



---

# Mesure de la turbulence dans le transport de la Ligne d'Intégration Laser (LIL) et estimation de sa contribution aux performances des installations LIL et Laser Mégajoule

**Claire Grosset-Grange**

*Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Études Scientifiques et Techniques d'Aquitaine, B.P.2, 33 114 Le Barp, France*

[claire.grosset-grange@cea.fr](mailto:claire.grosset-grange@cea.fr)

# Plan

---



- **Introduction**
- **Mesure de la turbulence dans le transport de la LIL**
- **Contribution de la turbulence aux performance des installations laser LIL et LMJ**
- **Conclusion**

# Plan

---

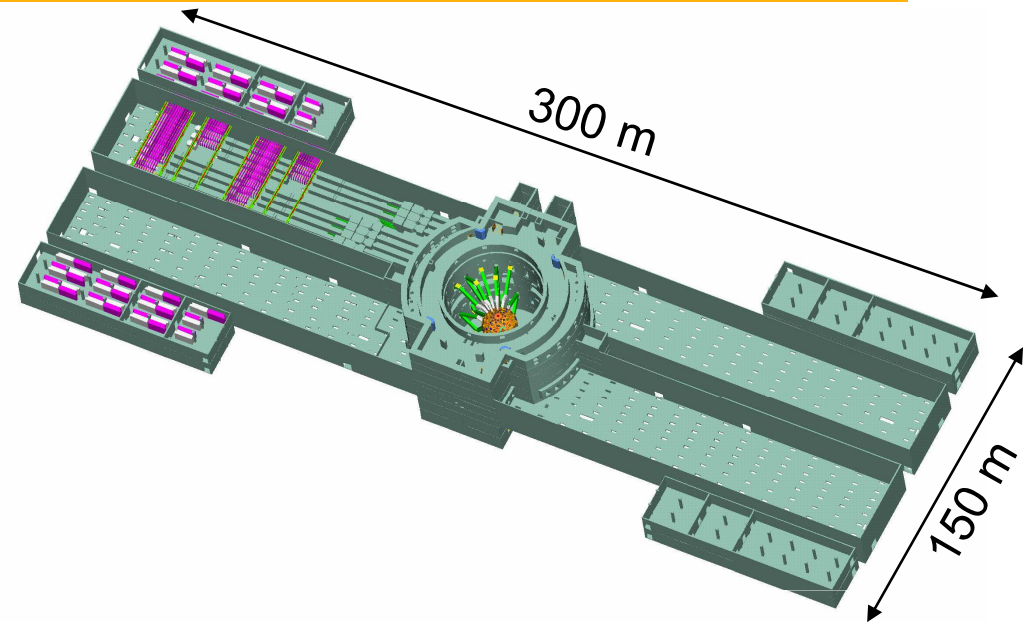


- **Introduction**
- **Mesure de la turbulence dans le transport de la LIL**
- **Contribution de la turbulence aux performance des installations laser LIL et LMJ**
- **Conclusion**

# Projet LMJ



- Lancement en 1995
- Objectif: Obtenir la fusion par confinement inertiel
- Installation LMJ comprenant 240 faisceaux convergeant sur une cible millimétrique  
⇒ 2 MJ / 550 TW



- **Spécifications associées**

- Précision de pointage : 50  $\mu\text{m rms}$
- Tache focale donnée par masque de phase, avec maîtrise de la courbure de la surface d'onde  $\sigma_{\phi_{\text{foc}}} = \lambda/7 \text{ rms}$

# Contribution de la turbulence



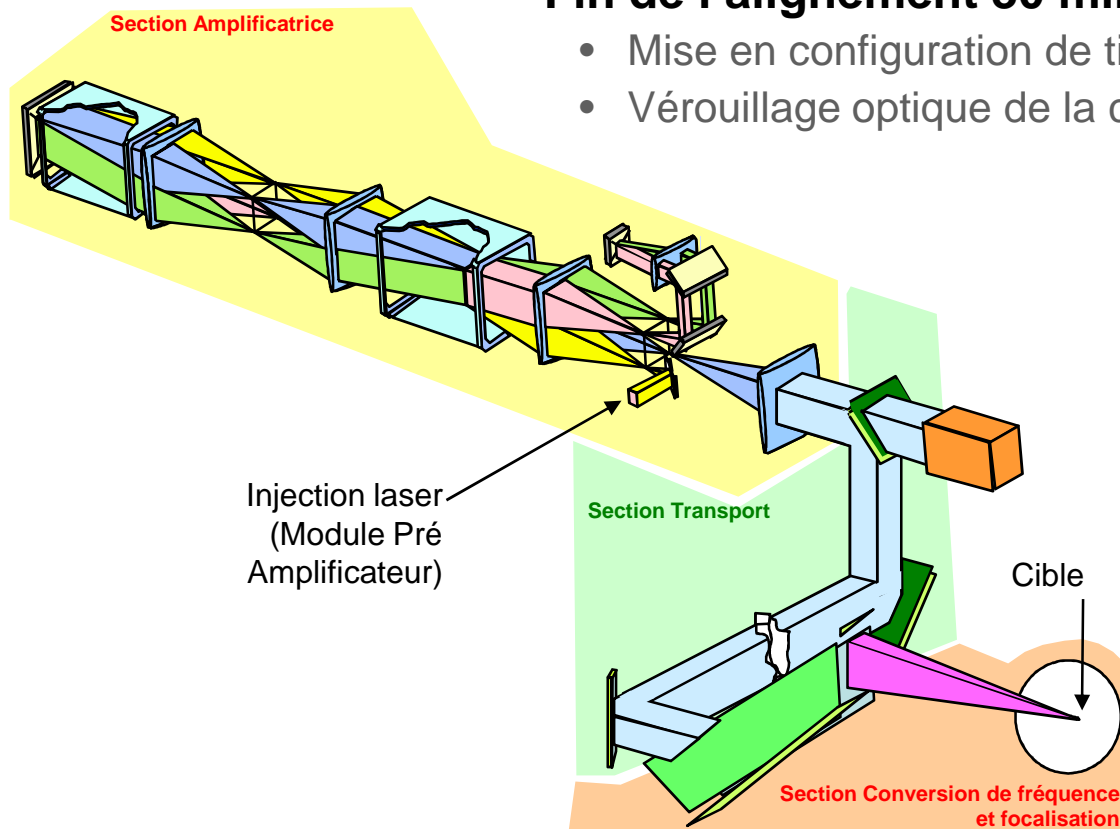
- **Séquence d'alignement LMJ**

- **Alignement laser séquentiel des différentes parties**

- Section Amplificatrice : centrage, pointage et surface d'onde
- Section Transport : centrage et pointage
- Section Focalisation : centrage, pointage sur cible et focalisation

- **Fin de l'alignement 30 minutes avant le tir de puissance**

- Mise en configuration de tir
- Verrouillage optique de la chaîne (Eviction des risques d'auto amorçage)



⇒ **Turbulence = contributeur subi**

- **Objectif de notre étude : la turbulence dans le transport sur le faisceau:**

- **400 mm de côté**
- **40 m de propagation**
  - 30 m à l'air libre
  - 10 m de tubage argon

- **Allocation turbulence**

- $\sigma_{\text{pointageCC}} = 8 \mu\text{m rms}$

# Environnement du transport LMJ



## • Spécifications

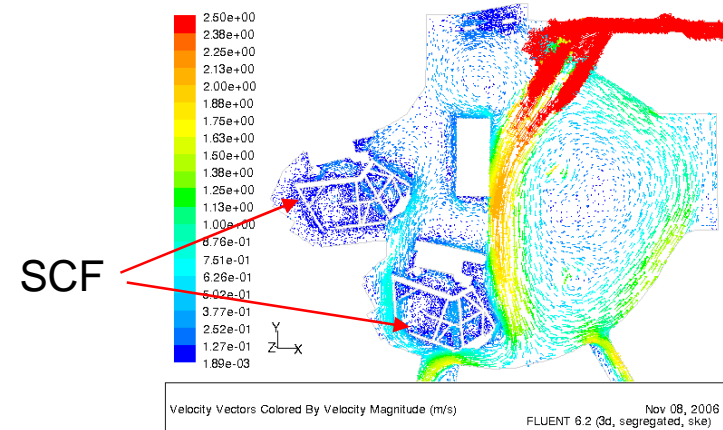
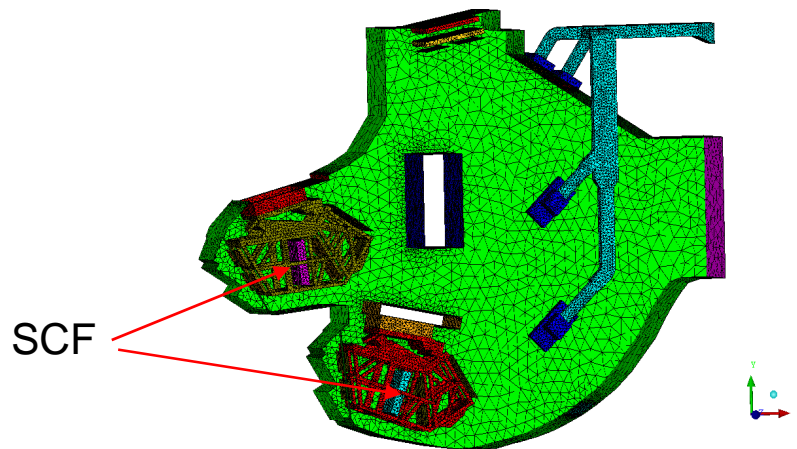
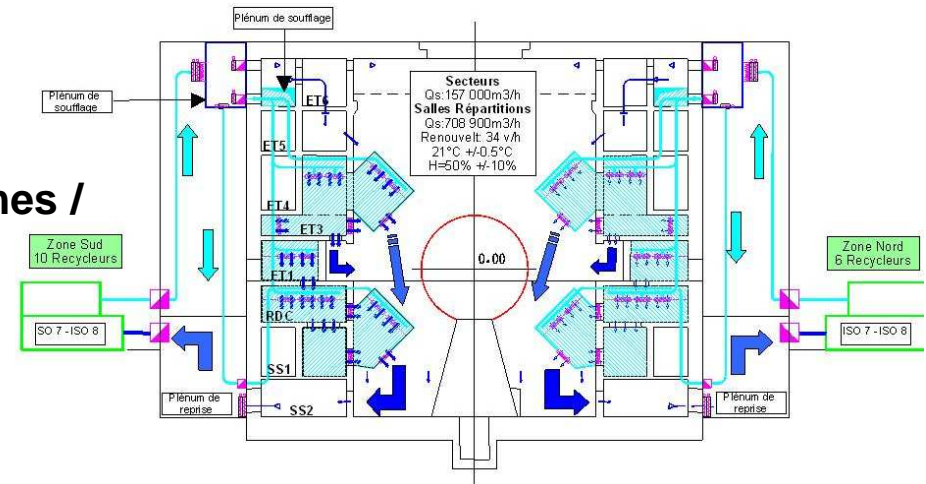
- Température =  $21 \pm 0.5$  °C
- Humidité relative =  $50 \pm 10$  %
- Renouvellement de l'air = 34 volumes / heure

## • Système de ventilation

- Circulation air du haut en bas
- Réinjection de l'air extrait avec un apport de 10% d'air frais
- Température de l'air injecté:  $21 \pm 0.1$  °C

## • 2 types de contributions aux performances pointage et SO

- Régime turbulent
- Régime de gradient de température lentement variable



# Plan

---



- Introduction
- Mesure de la turbulence dans le transport de la LIL
- **Contribution de la turbulence aux performance des installations laser LIL et LMJ**
- Conclusion

# La Ligne d'Intégration Laser, prototype du LMJ



- **Ligne d'Intégration Laser**
  - **Démonstrateur d'une chaîne laser du LMJ**
  - **Quadruplet qualifié en 2004**

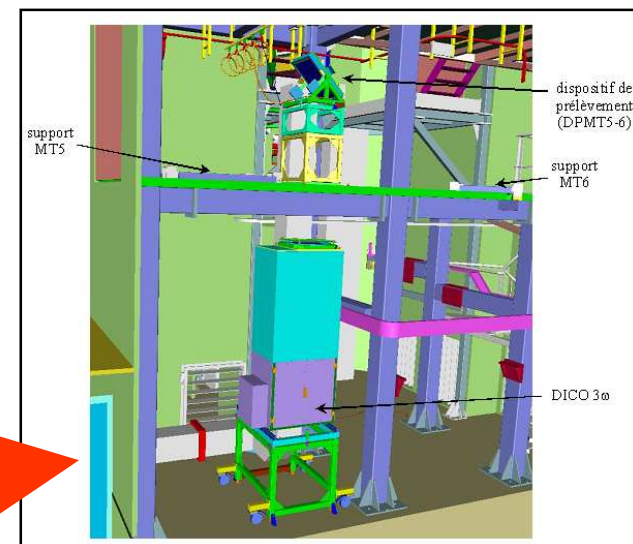
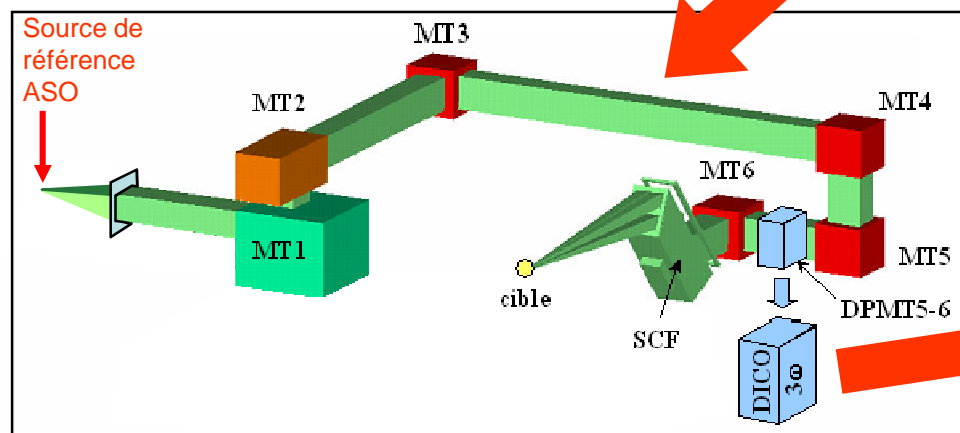
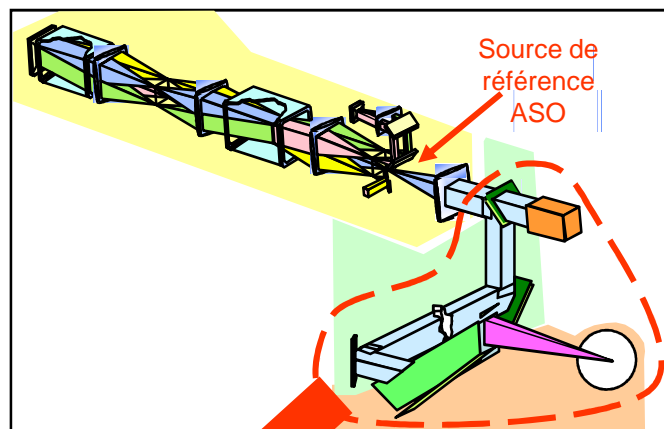




# Montage expérimental sur la LIL



- Une source laser injectée en sortie de la section amplificatrice
- Un plateau de mesure de surface d'onde implanté en fin de la section transport après propagation sur 40 m dans l'air d'un faisceau de 400 mm de côté



# Traitement des données

---



- **Mesures réalisées**

- **2 types de capteurs**

- Mesures haute cadence ( $f=77$  Hz) avec HASO32
    - Mesure haute résolution spatiale avec HASO128 ( $T=60$ s)

- **Sensibilité de la turbulence à la nature des planchers**

- LIL: plancher caillebotis laissant passer l'air  $\Rightarrow$  Mesure de référence
    - LMJ: planchers pleins  $\Rightarrow$  Mesure avec une bâche sur caillebotis LIL

- **Traitement des données**

- **Recherche du diamètre caractéristique de la turbulence (diamètre de Fried) permettant de retrouver la statistique des fluctuations de phase mesurées\***

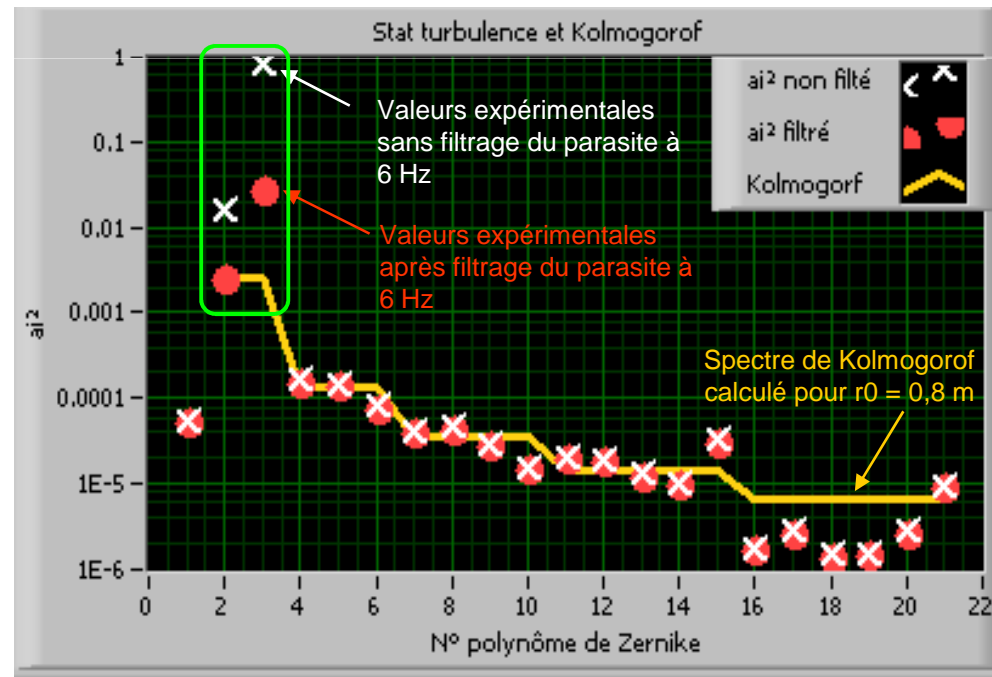
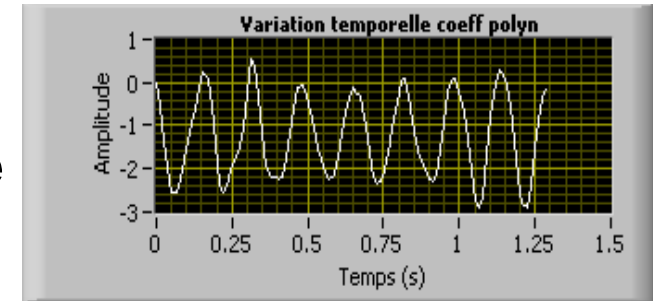
- Décomposition de la phase sur la base des polynômes de Zernike
    - Calcul de la puissance des variations de chaque aberratio
    - Recherche du rapport diamètre de Fried de la turbulence permettant de retrouver le spectre de Kolmogorof

\* Thèse J. Primot

# Résultat de mesure haute cadence



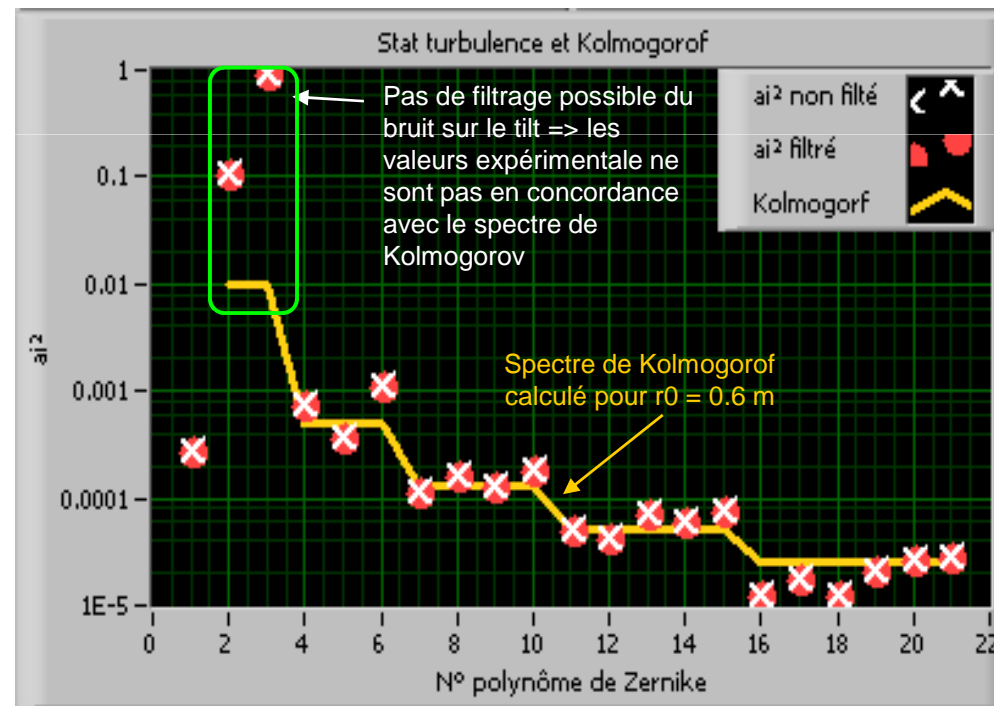
- **Durée de mesure réduite (1,3 s)**
- **Présence d'un parasite de tilt à 6 Hz**
  - **Origine identifiée : défaut de verrouillage du miroir de prélèvement**
  - **Mise en place d'un filtrage numérique du tilt**
- **Diamètre de Fried calculé = 0,8 m**



# Résultat de mesure haute résolution



- Durée de la mesure = 1 nuit
- Pas de filtrage possible du parasite de tilt ( $T_{\text{mes}} = 60\text{s}$ )
  - ⇒ Il faut se baser sur les polynômes autres que le tilt pour l'estimation de la turbulence
- Diamètre de Fried calculé = 0,6 m



**Résultat  
inchangé en  
présence de  
bâche sur  
les  
caillebotis**

# Plan

---



- Introduction
- Mesure de la turbulence dans le transport de la LIL
- **Contribution de la turbulence aux performance des installations laser LIL et LMJ**
- Conclusion

# Contribution de la turbulence sur LIL et LMJ



- Paramètres de calcul

- Diamètre de Fried  $r_0 = 0,6$  m
  - Diamètre faisceau  $D = 0,5$  m
- $D/r_0 = 0,8$

- Impact de la turbulence sur le pointage

$$\begin{aligned}\sigma_\phi^2 &= 2 \cdot 0,449 \cdot (D/r_0)^{5/3} \text{ rad}^2 &&= 0,66 \text{ rad}^2 \\ \sigma_\theta &= 4 \cdot \sigma_\phi \cdot \lambda / 2 \cdot \pi \cdot D &&= 1,0 \text{ } \mu\text{rad}\end{aligned}$$

$\sigma_{\text{pointageCC}} = \sigma_\theta \cdot \text{Focale}$	$= 8 \text{ } \mu\text{m rms}$
<b>Conforme à la spécification <math>\sigma_{\text{pointageCC}}</math></b>	<b><math>= 8 \text{ } \mu\text{m rms}</math></b>

- Impact de la turbulence sur la surface d'onde

$$\begin{aligned}\sigma_\phi^2 &= 0,13 \cdot (D/r_0)^{5/3} \text{ rad}^2 &&= 0,1 \text{ rad}^2 \\ \sigma_\phi &= 0,3 \text{ rad} &&= 0,05 \text{ } \mu\text{m rms}\end{aligned}$$

<b>Dont <math>\sigma_{\phi\text{focCC}} = 0,1</math> rad</b>	<b><math>= \lambda/50</math> rms</b>
<b>A comparer à <math>\sigma_{\phi\text{foc}}</math></b>	<b><math>= \lambda/7</math> rms</b>

# Plan

---



- Introduction
- Mesure de la turbulence dans le transport de la LIL
- Contribution de la turbulence aux performance des installations laser LIL et LMJ
- **Conclusion**

# Conclusion

---



- Des mesures de la turbulence dans le transport de la LIL ont été réalisées, donnant un diamètre de Fried de 0,6 m.
- Cette valeur conduit aux contributions à la performance centre chambre LIL et LMJ de :
  - **Pointage**
    - Mesure  $\sigma_{\text{pointage}} = 8 \mu\text{m rms}$  sur cible
    - Conforme à spécification  $8 \mu\text{m rms}$
  - **Puissance de l'aberration de courbure de la surface d'onde**
    - Mesure  $\sigma_{\phi_{\text{foc}}} = \lambda/50 \text{ rms}$
    - Contributeur négligeable / objectif total fin de chaîne =  $\lambda/7 \text{ rms}$
- **Les bonnes performances obtenues sont liées principalement à la stabilité en température de l'air soufflé**
- **Ces mesures seront reconduites sur l'installation LMJ dès que possible**





---

# Mesure de la turbulence dans le transport de la Ligne d'Intégration Laser (LIL) et estimation de sa contribution aux performances des installations LIL et Laser Mégajoule

**Claire Grosset-Grange**

*Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Études Scientifiques et Techniques d'Aquitaine, B.P.2, 33 114 Le Barp, France*

[claire.grosset-grange@cea.fr](mailto:claire.grosset-grange@cea.fr)