

External magnetization of HEDP laser-produced plasmas

J. Fuchs, LULI



High-current pulser for strong B field generation

Générateur de courant :

- construit par le HZDR
- 5 capacités de 50 μF , $C=250 \mu\text{F}$
- ignitron 25 kV
- **énergie disponible : 32 kJ**
- courant maximum : 250 kA
- temps de montée court ($\sim\mu\text{s}$)



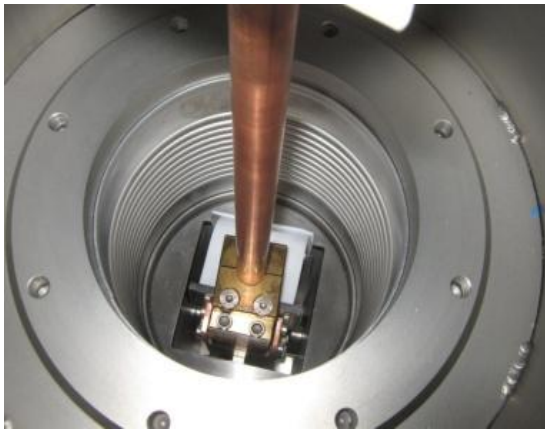
Dimensionnement de la bobine LNCMI :

- la durée très courte de l'expérience nous permet d'envisager des temps très courts ($\sim\mu\text{s}$) pour la durée du champ magnétique
- accès laser + accès transverse pour les diagnostics
- éviter le passage sous vide du courant (problème d'arc électrique entre la chambre et les lignes de transmission)
- 40 T au maximum

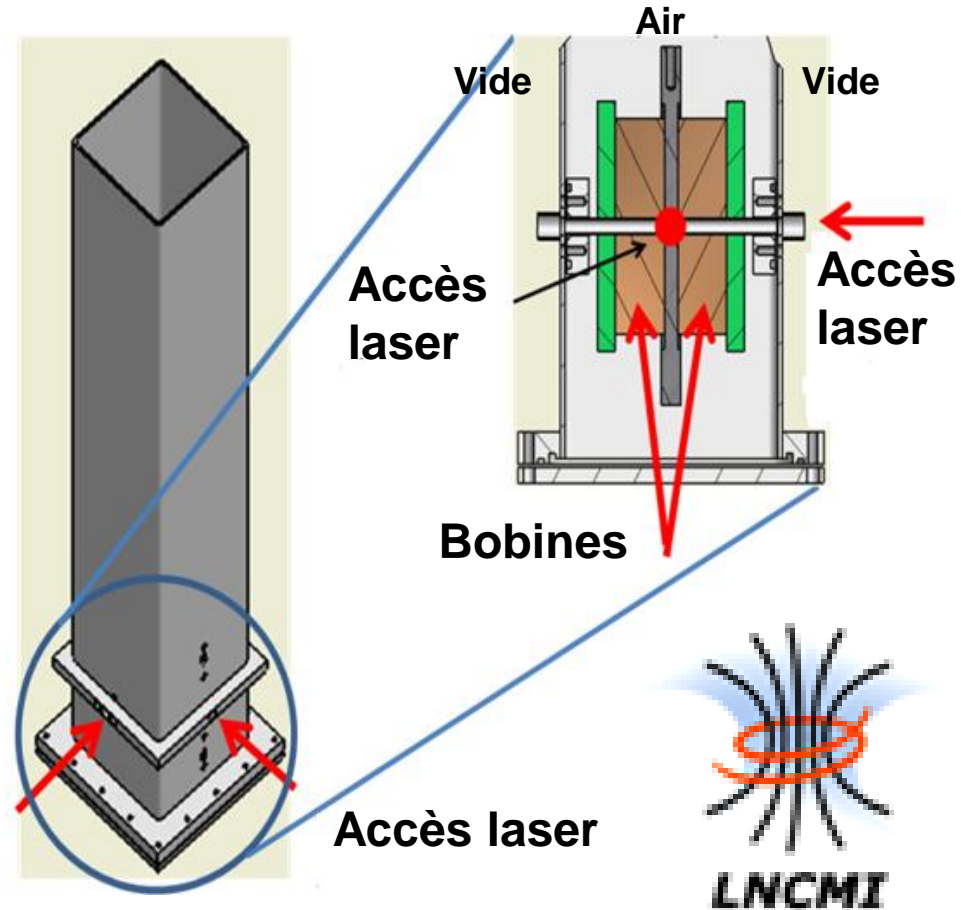


Caractéristique de la bobine :

- Bobine de type Helmholtz
- Accès radial de 5 mm pour les diagnostics
- Pas de passage sous vide du courant



Accès laser



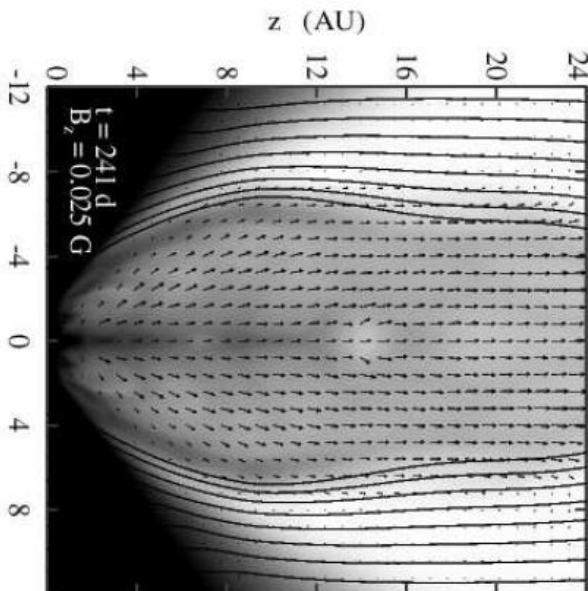
Test of a scenario: influence of a purely poloidal magnetic field for jet collimation



$$F_{\perp} = \underbrace{-\frac{B_{\theta}}{\mu_0 r} \nabla_{\perp} (rB_{\theta})}_{\text{Hypothesis} = 0} + \underbrace{j_{\theta} B_{pol}}_{\text{What is the effect?}}$$

Hypothesis = 0

What is the effect?



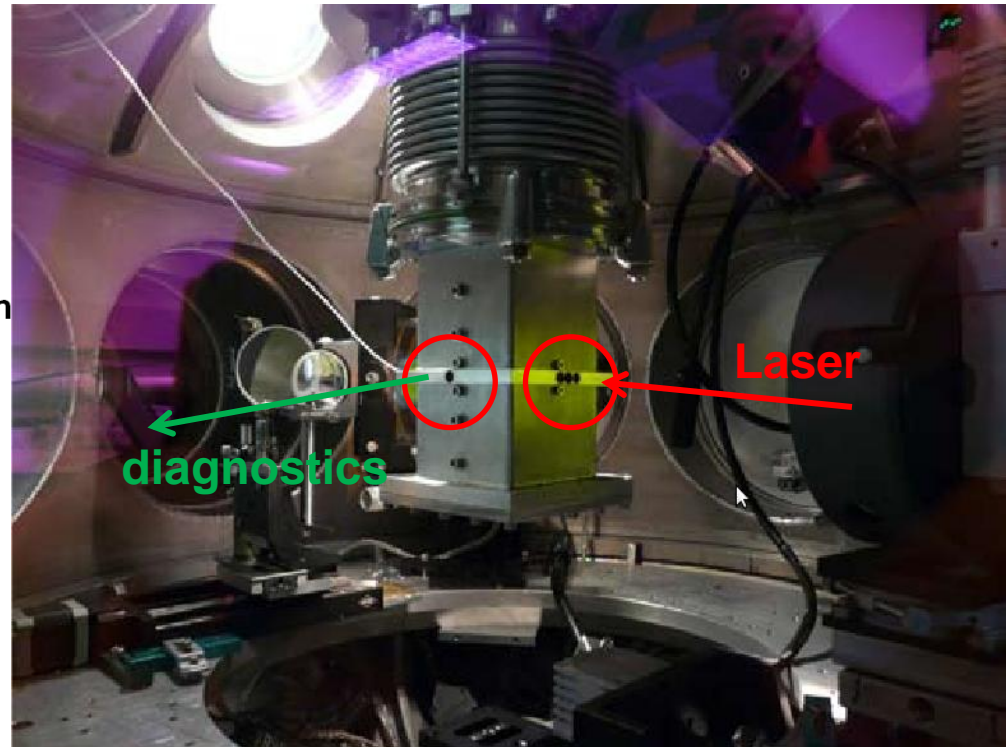
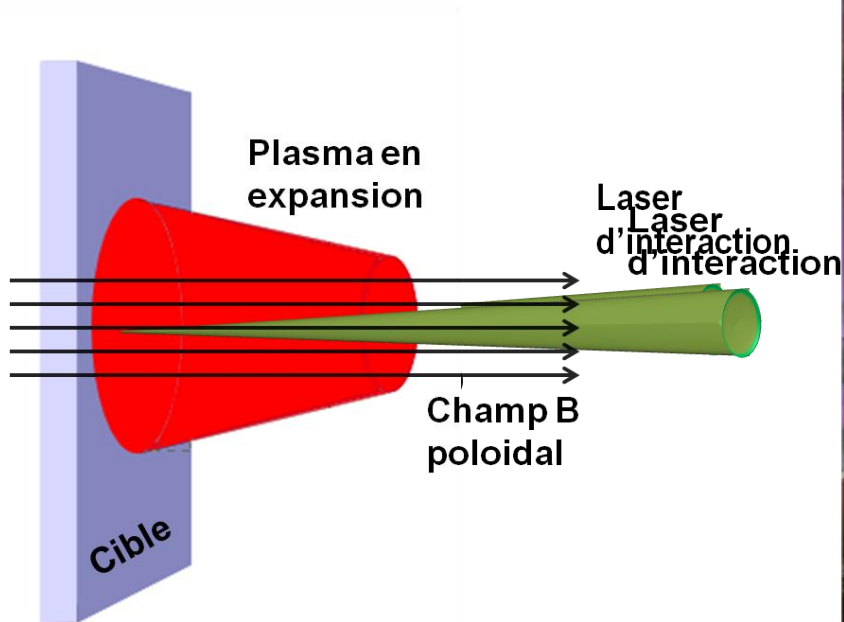
[S. Matt et al., Mont. Not. R. Astron. Soc. 000, 1-8 (2002)]

**To test this, we performed a scaled-down experiment where $B_{\theta} = 0$
study purely the effect of B_{pol}**

How can we mock-up in the lab an astrophysical jet?



Experimental set-up



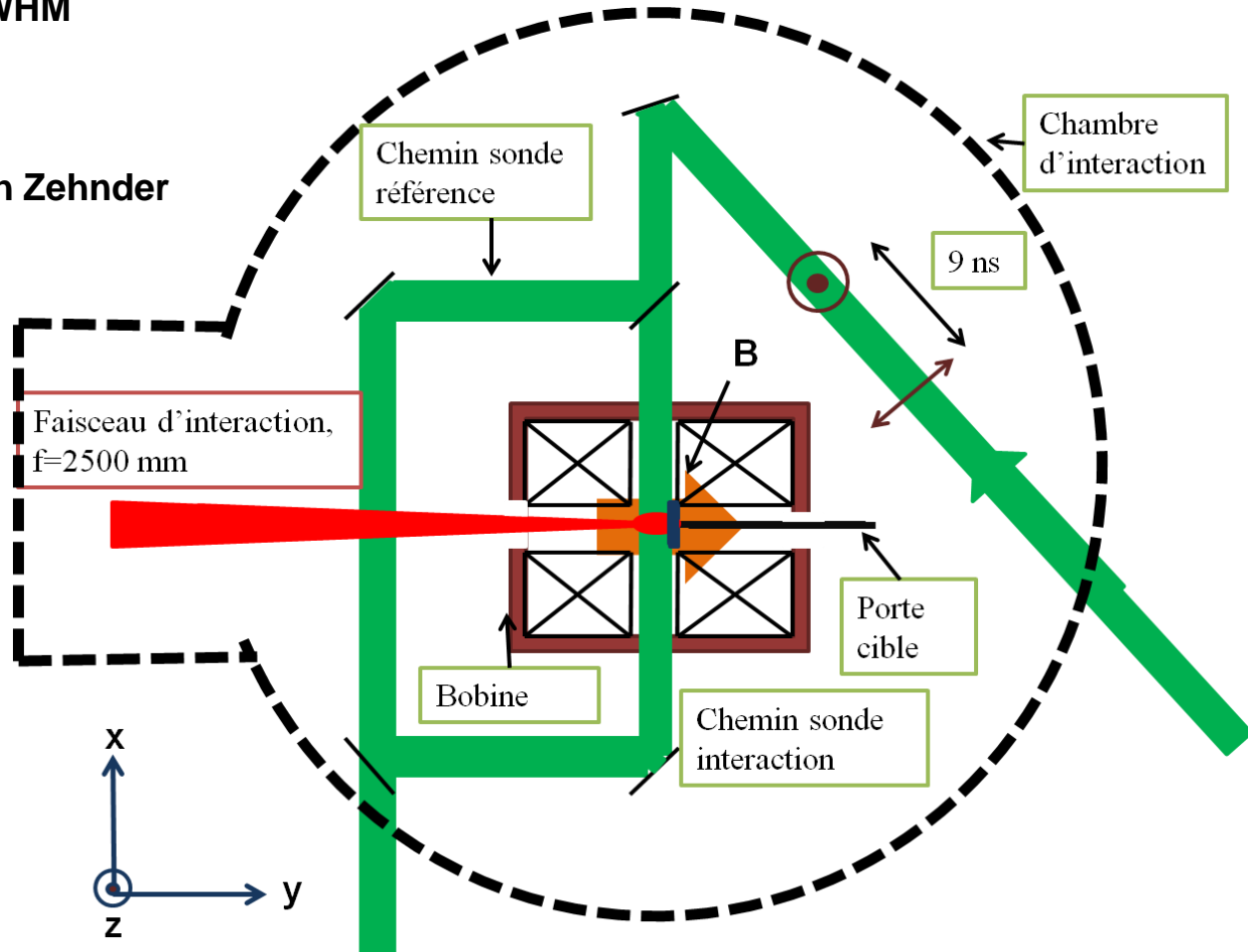
What an experiment looks like



Laser: 50 J, 500 ps FWHM

Magnetic field of 20 T

Main diagnostic: Mach Zehnder interferometer



How do we link the experiment to astrophysical events?



Quantity	CH	YSO
	$I=10^{14} \text{ W/cm}^2$	
Peclet	14	1.0e11
Reynolds	1.5e5	1.0e13
Reynolds magnétique	~ 200	1.0e15
Mach (ratio v_{jet} sur c_s)	4.5	10-50
Mach (ratio v_{jet} sur v_a)	7	
vitesse d'Alfven (m/s)	5.6e4	
vitesse acoustique ionique (m/s)	8.9e4	
vitesse magnéto-acoustique (m/s)	1.05e5	
Champ magnétique (G)	2e5	1.0e-4
Densité (cm^{-3})	5e18	10-10 ⁵

$P_e > 1$: thermal conduction plays a small role

$R_e \gg 1$: viscosity is negligible

$R_{em} > 1$: magnetic field lines are advected with the fluid

$M > 1$: the jet is supersonic

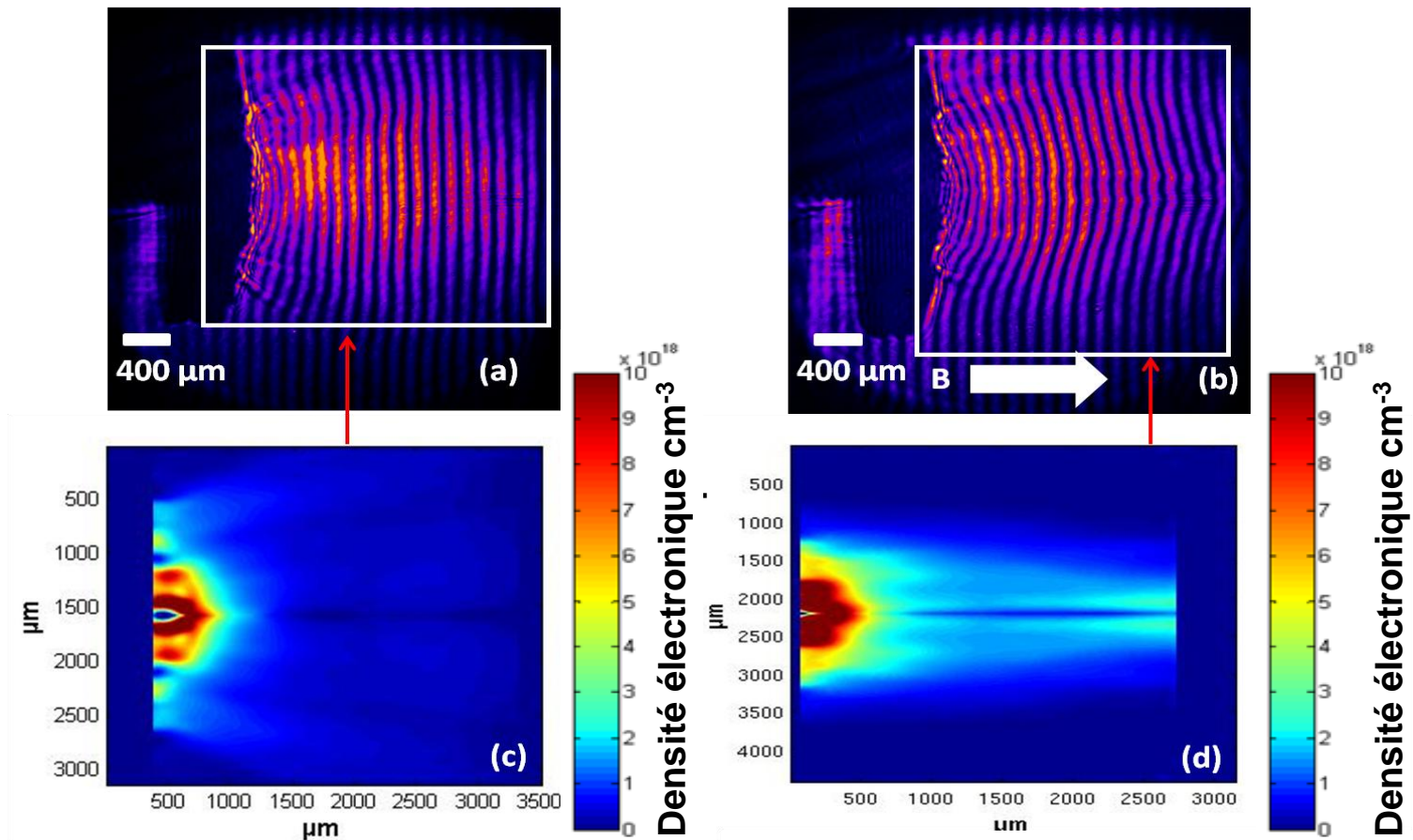
Observation: strong collimation by poloidal B field is indeed effective



$I \sim 10^{12} \text{ W/cm}^2$, target CH, 14 ns after laser irradiation

No B field

20 T B field





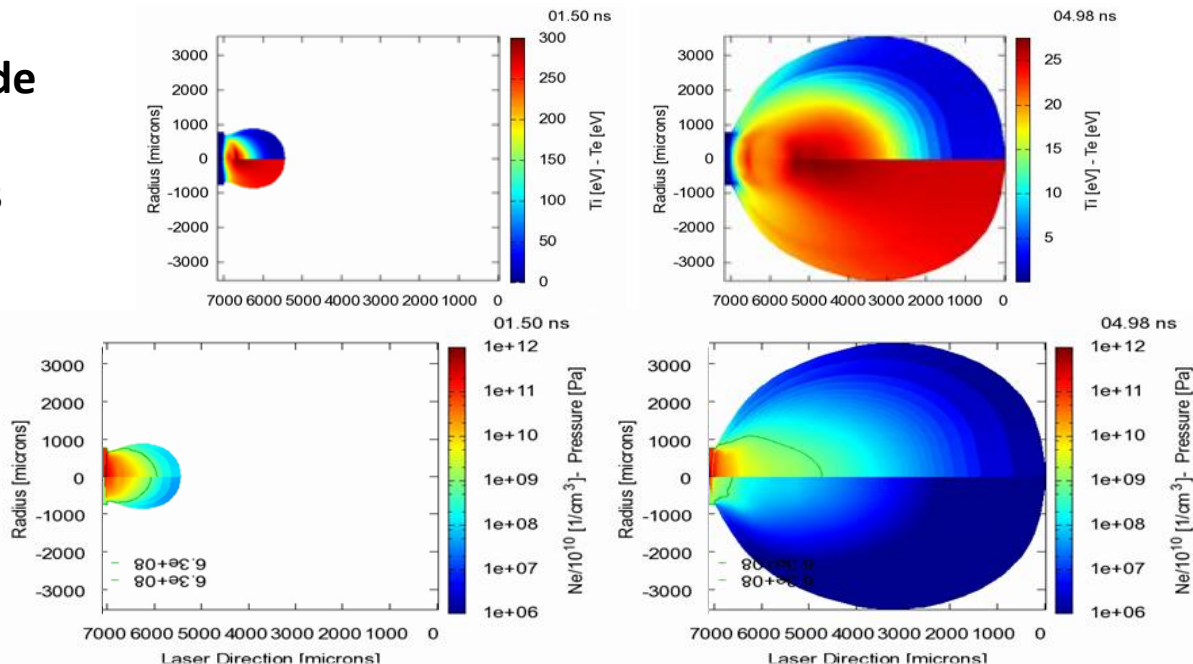
Simulations : couplage entre DUED (T.Vinci) et GORGON (A.Ciardi)

Simulations : couplage entre DUED (code 2D laser) et GORGON (code 3 D hydro radiatif)

Paramètres de sortie hydrodynamique de DUED = température, pression, densité sans B

Injection des paramètres de sortie de DUED dans GORGON afin d'avoir une évolution de la plume plasma avec ou sans ajout de champ B

Simulation de l'expansion plasma sans champ B



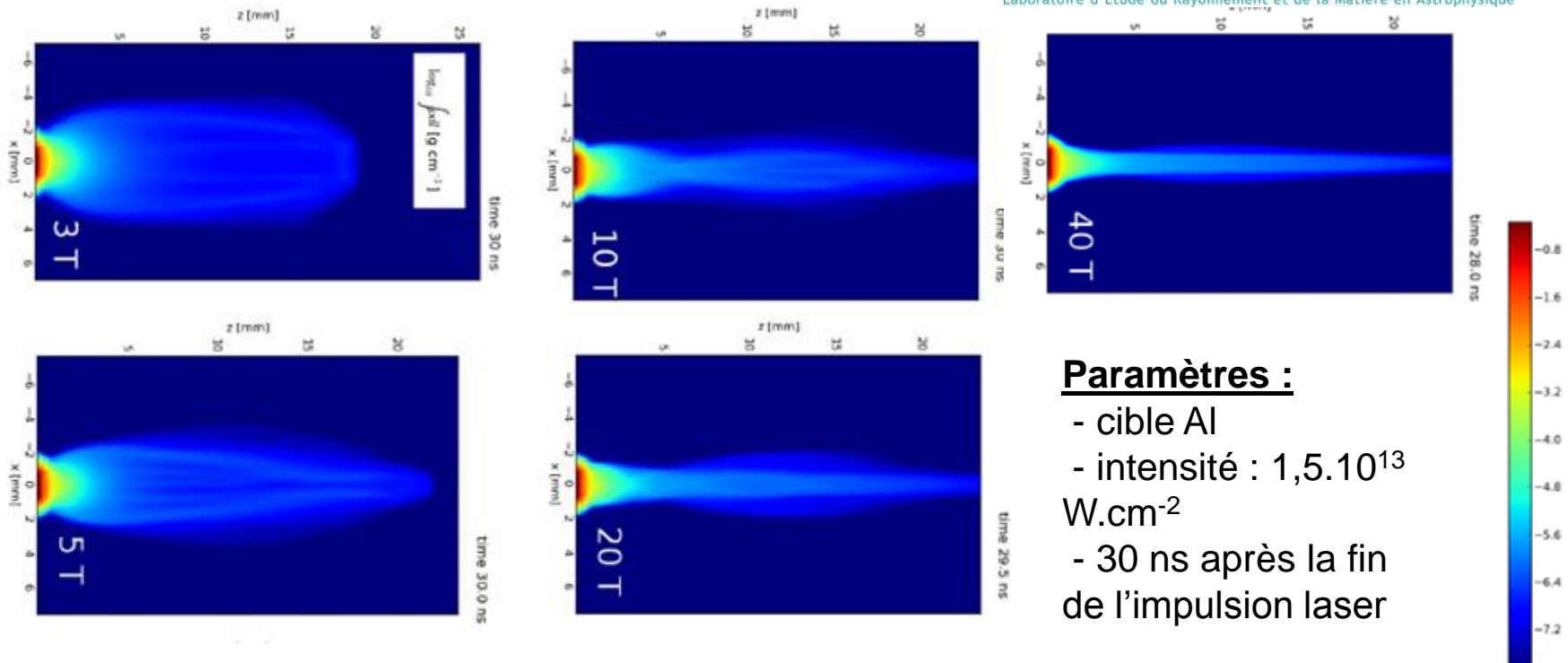


Exemple de simulation GORGON : Effet du champ magnétique sur la collimation du jet (simulation A. Ciardi)

- Collimation du jet pour un champ supérieur à 3 T
- Au dessus de 5 T, le champ est capable de rediriger le choc vers l'axe
- Au dessus de 20 T, le jet est collimaté



Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique



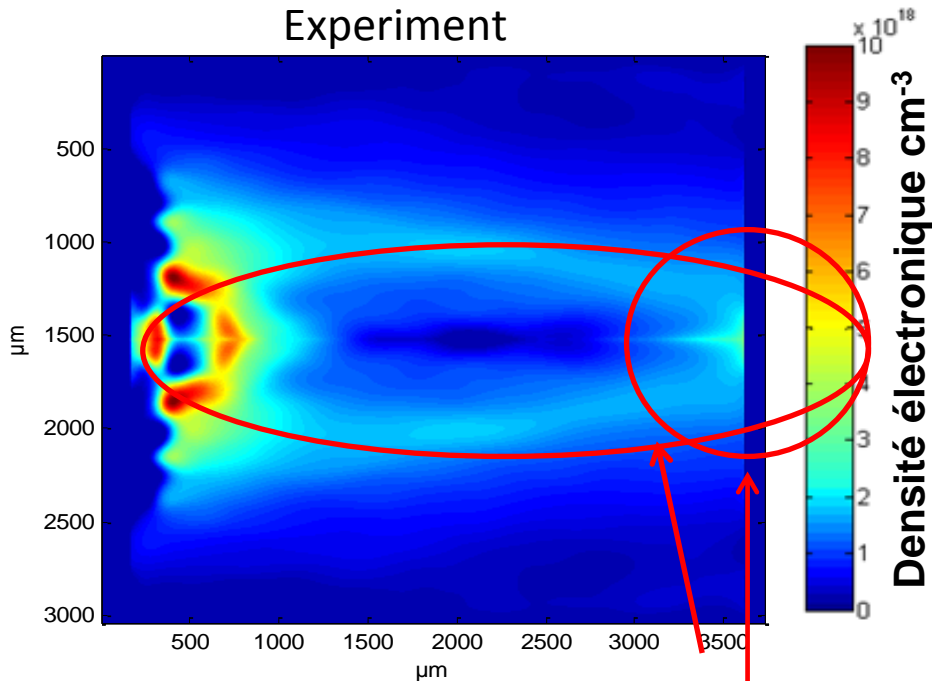
Study of jet evolution: Good agreement experiment/simulation



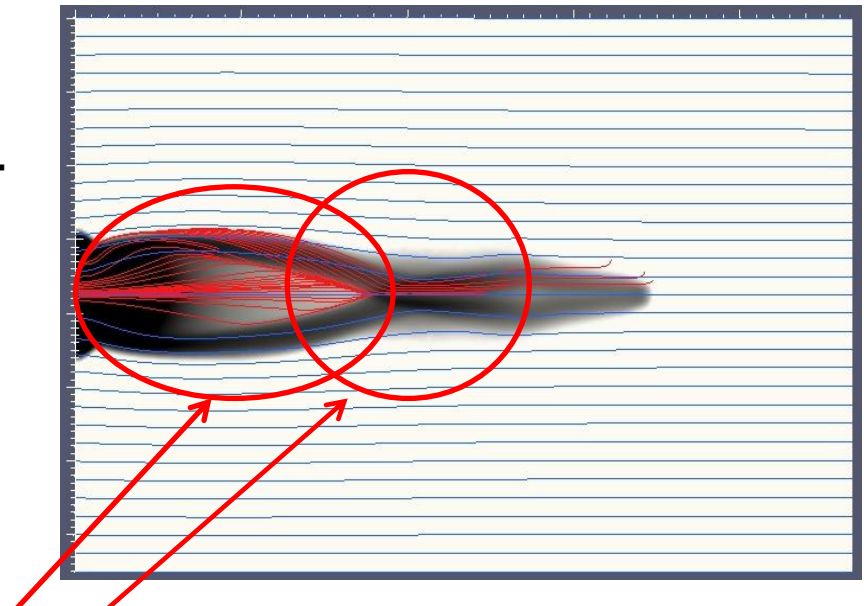
$I \sim 10^{13} \text{ W/cm}^2$, target CH, 10 ns after laser irradiation

B field: 20 T

Experiment



Simulation



- Filamentation on the cavity axis
- Compression of the jet plasma