

# Miroir déformable monomorphe : optimisation des champs intermédiaire et lointain des lasers intenses

G. CHÉRIAUX, C. RADIER, F. BURGY, A. TAFZI

Laboratoire d'Optique Appliquée UMR 7639  
Chemin de la Hunière, 91120 Palaiseau  
<http://loa.ensta.fr>

J.C. Siquin, J.M. Lurçon, C. Guillemard  
Compagnie Industrielle des Lasers, France



## Laser très haute puissance crête : Problématique de la qualité de faisceau

---

Les lasers femtoseconde produisent des puissances crête très élevées actuellement de l'ordre de 1 PW ( $10^{15}$  W) et prochainement de 10 PW. Cela est atteint avec une énergie modérée mais une durée d'impulsion très courte (15 –20 fs).

Ces systèmes bien que reposant sur une architecture optique relativement simple comprenant ~250 composants et un diamètre de faisceau faible, présente tant une inhomogénéité de la distribution d'énergie que des défauts de front d'onde.

La densité de puissance dans le plan d'interaction est réduite par rapport au x performances attendues.

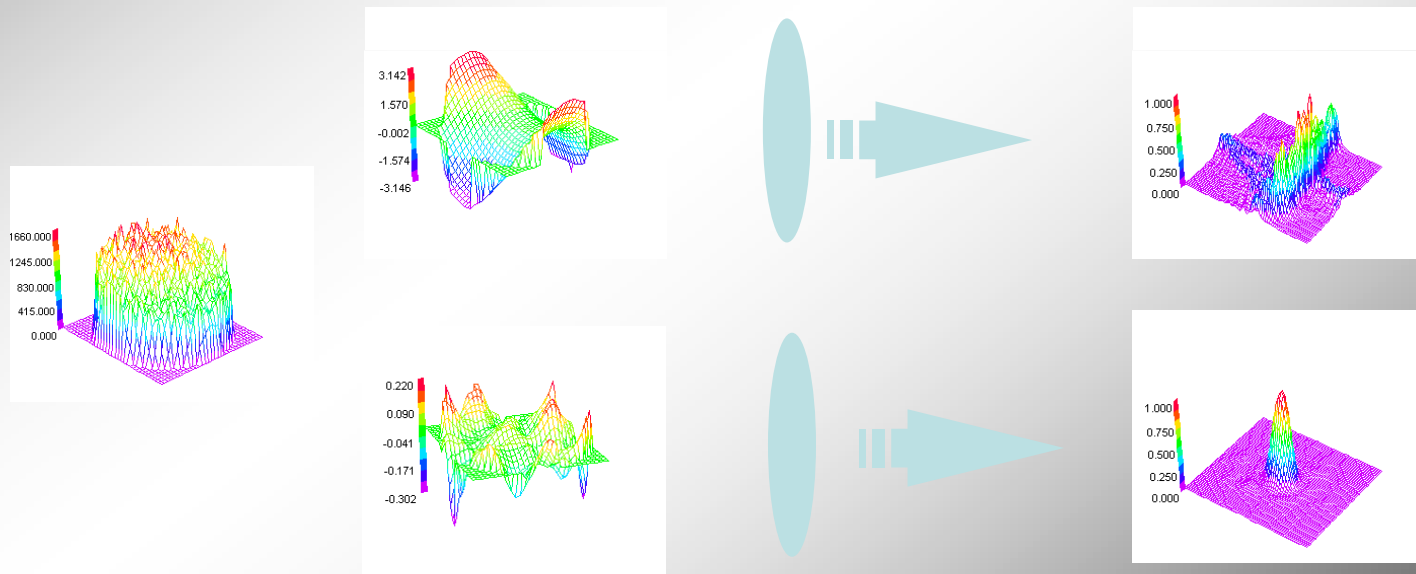


# Laser très haute puissance crête : Problématique de la qualité de faisceau

## Le contrôle de la surface d'onde :

Optimiser le champ lointain ; i.e. l'éclairement dans le plan de l'expérience

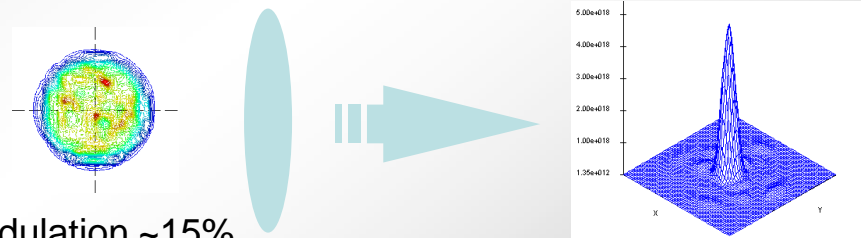
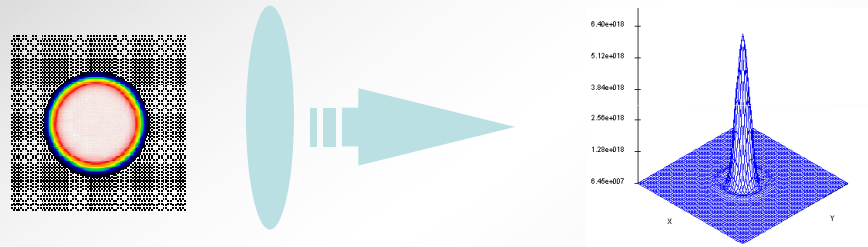
Cela est représenté par le rapport de Strehl



# Laser très haute puissance crête : Problématique de la qualité de faisceau

## Le contrôle de la distribution d'énergie :

Éviter l'endommagement des optiques de transport  
Optimiser le champ lointain ; i.e. l'éclairement dans le plan  
de l'expérience



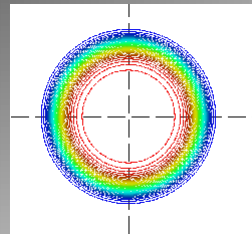
Modulation ~15%

Energie répartie en  
Dehors du spot de  
Focalisation. Ici ~20%

Il faut agir sur le faisceau en conservant la distribution d'énergie

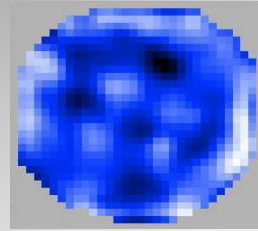
# Laser très haute puissance crête : Problématique de la qualité de faisceau

## Effets d'une correction sur les caractéristiques de faisceau :



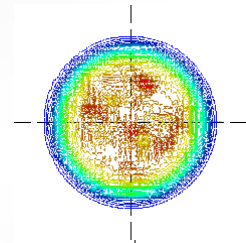
SG 50 mm

+



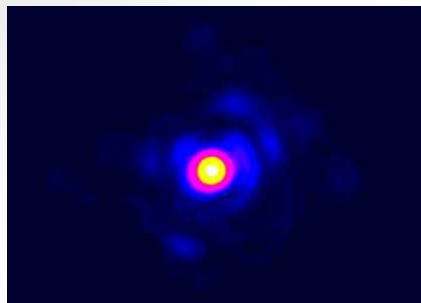
72 nm rms, 420 nm PV  
Mesure 32x32 points

Propagation libre.

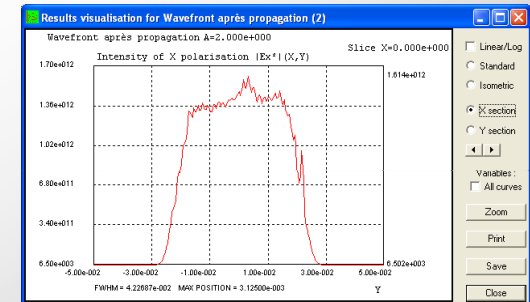


Z = 80 mm

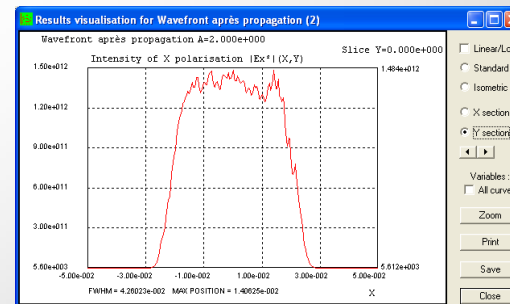
Focalisation.



Champ lointain  
mesuré



Coupe verticale



Coupe horizontale

Le front d'onde résiduel doit être minimisé  
et l'effet d'empreinte atténué



## Boucle adaptative optimisée pour les lasers intenses

---

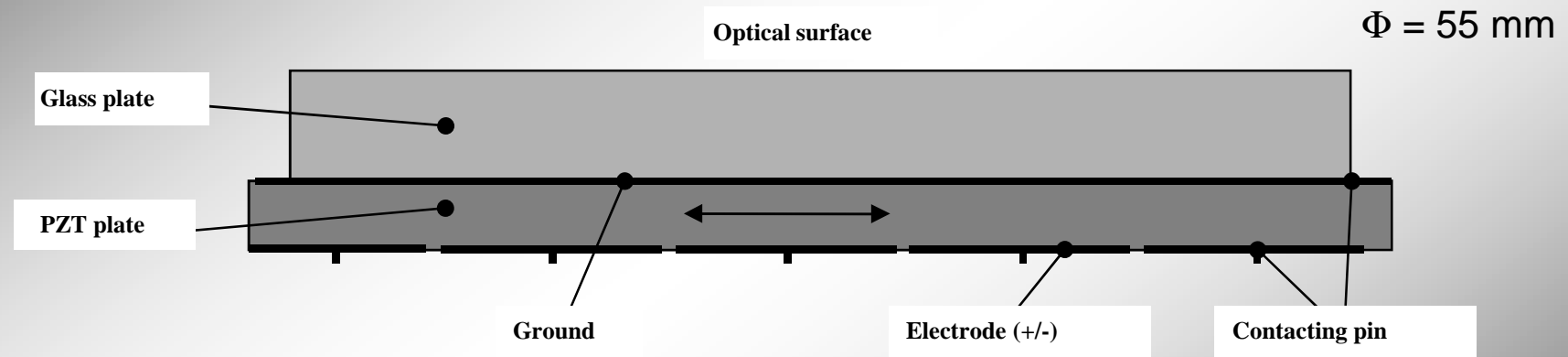
Compte tenu des distances de propagation et du diamètre du faisceau, le miroir doit avoir un front d'onde résiduel  $\sim 20$  nm rms et ne faisant pas apparaître de structure présentant des fréquences spatiales supérieures au  $1/6$  du diamètre du faisceau.



## Miroir déformable monomorphe Structure du miroir :

Une structure simple de type "monomorphe apparaît intéressante étant donné que les électrodes sont en face arrière.

=> Pas ou peu d'effet d'empreinte.



Néanmoins une telle structure possède quelques inconvénients:

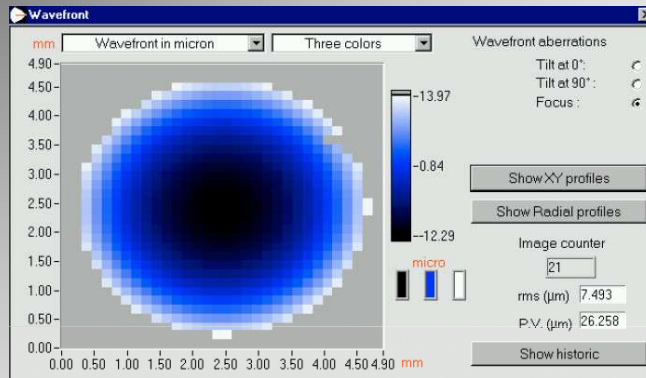
- Une seule plaque de PZT => course réduite par rapport à une structure plus complexe. Pour les lasers intenses,  $\sim 5 \mu\text{m}$  PV max (astigmatisme)
- La structure non symétrique du composant => comportement thermique « instable ». La puissance laser moyenne est limitée et les systèmes sont dans des environnements à température contrôlée

# Miroir déformable monomorphe

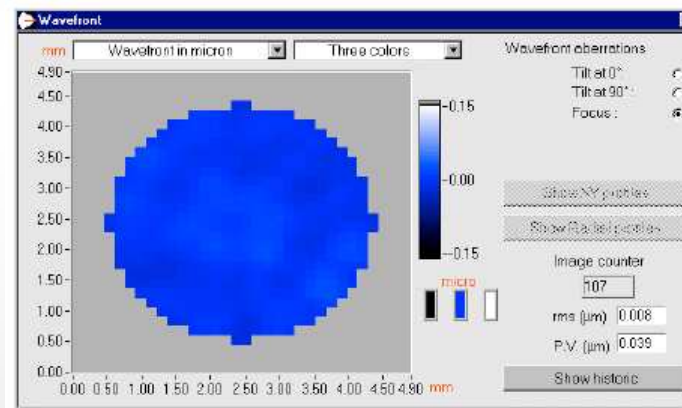
## Caractéristiques :

### Courbure

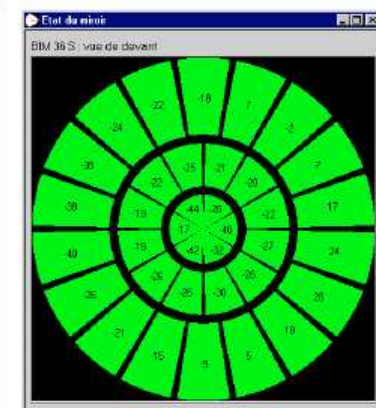
Pour une tension appliquée de 400 V, la course permet de générer un rayon de courbure de 36 m.



### Mise à plan du miroir



8 nm rms wavefront



Max ≈ 10% of dynamic



## Miroir déformable monomorphe

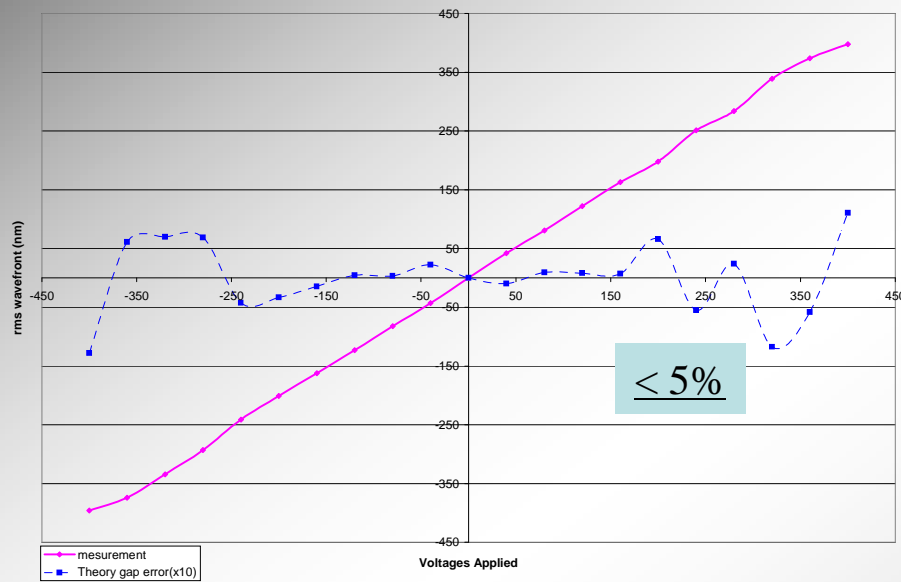
### Caractéristiques :

coeff Zernike	Nom	Correction Maximum (PV $\mu\text{m}$ )	Résiduel à 20% de la correction maximum (rms nm)
Z1	Tilt at 0°	<b>23.5</b>	<b>33</b>
Z2	Tilt at 90°	<b>27.5</b>	<b>20</b>
Z3	Focus	<b>21.5</b>	<b>21</b>
Z4	Astigmatism at 0°	<b>15.5</b>	<b>22</b>
Z5	Astigmatism at 45°	<b>16.5</b>	<b>32</b>
Z6	Coma at 0°	<b>8</b>	<b>50</b>
Z7	Coma at 90°	<b>7</b>	<b>62</b>
Z8	3th order spherical aberration	<b>2</b>	<b>17</b>

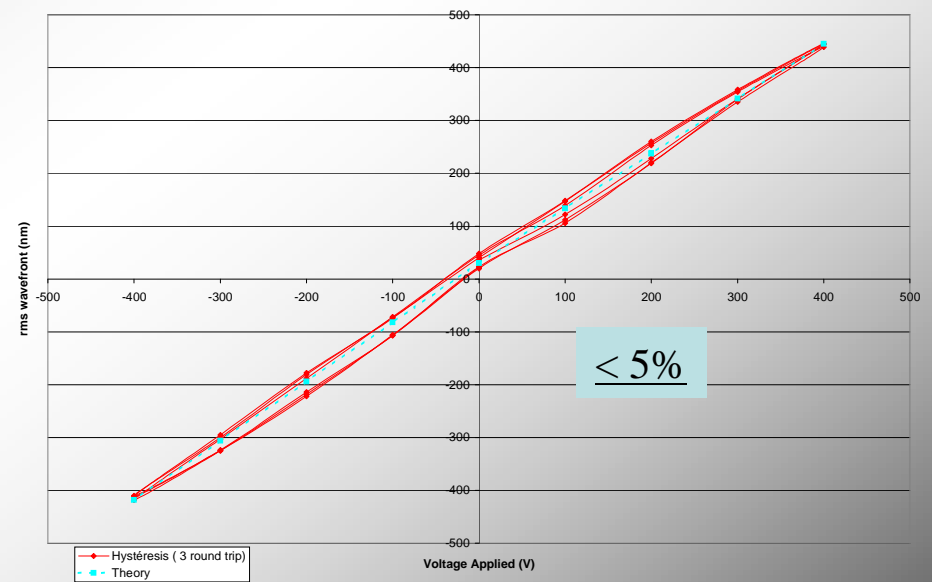
# Miroir déformable monomorphe

## Caractéristiques :

### Linéarité



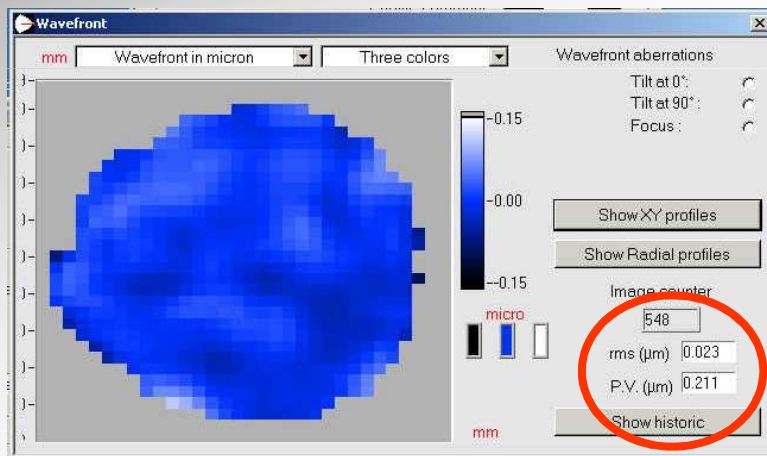
### Hystérésis



## Miroir déformable monomorphe Implantation dans une chaîne laser intense

Le miroir est implanté après la compression d'impulsion d'un laser délivrant 1.3 joules, 30 fs => 43 TW .

L'éclairement crête sur le miroir est de 2 TW/cm<sup>2</sup> pour une densité d'énergie de 66 mJ/cm<sup>2</sup>

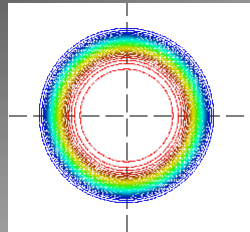


La boucle s'appuie sur un Haso 32 d'Imagine Optics  
La résolution spatiale (faisceau) est ~ de 2 mm.

**Le front d'onde après correction  
ne montre pas d'effet d'empreinte.**

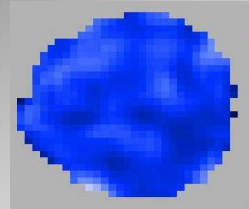
23 nm rms  
211 nm PV

# Miroir déformable monomorphe Implantation dans une chaîne laser intense



SG 50 mm

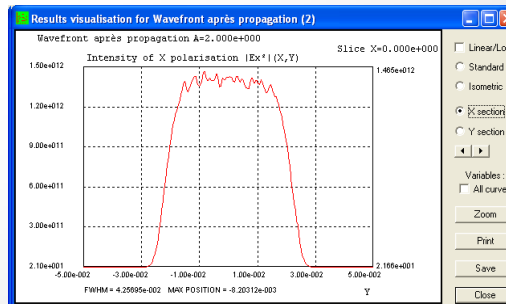
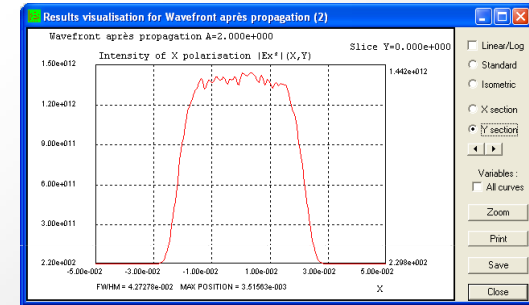
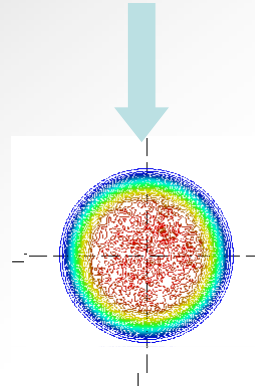
+



23 nm rms, 211 nm PV  
Mesure 32x32 points

~~Z=80mm~~

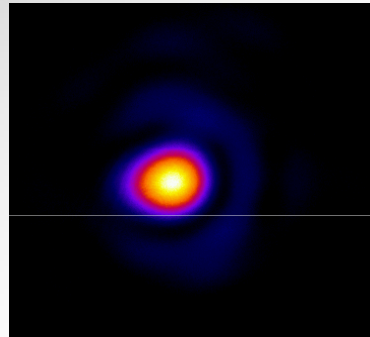
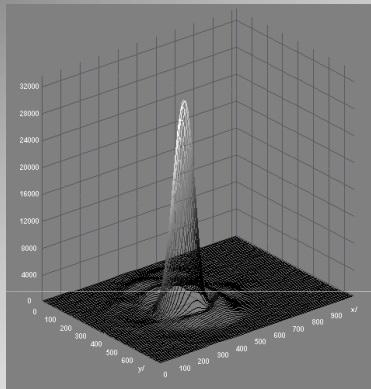
Propagation libre.



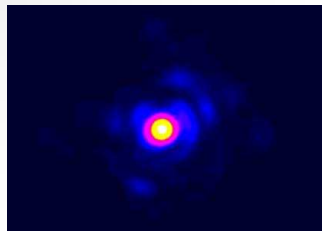
Les modulations d'énergie au fil de la propagation sont faibles.

# Miroir déformable monomorphe Implantation dans une chaîne laser intense

## Tâche focale

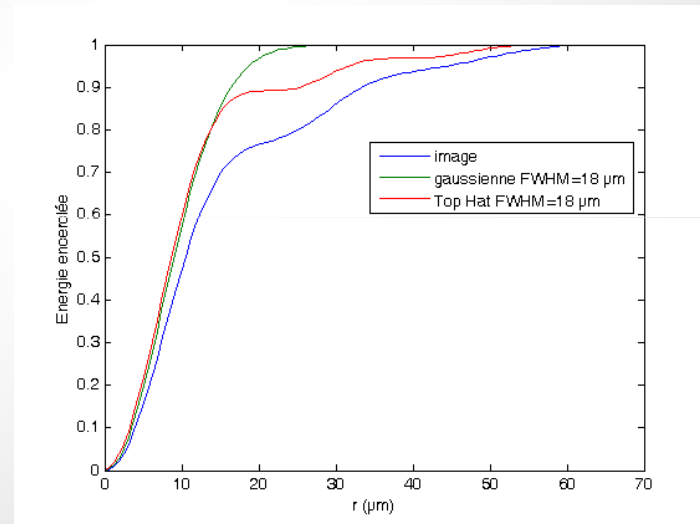


Longueur focale = 1000 mm  
Objectif de microscope : x 20  
CCD 12 bits



Tâche focale obtenue avec le Miroir précédent  
⇒ Plus d'énergie en dehors du spot central (50% mesurée)

## Énergie encerclée



72% de l'énergie dans le spot central.  
A comparer à 88% pour un « top hat »

## Conclusion

---

La manipulation des faisceaux laser par optique déformable nécessite le recours à  
Des miroirs présentant une architecture adaptée afin de ne pas faire apparaître  
D'effet d'empreinte

L'utilisation d'un miroir « monomorphe » permet sur le système actuel  
D'obtenir des caractéristiques excellentes

Pour les prochains systèmes laser 1 PW et 10 PW (Apollon 10P), les besoins seront :  
Un plus grand diamètre : 200 mm  
Un plus grand nombre d'actionneurs : 100 - 200  
Un résiduel de front d'onde < 20 nm

