



**TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR**

Réf. : **AF3271 V1**

# Lasers à gaz

Date de publication :  
**10 janvier 2000**

Cet article est issu de : **Électronique - Photonique | Optique Photonique**

par **René JOECKLÉ**

**Pour toute question :**  
Service Relation clientèle  
Techniques de l'Ingénieur  
Immeuble Pleyad 1  
39, boulevard Ornano  
93288 Saint-Denis Cedex

**Par mail :**  
infos.clients@teching.com  
**Par téléphone :**  
00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **19/02/2020**

Pour le compte : **7200029571 - univ mouloud mammeri tizi ousou // bu02 SNDL // 193.194.82.178**

© Techniques de l'Ingénieur | tous droits réservés

# Lasers à gaz

par **René JOECKLÉ**  
*Ancien chef de la division Lasers, optronique, sensorique  
de l'Institut de recherches franco-allemand de Saint-Louis (ISL)*

|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>1. Généralités.....</b>                           | <b>AF 3 271 - 2</b> |
| 1.1 Diversité des lasers à gaz.....                  | — 2                 |
| 1.2 Différences par rapport aux lasers à solide..... | — 2                 |
| <b>2. Modes d'excitation des lasers à gaz.....</b>   | <b>— 2</b>          |
| 2.1 Niveaux d'énergie dans les molécules .....       | — 2                 |
| 2.2 Décharge électrique.....                         | — 3                 |
| 2.3 Excitation chimique .....                        | — 3                 |
| 2.4 Excitation thermique .....                       | — 3                 |
| <b>3. Lasers à gaz atomiques .....</b>               | <b>— 3</b>          |
| 3.1 Laser hélium-néon.....                           | — 3                 |
| 3.2 Laser à argon .....                              | — 4                 |
| 3.3 Laser à vapeur de cuivre.....                    | — 4                 |
| 3.4 Laser à iode .....                               | — 4                 |
| 3.5 Autres lasers à gaz rare ionisé.....             | — 5                 |
| <b>4. Lasers moléculaires.....</b>                   | <b>— 5</b>          |
| 4.1 Laser à CO <sub>2</sub> .....                    | — 5                 |
| 4.2 Laser à CO .....                                 | — 5                 |
| 4.3 Lasers chimiques (HF ou DF).....                 | — 6                 |
| 4.4 Lasers à excimères .....                         | — 6                 |
| <b>5. Lasers à gaz industriels.....</b>              | <b>— 6</b>          |
| 5.1 Paramètres importants.....                       | — 6                 |
| 5.2 Développements.....                              | — 6                 |

**L**es lasers à gaz ont été découverts presque simultanément aux lasers à solide : dans l'infrarouge, le laser à CO<sub>2</sub> a été découvert par Patel. Dans le visible, le laser à hélium-néon (He-Ne) connut aussitôt un grand développement. Ces lasers nécessitent un équipement technique relativement simple : l'excitation est obtenue par une décharge électrique haute tension dans un gaz basse pression (généralement un tube scellé dans le cas du laser He-Ne). Le rayonnement laser est généralement continu, ce qui était, au début, la caractéristique unique des lasers à gaz.

# 1. Généralités

## 1.1 Diversité des lasers à gaz

Les lasers à gaz présentent une grande variété de caractéristiques (figure 1) :

- la longueur d'onde va de l'ultraviolet (lasers à excimères) à l'infrarouge moyen (lasers à  $\text{CO}_2$ , longueur d'onde émise de  $10,6 \mu\text{m}$ ) en passant par le visible ;
- aspects temporels : à l'encontre des lasers à solide, pratiquement tous pulsés, les lasers à gaz peuvent être, soit uniquement pulsés (excimères, vapeur de cuivre), soit uniquement continus (hélium-néon, argon ionisé), soit (dans le cas des lasers émettant dans l'infrarouge) continus ou pulsés. Les pulsés peuvent être, soit mono impulsion, soit pulsés répétitifs ;
- la puissance moyenne de ces lasers couvre un très large domaine : de quelques milliwatts pour les lasers hélium-néon de réglage à quelques dizaines de kilowatts pour les lasers à  $\text{CO}_2$  industriels ; pour des finalités militaires, des lasers continus allant jusqu'à plusieurs mégawatts ont été développés.

Enfin, les modes d'excitation sont divers ; le principal est la décharge électrique ; certains lasers peuvent être excités thermiquement ou chimiquement, la réaction chimique pouvant être initiée par l'énergie lumineuse.

## 1.2 Différences par rapport aux lasers à solide

Le grand intérêt du gaz en comparaison avec le solide résulte de la mobilité du gaz, permettant de déplacer le milieu gazeux dans le résonateur à des vitesses pouvant être supersoniques. La puissance du laser étant proportionnelle au débit d'espèces excitées, on peut donc obtenir des puissances relativement élevées. Les dimensions des cristaux supports des lasers à solide sont limitées par le mode de croissance de ceux-ci, ainsi que par la nécessité d'évacuer la chaleur ; ceci constitue une limite à la puissance des lasers à solide, qui n'existe pas pour les lasers à gaz. Enfin, la composition du mélange gazeux, ainsi que la pression, peuvent être facilement ajustées afin d'optimiser les conditions de fonctionnement. Le laser à gaz est donc plus souple et peut être plus facilement extrapolé que le laser à solide. La densité d'espèces excitées par unité de volume est beaucoup plus élevée dans les milieux solides en inversion de population que dans les milieux gazeux ; les lasers à gaz sont de ce fait plus encombrants que les lasers à solide.

# 2. Modes d'excitation des lasers à gaz

## 2.1 Niveaux d'énergie dans les molécules

Les niveaux d'énergie atomiques ont été décrits dans l'article [AF 3 270] *Physique du laser* ; certains lasers à gaz fonctionnant sur les niveaux de vibration-rotation des molécules, une description sommaire de ces niveaux et de leur population est nécessaire pour la compréhension des inversions de population dans les lasers moléculaires.

Les molécules gazeuses ont un (molécules diatomiques) ou plusieurs modes de vibration  $v$  ; dans chaque mode existe des niveaux de vibration ; enfin, chaque niveau de rotation se subdivise en niveaux de rotation. Les transitions entre niveaux s'effectuent en respectant des règles de sélection quantique :

$$\Delta v = \pm 1 \text{ et } \Delta J = 0, \pm 1$$

L'énergie de translation (énergie thermique) est quasiment continue.

L'énergie de vibration est égale (en première approximation) au produit  $\omega v$ , où  $\omega$  est la constante de vibration.

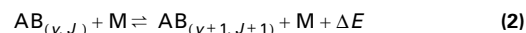
L'énergie de rotation est égale au produit  $BJ(J+1)$  ; dans lequel  $B$  est la constante de rotation.

La multiplicité des niveaux est de  $(2J+1)$ .

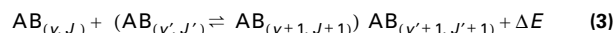
Avec  $k$  la constante de Boltzmann et  $T$  la température, on peut écrire la loi de Boltzmann décrivant la répartition de population  $N_{v,J}$  des molécules dans les niveaux de vibration-rotation  $v, J$  comparée à celle du niveau fondamental  $N_{0,0}$  ( $v = J = 0$ ) :

$$N_{v,J} = N_{0,0} (2J+1) \exp(-BJ(J+1)/kT) \exp(-\omega v/kT) \quad (1)$$

Au cas où un ensemble de molécules subit une variation d'énergie importante, sa température va changer et les populations de niveaux de vibration rotation vont être modifiées par des échanges énergétiques au cours des collisions entre molécules (AB) ou entre des molécules (AB) et des tiers-corps (M) : il s'agit de réactions de relaxation de deux types :



réaction V-T (relaxation vibration-translation)



réaction V-V (relaxation vibration-vibration)

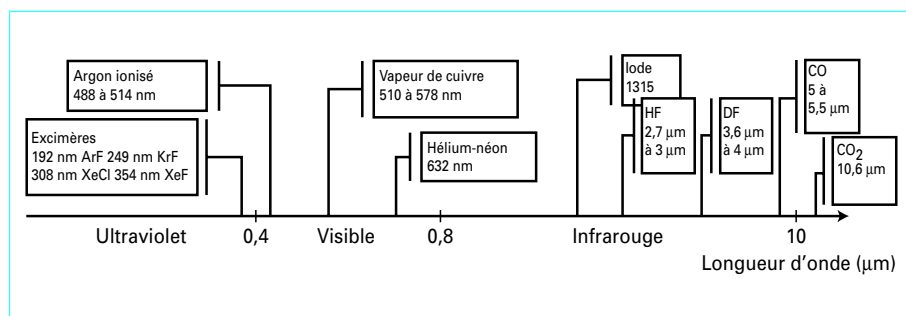


Figure 1 – Dispositions des lasers à gaz sur le spectre électromagnétique

Dans la réaction (3), échange V-V, le bilan énergétique peut être très faible : échange d'énergie quasi-résonnant, dont la probabilité est très élevée. Ces réactions d'échange d'énergie de vibration entre molécules (V-V) sont très rapides et l'équilibre de Boltzmann s'établit rapidement. Lorsqu'il y a variation importante de l'énergie de translation du système (par exemple, refroidissement rapide d'un gaz chaud par détente adiabatique), l'énergie de rotation diminue rapidement car les échanges d'énergie R-R et R-T mettent en jeu des variations faibles d'énergie. Les réactions de désexcitation des niveaux de vibration vers la translation ou la rotation (réactions V-T) par contre sont plus lentes, d'autant plus qu'à faible température (de translation) les vitesses de réaction diminuent fortement. On aura donc, temporairement, des niveaux de vibration plus peuplés que ce que la température globale (équilibre de Boltzmann global) permet de prévoir. Du fait des échanges résonnants V-V, la population des niveaux de vibration pourra être décrite par un équilibre de Boltzmann avec une température de vibration  $T_v$  et l'expression (2) s'écrira :

$$N_{v,J} = N_{0,0} (2J+1) \exp(-BJ(J+1)/kT) \exp(-\omega v/kT_v)$$

Le pompage optique, seule possibilité de former des espèces en inversion de population dans les lasers à solide, n'est pas utilisé dans les lasers à gaz car plusieurs modes d'excitation plus commodes sont possibles dans les gaz : la décharge électrique, l'excitation thermique et la réaction chimique.

## 2.2 Décharge électrique

Un électron soumis à un champ électrique  $E$  subit une force qui le met en mouvement et lui communique de l'énergie cinétique. Lors de collisions d'un tel électron avec des atomes ou des molécules de gaz, cette énergie peut provoquer des sauts d'énergie au sein de l'atome ou de la molécule : transitions de vibration-rotation dans les molécules, transitions électroniques et ionisations avec les molécules et les atomes. Le champ électrique dans un plasma sert donc à créer des électrons (et des ions) et à exciter des niveaux de vibration rotation et électroniques. Suivant l'inversion de population qu'il s'agit d'établir, il faut adapter les conditions expérimentales (intensité du champ électrique, pression exprimée en nombre  $N$  de particules par unité de volume) afin que :

- la concentration en électrons  $n_e$  soit suffisante ;
- le rapport  $E/N$  donne un transfert d'énergie par collisions inélastiques favorable.

On dispose de deux possibilités :

- la décharge auto-entretenu, dans laquelle le champ électrique est un compromis entre le maintien d'une concentration en électrons  $n_e$  suffisante et un bon transfert énergétique. Cette décharge est généralement amorcée par un dispositif d'amorçage (décharge corona ou décharge HF) ;
- l'injection séparée d'électrons par un faisceau d'électrons ou grâce à un dispositif de préionisation (décharge annexe, UV) rend la concentration en électrons et le champ électrique indépendants ; ils peuvent être optimisés séparément.

Plusieurs modes de décharges sont utilisés :

- la décharge haute tension continue (laser à  $\text{CO}_2$ , hélium-néon) ;
- la décharge d'arc, stabilisée par cathode creuse (argon ionisé) ;
- la décharge radiofréquence (laser à  $\text{CO}_2$ ).

Le maintien de la stabilité d'une décharge haute tension continue nécessite l'interposition d'une résistance ballast, du fait du comportement négatif de la résistance équivalente de la décharge (la tension aux bornes diminue lorsque le courant augmente). Il en résulte une perte de puissance électrique du même ordre de grandeur que la puissance électrique dissipée dans la décharge.

## 2.3 Excitation chimique

Elle a été présentée dans l'article [AF 3 270] *Physique du laser*. Pour obtenir une inversion de population, il faut contrôler la température (de translation-rotation) aux alentours de 300 K, par bain thermique (dilution dans un gaz neutre froid, tel que l'hélium), ou par détente adiabatique (écoulement supersonique).

L'inversion de population est partielle : elle se produit lorsque les températures de vibration sont nettement supérieures à celle de rotation, ainsi que le montre la figure 2.

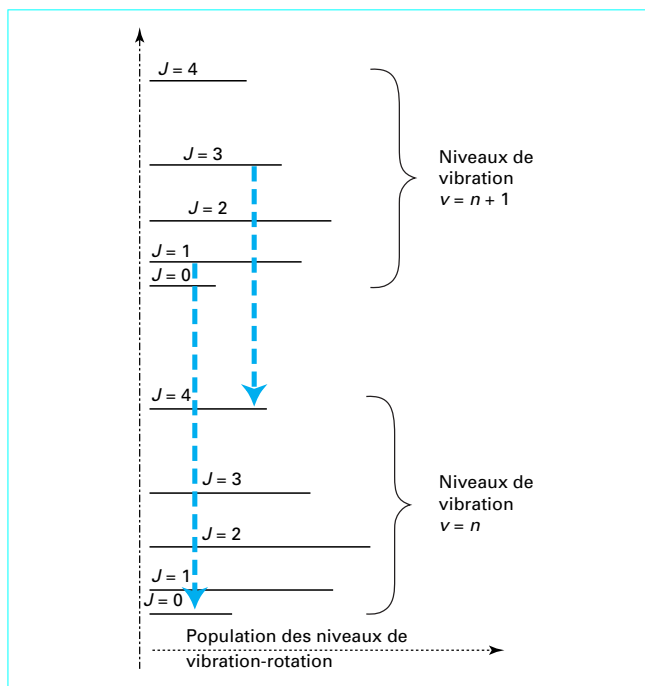


Figure 2 – Inversion de population partielle dans une molécule diatomique

## 2.4 Excitation thermique

Dans le cas du laser à  $\text{CO}_2$ , on a obtenu l'inversion de population par chauffage d'un mélange gazeux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  et souvent l'hélium) à une température de l'ordre de 2 000 K, puis en refroidissant brutalement le mélange gazeux par détente adiabatique dans un écoulement supersonique (Mach 4 à 5). Les réactions de relaxation d'énergie vibration-translation du mode  $v_3$  du  $\text{CO}_2$  et de l'azote sont ralenties alors que celles d'échange d'énergie vibration-vibration restent actives et provoquent l'inversion de population.

## 3. Lasers à gaz atomiques

### 3.1 Laser hélium-néon

Le diagramme simplifié des niveaux d'énergie (figure 3) montre le fonctionnement de ce laser, dans lequel on distingue les étapes de pompage par collisions électrons-atomes d'hélium, puis excitation sélective de niveaux métastables du néon par collisions quasi-résonnantes, ce qui donne la possibilité de plusieurs transitions (tableau 1).

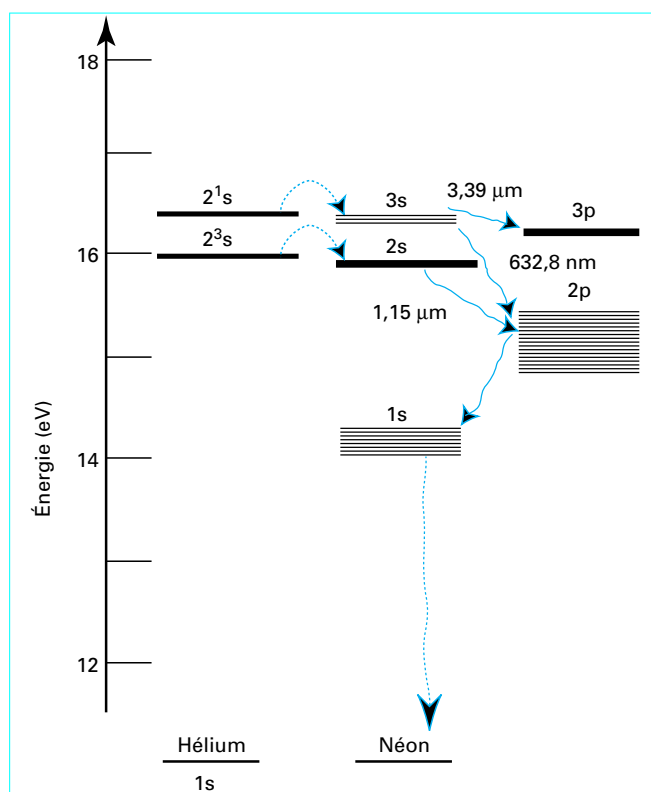


Figure 3 – Diagramme d'énergie du système hélium-néon

Tableau 1 – Transitions lasers du néon

| Niveau supérieur | Niveau inférieur | Longueur d'onde |
|------------------|------------------|-----------------|
| 3s               | 2p               | 632,8 nm        |
| 2s               | 2p               | 1,15 μm         |
| 3s               | 3p               | 3,39 μm         |

La dernière de ces transitions est en concurrence avec la première et est la plus probable (gain élevé). Afin d'obtenir l'émission dans le rouge, il faut éliminer l'oscillation dans l'infrarouge. On y parvient en utilisant des miroirs de résonateur présentant une grande réflectivité dans le rouge et une transmission élevée dans l'infrarouge (vers 3 μm).

Le laser He-Ne est très répandu depuis la découverte des lasers : sa technologie est extrêmement élaborée et a permis la construction de lasers à la fois petits (les anciens stylos pointeurs utilisent ce laser), de bonne qualité optique (on parvient à faire fonctionner le laser en mode *Transverse Electro Magnetique* TEM<sub>00</sub>, limité par diffraction) et relativement peu chers. Jusqu'à l'avènement des diodes laser performantes et du Nd:YAG (*Yttrium-Aluminium Garnet*) pompé par diodes, le laser He-Ne était le laser le moins cher et le plus répandu. On est parvenu à repousser jusqu'à plus de 20 000 h la durée de vie des tubes, qui vieillissent du fait de l'évaporation du métal des électrodes et du dépôt sur les miroirs et le capillaire de décharge.

La puissance de ce laser est relativement modeste : la gamme du commerce va de 1 à 50 mW, en mode TEM<sub>00</sub>. Son rendement global

électrique-lumineux est inférieur à 1 %, ce qui limite son emploi aux besoins de faible puissance.

### 3.2 Laser à argon

Plusieurs transitions sont utilisables pour obtenir une inversion de population dans l'argon ionisé ; elles se produisent dans des décharges électriques à très fort courant (densité de 100 A/cm<sup>2</sup>), dans lesquelles des électrons accélérés atteignent une énergie de 4 à 5 eV. Plusieurs collisions sont nécessaires pour obtenir le peuplement de divers niveaux 4p (à 20 eV) de l'ion Ar<sup>+</sup>. Les niveaux inférieurs des transitions laser (4s) étant vides et de durée de vie très faible, l'inversion de population est totale.

Les transitions possibles s'étagent du proche UV (350 nm) au vert (520 nm) ; les transitions principales étant :

- $\lambda = 514,6$  nm (transition entre les niveaux  $4p^4D_{3/2}^0$  et  $4s^2P_{3/2}$ ) vert ;
- $\lambda = 488$  nm (transition entre les niveaux  $4p^2D_{5/2}^0$  et  $4s^2P_{3/2}$ ) bleu.

Les fortes densités de courant nécessaires pour faire fonctionner ce laser imposent l'utilisation de matériaux et de technologies résistant à de hautes températures et pouvant éliminer les forts flux thermiques générés. On recourt à la silice, au graphite et à l'oxyde de béryllium.

On obtient des puissances de quelques watts (jusqu'à 20 W) sans sélection de raies ; avec l'introduction d'un prisme dans le résonateur, on peut faire fonctionner le laser sur une seule transition. Le faisceau est généralement de bonne qualité optique, approchant souvent le mode fondamental TEM<sub>00</sub>.

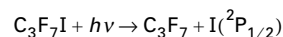
### 3.3 Laser à vapeur de cuivre

Ce laser pulsé répétitif est développé principalement pour une application spécifique : l'excitation à haut rendement d'un laser à colorant pour la séparation isotopique : son rendement est de l'ordre de 1 % et la puissance dépasse la centaine de watts avec une durée d'impulsion brève et une fréquence de répétition élevée (5 kHz). L'atome de cuivre (cuivre à l'état vapeur) peut être excité par collision inélastique avec les électrons dans une décharge électrique. L'inversion de population est obtenue entre les niveaux  $2P_{3/2}$  et  $2D_{5/2}$  (510,5 nm) et les niveaux  $2P_{1/2}$  et  $2D_{3/2}$  (578,2 nm). Du fait de la courte durée de vie des états supérieurs, il est nécessaire de réaliser une excitation rapide par une décharge électrique intense et de courte durée. D'autre part, le dépeuplement des états inférieurs est assuré soit par collisions sur les parois (ce qui limite les dimensions, donc la puissance), soit par collision sur le néon ; de cette dernière façon, la cadence de 5 kHz pour des tubes de 7 cm de diamètre est possible, et la puissance moyenne dépasse la centaine de watts. Une concentration suffisante de vapeur de cuivre ( $10^{15}$  atomes.cm<sup>-3</sup>) est obtenue par chauffage du tube en céramique jusqu'à environ 1 500 °C ; le milieu actif consiste en un four à haute température dont la durée de chauffage est longue.

### 3.4 Laser à iode

L'iode atomique possède un niveau d'énergie  $2P_{1/2}$  dont la durée de vie est longue ; la transition vers le niveau  $2P_{3/2}$  est utilisée dans le laser à iode (longueur d'onde 1,315 μm). L'excitation de l'iode ( $2P_{1/2}$ ) s'effectue de deux façons :

- la photolyse de composés iodés (tel que C<sub>3</sub>F<sub>7</sub>I) par irradiation UV produit des atomes d'iode dans l'état excité suivant la réaction :



■ Ce type de laser est pulsé ; en adjoignant un dispositif de déclenchement (blocage de mode, modulateur électro-optique) et un absorbant saturable, on peut obtenir une impulsion laser de courte durée et de puissance très élevée ; 500 J et 500 ps, soit une puissance du térawatt (finalité fusion) ;

— on obtient aussi l'iode excité par réaction d'iode moléculaire avec l'oxygène naissant. Ce dernier est produit par barbotage de chlore dans de l'eau oxygénée en milieu aqueux basique.

Développé à des fins militaires, ce type de laser continu est entièrement chimique et peut être extrêmement compact.

### 3.5 Autres lasers à gaz rare ionisé

Seuls sont développés des lasers offrant des caractéristiques intéressantes :

— le **laser à krypton** oscille sur plusieurs raies dans tout le spectre visible (647, 568, 520 et 476 nm). Il constitue une source « blanche » continue, de quelques dizaines de milliwatts par raie ;

— le **laser hélium-cadmium** est un exemple de laser pompé à l'aide d'un atome à potentiel d'ionisation élevé (l'hélium), dont l'énergie est transférée par collision quasi-résonnante sur les niveaux ionisés de l'ion cadmium. Ce laser continu, relativement facile à réaliser, émet des raies situées dans le bleu (441,6 nm) et l'UV (325 nm). C'est l'équivalent du laser He-Ne, avec une émission dans les parties bleues et UV du spectre.

## 4. Lasers moléculaires

### 4.1 Laser à CO<sub>2</sub>

Découvert par Patel peu de temps après les lasers dans le visible (rubis, He-Ne), ce laser fonctionne sur les niveaux de vibration-rotation de la molécule de CO<sub>2</sub>. Cette dernière possède trois modes de vibration ( $\nu_1$ ,  $\nu_2$  et  $\nu_3$ ), avec, dans chaque mode, des niveaux de vibration dans lesquels la molécule peut occuper un des niveaux de rotation (non représentés sur la figure 4). Des échanges d'énergie vibrationnelle ont lieu avec une grande probabilité entre les niveaux de vibration de la molécule d'azote et le mode  $\nu_3$  du CO<sub>2</sub>, ainsi qu'entre les modes  $\nu_1$  et  $\nu_2$  du fait des collisions quasi-résonnantes. L'énergie de vibration de ce dernier mode relaxe rapidement vers la translation. Lorsque la température est modérée (proche de 300 à 400 K), les molécules situées dans les modes  $\nu_1$  et  $\nu_2$  relaxent rapidement vers le niveau fondamental. Lorsque, par ailleurs, les niveaux de vibration de l'azote et du mode  $\nu_3$  du CO<sub>2</sub> sont peuplés par des collisions électroniques, une inversion totale de population est réalisée.

L'excitation des mélanges gazeux (azote, gaz carbonique et hélium) est obtenue de différentes manières : pour les lasers continus, il s'agit généralement d'une décharge électrique, qui peut être autoentretenue ou préionisée, obtenue par une tension continue, radiofréquence ou hyperfréquence, ces deux derniers modes d'excitation présentant divers avantages : la tension de décharge est peu élevée, les électrodes sont externes, la puissance peut être facilement modulée. Pour les lasers pulsés, on produit une décharge rapide transverse dans un mélange de gaz à pression atmosphérique [lasers TEA (*Transverse Excited Atmospheric*)], avec une énergie laser atteignant 5 J par litre de volume excité.

Le rendement théorique de ce laser est de 41 % ; l'efficacité globale de conversion de l'énergie électrique en énergie vibrationnelle dans le niveau 001 atteint couramment 25 %, le rendement global est de 10 %, ce qui constituait la valeur la plus élevée avant

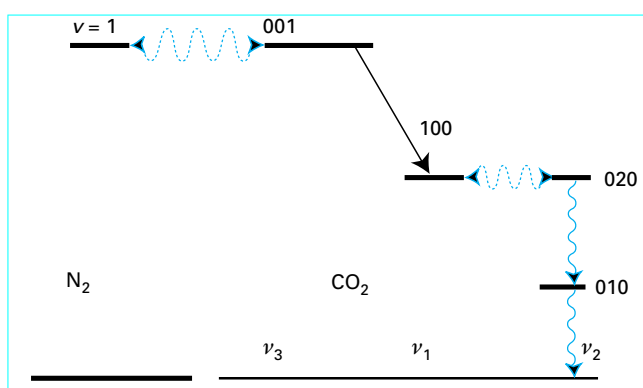


Figure 4 – Diagramme d'énergie des modes et niveaux de vibration de la molécule CO<sub>2</sub> (les niveaux de rotation ne sont pas représentés)

l'avènement des diodes laser. Ce haut rendement résulte des optimisations de décharge électrique, de contrôle de la température qui sont appliquées. Cette dernière doit rester inférieure à 100 °C. La chaleur dissipée dans le gaz est évacuée de différentes manières : soit par diffusion vers les parois (le flux de chaleur et l'épaisseur sont alors limités) soit par circulation rapide de gaz, axiale ou transverse par rapport à la cavité laser et la décharge électrique ; le refroidissement est assuré par un échangeur de chaleur hors cavité laser.

La gamme des lasers s'étend sur une grande gamme de puissance et une grande variété d'applications (tableau 2).

Tableau 2 – Applications des lasers en fonction de leur puissance

| Gamme de puissance | Type de laser          | Applications                    |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1 à 10 W           | Tube scellé            | Mesures                         |
| 10 à 100 W         | Flux lent ou PR TEA    | Médical, marquage               |
| 100 W à 2 kW       | Flux axial, diffusion  | Usinage de tôles fines          |
| 5 à 10 kW          | Flux transverse, axial | Usinage, traitement superficiel |
| 20 à 45 kW         | Flux transverse        | Usinage métaux épais            |

### 4.2 Laser à CO

L'excitation des niveaux de vibration du CO peut être obtenue de façon analogue à celle du CO<sub>2</sub> par collision inélastique avec des électrons dans une décharge électrique (continue, radiofréquences) ; le rendement de conversion est augmenté par la présence d'azote, dont les niveaux de vibration sont en quasi-coïncidence avec ceux du CO. L'inversion de population doit être obtenue entre les niveaux de vibration-rotation d'une molécule diatomique (un seul mode de vibration) ; il est indispensable d'avoir des « températures » de vibration et de rotation très différentes, donc de refroidir énergiquement le mélange gazeux, soit par détente, soit par refroidissement à l'azote liquide. Ce grave inconvénient empêche le développement industriel de ce laser, malgré un rendement électrique supérieur à celui du laser CO<sub>2</sub>, des longueurs d'onde (de 4,9 à 5,3  $\mu$ m) moitié de celle du CO<sub>2</sub>, (donc de meilleures performances optiques) ; les diverses réalisations en laboratoire



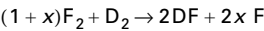
montrent que des puissances similaires à celles des lasers à CO<sub>2</sub> peuvent être atteintes.

4.3 Lasers chimiques (HF ou DF)

Le mode d’excitation particulier de ce type de laser (cf. [AF 3 270] *Physique du laser*) le fait réserver à des applications militaires, pour lesquelles la source d’énergie chimique apporte la compacité et l’indépendance par rapport aux sources d’énergie électrique. L’inversion de population est partielle, ce laser requiert de maintenir la température de rotation (translation) basse, par détente adiabatique. Les longueurs d’onde des raies multiples d’émission sont situées entre 2,6 et 3 µm pour le laser HF, entre 3,7 et 4,1 µm pour le laser DF.

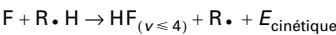
Le schéma de production de la molécule HF vibrationnellement excitée peut être :

— 1<sup>re</sup> réaction : production d’atomes de fluor :



x : proportion de fluor en excès ;

— 2<sup>e</sup> réaction : formation de HF excité



la molécule RH peut être de l’hydrogène, de l’éthylène, etc.

4.4 Lasers à excimères

Les lasers à excimères (*excited dimers*, dimères excités) fonctionnent sur les niveaux électroniquement excités de molécules instables : les halogénures de gaz rares NX. Le niveau supérieur laser est un état électronique excité associatif (entre un atome A dans son état fondamental et un atome B\* dans un état électroniquement excité) ; il est stable si l’on compare sa durée de vie (10<sup>-6</sup> à 10<sup>-9</sup> s) à celle de l’état inférieur laser instable AB (10<sup>-12</sup> s) : celui-ci est dissociatif et l’inversion de population est maintenue naturellement. La largeur de la bande d’émission impliquant un faible gain, des décharges électriques intenses et brèves sont nécessaires (plus de 10<sup>5</sup> W/cm<sup>3</sup> en 10 à 100 ns) dans des mélanges de gaz halogène-gaz rare à une pression de quelques fractions d’atmosphère. La principale caractéristique des excimères est d’émettre dans l’ultraviolet : le tableau 3 montre la diversité des lasers excimères.

Tableau 3 – Caractéristiques des lasers excimères

| Molécule excimères | Longueur d’onde | Énergie par impulsion |
|--------------------|-----------------|-----------------------|
| KrF                | 248 nm          | 250 mJ                |
| XeCl               | 308 nm          | 120 mJ                |
| ArF                | 198 nm          | 100 mJ                |
| XeF                | 351 nm          | 100 mJ                |

Outre la difficulté de réaliser des décharges uniformes dans un gaz contenant un halogène (fortement électronégatif), il faut maintenir la pureté des gaz qui sont simultanément corrosifs et très coûteux (Kr et Xe). Ces difficultés technologiques sont résolues de différentes façons par les constructeurs qui commercialisent plusieurs types de lasers : les lasers à fréquence moyenne (quelques centaines de hertz, quelques millijoules par impulsion) et récemment des lasers monocoups ou à fréquence faible, mais délivrant quelques dizaines de J par impulsion. Étant donné la faible longueur d’onde, la faible durée et la haute puissance, des applications particulières sont rendues accessibles par ces lasers : micro-ablation, micro-usinage par exemple.

5. Lasers à gaz industriels

5.1 Paramètres importants

Les avantages et inconvénients principaux des lasers à gaz comparés aux lasers à solide ont déjà été indiqués : une grande variété de lasers est envisageable, les régimes temporels sont, soit continus, soit pulsés, soit pulsés répétitifs ; les qualités de faisceau sont généralement bonnes et les limitations thermiques sont moins strictes qu’avec les lasers à solide.

Pour ce qui concerne les lasers de mesure, on trouve couramment des lasers à faisceau monomode transverse (divergence limitée par diffraction) : lasers He-Ne. D’autre part, l’émission est strictement continue, ce qui est important pour certaines applications.

Les lasers à gaz industriels, de puissance moyenne élevée, sont principalement les lasers à CO<sub>2</sub> ; les exigences optiques concernant la qualité du faisceau sont moins impératives qu’en ce qui concerne les lasers de mesure. On parvient assez facilement à obtenir un mode relativement bas et, en sacrifiant une partie de la puissance, un faisceau dont la divergence est proche de la limite de diffraction.

5.2 Développements

On s’accorde généralement dans le monde des spécialistes des lasers à dire que le développement important des diodes laser et des lasers à solide va réduire la part des lasers à gaz, à la fois pour les lasers de mesure et pour les lasers industriels de puissance. Les lasers de mesure (He-Ne, Ar) sont en cours de remplacement par les lasers Nd:YAG pompés et doublés en fréquence, tant que les impulsions répétitives peuvent être substituées au continu pur. Pour les lasers industriels, ce sont les Nd:YAG continus qui viennent concurrencer les lasers à CO<sub>2</sub> de puissance moyenne (< 3 kW), du fait de la possibilité de transporter le faisceau de longueur d’onde 1,06 µm par fibre optique et de leur faible encombrement. Malgré cette tendance, les lasers à CO<sub>2</sub> présentent un meilleur rendement énergétique et coûtent moins cher à l’entretien (pas de lampes à arc de durée de vie limitée) ; d’autre part, les innovations telles que l’excitation par radiofréquences et le refroidissement par diffusion (laser « plat ») des lasers à CO<sub>2</sub> permettent d’obtenir des produits très compétitifs avec les lasers à solide. Les lasers à excimères constituent des sources de rayonnement dans l’UV autorisant le développement de nouvelles techniques d’élaboration des matériaux et d’usinage.

# GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre**, **leurs compléments et mises à jour**, et bénéficiez des **services inclus**.



RÉDIGÉE ET VALIDÉE  
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR  
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE  
SUR TOUS SUPPORTS  
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS  
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 350 000 utilisateurs
- + de 10 000 articles de référence
- + de 80 offres
- 15 domaines d'expertise

- ☐ Automatique - Robotique
- ☐ Biomédical - Pharma
- ☐ Construction et travaux publics
- ☐ Électronique - Photonique
- ☐ Énergies
- ☐ Environnement - Sécurité
- ☐ Génie industriel
- ☐ Ingénierie des transports
- ☐ Innovation
- ☐ Matériaux
- ☐ Mécanique
- ☐ Mesures - Analyses
- ☐ Procédés chimie - Bio - Agro
- ☐ Sciences fondamentales
- ☐ Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,  
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

**[www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)**

**CONTACT :** Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : [infos.clients@teching.com](mailto:infos.clients@teching.com)



# LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

## ACCÈS



### Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant  
toute la durée de la souscription



### Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



### Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés  
pour ordinateurs, tablettes et mobiles

## SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



### Questions aux experts\*

Les meilleurs experts techniques  
et scientifiques vous répondent



### Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles  
en dehors de votre offre



### Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais,  
espagnol et allemand



### Archives

Technologies anciennes et versions  
antérieures des articles



### Impression à la demande

Commandez les éditions papier  
de vos ressources documentaires



### Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés  
de vos ressources documentaires

\*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

## ILS NOUS FONT CONFIANCE



**www.techniques-ingenieur.fr**

**CONTACT :** Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : [infos.clients@teching.com](mailto:infos.clients@teching.com)