



Développement de composants optiques de grande taille pour laser multi-PW

Adrien HERVY

Reosc Saint Pierre du Perray France

Marseille 18 Mars 2016

Journée Couches Minces Optiques



Développement de composants optiques de grande taille pour laser multi-PW

Adrien Hervy¹, Daniel Mouricaud¹, Slimane Djidel¹

¹SAFRAN-Reosc, Saint Pierre du Perray, France

Gilles Chériaux², Antoine Fréneaux², Jean-Paul Chambaret², Catherine Leblanc²,
Matthieu Somekh², François Mathieu²

²Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, CNRS, Ecole Polytechnique, CEA, Université Paris-Saclay, Palaiseau, France

Laurent Gallais³, Nicolas Bonod³

³Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, Marseille, France

Arnaud Cotel⁴, Frederic Desserouer⁴,

⁴HORIBA Jobin Yvon, Longjumeau, France

Olivier Uteza⁵, Raphael Clady⁵, Marc Sentis⁵

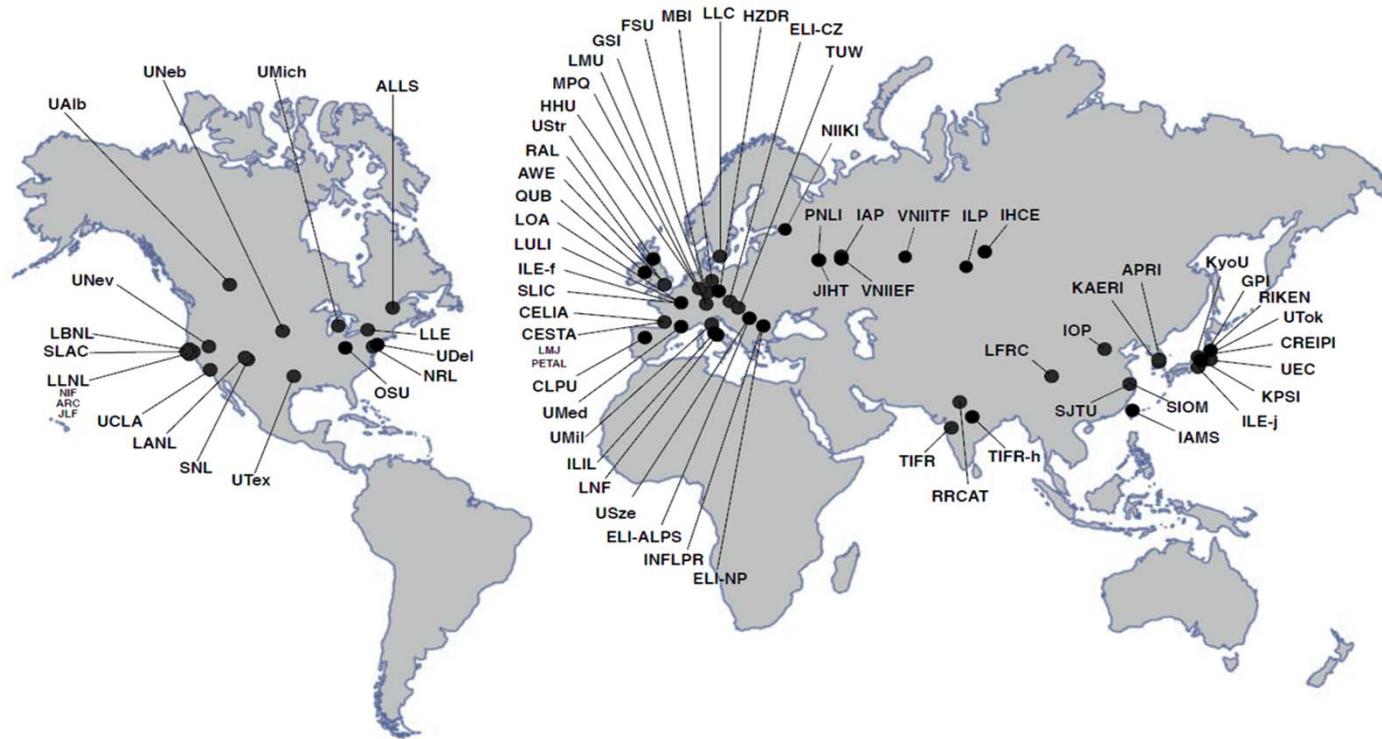
⁵Aix Marseille Université, CNRS, LP3 UMR 7341, Marseille, France

Journée Couches Minces Optiques – Institut Fresnel, Marseille – 18 Mars 2016

PLAN DE LA PRESENTATION

- Le contexte des lasers de haute puissance
- Développements de traitements pour le transport de faisceaux multi-petawatt
- Application des traitements sur des composants opto-mécaniques de grande dimension
- Réseaux de diffraction de nouvelle génération

LA COURSE AUX LASERS DE PUISSANCES



Evolution permanente de la densité puissances sur cible

1960
 10^{10} W/cm²

1990
 10^{15} W/cm²

→ 1PW = 10^{15} W
→ 1 fs = 10^{-15} sec

Forte densité d'installations laser en Europe

- PETAL 1.2 PW
- APOLLON 10 PW
- ELI N x 10 PW

2020?

2000
 10^{20} W/cm²

POUR QUELLES APPLICATIONS ?

Accélération de particules

- Thérapies contre le cancer



Transmutation d'éléments radioactifs

- Traitement des déchets nucléaires



Fusion de noyaux atomiques

- Nouvelle source d'énergie



Déclenchement de la foudre

Simulation d'étoiles, de supernovæ ou de cœurs de planète en laboratoire

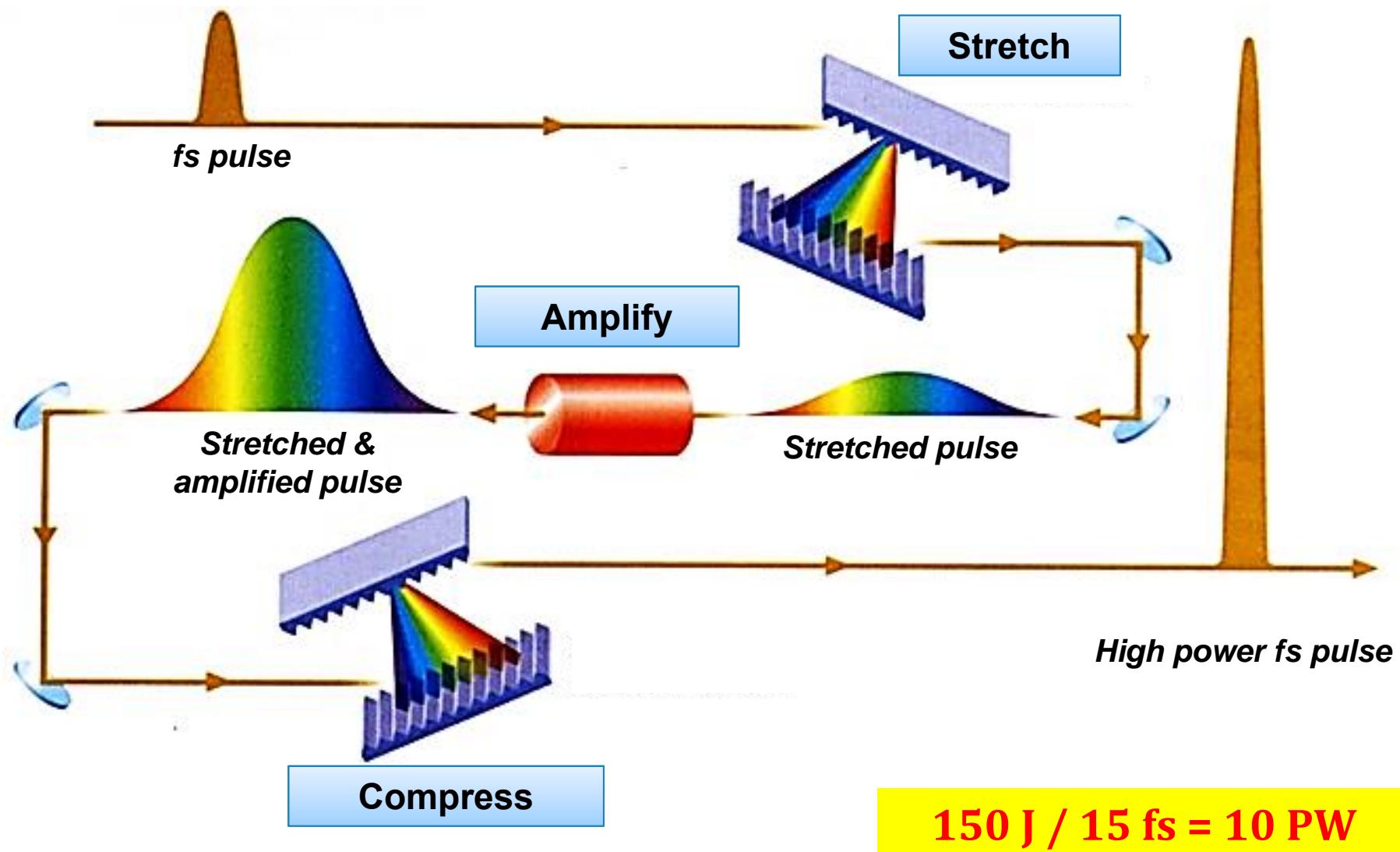


✓ Recherche fondamentale

✓ Démonstration des principes physiques

✓ Génération de sources secondaires

AMPLIFICATION D'UNE IMPULSION FEMTOSECONDE



Strickland et Mourou, Opt.Comm. **56**, 219 (1985)

TRANSPORT ET FOCALISATION DU FAISCEAU

Résistance au flux laser

Large spectre

Haute réflectivité

Faible dispersion chromatique

Grande dimension

Sous vide

NON EXISTANT IL Y A 3 ANS !

TRANSPORT ET FOCALISATION DU FAISCEAU

LASER HAUTE ENERGIE

nanoseconde

Très haute tenue au flux laser

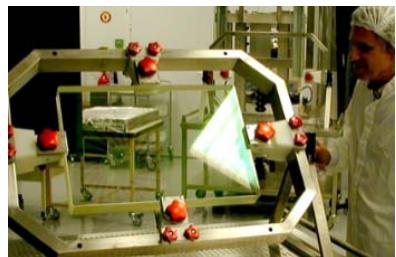
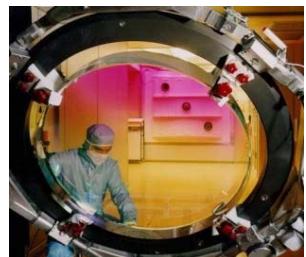
100 J/cm²

Quasi monochromatique

Quelques nm

Grandes optiques

Ø1000 mm



LASER ULTRA-FAST

femtoseconde

Faible tenue au flux laser

< 0.1 J/cm²

Très large spectre

200 nm

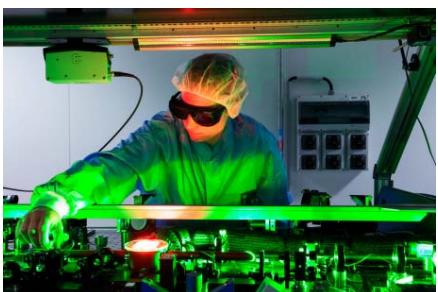
Petits composants

1" – 2"

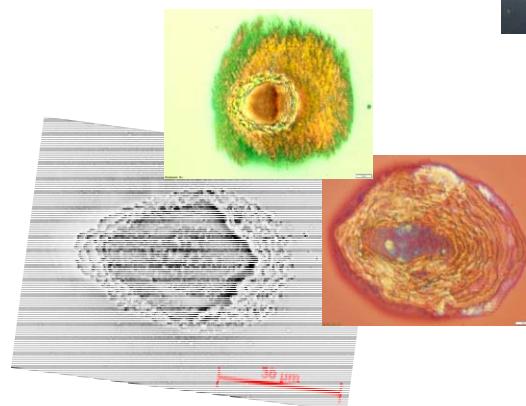
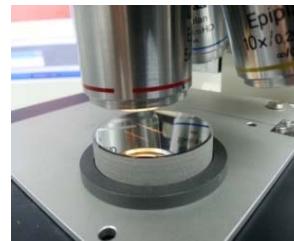


UNE COLLABORATION D'EXPERTS RECONNUS

Développement & utilisation
des lasers de puissance



Caractérisations de
couches minces optiques



Etude de
l'endommagement laser



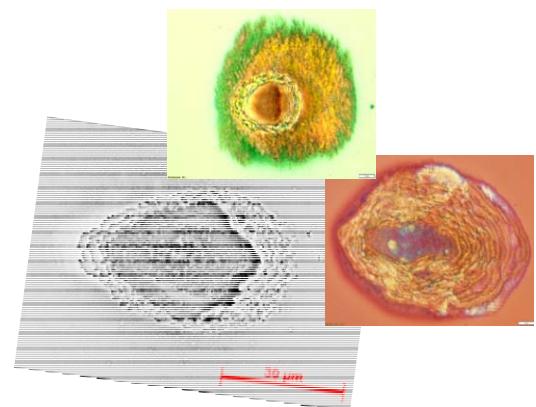
DONNEES DE LA LITTERATURE

Matériaux	Épaisseur	Techno.	λ_{test} (nm)	τ_{test} (fs)	TFL (J/cm ²)
SiO ₂	6λ/4 à 800nm	IBS	800	500	4.75
SiO ₂	-	IBS	1030	500	4.28*
Al ₂ O ₃	6λ/4 à 800nm	IBS	800	500	3
Sc ₂ O ₃	2λ/4 à 1064nm	IBS	1030	500	3.1*
HfO ₂	6λ/4 à 800nm	IBS	800	500	2.25
HfO ₂	-	DIBS	1030	500	1.31*
HfO ₂	-	RLVIP	1030	500	1.74*
HfO ₂	-	EBD	1030	500	1.89-2.02*
HfO ₂	-	EBD-IAD	1030	500	1.80*
HfO ₂	λ/4 à 800nm	DIBS	800	300	1
HfO ₂	6λ/4 à 800nm	IBS	800	50	1
HfO ₂	λ/4 à 800nm	EBD	800	50	1.5
HfO ₂	λ/4 à 800nm	DIBS	800	50	0.5
Ta ₂ O ₅	6λ/4 à 800nm	IBS	800	500	1.5
Ta ₂ O ₅	-	MS	1030	500	0.74*
Ta ₂ O ₅	-	DIBS	1030	500	1-1.05*
Ta ₂ O ₅	λ/4 à 800nm	IBS	800	50	0.7
Ta ₂ O ₅	6λ/4 à 800nm	IBS	800	50	0.6
Nb ₂ O ₅	-	IBS	1030	500	0.77*
TiO ₂	6λ/4 à 800nm	IBS	800	500	1
TiO ₂	440nm	IBS	800	130	0.4
TiO ₂	6λ/4 à 800nm	IBS	800	100	0.5

Compilation de données de la littérature

- ✓ Majorité des données issue de traitements IBS
- ✓ Grande dispersion de valeurs
- ✓ Exploitation difficile par manque de données

➤ Quel critère de dommage?



MAITRISE DES DÉPÔTS COUCHES MINCES



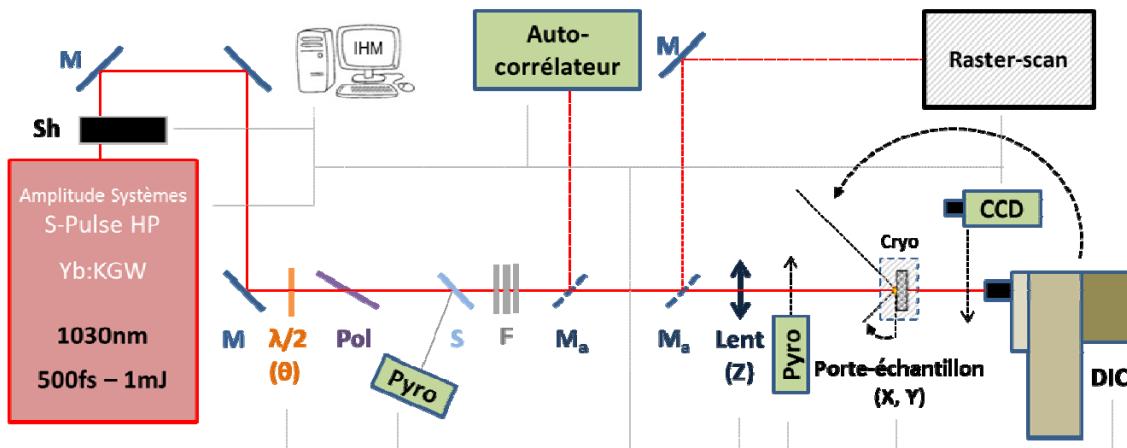
BAK 1730

**Canons à électron
Canon à ions
Contrôle optique
Ø1.7m**

Connaissance de l'ensemble des paramètres de dépôts de matériaux avec une large plage d'indice.

Matériaux	Indice
SiO_2	1.4
Al_2O_3	1.6
Y_2O_3	1.9
Sc_2O_3	1.8
HfO_2	1.8
Ta_2O_5	2.0
TiO_2	2.2

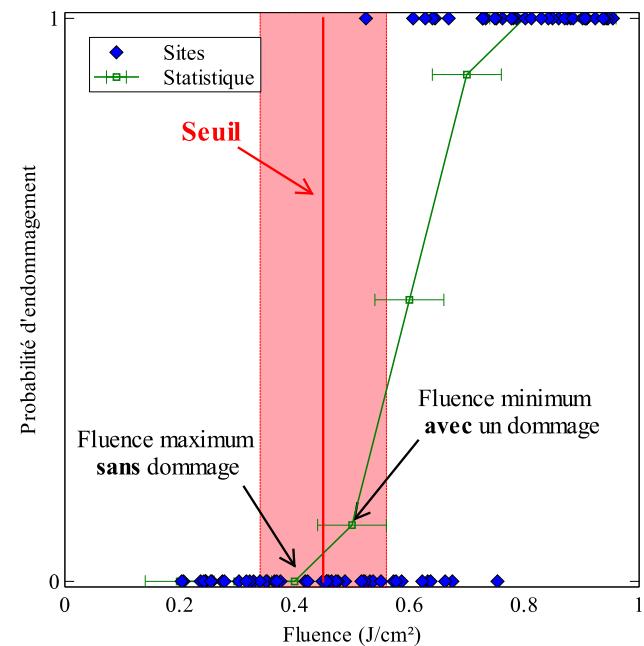
CONTRÔLES DES PARAMETRES DE TEST



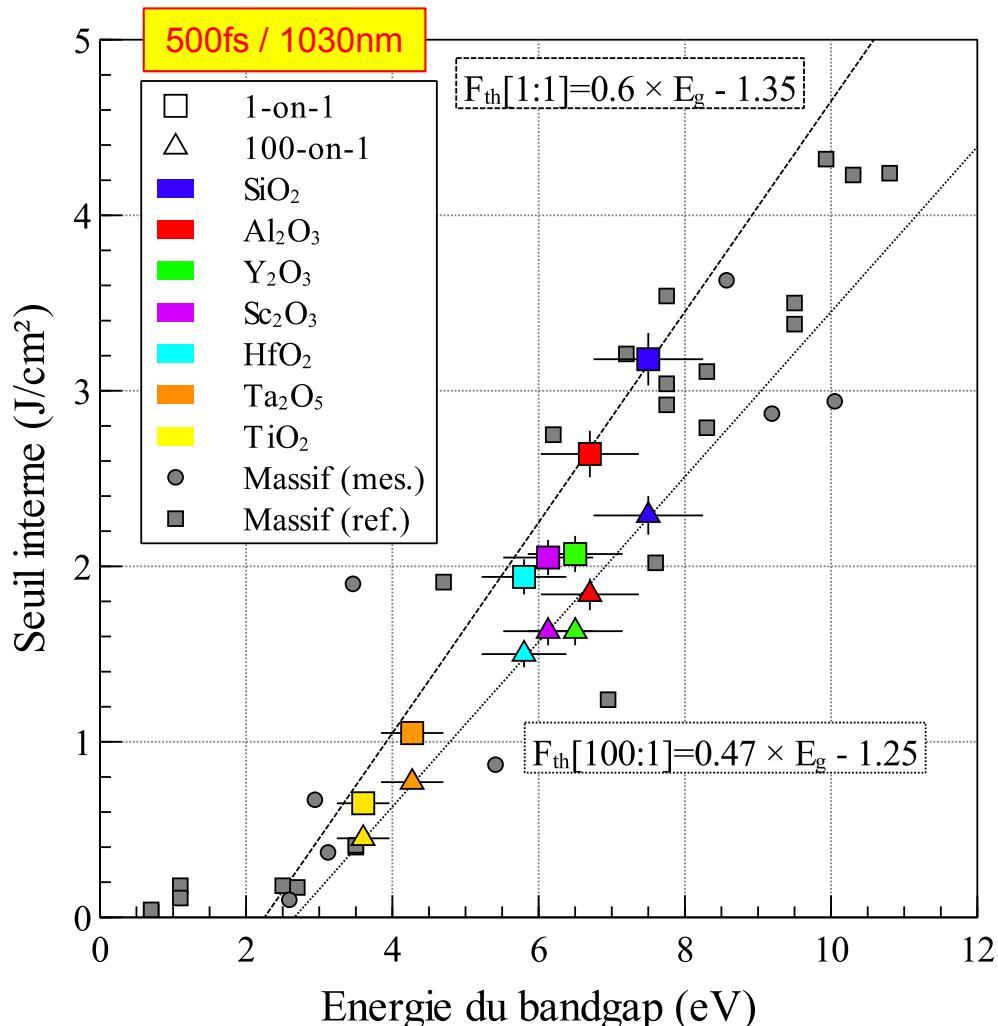
Plateformes de tests TFL

**Grande stabilité
Tests automatisés
Courtes durées d'impulsion**

Maitrise l'ensemble des paramètres de tests et de l'analyse



RESISTANCE AU FLUX DE COUCHES ELEMENTAIRES



→ TFL ↗ si E_G ↗

→ TFL ↘ si Indice ↗

→ TFL ↘ si Nbre d'impulsion ↗

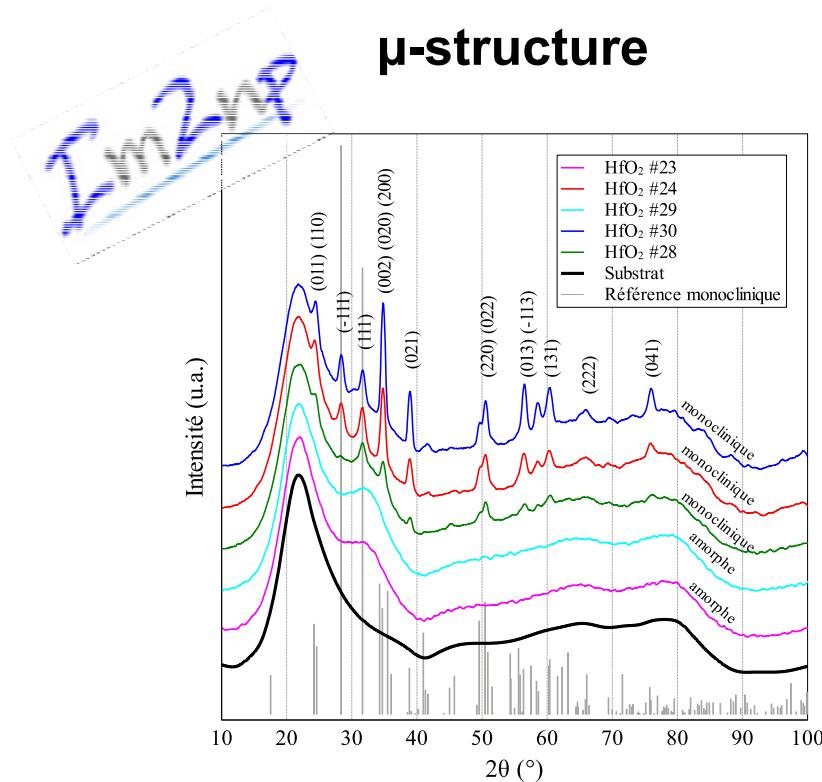
→ TFL ↘ si Pression ↘

→ TFL ↗ si Conditionnement

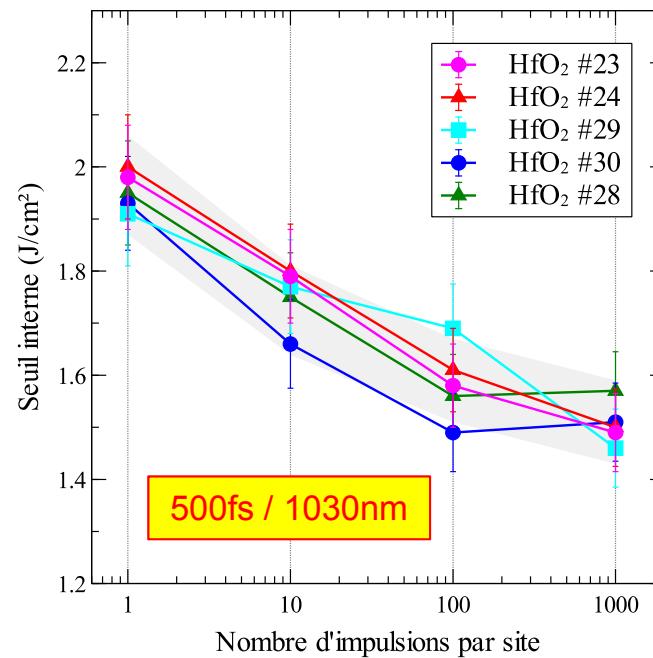
→ TFL peu dépendante du procédé

→ TFL non dépendant de la cristallinité

RESISTANCE AU FLUX DE COUCHES ELEMENTAIRES

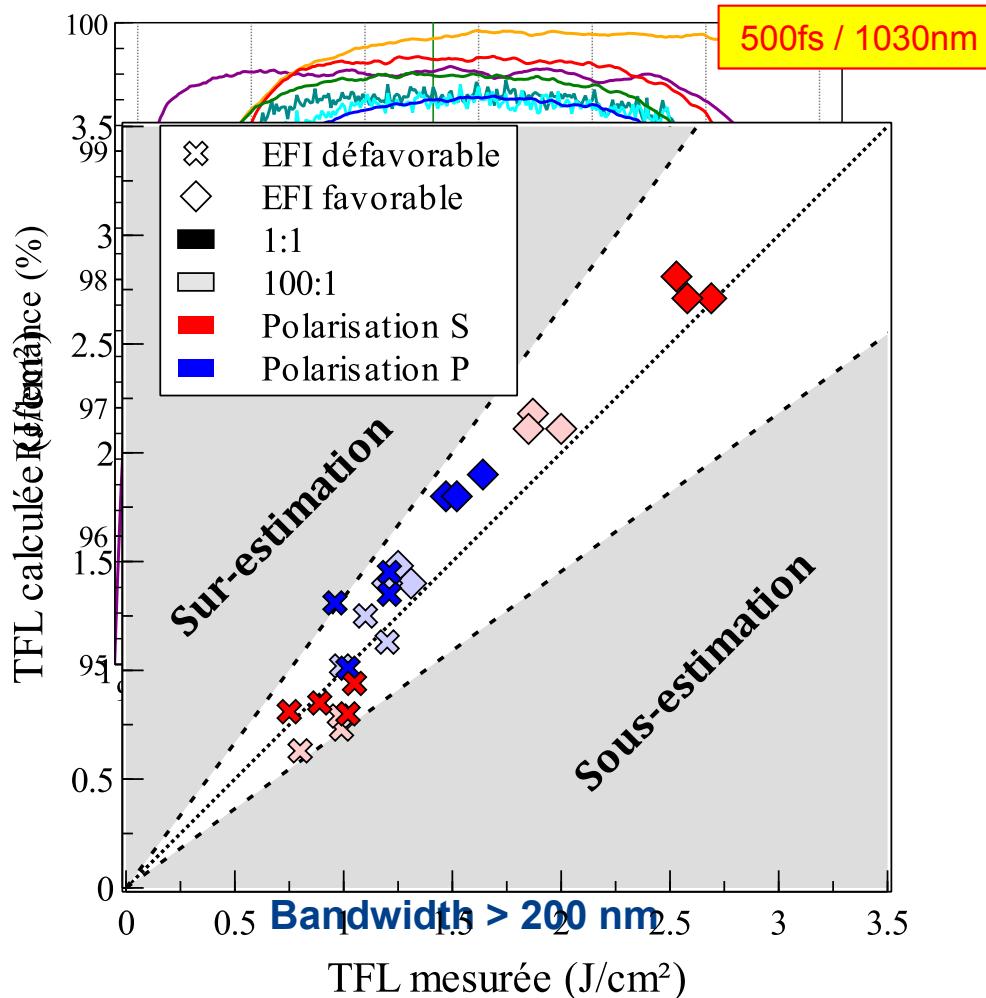


Tenue au flux laser



- ✓ Seuil interne 1-on-1 du HfO₂ dans la gamme haute par rapport à la littérature
- ✓ Diminution du seuil de 15% entre 1-on-1 et 1000-on-1
- ✓ Pas de corrélation entre μ -structure et seuil de tenue au flux laser

RESISTANCE AU FLUX LASER D'EMPILEMENTS



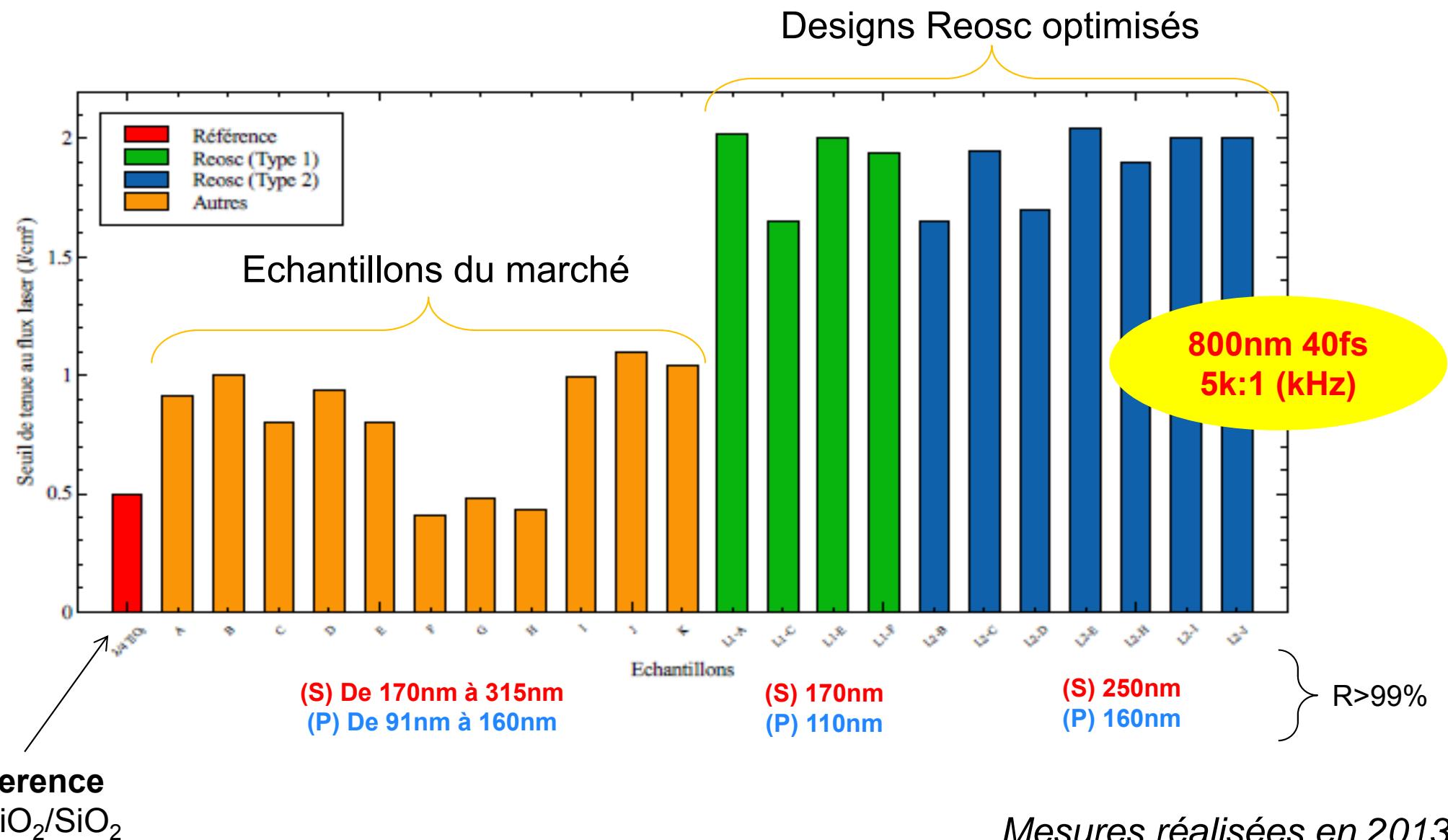
Estimation TFL
des empilements à haute réflectivité

$$\min \left(\text{dans l'empilement} \right) \frac{\text{TFL interne}}{\text{Intensité champ électrique}}$$

...obtenue à partir de tests sur des monocouches dans les mêmes conditions

Calculée en régime stationnaire à partir de l'empilement et des conditions de test

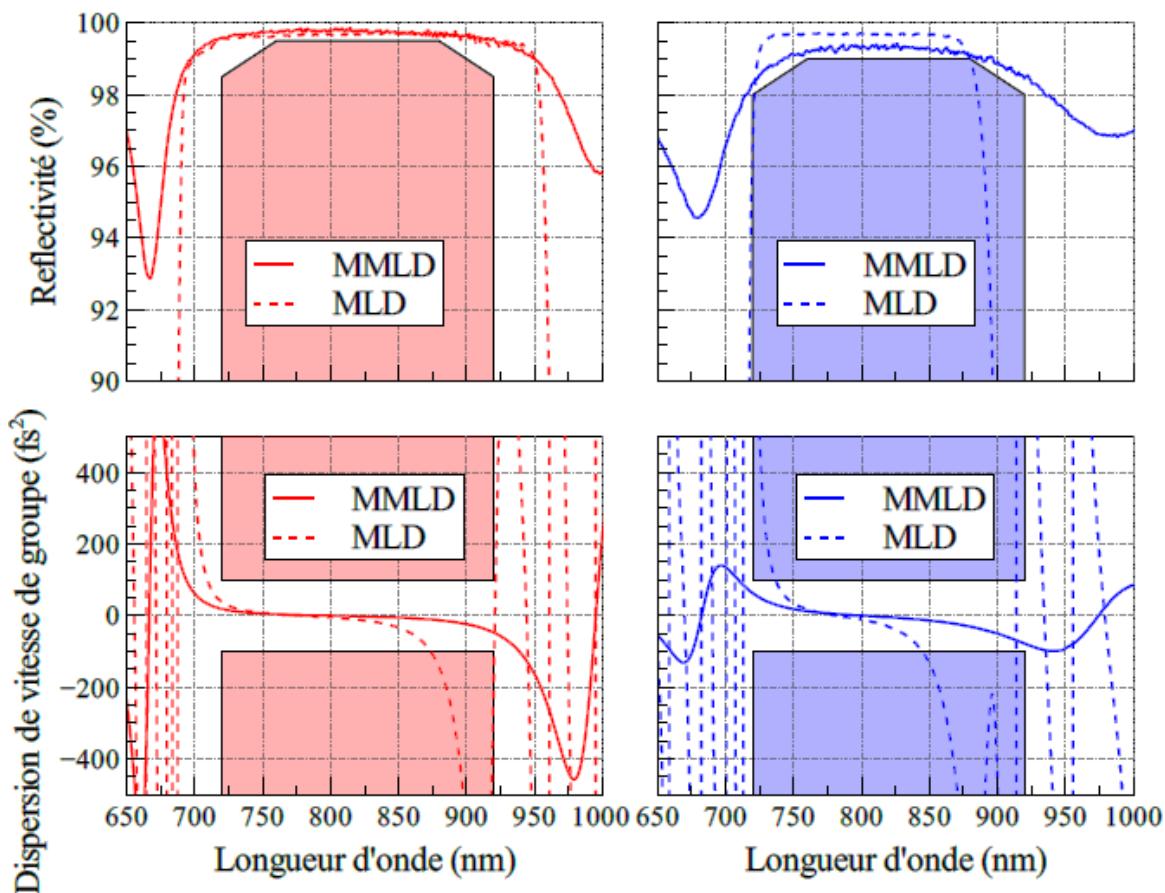
VALIDATION DE LA METHODE DE DESIGN



SELECTION DES DESIGNS

SPECTRAL

R > 99% & GDD < $\pm 100\text{fs}^2$



LIDT

0.6 J/cm² @ 11 fs

45°, Polar. S, dans l'AIR

Fluence crête (/ \parallel à la surface)

0% d'endomagement*

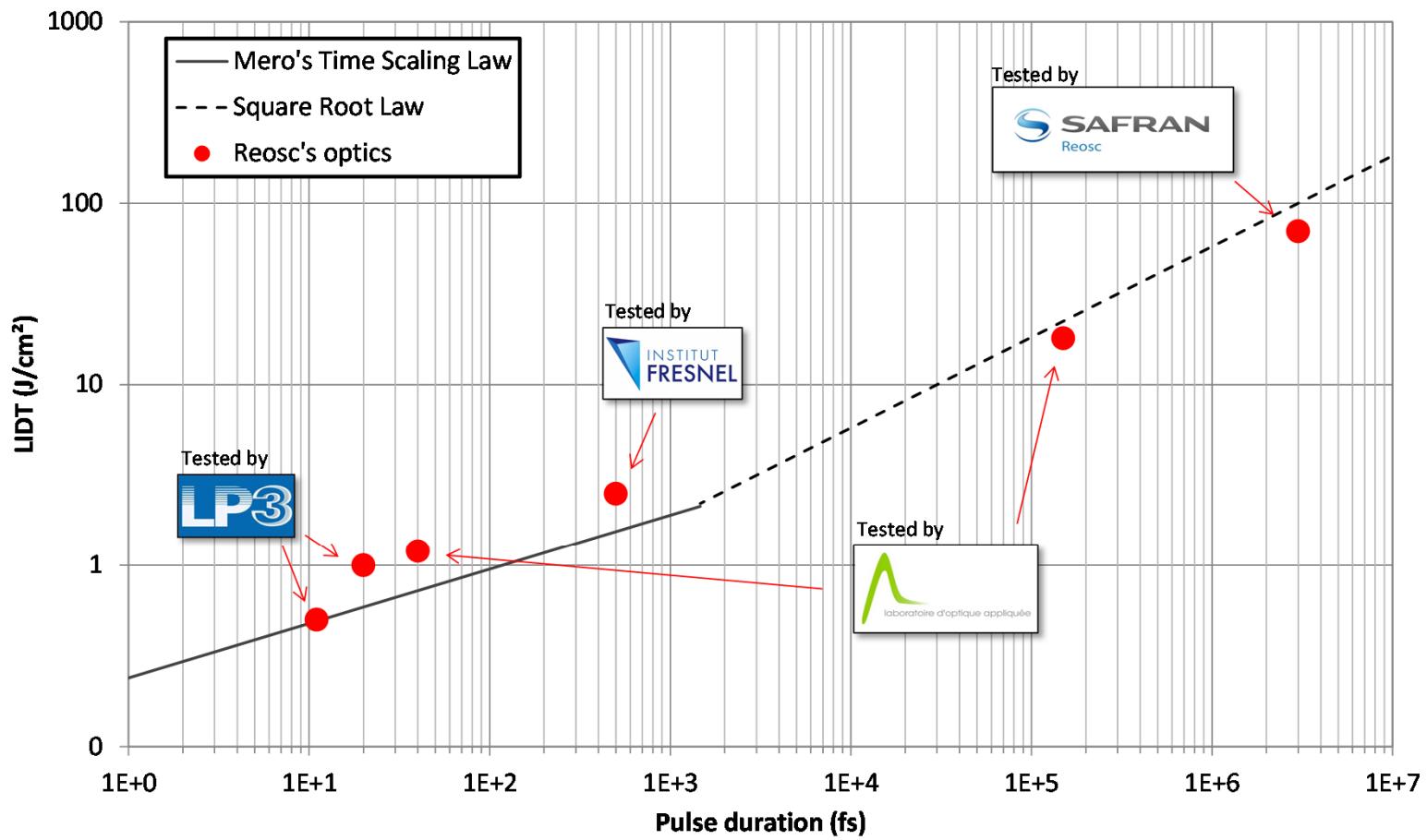
$\lambda_c=800\text{nm}$ (100nm FWHM)

10 μm de diamètre

* Modification visible, test 1:1

RESISTANCE AU FLUX LASER DES MIROIRS REOSC

LIDT vs. Pulse Duration for HR-Coatings



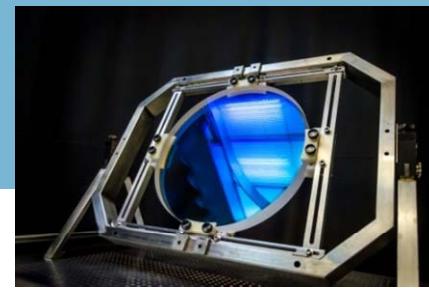
τ	TFL^* J/cm^2
11 fs	0.6 ± 0.1
20 fs	1.2 ± 0.2
500 fs	2.5 ± 0.2
150 ps	15 ± 3

* 1:1 / AIR / 45° / polarisation S / Miroirs centrés à la longueur d'onde de test

APPLICATIONS SUR DES COMPOSANTS

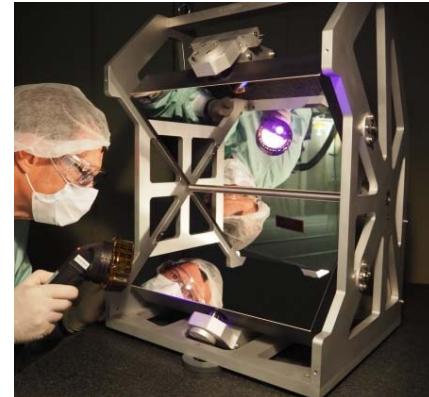
→ 80% du transport du faisceau APOLLON 10PW

- ✓ 18 miroirs (MMLD) 300x200 livrés
- ✓ 1 hublot (AR) Ø500 livré
- ✓ 2 miroirs déformables (MMLD) Ø350mm livrés
- ✓ 1 périscope (MMLD) livré
- 12 miroirs (MLD) 300x200 en fabrication
- 18 miroirs (MMLD, MLD, Diagnostique) 700x500 en fabrication
- 2 paraboles (MMLD) Ø500 en fabrication



→ Démonstrateurs

- ✓ Miroir déformable (MMLD) Ø800mm ep.6
- ✓ Parabole Ø500mm (MMLD) hors d'axe extrême (90° - F/2.5 NA)

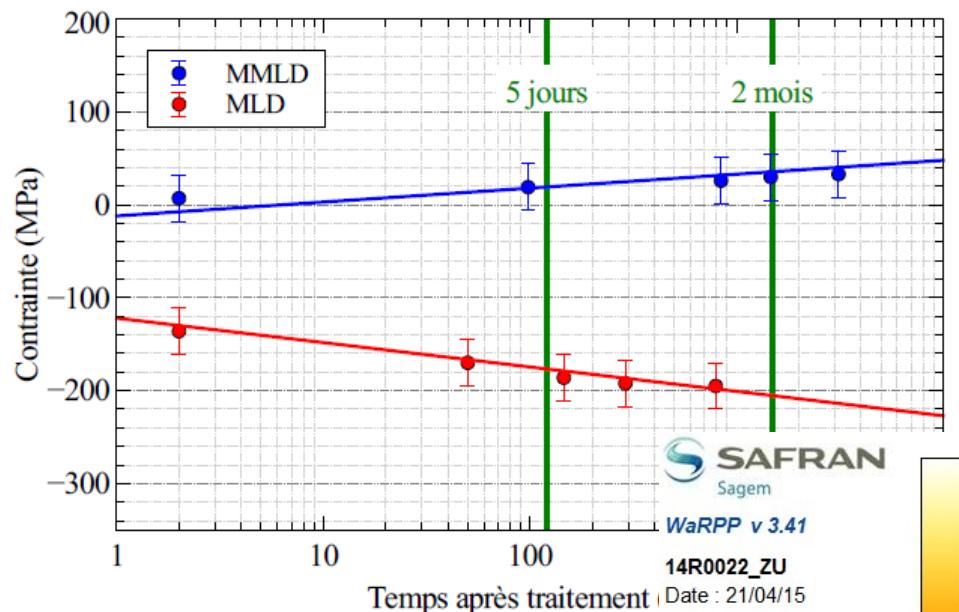


→ Petits composants

- ✓ Ø1" et Ø2" (MMLD & MLD) distribués par ACAL Bfi



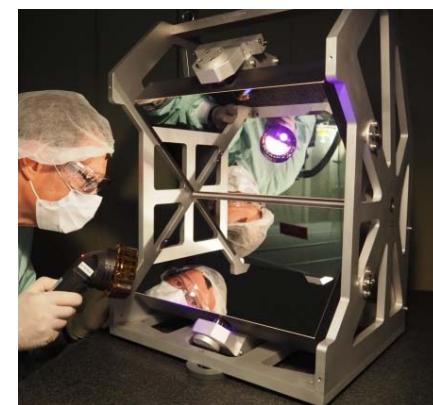
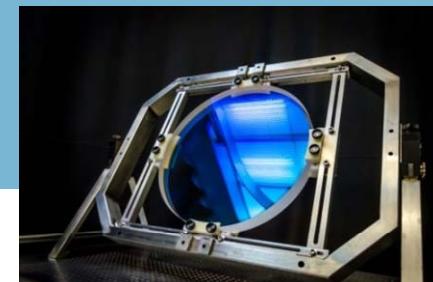
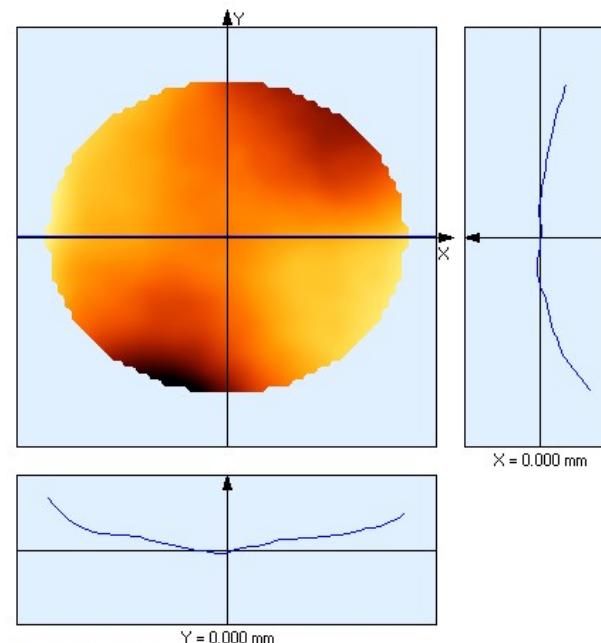
APPLICATIONS SUR DES COMPOSANTS



- **$\lambda/5$ PtV WFE dans les conditions d'utilisation**
- Après traitement
 - 820nm
 - 45°

SAFRAN Sagem
WaRPP v 3.41
14R0022_ZU
Date : 21/04/15
Heure : 11:47:52
WFE
L = 632.80 nm
R = 106.667 mm
Résol. : 64x64
Echelle Lin. :
-82.661 nm à
82.661 nm
2088 points
Min = -89.824 nm
Max = 61.870 nm
Moy = 0.000 nm
P-V = 151.694 nm
RMS = 27.554 nm

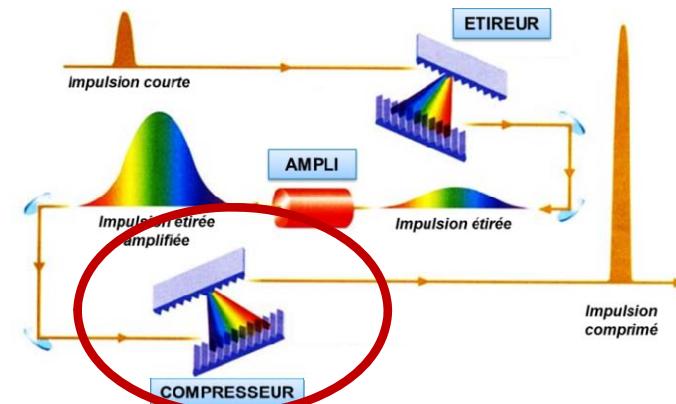
- Constraintes faibles
- Pré-déformation
- Compensation



RESEAUX DE DIFFRACTION NOUVELLE GENERATION

→ Réseaux du compresseur = limitation du système

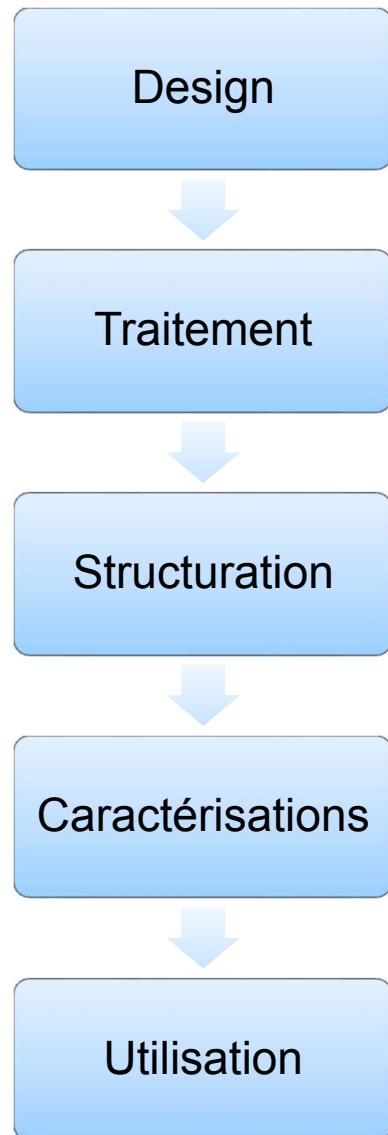
- Réseaux MLD
 - Tenue au flux élevée
 - Largeur spectral limitée
- Réseau Or
 - Large spectre
 - Tenue au flux faible = Très grande dimension requise



→ ASTRE project « REMED » → RESEAUX MMLD

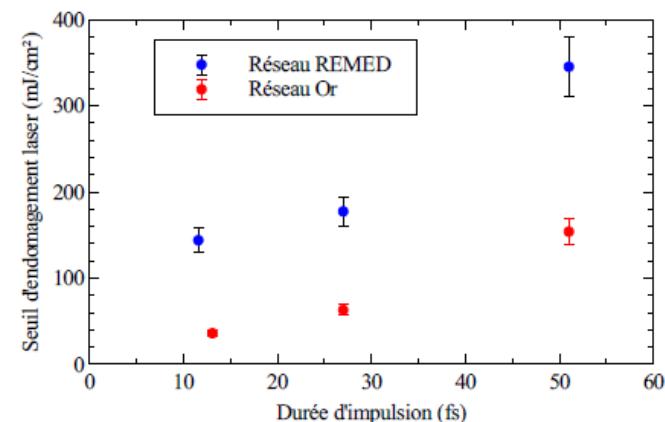
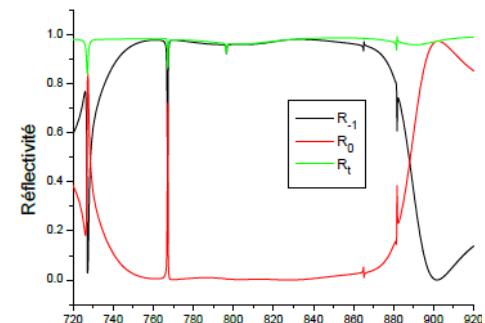
- LULI – LOA – Institut Fresnel – Horiba Jobin Yvon – Reosc

RESEAUX DE DIFFRACTION NOUVELLE GENERATION



Brevet : BONOD, N. et J.-P. CHAMBARET. 2011,
«Optimized Dielectric Reflective Diffraction Grating»,
WO2011/073554A1

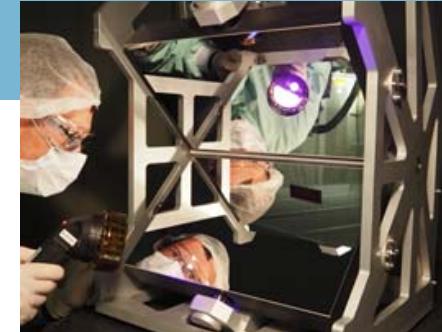
Adhérence Métal \ diélectrique
Précision sur des épaisseurs de 10nm à 1μm
Uniformité Ø1000mm



TFL : Réseau MMLD >> Réseau Or

CONCLUSION

→ Besoin de grandes optiques résistantes au flux laser



→ R&D en collaboration avec des laboratoires reconnus



→ Développement réussi de traitements compatibles du transport des faisceaux multi-petawatt



→ Capacité de design, traitements, mesure et intégration

- Flats, périscopes, expenseur, OAP, miroirs minces,

→ Merci aux équipes de Reosc et à tout nos partenaires !



MERCI DE VOTRE ATTENTION !

Développement de composants optiques
de grande taille pour laser multi-PW

Adrien HERVY
Reosc Saint Pierre du Perray France

Marseille 18 Mars 2016
Journée Couches Minces Optiques

