

Conclusion sur la possibilité de fusion par collision frontale dans un dispositif linéaire

Ce court papier explique pourquoi, dans des hypothèses réalistes, on ne peut espérer, de cette méthode de fusion, un système dans lequel on produise plus de puissance que l'on en fournit (voire un système intéressant pour une production d'électricité).

Les deux précédents papiers écrits par l'auteur ne se basaient pas sur des hypothèses réalistes, ceci pour éviter de se brider dès le départ.

Une des libertés prises était de ne pas considérer de limite sur les tensions utilisées. Si l'on considère maintenant une tension réaliste tenant compte du claquage entre électrodes, on va passer de dizaines de MV à des centaines de KV (par exemple, environ 240 KV maximum pour un cm entre électrodes, dans un vide poussé).

Mais prendre en compte une relative « faible tension » implique que le courant confiné va être nécessairement faible parce que la force radiale exercée par les lentilles de Einzel sera beaucoup plus faible car dépendant de la tension appliquée. On peut espérer confiner environ deux courants d'ions de 10 mA mais pas beaucoup plus.

On rappelle que le principe de fonctionnement du dispositif linéaire est de générer des ions D^{2+} (ou D^+) à une extrémité, des ions T^{2+} (ou T^+) à l'autre extrémité, de les accélérer vers le centre et de les confiner en même temps. Les ions D^{2+} et T^{2+} vont alors circuler le long de l'axe du dispositif et fusionner (à côté d'autres interactions : collisions, ionisations...). Il n'y a pas ou quasiment pas de fusions ions-neutres (I/N).

Nota à propos des fusions I/N

On ne peut pas imaginer un système utilisant principalement les fusions I/N, à une pression de vide relativement élevée ($P > 10$ Pa), car les interactions du type « Collision élastique » (I+N/N) et « Echange de charge » (I/N) sont largement plus probables et rendent les fusions I/N anecdotiques, avec à la clé un rendement global déplorable. En effet, les ions perdent rapidement leur énergie cinétique à travers les collisions élastiques, quand ils ne sont pas transformés en neutres à travers des échanges de charge.

Par ailleurs, pour espérer avoir une puissance de fusion intéressante, il faut partir d'un faisceau d'ions très fin. En effet, on montre que la puissance de fusion augmente avec la densité ionique. Par exemple, un faisceau droit de 40 nm de diamètre permettrait de produire (idéalement) plusieurs centaines de W par un petit dispositif linéaire.

Le premier problème serait d'arriver à confiner ce faisceau car la charge d'espace, dont la force appliquée à l'interface du faisceau est inversement proportionnelle au

rayon du faisceau, devient très grande pour de faibles diamètres de faisceau. Cependant on peut imaginer que des lentilles de Einzel de très faible diamètre intérieur (assurant un champ électrique radial important) pourrait, éventuellement, être une solution.

Mais le principal problème est qu'il n'existe pas de sources d'ions émettant un faisceau droit de 10 mA sur une section de diamètre 40 nm. Les trajectoires des ions dans un faisceau sont toujours ou divergentes ou convergentes (l'émittance du faisceau ne pouvant être nulle). Même les très brillantes sources d'ions GFIS ont un angle d'ouverture du faisceau de 1° avec un courant maximum de l'ordre de 10 nA (donc très loin des 10 mA nécessaires).

En supposant même que l'on ait trouvé une telle source d'ions idéale, il faudrait :

- pouvoir aligner deux faisceaux droits de 40 nm de diamètre,
- avoir des aberrations du faisceau bien plus faibles que la section des faisceaux,
- avoir des pièces avec des géométries telles que le champ électrique soit quasiment parfait (coaxial et symétrique),

ce qui est semble très difficile à obtenir. Par contre, le niveau de vide requis (disons $P < 1$ mPa) est réalisable.

Par ailleurs, compte-tenu du rendement des sources d'ions ($< 0,2$) et du rendement thermodynamique (environ 0,3), il faudrait produire, en puissance de fusion, plus de 20 fois la puissance injectée par les ions pour avoir une centrale électrique intéressante.

Il semble donc difficile voire impossible d'imaginer un système de production d'électricité par fusion, basé sur un dispositif linéaire.

Nota à propos des possibilités de focalisation d'un faisceau d'ions

Comme indiqué ci-dessus, le principal problème est la focalisation d'un faisceau d'ions large et divergent. Si l'on pouvait réduire un large faisceau d'ions (disons de 1 mm de diamètre) forcément un peu divergent en un faisceau quasiment droit de 40 nm de diamètre, ce serait le « gros lot ».

A la connaissance de l'auteur, il existe plusieurs moyens de focaliser un faisceau :

- les lentilles de Einzel : elle font converger les trajectoires, par un effet de bord. Le champ électrique radial produit est grossièrement proportionnel à la tension appliquée et inversement proportionnel au diamètre intérieur. C'est un dispositif simple et efficace mais difficile à calculer (les formules divergent d'un papier à l'autre).
- un champ magnétique, comme dans le piège de Penning. Si, pour des électrons, un champ raisonnable de 1 Tesla est suffisant, pour des ions qui

sont beaucoup plus lourds que des électrons, un champ de 1 Tesla a un faible effet. Ce n'est donc pas une solution.

- un champ électrique tournant comme dans le piège de Paul n'est pas adapté à la fusion. En effet, même si la force radiale produite n'est pas négligeable à l'intérieur d'une zone de stabilité, elle reste proportionnelle à la tension alternative appliquée. Or celle-ci ne peut être que relativement faible pour les fréquences HF nécessaires (disons <5000 V pour $f > 1$ MHz, pour donner un ordre de grandeur). Ce n'est donc pas une solution, non plus.
- le double quadripôle électrostatique (le deuxième inversant les polarités par rapport au premier). Dans le principe, il s'agit d'une sorte de Piège de Paul, mais avec des tensions continues. La section du faisceau prend, malheureusement, une forme elliptique.