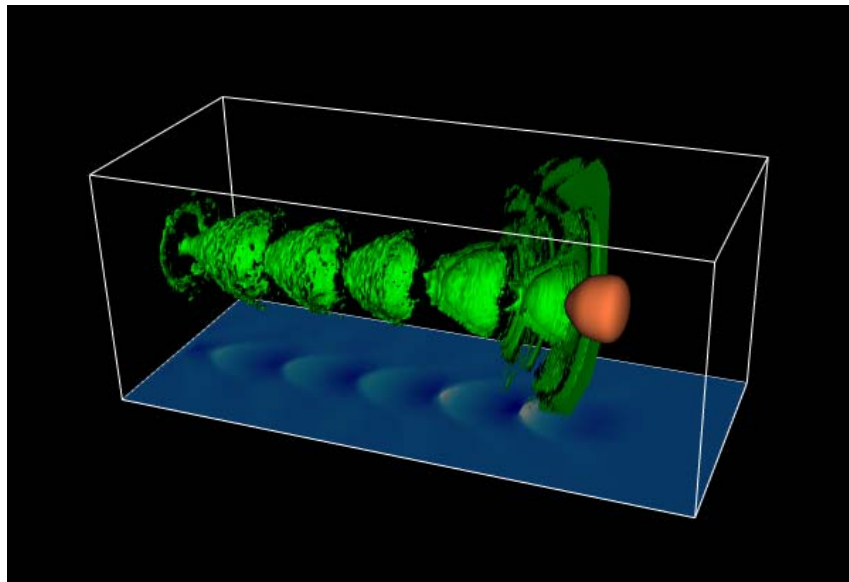


Simulation de l'accélération d'électrons par laser

Dans les accélérateurs de particules traditionnels, les champs électriques sont limités à quelques dizaines de méga volts par mètres, à cause de contraintes de claquage des structures accélératrices. Produire des faisceaux de particules de haute énergie demande donc des longueurs d'accélération très importantes. La technique en plein développement des accélérateurs plasmas pourrait lever cette contrainte, puisque dans ce cas les particules sont accélérées dans un plasma, milieu déjà ionisé qui peut supporter des champs de plusieurs ordres de grandeur supérieurs.

Dans ces accélérateurs d'un nouveau genre, les champs électriques sont excités par le passage d'une impulsion laser extrêmement courte – quelques dizaines de femto secondes – et extrêmement intense. Dans le sillage de cette impulsion, des électrons du plasma peuvent être « piégés » par la structure accélératrice et portés à des énergies de l'ordre du milliard d'électronvolts en seulement quelques centimètres – au lieu de plusieurs mètres au moins avec des machines conventionnelles.



Modulation de densité électronique (en vert) excitée dans le sillage de l'impulsion laser (en orange).
En bleu coupe horizontale du champ électrostatique longitudinal associé.

Le challenge physico-numérique

Pour bien comprendre et optimiser cette méthode d'accélération, il faut modéliser avec une grande finesse l'interaction entre le rayonnement laser et les électrons du plasma. On peut y parvenir à l'aide d'une méthode « particulière », dans laquelle le plasma est décrit par une collection de plusieurs centaines de millions de particules numériques, et les champs électromagnétiques discrétisés aux nœuds d'un maillage tridimensionnel comportant quelques centaines de millions de mailles. Une telle charge de calcul ne peut être abordée qu'à l'aide de codes massivement parallèles, tel le code CALDER de DAM/DPTA. Au cours des dernières années, la simulation numérique s'est ainsi imposée comme un outil indispensable pour explorer les mécanismes de l'interaction laser-plasma qui se déroulent sur des échelles de temps et d'espace si petites qu'elles défient souvent la mesure, et la simulation accompagne maintenant, voire précède, les progrès expérimentaux.

Les perspectives

L'accélération d'électrons par plasma évolue naturellement vers la production de faisceaux de plus en plus énergétiques, obtenus au bout de distances d'accélération plus importantes, ce qui pose un challenge croissant à la simulation numérique. De nouveaux modèles numériques doivent être développés pour accompagner les expériences, et les outils actuels doivent être adaptés pour tirer le meilleur parti des futures architectures de machines.