

Cours de photométrie, sensitométrie et colorimétrie

B1 Technique de l'image : table des matières détaillée

Chapitre 1 : petit historique de la lumière et des théories de l'optique

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Antiquité
 - 2.1 Théories de la vision
 - 2.1.1 Théories du feu externe
 - 2.1.2 Théories du feu interne ou visuel
 - 2.1.3 Théories mixtes
 - 2.2 Aristote et la théorie de la propagation
 - 2.3 Euclide et la naissance de l'optique géométrique
 - 2.4 Héron d'Alexandrie : le plus court chemin
 - 2.5 Galien et le rôle de l'œil
 - 2.6 Ptolémée et la mesure physique
- ✓ 3 Le Moyen âge arabe
 - 3.1 Ibn Sahl et la loi de la réfraction
 - 3.2 Ibn Ah-Haytham et la renaissance de l'optique expérimentale
- ✓ 4 Le Moyen âge occidental
- ✓ 5 La Renaissance et les fondements de la science moderne
- ✓ 6 Descartes , la nature vibratoire de la lumière
- ✓ 7 Moindre temps de parcours ou voie la plus aisée : Fermat et Leibniz
 - 7.1 Pierre de Fermat et la théorie du temps le plus bref
 - 7.2 Leibniz et la voie la plus aisée
- ✓ 8 Et la lumière devint une onde...
 - 8.1 Grimaldi découvre la diffraction
 - 8.2 Hooke et l'impulsion lumineuse
 - 8.3 Huygens et les surfaces d'ondes
- ✓ 9 Les travaux d'Isaac Newton sur la lumière

- ✓ 10 Euler et la lumière
- ✓ 11 Nicolas de Malebranche
- ✓ 12 De nouvelles découvertes donnent l'avantage à la théorie ondulatoire
 - 12.1 Young et le phénomène d'interférences
 - 12.2 L'apport majeur d'Augustin Fresnel
 - 12.3 La polarisation de la lumière
 - 12.4 Qu'est-ce que l'éther ?
- ✓ 13 Onde ou corpuscules ? La vitesse de la lumière à la rescousse !
Historique des mesures de la vitesse de la lumière
 - 13.1 Caractère fini de la vitesse de la lumière
 - 13.2 Première tentative de mesure : expérience de Galilée
 - 13.3 Première mesure fructueuse : observation des satellites de Jupiter et méthode de Römer
 - 13.4 Maturation des idées
 - 13.5 Deuxième mesure : méthode de Bradley basée sur l'aberration stellaire
 - 13.6 Mesures de Fizeau et Foucault
- ✓ 14 Maxwell et le champ électromagnétique
- ✓ 15 Deux petits nuages...
- ✓ 16 La lumière, à la base de la relativité d'Einstein
- ✓ 17 La catastrophe ultraviolette
- ✓ 18 La révolution quantique et la revanche des « corpusculistes »
- ✓ 19 La fin de l'histoire ?

Chapitre 2 : la lumière, théorie actuelle

- ✓ 1 Double nature de la lumière
- ✓ 2 Comment en est-on arrivé là ? La lumière est-elle la seule substance à posséder cette double nature ?
 - 2.1 La physique à la charnière du XIXème et du XXème siècle
 - 2.2 Problème de l'instabilité de l'atome
 - 2.3 Deux petits nuages...
 - 2.4 La catastrophe ultraviolette
 - 2.4.1 Le rayonnement du corps noir et la revanche des « corpusculistes »

➤ 2.4.2 L'idée géniale de Max Planck

- 2.5 L'effet photoélectrique

- 2.5.1 Définition

- 2.5.2 Brève histoire de la découverte de l'effet photoélectrique

- 2.5.3 Lenard découvre les lois de l'effet photoélectrique

- 2.5.4 Tentative d'explication : échec de la théorie électromagnétique

- 2.5.5 Succès de la théorie d'Einstein

- 2.5.6 Vérification expérimentale de la théorie d'Einstein

- 2.6 Le spectre de l'atome d'hydrogène, à la base du modèle atomique de Bohr

- 2.7 La double nature de la lumière

- 2.8 Double nature de la matière

✓ 3 Les deux natures de la lumière

- 3.1 Aspect ondulatoire de la lumière

- 3.2 Vitesse de la lumière dans les milieux transparents

- 3.3 Spectre électromagnétique

- 3.3.1 Découverte du rayonnement infrarouge

- 3.3.2 La découverte des rayons ultra-violets

- 3.3.3 Découverte des rayons X

- 3.3.4 Découverte des ondes radio ou hertziennes

- 3.3.5 Découverte des rayons gamma

- 3.4 Aspect corpusculaire de la lumière

✓ 4 Emission de la lumière : types et caractéristiques des sources lumineuses

- 4.1 Energie et lumière

- 4.2 Emission spontanée de lumière

- 4.3 Sources lumineuses

- 4.3.1 Définition

- 4.3.2 Types de luminescences

- 4.3.3 Propriétés du rayonnement émis par les sources lumineuses

- 4.4 Exemples de sources lumineuses

- 4.4.1 Les lampes à décharge

- 4.4.2 Les diodes électroluminescentes (LED)

- 4.5 Sources incandescentes
- 4.6 Exemple de source à incandescence : l'ampoule électrique
- 4.7 Application : description des flammes (de bougie ou autre)
 - 4.7.1 Couleurs de la flamme de bougie
 - 4.7.2 Forme de la flamme
 - 4.7.3 Flammes colorées
- 4.8 émission stimulée et rayonnement laser
- ✓ 5 Théorie du corps noir
 - 5.1 Introduction
 - 5.2 Deux questions simples
 - 5.3 Contribution de Kirchhoff ; comment construire un corps noir
 - 5.4 Propriétés du rayonnement thermique
 - 5.5 À la recherche de l'équation de la radiance
 - 5.6 Expérience de Lummer et Pringsheim
 - 5.7 Loi de Stefan-Boltzmann
 - 5.8 Loi du déplacement de Wien
 - 5.9 Résumé des principaux résultats expérimentaux concernant la radiation d'un corps noir
 - 5.10 Le rayonnement du corps noir : explication classique
 - 5.11 Loi du rayonnement de Wien
 - 5.12 La loi de Rayleigh-Jeans
 - 5.13 L'idée géniale de Max Planck
 - 5.14 Physique classique vs physique quantique
 - 5.15 La loi de Planck du rayonnement du corps noir
 - 5.16 Illustration : le Soleil est un corps noir
 - 5.17 Le rayonnement fossile, preuve décisive de la théorie du Big Bang
- ✓ 6 Température de couleur des sources incandescentes
 - 6.1 Corps réel et corps gris
 - 6.2 Température de couleur d'une source réelle
 - 6.3 Echelle Mired et filtres correcteurs de température de couleur
- ✓ 7 Exercices

Chapitre 3 : notions de photométrie

- ✓ 1 Introduction, les différentes photométries, cadre de l'étude
- ✓ 2 Définitions de base de la photométrie
 - 2.1 Source optique
 - 2.2 Caractéristiques des sources
 - 2.3 Notion de flux énergétique
 - 2.3.1 Flux énergétique et caractéristiques ondulatoires de la lumière
 - 2.3.2 Flux énergétique et caractéristiques corpusculaires de la lumière
 - 2.4 Flux visuel ou flux lumineux
 - 2.4.1 motivation de la photométrie visuelle
 - 2.4.2 définition du flux lumineux
 - 2.4.3 relation entre le flux lumineux et la puissance énergétique
 - 2.4.4 Efficacité lumineuse du rayonnement d'une source polychromatique
- ✓ 3 Notion mathématique indispensable en photométrie : l'angle solide
 - 3.1 Rappel : angle plan formé par deux demi droites, définition et mesure
 - 3.2 Angle plan sous lequel on voit un arc de courbe depuis un point O
 - 3.3 Angle solide formé par un cône de demi droites, définition et mesure
 - 3.4 Angle solide sous lequel on voit de O une surface S
 - 3.5 Application : angle solide correspondant à un cône de révolution
- ✓ 4 Intensité lumineuse d'une source (quasi) ponctuelle
 - 4.1 Cas particulier d'une source ponctuelle à symétrie axiale
 - 4.2 Cas général, source ponctuelle sans symétrie
 - 4.3 Indicatrice en intensité d'une source ponctuelle
 - 4.4 Relation entre intensité et flux d'une source
 - 4.5 Calcul du flux d'une source au départ de la donnée de sa surface indicatrice (source axiale)
 - 4.6 Exemples et ordres de grandeurs
 - 4.7 Remarques finales sur la notion d'intensité
- ✓ 5 Luminance d'une source étendue
 - 5.1 Idée intuitive de la définition de la luminance
 - 5.2 Définition de la luminance

- 5.3 Unité(s) de la luminance
- 5.4 Relation entre la luminance et l'intensité de la source étendue
- 5.5 Cas particulier : les sources à luminance uniforme
- 5.6 Application : relation entre intensité et luminance pour une source uniforme spatialement et angulairement
- 5.7 Remarques finales sur la notion de luminance
- ✓ 6 Exitance (ou émittance) d'une source étendue
 - 6.1 définition de l'exitance d'une source
 - 6.2 Relation entre l'exitance et la luminance d'une source orthotrope (loi de Lambert)
- ✓ 7 Eclairage d'une surface réceptrice
 - 7.1 Définition de l'éclairage
 - 7.2 Unité(s) d'éclairage
 - 7.3 Calcul de l'éclairage d'une surface produit par une source ponctuelle : loi de Bouguer
 - 7.4 Variations de l'éclairage d'une surface éclairée par une source ponctuelle
 - 7.4.1 Variation de l'éclairage d'une surface en fonction de la distance à la source
 - 7.4.2 Variation de l'éclairage d'une surface en fonction de son orientation par rapport à la source
 - 7.4.3 Eclairage produit par une source ponctuelle située à une hauteur constante par rapport à la surface utile
 - 7.5 Eclairage d'une surface éclairée par une source étendue
 - 7.5.1 Eclairage d'une surface provenant d'un rayonnement à luminance constante LR dans un angle solide faible ($\Delta\Omega$)
 - 7.5.2 Généralisation au cas d'un rayonnement hémisphérique de luminance non uniforme
- ✓ 8 Résumé des différentes grandeurs photométriques
- ✓ 9 Luminance des sources secondaires formées par des surfaces diffusantes éclairées

Chapitre 4 : principes généraux de la sensitométrie argentique noir et blanc

- ✓ 1 Historique et introduction à la sensitométrie

- ✓ 2 Introduction à la sensitométrie des supports argentiques noir et blanc
 - 2.1 Processus photographique noir et blanc en général
 - 2.2 Procédure sensitométrique standard, généralités
 - 2.3 Variables sensitométriques mesurant la cause et l'effet
 - 2.4 Mesures relatives des quantités de lumière reçue : échelle des crans de diaphragme
 - 2.5 Courbe caractéristique, aspect qualitatif
- ✓ 3 Principe physico-chimique de base de la photographie noir et blanc
 - 3.1 Structure de la pellicule noir et blanc
 - 3.2 Exposition de la pellicule et formation de l'image latente
 - 3.3 Développement de l'image latente par révélation chimique
 - 3.4 Bain d'arrêt, fixateur, rinçage et séchage
- ✓ 4 Caractéristiques photométriques d'un support photographique exposé et développé
 - 4.1 Introduction
 - 4.2 Transmittances
 - 4.3 Réflectances
 - 4.4 Absorbance
- ✓ 5 Variables fondamentales de la sensitométrie : exposition lumineuse (ou lamination) et densité optique
 - 5.1 Exposition lumineuse ou lamination
 - 5.2 Loi de réciprocité ou loi d'action photographique
 - 5.3 Densité optique
 - 5.4 Densité optique d'une succession de milieux
 - 5.5 Exercices
- ✓ 6 Evocation de la procédure expérimentale sensitométrique
 - 6.1 Les sensitomètres
 - 6.1.1 La source lumineuse
 - 6.1.2 Le système de dosage des luminations
 - 6.1.3 Gamme de gris ou coin de Goldberg
 - 6.1.4 Origine des graduations des diaphragmes
 - 6.1.5 Calcul des expositions exactes reçues par le film sous la gamme de gris
 - 6.1.6 Calcul des expositions relatives reçues par le film sous la gamme de gris
 - 6.2 Les densitomètres

- ✓ 7 Courbes caractéristiques d'une émulsion (négative ou positive)
- ✓ 8 Gamma (γ) d'une émulsion négative
 - 8.1 Définition du gamma d'une émulsion orthoptique
 - 8.2 Propriétés et caractéristiques du gamma
- ✓ 9 Sensibilité d'une émulsion négative
 - 9.1 Historique
 - 9.2 Introduction qualitative à la notion de sensibilité
 - 9.3 Choix d'un gris de référence
 - 9.4 Choix d'une courbe caractéristique de référence
 - 9.5 Sensibilité ISO de l'émulsion
 - 9.6 Echelle de sensibilité ISO
 - 9.7 Echelle de sensibilité DIN
- ✓ 10 Contraste du sujet et contraste du négatif
 - 10.1 Définition des contrastes
 - 10.2 Contrastes et gamma
 - 10.3 Sous-exposition, surexposition et exposition normale
 - 10.3.1 Sous-exposition et surexposition
 - 10.3.2 Exposition normale et conservation des contrastes locaux

Chapitre 5 : photométrie et prise de vue

- ✓ 1 Exposition lumineuse ou lamination
- ✓ 2 Lumière incidente et lumière réfléchie
- ✓ 3 Echelle des EV ou des IL
- ✓ 4 Exposition et paramètres de prise de vue
- ✓ 5 Echelle des sensibilités ISO
- ✓ 6 De l'indice de lamination aux paramètres d'exposition
- ✓ 7 Equations d'exposition
- ✓ 8 Système APEX

Chapitre 6 : la couleur, généralités

- ✓ 1 Introduction
 - 1.1 Définitions
 - 1.2 La couleur, aspects historiques, culturels et anthropologiques
 - 1.2.1 La couleur dans l'Antiquité
 - 1.2.2 La couleur au Moyen-âge

- 1.2.3 La couleur à la Renaissance
 - 1.2.4 La couleur : relativisme culturel
 - 1.2.5 Aspect anthropologique : la couleur chez les Berinmo
- ✓ 2 Modes de perception de la couleur
- ✓ 3 Classements naturels des « couleurs » (lumières ou objets)
 - 3.1 Introduction : approche visuelle
 - 3.2 Classement « naturel » des couleurs : position du problème
 - 3.3 Modèles, espaces, et systèmes colorimétriques
 - 3.4 Le solide des couleurs, un modèle colorimétrique perceptuel
 - 3.5 L'atlas de Munsell, un système ou modèle colorimétrique hybride uniforme
 - 3.6 Le système ou modèle colorimétrique hybride de Chevreul
 - 3.7 Le système ou modèle hybride de Ostwald
- ✓ 4 Caractéristiques des sources lumineuses
 - 4.1 Lumières colorées simple et complexe
 - 4.2 Décomposition spectrale
 - 4.3 Apport de Newton à la colorimétrie
 - 4.3.1 Le spectre des couleurs chromatiques de Newton
 - 4.3.2 Cercle chromatique de Newton
 - 4.3.3 Le disque de Newton
 - 4.4 Spectres des sources
- ✓ 5 Lumières colorées blanches de référence ou illuminants
- ✓ 6 Physique et perception des lumières colorées
 - 6.1 Perception des couleurs des lumières simples
 - 6.2 Perception des couleurs des lumières complexes
 - 6.3 Lumières colorées complémentaires
 - 6.3.1 Définition
 - 6.3.2 Détermination d'une complémentaire par méthode visuelle
- ✓ 7 Effet des contrastes sur la perception des couleurs
 - 7.1 Contraste de luminosité
 - 7.2 Contraste de saturation
 - 7.3 Contraste de teinte
 - 7.4 Contraste simultané
- ✓ 8 Caractéristique des objets colorés
 - 8.1 Réflexion diffuse
 - 8.2 Réflexion spéculaire (miroir)

- 8.3 Cas général
- 8.4 Métamérisme
- ✓ 9 Origine de la couleur : couleurs physiques et couleurs chimiques
 - 9.1 Chocs élastiques et couleurs physiques
 - 9.2 Chocs inélastiques et couleurs chimiques
- ✓ 10 Caractéristiques de l'œil : notions d'optique physiologique
 - 10.1 La vision humaine
 - 10.2 Fonctionnement de la rétine
 - 10.2.1 La rétine
 - 10.2.2 Les cellules photosensibles
 - 10.3 Efficacité lumineuse de l'œil
 - 10.4 La vision nocturne (scotopique)
 - 10.5 Mécanisme physico-chimique de photo-excitation
 - 10.6 Codage de l'information couleur
 - 10.7 Vision des couleurs dans le monde animal
 - 10.7.1 Les monochromates
 - 10.7.2 Les dichromates
 - 10.7.3 Les trichromates
 - 10.7.4 Anomalies de la vision des couleurs chez l'homme
 - 10.7.5 Les tétrachromates

Chapitre 7 : notions de base de colorimétrie, modèles colorimétriques physiques

- ✓ 1 Mesurer les sensations : méthode de la colorimétrie
 - 7.1 Notion de stimulus
 - 7.2 Métamérisme des stimuli
 - 7.3 Conditions d'observation
 - 7.4 Méthode de la colorimétrie
 - 7.5 Egalité des stimuli
- ✓ 2 Définition d'opérations sur les stimuli
- ✓ 3 Lois de Grassmann
- ✓ 4 La trivariance visuelle
 - 4.1 Variables physiologiquement perçues par le sujet (système monochromatique)

- 4.2 Variables physiques mesurables par un sujet (système trichromatique)
- ✓ 5 Trivariance visuelle et système monochromatique
 - 5.1 Expérience
 - 5.2 Définition des variables du modèle de type TSL
 - 5.3 Non-uniformité de la sensibilité visuelle aux écarts de teinte
 - 5.4 Seuil différentiel du facteur de pureté au voisinage du blanc et au voisinage de la saturation
 - 5.5 Nombre de couleurs perceptibles dans le système monochromatique
 - 5.6 Système monochromatique et lois de Grassmann
- ✓ 6 Trivariance visuelle et système trichromatique RGB
 - 6.1 Synthèse additive et système RGB
 - 6.1.1 Le système RGB de l'écran
 - 6.1.2 Le système RGB dans l'appareil photo
 - 6.2 Expérience de Maxwell
 - 6.3 Principe fondamental de la trichromie
 - 6.4 Mesure RGB d'un stimulus coloré dans le modèle RGB
 - 6.5 Modèle colorimétrique RGB : cube des couleurs
 - 6.6 Modèle RGB et lois de Grassmann
 - 6.7 Chrominance et luminance
 - 6.8 Coordonnées trichromatiques du modèle RGB
 - 6.9 Triangle de Maxwell
 - 6.10 Les couleurs négatives dans le triangle de Maxwell
- ✓ 7 Modèle colorimétrique CMJ : synthèse soustractive des couleurs à l'aide de filtres colo
 - 7.1 Synthèse soustractive
 - 7.2 Modèle CMJ (ou CMY)
 - 7.2.1 L'équilibre chromatique
 - 7.2.2 La composante achromatique
 - 7.2.3 Couleurs chromatiques et achromatiques
 - 7.3 Le modèle CMJN ou quadrichromie
 - 7.3.1 La séparation des couleurs
 - 7.3.2 Les trames de photogravures
 - 7.3.3 Application de la synthèse soustractive : l'impression en couleurs

- 7.4 Transformations entre les modèles CMJN et RVB
 - 7.4.1 Principes
 - 7.4.2 Conversion de RVB vers CMJN
 - 7.4.3 Conversion de CMJN vers RVB

Chapitre 8 : principes généraux de la sensitométrie argentique couleur

- ✓ 1 Structure d'une pellicule couleur (négative)
- ✓ 2 Développement d'une pellicule négative couleur
- ✓ 3 Reproduction des couleurs d'un sujet par le processus négatif-positif
- ✓ 4 Structure d'une pellicule inversible
- ✓ 5 Développement des pellicules inversibles (traitement E6)
- ✓ 6 Reproduction des couleurs par le processus inversible de type Ektachrome
- ✓ 7 Impuretés des colorants
- ✓ 8 Sensitométrie des pellicules négatives couleurs
- ✓ 9 Sensitométrie des pellicules inversibles couleur
- ✓ 10 Courbes de sensibilité et de densité spectrale (pellicules négatives et inversibles)
- ✓ 11 Technique du masque automatique (pellicules négatives couleurs)
 - 11.1 Origine du problème : impuretés des colorants
 - 11.2 Effet des impuretés sur l'image (sans correction)
 - 11.3 Correction de l'effet des impuretés
 - 11.4 Bilan des corrections pour le négatif couleur
- ✓ 12 Correction des impuretés des colorants pour les pellicules inversibles
- ✓ 13 Sensibilité ISO des négatifs couleurs (norme ISO 5800, en 1979)
- ✓ 14 Sensibilité ISO des films inversibles (norme ISO 2240, en 1982)
- ✓ 15 Pellicules pour tirage positif des pellicules négatives
 - 15.1 Structure
 - 15.2 Exemple de la pellicule Kodak Vision Premier Color Print Film 2393
 - 15.3 Le développement
 - 15.4 Courbes sensitométriques
 - 15.5 Un exemple, la pellicule Kodak Vision Premier Color Print Film 2393

- ✓ 16 Tirage des pellicules négatives cinématographiques
- ✓ 17 Tirage et étalonnage, correction des dominantes de sensibilité
 - 17.1 Etalonnage des films couleur avec une tireuse additive
 - 17.2 Calcul d'un filtrage soustractif pour corriger une dominante de sensibilité
- ✓ 18 Dominantes basculantes

Chapitre 9 : notions de sensitométrie numérique

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 OECF d'un appareil photo numérique : norme ISO
 - 2.1 Méthode générale
 - 2.2 Conditions opératoires
 - 2.3 Méthodes de mesure de l'énergie lumineuse entrante
 - 2.4 Analyse des entrées : réalisation des séquences d'exposition variables
 - 2.4.1 Séquences d'exposition et mesures par la méthode A
 - 2.4.2 Séquences d'expositions et mesures par les méthodes B ou C (mire ou charte)
 - 2.5 Analyse des sorties
 - 2.6 Présentation des résultats
 - 2.7 Caractéristiques des chartes ISO OECF
- ✓ 3 Sensibilité d'un appareil photo numérique : norme ISO 12232
 - 3.1 Introduction et définitions
 - 3.2 Caractérisation de la quantité de lumière en entrée
 - 3.2.1 Norme ISO 2721
 - 3.2.2 Mesure de la luminance du capteur dans le plan focal (méthode A)
 - 3.2.3 Mesure de la luminance de la scène (méthodes B ou C)
 - 3.3 Sensibilité ISO basée sur la saturation (S_{sat})
 - 3.3.1 Détermination de ISO S_{sat} dans le plan focal (méthode A)
 - 3.3.2 Détermination de ISO S_{sat} par les méthodes B ou C
 - 3.4 Sensibilité ISO basée sur le bruit (S_{bruit})
 - 3.4.1 Détermination de ISO S_{bruit} dans le plan focal (méthode A)
 - 3.4.2 Détermination de ISO S_{bruit} par les méthodes B ou C
 - 3.4.3 Procédure de détermination des sensibilités ISO basées sur le bruit

- 3.5 Notation des sensibilités ISO d'un système photo numérique
- ✓ 4 Fonctionnement des capteurs couleur
 - 4.1 La caméra couleur tri-CCD
 - 4.2 Prise de vue couleur avec un capteur CCD unique
 - 4.3 Capteur CCD à couleurs primaires : filtre mosaïque RVB
 - 4.4 Capteur CCD à couleurs secondaires : filtre mosaïque JMCV