

Carl ZEISS Nano Technology



Evolution de la colonne GEMINI

GNMEBA 2 et 3 décembre
2010

Les Cordeliers, Paris

Smal CHALAL

GN
MEBA



Enabling the Nano-Age World®

Enabling the Nano-Age World®

HISTORIQUE



DSM982
1993-1997



LEO1530
1997-2003



SUPRA
2002

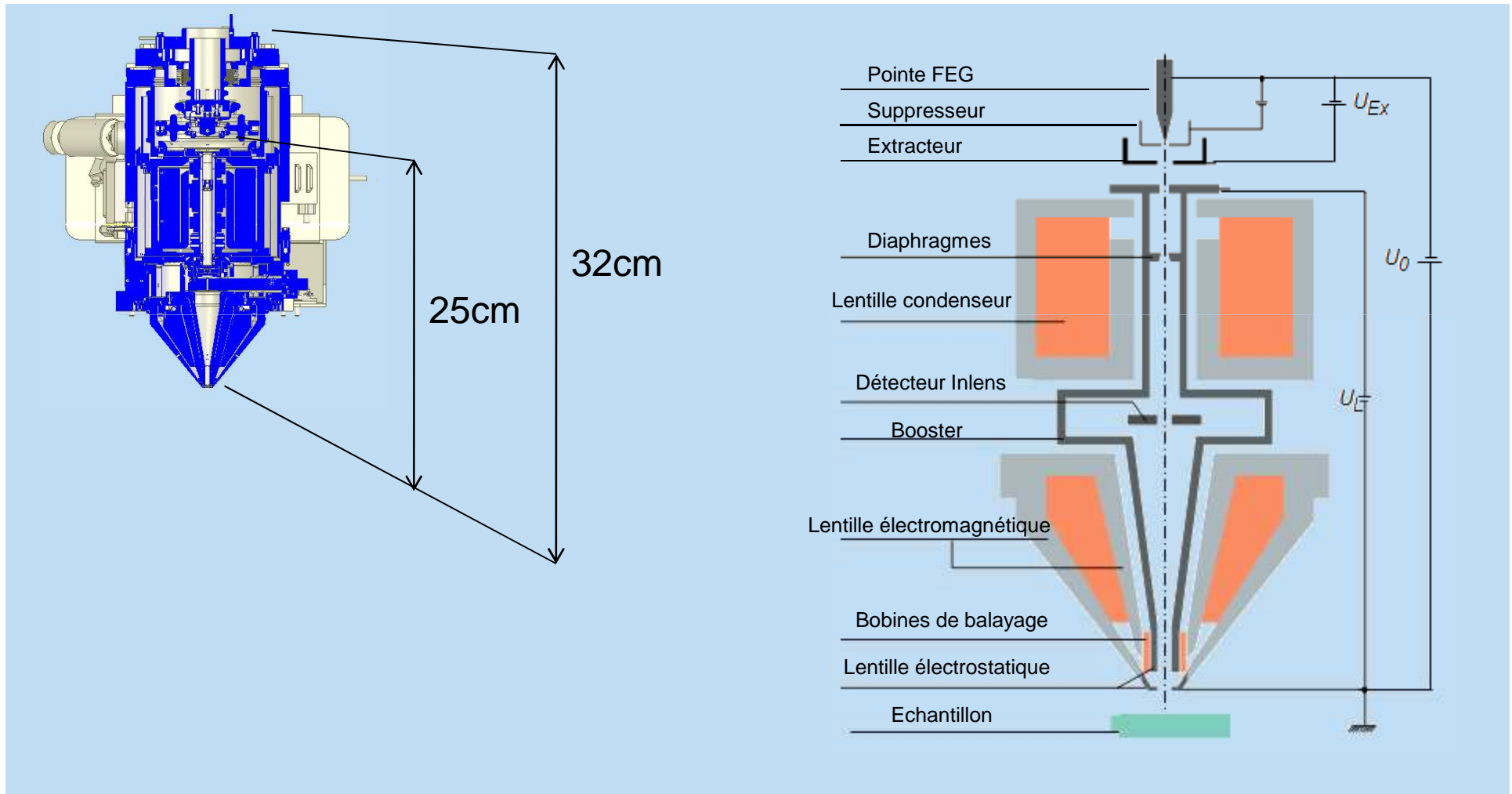


ULTRA
2003



MERLIN
2008

Colonne GEMINI



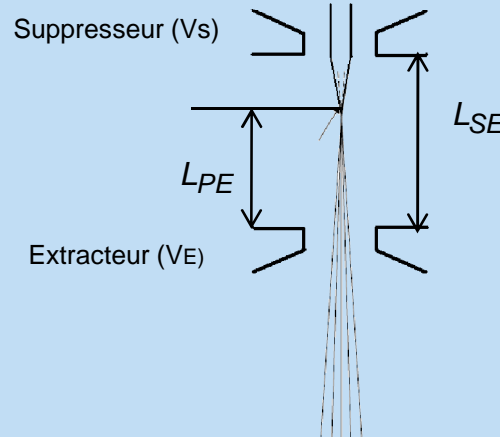
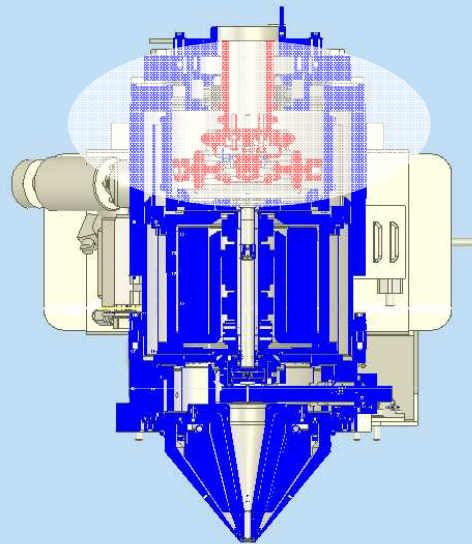
Colonne GEMINI



Caractéristique principale de la colonne GEMINI

- Résolution basse tension
- ~~Crossover~~
- Pas de diaphragmes mécaniques
- Absence de champ magnétique extérieur à la lentille
- Détection Inlens (SE et BSE)
- Booster
- Hauteur de colonne (parcours du faisceau)
- Pompage turbo-moléculaire et ionique

Canon à effet de champ



$$L_{SE} \approx 750 \mu\text{m}$$

$$L_{PE} \approx 500 \mu\text{m}$$

$$V_S \approx -300 \text{ volts}$$

$$\varnothing \text{ Suppresseur et extracteur} = 400 \mu\text{m}$$

- Conditionnement d'une pointe schottky
 Utilisation de la feuille de données constructeur (Data sheet)
- Courant de chauffage pour $T=1800\text{K}$
 - Tension d'extraction pour une intensité angulaire de $200\mu\text{A/sr}$
 - Tension d'extraction pour une intensité angulaire de $400\mu\text{A/sr}$
 - Rayon de courbure

$L = 256,4 \mu\text{m}$

DENKA TFE DATA SHEETS

« Serial N° 263554 Tip Radius $0.48\mu\text{m}$ »

2, Dec 2010
 DENKI KAGAKU KOUGYO K.K.

(1) EMISSION CHARACTERISTICS

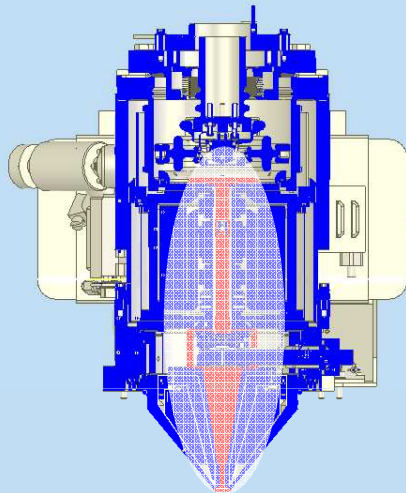
$V_b = 240\text{V}$, $T = 1800^\circ\text{K}$ ($I_f = 2.37\text{A}$)

Angular intensity I_p' ($\mu\text{A/sr}$)	100	200	300	400
Extractor voltage V_{ex} (kV)	3.22	3.87	4.37	4.87
Total emission current I_t (μA)	69	106	140	174

(2) HEATING CHARACTERISTICS

Filament Current I_f (A)	2.14	2.21	2.28	2.37
Tip temperature T (K)	1500	1600	1700	1800

Principe de fonctionnement du « Booster »



Le Booster, utilisé jusqu'à une haute tension de 20KV, permet d'accélérer les électrons de l'anode à la lentille finale.
 L'énergie d'une particule dans un champ électrique: $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = qU_{(P)}$
 avec: m= masse de l'électron, v= vitesse de la particule,
 q= charge d'un électron, U(p) = potentiel au point P.
 Entre 0 et x , le principe de conservation d'énergie permet d'écrire:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + qU_0 = \frac{1}{2}mv_x^2 + qU_x$$

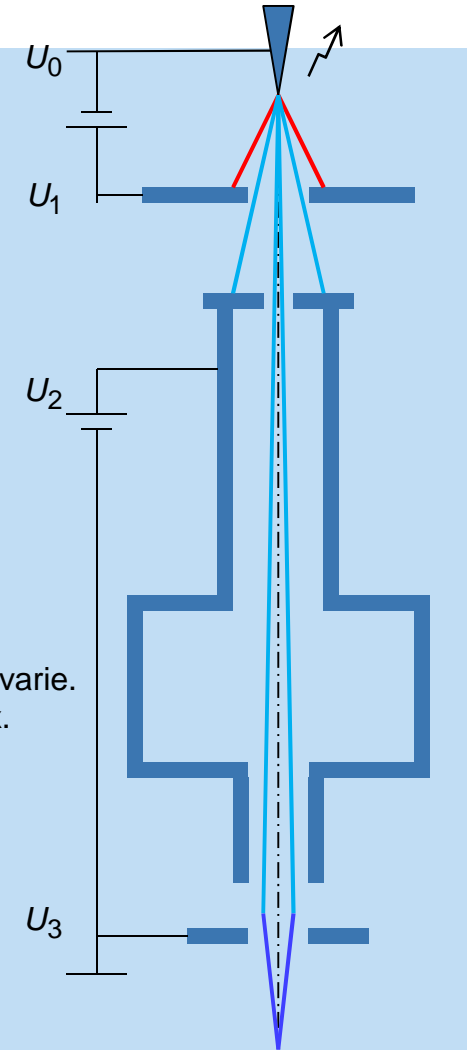
La vitesse au point 0 est nulle, donc : $\frac{1}{2}mv_x^2 = -q(U_x - U_0)$

1ev = qV (pour V = 1 volt), compte-tenu de la variations des potentiels en présence, l'énergie potentiel qV, donc l'énergie cinétique des électrons varie.
 Exemple: $U_0 = -1Kv$, $U_{ex} = 5kv$ et $U_2 = 8Kv$ et sachant que $U_1 = U_0 + U_{ex}$.

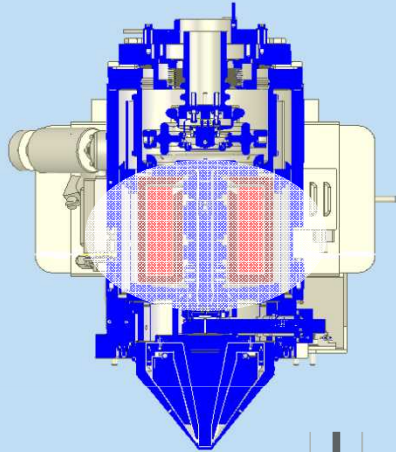
Point 1: $E_1(ev) = U_1 - U_0 = U_0 + U_{ex} - U_0 = U_{ex} = 5Kev$

Point 2: $E_2(ev) = U_2 - U_0 = 9Kev$

Point 3: $E_3(ev) = U_3 - U_0 = 1 Kev$



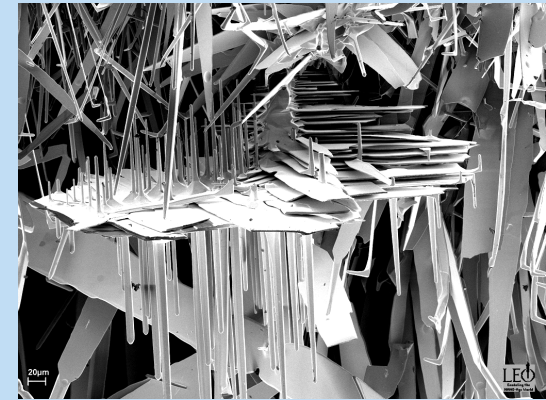
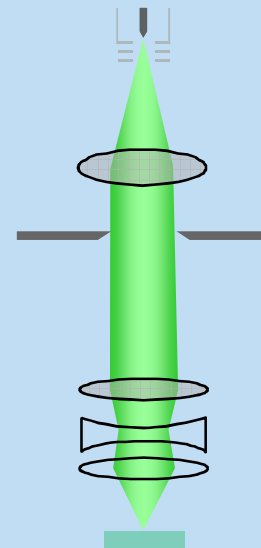
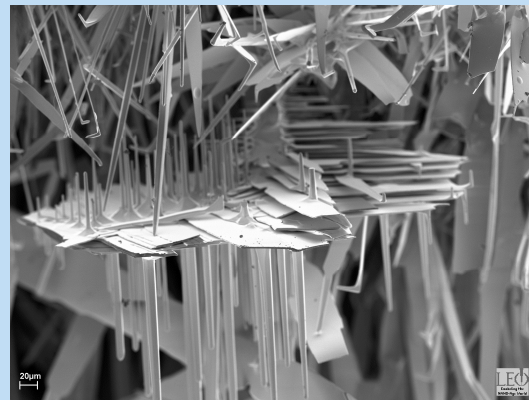
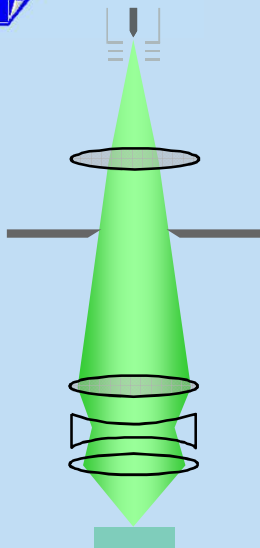
Optique, lentille condenseur



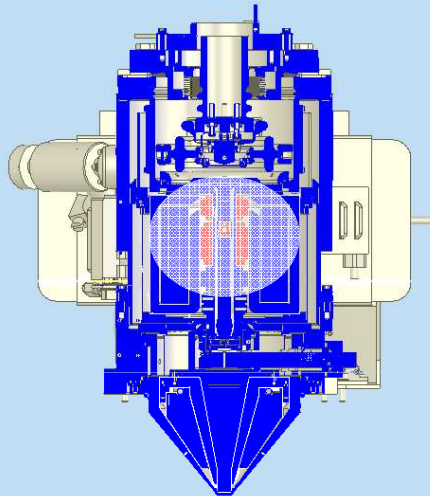
Depuis l'origine de la colonne Gemini, la lentille condenseur unique a été utilisée de plusieurs manières. Dans les colonnes de 982, elle était utilisée à basse tension pour limiter la dispersion électronique basse tension et augmenter le courant.

Depuis l'arrivée du mode fort courant, cette lentille est utilisée pour optimiser le faisceau, doubler le courant de faisceau et augmenter la profondeur de champ.

Des modifications dans la gestion de l'optique électronique et dans la colonne permettent d'obtenir des courants de faisceau de 20nA à 100nA.



Optique, diaphragmes



Dans une colonne Gemini, le changement de courant de faisceau s'effectue en changeant de diaphragme. Le diaphragme multi-trous étant fixe, la sélection se fait par déflexion du faisceau. Des bobines de type Helmholtz permettent de dévier le faisceau dans le trou de diaphragme sélectionné et de revenir dans l'axe optique de la colonne.

Les dimensions des trous du diaphragme
Multi-trous standard sont les suivantes:

7.5 μ m

10 μ m

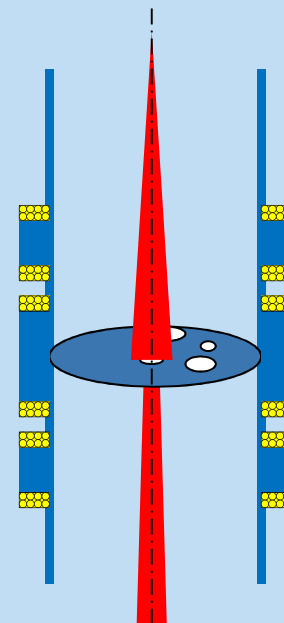
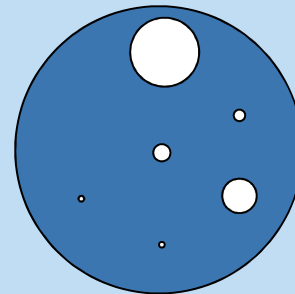
20 μ m

30 μ m (trou central)

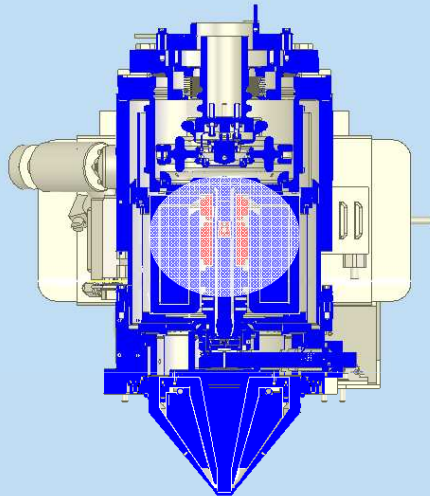
60 μ m

120 μ m

Plusieurs versions de diaphragmes multi-trous sont disponibles.



Optique, diaphragmes



Dans une colonne Gemini, le changement de courant de faisceau s'effectue en changeant de diaphragme. Le diaphragme multi-trous étant fixe, la sélection se fait par déflexion du faisceau. Des bobines de type Helmholtz permettent de dévier le faisceau dans le trou de diaphragme sélectionné et de revenir dans l'axe optique de la colonne.

Les dimensions des trous du diaphragme
Multi-trous standard sont les suivantes:

7.5µm

10µm

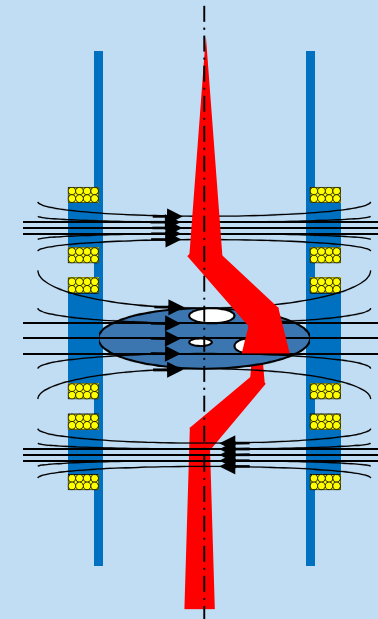
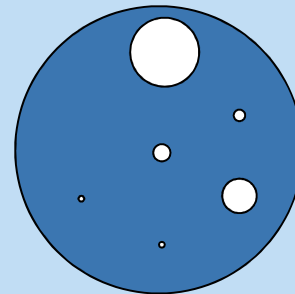
20µm

30µm (trou central)

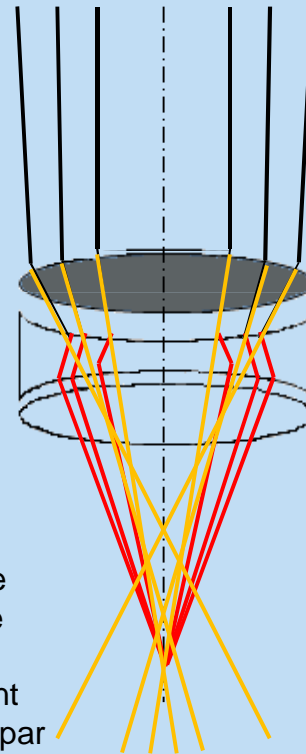
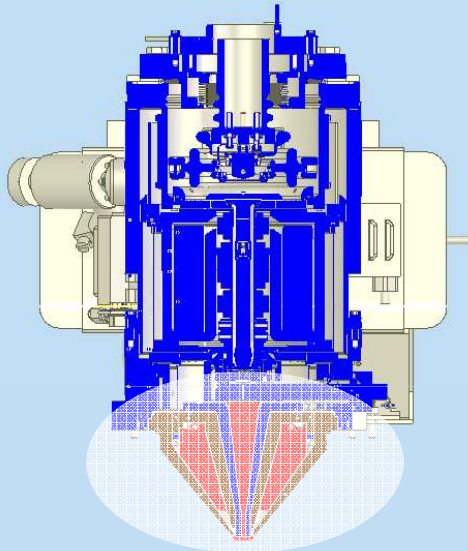
60µm

120µm

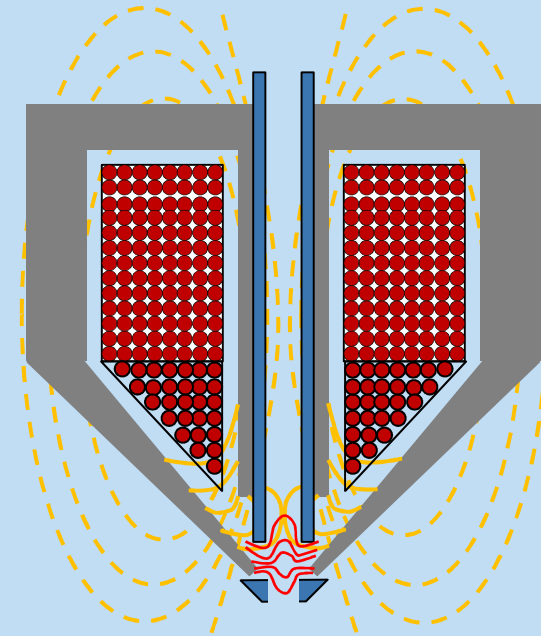
Plusieurs versions de diaphragmes multi-trous sont disponibles.



Principe de fonctionnement de la lentille finale

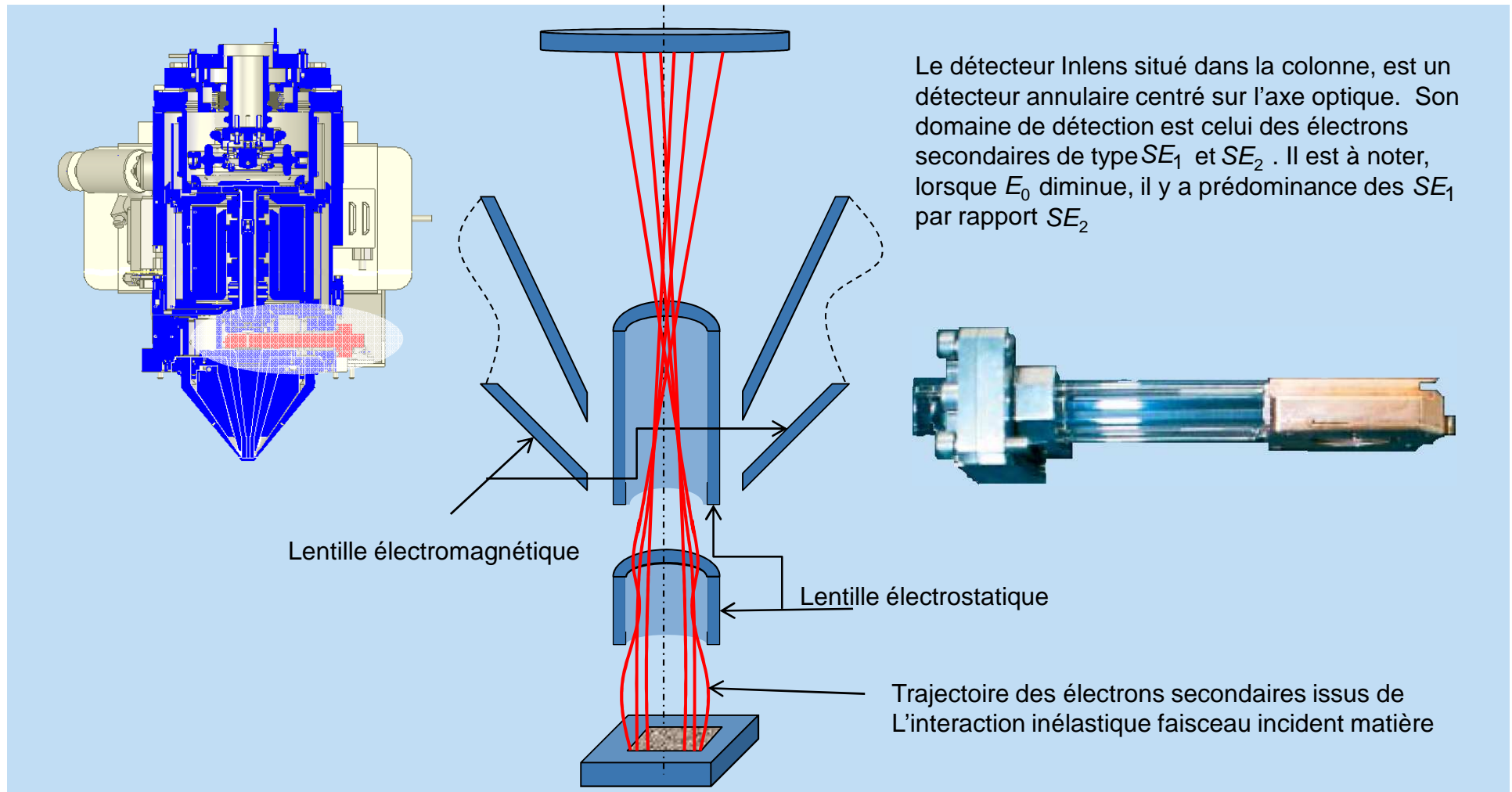


La combinaison d'une lentille électromagnétique et électrostatique crée une lentille achromatique connu sous le nom de « Triplet ».
Dans la lentille finale, les électrons incidents sont focalisés par le champ électromagnétique, puis par la lentille électrostatique retardatrice.



La lentille électromagnétique de type axiale Permet de confiner le champ dans l'entrefer À l'intérieur de la lentille finale.

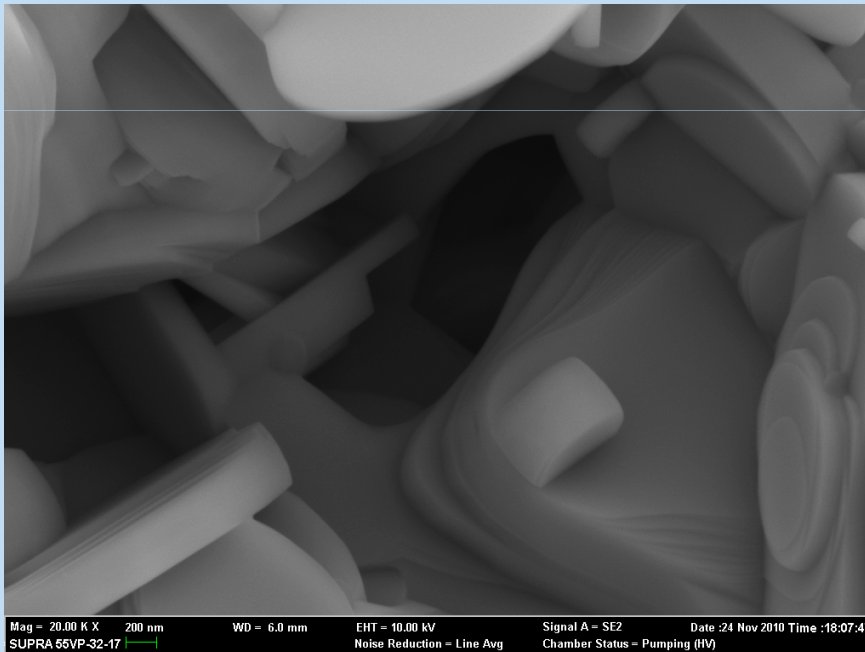
Détecteur d'électrons secondaires « InLens »



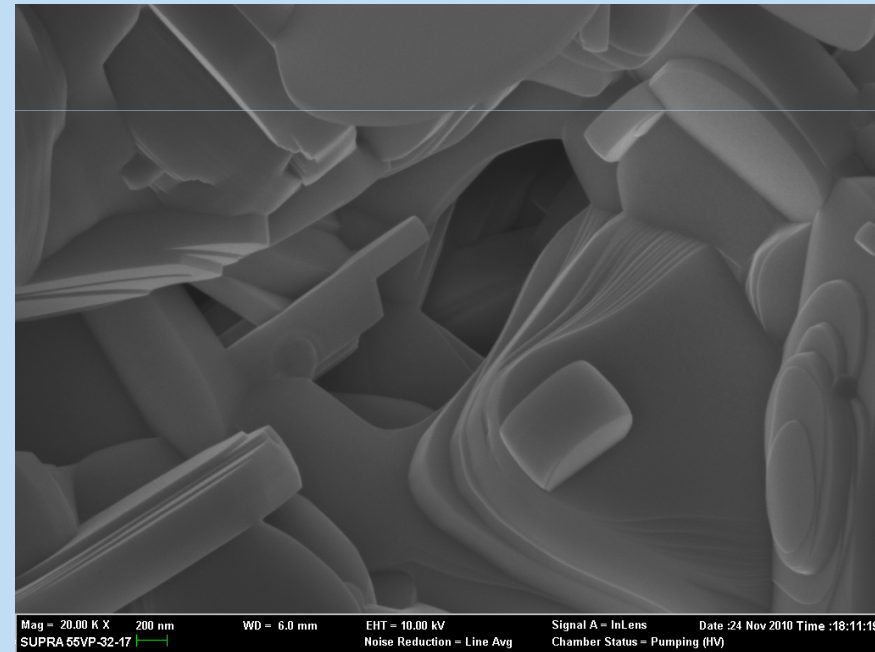
Principe de fonctionnement de la colonne GEMINI



Le détecteur InLens détecte les électrons secondaires accéléré par le booster



Composé $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.69}\text{O}_x$
ENSICAEN – Laboratoire CRISMAT

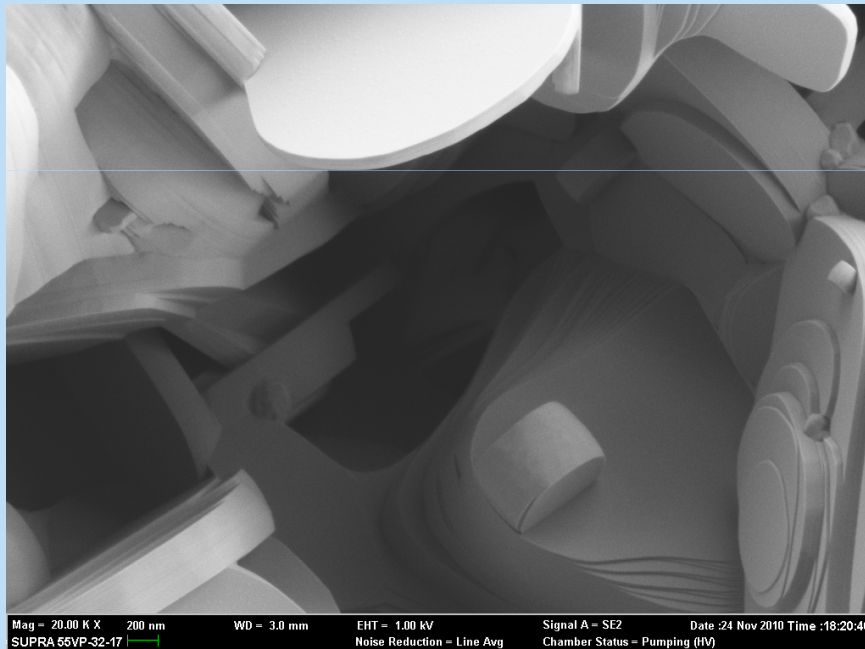


Echantillon
CEA-Saclay

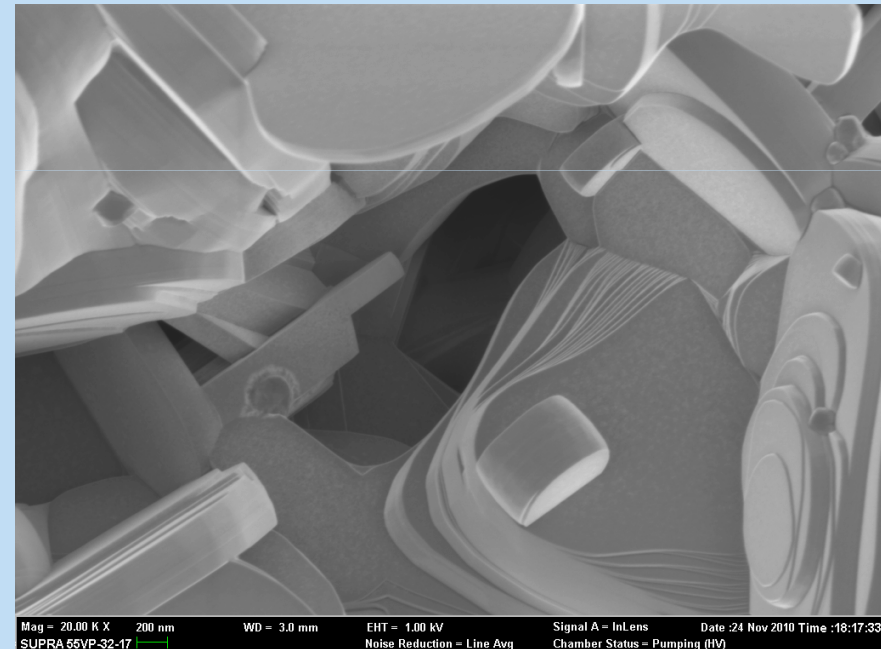
Principe de fonctionnement de la colonne GEMINI



Le détecteur InLens détecte les électrons secondaires accéléré par le booster



Composé $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.69}\text{O}_x$
ENSICAEN – Laboratoire CRISMAT

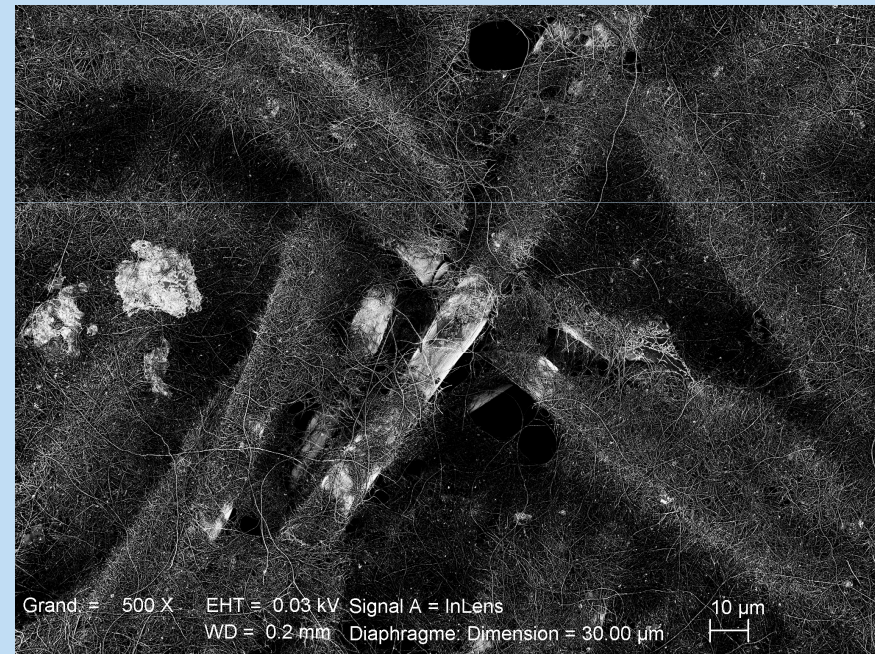


Echantillon
CEA-Saclay

Principe de fonctionnement de la colonne GEMINI



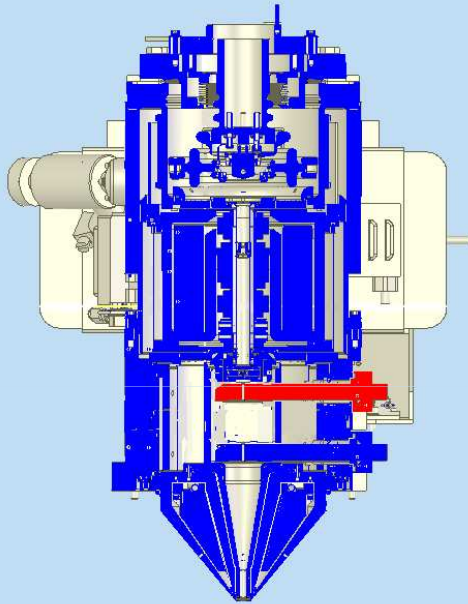
Le détecteur Inlens détecte les électrons secondaires accéléré par le booster



Composé $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Co}_{1.69}\text{O}_x$
ENSICAEN – Laboratoire CRISMAT

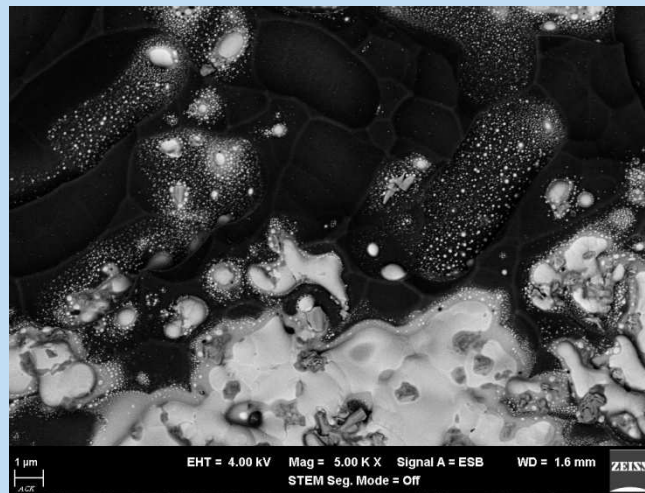
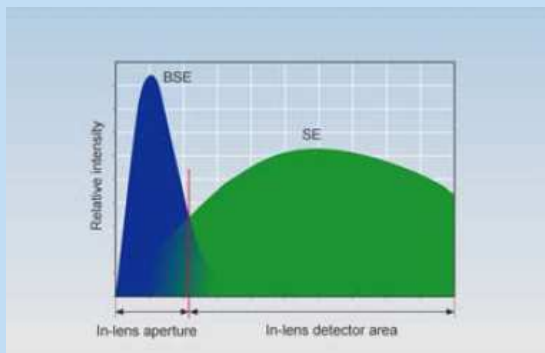
Echantillon
CEA-Saclay

Détecteur ESB (Energy selective Backscattered electrons)

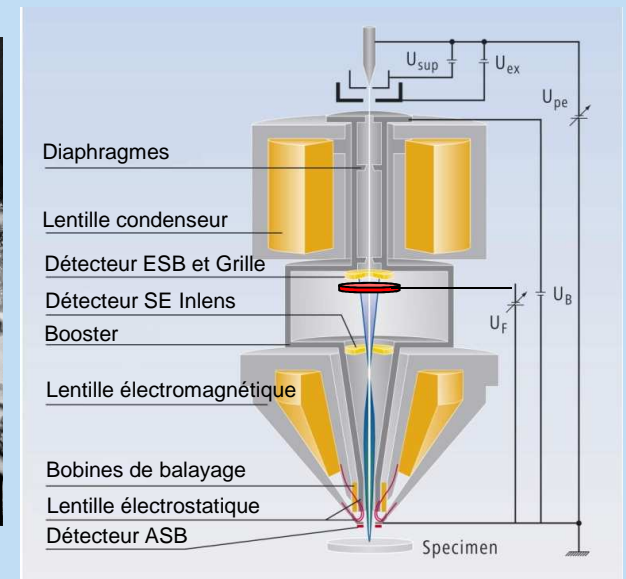


Les électrons rétrodiffusés (BSE) sont émis par l'échantillon et de la même manière que pour les électrons secondaires (SE), ils sont accélérés par le booster en direction de la colonne. L'aberration chromatique de la lentille électromagnétique contribue à modifier leurs trajectoires, celles-ci dépendant de leur énergie.

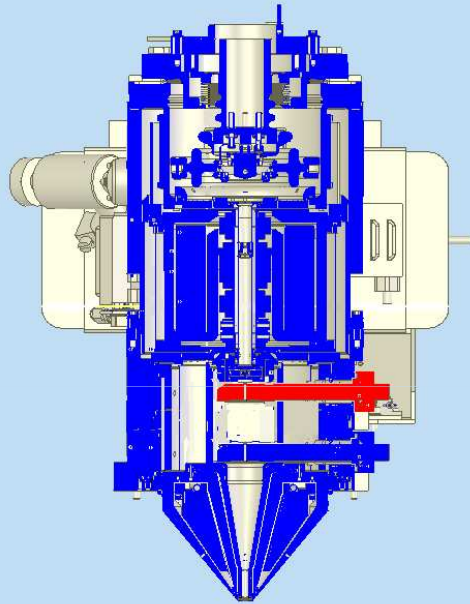
De plus, la distribution angulaire de l'émission des BSE plus faible que celle des SE permet aux BSE de passer dans l'orifice du détecteur Selnlens pour être collectés par Le détecteur ESB. Une grille de filtrage polarisée négativement et placée devant l'ESB permet De repousser les électrons d'énergie inférieure.



Cellule solaire

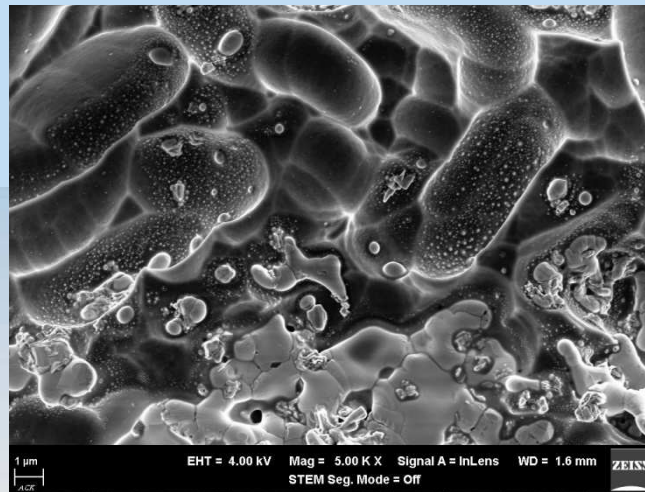
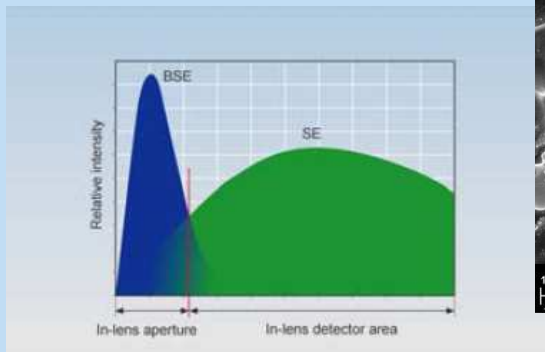


Détecteur ESB (Energy selective Backscattered electrons)

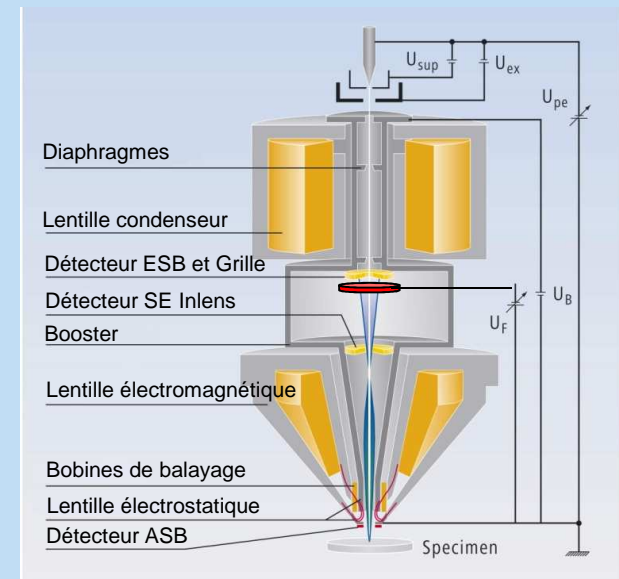


Les électrons rétrodiffusés (BSE) sont émis par l'échantillon et de la même manière que pour les électrons secondaires (SE), ils sont accélérés par le booster en direction de la colonne. L'aberration chromatique de la lentille électromagnétique contribue à modifier leurs trajectoires, celles-ci dépendant de leur énergie.

De plus, la distribution angulaire de l'émission des BSE plus faible que celle des SE permet aux BSE de passer dans l'orifice du détecteur Selnlens pour être collectés par Le détecteur ESB. Une grille de filtrage polarisée négativement et placée devant l'ESB permet De repousser les électrons d'énergie inférieure.



Cellule solaire



Principe de fonctionnement du détecteur ESB



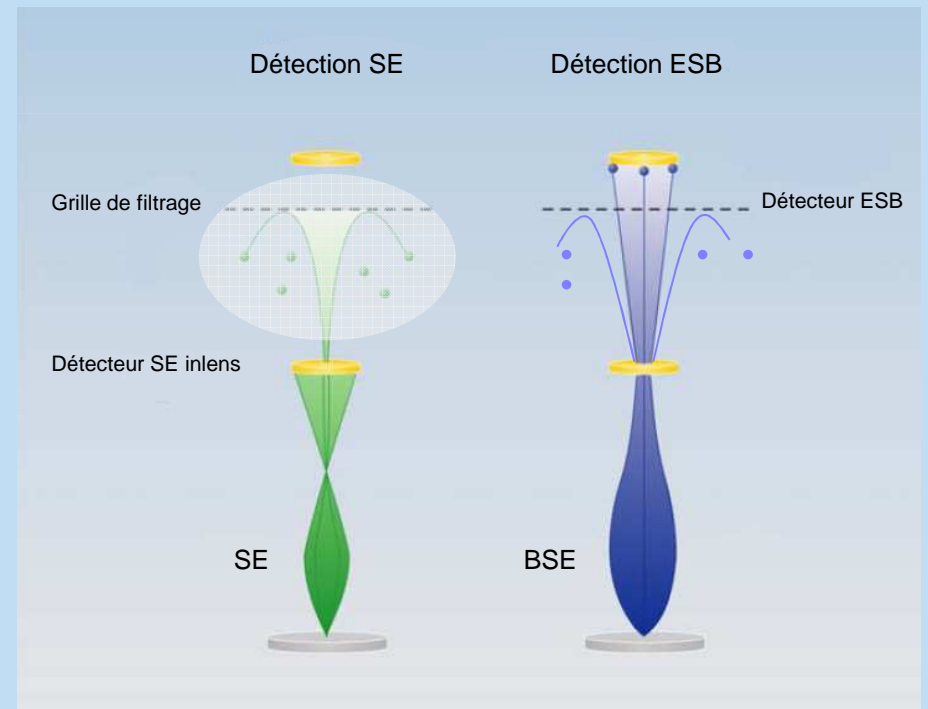
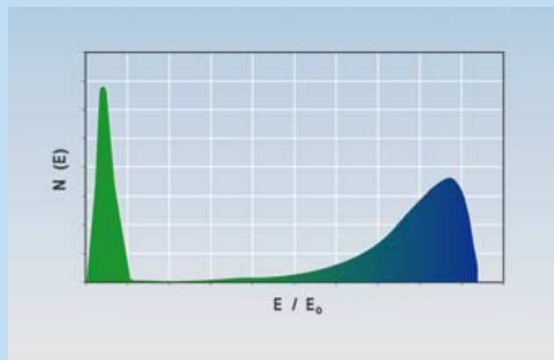
Utilisation basse tension:

Les électrons secondaires ont une énergie maximum de 50eV (limite fixée par convention), et pour éviter qu'ils contribuent à l'image ESB, il suffit de les filtrer en polarisant la grille à une valeur inférieure à -50V et seules les rétrodiffusés (BSE) participeront au signal ESB.

Imaginons, maintenant, une énergie du faisceau incident inférieure ou égale à 1,5KeV. Sachant que le potentiel de la grille de filtrage peut varier de 0 à 1500 Volts, il apparait évident que les électrons rétrodiffusés peuvent aussi, être filtrés.

L'utilisation de cette grille permet alors de filtrer les électrons rétrodiffusés (BSE) en fonction de leur énergie dans toute

la largeur de leur distribution spectrale. $\frac{d\eta}{dE_c}$



Principe de fonctionnement du détecteur ESB



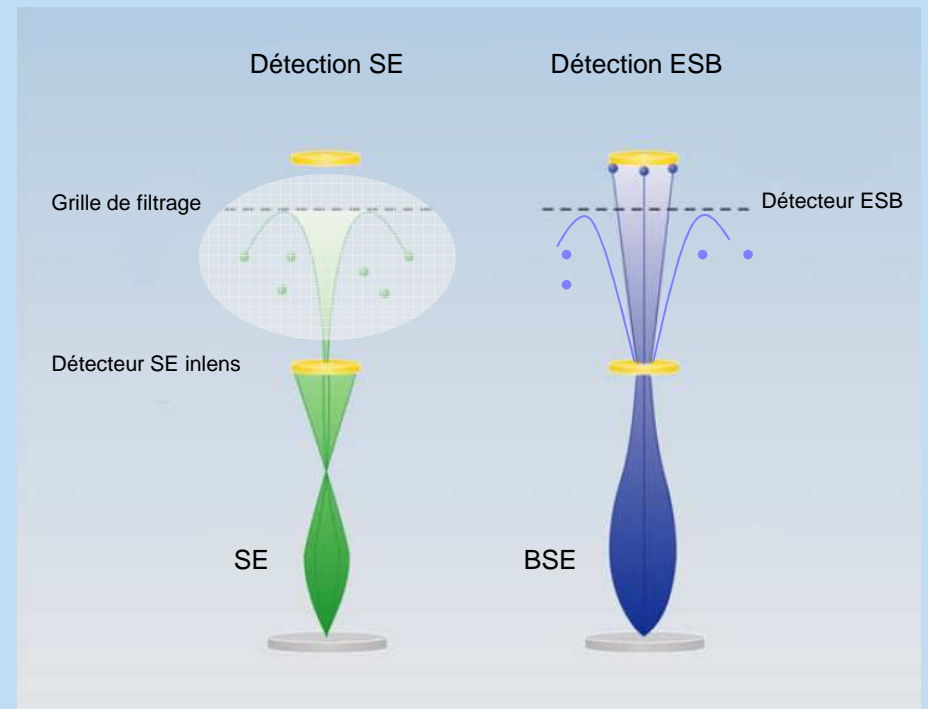
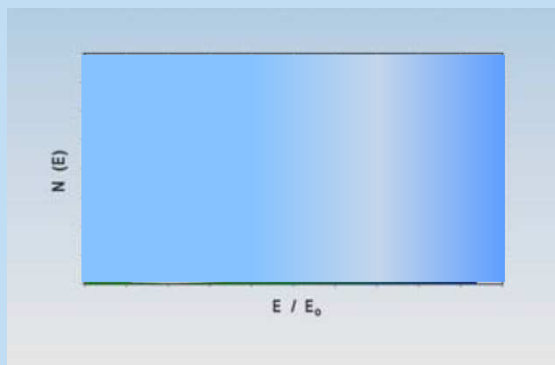
Utilisation basse tension:

Les électrons secondaires ont une énergie maximum de 50eV (limite fixée par convention), et pour éviter qu'ils contribuent à l'image ESB, il suffit de les filtrer en polarisant la grille à une valeur inférieure à -50V et seules les rétrodiffusés (BSE) participeront au signal ESB.

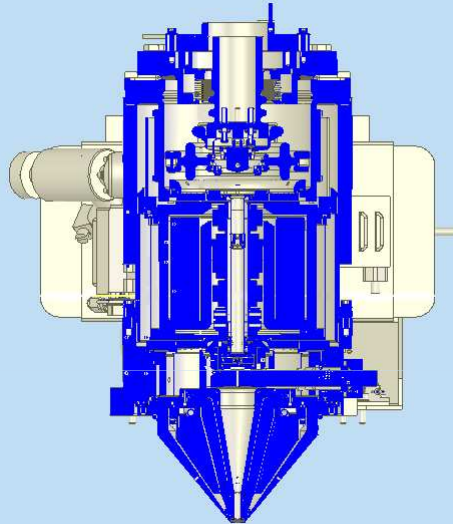
Imaginons, maintenant, une énergie du faisceau incident inférieure ou égale à 1,5KeV. Sachant que le potentiel de la grille de filtrage peut varier de 0 à 1500 Volts, il apparait évident que les électrons rétrodiffusés peuvent aussi, être filtrés.

L'utilisation de cette grille permet alors de filtrer les électrons rétrodiffusés (BSE) en fonction de leur énergie dans toute

la largeur de leur distribution spectrale. $\frac{d\eta}{dE_c}$



Principe de fonctionnement de la colonne GEMINI2 Le MERLIN



La colonne GEMINI1, tel qu'on la connaît maintenant peut délivrer jusqu'à 100nA de courant de faisceau (I_f).

Question posée: comment augmenter le courant I_f sans perdre les qualités intrinsèques de la colonne GEMINI.

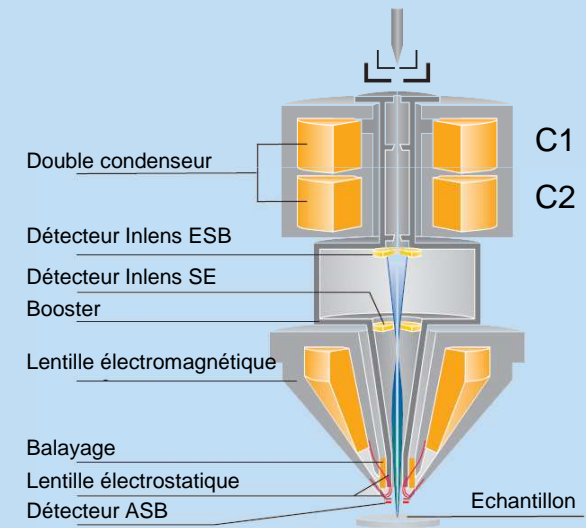
Réponse: développer une colonne GEMINI 2 avec une lentille condenseur supplémentaire et un seul diaphragme.

En effet, deux modes de fonctionnement sont disponibles:

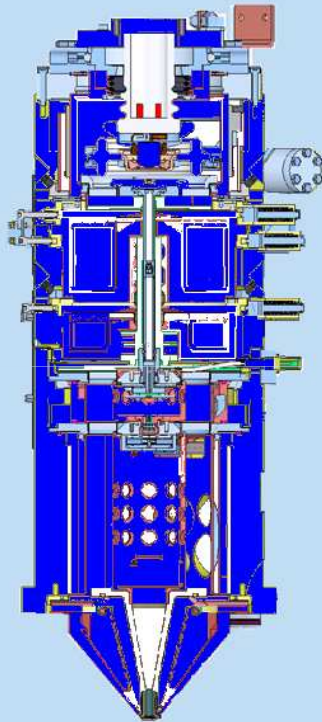
Le Mode non-Crossover dans lequel nous retrouvons Le fonctionnement de la colonne GEMINI1.

Le mode Crossover utilisant C1 et C2, dans 3 Configurations différentes:

- 1 - 10pA. 80nA
- 2 - 10pA. 150nA
- 3 - 10pA. 300nA



Principe de fonctionnement de la colonne GEMINI2 Le MERLIN



La colonne GEMINI1, tel qu'on la connaît maintenant peut délivrer jusqu'à 100nA de courant de faisceau (I_f).

Question posée: comment augmenter le courant I_f sans perdre les qualités intrinsèques de la colonne GEMINI.

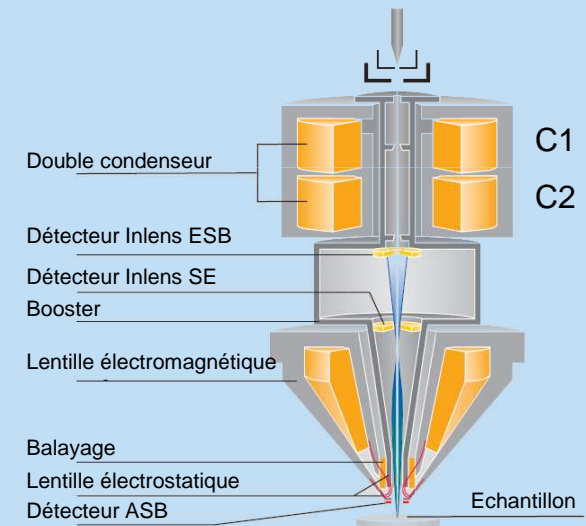
Réponse: développer une colonne GEMINI 2 avec une lentille condenseur supplémentaire et un seul diaphragme.

En effet, deux modes de fonctionnement sont disponibles:

Le Mode non-Crossover dans lequel nous retrouvons Le fonctionnement de la colonne GEMINI1.

Le mode Crossover utilisant C1 et C2, dans 3 Configurations différentes:

- 1 - 10pA. 80nA
- 2 - 10pA. 150nA
- 3 - 10pA. 300nA



Caractéristiques principales du MERLIN



3 configurations sont disponibles:

Type 1 : Gamme de courant	10pA – 80nA
Type 2 : Gamme de courant	10pA – 150nA
Type 3 : Gamme de courant	10pA – 300nA

Gamme de tension: 20V – 30KV

WD: 0,1 – 50mm

Déviaton faisceau: +/- 100µm @ 20 KV WD 8,5mm

Nouveau design de l'électronique, 6 cartes électroniques.

Générateur de balayage 16 bits.

Résolution image pouvant aller jusqu'à 6144 x 4608 pixels (32k x 32k, optionnel).

Détection Inlens SE et BSE

Principe de fonctionnement d'OPTIPROBE



Optiprobe: 2 applications en une:

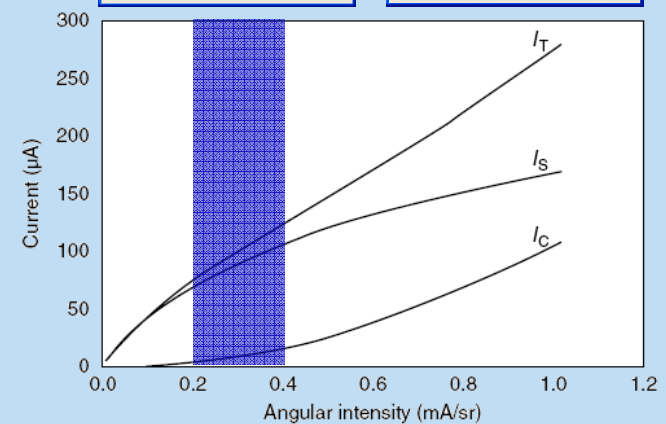
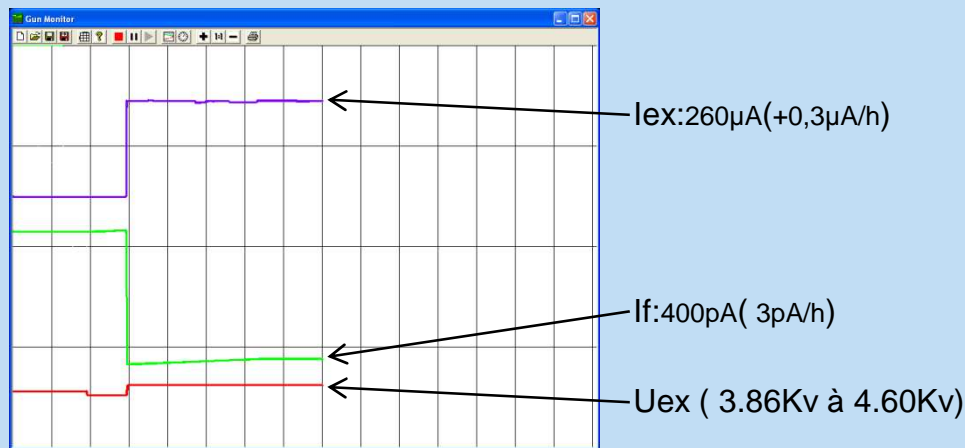
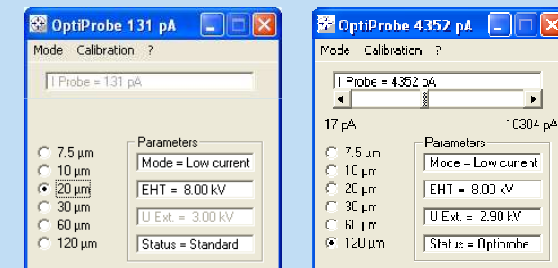
- Sauvegarde des paramètres principaux de la colonne Gemini, alignement du faisceau (canon et diaphragme), astigmatisme, contraste et brillance pour tous les détecteurs, en fonction de la haute tension, de la position diaphragme.
- Variation continue du courant de faisceau.

Principe:

Sauvegarde des paramètres avec utilisation de tableaux croisés et interpolation linéaire en utilisant le polynôme de Lagrange

$$P_n(x) = \sum_{j=0}^n y_j L_j(x) \quad , \quad \text{avec} \quad L_j(x) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq j}}^n \frac{x - x_k}{x_j - x_k}$$

Modulation du courant de faisceau en continu en utilisant les paramètres suivants:
EHT, taille de diaphragme, mode de courant (LC, HC) et tension d'extraction.





Référence:

H.Jaksch (Carl ZEISS NTS)

J.Cazaux (Faculté des sciences de Reims)

D.W.O Heddle (Electrostatic lens system, university of London)

Lyn W. Swanson, Gregory A. schwind et Bohumila Lencová (Handbook of charge particule optics (se) par Jon Orloff)

**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**