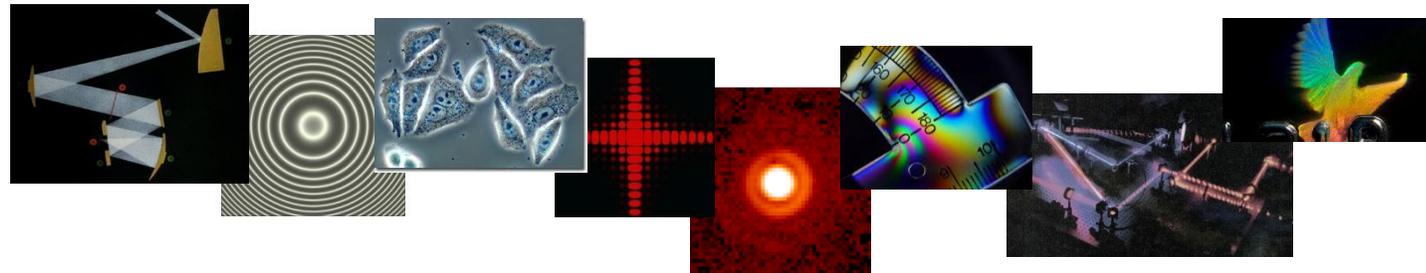


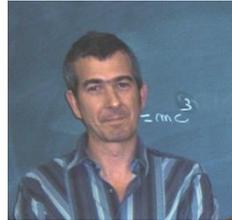
# Présentation du Cours d'optique

Emmanuel Fort

[emmanuel.fort@espci.fr](mailto:emmanuel.fort@espci.fr)



Institut **Langevin**  
ONDES ET IMAGES



François  
RAMAZ



Artur GOETSCHY



Ignacio IZEDDIN



Nikos Fayard

Emmanuel LABBEY  
(agent logistique générale ESPCI)



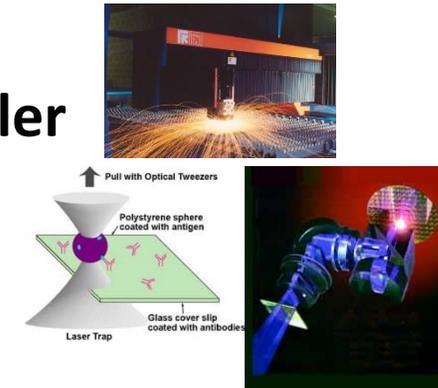
L'OPTIQUE est au cœur

- des sciences de l'ingénieur
- des avancées les plus fondamentales

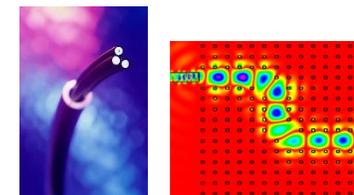
Imager  
Détecter



Modifier/manipuler  
la matière



Communiquer



- Maîtriser les fondements ET les aspects technologiques de l'optique
- Apprendre des concepts, outils, méthodes utilisables dans de nombreux domaines
- Avoir un bagage pour comprendre les dernières avancées et pour pouvoir innover
- Etre à l'aise dans un contexte industriel et dans un contexte académique
- Aimer encore plus l'optique après le cours...

$$D = \frac{1}{c} \frac{dL}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dP}{dt}$$
$$D^2 = \frac{1}{P^2} \frac{P-P}{P} \sim \frac{1}{P^2} \quad (1a)$$
$$D^2 = \frac{KQ}{P} \frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P} \quad (2a)$$
$$D^2 \sim 10^{-33}$$
$$e \sim 10^{-26}$$
$$P \sim 10^3 \text{ W}$$
$$t \sim 10^9 (10^{11}) \text{ s}$$



## Cours et TD

- 40 h dont 10 h de TD
- Partie I : Lumière et Images
- Partie II : Lumière et Matière

## Travaux Pratiques

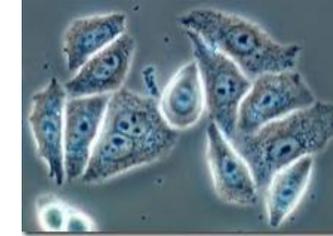
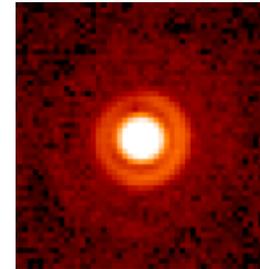
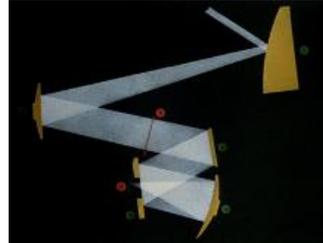
- 2 sessions de 8 demi-journées pour chaque binôme
- Possibilité de choix des TP

## Préceptorats

- 4 séances de 2h

## *Optique physique – Systèmes d'imagerie - Détection*

- Optique géométrique
- Photométrie
- Interférences – Cohérence
- Propagation et diffraction
- Relation objet-image
- Holographie
- Photodétection et bruits



- 5 Travaux dirigés
  - Optique géométrique
  - Interférences
  - Photométrie, détection et bruit
  - Imagerie en éclairage cohérent
  - Imagerie en éclairage incohérent

- 2 préceptorats (Spectroscopie, Microscopie)

## *EM dans la matière – Interfaces – Interaction matière-rayonnement - Lasers*

- Milieux matériels (dispersion – absorption)
- Plasmonique
- Réflexion et transmission aux interfaces
- Milieux anisotropes et applications
- Optique guidée
- Optique non-linéaire
- Interaction lumière-atome (semi-classique)
- Lasers
- 5 Travaux dirigés

Couches minces

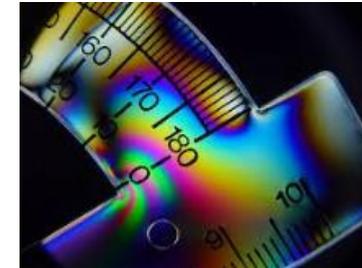
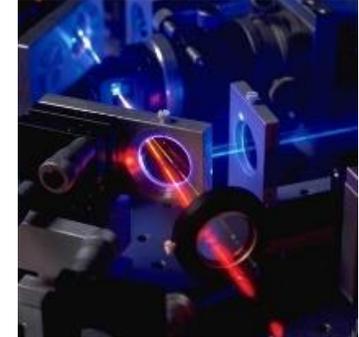
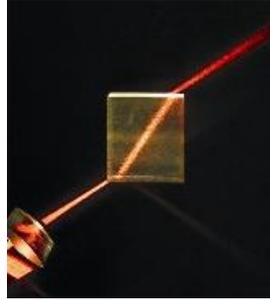
Plasmons de surface

Milieux anisotropes

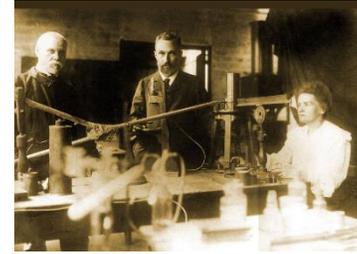
Génération de second harmonique – Oscillateur paramétrique (2015-2016)

Exercices de révision

- 2 préceptorats (Interactions acousto-optique, Lasers)



- Promotion répartie en 3 groupes
- Chaque binôme fait 14 demi-journées (= 53h)
- 5 TP au choix



- Choix formatés
- Existence de séances libres
- > 20 TP possibles

- Spectroscopies interférentielles  
*Ex : spectroscopie par TF*

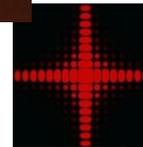


- Lasers

*Ex : cavité laser He-Ne*



- Diffraction et filtrage des fréquences spatiales  
*Ex : diffraction acousto-optique*



- Modulation de la lumière et détection synchrone  
*Ex : Détection hétérodyne*



- Séances « libres »

*Ex : Holographie numérique, imagerie infrarouge, etc*



- 4 séances de 2h pour chaque binôme – 4 sujets
  - Spectroscopies
  - Microscopie
  - Interactions multi-ondes
  - Lasers
- Sujet en deux parties
  - Partie A cadrée (questions)
  - Partie B libre (étude d' un article + exposé/discussion)
- 1 sujet transverse
  - Acoustique – optique – thermique
- 9 tuteurs (5 enseignants + 4 chercheurs)

## PARTIE A

### Largeur spectrale d'un laser – Relation de Schawlow et Townes

Première partie : réponse aux questions

Deuxième partie : présentation et discussion par binôme d'un des articles proposés (typiquement 20mn/binôme).

Un milieu actif et une cavité résonnante constituent un système laser. Nous évaluerons dans un premier temps la largeur spectrale de chacun de ces éléments. On pourrait alors penser que la largeur spectrale du mode laser est une combinaison des caractéristiques spectrales de la raie d'émission et de celles du Fabry-Perot, mais tel n'est pas le cas. Le but de ce préceptorat est de montrer que la largeur ultime du laser est fortement dépendante de sa puissance d'émission.

#### I. Élargissement spectral du milieu actif

La raie rouge du laser Hélium-Néon ( $\lambda = 632.8nm$ ) correspond à une transition optique entre les niveaux  $^3S$  et  $^2P$  du néon. Le niveau émetteur possède une durée de vie limitée ( $\tau = 10^{-7}s$ ).

I.1 - Estimer en  $MHz$  et en  $nm$  la largeur spectrale associée à cette raie de fluorescence, appelée largeur naturelle, ou largeur homogène.

I.2 - La température du gaz ( $T=400K$ ) provoque une agitation thermique (distribution des vitesses  $\propto e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$  : Maxwell-Boltzman) des atomes de néon ( $M_{Ne}=20$ ). Expliquer comment l'effet Doppler influe sur l'élargissement spectral ( $k_B=1.38.10^{-23}J/K$ ). On parle alors d'un élargissement inhomogène (décalage Doppler  $\Delta\nu_D/\nu = \pm V/c$ ).

I.3 - La raie d'émission laser à  $1064nm$  du  $Nd^{3+}$  dans le cristal de YAG a une largeur spectrale de  $4 \text{ à } 6 \text{ cm}^{-1}$ , alors que son déclin de fluorescence est de  $250\mu s$ . Pouvez-vous donner une interprétation de cet élargissement spectral ?

#### II. Caractéristiques spectrales de la cavité passive

On prend comme milieu actif le mélange Hélium-Néon. La cavité (Fabry-Perot) possède une longueur  $L=1m$ .

II.1 - Combien de modes longitudinaux sont susceptibles d'être amplifiés ?

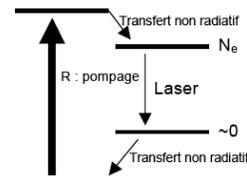
II.2 - Quelle est la largeur spectrale ( $\delta\nu_c$ ) associée à chacun des modes de la cavité si l'on suppose qu'elle est constituée de 2 miroirs identiques ayant un coefficient de réflexion  $R=0.9$  ? Finesse réfléchrice d'un Fabry-Perot :  $F_R = \pi R^{1/2}/(1-R)$ .

#### III. Cavité active – Saturation du gain dans la raie spectrale – Phénomènes de holeburning

Le milieu fluorescent pompé est placé dans un résonateur optique (Fabry-Perot) afin d'optimiser l'effet de multipassage dans le milieu et donc favoriser l'amplification par émission stimulée. Ce système, analogue en électronique à une rétro-action, permet d'affiner la pureté spectrale du mode laser.

L'utilisation d'un système quantique à 4 niveaux est assez favorable car la condition d'inversion de population est généralement réalisée dès un faible taux de pompage ( $R$ ), contrairement à un système à 3 niveaux.

Les équations décrivant le laser en termes de **nombre de photons** dans la cavité ( $n$ ) et de **nombre d'atomes** dans le niveau émetteur ( $N_e$ ) s'écrivent en fonction du seul coefficient d'émission spontanée d'Einstein ( $A$ ) :



## PARTIE B

Deuxième partie : présentation et discussion par binôme d'un des articles proposés (typiquement 20mn/binôme).

Laser physics

### The smallest random laser

### Diode laser with 1 Hz linewidth

### Les applications thérapeutiques des lasers

### Enhanced quantum light generation

OPHTHALMOLOGY

### Two-photon treatment

- Examen final

Ecrit 3h

Partie A (1h) : Questions de cours

Partie B (2h) : Exercices

*Test de différentes aptitudes + couverture large du programme*

- Travaux pratiques

Evaluation travail en séance + présentation de 10 min

- Préceptorats

Travail préliminaire sur partie A (veille de la séance)

Evaluation participation en séance + partie B (exposé/discussion) + copie

## Créneaux horaires :

TD1 : Lundi 23 octobre 15h20 - 16h20

TD2 : Vendredi 8 décembre 9h40 - 10h40

TD3 : Vendredi 15 décembre 9h40 - 10h40

TD4 : Mardi 16 janvier 10h50-11h50

TD5 : Mardi 30 janvier 10h50 - 11h50

TD6 : Mardi 6 février 10h50 -11h50

TD7 : Mardi 13 février 10h50 - 11h50

TD8 : Mardi 27 février 10h50 - 11h50

TD9 : Mardi 20 mars 10h50 - 11h50

## Salles TD 1 :

Opt-TDG1 : NOBELIUM

Opt-TDG2 : AMPHI HOLWECK

Opt-TDG3 : AMPHI BOREAU

## **Pas de cours les :**

Jeudi 2 Novembre 10h50-11h50

Vendredi 3 Novembre 10h50-11h50

Jeudi 9 Novembre 10h50-11h50

Vendredi 10 Novembre 10h50-11h50

## **Déplacement nouvelles dates :**

### **Amphi IPGG**

Lundi 27 Novembre 13h – 13h50

Lundi 4 Décembre 13h – 13h50

Lundi 11 Décembre 13h – 13h50

Lundi 18 Décembre 13h – 13h50