

Table des matières

1	Introduction	2
2	Lasers atomiques neutres et ionisés	3
2.1	Lasers hélium-néon	3
2.2	Lasers à argon	4
2.3	Lasers à krypton	6
2.4	Lasers hélium-cadmium	6
3	Lasers moléculaires	8
3.1	Lasers CO_2	8
3.2	Lasers à azote	10
3.3	Lasers excimères	10
3.4	Lasers chimiques	11
4	Conclusions	13
	Bibliographie	14

Chapitre 1

Introduction

Le principe de fonctionnement d'un laser consiste à produire, dans un milieu actif, une émission stimulée de photons. Celle-ci va alors être amplifiée par la cavité résonante. Un système de pompage est nécessaire pour amener les atomes dans un état excité afin de permettre l'émission stimulée. Pour les lasers que nous allons étudier dans ce travail, c'est-à-dire les lasers à gaz, le système de pompage est principalement un système de pompage électrique.

Dans le cas des lasers à gaz, le milieu générateur de photons est un gaz contenu dans un tube en verre ou en quartz. Le faisceau émis par ce type de laser est particulièrement étroit et la fréquence d'émission est très pure.

Les exemples les plus connus sont les lasers à hélium-néon qui sont utilisés dans les systèmes d'alignement (travaux publics, laboratoires), et les lasers pour spectacles.

Ce travail est divisé en deux parties qui correspondent aux catégories des lasers à gaz, c'est-à-dire :

- Lasers atomiques neutres et ionisés ;
- Lasers moléculaires.

Chapitre 2

Lasers atomiques neutres et ionisés

2.1 Lasers hélium-néon

C'est en fait le premier lasers à gaz qui a été construit, mais aussi le premier laser qui fonctionnait en émission continue. A cette époque là, l'émission résultante était dans le domaine infrarouge et correspondait à une transition entre les niveaux 2s et 2p de l'atome de néon. ($\lambda = 1,15\mu m$) Par la suite, d'autres transitions des niveaux du néon ont été découvertes. Elles correspondaient à des longueurs d'onde de 632,8 nm et 3,39 μm .

Les lasers néons ont de nombreuses applications industrielles et scientifiques, et ils sont souvent utilisés pour des démonstrations optiques. Au laboratoire, il est utilisé pour vérifier l'alignement des miroirs du spectromètre. Pour réaliser cet alignement, les lasers utilisés émettent à 632,8 nm, c'est-à-dire dans la partie rouge du spectre visible.

Le milieu actif de ce type de laser est un mélange d'hélium et de néon contenu dans un tube en verre à faible pression. Le rapport entre la quantité d'hélium et de néon est de 10 : 1.

Comment arrivons-nous à l'émission stimulée dans le cas d'un laser He-Ne ?

Le système de pompage est une décharge électrique continue ou bien radiofréquence qui va porter les atomes d'hélium dans des états excités. Avant de revenir à l'équilibre, les atomes d'hélium passent par les états métastables 2^3S et 2^1S où ils vont rester pendant une longue durée. La nature étant parfois bien faite, ces états métastables correspondent à des niveaux excités du néon. Il s'agit en fait des niveaux 2S et 3S. Il y a entre les atomes de néon et les atomes d'hélium des collisions résonnantes qui vont porter les atomes de Ne vers ces états excités. Et ainsi réaliser

le pompage nécessaire pour réaliser l'inversion de population.

Nous pouvons voir ci-dessous le diagramme simplifié des états d'énergie du système He-Ne.

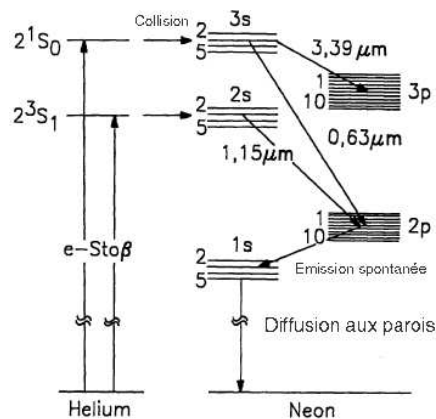


FIG. 2.1 – "Diagramme des états d'énergie du système He-Ne."

Nous pouvons voir qu'il y a trois transitions possibles :

- Oscillation à $632,8\text{nm}$;
- Oscillation à $1,15\mu\text{m}$;
- Oscillation à $3,39\mu\text{m}$.

En pratique, le système He-Ne oscille préférentiellement sur la transition 3S vers 3p, c'est-à-dire pour une longueur d'onde de $3,39\mu\text{m}$. Ce qui a tendance à éliminer l'émission visible dans le rouge. Par conséquent, plusieurs techniques sont utilisées pour favoriser l'émission d'un rayonnement d'une longueur d'onde de $632,8\text{nm}$.

Nous pouvons voir ci-dessous la structure type d'un laser hélium-néon.

Puissance : de 1 mW à 50 mW.

2.2 Lasers à argon

C'est en fait, un laser à argon ionisé une fois et comme pour le laser He-Ne, nous allons observer le diagramme des états d'énergie pour pouvoir comprendre l'émission de ce laser. Le pompage se fait de nouveau à partir d'une décharge électrique

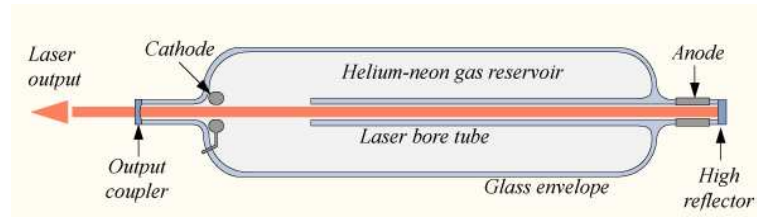


FIG. 2.2 – "Structure type d'un laser He-Ne."

continue ou bien radiofréquence. Celle-ci génère dans un plasma des électrons libres d'une énergie de 4 à 5 eV. Cependant, les niveaux susceptibles de pouvoir donner lieu à une transition laser sont situés approximativement à 20eV ($160\ 000\ \text{cm}^{-1}$) au dessus du niveau fondamental de l' Ar^+ . Par conséquent, pour amener les ions dans un de ces niveaux excités, il faut un grand nombre de collisions entre les ions d'argon et les électrons libres. Ce qui donne une inversion de population gigantesque avec le niveau inférieur (17 eV au-dessus du fondamental). Les émissions du laser à Ar^+ ont des longueurs d'onde comprises entre 350 nm et 520 nm. Les deux raies les plus intenses sont celles de 488 nm et 514,5 nm. Ce laser émet donc dans le bleu et dans le vert. Si aucun élément dispersif n'est présent dans la cavité, différentes raies sont émises simultanément. C'est pourquoi, habituellement, un prisme défléchissant est introduit dans l'agencement du laser.

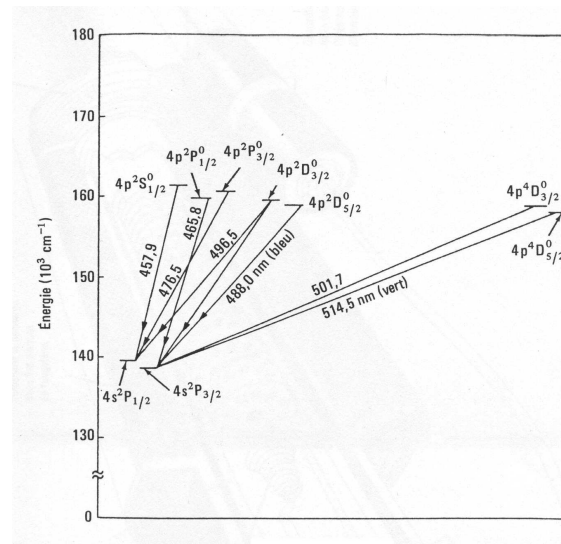


FIG. 2.3 – "Diagramme des états d'énergie du système Argon."

La structure d'un laser à argon est légèrement plus complexe que celle d'un laser He-Ne. En effet, le pompage demande une densité de courant élevée, de l'ordre de 100 A/cm^2 . Ce qui nous impose d'utiliser des matériaux réfractaires capables de supporter des températures élevées et de pouvoir dissiper la chaleur vers le système de réfrigération. Qui plus est, pendant le fonctionnement, les électrons et les ions se déplacent respectivement vers l'anode et la cathode. Ce qui provoque une accumulation d'argon au voisinage de la cathode, empêchant de maintenir la décharge. Pour palier à ce problème, un chemin de retour, formé de chicanes, est donc aménagé à l'extérieur du capillaire du tube à décharge.

Puissance : de 2 W sur toutes les raies simultanément et possibilité d'avoir 20 W sur toutes les raies simultanément.

2.3 Lasers à krypton

Plusieurs autres gaz rares ionisés, tels que le krypton, le néon ou le xénon, présentent des émissions lasers dans le domaine visible. Cependant, ceux-ci sont des lasers pulsés. Seul le laser à krypton ionisé est intéressant car il peut fonctionner en régime continu. Il fournit une " lumière blanche " qui est en fait la superposition d'émissions simultanées à 647,1 nm (rouge), 568,2 nm (jaune), 520,8 nm (vert) et 476,2 nm (bleu). La technologie de ce laser est en tout point semblable à celle de l'argon et il arrive même de mélanger ces deux gaz de façon à engendrer des rayonnements aux longueurs d'ondes des deux constituants.

Puissance : quelques dizaines de milliwatts par raie avec une plus forte émission d'environ 200 mW dans le rouge.

2.4 Lasers hélium-cadmium

Ce laser est le plus représentatif d'une classe de laser dans lesquels l'émission stimulée s'effectue entre des niveaux ionisés d'une vapeur métallique, tandis que le pompage est effectué par transfert collisionnel avec un gaz de potentiel d'ionisation élevé, généralement l'hélium.

Mais pourquoi parler plus particulièrement du laser hélium-cadmium ?

Simplement parce que sa réalisation est relativement aisée à mettre en oeuvre par rapport à des lasers ioniques émettant dans la même région spectrale. C'est-à-dire une émission continue dans le bleu à 441,6 nm, et aussi dans l'UV à 325 nm.

Comme pour le cas de le laser He-Ne, l'inversion de population est réalisée par l'excitation d'atomes d'hélium dans leurs états métastables 2^1S et 2^3S par collisions avec les électrons dans la décharge. Ensuite les atomes d'hélium dans un état métastable entrent en collision avec des atomes neutres de Cd et les ionisent. Même si la concordance entre les niveaux d'énergie de l'He et du Cd n'est pas parfaite, l'ionisation est très efficace car l'excès d'énergie est emporté par les électrons créés au cours du processus. C'est ainsi que sont peuplés les niveaux supérieurs $^2D_{3/2}$ et $^2D_{5/2}$ qui correspondent à une émission à 325 nm et 441,6 nm. Une fois l'émission stimulée passée, l'atome redescend rapidement (10^{-9} s), ce qui est favorable à l'inversion de population.

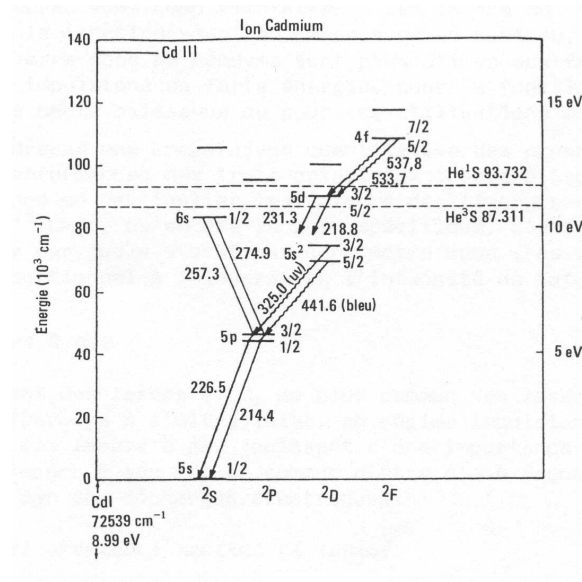


FIG. 2.4 – "Diagramme des états d'énergie du système He-Cd."

Ici aussi, la structure des lasers de cette classe est plus complexe. En fait, dans un laser composé d'hélium et d'une vapeur métallique à faible potentiel d'ionisation (telle que le cadmium) se produit un phénomène appelé cataphorèse. C'est-à-dire que la vapeur métallique est déplacée sélectivement vers la cathode. Pour maintenir une distribution uniforme des ions, les atomes de cadmium sont continuellement évaporés dans le tube par une source proche de la cathode. Ceux-ci vont se condenser sur une surface froide avant d'atteindre la cathode. Et ainsi, ne jamais atteindre les fenêtres de Brewster aux extrémités du tube.

Puissance : 50 mW en continu pour le bleu et 5 mW dans l'UV.

Chapitre 3

Lasers moléculaires

3.1 Lasers CO_2

C'est dans les années 1964-65 qu'apparurent ces lasers. Actuellement, c'est le laser à gaz le plus important tant au niveau industriel que scientifique, principalement par la gamme de puissance qu'il peut fournir soit en continu, soit en impulsionnel. Les rayonnement émis ont une longueur d'onde comprise entre 9 et 11 μm (infrarouge). Elles viennent des transitions ro-vibrationnelles de la molécule de dioxyde de carbone.

Le milieu de ce type de laser n'est pas seulement du dioxyde de carbone mais il est aussi composé d'azote et d'hélium. Chacun de ces composants jouant un rôle important dans le fonctionnement du laser.

En fait, le diagramme des niveaux d'énergie du système moléculaire $CO_2 - N_2$ va de nouveaux nous apprendre l'intérêt d'utiliser de l'azote.

Le système de pompage, comme pour les précédents lasers, est électrique et consiste à une décharge dans le mélange gazeux. Lors de celle-ci, les molécules de CO_2 sont excitées préférentiellement dans le niveau 00^0_1 du mode asymétrique, tandis que les molécules d'azote sont excitées (avec une plus forte probabilité) dans leur premier état de vibration, l'état métastable $\nu = 1$. Nous pouvons voir sur le diagramme des niveaux d'énergie, que la différence entre les niveaux 00^0_1 du CO_2 et l'état métastable de l'azote est minime (18 cm^{-1}). Ce qui permet de réaliser l'inversion de population par collisions résonnantes entre les molécules de CO_2 du niveau fondamental et d'azote ($\nu = 1$).

L'émission stimulée peut avoir lieu en suivant deux canaux, soit vers le niveau 10^0_0 du mode symétrique ($10,6 \mu m$), soit vers le niveau 02^0_0 du mode de Bending

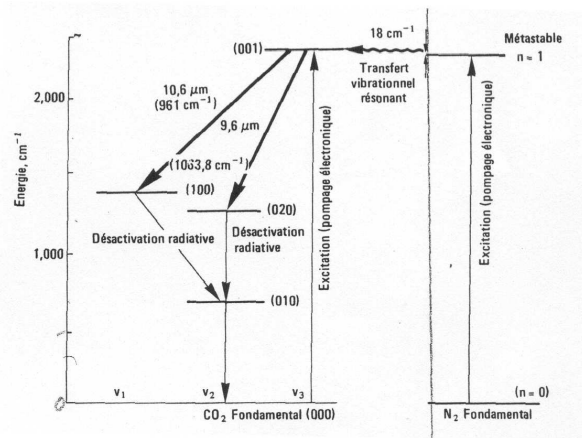


FIG. 3.1 - "Diagramme des états d'énergie du système moléculaire $CO_2 - N_2$."

($9,6\mu m$). Mais l'azote n'est pas uniquement présent pour permettre l'inversion de population, il est aussi présente pour améliorer le fonctionnement du laser CO_2 par la mise en place d'un système à 4 niveaux.

Le rôle de l'hélium est d'augmenter la désactivation des niveaux inférieurs et ainsi maintenir l'inversion de population nécessaire au bon fonctionnement d'un laser.

Différents types de structures existe pour les lasers CO_2 existent :

1. Lasers scellés
2. Lasers à flux axial
3. Lasers à flux transverse rapide
4. Lasers à guides d'ondes
5. Lasers TEA haute pression

Nous allons dans le cadre de ce travail nous intéresser aux lasers à flux axial étant donné, que c'est celui présent au laboratoire.

En fait, les lasers à CO_2 ont un petit inconvénient, c'est que les électrons énergétiques de la décharge interagissent avec la molécule de CO_2 et il s'en suit une décomposition du gaz moléculaire. Une des solutions évidentes à ce problème consiste à faire s'écouler le mélange dans le tube. Dans le cas d'un laser à flux axial, comme l'indique son nom, l'écoulement du mélange se fait selon l'axe. Et habituellement, la décharge électrique se fait aussi dans l'axe du tube.

La pression étant faible, la consommation en gaz est acceptable. Les exigences en matière de consommation gazeuse augmentent avec la puissance, et des pompes sont alors montées de façon à permettre de redistribuer le gaz dans le tube permettant ainsi de consommer une plus faible quantité de gaz.

Une sous catégorie est possible, les lasers à flux axial rapide qui ont un gain plus important et par conséquent une augmentation de la puissance. Cela consiste à abaisser la température.

Puissance : 30-40 W pour un laser scellé, 70 W/m pour un laser à flux axial et de l'ordre de 400 W/m pour un laser à flux axial rapide. Ce qui donne des possibilités de monter jusqu'à 2-3 kW.

3.2 Lasers à azote

C'est quasi le même principe que le laser au dioxyde de carbone, sauf que la transition s'effectue entre des niveaux électroniques excités. L'émission se trouve alors dans l'ultraviolet à 337,1 nm. Cependant, ils ne peuvent fonctionner qu'en régime impulsionnel car le niveau inférieur de la transition possède une durée de vie 1000 fois plus longue que celle du niveau supérieur (5 ns). Leur utilisation principale est de servir de système de pompage pour d'autres catégories de lasers. Ceci grâce à des impulsions brèves et puissantes dans l'ultraviolet.

Puissance : Puissance crête de 10 kW (impulsion de 1 mJ pendant 10 ns).

3.3 Lasers excimères

C'est un type de laser mis au point en 1971 à Moscou. A cette époque là, il a été mis au point à partir du dimère Xe_2 qui a été excité par un électron. Ce qui a donné lieu à une émission stimulée de 172nm de longueur d'onde. Généralement, ce type de laser utilise une combinaison de gaz inerte (Argon, krypton, ou xénon) et un gaz réactif (Fluor et chlore). Il arrive parfois qu'ils soient mis au point à partir d'un atome de gaz rare et d'un oxygène atomique (XeO^*).

Le principe de fonctionnement vient du fait que l'interaction entre un atome A dans son état fondamental et un atome B^* dans un de ses premiers états excités peut donner naissance à un état moléculaire excité stable. Comme nous pouvons l'observer sur la figure suivante.

Les modes d'excitations sont très classiques : faisceau d'électrons direct, décharge

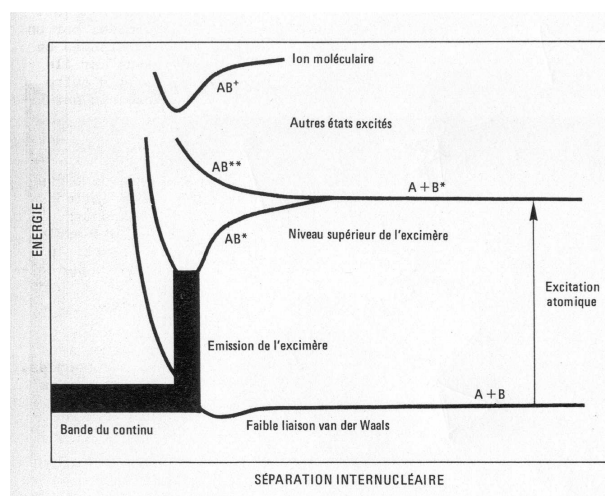


FIG. 3.2 – "Schéma des énergies potentielles d'une molécule excimères."

contrôlée par faisceau d'électrons et décharge auto-entretenue.

Les applications standards de ce type de laser sont le pompage des lasers à colorants et la génération de rayonnement cohérent dans l'UV lointain.

Puissance : Puissance crête : 25 MW et puissance moyenne de 10 W à 100 Hz

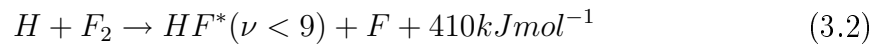
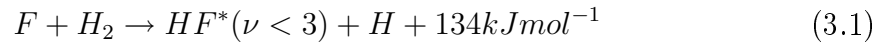
3.4 Lasers chimiques

La radiation laser vient de l'énergie libérée par une réaction chimique exothermique. En général, les fréquences d'oscillations correspondent à des transitions d'un produit de réaction formé dans un état d'énergie interne très excité.

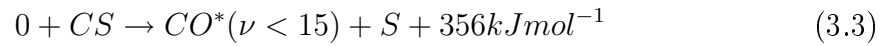
– Le système de pompage

Dans certains cas, il est indirect : le produit excité de la réaction transfère par collision résonnante son énergie à une seconde espèce chimique au sein de laquelle se produit l'inversion de population et les transitions lasers.

La recherche sur ce type de laser, a permis de mettre au point deux systèmes moléculaires qui donnent des puissances élevées en régime continu et ceci avec des rendements raisonnables. Il s'agit dans le premier cas d'une molécule HF pompée par l'une des deux réactions suivantes :



et dans le second cas, c'est une molécule diatomique CO qui est excitée vibrationnellement par la relation suivante :



L'inversion de population a directement lieu lorsque les réactifs sont mis en contact. Cependant, dans certain cas, il faut une légère décharge électrique pour initialiser la réaction.

Puissance : 5 kW en continue et jusqu'à 10 kJ en impulsionnel ce qui donne que les puissances de crête peuvent dépasser les 100 GW.

Chapitre 4

Conclusions

Ce travail, nous a permis de prendre conscience de la grande diversité des lasers à gaz. En effet, ceux-ci donnent accès à des domaines qui vont de l'infrarouge à l'ultraviolet, avec des puissances allant de quelques milliwatts à plusieurs dizaines de gigawatts. Qui plus est, le faisceau émis est particulièrement étroit et la fréquence d'émission est très pure. Nous comprenons dès lors, qu'ils jouissent d'une importance exceptionnelle dans les domaines scientifiques et industriels. Remarquons, qu'habituellement quand les gens parlent de laser à gaz, ils pensent directement aux lasers $He - Ne$ et CO_2 , sans évoquer l'existence des lasers chimiques et lasers excimères.

Bibliographie

- [1] Blanquet Gh, *Cours de physique des lasers*, FUNDP, Namur, 2007.
- [2] Maillet H., *Le Laser : Principes et techniques d'application*, Tec & Doc, Paris, ISBN : 2-85206-240-2 (1984)
- [3] <http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/optique/laser10.shtml>
- [4] site internet de laser2000
- [5] Article sur les lasers dans l'encyclopédie libre Wikipédia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>