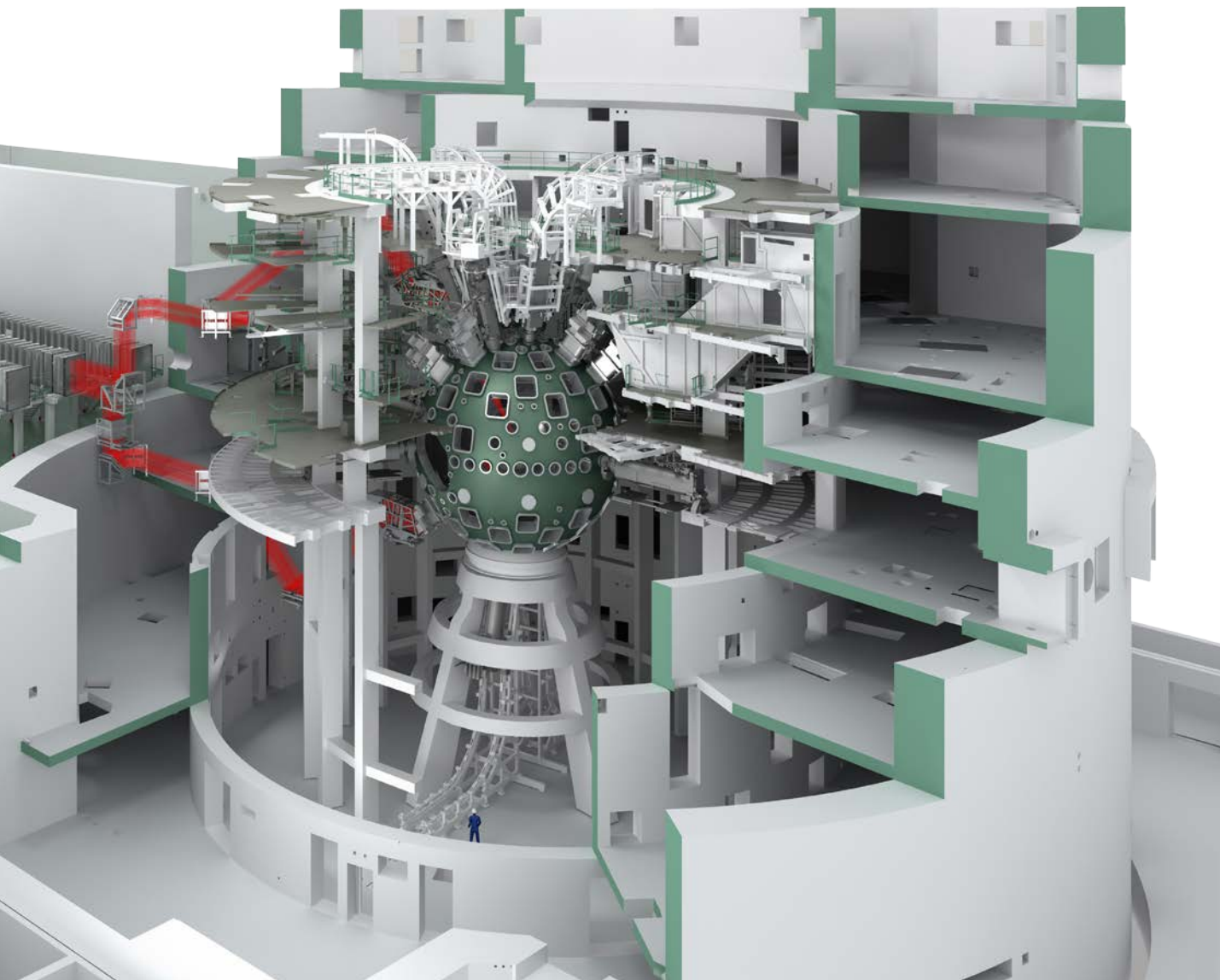




© Image 3D – www.beview.fr / CEA

LE LASER MÉGAJIOULE. Cette vue schématique montre trois chaînes d'amplification (qui comportent chacune huit faisceaux laser) parmi les vingt-deux chaînes du LMJ, et le hall d'expériences avec la chambre d'expériences en son centre.

chaque chaîne produisant deux groupes de quatre faisceaux ou « quadruplets ». Il comporte un « pilote », une « section amplificatrice » et un « système de conversion de fréquence et de focalisation ».

Une amplification gigantesque

Le pilote comporte deux sous-ensembles : la source (une par hall laser) et le module préamplificateur (MPA).

La source crée l'impulsion lumineuse et la met en forme temporellement et « spectralement ». La longueur d'onde du faisceau infrarouge est alors de 1053 nanomètres avec une variation maximale, de part et d'autre de cette valeur, de 5 picomètres ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$). Cette stabilité est cruciale

pour le bon fonctionnement du LMJ. En sortie de la source, l'énergie du faisceau est de un nanojoule.

Le MPA (il y en a quatre par chaîne) a pour fonction de réaliser une préamplification du faisceau pour amener son énergie au niveau du joule. Ce gain d'un facteur un milliard est obtenu par un passage dans une cavité régénérative et par quatre passages dans un amplificateur. De plus, le MPA met en forme spatialement le faisceau ; il ajuste ainsi la répartition de son énergie.

Le rayonnement infrarouge qui sort du pilote doit encore être amplifié dans la section amplificatrice afin d'atteindre l'énergie requise pour les expériences : jusqu'à 18 kilojoules. Cette amplification est acquise par quatre passages au travers

de deux amplificateurs (T et C) constitués de plaques de verre phosphate dopé au néodyme qui stockent puis restituent l'énergie fournie par des lampes flash. Faire passer ainsi le faisceau quatre fois dans deux amplificateurs, plutôt qu'une fois dans huit amplificateurs, permet de limiter la longueur de la chaîne, donc celle du bâtiment, et le nombre de plaques nécessaires.

Positionnées entre les deux amplificateurs, des lentilles associées à un diaphragme suppriment les modulations parasites. Deux miroirs, M1 et M2, assurent les allers-retours du faisceau. En bout de chaîne se trouve la cellule de Pockels à électrodes plasma (PEPC), un élément de protection de la chaîne laser. Associée à un polariseur, elle constitue un obturateur optique qui laisse

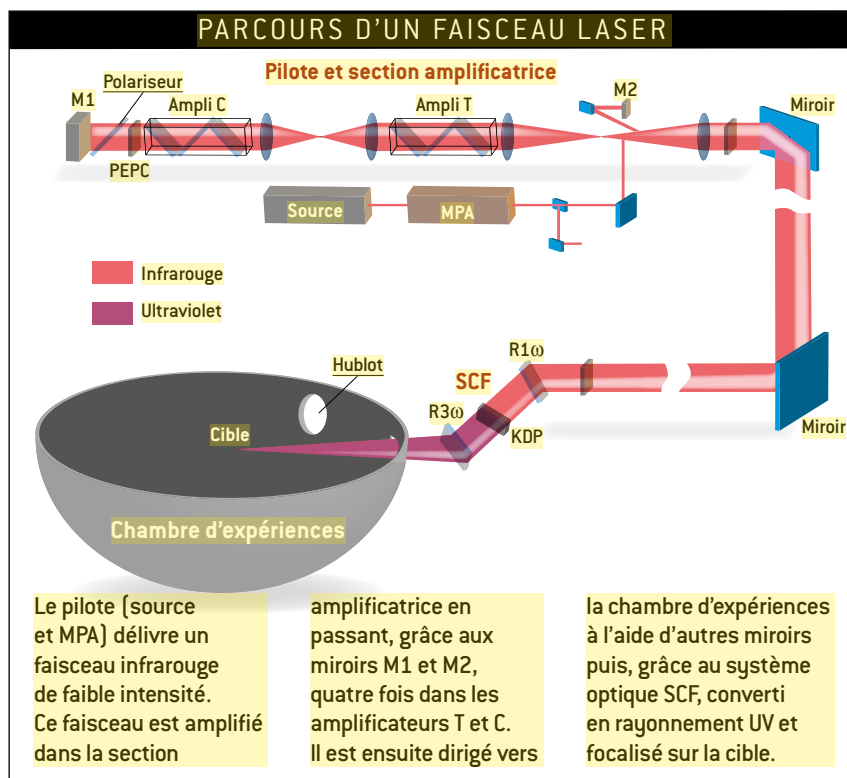
passer le faisceau lors de ses quatre passages et bloque les rayonnements parasites. La surface du miroir M1 est déformée par de petits actionneurs afin de corriger les légères modulations parasites du faisceau.

Les faisceaux se propagent ensuite sur plus de 40 mètres vers la chambre d'expériences. Les deux quadruplets de chaque chaîne sont séparés et dirigés grâce à six miroirs, l'un vers la partie supérieure et l'autre vers la partie inférieure de la chambre.

Des rayons UV très concentrés

Avant d'entrer dans cette dernière, la lumière infrarouge est convertie en rayonnement UV et focalisée au centre de la chambre. Ces deux opérations sont réalisées par le système de conversion de fréquence et de focalisation (SCF). La conversion répond aux besoins des expériences : nombre d'entre elles nécessitent un rayonnement X que seuls des rayons UV peuvent produire sur la cible de façon efficace.

Le SCF est composé d'un premier réseau de diffraction (R1 ω) qui dévie de 50 degrés le faisceau infrarouge, puis de deux cristaux de KDP (di-phosphate hydrogéné de potassium) qui transmettent le rayonnement avec une fréquence double puis triple de celle du faisceau incident, portant ainsi la



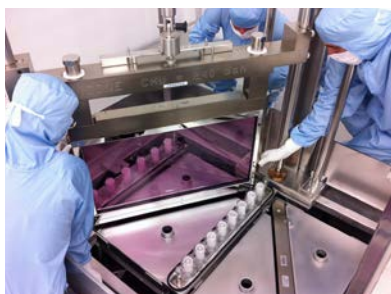
longueur d'onde à 351 nanomètres (UV). Il comporte enfin un second réseau (R3 ω) qui défléchit de nouveau la lumière de 50 degrés, la lumière résiduelle non convertie en UV étant bloquée par des absorbeurs, et la focalise avec une précision de pointage de 50 micromètres sur la cible.

Un projet aux défis monumentaux

Le laser Mégajoule est une installation expérimentale hors du commun, si l'on se réfère à sa taille, son coût (3,1 milliards d'euros hors taxe, aux conditions économiques de 2015) et à sa très grande complexité. Seuls les États-Unis disposent à ce jour d'une installation similaire, la National Ignition Facility, située en Californie.

Le LMJ a mobilisé pendant vingt ans plusieurs centaines de personnes au CEA et chez ses partenaires industriels. De sa conception à sa mise en service, il a fallu développer de nouvelles technologies, mettre au point de nouvelles techniques et amener l'industrie française au niveau requis pour réaliser certains systèmes.

De nombreuses PME ont atteint l'excellence technologique grâce au LMJ, telle GreenField Technology en développant les systèmes électroniques



UNE PLAQUE D'AMPLIFICATION LASER (verre phosphate dopé au néodyme) en cours de montage.

qui synchronisent les faisceaux à quelques milliardièmes de milliardième de seconde près, ou ISP System en réalisant les actionneurs des miroirs adaptatifs M1.

L'optique mérite d'ailleurs une attention particulière. Le LMJ comporte en effet quelque 7000 optiques de grandes dimensions ; en plus de leur extrême

précision de courbure et de rugosité, elles supportent des fluences (flux de lumière) jusque-là jamais atteintes.

Quant à l'accompagnement des entreprises par le CEA, l'exemple de la société SESO est notable. Le CEA a investi pendant plusieurs années dans cette société (rachetée au cours du projet par le groupe Thales pour devenir Thales/SESO) pour la doter des technologies et des machines de polissage des optiques qui la placent aujourd'hui au meilleur niveau mondial. Elle a connu récemment une forte croissance, ses effectifs passant de 70 personnes en 2012 à 100 en 2014.

Le laser Mégajoule, avec ses exigences de performances très au-dessus des standards industriels, restera une référence de classe mondiale pour les mille entreprises qui ont contribué à sa réalisation.