

Carl Zeiss SMT – NTS Division



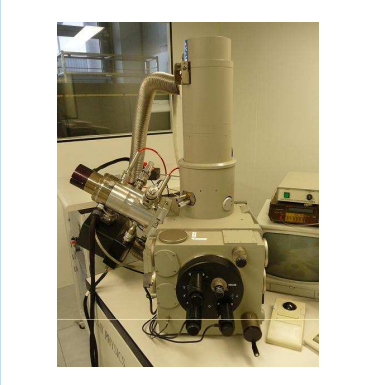
FIB FEG / XBeam présentation des colonnes et des détecteurs

GNMEBA 2 et 3 décembre 2010
Les Cordeliers, Paris

Jean-Claude MENARD



5 générations d'instruments à double colonne



440/CANION - 1997



1540 XB - 2002



NVISION 40 - 2006

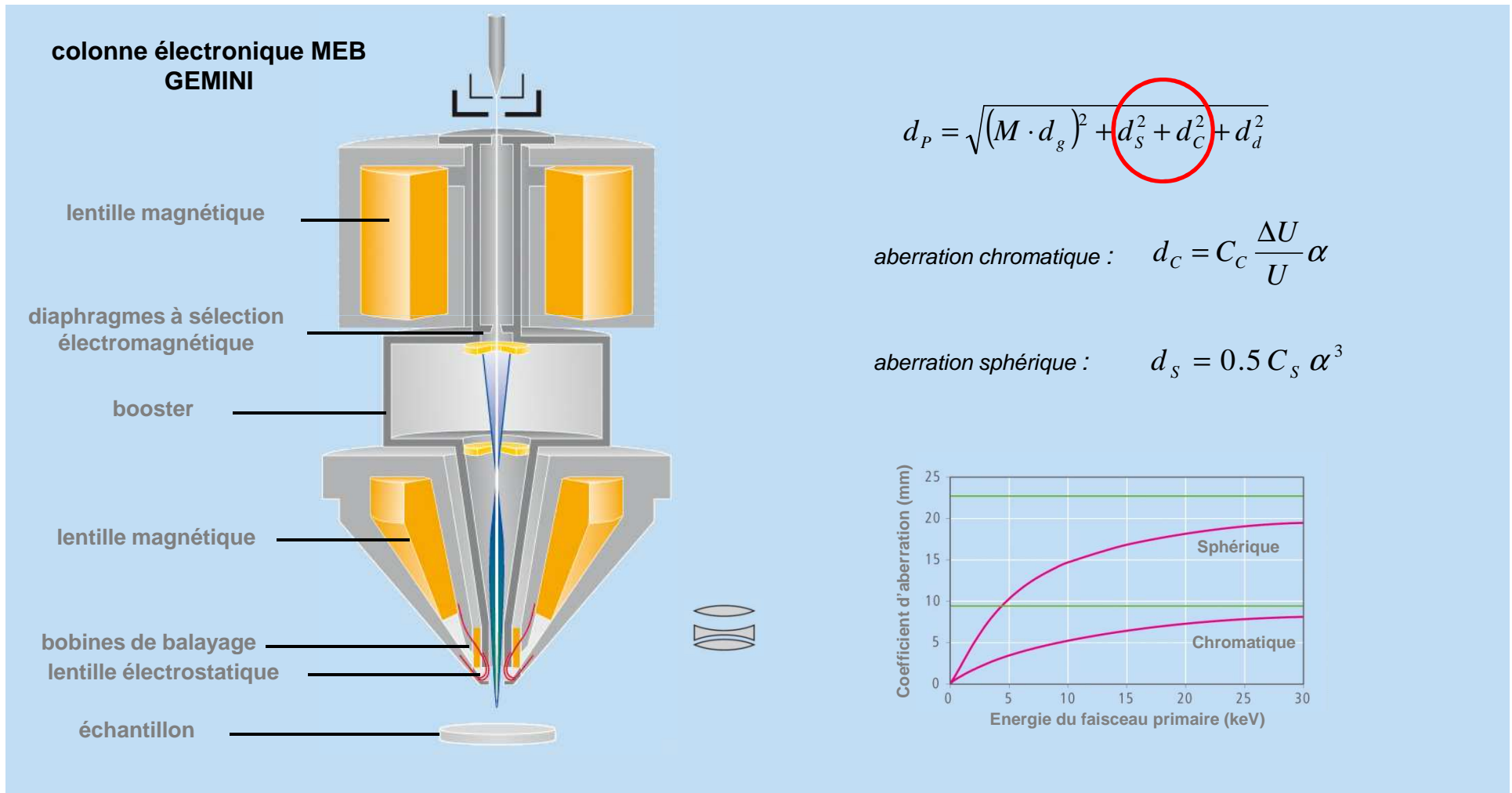


NEON 40 - 2008



AURIGA - 2009

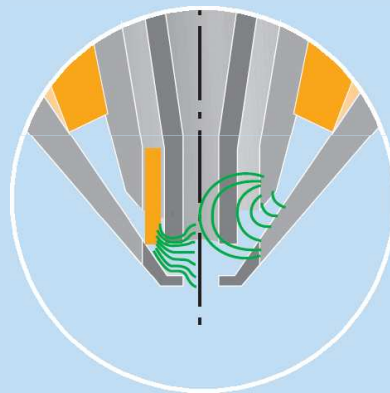
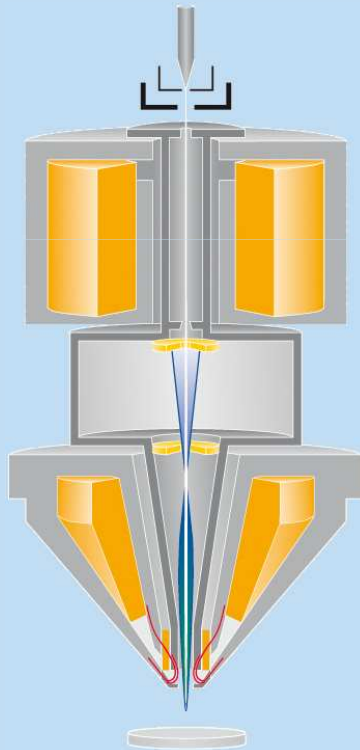
Colonne GEMINI - réduction des aberrations



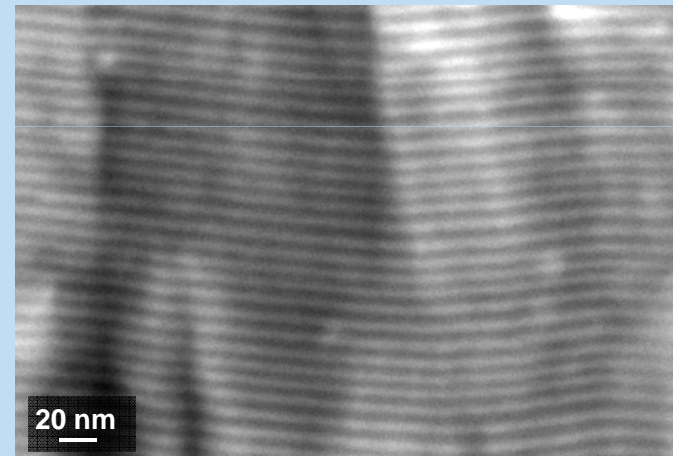
Colonne GEMINI dans une combinaison MEB / FIB (2)



colonne électronique MEB
GEMINI



Pas de champ magnétique externe à la
lentille (à l'échantillon)

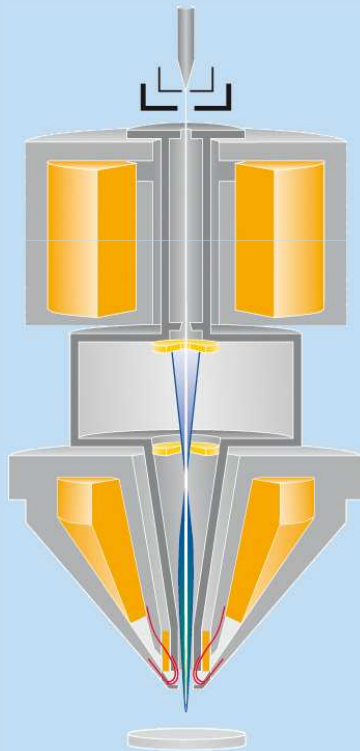


Réseau multicouches TiN/YbN sur
substrat magnétique

Optique électronique – profondeur de champ

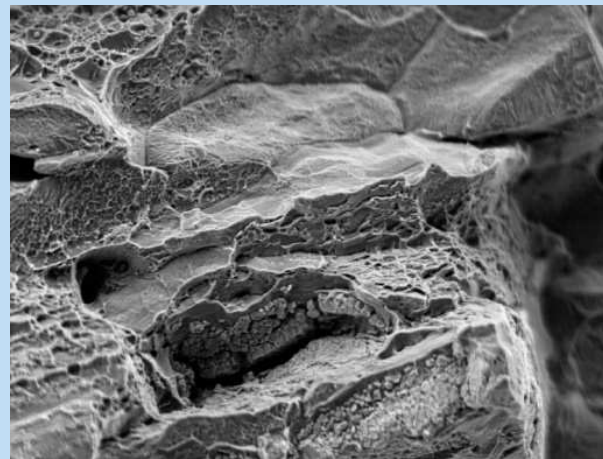


colonne électronique MEB
GEMINI

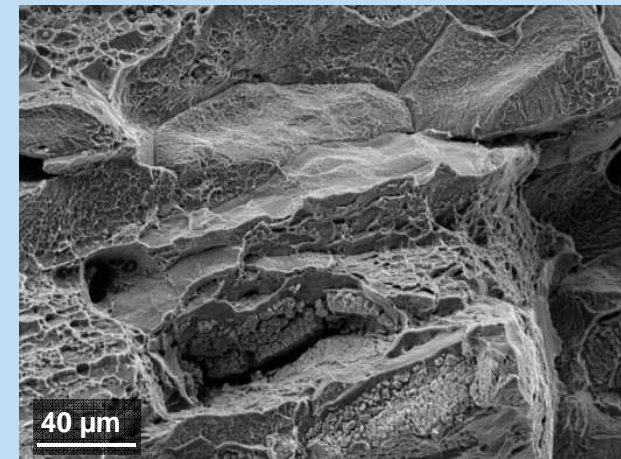


Fracture sur Al

mode low current



mode high current



Mode de détections : In Lens, EsB



colonne électronique MEB GEMINI ULTRA®

détecteur annulaire Bse⁻

détecteur annulaire Se⁻

SE In Lens

BSe EsB

grille de filtrage en énergie

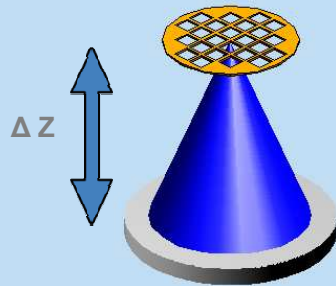
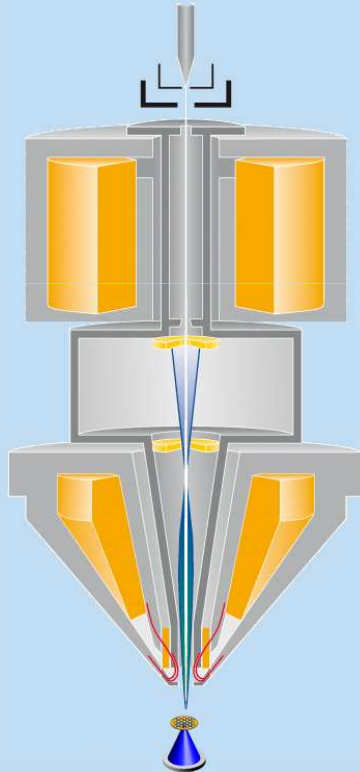
10 µm

Composé $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.69}\text{O}_x$
Avec l'autorisation du Laboratoire
CRISMAT - ENSICAEN

Mode de détections : STEM



colonne électronique MEB
GEMINI®

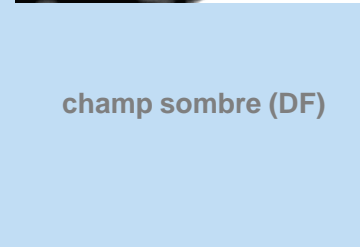


STEM multi-modes (7↑):

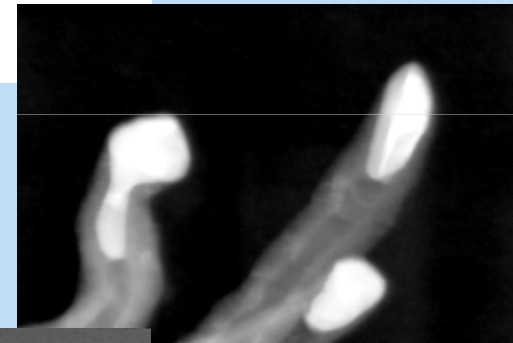
- BF
- DF
- ODF1
- ODF2
- ODF1 + BF
- ODF2 + BF
- BF + DF
- ...



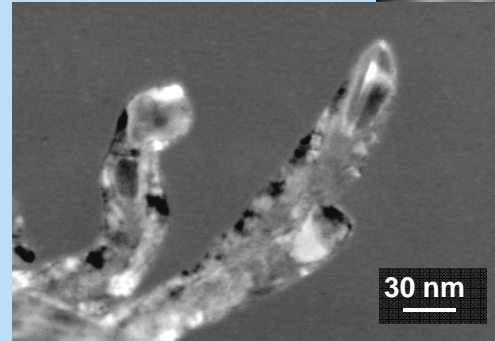
champ clair (BF)



champ sombre (DF)



champ sombre orienté
(ODF)



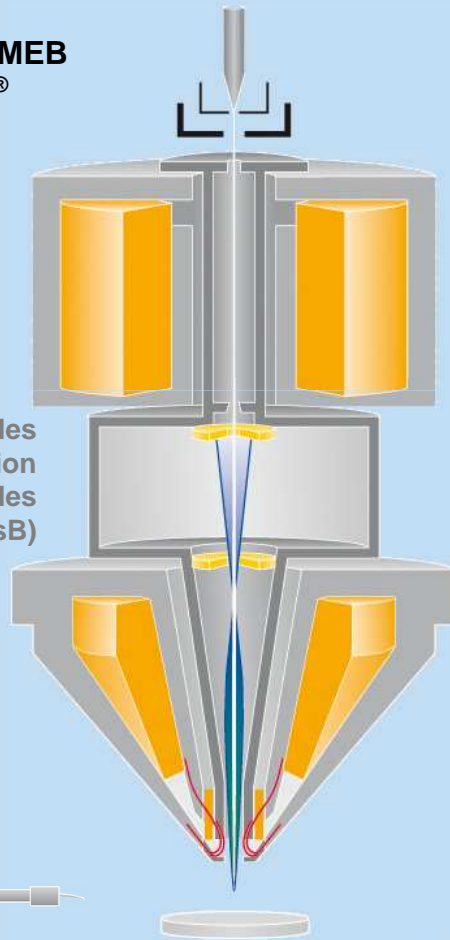
Nanotubes de Carbone
Catalyseur Ni
Heiner JAKSCH

Compensation de charges (électrons)

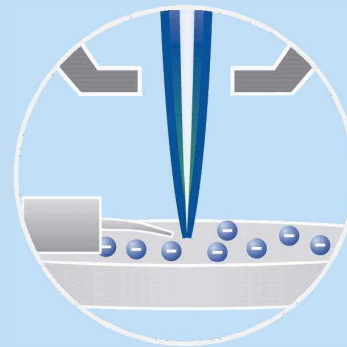


colonne électronique MEB
GEMINI ULTRA +[®]

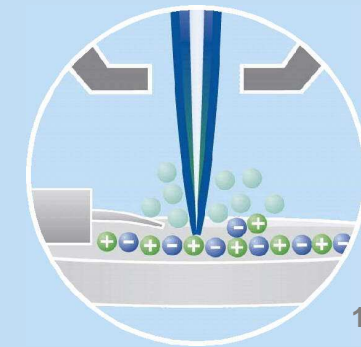
utilisation de l'ensemble des
systèmes de détection
polarisables
(SE2, SESI, In Lens, EsB)



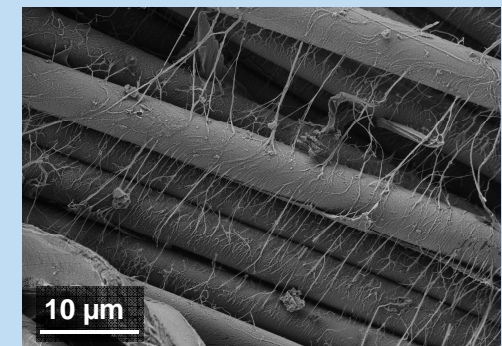
CC off



CC on



1-50 Pa

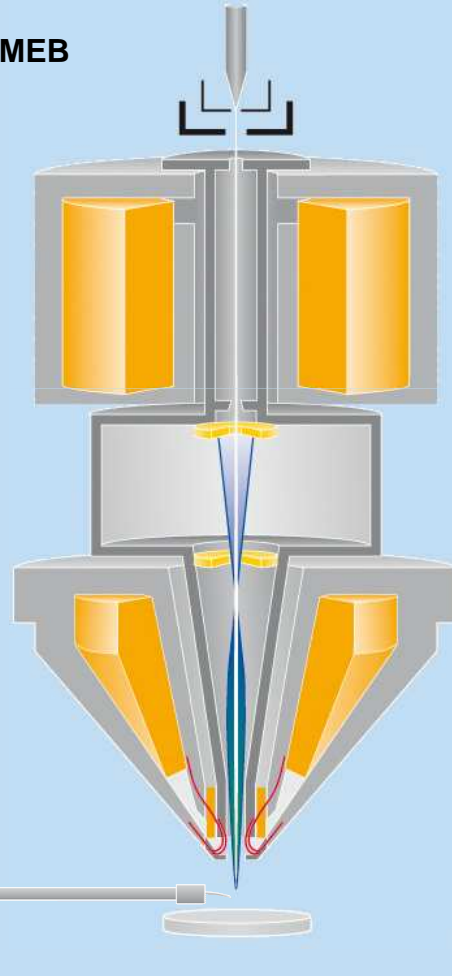


Fibre de verre / résine
SE2 – 5 keV

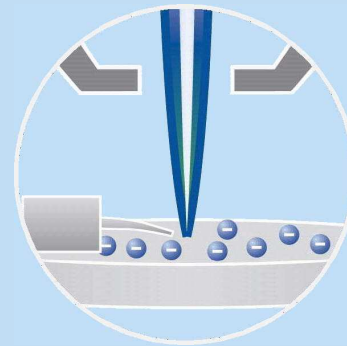
Compensation de charges (électrons)



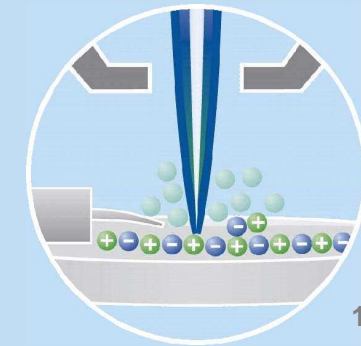
colonne électronique MEB
GEMINI ULTRA +



CC off

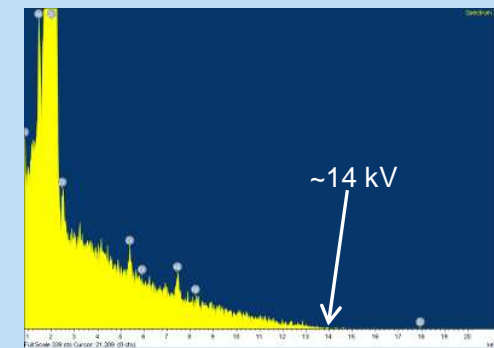
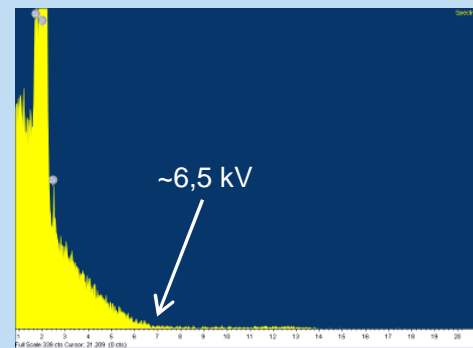


CC on



1-50 Pa

Compatibilité micro analyse – rayonnement continu de freinage

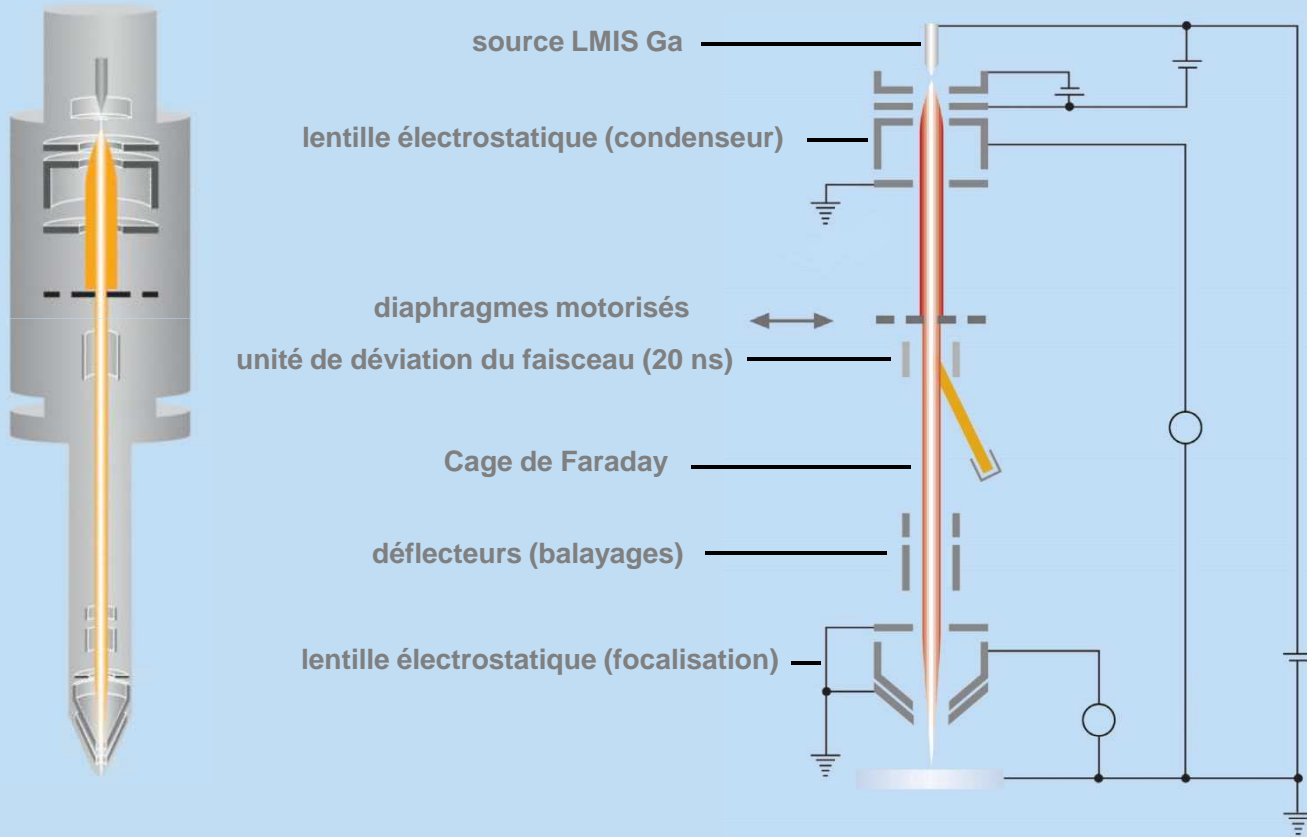


Spectre ZrO_2
 $E_0 = 15 \text{ kV}$

Fabrication du Faisceau Ionique Ga, éléments d'optique



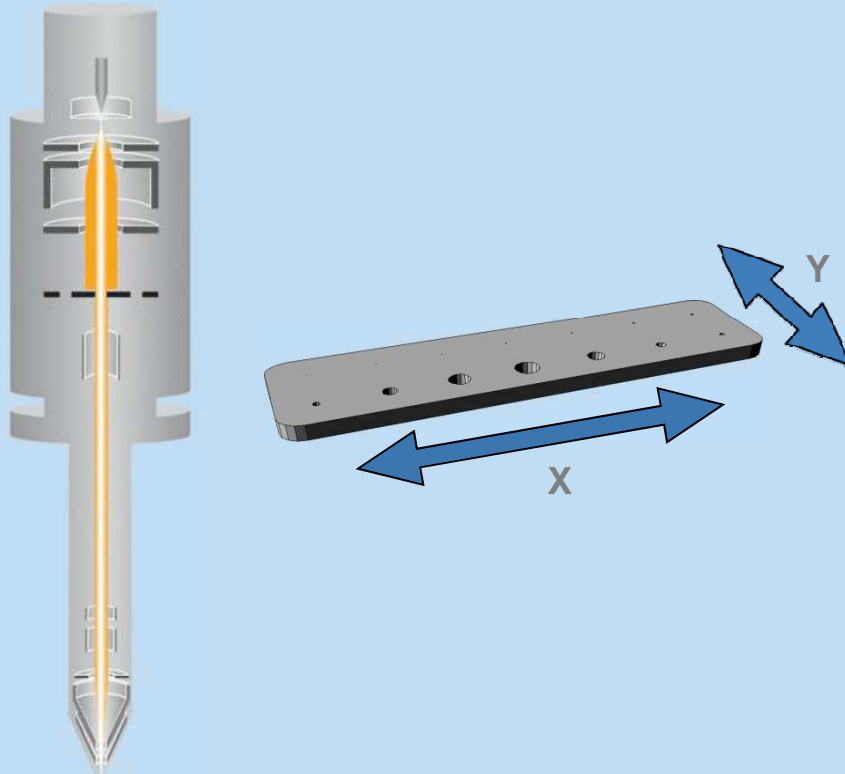
colonne ionique Ga FIB



Sélection des différents courants



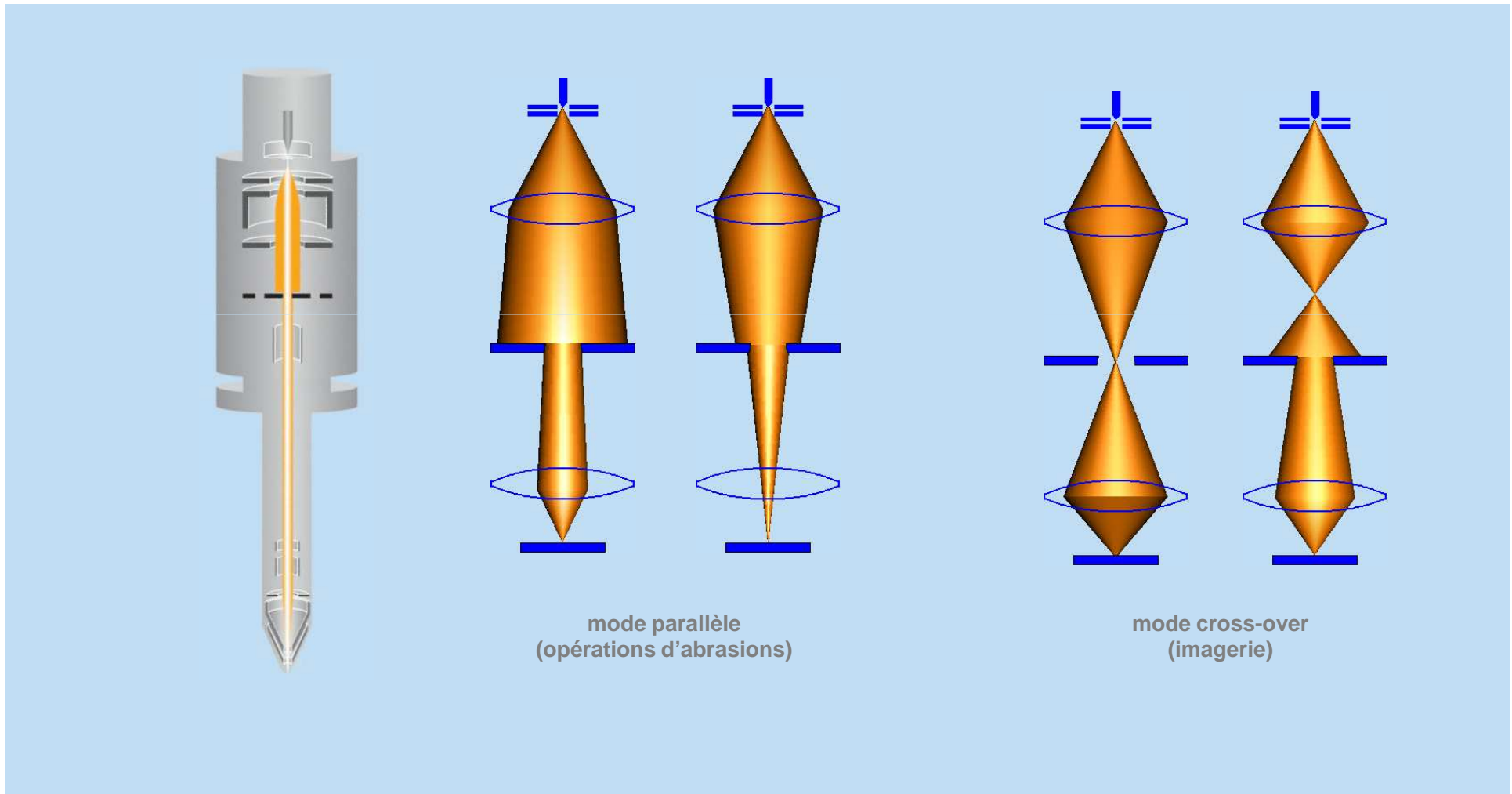
colonne ionique Ga FIB



Courant de sonde FIB (1 pA – 50 nA) :

- sélection d'un diaphragme (\varnothing de 10 à 700 μm)
- excitation du condenseur

Sélection des différents courants et tensions d'accélération



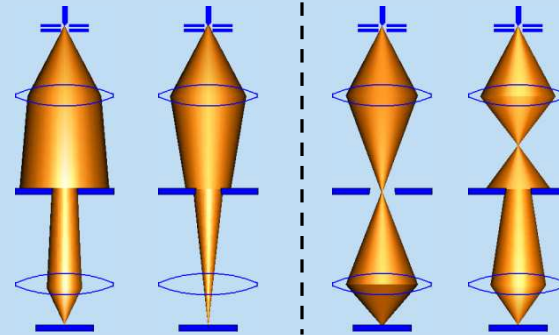
mode parallèle
(opérations d'abrasions)

mode cross-over
(imagerie)

Sélection des différents courants et tensions d'accélération



colonne ionique Ga FIB



I sonde ionique (fin.)

mode parallèle
(opérations d'abrasions)

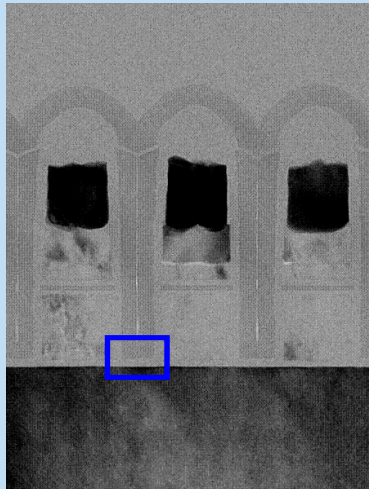
mode cross-over
(imagerie)

U condenseur

Performances en basses tensions



Libra® 200

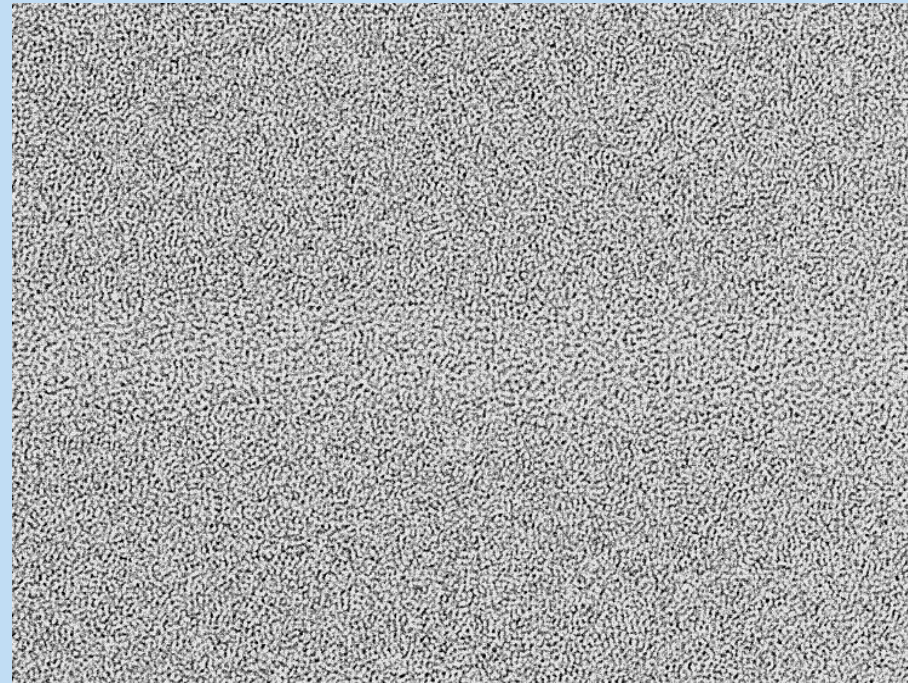


30 kV

poly-Si

SiO₂

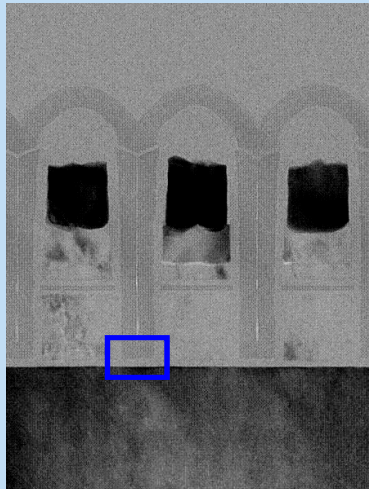
Si



Performances en basses tensions



Libra® 200

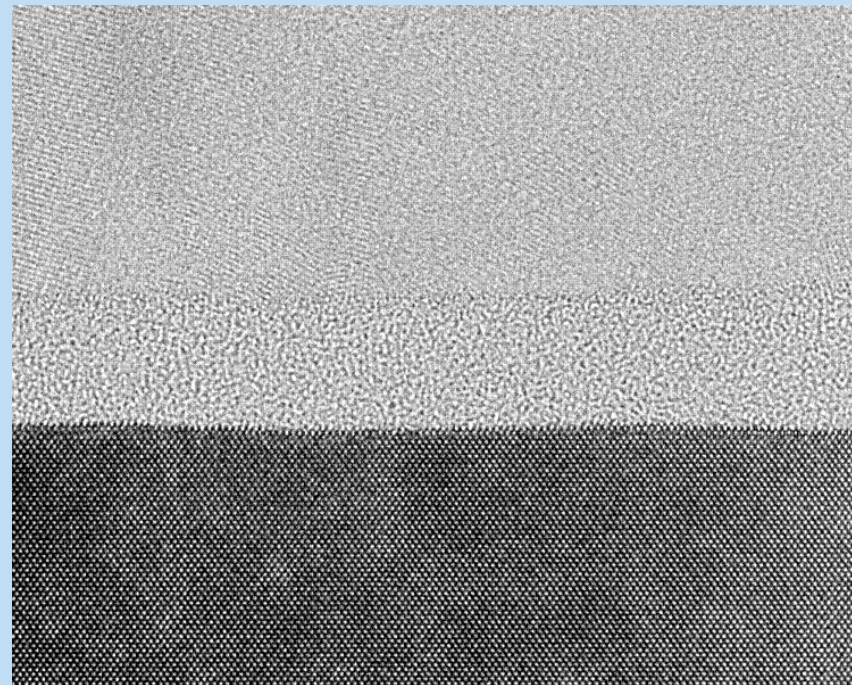


5 kV

poly-Si

SiO₂

Si



Performances en basses tensions



Libra[®] 200

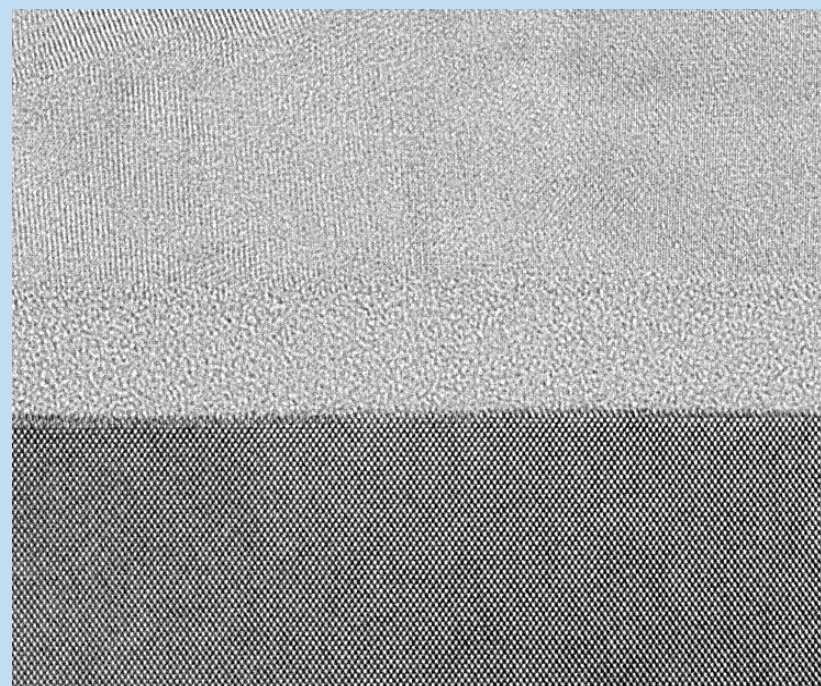


1 kV

poly-Si

SiO₂

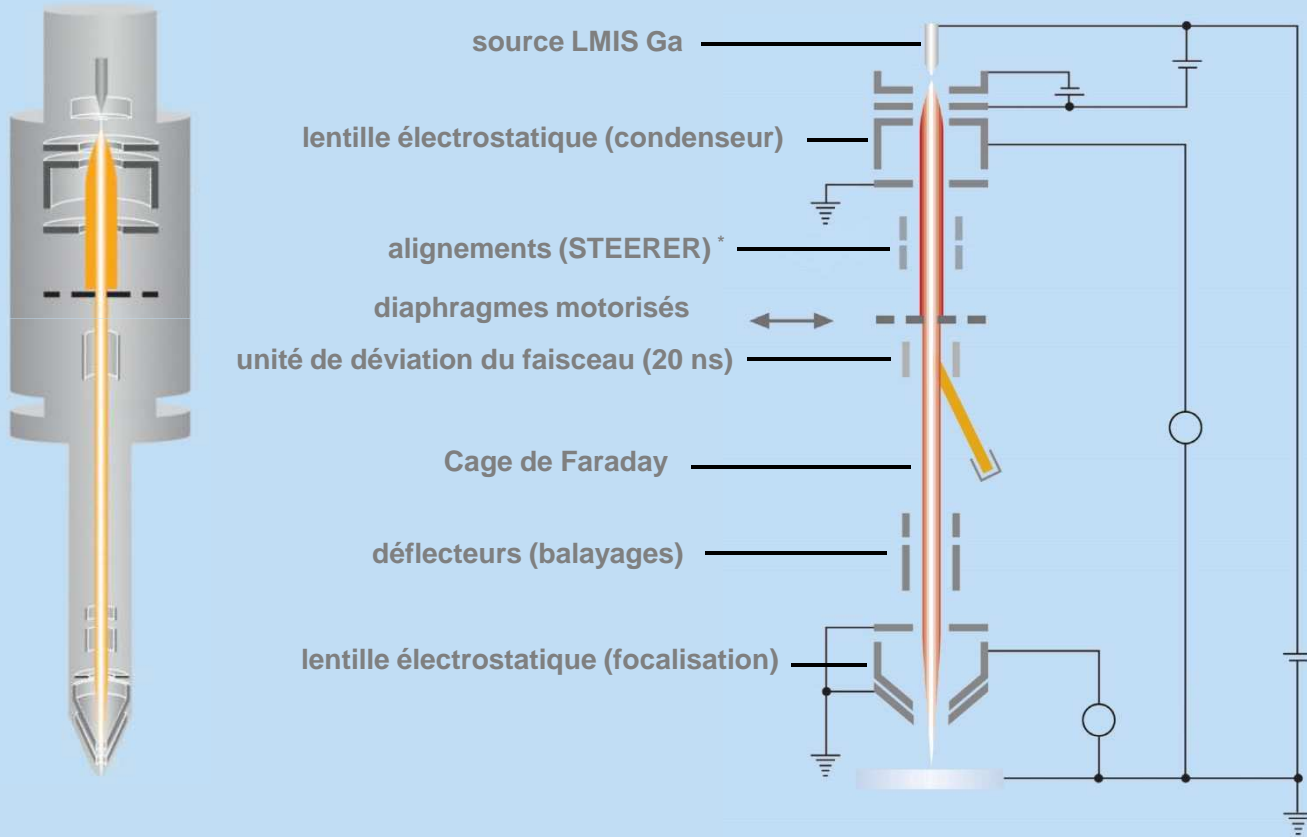
Si



Fabrication du Faisceau Ionique Ga, éléments d'optique



colonne ionique Ga FIB

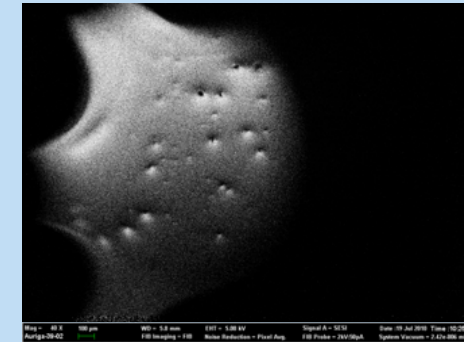
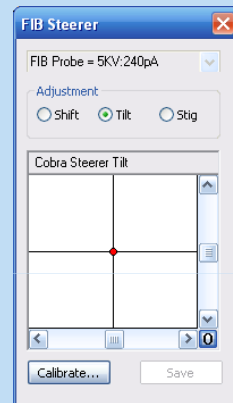
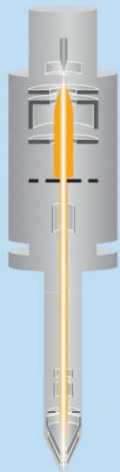


* colonne FIB Cobra

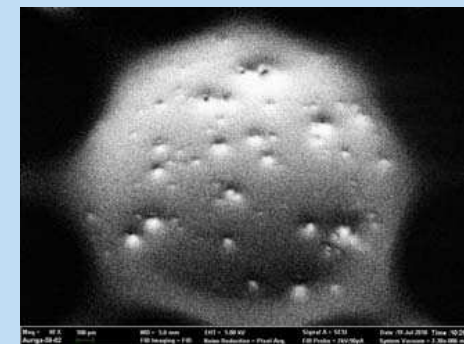
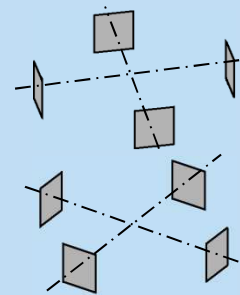
Fabrication du Faisceau Ionique Ga, éléments d'optique



colonne ionique Ga FIB Cobra



Illumination asymétrique



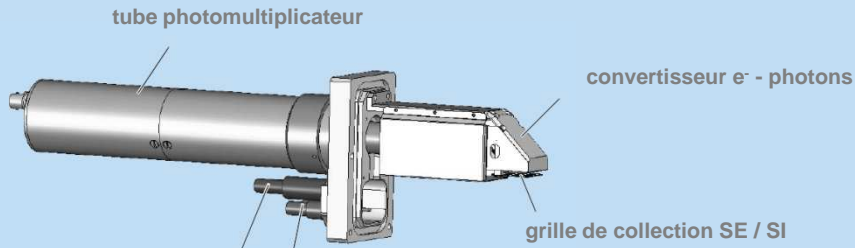
Illumination symétrique

- Shift
- Tilt
- Stig

▪ Le module "steerer" est localisé entre la lentille condenseur et les diaphragmes. Ce dispositif est constitué de deux quadripôles utilisés à basse tension pour réaligner la colonne sans réglage mécanique.

* colonne FIB Cobra

Mode de détections : SESI (secondary electrons – secondary ions)

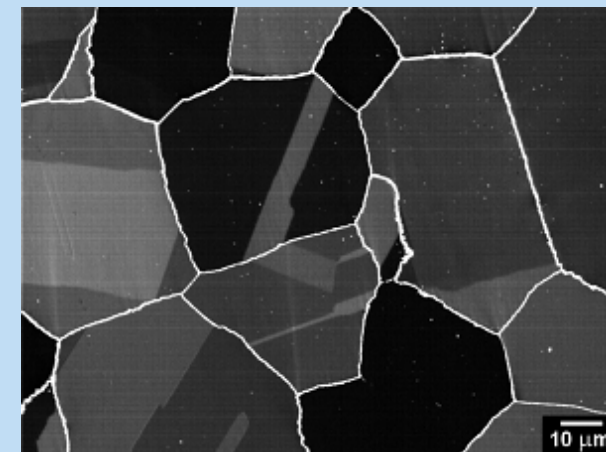
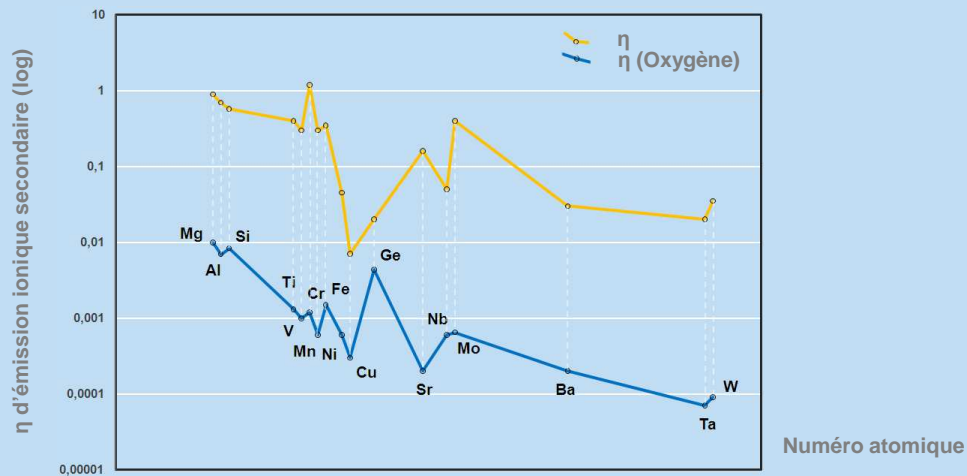


alimentations (grille / convertisseur / tube)



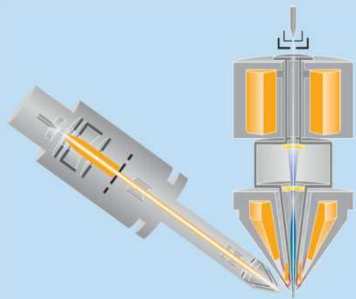
▪ **Mode SE2**, les électrons secondaires sont accélérés et amplifiés par le potentiel positif de la grille. Les électrons secondaires (bis) sont convertis par un scintillateur puis photomultiplication.

▪ **Mode SI**, les ions sont accélérés par le potentiel négatif de la grille puis convertis en électrons secondaires qui comme en détection SE2 suivent la même chaîne de conversion.

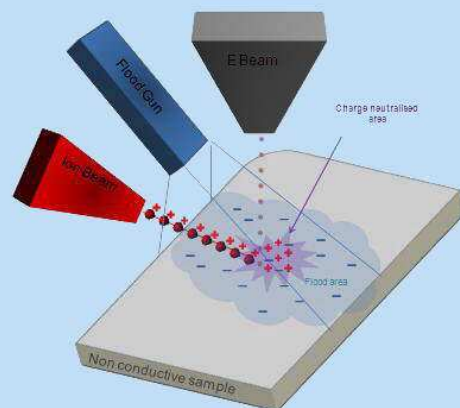
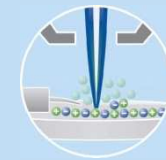


Corrosion inter granulaire dans super alliage Ni

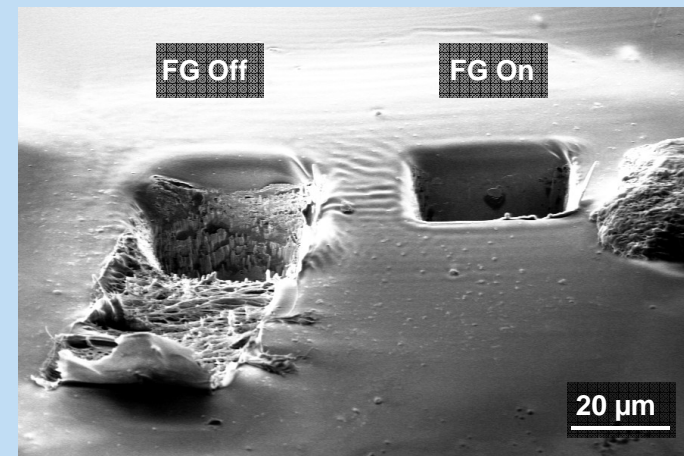
Canon à électrons Flood Gun sur échantillons non conducteurs



- Nécessité de travail à haute énergie et fort courant
- Pas de fonctionnement possible en modes VP ou compensation de charge
- Métallisation ou usage du canon à électrons de type Flood Gun
- Faible énergie des électrons (<100 eV), courants jusqu'à 5 μA
- Typiquement 50 x le courant de sonde ionique

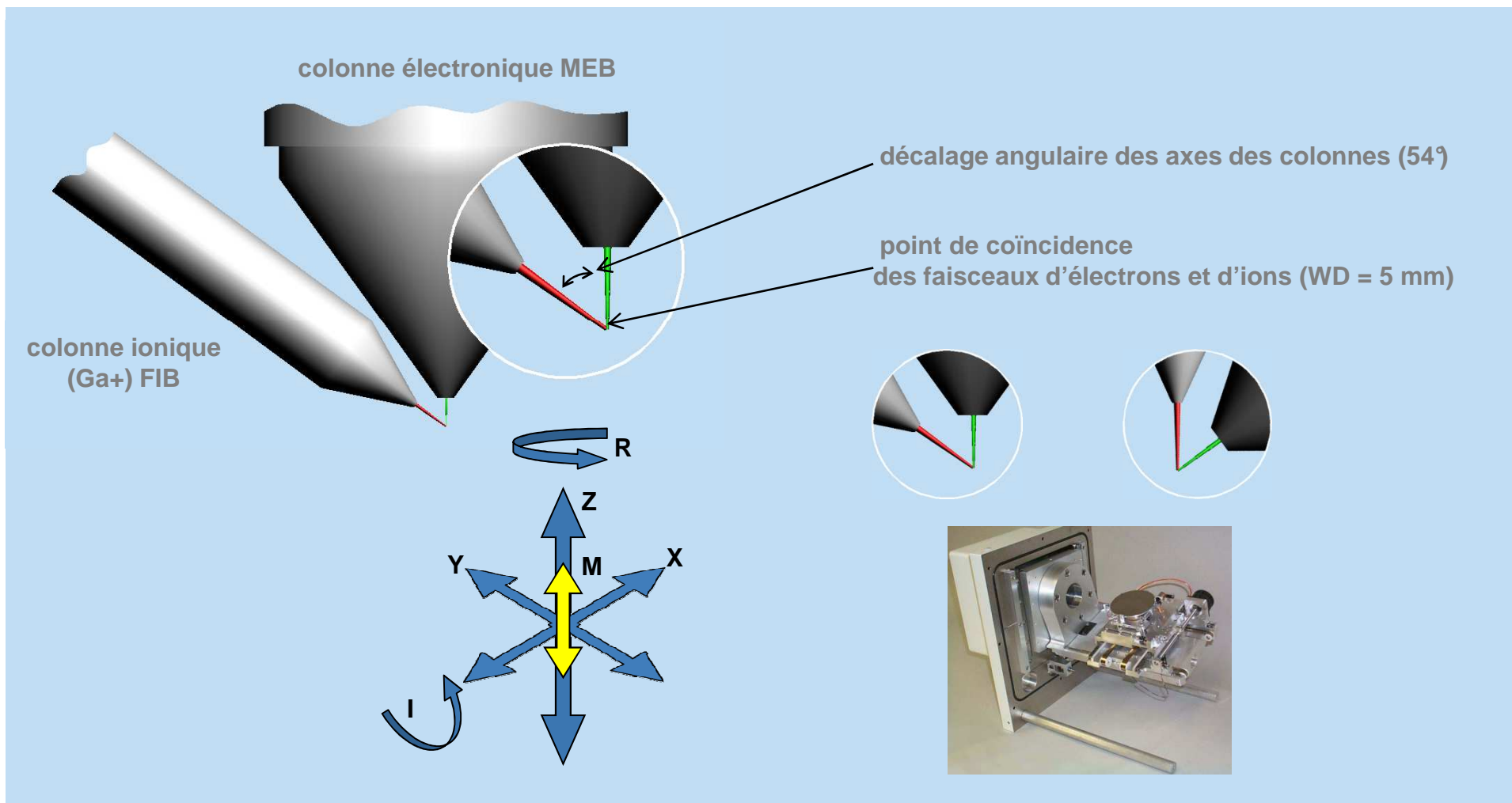


Configuration du Flood Gun
I. ESTEVE

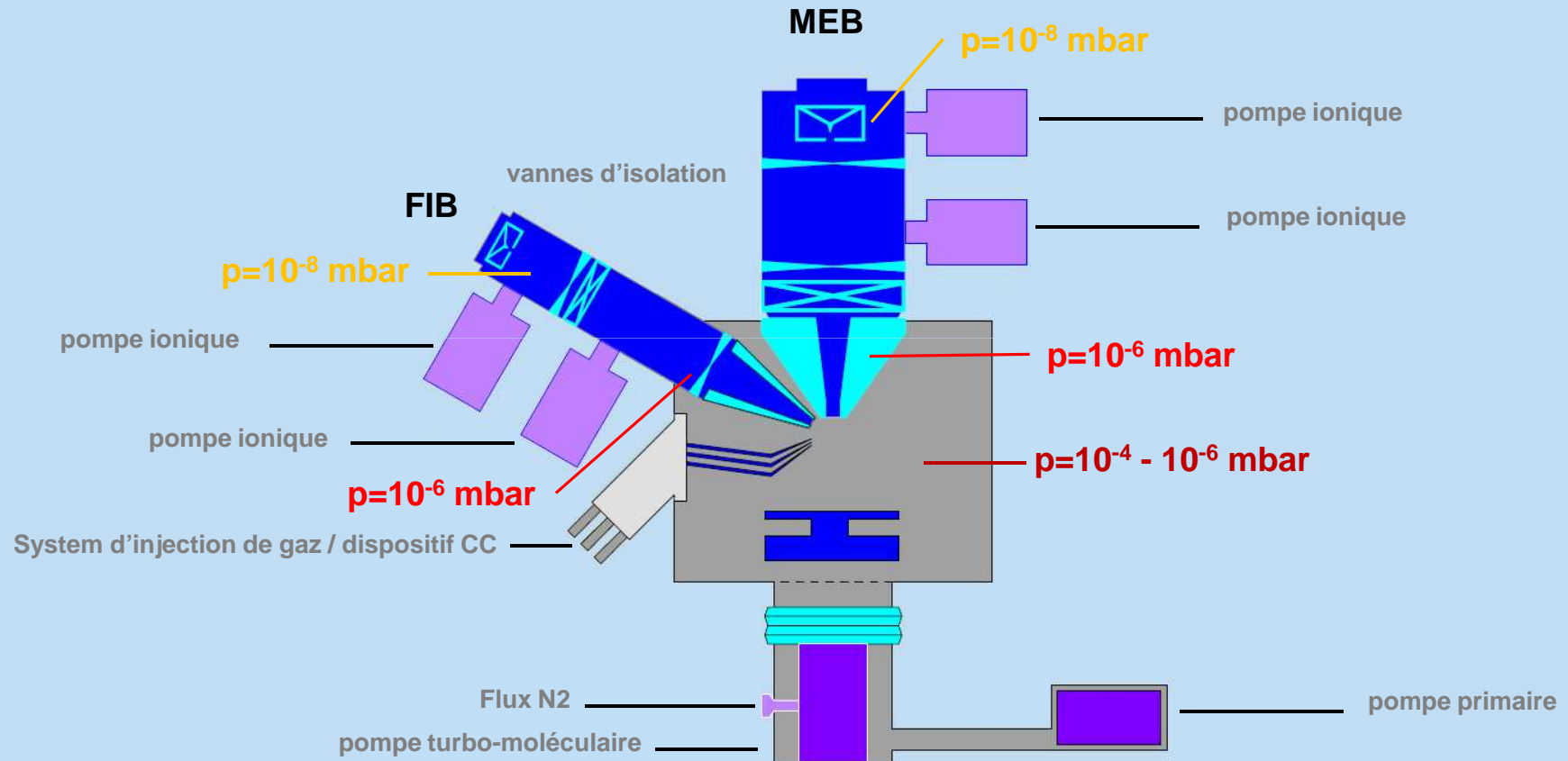


coupe dans Plexiglas®
sonde ionique : 30 kV, 13 nA

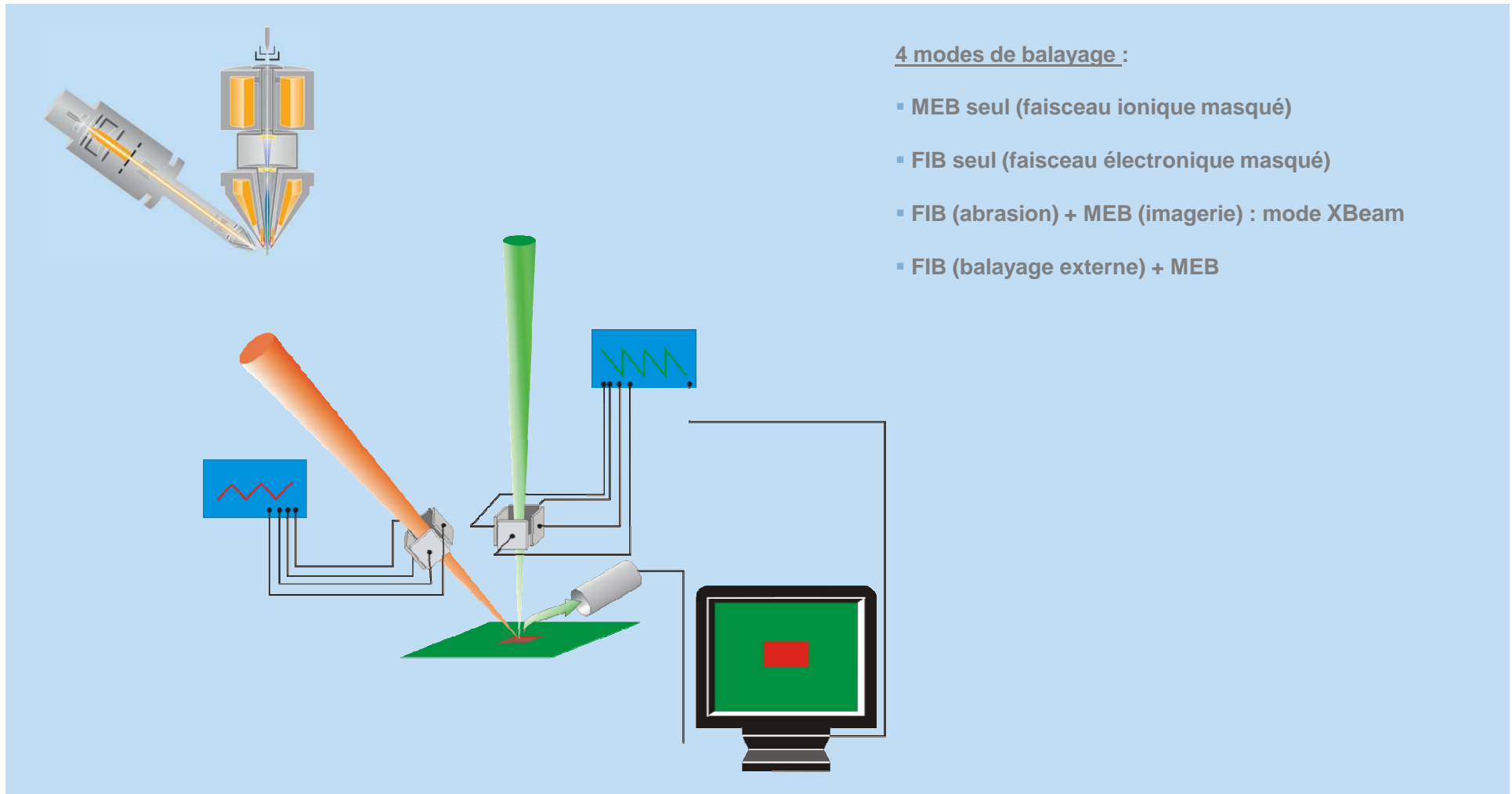
Considérations géométriques dans un instrument à double colonne



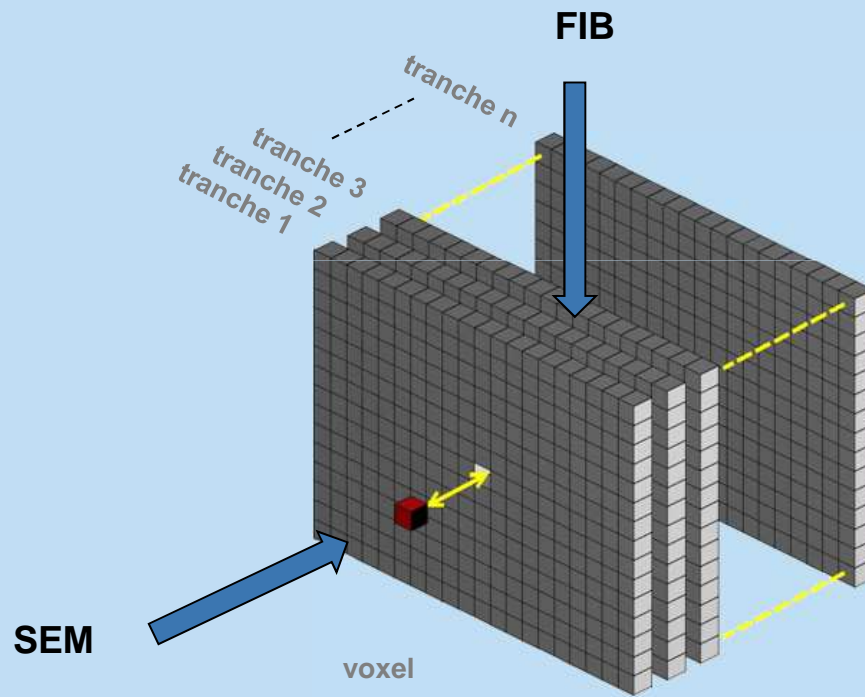
Système de vide



Mode de balayages



Mode de balayages – applications 3D



Mode de balayages – applications 3D analytique



combinaison d'analyses 3D

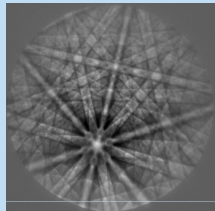
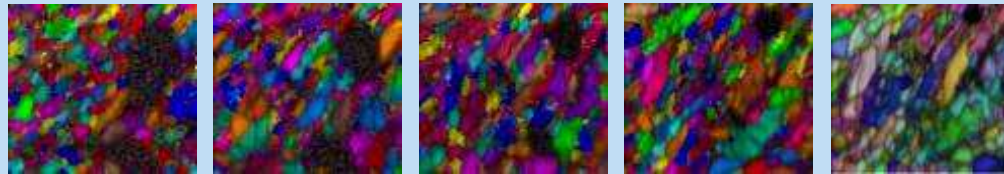
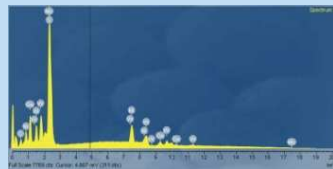
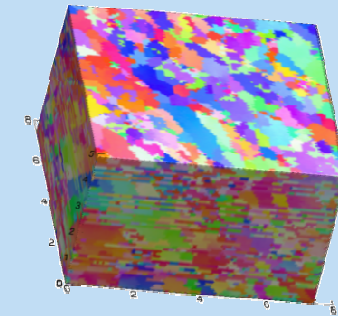


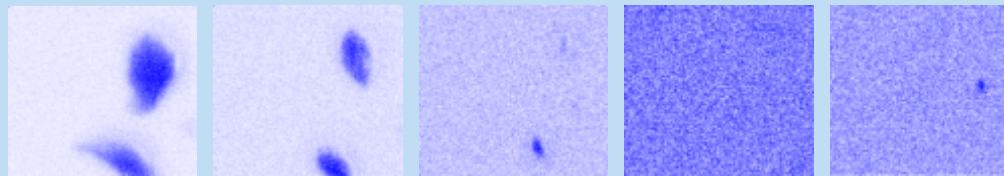
diagramme EBSD



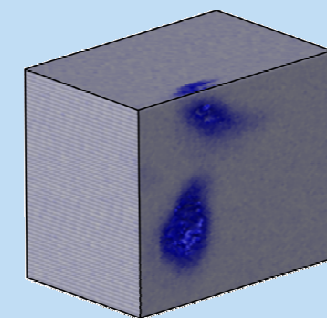
cartographies 2D en EBSD



spectre en EDS

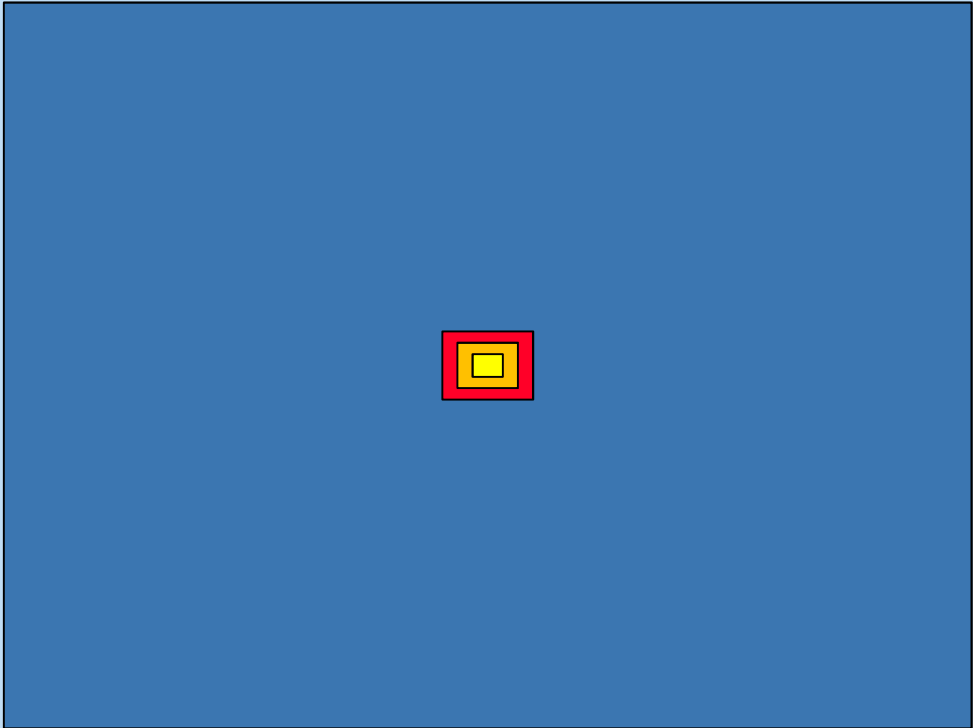
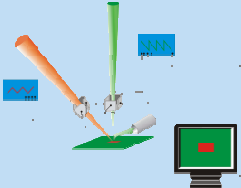


cartographies 2D EDS élémentaires
Si



contrainte dirigée sur soudure Al

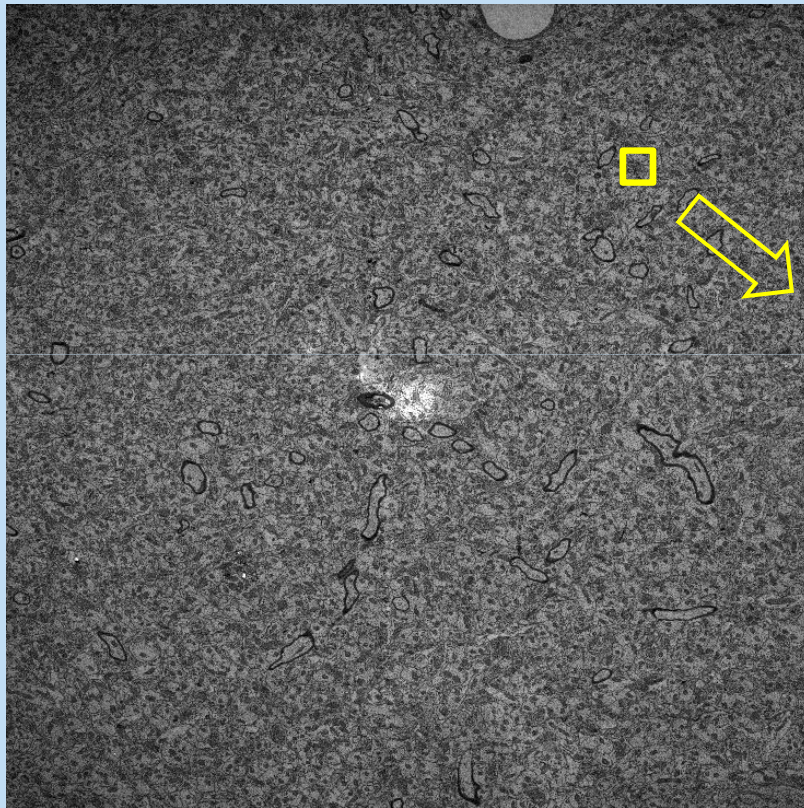
Nouveaux dispositifs de pilotage des colonnes e- et ionique ATLAS™



▪ Temps de pause pixel (dwell time) : 100 ns à 100 sec

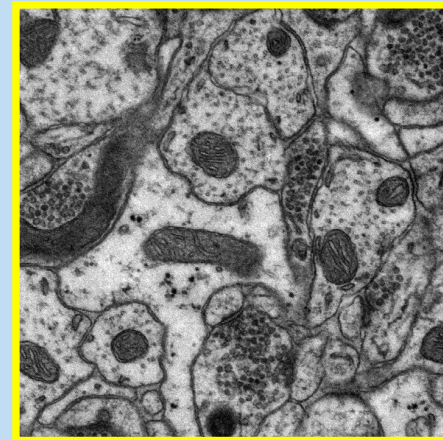


- 1024 x 768
- 2048 x 1536
- 3072 x 2304
- 32768 x 24576 (32768)



Détection STEM BF - Préparation d'une coupe d'hippocampe de rat,
champ total observé : 50 x50 μm^2

- Image d'origine de 24576 x 24576 pixel
- Dimension du pixel élémentaire : 2 nm



Portion de l'image agrandie

Avec l'autorisation pour Carl ZEISS de l'université du Texas Austin (John Mendenhall) – John YORSTON Carl ZEISS SMT Inc.

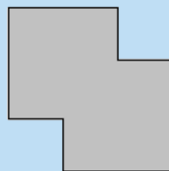
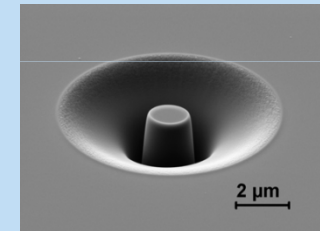
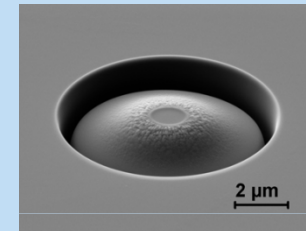
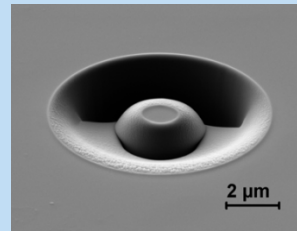
Nano Patterning



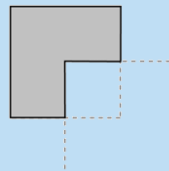
- points clés :

- pilotage des faisceaux électronique et ionique
- usinage ou déposition
- stratégies d'usinage

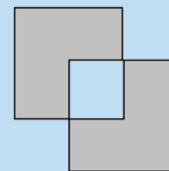
- opérateurs arithmétiques :



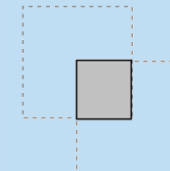
Union



Différence

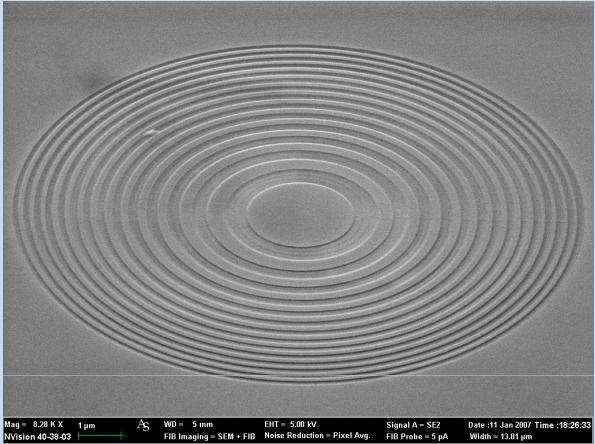


XOR

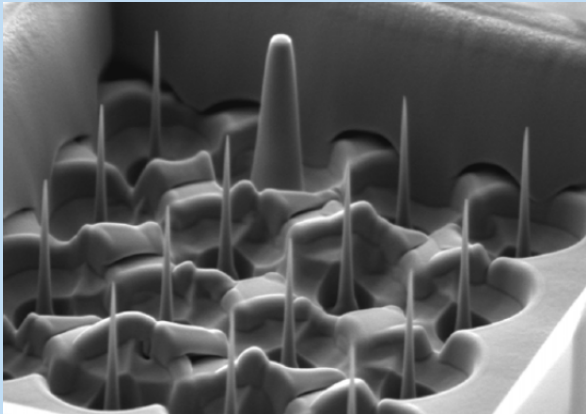


Intersection

Nano Patterning : exemples



lentille de Fresnel



nano pointes générées en usinage parallèle



Remerciements :

Roland SALUT Institut femto Besançon

Vincent MORIN Orsay Physics

Heiner JAKSCH Carl ZEISS NTS