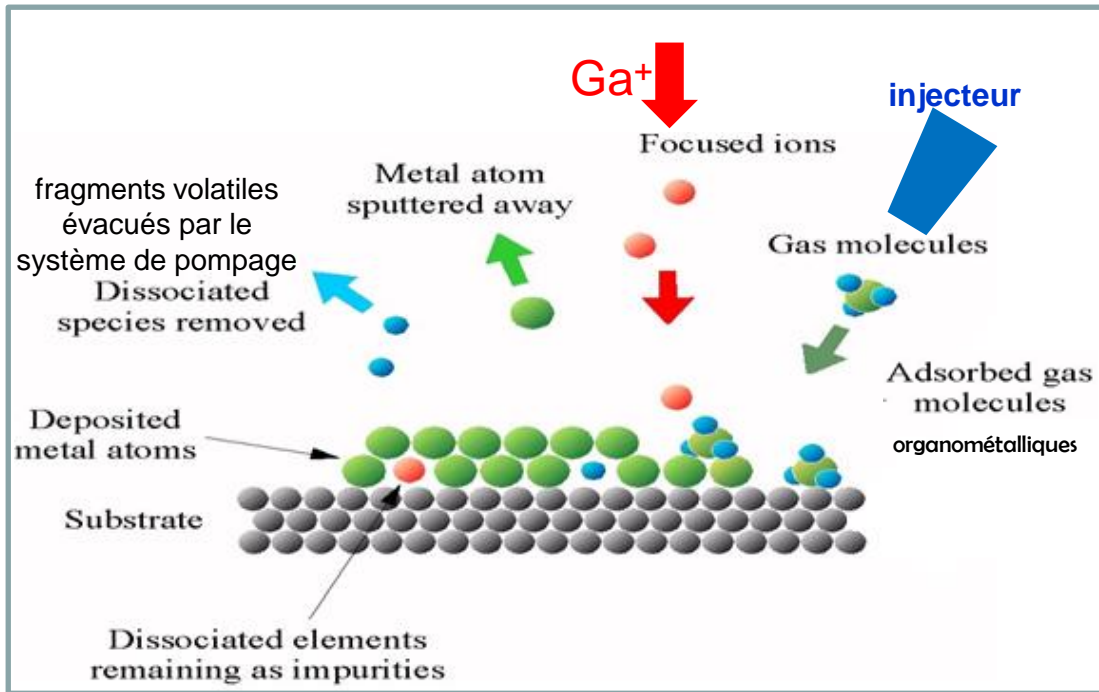
↗ vitesse de gravure de Si, SiO_2



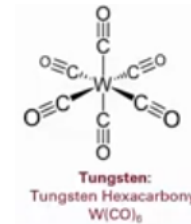
Capillaire d'injection/buse (Ø 500 µm) au-dessus d'un échantillon

Dépôt par faisceau d'ions - PRINCIPE

Applications :
couches de protection
contacts électriques
réparation de circuits



Réservoir de précurseur organométallique
typiquement sous forme de poudre
chauffé à faible T (60-80°C) → gaz



Dépôt assisté par faisceau d'ions (FIB)

- molécules de gaz organométallique adsorbées à la surface de l'échantillon
- interaction des ions incidents → e^- générés → décomposition des molécules adsorbées
- ligands organiques quittent la surface (désorption)
- atomes \oplus lourds se déposent à la surface

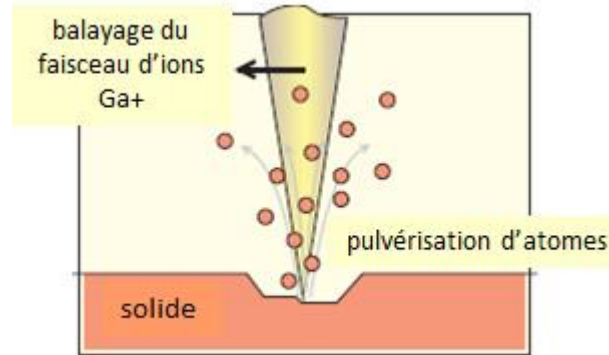
Dépôt assisté par faisceau d' e^- (MEB) :

- moins d'endommagement p.r. au FIB, pas de pulvérisation
- dépôt plus lent

Fonctionnalités du faisceau d'ions

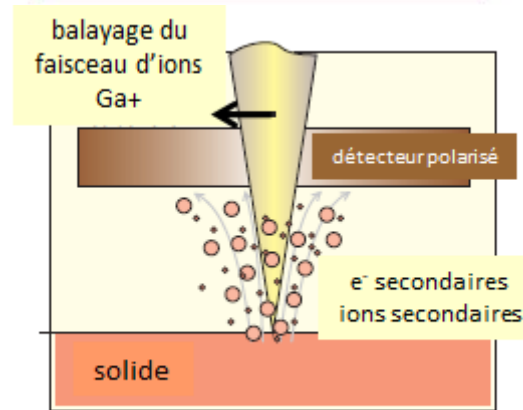
Pulvérisation d'atomes du solide

→ **abrasion** ionique
gravure/usinage



Emission d'e⁻ et d'ions secondaires

→ **imagerie** ionique



- injecteur de gaz organométallique

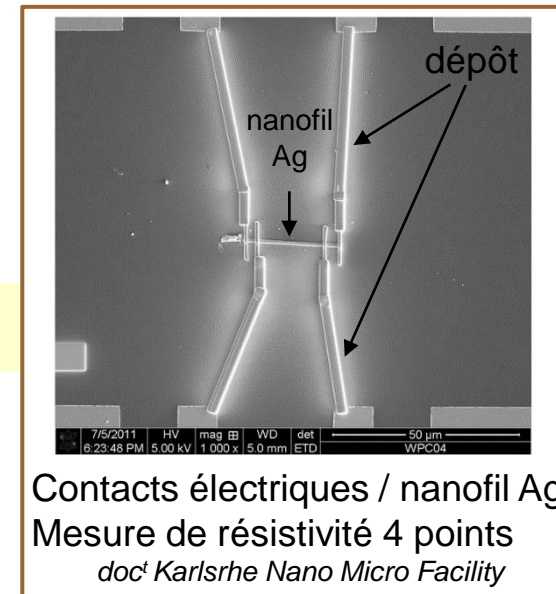
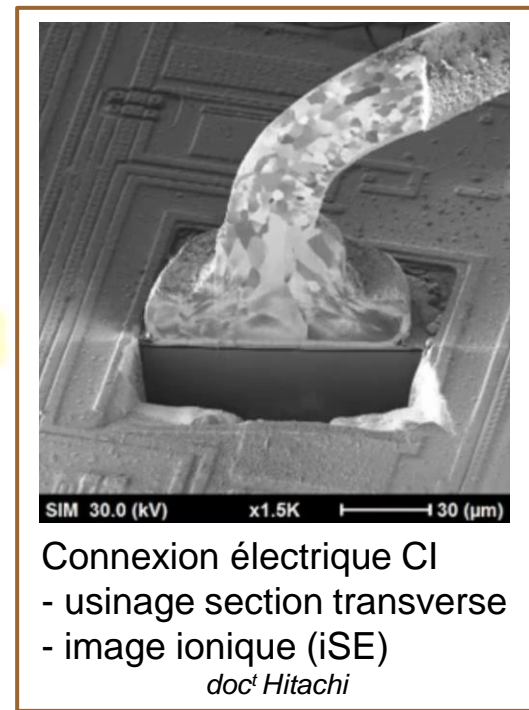
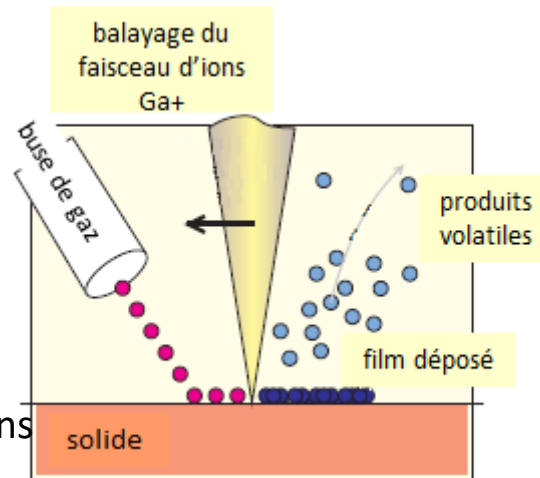
précurseur → molécules adsorbées à la surface

- ions → décomposition des molécules

- ligands organiques ⊕ légers quittent la surface

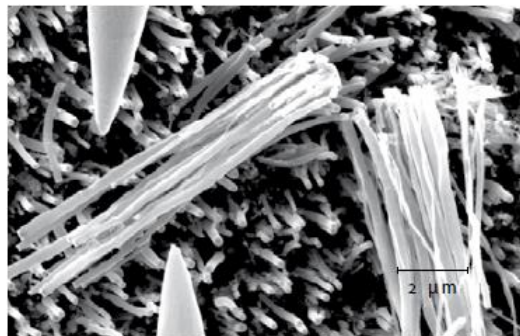
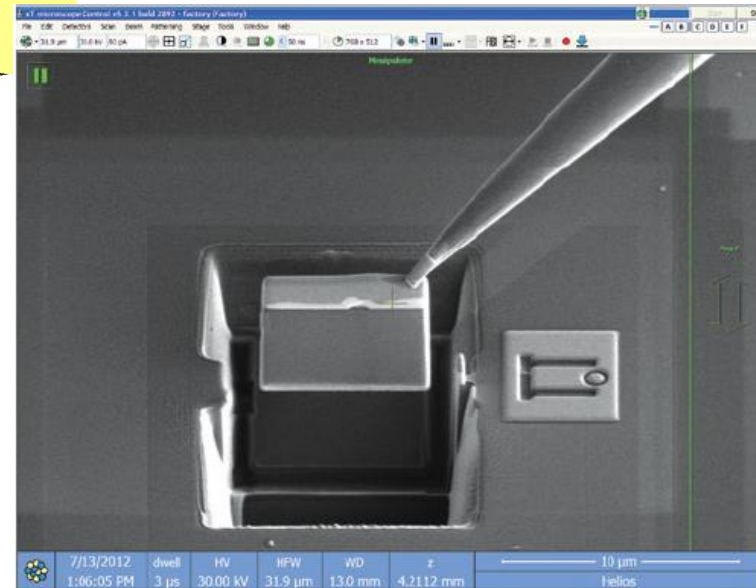
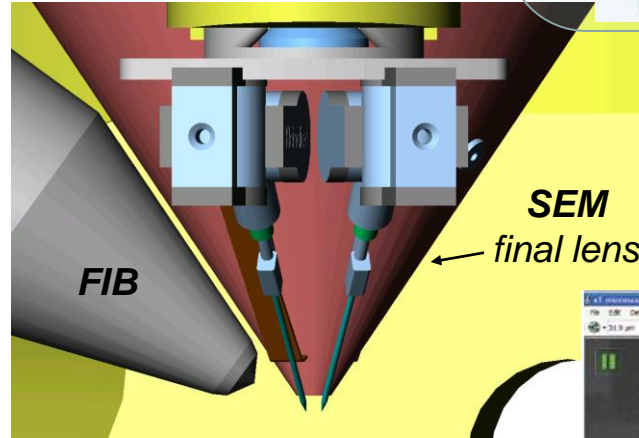
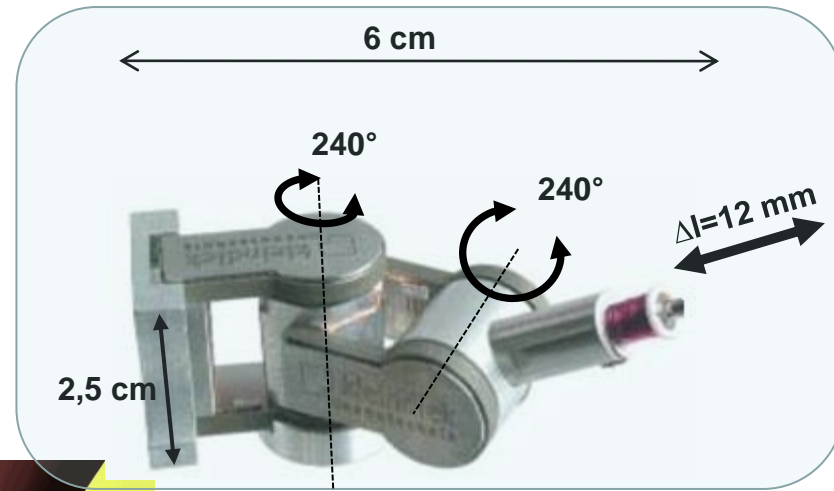
- atomes ⊕ lourds se déposent à la surface

→ **dépôt** assisté par faisceau d'ions

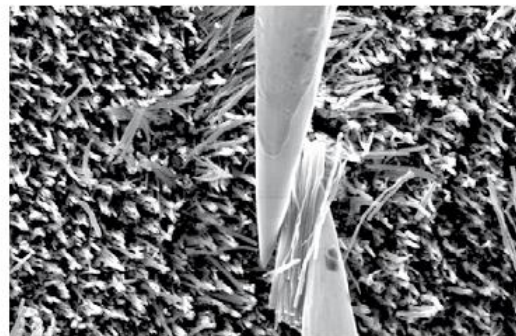


Les micro-manipulateurs

- en acier et Al
- poids : 45 g.
- moteurs piézo-électriques
- précision en positionnement nanométrique

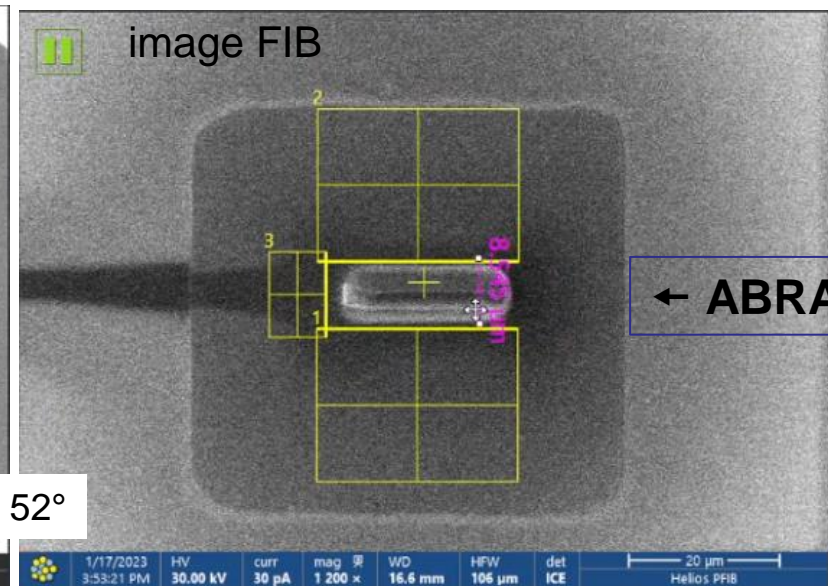
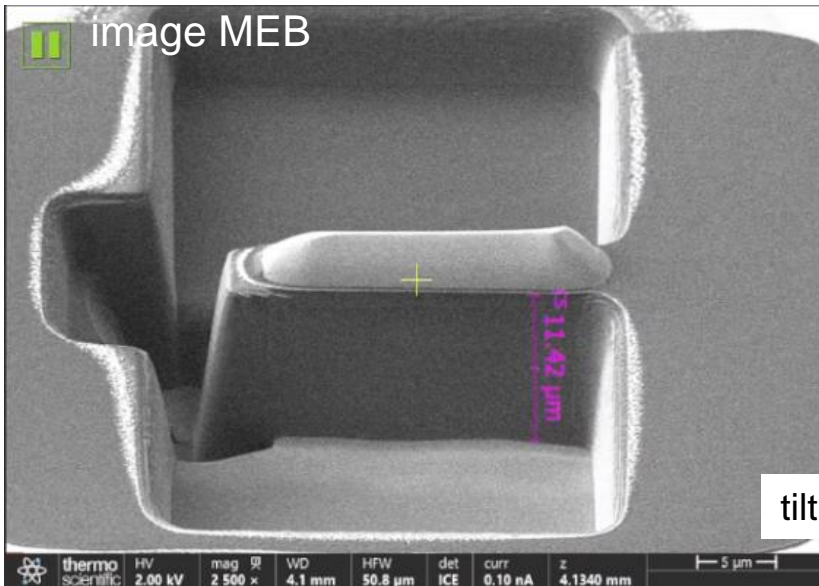
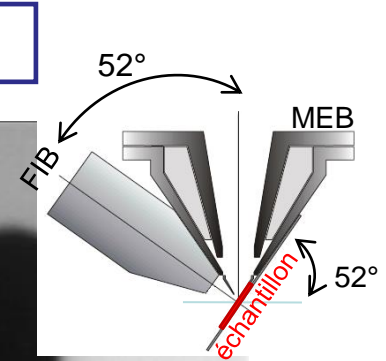
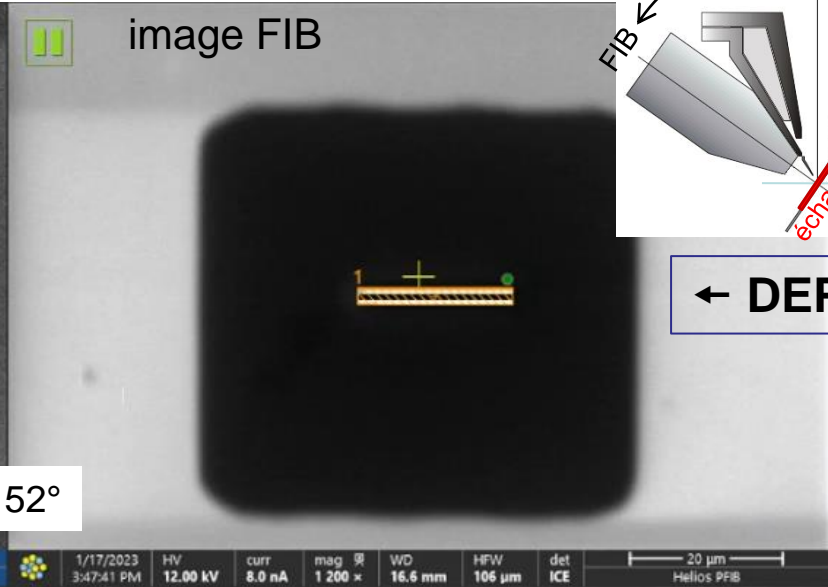
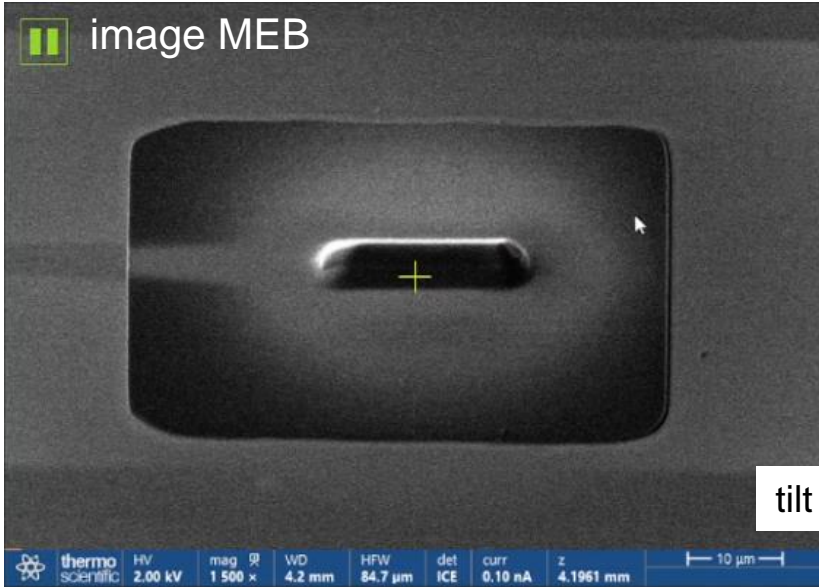


Two bunches of nanotubes lying on a carpet of nanotubes



One bunch of nanotubes was lifted using two tungsten tips

Usinage FIB - définition des zones de gravure/de dépôt



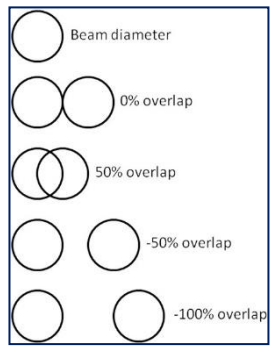
Autres moyens : importation de fichier externes (bitmap, ascii, script)

Gravure/dépôt - paramètres du faisceau d'ions

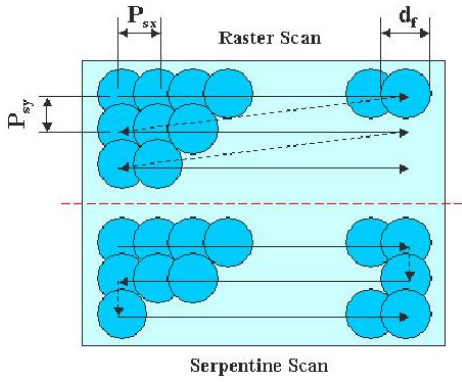
- angle d'incidence (tilt platine)
- tension, $I_{ionique}$
- focalisation du faisceau
- dwell time (μs)
- durée totale d'usinage

Paramètres de balayage :

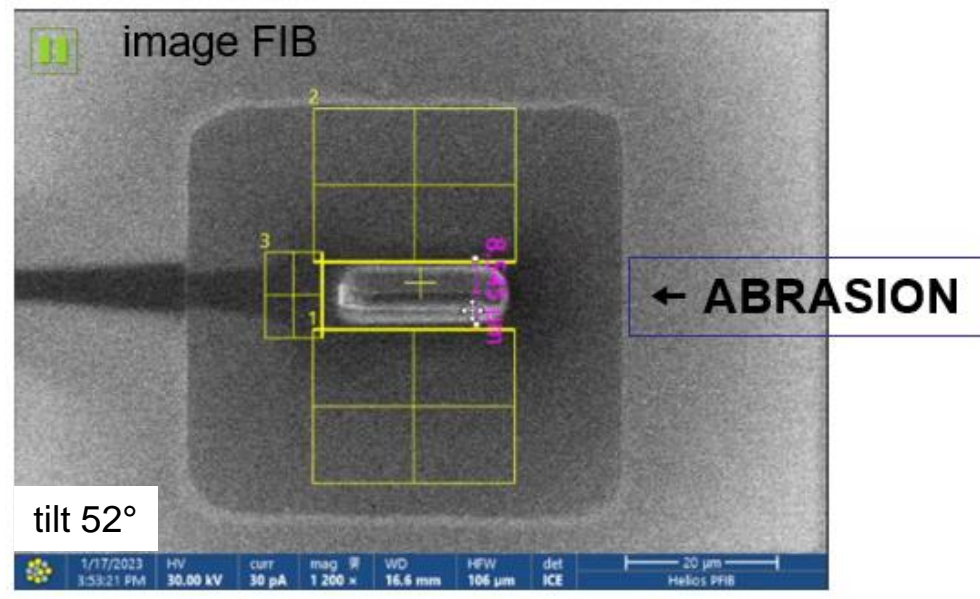
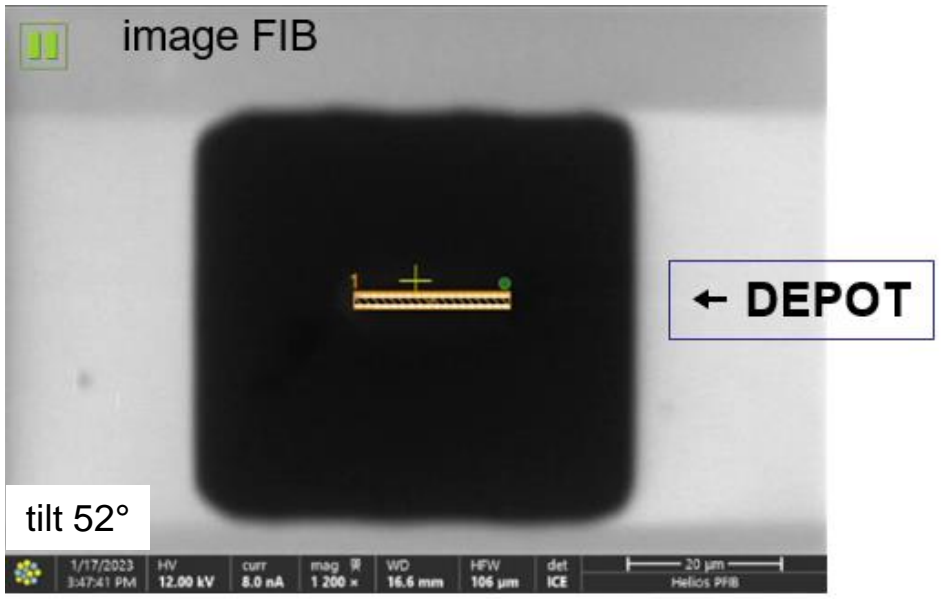
- forme du pattern (rectangle, trapèze, anneau,..)
- dimensions du pattern (μm)
- recouvrement du faisceau
- mode de balayage
- nombre de trames



Recouvrement du faisceau



Mode de balayage




Profil du faisceau FIB

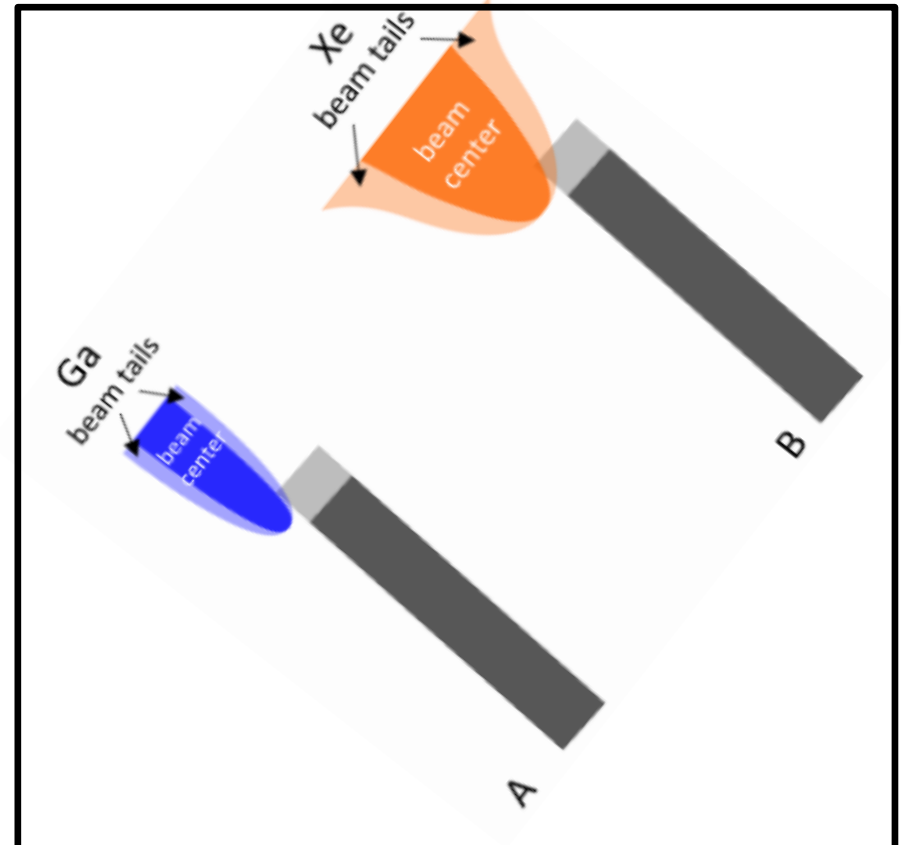
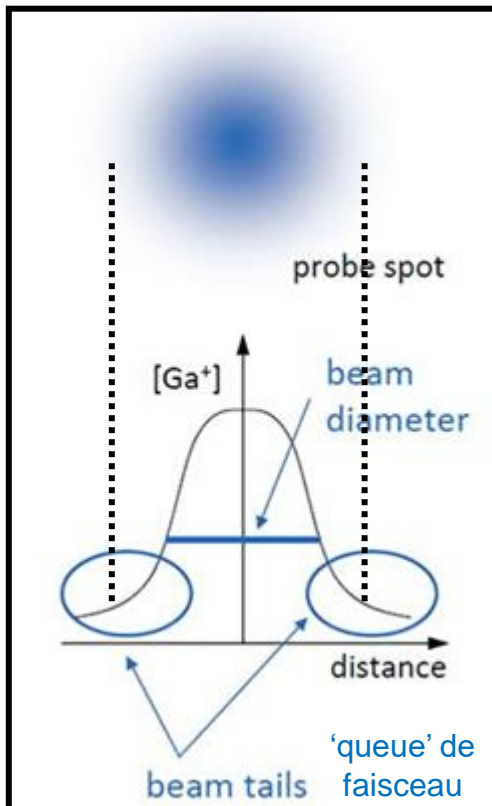
profil gaussien dans la direction radiale

→ abrasion ionique avec la 'queue' de faisceau



 **gravure de très petites dimensions**

 **abrasion profonde** de tranchée/trou avec rapport de forme élevé (profondeur/largeur) ; autre facteur limitant : redépôt de matière pulvérisée-




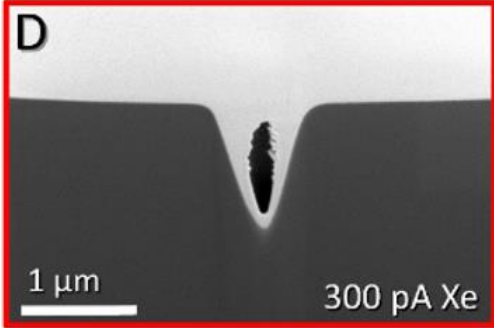
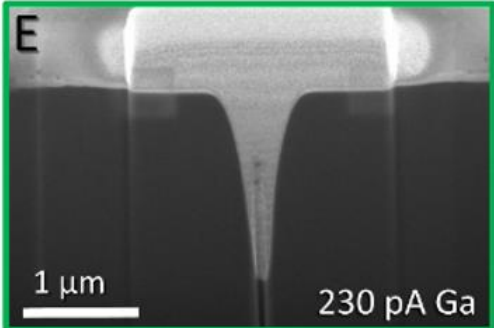
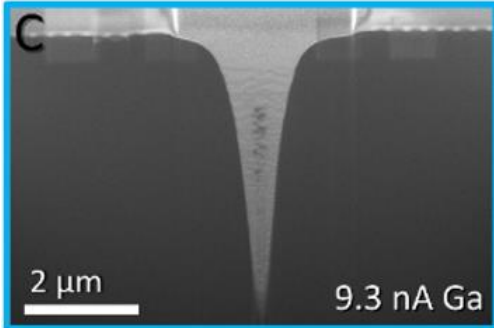
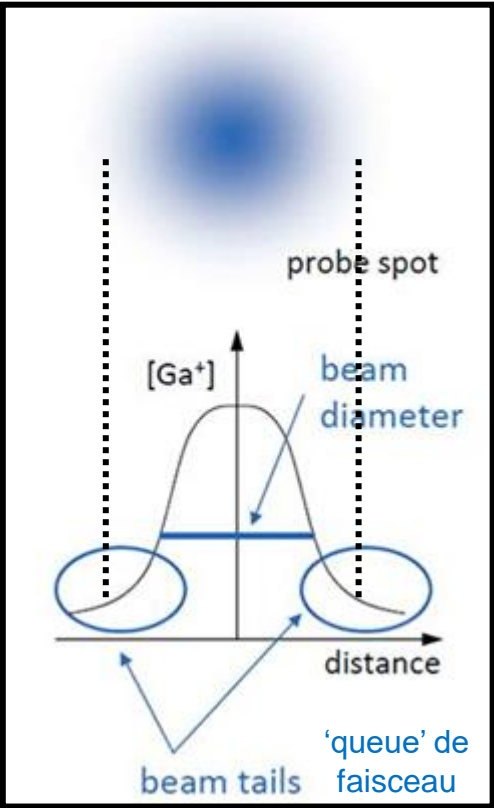
Profil du faisceau FIB

profil gaussien dans la direction radiale
→ abrasion ionique avec la 'queue' de faisceau



 **gravure de très petites dimensions**

 **abrasion profonde** de tranchée/trou avec rapport de forme élevé (profondeur/largeur) ; autre facteur limitant : redépôt de matière pulvérisée-

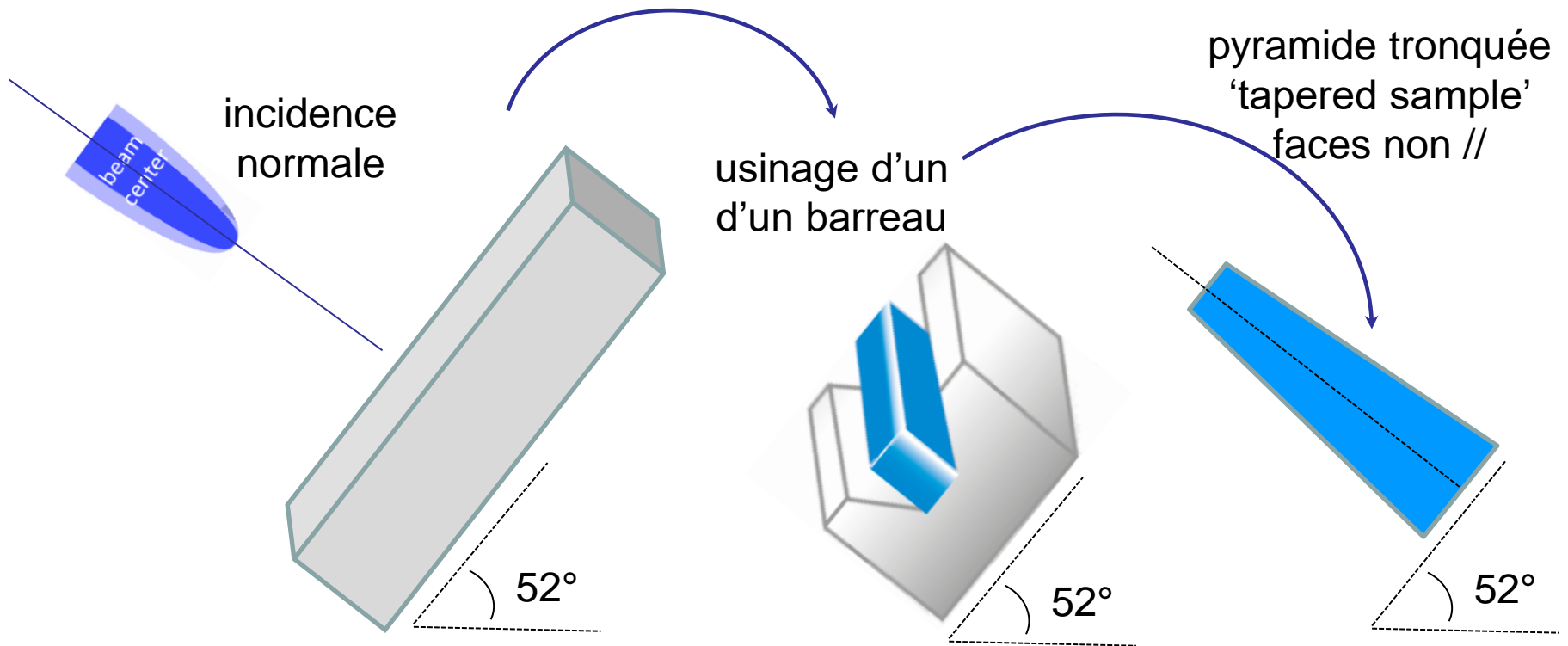


Si beam burns in cross section for Ga FIB and Xe PFIB (30 kV, 10 s.)
Each beam burn hole was filled with ion deposited Pt (Ga) or W (Xe)

S. M. Vitale, *Microsc Microanal* 2022

- **forme en V**
- 'taper angle'

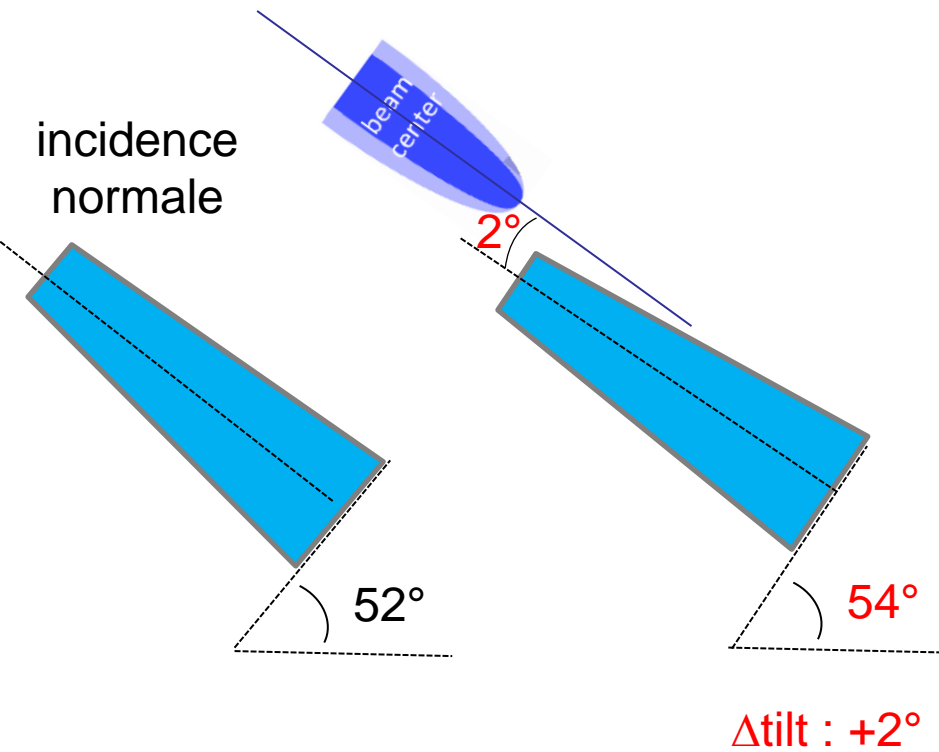
Paramètres de l'usinage FIB - angle de tilt



- abrasion par la 'queue' de faisceau
 - variation de Y avec l'angle d'incidence
- } → 'tapered' sample

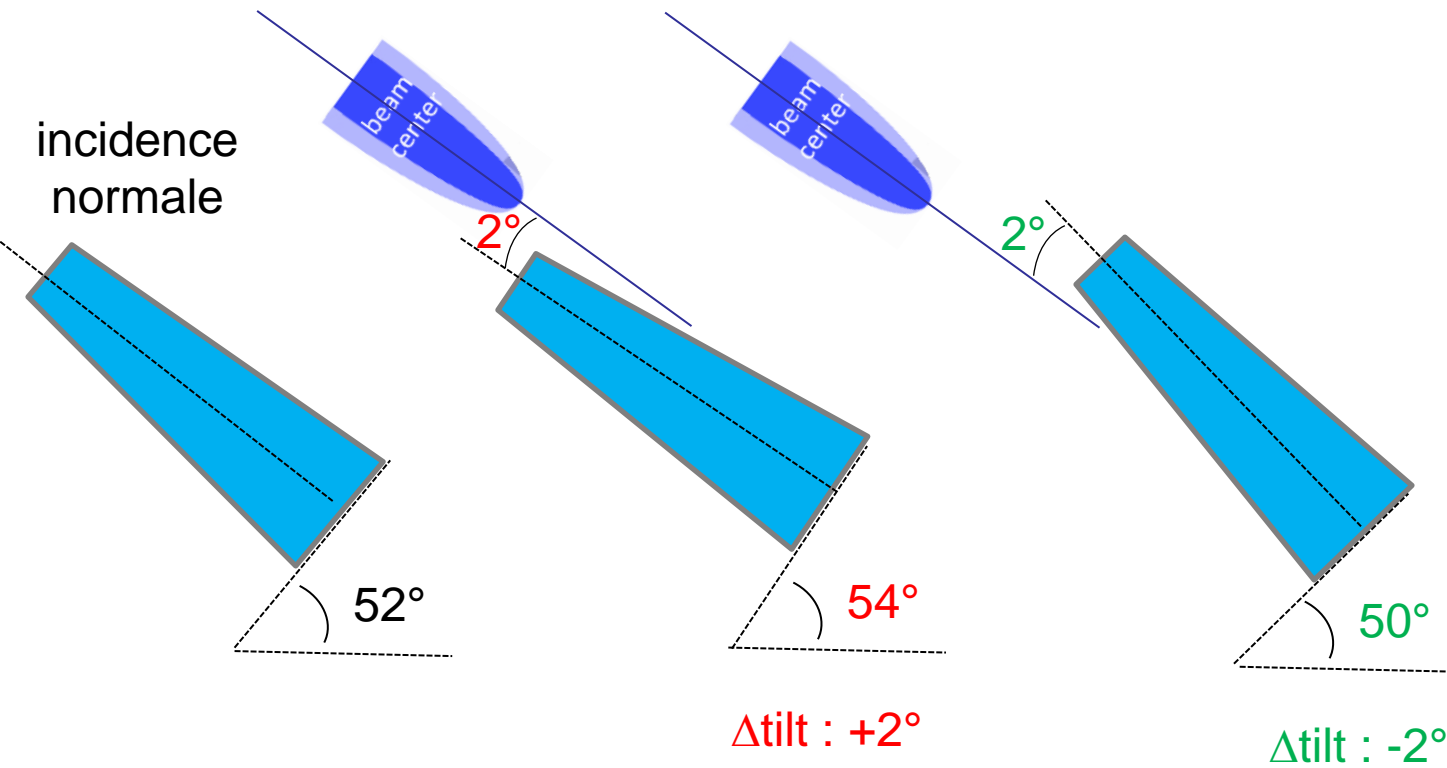
Paramètres de l'usinage FIB - angle de tilt

Pour corriger l'obtention de faces non //
: variation de l'angle de tilt ($\pm \theta^\circ$: **overtilt**)



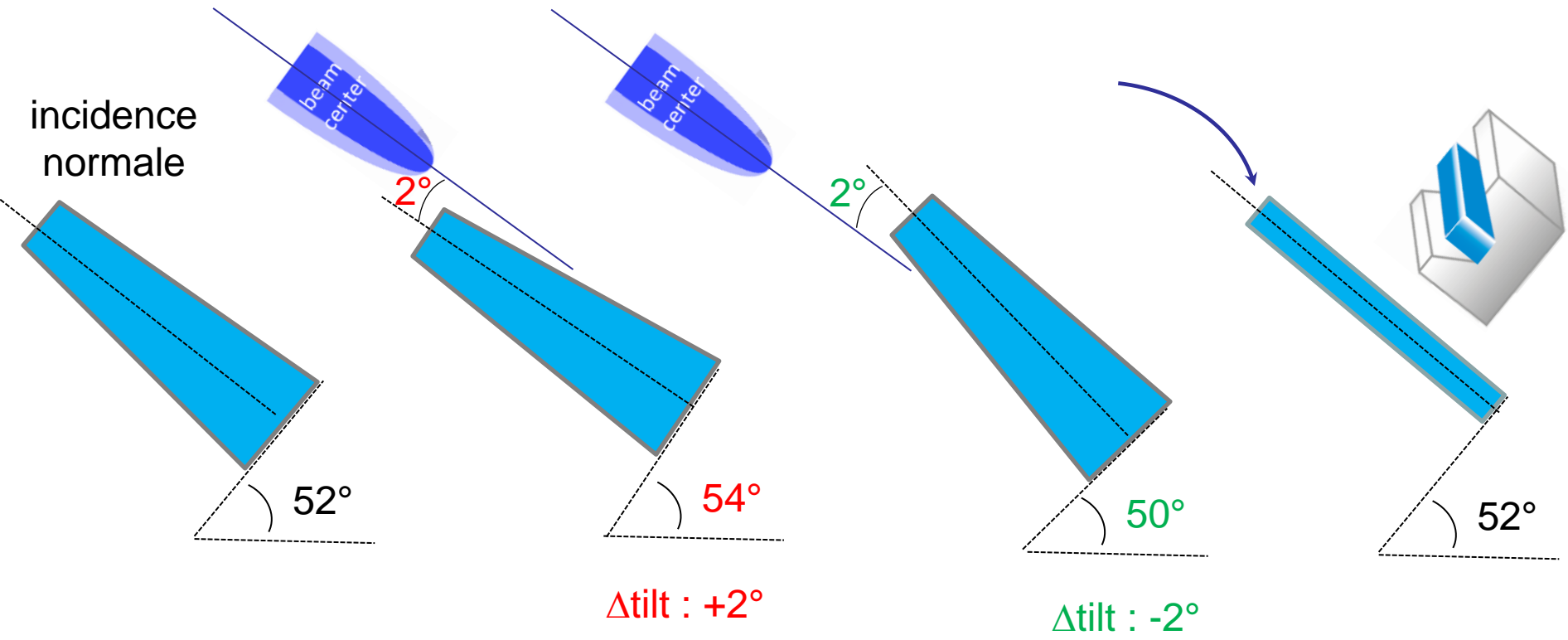
Paramètres de l'usinage FIB - angle de tilt

Pour corriger l'obtention de faces non //
: variation de l'angle de tilt ($\pm \theta^\circ$: **overtilt**)



Paramètres de l'usinage FIB - angle de tilt

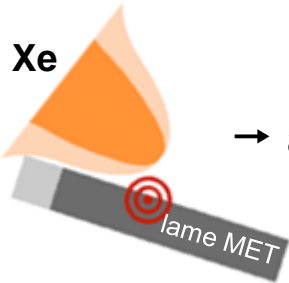
Pour corriger l'obtention de faces non //
: variation de l'angle de tilt ($\pm \theta^\circ$: **overtilt**)



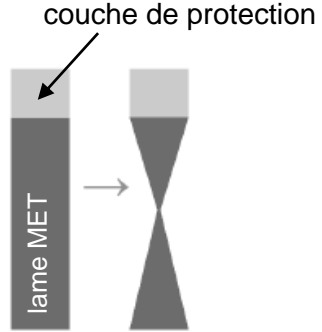
Paramètres de l'usinage FIB - angle de tilt

Amincissement d'une lame MET :

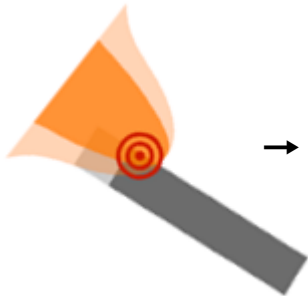
variation de l'angle de tilt :
 $\Delta\text{tilt} \pm 2-3^\circ$



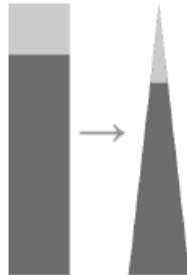
→ abrasion au centre de la lame



$\Delta\text{tilt} \pm 1,5^\circ$



→ abrasion du haut de la lame

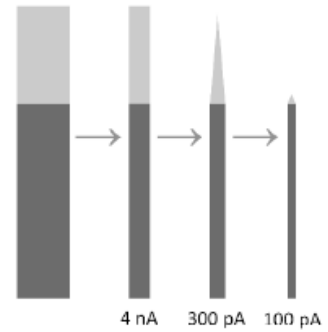


$\Delta\text{tilt} \pm 1-2^\circ$

faisceau \oplus rasant
+ dépôt de protection
additionnel

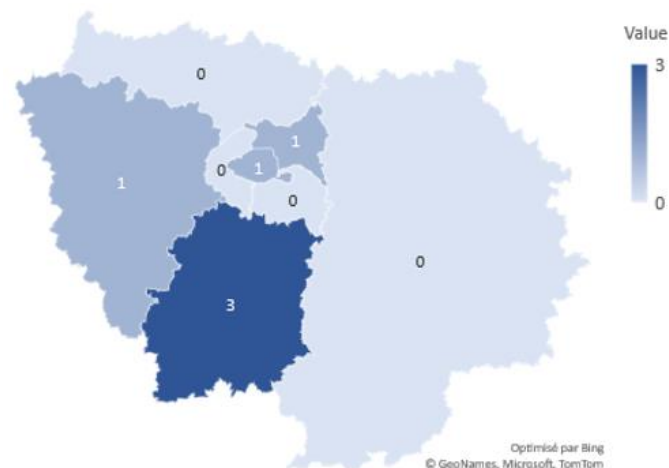
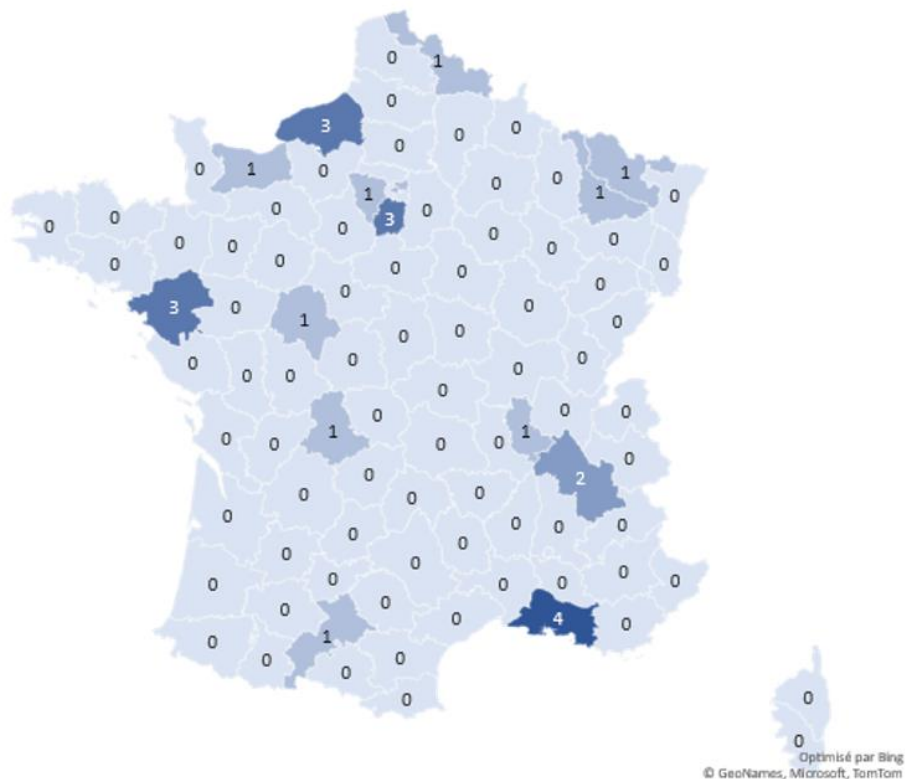


→ lame uniformément mince



Enquête GN MEBA (S. Pairis) - Parc d'instruments en France → 26 FIB recensés

2023 : 145 labos adhérant au GN MEBA



Nature de la source :	Nombre :	Pourcentage :
Liquid Metal Ion Source Ga ⁺	23	88,5 %
Plasma Xe ⁺	3	11,5 %

Utilisez-vous le FIB pour faire de l'imagerie 3D	
Réponse	Décompte
Non	6
Imagerie MEB avec reconstruction 3D	20
EDS - 3D	9
EBSD - 3D	10

Données constructeurs : plus de 70 MEB-FIB vendus en France entre 2011 et 2023

MERCI DE VOTRE ATTENTION

MERCI A :

T. Grenut - Hitachi Milexia

J.-C. Menard, G. Brunetti G. Lathus - Jeol

D. Barresi - Tescan

G. Amiard, J. Kuntz - Thermo Fisher

S. Letheux - Zeiss

S. Pairis - conseil du GN MEBA

