

# Mécanisme et stratégies de dépôts assistés par FIB

GN MEBA

Guillaume Audoit – CEA Leti

# Introduction

- Les dépôts peuvent être réalisés par faisceaux d'ions (IBID) ou d'électrons (EBID)
- Grande variété de matériaux disponibles: Pt, W, SiO<sub>x</sub>, C, Cu, Au...
- Résolution latérale des dépôts : EBID~5nm; IBID ~1-10nm
- Epaisseur de 10nm à 10  $\mu$  m
- Applications: Circuit Edit, fabrication de nanostructures 3d, couche de protection pour lame TEM, création de dispositifs électroniques, fabrication de nano-électrodes & nano-contacts, études de transport de nanofils, etc...

# Plan

- Mécanisme de dépôt
- Une première liste de paramètres : configuration machine et échantillon
- Influence des paramètres de scan
- Composition et propriétés des dépôts
- Cas pratique
- Conclusions: quelques règles générales

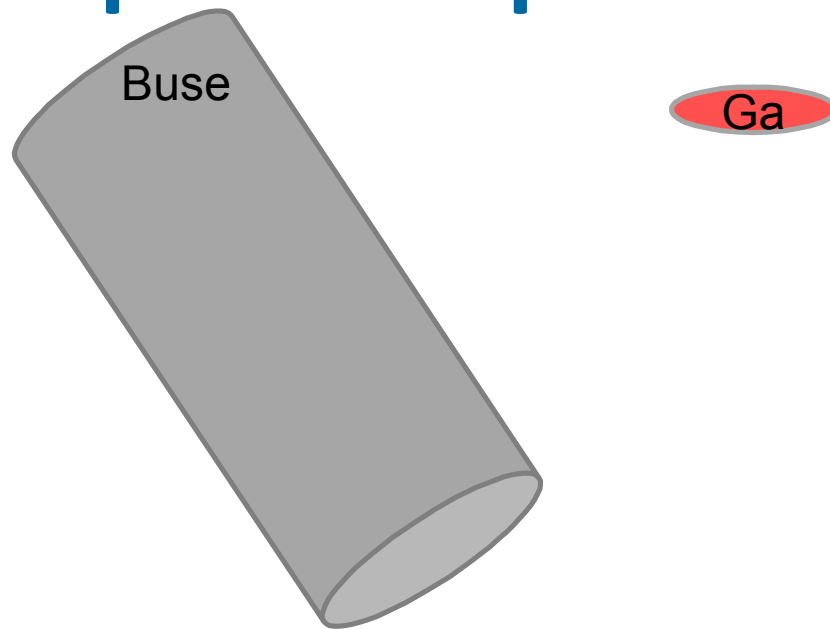
# Dispositif expérimental



OmniGIS de  
OmniProbe



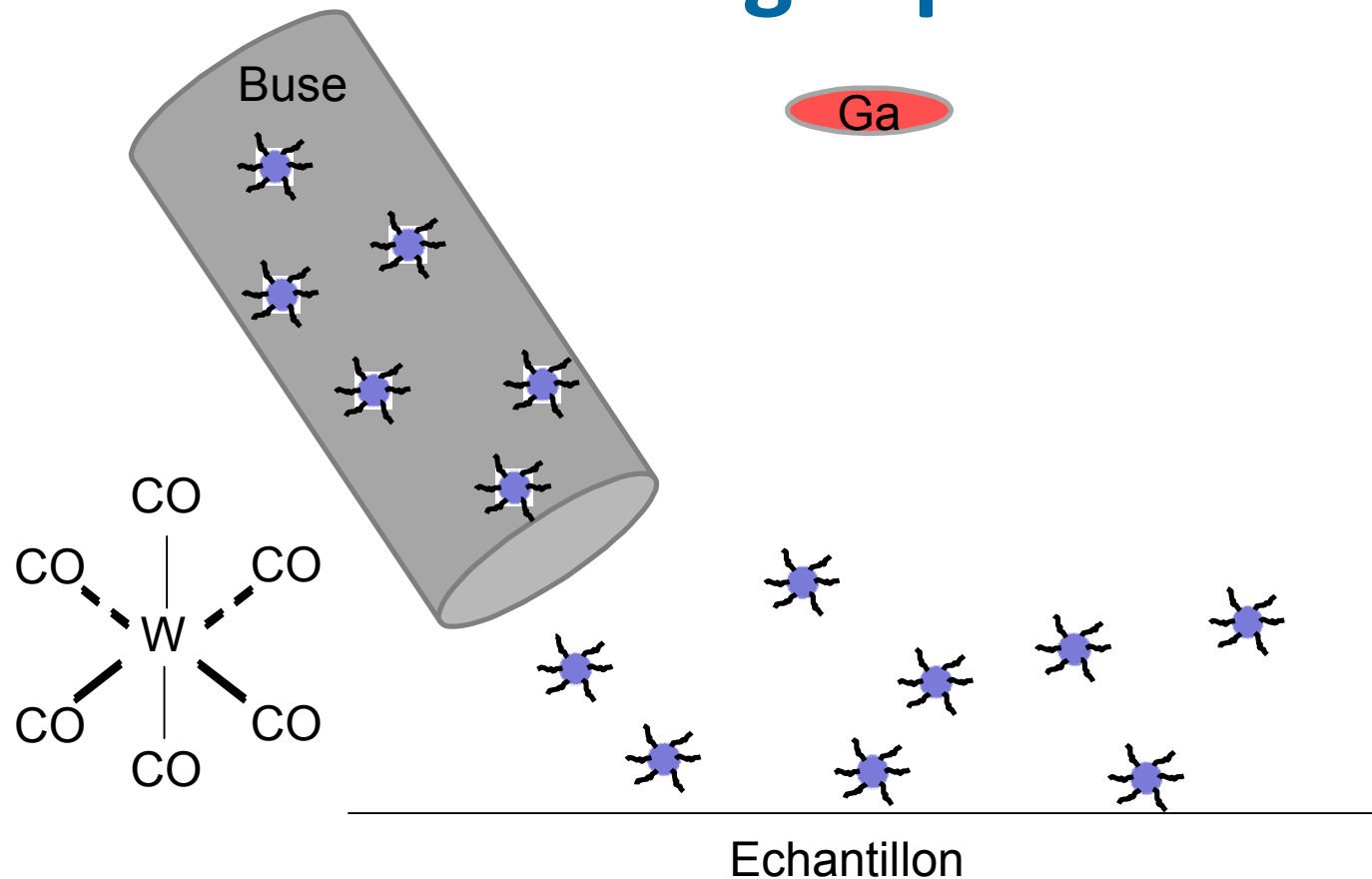
# Dispositif expérimental



Echantillon

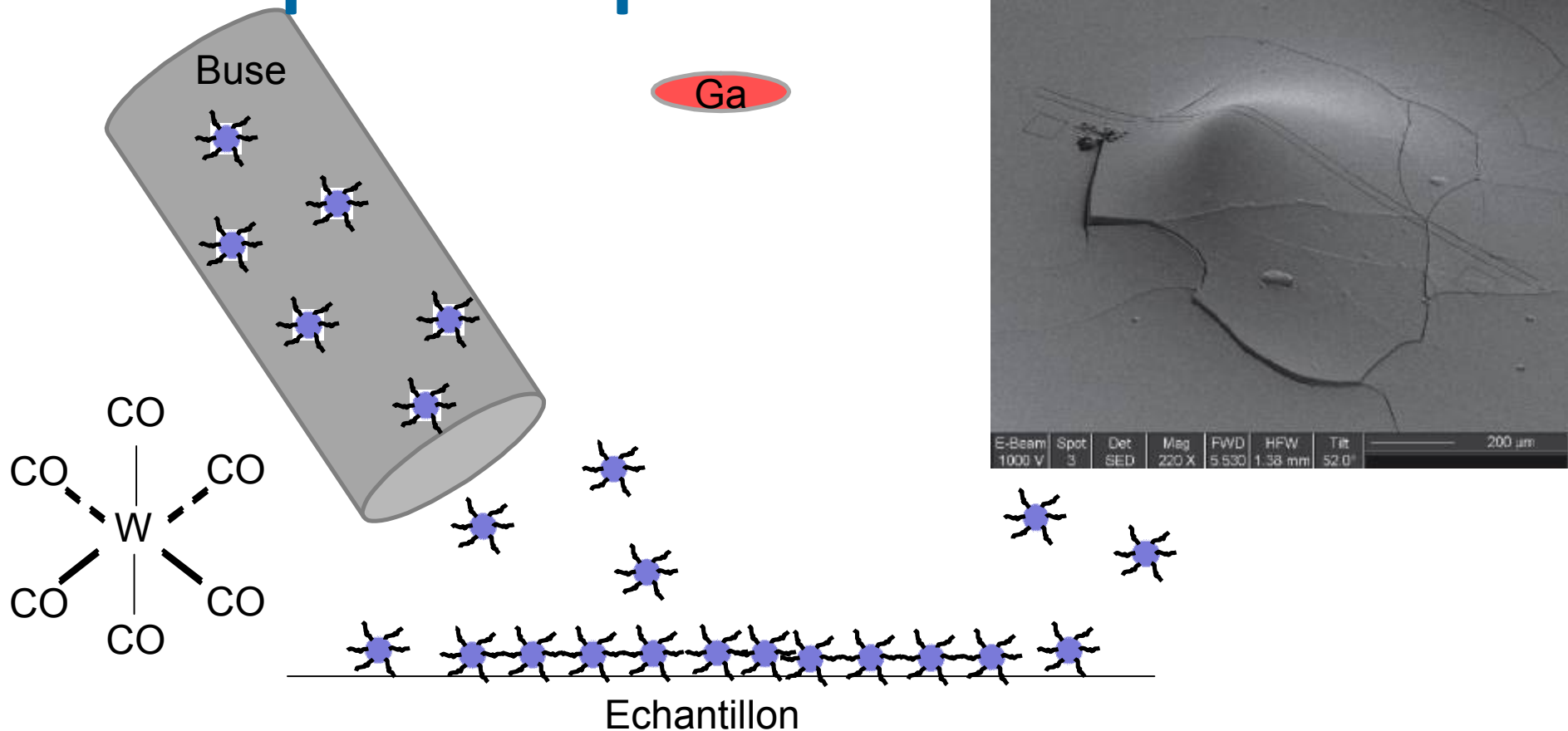
- 3 éléments en présence:
- le faisceau d'ions (ou d'électrons),
  - le gaz organométallique précurseur
  - l'échantillon

# Génération du gaz précurseur



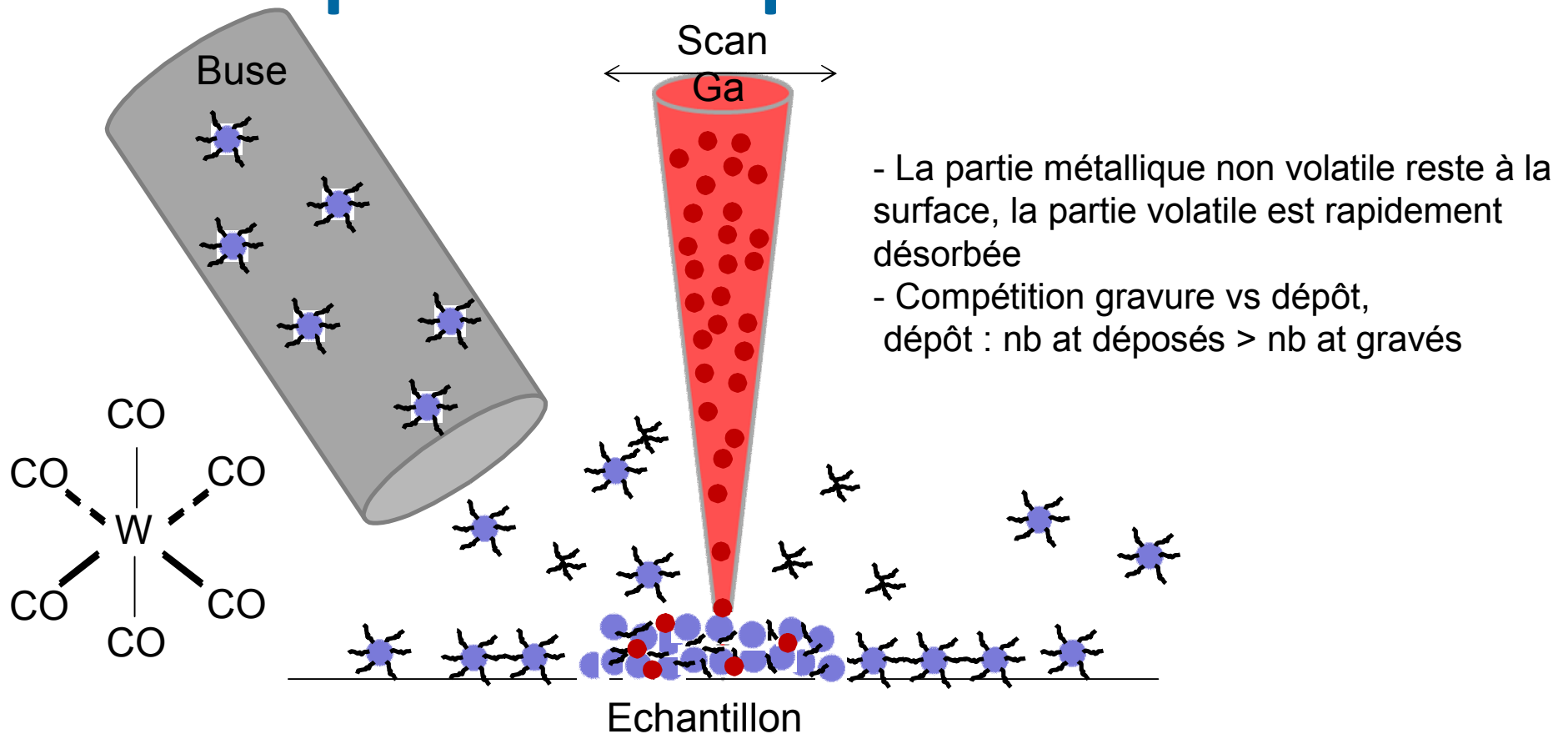
- précurseur à l'état solide ou liquide est chauffé légèrement
- sublimation ou évaporation sous l'effet du vide
- quelques mbar de précurseur dans la chambre

# Adsorption du précurseur



- Adsorption du précurseur à la surface de l'échantillon
- Enceinte sous vide: équilibre rapide adsorption/désorption

# Décomposition du précurseur



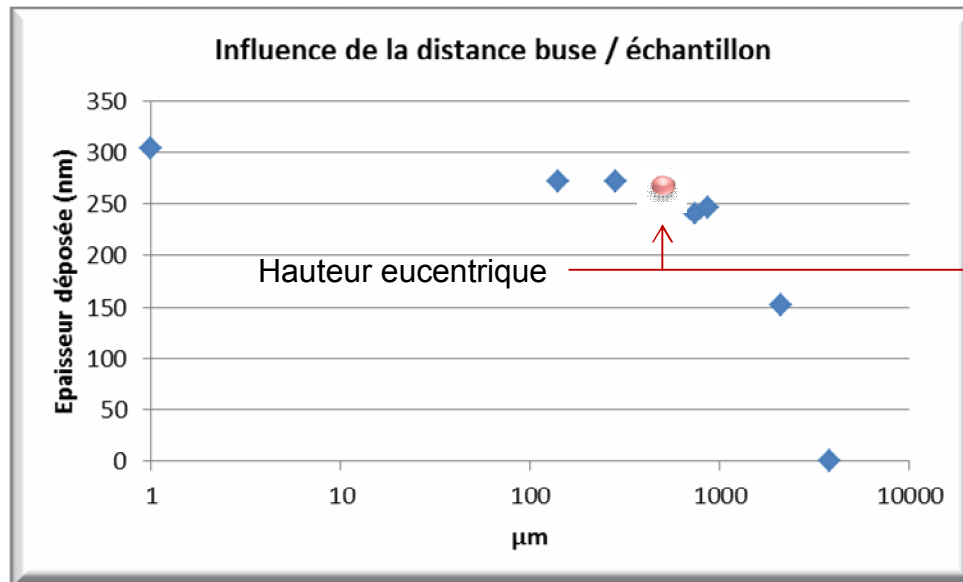
Décomposition du précurseur:

- L'interaction directe ions/précurseur
- Génération d'électrons secondaires d'énergie suffisante à la décomposition
- Echauffement local comme activateur de réaction chimique décomposant le précurseur

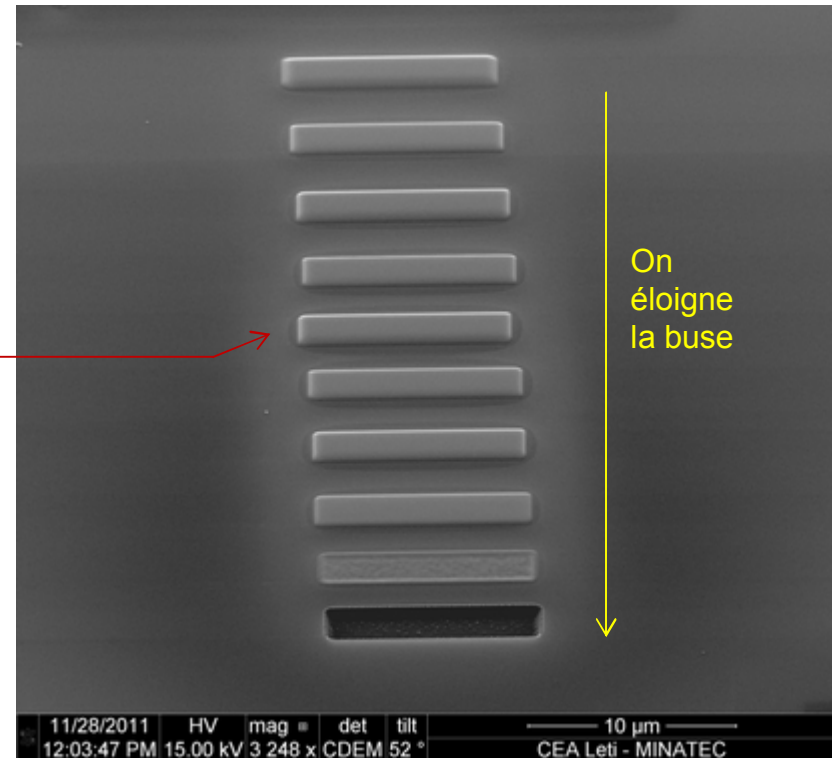
# Paramètres influents: une première liste

- Cinétique d'adsorption du gaz : ouvrir la buse avant le lancement du balayage ionique
- Pression partielle du précurseur (flux)
- Distance buse/échantillon
- Influence de l'échantillon: morphologie, affinité avec le précurseur, température

# Distance buse / échantillon



0,46nA  
10 x 2µm  
Dwell time 200ns  
overlap 0%  
60 sec.



Pas le paramètre le plus critique  
Attention aux échantillons montagneux

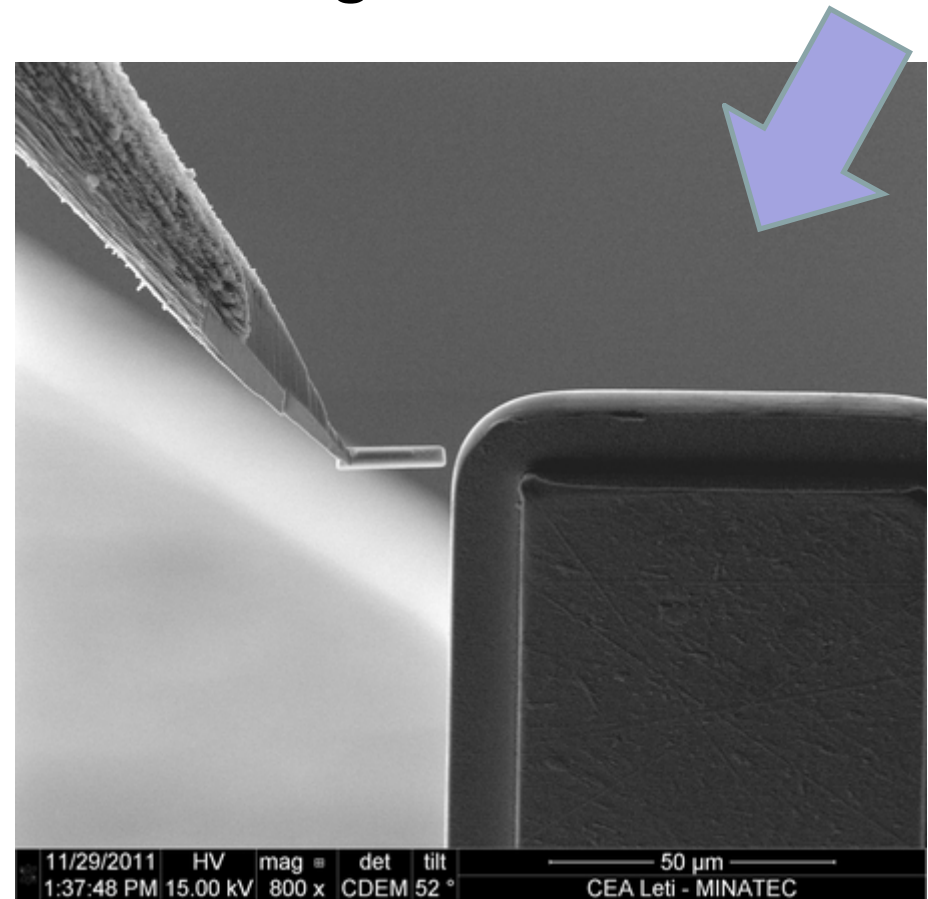
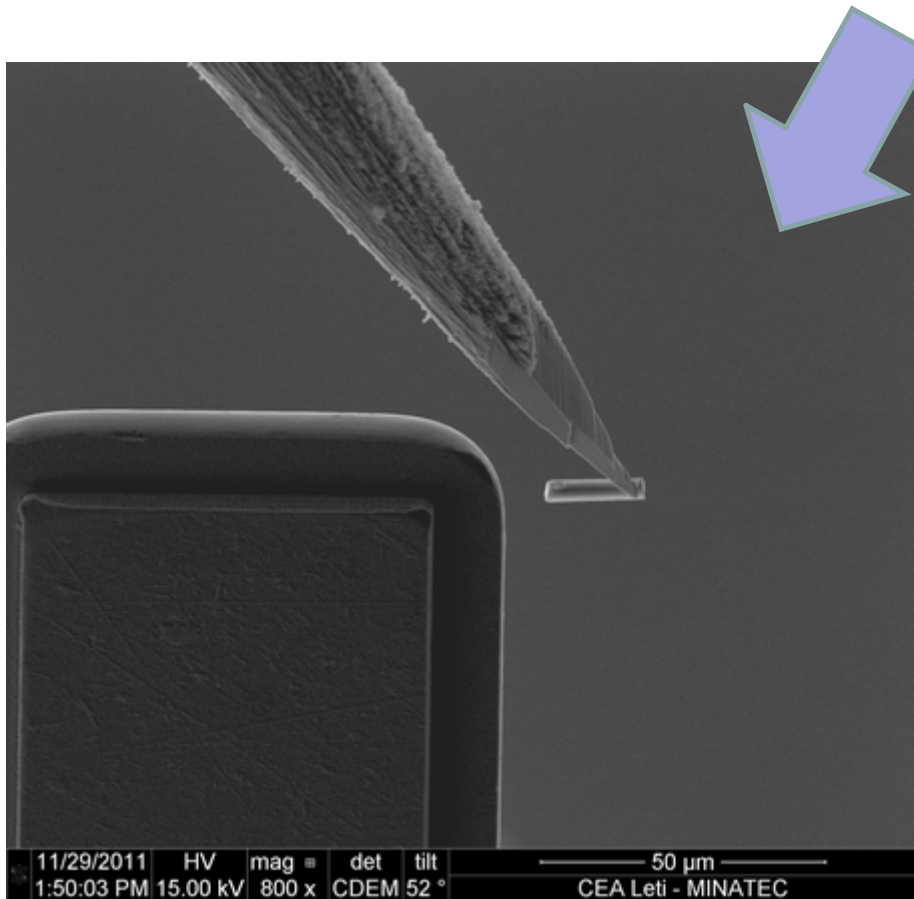
# Influence de la topologie d'échantillon

- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



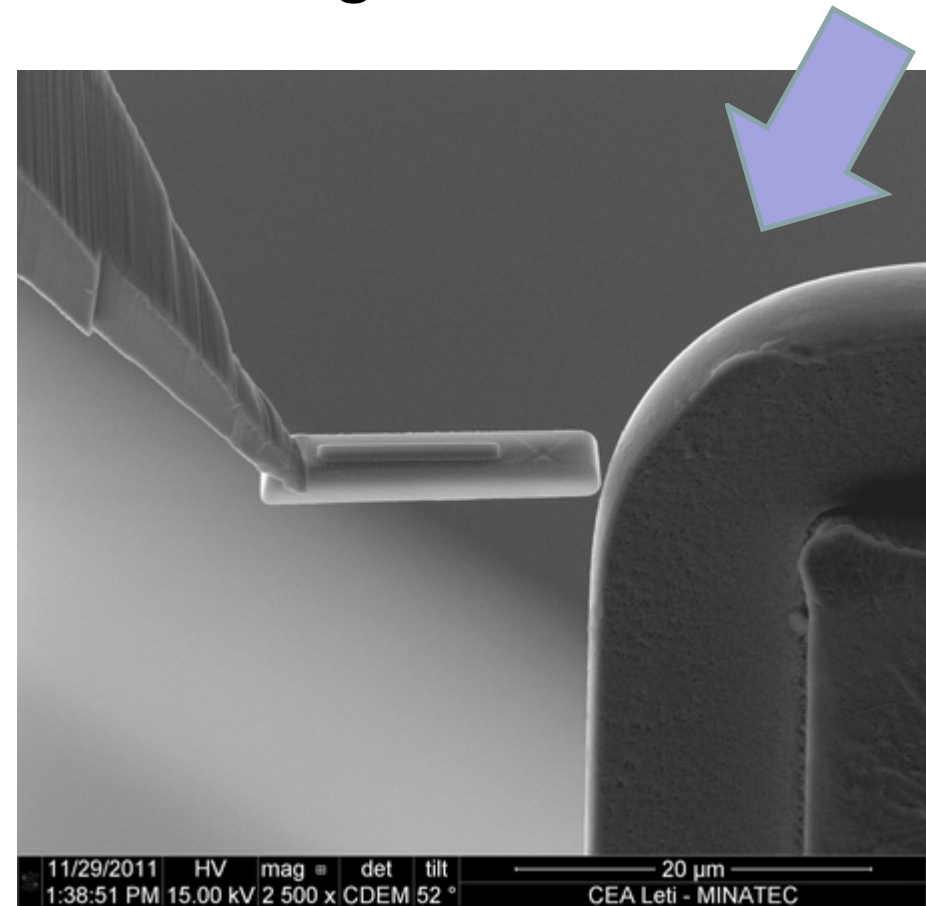
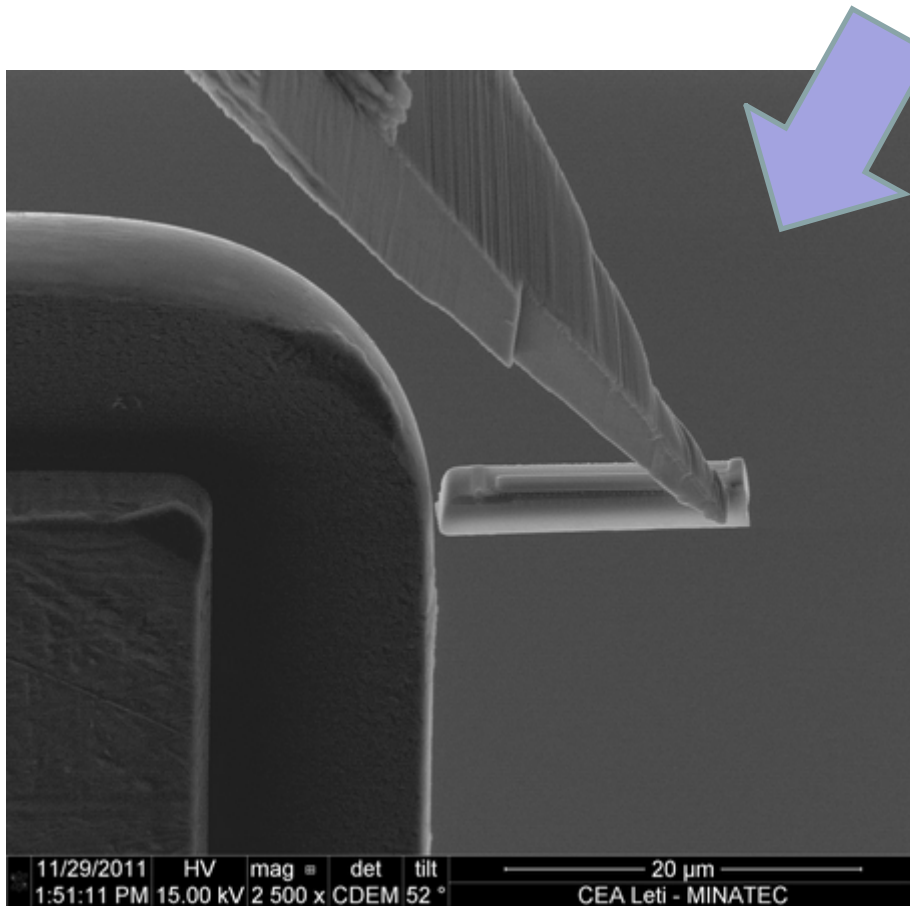
# Influence de la topologie d'échantillon

- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



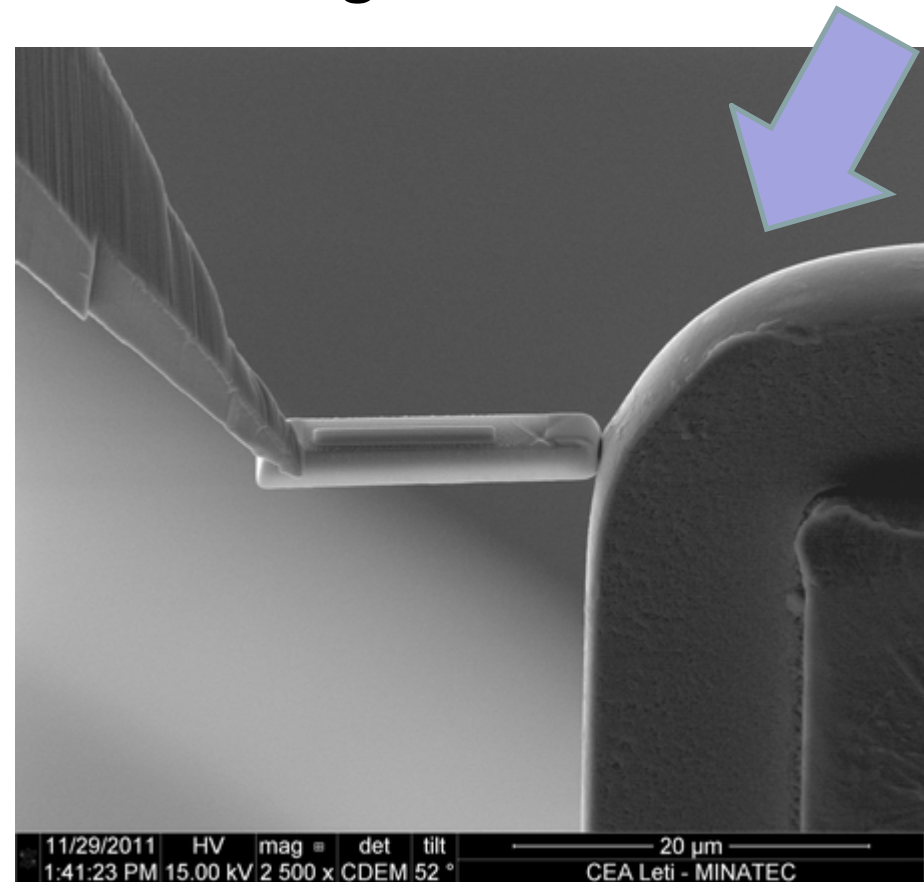
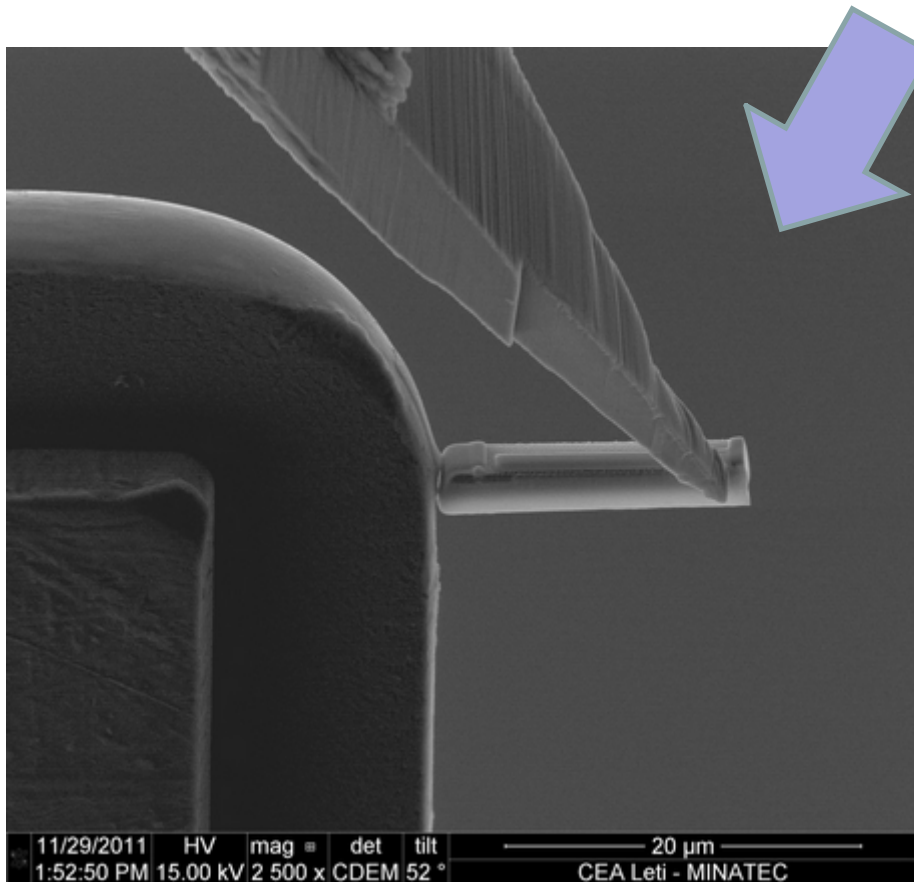
# Influence de la topologie d'échantillon

- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



# Influence de la topologie d'échantillon

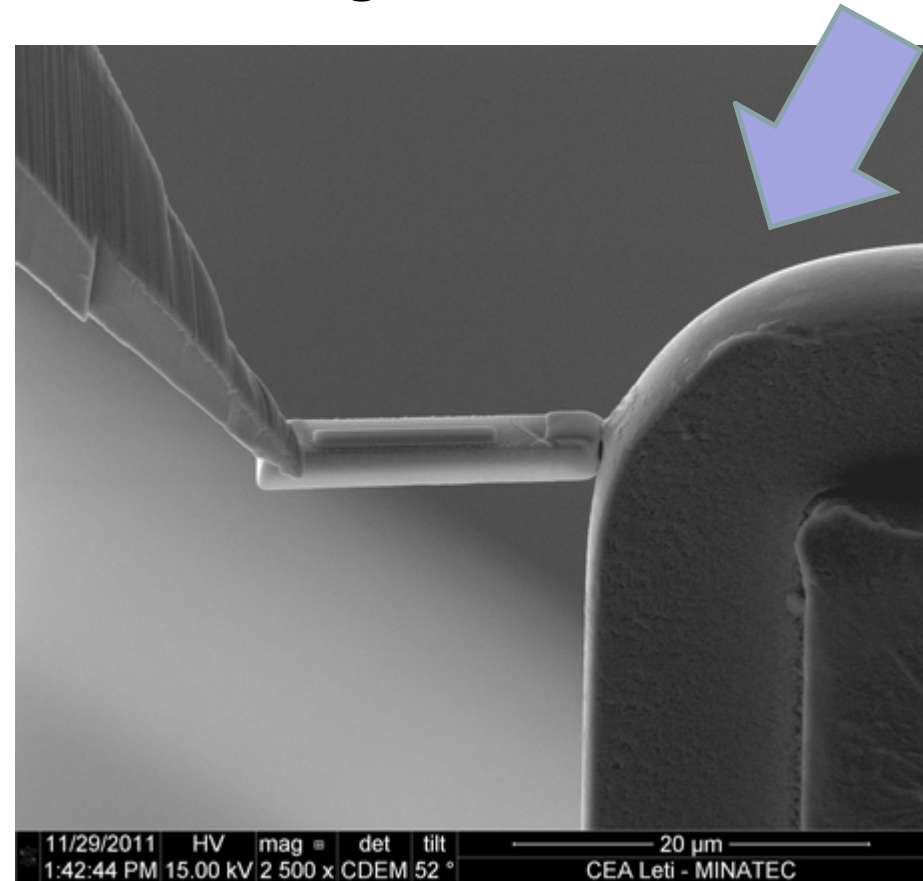
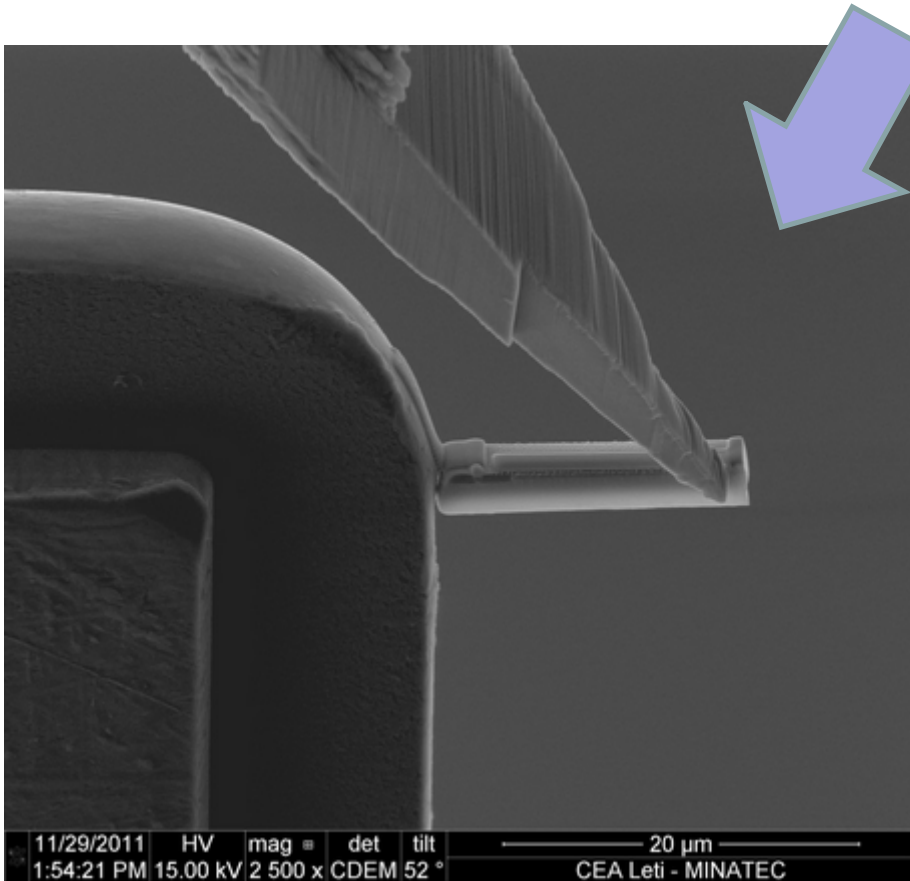
- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



- 60 secondes de dépôt

# Influence de la topologie d'échantillon

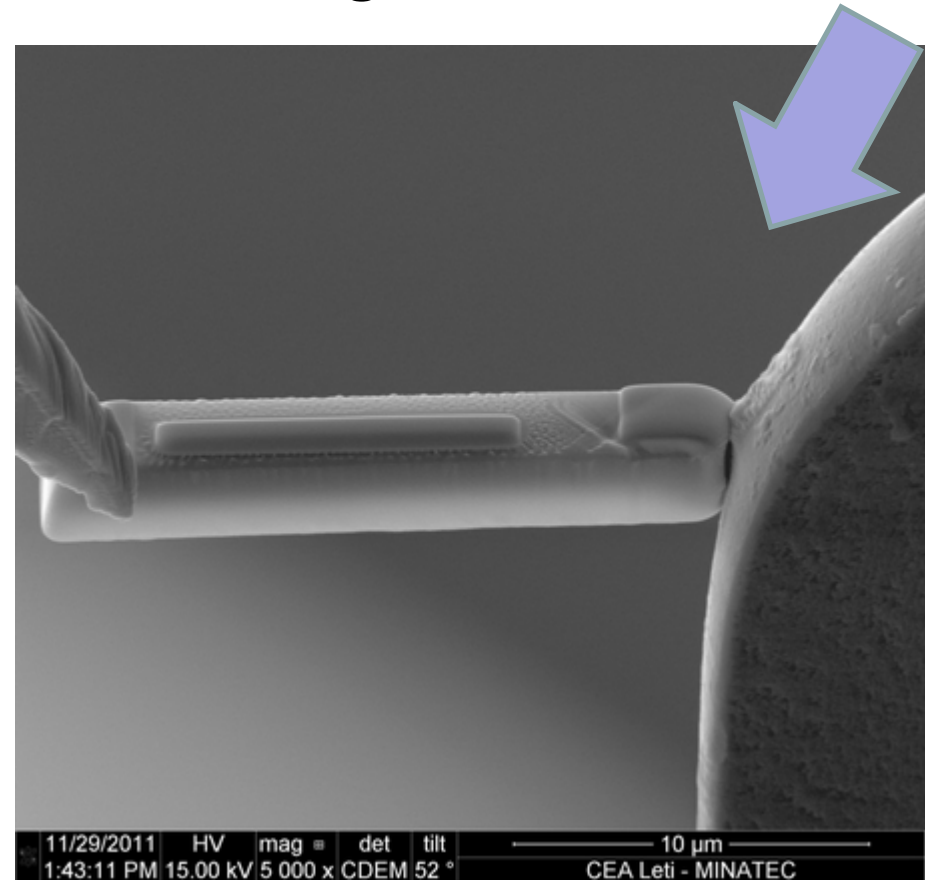
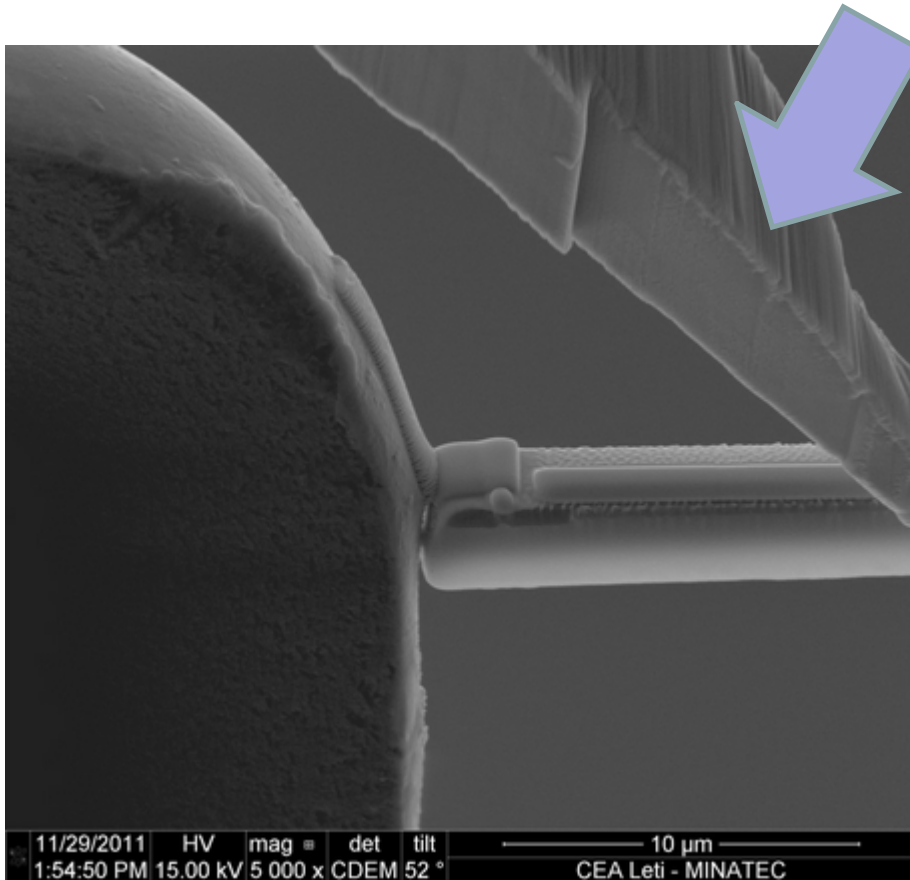
- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



- 120 secondes de dépôt

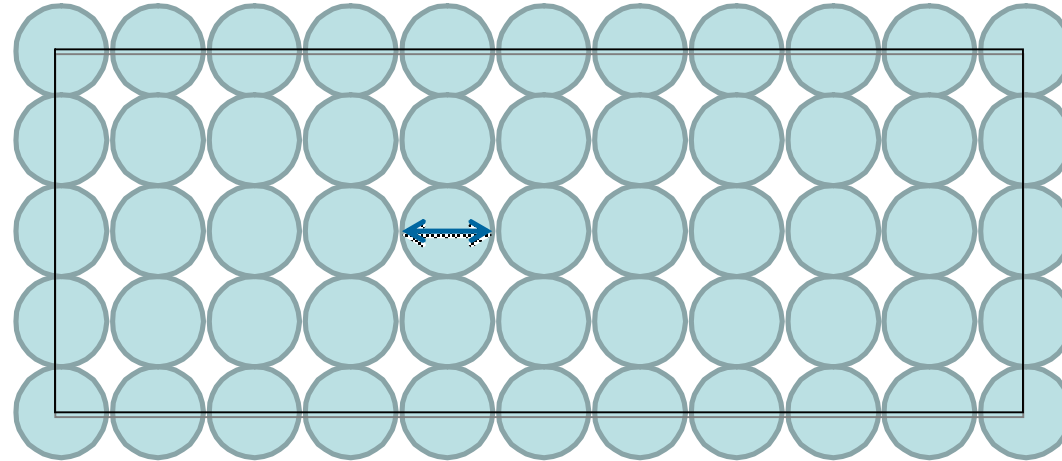
# Influence de la topologie d'échantillon

- Cas concret : coller un chunk sur une grille TEM



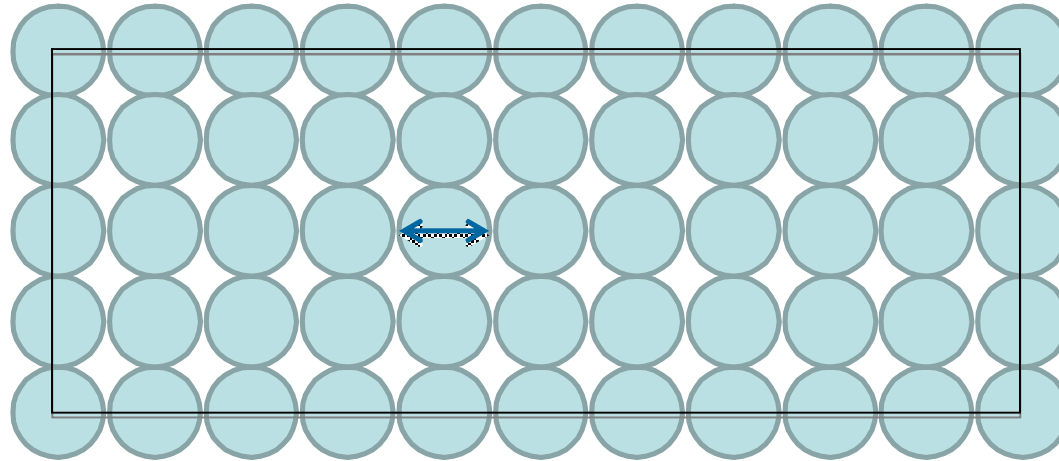
- 120 secondes de dépôt

# Paramètres de scan



- Taille de spot, beam current

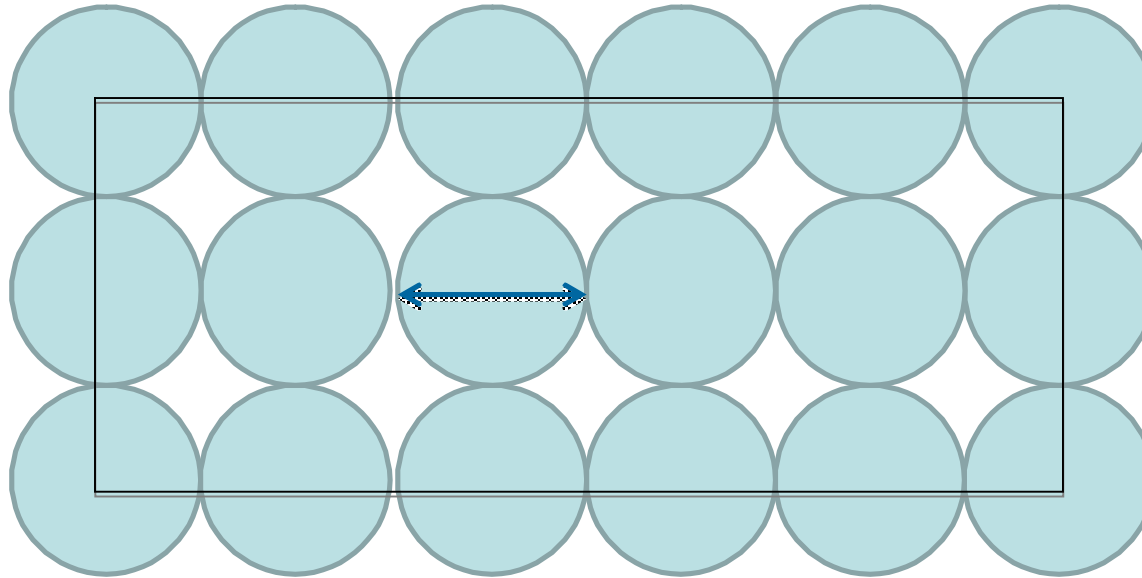
# Taille de spot (beam current)



Ordre de grandeur:

- 30kV / 10pA : 10nm de diamètre
- 30kV / 2nA : 100nm de diamètre

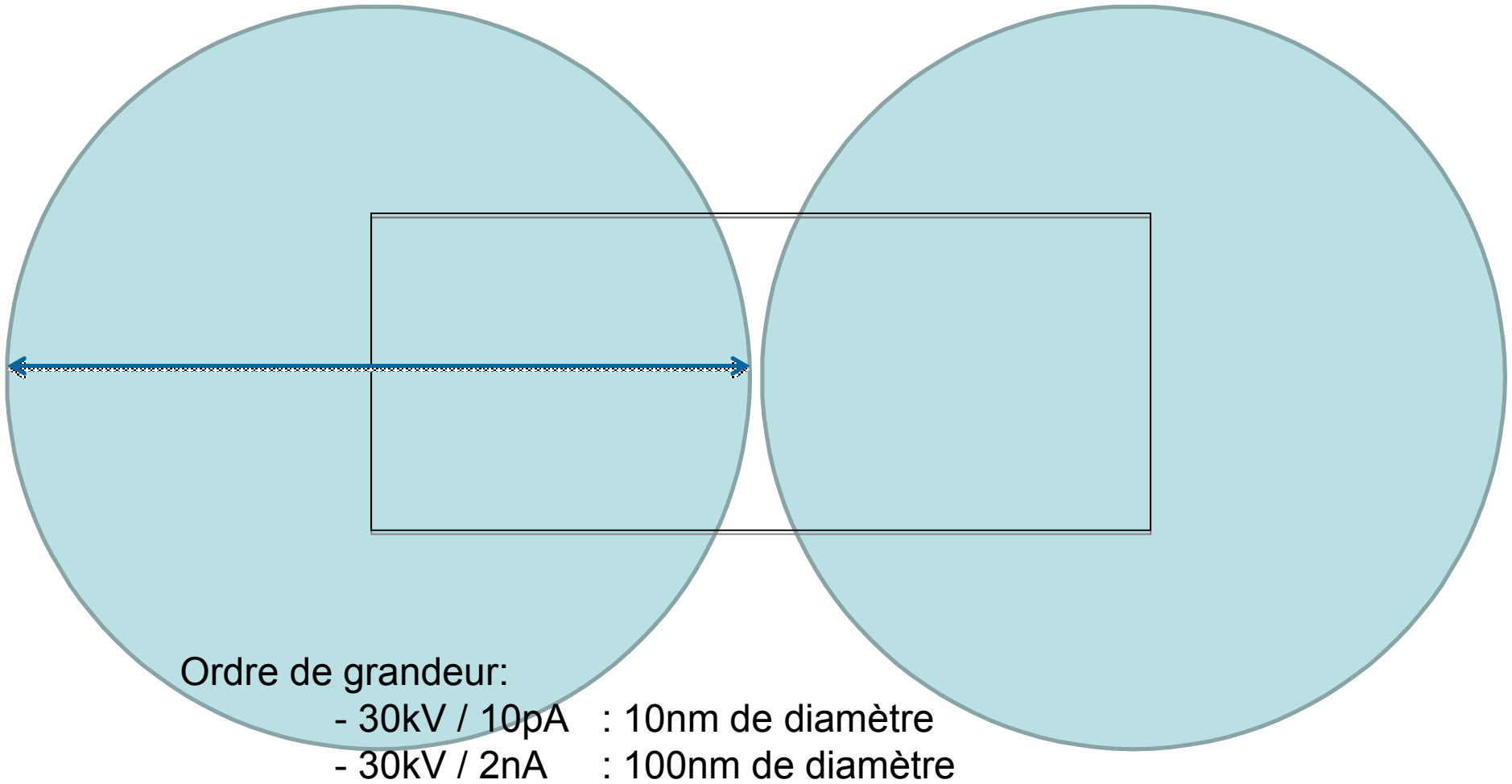
# Taille de spot (beam current)



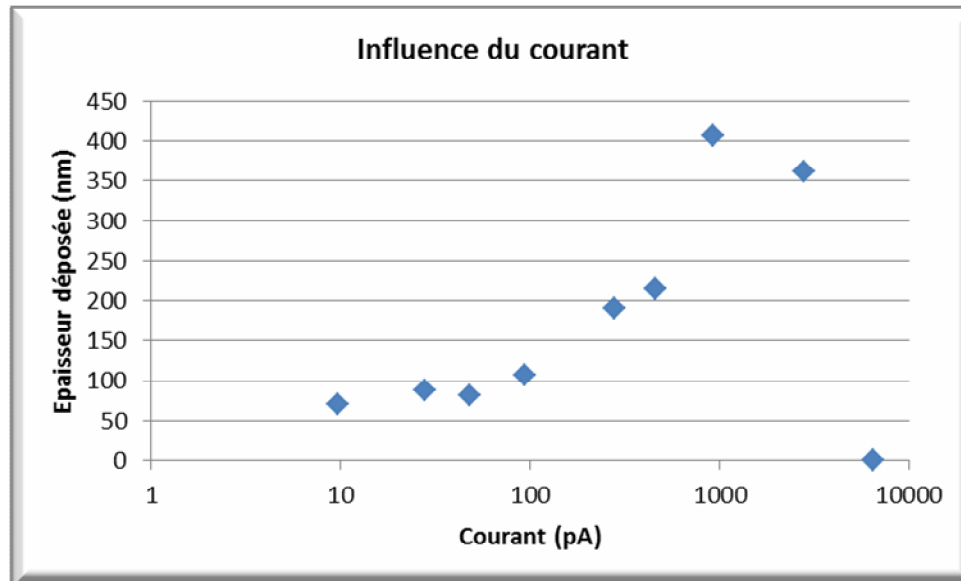
Ordre de grandeur:

- 30kV / 10pA : 10nm de diamètre
- 30kV / 2nA : 100nm de diamètre

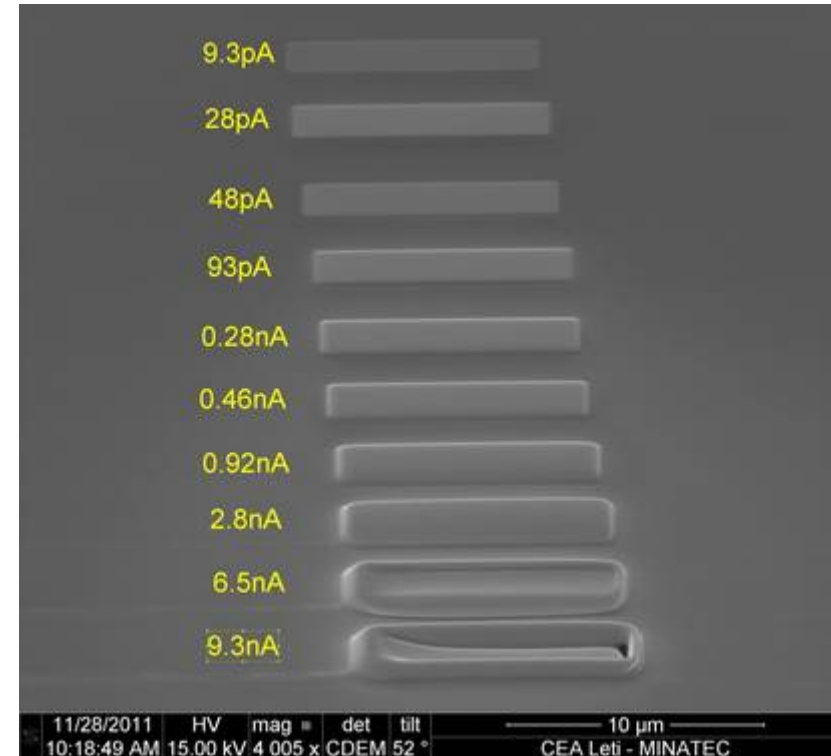
# Taille de spot (beam current)



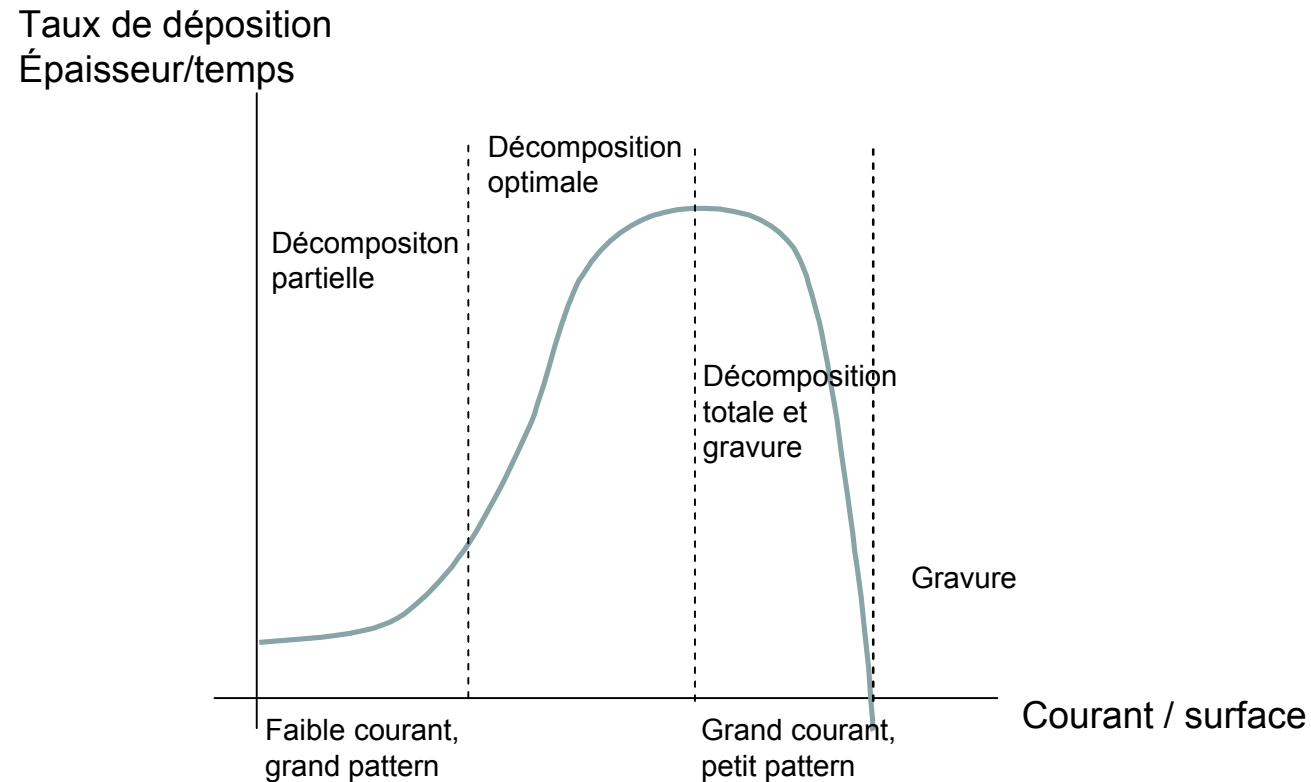
# Taille de spot (beam current)



10 x 2 $\mu$ m  
Dwell time 200ns  
overlap 0%  
60 sec.



# Taille de spot (beam current)



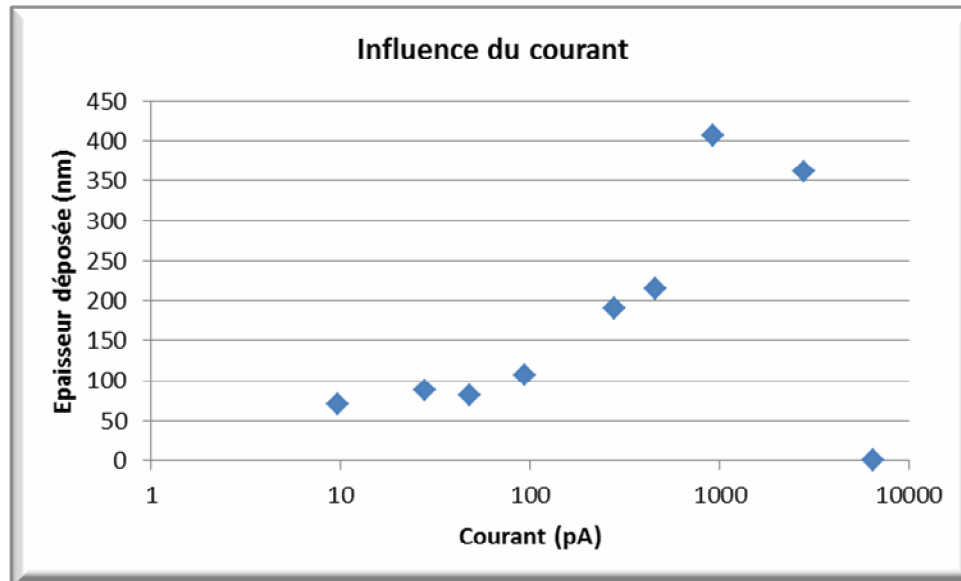
Application Note FEI, optimal pour:

$1\text{pA} < I < 10\text{pA}$  par  $\mu\text{m}^2$  ... pour Pt

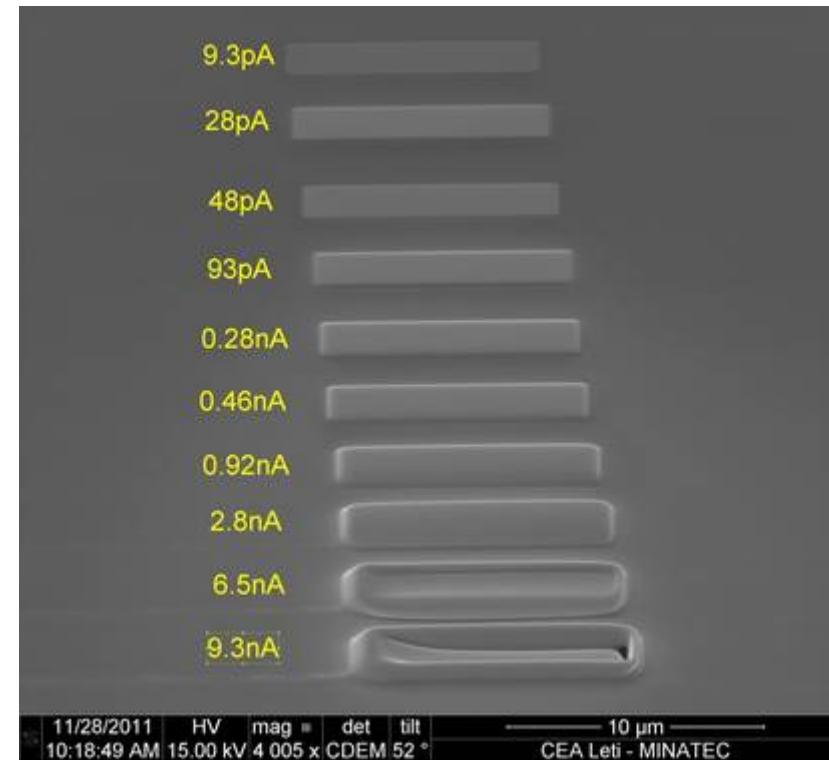
Dans cette étude

$25\text{pA} < I < 40\text{pA}$  par  $\mu\text{m}^2$  ... pour W

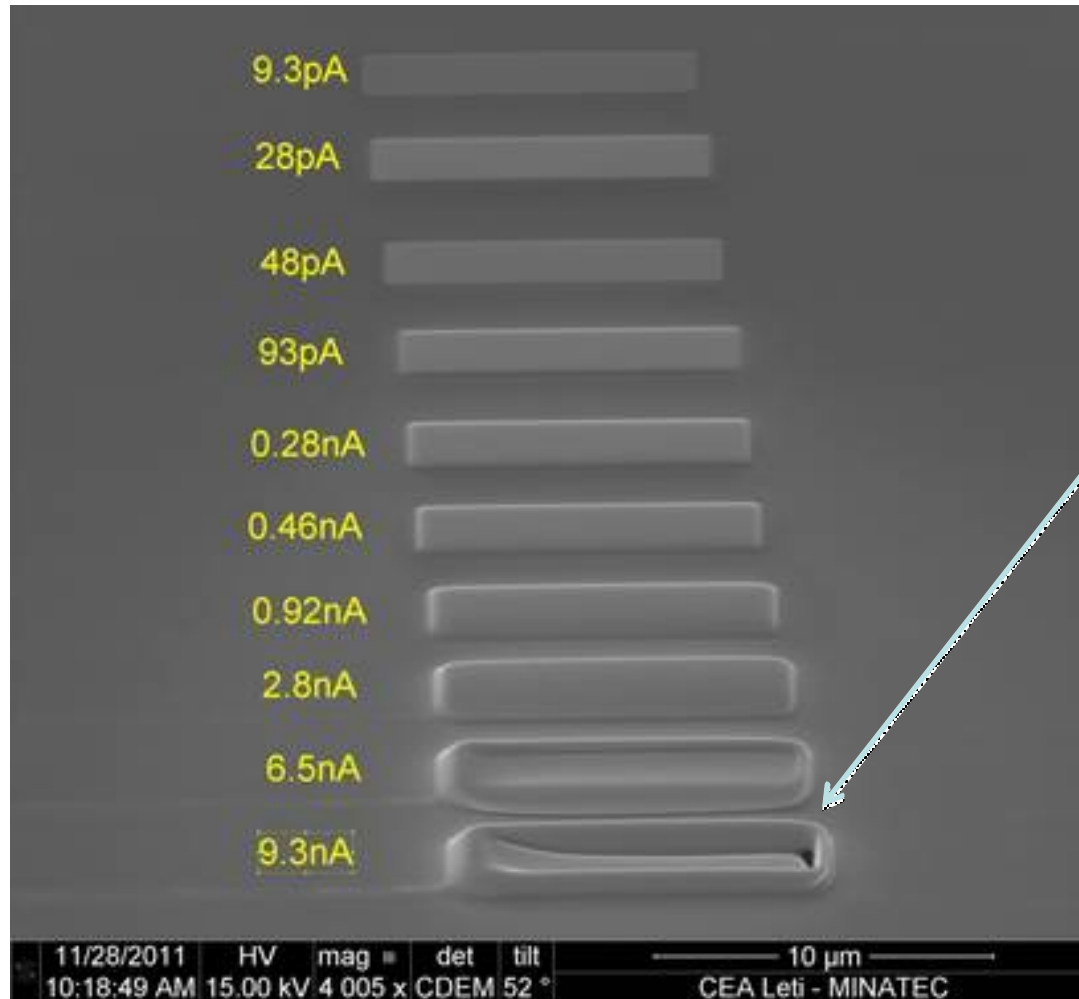
# Taille de spot (beam current)



10 x 2 $\mu$ m  
Dwell time 200ns  
overlap 0%  
60 sec.



# Apartée

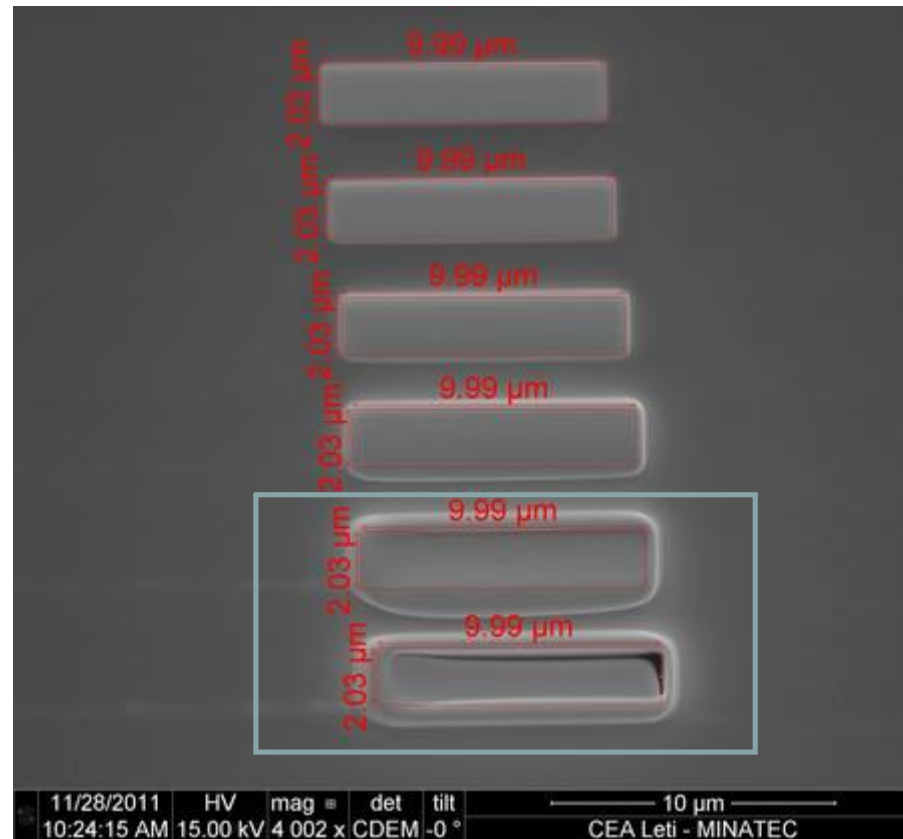


- Que se passe-t-il ici ?
- Pourquoi il y-a-t-il un dépôt à l'extérieur?

10 x 2 μm  
Dwell time 200ns  
overlap 0%  
60 sec.

# Apartée

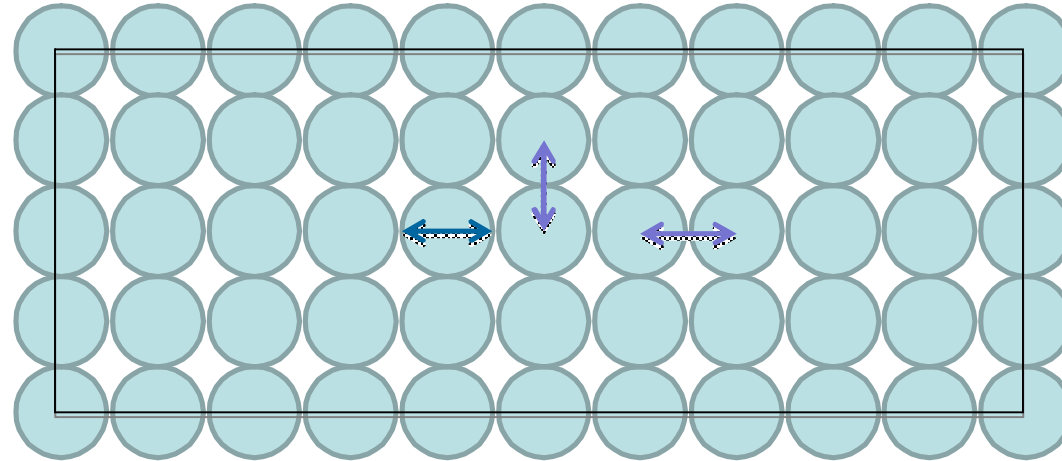
10 x 2  $\mu\text{m}$   
Dwell time 200ns  
overlap 0%  
60 sec.



Vue de dessus

- On dépose à côté du passage du faisceau
- Décomposition vraisemblablement liée aux électrons secondaires + effet thermique

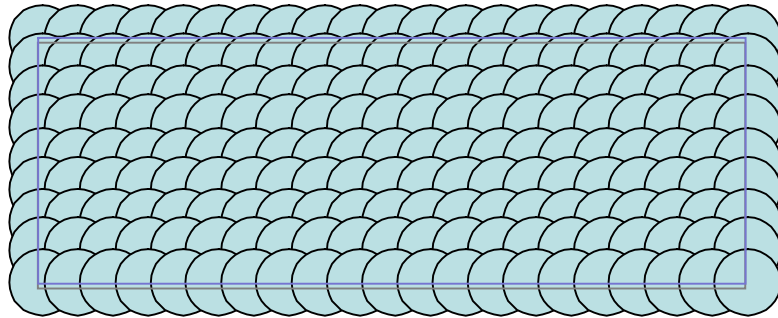
# Paramètres de scan



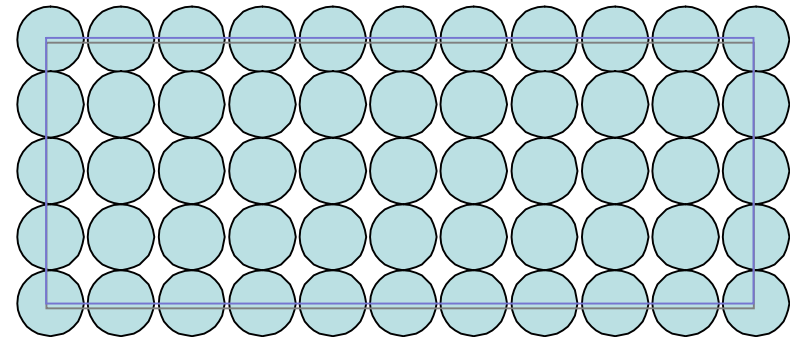
- Taille de spot, beam current
- Beam overlap

# Beam overlap

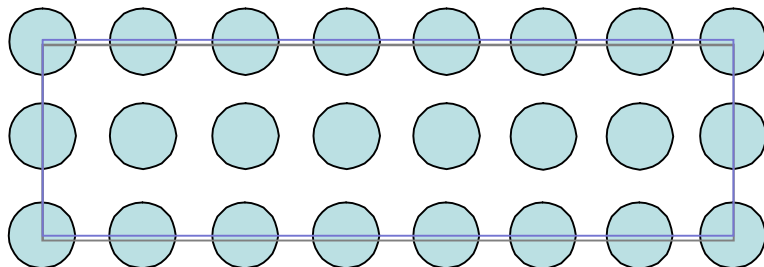
overlap 50%



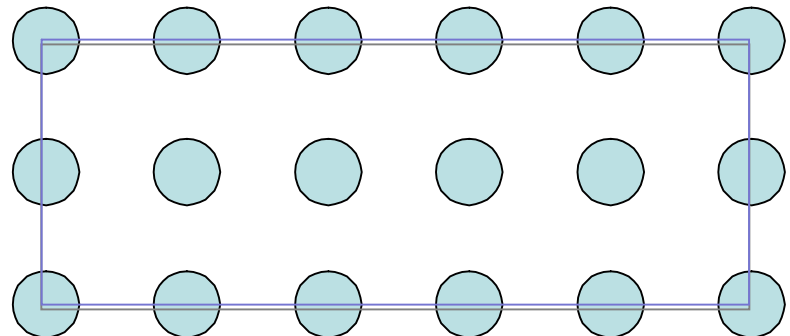
overlap 0%



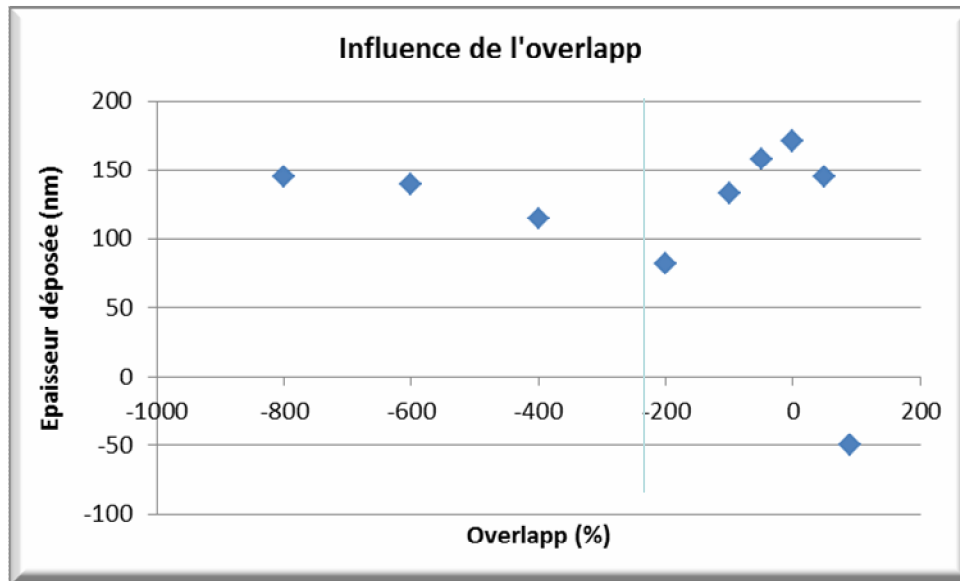
overlap -50%



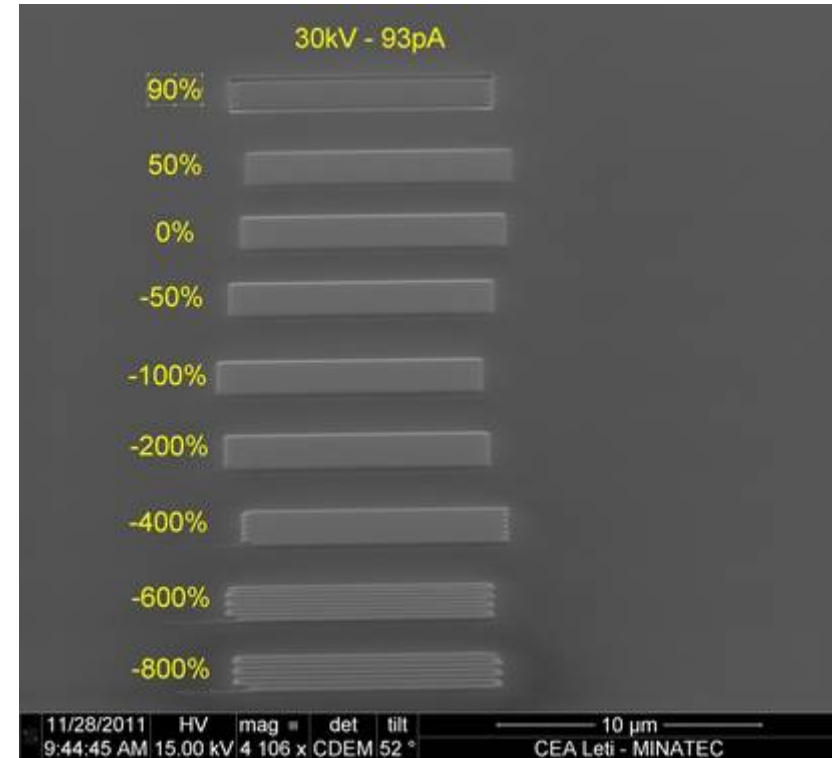
overlap -100%



# Beam overlap

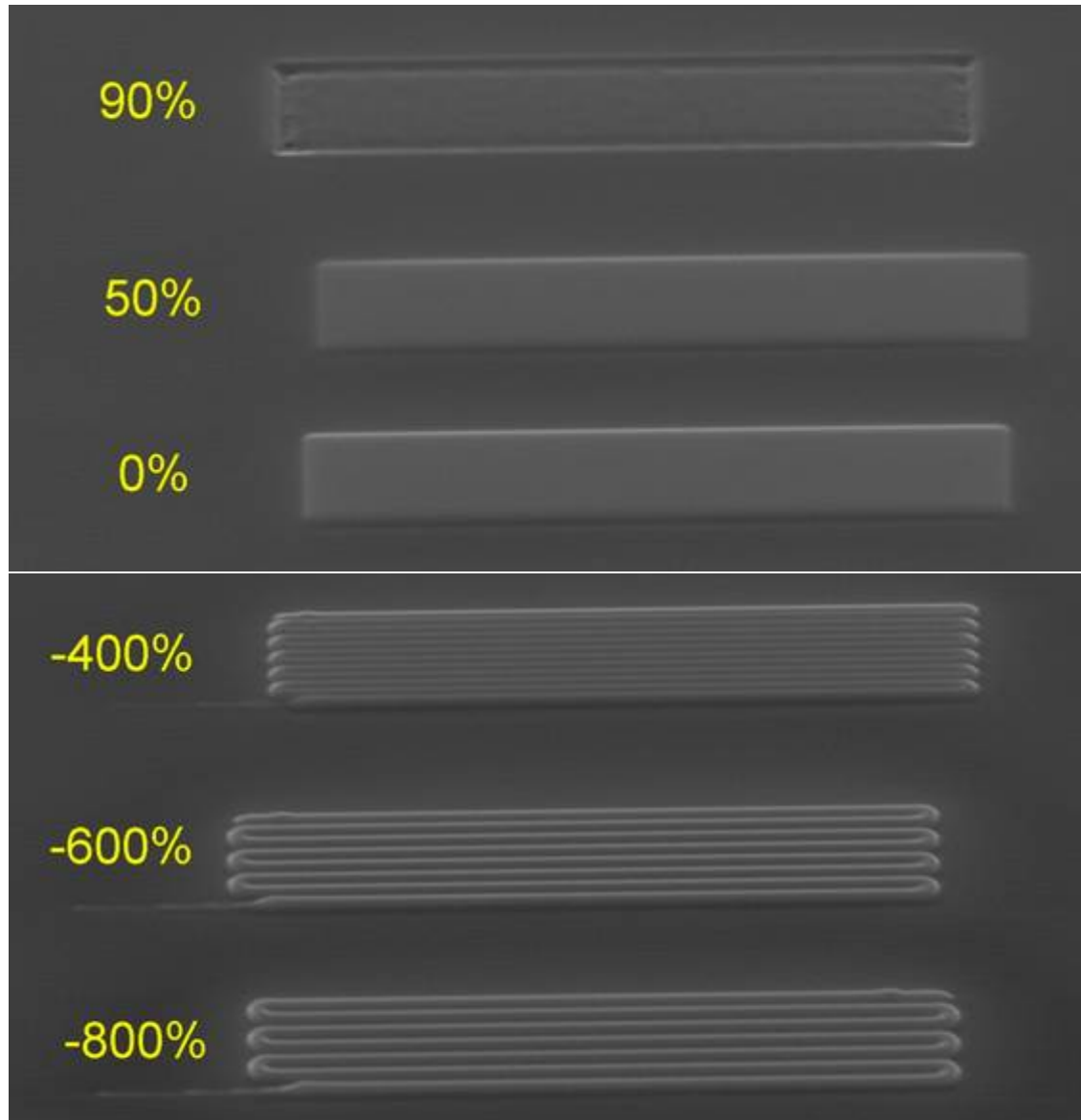


10 x 2 $\mu$ m  
30kV – 93pA  
Dwell time 200ns  
60 sec.



Overlap 0% optimal

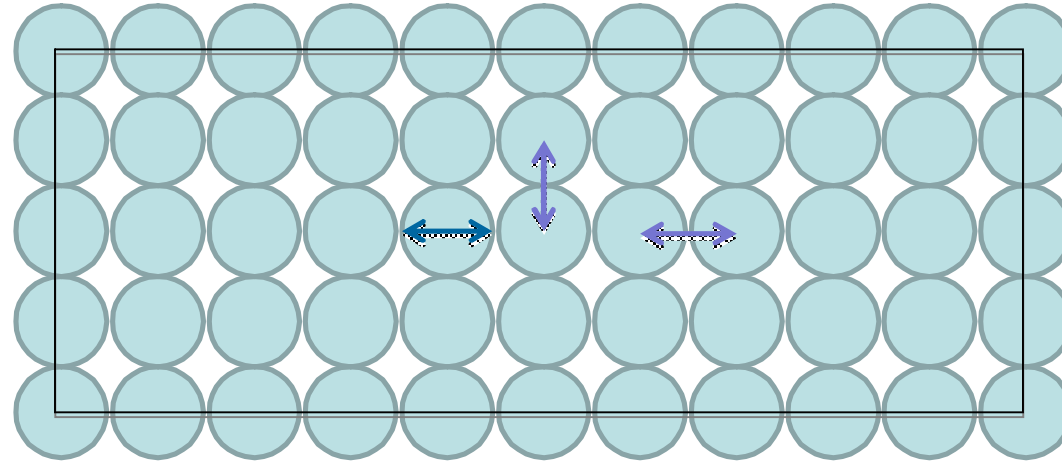
# Beam overlap



10 x 2 $\mu$ m  
30kV – 93pA  
Dwell time 200ns  
60 sec.

Les lignes se comportent comme  
des patterns indépendants

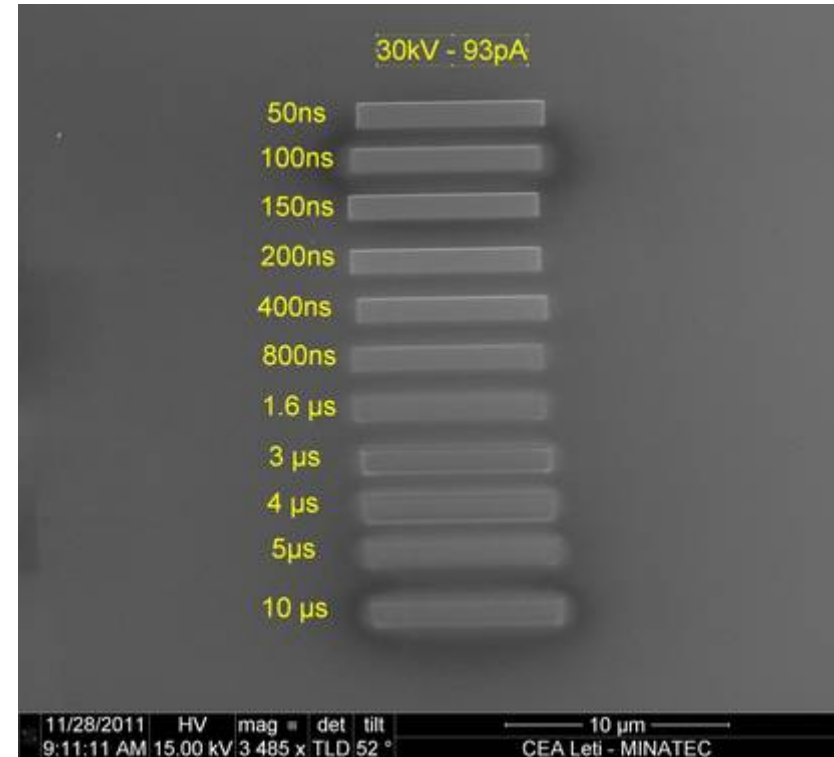
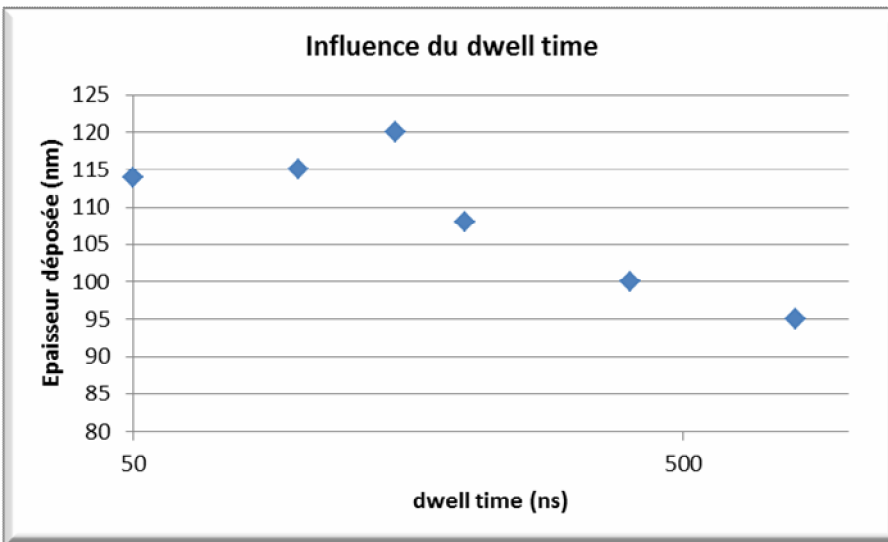
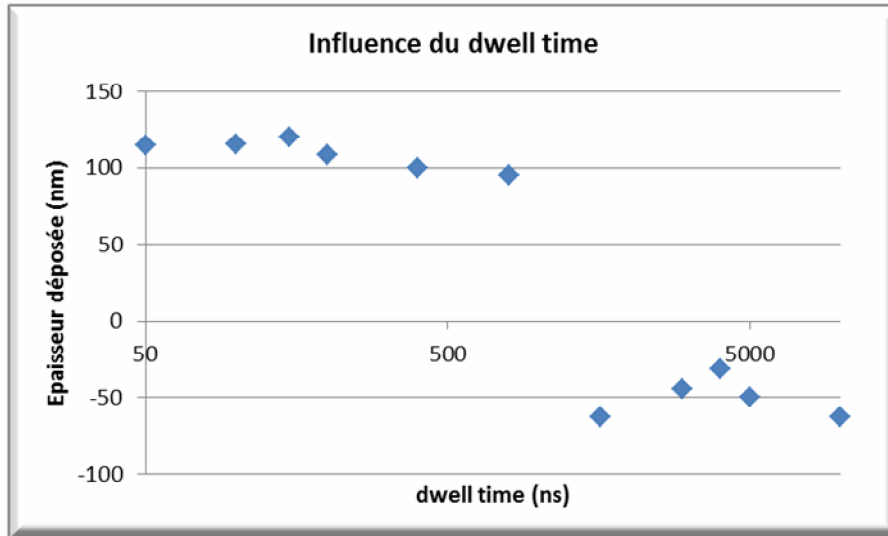
# Paramètres de scan



- Taille de spot, beam current
- Beam overlap
- Dwell time : temps de passage

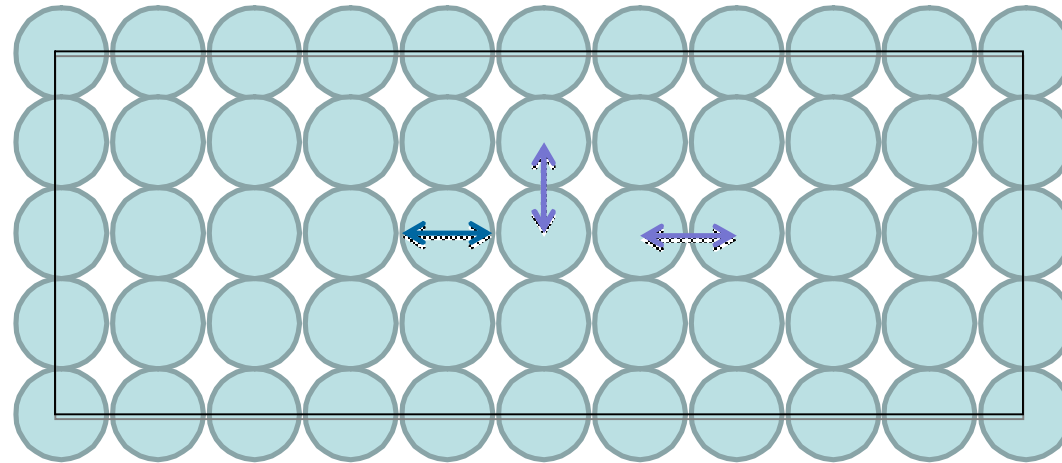
# Dwell time

10 x 2 μm  
 30kV – 93pA  
 Overlap 0%  
 60 sec.



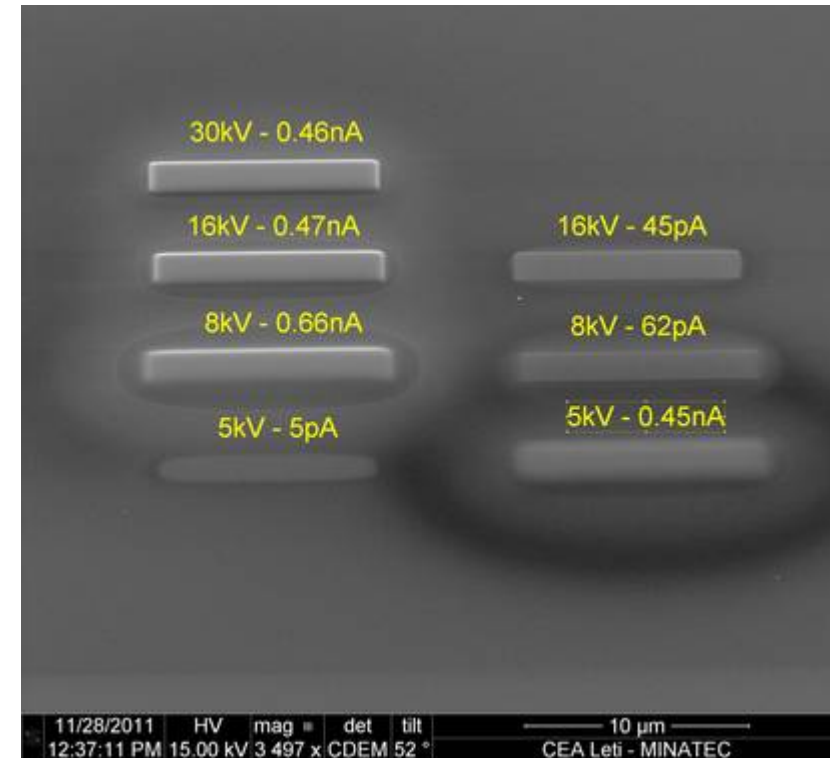
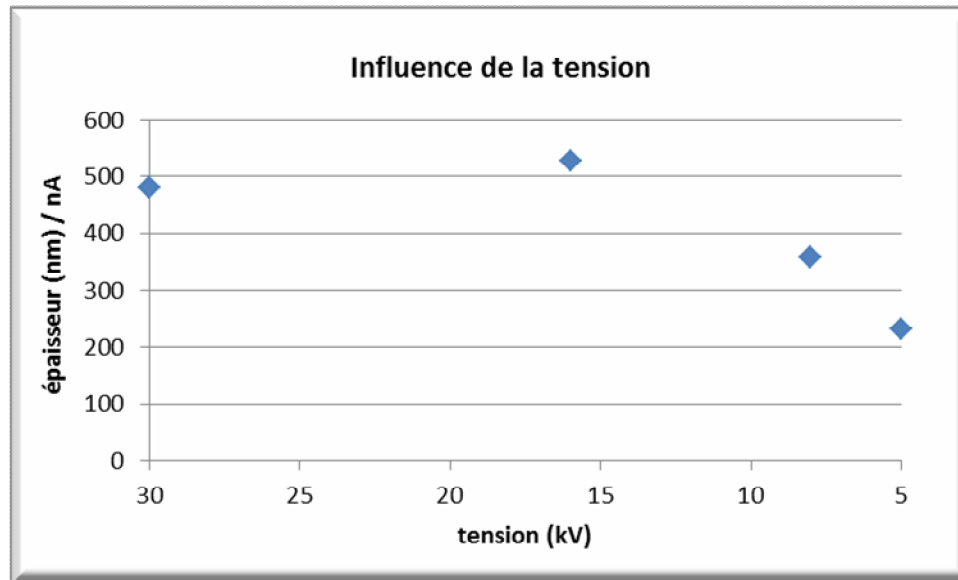
Un faible dwell time est recommandé

# Paramètres de scan



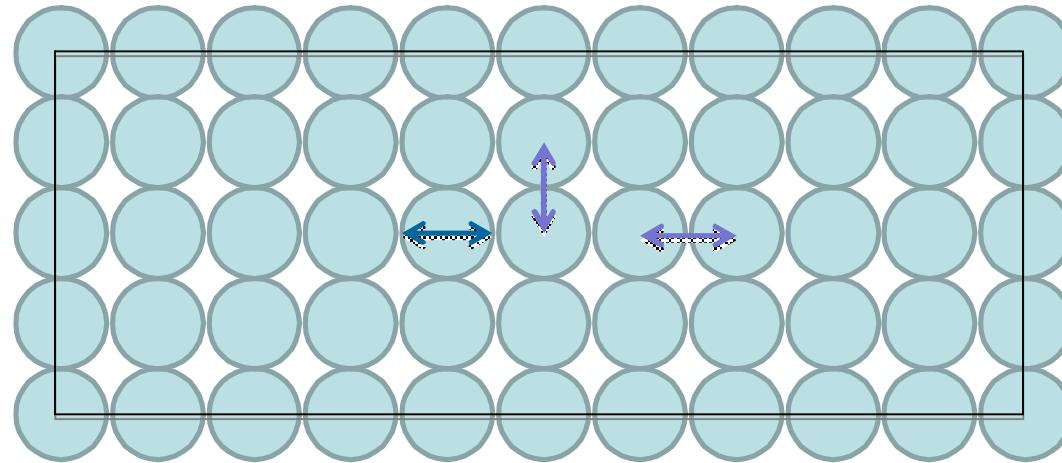
- Taille de spot, beam current
- Beam overlap
- Dwell time
- Energie du faisceau, tension d'accélération

# Tension d'accélération



Tension d'accélération de 30kV ou 16kV  
Faible tension: difficulté de focalisation

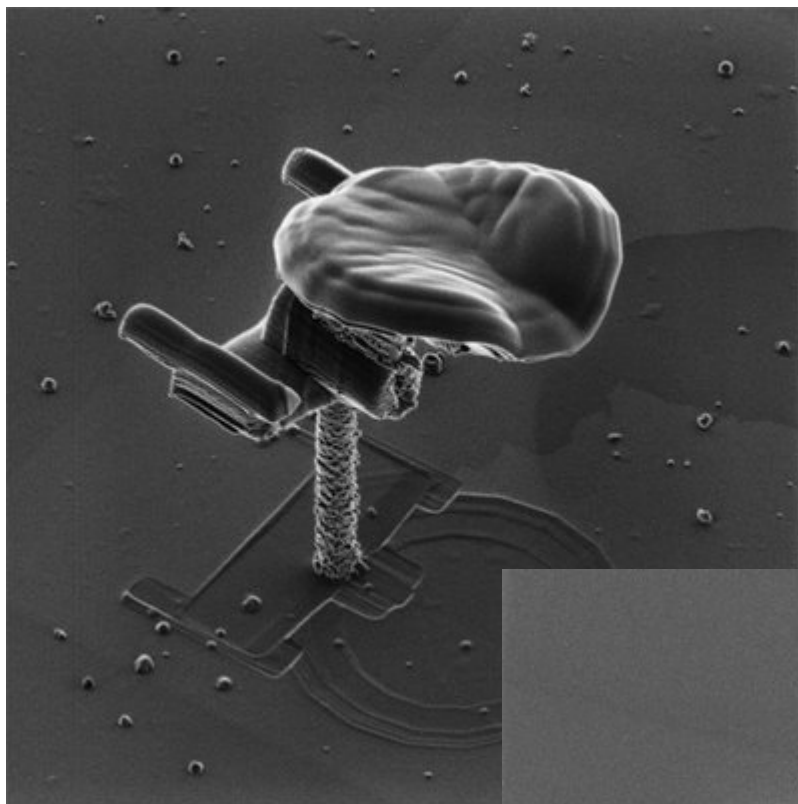
# Paramètres de scan



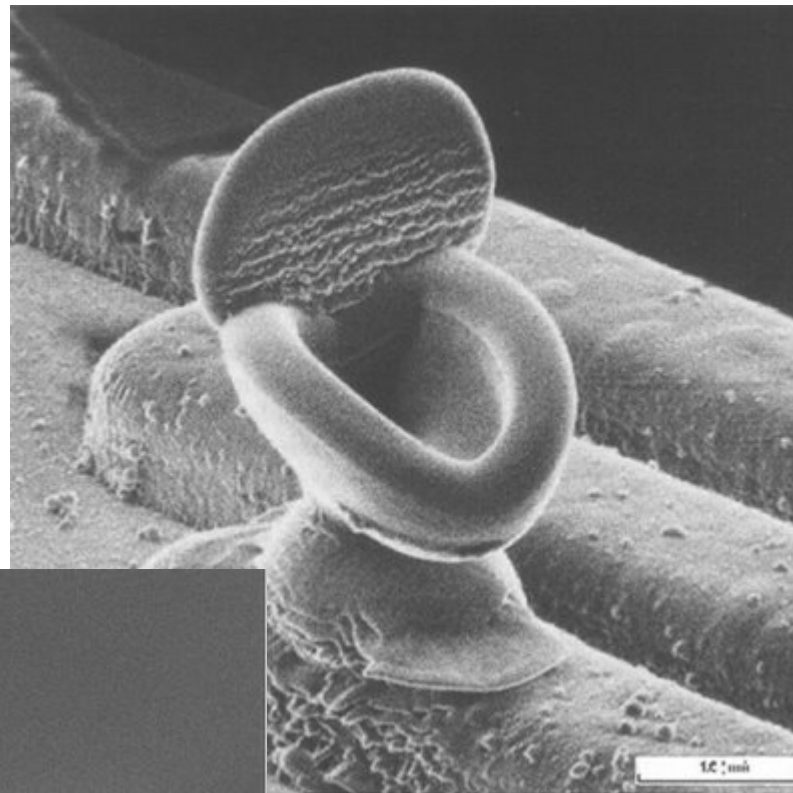
- Taille de spot, beam current
- Beam overlap
- Dwell time
- Energie du faisceau, tension d'accélération
- Stratégies de balayage

# Stratégies de balayage

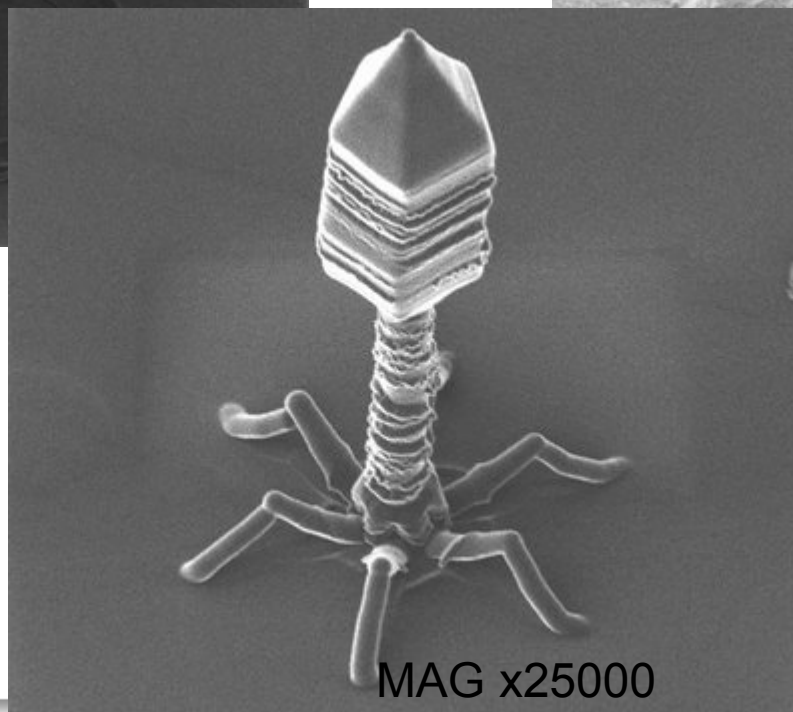
- Outil : PC
- Seule limite : inventivité et créativité (formes, balayage, ...)
- Importation de fichier externes (bitmap, ascii)



MAG x5000



MAG x15000



MAG x25000

# Composition des dépôts

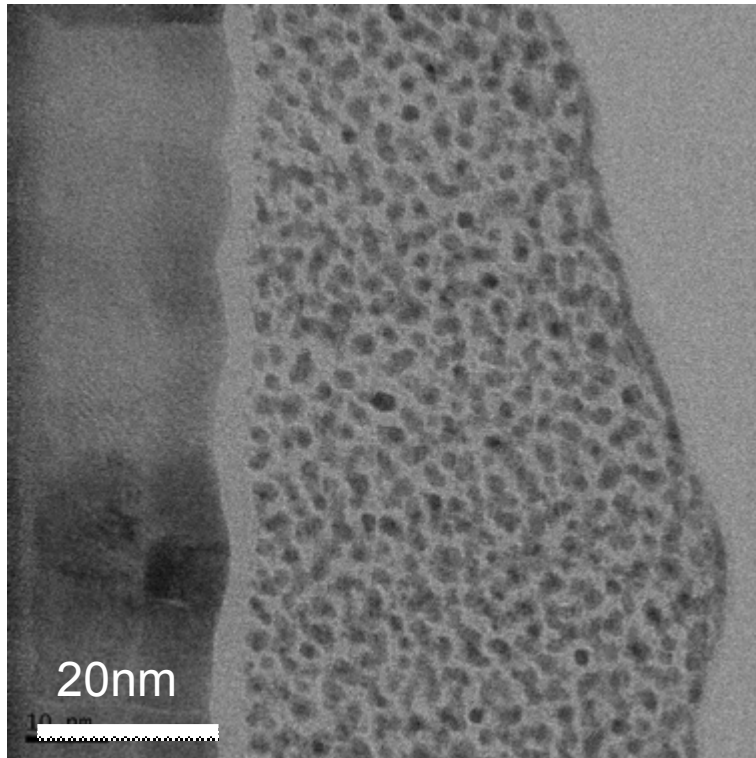
- Grande variété de matériaux déposés:

*Al, Au, C, Co, Cr, Cu, Fe, GaAs, Ga, Ge, Ir, Mn, Mo, Ni, Os, Pb, Pd, Pt, Rh, Ru, Si/SiOx, Sn, Ti, W*

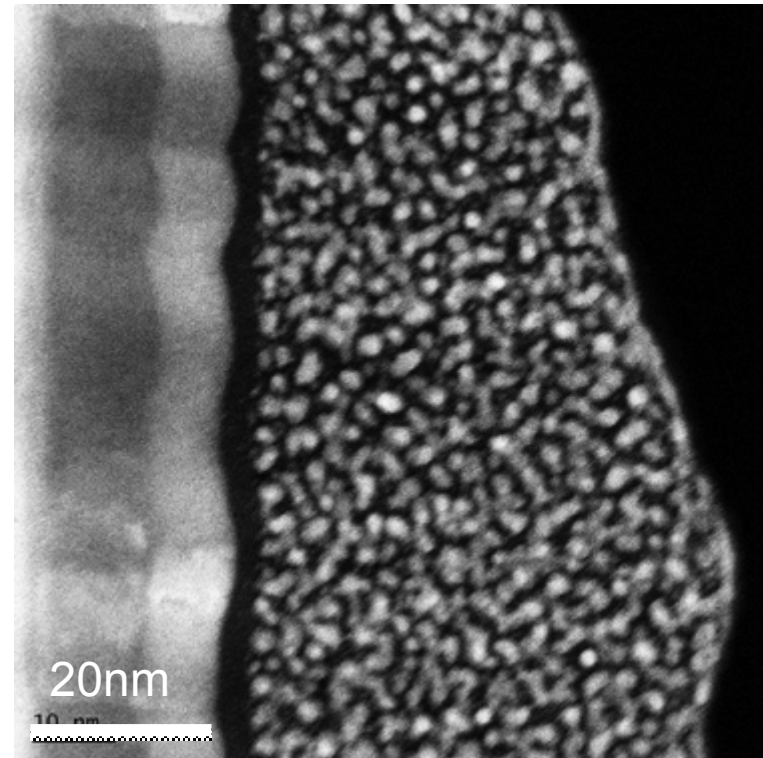
- Typiquement:
  - 10-30 at % de métal par EBID
  - 60-75 at % de métal par IBID

# Composition des dépôts

- Dépôts électroniques



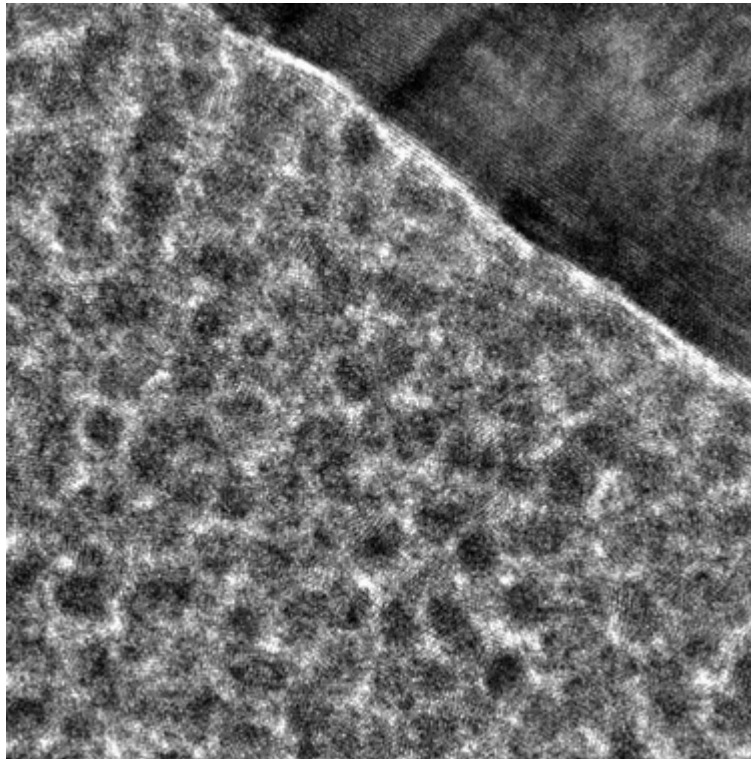
Dépôt Pt et photos  
TEM E. Gautier



- Nanocristaux (2nm) dans une matrice organique

# Composition des dépôts

- Dépôts ioniques

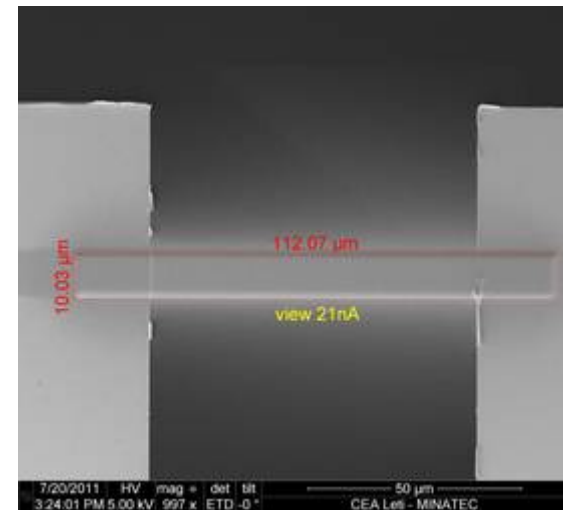
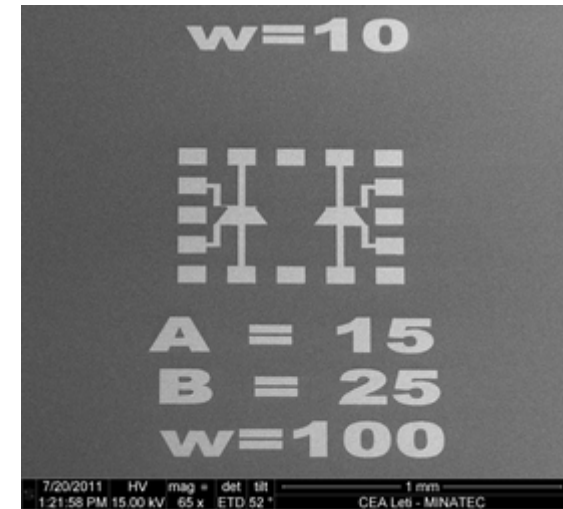
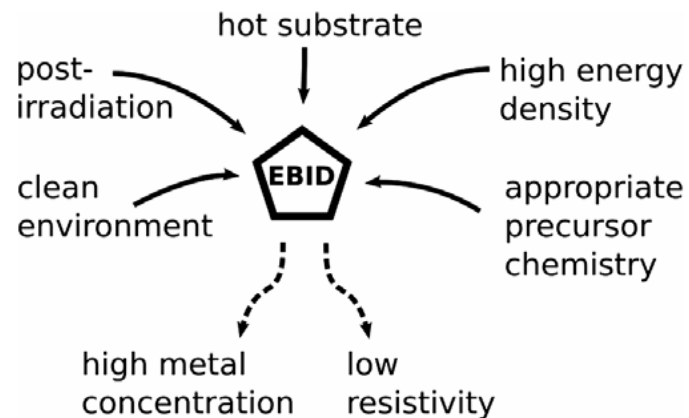


Dépôt Pt et photos  
TEM E. Gautier

- Nanocristaux dans une matrice organique dopée Ga
- Percolation plus importante qu'en EBID

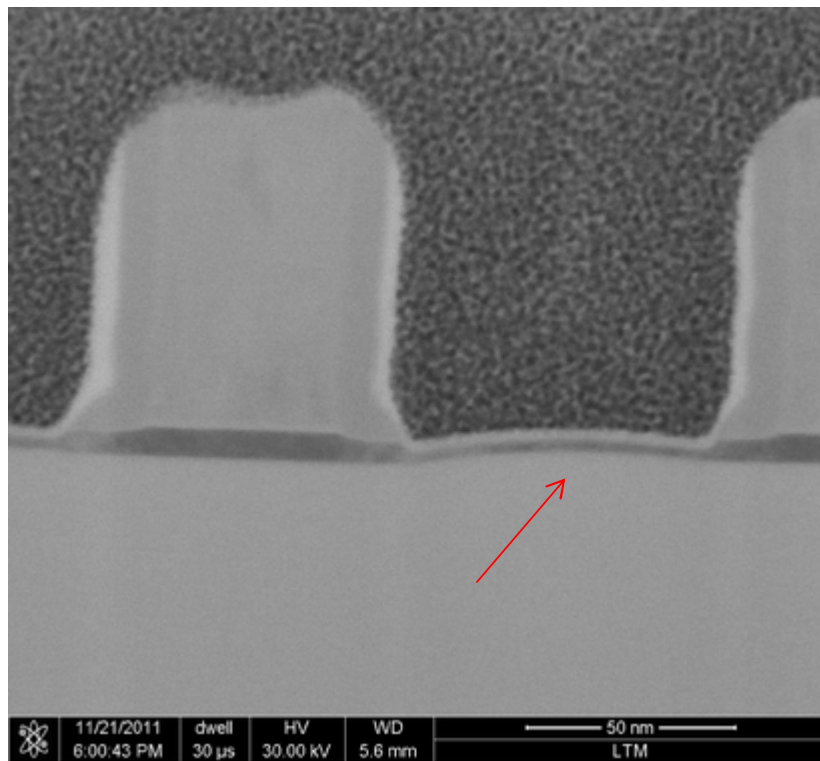
# Propriétés des dépôts, conséquence de leur composition

- Conduction électrique dégradée
  - W
    - déposé par IBID :  $2,5 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$
    - Bulk :  $5,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$
  - Pt
    - Déposé par EBID :  $1,5 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot m$
    - Bulk :  $5,3 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$



# Propriétés des dépôts, conséquence de leur composition

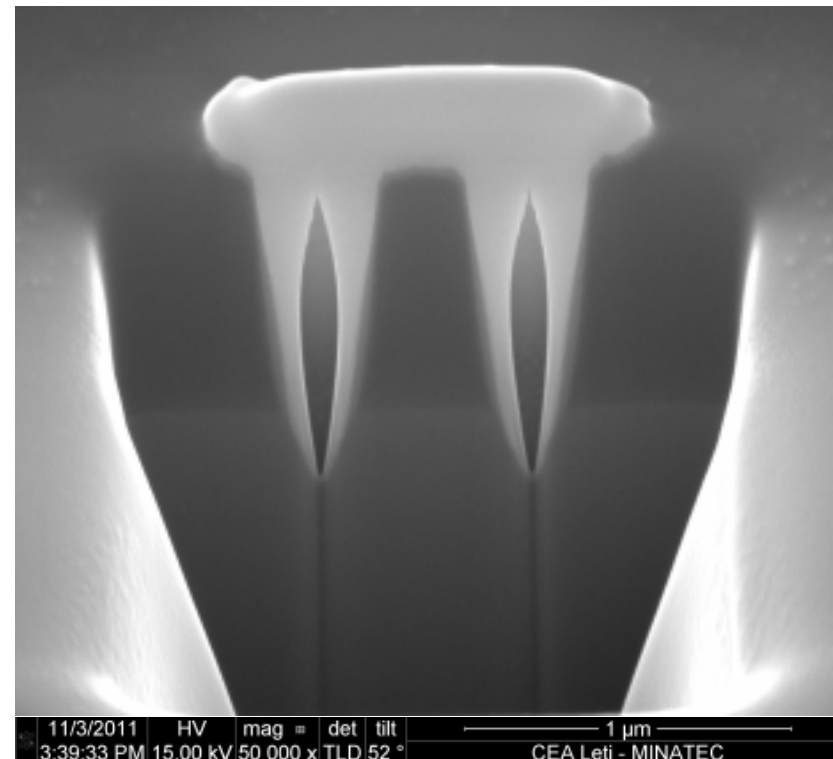
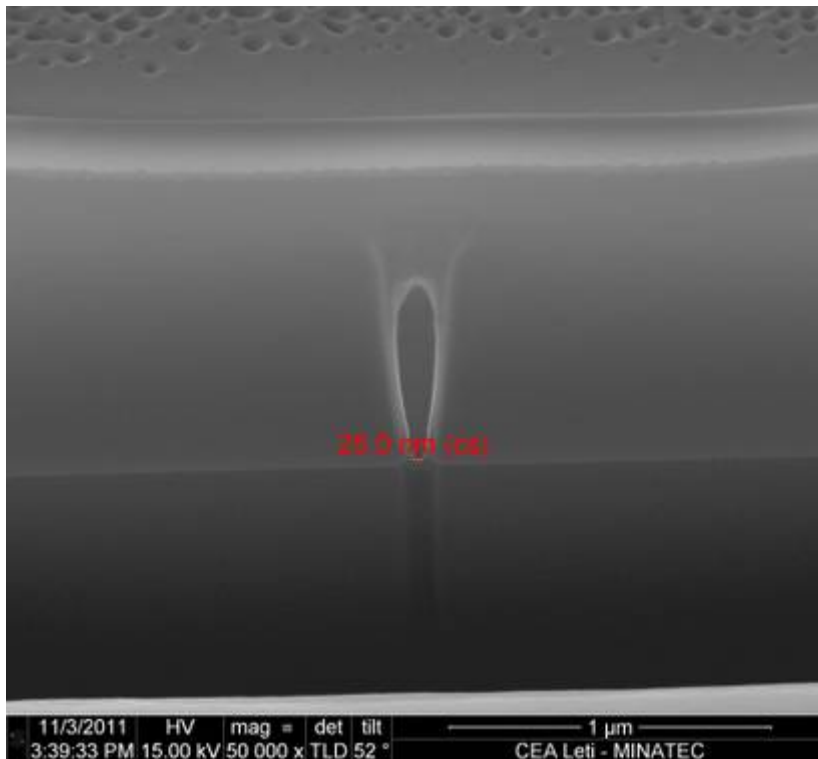
- Elasticité, contraintes engendrant des artefacts



Travaux Sylvain DAVID  
LTM/UJF

# Cas pratique : dépôt dans un via profond

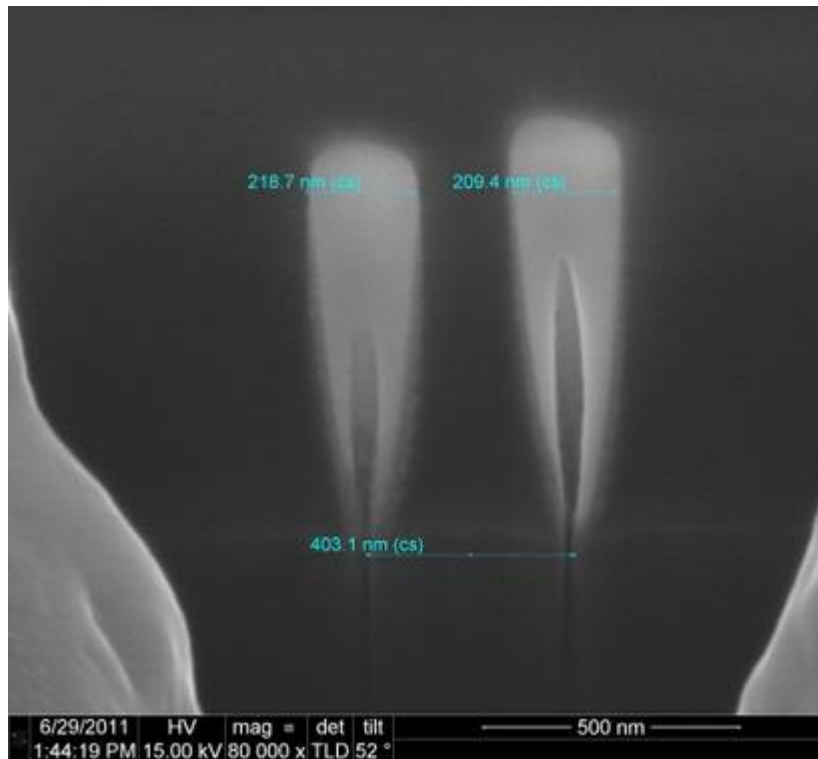
- Problématique: remplir un via de 200nm de diamètre supérieur par 1µm de profondeur



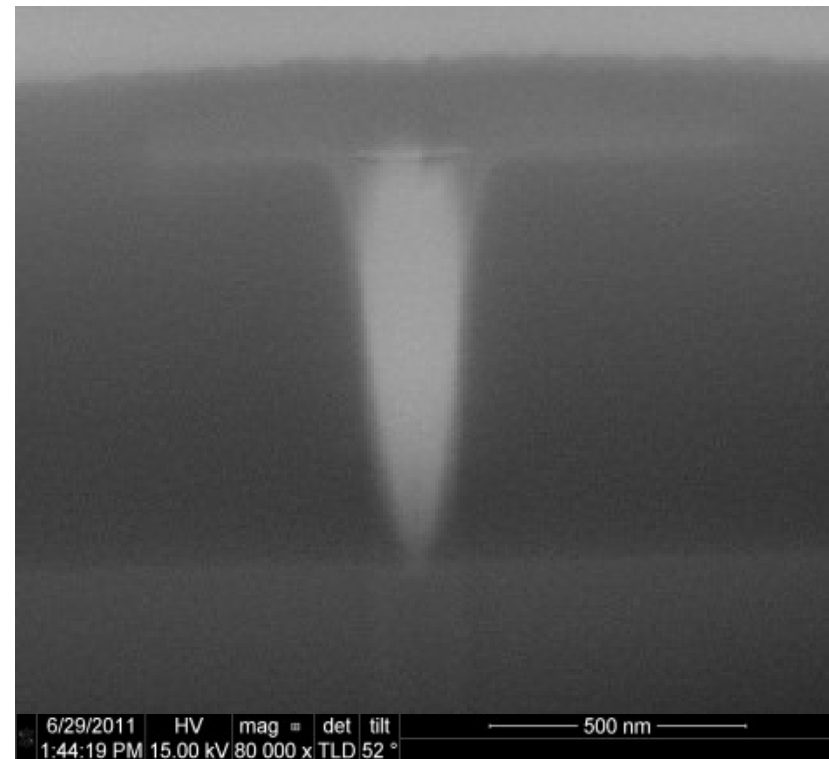
Sans rien faire

# Cas pratique : dépôt dans un via profond

- Problématique: remplir un via de 200nm de diamètre supérieur par 1 $\mu$ m de profondeur



Optimisation taille de pattern, dwell time, overlap et courant



Contrôle du scan

# Conclusion

Quelques règles générales IBID

- Réfléchir avant de lancer un dépôt sur l'orientation relative buse/échantillon
- Dwell time : doit être rapide
- Overlap de 0%
- Choix du courant: faire quelques tests simples à réception de l'équipement (1 à 40pA par  $\mu\text{m}^2$ )
- Privilégier la haute tension
- Dépôt EBID: travailler à faible tension (2 à 5kV) et fort courant (nA)

# Merci à

- Eric GAUTIER – CEA/INAC/SPINTEC & CNRS
- Sylvain DAVID – UJF/LTM
- Gaëlle LE GAC – CEA/Leti
- Pauline CALKA – CEA/Leti

# leti

LABORATOIRE D'ÉLECTRONIQUE  
ET DE TECHNOLOGIES  
DE L'INFORMATION

CEA- Leti  
MINATEC Campus, 17 rue des Martyrs  
38054 GRENOBLE Cedex 9  
Tel. +33 4 38 78 36 25

[www.leti.fr](http://www.leti.fr)



## Merci de votre attention



énergie atomique • énergies alternatives



# Quelques références (review)

- *Creating pure nanostructures from electron-beam-induced deposition using purification techniques: a technology perspective*, Nanotechnology, 20, **2009**
- *Gas-assisted focused electron beam and ion beam processing and fabrication*, J. Vac. Sci. Technol. B 2(4), **2008**

# Backup Slides

# Beam overlap

