



HAL
open science

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INTERACTION D'UN FAISCEAU LASER DE GRANDE PUISSANCE AVEC UNE CIBLE DE DEUTERIUM SOLIDE

A. Salères, D. Cognard, F. Floux

► **To cite this version:**

A. Salères, D. Cognard, F. Floux. ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INTERACTION D'UN FAISCEAU LASER DE GRANDE PUISSANCE AVEC UNE CIBLE DE DEUTERIUM SOLIDE. *Journal de Physique Colloques*, 1971, 32 (C5), pp.C5b-133-C5b-135. 10.1051/jphyscol:19715101 . jpa-00214675

HAL Id: jpa-00214675

<https://hal.science/jpa-00214675v1>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INTERACTION D'UN FAISCEAU LASER DE GRANDE PUISSANCE AVEC UNE
CIBLE DE DEUTERIUM SOLIDE

A. Salères, D. Cognard, F. Floux

Commissariat à l'Energie Atomique, Centre d'Etudes de Limeil

B.P. n° 27, 94 - Villeneuve-Saint-Georges

Résumé

En focalisant le faisceau d'un laser ($P = 10^{10}$ W ; $\Delta t = 3,7$ ns) sur une cible de deutérium solide, on crée un plasma suffisamment chaud pour engendrer des réactions nucléaires de fusion. On observe et on étudie, expérimentalement, la réflexion d'une partie de l'énergie laser par le plasma ainsi que la variation du nombre de neutrons avec l'énergie laser (variable entre 20 et 80 J).

Abstract

A powerful laser beam ($P = 10^{10}$ W ; $\Delta t = 3.7$ nsec) is focused on a solid deuterium stick. The such laser-produced plasma is hot enough to create nuclear fusion reactions. We give experimental data upon reflection energy measurements and scaling law of neutron fluxes versus 20 - 80 J incident energy.

INTRODUCTION

Le laser à verre au néodyme utilisé, a été décrit récemment dans [1] et [2]. Il délivre des impulsions dont les caractéristiques restent fixes au cours de l'expérience (largeur à mi-hauteur 3,75 ns, temps de montée 1,2 ns) ; Les atténuateurs disposés après le dernier amplificateur nous permettent de faire varier l'énergie de 20 à 85 J.

Le système optique [3], désormais classique, permet de focaliser le faisceau laser sur la cible de deutérium solide, d'épaisseur 1 mm, produite au centre de la chambre d'interaction [4]. Le plasma très inhomogène, créé dans la région du foyer de la lentille, réfléchit une partie de l'énergie incidente suivant l'axe du laser, et produit des réactions de fusion dont le flux varie avec l'énergie absorbée.

1-CHRONOLOGIE DE L'IMPULSION REFLECHIE PAR RAPPORT A L'IMPULSION INCIDENTE (Fig. 1)

L'impulsion incidente est amenée sur la cellule 1' après réflexion sur le hublot d'entrée et les miroirs en or M1, M'1. De même l'impulsion réfléchie par la cible prélevée par la lame L₀ y parvient après réflexion sur les miroirs M'2 et M2. Le retard séparant ces 2 impulsions est déterminé à 300 ps près, grâce à l'utilisation d'une même

cellule CVHC 20, cathode S1, infrarouge munie d'un filtre coupant le visible, (temps de montée 200 ps) et d'un même oscilloscope (0 Z 100 temps de montée 200 ps, balayage 5 ns/division). Par comparaison avec une réflexion sur un miroir, nous établissons le synchronisme entre les 2 impulsions ce qui justifiera plus loin la détermination du coefficient de réflexion en fonction du temps.

2-BILAN D'ENERGIE DURANT L'INTERACTION DU FAISCEAU LASER AVEC LE PLASMA CREE

La lame L₀ prélève les impulsions incidentes et réfléchies. Après avoir vérifié la linéarité des appareils utilisés, nous avons étalonné le système de mesure (calorimètres et cellules correspondantes) ; nous avons utilisé une réflexion sur miroir concave dans le cas de la réflexion et déterminé l'absorption de l'optique de focalisation et du hublot d'entrée. Dans toute l'expérience, l'optique et la cible restent normales au faisceau laser. L'énergie incidente étant fixée, l'énergie réfléchie par le plasma est maximum pour une position bien déterminée de la cible repérée par rapport au point focal (plage utile 200 μm). L'impulsion correspondante, caractéristique de cet optimum, se compose de 2 parties bien distinctes (Fig. 2). Au début de l'interaction le coefficient de réflexion varie rapidement avec la montée de l'impulsion incidente ; il se stabilise au bout de 2 ns avec le palier de celle-ci. Nous avons étudié la variation

de ce palier avec l'énergie incidente à 2 % près. Lorsque E_1 passe de 20 à 60 J, R varie comme $E_1^{1/6}$ et croît de 28 à 42 %. L'énergie transmise par la cible représente 3 % de l'énergie incidente (énergie perdue au travers du trou de la lentille de focalisation). Nous avons vérifié, par ailleurs, que l'énergie réémise en dehors de l'axe, à la fréquence laser, était négligeable. Ce dernier point se justifie en admettant une interaction du laser avec un plasma en expansion sphérique [5]. Il en résulte que l'énergie absorbée s'obtient par différence entre l'impulsion incidente (corrigée des 3 % transmis et de l'absorption du système optique et réfléchi (correction analogue).

3-CORRELATION A L'EMISSION NEUTRONIQUE

L'émission neutronique qui a été mise en évidence, de manière irréfutable, dans une expérience précédente [6], a été corrélée à la réflexion du plasma. Les maxima coïncident. Le flux neutronique est mesuré à l'aide de compteurs GMEF β , étalonnés à l'aide d'une source DD placée au centre de la chambre. Il varie comme le carré de l'énergie absorbée (Fig. 3).

4-DISCUSSION DES RESULTATS

L'interprétation complète des résultats ci-dessus suppose l'élaboration d'un modèle numérique [7] ou analytique [8] qui tienne compte à la fois :

- de l'absorption et de la réflexion du rayonnement par les électrons du plasma en expansion, dans la zone où la fréquence laser est très proche ou égale à la fréquence plasma,
- du mécanisme de chauffage par conduction électronique,
- du transfert d'énergie par collisions entre les électrons chauds et les ions froids.

Dans une première étape nous avons considéré, pour un instant t , que le profil de densité était exponentiel. Soit $n_e(r) = n_c \exp(-\frac{r}{H})$ où n_c est la densité à la coupure ($n_c \simeq 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ pour $\lambda = 1,06 \mu$) et r l'abscisse par rapport à cette zone de coupure. De plus, la fréquence de collisions est celle trouvée par J. DAWSON [9]. En

supposant le plasma isotherme (voir [7] et [8]) la méthode WKB généralisée [10] [11] [12] [13] nous donne l'expression du coefficient de réflexion R :

$$R = \exp \left[- \frac{7,4 \cdot 10^{-2} (2,2 + \text{Log } \alpha) H}{\alpha^{3/2}} \right] \quad (1)$$

où $\alpha = 10^{-6} T_e$ avec T_e , température électronique en degré

et H exprimé en microns.

Pour une énergie absorbée de 35 J, soit une énergie incidente de 60 J, la valeur expérimentale est $R = 42 \%$. L'expression théorique (1) nous donne alors $T_e \simeq 9 \cdot 10^6$ °K lorsque $H = 100 \mu$, valeur déduite de [7]. Ce même modèle numérique nous donne $T_e \simeq 8,9 \cdot 10^6$ °K, ce qui montre un accord très satisfaisant avec l'expression (1). Il faut cependant remarquer que le but final demeure l'interprétation du profil de l'impulsion réfléchi et de la loi $N \propto E_a^2$. Si l'on admet une forte conduction électronique, et un régime isotherme [14] à partir du palier de l'impulsion incidente, on peut interpréter l'évolution de R comme une stabilisation du gradient de densité vu par le faisceau laser. Par contre, la première partie de l'interaction (Fig. 2) correspondrait à la création du plasma et à la mise en place d'un gradient de densité qui est lié à la température maximum atteinte.

5-CONCLUSIONS

Ces résultats préliminaires indiquent qu'il est possible de connaître la température électronique dans la zone d'absorption du faisceau laser. Une mesure du gradient de densité par une méthode d'interférométrie, est en cours d'élaboration, de même qu'une mesure directe de T_e par la méthode des absorbants. De plus, le coefficient de réflexion nous permet de déterminer l'énergie absorbée par le plasma ce qui complète les paramètres nécessaires à la détermination de la zone de conduction où sont créées les réactions de fusion.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LANGER (P.), Communication présentée à la "1970 Sixth International Quantum Electronics Conference", KYOTO, Japan, September 7-10, 1970
- [2] FLOUX (F.), Communication présentée aux Journées d'Etude des Applications Industrielles des lasers, Paris, les 19 et 20 novembre 1970

- [3] de METZ (J.), Onde Electrique, 1970, 50, 572.
- [4] BOBIN (J.L.) et alii, Nucl. Fusion, 1969, 9, 115
- [5] KIDDER (R.E.), International school of Physics, Enrico Fermi XVIII, course 1969.
- [6] FLOUX (F.) et alii, Phys. Review, 1970, 1, 821.
- [7] FLOUX (F.), BILLEBIZE (A.) Rapport CEA-R-4148 Février 1971.
- [8] BOBIN (J.L.), Communication présentée au "Annual Meeting of the A.P.S. Plasma Physics Division, WASHINGTON, 4 au 7 novembre 1970, (Bull. APS 1970, 15)
- [9] DAWSON (J.), OBERMAN (C.), Phys. of Fluids, 1962, 5, 517
- [10] BAHAR (E.), J. of Math. Physics, 1967, 8, n°9.
- [11] Radio Waves in the Ionosphere, Budden Cambridge, University Press, 1966.
- [12] Plasmas Diagnostics with Microwaves Held-Wharton, John Wiley and Sons, 1965.
- [13] WAIT (J.), Pergamon Press, 2ème ed. 1970.
- [14] BRUNETEAU (J.), Thèse de 3ème cycle, Orsay 1970.

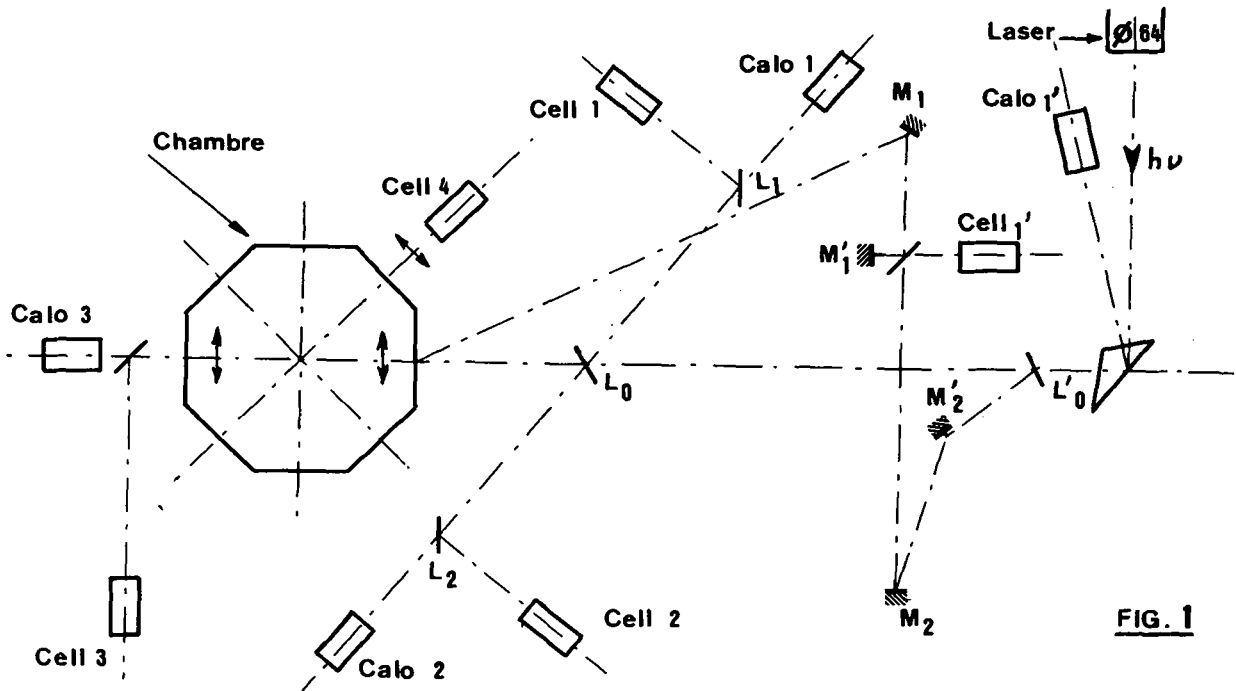


FIG. 1

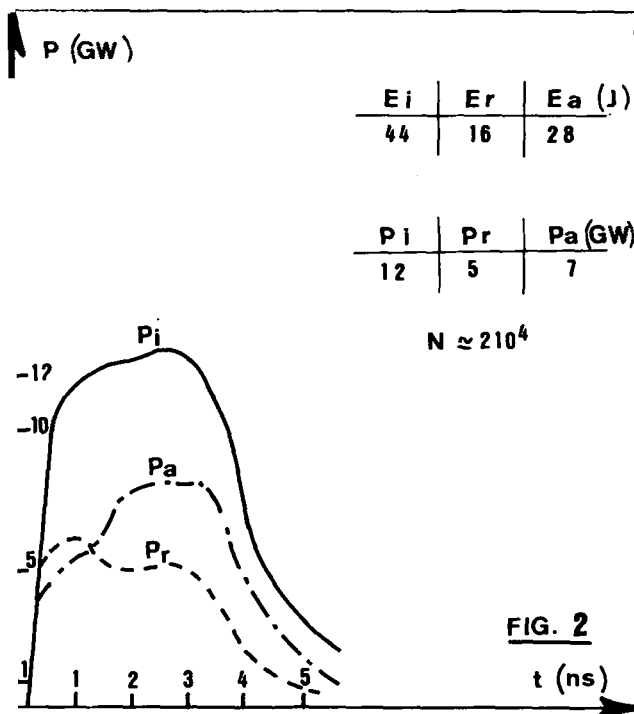


FIG. 2

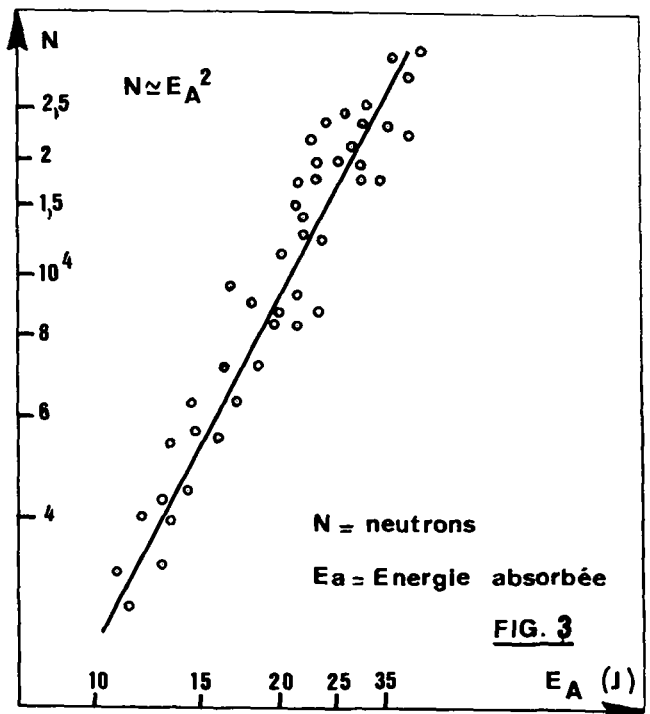


FIG. 3