

Le premier chapitre de ce manuscrit est dédié à une étude qualitative de l'interaction rayonnement-matière pour un milieu atomique à deux niveaux d'énergie placé dans une cavité en anneau (unidirectionnel) dans le but de construire les équations du système Lorenz-Haken. On montre que ce système d'équations communément désigné par «équations de Maxwell-Bloch» décrit les trois classes de laser rencontrées dans les expériences.

Par une simple analyse de stabilité linéaire on démontre dans le chapitre II: i) que les lasers de classe B, qui sont décrits par les équations de bilan énergétique (système à deux degrés de liberté), ne peuvent fonctionner qu'en régime continu quel que soit le taux de pompage appliqué et quelles que soient les valeurs des vitesses de relaxation des variables dynamiques du système; ii) que les lasers de classe C possèdent un 3^{ème} degré de liberté (la polarisation du milieu) qui évolue avec une constante de temps comparable aux deux autres et dont les solutions en régime instable sont décrites par le système de Lorenz-Haken (système à trois degrés de liberté). L'interaction non-linéaire entre le champ laser, l'inversion de population et la polarisation donne naissance à un fonctionnement pulsé régulier ou erratique à partir d'un niveau de pompage appelé deuxième seuil laser ou seuil d'instabilité, le premier seuil étant celui de mise en route du laser (fonctionnement continu, en intensité, à la fréquence sélectionnée par la cavité, par ailleurs égale celle du milieu atomique si le désaccord en fréquence est nul).

Dans le troisième chapitre nous exposerons la procédure de résolution de ces équations afin de caractériser le régime auto-pulsé des lasers de classe C. Nous montrons qu'un développement des solutions en séries de Fourier des diverses variables conduit à une méthode itérative qui se contente de l'harmonique d'ordre trois pour l'expression du champ laser. Cette approche nous a permis pour la première fois de démontrer l'existence d'une fréquence propre au système laser dans un domaine de paramètres de contrôle où le champ électrique oscille périodiquement autour de zéro. Nous devons signaler que ce résultat n'a jamais été proposé auparavant dans aucune contribution scientifique ou ouvrage traitant de la théorie laser. Ces oscillations propres peuvent être obtenues pour un niveau de pompage bien défini. Grâce à notre approche, des expressions analytiques relatives aux fréquences de pulsations dans le domaine stable et instable du régime transitoire ou du régime permanent vont être déduites. La comparaison entre les valeurs données par ces expressions et celles obtenues par résolution numérique du système de Lorenz-Haken donnera un caractère

authentique à notre procédure analytique et déterminera les conditions de sa validité ainsi que les causes des écarts entre les résultats numériques et analytiques lorsqu'ils subsistent. Nous établirons à la fin de ce chapitre l'expression analytique du champ électrique lorsque ce dernier effectue des oscillations périodiques autour de zéro.

Nous proposons enfin, dans le chapitre IV de ce manuscrit, d'utiliser notre approche analytique afin de localiser la frontière entre la zone de pulsations régulières et celle où le laser exhibe un fonctionnement chaotique, un régime que le laser peut atteindre après une cascade sous harmonique passant d'un signal de période une à un signal de période 2 puis de période 4 ainsi de suite jusqu'à ce que le signal présente une évolution irrégulière dans le temps. Les résultats présentés dans ce dernier chapitre donnent une vue d'ensemble des solutions analytiques obtenues jusqu'ici tout en mettant en relief des pistes inexplorées qui dépassent le cadre de cette thèse et dont l'étude se doit d'être envisagée au-delà de la zone des paramètres de contrôles caractéristique des solutions périodiques, objet de nos travaux.