



Etat sur les lasers HED et Ultra-Intenses aux Etats-Unis

Publié le dimanche 8 mai 2016

Voir en ligne : <https://www.france-science.org/Etat-sur-les-lasers-HED-et-Ultra.html>

L'étude des matériaux sous conditions extrêmes a attiré beaucoup d'intérêt scientifique sur les 10 dernières années et tout particulièrement aux Etats-Unis. Quatre rapports respectivement édités par le *National Research Council* [1], le *National Science and Technology Council* [2], la *National Academy of Science* [3] et le *Department of Energy* [4] ont identifié les questions à l'origine de ces recherches comme devant être répondus dans ce millénium.

Dans ce contexte, les lasers de haute densité d'énergie (HDE) et de ultra-haute puissance (UHI) dans des gammes supérieures au petawatt (PW) pourraient devenir un outil clé de la physique fondamentale comprenant la physique des particules, la physique gravitationnelle, la théorie des champs non-linéaires, la physique des pressions ultra-élevées, l'astrophysique et la cosmologie.

Etat des lieux des installations de lasers de haute densité d'énergie et de ultra-haute puissance aux Etats-Unis

Les principales installations lasers HDE et UHI aux Etats-Unis sont des installations financées par le gouvernement américain par l'intermédiaire du *Department of Energy* (Département de l'énergie ou DoE). On y retrouve quatre laboratoires nationaux (cf. Tableau 1) :

- le *Sandia National Laboratories* qui est administré par la *Sandia Corporation*, une entreprise de Lockheed Martin ;
- le *Lawrence Livermore National Laboratory*, qui est administré par *Lawrence Livermore National Security*, un partenariat entre l'Université de Californie, Bechtel Group [5], Babcock & Wilcox [6], URS Corporation [7], et le Battelle Memorial Institute [8] en affiliation avec le système universitaire Texas A&M ;
- le *Lawrence Berkeley National Laboratory* qui est administré par l'Université de Californie directement pour le compte du DoE.
- et le *Los Alamos National Laboratory* qui est administré par *Los Alamos National Security*, un partenariat entre l'Université de Californie, Bechtel Group, URS Corporation, et Babcock & Wilcox.

Trois laboratoires administrés par des universités mais recevant des financements du *Department of Energy* sur projets ont une importance significative dans le paysage américain des lasers hautes performances :

- *Laboratory for Laser Energetics*, administré par l'Université de Rochester, Etat de New York ;
- *Center for Ultrafast Optical Science*, administré par l'Université du Michigan, Etat du Michigan ;
- et *Center for High Energy Density Science*, administré par l'Université du Texas à Austin, Etat du Texas.

Localisation	Nom du Laser	Caractéristiques
Lawrence Livermore National Laboratory (Livermore, CA)	NIF National Ignition Facility	— longueur d'onde : 1053 nm (351nm (UV)) sur la cible — 192 faisceaux lasers — énergie : 4,2x10 ¹⁸ J, 1,8 MJ (UV) — diamètre du faisceau : 2 mm — durée du pulse : 400 fs
	Tristram	Faisceau pulse long : — longueur d'onde : 1053 nm / 527 nm — énergie : jusqu'à 1 kJ / 500 J — diamètre du faisceau : 20 µm — intervalle entre tirs : 2 ns Faisceau pulse court : — longueur d'onde : 1053nm / 527 nm — énergie : jusqu'à 200 J / 50 J — diamètre du faisceau : 8 µm — intervalle entre tirs : 2 ns
Los Alamos National Laboratory	Trident	Faisceau pulse long : — longueur d'onde : 1054 nm / 527 nm — deux faisceaux — énergie : 1,82 / 2,9 J — durée du pulse : 100 ps - 10ps / 100 ps - 5 ns Faisceau pulse court : — un faisceau unique — énergie : 120 J — durée du pulse : 500 fs
Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley, CA)	BELLA	— longueur d'onde : 800 nm — 40 faisceaux lasers — énergie : 42,2 J — diamètre du faisceau : < 100 µm — durée du pulse : 65 fs
Sandia National Laboratories (Albuquerque, NM)	Short pulse (en cours de réalisation)	^{3rd} module tir : — longueur d'onde : 1053nm — énergie : 400 J / 1,1 kJ — diamètre du faisceau : 145 mm / 300 mm, — intervalle entre tirs : 3-4 h
US Naval Research Laboratory (Washington, DC)	Nile	— longueur d'onde : 248nm (UV) — 56 faisceaux lasers — énergie : 4-5 kJ — durée du pulse : 60 ns
Laboratory for Laser Energetics University of Rochester (Rochester, NY)	OMEGA	— longueur d'onde : 351 nm (UV) — 50 faisceaux lasers — énergie : 40 kJ — diamètre du faisceau : < 1 mm — durée du pulse : 60 ps
	OMEGA EP	— peut être couplé au laser OMEGA — longueur d'onde : 1053 nm — quatre faisceaux lasers — énergie de sortie : 1 kJ — durée du pulse : 1,10 ps
Center for High Energy Density Science The University of Texas at Austin (Austin, TX)	Texas Petawatt	— longueur d'onde : 1057 nm — énergie : 100 J — diamètre du faisceau : < 160 µm — durée du pulse : 150 fs
Center for Ultrafast Optical Science University of Michigan (Ann Arbor, MI)	Hercules Petawatt	— longueur d'onde : 214-253 nm — énergie : 1 J — diamètre du faisceau : < 1 µm — durée du pulse : 30 fs

Le *Department of Defense* (Département de la défense ou DoD) finance également un centre de recherche étudiant les lasers hautes performances : le *US Naval Research Laboratory*. D'autres installations de recherche dans d'autres branches du *Department of Defense* doivent certainement exister mais ne sont pas dans le domaine public. En effet, si l'on prend l'exemple du *US Air Force*, en 2013, plus de 38 millions de dollars ont été dépensés pour effectuer des recherches sur les lasers de haute énergie, dans ce cas principalement dans un objectif militaire. [9]

Il existe un certain nombre d'infrastructures dédiées à des lasers qui s'approchent du PW en puissance. On peut nommer le *Scarlet laser Facility* de l'Université d'Etat de l'Ohio, le *Extreme Light Laboratory* (diodes Laser) de l'Université du Nebraska-Lincoln, les *Short Pulse laser 1er* et *2ème* modules à *Sandia National Laboratories* ou encore le *Callisto laser* à *Lawrence Livermore National Laboratory*.

Les recherches liées aux grands instruments « publics » tombent dans deux catégories : les sciences des hautes densités d'énergie et les sciences des champs forts. Dans le cadre des recherches en sciences des hautes densités d'énergie, la recherche sur la fusion à confinement inertiel est la plus courante. Dans le cadre des recherches en sciences des champs forts, la recherche sur la génération de particules à vélocité relativiste est la plus courante. Par exemple, dans le cas des synchrotrons, l'objectif serait de créer des systèmes compacts et plus économiques d'injection des électrons.

Pour être complet, en 2000, un Bureau de coordination de l'action gouvernementale sur les lasers de haute énergie fût créé : *High Energy Laser Joint Technology Office* (JTO). Le JTO est sous la tutelle du *Department of Defense* et a un droit de regard sur les recherches réalisées au sein des différentes branches armées, des laboratoires gouvernementaux, de l'industrie et des centres académiques. Le JTO a également un budget propre et dispense environ 13 millions de dollars vers de la recherche ciblée tous les 2 ans ; le prochain appel à projets sera en 2017.

Les financements 2016

Malgré l'arrivée fin 2015 d'un porte-parole de la Chambre, Paul Ryan, peu enclin à financer la recherche sur les lasers de haute énergie (en 2000, il avait fortement attaqué le budget du NIF), les financements de ce type de lasers principalement dédié à la recherche sur la fusion par confinement inertiel ont été maintenus à des niveaux importants. Le Comité des sciences de la Chambre (*House Science Committee*) a même fait de la fusion à confinement inertiel une priorité pour l'année 2016. [10]

Le budget global du *Department of Energy* concernant la fusion à confinement inertiel en 2016 est de 511,1 million de dollars dont près de 400 millions fléchés de la manière suivante :

- 329 millions pour le *National Ignition Facility* du *Lawrence Livermore National Laboratory*,
- 69 millions pour le *Omega Laser Facility* du *Laboratory for Laser Energetics* à l'Université de Rochester,
- Et 7 millions pour le *Naval Research Laboratory*.

Le reste des fonds étant répartis à la discrétion du Secrétaire d'Etat du *Department of Energy*, Dr. Ernest

Moniz. D'autre part, le *US Air Force* a reçu une enveloppe de 13,8 million de dollars pour des initiatives sur les lasers de haute densité d'énergie.

Les projets en cours et futurs

A l'heure actuelle, il n'y a qu'une installation laser PetaWatt (PW) en cours de construction : le Short pulse 3ème module tel qu'il est indiqué dans le Tableau 1.

La plupart des équipements laser de classe TeraWatt (TW) prévoit des rénovations de leur installations afin d'en améliorer la puissance fournie. Ces améliorations passent par des changements d'optiques (cristaux amplificateurs optiques paramétriques (OPA), etc.) et miroirs, électroniques, etc. Ces rénovations coûtent souvent plusieurs centaines de k\$ et pour les plus drastiques les prévisions dépassent le million de dollar, mais devrait leur permettre de se rapprocher du PW.

D'après les experts, c'est le bon moment pour étudier comment atteindre des puissances au-delà du PW. L'étape suivante serait la construction de lasers pouvant générer des puissances de l'ordre de 10 PW. La technologie pour ce type d'infrastructure semble être à portée de main. Par exemple, le *Center for High Energy Density Science* à l'Université du Texas à Austin a commencé à travailler sur l'aspect technique d'un tel projet. Le directeur du Centre pense pouvoir créer un laser 10 PW grâce à une technologie hybride « OPCPA/Mixed laser glass » en travaillant avec des pulses d'environ 100 fs à des énergies supérieures à 100 J. Il semble toutefois que certaines améliorations doivent être réalisées en particulier dans le domaine des matériaux (lentilles, amplificateurs, amplificateurs Raman...), des réseaux et de l'électronique. La recherche concernant ces améliorations est foisonnante ce qui laisse à penser que les chercheurs américains se mobiliseront très prochainement pour réclamer au gouvernement américain des équipements lasers 10 PW. Cette demande sera d'autant plus écoutée qu'au moins trois équipements lasers 10 PW sont en cours de construction ou en activité dans le monde : le projet VULCAN aux *Rutherford Appleton Laboratories* (Royaume-Uni), le projet APPOLON au Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (France), le projet *Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics* (ELI-NP) à Bucharest-Magurele (Roumanie). Ce dernier projet fait partie d'un programme européen qui comporte 2 autres lasers construits en Hongrie et en République Tchèque. Un quatrième laser est en cours de conception dans le cadre de ce programme européen ; celui-ci, dont la localisation n'est pas encore définie, devrait atteindre les 100 PW.

Il est également possible que les chercheurs américains souhaitent sauter l'étape du 10 ou 100 PW pour passer directement à l'ExaWatt (10^{18} W). En effet, le Dr. Chris Barty, Directeur de la technologie au sein du Directoire du NIF et des sciences phoniques au *Lawrence Livermore National Laboratory*, a fait une présentation à la conférence « Inertial Fusion Sciences & Applications » fin 2015 au cours de laquelle il insistait sur le fait que les 192 faisceaux laser du NIF étaient capables de produire une énergie laser infrarouge de l'ordre de 5 MJ et que son architecture était compatible avec la production de pulses inférieurs à la picoseconde [11]. Ainsi, il serait possible d'adapter de nouveaux concepts à l'architecture du NIF existante permettant la production de pulses lasers de l'ordre de l'ExaWatt en puissance voire du ZettaWatt (10^{21} W).

Informations intéressantes sur le NIF

Bien qu'aucune expérience de fusion par confinement inertiel, à notre connaissance, n'ait réussi à initier un plasma entraînant la fusion, le *National Ignition Facility* ou NIF est l'installation qui paraît être la plus proche d'atteindre le point d'ignition aux Etats-Unis. Anticipant l'ignition, l'idée de la création d'un démonstrateur pour une centrale électrique commerciale basée sur les connaissances acquises au NIF a germé au sein du *Lawrence Livermore National Laboratory*. Appelée LIFE pour *Laser Inertial Fusion Energy* [12], ce démonstrateur suit les 4 étapes suivantes :

1. Construction de NIF (réalisé en 2009) ;
2. Démonstration de la possibilité d'ignition, c'est-à-dire un gain net en énergie dû à la fusion (en progrès) ;
3. Construction du démonstrateur LIFE intégrant toutes les technologies nécessaires à une centrale électrique (envisagé pour 2025) ;
4. Commercialisation à grande échelle de centrales de type LIFE reliée au réseau électrique (envisagé après

Rédacteurs :

- Christian Turquat, Attaché pour la Science et la Technologie, Houston, christian.turquat@ambascience-usa.org
- Robin Faideau, Attaché adjoint pour la Science et la Technologie, Houston, robin.faideau@ambascience-usa.org

Notes

- [1] Davidson, R.C., (2003). Frontiers in High Energy Density Physics : The X-Games of Contemporary Science, Committee on High Energy Density Plasma Physics, Plasma Science Committee, National Research Council.
- [2] Davidson, R. C., (2004). Frontiers for Discovery in High Energy Density Physics, prepared for National Science and Technology Council, Committee on Science by.
- [3] Turner, M., (2003). Connecting Quarks with the Cosmos : Eleven Science Questions for the New Century. National Academy of Sciences.
- [4] Wadsworth, J., (2008). Basic Research Needs For Materials Under Extreme Environments, Report of the Basic Energy Sciences Workshop for Materials under Extreme Environments, Office of Basic Energy Sciences, Department of Energy. http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/MUEE_rpt.pdf
- [5] Bechtel Group est la première entreprise américaine de travaux publics, la treizième d'ingénierie dans les travaux publics et la neuvième entreprise de construction au niveau mondial en 2012.
- [6] Babcock & Wilcox est un bureau d'études et de conseil en ingénierie américaine, spécialisation dans l'industrie énergétique.
- [7] URS Corporation est un bureau d'études et de conseil en ingénierie américain.
- [8] Battelle Memorial Institute est une entreprise privée à but non lucratif travaillant dans le développement technologique et les sciences appliquées.
- [9] http://dtic.mil/descriptivesum/Y2013/AirForce/stamped/0602890F_2_PB_2013.pdf
- [10] <https://www.aip.org/fyi/2016/house-science-committee-unveils-agenda-and-priorities-2016>
- [1 1]
http://ifsa15.org/docs/abstracts/474_150508%20IFSA%20Barty%20Nexawatt%20Laser%20Abstract_v2.pdf
- [12] <https://life.llnl.gov/>