



Atto - CeMOX

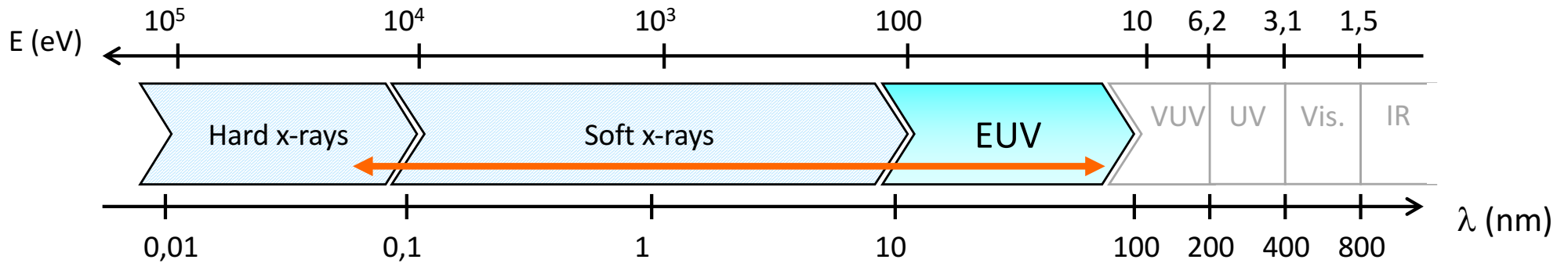


Laboratoire Charles Fabry - groupe Optique XUV

Franck Delmotte (responsable)

Charles Bourassin-Bouchet, Blandine Capitanio (SOLEIL),
Anne-Lise Coutrot, Arnaud Jérôme, Evgueni Meltchakov, Jennifer
Rebellato (doc. CNES/EDOM), Sébastien de Rossi, Marc Roulliy

COPIL ATTOLAB – 27 novembre 2019



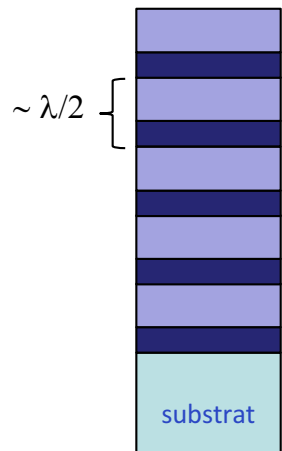
Complex refractive index

$$n = 1 - \delta + i\beta$$

with $\delta < 10^{-1}$ and $\beta < 10^{-3}$

- $\lambda_{\text{EUV}} \sim 10 - 50 \text{ nm}$
- index contrast : $n_{\text{H}}/n_{\text{L}} \approx 1.01$
- absorption length $\approx 10 \lambda$

The XUV Challenges



For $\lambda=10 \text{ nm}$:

$$r_{\text{vacuum/mat}} \sim 10^{-2}$$

$$l_{\text{absorption}} \sim 10\lambda$$

$$\Rightarrow R_{\text{max}} \sim 20\%$$

- Design optimization
- Thickness control and reproducibility ($< 10 \text{ pm}$)
- Ultra-smooth interfaces ($< 0.2 \text{ nm rms}$)
- Surface oxidation or contamination
- Long-term stability

1980 : Nevot & Croce model for interfacial roughness, *Rev. Phys. Appl.* 15, 761

Space missions: SOHO/EIT (1995), STEREO/EUVI (2006)

Solar Physics

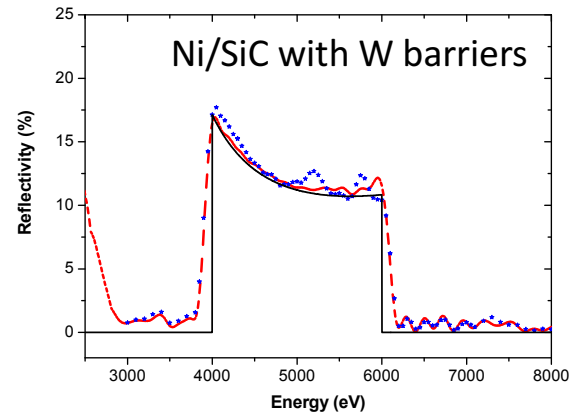
Solar Orbiter mission (2020)

1st dual-band coating for EUV telescope



High Energy Physics

Broadband coatings for x-ray diagnostics



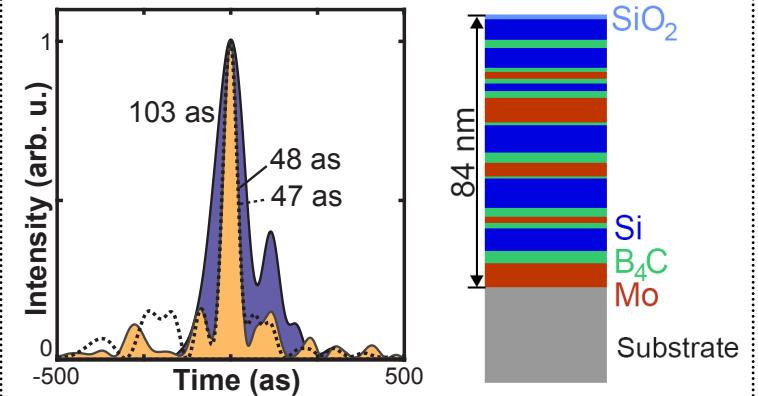
-> LLE (Rochester), LMJ (France)

F. Bridou et al., NIMA 2012

B. Emprin et al., OE 2014

Ultrafast science

- ✓ 1st attosecond pulse compression with ML mirror
- ✓ 1st measurement of ML spectral phase in the x-ray



-> ATTOLAB beamlines (France)

C. Bourassin-Bouchet et al., OE 2011

S. de Rossi et al., OL 2015

Un savoir faire unique

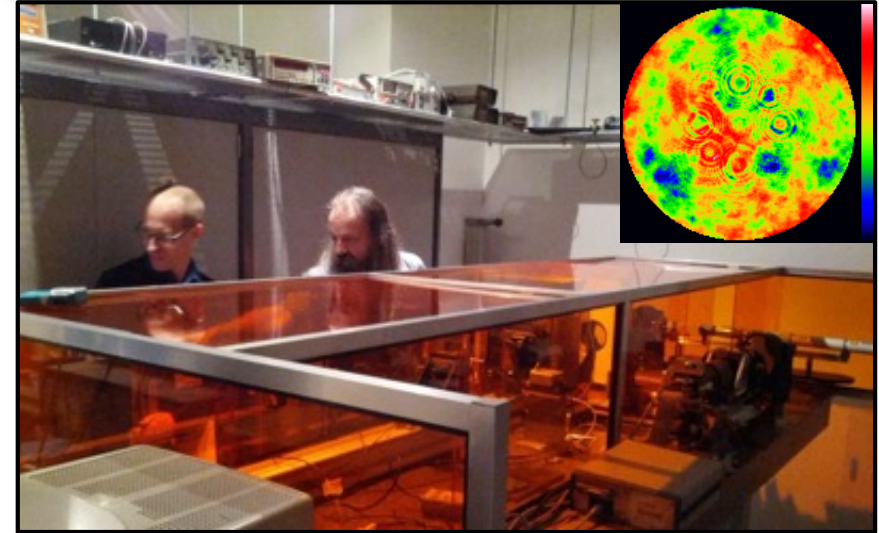
Optical workshop



Ion Beam Aspherization



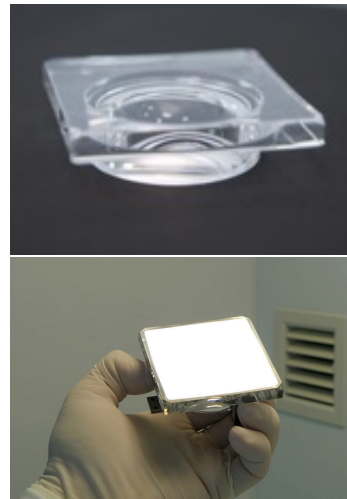
Phase shift Interferometer



Magnetron sputtering



CeMOX



Cu-K α X-ray reflectometry



Couches Minces pour l'Optique X

Convention SESAME IOGS-Région IdF signée le 17 décembre 2012

Laboratoire coordinateur : Laboratoire Charles Fabry (IOGS – CNRS UMR 8501)

Partenaires : Synchrotron SOLEIL et Fédération Lumière-Matière (LUMAT)

Objectifs

- renouveler et moderniser les équipements de la plateforme mutualisée
- étendre le savoir-faire et l'expertise de la plateforme vers les courtes longueurs d'onde
- développer des partenariats industriels
- utiliser la plateforme comme outil de formation

Un nouvel environnement

210 m² dont 90 m² de salle propre ISO 6

bât. N de l'Institut d'Optique à Palaiseau

+

Un nouveau bâti de dépôt de pulvérisation cathodique magnétron pour miroirs de grandes dimensions (350 x 100 mm²)

Budget total : 1 411 000 €

Financements

SESAME : 500 k€

Equipex ATTOLAB : 480 k€

Equipex Morphoscope : 150 k€

SOLEIL : 100 k€

IOGS : 100 k€

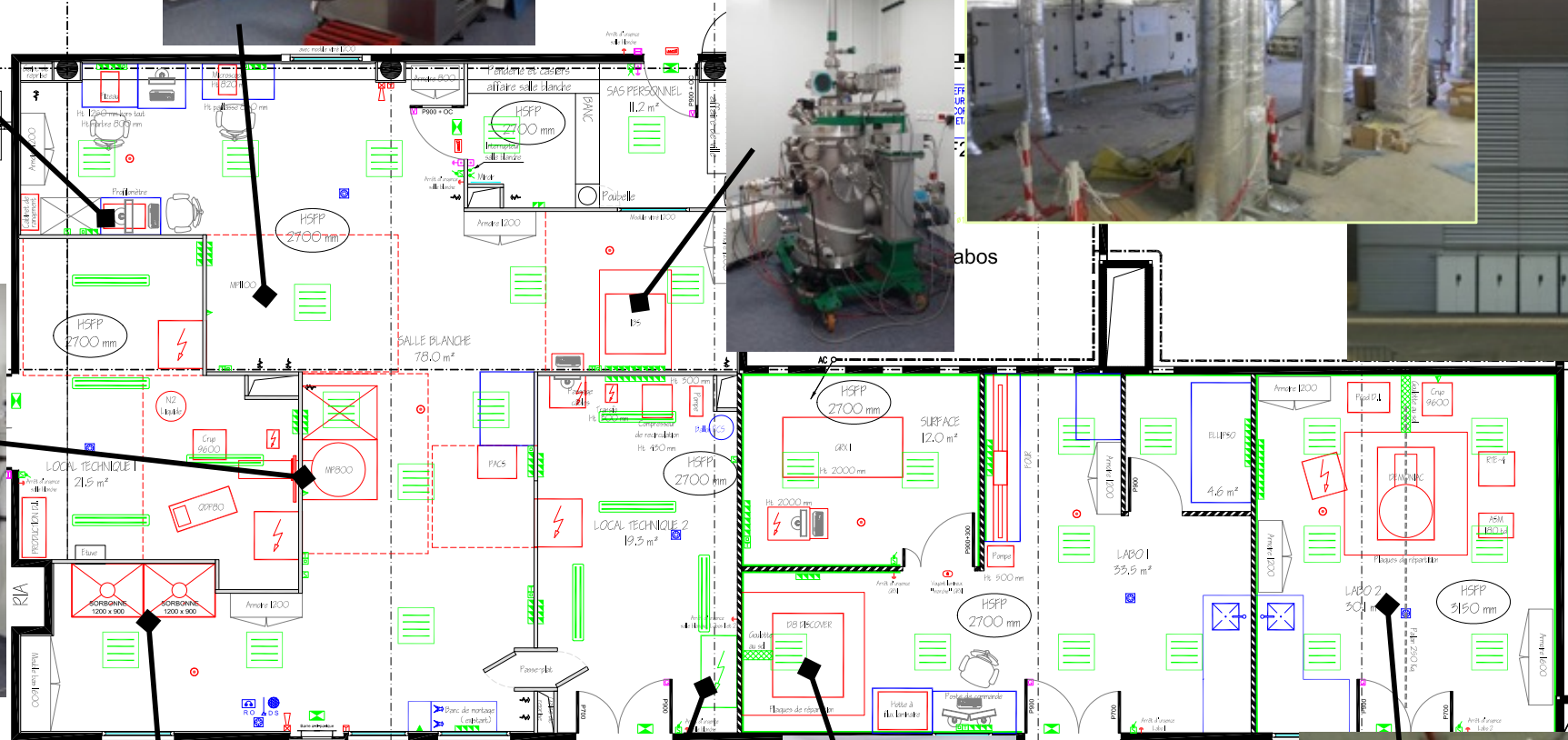
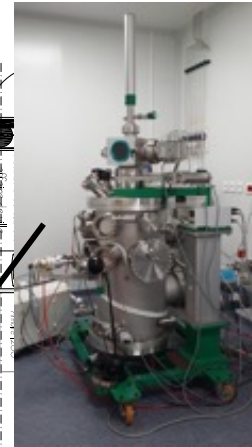
LCF-groupe XUV : 46 k€

CNRS/LUMAT : 20 k€

CNRS/LCF : 15 k€

Centrale de Traitement d'air

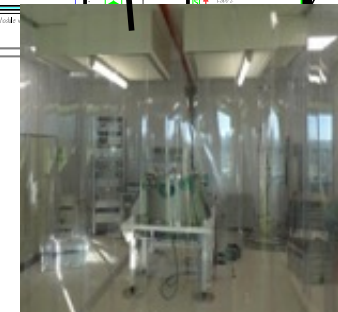
stockage
des gaz



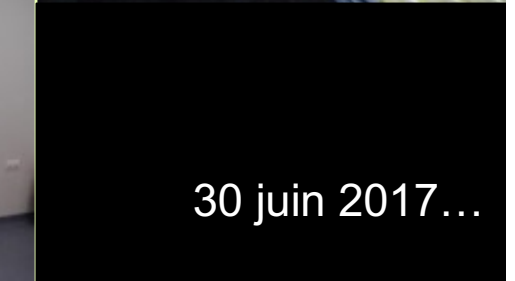
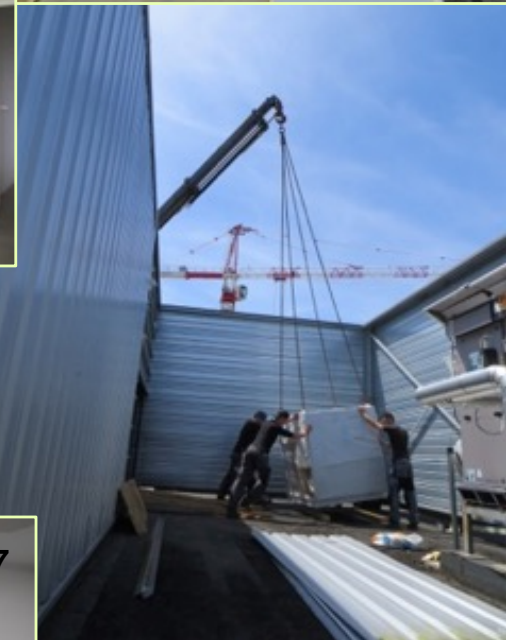
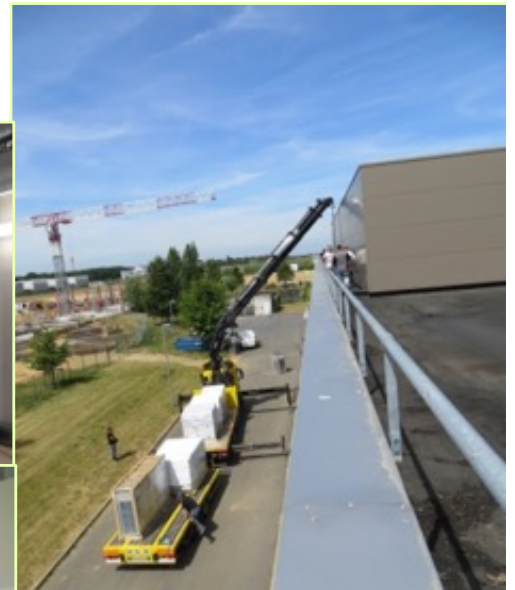
labos

Circulation

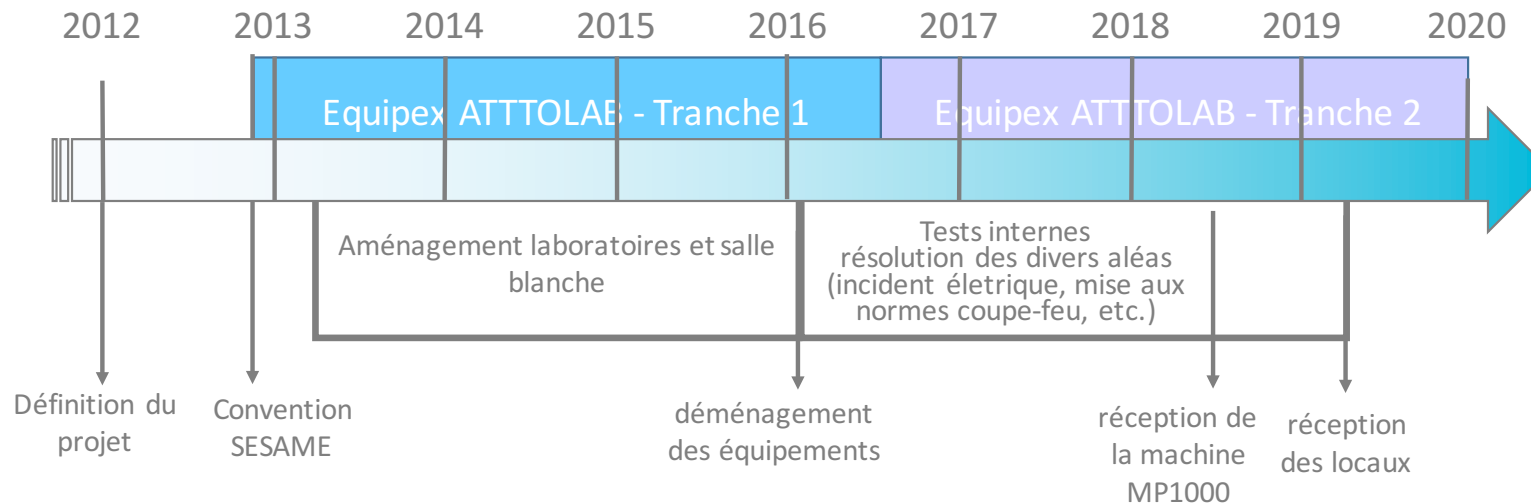
A.E.G.



Le chantier CeMOX

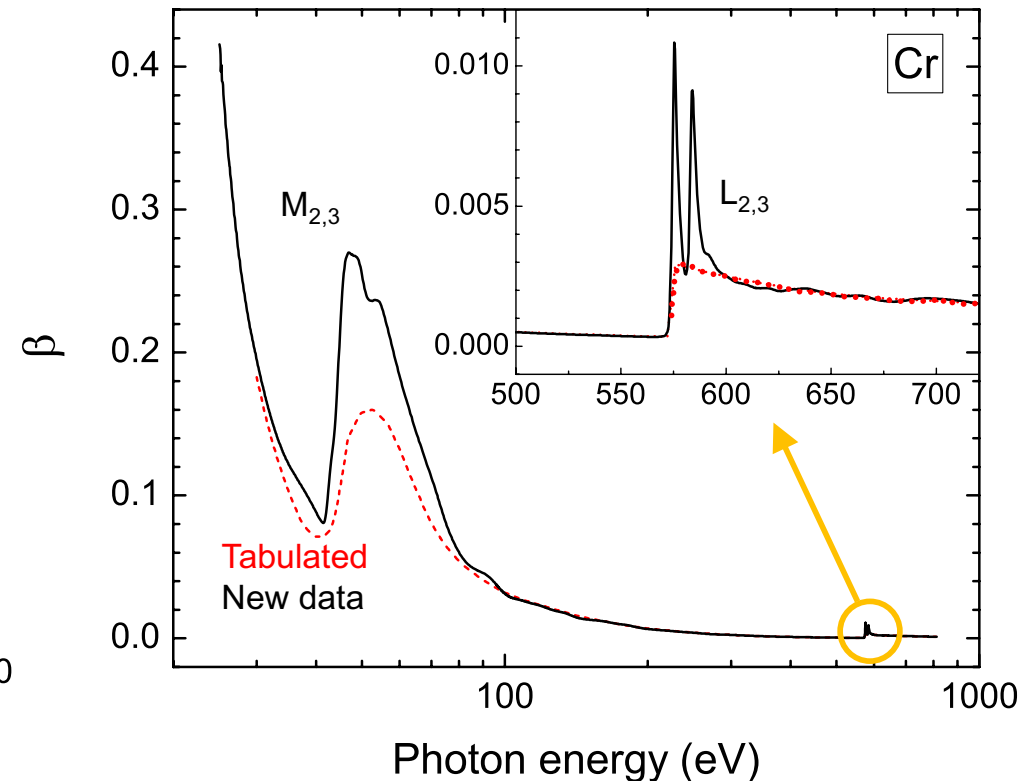
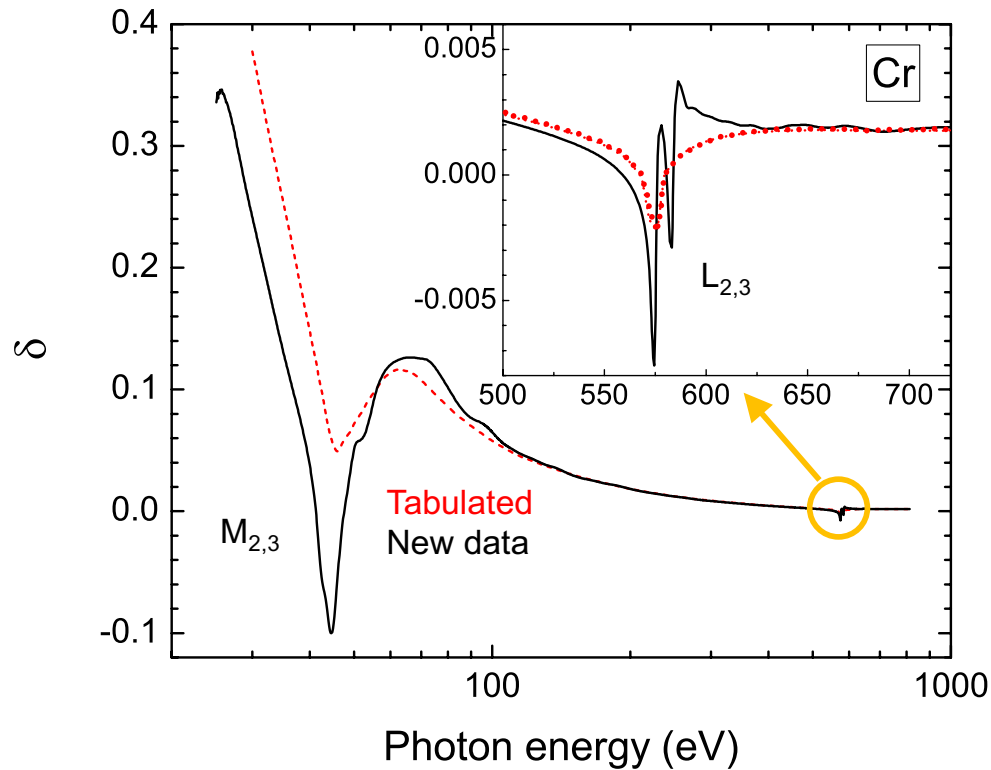






- Choix d'une entreprise pour rédaction du DCE : juin 2013
- Début de la consultation des entreprises : mars 2014
- Comparaison des offres et négociations : juillet-octobre 2014
- Notification du marché à la société Climascience : janvier 2015
- Phase étude et validation par bureau de contrôle : juin 2015
- Démarrage des Travaux : 17 juin 2015
- Déménagement des équipements de la Plateforme CeMOX : déc. 2015 – janv. 2016
- Réception de la machine de dépôt MP1000 chez le fabricant (PLASSYS) : juil. 2017
- *Suite à un incident électrique majeur survenu en juin 2017, la plateforme CeMOX a été à l'arrêt jusqu'en juillet 2018*
- **Réception de la MP1000** dans la salle blanche CeMOX : juillet 2018
- Phase de remise en fonctionnement et test de tous les équipements : juillet 2018 – déc. 2018
- **Réception des travaux** (salle blanche et laboratoires) : 11 février 2019

$$n = 1 - \delta + i\beta$$

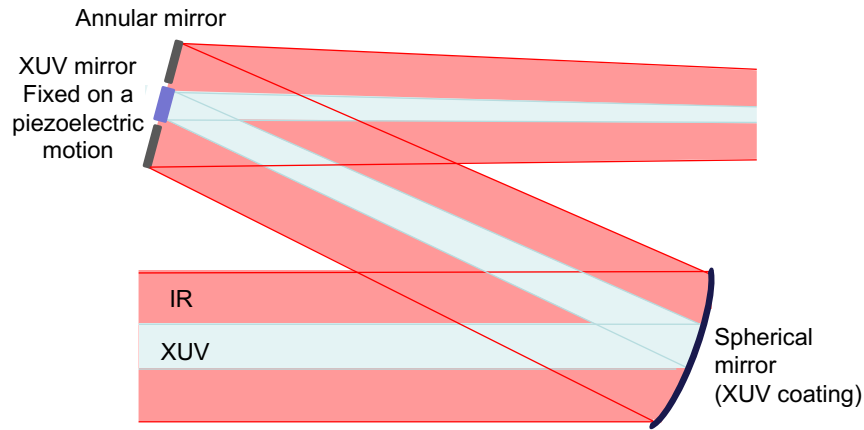


New compilation of Cr (δ , β) values is now available for use

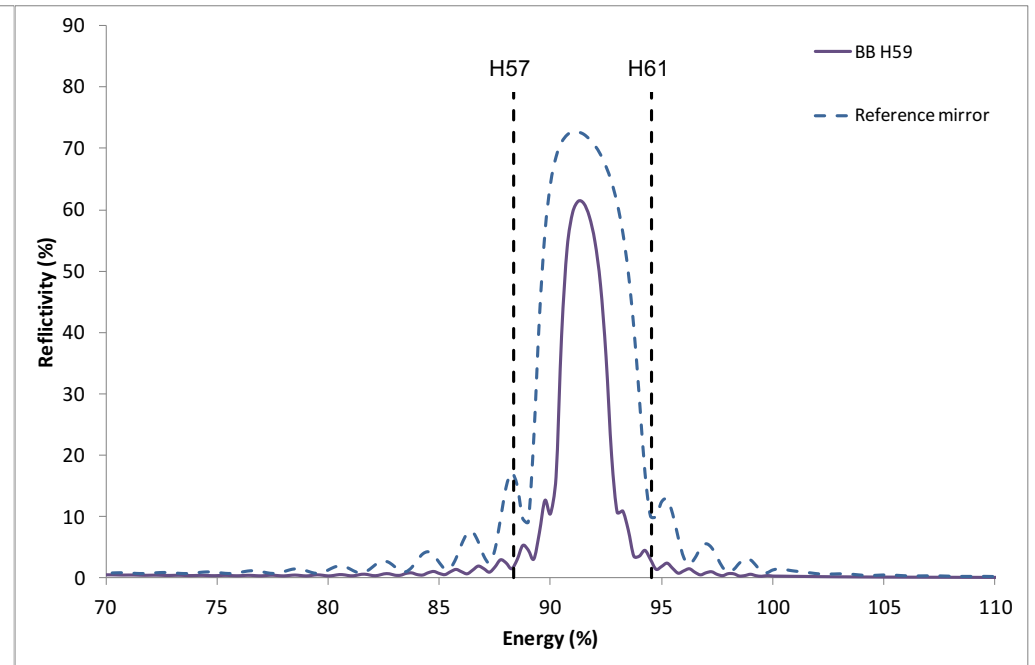
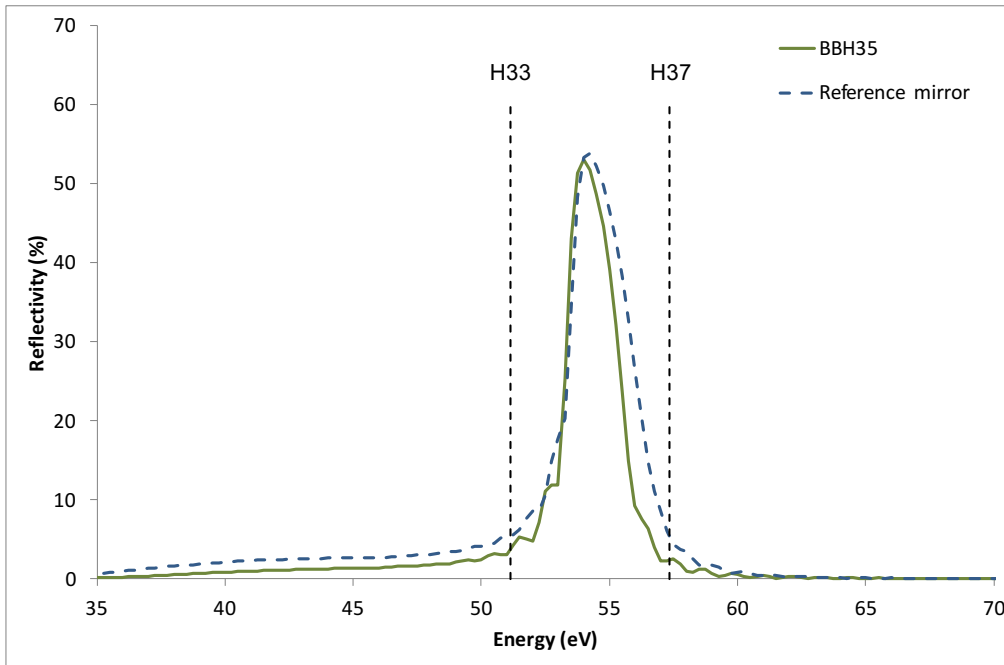
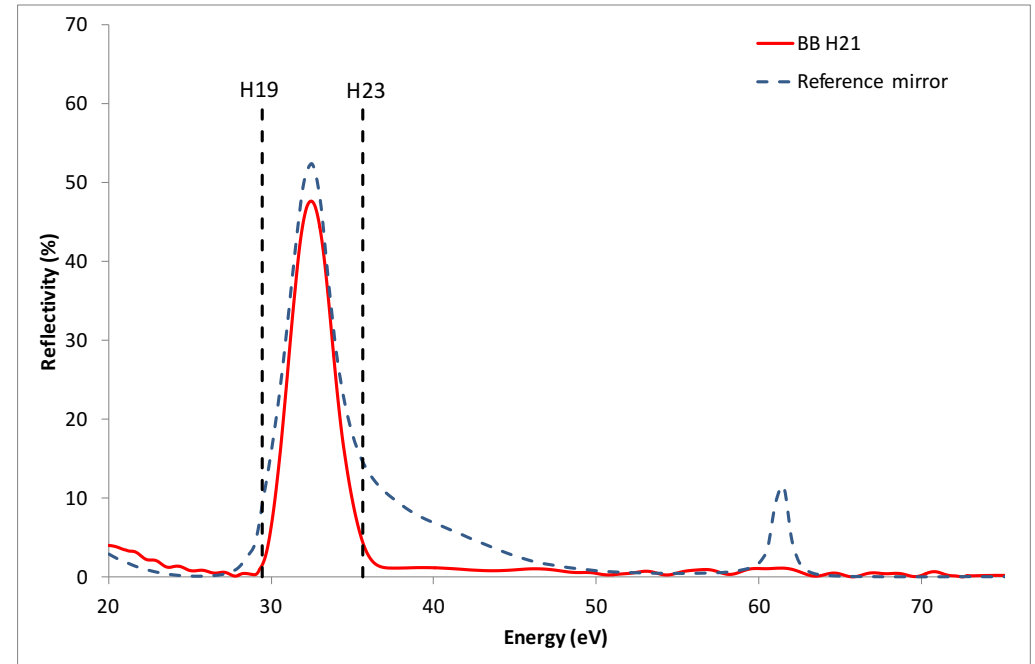
F. Delmotte, J. Meyer-Ilse, F. Salmassi, R. Soufli, C. Burcklen, J. Rebellato, A. Jérôme, I. Vickridge, E. Briand, and E. Gullikson, J. App. Phys 124, 035107 (2018).

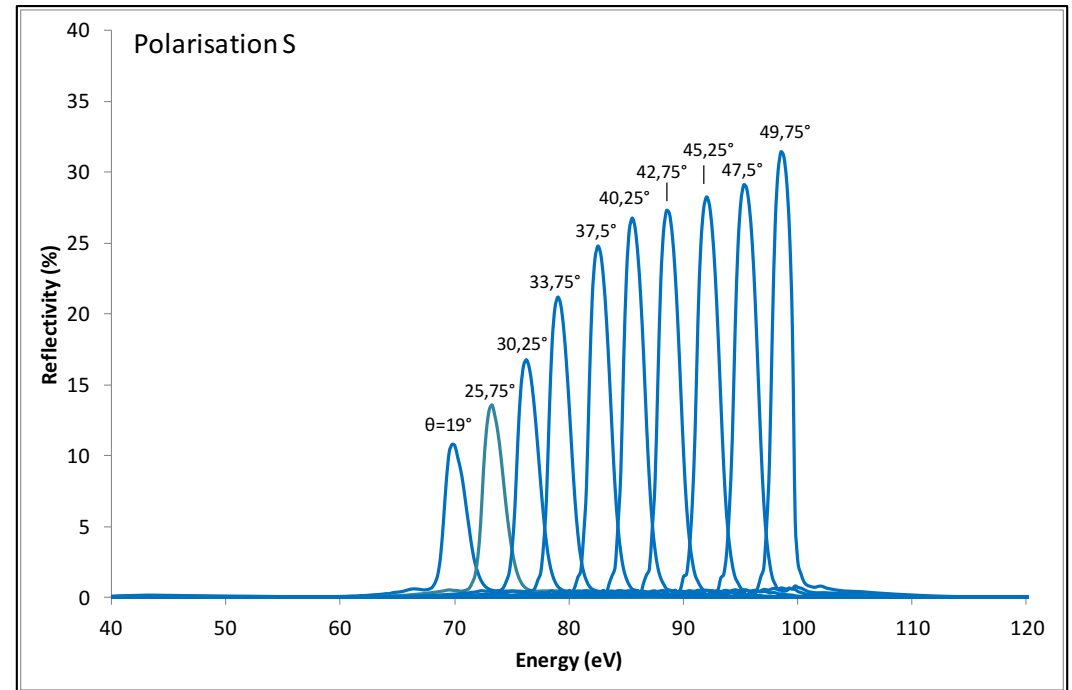
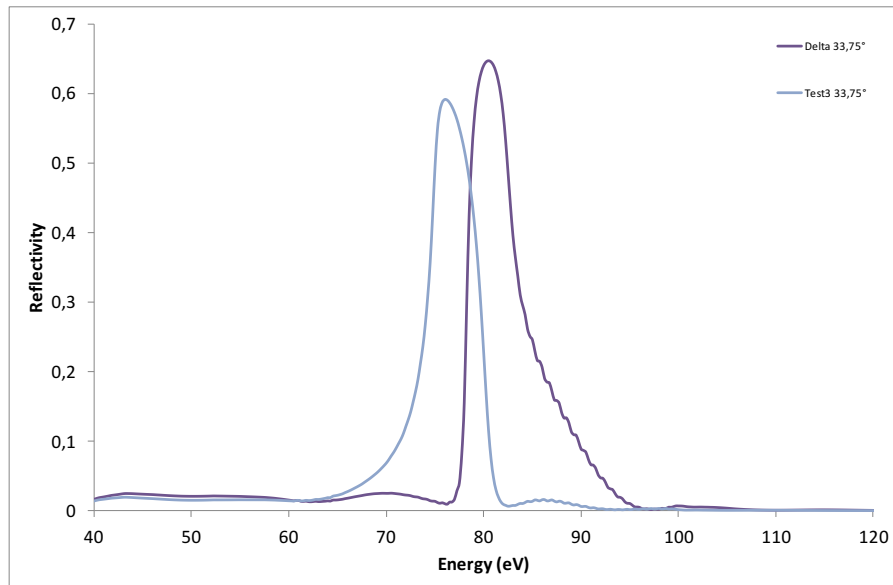
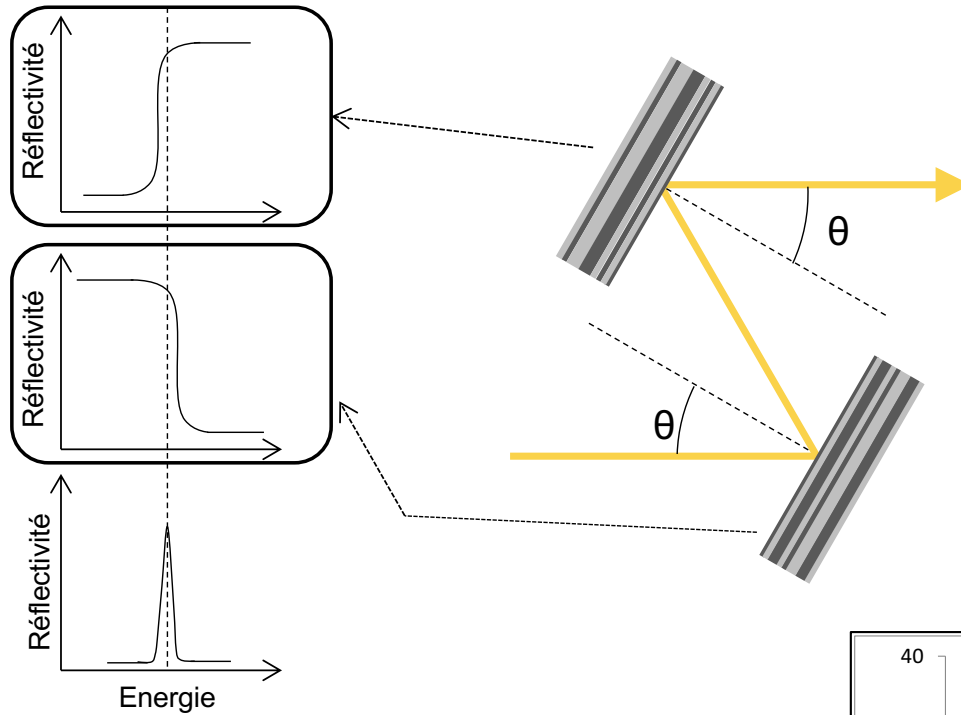
+ optical constants of Pt, W and ...

Optimisation théorique : M. Dehlinger
(Post-doc OPT2X)



Scheme of the delay line

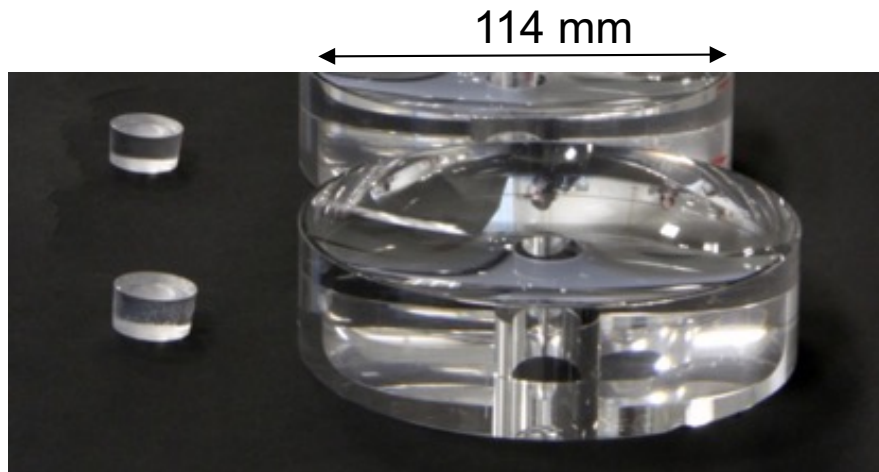




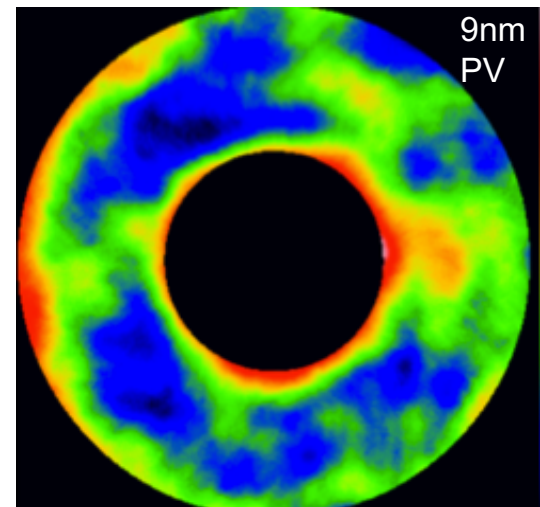


Projet MORPHOSCOPE

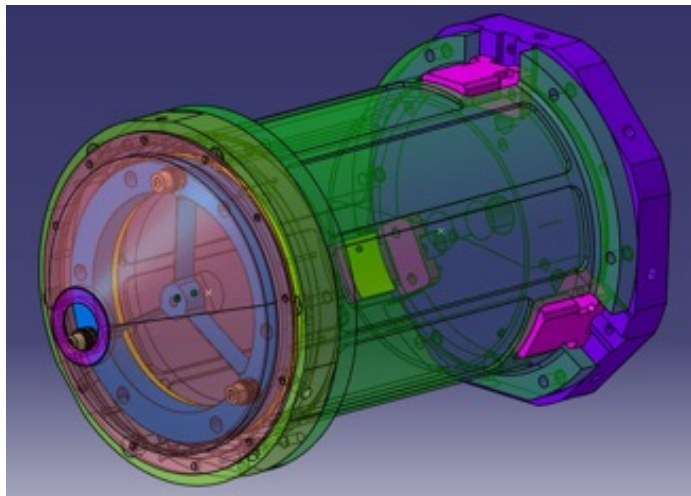
OBJECTIF : réaliser un Nanoscope X



Métrie de précision nanométrique
interféromètre « maison » à décalage de
phase dans le visible

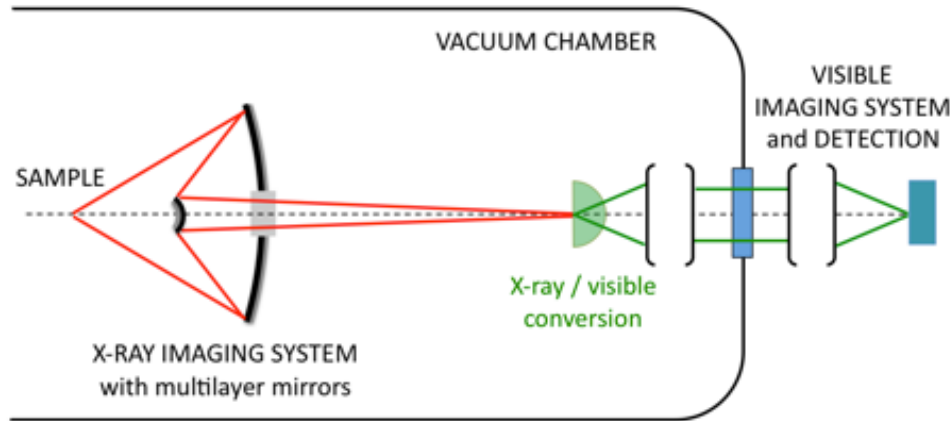


Valeurs rms
Rugosité < 0.1 nm
**Erreur de forme
< 1 nm**





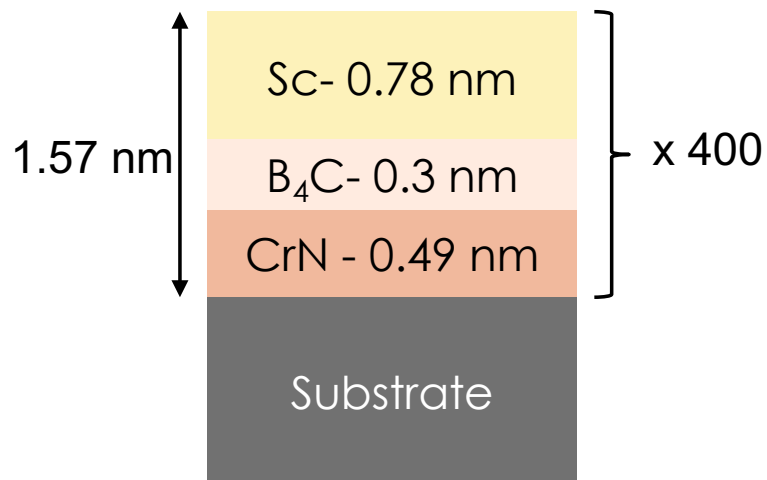
Projet MORPHOSCOPE



$\text{SiO}_2 @ \lambda = 3 \text{ nm}$

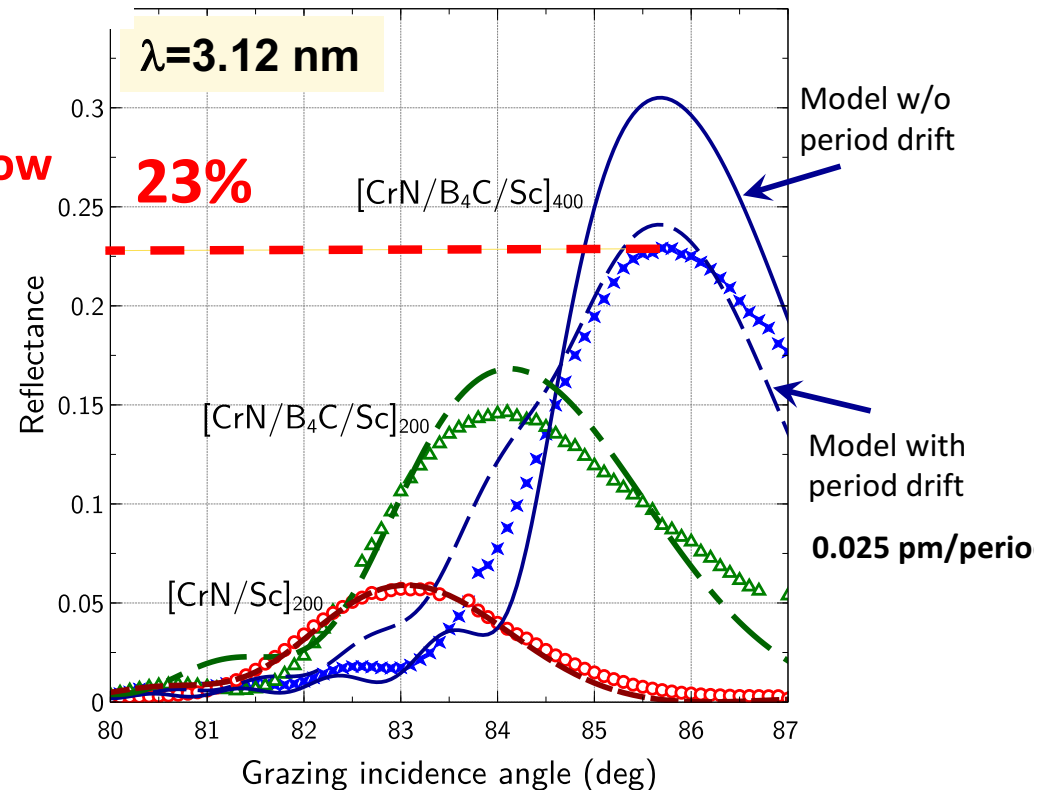
$n \approx 0.9978 + i 0.00045$
 L absorption $\approx 0.5 \mu\text{m}$
 R $\approx 0.0001\%$ (incidence normale)

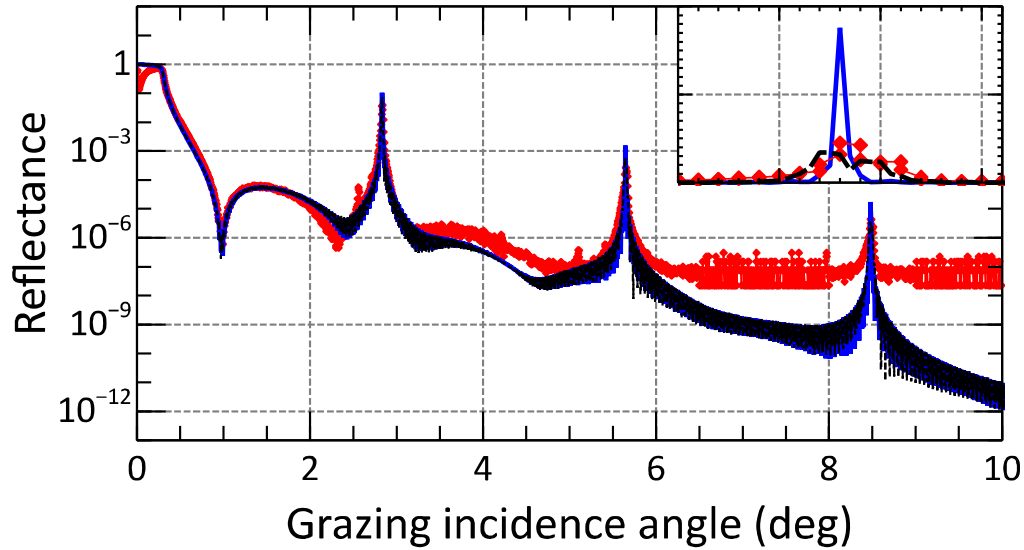
Highest published value of reflectance in the water window



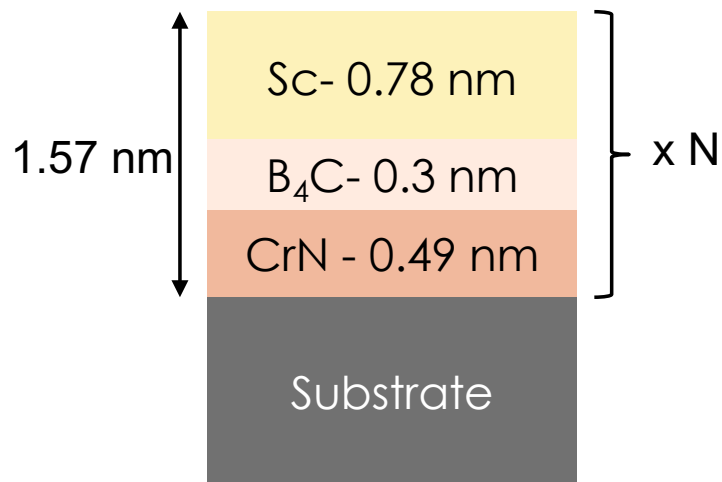
C. Burcklen et al., Opt. Lett. (2017)

Measurements at SOLEIL synchrotron

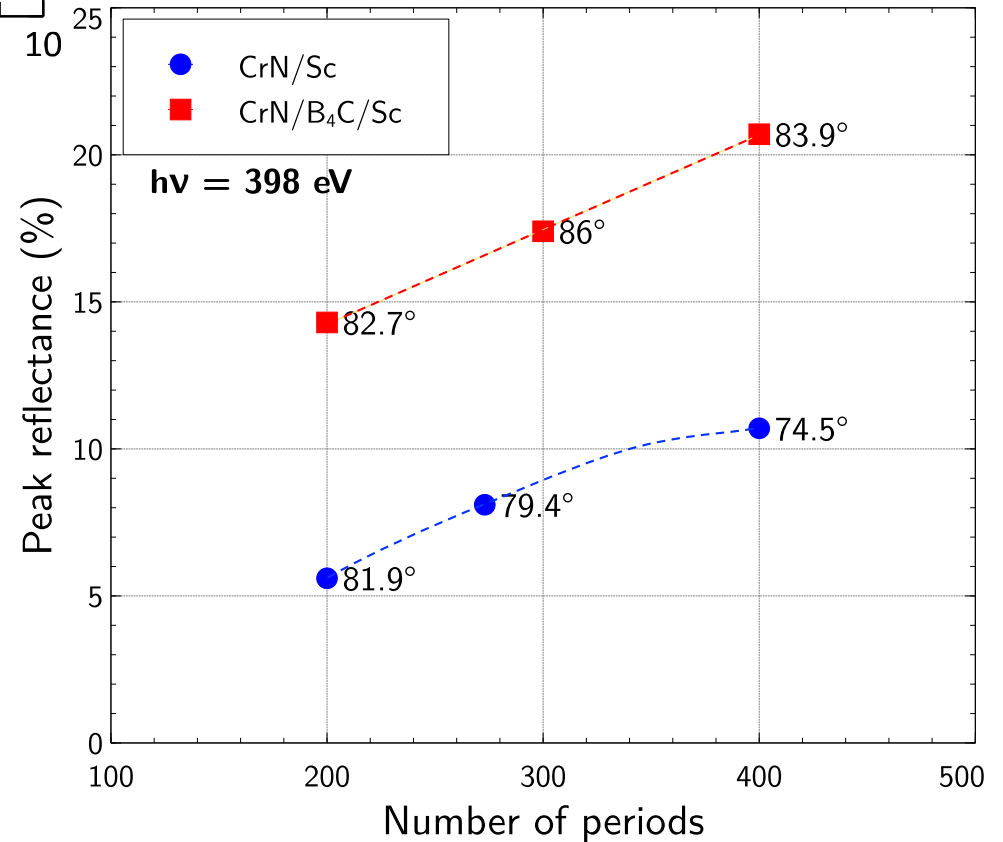




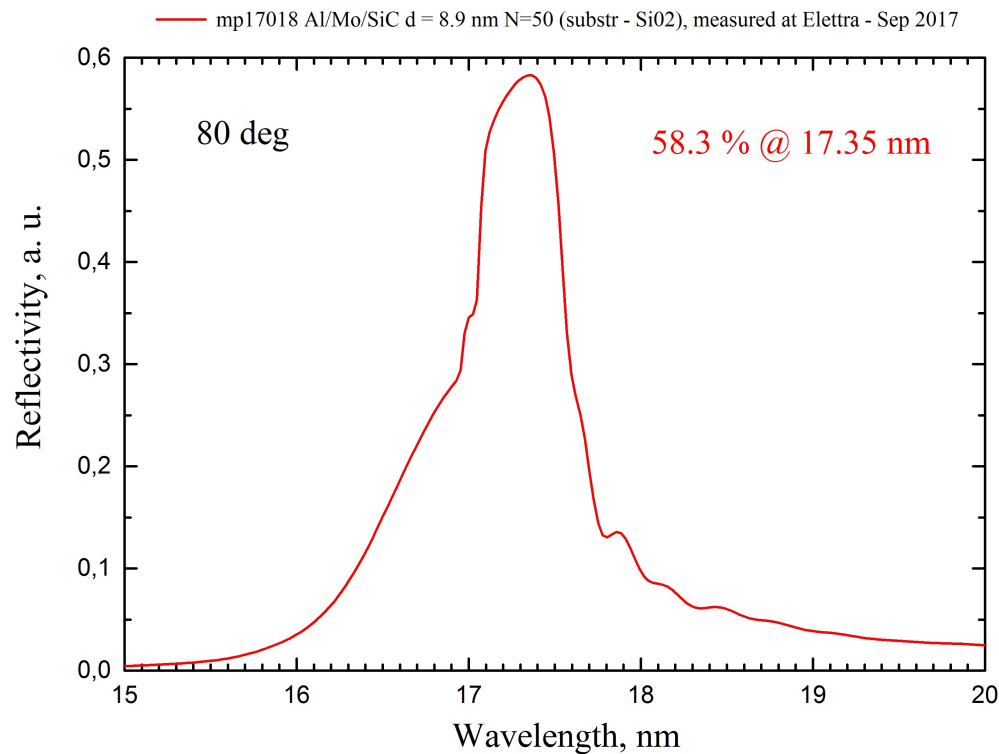
The drift during our deposition process is about 0.025 pm/period



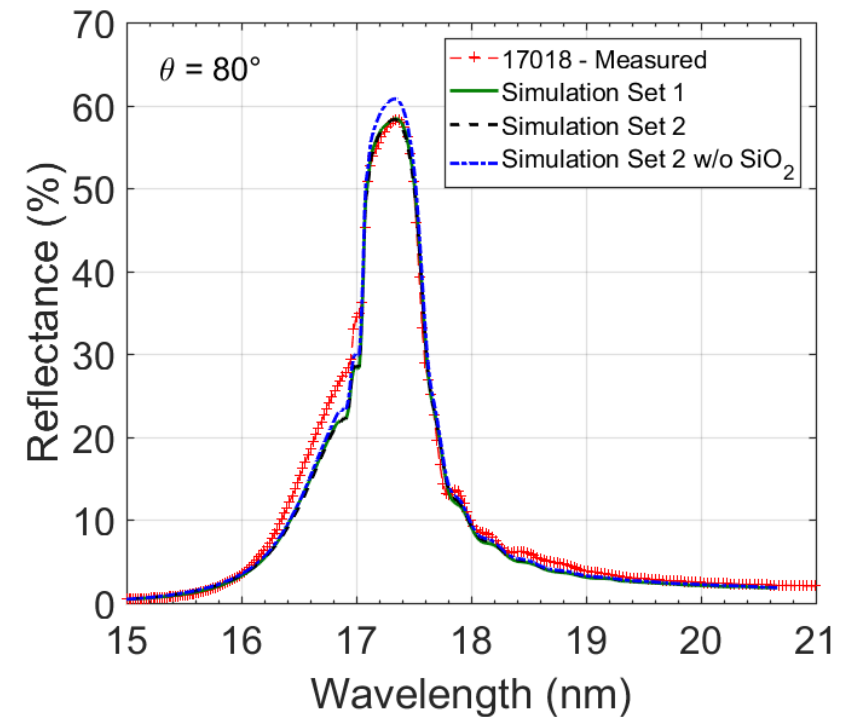
C. Burcklen et al., Opt. Lett. (2017)



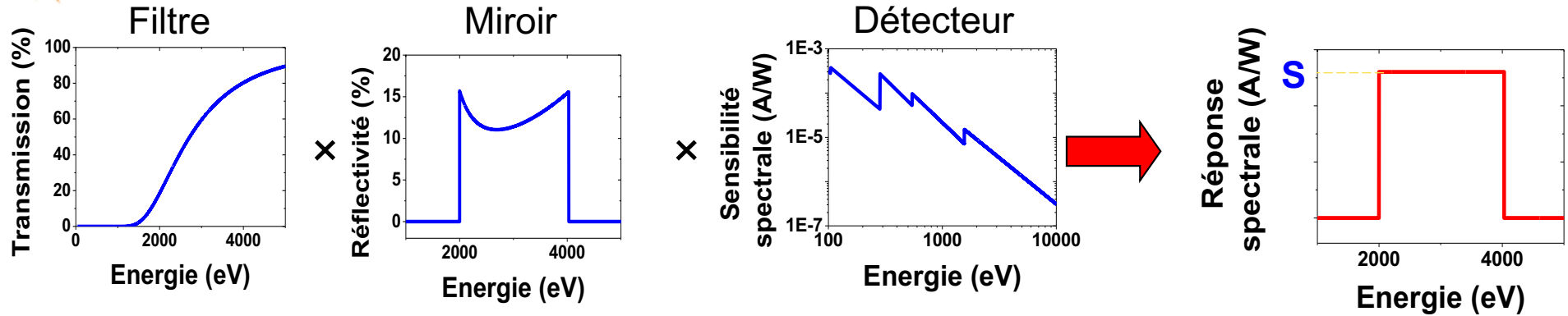
Premiers dépôts à
Palaiseau =
nouveau record !



Compilation & évaluation
des constantes optiques

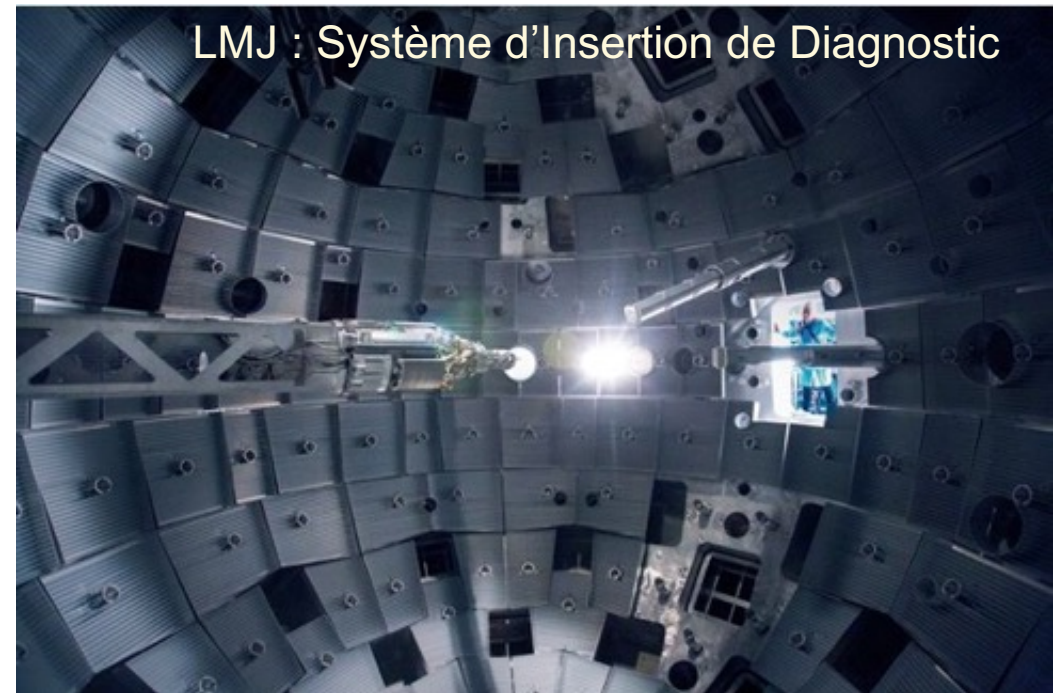
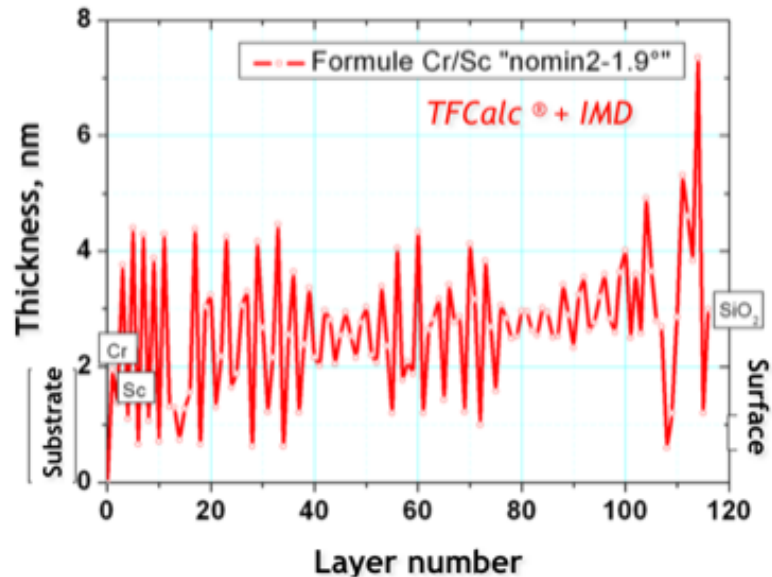


*J. Rebellato et al, SPIE 10691,
106911U (2018).*

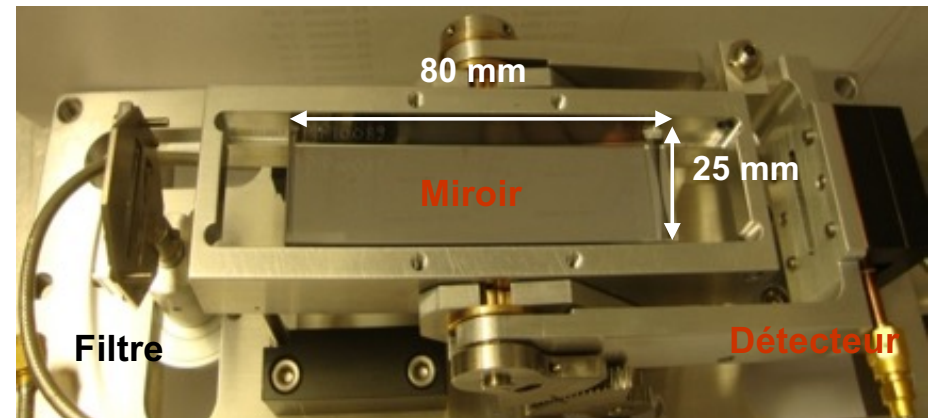
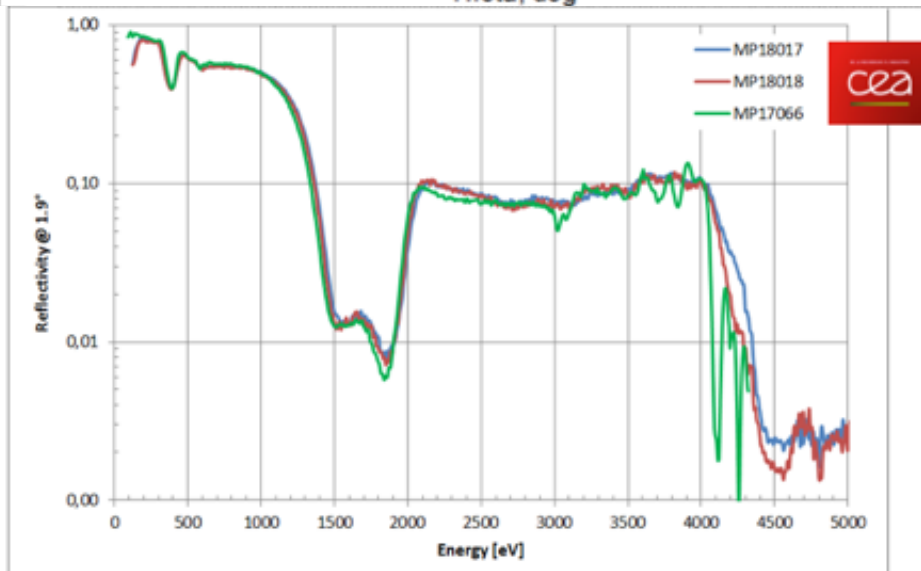
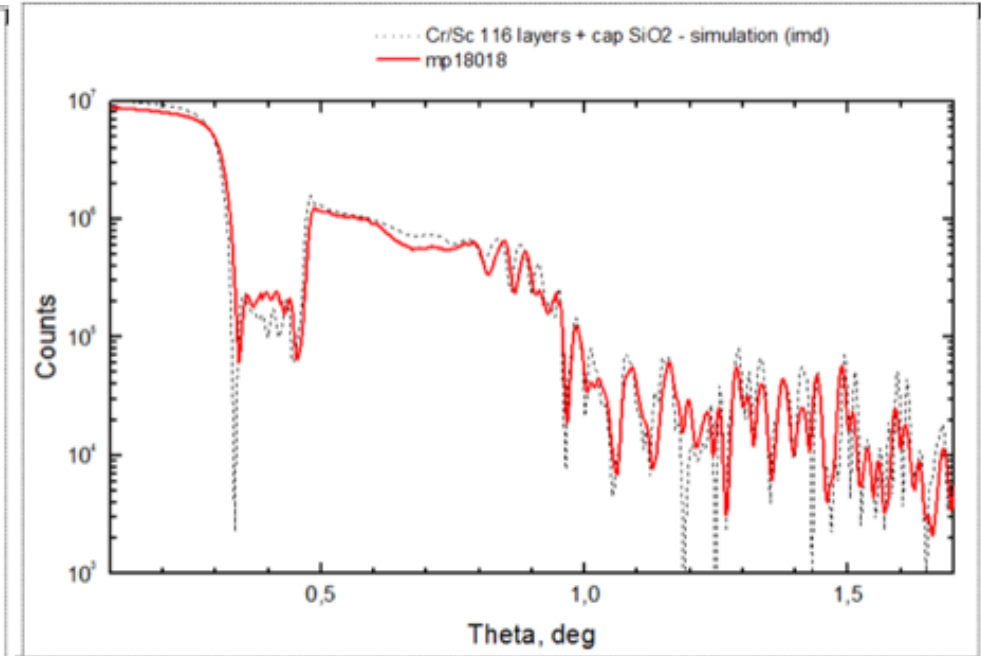
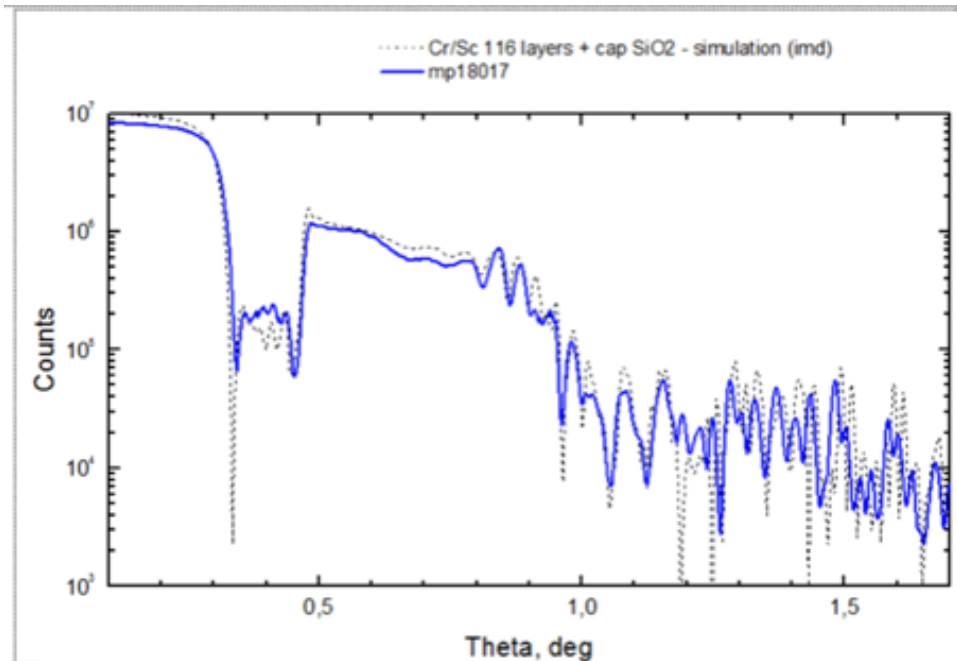


Spectromètre X large-bande à réponse spectrale plate

Thèse de Benoit Emprin (2014)
Coll. CEA Bruyère le Chatel



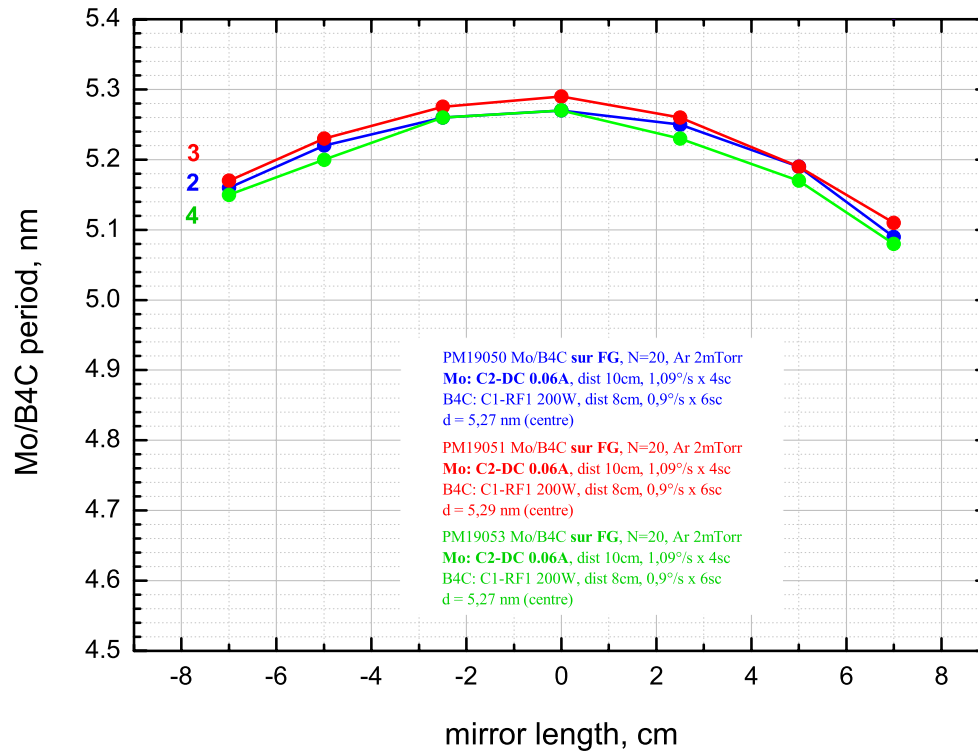
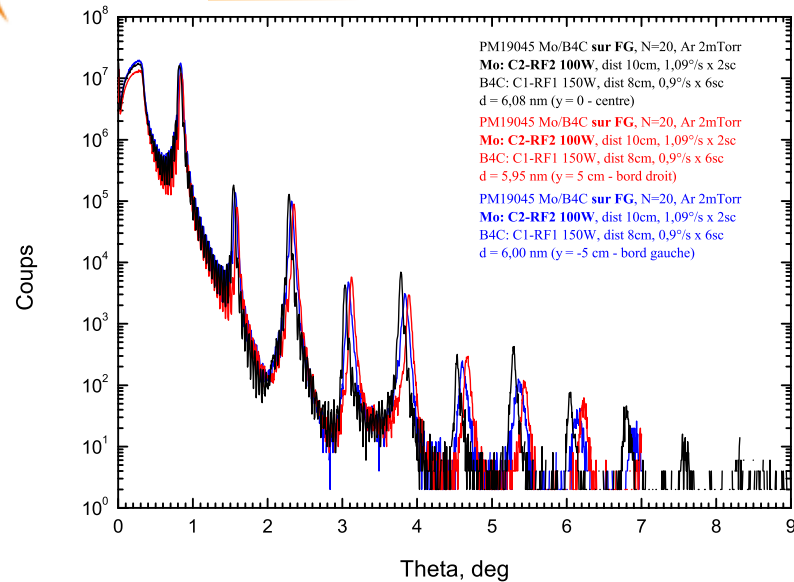
Grazing x-ray reflectivity measurements (8 keV)



Reflectivity spectra measured with x-ray source Manson of CEA

- LaserIX : 10 miroirs de transport de faisceau à 17,4nm, 18,9nm et 32,6nm
- Institut Lumière Matière (Lyon) : 1 miroir à 32nm
- CEA-LIDYL-Attophysics : revêtement d'1 miroir parabolique à 32nm
- CEA DAM : 4 miroirs large bande pour les diagnostics plasma LMJ
- CEA DAM : étude de miroirs X à base de Pt (en cours)
- Etude multicouche pour ligne à retard FAB10 (en cours)
- Etude et optimisation de nouvelles structures multicouches (Thèse de J. Rebellato, CNES/EDOM) - Record de réflectivité à 44,7 nm : 57,5 %

MP1000 après ~70 dépôts



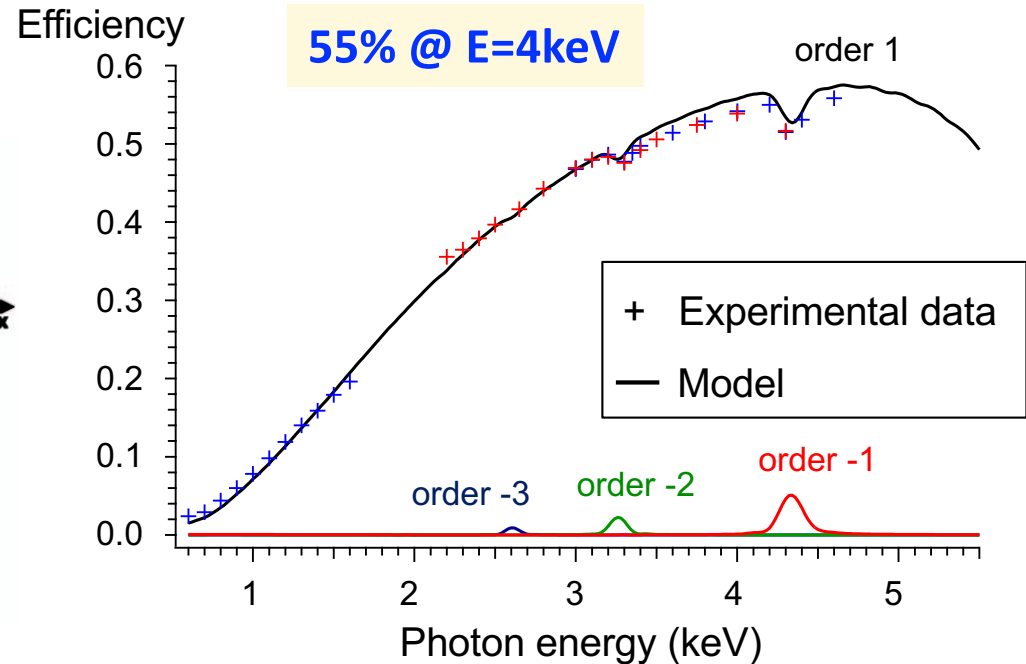
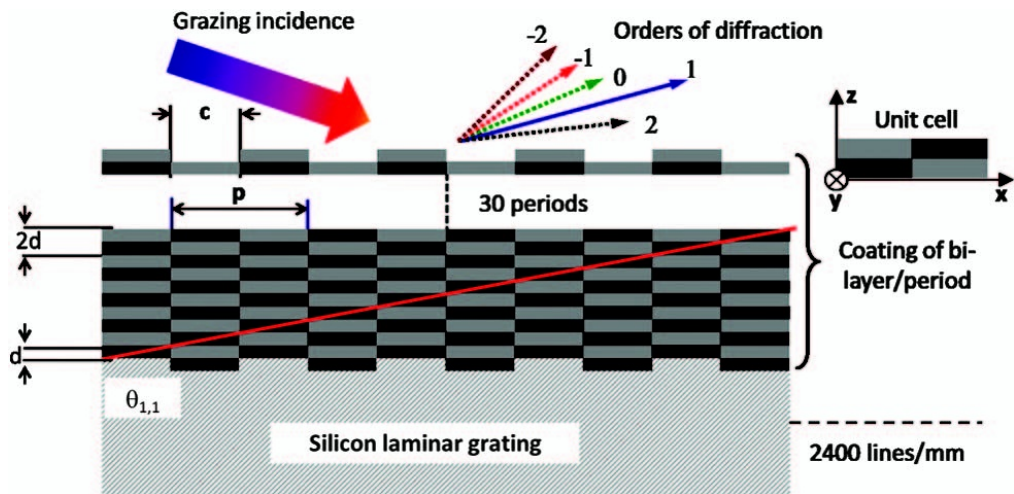
Uniformité $\pm 1,7\%$ sur 140 mm

Reproductibilité meilleure que 0,4%



Cr/B₄C alternate multilayer grating for tender X-rays

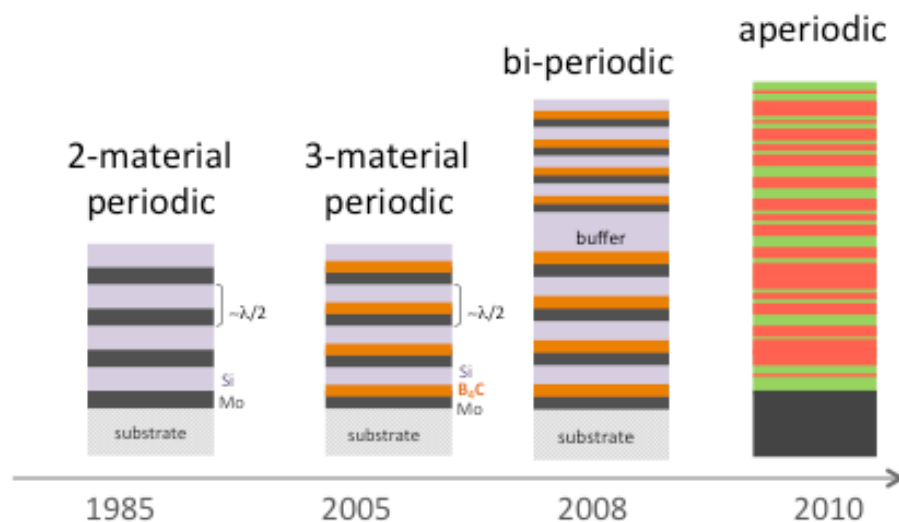
F. Chouekani et al., OL 2014
F. Polack et al., PXRNMS 2018



3 SOLEIL beamlines are now equipped with alternate multilayer gratings !

- ✓ Optimization of **deposition process** for new material combinations
- ✓ Physico-chemical properties of **sub-nanometric layers and interfaces**
- ✓ Accurate knowledge of thin film material **optical constants**

Historical evolution of XUV ML structures



- ✓ **2D multilayer structures**
- ✓ **ultra-short period multilayers**
- ✓ **Narrowband mirrors**
- ✓ **Mirrors with enhanced spectral purity**
- ✓ **Broadband mirrors**
- ✓ **Broadband mirrors with control of the spectral phase**

- CeMOX est une plateforme du LCF, recensée comme plateforme technologique de l'Université Paris-Saclay (ancienne plateforme LUMAT)
- Ouverte aux laboratoires partenaires pour l'accueil de personnel (doc, post-doc, ingénieurs) et/ou la réalisation d'optiques XUV
- Frais de fonctionnement de l'environnement « salle blanche » pris en charge en partie par le LCF
- Principe d'auto-financement pour les frais de fonctionnement des équipements (mis en œuvre avec succès depuis 2004), facturation pour les réalisations et l'utilisation des équipements pour les projets de recherche
- Jouvence des équipements par des appels à projets (LUMAT, PALM, PhOM, ERM UPSud, ...)



**14ème Colloque sur les Sources Cohérentes et Incohérentes UV, VUV et X
du 11 au 15 mai 2020 à Amiens**

