

**Correction et mise en forme des taches focales
d'un laser de puissance :
Génération de bi-speckles par une boucle Optique Adaptative**



Ji-ping Zou, Catherine Le Bris, François Simon, Sophie Baton

*Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, LULI,
Ecole Polytechnique, CNRS, CEA, UPMC; 91128 Palaiseau, France*

Benoit Wattellier, Ivan Doudet, William Boucher

*PHASICS, Campus de l'Ecole Polytechnique,
Route de Saclay, 91128 Palaiseau cedex, France*

Christophe Rousseaux

CEA, Direction Ile de France, Bruyères-le-Châtel, Arpajon

Plan de l'exposé



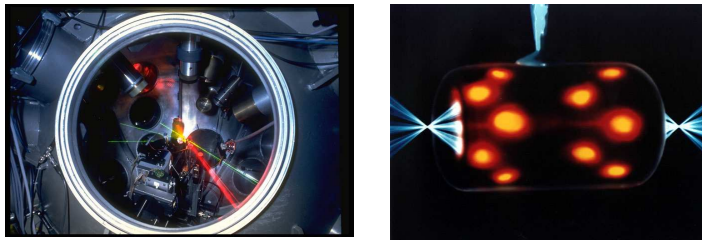
- **Présentation du LULI**
- **Amélioration de la tache focale sur cible par la correction de surface d'onde**
- **Génération de bi-speckles par une boucle Optique Adaptative**

LULI (Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses)

unité mixte de recherche :



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



- Fundamental plasma physics
- Laser-matter interaction applications

Grand instrument laser national et européen



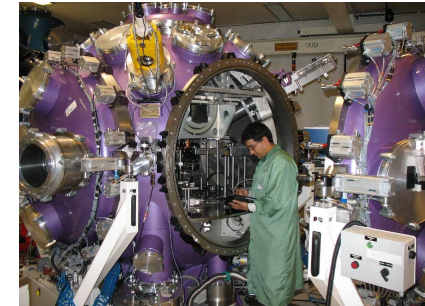
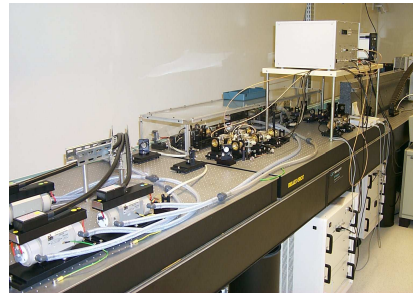
Les 2 plus gros lasers civils en France en régime "ns" et "sub-ps"

2 installations laser de puissance au LULI



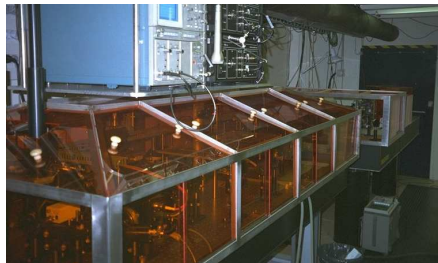
“LULI2000”:

- **Nano2000**: 2 chaînes en Nd:phosphate : kJ/ns ($1.053\mu\text{m}$);
- **Pico2000** : 200J @ 800fs (Pb. de réseaux) → PW regime

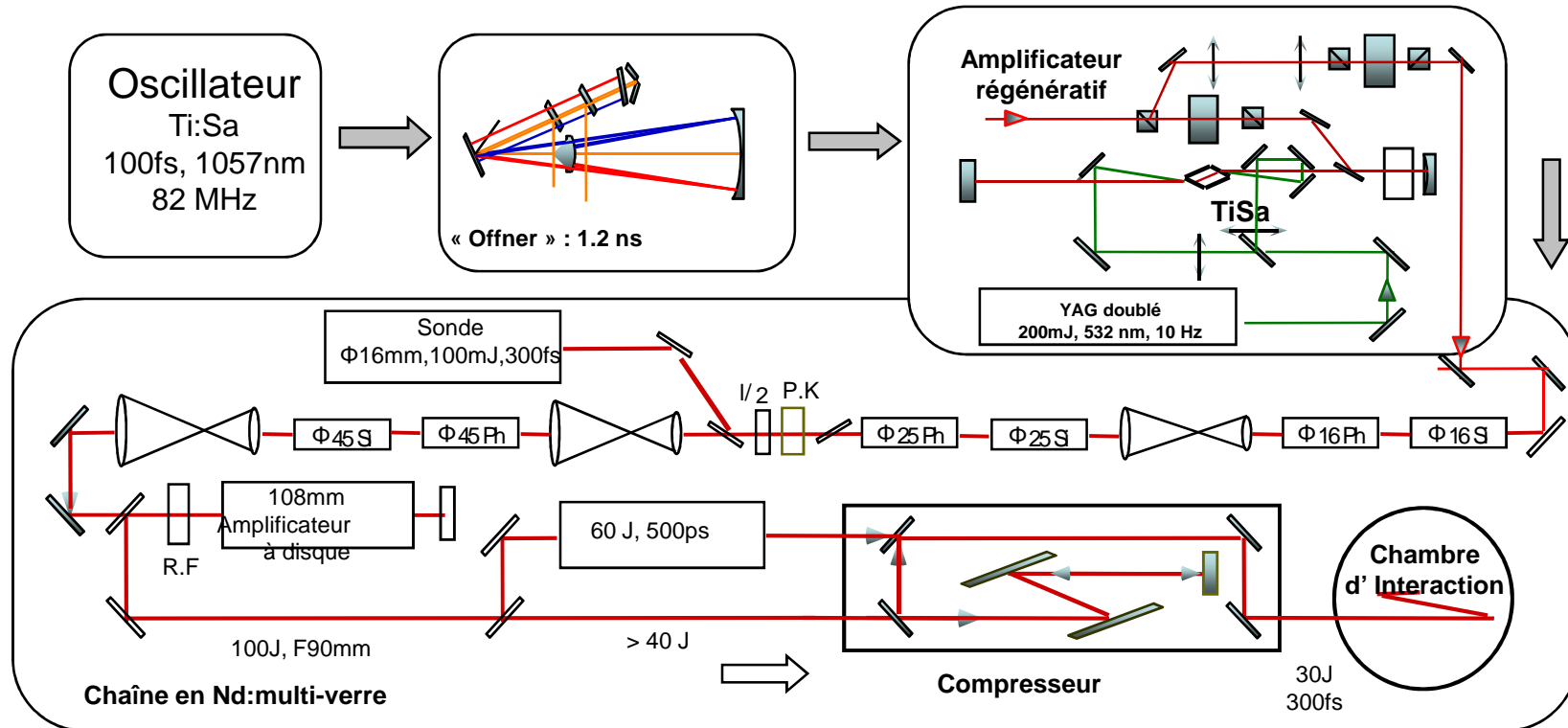


“100TW”:

CPA système (Ti:Sa + Nd : multi-verres) : 30J/300fs



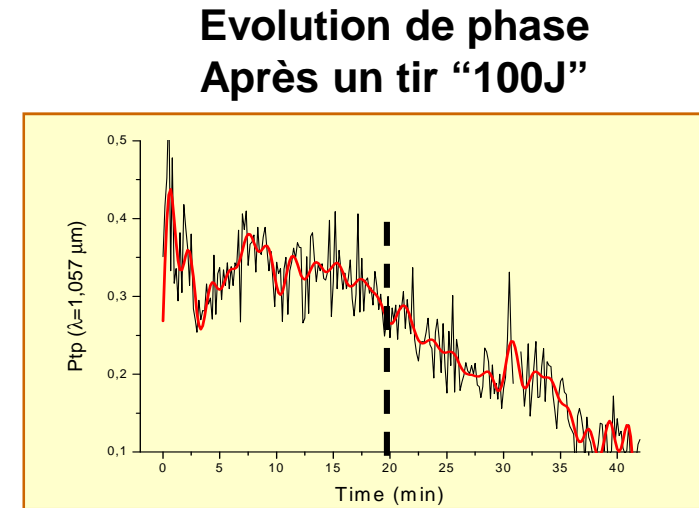
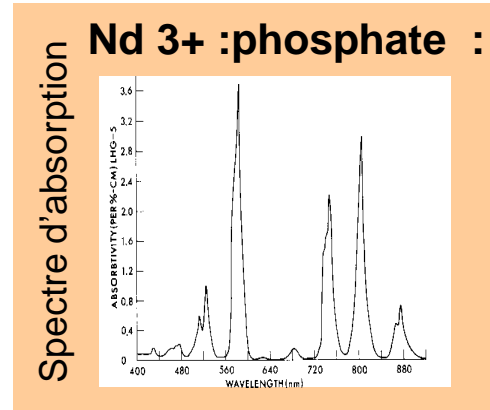
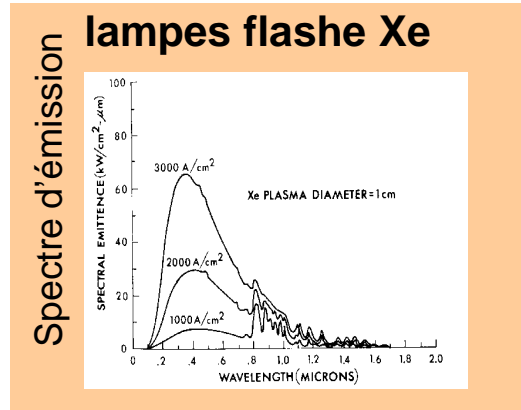
Systeme "100TW"



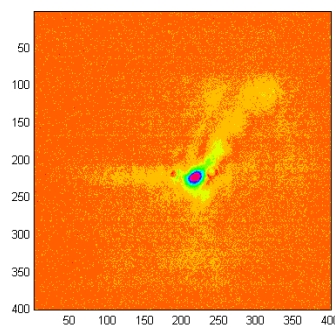
Un faisceau principal de **30 J /300fs**, **synchronisé avec**

- (i) un faisceau de **60J/~1/2ns** pour produire les plasmas
- (ii) Un autre faisceau auxiliaire de **30TW (10J, 300fs)** [Ø90mm]
- (iii) un faisceau sonde de Ø25mm **100 mJ**

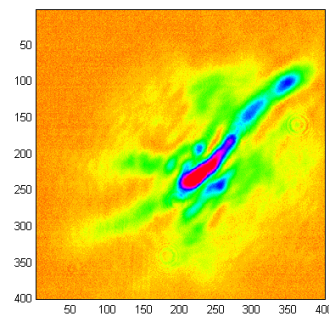
Effet Thermique : principale source de la deformation de front d'onde



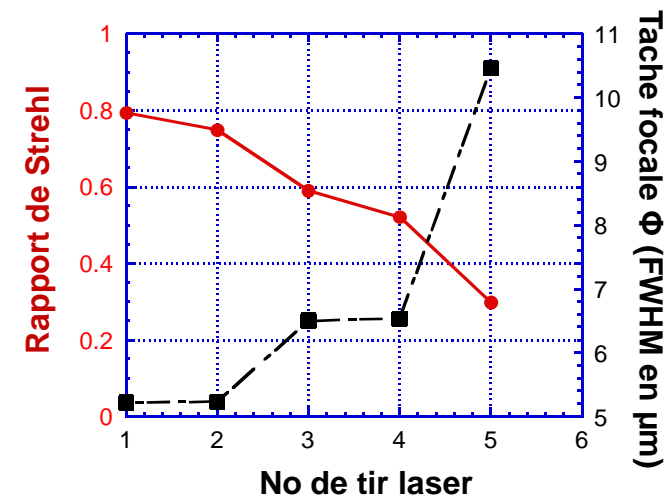
Temps de thermalisation : > 40 minutes.
Si la cadence de tir ttes les 20 min →
Déformation de phase par l'effet thermique cumulé



1er tir



5em tir

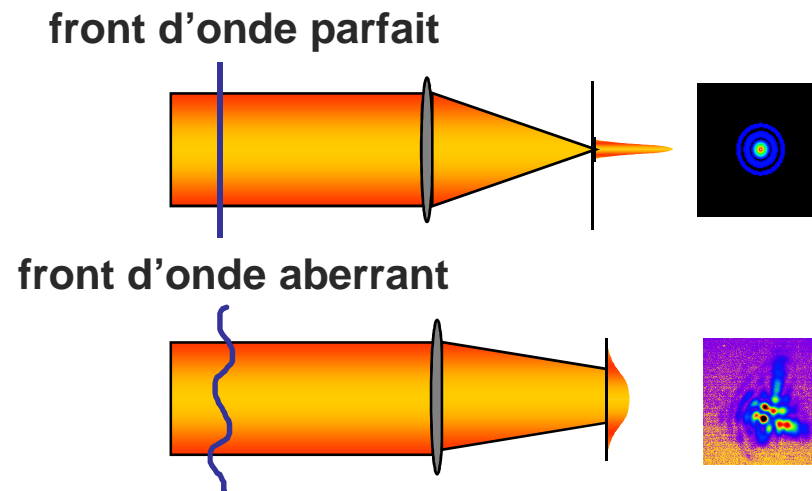


Motivations



1) Améliorer l'intensité laser sur cible (qualité de la tache focale) :

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



2) Améliorer la re-productibilité de la tache focale tir-à-tir

3) Améliorer la cadence de tir

Boucle "Optique adaptative" du 100TW



capteur de front d'onde: SID-4

Large plage achromatique (400 -1100 nm),

Résolution transverse (30 μm , 160 \times 120 points),

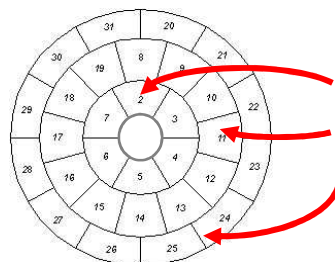
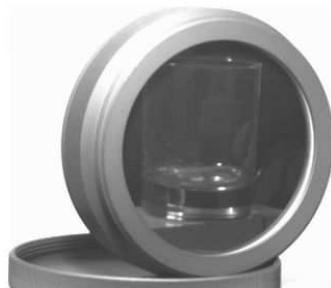
Précision de mesure ($\lambda/100$ en rms),

Insensible à la modulation de l'intensité laser ($\lambda/500$ rms),

Compact.



Correcteur: miroir déformable



D1 = 42 mm
D2 = 73 mm
D3 = 94 mm

Diamètre = 110 mm

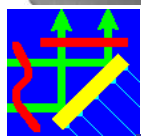
Seuil de dommage = 6 GW.cm⁻²

(testé : ~2J/cm²)

Actuateurs = 31+1

Traitement multi-diélectrique

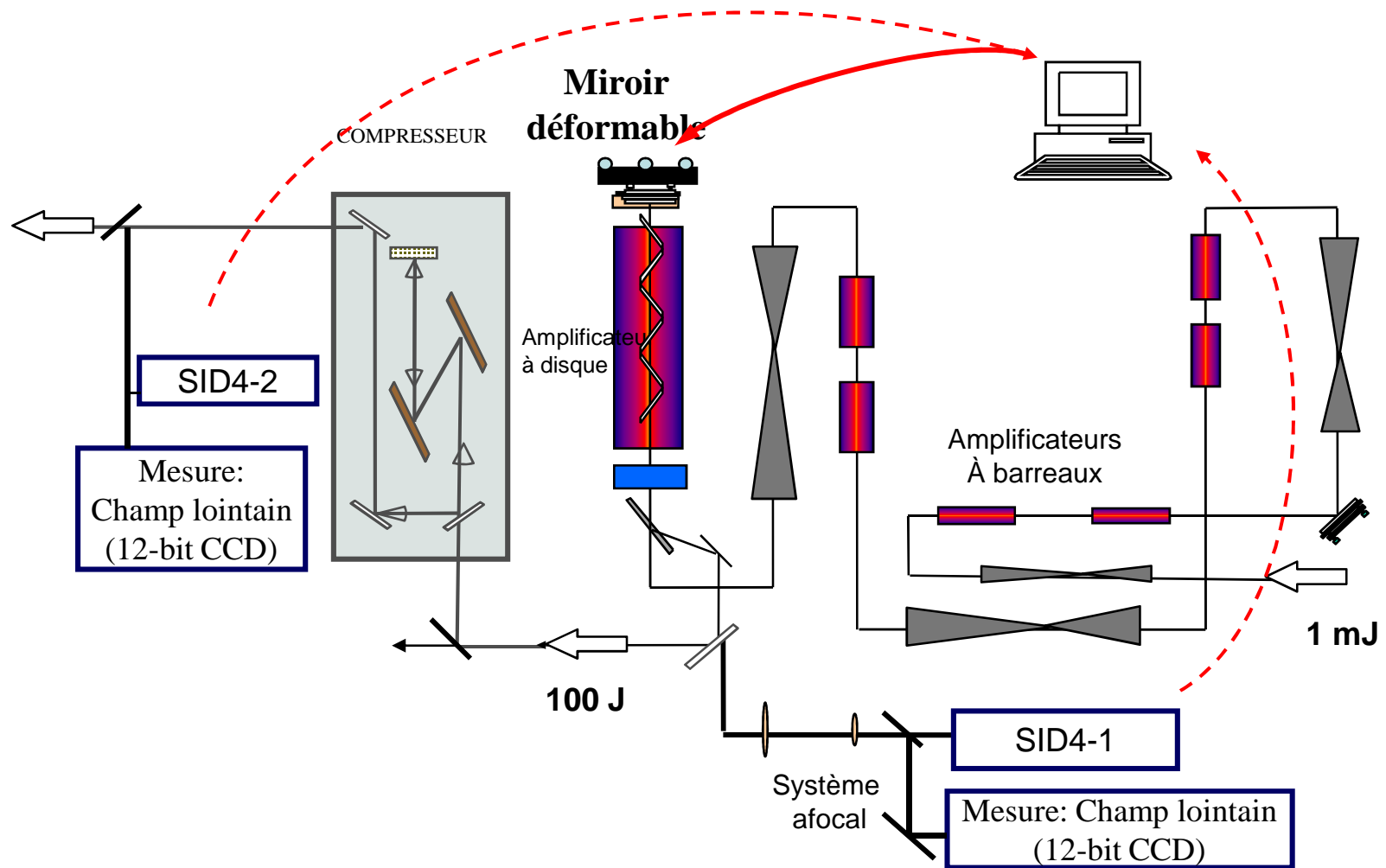
Dynamique de correction > 6 λ



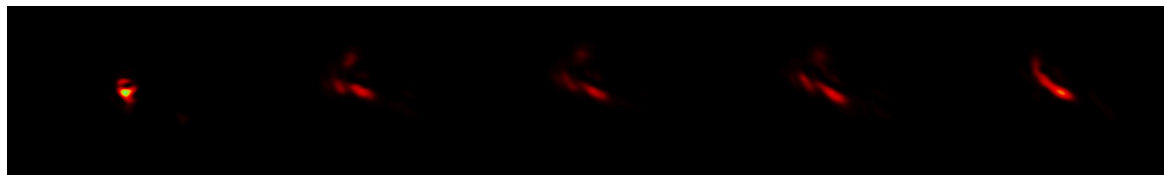
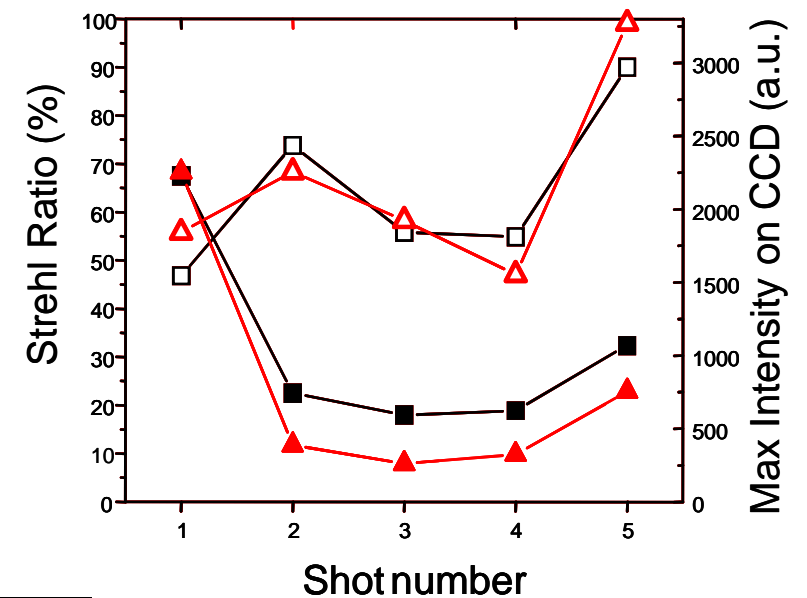
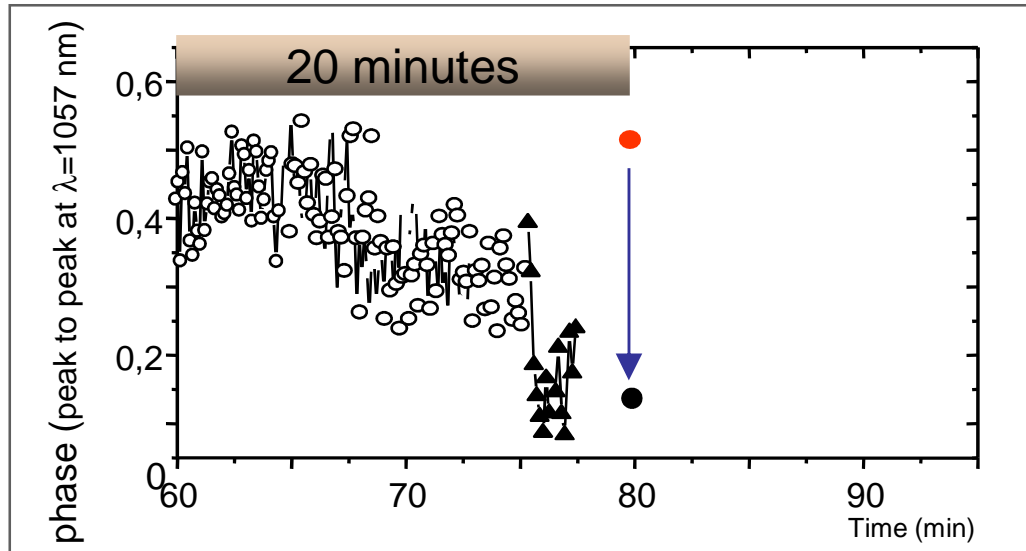
IPLIT RAN

Adaptive Optics for Industrial &
Medical Applications Group

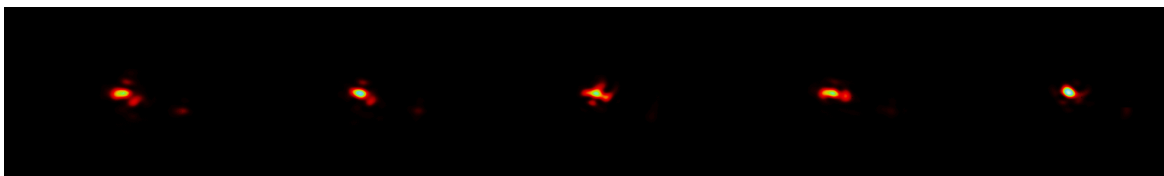
Montage experimental



Correction du front d'onde avant chaque tir (1 tir toutes les 20 min.)



(a) without wave front correction



(b) with wave front correction

- **Max intensity on CCD:**
 - ▲ without correction
 - △ with correction
- **Strehl ratio (%):**
 - without correction
 - with correction



Génération de bi-speckle au moyen d'une boucle Optique Adaptative

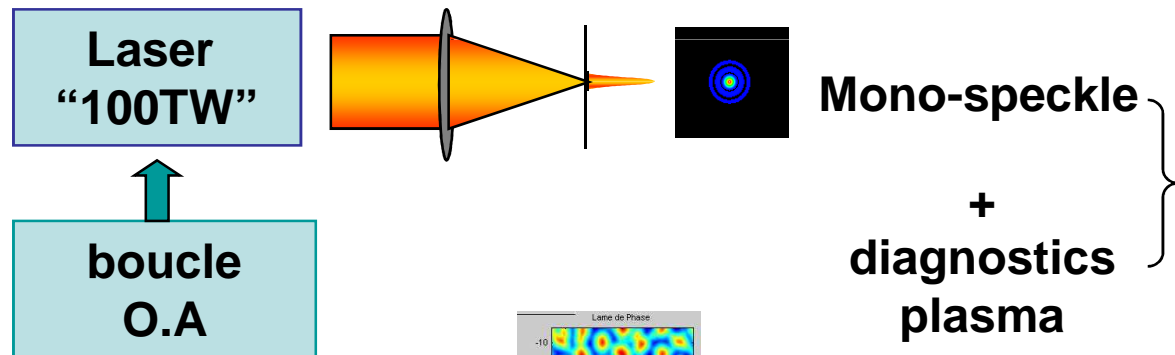
Motivations



Contexte : Fusion contrôlée inertielle par laser

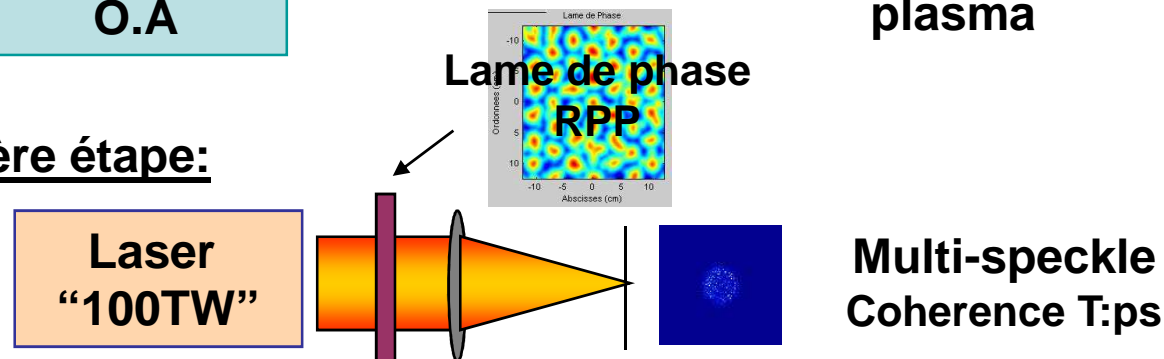
Thème de recherche: Étude des instabilités paramétriques (telles que les diffusions Raman et Brillouin stimulées) dans l'interaction laser-plasma à haute intensité

1ère étape:



Compréhension de la saturation des instabilités paramétriques par un point chaud

2ère étape:



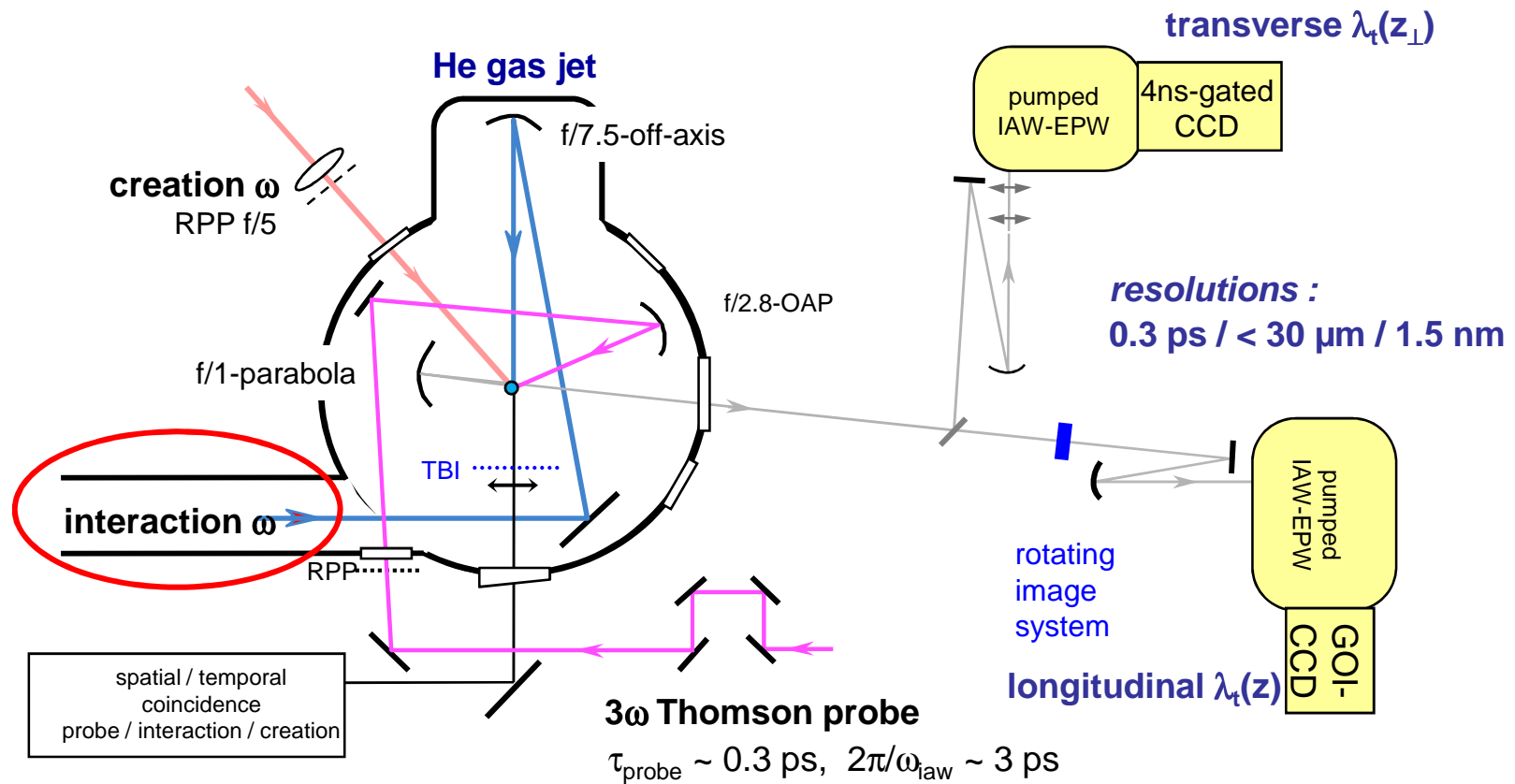
Relier la précédente étude aux celles produites dans les plasmas chauds de grande dimension

Les raisons de la génération de bi-speckle :



Etude préliminaire de l'étape 2:

Etude de l'interdépendance du développement des instabilités dans chacun des points chauds



Simulation in Miro

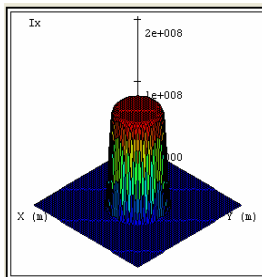
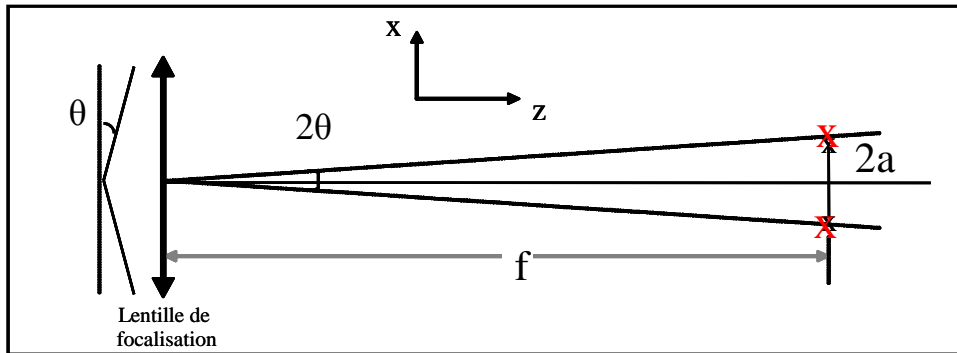


une phase linéaire à 2 pentes de signe opposé est à créer et à additionner dans le faisceau laser

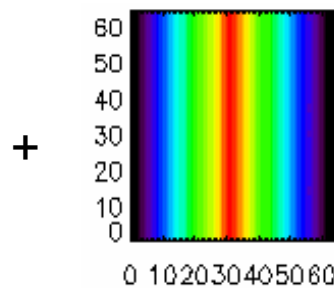
$$E(x, y) = \exp[-(x^2 + y^2)^n] \exp[-i(\varphi + \varphi_{bs})] \quad \text{avec } \varphi_{bs}(x) = e^{-i(k_x x)}$$

$$-\frac{D}{2} \leq x \leq \frac{D}{2}$$

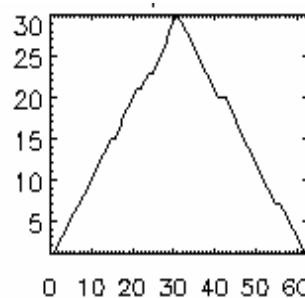
$$a = k_x f = \frac{2N\lambda f}{D}$$



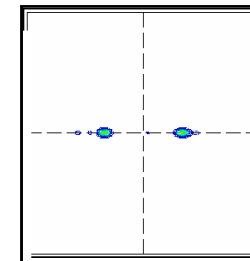
Amplitude



Phase linéaire



Parabole
→
f = 75 cm



·foyer

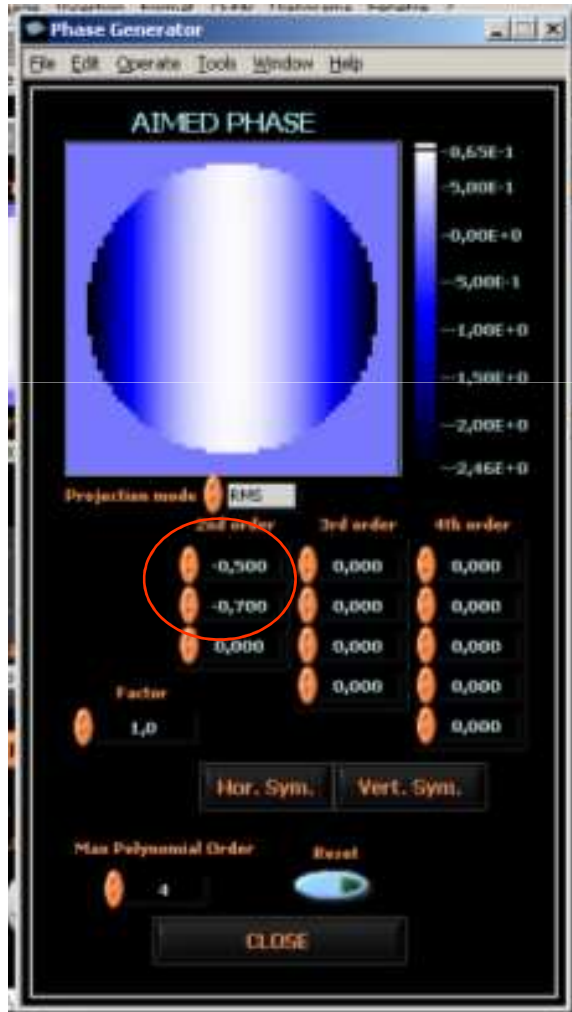
Comment générer cette phase?

Génération d'une phase « bi-pente » par les Coefficients Zernike:



Zernike à faible ordre:
Astig+défoc => l'effet de lentille cylindrique

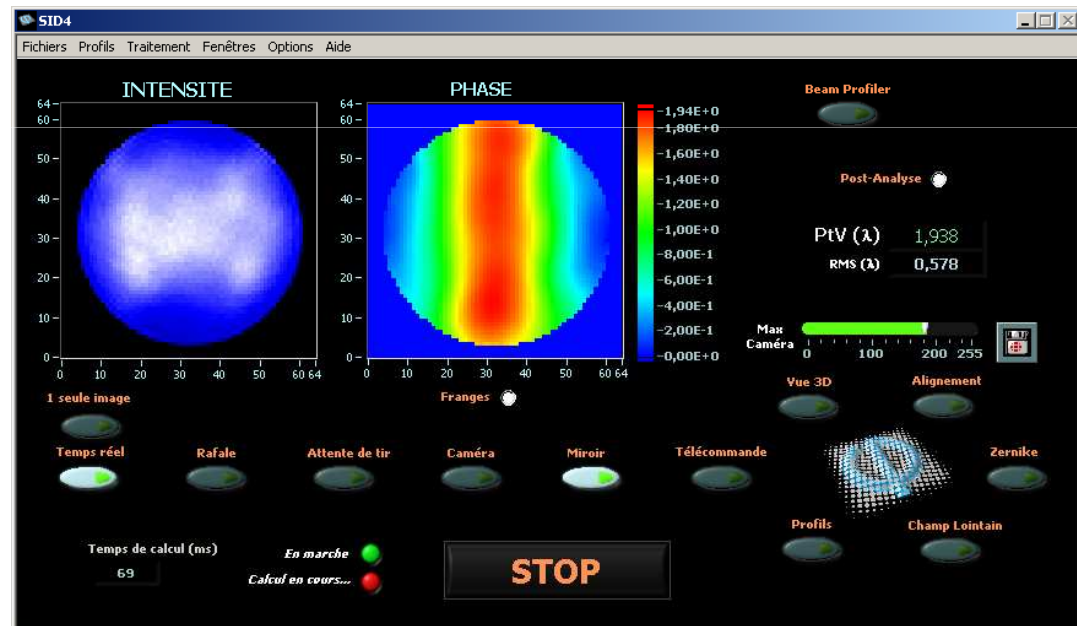
Zernike à ordre élevé:
Complexe



Procédures expérimentales-1



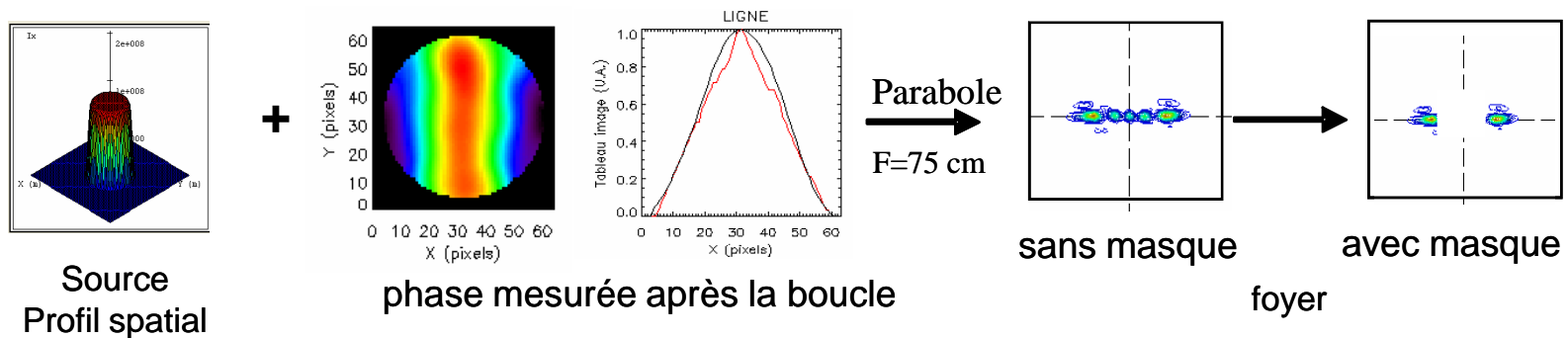
- 1) Phase bi-pente générée par l'ordinateur : **64x64** pixels, utilisée par la suite comme la phase de référence pour la boucle Optique Adaptative
- 2) Phase amplitude :
Compromis en tenant compte de la qualité du champ proche
=>2.5 lambda
- 3) L'énergie contenue dans les 2 taches peut être équilibrée en déplaçant l'arrêt de la phase



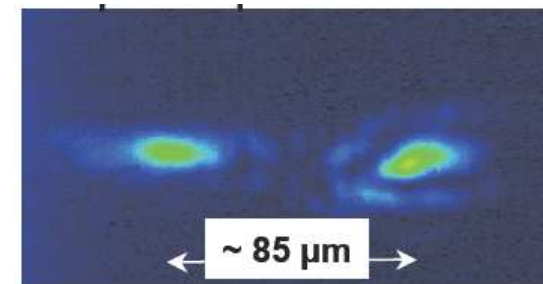
Procédures expérimentales-2



4) Un masque est placé proche du foyer pour éliminer les lumières parasites (actuateurs du miroir déformable sont répartis en anneaux),



Résultat expérimental
avec une énergie encerclée $\geq 50\%$



méthode validée pour l'étude de l'interdépendance du développement des instabilités paramétriques entre 2 points chauds dans l'interaction laser-plasma à haute intensité

Conclusions



Le contrôle de front d'onde est crucial pour les chaînes laser de puissance pompées par flashes. Il assure

- une excellente qualité de la tache focale sur cible ;**
- une bonne reproductibilité tir-à-tir de la tache focale ;**
- une amélioration considérable de la cadence de tir.**

Nous avons également démontré qu'il est possible d'effectuer certaines mises en forme de la tache focale par la même boucle Adaptative.

Une expérience est programmée au début de 2009.