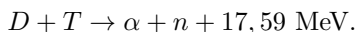


# Projet CEMRACS ERFUPLA :

## Étude des Réactions de Fusion $D$ - $T$ dans un PLAsma

Frédérique Charles, Stéphane Dellacherie, Bruno Després.

L'un des objectifs du futur réacteur expérimental ITER est d'obtenir des réactions de fusion entre des isotopes de l'hydrogène au sein d'un plasma (gaz ionisé) confiné par un champ magnétique. L'une des réactions possibles est celle entre les ions Deutrium et Tritium, produisant une particule  $\alpha$  ( $\text{He}^4$ ) et un neutron suivant le schéma suivant :



L'énergie produite lors de la réaction de fusion est alors transportée par les neutrons (qui ne sont pas confinés par le champ magnétique et quittent rapidement le plasma - on peut donc négliger leur interaction par collisions avec les autres espèces en première approximation) et les particules  $\alpha$ . Par ailleurs, les ions et les électrons du plasma interagissent à travers un champ électrique induit (ainsi que par collisions, qui sont ici négligées). L'objectif de ce projet est d'étudier numériquement les réactions de fusion à travers un modèle simple, ainsi qu'éventuellement (en fonction de l'avancement des travaux) l'interaction entre les particules  $\alpha$  produites et le reste du plasma.

On considère pour cela un modèle cinétique pour les ions dans lequel les distributions de particules de chaque espèce ( $D$ ,  $T$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ) sont décrites par des fonctions de distribution ( $f_D$ ,  $f_T$ ,  $f_\alpha$  et  $f_n$ ) respectivement, et on modélise les réactions de fusion comme dans [2] grâce à des opérateurs de collisions de type Boltzmann. Les évolutions de  $f_D$ ,  $f_T$ ,  $f_\alpha$  et  $f_n$  sont alors décrites par des équations de Vlasov avec termes collisionnels de type Boltzmann :

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial f_i}{\partial x} + \frac{q_i}{m_i} (E + v \wedge B) = Q_i(f_D, f_T), \quad \text{pour } i \in \{D, T, \alpha, n\}, \quad (1)$$

où  $Q_D(f_D, f_T)$ ,  $Q_T(f_D, f_T)$ ,  $Q_\alpha(f_D, f_T)$  sont les opérateurs de perte (respectivement de gain pour  $Q_\alpha(f_D, f_T)$  et  $Q_n(f_D, f_T)$ ) modélisant les réactions de fusion. L'évolution de la densité en électrons et celle du champ électrique  $E$  peut par ailleurs être décrite grâce à une équation de Poisson.

L'objectif pratique du projet sera de s'intéresser plus particulièrement aux opérateurs de fusion  $Q_i$  ( $i \in \{D, T, \alpha, n\}$ ). Pour cela on commencera dans un premier temps par mettre en œuvre la résolution numérique des équations (1) dans un contexte homogène en espace et sans champ électro-magnétique, c'est-à-dire

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = Q_i(f_D, f_T), \quad \text{pour } i \in \{D, T, \alpha\}, \quad (2)$$

à l'aide d'un code basé sur une méthode particulière de type Direct Simulation Monte Carlo (DMSC) pour mélange gazeux [1, 3]. Cependant, la résolution numérique d'un modèle cinétique, et plus particulièrement d'opérateurs de collisions, étant très coûteuse, on s'intéressera dans un second temps à des modèles simplifiés pour ces opérateurs de fusion. La première simplification possible du modèle est de considérer que les particules  $\alpha$  sont émises avec des vitesses distribuées de façon isotrope sur la sphère et une énergie de 3,5 MeV [2]. Il serait intéressant ensuite de regarder s'il est possible de dériver un modèle plus simple lorsque les ions sont soumis à un fort champ magnétique. Cette seconde partie comporte des aspects de bibliographie, de modélisation et de simulation numérique.

## Références

- [1] G.A. Bird. Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows. *Oxford University Press* (1994).
- [2] S. Dellacherie, R. Sentis Nuclear Collisions Models with Boltzmann Operators, *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, **10**, No 4, 479–506 (2000).
- [3] L. Pareschi and G. Russo. An introduction to Monte Carlo methods for the Boltzmann equation. In *ESAIM : Proceedings*, 1999.