



République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Larbi ben M'hidi Oum el Bouaghi

Faculté des sciences Exactes et Sciences de la Nature et de La Vie



Département sciences de la matière

N° d'ordre : M.... /2023

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique

Spécialité : physique des Matériaux

**Les lasers et leurs applications dans le domaine
ophtalmologique**

Présenté Par :

- Mahmoudi Dounia
- Sahraoui khawla

Sous la direction de :

- Dr .cheddadi Amel

Soutenu le : 25 /06/2023

Devant le jury de soutenance suivant :

Pr. Azizi Cherifa	Université Oum El-Bouaghi	Présidente
Pr. Farh Hichem	Université Oum El-Bouaghi	Examineur

Année universitaire :

2022/2023



Dédicace

Je dédie ce mémoire

Ames chers parents mon père et ma mère

*Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et
leurs prières tout au long de mes études,*

A mes chères sœurs

Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères

Pour leur appui et leur encouragement,

A mes chers amie Dalal, malak, nada

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

A toute ma famille.

Dounia Mahmoudi.

Remerciement

Nous remercions en premier lieu dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. Amel cheddadi, on remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier Dr Ben Moussa, clinique El khroub Constantine pour son Accueil au sein de sa clinique et pour sa collaboration et son aide pratique

Nous remercions Dr cheddadi Ahmed, cabinet ophtalmologique Annaba pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

On veut aussi adresser nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions également tous les membres de la clinique ophtalmologie, où nous avons accompli ce travail, pour leurs aides et leurs conseils.

Merci à tous nos enseignants et au Staff du Département.

Figure	Titre	Page
	Chapitre I	
Figure I.1	Mécanisme d'interaction entre un atome et un photon.	2
Figure I.2	Amplification par émission stimulée.	3
Figure I.3	La lumière monochromatique.	4
Figure I.4	La lumière directive.	5
Figure I.5	La lumière cohérente.	5
Figure I.6	Principe de fonctionnement du laser.	6
Figure I.7	Absorption.	7
Figure I.8	Emission stimulé.	8
Figure I.9	Désexcitation radiative.	8
Figure I.10	Taux de transition entre niveaux d'énergie.	9
Figure I.11	Système à 3 niveaux.	9
Figure I.12	Système à 4 niveaux.	10
Figure I.13	Les différents effets obtenus avec les lasers sur les tissus biologiques, en fonction de la durée d'émission du laser et de l'irradiance.	11
Figure I.14	Les mécanismes d'interaction.	14
Figure I.15	Transfert d'énergie à une molécule spécifique.	15
Figure I.16	Effets obtenus en fonction de l'élévation de la température.	16
Figure I.17	Positionnement d'un filtre de sécurité.	19
	Chapitre II	
Figure II.1	Schéma d'un laser au dioxyde de carbone CO ₂ .	24
Figure II.2	Structure interne d'une diode laser.	25
Figure II.3	Effet non linéaire (fréquence en continue) avec un laser émettant des impulsions picosecondes focalisées dans l'eau a un diamètre de quelques microns.	26

Figure II.4	Effet non linéaire dans une fibre optique.	27
Figure II.5	Génération de fréquences visibles dans un cristal non linéaire.	27
Figure II.6	Types des lasers utilisés en ophtalmologie.	28
Figure II.7	Spectres d'absorption des chromophores oculaires importants.	28
Figure II.8	Différents niveaux de l'ion néodyme. (Il existe également des niveaux d'énergie plus élevées non représentés qui ne participent pas à l'émission laser).	29
Figure II.9	Représentation laser a argon.	33
Figure II.10	Représentation laser SLT.	35
Figure II.11	représentation laser excimer.	37
Figure II.12	Représentation laser femtoseconde.	40
Chapitre III :		
Figure III.1	Anatomie de l'œil.	43
Figure III.2	Structure de la rétine.	44
Figure III.3	La Myopie.	45
Figure III.4	Refroidissement de l'œil avant l'application du laser.	47
Figure III.5	Application du laser Excimer pour traitement de myopie + astigmatisme.	47
Figure III.6	Traitement de surface Trans PKR.	47
Figure III.7	La Kératocône ; la cornée est déformée d'une forme conique.	48
Figure III.8	Comme la cornée est trop incurvée et irrégulière, la lumière se focalise en avant de la rétine (point normal de rencontre de tous les rayons lumineux), et l'image apparaît floue et déformée.	49
Figure III.9	Kératocône ; La technique des anneaux intra-cornéens.	51
Figure III.10	Laser femtoseconde clinique ophtalmologique Dr Ben Moussa (El Khroub Constantine).	51

Figure III.11	Laser Femtoseconde pour la chirurgie cornéenne.	51
Figure III.12	La différence entre l'œil normal et l'œil de rétinopathie diabétique	52
Figure III.13	photo coagulateur de la rétine.	53
Figure III.14	Laser à Argon multi spot.	54
Figure III.15	Application du Laser à Argon multi spot à un malade atteint de rétinopathie diabétique.	54
Figure III.16	La différence entre l'œil normal et l'œil de glaucome.	55
Figure III.17	Laser SLT.	56
Figure III.18	La différence entre l'œil normal et l'œil de cataracte.	56
Figure III.19	Représentation laser de ND : YAG.	58
Figure III.20	Capsulotomie au laser YAG.	58

Liste des abréviations :

L.A.S.E.R: light amplifier by stimulated emission of radiation.

h : La constante de Planck.

UV : ultra-violet

IR : Infrarouge.

PDT : Photodynamic Therapy.

CO₂ : dioxyde de carbone.

ND : YAG : Néodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet.

SLT : selective laser trabeculoplasty.

ArF : Fluorine argon.

CO₂ : dioxyde de carbone.

PKR : Photo Kératectomie à visée Réfractive.

LASIK : Laser Assisted In-Situ Keratomileusis.

SMILE : Small Incision Lenticule Extraction.

Tables des matières :

INTRODUCTION GENERALE	I-II
Chapitre I. Généralités sur les lasers.	
I.1- Historique de la technologie laser	1
I.2- Les mécanismes mis en jeu : Absorption, Emission	1
I.2.a- Absorption	2
I.2.b- Emission spontanée	2
I.2.c- Emission stimulée	2
I.2.2. Les compétitions entre les 3 mécanismes	3
I.2.3. Inversion de population et pompage	3
I.4. Les caractéristiques de la lumière lasers	4-5
I.5. Principe de fonctionnement des lasers	6
I-5-1- Le milieu actif	6
I-5-2- La source de pompage	6
I-5-3- résonateur optique	6
I.6. Classifications des lasers	7
I-6-1- Système à 2 niveaux	7
I.6.2. Système à 3 niveaux	9
I.6.3. Système a 4 niveaux	10
I.7. Mécanismes d'action du laser	11
I.7.1.L'effet électromécanique	11
I.7.2.L'effet photoablatif	12
I.7.3.L'effet thermique	12
I.7.4.L'effet photochimique	13-14

I.8.Mécanisme d'interaction des lasers avec la matière vivante	14
I.8.1.Mécanismes photochimiques	14-15
I.8.2.Thérapie photo-dynamique	15
I.8.3.Effets thermiques	15
I.8.4.Réactions photo – ablatives	16
I.8.5.Mécanismes photomécanique	16
I.9.Les différentes applications des lasers	16-18
I.10.Utilisation des lasers en toute sécurité	18-19
I.11.L'essentiel en sécurité laser	20
I.11.1.L'essentiel en sécurité laser (1)	20
I.11.2.L'essentiel en sécurité laser (2)	20
Chapitre II. Différents types de lasers.	
Introduction	22
II.1.Les différents types des lasers	22
II.1.1. Laser à colorant	22-23
II.1.2.Les lasers à gaz	23
II.1.3.Laser à solide	24
II.1.3.1.Diode laser	24
II.1.3.2.Les autres lasers à solides	25-27
II.2.Les types des lasers utilisés en ophtalmologie	28
II.2.1.LASER Nd : YAG	29
II.2.1.1.Définition	29
II.2.1.2.Principe de fonctionnement	29-31
II.2.1.3.Application laser Nd : YAG	31
II.2.1.4.L'utilisation de laser Nd : YAG	31

II.2.1.5.Présentation des niveaux d'énergie de l'ion néodyme	31-32
II.2.2.Laser a argon	32
II.2.2.1.Définition	32-33
II.2.2.2.Principe de fonctionnement	33-34
II.2.2.3.Application Laser a argon	34
II.2.2.4.L'utilisation de laser a argon	34-35
II.2.3.Laser SLT	35
II.2.3.1.Définition	35
II.2.3.2.Principe de Fonctionnement du laser SLT	35-36
II.2.3.3.L'utilisation de laser SLT	36
II.2.4.Le laser excimer	36
II.2.4.1.Définition	36
II.2.4.2.Principe de fonctionnement du laser excimer	37
II.2.4.3.L'utilisation du laser excimer	37-38
II.2.5.Le laser Excimer de surface ou Traitement PKR	38-39
II.2.6.Le laser Excimer associé au laser Femtoseconde dans le traitement LASIK	39
Chapitre III : L'utilisation des lasers en ophtalmologie	
III-1- Anatomie de l'œil	42
III-1-1-Sclérotique	42
III-1-2-La choroïde	42
III-1-3-Le nerf optique	42
III-1-4-L'humeur aqueuse	42
III-1-5-La rétine	42
III-1-6-Le vitré	43

III-1-7- L'iris et la pupille	43
III-1-8-Le Cristallin	43
III-2- Maladies oculaires traitées aux lasers	44
III-2-1- les troubles de réfraction (L'amétropie)	44
III-2-1-1- Techniques utilisées dans la chirurgie réfractive utilisant Le laser Excimer	45
III-2-1-2- Traitement de la myopie par Laser Excimer	46
III.3.Kératocône	48
III.3.1. Définition	48
III.3.2. Les symptômes de La Kératocône	48-49
III.3.3. Le traitement de la Kératocône	49-50
III.3.3.1.La greffe de cornée	50
III.3.3.2.Le laser femtoseconde pour la chirurgie de la cornée Implantation des anneaux intra –cornéens	50
III.4. la rétinopathie diabétique	51
III.4.1.Définition	51-52
III.4.2.Les symptômes de La rétinopathie diabétique	52
III.4.3. Le laser à argon pour le traitement de la rétinopathie diabétique	53
III.5.Glaucome	54
III.5.1.Définition	54
III.5.2.Les symptômes d'un glaucome	55
III.5.3. Le laser SLT pour le traitement du glaucome	55-56
III.6.Cataracte	56
III.6.1.Définition	56
III.6.2.Les symptômes de cataracte	57

III.6.3.Le laser ND : YAG pour le traitement du Cataracte	57-58
III.7.Pourquoi se faire opérer au laser ?	59
III.8.Les Inconvénients des lasers	59
Conclusion générale	61

INTRODUCTION

GENERALE

C'est le 16 mai 1960 qu'un chercheur américain, Theodore Maiman, réussit à produire le premier rayon laser. Mais l'histoire du laser commence 43 ans plus tôt avec Albert Einstein. Dans un article de 1917 intitulé « Zur Quanten theorie der Strahlung¹ », il donne une interprétation de la loi du rayonnement du corps noir de Planck. Pour résoudre ce problème, il décrit les échanges d'énergie entre matière et rayonnement par les processus connus à l'époque, c'est-à-dire l'émission spontanée et l'absorption. Mais ces processus ne suffisent pas, et il a l'idée lumineuse d'ajouter un nouveau processus : l'émission stimulée.

Le laser s'est peu à peu imposé dans notre vie sans que nous en soyons forcément conscients. Incontournable dans la fabrication d'objets aussi divers que les smart- phones, les écrans LCD, les cellules photovoltaïques ou l'Airbus A380, il est tout aussi indispensable au fonctionnement d'Internet et joue un rôle crucial en médecine. Toute l'industrie du numérique – musique, vidéo, informatique – repose sur les lasers. De plus en plus utilisé pour l'analyse des matériaux, on le trouve dans les laboratoires de police scientifique, dans les usines de l'agroalimentaire, Malgré cette production massive, le laser fait encore l'objet de recherches intenses, pour atteindre des puissances plus élevées, des impulsions plus courtes, des caractéristiques spectrales meilleures, des rendements plus importants, ou tout simplement de nouvelles longueurs d'onde. Par exemple, en 2012, l'un des plus importants challenges de la recherche industrielle dans le domaine des lasers a été la réalisation d'un laser à semi-conducteur émettant dans le vert. L'objectif est de compléter les lasers bleus et rouges déjà largement maîtrisés, afin de produire des images vidéo couleur, et de réaliser ainsi des petits vidéoprojecteurs puissants.

Mais un des domaines qui a le plus bénéficié des progrès de la technologie laser est celui de la médecine, en particulier l'ophtalmologie.

Notre étude porte sur les lasers et leurs applications dans le domaine ophtalmologique.

La présentation du travail est organisée en trois parties :

Le premier chapitre est consacré à présenter les mécanismes qui sont à la base de l'amplification lumineuse. Ceux-ci reposent sur des échanges d'énergie entre la matière et le rayonnement électromagnétique.

Le deuxième chapitre présente les différents types de laser, leurs domaines d'utilisation ainsi que le principe de fonctionnement de chaque type de laser.

Dans le troisième chapitre nous présentons l'utilisation des différents types de lasers dans le domaine ophtalmologique pour le traitement des maladies oculaires.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR

LES LASERS

I.1- Historique de la technologie laser :

L'apparition des lasers est la conséquence d'une longue série de recherches ayant commencé dès 1917. Les propriétés du rayonnement découlent directement des hypothèses d'Einstein et des théories du physicien Bohr sur les énergies quantifiées des systèmes atomiques et moléculaires.

Einstein avait été amené à prévoir le phénomène d'émission stimulée qui est à la base des processus d'amplification et d'oscillation moléculaire. Entre 1917 et 1950, le concept de l'émission stimulée est quelque peu délaissé au profit du développement de la théorie quantique. En 1954, Townes (Columbia University) construit le premier amplificateur et oscillateur à émission stimulée, qu'il baptise : M.A.S.E.R. (microwaves amplifier by stimulated emission of radiation) et dont la fréquence est $2,3 \cdot 10^{10}$ Hz. Il se verra décerner en 1964 le Prix Nobel de Physique en compagnie des soviétiques Basov et Mokhorov.

En 1958, Schawlow et Townes, au terme d'une étude théorique, concluent à la possibilité de faire fonctionner un tel dispositif à des fréquences beaucoup plus élevées, correspondant aux radiations visibles. Le M.A.S.E.R devient L.A.S.E.R (light amplifier by stimulated emission of radiation).

C'est en 1960 que Maiman, travaillant pour la Hughes Aircraft Company, fabriqua le premier modèle de laser optique à rubis. La recherche se lança alors en quête d'autres matériaux solides pour la fabrication des lasers. Mais aujourd'hui encore, seuls quelques-uns sont utilisables. Dès 1960, les travaux de Kastler sur le pompage optique permettaient la réalisation du premier laser à rubis et lui valaient le Prix Nobel de Physique. Javan en 1961 fabriqua le premier laser à gaz He Ne. Depuis une multitude de gaz ont été testés : argon, krypton, xénon, CO₂. [1]

I.2- Les mécanismes mis en jeu : Absorption, Emission

Considérons un rayonnement électromagnétique composé de photons d'énergie $h\nu$, traversant un matériau, pour la suite N_1 et N_2 représentent les populations de deux niveaux énergétiques quelconques « 1 » et « 2 » d'un atome, E_1 et E_2 étant leurs énergies respectives ; avec :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu \quad (I-1)$$

Au cours de leur propagation dans le matériau, les photons peuvent être absorbés par les atomes, qui passent ainsi dans un état d'énergie supérieur. Les atomes excités vont ensuite retomber sur le niveau énergétique de départ en rendant le surplus d'énergie sous

forme d'un photon. Tous ces phénomènes ont comme caractéristique commune l'absorption ou l'émission d'un photon. Ce sont des mécanismes radiatifs.

I.2.1- Absorption :

L'absorption d'un photon de fréquence ν est le mécanisme qui fait passer un atome du niveau inférieur « 1 » au niveau supérieur « 2 » (figure I-1-a).

I.2.2- Emission spontanée :

Une fois dans son état excité et sans aucune action extérieure, les atomes reviennent spontanément dans leur état d'énergie minimum, il y a alors émission de la lumière c'est le phénomène d'émission spontanée (figure I-1-b). La variation de population des atomes entre les niveaux d'énergie E_1 et E_2 peut s'écrire :

$$dN_1/dt = A_{21}N_1 = -dN_2/dt \quad (I-2)$$

A_{21} est le coefficient d'Einstein qui correspond à la probabilité d'émission spontanée par unité de temps, il s'exprime en s^{-1} .

I.2.3- Emission stimulée :

La présence d'un rayonnement incident peut induire un atome excité à émettre un photon ayant les mêmes caractéristiques que les photons incidents (même longueur d'onde, même direction, même phase et même polarisation) (figure I-1-c).

Un électron excité est « bousculé » par un photon, il va alors libérer un deuxième photon, puis redescendre dans l'état d'énergie inférieur, les deux photons seront exactement identiques, on parle donc « d'état identique » (figure I-2) [3]. Cela à condition que l'énergie de ces photons soit résonnante, c'est-à-dire que $h\nu$ soit égale à l'écart de l'énergie entre le niveau supérieur et le niveau inférieur. Pour obtenir l'émission stimulée, la population N_2 doit être supérieure à celle du niveau fondamental N_1 , c'est-à-dire qu'il y ait une inversion de population. [2]

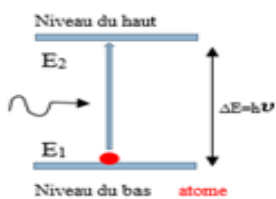


Figure I.1.a: Absorption

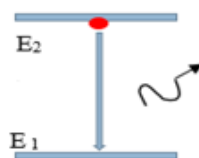


Figure I.1.b: Emission spontanée

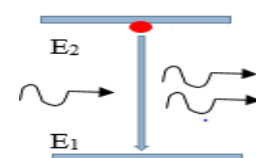


Figure I.1.c: Emission stimulée

Figure I.1 : Mécanisme d'interaction entre un atome et un photon. [3]

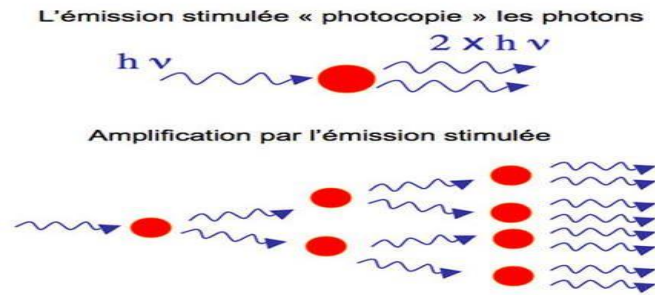


Figure I.2 : Amplification par émission stimulée. [4]

I.3.2. Les compétitions entre les 3 mécanismes :

Pour une transition radiative, les trois mécanismes sont toujours présents en même temps. Pour faire un milieu laser, il faut donc trouver des conditions qui permettent de privilégier l'émission stimulée au détriment de l'absorption et de l'émission spontanée. Il y a donc une nécessité de sélectionner dans la nature les milieux qui pourront effectivement servir en tant que milieux laser. Il faudra également veiller à mettre le milieu dans de bonnes conditions pour que l'effet laser ait lieu.

Un photon incident d'énergie $h\nu$ a autant de chance d'être absorbé par un atome du niveau inférieur que d'être dupliqué (ou amplifié) par interaction avec un atome du niveau supérieur. L'absorption et l'émission stimulée sont vraiment deux processus réciproques soumis aux mêmes probabilités. Pour favoriser l'émission stimulée au détriment de l'absorption, la solution est de jouer sur les populations des niveaux : il faut s'arranger pour avoir plus d'atomes sur le niveau supérieur que sur le niveau inférieur.

L'émission spontanée a tendance à vider naturellement le niveau supérieur, il faut donc trouver un moyen de vider ce niveau plus vite par émission stimulée que par émission spontanée. Or il se trouve que l'émission stimulée est d'autant plus probable que le milieu est éclairé avec un grand nombre de photons semblables. L'astuce va donc consister à éclairer fortement le milieu, un bon moyen pour cela est le confinement des photons dans une cavité. [3]

I.3.3. Inversion de population et pompage :

En physique, notamment en physique statistique, une inversion de population se produit lorsqu'un système (à trois niveaux d'énergie minimum) comme un groupe d'atomes ou molécules, se trouve dans un état dans lequel la majorité des éléments sont dans un état excité plutôt que dans leur état fondamental : $N_2 > N_1$

Le phénomène d'inversion de population est une étape nécessaire dans le fonctionnement d'un laser.

Avoir une population plus élevée dans le niveau du haut (N_2) que dans le niveau du bas (N_1) n'est pas une situation d'équilibre. En effet, à l'équilibre thermodynamique, la répartition des populations sur les niveaux est donnée par la loi de Boltzmann :

$$N_2 = N_1 * \exp\left(-\frac{E_2-E_1}{KT}\right) \text{ (I-3)}$$

Dans ce cas, N_2 est toujours inférieure à N_1 . Il faut donc créer une situation hors équilibre en apportant de l'énergie au système des atomes via un « pompage » dont l'objectif est d'amener suffisamment d'atomes sur le niveau supérieur. [5]

I.4. Les caractéristiques de la lumière lasers :

Le laser est une source lumineuse possédant des propriétés particulières :

a- Une lumière monochromatique : Le laser produit une lumière monochromatique, c'est à dire que le rayonnement électromagnétique est pratiquement d'une seule longueur d'onde. La couleur du faisceau lumineux dépend du milieu laser utilisé et des caractéristiques du pompage optique (figure 1-3).

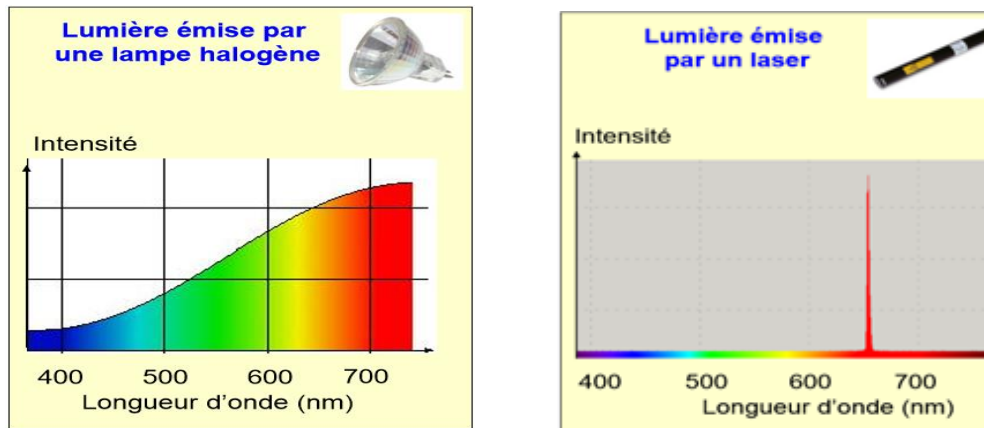


Figure I.3 : La lumière monochromatique. [7]

b- Une lumière directive : le faisceau obtenu possède un angle d'ouverture très faible (rectiligne) et se propage dans une seule direction (figure I-4)

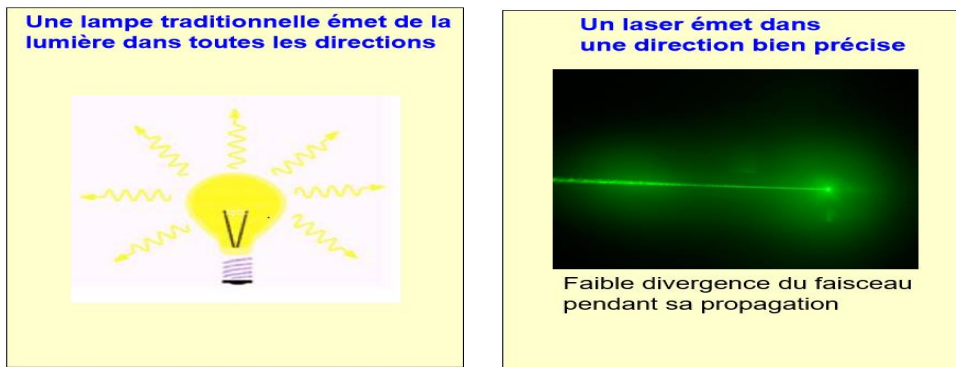


Figure I.4 : La lumière directive. [7]

c- une lumière cohérente : le faisceau est constitué de photons dont les caractéristiques sont les mêmes. En particulier, les ondes lumineuses qui leurs sont associées sont en phases (figure I.5)

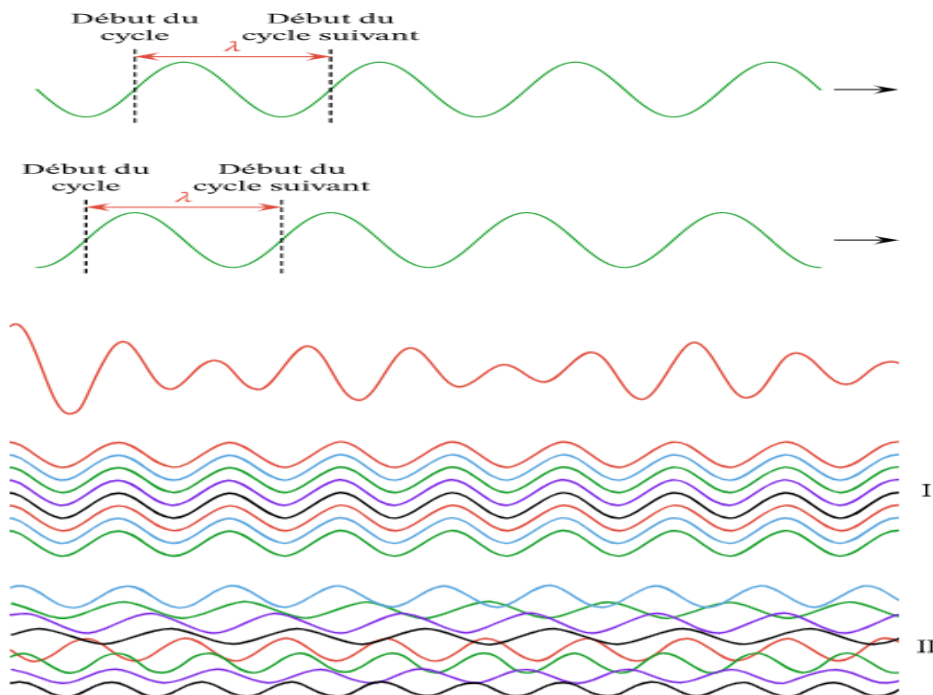


Figure I.5 : La lumière cohérente. Source bibliographique de cette image. [8]

Ces caractéristiques opposent la lumière laser à celles des sources lumineuses classiques reposant sur des émissions spontanées qui se font dans toutes les directions, à des phases différentes et avec une puissance nettement inférieure. [9]

I.5. Principe de fonctionnement des lasers :

Les trois principaux composants d'un laser sont :

Un milieu actif, une source de pompage et un résonateur optique (figure I-6)

I-5-1- Le milieu actif : C'est le matériau responsable de la production des faisceaux laser, et il peut être à l'état solide, liquide ou gazeux.

I-5-2- La source de pompage : c'est la source d'énergie externe responsable de l'excitation du milieu actif. Il s'agit généralement de pompage optique (lampes flash, lampes à arc continues ou lampes à filament de tungstène, diodes laser ou autres lasers ...), électrique (décharges dans des tubes de gaz, courant électrique dans des semi-conducteurs ...) ou même chimique.

I-5-3- résonateur optique : Ce sont deux miroirs parallèles opposés, l'un est entièrement réfléchissant et l'autre partiellement réfléchissant. [10]

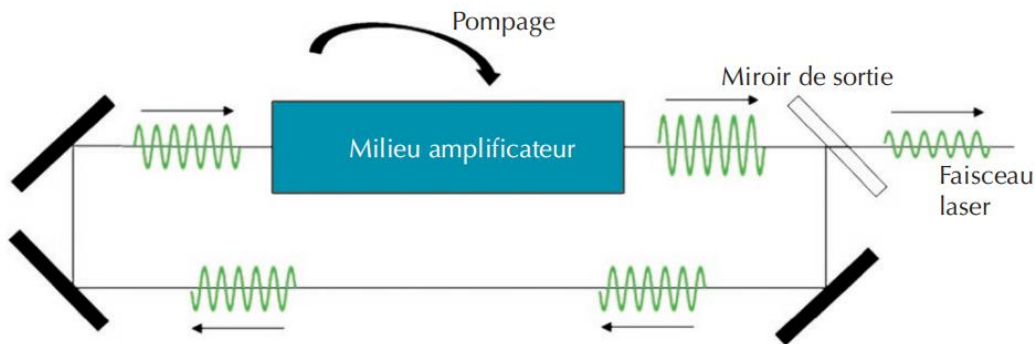


Figure I.6 : Principe de fonctionnement du laser. [11]

Pour que le phénomène d'émission stimulée (ou induite) joue son rôle d'amplification, il faut que les photons effectuent plusieurs aller-retour dans le milieu actif, milieu dans lequel a été réalisée l'inversion de population.

Le milieu actif est alors placé entre deux miroirs parallèles, disposés orthogonalement à l'axe du barreau ou du tube. Après chaque réflexion, les photons, émis dans la direction perpendiculaire aux miroirs, traversent à nouveau le milieu actif, initiant d'autres émissions stimulées de photons : l'intensité du faisceau se renforce.

Pour que la lumière sorte du dispositif, un des miroirs est semi-réfléchissant : par exemple, en moyenne, 1 % du nombre total de photons incidents sur ce miroir s'échappe par celui-ci (peuvent le traverser). Une partie de l'énergie lumineuse est nécessairement perdue par émission du faisceau laser. [12]

I.6. Classifications des lasers :

I-6-1- Système à 2 niveaux :

Il existe 3 types de transitions entre les niveaux d'énergie.

a) L'absorption :

Soit un rayonnement électromagnétique incident d'énergie résonante $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$. L'atome, initialement dans un état d'énergie E_1 , passe alors dans un état d'énergie supérieure $E_2 > E_1$. Les électrons qui sont dans l'état fondamental vont absorber la lumière incidente ce qui va les amener dans un niveau d'énergie supérieur, on dit que les électrons sont dans un état excité.

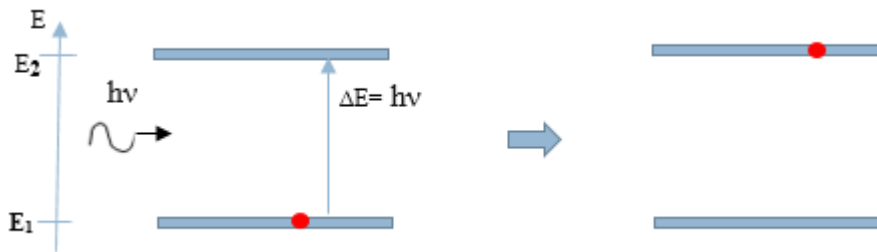


Figure I.7 : Absorption. [13]

Soit N_1 représentant la population d'électron du niveau fondamental et N_2 la population du niveau excité.

On définit le taux de transition w_{12} en s^{-1} (voir Figure4) entre les deux niveaux pour une longueur d'onde particulière tel que :

$$w_{12} = \frac{\sigma_{12} \cdot I}{h\nu} \quad (I-4)$$

Avec h : La constante de Planck

ν : La fréquence du faisceau arrivant

σ_{12} : La section efficace d'absorption

I : L'intensité du faisceau arrivant en $W \cdot m^{-2}$

La section efficace d'absorption représente le taux d'absorption et le nombre de photons par unité de surface et par unité de temps.

b) Émission stimulée :

Ce phénomène est le processus inverse de l'absorption.

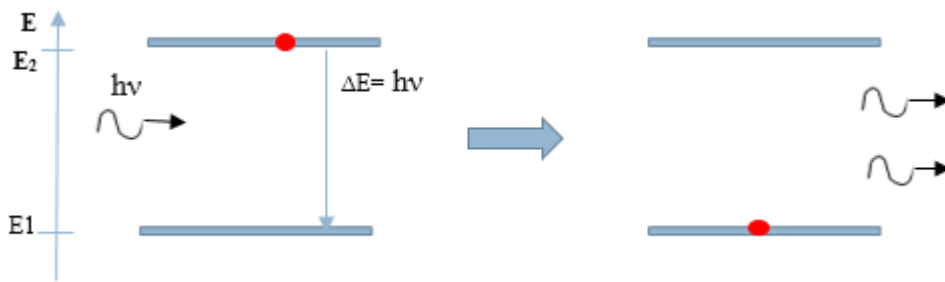


Figure I.8 : Emission stimulée. [13]

Elle a pour taux de transition :

$$W_{21} = \frac{\sigma_{21} I}{h\nu} \quad (\text{I-5})$$

Avec σ_{21} : La section efficace d'émission en m^2 .

c) Désexcitation spontanée :

• **Radiative :**

L'électron passe de façon spontanée (c'est à dire sans aucune influence extérieur) d'un niveau d'énergie supérieur E_2 à un niveau inférieur E_1 .

En retombant dans son état fondamental, l'électron émet un photon d'énergie $h\nu = E_2 - E_1$.

Cette émission lumineuse est appelé fluorescence.

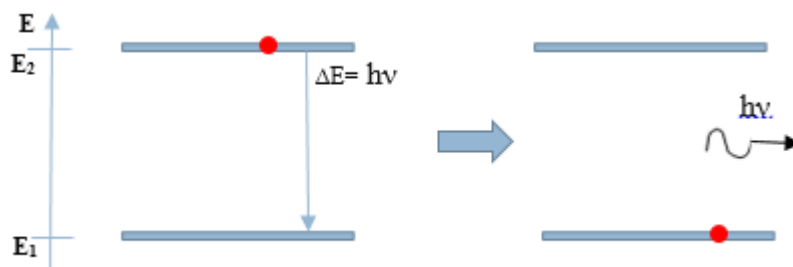


Figure I.9 : Désexcitation radiative. [13]

On peut définir ici le taux d'émission spontanée A_{21} en s^{-1} qui est inversement proportionnel à la durée de vie du niveau excité (figure I.5):

$$A_{21} = \frac{1}{\tau} \quad (\text{I-6})$$

Avec τ : la durée de vie en seconde.

• **Non radiative :**

Cette transition se passe comme celle vue au-dessus sauf que lorsque l'électron arrive sur le niveau fondamental sans emettre aucun photon.

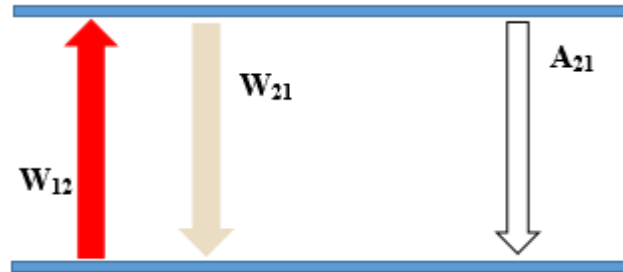


Figure I.10 : Taux de transition entre niveaux d'énergie. [13]

I.6.2. Système à 3 niveaux :

Il n'est pas possible d'avoir en réalité un système à deux niveaux d'énergie car cela nécessitent que les sections efficaces d'absorption et d'émission doivent être égaux. Pour cela il faut introduire un système à 3 niveaux d'énergie. Prenons le cas de l'ion Erbium.

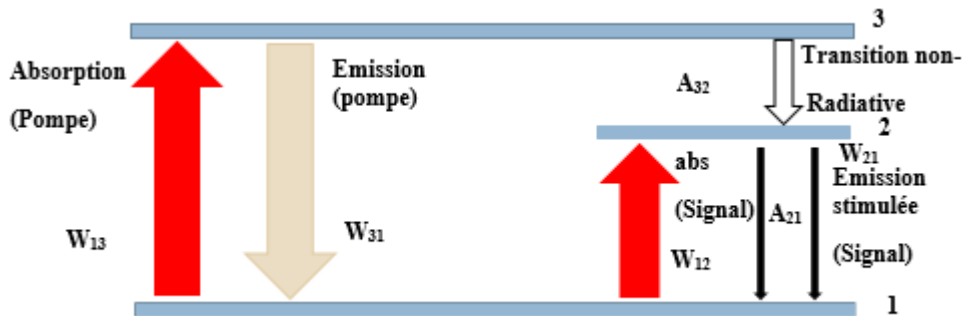


Figure I.11 : Système à 3 niveaux. [13]

On peut observer sur la figure I.7 :

- l'état (1) représente le niveau fondamental
- l'état (2) le niveau métastable
- l'état (3) le niveau excité (ou niveau de pompe)

Pour amener les électrons d'un niveau fondamental à un niveau d'énergie haut (3) il faut effectuer un pompage optique par l'intermédiaire d'une diode laser de pompe à 980nm ce qui va induire un phénomène d'absorption et permettre d'apporter suffisamment d'énergie.

Ainsi les électrons se trouvent dans un niveau excité pendant une période extrêmement courte pendant laquelle ils vont subir une transition non radiative très rapide (sans émission

de photon) vers un niveau (2) métastable.

Étant donné que ce niveau a une grande durée de vie par rapport au niveau (3), un grand nombre d'électrons vont pouvoir s'accumuler sur cet état et si la pompe est suffisamment intense, il y aura d'avantage d'électrons dans le niveau (2) que dans le niveau fondamental (1). C'est par ce processus que s'effectue l'inversion de population. Donc à l'arrivée d'un photon incident (photon provenant du signal) le phénomène de l'émission stimulée se produira ce qui donnera naissance à un second photon identique au premier et ainsi de suite, dès lors notre signal est amplifié. [13]

I.6.3. Système à 4 niveaux :

Il existe aussi un système à 4 niveaux permettant de produire le laser il est montré dans la figure 12.

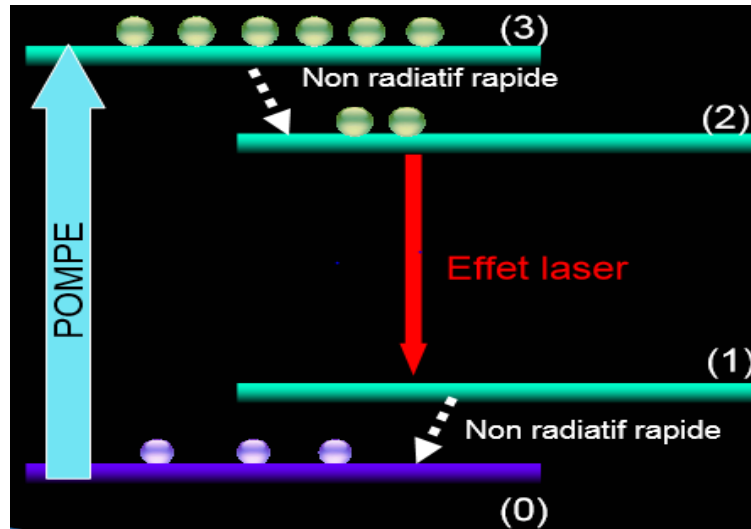


Figure I.12 : Système à 4 niveaux. [14]

L'intérêt majeur du système à 4 niveaux par rapport à celui à 3 niveaux est qu'il n'existe pas de seuil de pompage dans un 4 niveaux, contrairement à un 3 niveaux. En gros, dans un 3 niveaux, il va falloir pomper suffisamment fort pour induire une inversion de population suffisante, qui est "détruite" lors de l'émission stimulée. L'inversion de population et l'émission stimulée sont en compétition directe. Dans un 4 niveaux, ce n'est plus le cas, et le moindre apport d'énergie au milieu amplificateur provoque une inversion de population suffisante pour que le laser fonctionne. [14]

I.7. Mécanismes d'action du laser :

Il est possible de proposer une classification de l'interaction laser-tissu biologique selon quatre types d'effets. Cette distinction dépend du temps d'exposition et, donc, de l'irradiance appliquée (figure I.13).

- **L'effet électromécanique** (action disruptive), qui est obtenu avec des impulsions de 10 Ps à 10 ns et des irradiances de l'ordre de 10^9 à 10^{12} W/cm².
- **L'effet photoablatif**, qui est obtenu avec des impulsions de 10 ns à 100 ns. Dans ce cas, plus que l'irradiance, c'est le domaine spectral qui est important, l'effet photoablatif nécessitant des photons énergétiques (UV).
- **L'effet thermique**, qui est obtenu avec des impulsions de 1 ms à quelques secondes et des irradiances de l'ordre 10^1 à 10^6 W/cm².

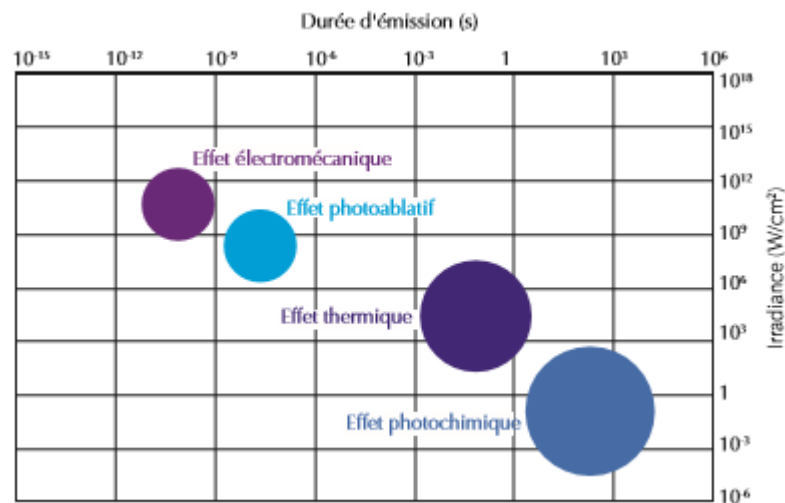


Figure I.13 : Les différents effets obtenus avec les lasers sur les tissus biologiques, en fonction de la durée d'émission du laser et de l'irradiance. [15]

Cette figure fait abstraction de Les différents effets obtenus avec les lasers sur les tissus biologiques, en fonction de la durée d'émission du laser et de l'irradiance.

I.7.1.L'effet électromécanique :

Lorsqu'une impulsion laser très courte (nanoseconde et en dessous) est focalisée sur une cible tissulaire, créant ainsi des irradiances élevées (de l'ordre de 10^9 à 10^{12} W/cm²), il est possible d'obtenir localement des champs électriques importants (10^6 à 10^7 V/m), comparables aux champs atomiques ou intramoléculaires. De tels champs induisent un claquage électrique du matériau de la cible, ayant pour résultat la formation d'un plasma.

L'onde de choc associée à l'expansion du plasma engendre des ondes de pression extrêmement importantes et, par conséquent, une rupture mécanique de la structure tissulaire. Cet effet électromécanique est généralement obtenu avec des lasers Nd : YAG, fonctionnant en mode déclenché (ns) ou en mode bloqué (ps). En médecine, cet effet est utilisé en ophtalmologie pour détruire des membranules de l'œil qui surviennent souvent après l'implantation d'un cristallin artificiel. En dermatologie, on a recours à des lasers fonctionnant en mode déclenché (rubis, alexandrite, Nd : YAG) pour le traitement de lésions pigmentées ou le détatouage. Dans ce dernier cas, le choix de la longueur d'onde dépend de la couleur des encres de tatouage afin d'obtenir une action spécifique.

I.7.2.L'effet photoablatif :

L'effet photoablatif, appelé aussi photodécomposition ablatif, est basé sur l'utilisation de photons présentant une énergie supérieure à l'énergie de liaison des molécules biologiques. En effet, des photons ayant une énergie de l'ordre de 4 eV à 6 eV sont susceptibles de dissocier des liaisons peptidiques ou les liaisons carbone-carbone des chaînes polypeptidiques. Le processus photoablatif consiste ainsi en une dissociation ou une rupture de la matière et en l'expulsion des fragments à une vitesse supersonique. Les lasers émettant dans l'ultraviolet, tels que les lasers à excimères (ArF : 193 nm-6,4 eV ou XeCl : 308 nm-4 eV) ou bien un laser Nd : YAG quadruplé en fréquence (266 nm-4,7 eV), sont bien adaptés à la photoablation. Cet effet est particulièrement utilisé en ophtalmologie pour la chirurgie réfractive de la cornée, qui consiste à en modifier la courbure. Il est ainsi possible de corriger des myopies, des astigmatismes légers à modérés, ainsi que des petites hypermétropies.

I.7.3.L'effet thermique :

L'action thermique constitue aujourd'hui le mécanisme prédominant des applications thérapeutiques des lasers. L'effet thermique des lasers est un processus complexe comprenant trois phénomènes : une conversion de la lumière laser en chaleur, un transfert de chaleur dans le tissu et une réaction tissulaire dépendante de la température. En fonction de la durée du chauffage réalisé et de l'élévation de la température du tissu, on peut obtenir une hyperthermie (élévation de température supérieure à 37 °C ne conduisant pas à une mort cellulaire), ou une coagulation (nécrose irréversible sans destruction tissulaire immédiate), ou une volatilisation d'un volume tissulaire donné. Cet effet est utilisé dans la

plupart des applications médicales des lasers, et tout particulièrement en ophtalmologie (détachement de la rétine), dermatologie (destruction de lésions cutanées), chirurgie, etc.

I.7.4.L'effet photochimique :

L'effet photochimique, plus souvent nommé Photothérapie Dynamique (Photodynamic Therapy : PDT), consiste à sensibiliser électivement une lésion par l'administration d'un photo-sensibilisant, puis à la détruire par une activation lumineuse spécifique de celui-ci. C'est une démarche en deux temps :

- i. l'application ou l'administration d'un photo-sensibilisant qui s'accumule de manière variable, dans un délai de quelques heures à trois jours, dans la lésion à traiter ;
- ii. l'éclairage de la lésion par une lumière de faible intensité, sans effet thermique, dont la longueur d'onde est préférentiellement absorbée par le photo-sensibilisant.

L'excitation de ce dernier initie alors par transfert d'énergie une cascade de réactions finalement cytotoxiques, qui peuvent être de deux types : dans les mécanismes de type I, le photo-sensibilisant va réagir chimiquement avec des molécules en interaction directe. Des réactions d'oxydoréduction conduisent à des espèces radicalaires et, par des processus complexes faisant généralement intervenir l'oxygène, à la dégradation des molécules avoisinantes. Le photo-sensibilisant est le plus souvent détruit au cours de ces réactions. Dans les mécanismes de type II, un transfert d'énergie à l'oxygène amène celui-ci à l'état singulet, $^1\text{O}_2$. Le photo-sensibilisant revient à son état fondamental et il est prêt à une nouvelle collecte d'énergie lumineuse. L'oxygène singulet est une espèce oxydante. Les acides aminés, certaines bases nucléiques et, à un moindre degré, les chaînes lipidiques composant les membranes sont particulièrement sensibles à son action. Les mécanismes de type II sont prépondérants dans le processus photochimique. Le stress oxydatif pourrait être relayé par un mécanisme d'apoptose (1), agissant à la fois sur les membranes cellulaires et sur la mitochondrie.

La présence d'un photo-sensibilisant est requise pour l'obtention d'un effet photochimique. Un photo-sensibilisant est une molécule non toxique pour l'organisme et dénuée d'activité thérapeutique propre. Il est idéalement caractérisé par :

- i) une fixation ou une rétention élective par les cellules cancéreuses ;

- ii) par un (ou parfois plusieurs) pics d'absorption lumineuse. Aujourd'hui, plusieurs photo-sensibilisants disposent de l'AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) et d'autres sont en cours d'évaluation. [15]

I.8.Mécanisme d'interaction des lasers avec la matière vivante :

L'interaction de la lumière avec les tissus biologiques se fait selon grosso-modo quatre processus qui dépendent des propriétés de l'impulsion laser. La figure. Montre la répartition de ces processus en fonction de la durée d'impulsion et de la densité de puissance du faisceau lumineux. Les limites d'utilisation sont données par le taux de fluence qui est le produit de la densité de puissance réellement absorbée par la durée de l'impulsion. Il est intéressant de noter que la densité de puissance et le temps s'étalent sur plusieurs ordres de magnitude, tandis que la gamme de leur produit est nettement plus restreinte. Ce graphique fait abstraction de la distance de pénétration du faisceau laser, qui dépend de la longueur d'onde de la lumière et de la nature du tissu. [16]

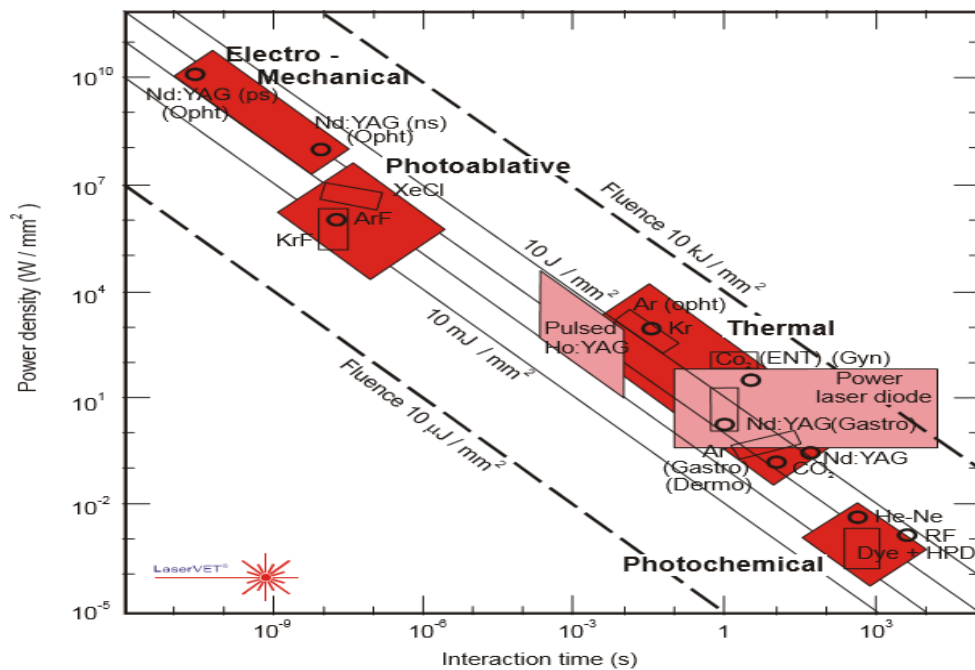


Figure I.14 : Les mécanismes d'interaction. [16]

I.8.1.Mécanismes photochimiques :

Absorption par des molécules spécifiques Pour de faible fluence, il peut y avoir des réactions photochimiques lorsque la lumière est absorbée par des molécules spécifiques. Lorsque l'énergie des photons est suffisamment élevée, lumière UV des lasers Excimer par exemple, il peut y avoir rupture des liaisons chimiques détruisant la molécule. D'autre part,

les molécules peuvent être mises dans un état excité à partir duquel une grande variété de réactions chimiques sont possibles, telles que la génération de radicaux libres ou des oxydations spécifiques. Les lasers Excimer sont basés sur des halogénures de gaz rares et émettent de très courtes impulsions dans l'ultra-violet. On trouve maintenant (2006) des diodes laser UV de faible puissance.

I.8.2. Thérapie photo-dynamique :

On utilise des réactions chimiques provoquées par l'absorption de la lumière à des longueurs d'onde spécifiques pour tuer des cellules. Cette technique a été appliquée initialement en oncologie mais est applicable à d'autres maladies telles que la dégénération maculaire provoquée par la prolifération de nouveaux vaisseaux sanguins dans la rétine.

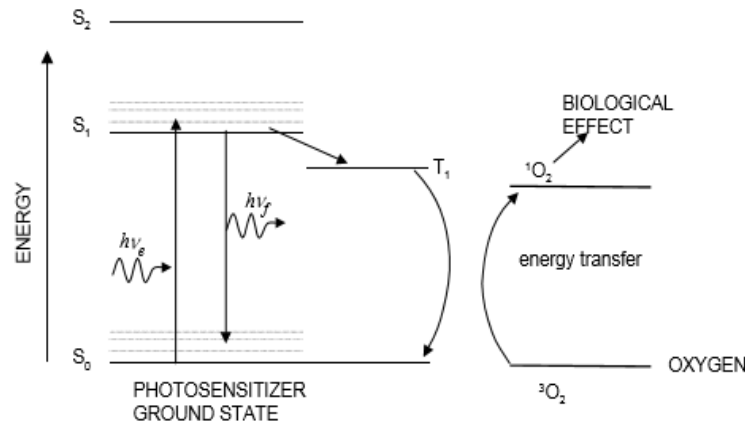


Figure I.15 : Transfert d'énergie à une molécule spécifique. [17]

I.8.3. Effets thermiques :

Dans ce processus, l'effet du laser dépend de l'énergie lumineuse absorbée dans un volume de tissu pendant une période de temps. L'échauffement du tissu biologique dépend de ses propriétés optiques (coefficient d'absorption et coefficient de diffusion qui dévie la lumière en dehors du trajet du rayon laser), et de ses paramètres thermiques (chaleurs spécifiques, conductivité thermiques, etc). C'est le domaine d'application des lasers à diode de puissance Laser VET.

Ces paramètres dépendent de la nature du tissu et de la longueur d'onde de la lumière.

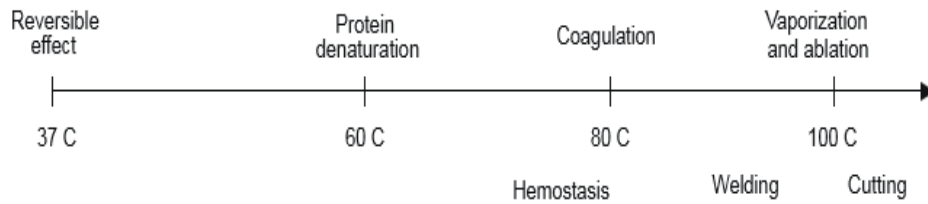


Figure I.16 : Effets obtenus en fonction de l'élévation de la température. [17]

I.8.4. Réactions photo – ablatives :

Absorption initiale par des molécules spécifiques Il y rupture des liaisons chimiques, ce qui détruit la molécule, lorsque l'énergie des photons est suffisamment élevée. On est ici dans le domaine des impulsions de très courte durée, donc de très grande puissance qui provoquent l'abrasion de la matière organique.

I.8.5. Mécanismes photomécaniques :

Lorsqu'on a affaire à des densités de puissances très élevées, des ondes de choc sont générées dans les tissus par des mécanismes tels que l'expansion / la contraction des bulles de vapeur ou la formation de plasma. La propagation de ces ondes mécaniques, ainsi que les effets biologiques sont définis par les propriétés mécaniques des tissus et de l'eau. La matière vivante est ablatée par arrachement, torsion, etc. ou, pour les corps friables, par rupture. [17]

I.9. Les différentes applications du laser :

Les particularités de la lumière laser sont aujourd'hui utilisées pour des applications extrêmement variées. Dans le domaine de l'industrie, on utilise les lasers pour leur puissance et leur précision dans des opérations de marquage, soudage, découpage, perçage ou décapage. Contrairement à des outils classiques, ils ont pour avantage de ne pas s'user.

Ultra puissants et ultrarapides, les lasers sont utilisés par les chercheurs pour étudier la physique à très haute densité d'énergie ou pour étudier les phénomènes de physique à très haute intensité.

En informatique et dans le domaine audiovisuel, les diodes laser permettent la lecture et l'enregistrement des données sur des supports optiques numériques comme les DVD et les CD.

Les lasers sont également employés dans le domaine des Télécommunications via les réseaux de Fibre optique et dans l'imprimerie.

Enfin, les lasers ont de nombreuses applications médicales en ophtalmologie (traitement de la Myopie et de la cataracte), en dermatologie (épilation et dé-tatouage), en dentisterie (soins des gencives et traitement des caries) et en phlébologie (traitement des varices) Cette technique est généralement beaucoup moins traumatisante que les techniques chirurgicales classiques. [18]

Dans le tableau si dessous nous avons un aperçu des nombreuses applications des lasers et certaine de leurs caractéristiques, La dynamique de développement est telle que ces chiffres sont certainement dépassés.

Tableau I-1 : Types de lasers les plus courant et leurs applications. [18]

Type de laser	Longueur d'onde (nm)	Type d'émission	Applications
Lasers à milieu actif gazeux			
Argon(Ar)	488(bleu) ,514(vert)	Continu	Médecine, spectacles, photogravure
Krypton(Kr)	476(bleu) ,528(vert) 568(jaune) ,647 (rouge)	Continu	Holographie, spectroscopie, télémétrie
Hélium Néon(HeNe)	633(rouge)	Continu	Médecine, alignement, construction, pointeur laser, lecteur de code-barres
Dioxyde de carbone(CO ₂)	10600(infrarouge éloigné)	Continuou impulsionnel	Découpage, perçage, marquage, soudage, traitement thermique
Lasers à milieu actif solide			
Rubis	694 (rouge)	Impulsionnel	Microusinage, télémétrie, holographie
YAG : Nd YAG : Nddoublé	1064(infrarouge proche) 532(vert)	Impulsionnel ou continu	Soudage, perçage, nettoyage, gravure
Lasers à milieu actif semi-conducteur (diode lasers)			
GaAs	904(infrarouge)	Train d'impulsions	Communications (transmission delavoixetde données), imprimante laser, lecteurCD,

			détecteur defumée
GaAlAs	840(infrarouge proche)	Train d'impulsions	
Lasers à milieu actif liquide			
Rhodamine6G	Ajustable570-650	Continu	Spectroscopie, recherchebiomédicale, étudesdes matériaux
Lasers excimères			
Fluorure d'argon	193(ultraviolet)	Impulsionnel	Médecine, marquage
Chlorure d'argon	308(ultraviolet)	Impulsionnel	
Fluorure de xénon	351(ultraviolet)	Impulsionnel	

I.10.Utilisation des lasers en toute sécurité :

Pour assurer une utilisation sécurisée et prévenir les dangers et les expositions intempestives aux faisceaux laser, vous devez suivre les mesures de protection suivantes :

- Pour empêcher toute exposition involontaire à l'énergie laser, consultez et observez toujours les précautions de sécurité précisées dans le manuel de l'opérateur avant d'utiliser l'appareil.

- L'appareil laser ne doit être utilisé que par un médecin qualifié.

- N'utilisez jamais un appareil laser si vous pensez qu'il ne fonctionne pas correctement.

- Ne pliez pas les câbles de fibres optiques et ne tirez pas dessus. Lorsque vous les rangez ou les stockez, enroulez les en larges boucles pour ne pas endommager les fibres optiques.

- Toutes les opérations d'entretien et de calibrage d'appareils lasers doivent être faites par des techniciens agréés par le fabricant de l'appareil.

- Lors de traitements au laser, placez une pancarte sur la porte de la salle de traitement pour informer les gens qu'un traitement au laser est en cours et qu'ils ne doivent pas entrer.

- Les rayons laser réfléchis sur des surfaces réfléchissantes peuvent endommager vos yeux, ceux du patient et ceux d'autres personnes. Tout miroir ou objet métallique

susceptible de réfléchir les rayons laser peut constituer un danger de réflexion. Assurez-vous de retirer tout danger de réflexion à proximité du laser. Utilisez autant que possible des instruments non réfléchissants. Faites attention à ne pas diriger involontairement le faisceau laser sur des objets qui ne doivent pas être ciblés.

- Tout le personnel se trouvant dans la zone de traitement doit porter des lunettes de protection laser adéquates, conçues pour filtrer la longueur d'onde et la puissance spécifiques du laser utilisé. Le choix des lunettes de protection est dicté par l'Exposition maximale permise (EMP), la Zone nominale de danger oculaire (ZNDO) et la Distance nominale de danger oculaire (DNDO) de chaque appareil de transmission utilisé avec le système laser, ainsi que par la configuration de la salle de traitement. Pour des informations complémentaires, consultez le manuel de l'utilisateur de l'appareil laser ainsi que les normes et directives internationales sur l'utilisation des lasers.

- Des filtres de sécurité (Figure I.17) protègent le médecin des rayons laser rétrodiffusés. Des filtres de sécurité oculaire intégraux doivent être installés de façon définitive sur toute lampe à fente et ophtalmoscope indirect utilisés pour le traitement laser. En cas d'endophotocoagulation au laser ou d'utilisation avec un microscope opératoire, il faut installer un filtre de sécurité oculaire séparé sur chaque visée du microscope opératoire. Tous les filtres de sécurité oculaire ont une densité optique (DO) à la longueur d'onde du laser qui est suffisante pour permettre à l'utilisateur de visionner à long terme la lumière laser diffuse. [20]

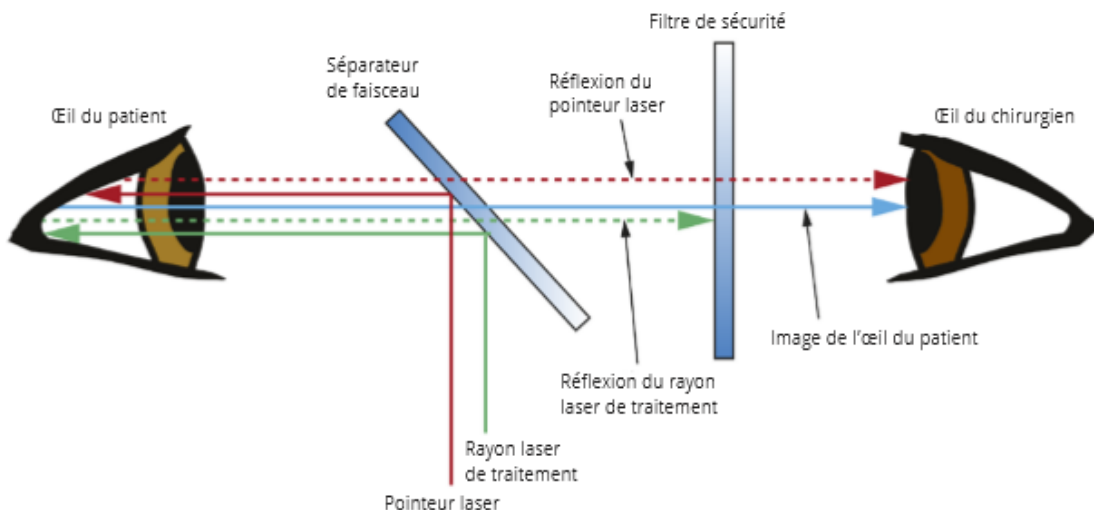


Figure I.17 : Positionnement d'un filtre de sécurité. [20]

I.11.L'essentiel en sécurité laser :

I.11.1.L'essentiel en sécurité laser (1) :

Lorsque l'on travaille sur un laser de classe supérieure à 1, il faut obligatoirement:

Avoir la maîtrise du faisceau laser, de la source au détecteur. C'est à dire qu'il est impératif :

- Que tout objet réfléchissant et partiellement réfléchissant doit être solidement fixé.
- De connaître parfaitement son expérience et ainsi localiser parfaitement le trajet du faisceau laser lors de sa propagation. Cette connaissance permet en même temps de repérer les réflexions parasites et de les bloquer (En utilisant des bloqueurs absorbants et non réfléchissants).
- De bloquer le faisceau, il faut au maximum éviter les réflexions diffuses en utilisant par exemple un morceau de carton pour bloquer le faisceau laser puissant. [7]

I.11.2.L'essentiel en sécurité laser (2) :

L'expérimentateur doit prendre ses précautions.

C'est à dire :

- Qu'il doit régler son expérience à faible puissance.
- Qu'il ne doit jamais mettre ses yeux dans l'axe de propagation des faisceaux laser.
- De toujours travailler nu de tout objet réfléchissant tel qu'une montre, un bracelet, une alliance...
- De toujours travailler dans une pièce minimalement éclairée pour ne jamais avoir sa pupille totalement ouverte.
- Et bien sur de toujours porter ses lunettes de protection adaptées dès que le risque existe. [7]

CHAPITRE II

LES DIFFERENTS

TYPES DE LAERS

Introduction :

Les lasers sont classés selon la nature du milieu amplificateur : gazeux, liquide (colorant) ou solide. Le but de cette partie est de faire un tour d'horizon rapide des principales familles de lasers dans une perspective d'utilisation.

- Les lasers à milieu solide sont pompés par de la lumière émise soit par une lampe flash, soit par une diode.
- Les lasers à milieu gazeux sont pompés par décharge électrique H.T. ou par excitation électrique haute fréquence.
- Les lasers à colorant utilisent l'émission de fluorescence de colorants organiques excités par une lumière. Il existe deux types de lasers médicaux à colorant :
- les lasers pompés par une lampe flash qui émettent des impulsions de quelques joules d'une durée allant de la micro à la milli seconde avec une fréquence de répétition faible (quelques hertz). Leur longueur d'onde est fixe dans le bleu (504 nm) ou le jaune (585 nm),
- les lasers pompés par un autre laser, qui émettent en continu et dont la longueur d'onde peut varier dans une gamme limitée du spectre (le jaune ou le rouge). [16]

II.1. Les différents types de lasers :

II.1.1. Laser à colorant :

Les lasers à colorant utilisent des molécules organiques émettant en général dans le visible (d'où leur nom de colorant). Ces molécules sont diluées dans un solvant (en général alcoolique, comme l'éthylène glycol ou le méthanol). Le pompage des lasers à colorant est optique : soit par des lampes à arc, soit, dans la majorité des cas par d'autres lasers (lasers à gaz ou laser à solide). Le spectre couvert est l'intégralité du visible. En effet, les colorants sont des molécules organiques complexes qui possèdent une multitude de niveaux d'énergie. Les niveaux sont tellement serrés qu'on parle plutôt de bande d'énergie. Une molécule de colorant couvre en général en continue une région du visible de l'ordre d'une cinquantaine de nanomètres.

Les lasers à colorant sont les seuls lasers à couvrir entièrement le spectre visible. Malgré ces propriétés intéressantes, les lasers à colorant sont peu utilisés car leur mise en œuvre est lourde : pour éviter de détruire les molécules à cause du pompage, le colorant

circule dans la zone de pompage à partir d'un réservoir. De plus, le mélange colorant + solvant se dégrade dans le temps et doit être changé régulièrement. [21]

II.1.2. Les lasers à gaz :

Ont pour point commun de partager la même source de pompage : l'électricité. Les espèces gazeuses sont portées dans l'état excité de façon directe par collision avec des électrons ou de façon indirecte par collision avec d'autres gaz, eux-mêmes excités électriquement.

Les lasers à gaz couvrent tout le spectre optique, depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge lointain. Cependant, le spectre n'est pas couvert continûment : les lasers à gaz émettent des raies très fines spectralement.

Parmi les lasers à gaz les plus courants, on trouve (de l'UV à l'IR lointain) :

- les excimères (ArF : 193 nm, KrF : 249 nm, XeCl : 308 nm)
- laser à argon ionisé (raies dans le bleu et le vert)
- laser hélium néon (c'est le néon qui est utilisé pour l'effet laser) 632,8 nm, 543,3 nm, 1,15 μm , 3,39 μm .
- laser CO₂ : très nombreuses raies autour de 9,6 μm et 10,6 μm

Les lasers à CO₂ sont les seuls à être vraiment efficaces (rendement de 15 % à 20 %). Ils sont utilisés dans l'industrie pour le traitement des matériaux. Quand aux autres, le rendement est largement inférieur à 1%.

Les lasers à gaz sont souvent des lasers encombrants et nécessitant un refroidissement par eau important (quasiment toute l'énergie apportée par le pompage part en chaleur). Même si les lasers à gaz dans le visible (Argon, Hélium Néon) tendent à être remplacés par des lasers à solides, les lasers à excimères et les lasers CO₂ restent très utilisés (traitement des matériaux au sens large). [22]

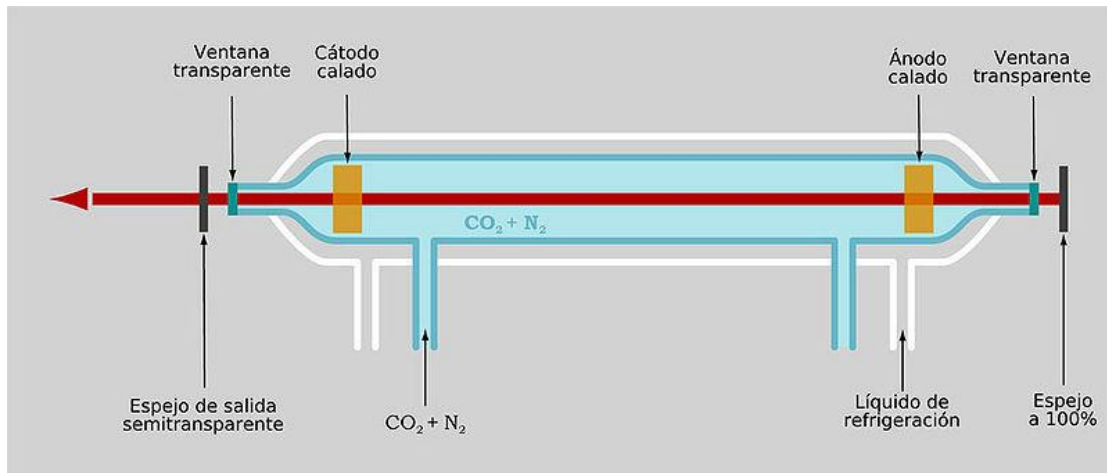


Figure II.1 : Schéma d'un laser au dioxyde de carbone CO₂. [22]

II.1.3.Laser à solide :

Dans les lasers à solides, on distingue les lasers à semi-conducteur (ou diodes laser) pompées électriquement, des solides à matrice cristalline ou vitreuse, pompés optiquement.

II.1.3.1.Diode laser :

Les diodes lasers utilisent les recombinaisons entre les paires "électron-trou" existant dans les semi-conducteurs pour émettre de la lumière sous forme d'émission stimulée. Le pompage est électrique avec un rendement qui peut atteindre 60%. Selon les matériaux choisis (GaN, GaAlInP, AlGaAs,) les longueurs d'onde peuvent couvrir du proche UV à l'infrarouge proche. Ce sont les lasers les plus compacts (la cavité utilise les faces clivées du semi-conducteur et mesure à peine 1mm de longueur) et les plus efficaces qui existent. La puissance peut maintenant atteindre plusieurs kilowatts en associant des centaines de diodes lasers et en les combinant dans une même fibre optique. Les seuls défauts des diodes laser sont la mauvaise qualité spatiale du faisceau émis et l'impossibilité de fonctionner en régime déclenché (à cause d'un débit d'émission spontanée trop important).

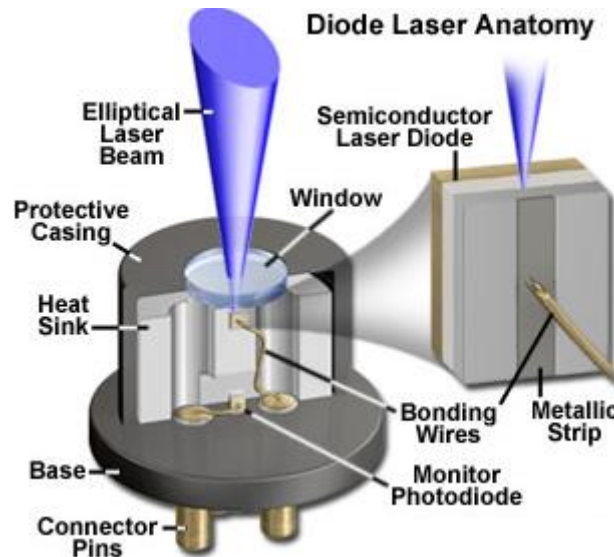


Figure II.2 : Structure interne d'une diode laser. [23]

II.1.3.2. Les autres lasers à solides :

Les autres lasers à solide vont pouvoir pallier les défauts des diodes lasers. Ils utilisent des matrices non conductrices de courant et ne peuvent donc pas être pompés électriquement. Ils sont pompés optiquement par des diodes lasers ou par des lampes à arc (flash). Les matrices sont dopées avec des ions dont on utilise les transitions pour réaliser l'effet laser (Nd^{3+} , Yb^{3+} , Er^{3+} , Ti^{3+} ...).

Les lasers à solide émettent en général dans le rouge et l'infrarouge proche. On notera en particulier la longueur d'onde du Nd^{3+} : YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) qui est un grenat d'aluminium et d'yttrium émettant principalement à 1064 nm. Suivant l'ion et la matrice utilisés, les bandes d'émissions peuvent être étroites ou larges. Le record appartenant au saphir dopé au titane (Ti^{3+} : Al_2O_3), pouvant émettre entre 700 nm et 1100 nm. Grâce à l'optique non linéaire, il est possible de convertir la longueur d'onde des lasers à solide dans le visible et dans l'ultraviolet. En fait, lorsque les champs électriques sont très intenses, comme c'est le cas pour les ondes lasers, la matière ne répond pas linéairement à l'excitation électromagnétique de la lumière. Elle répond en émettant de nouvelles fréquences. La Figure II-3 montre qu'il est possible de générer de nouvelles fréquences dans une cuve d'eau si le laser est suffisamment intense.

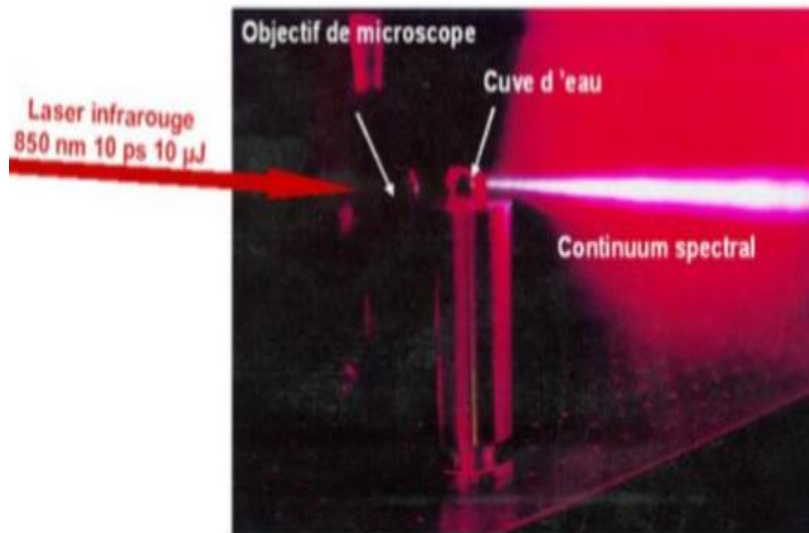


Figure II.3 : Effet non linéaire (fréquence en continue) avec un laser émettant des impulsions picosecondes focalisées dans l'eau a un diamètre de quelques microns. [23]

La Figure II.4 donne un autre exemple d'effet non linéaire créé dans une fibre optique standard lorsque la densité de puissance crête dépasse le GW/cm^2 : un faisceau de couleur verte (532 nm) est injecté dans la fibre. De nouvelles fréquences sont générées dans l'orange et dans le rouge par effet Raman.

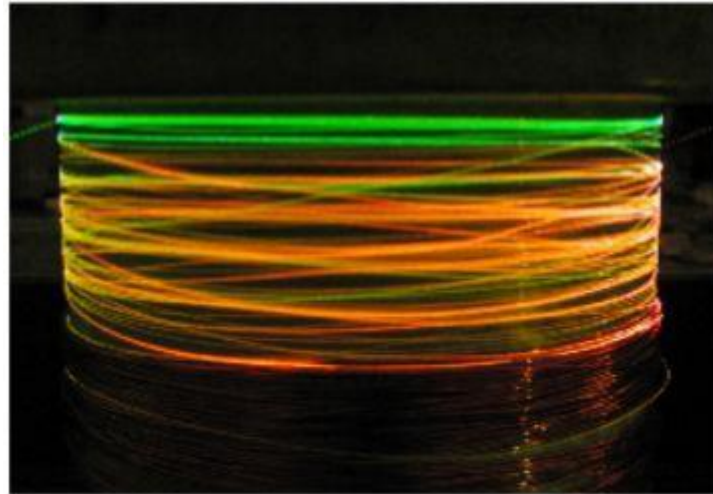


Figure II.4 : Effet non linéaire dans une fibre optique. [23]

Les effets non linéaires sont plus ou moins importants selon la nature des matériaux. Pour favoriser cet effet on utilise des cristaux dit non linéaires. La Figure II.5 donne un autre exemple de génération de fréquences dans le visible à partir cette fois d'un cristal non linéaire. L'effet non linéaire le plus utilisé est le doublement de fréquence, en particulier pour la conversion 1064 nm (laser Nd : YAG) \rightarrow 532 nm (émission dans le vert).



Figure II.5 : Génération de fréquences visibles dans un cristal non linéaire. [23]

Les lasers à solides se différencient entre eux par la géométrie des milieux amplificateur : on trouve des milieux massifs (en général des cristaux) de dimensions millimétriques et des fibres optiques dont la longueur peut atteindre quelques mètres. Les lasers à solides pompés par diode, et en particulier les lasers à fibre, sont extrêmement robustes et possèdent des durées de vie supérieures à 10 000 heures. Ils sont très appréciés pour les applications industrielles (soudure, marquage...). Leurs compacités sont un atout supplémentaire. [23]

II.2. Les types des lasers utilisés en ophtalmologie :

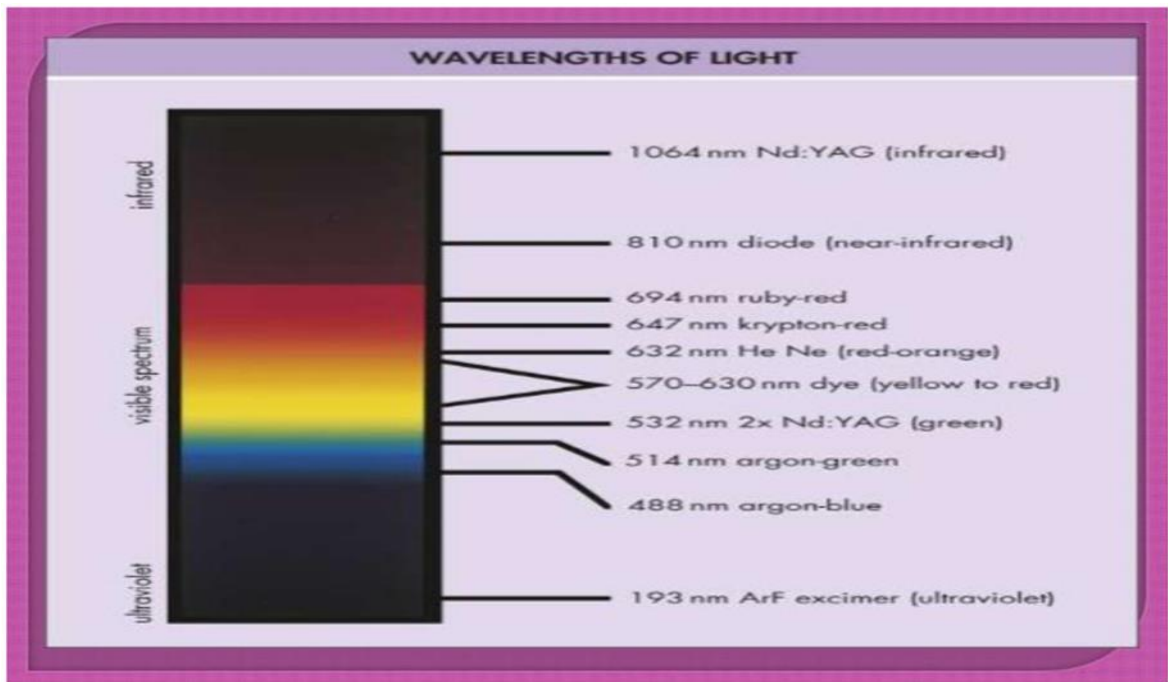


Figure II.6 : Types des lasers utilisés en ophtalmologie. [24]

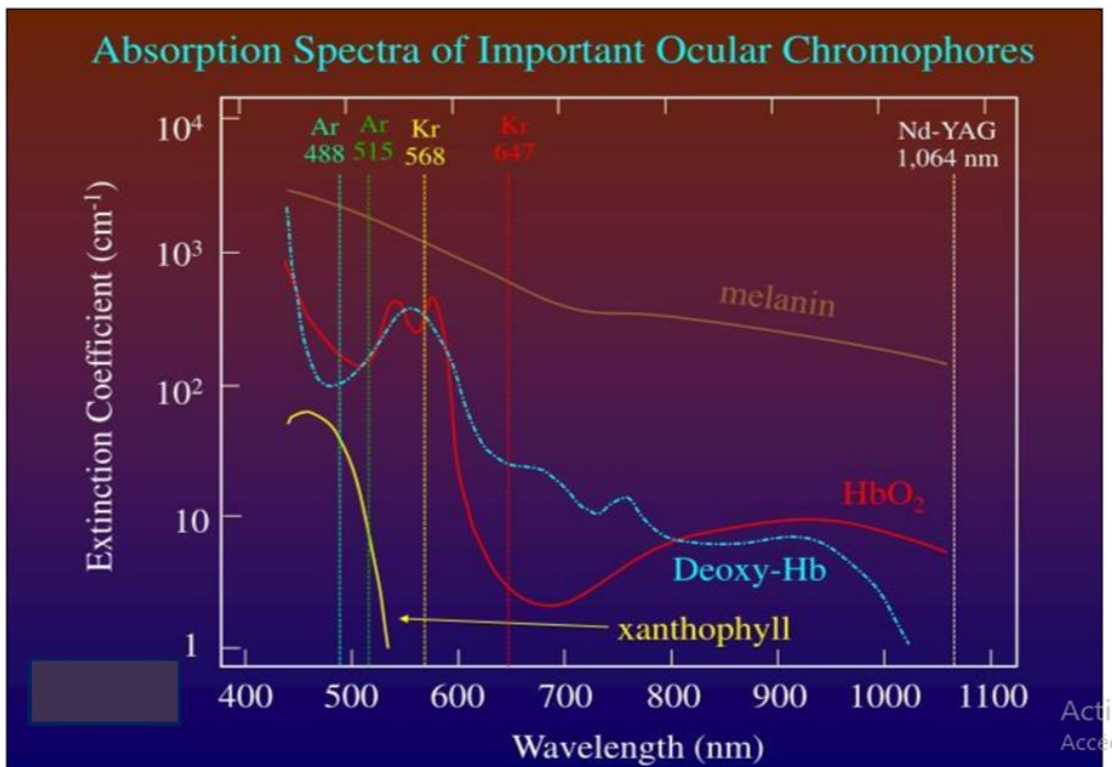


Figure II.7 : Spectres d'absorption des chromophores oculaires importants. [24]

II.2.1.LASER Nd : YAG :

II.2.1.1.Définition :

Le Laser Nd-YAG (Néodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet) est un laser à matrice solide émettant une lumière avec une longueur d'onde de 1064 nm. [25]

Un cristal contenant du néodyme génère ce LASER. Cela produit une lumière de 1064 nm qui se situe dans la gamme infrarouge. Cette lumière est utilisée pour produire une photoperturbation dans l'œil pour le traitement de conditions telles que :

- Glaucome aigu à angle fermé.
- Opacification capsulaire postérieure après chirurgie de la cataracte. [24]

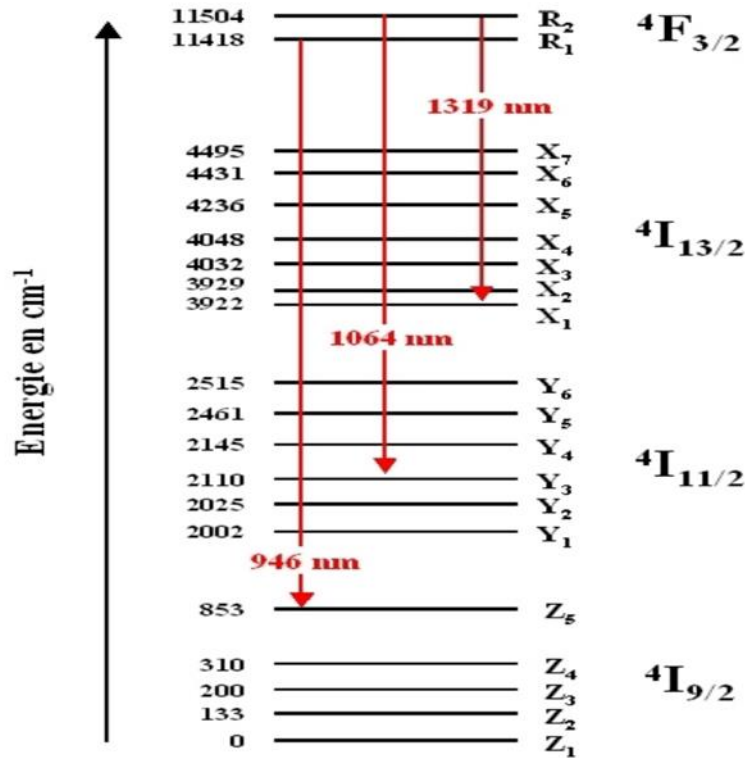


Figure II.8 : Différents niveaux de l'ion néodyme. (Il existe également des niveaux d'énergie plus élevées non représentés qui ne participent pas à l'émission laser). [26]

II.2.1.2.Principe de fonctionnement :

Le Laser YAG est composé d'un solide : un cristal d'yttrium-aluminium (milieu d'amplification de la source laser) dopé au néodyme, qui permet d'exciter les ions.

La source laser est générée comme dans un laser ordinaire, grâce à un système de réflexion de la lumière sur des miroirs qui permettent d'amplifier le faisceau d'énergie.

Il existe plusieurs types de lasers qui génèrent des énergies variables utilisés pour des applications différentes :

- **Laser photocoagulateur (1064 nm, un nm étant égale à 10^{-9} m) :**

Le faisceau laser généré est invisible à l'œil nu car il fait partie du domaine de l'infrarouge (1064 nm). La présence de deux diodes laser rouge (635 nm), coaxiales au faisceau, est nécessaire pour visualiser le point cible du faisceau. Ce laser fait partie des lasers YAG « continus », qui émettent continuellement le faisceau laser. Il est utilisé pour traiter le fond de l'œil. En effet, il n'est absorbé que par la rétine et quand cela se produit, il y a une génération de chaleur qui entraîne une photocoagulation des tissus (la température doit être au moins de 70°C). La profondeur de la zone de coagulation varie en fonction de la longueur d'onde utilisée. L'opérateur observe cette intervention à l'aide d'une lampe à fente ou d'un ophtalmoscope binoculaire indirect.

- **Laser photocoagulateur multicolore :**

Ces lasers donnent la possibilité d'utiliser les couleurs jaune, rouge et verte qui correspondent à trois longueurs d'ondes différentes : respectivement 577 nm, 660 nm et 532 nm. La longueur d'onde 532 nm est obtenue en doublant la fréquence du laser Nd-YAG de longueur d'onde égale à 1064 nm, les deux autres fréquences (577 nm, 647 nm) sont obtenues grâce à d'autres technologies. Chaque couleur possède ses avantages et ses inconvénients, ce qui permet de traiter différentes pathologies comme la rétinopathie diabétique par exemple. La longueur d'onde 532nm étant la plus polyvalente, c'est aussi le laser le plus utilisé.

- **Laser photodisrupteur (532 nm) :**

Ce laser fait partie des lasers YAG « pulsés ». En effet, il ne génère pas de faisceau laser en continu : lorsque l'énergie contenue dans le milieu amplificateur devient assez forte, le faisceau laser est émis durant une durée brève (moins de 10 nanosecondes). Ce faisceau laser a une énergie plus importante que le laser YAG « continu ». L'énergie concentrée en un point crée un plasma (ensemble de particules chargées). Son expansion et son réchauffement créent des ondes de choc qui détruisent les tissus fins visés. Le plasma permet de protéger les tissus qui se trouvent derrière le point cible. En ophtalmologie, ce type de laser est principalement utilisé pour traiter l'iris (iridectomie) et le cristallin (capsulotomie) qui sont des zones situées du côté externe de l'œil. En outre, il est aussi

utilisé pour traiter la zone externe de la peau, comme l'ablation de tatouages ou de taches pigmentaires. [27]

II.2.1.3. Application laser Nd : YAG :

- Corriger l'opacification capsulaire postérieure.
- Iridotomie périphérique chez les patients atteints de glaucome à angle fermé.
- Trabéculoplastie au laser dans le glaucome à angle ouvert.
- ND à fréquence doublée : les lasers YAG (longueur d'onde 532nm) sont utilisés pour la photocoagulation pan-rétinienne chez les patients atteints de rétinopathie diabétique. [24]

II.2.1.4. L'utilisation de laser Nd : YAG :

Il s'agit d'un laser photodisruptif. La photodisruption peut être considérée comme une alternative à la chirurgie pour découper (par un mécanisme de rupture) des tissus. Elle est basée sur l'utilisation d'un laser infra-rouge qui va créer des ondes de choc. Au contact du tissu cette onde va « vaporiser » le tissu. Le laser YAG est utilisé la plupart du temps pour réaliser des capsulotomies postérieures (ouverture de la capsule postérieure après une chirurgie de cataracte). En effet quelques mois ou après années le sac capsulaire contenant l'implant peut s'opacifier et la vision diminuer. La procédure est très simple sans risque et ne prend que quelques minutes en consultation.

Une autre utilisation du laser YAG est la réalisation d'iridotomie périphérique au laser. Dans certaines configurations anatomiques oculaires il existe un risque de glaucome aigu par fermeture de l'angle irido-cornéen. Pour prévenir l'apparition de cette pathologie il est nécessaire d'être dépisté et consulter régulièrement un ophtalmologiste qui pourra réaliser une intervention laser à titre préventif. Le but de ce traitement est de réaliser un « trou » (iridotomie) en périphérie de l'iris afin d'empêcher le blocage de l'angle et de toujours laisser une voie de sortie à l'humeur aqueuse. [28]

II.2.1.5. Présentation des niveaux d'énergie de l'ion néodyme :

L'ion néodyme (Nd^{3+}) dans la matrice de YAG ($Y_3Al_5O_{12}$), grenat d'yttrium et d'aluminium) possède une multitude de niveaux qui peuvent donner différentes transitions

laser. La Figure II-08 repère les niveaux d'énergie en nombre d'onde σ exprimés par convention en cm^{-1} .

Les niveaux d'énergie de l'ion Nd^{3+} sont repérés par un ensemble de lettres et de chiffres qui donnent les nombres quantiques associés aux différentes composantes : la lettre correspond au nombre quantique orbital, le chiffre en exposant donne le nombre quantique de spin et la fraction en indice le nombre quantique angulaire. A cause du champ cristallin (effet Stark), les niveaux d'énergie sont éclatés en sous niveaux qui sont repérés par des lettres indicées (Z1...R2).

Le niveau $4F_{3/2}$ est le seul dans lequel les ions néodyme restent longtemps. Le temps de vie de ce niveau est de l'ordre de 230 μs alors qu'il est inférieur à la nanoseconde sur les autres niveaux. Les ions vont donc s'accumuler dans ce niveau et peuvent en descendre par émission stimulée intense.

Le temps de vie d'un atome dans un niveau donne le temps moyen de présence dans ce niveau avant désexcitation. On peut montrer que si la population du niveau est N_0 à $t=0\text{s}$, elle vaut :

$$N_t = N_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (\text{II.1})$$

A l'instant t , avec τ le temps de vie.

La Figure II-11 montre une multitude de niveaux d'énergie et donc une multitude de possibilités d'émission et de transitions laser à partir du niveau $4F_{3/2}$. Les flèches en rouge donnent les longueurs d'onde sur les transitions lasers les plus utilisées : 1064 nm correspond à la transition qui a la probabilité d'émission stimulée la plus grande. Il existe également une raie dans l'infrarouge plus lointain vers 1320 nm. Enfin, le Nd : YAG possède aussi une transition assez efficace dans l'infrarouge proche, à 946 nm. [26]

II.2.2.Laser a argon :

II.2.2.1.Définition :

Le laser Argon est un laser photo coagulateur de la rétine. Cela veut dire que l'énergie qu'il délivre sert à cautériser la rétine afin de traiter les zones malades : **déchirure** de rétine, **rétinopathie diabétique**, **occlusion veineuse**,... Les séances de laser se déroulent au cabinet. La pupille est préalablement dilatée afin d'observer le fond d'œil. Quelques minutes avant le laser, un anesthésique en goutte permet de rendre la procédure quasi indolore. [29]

Le laser argon émet un rayonnement de longueur d'onde bleu-vert absorbé par les cellules situées sous la rétine et par l'hémoglobine du sang. Ces rayons de longueur d'onde bleu-vert peuvent traverser le fluide à l'intérieur de l'œil sans provoquer de lésions. C'est pourquoi le laser argon est largement utilisé dans le traitement de la rétinopathie diabétique. Le laser argon peut brûler et cautériser les vaisseaux sanguins qui fuient : c'est ce qu'on appelle la photocoagulation. [30]



Figure II.9 : Représentation laser a argon (clinique ophtalmologie Dr.cheddadi.annaba).

II.2.2.2.Principe de fonctionnement :

La **photocoagulation laser** utilise l'énergie lumineuse pour coaguler les tissus.

Une fois l'énergie lumineuse transmise à la rétine, elle se transforme en énergie thermique et la température des tissus s'élève au-dessus de 65°C provoquant la dénaturation des protéines tissulaires.

L'efficacité de la photocoagulation dépend de la transmission de la lumière à travers les tissus oculaires et l'absorption de cette lumière par le pigment dans le tissu cible.

La lumière est absorbée principalement par les tissus oculaires qui contiennent de la mélanine, de la xanthophylle ou de l'hémoglobine.

De nouvelles technologies ont conduit à des systèmes innovants.

Dans les avancées les plus récentes, **on trouve le laser multispots**. Avec ce laser à impacts multiples, une seule impulsion sur la pédale provoque une salve d'impacts qui suivent un schéma de tirs groupés prédéterminés (pattern).

Les spots ont un temps d'exposition ultra-court (20 à 50 millisecondes), une haute intensité, et se succèdent très rapidement. [31]

II.2.2.3. Application Laser a argon :

- souder la rétine décollée à la choroïde sous-jacente.
- Certaines formes de glaucome peuvent également être traitées avec des lasers argon. Par exemple, en cas de glaucome par fermeture de l'angle, on peut utiliser un laser argon pour créer un petit orifice dans l'iris pour permettre à l'humeur aqueuse de mieux circuler à l'intérieur de l'œil et réduire ainsi la pression intraoculaire.
- détruire les vaisseaux sanguins anormaux pour empêcher que la vision centrale ne soit endommagée par des hémorragies ou la formation de tissu cicatriciel. [32]
- le traitement de la rétinopathie diabétique
- la prévention du décollement de la rétine
- le traitement des déchirures non soulevées (avant le stade du décollement)
- le traitement de certains glaucomes (Glaucome néovasculaire). [33]

II.2.2.4.L'utilisation de laser a argon :

Il s'agit d'un laser qui va utiliser l'énergie lumineuse pour coaguler les tissus et non les découper comme un laser photodisruptif. La thermocoagulation va provoquer une destruction tissulaire.

Ce laser est principalement utilisé pour certains traitements de la rétine avec en premier lieu le traitement de la rétinopathie diabétique. En effet dans cette maladie la rétine endommagée par la capillaropathie diabétique n'est plus fonctionnelle et même nocive (cf œil et diabète), il est nécessaire de la détruire par thermocoagulation afin de prévenir des complications plus graves. Evidemment seules certaines zones de la rétine sont détruites pour ne pas avoir de retentissement sur la vision.

Une autre application est le cerclage de déchirures rétiniennes. Au cours de la vie peuvent survenir des déchirures rétiniennes qui, si elles ne sont pas traitées, peuvent conduire à un décollement de rétine. Afin de prévenir cette évolution la déchirure peut être

encerclée par des impacts réalisés au laser argon. Un cerclage complet et bien cicatrisé protège du risque de décollement de la rétine.

Il peut également être utilisé pour réaliser une trabéculoplastie au laser argon pour le traitement d'un glaucome chronique à angle ouvert. Dans tous les cas ces traitements sont réalisés au cabinet en consultation. [28]

II.2.3.Laser SLT :

II.2.3.1.Définition :

La Trabéculoplastie Sélective au Laser (S.L.T.) est un traitement qui consiste à diriger un faisceau laser sur le trabéculum qui est le canal d'élimination de l'humeur aqueuse. [34]

Le SLT (Selective Laser Trabeculoplasty ou Trabéculoplastie sélective au laser) est une technique permettant de réaliser une plastie (c'est à dire une modification de la structure, ou un remodelage) du trabéculum (qui est la zone d'élimination de l'humeur aqueuse). Le SLT est un laser indiqué dans le traitement de l'hypertonie oculaire (élévation de la pression à l'intérieur de l'œil) et du glaucome à différents stades de la maladie. [35]

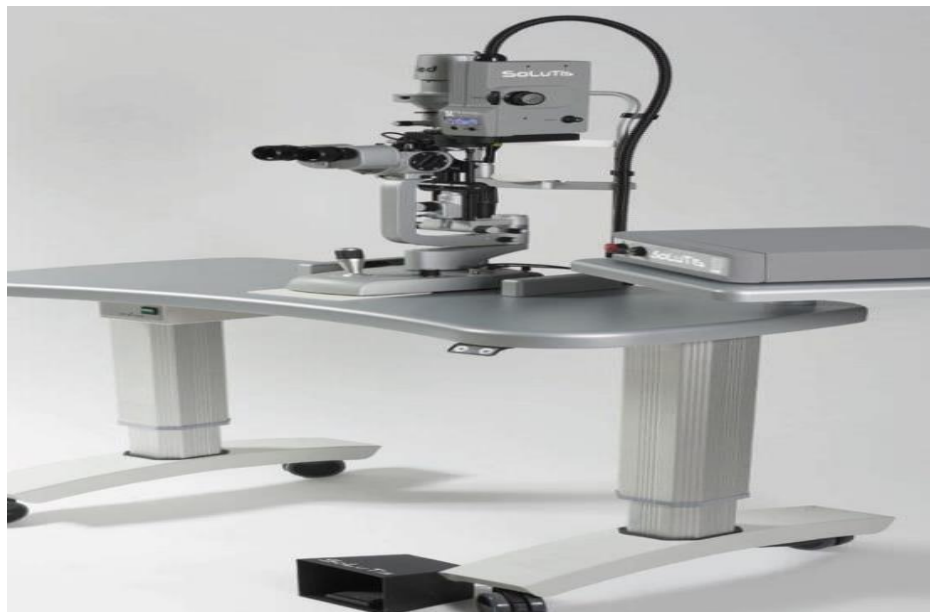


Figure II.10 : Représentation laser SLT. [36]

II.2.3.2.Principe de Fonctionnement du laser SLT :

L'œil est rempli d'un liquide, l'humeur aqueuse, qui est produite en permanence par l'œil au niveau des corps ciliaires en arrière de l'iris (le « robinet de l'œil »). L'élimination de ce liquide s'effectue par le trabéculum, sorte de « grille d'évacuation », située entre la racine de l'iris et la cornée. Dans certaines pathologies, comme le glaucome chronique à

angle ouvert, le trabéculum est encrassé, et ne permet plus d'évacuer correctement l'humeur aqueuse. Il existe donc un déséquilibre entre production et élimination, ce qui crée une élévation de la pression intra oculaire (ou hypertonie), pouvant engendrer à long terme **un glaucome.**

Le SLT est une technique utilisant un **laser Nd : YAG** à double fréquence (532 nm) qui cible spécifiquement les cellules pigmentées du trabéculum, tout en préservant son intégrité structurelle. Via un élargissement mécanique des mailles du trabéculum et des modifications biochimiques locales, le SLT permet d'obtenir une réduction de la pression intra-oculaire (PIO) par amélioration de la résorption de l'humeur aqueuse. C'est une technique efficace, qui peut être proposée à tout moment de la prise en charge d'un glaucome, aussi bien en première intention, que lors de la prise en charge d'un glaucome déjà opéré. [37]

II.2.3.3.L'utilisation de laser SLT :

Le laser SLT (selective laser trabeculoplasty) est un laser utilisé exclusivement dans le traitement du glaucome chronique à angle ouvert. Des impacts de laser sont envoyés sur le trabéculum afin de stimuler son action et d'augmenter l'excrétion d'humeur aqueuse. Ainsi il permet une diminution de la pression intraoculaire sans collyres hypotonisants. [28]

II.2.4.Le laser excimer :

II.2.4.1.Définition :

Les lasers excimer (à excimères) occupent une place importante dans le paysage des lasers et en chirurgie réfractive : ce sont les lasers de choix pour émettre un rayonnement de forte puissance dans de courtes longueurs d'onde comme l'ultraviolet. Les photons situés dans cette plage ultraviolette sont plus énergétiques que les photons infra-rouges ou du spectre visible et de fait, ils peuvent produire des effets particuliers, comme la photoablation de la cornée en chirurgie de la myopie et des autres défauts oculaires.

Le laser excimer a révolutionné la chirurgie réfractive, car il a apporté à cette discipline un gain majeur en terme de précision et d'innocuité. Les techniques de chirurgie réfractive cornéenne au laser excimer (LASIK et PKR) dominent avec suprématie le paysage de la correction chirurgicale des défauts visuels comme la myopie, l'hypermétropie ou l'astigmatisme. L'utilisation du laser excimer est ainsi incontournable pour un chirurgien réfractif. Le femto-LASIK repose sur l'utilisation successive d'un laser femtoseconde et d'un laser excimer. [38]



Figure II.11 : représentation laser excimer. [39]

II.2.4.2.Principe de fonctionnement du laser excimer :

Le laser Excimer fonctionne grâce à des rayonnements de courtes longueurs d'ondes à très forte puissance. L'élimination du tissu cornéen se fait ainsi grâce à un procédé de photo-ablation. Commandé par ordinateur, ce laser offre une excellente précision pour le remodelage de la cornée, sans endommager les tissus. Il est également utilisé pour :

- la photokératectomie réfractive : remodelage de la cornée dans le cadre d'une correction réfractive ;
- la photokératectomie thérapeutique : élimination de tissu cornéen endommagé. [37]

II.2.4.3.L'utilisation du laser excimer :

Il s'agit d'un laser photoablatif dont le but est de pulvériser du tissu cornéen, ainsi le volume cornéen après traitement diminue. L'application principale de ce laser est la correction d'amétropies (défauts optiques) : myopie, astigmatisme, hypermétropie, presbytie. On parle de photokératectomie réfractive.

Du tissu est enlevé à un endroit donné pour modifier la courbure cornéenne en la diminuant (correction de la myopie) ou en l'augmentant (hypermétropie, presbytie). La correction de l'astigmatisme est réalisée en diminuant la différence de courbure entre axe bombé et axe plat. Les lasers excimers de dernière génération que nous utilisons sont

associés à un système « d'eye tracker » qui suit les mouvements oculaires physiologiques de quelques millimètres pendant la procédure, garantissant un très bon résultat réfractif.

Ce laser peut aussi être utilisé dans le traitement des dystrophies épithéliales de la cornée qui provoquent des ulcères cornéens à répétition, on parle dans ce cas de photokératectomie thérapeutique.

Une autre application est le traitement des taies cornéennes qui sont des cicatrices opaques qui diminuent la vision en raison d'une perte de transparence de la cornée. Dans ce cas le laser pulvérise le tissu opaque pour que la cornée retrouve sa transparence. [28]

II.2.5. Le laser Excimer de surface ou Traitement PKR :

Le traitement PKR (PhotoKératectomie à visée Réfractive) est une technique utilisée en chirurgie réfractive (opération des troubles de la vue) qui permet d'agir directement sur la cornée sans avoir à la découper. En modifiant la forme de la cornée, on peut corriger l'astigmatisme, la myopie et l'hypermétropie.

La technique PKR est principalement utilisée pour les personnes présentant un défaut visuel faible avec une cornée fine. Particulièrement efficace, cette méthode présente d'excellents résultats. Non-invasive, l'opération est peu douloureuse et présente de nombreux avantages :

- cette technique est moins onéreuse qu'une opération au laser LASIK,
- elle peut être réalisée même si la cornée est fine,
- les risques d'ectasie cornéenne (déformation de la cornée) sont quasiment nuls,
- les complications mécaniques liées à l'utilisation d'une lame sont inexistantes puisqu'il n'y a pas de découpe mécanique du capot cornéen,
- cette technique présente d'excellents résultats pour les troubles faibles et moyens (en dessous de 3 dioptries),
- il est parfois possible d'opérer les deux yeux en même temps.

Il existe cependant quelques inconvénients à l'utilisation de cette technique :

- elle ne permet pas de traiter les fortes myopies (supérieures à 7 dioptries) ni les hypermétropies et les astigmatismes forts (supérieurs à 4 dioptries),
- des douleurs postopératoires peuvent être ressenties : rougeurs, forts larmoiements, voile cornéen (appelé haze),

- une récupération visuelle assez lente : une à trois semaines en moyenne,
- une possible régression du résultat à cause des phénomènes cicatriciels. Elle peut entraîner le besoin de porter des lunettes dans certaines situations ou nécessiter la réalisation de retouche. [37]

II.2.6. Le laser Excimer associé au laser Femtoseconde dans le traitement LASIK :

La technique LASIK (Laser Assisted In-Situ Keratomileusis) est une association des lasers Excimer et Femtoseconde. Le laser Femtoseconde permet la découpe du capot à la surface de la cornée, le laser Excimer change la forme de la cornée pour corriger le trouble visuel. Utilisée pour corriger une myopie, un astigmatisme ou une hypermétropie, cette technique est préconisée dans le traitement des troubles visuels moyens à forts.

Révolutionnant le domaine de la chirurgie réfractive, cette technique offre plus de précision et de sécurité. Elle ne peut être effectuée que si les examens préopératoires ne révèlent pas de contre-indications. L'opération au laser LASIK présente différents avantages :

- la possibilité de découper la cornée avec une précision de l'ordre du micron,
- les résultats obtenus en termes de qualité visuelle sont très satisfaisants,
- les cas de retouches après ce type d'opération sont rares,
- les douleurs postopératoires sont relativement faibles,
- l'opération est relativement rapide : 10 minutes par œil,
- les suites opératoires sont moins difficiles qu'avec la technique PKR : vous recouvrez 80 % de votre vision dès la première nuit.

La technique LASIK possède quelques inconvénients :

- le coût de cette opération est plus élevé,
- des symptômes post-opératoires temporaires peuvent survenir : sensibilité à la lumière, picotements, vision légèrement floue, sécheresse oculaire, perception de halos lumineux. [37]



Figure II.12 : Représentation laser femtoseconde. [40]

CHAPITRE III

L'UTILISATION DES

LASERS EN

OPHTALMOLOGIE

III-1- Anatomie de l'œil :

L'œil peut être comparé à une caméra HD. La lumière provenant d'un objet observé pénètre celui-ci par un objectif (la cornée), traverse un diaphragme qui régule la quantité de lumière (la pupille), avant de traverser une nouvelle structure, véritable autofocus (le cristallin), qui va faire la mise au point de l'image de l'objet sur un écran (la rétine). L'œil se compose de nombreuses structures qui jouent toutes un rôle dans la vision (figure III.1) :

III-1-1-Sclérotique :

Cette membrane protectrice recouvre entièrement le globe oculaire, sauf à l'avant, où elle devient la cornée. C'est elle qui donne la forme et la rigidité de l'œil. [41]

III-1-2-La choroïde :

Membrane nourricière de l'œil (fournie des nutriments) située entre la sclérotique et la rétine. Chez les diurnes, sa couleur noire lui permet d'absorber les rayons lumineux et les empêche d'être réfléchis. [41]

III-1-3-Le nerf optique :

Le nerf optique contient plus d'un million de fibres nerveuses. Ces fibres sont les prolongements des cellules nerveuses de la rétine. Elles transportent les messages de l'influx nerveux produit par la rétine de l'œil vers la zone visuelle du cerveau (les cortex visuels gauche et droit). [41]

III-1-4-L'humeur aqueuse :

Liquide clair à base d'eau Se situe entre le cristallin et la cornée. Elle baigne la cornée et lui apporte l'oxygène et les nutriments dont elle a besoin. Ce liquide est continuellement renouvelé avec l'humeur vitrée, maintient la pression oculaire. [41]

III-1-5-La rétine :

La rétine est la couche sensible à la lumière grâce aux photorécepteurs (les cônes et les bâtonnets). Elle a comme épaisseur 0,25 mm. La rétine possède 2 types de photorécepteurs :

- *a- Les bâtonnets* : De forme allongée, ils doivent leur nom à leur forme. ils sont environ 130 millions. Ils ont une très grande sensibilité à la lumière. Ainsi ils ont une très faible perception des détails et des couleurs car plusieurs dizaines de bâtonnets ne sont liés qu'à une seule fibre du nerf optique. Ils contiennent une

substance chimique appelée rhodopsine ou pourpre rétinien. Quand la lumière frappe une molécule de rhodopsine, celle-ci génère un faible courant électrique. Les signaux ainsi recueillis forment un message qui est transmis aux cellules nerveuses de la rétine (Figure. III.2).

b-Les cônes : Ils sont environ 5 à 7 millions à se loger dans la fovéa. Leur sensibilité à la lumière est très faible mais leur perception des détails est très grande pour deux raisons : il y a une densité très élevée de cônes dans la fovéa et surtout chaque cône de la fovéa transmet son information à plusieurs fibres du nerf optique : la vision est donc de jour. Ainsi ils ont une très bonne sensibilité aux couleurs (Figure III.4). [42]

III-1-6-Le vitré :

Est une substance geliforme, transparente, entre le cristallin et la rétine. [41]

III-1-7- L'iris et la pupille :

L'iris est un muscle circulaire situé derrière la cornée. Au centre de cet organe, se trouve la pupille (trou circulaire situé au centre de l'iris). Il se contracte ou se relâche pour contrôler la quantité de lumière qui entre dans l'œil par la pupille. [41]

III-1-8-Le Cristallin :

Le cristallin est une lentille biconvexe de l'œil, transparente, avasculaire. Il est situé à l'intérieur du globe oculaire. Sa partie antérieure est en contact avec l'humeur aqueuse et sa partie postérieure avec le corps vitré. [42]

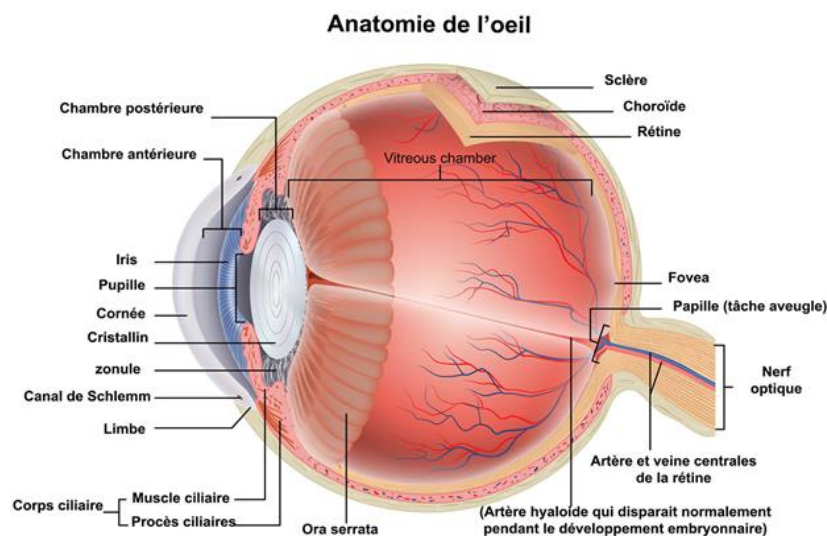


Figure III.1 : Anatomie de l'œil. [43]

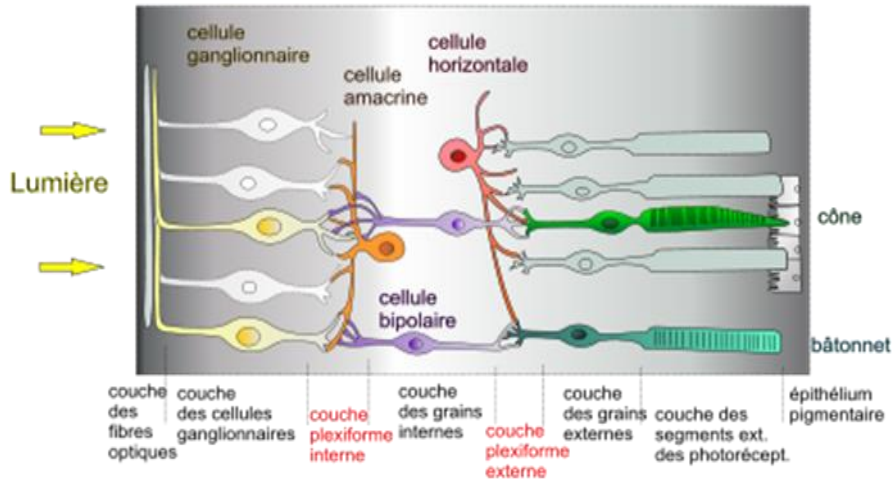


Figure III.2 : Structure de la rétine. [44]

III-2- Maladies oculaires traitées aux lasers :

Le laser est particulièrement utilisé en ophtalmologie. La transparence de la partie antérieure de l'œil, la cornée, permet à la lumière telle que le LASER d'atteindre presque tous les tissus de l'œil. Le LASER est une chirurgie sans lame de l'œil.

III-2-1- les troubles de réfraction (L'amétropie) :

Les troubles de la réfraction sont des maladies oculaires qui entraînent une mauvaise convergence de la lumière sur la rétine. On retrouve dans ces troubles, la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme. Ces troubles sont traités par une chirurgie réfractive au laser. Ce traitement corrige les erreurs de réfraction de l'œil. Il est très souvent utilisé et permet une meilleure concentration de la lumière sur la rétine.

a-L'hypermétropie :

La puissance de convergence de l'œil est trop faible pour sa longueur. L'image d'un objet éloigné se forme donc en arrière de la macula en l'absence d'effort accommodatif.

b-l'astigmatisme

Chez l'astigmat, la cornée et/ou le cristallin n'est (ne sont) pas sphérique(s) : la courbure varie selon l'axe du méridien considéré, le pouvoir réfractif de l'œil varie en conséquence source de vision floue.

c- La myopie :

La myopie est un trouble de réfraction où l'œil est trop puissant par rapport à sa longueur. Les rayons lumineux sont focalisés par la cornée puis le cristallin en avant de la

rétilne, et non pas sur la rétilne elle-même. Un sujet myope est donc capable d'avoir une vision de près nette mais une vision de loin floue.

Le degré de myopie, est défini par la puissance du verre concave à mettre devant l'œil pour permettre de corriger la myopie, et donc d'obtenir une vision nette. Ce chiffre est exprimé négativement. On parle de myopie forte lorsque celle-ci dépasse -6 dioptries (myopie réfractive) ou que l'œil a une longueur supérieure à 26 mm (myopie axiale).

La chirurgie de correction de la myopie au laser est appelée chirurgie réfractive. Elle peut s'effectuer en utilisant différentes techniques : soit par photokératectomie réfractive (PKR), soit par TRANS PKR, soit par LASIK (laser-assisted in situ keratomileusis), soit par SMILE (Small Incision Lenticule extraction).

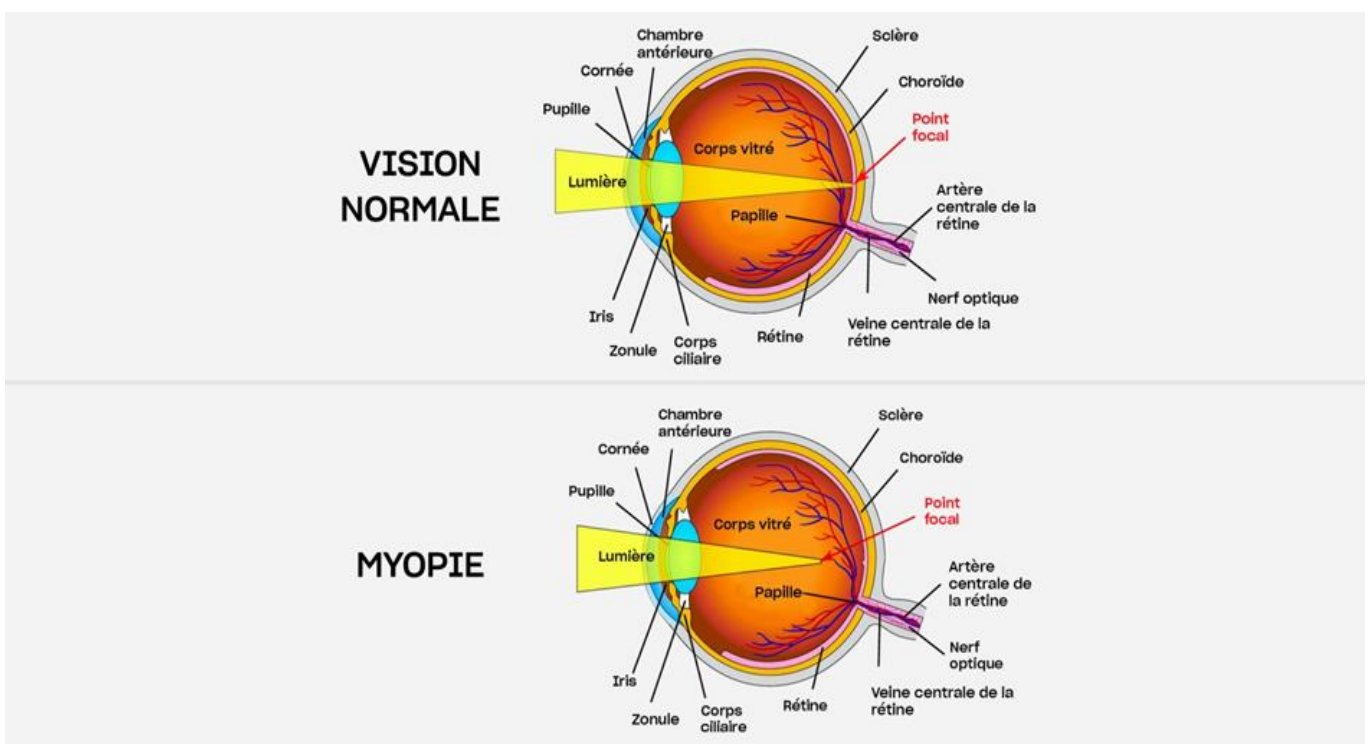


Figure II.3 : La Myopie.[45]

III-2-1-1- Techniques utilisées dans la chirurgie réfractive utilisant Le laser Excimer :

Pour traiter les troubles de réfraction 4 techniques sont utilisée :

- a- **La technique TRANS PKR** : le traitement est un traitement de surface sans toucher la cornée.
- b- **La technique PKR** : cette technique consiste à enlever l'épithélium à l'aide d'une brosse ensuite on fait la correction.

- c- **La technique Lasik** : cette technique consiste à enlever une couche de 120 µm de l'épithélium par le laser femtoseconde suivie du traitement par laser Excimer de défaut de vision (par sculpture de la cornée)
- d- **La technique SMILE** (Small Incision Lenticule Extraction) : cette technique consiste à faire une correction définitive de la myopie à l'aide du laser sans découpe de la surface de la cornée, sans aucune douleur.

III-2-1-2- Traitement de la myopie par Laser Excimer :

Ce travail a été effectué à la clinique ophtalmologique de Dr Benmoussa à El Khroub, Constantine.

La Trans **PKR** est une technique de chirurgie réfractive utilisant le laser Excimer (photoablation) d'une longueur d'onde de 193nm (tissu cible est la cornée) et destinée à améliorer la vision, en modifiant la forme (le pouvoir optique) de la cornée pour corriger la myopie et/ou l'astigmatisme.

La malade est âgée de 30 ans elle s'est présentée pour une myopie plus astigmatisme de - 6 dioptries.

Le traitement consiste à une correction de cette myopie par laser Excimer option TRANS-PKR. Cette technique est NO touch laser, c'est-à-dire il n'y a pas une intervention chirurgicale sur la cornée. Avant l'opération, un léger sédatif peut être administré au patient. L'œil est anesthésié à l'aide d'un collyre contenant un anesthésique local et maintenu ouvert à l'aide d'un écarteur de paupière. Après refroidissement de la cornée (figure I-4), Le faisceau du laser Excimer, piloté par un ordinateur couplé au système de délivrance, est ensuite projeté sur la surface cornéenne dénudée pour enlever l'épithélium et sculpter le tissu cornéen superficiel (figure III-3), (figure III-5).

Le laser Excimer est extrêmement rapide il est de l'ordre de 750 flash par seconde. L'intervention se termine par mise en place d'un collyre antibiotique et une lentille de contact, cette lentille de contact reste pendant cinq à six jours, on l'enlève le sixième ou le septième jour pour retrouver la vue que le patient avait avec lunettes mais sans lunettes. L'ensemble de l'intervention ne dure que 45 seconde pour chaque œil.

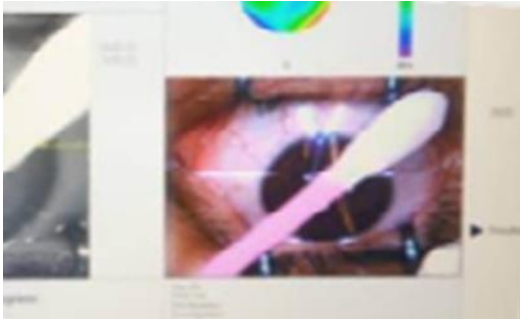


Figure III.4.a. Refroidissement de l'œil.

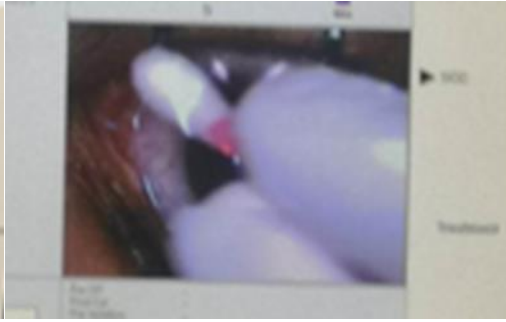


Figure III.4.b. Refroidissement de l'œil.

Figure III.4 : Refroidissement de l'œil avant l'application du laser (Ces photos ont été prises à la clinique de Dr Ben Moussa).

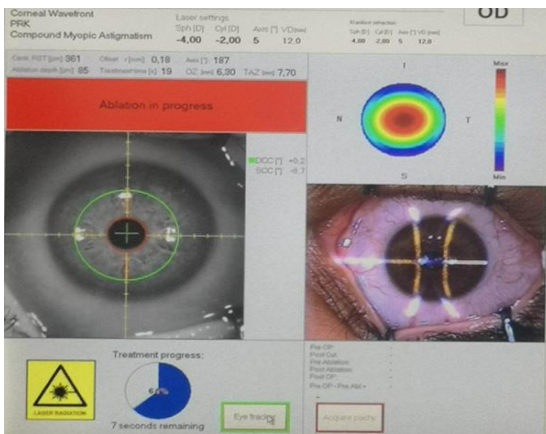


Figure III.5.a. Application du laser Excimer.

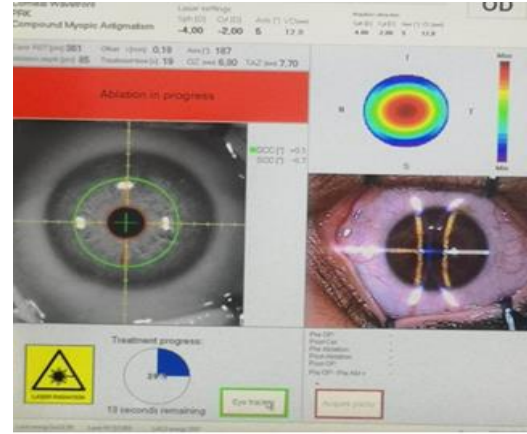


Figure III.5.b. Application du laser Excimer.

Figure III.5 : Application du laser Excimer pour traitement de myopie + astigmatisme (Ces photos ont été prises à la clinique de Dr Ben Moussa).

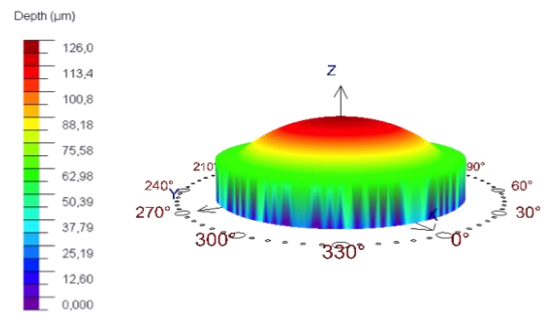
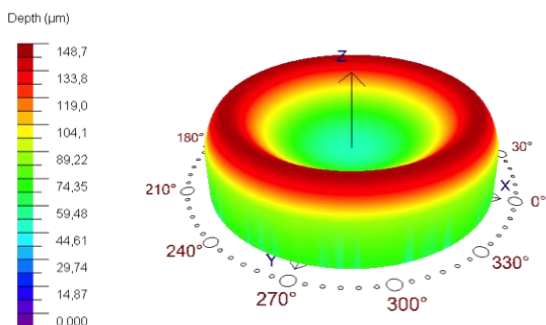


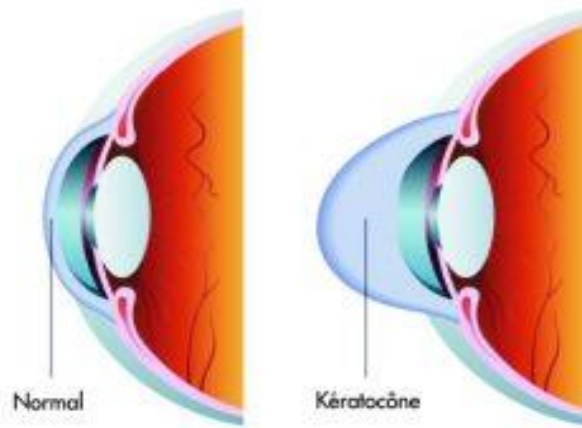
Figure III.6.a. Profil Trans PRK Hypérométrie. Figure III.6.b. Profil Trans PRK Myopie.

Figure III.6 : Traitement de surface Trans PRK (Dr. Ben Moussa _LA TRANS PRK_UN CHOIX PERSONNEL)

III.3.Kératocône :

III.3.1. Définition :

Le kératocône est une dégénérescence de la cornée, non inflammatoire, qui va se traduire au fur et à mesure de son évolution par une déformation de la cornée qui au lieu d'être sphérique devient conique, avec une diminution de l'acuité visuelle du fait d'un important astigmatisme irrégulier et variable.[46]



FigureIII.7 : La Kératocône la cornée est déformée (elle a une forme conique). [46]

III.3.2. Les symptômes de La Kératocône :

Les effets du kératocône varient selon les individus et peuvent être de légers à graves. Le plus souvent, les deux yeux sont touchés (dans 90 % des cas) mais il est fréquent que le kératocône ne soit diagnostiqué que d'un seul côté, le délai d'apparition dans le deuxième œil étant très variable et pouvant atteindre plusieurs années. Dans les premiers stades, la kératocône entraîne une vision floue (sensation de brouillard) et déformée (astigmatisme). Cette baisse de l'acuité visuelle est surtout ressentie en vision de loin (myopie) et est souvent associée à une sensibilité excessive à la lumière (photophobie), à un éblouissement et à une irritation oculaire (yeux larmoyants). À mesure que le kératocône évolue, l'astigmatisme et la myopie s'accroissent. Comme la déformation de la cornée est irrégulière, la vision subit une grande distorsion. La vue est brouillée, comparable à ce qu'on voit derrière une vitre quand il pleut beaucoup. Les images peuvent même paraître dédoublées ou multiples. Les personnes atteintes de kératocône doivent changer souvent de lunettes, car celles-ci deviennent vite impuissantes à corriger l'astigmatisme. Dans les stades avancés, la cornée se déforme et s'amincit tellement que des cicatrices apparaissent

et l'opacifiant, rendant la vision d'autant plus trouble. Mais comme l'évolution peut s'arrêter à tout moment, beaucoup de patients atteints de kératocône n'atteignent pas un tel stade. [47]

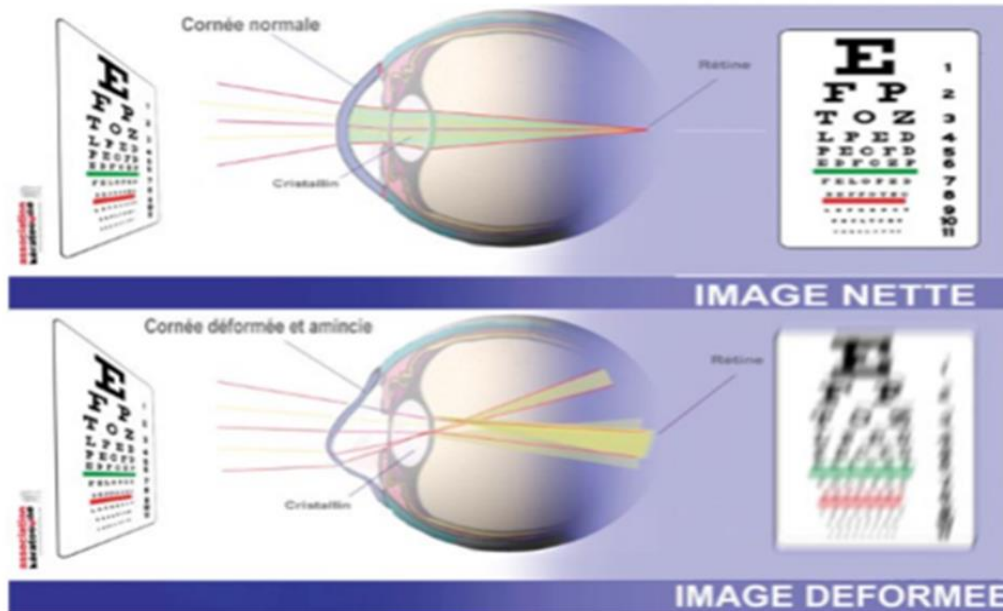


Figure III.8 : La kératocône, Comme la cornée est trop incurvée et irrégulière, la lumière se focalise en avant de la rétine (point normal de rencontre de tous les rayons lumineux), et l'image apparaît floue et déformée. [48]

III.3.3. Le traitement de la Kératocône :

Le traitement du kératocône est axé sur la correction de la vision d'une part, et sur la freination de la déformation cornéenne d'autre part. Les différents traitements dépendent du stade de la maladie.

La correction de la vision dans le kératocône comprend, dans les premiers stades, le port de lunettes pour traiter la myopie et l'astigmatisme. Au fur et à mesure que le kératocône progresse et s'aggrave, les lunettes ne sont plus capables de fournir une vision claire et les patients doivent porter des lentilles rigides à la place, qui corrigent bien mieux les irrégularités de la cornée.

Le deuxième volet du traitement du kératocône est la stabilisation de la déformation cornéenne.

Le premier des traitements est de stopper tout frottement oculaire ou toute position vicieuse où l'œil est « écrasé » contre votre bras, oreiller, literie pendant le sommeil.

Malgré cela, en cas de progression de la déformation cornéenne prouvée entre deux examens, on peut proposer une intervention nommée cross-linking du collagène cornéen. Cette technique consiste en l'application d'une solution de riboflavine sur l'œil, qui est ensuite activée par une lumière ultraviolette (UV) pendant plusieurs minutes. La solution activée par les UV provoque la formation de nouvelles liaisons de collagène par réaction chimique, qui permettent de rigidifier la cornée. Le cross-linking du collagène n'a pas pour but de redonner une meilleure vision mais de stopper l'évolution de la maladie.

On peut parfois proposer de coupler ce traitement à un laser excimer de surface (PRK) pour diminuer l'irrégularité de la surface cornéenne.

Dans les stades avancés où l'adaptation des lentilles rigides n'est pas possible, deux traitements sont envisagés :

III.3.3.1. La greffe de cornée : dans les cas où la transparence de la cornée a été perdue en cas de kératocône sévère, on peut proposer un remplacement de la cornée par celle d'un donneur. [49]

III.3.3.2. Le laser femtoseconde pour la chirurgie de la cornée Implantation des anneaux intra-cornéens :

En cas d'impossibilité d'adapter des lentilles de contact cette solution peut être proposée. Des anneaux transparents en polymère, en forme d'arc de cercle (ou de C), sont implantés à l'intérieur de l'épaisseur de la cornée pour aplanir la surface de la cornée au centre, un peu comme des piquets de tente bien tendus permettrait de rendre le toit plat, permettant ainsi une meilleure vision (figure III-11). Cependant, les tunnels intra-stromaux (creusés dans l'épaisseur du stroma) dans lesquels on insère les fragments d'anneaux, sont réalisés par le laser femtoseconde.

Le laser femtoseconde est un laser qui délivre des impulsions ultra-brèves, de l'ordre de quelques centaines de femtosecondes pour les applications médicales. En chirurgie ophtalmique, il est principalement utilisé pour réaliser des découpes précises de la cornée, sans effets thermiques. La technologie femtoseconde permet de créer des capots dont l'épaisseur et les dimensions sont ajustées avec précision (figure III-12, figure III-13)

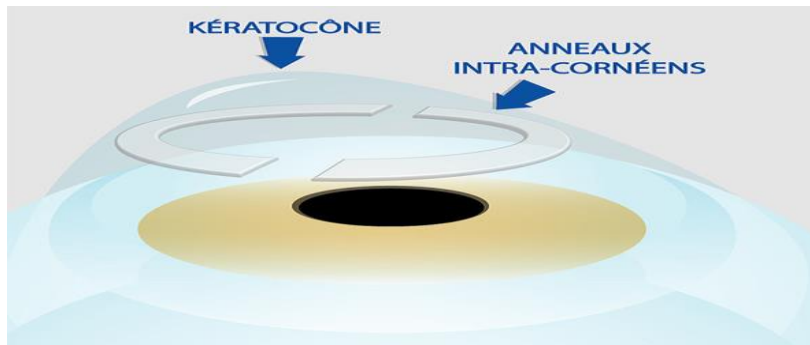


Figure III.9 : Kératocône ; La technique des anneaux intra-cornéens. [50]



Figure III.10 : Laser femtoseconde clinique ophtalmologique Dr Ben Moussa (El Khroub Constantine).

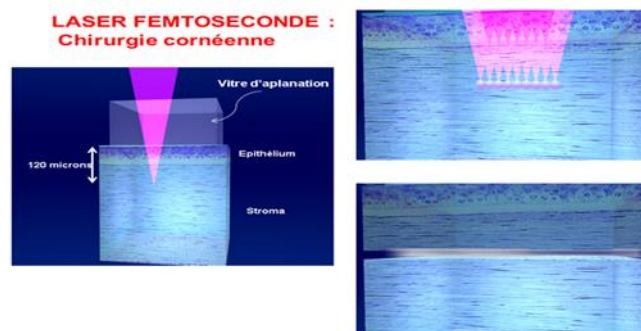


Figure III.11 : Laser Femtoseconde pour la chirurgie cornéenne.[51]

III.4. la rétinopathie diabétique :

III.4.1.Définition :

La rétinopathie diabétique est liée à l'hyperglycémie inhérente au diabète. Mieux le diabète sera équilibré, moindre sera le risque de développer et /ou de voir s'aggraver la

rétinopathie. L'hypertension artérielle, souvent présente chez le patient diabétique, joue également une part dans la survenue et l'aggravation de la rétinopathie.

La rétinopathie diabétique se manifeste par la raréfaction progressive (par occlusion) des petits vaisseaux de la rétine (capillaires). Il en résulte un défaut d'oxygénation des cellules rétiniennes, à l'origine du développement d'anomalies vasculaires secondaires : les petits vaisseaux se déforment, et engendrent des micro anévrysmes (des capillaires anormaux dilatés et poreux), qui se rompent, donnent des hémorragies, et induisent l'apparition de vaisseaux anormaux envahissant la surface de la rétine. Ces derniers peuvent engendrer des saignements intra oculaires ou un décollement de la rétine (figure III-12). [52]

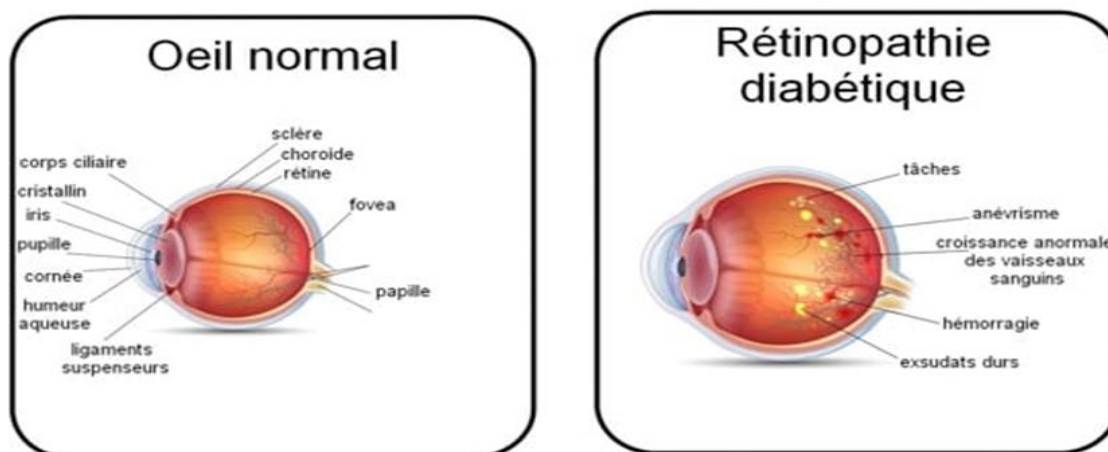


Figure III.12 : La différence entre l'œil normal et l'œil de rétinopathie diabétique. [53]

III.4.2. Les symptômes de La rétinopathie diabétique :

La rétinopathie diabétique ne donne souvent aucun signe d'alerte dans les premiers stades. La diminution lente et progressive de la vision chez une personne diabétique se traduit généralement par la présence de liquide accumulé dans la partie centrale de la rétine (œdème maculaire). D'autres fois, la maladie débute par une hémorragie intraoculaire aiguë, le premier symptôme étant l'apparition soudaine et très alarmante de taches qui obscurcissent partiellement ou totalement la vision. Toutefois, il est important de rappeler que la rétinopathie diabétique peut être présente, même à des stades très avancés, et n'entraîner aucun type d'inconfort visuel.

Les symptômes qui apparaissent généralement sont :

Vision trouble, Mouches volantes, Perte de vision lente au fil du temps, Perte soudaine de la vision. [54]

III.4.3. Le laser à argon pour le traitement de la rétinopathie diabétique :

Le laser Argon est un laser photo coagulateur de la rétine Une fois l'énergie lumineuse transmise à la rétine, elle se transforme en énergie thermique et la température des tissus s'élève au-dessus de 65°C provoquant la dénaturation des protéines tissulaires.

L'efficacité de la photocoagulation dépend de la transmission de la lumière à travers les tissus oculaires et l'absorption de cette lumière par le pigment dans le tissu cible. [55]

Ce laser rétinien a pour but d'améliorer l'oxygénation des tissus, pour stabiliser la maladie, en créant une micro brûlure localisée des couches externes de la rétine. Généralement, 3 à 4 séances suffisent à traiter la totalité de la rétine, ce traitement est définitif. Il permet de stabiliser l'atteinte dans 95% des cas, et d'éviter ainsi les complications comme les hémorragies et le décollement de rétine. Le laser permet également de traiter certaines formes d'œdème maculaire, en cautérisant des lésions vasculaires anormales, développées dans la région centrale (figure III-13). [52]

Dans les avancées les plus récentes, **on trouve le laser multispots**. Avec ce laser à impacts multiples, une seule impulsion sur la pédale provoque une salve d'impacts qui suivent un schéma de tirs groupés prédéterminés (pattern).

Les spots ont un temps d'exposition ultra-court (20 à 50 millisecondes), une haute intensité, et se succèdent très rapidement (figure III-13)

Le médecin procède à la séance de laser grâce à une lentille de contact qui est posée sur l'œil. La durée de la séance varie généralement de 5mn à 15mn. Il est possible de repartir seul, à condition de ne pas conduire car la vision de l'œil traité sera transitoirement floue pendant quelques heures.

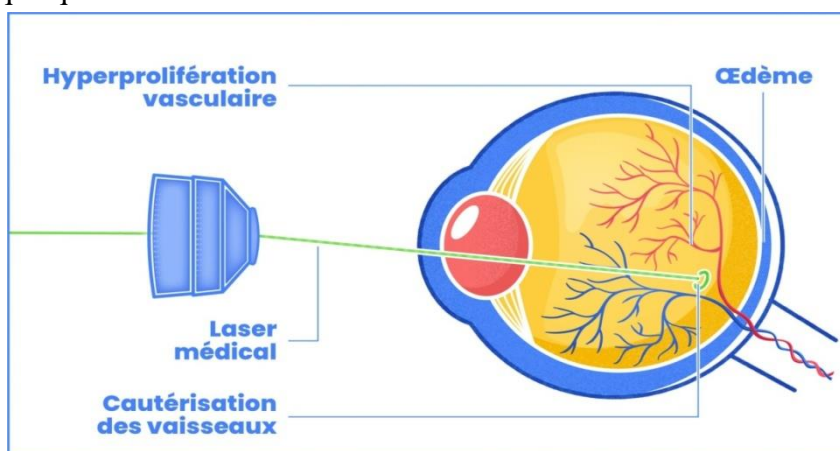


Figure III.13 : photo coagulateur de la rétine. [56]



Figure III.14 : Laser à Argon multi spot (cabinet ophtalmologique Dr Ahmed CheddadiAnnaba)

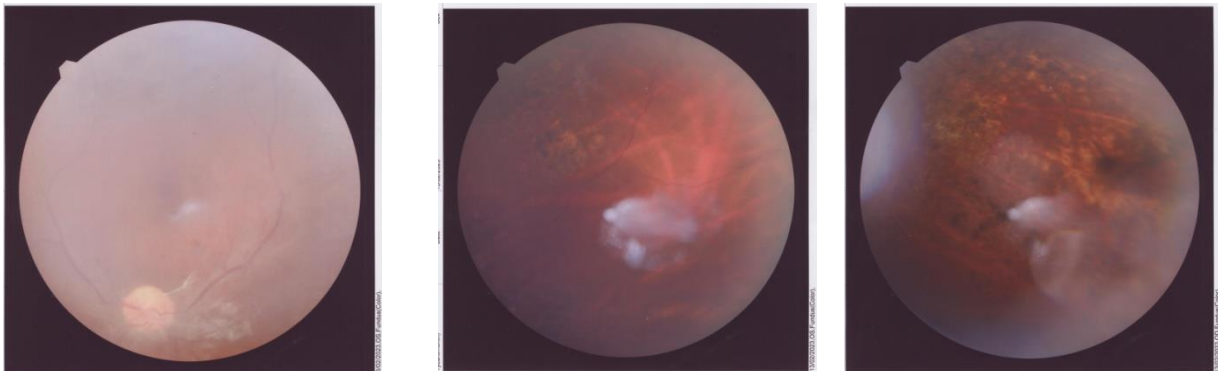


Figure III.15 : Application du Laser à Argon multi spot à un malade atteint de rétinopathie diabétique (cabinet ophtalmologique Dr Ahmed CheddadiAnnaba).

III.5.Glaucome :

III.5.1.Définition :

Le glaucome est une maladie de l'œil qui provoque une diminution irrémédiable du champ de la vision. Il est la conséquence de dommages au nerf optique. Le glaucome est associé à la suite de l'élévation de la pression à l'intérieur de l'œil (pression intraoculaire). Le glaucome est la deuxième cause de cécité dans le monde.

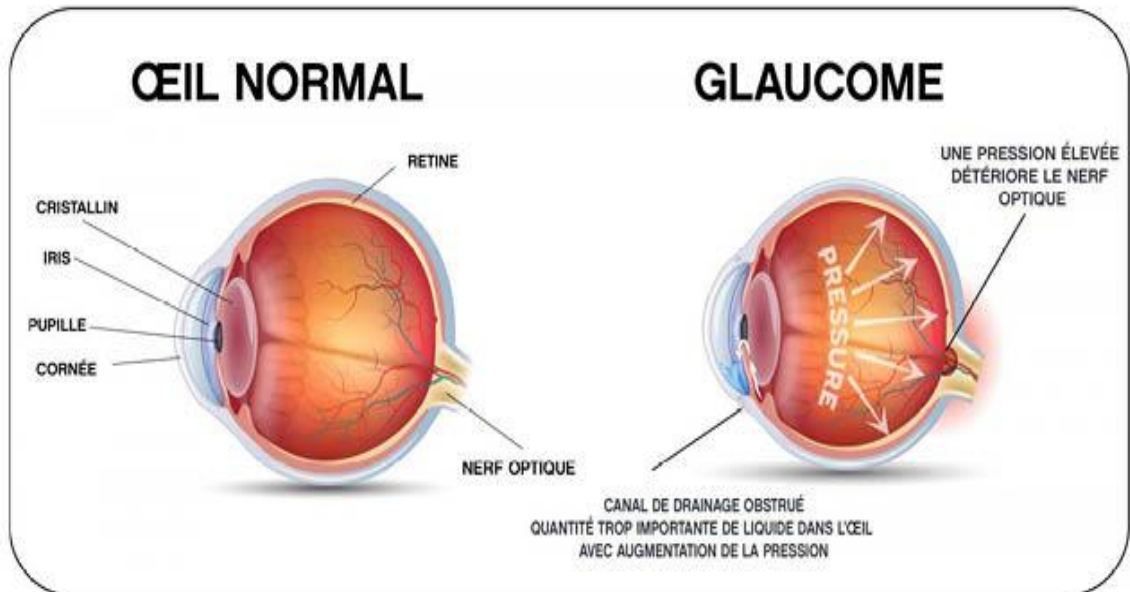


Figure III.16 : La différence entre l'œil normal et l'œil de glaucome. [57]

III.5.2. Les symptômes d'un glaucome :

Selon le type de glaucome diagnostiqué, les symptômes diffèrent mais ils sont tous suivis d'un déficit du champ de vision pour les personnes atteintes :

- Souvent asymptomatique, le glaucome chronique à angle ouvert est malheureusement souvent diagnostiqué quand les dégâts se font ressentir. Le champ visuel est altéré : d'abord de façon périphérique, puis de façon plus centrale. Quand le déficit et les troubles visuels sont présents, les dégâts au niveau du nerf optique sont irréversibles.
- Dans les glaucomes aigus à angle fermé, les symptômes apparaissent brutalement et se manifestent par des crises douloureuses, souvent nocturnes, accompagnées de photophobie et de perte d'acuité visuelle, voire de nausées et de vomissements. Ce type de glaucome est une urgence ophtalmique.

Dans le glaucome congénital, le nourrisson souffre de larmoiements, de photophobie et de blépharospasme (contraction incontrôlée des muscles des paupières). [58]

III.5.3. Le laser SLT pour le traitement du glaucome :

Le laser SLT (selective laser trabeculoplasty) est un laser utilisé exclusivement dans le traitement du glaucome chronique à angle ouvert. Des impacts de laser sont envoyés sur le

trabéculum afin de stimuler son action et d'augmenter l'excrétion d'humeur aqueuse. Ainsi il permet une diminution de la pression intraoculaire sans collyres hypotonisants. [28]



Figure III.17 : Laser SLT. [59]

III.6.Cataracte :

III.6.1.Définition :

La cataracte est l'opacification partielle ou totale du cristallin, lentille convergente située à l'intérieur de l'œil. Cette opacification est responsable d'une baisse progressive de la vue, au début accompagnée de gêne à la lumière (photophobie). Cette baisse de la vision peut être rapide (quelques semaines) à cause d'un traumatisme. [42]

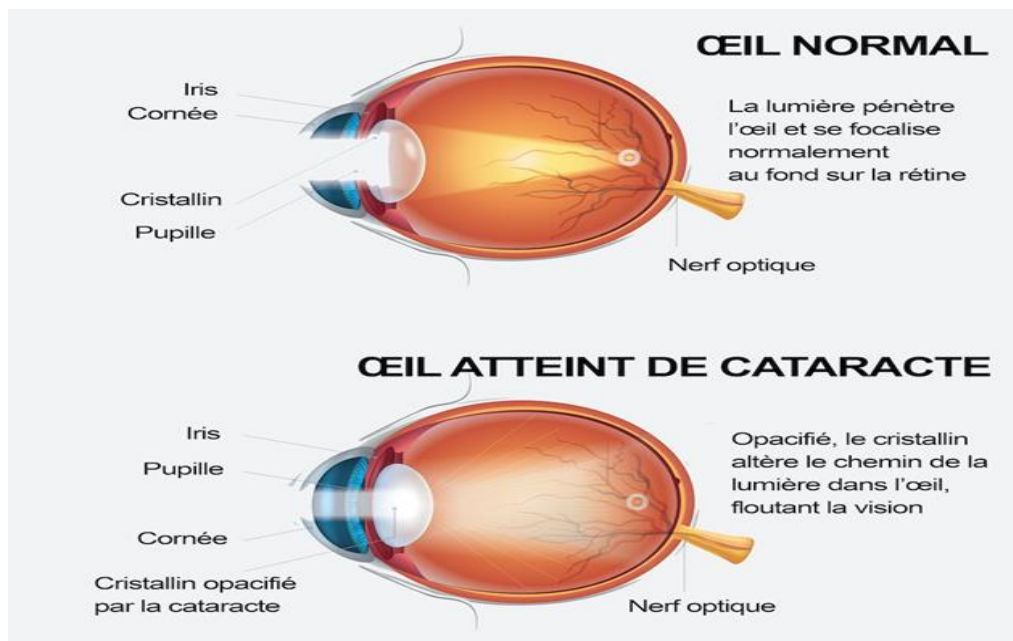


Figure III.18 : La différence entre l'œil normal et l'œil de cataracte.[60]

III.6.2. Les symptômes de cataracte :

En dehors des causes traumatiques pour lesquelles l'apparition des troubles est souvent plus rapide, les symptômes de la cataracte se développent très lentement sur de nombreuses années. Peu à peu, le cristallin de l'œil devient trouble, ce qui provoque une baisse progressive de la vision. Lorsque la cataracte est légère, il est parfois difficile de distinguer les premiers symptômes.

L'opacification progressive du cristallin peut entraîner :

- une diminution de la vue de loin, mais aussi de près (gêne pour lire). La vision floue est voilée ou brouillée (symptômes les plus courants de la cataracte due à l'âge) ;
- Quelquefois, des petites taches ou des points dans le champ de vision.
- Une mauvaise perception des contrastes.
- Des difficultés à distinguer les reliefs.
- Une vision des couleurs altérée : jaunissement des couleurs ou difficultés à différencier certaines couleurs comme le noir, le bleu marine ou le violet.
- une sensibilité à la lumière vive et des phénomènes d'éblouissement (rendant la conduite automobile nocturne difficile par exemple).

Si la personne atteinte de cataracte porte des lunettes pour myopie par exemple, elle peut les trouver moins efficaces.

Dans des cas plus rares, la cataracte peut entraîner :

- un halo (cercle de lumière) perçu autour des lumières vives comme les phares de voiture ou les lampadaires ;
- une vision double d'un seul œil (diplopie).

L'importance de ces phénomènes et leur retentissement sur les activités sont variables selon chaque personne.[61]

III.6.3. Le laser ND : YAG pour le traitement du Cataracte :

La technique du laser ND : YAG est utilisée en ambulatoire pour traiter la cataracte secondaire.

Afin de restaurer la vision, la capsule postérieure opacifiée par la cataracte secondaire peut être ouverte à l'aide d'un laser YAG (laser permettant de couper les tissus) c'est la capsulotomie au laser YAG. [62]

L'objectif de la capsulotomie est de réaliser grâce au laser Nd : YAG un orifice d'environ 4 mm au sein de la capsule postérieure, c'est la photodisruption. Cette incision permettra à la capsule de laisser passer la lumière, et la personne retrouvera une vue normale, après cette opération, Figure (III-20). [62]

La capsulotomie au laser YAG est simple et indolore.



Figure III.19 : Représentation laser de ND : YAG (clinique ophtalmologie EL Farabi annaba).

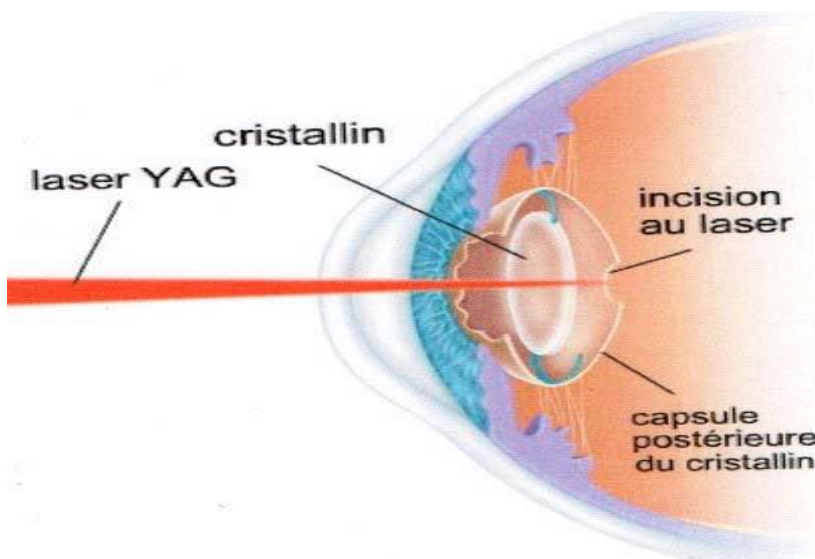


Figure III.20 : Capsulotomie au laser YAG. [63]

III.7. Pourquoi se faire opérer au laser ?

- Intolérance aux lentilles de contact
- Eviter les risques d'infections
- Augmenter son acuité visuelle et sa qualité de vision
- Devenir indépendant de toute correction optique pour la pratique d'un sport ou hobby
- Avoir un meilleur confort de vie (piscine, vacances, porter des lunettes de soleil)
- Économies importantes en quelques années car lunettes, lentilles et produits d'entretien ne doivent plus être achetés
- Indications professionnelles (rentrez à la Police, paracommando, critère de sélection pour la marine, sportif de haut niveau).

III.8. Les Inconvénients des lasers :

La sensibilité à la lumière, les halos lumineux, une sécheresse oculaire ou une baisse de l'acuité visuelle peuvent se produire suite à la chirurgie des yeux au laser. Néanmoins, de très rares patients ont pu s'en plaindre, et avec le temps, ces effets indésirables disparaissent progressivement. [64]

- Sécheresse oculaire. La sécheresse oculaire est la complication la plus fréquente. ...
- Complications affectant le volet cornéen. ...
- Infection et Inflammation. ...
- Invasion épithéliale. ...
- Perception de halos lumineux, altération de la vision nocturne. ...
- Vision dédoublée. ...
- Sur-corrrections et sous-corrrections. ...
- Ectasie secondaire. [65]

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

En conclusion, on ne peut omettre d'évoquer le rôle central joué par le laser dans le Domaine ophtalmologique. Le développement de cette technologie depuis la deuxième moitié de vingtième siècle a permis de très nombreux progrès dans le domaine de l'ophtalmologie.

Nous avons présenté dans ce travail l'utilisation du laser dans traitement des pathologies oculaires tel que les troubles de réfraction, la Kératocône la rétinopathie diabétique, la cataracte et le glaucome.

La technologie laser fait encore l'objet de recherches intenses, pour atteindre de nouvelles longueurs d'onde qui peuvent servir au traitement d'autres maladies oculaires.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] Ann. Kinésithér, Caractéristiques générales du rayonnement laser Utilisations possibles en kinésithérapie, Kinésithérapeute, 111, boulevard Chave, F13005 Marseille, Directeur de la Maison de la Kinésithérapie de Marseille, chargé de cours à l'Institut national de la Kinésithérapie et à l'école de Bois-Larris, n° 9, (1985) pp. 429-439.
- [2] A. Cheddadi, Thèse de doctorat. Etude en spectroscopie optique d'absorption et d'émission des matériaux optiques dopés aux ions de terres rares pour photoconversion, Univ. Badji Mokhtar. Annaba 2014
- [3] http://www.optiqueingenieur.org/fr/cours/pdf/OPI_fr_M01_C01.pdf
- [4] <https://www.makerslide-machines.xvz/2019/07/22/principe-fonctionnement-lasers/>
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Inversion_de_population
- [6] PMO_photonique et métrologie optique source lumineuses et lasers
- [7] <https://www.nagwa.com/fr/explainers/570180938352/>
- [8] https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/terminale-s/optique/laser.html#chapitre_les-caracteristiques-de-la-lumiere-laser
- [9] 58 د / فالح حسن الاحمدي / عصام جورج شماني / الليزر و تطبيقاته ص :
- [10] <https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/pdf/2010/04/refdp201021.pdf>
- [11] <https://dlatreyte.github.io/culture/principe-du-laser/principe-laser.html>
- [12] <http://physique.unice.fr/sem6/2013-2014/PagesWeb/PT/Fibres/spectro2.html>
- [13] http://www-lpl.univ-paris13.fr/pon/lumen/documents/Cours_complet.pdf
- [14] http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/titaouine_mohamed/files/laser_partie_1.pdf
- [15] S. Mordon, Applications médicales du laser, Reflets de la Physique n° 21 / Le Bup n° 927, pages 65, 66 (2010).
- [16] Physique des lasers, Cours (univ-jijel.dz)
- [17] http://www.afhalifax.ca/magazine/wp-content/uploads/2017/02/cours_laser.pdf
- [18] <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-laser---presentation-et-applications--2096.htm>
- [19] <https://multiprevention.org/wp-content/uploads/2015/11/multiprevention-guide-laser.pdf>
- [20] I. Cordero, comprendre les lasers oculaires et les utiliser en toute sécurité, revue de santé oculaire communautaire | volume 13 | numéro 17 | 2016.

Références bibliographiques

- [21] http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/pdf/OPI_fr_M01_C01.pdf
- [22] <http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/5120/1/mod%C3%A9lisation%20d%E2%80%99une%20cavit%C3%A9%20%C3%A0%20laser%20chimique.pdf>
- [23] Y. Maazi, Mémoire de fin d'étude en Master ; modélisation d'une cavité à laser chimique, (2014).
- [24] <http://www.lamelis.eu/2019/lectures/Degi2019.pdf>
- [25] <https://www.centreophtalmologiejeanjaures.fr/centre-ophtalmologie-jean-jaures-toulouse/plateau-technique-ophtalmologie/lasers-en-ophtalmologie/laser-vag-ophtalmologie-toulouse.html>
- [26] Y. Ammour, F. Tahraoui, mémoire de fin d'étude en master ; Etude des lasers à semi-conducteurs et application au micro-usinage de matériaux. (2018).
- [27] https://www.humatem.org/telecharger_fiche_info/33
- [28] <https://ophtalmologie-provence.fr/activite/lutlisation-des-lasers-en-ophtalmologie/>
- [29] <https://centreophta.com/laser-argon/>
- [30] <https://cehjournal.org/wp-content/uploads/comprendre-les%E2%80%A6toute-securite.pdf>
- [31] <https://www.centreophtalmologiejeanjaures.fr/centre-ophtalmologie-jean-jaures-toulouse/plateau-technique-ophtalmologie/lasers-en-ophtalmologie/laser-retinien-argon.html>
- [32] <https://www.cehjournal.org/article/comprendre-les-lasers-oculaires-et-les-utiliser-en-toute-securite/>
- [33] <https://www.centre-oculus.fr/examens-et-traitements-ophtalmologique/lasers-ophtalmologie-medicaux/>
- [34] <https://www.chudequebec.ca/patient/maladies,-soins-et-services/traitements-et-examens/traitements/trabeculoplastie-par-laser-s-l-t.aspx>
- [35] <https://www.coss-ophtalmologie.paris/le-centre/plateau-technique/laser-slt/#fonctionnement-laser-slt>
- [36] <https://www.centrevisionlaser.com/plateau-technique/trabeculoplastie-au-laser-slt/>
- [37] <https://www.optimum-visio.fr/optimum-visio/lasers-traitement/laser-excimer/>
- [38] <https://www.gatinel.com/recherche-formation/laser/laser-excimer/>
- [39] <https://brusselseyecenter.be/laser-excimer>
- [40] <https://cliniquedelavision-montpellier.fr/notre-plateau-technique/laser-femto-seconde>
- [41] <http://urgencemonastir.com/>
- [42] A. Feroui, Thèse de doctorat, analyse des images couleur du fond d'œil pour l'aide au diagnostic en ophtalmologie : application a la detection des pathologies retiniennes, univ. abou bakr belkaid. Tlemcen (2014).

Références bibliographiques

- [43] <https://www.visiopedubeaujolais.com/anatomie-oeil/>
- [44] <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9tine>
- [45] <https://www.coss-ophtalmologie.paris/pathologies/myopie/>
- [46] <https://www.centrevisionlaser.com/pathologie/traitements-du-keratocone/#1500471120480-586cad1c-fce7>
- [47] <https://www.keratocone.net/definition.html>
- [48] www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/Keratocone-FRfrPub2186v01.pdf | Juillet 2007
- [49] <https://www.elsan.care/fr/pathologie-et-traitement/maladies-des-yeux/keratocone-definition-symptomes-traitements>
- [50] <https://operation-yeux-laser.com/notre-expertise/operation-du-keratocone>
- [51] <https://www.gatinel.com/recherche-formation/laser/laser-femtoseconde/>
- [52] <https://www.coss-ophtalmologie.paris/pathologies/pathologies-de-la-retine-et-du-vitre/retinopathie-diabetique/#traitements-retinopathie-diabetique>
- [53] <https://evision.fr/la-rétinopathie-diabetique/>
- [54] <https://www.barraquer.com/fr/pathologie/retinopathie-diabetique>
- [55] <https://www.centreophtalmologiejeanjaures.fr/centre-ophtalmologie-jean-jaures-toulouse/plateau-technique-ophtalmologie/lasers-en-ophtalmologie/laser-retinien-argon.html>
- [56] <https://www.mon-omd.fr/photo-coagulation-au-laser/>
- [57] <https://www.laboratoires-thea.com/fr/definition-du-glaucome>
- [58] <https://www.elsan.care/fr/pathologie-et-traitement/maladies-des-yeux/glaucome-symptomes-traitements>
- [59] <https://www.glaucomaphysician.net/issues/2021/june-2021/product-spotlight-the-first-digital-slt-yag-platfo>
- [60] <https://theconversation.com/amp/cataracte-bientot-un-traitement-qui-se-passe-chirurgie-191910>
- [61] <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/cataracte/symptomes-diagnostic>
- [62] <https://centreophta.com/chirurgies-pratiquées/chirurgie-de-la-cataracte/caspulotomie/>
- [63] <http://gabriel.elbaz.free.fr/partie3-traitements.html>
- [64] <https://www.mvsantevision.ch/fr/actualites/10-mythes-a-propos-de-la-chirurgie-des-yeux-au-laser#:~:text=La%20sensibilit%C3%A9%20%C3%A0%20la%20lumi%C3%A8re,ces%20effets%20ind%C3%A9sirables%20disparaissent%20progressivement>
- [65] <https://ansm.sante.fr/dossiers-thematiques/les-differentes-techniques-de-chirurgie-refractive/effets-indesirables-et-complications-liees-a-la-chirurgie-lasik>

Références bibliographiques

Résumé

Le sujet que nous présentons dans ce mémoire porte sur l'étude des lasers et leurs applications dans le domaine ophtalmologique.

En premier lieu nous présentons les caractéristiques des lasers ainsi que leur principe de fonctionnement.

En second lieu nous étudions les différents types de lasers classés selon la nature du milieu amplificateur : gazeux, liquide (colorant) ou solide.

Pour finir nous présentons l'anatomie de l'œil ainsi que l'utilisation des lasers dans le domaine ophtalmologique pour traitement des maladies oculaires, les lasers étudiés sont : le laser YAG, laser à Argon, laser Excimer, laser femtoseconde et le laser SLT.

Mot clés : Laser, émission stimulée, amplification de la lumière, maladies oculaires

ملخص

يتعلق الموضوع الذي نقدمه في هذه الرسالة بدراسة الليزر وتطبيقاته في مجال طب العيون.

أولاً ، نقدم خصائص الليزر بالإضافة إلى مبدأ عملها.

ثانياً، نقوم بدراسة أنواع الليزر المختلفة المصنفة وفقاً لطبيعة الوسط المضخم: غازي، سائل (صبغ) أو صلب.

أخيراً نقدم تشريح العين بالإضافة إلى استخدام الليزر في مجال طب العيون لعلاج أمراض العيون ، أنواع الليزر

المدرسة هي: ليزر YAG و ليزر الأرجون و ليزر الإكسيمر و ليزر الفيمتو ثانية و ليزر SLT .

الكلمات المفتاحية: الليزر ، الانبعاث المستحث ، تضخيم الضوء ، أمراض العيون

Abstract

The subject that we present in this thesis concerns the study of lasers and their applications in the ophthalmological field.

First, we present the characteristics of lasers as well as their operating principle.

Secondly, we study the different types of lasers classified according to the nature of the amplifying medium: gaseous, liquid or solid.

Finally we present the anatomy of the eye as well as the use of lasers in the ophthalmological field for the treatment of eye disease, the lasers studied are the YAG laser, Argon laser, Excimer laser, femtosecond laser and the SLT laser.

Keywords: Laser, stimulated emission, light amplification, eye disease