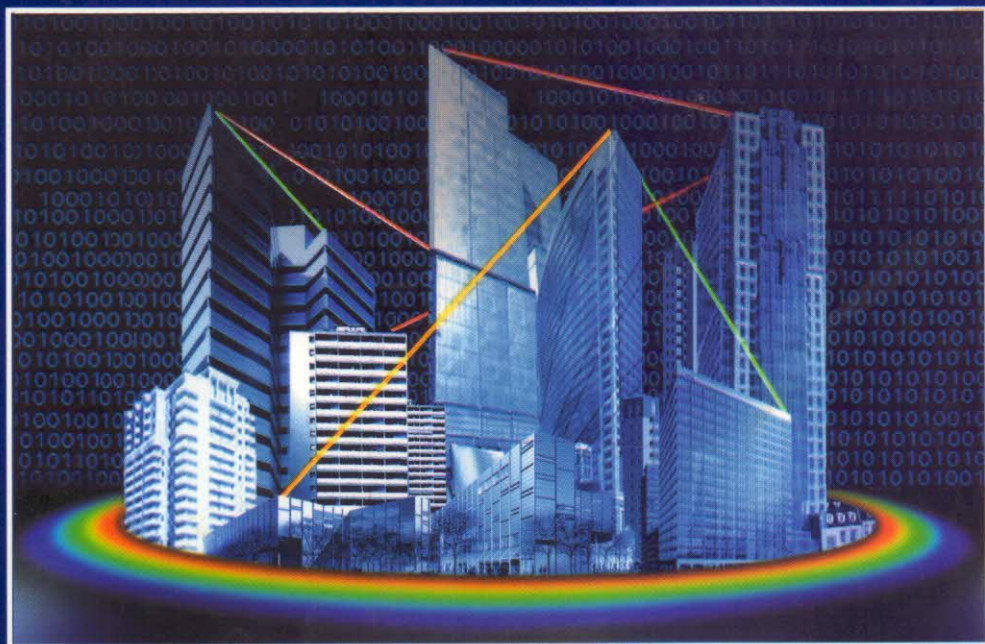


collection technique et scientifique des télécommunications



Optique sans fil

propagation et communication

Olivier Bouchet

Hervé Sizun

Christian Boisrobert

Frédérique de Fornel

Pierre-Noël Favennec

Hermès

Lavoisier

Table des matières

Introduction	13
Chapitre 1. Histoire des télécommunications optiques	17
1.1. Quelques définitions	17
1.1.1. Télécommunication.	17
1.1.2. Télécommunication optique.	18
1.1.3. Onde radioélectrique ou hertzienne	18
1.2. La préhistoire des télécommunications	18
1.3. Le télégraphe optique aérien.	19
1.4. Le code	23
1.5. Le télégraphe optique	25
1.6. L'héliographe ou télégraphe solaire : système de télécommunication portatif.	27
1.7. Le photophone d'Alexandre Graham Bell.	28
Chapitre 2. Rappel d'électromagnétisme.	31
2.1. Introduction.	31
2.2. Rappel sur les équations de Maxwell dans un milieu quelconque.	31
2.3. Propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu homogène isotrope et linéaire.	33
2.4. Energie transportée par l'onde.	35
2.5. Propagation dans des milieux complexes	36
2.6. Ondes cohérentes et incohérentes.	37
2.7. Passage de l'électromagnétisme classique à l'optique des rayons.	39
2.8. Le spectre électromagnétique	41
2.9. Unités et échelles	42
2.10. Exemples de sources dans le domaine visible et proche visible	44
2.11. Conclusion	46

Chapitre 3. Emission et réception de faisceaux optiques	47
3.1. Préambule.	47
3.2. Introduction.	48
3.3. Radiométrie : rappel des notions fondamentales	49
3.4. Fenêtres spectrales, matériaux et sécurité oculaire	53
3.5. Les émetteurs.	55
3.5.1. Les diodes émettrices d'ondes incohérentes à spectres larges	56
3.5.1.1. Structures	56
3.5.1.2. Diagrammes de rayonnement, champs proches et champs lointains.	56
3.5.1.3. Caractéristiques spectrales	59
3.5.1.4. Caractéristiques électriques et optiques.	60
3.5.2. Les diodes laser : flux énergétiques élevés, ondes cohérentes	61
3.5.2.1. Structures	61
3.5.2.2. Caractéristique « $\Phi_{\text{émis}}(I_{\text{injecté}})$ » : statique et dynamique.	62
3.5.2.3. Spectres et champs proches.	62
3.5.2.4. Instabilités spectrales et bruit d'intensité	67
3.5.3. Utilisation des amplificateurs à fibres dopées « d'ions terres rares »	67
3.6. Les photodétecteurs	68
3.6.1. Rappels : fenêtre spectrale et matériaux.	69
3.6.2. Principe de fonctionnement et structures	69
3.6.2.1. Les phénomènes de surface : réflexion optique et charges mobiles	69
3.6.2.2. Absorption et conduction : les jonctions à semi-conducteur	70
3.6.3. Rendement quantique, temps de transit, capacité de jonction et courant d'obscurité	72
3.6.4. Les photodiodes à avalanche	76
 Chapitre 4. Propagation en visibilité directe	 81
4.1. Influence du milieu de propagation (un peu de théorie).	81
4.1.1. L'absorption atmosphérique.	82
4.1.2. La diffusion atmosphérique	83
4.1.3. L'extinction et la transmission spectrale globale	84
4.1.4. L'atmosphère terrestre	84
4.1.4.1. La composition gazeuse de l'atmosphère.	85
4.1.4.2. Les particules en suspension (aérosols).	86
4.2. Visibilité	87
4.2.1. Généralités	87
4.2.1.1. Définitions.	87
4.2.1.2. Unités et échelles.	89
4.2.1.3. Besoins dans le domaine de la météorologie.	90

4.2.1.4. Méthodes de mesure	90
4.2.2. Estimation visuelle de la portée optique météorologique	91
4.2.2.1. Généralités	91
4.2.2.2. Estimation de la portée optique météorologique de jour	92
4.2.2.3. Estimation de la portée optique météorologique de nuit	93
4.2.2.4. Estimation de la portée optique météorologique en l'absence de repères éloignés	95
4.2.3. Mesure instrumentale de la POM.	95
4.2.3.1. Généralités	95
4.2.3.2. Instruments de mesure du coefficient d'extinction	96
4.2.3.3. Instruments de mesure du coefficient de diffusion	98
4.2.3.4. Exposition et implantation des instruments	100
4.3. Les affaiblissements atmosphériques	101
4.3.1. Affaiblissement par absorption moléculaire	101
4.3.2. Affaiblissement par diffusion moléculaire	103
4.3.3. Affaiblissement par absorption par les aérosols	104
4.4. Les perturbations météorologiques	105
4.4.1. Affaiblissement par diffusion de Mie	105
4.4.1.1. Aspect théorique	105
4.4.1.2. Aspect modélisation	109
4.4.2. Affaiblissement par les nuages	115
4.4.3. Affaiblissement par le brouillard, la brume	117
4.4.4. Affaiblissement par les précipitations	120
4.4.4.1. La pluie	120
4.4.4.2. Autres hydrométéores (neige, grêle...)	126
4.4.5. Réfraction et scintillations	129
4.5. Les liaisons optiques atmosphériques	134
Chapitre 5. Propagation d'un faisceau optique en milieu confiné	137
5.1. Introduction	137
5.2. Les différents mécanismes de propagation	138
5.2.1. Les liaisons en visibilité directe	139
5.2.2. Les liaisons en visibilité directe étendue ou cellulaire	140
5.2.3. Les liaisons réfléchies	141
5.2.3.1. La réflexion spéculaire	142
5.2.3.2. La réflexion diffuse	142
5.3. Le canal de propagation	147
5.3.1. Description du canal de propagation infrarouge	147
5.3.2. Caractérisation du canal	149
5.4. Les modèles	151
5.4.1. Modèle à une seule réflexion	151
5.4.2. Modèle statistique	154

5.4.2.1. Affaiblissement en espace libre	154
5.4.2.2. Réponse impulsionnelle	155
5.4.3. Modèle à décroissance exponentielle	160
5.4.4. Modèle Ceiling bounce	160
5.5. Puissance supplémentaire nécessaire pour atteindre un débit binaire donné	162
5.5.1. Puissance supplémentaire nécessaire et dispersion des retards	162
5.5.2. La modulation OOK (<i>On-Off Keying</i>)	162
5.5.3. La modulation PPM (<i>Pulse-Position Modulation</i>)	165
5.5.4. La modulation MSM (<i>Multiple-Subcarrier Modulation</i>)	165
5.6. Le bruit optique	166
5.6.1. La lumière émise par un filament de tungstène	166
5.6.2. La lumière émise par un tube fluorescent à basse fréquence	166
5.6.3. La lumière émise par un tube fluorescent à haute fréquence	166
5.6.4. Les émetteurs audio infrarouge	167
5.6.5. Les systèmes de télécommande à infrarouge des téléviseurs	167
5.6.6. Les effets de la lumière du jour	168
5.6.7. Modélisation de la lumière artificielle	169
5.7. Conclusion et comparaison entre les médias infrarouge et radio	171
Chapitre 6. Communication optique	173
6.1. Rappel sur la numérisation	173
6.2. Exemples d'applications des lasers hors communication optique	175
6.2.1. Secteur BTP	175
6.2.2. Secteur industriel	175
6.2.3. Secteur médical	176
6.2.4. Secteur grand public	176
6.3. Communications optiques intersatellites ou Terre-satellite	177
6.3.1. Communications optiques Terre-satellite	177
6.3.2. Communications optiques intersatellites	177
6.4. Communications optiques atmosphériques	178
6.4.1. Introduction – Principe de fonctionnement	178
6.4.2. Caractéristiques	181
6.4.2.1. Paramètres principaux	181
6.4.2.2. Paramètres secondaires	182
6.4.2.3. Exemples de systèmes installés	182
6.4.3. Temps de transit	184
6.4.4. Recommandations d'implémentation	184
6.4.5. Législation	185
6.4.5.1. L'organisation des activités de réglementation en radiocommunications	185
6.4.5.2. Réglementation des équipements LOA	187

6.4.6. Notion de qualité de service et de disponibilité	189
6.4.6.1. Notion d'affaiblissement géométrique	189
6.4.6.2. Notion de marge d'un lien	191
6.4.6.3. Disponibilité et qualité de service	192
6.4.7. Les applications potentiels des LOA.	200
6.4.7.1. Approche géographique	200
6.4.7.2. Approche applicative	201
Chapitre 7. Sécurité et confidentialité.	203
7.1. Sécurité des personnes	203
7.1.1. Dangers	203
7.1.2. Notion de classes	205
7.1.3. La limite d'émission accessible (LEA)	207
7.1.4. L'expositions maximales permises (EMP)	207
7.1.5. Le Calcul de la DNRO	208
7.1.6. La conformité à la norme IEC825/EN60825	209
7.1.6.1. Laser de classe 3B	209
7.1.6.2. Laser de classe 3R	210
7.1.6.3. Laser de classe 2	211
7.1.6.4. Laser de classe 1	211
7.2. Confidentialité	211
7.2.1. Confidentialité des données transmises	211
7.2.2. Techniques de confidentialité	212
7.2.2.1. La cryptographie	212
7.2.2.2. Cryptographie à clé publique et à clé secrète	213
7.2.2.3. Cryptographie quantique	214
7.2.2.4. Télécommunications quantiques en espace libre	214
7.2.2.5. Liaisons non cryptées en milieu confiné : apport des matériaux artificiels.	215
Bibliographie	217
Index	225
Dans la même collection	229