

# Estimation de la puissance minimum pour atteindre le seuil d'inversion de population dans le cas des lasers X pompés par décharge capillaire

W. Rosenfeld, R. Dussart, C. Cachoncinlle, D. Hong, C. Fleurier, J.-M. Pouvesle et C.B. Collins\*

GREMI, CNRS, Université d'Orléans, BP. 6744, 45067 Orléans cedex 2, France

\* CQE, UTD, P.O. Box 830688, Richardson, TX 75083-0688, U.S.A.

**Résumé :** Ce travail présente les développements numériques associés à l'établissement d'une loi d'échelle évaluant la densité de puissance seuil à injecter dans le cas des ions néonoïdes pour un plasma pompé par décharge. L'estimation de la puissance minimale à injecter pour atteindre le seuil d'inversion de population est d'une importance cruciale si l'on souhaite atteindre le domaine des rayons X mous. Une loi de proportionnalité est établie entre cette densité de puissance,  $P_0$ , et le numéro atomique du matériau lasant utilisé, comme suit :  $P_0(Z) = 5.5 (Z/18)^6$  GW/cm<sup>3</sup>. Dans le cas de l'argon néonoïde, la densité de puissance injectée estimée est donc de l'ordre de 5.5 GW/cm<sup>3</sup>, ce qui est en relativement bon accord avec les résultats expérimentaux publiés.

## 1. INTRODUCTION

Le schéma d'excitation collisionnelle est directement relié aux paramètres macroscopiques du dispositif expérimental ; ainsi la description de ce mode d'excitation à l'aide de lois d'échelles est permise. D'un point de vue atomique, les schémas de pompage par excitation directe peuvent être considérés, pour les ions multichargés, comme les analogues des systèmes simples à 3 niveaux des atomes neutres (le néon par exemple). La transition 3p-3s (J = 0-1) des ions néonoïdes est l'archétype de ces analogues ioniques.

## 2. DÉVELOPPEMENT

Au niveau d'approximation le plus simple, la séparation des niveaux d'énergies d'un ion évolue avec le carré de sa charge Z. Si cette approximation est normalisée à la transition J = 0-1 de l'argon néonoïde, on a :

$$\lambda_{0-1}(Z) = 46.9 \left(\frac{18}{Z}\right)^2 \quad [\text{nm}] \tag{1}$$

Le pompage d'un laser X par décharge électrique est proportionnel à la puissance par unité de volume spontanément "perdue" par la transition laser au seuil. En exprimant la section efficace d'émission stimulée en fonction de la longueur d'onde, on peut montrer que la densité de puissance au seuil est telle que :

$$P_e \propto Z^6 (\Delta\nu) \tag{2}$$

Sous cette forme, cette proportionnalité montre la difficulté à pomper un laser émettant dans les courtes longueurs d'ondes. Pour calibrer cette expression, nous avons pris les valeurs utilisées par J. Nilsen dans son modèle [1]. Cependant,  $P_e$  exprime seulement la puissance rayonnée par la transition laser au seuil. Dans le cas de l'argon néonoïde, la puissance perdue par collisions sur l'état supérieur est estimée à environ 32 fois sa composante radiative [1]. Ainsi, on obtient la densité de puissance dissipée par la transition laser au seuil :

$$P_d(Z) = 83 \left(\frac{Z}{18}\right)^6 \quad \text{MW / cm}^3. \tag{3}$$

## 3. VALIDITÉ

On peut observer un bon accord lorsque l'on compare, sur la figure 1, les puissances au seuil estimées à l'aide de notre modèle simplifié (3) et par le code XRASER, très complet, développé au LLNL [2] pour les lasers X pompés par laser :

$$P_e \propto Z^7.$$

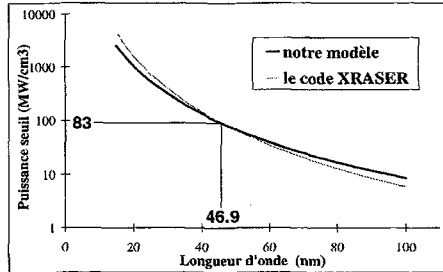


Figure 1 : Estimation de la puissance qui doit être délivrée pour atteindre le seuil en fonction de la longueur d'onde.

On peut également vérifier et appliquer ce modèle aux travaux réalisés par J. J. Rocca et al. [3]. Pour cela, la puissance requise doit être corrigée de l'efficacité quantique,  $Q$ , de cette transition et de l'efficacité,  $E_c$ , du couplage de la décharge au plasma respectivement estimées à 0.10 et 0.15 [4]. On obtient ainsi la densité de puissance minimale à injecter pour se trouver au seuil de l'effet laser dans le cas des ions néonoïdes :

$$P_i(Z) = 5.5 \left( \frac{Z}{18} \right)^6 \text{ GW / cm}^3 \quad (4)$$

Un assez bon accord est observé entre la relation (4) conduisant à une densité de puissance de 5.5  $\text{GW/cm}^3$  pour l'argon et les travaux de J. J. Rocca et al. [3] où l'on estime la puissance injectée pour observer un gain substantiel, à 11  $\text{GW/cm}^3$ .

En utilisant (4) et en supposant que le plasma occupe un volume de forme cylindrique de 2 mm de diamètre et 10 mm de long, on peut établir le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Puissances seuils estimées pour un volume de  $31 \text{ mm}^3$  pour différents éléments.

élément	Z	$\lambda_{0-1}$ (estimée)	P (estimée)
S	16	59 nm	85 MW
Ar	18	47 nm	170 MW
Ca	20	38 nm	330 MW

#### 4. CONCLUSION

Le bon accord entre ce modèle simplifié, celui du LLNL et les résultats expérimentaux publiés par J. J. Rocca et al., démontre l'utilité de ce type de travail pour l'évaluation de la puissance minimale à injecter pour d'autres transitions pour les lasers X néonoïdes pompés par décharge capillaire.

L'intérêt de l'effet z-pinch est clairement mis en évidence ; à énergie constante, il permet de réduire le volume du plasma et ainsi d'augmenter la densité de puissance injectée. Néanmoins, ce travail indique que la compression du plasma n'est pas d'une nécessité absolue pour réaliser un effet laser en pompage par décharge. Il suffit que les conditions fixées par l'équation (4) soient remplies pour espérer réaliser un tel effet. Les futurs développements sur les décharges ultra-rapides permettront peut-être d'y parvenir.

#### Remerciements

Le séjour du Pr C. B. Collins a été financé par l'Université d'Orléans. Ce travail a été financé par la DRET, le CNRS et la Région Centre.

#### Références

- [1] J. Nilsen, Phys. Rev. A, 53, 4539 (1996).
- [2] B. J. MacGowan *et al.*, Phys. Fluids B, 4, 2326 (1994).
- [3] J. J. Rocca *et al.*, Phys. Plasmas, 2, 2547 (1995).
- [4] C. A. Morgan *et al.*, Phys. Rev. E, 49, 2282 (1994).