

Radiométrie et détection optique

J.L. Meyzonnette

*Institut d'Optique Théorique et Appliquée, E.S.O., Centre Universitaire d'Orsay, Bât. 503,
BP. 147, F-91403 Orsay cedex, France*

PLAN

INTRODUCTION

Evolution de l'optique instrumentale

Rôle de la photométrie en optique instrumentale

CHAPITRE I : NOTIONS DE PHOTOMETRIE

I.1 DEFINITIONS DE BASE

I.1.1 Source optique

I.1.2 Flux (F)

I.1.3 Angle solide (Ω)

I.1.4 Intensité de source (I)

I.1.5 Luminance de source (L)

I.1.6 Etendue géométrique (G) (pinceau ou faisceau lumineux)

I.1.7 Retour sur la notion de luminance : luminance d'un rayonnement

I.1.8 Systèmes d'unités (SI)

I.2 EXEMPLES DE RELATIONS ENTRE GRANDEURS

I.2.1 Relation entre l'intensité d'une source et son flux

I.2.2 Relation entre la luminance d'une source et son intensité

I.2.3 Relation entre l'intensité d'une source et l'éclairement du récepteur : loi de Bouguer

I.2.4 Relation entre la luminance d'un rayonnement incident et l'éclairement du récepteur

I.2.5 Cas particulier : les sources à luminance L uniforme

I.2.6 Diffuseurs orthotropes (ou lambertiens)

I.3 RELATIONS PHOTOMETRIQUES DANS LES SYSTÈMES OPTIQUES

I.3.1 Transfert de l'étendue géométrique et de la luminance à la réfraction

I.3.2 Rappels d'optique instrumentale

I.3.3 Photométrie des collecteurs de flux

I.3.4 Photométrie des capteurs d'images

I.3.5 Cas des systèmes à champ large

I.4 GRANDEURS SPECTRALES

I.4.1 Position du problème

I.4.2 Spectre d'un rayonnement

I.4.3 Caractérisation spectrale des surfaces et milieux de propagation

I.4.4 Transmission spectrale d'un milieu de propagation

CHAPITRE II : EMISSION DU RAYONNEMENT

II.1 LE RAYONNEMENT THERMIQUE

II.1.1 Loi de Kirchhoff

II.1.2 Propriétés spectrales du rayonnement du corps noir

II.1.3 Exemples de sources thermiques

II.1.4 Cas de scènes naturelles

II.2 LE RAYONNEMENT PAR LUMINESCENCE

II.2.1 Généralités

II.2.2 Luminescence dans les solides

II.3 SOURCES LASER

II.3.1 Rappels de base

II.3.2 Exemples de laser

II.3.3 Considérations sur la luminance des lasers

II.3.4 Rendement énergétique des lasers

II.3.5 Sécurité laser

CHAPITRE III : RECEPTION DU RAYONNEMENT

III.1 L'OEIL ET LE SYSTEME D'UNITES PHOTOMETRIQUES VISUELLES

III.2 PARAMETRES DE SIGNAL D'UN DETECTEUR PHYSIQUE (Détection directe)

III.2.1 Facteur de réponse spectrale

III.2.2 Bande passante

III.3 DETECTIVITE D'UN DETECTEUR (cas de la détection directe)

III.3.1 Flux équivalent au bruit

III.3.2 Sources de bruit dans une résistance de charge

III.3.3 Défectivité spectrale d'un détecteur BLIP

III.4 CAS DE LA DETECTION HETERODYNE (ou cohérente)

III.5 EXEMPLES DE DETECTEURS THERMIQUES

III.5.1 Thermopiles

III.5.2 Bolomètres

III.5.3 Détecteurs pyroélectriques

III.5.4 Utilisation en calorimétrie laser

III.6 EXEMPLES DE DETECTEURS PHOTONIQUES

III.6.1 Classification

III.6.2 Détecteurs photoémissifs

III.6.3 Détecteurs à semi-conducteurs (détecteurs photoconducteurs et photovoltaïques)

III.6.4 Détecteurs pour l'imagerie

III.6.5 Refroidissement des détecteurs photoniques

CHAPITRE IV : LA DETECTION OPTIQUE

IV.1 POSITION GENERALE DU PROBLEME DE LA DETECTION OPTIQUE

IV.2 EXEMPLE D'UNE SCENE

IV.3 DETECTION AUTOMATIQUE

IV.3.1 Systèmes à seuil

IV.3.2 Rapport signal à bruit

IV.3.3 Détermination du seuil

IV.3.4 Exemple : calcul de la portée d'un télémètre laser à détection directe

IV.4 DETECTION PAR OBSERVATION VISUELLE

IV.4.1 Notions de contraste

IV.4.2 Limites en détection visuelle

IV.4.3 Contraste et visibilité météorologique horizontale

INTRODUCTION

Evolution de l'optique instrumentale

L'optique instrumentale s'ouvre actuellement à un nombre de plus en plus important d'applications dans lesquelles l'oeil de l'observateur humain n'est plus directement associé à l'appareil et la conception des systèmes optiques actuels (ou optroniques) fait intervenir, en plus des considérations essentielles en optique et mécanique, des parts grandissantes d'électronique, d'informatique, et de visualisation. Le schéma de la Figure 0-1, représentatif de l'optique instrumentale dans le spatial ou le militaire, permet d'identifier certains des composants de base entrant dans la constitution de nombreux systèmes optiques:

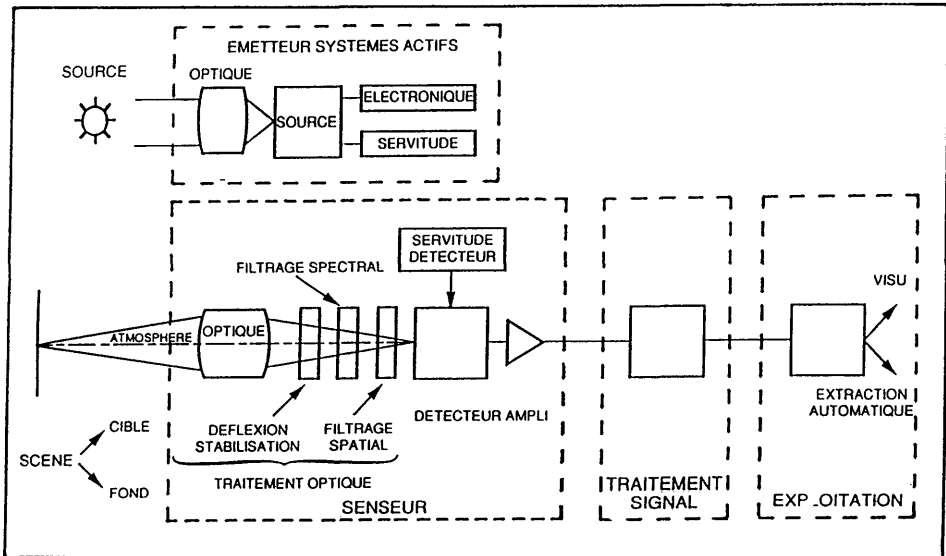


Fig 0-1 : Schéma de principe d'une chaîne optique

De façon générale, on peut dire que la conception de tout système optique s'articule autour de quatre fonctions : l'émission du signal lumineux, sa transmission, sa réception et son mode d'exploitation, avec le souci d'optimiser l'ensemble de la chaîne. Suivant la mission imposée au système sous forme d'un ensemble de spécifications, on s'attachera à définir, entre autres choses, les propriétés spatiales, spectrales et temporelles de la source, les caractéristiques des milieux et surfaces rencontrés par la lumière et leurs effets sur le signal lumineux à détecter, de même que les paramètres de l'optique (champ, ouverture, qualité, ...) en relation avec le détecteur associé. Suivant le mode d'exploitation utilisé, on peut distinguer 3 classes de systèmes optiques :

- Les systèmes visuels, au travers desquels un observateur humain regarde la scène (ex : jumelles, périscopes, ...)
- Les systèmes automatiques, traitant l'information par eux-mêmes, sans intervention humaine (ex : systèmes d'observation de la terre, instrumentation, télécommunications)
- Les systèmes dits "à visualisation" (ex : imagerie télévision de jour, de nuit, imagerie infrarouge).

Le bloc diagramme ci-dessous montre les éléments essentiels de ces différents types de systèmes (Figure 0-2)

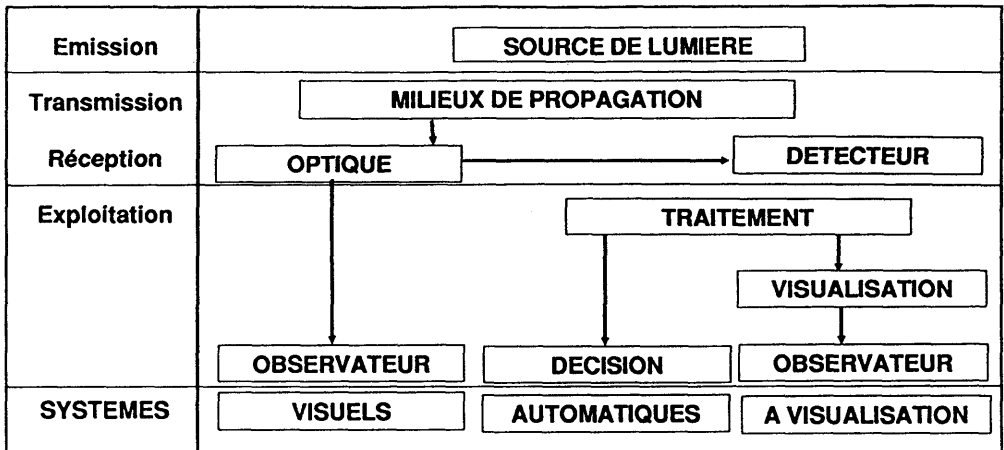


Fig 0-2 : Blocs diagrammes de systèmes optiques

Rôle de la photométrie en optique Instrumentale :

La photométrie, ou radiométrie optique, est la discipline concernant la caractérisation théorique et expérimentale des rayonnements dits optiques, c'est-à-dire des radiations électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont comprises entre quelques centièmes et quelques centaines de micromètres. Elle a en particulier pour objet de traiter des grandeurs qui définissent ces rayonnements et des lois qui les régissent depuis leur émission jusqu'à leur détection en passant par leur propagation, ainsi que des moyens de mesure correspondants.

Le respect des lois élémentaires de la photométrie constitue, avec celui des lois de l'optique géométrique, l'une des conditions "sine qua non" du bon fonctionnement d'un système optique. La méconnaissance de ces lois de la part du concepteur ou une mise en oeuvre erronée, peuvent entraîner des conséquences néfastes sur les performances du système dans la mesure où ce dernier ne recueillera pas ou n'exploitera pas le signal lumineux de façon optimale.

Ainsi, en plus de son rôle en métrologie, la photométrie joue un rôle très important dans la qualité et la compétitivité d'un instrument d'optique. En effet, elle intervient à 2 niveaux clé de la réalisation de tels produits :

- D'une part, elle intervient dès la conception du système, où elle sert de base à l'établissement du budget énergétique des diverses solutions envisagées : son rôle est primordial dans la modélisation de ces solutions, le choix de l'architecture adaptée, la définition des paramètres de base. A ce stade de conception, elle permet d'évaluer théoriquement certaines des performances du système et de définir au plus tôt les procédures et moyens d'essai le concernant.
- D'autre part, la photométrie intervient de façon aussi utile dans les phases de réalisation et d'évaluation expérimentale ("recette") du système grâce à son aspect métrologique (contrôle des composants, tests d'ensemble, vérification du "bilan de liaison").

Ce texte présente les notions de photométrie et de détection optique les plus souvent mises en oeuvre dans les systèmes optiques, que ce soit sous forme de produits industriels ou de montages de laboratoires. Le chapitre I traite des notions de base de la photométrie (grandeurs et relations fondamentales), les chapitres II et III ont pour objets respectifs, les sources et les détecteurs de lumière, et le chapitre IV l'exploitation du signal ("la détection optique").