

Contrôle dynamique de la surface d'onde du « LULI2000 »

Ji-Ping Zou, Anne-Marie Sautivet, Luc Martin, Christian Sauteret



***Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI),
Unité Mixte Ecole Polytechnique- CNRS-CEA-Université Paris VI
n° 7605, 91128 Palaiseau Cedex, France
Ji-ping.zou@polytechnique.fr***

Plan de l'exposé



- **Presentation du Laboratoire LULI et de l'installation "LULI2000"**
- **Motivations**
- **Analyses de la Surface d'Onde**
- **Conception et validation d'une boucle optique adaptative**
- **Résultats de la correction de surface d'onde**
- **Conclusion et perspectives**

LULI

(Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses)



Unité mixte de recherche

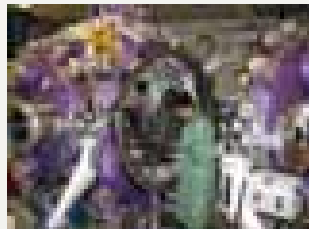


LULI : Centre de recherche en physique des plasmas créés par laser et ses applications



Axe principal de recherche: physique des plasmas de fusion inertielle laser

- interaction laser-plasma sous-dense (en ns/ps)
- hydrodynamique des plasmas laser et équations d'état
- physique atomique des plasmas chauds
- allumage rapide,... :

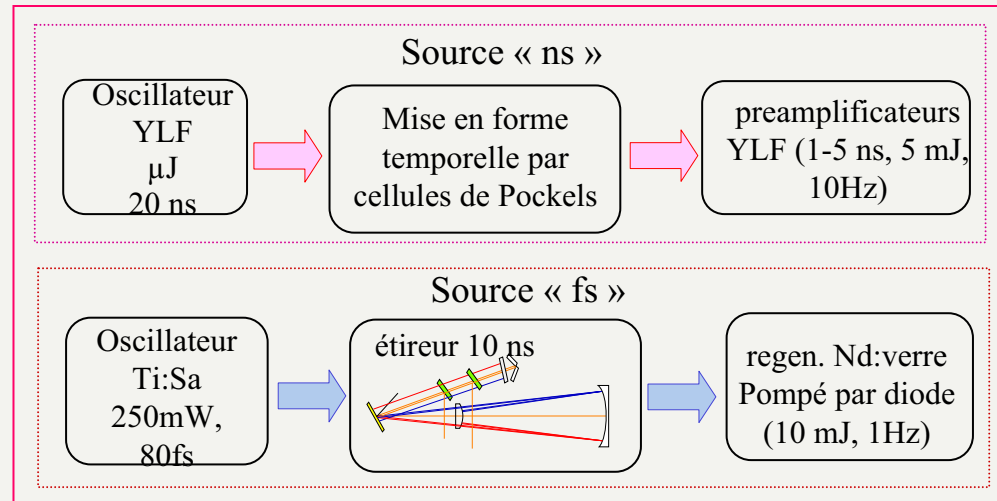
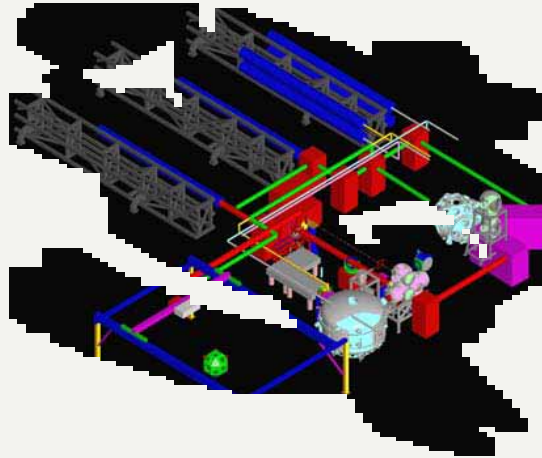


Un très grand équipement international :

2 plus gros lasers civils en France, classés en grands instruments européens

- « 100 TW » : 30J/ 300fs
- «LULI2000» : 2xkJ/ns + projet PW

Installation «LULI2000»



Compresseur
(400J, 400fs)

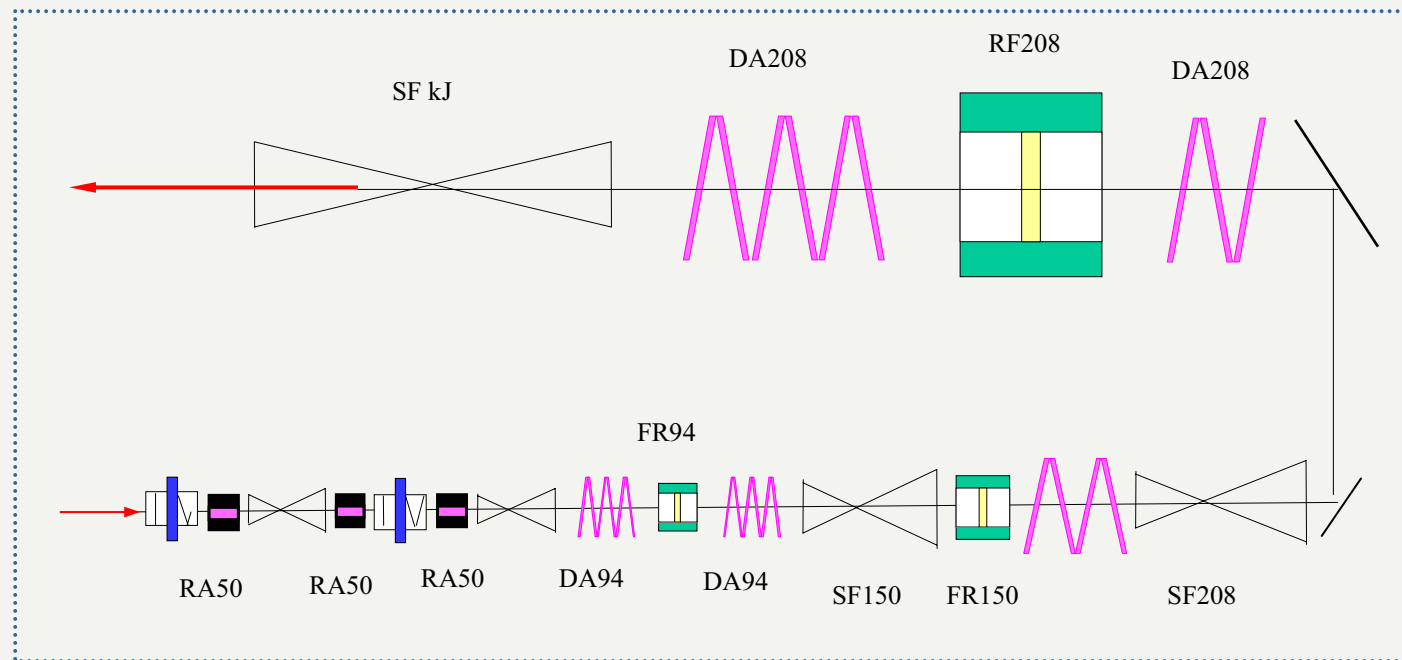


Chambre
d'interaction
"Milka"



Chaînes amplificatrices
en verre Nd:phosphate
2x kJ

2 Chaînes amplificatrices "kJ" en Nd³⁺:phosphate



La chaîne se compose de 4 étages d'amplification :

Barreaux (50mm) : refroidissement à eaux

Disques (94, 150 et 208 mm) : refroidissement à air comprimé + N₂

Cadence de tir : un tir "kJ" toutes les deux heures !!

Motivations

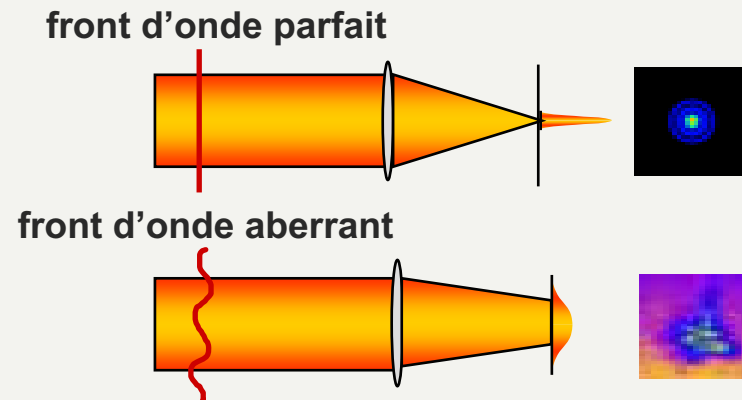


1) Améliorer l'intensité lumineuse sur cible:

Physique de l'interaction laser matière : la vitesse des e^- dans un champ laser dépend de son intensité.

La qualité de la tache focale est l'un des paramètres déterminants de l'intensité laser sur cible

$$\frac{v}{c} \propto \sqrt{I \lambda^2}$$
$$I = \frac{P}{S} = \frac{E}{\Delta t S}$$



2) Améliorer la reproductibilité de la tache focale d'un tir à l'autre

3) Améliorer la cadence de tir qui est déterminée par la thermalisation des amplificateurs

Plan de l'exposé



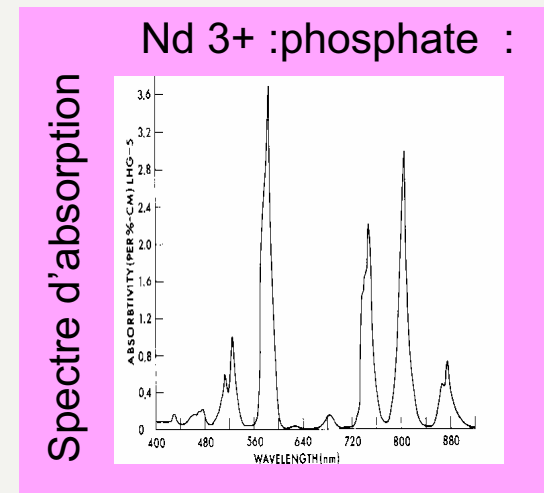
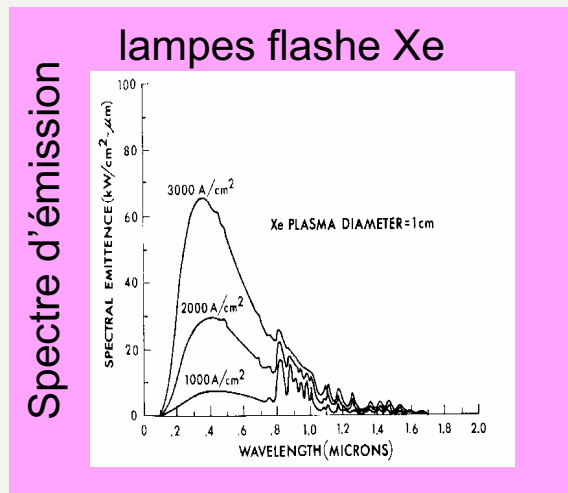
- Presentation du Laboratoire LULI et de l'installation "LULI2000"
- Motivations
- **Analyses de la Surface d'Onde**
- Conception et validation d'une boucle optique adaptative
- Résultats de la correction de surface d'onde
- Conclusion et perspectives

Sources de la déformation de front d'onde



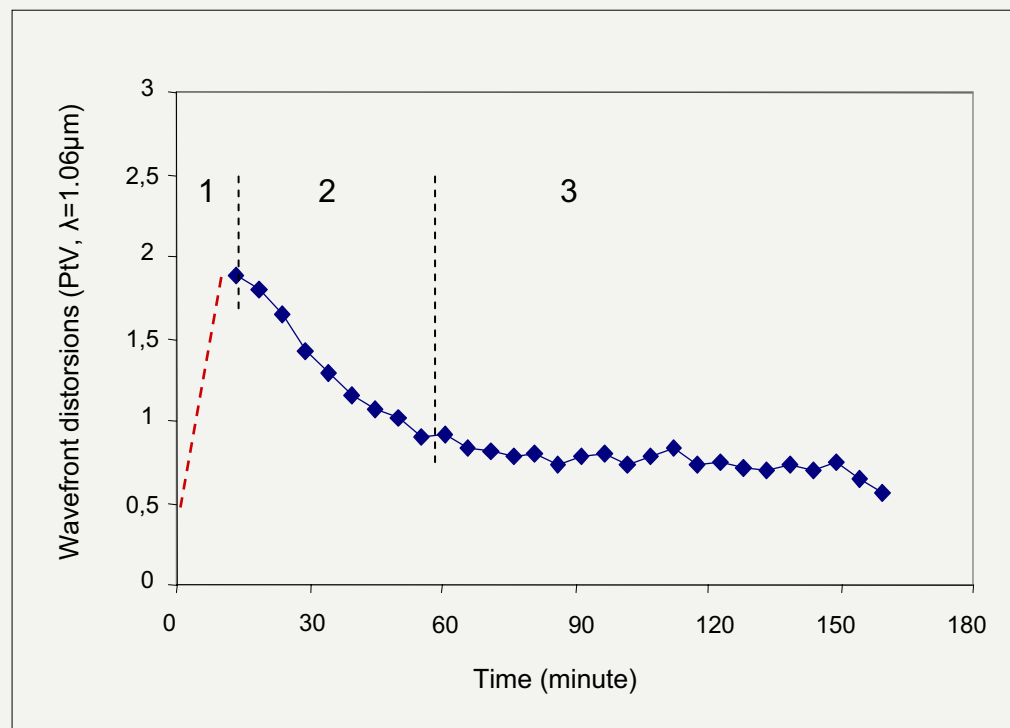
Défauts statiques (imperfections dans les optiques et désalignement) :
- existent mais faibles ($\sim 0,5 \lambda$ PtV)

Effet thermique : source principale de déformation



Le chaleur induit par l'énergie de pompage est piégé dans les barreaux et les disques des amplificateurs et contribue à dégrader dramatiquement le front d'onde laser

Evolution temporelle du front d'onde après un tir "kJ"

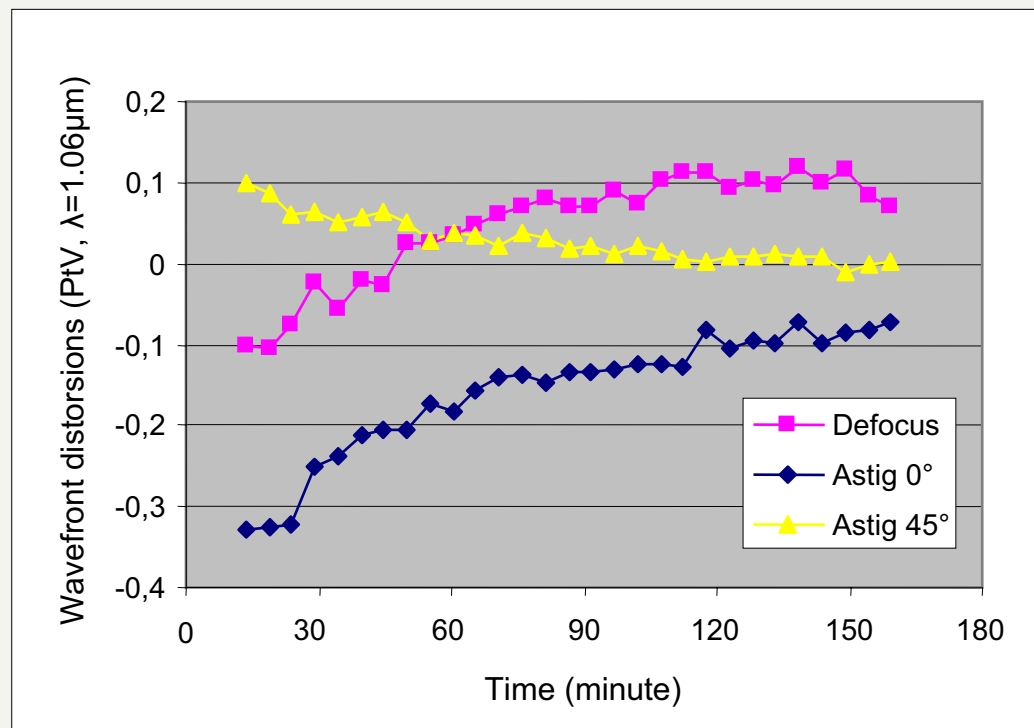


3 zones observées : 1) montée rapide 2) descente rapide 3) plateau
Thermalisation complète de la chaîne > 3 heures

Evaluation temporelle des aberrations Zernike principales



Défoc: lentille thermique, de divergent à convergent
Astigmatisme 0°: comprendre l'origine de ce défaut

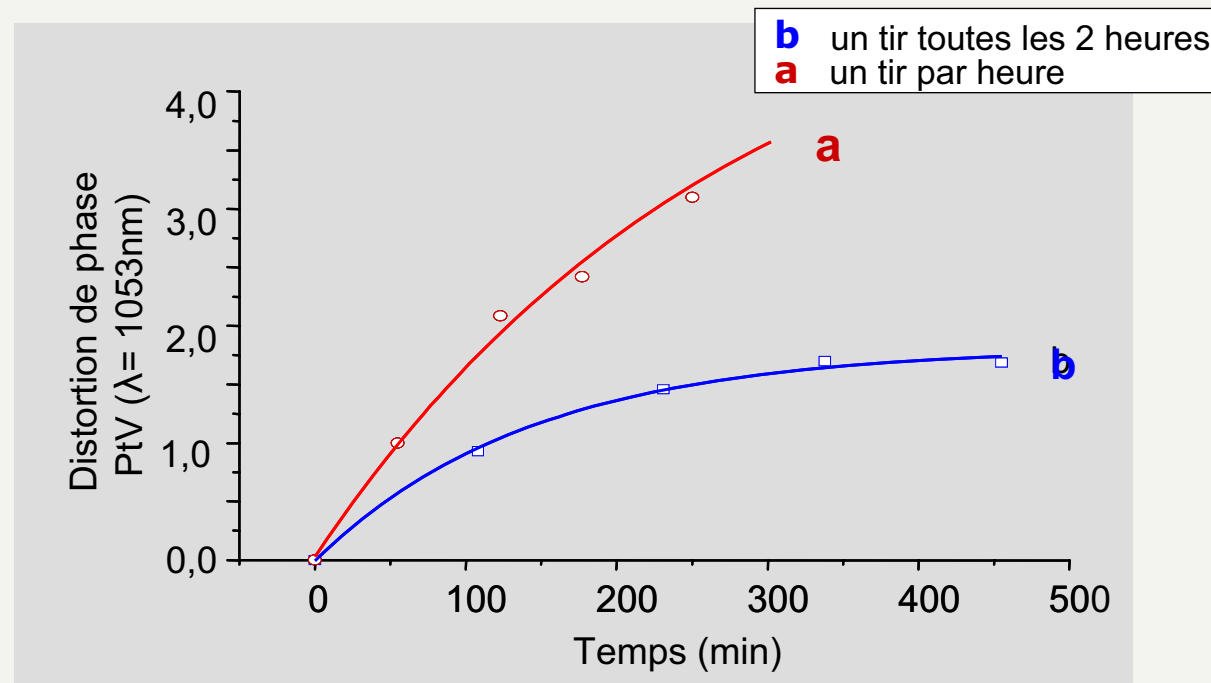


Effert thermique cumulé



2 séquences de tir "kJ":

La phase est systématiquement mesurée avant chaque tir :



- un tir toutes les heures: $PtV > 3\lambda$ (5e tir)
- un tir toutes les 2 heures: $ptV > 1,5 \lambda$

Plan de l'exposé



- Présentation du Laboratoire LULI et de l'installation "LULI2000"
- Motivations
- Analyses de la Surface d'Onde
- **Conception et validation d'une boucle optique adaptative**
- Résultats de la correction de surface d'onde
- Conclusion et perspectives

Senseur de front d'onde :



SID-4 : Interféromètre à décalage quadri-latéral :

Large plage achromatique (400 -1100 nm),

Excellente résolution transverse (30 μm , 160 \times 120 points),

Haute précision de mesure ($\lambda/100$ en rms),

Peu sensible à la modulation d'intensité laser ($\lambda/500$ rms),

Très compact.



Miroir déformable bi-morphe



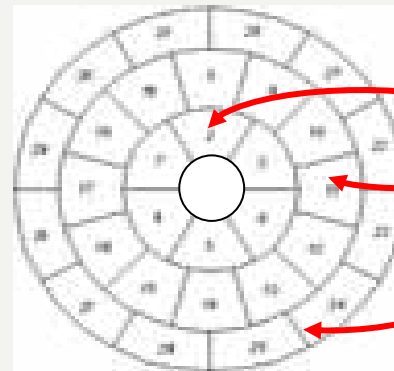
Diamètre = 98 mm

Tenue au flux = 6 GW.cm⁻² (testé à ~2J/cm²)

Actuateurs = 31+1

Revêtement diélectrique

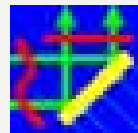
Dynamique de correction = 6 λ



D1 = 42 mm

D2 = 73 mm

D3 = 94 mm



IPLIT RAN

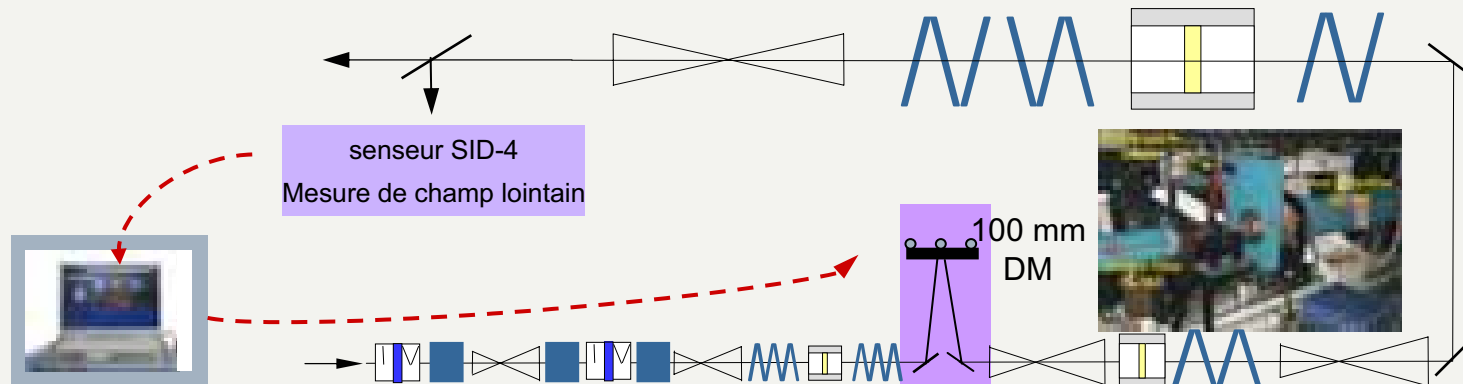
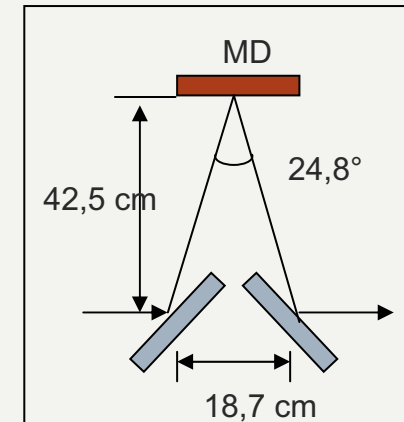
**Adaptive Optics for Industrial &
Medical Applications Group**

Emplacement du miroir déformable



Le miroir déformable se trouve entre les 2e et 3e étages d'amplification

- Dimension du faisceau : ~ 85 cm
- Dernière couronne d'actuateur : 94cm
- Fluence (sur MD) : ~ 1 J/cm²
- Ecartement MD-M: 42,5 cm : compromis pour le respect du relais d'image et une faible ovalisation du faisceau sur MD



Interface utilisateur:



Mesure de phase pendant la séquence de tir (monocoup ou récurant);

Traitement de phases (choix de référence, information sur champ proche et tache focale calculée, décomposition et filtrage de phase Zernike,);

Modes d'alignement (appareil, faisceau laser);

Définition de la configuration de boucle(référence, optimisation des nombres de modes pour correction et lancement de boucle de convergence);

Gestion des actuateurs (définition et sauvegarde de HT, maintenance),

Fenêtre de présentation intuitive et interactive

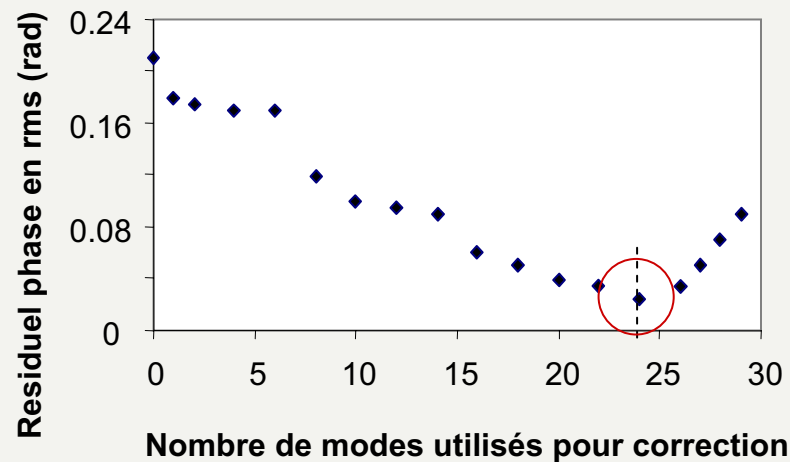


Plan de l'exposé



- Presentation du Laboratoire LULI et de l'installation "LULI2000"
- Motivations
- Analyses de la Surface d'Onde
- Conception et validation d'une boucle optique adaptative
- **Résultats de la correction de surface d'onde**
- Conclusion et perspectives

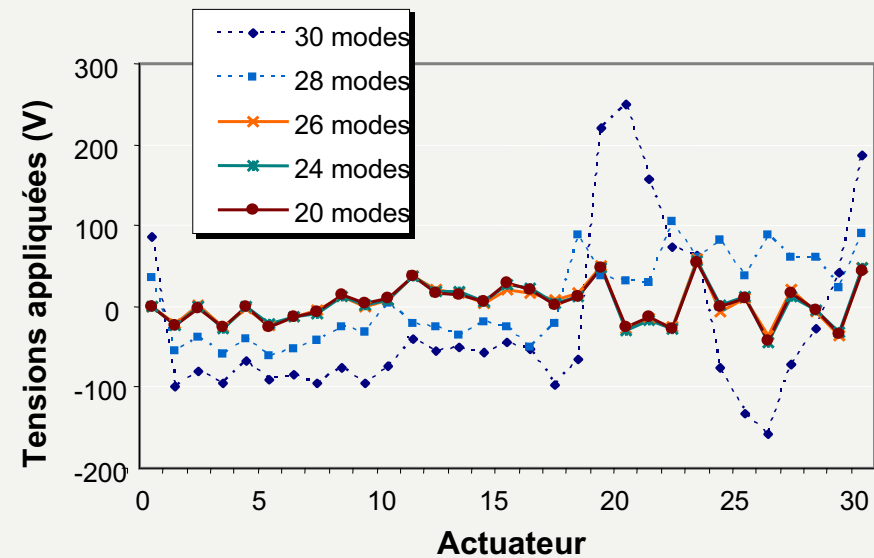
Importance du filtrage de mode pour une opération de boucle optimale



Optimisation de la correction des défauts de phases

Dynamique de la boucle :
 $\pm 50V$ pour une configuration de 24 modes, correction courante;

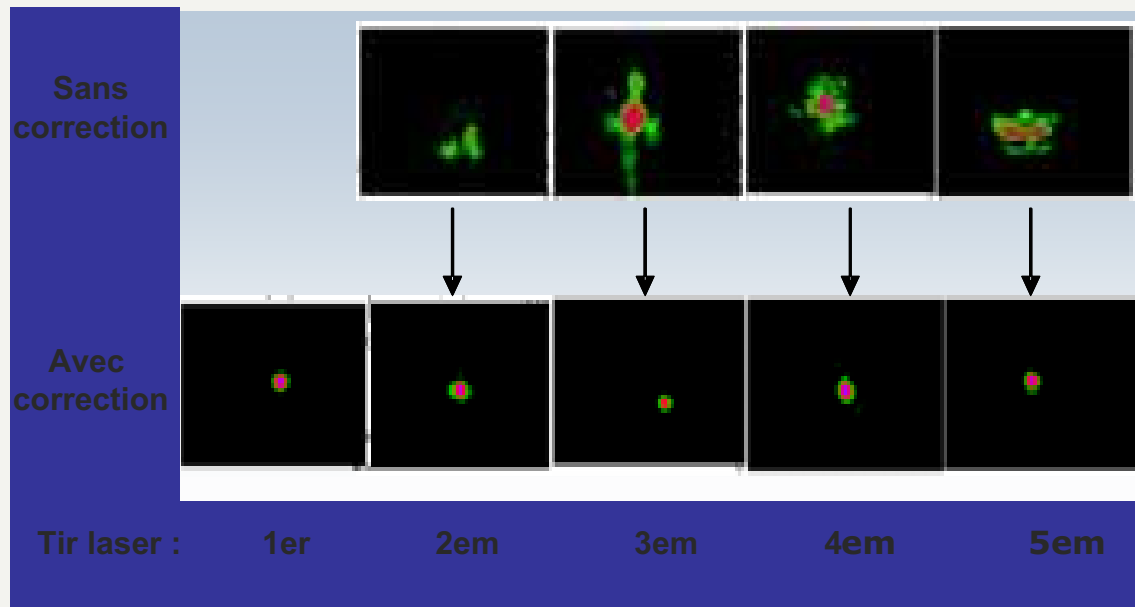
Bonne stabilité de correction



Résultats de correction pendant une séquence de tirs



- La correction dynamique ne commence qu'une heure après le tir précédent;
- Un ré-alignement avant tir est indispensable pour
 - minimiser le tilt thermique résiduel
 - conserver la même matrice de réponse de MD (tir à tir)

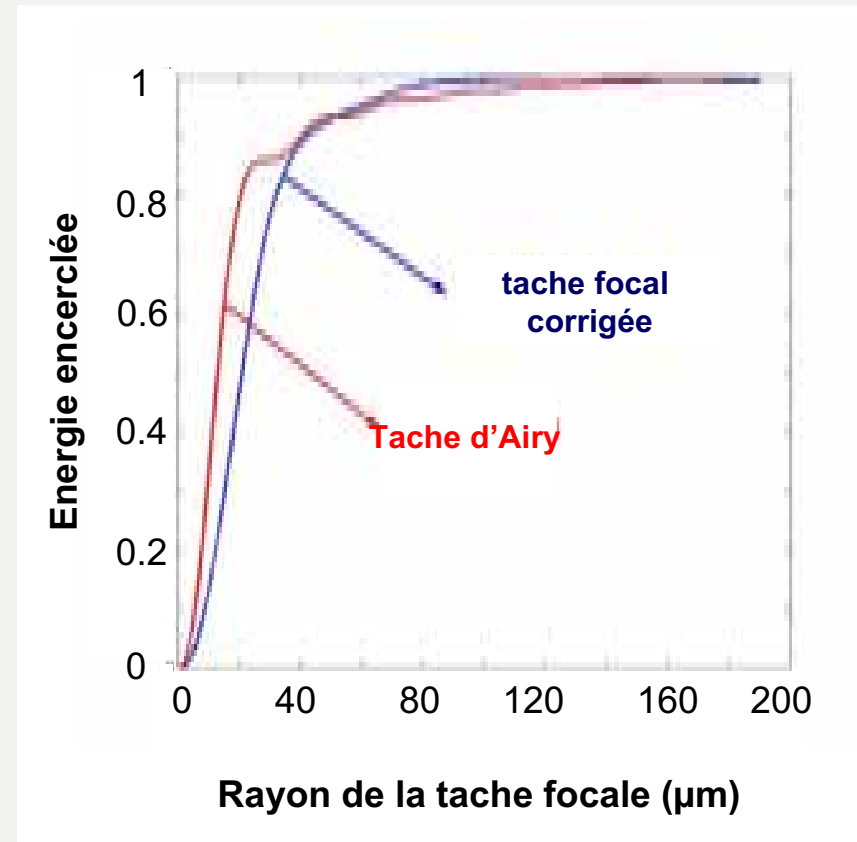
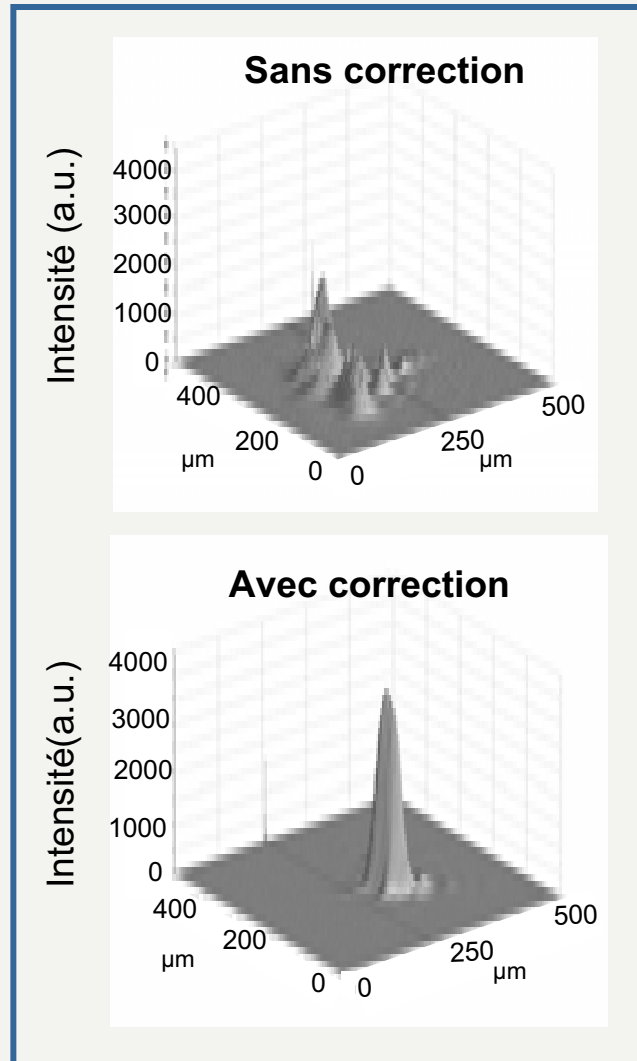


Une série de
5 tirs "kJ"
avec une cadence
d'un tir
toutes les heures



Un tir "kJ" toutes les heures
Excellente reproductibilité

Tache focale mesurée pendant un tir "kJ"



Strehl ratio ~ 0.7

Conclusion et perspectives



Nous avons obtenu d'excellents résultats:

- amélioration de la qualité de la tache focale
- bonne reproductibilité tir à tir de la tache focale
- augmentation de la cadence de tir d'un facteur 2
- intégration de la CSO dans le système de control du "LULI2000"

Correction de front d'onde pour le projet "PW"