

# Impulsions électromagnétiques générées par des expériences laser

F. LUBRANO - M. BARDON - O. CESSENAT / CEA – Cesta

A. COMPANT LA FONTAINE / CEA – DAM Île-de-France

J.-L. DUBOIS - V. TIKHONCHUK / Centre lasers intenses et applications (CELIA), Unité mixte de recherche 5107 CNRS – CEA – Université de Bordeaux, Talence

Les expériences avec des lasers de haute puissance sont susceptibles de générer des émissions électromagnétiques très intenses qui peuvent nuire au fonctionnement de l'installation. Après l'identification de la source principale de ces impulsions électromagnétiques, une chaîne de simulation 3D a été construite pour calculer l'environnement électromagnétique produit par une expérience PETAL (Pétawatt Aquitaine Laser) dans la chambre du Laser Mégajoule (LMJ). Cet outil de calcul permet aussi de concevoir des dispositifs de parade pour réduire la génération de ces impulsions.

Les champs électromagnétiques créés lors d'expériences avec des lasers de plus en plus puissants représentent une contrainte croissante pour le fonctionnement des équipements et de l'instrumentation. Les champs électriques mesurés dans les chambres laser peuvent dépasser 100 kV/m avec une largeur de bande couvrant les fréquences radio et micro-ondes. Pour s'en prémunir, la tech-

nique habituelle consiste à blinder le matériel vis-à-vis de l'agression électromagnétique, mais la mise en œuvre de ces protections est complexe et coûteuse. L'approche proposée s'attaque à la source du problème, c'est-à-dire à la génération de l'impulsion électromagnétique.

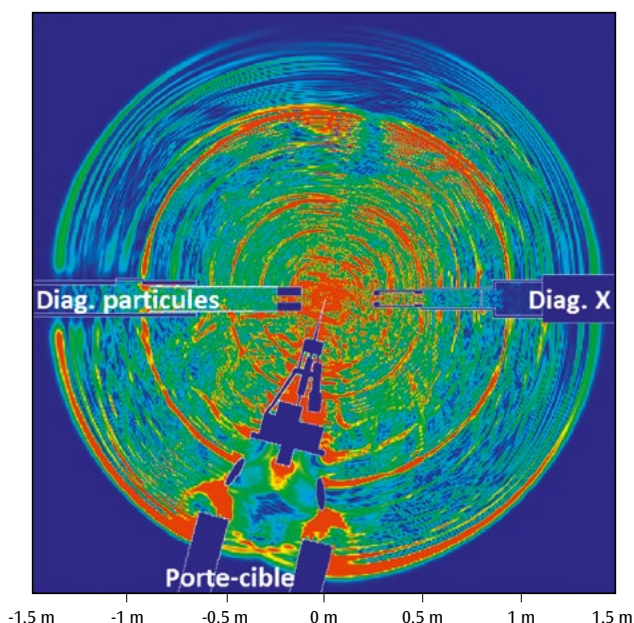
## Physique des impulsions électromagnétiques laser

Les environnements électromagnétiques les plus intenses ont été observés pour des expériences laser à impulsion courte, inférieure ou égale à la picoseconde, sur des cibles solides [1]. Le rayonnement électromagnétique augmente avec la charge constituée par les particules éjectées de la cible. Il a pour origine le rééquilibrage de charges qui se produit à l'intérieur de la chambre, après l'éjection de ces particules [1,2]; des courants de décharge se propagent dans la chambre, en particulier dans le porte-cible qui rayonne alors comme une antenne. La phénoménologie a été validée par des expériences dédiées [2,3,4].

## Simulation 3D

Chaque étape des processus de génération et de propagation de l'impulsion électromagnétique est simulée numériquement à toutes les échelles du problème:

- ▶ la création d'un plasma sur la cible par le dépôt d'énergie d'une pré-impulsion laser (code Chivas d'hydrodynamique radiative développé au CEA [5]);
- ▶ l'interaction de l'impulsion laser avec le plasma qui se traduit par l'accélération d'électrons et parfois d'ions dans la tache focale (méthode PIC, *Particle In Cell*, code Calder développé au CEA [6]);



**Figure 1.** Résultat de simulation du champ électrique rayonné pour une expérience laser pétawatt de 1 kJ dans la chambre du Laser Mégajoule. Vue dans le plan équatorial de la chambre contenant le porte-cible ainsi que les diagnostics pour le rayonnement X et les particules éjectées. En rouge : champ supérieur à 1 MV/m; en bleu : inférieur à 100 kV/m.

► le transport des particules dans l'épaisseur de la cible (code MCNP du Los Alamos National Laboratory);

► la dynamique des particules chargées éjectées dans le vide de la chambre et la propagation des champs électromagnétiques en interaction avec ces charges (méthode PIC à l'échelle de la chambre, code Sophie développé au CEA [7]).

Cette chaîne de simulation a été validée expérimentalement dans différentes installations [1,2]. Pour des expériences pétawatt, le champ électrique prévu dans la chambre PETAL-LMJ dépasse 1 MV/m à moins d'un mètre de la cible (figure 1).

### Conception de parades anti-impulsion électromagnétique

Le phénomène physique étant identifié et quantifié, des dispositifs pour l'annihiler sont conçus par la simulation numérique. Le concept de parades s'appuie sur deux principes :

- canaliser le courant de décharge depuis la cible vers une masse électrique longeant le porte-cible;
- disposer en amont, au plus près de la cible, des éléments inductifs et résistifs pour atténuer ce courant, source principale du rayonnement électromagnétique.

Le premier principe consiste à maîtriser le parcours de la décharge, le second à la dissiper. Ces éléments sont intégrés dans l'édifice cible PETAL, sans impact sur la mise en œuvre des expériences. L'édifice testé (figure 2) montre des atténuations du champ électromagnétique supérieures à 5 (figure 3), correspondant à un facteur 25 sur l'énergie rayonnée : il est équipé d'une pièce de ferrite pour la partie inductive et d'une résistance sous la cible.

L'analyse du problème physique jointe au développement d'un outil numérique a permis de

concevoir des dispositifs de parades limitant la génération d'environnements électromagnétiques qui peuvent être préjudiciables au fonctionnement d'installations laser. Au-delà du moyen PETAL, les concepts ainsi développés et soumis à brevet [8] sont applicables aux autres installations laser présentes dans le monde.

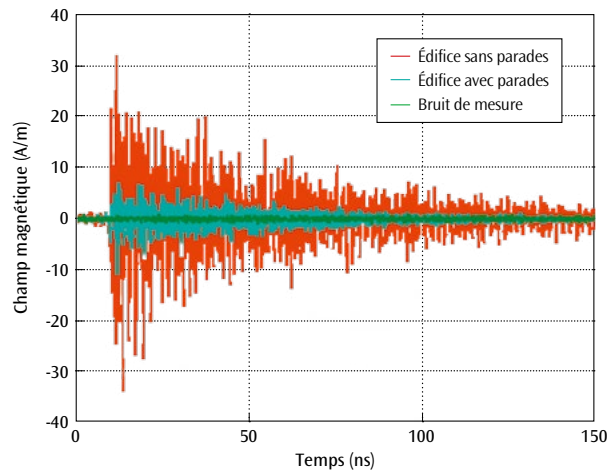


Figure 3. Mesure du champ magnétique rayonné dans la chambre laser de l'installation Equinox du CEA – DAM Île-de-France. Comparaison du dispositif anti-impulsion électromagnétique avec la référence conductrice sans parades.

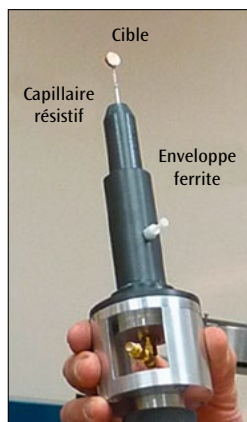


Figure 2. Dispositif anti-impulsion électromagnétique conçu pour une expérience PETAL, en terminaison du porte-cible. Le capillaire maintenant la cible est équipé d'une résistance électrique en contact avec la masse électrique de l'installation. Un matériau en ferrite enveloppe l'édifice. Ces deux éléments concourent à limiter le courant de décharge dans le porte-cible et à atténuer le rayonnement.

## Références

- [1] F. LUBRANO *et al.*, « Impulsions électromagnétiques générées par des tirs laser de haute puissance », *Chocs*, **44**, p. 34 (2013).
- [2] J.-L. DUBOIS, F. LUBRANO, V. TIKHONCHUK *et al.*, « Target charging in the short pulse laser-plasma experiments », *Phys. Rev. E*, **89**, 013102 (2014).
- [3] A. POYÉ, J.-L. DUBOIS, M. BARDON, F. LUBRANO, V. TIKHONCHUK *et al.*, « Physics of giant electromagnetic pulse generation in short-pulse laser experiments », *Phys. Rev. E*, **91**, 043106 (2015).
- [4] A. POYÉ, J.-L. DUBOIS, F. LUBRANO, M. BARDON, V. TIKHONCHUK *et al.*, « Dynamic model of target charging by short pulse interactions », *Phys. Rev. E*, **92**, 043107 (2015).
- [5] S. JACQUEMOT, A. DECOSTER, « Z-scaling of collisional Ne-like X-ray lasers using exploding foils: refraction effects », *Laser & Part. Beams*, **9**, p. 517 (1991).
- [6] E. LEFEBVRE *et al.*, « Electron and photon production from relativistic laser-plasma interactions », *Nuclear Fusion*, **43**, p. 629 (2003).
- [7] O. CESSENAT, « Sophie, un code de calcul haute performance pour la propagation des ondes et particules chargées », *Chocs*, **44**, p. 25 (2013).
- [8] F. LUBRANO, M. BARDON, J.-L. DUBOIS, S. CHAMPEAUX, « Dispositif d'atténuation de l'impulsion électromagnétique générée dans une installation laser de puissance », demande de brevet *Brevalex* n° 1459941 déposée le 16/10/14.