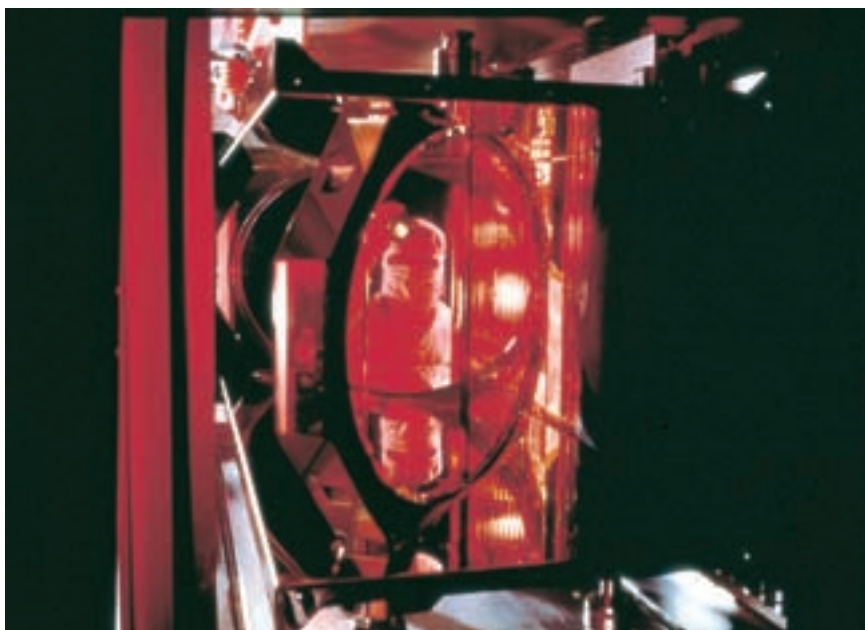




7. ÉLÉMENT D'AMPLIFICATION du laser Phébus. Des flashes disposés autour des plaques de verre excitent les atomes de néodyme (pompage optique) ; lors du passage du faisceau laser, le retour des atomes excités à l'état fondamental amplifie le faisceau (émission stimulée).

On augmente encore l'énergie en multipliant le nombre de faisceaux qui amplifient tous la même impulsion initiale (deux sur le laser *Phébus*, dix sur le laser *Nova*). Entre les amplificateurs, des systèmes optiques augmentent le diamètre du faisceau tout en le gardant parallèle ; des diaphragmes éliminent les déformations de la surface d'onde introduites par les inévitables hétérogénéités des milieux traversés.

De surcroît, des dispositifs électro-optiques ou magnéto-optiques empêchent la petite quantité de lumière réfléchi sur la cible ou sur certaines surfaces optiques d'être réamplifiée en retour. Une telle structure, qui a fait ses preuves, a l'inconvénient de comporter un nombre élevé de composants différents et d'avoir un faible rendement : moins de un pour 1 000 dans le laser *Phébus*.

Le laser *Mégajoules*, lui, comportera 240 faisceaux de section carrée, constante sur toute la longueur de la section d'amplification. Ces faisceaux seront regroupés par huit, dans 30 cylindres convergeant vers la chambre ; ce regroupement des faisceaux, qui a déjà été testé dans des maquettes, permet de réaliser des boîtes de lumière plus efficaces, où la lumière des lampes flash qui excitent les atomes de néodyme sera mieux utilisée, augmentant ainsi l'un des facteurs de rendement total.

Deuxièmement, chaque faisceau délivrera une énergie de près de 20 kilojoules, à une longueur d'onde de 1,05 micromètre, contre 10 kilojoules pour *Phébus*, à surface égale. L'impulsion sera plus longue, et les couches minces, réalisées par un procédé sol-gel (on dépose sur le verre un gel qui contient les atomes optiquement actifs, puis on évapore le solvant), résisteront mieux aux densités d'énergie élevées.

Troisièmement, au lieu de passer une seule fois dans plusieurs amplificateurs successifs, chaque faisceau passera quatre fois dans le même. C'est la première fois que cette technique du multipassage est employée, dans un ensemble aussi important. Le rendement est augmenté, en raison d'une meilleure récupération de l'énergie, lorsque les atomes de néodyme excités reviennent dans leur état fondamental.

Globalement le rendement du laser *Mégajoules* devrait être 10 à 20 fois supérieur à celui de *Phébus*, avec une conception qui réduit le nombre de types de composants ; chacun d'eux pourra donc être produit en série, à un coût unitaire réduit.

La chambre d'expérience sera une enceinte où l'on aura fait le vide ; y sera disposée, au centre exact, la cible, sur laquelle seront focalisés les 240 faisceaux du laser. C'est la chambre qui supportera l'ensemble des moyens de mesure, qui diagnostiqueront son

fonctionnement, et c'est elle qui contiendra tous les effets de la fusion thermonucléaire (effets thermiques ou effets mécaniques, telle l'onde de choc qui provient de l'implosion). Pour *Phébus*, la chambre est une sphère d'aluminium de 2,3 mètres de diamètre, avec des parois de 12 centimètres d'épaisseur ; pour le laser *Mégajoules*, une telle chambre serait insuffisante. Les physiciens du CEA étudient, avec le concours d'industriels, une chambre sensiblement sphérique de dix mètres de diamètre, avec un diamètre intérieur assez grand pour éviter la vaporisation de la surface interne sous l'action des rayons X dégagés par la fusion. L'épaisseur de sa paroi atteindra un mètre : 80 centimètres d'un matériau absorbant de neutrons seront compris entre deux couches d'aluminium, de 10 centimètres d'épaisseur chacune. La masse totale sera supérieure à 600 tonnes !

Depuis plus de 20 ans, des équipes ont inlassablement perfectionné la fabrication des cibles et la mise au point des méthodes de diagnostic du plasma. Leur tâche est difficile, en raison de la petitesse de la cible à réaliser (entre 0,1 et 1 millimètre) et de la grande précision à obtenir : pour éviter le développement d'instabilités hydrodynamiques, par exemple, la rugosité de la surface de la capsule doit être inférieure à quelques centièmes de micromètres. La nouveauté, pour le laser *Mégajoules*, est surtout que la cible devra être maintenue à une température de -250 °C jusqu'à l'instant de l'expérience. Naturellement le dispositif de maintien en froid et de positionnement de la cible dans la chambre devra être rétracté juste avant la mise en fonctionnement du laser.

La multiplication des moyens de mesure, qui permettent un diagnostic précis de l'expérience, est une autre clé de succès. Elle est plus importante qu'avec le laser *Phébus*, parce que la fréquence des expériences sera limitée : on devra attendre la décroissance de la radioactivité induite dans la chambre avant de préparer l'installation pour un nouveau tir. Les mesures calorimétriques permettront d'établir un bilan de l'énergie, et l'on explorera les émissions du plasma dans toute la gamme X, ainsi que l'émission de neutrons, pour sonder la matière comprimée. Pour obtenir une triple résolution spectrale, spatiale et tem-

porelle, avec une toute petite cible et des émissions qui durent quelques nanosecondes, des systèmes spécialement conçus s'imposent. L'acquisition des données devra être automatique, comme elle l'est déjà pour *Phébus* ; leur transposition au laser *Mégajoules* posera surtout le problème du «durcissement» des systèmes à toutes les sources de bruit dues aux rayonnements intenses provoqués par les réactions de fusion.

Le laser *Mégajoules* constitue un élément clé du programme de simulation destiné à maintenir une capacité de dissuasion nucléaire, après l'arrêt définitif des essais, décidé en 1996. Après le laser *Phébus*, en exploitation depuis dix ans, il provoquera des réactions de fusion, en concentrant dans un temps très bref une forte quantité d'énergie sur une microcible. Les dimensions millimétriques de cette dernière ne sont en rien comparables à celles d'un engin nucléaire, mais les valeurs obtenues par certains paramètres (température et densité) sont dans la gamme intéressante pour la compréhension des phénomènes caractéristiques du domaine thermonucléaire. Le laser *Mégajoules* fera aussi progresser l'ensemble de la physique des plasmas denses, présents aussi bien dans l'espace que dans des futures centrales de production d'énergie civile. Sa construction est échelonnée dans le temps : la première étape est la construction de la ligne d'intégration laser, entreprise dès 1996.

Jacques COUTANT a dirigé, de 1986 à 1995, le Département Laser et physique du plasma, au Centre CEA de Limeil-Valenton.

La fusion thermonucléaire inertielle par laser (5 volumes), édité sous la direction de Robert Dautray et de Jean-Paul Watteau, Collection CEA, Éditions Eyrolles, 1993.

Energy from inertial fusion, document édité par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, Vienne, 1995

Les déchets nucléaires, sous la direction de René Turlay. Dossier scientifique de la Société française de physique, 1997.

Nuclear Fusion by Inertial Confinement, sous la direction de G. Velarde, Y. Ronen et J. Martinez-Val. CRC Press, 1993.

Chocs, revue scientifique et technique de la Direction des applications militaires, n°13, avril 1995.



Les avancées scientifiques

Avec
l'École Polytechnique,
une mise en commun
des expériences,
source de réflexions,
riche d'échanges
et de rencontres

Décembre

Modélisation numérique des écoulements fluides non newtoniens	3, 4, 5
Migration vers l'objet et réutilisation des composants logiciels	10
Caractérisation des matériaux par ellipsométrie	11, 12
Approche probabiliste de la fatigue : ponts métalliques et mixtes	18, 19
Analyse quantitative, non destructive par la RMN	19

Janvier- Février

Recherche amont dans le secteur de la Défense	8, 9
Principes et application des réseaux neuronaux	12, 13
Robotique et apprentissage	14, 15
Les lasers mégajoules	15
Thérapie génique et maladies du sang	16
Applications industrielles des lasers de puissance	20
Pour les systèmes multicapteurs, la fusion de données	26, 27 jan. et 2, 3 fév.
Microscopie et analyse à l'échelle nanométrique	29, 30

Mars

Modélisation numérique des écoulements fluides	4, 5, 6
Les entrepôts de données : pourquoi, comment, avec quelles données?	5
Les gels : formation, structure et propriétés	10
Calcul des pièces métalliques à la fatigue	11, 12, 13
Calcul formel : possibilités et applications	12
Transformée en ondelettes : ses applications	16, 17
Génération et mise en forme des solides divisés	18, 19, 20
Modélisation en acoustique et électromagnétisme	23, 24, 25
L'électronique de demain	25, 26, 27
Internet, Intranet, commerce électronique : qu'en est-il de la sécurité?	31

Le Collège propose des séminaires conçus pour des ingénieurs et scientifiques sur tout l'environnement des sciences et des techniques, de la R&D, par exemple : la mémoire d'entreprise, le transfert de technologie, l'intelligence économique, la veille technologique, les estimations paramétriques des projets, le commerce électronique, la négociation, l'animation et la cohésion des équipes techniques...

Le Collège conçoit, propose et organise également des séminaires et des cycles de conférences pour répondre à une demande d'entreprises.

**Catalogue disponible
sur demande**

Collège de Polytechnique

CNIT - BP 230

2, place de la Défense

92503 PARIS LA DÉFENSE

Tél : 01 46 92 21 49 - Fax : 01 46 92 21 60

e.mail : collegex@poly.polytechnique.fr

Ecole polytechnique [http : //www.polytechnique.fr](http://www.polytechnique.fr)