

Cours d'optique (1^{ère} Technique de l'image) : table des matières (2017-2018)

Chapitre 1 : notions d'optique géométrique

- ✓ 1 Cadre et outil de l'optique géométrique
 - Définition
 - Visibilité de la lumière et des objets
 - Propagation rectiligne de la lumière
 - Lumière et ombre
 - Optique géométrique
 - Validité de l'optique géométrique
 - Une première application à la photographie : observation avec une chambre noire
 - Exercices (propagation rectiligne)
- ✓ 2 Phénomènes de diffusion, de réflexion et de réfraction : lois de Snell et Descartes
 - Diffusion et réflexion
 - Définitions
 - Lois de la réflexion
 - Exercices (lois de la réflexion)
 - Phénomène de réfraction, introduction
 - Indice de réfraction absolu d'un milieu
 - Indice de réfraction relatif de deux milieux
 - Exercices (indice de réfraction)
 - Lois de la réfraction
 - Réfraction et phénomène de réflexion totale
 - Exercices (lois de la réflexion et de la réfraction)
- ✓ 3 Principe de retour inverse de la lumière
- ✓ 4 Notion de chemin optique et principe de Fermat
 - Notion de chemin optique
 - Énoncé du principe de Fermat
 - Principe de Fermat et lois de la réflexion
 - Principe de Fermat et lois de la réfraction
 - Principe de Fermat et lois de la réflexion et de la réfraction, analyse générale
 - Propagation courbe de la lumière dans un milieu inhomogène, phénomène de mirage

Chapitre 2 : étude de systèmes optiques simples et des images par réflexion et réfraction

- ✓ 1 Système optique, points objets, images, espace objet, espace image
 - Notion d'objet et de système optique
 - Notion d'image
 - Stigmatisme rigoureux et points conjugués
 - Types de systèmes optiques
 - Espace objet et espace image
 - Types d'images
 - Types d'objets
 - Notion d'objet ou d'image à l'infini
- ✓ 2 Etude du stigmatisme pour un système optique
 - Orientation des distances pour un système optique
 - Condition de stigmatisme en termes de chemin optique
 - Stigmatisme du point de vue de l'optique ondulatoire
 - Surfaces rigoureusement stigmatiques pour un couple de points
 - Conditions de Gauss et stigmatisme approché
- ✓ 3 Systèmes optiques les plus simples : le miroir plan et le dioptre plan
 - Miroir plan
 - Dioptre plan
 - Exercices (miroir plan et dioptre plan)
- ✓ 4 lame à faces parallèles et prisme
 - lame à faces parallèles
 - Le prisme
- ✓ 5 Miroirs sphériques
 - Histoire
 - Miroirs sphériques, définitions
 - Centre et sommet des miroirs sphériques
 - Astigmatisme du miroir sphérique
 - Stigmatisme approché, relation de conjugaison du miroir sphérique
 - Foyers et distances focales du miroir sphérique
 - Image d'un objet plan, aplanétisme du miroir sphérique
 - Construction d'images pour le miroir sphérique
 - Retour à la petite cuillère...
 - Formule de Newton avec origine au foyer pour le miroir sphérique
 - Champ d'un miroir sphérique
 - Applications des miroirs sphériques

- Exercices sur les miroirs sphériques
- ✓ 6 Miroir parabolique et miroir elliptique
- ✓ 7 Dioptrés sphériques
 - Définitions
 - étude du stigmatisme du dioptré sphérique
 - Foyers du dioptré sphérique
 - Répertoire des formules relatives au dioptré sphérique
 - Relation de Lagrange-Helmholtz et aplanétisme du dioptré sphérique
 - Méthode générale de construction du rayon réfracté par un dioptré sphérique
 - Méthode générale de construction de l'image d'un objet formée par un dioptré sphérique
 - Exercices (dioptré sphérique)
- ✓ 8 Les lentilles minces
 - Histoire
 - Définitions
 - Types de lentilles
 - Approximation de Gauss et schématisation des lentilles minces
 - Formules de conjugaison des lentilles minces et formule du fabricant
 - Définition et propriété du centre optique d'une lentille mince
 - Définition et propriétés des foyers, des distances focales et des plans focaux
 - Rayons remarquables et construction géométrique des images
 - Construction de l'émergent d'un rayon quelconque
 - Rayons remarquables et images des objets
 - Formule de conjugaison de Newton pour les lentilles (convergentes ou divergentes)
 - Construction de l'image d'un objet par une lentille convergente
 - Construction de l'image d'un objet par une lentille divergente
 - Application à la projection sur un écran
 - Exercices sur les lentilles minces
- ✓ 9 Association de deux lentilles minces
- ✓ 10 Lentilles sphériques épaisses
 - Centre optique d'une lentille à milieux extrêmes identiques
 - Éléments cardinaux d'une lentille épaisse
- ✓ 11 Théorie des systèmes centrés
 - Définitions et conditions de Gauss
 - Grandissements et relation de Lagrange-Helmholtz
 - éléments cardinaux des systèmes dioptriques
 - Foyers et plans focaux

- Points et plans principaux
- Distances focales
- Constructions géométriques
- Relations de conjugaison et de grandissement des systèmes centrés
- Dimension de l'image d'un objet non ponctuel à l'infini
- Résumé : formules de conjugaison et du grandissement des systèmes centrés
- Points nodaux
- Constructions à l'aide des trois rayons particuliers
- Points antinodaux
- Application : propriétés et position des points cardinaux d'une lentille épaisse
- ✓ 12 Associations de deux systèmes centrés quelconques de même axe
 - Recherche des foyers et points principaux
 - Formule de Gullstrand
 - Systèmes afocaux
- ✓ Annexe : Imaging Equations and Their Related Coordinate Systems
 - Reciprocity Equation
 - Newton's Equations
 - General Imaging Equation
 - The Axial Magnification Ratio

Chapitre 3 : les objectifs photographiques

- ✓ 1 Place de l'objectif dans l'appareil photographique
 - Définition et caractéristiques générales
 - Objectif et viseur
 - Pentaprisme et pentaprisme en toit
 - Anatomie d'un objectif moderne
 - Mouvements combinés
- ✓ 2 Plusieurs critères de classification des objectifs
 - Clés diverses de classement
 - Classement selon la focale
- ✓ 3 Angle de champ couvert et champ utile d'un objectif photographique
 - Angle de champ couvert par l'objectif dans l'espace objet
 - Angle de champ couvert par l'objectif du côté image
 - Cercle d'image nette et cercle de champ utile
 - Angle de champ utile d'un système objectif-capteur : cas simplifié
 - Champ utile diagonal, vertical et horizontal
 - Champ utile et format du capteur

- Le champ utile varie avec la distance de mise au point
- Champ utile des objectifs à décentrement
- ✓ 4 Classification des objectifs à focale fixe
- ✓ 5 Optique appliquée à la prise de vue photographique lorsque l'objectif est assimilé à une lentille mince
 - L'objectif, vu comme une lentille mince, rappel
 - Exercices d'optique photo
- ✓ 6 Optique appliquée à la prise de vue photographique lorsque l'objectif est vu comme un système centré
 - Introduction
 - Définition des points cardinaux de l'objectif photographique
 - Distances focales d'un objectif photographique
 - Détermination des points cardinaux
 - Retour à l'objectif photographique vu comme une lentille mince
 - Mise au point, rappel
 - Grandissement transversal
 - Mise au point par déplacement de l'ensemble du système optique (p' variable), sans modification des caractéristiques du système.
 - Mise au point par déplacement de l'ensemble du système optique (p' variable), avec modification des caractéristiques du système.
 - Mise au point par variation de la distance focale du système optique (f' variable)
 - Conclusion
- ✓ 7 systèmes afocaux
- ✓ 8 Objectifs à longues focales, téléobjectifs
 - Propriétés de l'image
 - Les téléobjectifs
 - Utilisation d'un élément afocal pour réaliser un téléobjectif ou transformer un objectif normal en téléobjectif
 - Mise au point des téléobjectifs : principes généraux
 - Mise au point des téléobjectifs à deux groupes : cas de figures
 - Mise au point interne des téléobjectifs à trois ou quatre groupes.
- ✓ 9 Objectifs de courte focale ou grands angulaires
 - Propriétés de l'image
 - Difficulté de concevoir des objectifs à grand angle de champ
 - Grands angulaires et appareils photographiques *Reflex*, rétrofocus ou téléobjectifs inversés
 - Le téléobjectif inversé.
- ✓ 10 Convertisseurs arrière

- Définition
 - Fonctionnement et grandissement angulaire
 - Évolution de la distance focale avec la mise au point
 - Convertisseur arrière et objectifs macro
 - Conclusion
- ✓ 11 Objectifs à focale variable ou zooms
- Définition et généralités
 - Principe général
 - Utilisation du zoom
 - Constitution d'un zoom
 - Les différentes catégories de zooms
 - Systèmes afocaux en position intermédiaire ou extenders
 - Principe détaillé de la variation de focale du zoom dans le cas des télézooms à variateur de champ afocal et « longueur constante »
 - Mise au point des zooms
 - Le zoom rétrofocus à deux groupes
 - Focus breathing
- ✓ 12 Accessoires optiques
- Bagues d'extension et soufflets
 - Bonnettes

Chapitre 4 : ouvertures et diaphragmes

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Nature et rôle du diaphragme en optique photographique
- Définitions et nature du diaphragme en optique et en optique photographique
 - Rôle du diaphragme d'ouverture en optique photographique
- ✓ 3 Pupilles objets, pupilles images, pupilles d'entrée et de sortie
- Introduction
 - Position des pupilles : illustrations simples
 - Pupille d'entrée et pupille de sortie d'un système optique
 - Pupilles d'entrée et de sortie d'un objectif photographique
- ✓ 4 Ouvertures absolue, numérique et relative
- L'ouverture absolue
 - L'ouverture numérique (ON) image
 - Le nombre d'ouverture N
 - Pour concrétiser les choses...
 - L'ouverture relative (OR)

- ✓ 5 Calcul simplifié de l'éclairement du capteur en fonction de l'ouverture
- ✓ 6 Échelles des indices de diaphragme
 - Suite des indices de crans de diaphragme
 - Suites des indices de demi et de tiers de crans
 - Exercices
- ✓ 7 Limites de l'échelle des indices de diaphragme
- ✓ 8 Limites des subdivisions de l'échelle des diaphragmes
- ✓ 9 Diaphragme photométrique ou échelle T
- ✓ 10 Pupilles lors d'une mise au point rapprochée
 - Pupilles des objectifs à système optique figé
 - Corrections des paramètres de prise de vue en prise de vue rapprochée pour un objectif à système optique figé
 - . Pupilles des objectifs à mise au point interne, frontale ou arrière.
- ✓ 11 L'ouverture des zooms.
- ✓ 12 Modification de la pupille d'entrée avec l'utilisation des convertisseurs de focale.
- ✓ 13 Photométrie des systèmes épais
 - Formule photométrique exacte pour l'éclairement derrière une optique aplanétique
 - Formules photométriques des optiques épaisses

Chapitre 5 : champ axial d'un objectif ; distance hyperfocale et profondeur de champ

- ✓ 1 Champ des instruments : définition
- ✓ 2 La netteté en photographie
 - Mise au point et netteté absolue
 - Tolérance de netteté d'un support et netteté relative
 - Latitude de mise au point en prise de vue
- ✓ 3 Distance hyperfocale d'une prise de vue
 - Introduction intuitive
 - Définition de la distance hyperfocale
 - Calcul de la distance hyperfocale
 - L'hyperfocale en pratique
 - Deux définitions pour une grandeur...
- ✓ 4 Plans antérieur et postérieur de netteté
 - Définitions
 - Calcul des positions approchées des plans antérieur et postérieur de netteté
 - Calcul de la position exacte du plan antérieur de netteté

- Calcul de la position exacte du plan postérieur de netteté
- Autre calcul de la position des plans de netteté (en fonction de l'angle limite de netteté)
- ✓ 5 Profondeur de champ
 - Définition
 - Calcul de la profondeur de champ
 - L'échelle de profondeur de champ
 - Profondeur de champ en fonction de l'angle limite de netteté
- ✓ 6 Profondeur de foyer
 - Définition
 - Position de l'image des plans antérieur et postérieur de netteté par la méthode a priori approchée
 - Position de l'image du plan antérieur de netteté par la méthode exacte
 - Position de l'image du plan postérieur de netteté par la méthode exacte
 - Calcul de la profondeur de foyer
 - Variations de la profondeur de foyer
 - Autre formulation (source wikipedia)
- ✓ 7 Intérêt de la mise au point à la distance hyperfocale
- ✓ 8 Etude de la fonction profondeur de champ
 - Introduction
 - Etude via une approximation judicieuse
 - Etude via le calcul des variations
 - Une discussion à propos de l'adage « la profondeur de champ est plus courte avec un grand capteur »
- ✓ 9 Distance de mise au point et diaphragme optimal
 - Calcul de la distance de mise au point optimale p
 - Calcul de l'ouverture optimale
- ✓ 10 Profondeur de champ et règle des 1/3-2/3
 - Enoncé de la règle des 1/3-2/3
 - Champ en avant et champ en arrière du plan de mise au point
 - Validité de la règle des 1/3-2/3
 - Vérification sur un exemple
- ✓ 11 Cadrage et profondeur de champ
 - Adage pratique
 - Observations et déductions
 - Justification qualitative
 - Justification théorique
- ✓ 12 Profondeur de champ en macrophotographie

- ✓ 13 Profondeur de champ d'un système épais
 - Cas d'une optique symétrique
 - Cas d'une optique dissymétrique
 - Détail des calculs pour un système centré
 -
- ✓ 14 Exercices

Chapitre 6 : champ latéral d'un instrument et pertes d'éclairement dans le champ de l'image

- ✓ 1 Champ des instruments : rappel
 - Rappel des définitions
 - Champ transversal : champ de pleine lumière, champ de contour, champ transversal total
 - Rappel des notions de pupilles et introduction à la notion de lucarnes d'entrée et de sortie
 - Diaphragme de champ et lucarnes dans le cas général
 - Mesure linéaire ou angulaire des champs
 - Illustrations des notions de pupilles et de lucarnes pour des objectifs photographiques
 - Elimination du champ de contour
 - Illustrations des notions de pupilles et de lucarnes pour des systèmes optiques de prise de vue (objectif + capteur)
 - Pupilles et lucarnes d'autres instruments d'optique
- ✓ 2 Phénomène de vignettage, définition
- ✓ 3 Mesure du vignettage
- ✓ 4 Différents types de vignettage
 - Vignettage naturel
 - Vignettage optique
 - Vignettage mécanique
 - Vignettage dû à la surface sensible
 - Influence du diaphragme sur les divers types de vignettage
 - Mesure du vignettage par les indices de lumination
- ✓ 5 Vignettage optique et mécanique (silhouettage et champ de contour)
 - La pupille d'entrée des faisceaux inclinés.
- ✓ 6 Loi en \cos^4 du vignettage naturel
 - Introduction
 - étude théorique du vignettage naturel dans l'approximation de la lentille mince

- généralisation à un objectif réel
- ✓ 7 Expression générale de la lumination
- ✓ 8 Objectifs télécentriques
 - Objectifs télécentriques dans l'espace objet
 - Objectifs télécentriques dans l'espace image
 - Double télécentricité

Chapitre 7 : étude de l'œil et de quelques instruments d'optique

- ✓ 1 L'œil
 - Structure anatomique de l'œil
 - L'œil comme système optique
 - L'œil normal ou emmétrope
 - Défauts de convergence et corrections de l'œil
 - Astigmatisme
- ✓ 2 Introduction aux instruments d'optique
 - Définitions et classification des instruments
 - Caractéristiques d'un instrument
- ✓ 3 Grandeur de l'image fournie par un instrument d'optique
 - Image fournie par un instrument objectif : grandissement
 - Instruments subjectifs : grossissement et puissance
- ✓ 4 Champ des instruments
- ✓ 5 Pouvoir séparateur et limite de résolution
 - Définitions
 - Influence des aberrations
 - Influence de la diffraction sur la résolution
 - Influence du récepteur d'images : résolution
- ✓ 6 Clarté des instruments
- ✓ 7 la loupe
 - Latitude de mise au point et profondeur de champ
 - Puissance
 - Grossissement
 - Champ en largeur
- ✓ 8 Les doublets et les oculaires
 - Doublets de lentilles minces
 - Oculaire négatif d'Huygens ou doublet de Huygens (3,2,1)
 - Oculaire positif de Ramsden ou Doublet de Ramsden (3,2,3)
- ✓ 9 Le microscope
 - Grossissement standard du microscope

- Cercle oculaire ou pupille de sortie du microscope
- Le microscope vu comme l'association de deux systèmes centrés
- ✓ 10 Lunettes, lunette astronomique ou lunette de Kepler, longue vue, etc.
 - La lunette astronomique
 - Autres instruments similaires
 - La lunette de Galilée
 - Le viseur
- ✓ 11 Les télescopes, généralités
 - Télescope de Newton
 - Autres types de télescopes

Chapitre 8 : notions d'optique physique

- ✓ 0 Définition, historique et motivations
- ✓ 1 Rayon lumineux et optique ondulatoire
 - Rayons lumineux et fronts d'ondes
 - Théorème de Malus-Dupin
 - Théorème de Malus-Dupin et loi de la réfraction
 - Principe de Huygens
 - Applications du principe de Huygens : onde plane, propagation rectiligne et phénomènes de réflexion et de réfraction
- ✓ 2 Phénomène de diffraction, aspect qualitatif
 - Définition et description
 - Exemples de diffraction pour des ondes mécaniques et pour le son
 - Diffraction de la lumière par un dispositif optique
 - Diffraction par un trou circulaire
 - Diffraction en photographie
- ✓ 3 Phénomène d'interférences
 - Interférence, approche qualitative
 - Interférences, approche quantitative
 - L'expérience de Young, introduction qualitative
 - L'expérience de Young en détail
 - Les réseaux
 - Application des interférences : la lecture d'un CD
- ✓ 4 Phénomène de diffraction, aspects quantitatifs
 - La diffraction par une fente
 - Retour sur l'expérience de Young
- ✓ 5 Théorie scalaire de la diffraction

- Rappels sur l'onde plane
 - L'onde sphérique monochromatique
 - Propagation d'une onde plane
 - Propagation d'une somme discrète d'ondes planes
 - Propagation d'une onde monochromatique quelconque
 - Propagation du spectre angulaire
 - Approximations du principe d'Huygens-Fresnel : diffraction de Fresnel et de Fraunhofer
 - Diffraction à l'infini ou de Fraunhofer
 - Ecrans diffractants
 - Figures de diffraction de quelques écrans simples
- ✓ 6 Diffraction et résolution des instruments d'optique : critère de Rayleigh
- Image d'un point source : fonction d'étalement du point (Point Spread Function, ou PSF)
 - Critère de Rayleigh
 - Pouvoir séparateur d'un instrument d'optique et critère de Rayleigh
- ✓ 7 Propriétés des lentilles relatives à la transformation de Fourier
- Introduction
 - Objet accolé à une lentille
 - Objet placé avant la lentille
 - Objet placé après la lentille
 - Formation des images en éclairage monochromatiques en présence de diffraction
- ✓ 8 Étude générale des systèmes formant des images en présence de diffraction
- Le schéma général
 - Images d'objets étendus
 - Cas de l'éclairage cohérent : la fonction de transfert cohérente (CTF)
 - Cas de l'éclairage incohérent : la fonction de transfert optique (OTF)
 - Fonction de transfert de modulation (FTM)
- ✓ 9 Filtrage en lumière cohérente
- Le filtrage optique
- ✓ 10 Polarisation de la lumière
- Modèle vectoriel de la lumière
 - États de polarisation de la lumière
 - Séparation en deux composantes principales
 - Production de lumière polarisée rectilignement par réflexion vitreuse
 - Production de lumière polarisée de façon elliptique et circulaire
 - Production de lumière polarisée rectilignement par transmission/absorption

- Polarisation rectiligne par diffusion
- Procédure expérimentale pour déterminer l'état de polarisation d'une lumière inconnue
- ✓ 6 Couches minces et couches antireflets
 - Interférence des deux réflexions
 - Les couches antireflets
- ✓ Annexe 1 : analyse de Fourier à deux dimensions
 - Introduction
 - Transformée de Fourier unidimensionnelle : rappel
 - Définition de la transformée de Fourier bidimensionnelle
 - Définition de la distribution de Dirac bidimensionnelle
 - Théorèmes concernant la Transformée de Fourier bidimensionnelle
 - Fonctions séparables
 - Fonctions à symétrie circulaire

Chapitre 9 : applications de l'optique physique en prise de vue

- ✓ 1 Conséquences du phénomène de diffraction en prise de vue
 - Définition et description de la diffraction
 - Exemples de diffraction pour des ondes mécaniques et pour le son
 - Diffraction de la lumière par un dispositif optique
 - Diffraction par un trou circulaire
 - Diffraction en photographie
 - Diffraction et diaphragme utile en photographie argentique
 - Limite de séparabilité en photo numérique : effet du capteur et de la diffraction
 - Limitation des diaphragmes utiles en photographie numérique
- ✓ 2 Image et optique de Fourier
 - Introduction
 - Notion de fréquence spatiale
 - Transformée de Fourier
- ✓ 3 Pouvoir résolvant d'un objectif photographique
 - Définition du pouvoir résolvant d'un objectif
 - Facteurs de variation du pouvoir résolvant
 - Insuffisance du pouvoir résolvant
 - Effet de la diffraction sur le pouvoir résolvant d'un objectif
 - Pouvoir résolvant de l'œil
 - Pouvoir résolvant d'un système objectif + support
- ✓ 4 Fonction de transfert de modulation (FTM) d'un objectif photographique

- Introduction générale aux fonctions de transfert
 - Définition intuitive de la FTM
 - Procédure expérimentale pour relever la FTM d'un objectif
 - Pourquoi utiliser la FTM ?
 - Exemples de FTM d'objectifs
 - Taux de modulation en fonction de la position du point image
 - Définition rigoureuse et propriétés de la FTM
 - FTM en présence d'aberrations
 - FTM des autres maillons de la chaîne
 - FTM et résolution : limite de Nyquist
- ✓ 5 Applications de la polarisation de la lumière en prise de vue
- Élimination des reflets par l'utilisation d'un filtre polarisant
 - La feuille Polaroid
 - Les écrans LCD
 - Cinéma en relief
 - Polarisation rectiligne par diffusion
- ✓ 6 Pertes de lumière par absorption et par réflexion dans les objectifs
- Perte par absorption
 - Perte par réflexion
- ✓ 7 Couches minces et couches antireflets
- Historique et définition
 - Interférence et principe général de fonctionnement d'une couche antireflet