

# Description de la lumière LASER

Décrire la lumière produite par un LASER fait nécessairement appel aux **quatre domaines principaux de l'optique moderne**.

## 1- Optique géométrique

Faisceau cohérent très faiblement divergent :  
angle de divergence  $< 1$  mrad typiquement.



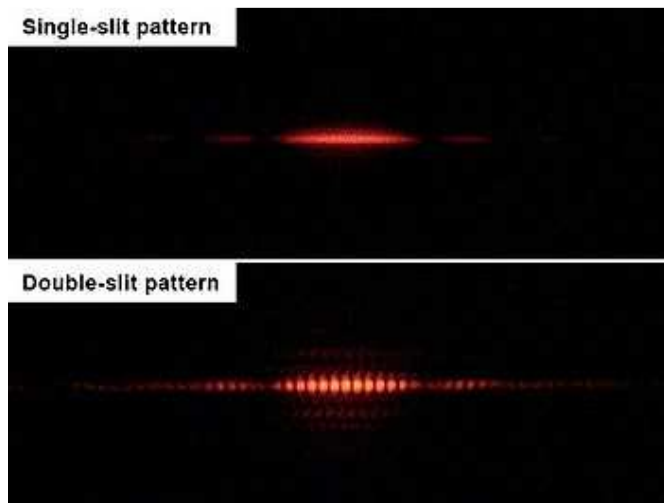
Repérage et traçage à l'aide de niveaux laser

→ **Modèle du rayon de lumière** (*ray*) à propagation rectiligne en milieu optiquement homogène  
Utilisé quand les dimensions caractéristiques (taille fente etc.)  $d \gg \lambda$  longueur d'onde.

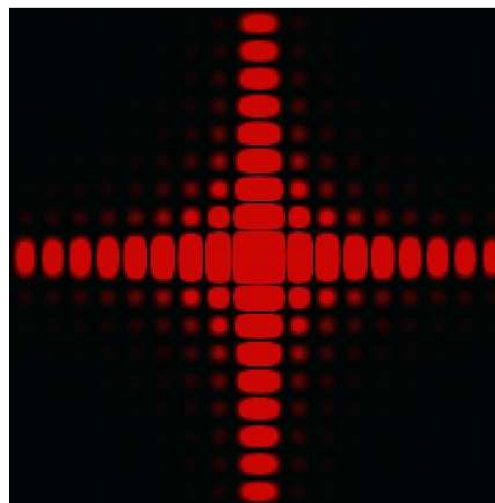
## 2- Optique ondulatoire & Electromagnétisme

- **Onde électromagnétique** caractérisée par sa fréquence  $\nu$  constante dans tous les milieux traversés.
- Propagation à la **vitesse de la lumière** ( $c = 299\,792\,458 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1} \approx 300\,000 \text{ km.s}^{-1}$  dans le vide ).
- Couleur rouge caractérisée par une **longueur d'onde dans le vide** : Laser He-Ne  $\lambda_0 = 632.8 \text{ nm}$  ; soit  $\lambda_0 = c T = c \times 1 / \nu$  où  $\nu = 4.73 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  Mais  $\lambda = \lambda_0 / n$  si l'indice optique est  $n$  :  $\lambda = c / n \times 1 / \nu$

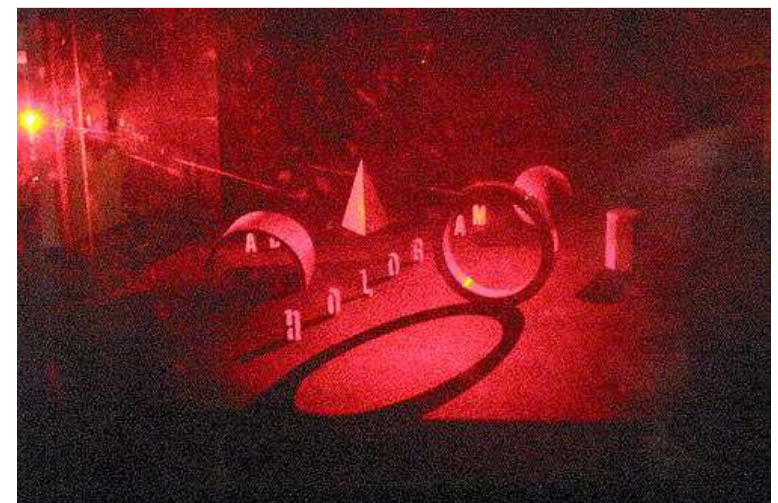
Remarque : depuis 1983 « le [mètre](#) est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de  $1/299\,792\,458$  [seconde](#) » (résolution de la 17<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures).



**Interférences et diffraction**  
par deux fentes d'Young



**Diffraction** par une ouverture  
carrée

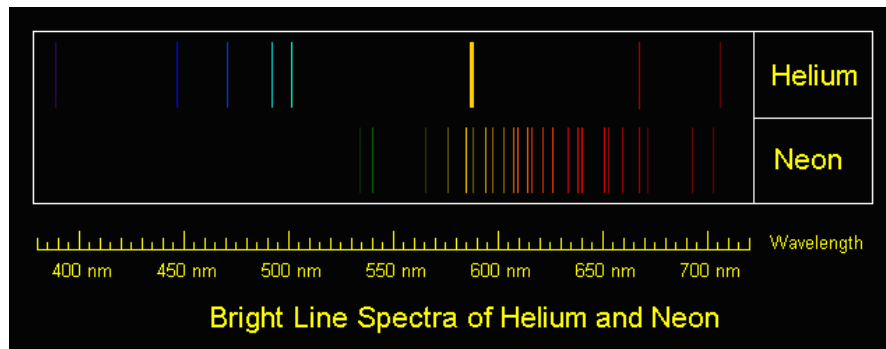


**Holographie** (représentation 3D)

→ Diffraction, interférences, holographie, polarisation ne peuvent être décrites sans faire intervenir le **modèle ondulatoire** de la lumière.

### 3- Optique quantique

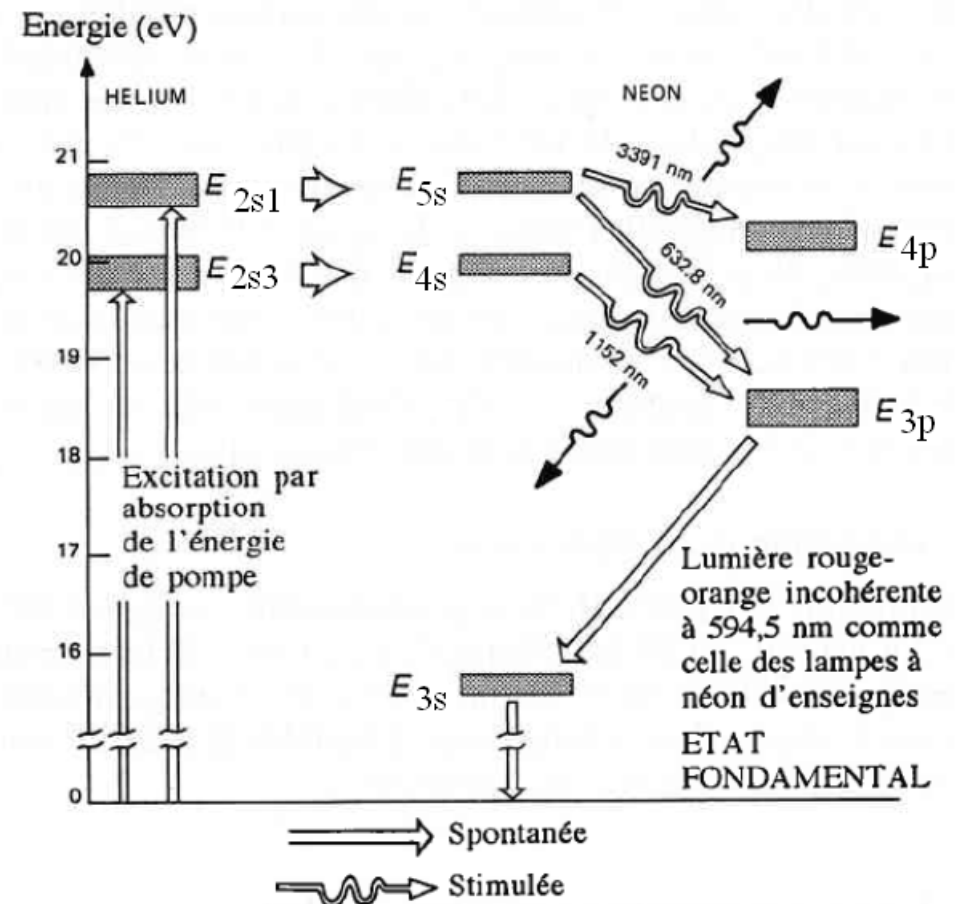
#### Spectres d'émission de l'hélium et du néon



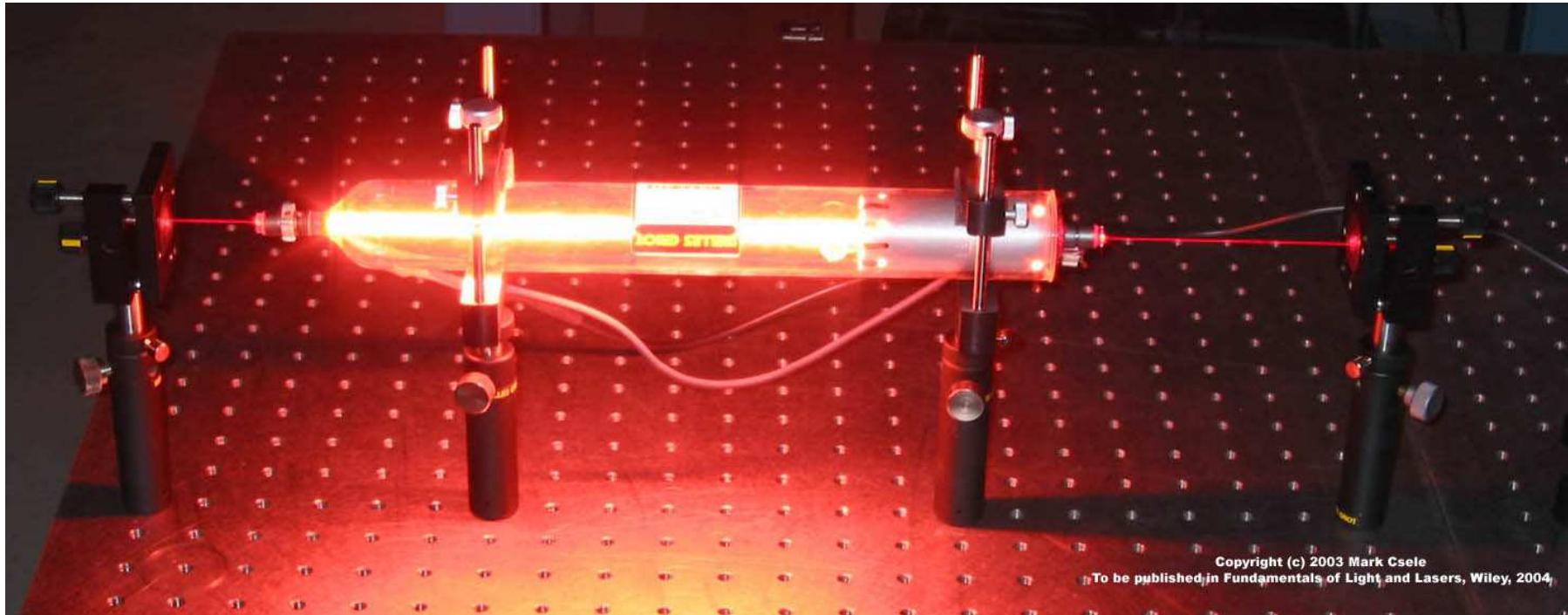
#### Processus d'émission de lumière dans un laser

L'hélium et le néon sont associés du fait de l'existence de raies de même longueur d'onde dans leurs spectres.

- Les atomes de **néon** sont **excités par une décharge électrique** au sein du gaz du tube du laser.
- De nombreux atomes d'**hélium** sont **excités par collision** avec les atomes excités de néon : ce procédé s'appelle « **pompage optique** ». Les électrons vont des niveaux d'énergie inférieurs vers les niveaux supérieurs.
- Les raies lumineuses de l'hélium sont émises lors de la de-excitation des atomes d'hélium. La transition d'un électron d'un niveau supérieur vers un niveau inférieur libère une quantité précise d'énergie sous la forme d'un « grain » de lumière ; ce « quantum » d'énergie est appelé **photon**



## Lumières émises par un tube Hélium-Néon



On observe l'émission latérale de lumière orangée à 594.5 nm par **émission spontanée**.

La **lumière de lasage** rouge à 632.8 nm, sélectionnée par le réglage de la distance entre miroir, est émise dans l'axe. Les autres raies IR ne sont pas visibles ! Il n'y a pas lasage car la distance ne convient pas (condition d'interférence non remplie).

→ Spectre de raies correspondant aux écarts entre niveau d'énergie pour les transitions possibles.

→ Chaque transition vers un niveau inférieur d'un électron correspond à **l'émission d'un photon** d'énergie

$$\Delta E = E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{avec la constante de Planck } h \approx 6,626\,068\,96 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



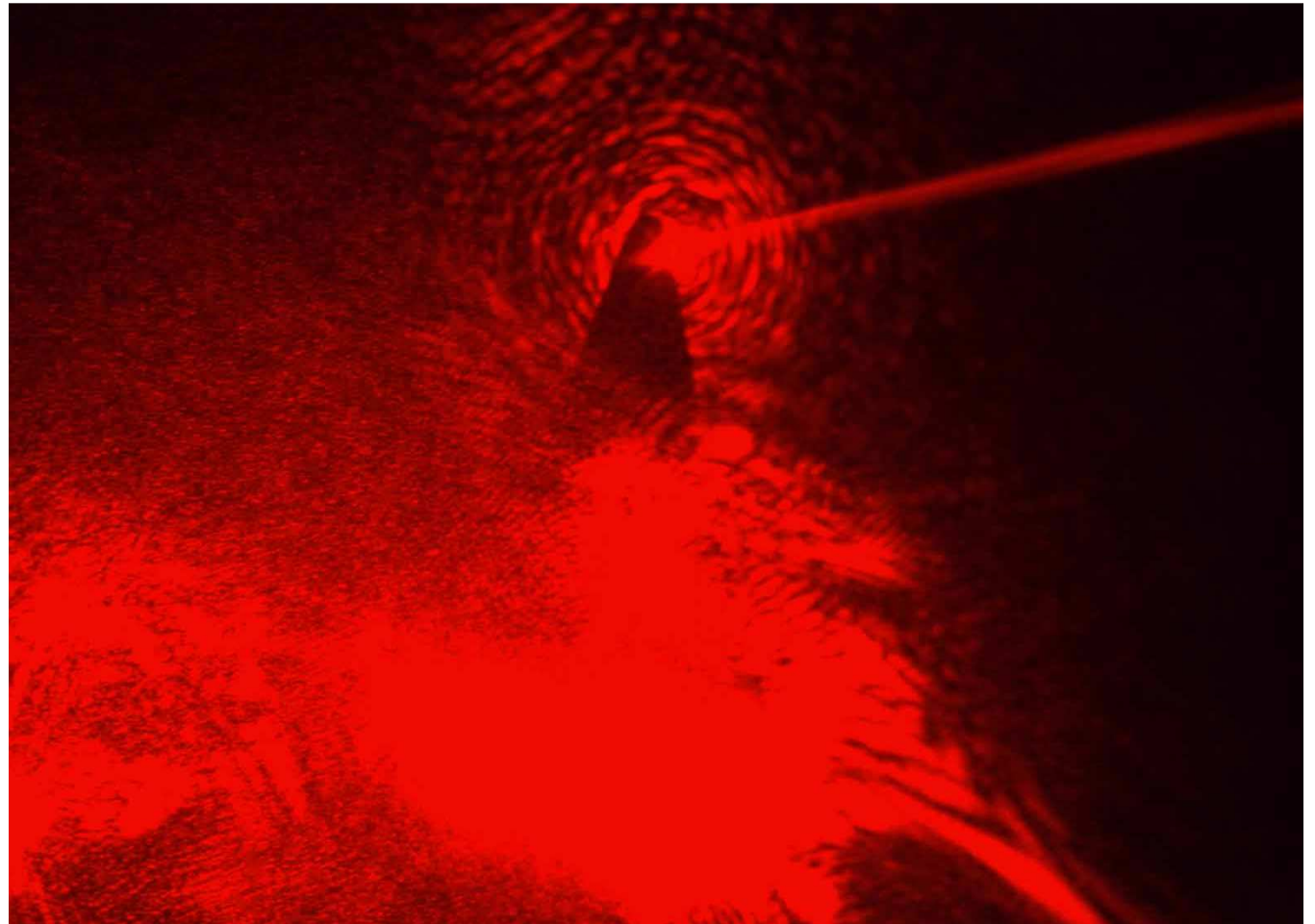
## 4- Optique statistique

### Structure granulée d'une figure de « speckle »

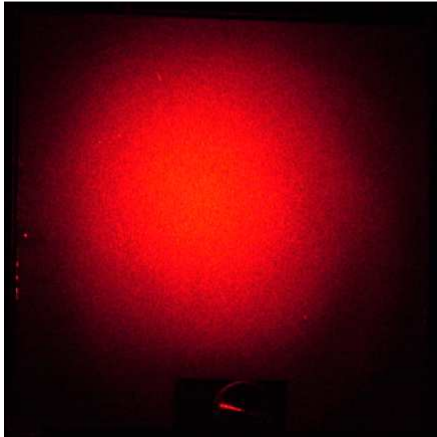
La lumière générée par un LASER est suffisamment **cohérente** (spatialement et temporellement) pour **auto-interférer** aisément.

Il suffit d'observer en réflexion la tâche lumineuse obtenue sur un écran à peine rugueux ou en transmission la lumière issue d'un **verre dépoli**.

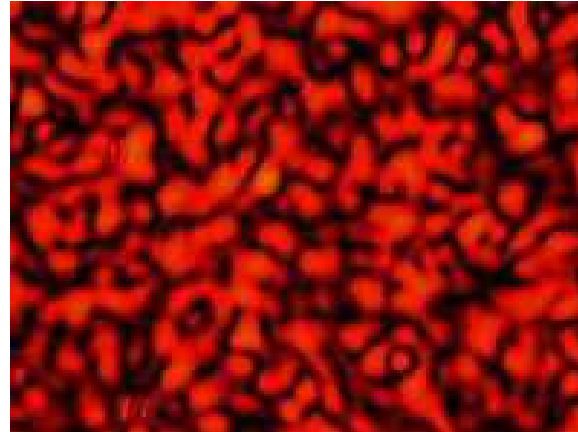
Remarque : image « artistique » issue du projet Sawari



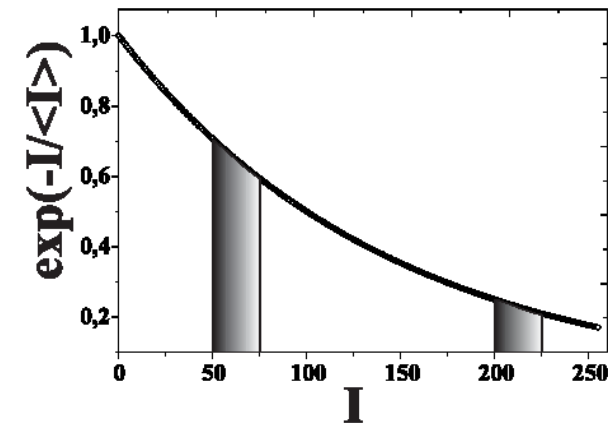
La **figure de speckle** constatée présente, au lieu de l'éclairement uniforme attendu, une **structure granulaire** constituée de petites tâches (ou « grains de speckle » ou « tavelures ») d'intensité lumineuse différente, réparties aléatoirement dans l'espace. Ce phénomène, usuellement considéré comme indésirable, peut être mis à profit pour des mesures de très faibles déplacements.



Photographie du speckle obtenue sur un écran avec un faisceau laser élargi par une lentille



Détails de la figure, enregistrés avec une webcam



Densité de probabilité  $p(I)$

Dans l'image d'un speckle, les tâches sombres paraissent plus nombreuses que les zones les plus brillantes.

On ne peut comprendre cette répartition qu'en considérant la **densité de probabilité** de trouver un élément de surface d'intensité

lumineuse  $I$  : soit  $p(I) = \frac{1}{\langle I \rangle} \exp\left(-\frac{I}{\langle I \rangle}\right)$  où  $\langle I \rangle$  est l'intensité moyenne

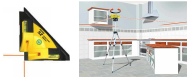
→ L'étude détaillée de tels phénomènes nécessite des calculs assez sophistiqués

(cf. TP MC S4 Mesure de faibles déplacements par interférométrie de speckle).

## Sources des figures et des images :



<http://www.provence-outillage.fr/outillage-maconnerie>



[http://www.stanleyoutillage.fr/sub\\_category/Niveaux+Laser.ctlg](http://www.stanleyoutillage.fr/sub_category/Niveaux+Laser.ctlg)



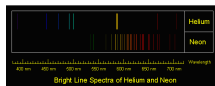
<http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/1265951>



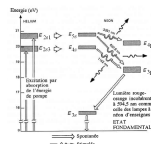
[http://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit\\_experiment](http://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment)



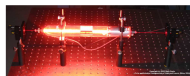
<http://www.science-et-vie.net/definition-holographie-712.html>



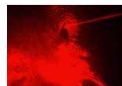
<http://www.repairfaq.org/sam/LASERsam.htm>



*Introduction à l'optoélectronique* JC. Chaimovicz Dunod 1992



<http://www.haanappel.net/ryan/resume/experience-hene.php>



<http://www.radlab.com/information/sawari.html>

## Faits historiques :

- Apport d'Einstein au LASER : émission stimulée par un atome (article 1917, second prix Nobel 1921) <http://www.maths-et-physique.net/article-3113016.html>
- Projet et développement Charles Townes, co-découvreur du LASER : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Townes](http://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Townes) et [http://en.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Hard\\_Townes](http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Hard_Townes) (première expérience réussie 1954, co-prix Nobel 1964),
- Mise au point du premier LASER Hélium-Néon (mai 1960 Ted Maiman) : [http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon\\_laser](http://en.wikipedia.org/wiki/Helium-neon_laser)
- 1960-2010 Cinquantenaire du LASER (brevet juillet 1962) <http://50ansdulaser.com/> <http://www.laserfest.org/>

## Sommaire

DESCRIPTION DE LA LUMIERE LASER.....	1
1- Optique géométrique.....	1
2- Optique ondulatoire & Electromagnétisme .....	2
3- Optique quantique.....	3
4- Optique statistique .....	5
Sources des figures et des images :.....	7
Faits historiques :.....	8
Sommaire .....	8