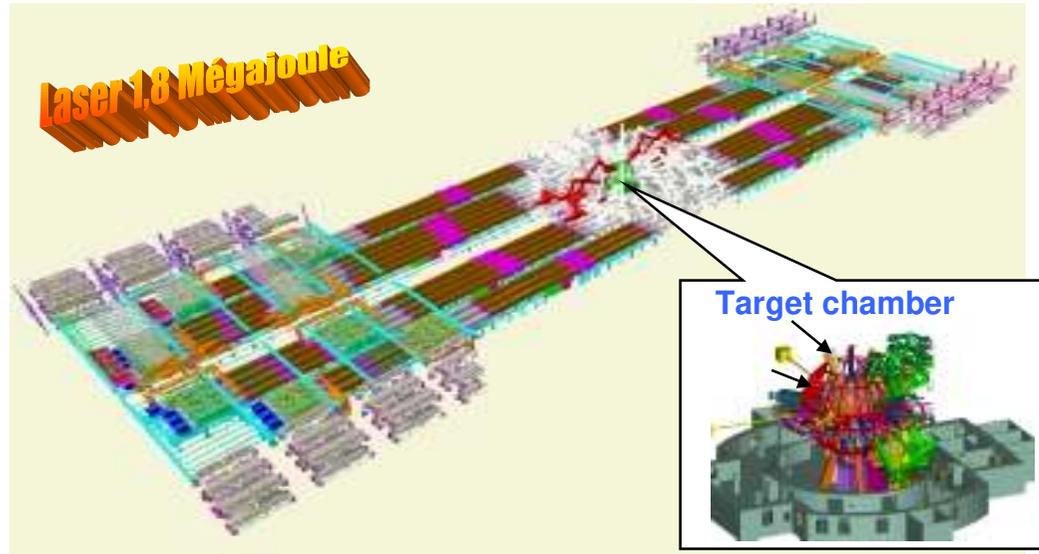




L'ATTAQUE DIRECTE AVEC LA GEOMETRIE D'IRRADIATION DE L'ATTAQUE INDIRECTE SUR LE LASER MEGAJOULE.

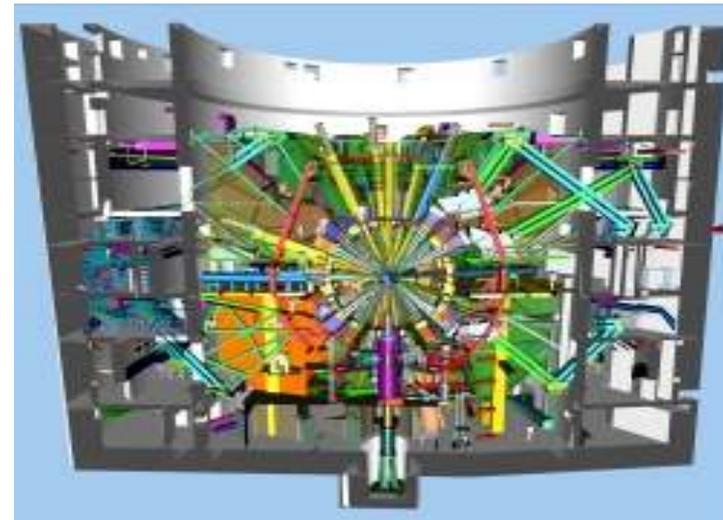
N. Lecler

Le laser Mégajoule



Caractéristiques :

Énergie > 1.8 MJ
Puissance > 500 TW
240 faisceaux
60 quadruplets
2x3 cônes de 10 quads
 $\lambda = 0.35 \mu\text{m}$

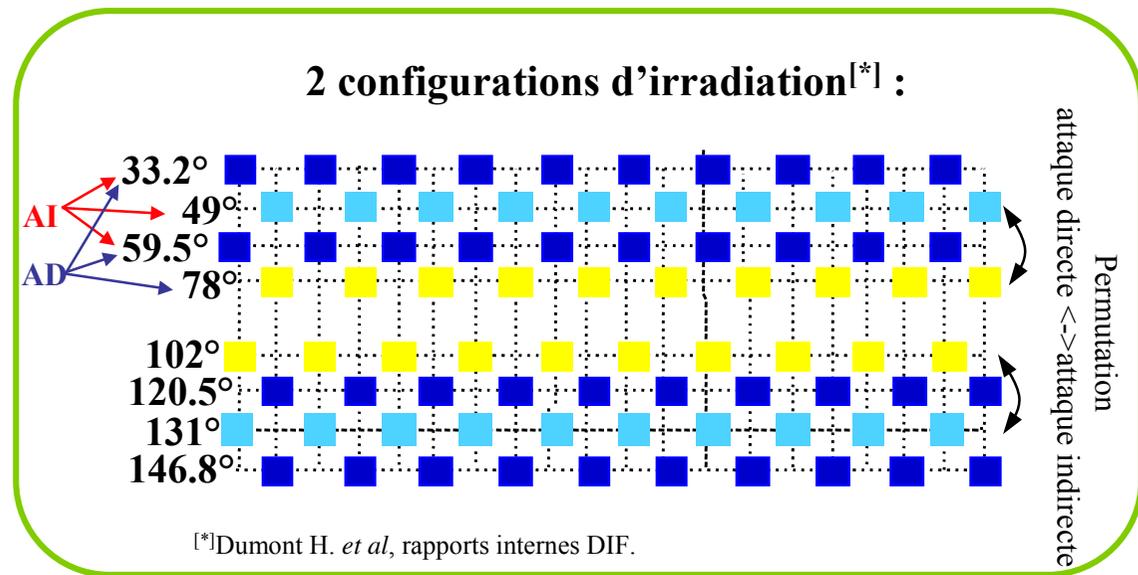
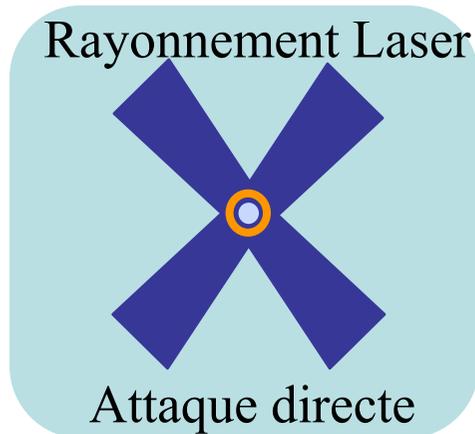
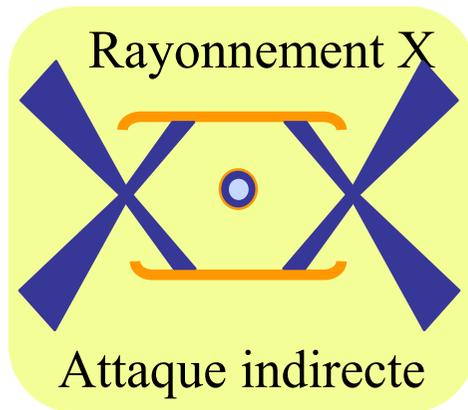


La FCI sur le LMJ.

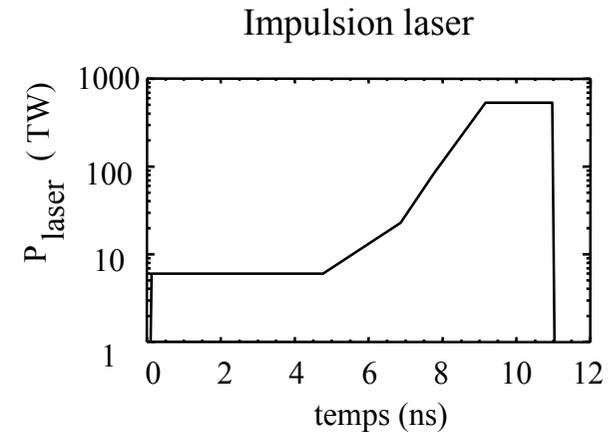
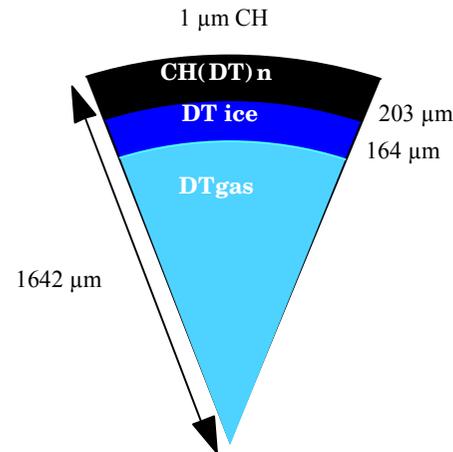
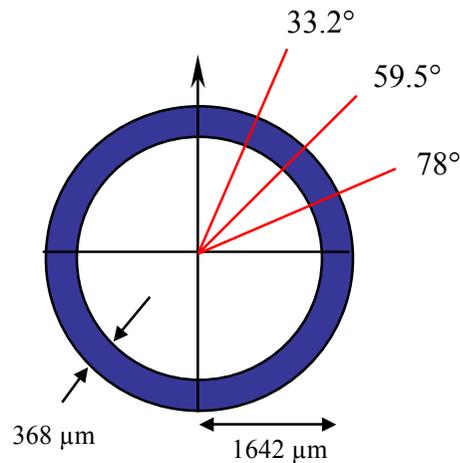


● Deux schémas

- Le schéma de base, l'attaque indirecte : le laser est converti en rayonnement X qui impluse le microballon.
- L'attaque directe : le laser irradie directement le microballon.



Optimisation de l'attaque directe sur le LMJ.



Laser

Energie laser 1D : 1 MJ

Paramètre d'entropie : 3.5

Vitesse d'implosion : $4 \cdot 10^7$ cm/s

Résultats 2D avec les 3 cônes de l'attaque directe standard

Energie laser : 2,3 MJ

Energie thermonucléaire : 83 MJ

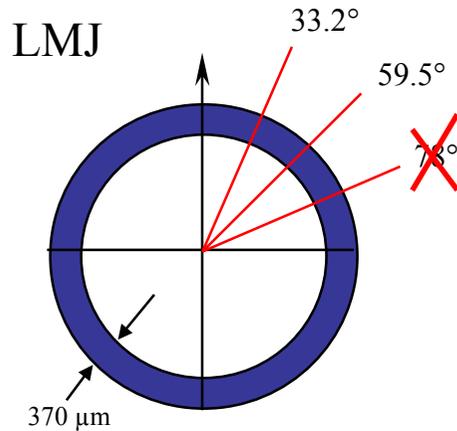
Résultats 1D

Energie thermonucléaire : 90 MJ

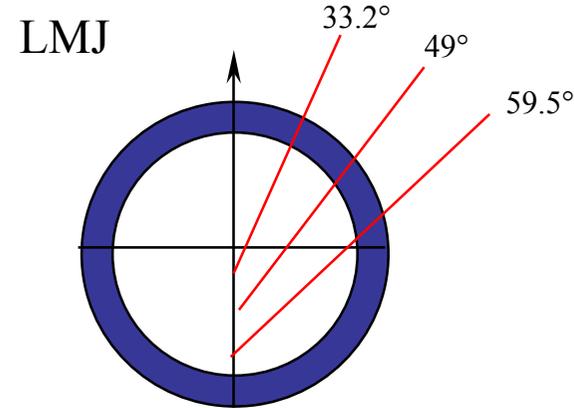
Canaud B. *et al*, Nucl. Fus., **44**, 1118 (2004),

Canaud B. *et al*, Nucl. Fus., L43 (2005)

Problème posé



Attaque directe standard

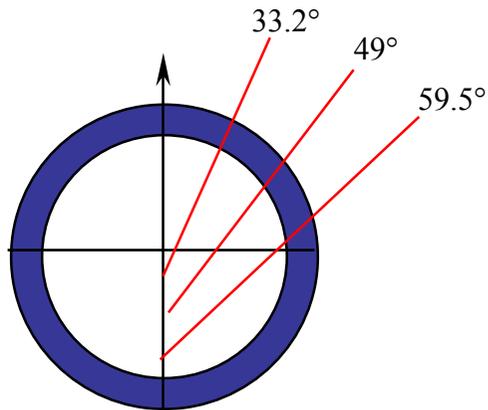


Attaque directe par les pôles (PDD)

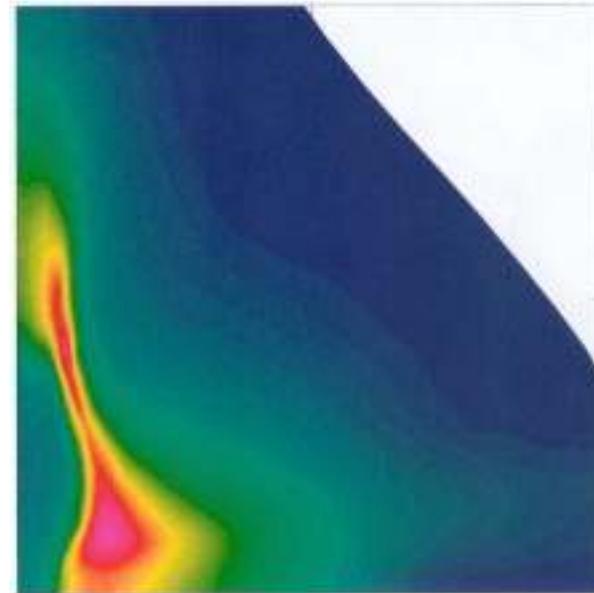
Demande urgente de la Direction des Armes Nucléaires

Trouver rapidement une solution viable pour l'Attaque Directe avec le piquage des faisceaux de la configuration de l'Attaque Indirecte, le piquage initialement prévu n'étant plus d'actualité.

La déformation du cœur à l'allumage.

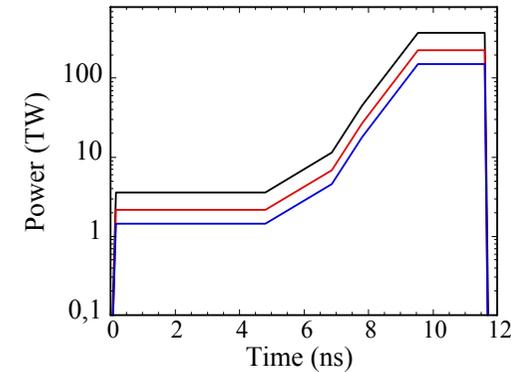
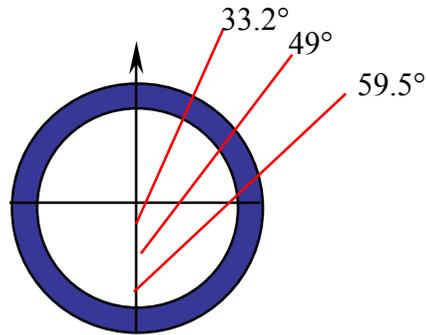


Canaud B. *et al*, LPB, **22**, (2004)



- Gain=0.02.
- Vitesse implosion : $4 \cdot 10^7$ cm/s.
- Paramètre d'entropie : 3.5.

Dimensionnement du PDD pour le LMJ avec le code FCI2



Liste des facteurs par cône :

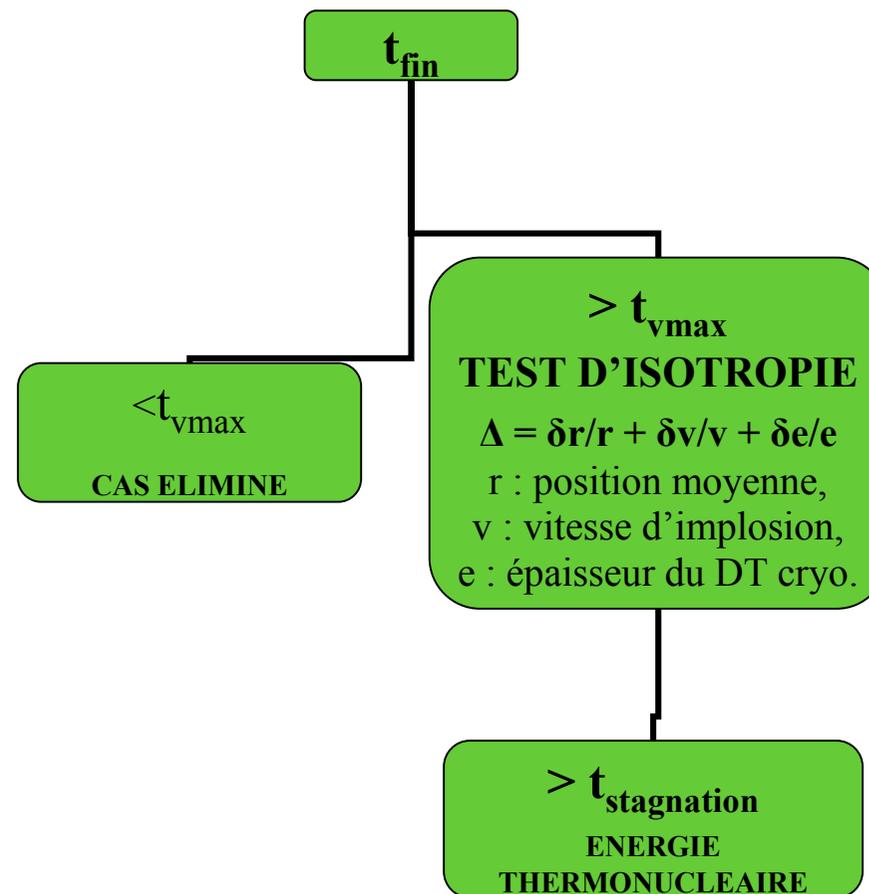
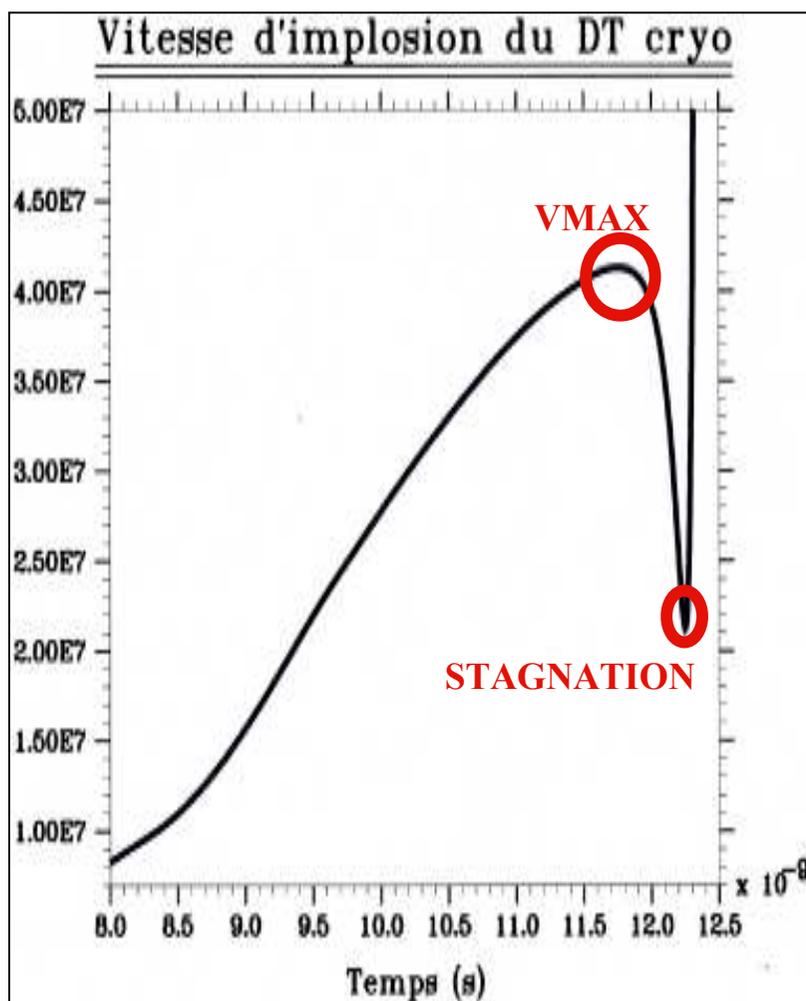
- dépointage dans le plan focal, *(1 facteur)*
- balance d'énergie de cône à cône, *(1 facteur)*
- forme de la tache focale: super gaussienne : $I=I_0 \exp(-(d/r_0)^m)$
(avec r_0 : rayon initial de la cible) *(2 facteurs)*

=> Optimisation dans un espace à 11+1 dimensions

- Conservation du régime de fonctionnement de la cible => sécurité d'allumage connue
- Énergie laser 3MJ => homothétie pour LMJ

Critères de sélection des cas.

Critère : temps de fin de la simulation (t_{fin})



Stratégie initiale



- ❑ CHOIX DES FACTEURS INFLUENTS ET DEFINITION DE LEUR DOMAINE.
- ❑ EXPLORATION DE L'ESPACE DE MANIERE UNIFORME (Plan Latin HyperSquare).
 - ✓ Analyse des données.
 - ✓ Construction d'un métamodèle.
 - ✓ Optimisation par le biais du métamodèle.
- ❑ AFFINER LE PROBLEME.
 - HIERARCHISATION ET REDUCTION DU NOMBRE DE FACTEURS.
 - RESTRICTION DU DOMAINE.
 - NOUVEAUX PLANS.

Déroulement de l'étude



1^{ère} étape

● LHS de 155 cas

→ 10 non éliminés!

Problème à seuil => **CHANGEMENT DE STRATÉGIE**

Déroulement de l'étude

2^{ème} étape : CHANGEMENT DE STRATEGIE



- **Plan de criblage de 125 cas**

Permet uniquement de hiérarchiser les différents facteurs et de ne retenir que les plus influents, et faire un nouveau plan avec ces seuls facteurs.

- **LHS de 100 cas**

=> 28 RETENUS sur 225

Tentative de construction d'un métamodèle à partir des 10+28 cas dont on dispose maintenant.

=> Modèle non validé !

Déroulement de l'étude



3^{ème} étape : restriction des domaines des paramètres

Itérations !

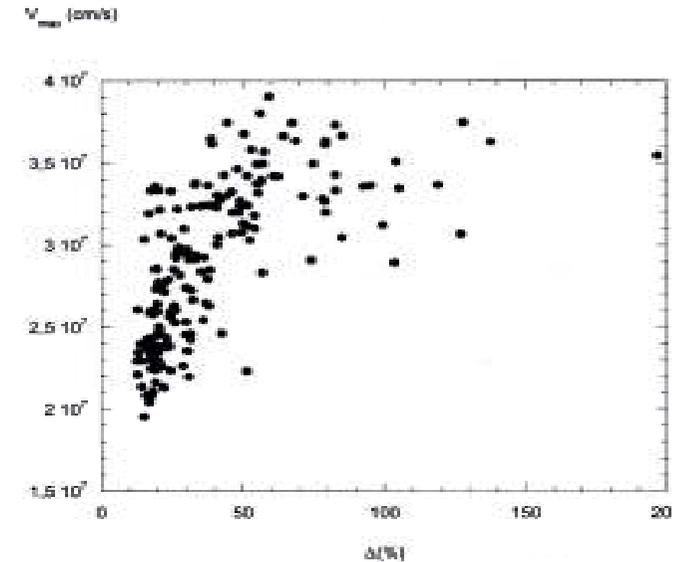
• 2 LHS "décalés" de 300 cas (domaine réduit) → 69 significatifs

• LHS de 352 cas (domaine réduit) → 88 significatifs

→ 157 nouveaux calculs significatifs



195 calculs exploitables



Fonction d'écart $\Delta = \delta r/r + \delta v/v + \delta e/e$

Trois régimes différents sont accessibles avec le PDD et le LMJ.



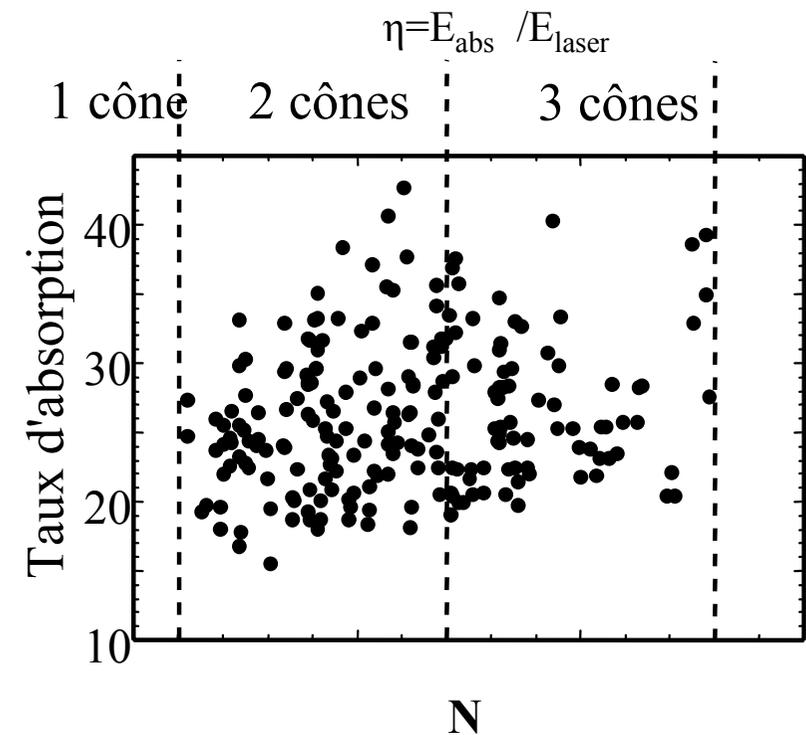
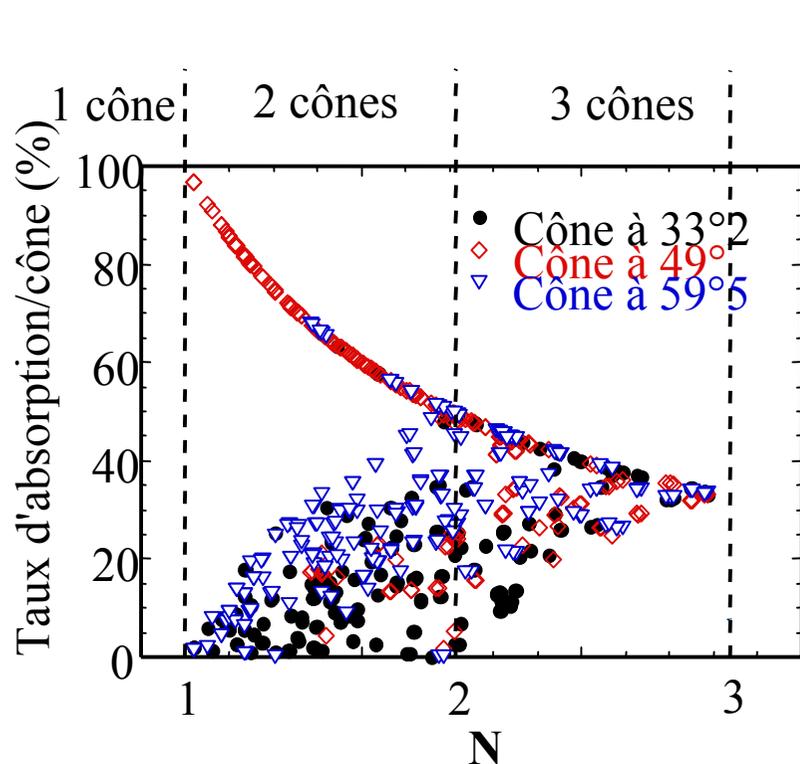
taux d'absorption relatif par cône :

$$\eta_i = E_{\text{abs } i} / E_{\text{abs totale}}$$

Nombre de cônes utiles :

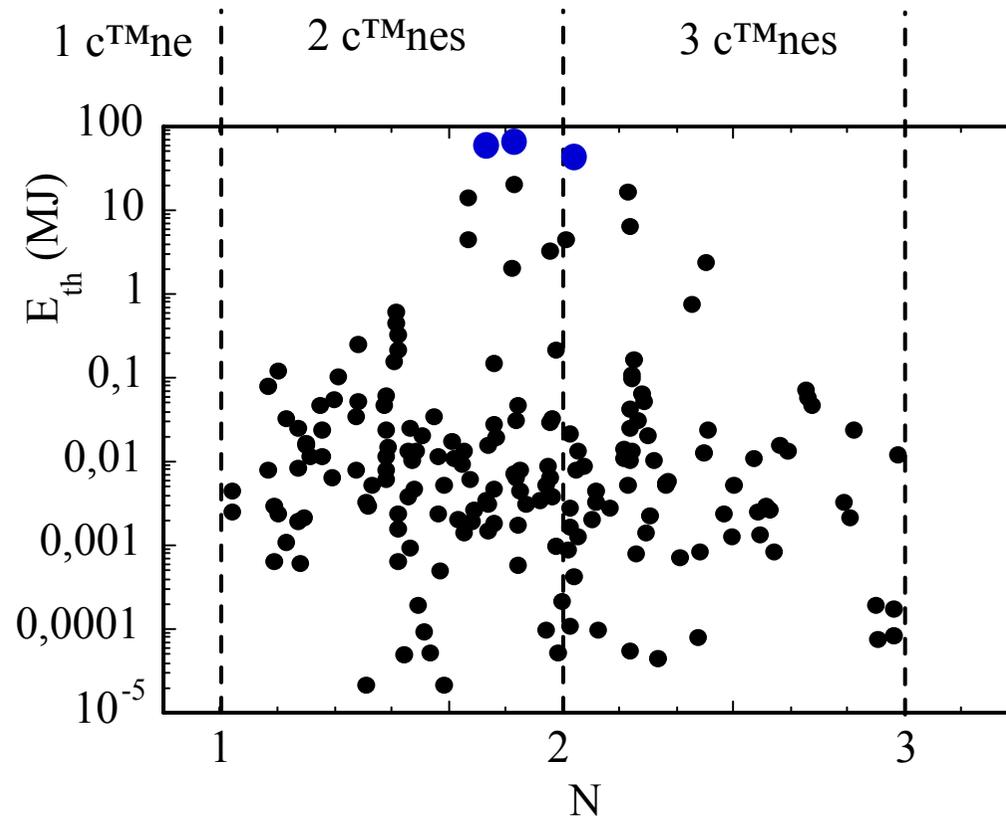
$$N = 1 / \text{Max}(\eta_1, \eta_2, \eta_3)$$

Trois régimes différents



Le dépointage défavorise l'absorption (au mieux 40 % contre 50 % en AD standard).
Le meilleur couplage est obtenu dans une situation dite à 2 cônes.

Trois solutions donnent du gain thermonucléaire.



Nombre de cônes utiles :

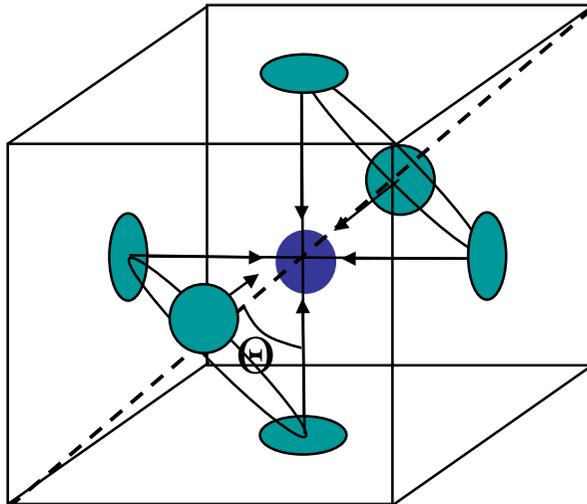
$$N = 1 / \text{Max}(\eta_1, \eta_2, \eta_3)$$

taux d'absorption relatif par cône

$$\eta_i = E_{\text{abs } i} / E_{\text{abs totale}}$$

Trois solutions (3 jeux de 12 facteurs) produisent de l'énergie thermonucléaire proche du fonctionnement 1D avec 3 MJ. Les trois solutions ont été obtenues avec une géométrie d'irradiation du type 2 cônes.

Pourquoi une solution avec deux cônes à 49° et 59,5°?



Schmitt a montré qu'une irradiation uniforme pouvait être obtenue avec des cônes centrés dont le barycentre est $\Theta=54,736^\circ$.



$$\frac{59.5 + 49}{2} = 54.25^\circ$$

Pour N cônes, la configuration doit satisfaire

$$\sum_k I_k \left((\cos \theta_k)^2 - \frac{1}{3} \right) = 0$$

Pour maximiser E_{acc} : $I_{59,5}=55\%$
 $I_{49}=45\%$ On a alors $E_{acc}=1,06$ MJ
 $I_{33}=0$

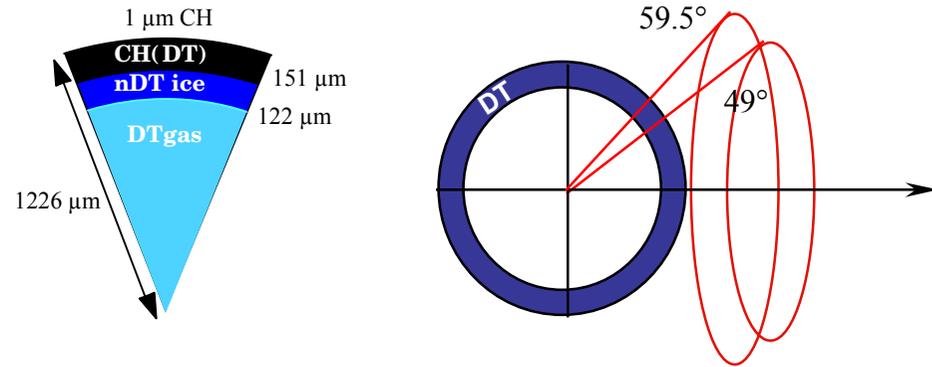
Schmitt A. J. App. Phys. Lett., 44, 399 (1984)

La solution deux cônes centrés sur le LMJ.



Régime de fonctionnement :

paramètre d'entropie : 3.5
 vitesse d'implosion : $4 \cdot 10^7$ cm/s
Energie accessible : 1,06 MJ



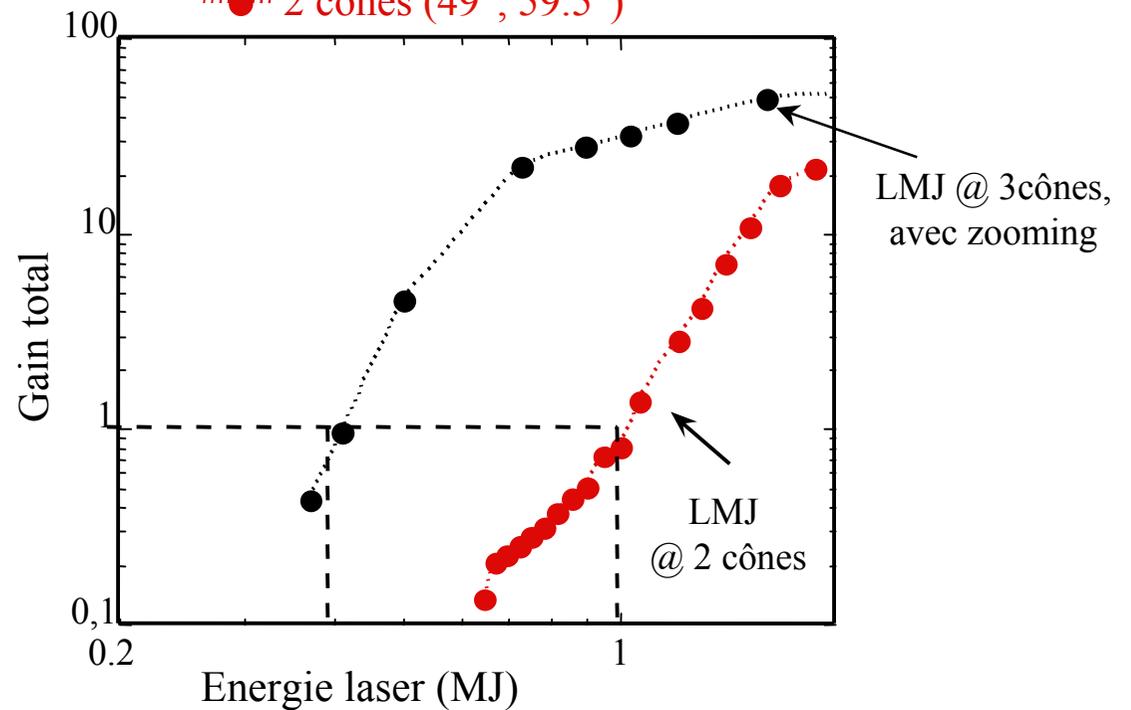
● 3 cônes (33.2°, 59.5°, 78°) avec zooming

● 2 cônes (49°, 59.5°)

Lorsqu'on effectue la transformation homothétique, le gain 1 est obtenu pour 1 MJ.



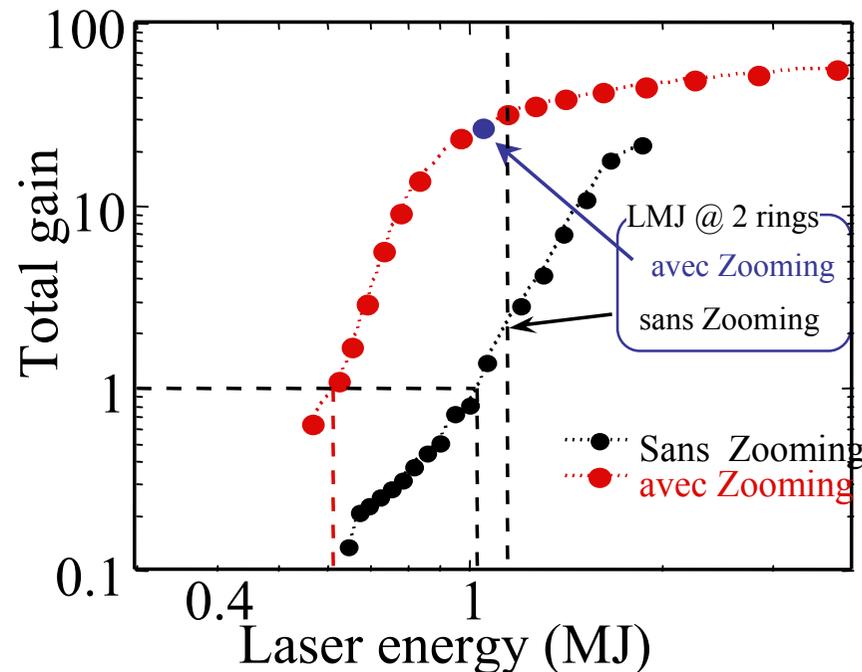
L'énergie accessible avec le LMJ n'est pas suffisante pour brûler.



Les performances atteintes.



Avec le zooming l'absorption laser augmente de 40% à 50%.



- Le seuil passe de 1MJ à 0,6 MJ.
- Avec cette configuration, 1 MJ donne un gain de 27.

Conclusions



- **Dans la géométrie Polar Direct Drive avec dépointage des faisceaux :**
 - l'absorption laser diminue,
 - la cible ne brûle pas.
- **Les plans d'expérience ont fait apparaître le rôle prépondérant des deux cônes à 49° et 59,5°.**
 - Une solution : utiliser ces deux cônes centrés, mais dans ces conditions, les performances restent trop près du seuil.
- **Avec des cônes centrés, le zooming est possible :**
 - améliore le taux d'absorption et l'isotropie de l'implosion.

Deux cônes centrés avec zooming

$$E_{\text{laser}}=1 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{th}}=27 \text{ MJ}$$

- **D'un point de vue méthodologique :**
 - Cas de non convergence de + en + fréquents (codes 2D,3D)
 - Critères pour déterminer la topologie des points qui convergent
 - Planifier sur cette topologie, ...