

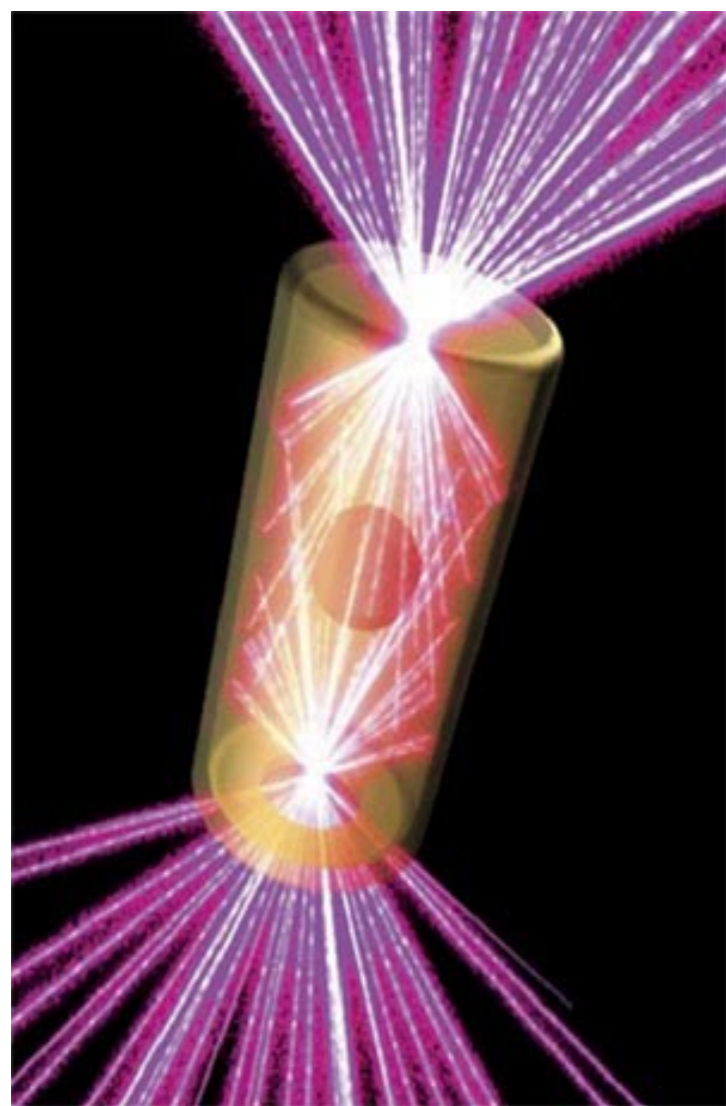
Étude des ondes acoustiques ioniques avec un code cinétique

UNIVERSITÉ DE
RENNES 1

Vincent Grélard, stagiaire
Pascal Loiseau, responsable de stage



Stage final de Master 2 Modélisation et Calcul Scientifique,
réalisé au Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, CEA DAM DIF F-91297 Arpajon Cedex

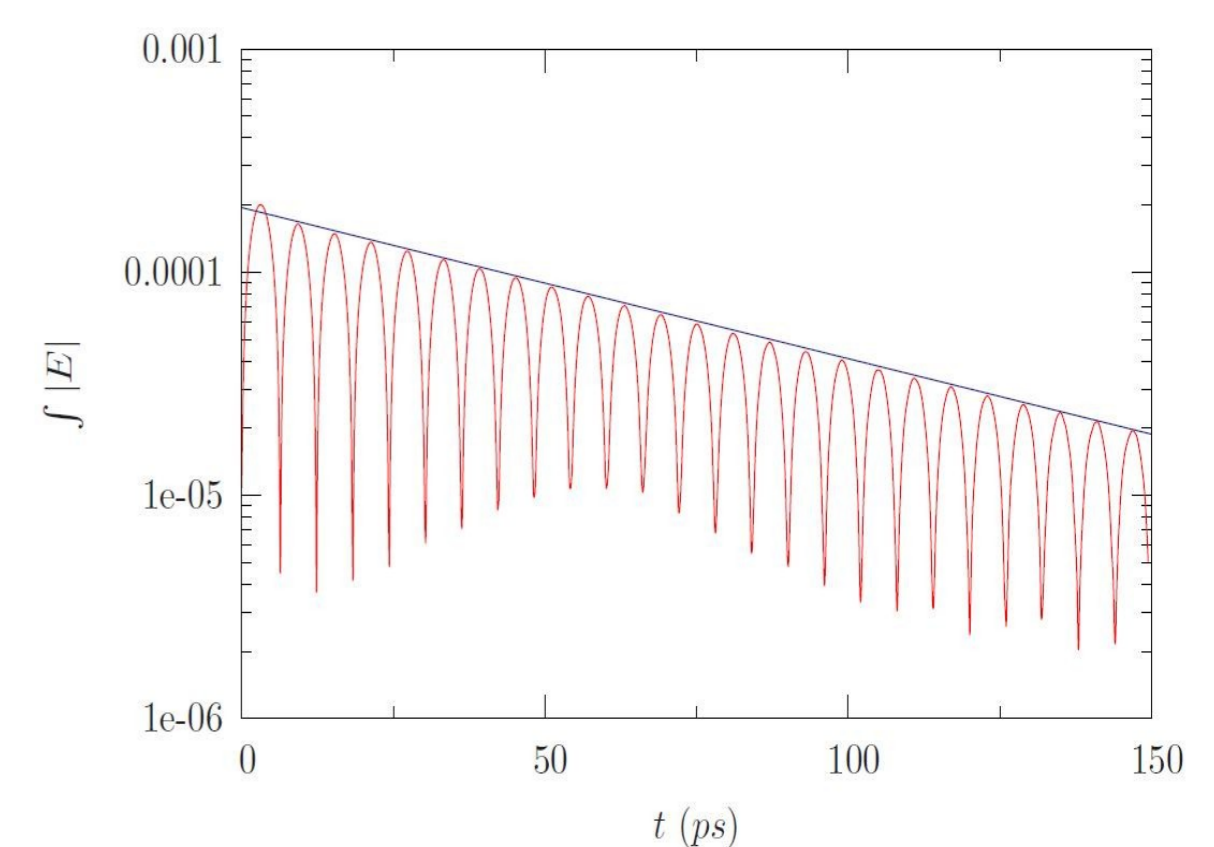


Contexte du stage :

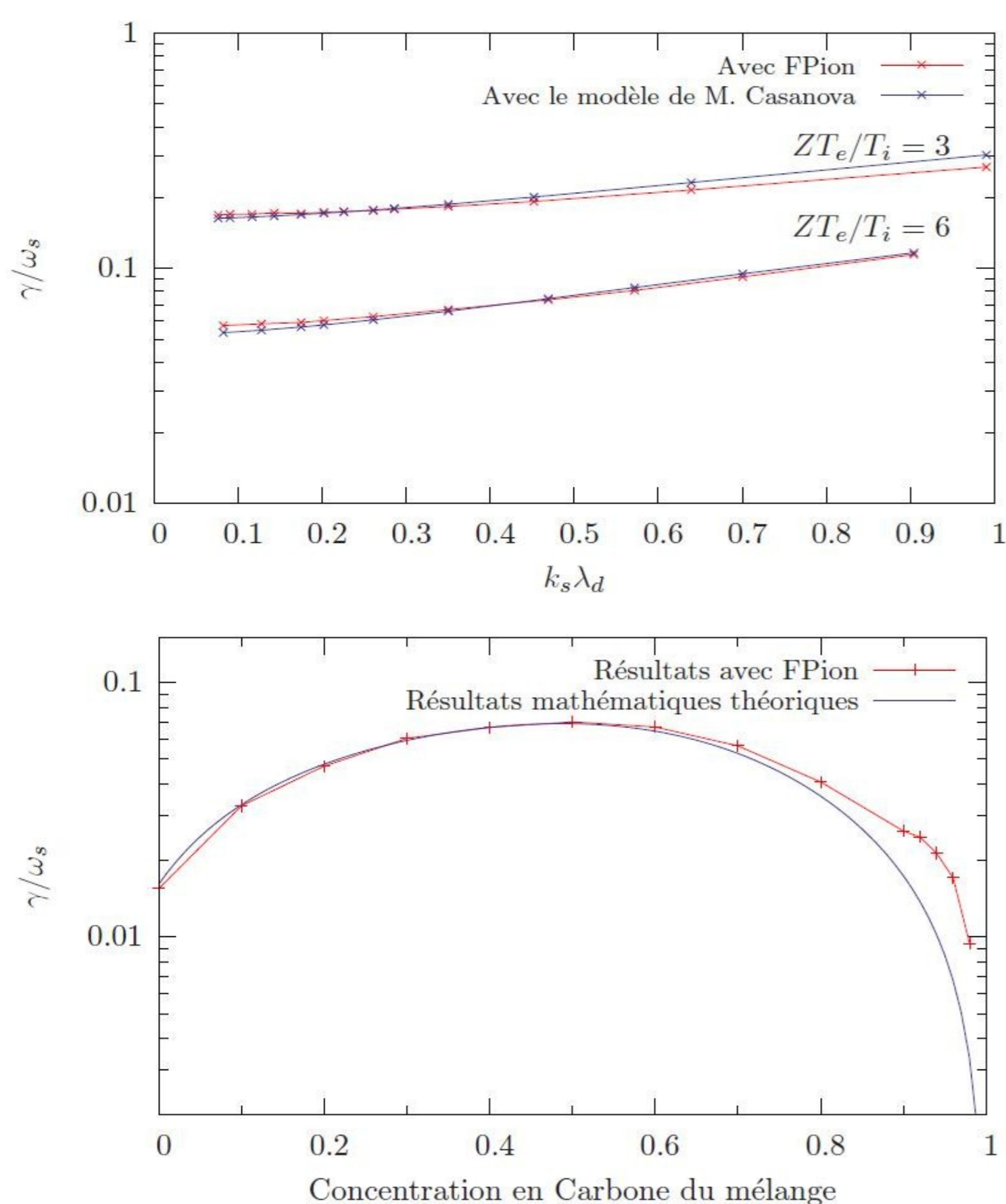
- Le **CEA**, en quelques chiffres, c'est **10 centres de recherche**, environ **16000 salariés**, 3.5 milliards d'euros de budget, 530 dépôts de brevets prioritaires, 109 nouvelles entreprises créées depuis 1984 dans le secteur des hautes technologies. Il poursuit deux objectifs majeurs : devenir le premier organisme européen de recherche technologique et garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire française.
- La **physique des plasmas**¹ est aujourd'hui un thème majeur de la recherche scientifique. On la retrouve en effet souvent dans la nature, nombreux sont les phénomènes observables liés à la notion de plasma : étoiles, éclairs, ionosphère, vents solaires... Par ailleurs, depuis sa découverte, on n'a cessé de trouver de nouvelles applications à cet **état de la matière** qu'est le plasma : réacteur à fusion, propulsion, téléviseurs... La physique des plasmas intéresse donc des domaines de la physique variés, et fait appel à des approches très diverses. Il existe de **nombreux modèles mathématiques** adaptés aux différents types de plasmas. Ils font tous appel à un **couplage entre les équations d'évolution des particules et du champ électromagnétique**. Le grand nombre d'équations et de degrés de liberté (3 d'espace, 3 de vitesse, plus le temps) classe les problèmes de la physique des plasmas parmi les plus difficiles à résoudre numériquement.

Ondes acoustiques ioniques, Amortissement Landau :

- Dans le cadre de l'**interaction laser-plasma**, on s'intéresse aux **ondes acoustiques ioniques**. Ces ondes sont l'un des trois modes propres du plasma non magnétisé, et elles naissent lors du passage d'un laser dans un plasma. Ce sont des ondes basse-fréquence, faisant intervenir le mouvement des ions (lourds).
- Les ondes acoustiques ioniques sont sujettes au phénomène d'**amortissement Landau**². L'effet Landau fait intervenir les particules dont la vitesse est proche de la vitesse de phase de l'onde. Elles vont interagir avec l'onde, et échanger de l'énergie avec celle-ci. L'onde va ainsi s'amortir naturellement, de manière non-collisionnelle. Le but du stage est de vérifier que le **code FPion**, créé par les membres du laboratoire, restitue bien l'effet Landau dans le cas des ondes acoustiques ioniques.



Décroissance des oscillations du champ électrique due à l'amortissement Landau



Résultats :

- On mesure le taux d'amortissement obtenu avec FPion, en observant la **décroissance du champ électrique** en fonction du temps³. On réalise cette mesure en faisant varier plusieurs paramètres, liés au plasma et à l'onde, représentatifs d'une grande gamme de cas. On compare ensuite les résultats obtenus avec des résultats théoriques⁴ ou expérimentaux, afin de les valider.
- Les résultats sont très positifs, on retrouve assez précisément les résultats théoriques, et ce avec une **erreur inférieure à 10%** en mono-espèce.
- En multi-espèces, le traitement des ondes acoustiques ioniques et de leur amortissement est plus délicat. En effet, certains cas ne permettent pas la convergence numérique du code. On a alors déterminé les **limites du code**, et les conditions dans lesquelles celui-ci peut être utilisé de manière sûre et efficace.
- Les résultats sont donc concluants, **le code a été validé**, il restitue bien le phénomène d'amortissement Landau. FPion peut désormais être utilisé pour la modélisation des ondes acoustiques ioniques.

1. F. F. Chen. Introduction to plasma physics and controlled fusion. Plenum Press, 2nd edition, 1983.
2. J. Dawson. On Landau damping. Physics of Fluids, 1961.
3. C. Z. Cheng and G. Knorr. The integration of the Vlasov equation in configuration space. Journal of Computational Physics, 22 :330-351, 1976.
4. Michel Casanova. Convenient computational forms for the frequency and damping of electrostatic waves in an unmagnetized plasma. Laser and Particle Beams, 7 :165-171, 1989.

Comparaison entre les taux d'amortissement obtenus numériquement avec le code Fpion (en rouge), et les résultats théoriques (en bleu)