

# Photonique : LASERS et Applications

*Cours à l'usage des Ingénieurs.*

Joël FONTAINE

*joel.fontaine@insa-strasbourg.fr*

**INSA de Strasbourg**

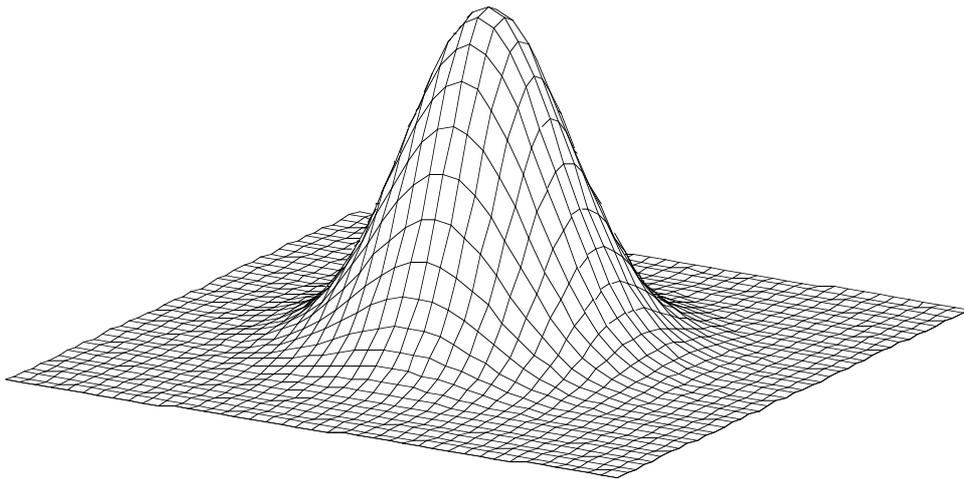
**et Université de Strasbourg**

Télécom Physique Strasbourg :

Option PHYSIQUE et SYSTÈMES PHOTONIQUES

Master IRIV (Images, Robotique pour l'Ingénierie du Vivant) -

Parcours « Nanophotonique »



"Laser ... inter eximia naturae dona numeratum plurimis  
compositionibus inseritur"

*(Le laser peut être considéré comme un cadeau miraculeux de la nature et se prête à de  
multiples usages.)*

Pline, Naturalis Historia, XXII, 49, (1<sup>er</sup> siècle avant JC)

Commentaire sur la citation de la page de couverture

**Laser ... inter eximia naturae dona numeratum plurimis  
compositionibus inseritur.**

*Le Laser peut être considéré comme un cadeau miraculeux de la nature et  
se prête à de multiples usages.*

Pline, Naturalis Historia, XXII, 49 (1er siècle avant JC)

Cette citation est rapportée par O. Svelto dans "Principle of lasers", 3rd ed., Plenum Press, 1989.

**Explication :**

"Laser" (plus exactement, laserpitium) est le nom d'une plante qu'on trouvait pendant l'Antiquité, dans une zone qui correspond à la Lybie actuelle. Cette plante était connue pour ses vertus thérapeutiques. C'était également un excellent remède contre les morsures de serpents et les piqûres d'insectes. Le laserpitium était également utilisé dans certaines recettes culinaires. Cette plante était exportée vers l'ensemble de l'empire romain et faisait la richesse de la région qui la produisait. Des tentatives de transplantation en Italie du sud échouèrent. La plante devint donc de plus en plus rare. On en perdit la trace vers le deuxième siècle après J.-C. Voir : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Laserpitium> . Le *laserpitium latifolium* ou *laser blanc* a survécu dans la nature et peut être trouvé aujourd'hui dans diverses régions ( <http://www.afleurdepau.com/Flore/apiaceae/laserpitium-latifolium/x.htm>). Mais c'est d'une variété de LASER apparue au 20<sup>ème</sup> siècle dont il s'agit dans ce document. Conçu sur la base d'une intuition formulée en 1917 par Albert Einstein, il devenu incontournable dans tous les secteurs de l'activité humaine et fait la richesse, non plus d'une région mais de toute l'humanité.

## PHYSIQUE de la LUMIÈRE : OPTIQUE, LASERS, PHOTONIQUE.

### 1- En préambule : repères historiques et contexte local.

#### 1. L'INVENTION DU LASER

L'invention du LASER en 1960, constitue un événement majeur qui a profondément transformé l'Optique, une science dont les premiers balbutiements datent de l'antiquité. L'Optique avait certes beaucoup évolué depuis un siècle ; la principale contribution du 19<sup>ème</sup> siècle fut sans doute celle du Physicien anglais Maxwell qui associa lumière et rayonnement électromagnétique et décrivit l'interaction entre charges électriques et champs à l'aide de quatre équations. L'évolution de la Mécanique Quantique entraîna d'autres bouleversements en optique en introduisant la notion de 'photon'. La nature granulaire de la lumière avait déjà été évoquée au cours des siècles précédents. Les découvertes récentes n'ont pas permis d'aboutir à un modèle unique. La lumière est une onde et se comporte comme telle dans ses aspects macroscopiques. Les échanges avec la matière sont de nature quantique, et de ce fait, assez peu accessibles à notre compréhension ordinaire. C'est le contexte du phénomène étudié qui permet de choisir le modèle de description approprié.

Le phénomène physique à la base du l'amplificateur optique et, par conséquent, du générateur de lumière cohérente appelé LASER, a commencé par être un concept théorique proposé par Albert Einstein en 1917. Grâce à ce phénomène non encore observé jusque-là, l'émission stimulée, un atome (ou une molécule) excité émet, sous l'influence d'un photon incident, un deuxième photon aux caractéristiques (énergie, polarisation, direction de propagation) parfaitement identiques à celles du premier. Le laser aurait pu être inventé dès cette époque, mais il fallait encore trouver dans quelles conditions, l'émission stimulée pouvait dominer le bruit de l'émission spontanée à l'origine de la lumière naturelle produite par un corps chauffé à haute température. La première réalisation technologique mettant en œuvre l'émission stimulée, a vu le jour en 1953, dans le laboratoire de C. Townes aux États-Unis, sous la forme d'un « **maser** », ou amplificateur de micro-ondes à 24 GHz. Quelques années plus tard, le Physicien français Alfred Kastler, propose une technique, le pompage optique, pour exciter un matériau isolant solide et le transformer en amplificateur de lumière. Le premier LASER naît peu après, en 1960, sous la forme d'un barreau de rubis synthétique aux extrémités polies pour en faire de bon miroirs, éclairé par une lampe flash. Le nom de l'américain Théodore Maiman, ingénieur de l'entreprise Hughes est resté attaché à cette invention. Le laser est, avec le transistor, l'une des deux plus grandes découvertes du 20<sup>ème</sup> siècle, eu égard au bouleversement technologique qui s'en est suivi.

#### 2. LE LASER : UNE SOURCE D'ÉNERGIE AUX PROPRIÉTÉS REMARQUABLES

Un **LASER** est un générateur d'ondes électromagnétiques dans les domaines infra-rouge, visibles et ultra-violet du spectre. Les ondes produites présentent une grande cohérence qui se manifeste par un spectre étroit et une répartition spatiale simple de l'énergie. Les intensités obtenues par focalisation sont bien supérieures à celles correspondant à des sources non cohérentes ; des impulsions ultra-brèves, voisines de quelques périodes d'oscillation de la lumière peuvent être générées. Le mot « laser » est formé des premières lettres du mot suivant :

Light Amplification and Stimulated of Radiation.

Ou, en français, « *Amplification de Lumière par Emission Stimulée de Rayonnement* ». L'amplification par **émission stimulée** est bien ce qui confère au laser son originalité; cependant le laser n'est pas seulement un amplificateur de rayonnement, c'est aussi un générateur (ou oscillateur). Pour faire apparaître la notion d'oscillation, le mot LOSER (pour *Light Oscillation by Stimulated Emission of Radiation*) aurait été plus approprié, mais pas très attractif en anglais.

Le laser est donc une source de rayonnement dans laquelle un **matériau** dit **actif** recevant de l'énergie de l'extérieur (le **pompage** ou excitation), absorbe cette énergie, puis le réémet sous forme de rayonnement visible ou proche du visible (Infra Rouge ou Ultra Violet). La lumière émise subit des réflexions de la part de miroirs placés de chaque côté du matériau actif et formant une **cavité**. La cavité joue le rôle de filtre résonnant qui sélectionne une partie du rayonnement émis. Le rayonnement en oscillation est amplifié grâce au phénomène d'émission stimulée qui a la propriété d'améliorer la cohérence, chaque photon émis, prenant les propriétés d'un photon déjà présent ; lorsque le gain du milieu actif devient supérieur aux pertes de la cavité, un faisceau de lumière cohérente, intense et directive apparaît et sort partiellement à travers l'un des miroirs, constituant le faisceau laser qui peut être utilisé dans une application.

La **lumière laser**, par sa nature, ne diffère pas des autres formes de rayonnement électromagnétique. Sa particularité réside dans sa grande **cohérence**. Il est ainsi possible de donner une description précise et relativement simple de la lumière laser sous la forme de la distribution spatiale et temporelle du champ électrique et du champ magnétique correspondant. Ce n'est pas le cas pour un rayonnement incohérent qui est constitué d'un grand nombre de composantes spectrales se propageant dans toutes les directions.

Beaucoup de phénomènes liés à l'interaction entre un faisceau laser et un matériau peuvent être décrits par les formalismes de la physique classique. Bien que le laser soit un dispositif quantique, une approche classique, réduisant la mécanique quantique à l'énoncé de quelques postulats, est suffisante pour comprendre les lasers et les mettre en œuvre dans les applications. C'est cette approche, utile pour l'Ingénieur d'application et non pas le Physicien qui étudie et met en œuvre l'amplification et la détection du rayonnement, que nous privilégions dans la suite ; la mécanique quantique sera donc réduite à l'énoncé de quelques postulats.

La lumière laser se caractérise par un ensemble de propriétés remarquables. On peut citer :

- un spectre d'émission de très faible étendue par rapport au spectre d'une source naturelle (de quelques MHz à quelques Hz avec des précautions particulières à comparer au spectre de quelques GHz de la ligne d'émission d'un gaz excité); il en résulte une très grande cohérence temporelle ;

- une distribution spatiale (ou cohérence spatiale) parfaitement définie pour les faisceaux de petite puissance.

- un régime d'émission continue (*CW pour Continuous Wave en anglais*) ou impulsionnel (*PW pour Pulsed Wave*) ; les impulsions peuvent être très brèves, jusqu'à la dizaine de femtosecondes ( $10^{-15}$ ) pour des faisceaux dans la partie visible du spectre ;

- une densité de flux élevée (jusqu'à  $10^{10}$  W.cm<sup>-2</sup> ou plus).

Toutes ces propriétés ne sont pas disponibles en même temps dans un laser donné. Une optimisation est faite par le concepteur du système en tenant compte de l'application pour laquelle le laser est prévu.

Bien que la plupart des lasers couramment utilisés aujourd'hui (He-Ne, Ar, CO<sub>2</sub>, As-Ga) soient apparus dans les laboratoires au cours des trois premières années suivant l'invention du 1er laser, le laser est resté pendant quelque temps une "*invention à la recherche d'une application*", pour reprendre la formule de l'un de ses inventeurs. Le laser fut d'abord un outil précieux pour la recherche scientifique, rôle qu'il continue à jouer aujourd'hui. On s'est vite aperçu cependant des multiples possibilités qu'offrait le rayonnement laser pour la caractérisation de la matière, la mesure de diverses grandeurs physiques, la transformation des matériaux. Une véritable révolution allait bouleverser l'optique, qui d'incohérente allait devenir cohérente. C'est le laser qui a, par exemple, permis le développement de l'holographie, technique d'imagerie tridimensionnelle inventée en 1958 par Denis Gabor. Peu à peu, tous les domaines de la science et de la technologie allaient être concernés par le

laser, cité parfois comme l'une des dix plus importantes inventions du 20<sup>ème</sup> siècle. Le laser a fait faire des progrès considérables à la métrologie. Des lasers sont aujourd'hui à la base de nombreux appareils de mesure : mesureurs de distance, vélocimètres, gyromètres, etc ... Le domaine des communications a pris également un nouvel essor avec la réalisation au cours des années 70 de fibres optiques présentant une très faible absorption ; les communications optiques sont devenues une réalité économique. La médecine a également évolué grâce au laser. Au cours des années 80, ce sont les industries de transformation des matériaux qui ont découvert le laser avec la mise sur le marché de sources laser CO<sub>2</sub> et Nd:YAG de très grande puissance pour la découpe, le soudage et le traitement de toutes sortes de matériaux.

### 3. DE L'OPTIQUE À LA PHOTONIQUE

Par analogie avec l'électronique qui a pris son essor véritable à partir de l'invention du transistor, l'ère de la Photonique commence avec l'invention du laser. La Photonique s'étend bien au delà de ce qu'il était convenu d'appeler Optique ; les nombreuses nouvelles utilisations de l'énergie rayonnante, rendues possibles grâce aux lasers, justifient amplement l'emploi d'un nouveau terme. Le terme de "Photonique" a été progressivement introduit à partir des années 1990. On parle de 'Photonique' pour désigner tout composant, technique ou équipement dans lequel a lieu une production, un transport, une transformation ou une détection de photons. L'Optique, avant le laser recouvrait essentiellement les phénomènes liés aux radiations visibles (0,4 à 0,8  $\mu\text{m}$ ). Le terme 'Photonique', a l'avantage, par rapport à 'Optique' de recouvrir toute la bande spectrale de rayonnements émis par les lasers les plus fréquemment utilisés : de 157 nm pour les lasers à fluor à 10 600 nm pour le laser à gaz carbonique. Le CNRS a donné en 2010 sa vision des sciences et technologies photoniques dans un rapport accessible à l'adresse : [http://www.cnrs.fr/insis/recherche/docs-actualites/2010/rapport\\_photonique.pdf](http://www.cnrs.fr/insis/recherche/docs-actualites/2010/rapport_photonique.pdf).

D'autres termes sont parfois utilisés dans la littérature pour décrire les phénomènes touchant à la Photonique, par exemple : optique quantique, optoélectronique, optronique, électro-optique, acousto-optique; chacun de ces termes ne recouvre qu'un aspect de l'interaction rayonnement-matière. L'optoélectronique est une branche de la Photonique décrivant les équipements et systèmes de télécommunications et les capteurs. Le terme "Optronique" est utilisé pour les applications dans le domaine des télécommunications militaires et spatiales.

Photonique et Électronique sont devenues indissociables dans la plupart des dispositifs technologiques. L'exemple le plus connu touche au domaine des communications : lors de l'installation de tout nouveau réseau de communication (téléphonie, télévision, internet), la question du support, fibre optique ou câble coaxial, est posée.

La Photonique n'offre pas toujours la meilleure solution en terme de coût d'installation ou de maintenance ; cependant la forme photonique de l'énergie et du signal présente des avantages par rapport à la forme électronique. En effet les photons par leur nature et contrairement aux électrons, n'interagissent pas entre eux et il n'existe pas de limite de principe à leur regroupement spatial. C'est pour cette raison qu'un laser est envisagé pour concentrer les grandes quantités d'énergie nécessaires aux expériences de fusion nucléaire (projet MégaJoule - <http://www-lmj.cea.fr/>). C'est pour la même raison que les communications optiques sont moins sensibles au bruit que les communications électroniques.

Le débit des informations qui peuvent être transmises constitue le principal avantage de la Photonique. Ceci n'est pas lié à la vitesse de la lumière, les signaux électriques se déplaçant à la même vitesse. C'est la brièveté des impulsions, de 2 à 3 ordres de grandeur plus courtes que pour les impulsions électriques, qui permet les grands débits. Des impulsions de quelques dizaines de femtosecondes sont couramment générées dans les laboratoires depuis le début des années 80. Lorsque tous les problèmes techniques liés à la génération, à la propagation et au traitement de ces impulsions seront résolus, les capacités des systèmes de communications auront été multipliées par un facteur de

$10^4$  à  $10^5$  (des centaines de Gbits/s sont envisagés). Les systèmes de communication sont devenus hybrides, associant électronique et photonique pour offrir à l'utilisateur des systèmes de transmission, d'affichage, de stockage et de traitement d'informations de plus en plus performants. L'ère du téra-bit a commencé avec les réseaux de télécommunication à base de fibres optiques et de PIC ('Photonic Integrated Circuits').

Les applications de la Photonique peuvent être regroupées suivant les trois classes suivantes :

- 1- la mesure (distances, dimensions, vitesses, propriétés des matériaux etc...)
- 2- les communications : formation et traitement des images, modulation et détection des signaux lumineux, transmission par fibres optiques ...
- 3- la transformation des matériaux : découpe, perçage, soudage, traitement de surface, ajustage de composants électroniques. Les applications médicales peuvent être classées dans cette rubrique.

Dans un rapport présenté par le Comité National de l'Optique-Photonique ou CNOP (<http://www.cnop-france.org/>) aux Assises Nationales de 2010, ([http://www.cnop-france.org/wp-content/uploads/2010/09/Reco-F\\_OV.pdf](http://www.cnop-france.org/wp-content/uploads/2010/09/Reco-F_OV.pdf)) il est dit que la Photonique joue un rôle important dans les axes technologiques clés pour le développement futur et en particulier ceux qui concernent les 6 domaines suivants :

- les Télécoms (transmission, fibres et composants, systèmes et réseaux),
- la fabrication et le contrôle (lasers et procédés industriels, fabrications de systèmes optiques)
- la santé et le vivant (imagerie médicale, capteurs, laser pour la santé)
- la surveillance et la sécurité spatiale,
- l'éclairage et l'affichage,
- les matériaux et les technologies génériques (nanophotonique et couches minces, microélectronique et photonique ..).

Une bonne source d'information pour suivre l'évolution des sciences et technologies photoniques dans le contexte français en particulier, est constituée par la revue " **Photoniques**" (<http://www.photoniques.com/>)



de la Société Française d'Optique (<http://www.sfoptique.org/>).

#### 4. QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES :

Un laser est un générateur de rayonnement électromagnétique dans la partie visible et proche du visible (infra-rouge et ultra-violet) du spectre. Il est constitué d'un amplificateur et d'une boucle de réaction. Le nom choisi pour ce dispositif est un acronyme formé par les premières lettres des mots anglais suivants : **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. C'est en 1960 que le premier laser a vu le jour, mais les développements théoriques qui ont préparé cette invention avaient commencé bien avant cette date.

Signalons quelques repères historiques.

- 1917 : Albert Einstein découvre l'**émission stimulée**;
- 1953 : Gordon, Zeiger et Townes inventent le **maser** à ammoniac ; ce dispositif oscille dans le domaine des 'micro ondes', à 24 GHz ;
- 1958 : Alfred Kastler établit la théorie du **pompage optique**;
- 1960 : Theodor Maiman invente le **laser à rubis** ;
- 1960-65 : D'autres lasers (hélium-néon, gaz carbonique, argon, semi-conducteur) sont développés dans les laboratoires;
- 1970 : Le laser entre dans le domaine des communications.
- 1980 : Le laser devient un outil pour les industries de transformation.

Dès 1917, il apparaît possible d'amplifier un rayonnement, mais c'est seulement en 1954 qu'un tel amplificateur voit le jour dans le domaine des micro-ondes [*J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. Townes, Phys. Rev., 95, p282, 1954*]. Le maser, ou amplificateur de micro-ondes par émission stimulée de rayonnement n'est plus guère utilisé aujourd'hui mais fut le point de départ de recherches intensives qui allaient déboucher sur le premier générateur de rayonnement optique cohérent ou laser constitué d'un barreau de rubis synthétique aux faces polies, entouré d'une lampe hélicoïdale [*T. Maiman, Nature, 187, 493, (1960)*]. L'extension au domaine optique de l'amplification de rayonnement par émission stimulée fut proposée en 1958 par Townes, Schawlow [*A. L. Schawlow, C. H. Townes, Phys. Rev. 112, p1940, 1958*]. Le Physicien Français A. Kastler compléta cette proposition en établissant les bases théoriques de la technique du pompage optique pour réaliser, dans un milieu isolant solide dopé, les conditions de l'amplification

Après l'invention du premier laser à rubis, de nombreux laboratoires s'orientèrent vers le développement de lasers. La plupart des lasers employés aujourd'hui ont été inventés à cette époque. Le laser à hélium-néon est apparu en 1961, fonctionnant d'abord dans l'infra-rouge, puis, l'année suivante, dans le visible à 0,63  $\mu\text{m}$ . Le laser à semi-conducteur fut aussi inventé la même année mais ne devint utile que grâce à des perfectionnements apportés une dizaine d'années plus tard, qui rendirent possible le fonctionnement à température ordinaire.

Le laser a été d'abord considéré comme une invention sans avenir ('une *invention à la recherche d'une application*' pour reprendre une expression utilisée à ses débuts). Très vite les potentialités des lasers furent reconnues. Les premières applications ont vu le jour dans le domaine de la mesure. Grâce à une cohérence spatiale parfaite et à une grande cohérence temporelle, des mesures de grande précision peuvent être effectuées.

Les premières expériences industrielles se sont cependant révélées décevantes. Les lasers paraissaient trop fragiles aux utilisateurs. Les lampes de pompage et les fenêtres optiques des lasers solides devaient être changées souvent. L'entretien était jugé trop complexe. Les opérations effectuées n'étaient pas toujours reproductibles. Au cours des années 70 les lasers de puissance destinés à l'usinage des matériaux firent leur apparition et vers 1980, le laser était devenu un outil industriel bien accepté. A partir des années 2000, les lasers ont connu un essor important dans tous les domaines, à commencer par celui de l'usinage et des traitements des matériaux. Les lasers sont devenus des outils fiables et nécessitant peu de maintenance. Comme l'électronique, la Photonique s'est progressivement

effacée en tant que science et technique particulière pour pénétrer tous les domaines d'applications, et contribuer aux performances de tous les objets complexes qui nous accompagnent au 21<sup>ème</sup> siècle.

## 5. QUELQUES PRIX NOBEL EN RELATION AVEC LE LASER ET L'OPTIQUE (LISTE NON EXHAUSTIVE)

1918 - **Max Planck** pour la quantification du rayonnement.

1954 - **Charles Townes** pour le maser à ammoniac.

1964 - **Aleksandr Bassov** et **Andreï Prokhorov** pour leurs contributions aux masers et aux lasers.

1966 - **Alfred Kastler** : Pompage optique, spectroscopie optique à résonance double

1971 - **Denis Gabor** pour l'invention de l'holographie.

1981 - **Nicolas Blomberger** et **Arthur Schawlow** pour leurs contributions aux masers à trois niveaux, à l'optique non linéaire et à la spectroscopie.



La lumière continue à être l'objet d'intenses recherches. Le comité Nobel a accordé en 2012 le prix de physique pour des travaux dans ce domaine. Le Physicien français **Serge Haroche** et l'Américain **David Wineland** ont reçu le prix pour leurs recherches concernant la mesure et la manipulation des systèmes quantiques individuels. [[http://fr.wikipedia.org/wiki/Serge\\_Haroche](http://fr.wikipedia.org/wiki/Serge_Haroche)].

2014 - C'est encore pour une découverte sur la lumière que le prix Nobel de physique 2014 a été décerné à Isamu Akasaki et Hiroshi Amano de l'université de Nagoya au Japon, ainsi qu'à Shuji Nakamura, de l'université de Santa Barbara aux Etats-Unis pour avoir découvert et développé la diode électroluminescente bleue permettant de produire de la lumière avec une bonne efficacité énergétique [ [La Recherche /Actualités 2014](#) ].

## 6. LA PHOTONIQUE À STRASBOURG ET EN ALSACE.

La Photonique est présente à Strasbourg et en Alsace depuis le début des années 80. Diverses initiatives et événements ont jalonné ses développements. En voici quelques uns.

- Conférences internationales de Photonique et d'holographie en 1977 et 1979 ;
- Création d'une équipe de recherche en photonique : Laboratoire des Systèmes Photoniques  
puis en 2011, l'**Equipe "Instrumentation et Procédés Photoniques, IPP** (<http://www-iness.c-strasbourg.fr/-Instrumentation-et-procedes->), intégrée en 2013 au sein du Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, l'Imagerie et l'Informatique, Icube (<http://icube.unistra.fr/icube/index.php/Accueil>)
- Existence d'une option en Photonique à l'ENSPS, devenue en 2012 Télécom Physique Strasbourg, (<http://www.telecom-physique.fr/>)
- un parcours Nanophotonique au sein du Master IRIV ([http://master-iriv.u-strasbg.fr/index.php?page=prc\\_nano](http://master-iriv.u-strasbg.fr/index.php?page=prc_nano))
- Création et développement de l'IREPA LASER (<http://www.irepa-laser.com/>)
- Existence d'un centre d'un CRITT en métrologie optique et laser, Holo3 (<http://www.holo3.com/>)
- Conférence Photonics Europe en 2006 et 2008 (<http://spie.org/x12290.xml>).
- Création de l'Association Rhenaphotonics (<http://www.rhenaphotonics.fr/>)
- Evolution des thèmes de recherche de laboratoires de l'Université de Haute-Alsace comme le MIPS (<http://www.mips.uha.fr>)
- Mise en place d'un groupe de recherche en Nanophotonique à l'IPCMS (<http://www-ipcms.u-strasbg.fr/spip.php?rubrique555&lang=en>)
- A l'INSA de Strasbourg, la Photonique et les lasers sont présents au travers des activités de recherche des Enseignants-chercheurs rattachés à l'équipe ICUBE-IPP- (<http://www.insa-strasbourg.fr/fr/icube-ipp>). C'est à l'INSA de Strasbourg, que le CRITT<sup>1</sup> IREPA Laser a vu le jour au début des années 80, sous l'initiative du Professeur P. Meyrueis et grâce à l'engagement dynamique d'un Ingénieur de l'ENSAIS (aujourd'hui INSA), Olivier Freneaux.

Ayant participé à tous ces développements, j'ai rédigé quelques documents qui peuvent être utiles aux Ingénieurs et Techniciens pouvant être amenés à mettre en œuvre des lasers dans leurs projets. Le document présente :

- les notions de base de l'optique et de l'électromagnétisme, (ch 2)
- les lasers : principes d'émission, éléments constitutifs, les propriétés des faisceaux, les différents types)
- les applications des lasers et la photonique : l'instrumentation, la mesure et le contrôle non destructif, la photonique de puissance, l'usinage et le traitement des matériaux
- quelques aspects liés à la sécurité d'utilisation.

Ce document n'a pas la prétention de se substituer aux nombreux ouvrages de grande qualité aujourd'hui disponibles. Quelques exemples sont mentionnés dans la suite.

---

<sup>1</sup> CRITT : Centre Régional Pour L'innovation Et Le Transfert De Technologie

## 7. QUELQUES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES POUR APPROFONDIR LE SUJET.

### 7.1. POUR COMMENCER :

**Une introduction illustrée éditée à l'occasion du 50ème anniversaire de l'invention du laser :**

- « Le laser : 50 ans de découvertes » - Fabien Bretenaker- EDP SCIENCES, ISBN : 978-2-7598-0517-4, Avril 2010.
- « [Le laser : 50 ans de découvertes](#) » - Les reflets de la physique, Revue de la Société Française de Physique, n°21, octobre 2010

**Un petit guide pratique sur les lasers :**

- « Field guide to Lasers », R. Paschotta, SPIE Press, Vol FG12, ISBN 978-0-8194-6961-8, 2007.

**Et une multitudes d'articles, par exemple :**

- "La révolution LASER", Le Journal du CNRS, n° 243, p 18-27, avril 2010.

### 7.2. OUVRAGES DE RÉFÉRENCE SUR L'OPTIQUE :

- Un texte très complet en français : "Optique : Fondements et applications" Avec 250 exercices et problèmes résolus, José-Philippe Pérez, Dunod, 2004 - 7ème édition - 736 pages - 175x240 mm, EAN13 : 9782100484973 - *Public concerné : Etudiants en Licence de Physique et Sciences physiques ; Etudiants en Master de Physique et de Sciences physiques ; Elèves des classes préparatoires ; Elèves ingénieurs (Génie physique) ; Candidats à l'Agrégation de physique.*
- Un ouvrage de référence en anglais : "Optics", 4th ed, Eugene Hecht, Addison-Wesley; 4 edition , August 12, 2001. ISBN-13: 978-0805385663.

### 7.3. OUVRAGES CONTENANT UNE PRÉSENTATION DÉTAILLÉE DE LA PHYSIQUE DES LASERS ( NIVEAU MASTER)

**Au niveau Master et option spécialisée d'écoles d'ingénieurs :**

- « Lasers et optique non linéaire » ; Christian Delsart, Physique -LMD, Universités, Ecoles d'ingénieurs, Ellipses, Bibl. Insa D8e, Auteur : DEL, 2008.
- « Les lasers. Cours et exercices corrigés » D. Dangoisse, D. Hennequin, V. Zehné-Dhaoui, Dunod, 1998, 2<sup>ème</sup> éd. Dunod, 2004.
- « Physique du laser » - R. Farcy, Dunod Université, Paris, 1989

### 7.4. LES CLASSIQUES DE LA LITTÉRATURE ANGLO-SAXONE

- "Introduction to laser electronics"; A. YARIV, Ed. Holt, Rinehart, Winston, 2nd ed. , 1976.
- "Laser electronics"; J. T. VERDEYEN, Prentice Hall, Inc, N. J., USA (1981); 2nd ed. , 1989.
- "Principles of lasers"; O. Svelto, Plenum Press, 2nd ed., 1989.
- « Introduction to Laser Physics », K. SHIMODA, Springer Series in Optical Sciences, Vo. 44, 2<sup>nd</sup> ed., 1986.
- "Lasers"; A. SIEGMAN, University Science Books, Mill Valley, California, 1986.
- « Photonics and lasers, an introduction » ; Richard S. Quimby, Wiley, 2006

### 7.5. OUVRAGES UTILES POUR UN APPROFONDISSEMENT

- "Interaction Laser Molécule - Physique du laser et optique non linéaire moléculaire" ; J.R. Lalanne, A. Ducasse, S. Kielich, PolyTechnica, (1994)
- "Quantum electronics"; A. YARIV, J. Wiley, sons, Inc., (1975).

- "Laser Physics"; M. Sargent, M. O Scully, W. E. Lamb, Addison-Wesley Publ. comp., (1974)

## 7.6. OUVRAGES ET DOCUMENTS SUR LA PHOTONIQUE

### Un rapport sur les perspectives de l'optique et la photonique pour l'économie américaine :

- "Optics and Photonics : Essential Technologies for our nations", ISBN 978-0-309-26377-1, 280 pages, 2012. Le PDF peut être obtenu à l'adresse [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=13491](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13491)

### et l'équivalent français :

- "Photonique&Horizons" , CNRS&INSIS, 114 pages, Mars 2012

[http://www.cnrs.fr/insis/recherche/docs-actualites/2010/rapport\\_photonique.pdf](http://www.cnrs.fr/insis/recherche/docs-actualites/2010/rapport_photonique.pdf)

### qui fait suite au :

- Rapport du Comité National de l'Optique-Photonique ou CNOP (<http://www.cnop-france.org/>) aux Assises Nationales de 2010, ([http://www.cnop-france.org/wp-content/uploads/2010/09/Reco-F\\_OV.pdf](http://www.cnop-france.org/wp-content/uploads/2010/09/Reco-F_OV.pdf) )

### Un premier rapport avait été édité en 1990 :

- "De l'Optique à la Photonique"; Rapport N°11 de l'Académie des Sciences.

### Ouvrages sur les bases de la Photonique :

- « Optoélectronique : Composants photoniques et fibres optiques »; Zeno Toffano, TECHNOSUP, Supélec, Ed Ellipses, ISBN 2-7298-0703-9, 2001
- "Optique et Télécommunications"; A. COZANNET, J. FLEURET, H. MAITRE, M. ROUSSEAU; Ed. Eyrolles , 1981.
- "Bases de radiométrie optique"; Jean-Louis Meyzonnette, Thierry Lépine, 252 p, ISBN 2854285530, Ed. Cepadues, 2001.
- "Détection et détecteurs de rayonnements optiques" ; F. Desvignes, Masson, (1987).

### Sur la Photonique de puissance - Usinage et traitement des matériaux :

- "Techniques d'utilisation des photons - Principes et applications" - Electra, J.-C. André, A.-B. Vannes, DOPEE (1992)

## 8. WEBOGRAPHIE

### [Année internationale de la lumière](http://www.kezako.uniciel.fr) (Kezako.uniciel.fr)

### Photonics-what's in a name, LaserFocusWorld, 08/07/2014

<http://www.laserfocusworld.com/articles/2014/08/photonics-what-s-in-a-name.html>

- les archives de la Société Française d'Optique :

<http://hal-sfo.ccsd.cnrs.fr/sfo-00442974/fr/>

- le site du CNRS sur les lasers, à l'occasion du 50ème anniversaire de l'invention du 1er laser

<http://www.cnrs.fr/50anslaser/>

- un [cours en ligne sur les lasers](#) ( SCIRN – PRN de l'Université du Maine):

[http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M01\\_C01/co/Grain\\_OPI\\_fr\\_M01\\_C01.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M01_C01/co/Grain_OPI_fr_M01_C01.html)

- Le site de l'Université du Mans est très riche :

<http://subaru2.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/index.html>

• un site dédié aux procédés laser appliqués au traitement et à l'usinage des matériaux (intéressant à condition de devenir membre du Club Laser et Procédés) [www.laserenligne.fr](http://www.laserenligne.fr)

en complément du site de l'IREPA LASER <http://www.irepa-laser.com/>.

• et bien d'autres .....