

Simuler la formation de “HOFI channel” par couplage de codes PIC et hydrodynamique

Arnaud Beck
Gianluca Oberreit
Ludovic Lecherbourg

IN2P3 - LLR
CEA DAM-DIF

Méthode

- 1 Simuler l'interaction du "HOFl pulse" avec le plasma pour avoir l'état initial (température, taux d'ionisation). [**fs** - PIC]
- 2 On suppose la thermalisation électronique. [**ps**]
- 3 Simuler la formation du HOFl. [**ns** - Hydro]

Mewes et. al., *Demonstration of tunability of HOFl waveguides via start-to-end simulations*, Phys. Rev. Res. **5** 2023.

Code PIC SMILEI

- Géométries 1D et AM.
- Ionisation BGK + Barrier Suppression Ionization (BSI), en cours d'implémentation.
Q. Zhang, P. Lan, and P. Lu, Empirical formula for over-barrier strong-field ionization, Phys. Rev. A 90, 043410 (2014).
- Collisions.
- Modèle d'enveloppe.

Code hydro Esther

- Géométrie 1D radiale cylindrique.
- Modèle à 2 températures en cours d'implémentation pour les plasmas.

Hypothèses

- Géométrie 1D Cartesienne.
- Pour la population électronique $E_c = \frac{3}{2} k_B T$. Toute l'énergie cinétique résiduelle contribue à la température.

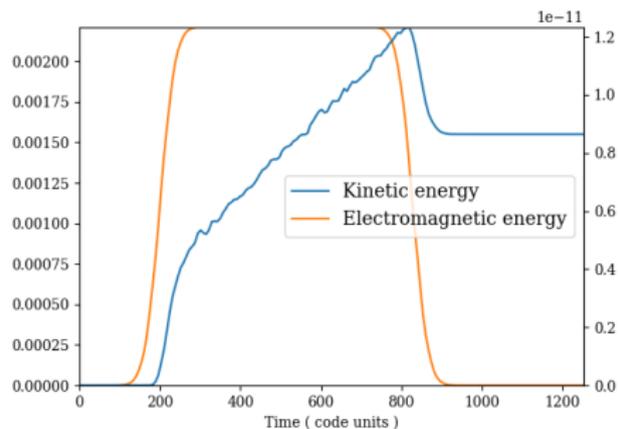
Paramètres

- Gaz H atomique.
- $10^{14} < I < 10^{17} \text{ W/cm}^2$
- Polarisation linéaire
- Impulsion de 30 fs (1/e du champ).
- Résolution $dx = 9.77 \text{ nm}$ sur une longueur $L = 80 \mu\text{m}$.

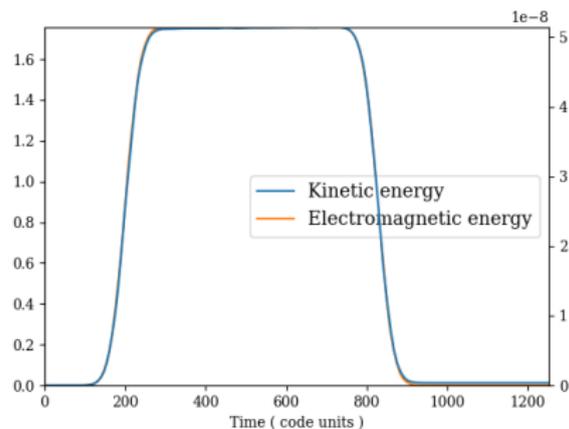
L'idée est de pouvoir tabuler un interpolateur $f(I(r)) = T(r)$.

Bilan d'énergie qualitatif

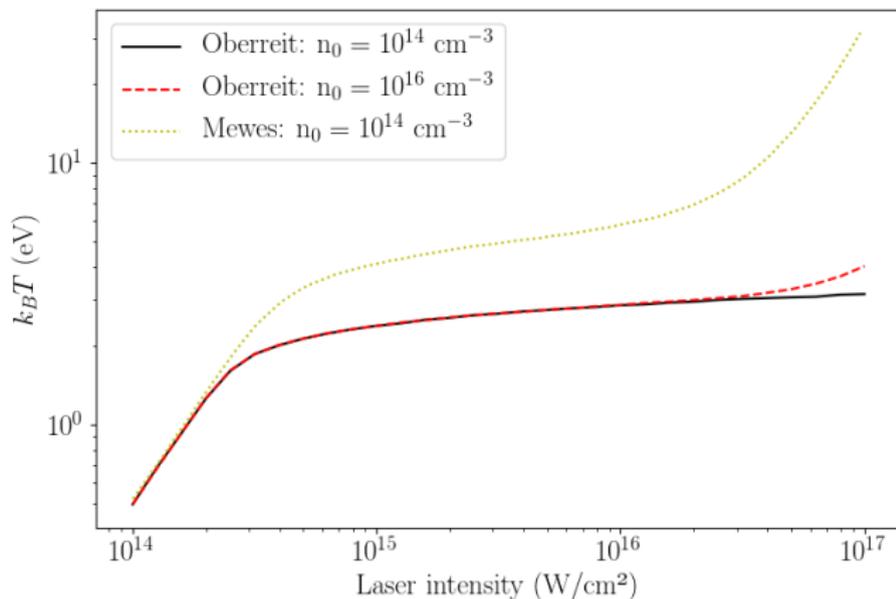
Basse intensité



Haute intensité



Température

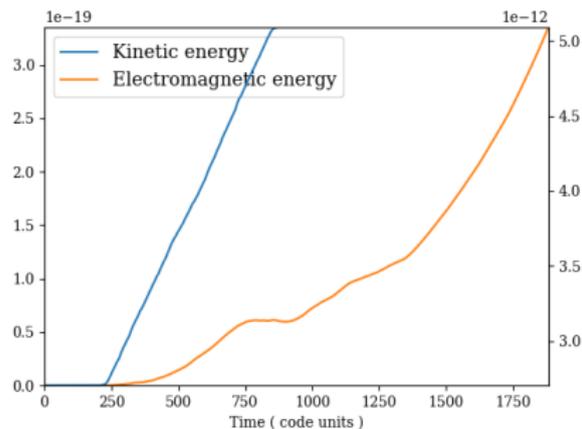


$$E_c = \frac{3}{2} k_B T = \sum \left(\sqrt{p_i^2 + 1} - 1 \right) m_e c^2$$

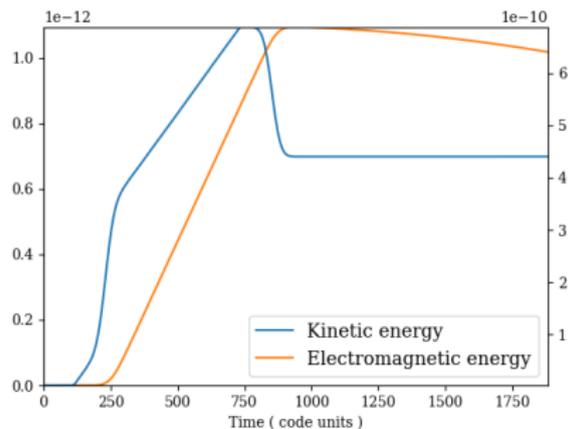
- Les moments longitudinaux sont plus importants dans les résultats Mewes à haute intensité.
- Les modèles d'ionisation sont légèrement différents.
- Le moment initial des électrons pourrait jouer un rôle.

Bilan d'énergie avec modèle d'enveloppe

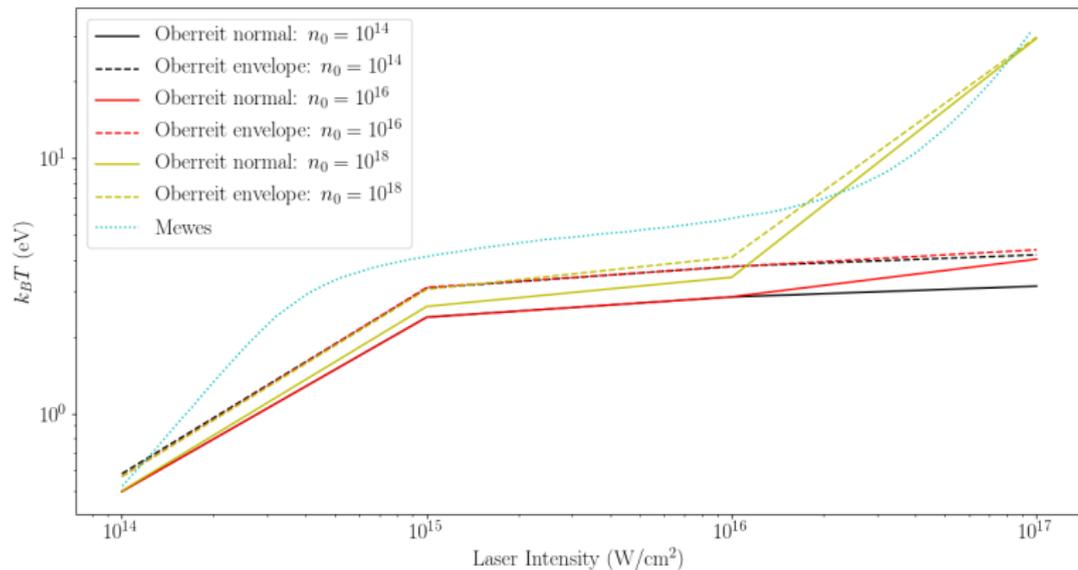
Basse intensité



Haute intensité

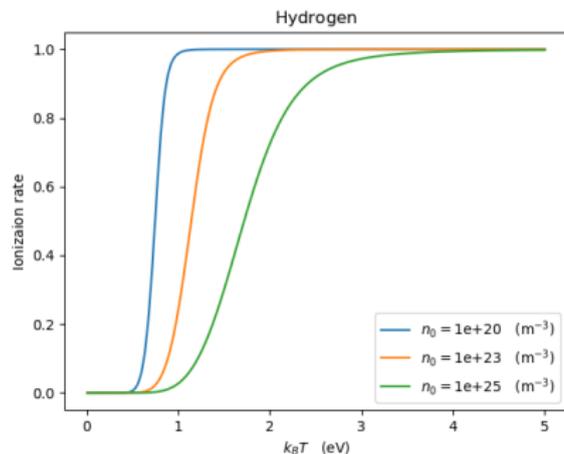


Température avec modèle d'enveloppe



Quel modèle pour la simulation hydro ?

Etat d'ionisation de l'hydrogene selon la loi de Saha.



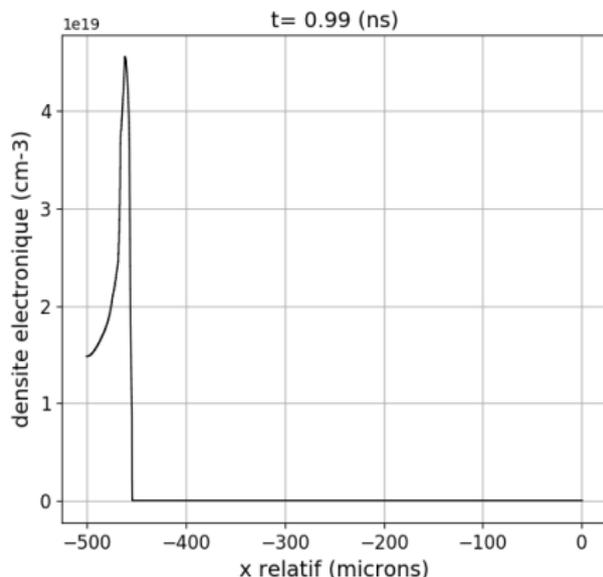
Probablement trop simpliste pour un plasma hors équilibre.

Quels paramètres pour la simulation hydro ?

- Géométrie 1D radiale cylindrique.
- Deux températures pour décrire le plasma hors LTE.
- Transfert d'impulsion collisionnel entre les espèces.
- Conductivité thermique et viscosité.
- Taux d'ionisation
 - ▶ Equation d'état de mélange ? (Esther)
 - ▶ Réactions ? (Hycup)

Résultats préliminaires avec une seule température

```
DEMARRAGE, USI
SYMETRIE_AXIALE
MILIEUX_INT_VERS_EXT
NOM_MILIEU=H##
PROFIL_DENSITE
PROFIL_TEMPERATURE
MILIEU_GAZ
EPAISSEUR_MILIEU=500e-6
NOMBRE_MAILLES=2000
EQUATION_ETAT=H##_1TR_blf
FICHIER_TRANSPORT=H##_sca
SORTIES_GRAPHIQUES
DECOUPAGE_TEMPS
BORNE_TEMPS=10e-9, INCREMENT_TEMPS=10e-12
ARRET
TEMPS_ARRET=10e-9
FIN_DES_INSTRUCTIONS
```



- Simulations AM.
- Simulation hydro 2 températures avec Esther.
- Comparaison avec d'autres méthodes ?
- Simuler un gaz moléculaire H ?