



Décélération de faisceau en MEB

S. Descartes¹, X. Jaurand², P. Alcouffe³, A. Malchere⁴, F. Simonet⁵

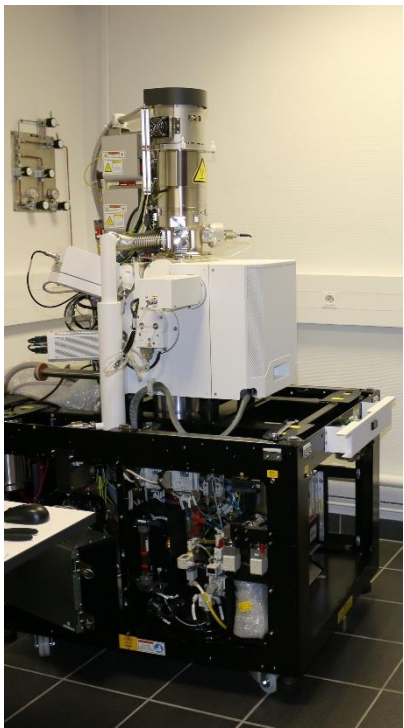
¹ Univ Lyon, INSA-Lyon, CNRS, LaMCoS UMR 5259

² Univ Lyon, Centre Technologique des Microstructures - CTμ, UCBL

³ Univ Lyon, UCBL, INSA Lyon, UJM, CNRS, IMP UMR 5223

⁴ Univ Lyon, INSA-Lyon, UCBL, CNRS, MATEIS UMR 5510

⁵ Univ Lyon, CNRS, Université de Lyon 1, IRCELYON UMR5256

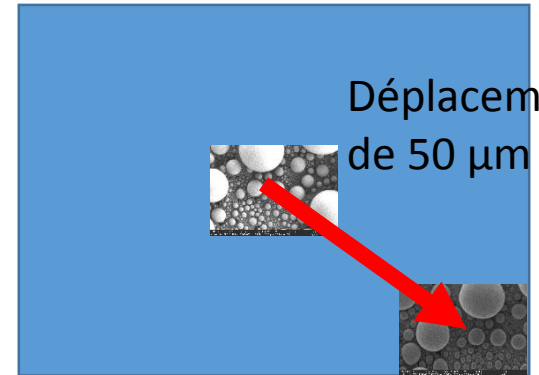
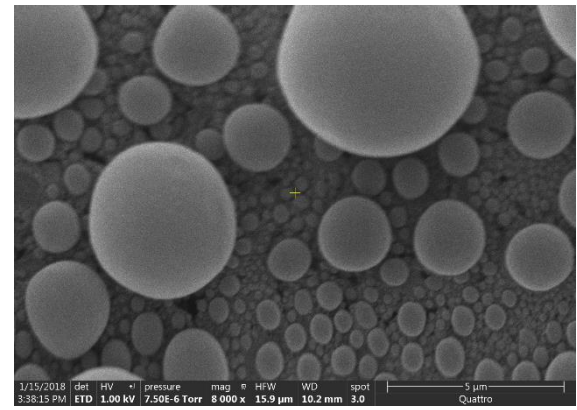
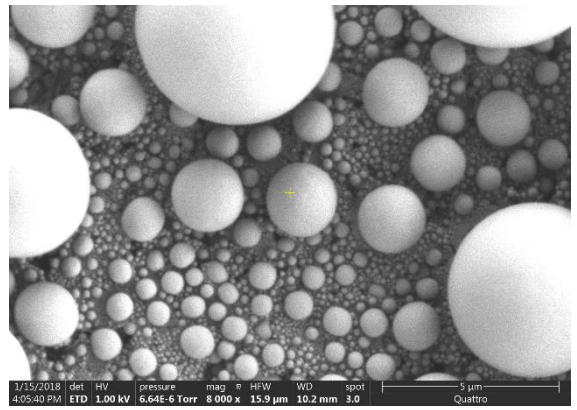


Thermo Quattro, 12/2017
ESEM FEG

Sans décélération

Avec décélération

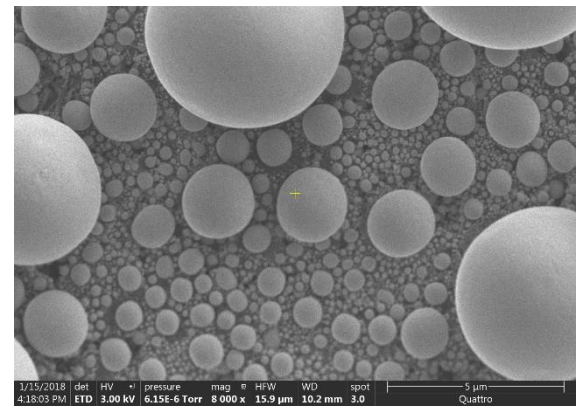
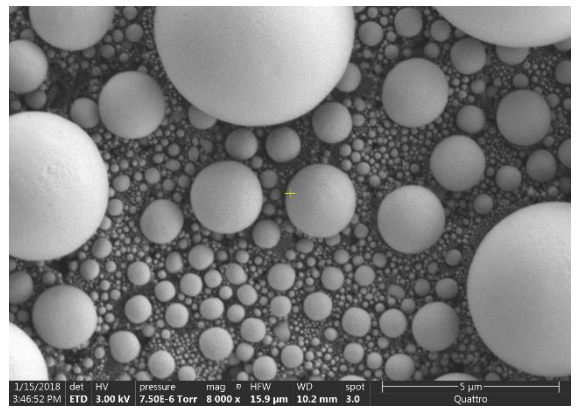
- Activer / désactiver la décélération



1 kV WD=10,2 mm

BD 2kV (-2kV platine, 3kV au canon)

- Déformation de l'image localisée

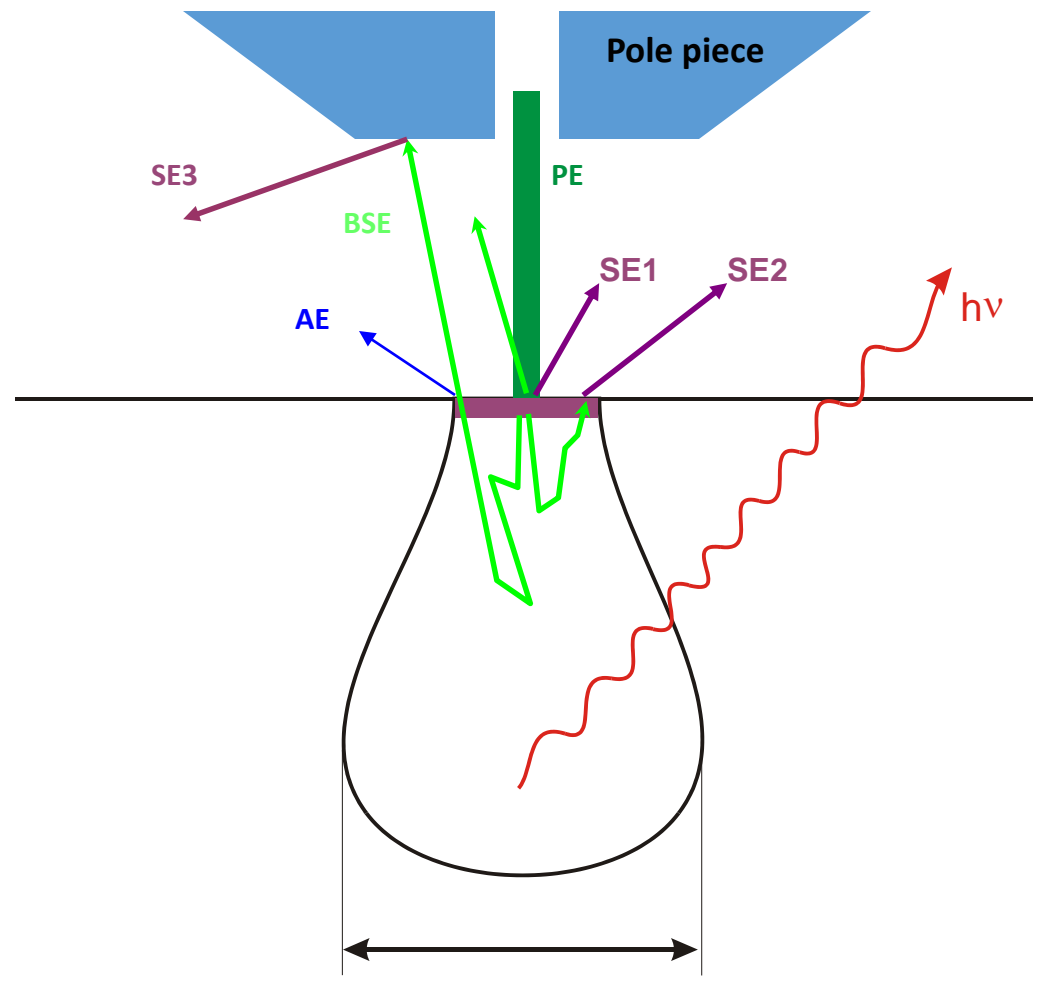


3 kV

BD 2kV (-2kV platine, 5kV au canon)

(pas de shift d'images passage de 1 à 3kV sans décélération)

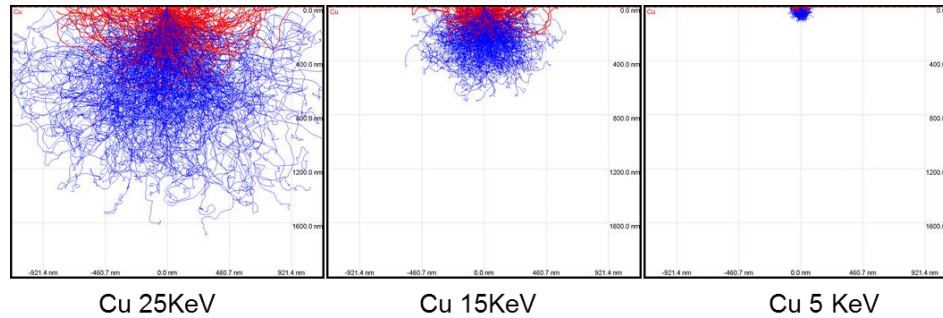




Influence de la tension d'accélération sur le volume d'interaction e-/matière

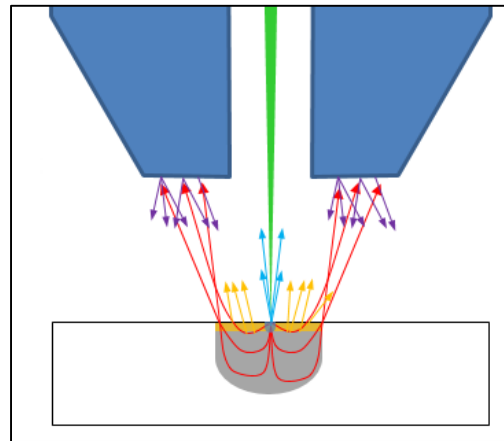
➔ Réduire le volume d'interaction electron-matière donc réduire l'énergie du faisceau. mais on augmente les aberrations des lentilles donc on dégrade la taille de la sonde.

Décélération de faisceau



➔ Sélectionner les électrons émis au niveau de « l'impact » du faisceau (SE1+SE2 vs SE3)

Détection d'électrons « in-lens »

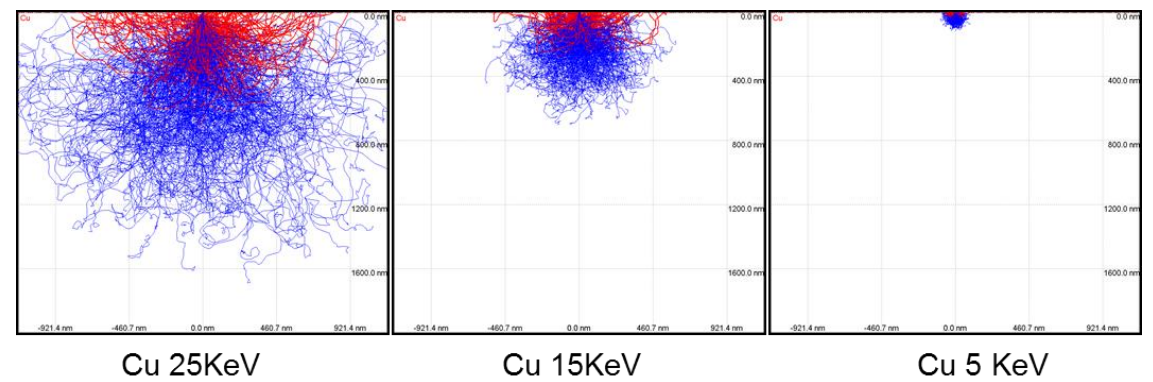


Influence de la tension d'accélération sur le volume d'interaction e-/matière

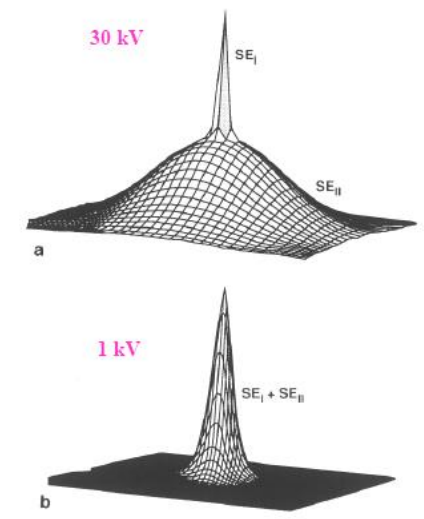
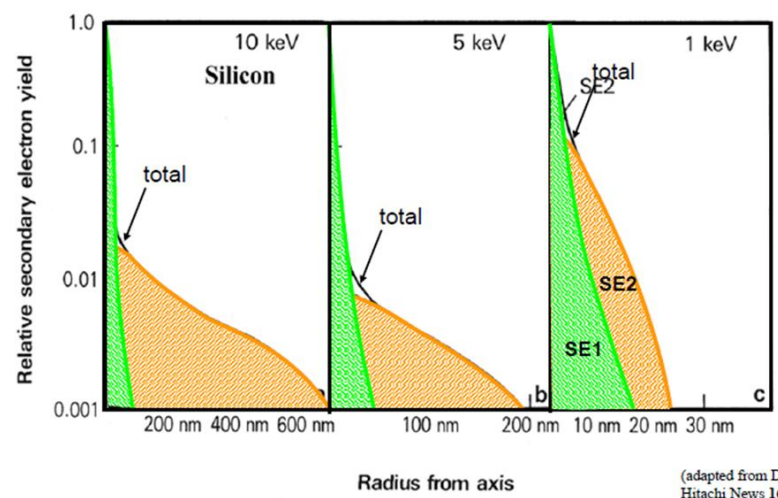
A basse énergie :
volume d'interaction
beaucoup plus réduit en x,y,z
→ Meilleure perception des
détails d'extrême surface

Volume d'émission des SE1 =
volume d'émission des SE2

→ Amélioration de la
résolution
sous réserve que la sonde
électronique ne soit pas trop
élargie par les aberrations
des lentilles



Relative contribution of SE1 and SE2 (+SE3) vs primary energy



(adapted from D.C. Joy
Hitachi News 16 1989)

Influence de la tension d'accélération sur le rendement d'émission secondaire

Variations de rendement d'émission car les sections efficaces d'interaction élastique ou inélastique dépendent de E

$$\sigma_{\text{élastique}} \propto Z^2/E^2 \quad \text{Rutherford}$$

$$\sigma_{\text{inélastique}} \propto Z/E \quad \text{Bethe}$$

Basse énergie : meilleur rendement d'émission secondaire.

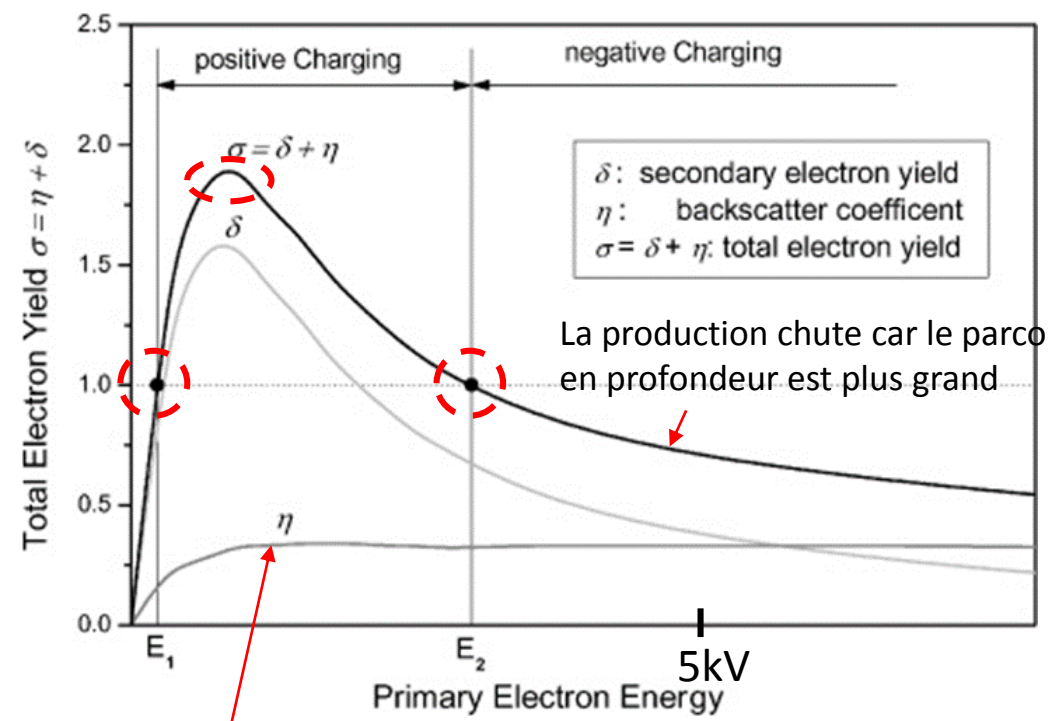
$$\frac{SE1}{BSE} \uparrow \quad \text{donc} \quad \frac{SE1}{SE2} \uparrow$$

E1 et E2 : tensions d'équilibre, pas d'effet de charge

- E1 entre 400 et 800V
- E2 entre 3 et 4 kV

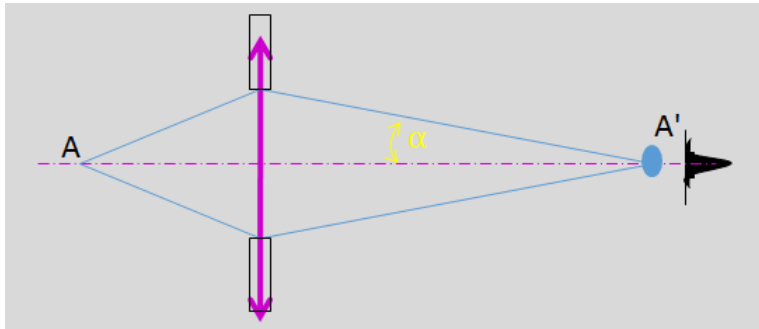
➔ Basse énergie permet aussi de travailler sur échantillon isolant

Rendement d'émission pour échantillons isolants



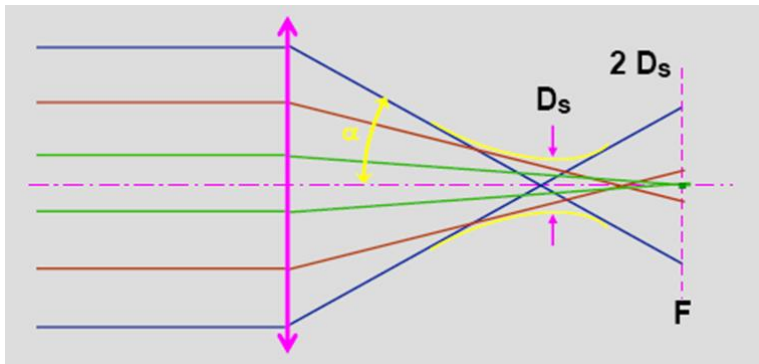
Le rendement d'émission des BSE globalement de façon monotone

Maintien d'une taille de sonde faible à basse énergie : Décélération de faisceau



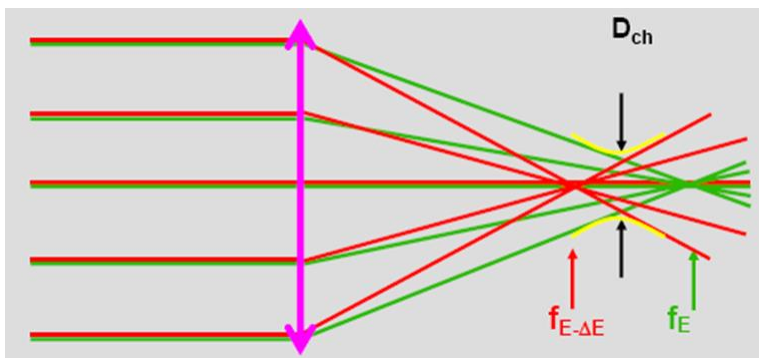
Diffraction

$$D_{\text{diff}} = 0.61 \frac{\lambda}{\sin \alpha}$$



Aberration sphérique

$$D_{\text{cs}} = \frac{1}{2} C_s \alpha^3$$



Aberration chromatique

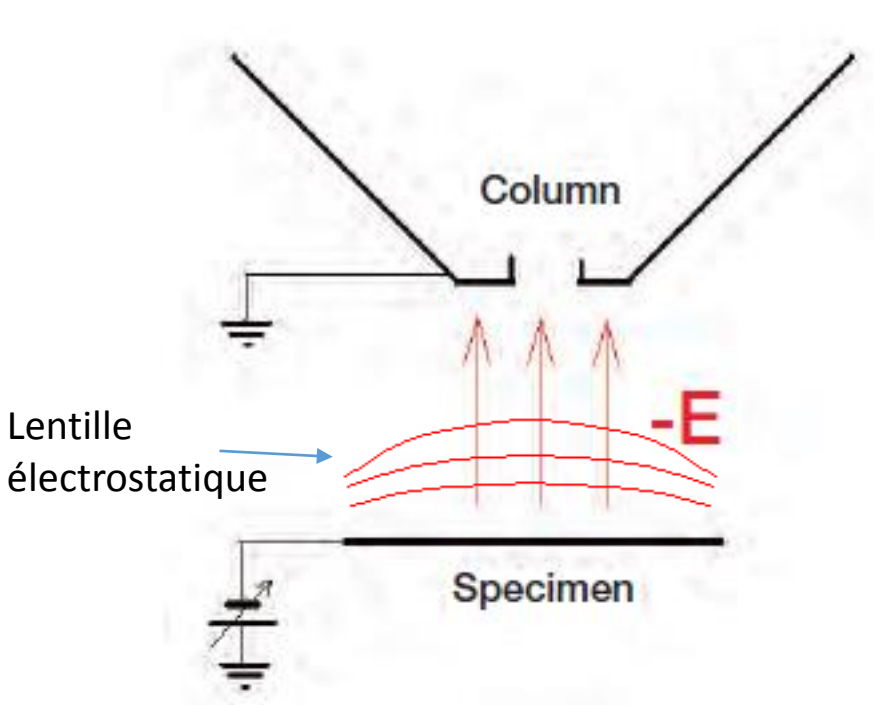
$$D_{\text{cc}} = C_c \alpha \left(\frac{\Delta E}{E_0} \right)$$

Responsable de l'élargissement de la sonde à basse énergie

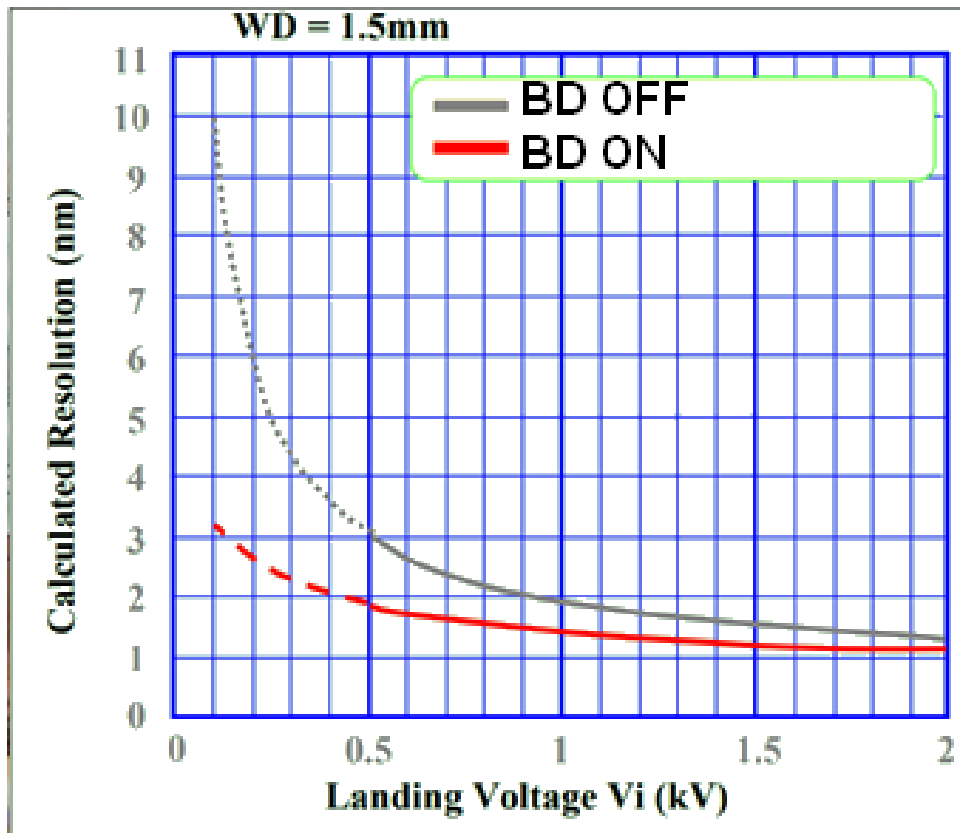
Maintien d'une taille de sonde faible à basse énergie : Décélération de faisceau

- ❖ Lentilles classiques avec possibilité de décélération par polarisation de l'échantillon (stage bias)
- ❖ Lentilles « hybrides » (magnétique et électrostatique), avec décélération en bas de colonne et aussi éventuellement par polarisation de l'échantillon
- ❖ Lentilles à immersion (l'échantillon est dans le champ magnétique de la lentille), avec possibilité de décélération par polarisation de l'échantillon

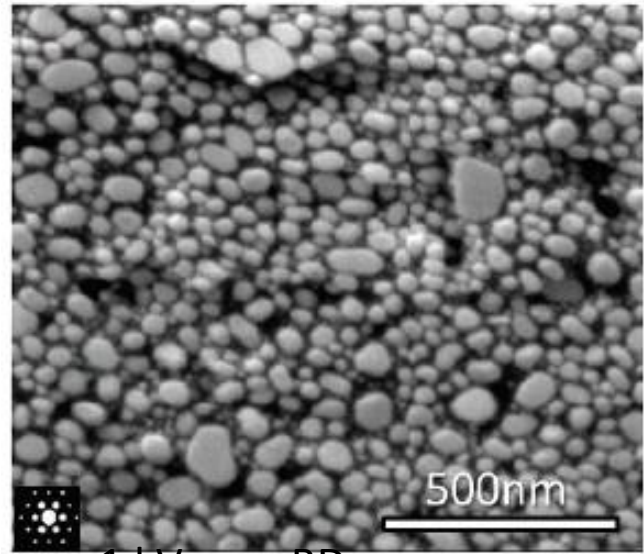
Beam deceleration : stage bias



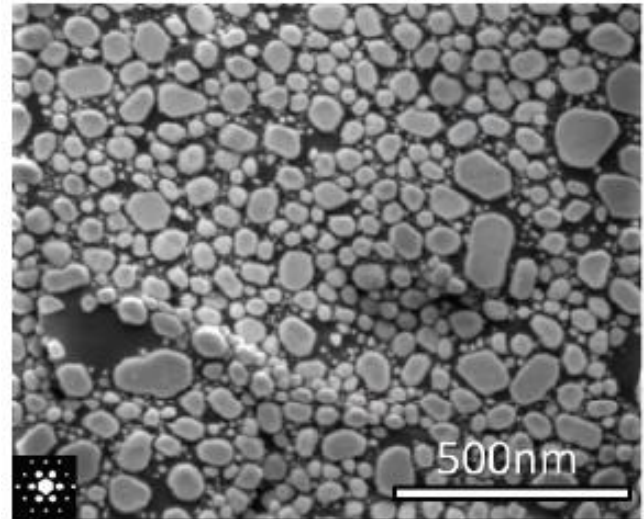
Beam deceleration : polarisation négative de la platine



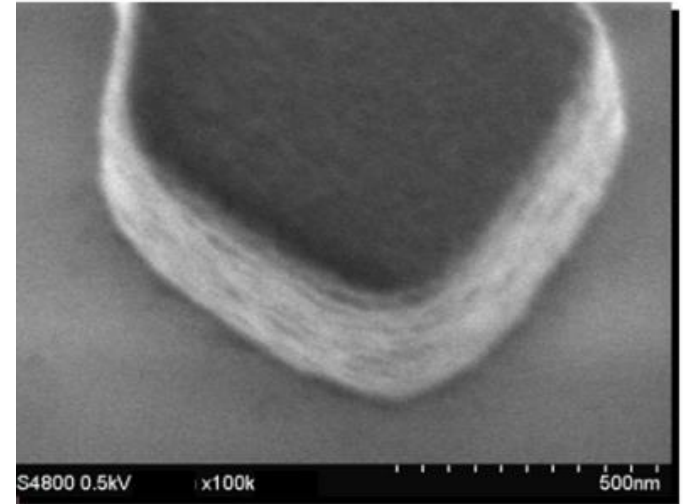
Beam deceleration : stage bias



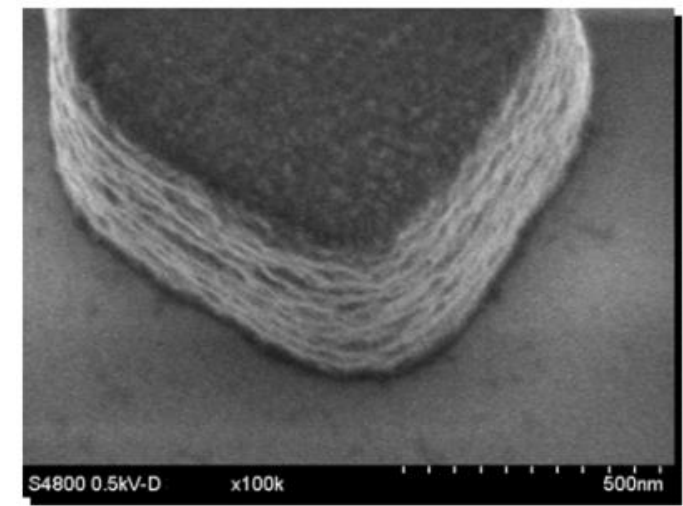
1 kV sans BD



Images FEI 1 kV stage bias -3 kV



Beam Deceleration OFF

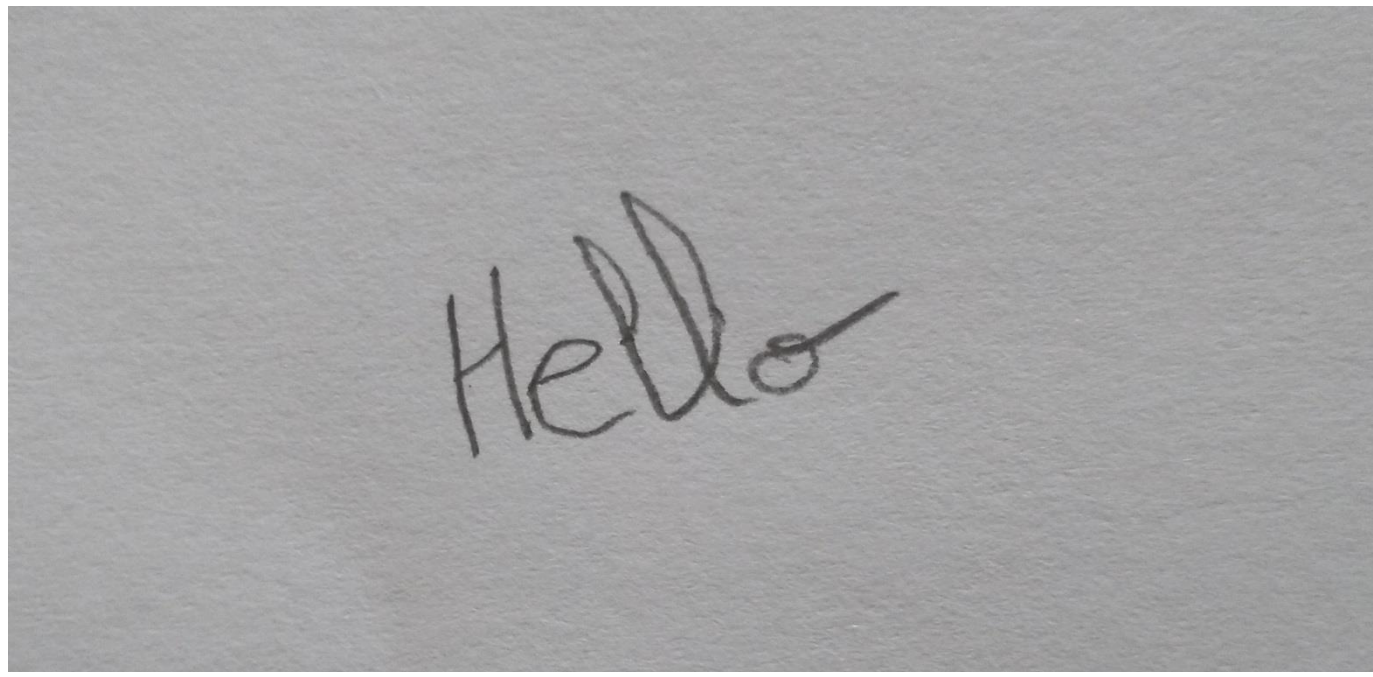


Beam Deceleration ON

Images Hitachi

Feuille de papier

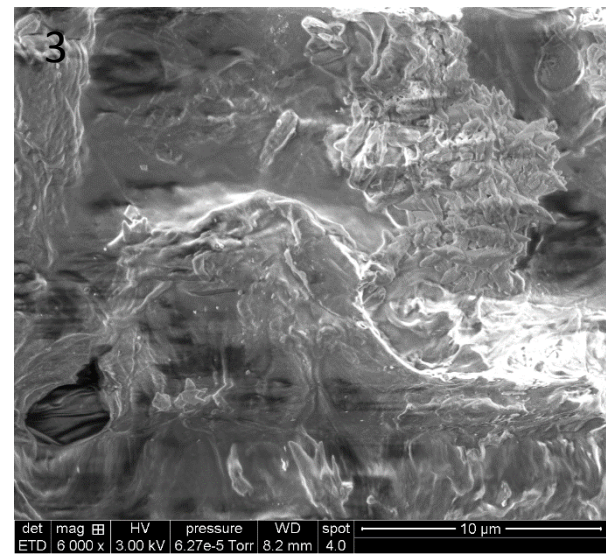
Illustration :
Tension + Choix du balayage



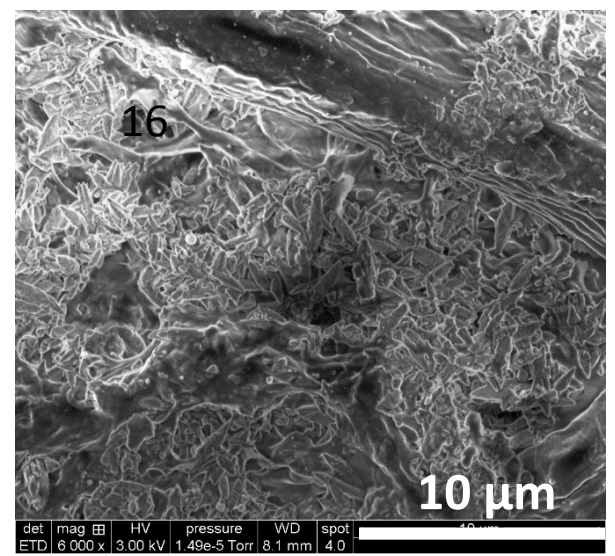
Feuille de papier
Sans décélération

1024x884px
SPOT 4
WD 8,1mm
Diaph 7 (20µm)
Quanta 200 (CTµ)

3kV



Balayage 25 µs



Integrate 300 ns/frame, 32 frames

1kV

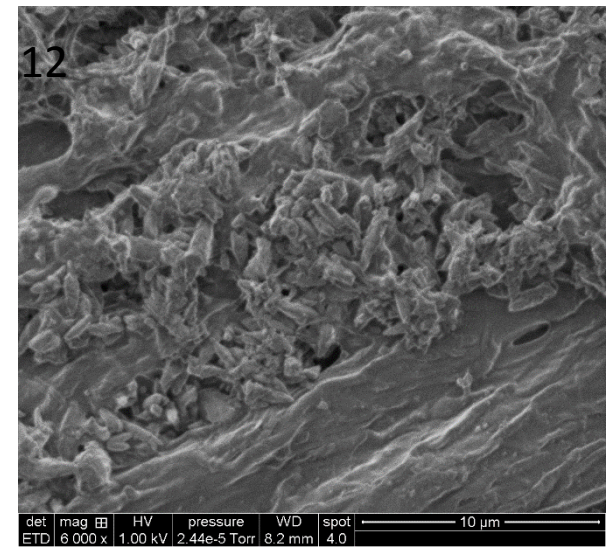
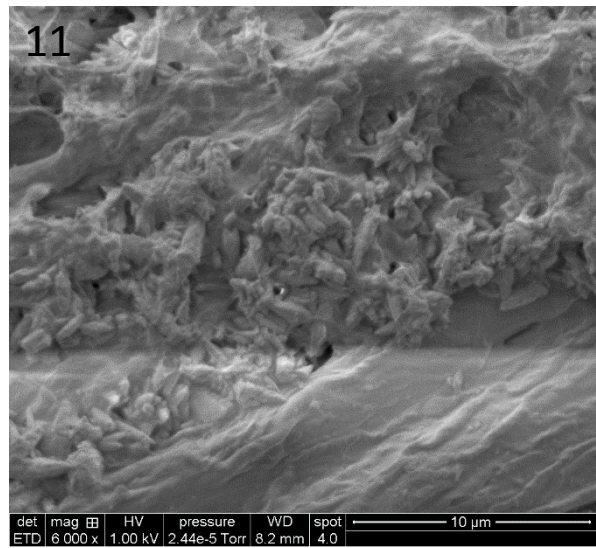
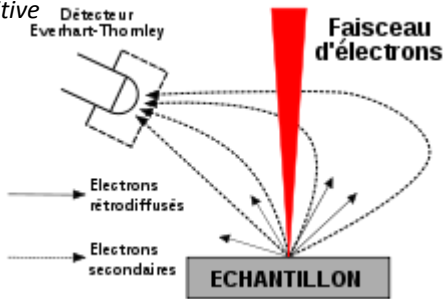


Illustration :
Tension + Choix du balayage

Détecteurs différents avec/sans BD : Contrastes différents

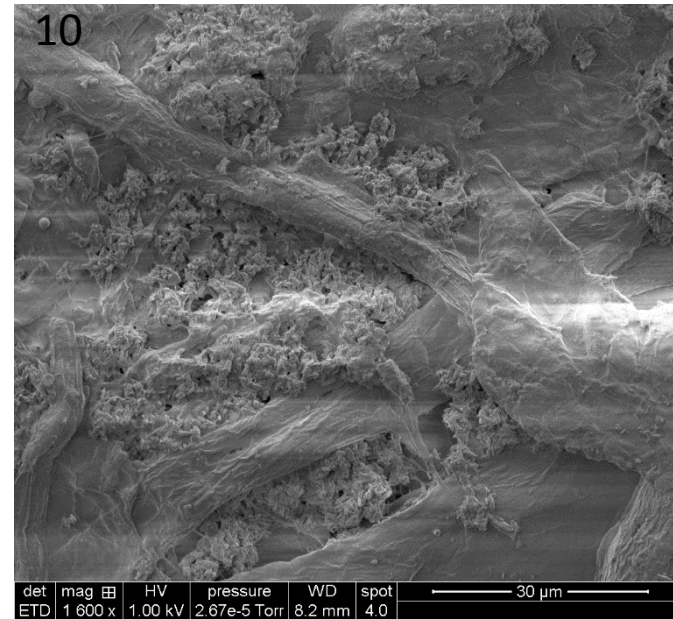
Sans décélération

ETD avec
tension positive

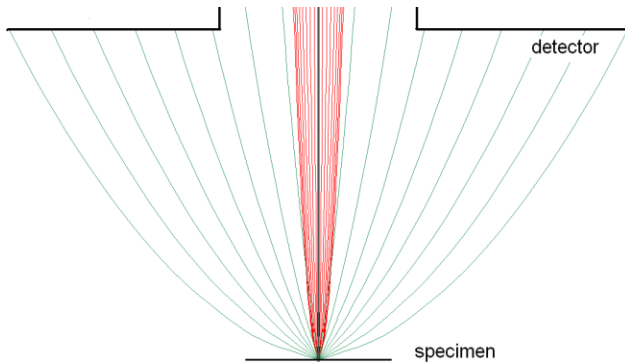


Détecteur ETD

Balayage 25µs
Tension 1kV

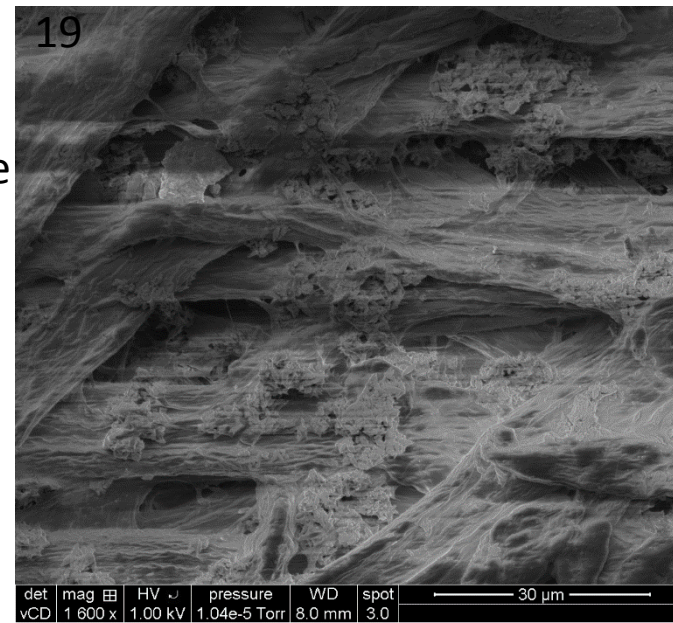


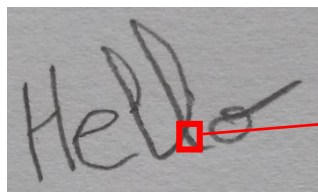
Avec décélération



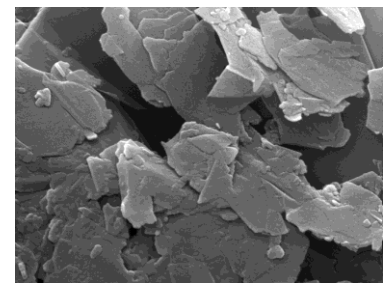
Détecteur vCD (low voltage
high contrast detector)
(détecteur BSE sensible)

-3kV platine
4kV au canon
L'échantillon "voit 1kV"





Zone avec le graphite

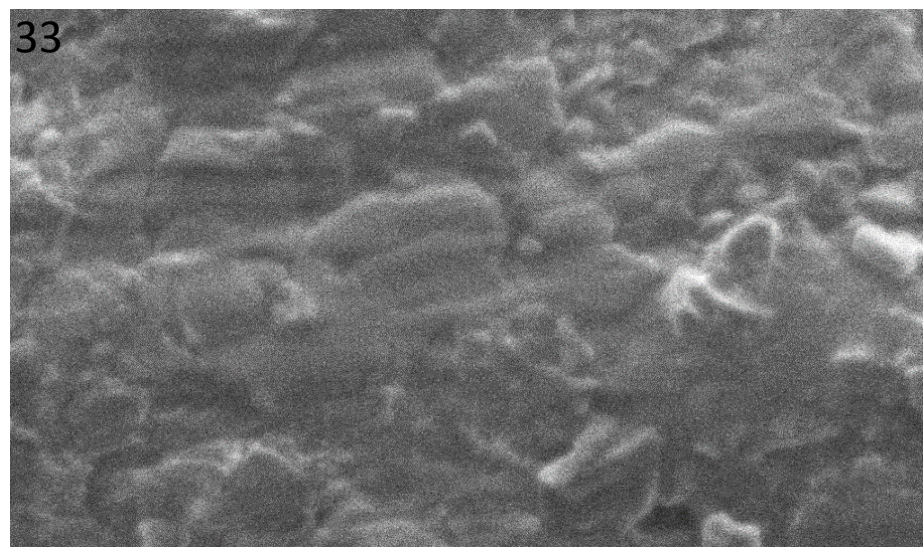


5 μm

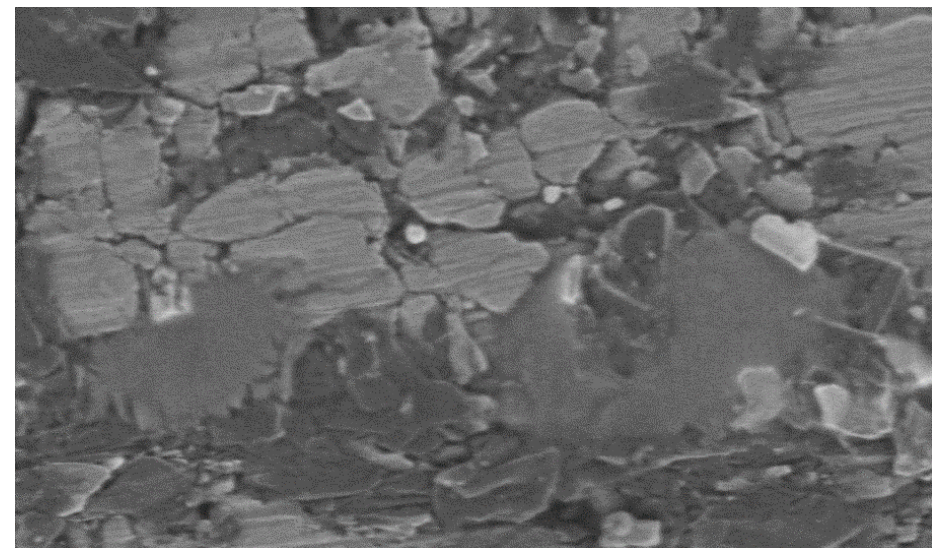
ETD, balayage 25 μs

Détecteur vCD,
Balayage 3 μs, l.i. 2x

-3kV platine
4kV au canon



2 μm



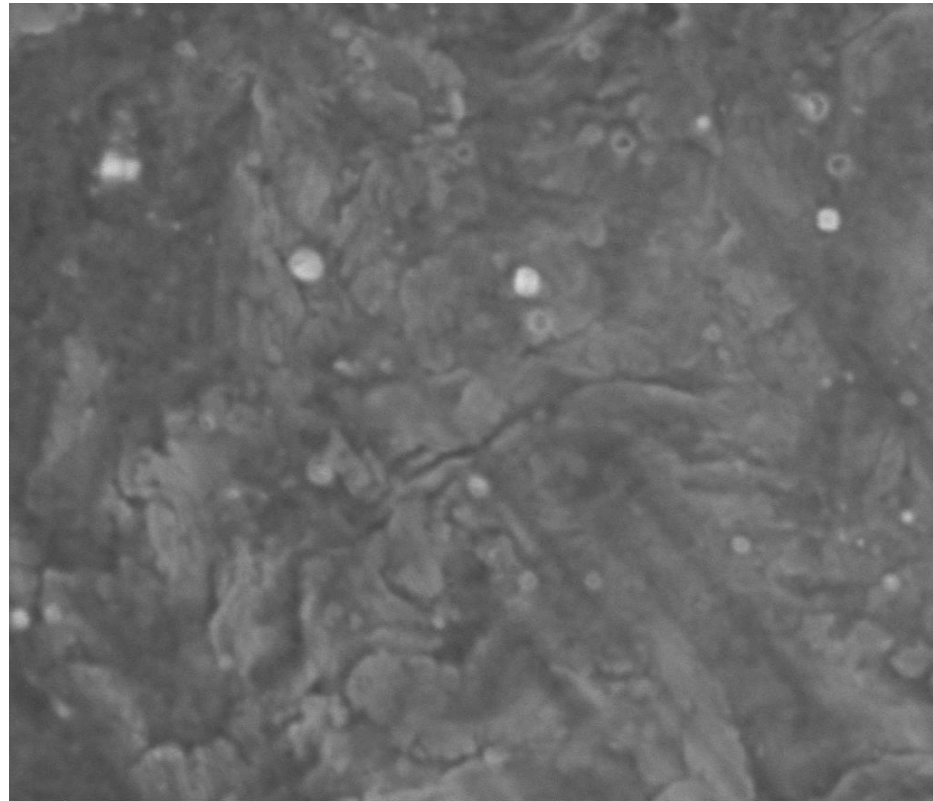
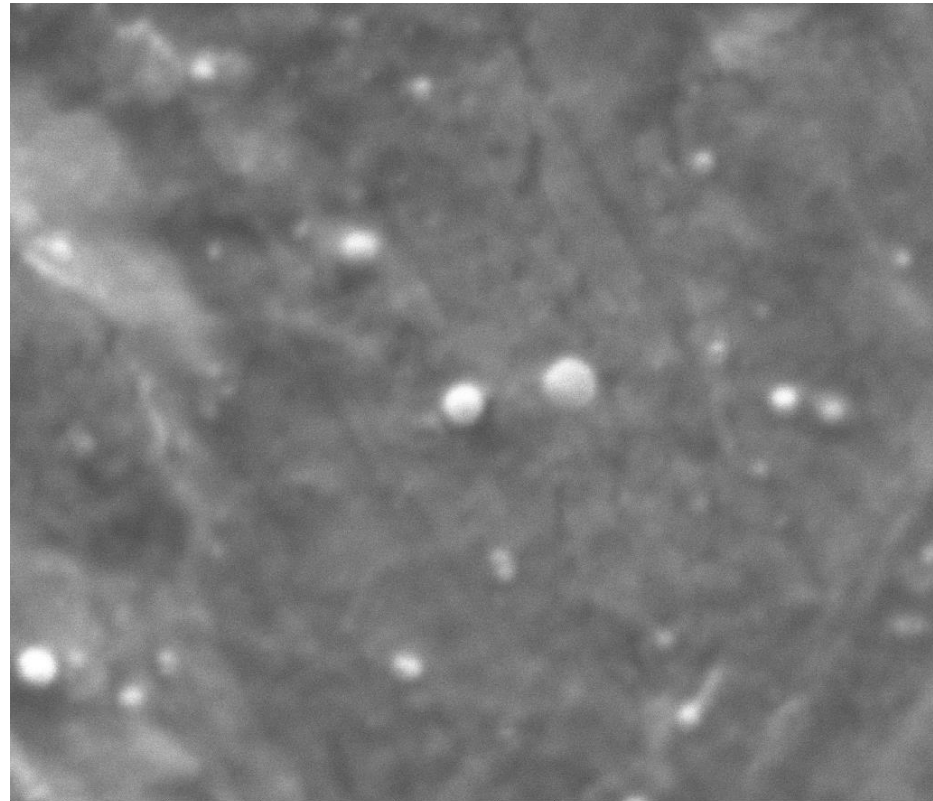
Gain en résolution

Sur échantillon conducteur

ETD, balayage 25 μ s

Détecteur vCD

-3kV platine
4kV au canon



det	mag	HV	pressure	WD	spot	1 μ m	
ETD	50 000 x	1.00 kV	4.31e-6 Torr	10.2 mm	3.0		

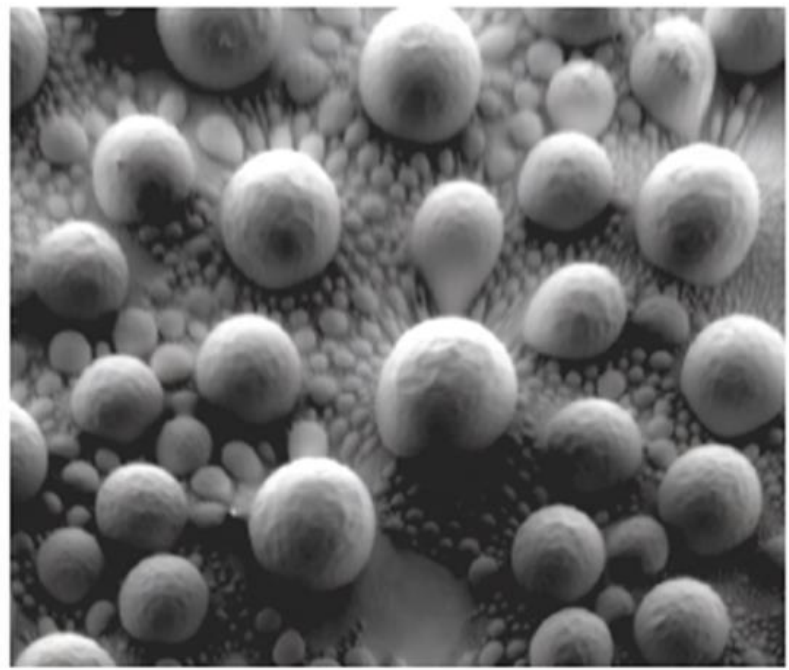
det	mag	HV	pressure	WD	spot	1 μ m	
vCD	50 000 x	1.00 kV	4.61e-6 Torr	10.1 mm	3.0		

Beam deceleration : stage bias

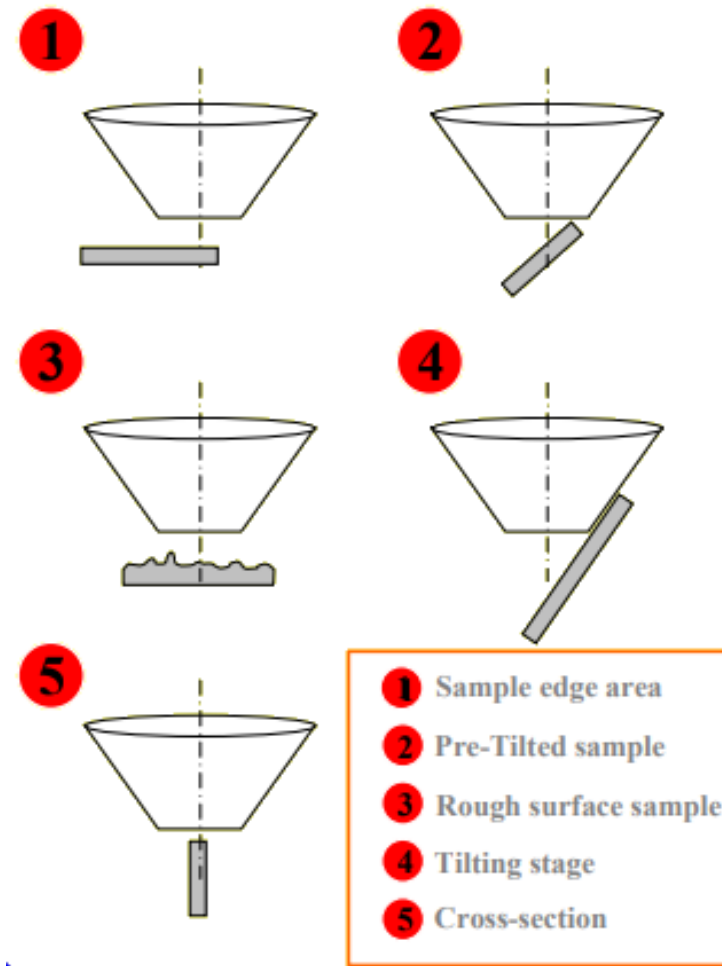
Limitations du stage bias :

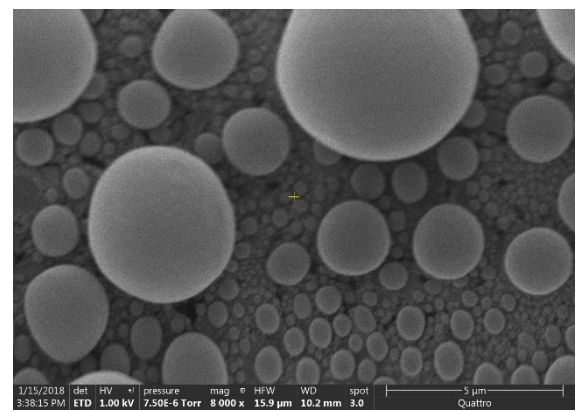
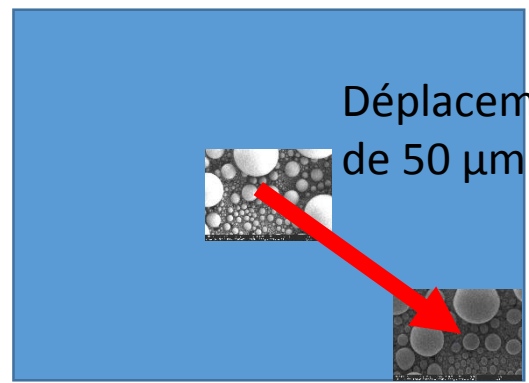
La surface de l'échantillon doit être perpendiculaire à l'axe optique, peu rugueuse pour que le champs électrostatique soit homogène

Sinon risque de distorsion de l'image et/ou fort astigmatisme

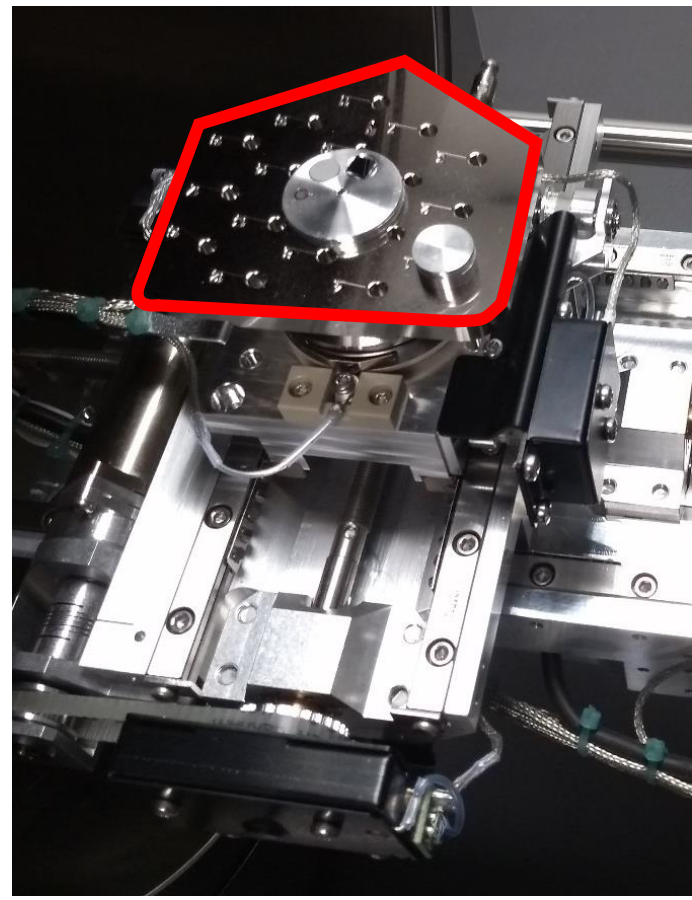


Situations défavorables :





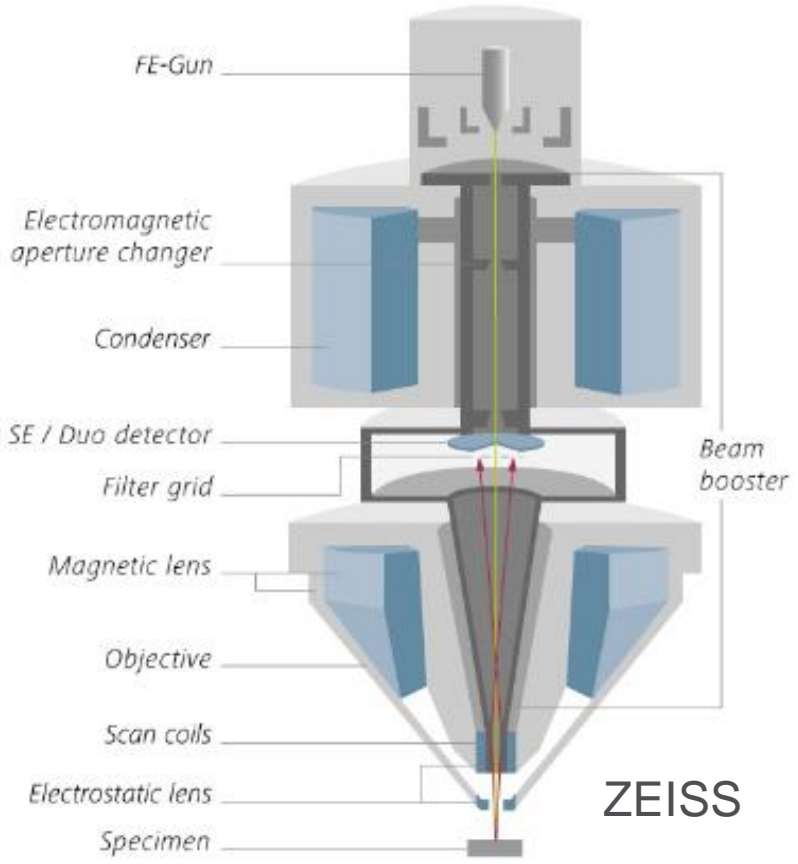
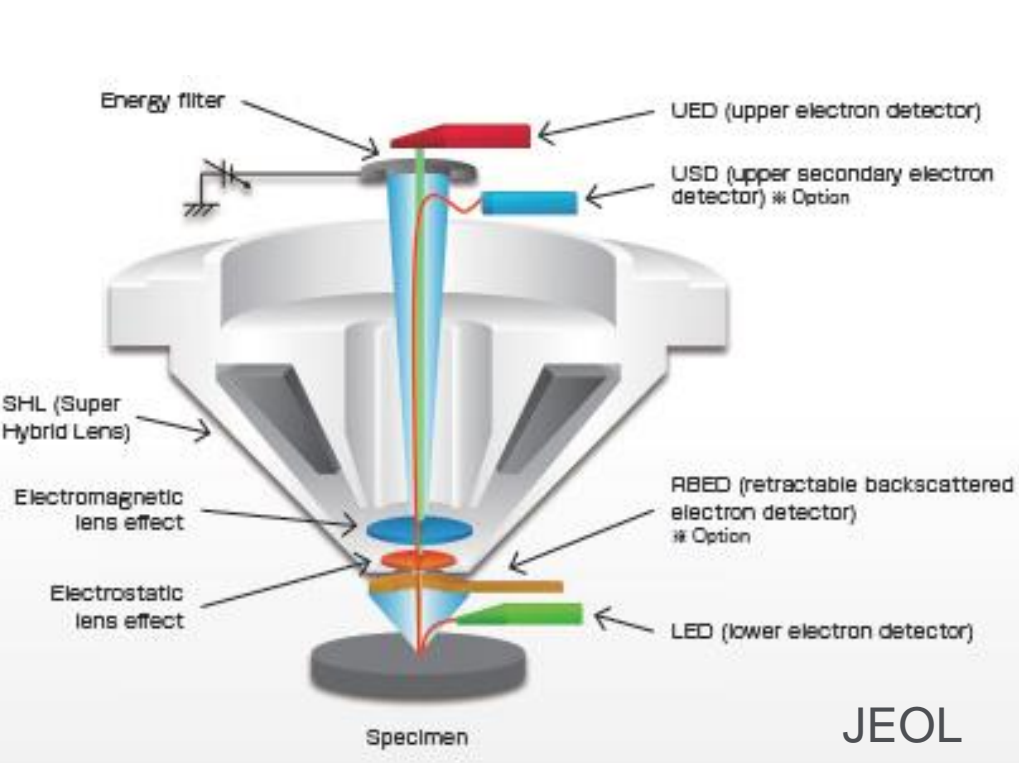
BD 2kv



- ❖ Lentilles classiques avec possibilité de décélération par polarisation de l'échantillon (stage bias)
- ❖ Lentilles « hybrides » (magnétique et électrostatique), avec décélération en bas de colonne et aussi éventuellement par polarisation de l'échantillon
- ❖ Lentilles à immersion (l'échantillon est dans le champ magnétique de la lentille), avec possibilité de décélération par polarisation de l'échantillon

Beam deceleration : lentille objectif hybride : magnétique et électrostatique

Compound lens (FEI) Super hybrid lens (JEOL) Colonne gemini Zeiss...

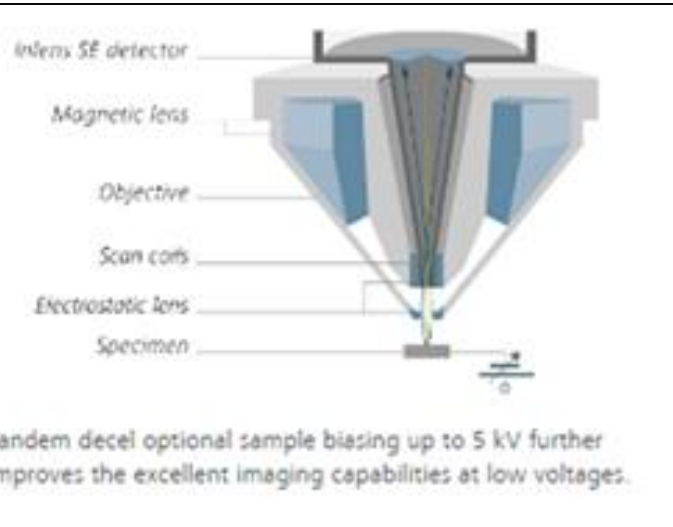


Combinaison lentille magnétique et électrostatique

→ Décélération en bas de colonne et non sur l'échantillon

Pas de champs sur l'échantillon (permet tilt surface, échantillons à fort relief, etc...)

Couplage lentille hybride / stage bias



ZEISS

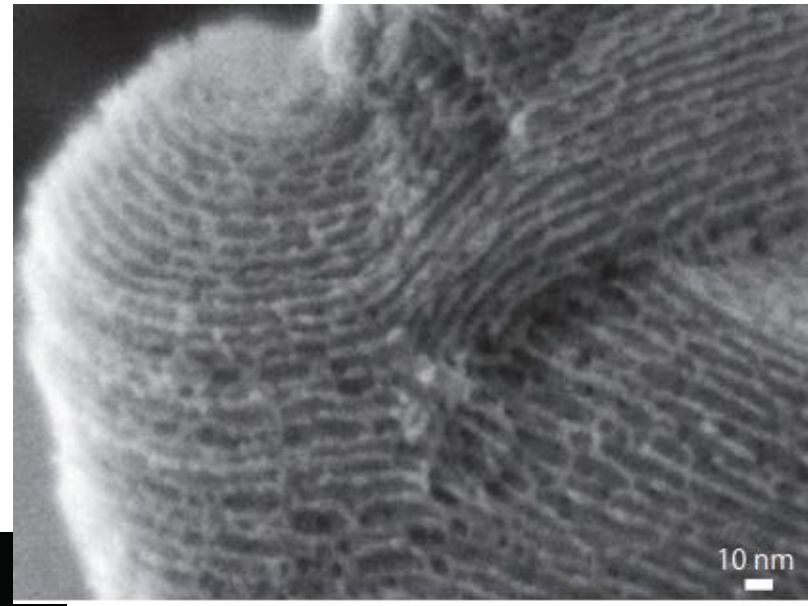
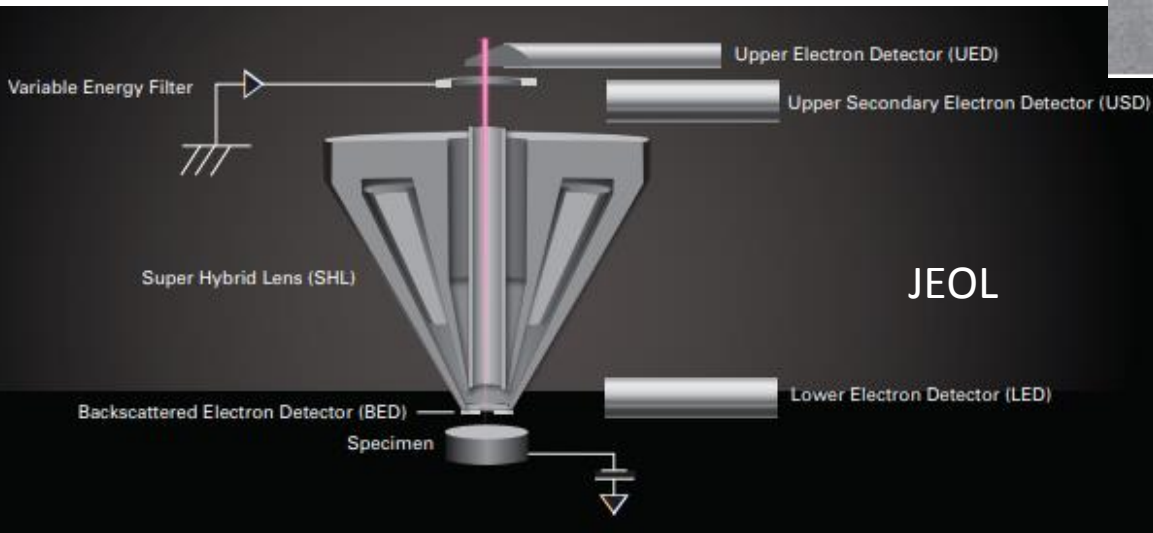


Image JEOL

Meso-porous silica
Tension 1 kV (GB)
Original magnification 400 000



JEOL

Détection des électrons « in-lens »

La décélération est le plus souvent associée à une détection spécifique « in lens »

Détection in lens :

- **Uniquement SE1+SE2 (Pas de SE3)**

- pas ou peu de contribution des BSE dans l'image : image d'extrême surface (meilleure résolution en z)

- pas les mêmes contrastes que détecteur Everhart Thornley

- **A basse tension**

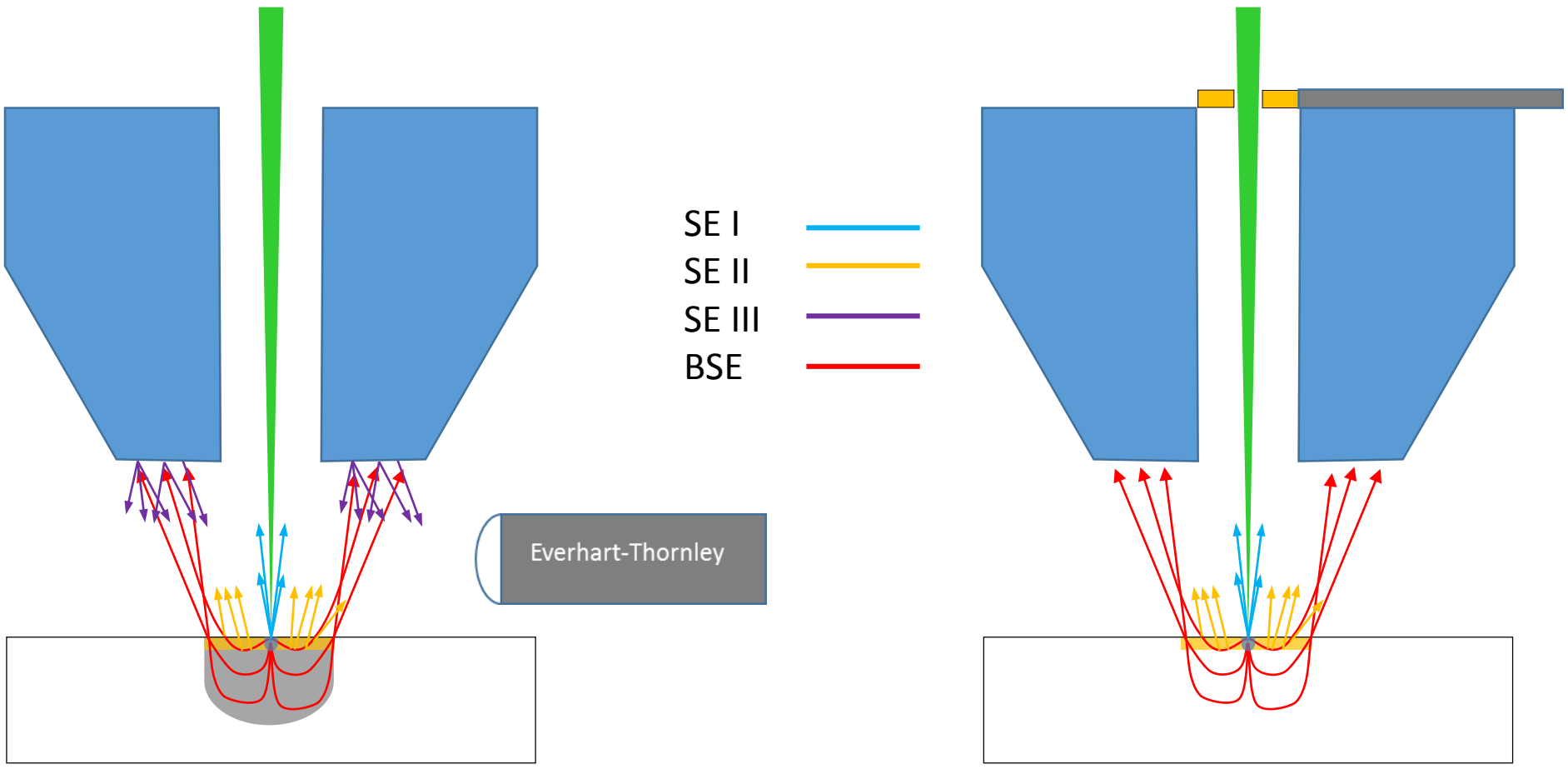
- volume d'interaction très réduit

- volume SE1 = volume SE2

- ratio SE1 / SE2 augmente

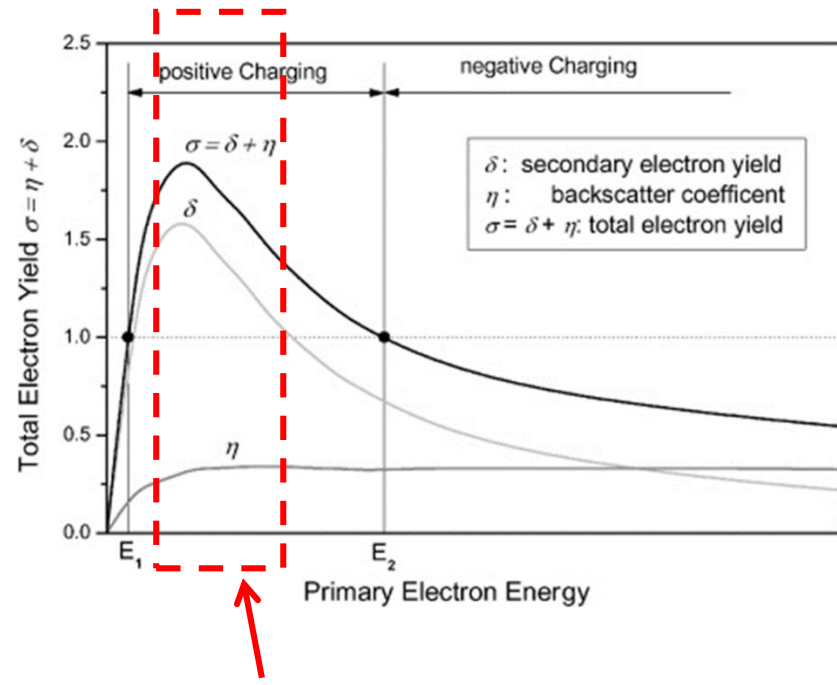
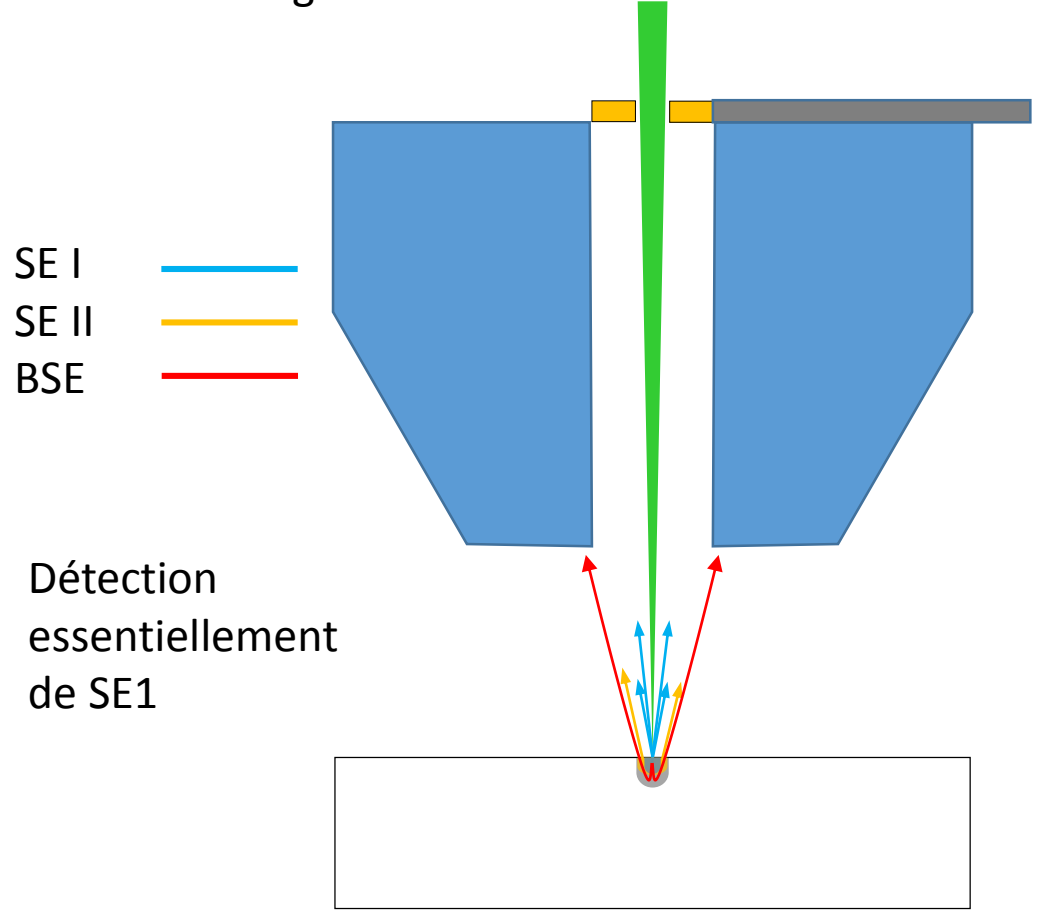
} On détecte essentiellement des SE1

Détection des électrons « in-lens »



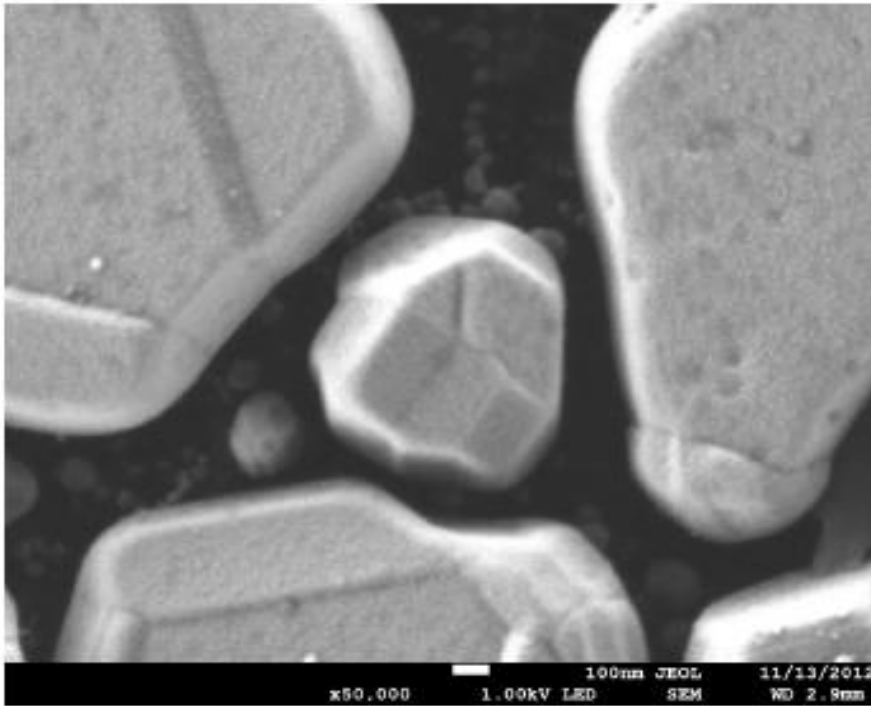
Détection des électrons « in-lens »

A basse énergie :



Prédominance des SE par rapport aux BSE donc des SE1 par rapport aux SE2

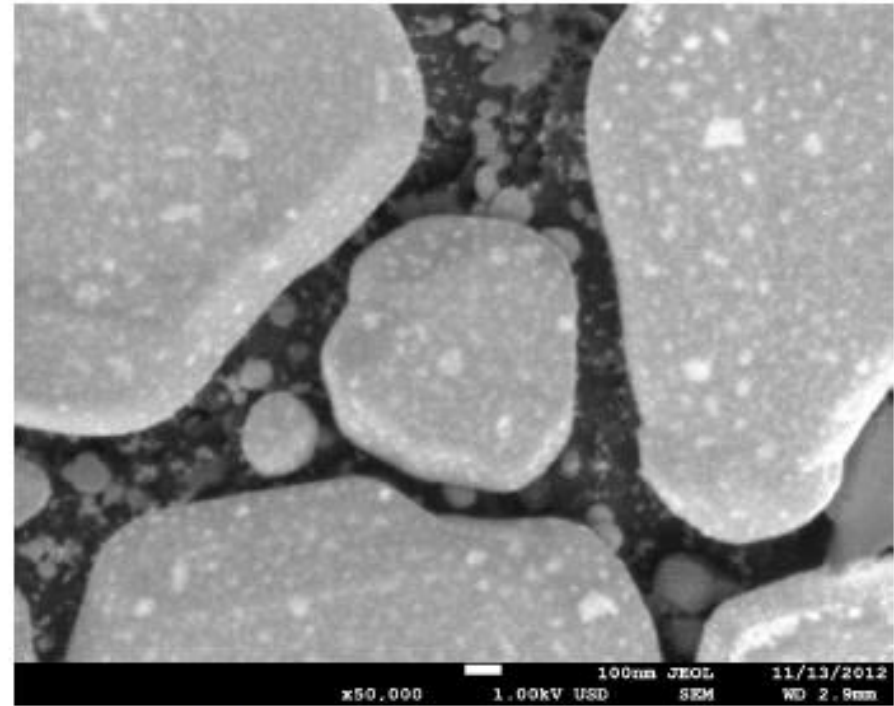
Détection des électrons « in-lens »



Détecteur EVT

Image avec de la topographie
due à une « **vue plus latérale** »

Détection SE1+SE2+SE3(=BSE)
L'information provient d'une profondeur
plus importante



Détecteur dans la colonne

Image avec moins de topographie
« **vue de dessus** »

Détection SE1+SE2
Information plus superficielle



→ Complémentarité des 2 images

Merci de votre attention