

Généralités sur les fibres optiques

1. Définition	19
2. Préjugés et vérités	20
3. Définition d'une liaison optique	22
4. Avantages des fibres optiques	24
4.1 Largeur de bande passante et débit	24
4.2 Affaiblissement linéique	24
4.3 Immunité électromagnétique	25
4.4 Taille et poids	25
4.5 Furtivité et secret des transmissions	26
4.6 Sécurité	28
5. Principe de fonctionnement des fibres optiques	28
5.1 Caractéristiques de la lumière	29
5.1.1 Célérité de la lumière et indice absolu d'un milieu	29
5.1.2 Longueur d'onde et spectre électromagnétique	29
5.2 Lois de l'optique géométrique	30
5.2.1 Première loi de Descartes ou loi de la réflexion	31

5.2.2 Deuxième loi de Descartes ou loi de la réfraction	31
5.2.3 Réfringence et angle critique	32
5.3 Application à la fibre optique	34
5.3.1 Constitution d'une fibre optique	34
5.3.2 Principe de fonctionnement d'une fibre optique	35
5.3.3 Ouverture numérique	36
6. Merci, monsieur Kao	37

Types de fibres optiques et fabrication

1. Différents types de fibres optiques	39
1.1 Fibres optiques multimodales	40
1.1.1 Fibres optiques multimodales à saut d'indice	40
1.1.2 Fibres optiques multimodales à gradient d'indice	41
1.2 Fibres optiques unimodales	42
1.3 Autres types de fibres optiques	43
1.3.1 Fibres optiques spécifiques	43
1.3.2 Fibres optiques en plastique	43
2. Longueurs d'onde opératoires	44
2.1 Gamme des longueurs d'onde opératoires	

2.2 Élargissement des plages de longueurs d'onde pour les fibres unimodales	44
	46
3. Principales caractéristiques physiques	47
3.1 Caractéristiques géométriques	47
3.2 Caractéristiques de transmission	48
3.2.1 Affaiblissement du signal	48
3.2.2 Bande passante optique	48
3.2.3 Bande passante électro-optique	48
3.2.4 Longueur d'onde de coupure	49
3.2.5 Dispersion chromatique	49
3.2.6 Dispersion de polarisation	50
3.2.7 Dispersion modale de polarisation	50
3.2.8 Temps de propagation de groupe différentiel	51
3.2.9 Principales normes de transmission	51
4. Fabrication des fibres optiques	53
4.1 Principe général de fabrication	53
4.2 Oxydation extérieure en phase vapeur	55
4.3 Décomposition chimique modifiée en phase vapeur	55
4.4 Décomposition chimique de vapeur activée par plasma	56
4.5 Autres procédés	57

4.6 Principe du fibrage	57
4.7 Principe du dopage	58

Panorama des fibres optiques unimodales

1. Introduction	61
2. Organismes de normalisation	62
2.1 Union internationale des télécommunications	62
2.2 Commission électrotechnique internationale	63
2.3 Association française de normalisation	65
2.4 Autres organisations	66
3. Panorama des fibres unimodales classiques	67
3.1 Principales recommandations pour les fibres unimodales classiques	67
3.2 Recommandation UIT-T G.652	70
3.2.1 Évolution de la recommandation G.652	70
3.2.2 Neuvième version de la recommandation G.652	74
3.3 Recommandation UIT-T G.653	75
3.3.1 Évolution de la recommandation G.653	75
3.3.2 Septième version de la recommandation G.653	77
3.4 Recommandation UIT-T G.654	78

3.4.1 Évolution de la recommandation G.654	78
3.4.2 Dixième version de la recommandation G.654	80
3.5 Recommandation UIT-T G.655	82
3.5.1 Évolution de la recommandation G.655	82
3.5.2 Cinquième version de la recommandation G.655	83
3.6 Recommandation UIT-T G.656	85
3.6.1 Évolution de la recommandation G.656	85
3.6.2 Troisième version de la recommandation G.656	86
3.7 Recommandation UIT-T G.657	87
3.7.1 Évolution de la recommandation G.657	87
3.7.2 Quatrième version de la recommandation G.657	88
3.7.3 Quatre sous-catégories des fibres G.657	89
3.7.4 Modification de l'épaisseur du revêtement	91
3.8 Correspondance des normes UIT-T et CEI	92
4. Panorama des fibres unimodales spécifiques	94
4.1 Fibres optiques spéciales (FOS)	94
4.1.1 Fibres optiques à maintien de polarisation	94
4.1.2 Fibres optiques résistant aux hautes températures	95
4.1.3 Fibres optiques dopées aux terres rares	96
4.1.4 Autres exemples de fibres optiques spécifiques	96

4.2 Fibres optiques multicœurs (MCF)	97
4.2.1 Multiplexage par répartition spatiale (SDM)	97
4.2.2 Principaux problèmes rencontrés	98
4.2.3 Exemples de fibres multimodales multicœurs	99
4.2.4 Exemple de composant pour fibres multicœurs	100
4.3 Fibres optiques à quelques modes (FMF)	101
4.4 Fibres optiques à cœurs elliptiques	101

Fibres multimodales en silice et fibres en plastique

1. Introduction	103
2. Organismes de normalisation	104
2.1 Correspondances entre organismes	104
2.2 Organisation internationale de normalisation	105
3. Fibres optiques multimodales en silice	107
3.1 Rappel historique et ancêtres à gros cœur	107
3.1.1 Rappel historique des fibres multimodales en silice	107
3.1.2 Ancêtres à gros cœur des fibres multimodales	109
3.2 Recommandation UIT-T G.651.1	110
3.3 Fibres optiques multimodales OMx pour les réseaux locaux	112

3.3.1	Fibres optiques multimodales OM1	112
3.3.2	Fibres optiques multimodales OM2, OM3 et OM4	113
3.3.3	Arrivée des fibres multimodales OM5	114
3.3.4	Clap de fin pour les fibres OM1 et OM2	116
3.3.5	Fibres 50/125 à faible rayon de courbure (BIMMF)	117
3.4	Fibres multimodales à revêtement renforcé	119
3.5	Fibres multimodales à cœur ou gaine non circulaire	119
3.6	Liaisons entre fibres de cœurs différents	120
4.	Fibres optiques multimodales en plastique	121
4.1	Généralités sur les fibres optiques en plastique	121
4.2	Fibres optiques en plastique type PMMA	122
4.3	Fibres optiques en plastique évolué	124
4.4	Principaux types de fibres optiques en plastique	125
4.5	Normalisation afnor	126
4.6	Exemples d'applications	127
4.6.1	Montée à 1 Gbit/s sur FOP	127
4.6.2	La FOP dans l'habitat	129
4.7	Association POFTO	130

Câbles à fibres optiques

1. Généralités sur les câbles à fibres optiques	131
2. Constitution d'un câble à fibres optiques	132
2.1 Structure d'un câble à fibres optiques	132
2.2 Contenance d'un câble à fibres optiques	134
2.2.1 Câbles unifibres	134
2.2.2 Câbles à deux fibres optiques	134
2.2.3 Câbles multifibres pour distribution intérieure	135
2.2.4 Câbles multifibres pour distribution extérieure	136
2.2.5 Câbles à fibres optiques agencées en ruban	136
2.2.6 Câbles à fibres optiques de conception spécifique	138
3. Principales contraintes sur un câble à fibres optiques	139
3.1 Résistance mécanique	139
3.1.1 Microcourbures et macrocourbures	139
3.1.2 Efforts de traction	140
3.1.3 Écrasement, chocs et torsion	140
3.1.4 Trépidations	141
3.2 Résistance aux conditions environnementales	141
3.2.1 Conditions aqueuses et gazeuses	141
3.2.2 Résistance au feu	142

3.2.3 Écoconception des câbles	144
4. Recommandations de l'UIT-T pour les câbles à fibres optiques	146
4.1 Recommandation UIT-T L.100/L.10	149
4.2 Recommandation UIT-T L.101/L.43	151
4.3 Recommandation UIT-T L.102/L.26	152
4.4 Recommandation UIT-T L.103/L.59	155
4.5 Recommandation UIT-T L.104/L.67	157
4.6 Recommandation UIT-T L.105/L.87	159
4.7 Recommandation UIT-T L.106/L.58	161
4.8 Recommandation UIT-T L.107/L.78	163
4.9 Recommandation UIT-T L.108/L.79	165
4.10 Recommandation UIT-T L.109/L.60	166
4.11 Recommandation UIT-T L.110	168
4.12 Recommandation UIT-T L.430/L.28	169
4.13 Recommandation UIT-T G.978	172
4.13.1 Généralités sur la recommandation G.978	172
4.13.2 Typologie des câbles à fibres optiques sous-marins	174
5. Câbles à fibres optiques pour applications spécifiques	176
5.1 Câbles à fibres optiques pour les réseaux en avionique	176
5.2 Câbles à fibres optiques pour les plateformes pétrolières	

5.3 Câbles à fibres optiques pour éoliennes en mer	178
	179

6. Normalisation des câbles vue côté CEI **180**

6.1 Panorama des normes CEI pour les câbles à fibres optiques	180
6.2 Où acheter les normes CEI des câbles à fibres optiques ?	182

Aboutement des fibres optiques

1. Généralités sur l'aboutement des fibres optiques **183**

1.1 Problèmes rencontrés	183
1.2 Définitions de base en connectique optique	187

2. Exemples de connectique pour fibres optiques **189**

2.1 Premières fiches optiques	189
2.2 Exemples de fiches pour fibre optique unitaire	190
2.3 Exemples de fiches pour câbles à deux fibres optiques	191
2.4 Connectique optique à haute densité	192
2.4.1 MPO-12, un connecteur normalisé	192
2.4.2 Diverses versions du MPO-12	193
2.4.3 MPO-16 et MPO-32	195
2.5 Évolution vers la sécurité	197

2.6 Fiche optique avec alimentation électrique	197
2.7 Où se procurer les normes de connectique optique ?	198
3. Couplage entre fibre optique et fiche optique	199
3.1 Principe d'un raccordement classique	199
3.2 Principe du collage	200
3.3 Principe du sertissage	201
3.4 Principes du polissage	202
3.5 Fiches prééquipées	204
3.6 Fibres optiques préconnectorisées	204
3.7 Principes d'ajustement	206
4. Connectique optique pour environnements difficiles	209
4.1 Principe du faisceau expansé	209
4.2 Connectique optique pour avionique	211
4.3 Connectique optique pour le ferroviaire	212
4.4 Connectique optique pour câbles sous-marins	213
5. Connectique pour fibre optique en plastique	213
6. Aboutement semi-fixe ou fixe	215
6.1 Prolongateurs et épissures mécaniques	215

6.2 Soudure ou épissure par fusion	217
6.2.1 Principe de la soudure	217
6.2.2 Soudeuses cœur à cœur ou gaine à gaine	219
6.2.3 Autres caractéristiques des soudeuses	221
6.2.4 Soudeuses pour fibres spécifiques	222
7. La poussière, ennemi n°1	226
Mesures dans un réseau de fibres optiques	
1. Caractéristiques optiques à mesurer	231
1.1 Caractéristiques géométriques	231
1.2 Caractéristiques fonctionnelles	232
1.3 Caractéristiques de transmission	233
1.4 Méthodes pour les mesures	234
2. Outils de tests optiques légers	235
2.1 Pince de détection de trafic optique	235
2.2 Stylo optique	236
2.3 Sonde d'inspection optique	236
3. Photométrie optique	237

3.1 Constitution d'un photomètre	237
3.2 Que mesure-t-on ?	238
3.3 Comment mesure-t-on ?	239
3.4 Options pour un photomètre	239
3.5 Limites de la photométrie	240
4. Réflectométrie optique	240
4.1 Réflectométrie et réflectomètres	240
4.1.1 Principe de la réflectométrie	240
4.1.2 Généralités sur les réflectomètres	243
4.2 Méthodes de mesures en réflectométrie	244
4.2.1 Affaiblissement de la fibre	244
4.2.2 Événement abrupt	245
4.2.3 Dispersion chromatique	246
4.2.4 Dispersion du mode de polarisation	246
4.3 Réflectométrie et applications particulières	246
4.3.1 Longues distances et plage dynamique	246
4.3.2 Courtes distances et zones mortes	248
4.3.3 Cas des réseaux optiques passifs	250
4.3.4 Cas des câbles à forte densité	251
4.3.5 Cas du multiplexage par longueur d'onde	252

4.4 Autres facteurs en réflectométrie	253
4.4.1 Informatique en nuage et IPv6	253
4.4.2 Caractéristiques fonctionnelles	254
5. Spectrométrie optique	255
5.1 Analyse de spectre optique	255
5.2 Analyseurs de spectre optique	256
5.3 Analyseurs de dispersion chromatique et de mode de polarisation	259
5.4 Analyseurs de protocoles	259
5.5 Testeur de taux d'erreurs binaires	260
6. Appareils de mesures et normalisation	261
6.1 Normalisation pour les photomètres	261
6.2 Normalisation pour les réflectomètres	261
6.3 Normalisation pour les analyseurs de spectre optique	262
6.4 Accréditation des laboratoires	264
 Composants optoélectroniques	
1. Émetteurs électro-optiques	265
1.1 Un peu d'histoire	265
1.2 Généralités sur les émetteurs	265

1.3 Transmission et qualité du signal	267
1.4 Quelques mots sur les VCSEL	268
1.5 Largeur spectrale et distance	271
1.6 Évolutions des lasers	273
1.7 Exemples de normes pour les lasers	274
2. Récepteurs optoélectroniques	276
2.1 Généralités sur les récepteurs optoélectroniques	277
2.2 Photodiodes PIN	277
2.3 Photodiodes à avalanche	279
3. Modules émetteurs-récepteurs optiques	280
3.1 XFP	280
3.2 CXP et CXP2	280
3.3 Famille SFP, SFP+, SFP16, SFP28 et SFP56	281
3.3.1 Gamme des SFP	281
3.3.2 Spécifications du SFP-DD MSA	281
3.4 Famille CFP, CFP2, CFP4 et CFP8	282
3.4.1 Gamme des émetteurs-récepteurs CFP	282
3.4.2 Spécifications du CFP-MSA	284
3.5 Famille QSFP, QSFP+, QSFP28 et QSFP56	284

3.6 QSFP-DD	285
4. Composants optiques	286
4.1 Coupleurs optiques	286
4.2 Affaiblisseurs optiques	288
5. Cordons optiques actifs	290
5.1 Raison d'être des cordons optiques actifs	290
5.2 Présentation générale d'un cordon optique actif	291
5.2.1 Modules émetteurs-récepteurs optiques	291
5.2.2 Fiches optiques	292
5.2.3 Fibres optiques	293
5.3 Critères de choix d'un cordon optique actif	295
6. Circuits intégrés photoniques	298
6.1 Histoire des circuits intégrés photoniques	298
6.2 Grands types de technologie et couplage	301
6.3 Facteurs de développement des puces photoniques	302
6.4 Puces photoniques dans les réseaux	304
6.5 Puces photoniques et centres informatiques	305
6.6 COBO, Consortium for On-Board Optics	308
6.7 Les puces de demain ?	309

Multiplexage en longueurs d'onde

1. Principe du multiplexage en longueurs d'onde	311
1.1 Canal de transmission, grille spectrale et principe	312
1.2 Rappel historique	313
1.3 La famille WWDM, CWDM, DWDM et SWDM	315
1.4 Principales recommandations de l'UIT-T	317
2. Multiplexage par répartition dense en longueurs d'onde	318
2.1 Caractéristiques générales du DWDM	318
2.2 Grilles spectrales du DWDM	319
2.3 Grille DWDM "flexible"	321
3. Multiplexage par répartition espacée en longueurs d'onde	322
3.1 Caractéristiques générales du CWDM	322
3.2 Grilles spectrales du CWDM	323
3.3 Interfaces optiques pour le CWDM	323
3.4 Signaux de télévision	324
4. Multiplexage par répartition en longueurs d'onde courtes	325
4.1 Caractéristiques générales du SWDM	

4.2 Émetteurs-récepteurs pour SWDM4	325
	326
5. Principaux équipements en WDM	327
5.1 Multiplexeur-démultiplexeur	327
5.2 Multiplexeur d'insertion-extraction de longueur d'onde	328
5.3 Multiplexeur d'insertion-extraction de longueurs d'onde reconfigurable à distance	329
5.3.1 Un ROADM, pour quoi faire ?	329
5.3.2 Comment fonctionne un ROADM ?	331
5.3.3 Quelles évolutions pour les ROADM ?	334
6. Exemples d'applications du WDM	335
6.1 Application du WDM en centre de données	335
6.2 Application du CWDM entre deux centres de données	336
6.3 Application du multiplexage dans un réseau optique passif	336
Ethernet et fibres optiques	
1. Introduction	337
2. Ethernet et ses évolutions	337
2.1 Création d'Ethernet	337
2.2 Ethernet de 1985 à 2015	337

2.2.1 En 1985, IEEE organisme officiel	339
2.2.2 En 2008, première refonte des normes : IEEE 802.3-2008	339
2.2.3 En 2012, deuxième refonte des normes : IEEE 802.3-2012	340
2.2.4 En 2015, troisième refonte des normes : IEEE 802.3-2015	340
2.3 Ethernet en 2018 (IEEE 802.3-2018) et après...	341
2.3.1 La norme IEEE 802.3-2018	342
2.3.2 Exemples d'amendements depuis 2018...	342
2.3.3 Groupes de travail	343
2.4 Écosystème et vocabulaire Ethernet	344
2.4.1 Écosystème Ethernet	345
2.4.2 Energy-Efficient Ethernet	346
2.4.3 Parlez-vous Ethernet ?	347
3. FOIRL, Ethernet à 10 Mbit/s et à 100 Mbit/s	347
3.1 FOIRL	349
3.2 Ethernet à 10 Mbit/s	349
3.2.1 Diversité d'Ethernet 10 Mbit/s sur fibres optiques	350
3.2.2 Fibres optiques et connectique	350
3.2.3 Convertisseur de médias	351
3.3 Ethernet à 100 Mbit/s	352
3.3.1 Diversité d'Ethernet 100 Mbit/s sur fibres optiques	353

3.3.2 Fibres optiques et connectique	353
	354
4. Ethernet à 1 Gbit/s et à 10 Gbit/s	354
4.1 Ethernet à 1 Gbit/s	355
4.1.1 Diversité d'Ethernet à 1 Gbit/s sur fibres	355
4.1.2 Fibres optiques et connectique	356
4.1.3 Distances minimales couvertes	357
4.1.4 Exemples de topologie d'un réseau Ethernet à 1 Gbit/s	358
4.1.5 Ethernet à 1 Gbit/s sur fibres en plastique ou 1000-RHx	360
4.2 Ethernet à 10 Gbit/s	361
4.2.1 Diversité d'Ethernet à 10 Gbit/s sur fibres	361
4.2.2 Ethernet à 10 Gbit/s en PON	363
4.2.3 Fibres optiques et distances	363
4.2.4 Diversité des interfaces	365
5. Ethernet à 40 Gbit/s et à 100 Gbit/s	365
5.1 Familles d'Ethernet à 40 Gbit/s et à 100 Gbit/s	366
5.1.1 Famille 40GBASE-R	366
5.1.2 Famille 100GBASE-R	367
5.1.3 Hors norme : 100G CWDM4	369
5.2 Fibres optiques pour le 40 Gbit/s et le 100 Gbit/s	370

5.3 Connectique optique pour le 40 Gbit/s et le 100 Gbit/s	371
5.4 Grilles de multiplexage en longueurs d'onde	373
5.4.1 Grille de multiplexage pour les 40GBASE-LR4 et -ER4	373
5.4.2 Grille de multiplexage pour les 100GBASE-LR4 et -ER4	374
6. Ethernet à 25 Gbit/s	374
6.1 Fibres optiques pour le 25 Gbit/s	374
6.2 Principales applications de l'Ethernet à 25 Gbit/s	376
6.3 Ethernet à 50 Gbit/s	376
6.4 Consortium 25 Gigabit Ethernet	378
7. Ethernet à 200 Gbit/s et à 400 Gbit/s	378
7.1 Familles d'Ethernet à 200 Gbit/s et à 400 Gbit/s	379
7.1.1 Famille 200GBASE-R	379
7.1.2 Famille 400GBASE-R	380
7.2 Grilles de multiplexage en longueurs d'onde	382
7.2.1 Grille de multiplexage pour les 200GBASE-FR4	382
7.2.2 Grille de multiplexage pour les 200GBASE-LR4	382
7.2.3 Grille de multiplexage pour les 400GBASE-FR8 et -LR8	383
7.2.4 Codage PAM4	383
8. Vers l'Ethernet à 1 Tbit/s	384

8.1 Débits de 600 Gbit/s et 800 Gbit/s	384
8.2 Vers l'Ethernet à 1 Tbit/s	384

Réseaux d'entreprise et fibres optiques

1. Typologie des réseaux d'entreprise	385
2. Réseaux locaux et réseaux de campus	386
2.1 Réseaux locaux	386
2.2 Réseaux de campus	389
2.3 Équipements de distribution physique	391
3. FDDI, InfiniBand et Fibre Channel	394
3.1 Fiber distributed data interface (FDDI)	395
3.2 InfiniBand	397
3.2.1 InfiniBand ou les InfiniBand	397
3.2.2 De 10 Gbit/s à 1,2 Tbit/s	397
3.2.3 InfiniBand : HPC et RoCE	399
3.2.4 InfiniBand Trade Association	400
3.3 Fibre Channel	401
3.3.1 Généralités sur Fibre Channel	401
3.3.2 Génération 7 ou 64GFC	401

3.3.3 Composants optiques pour Fibre Channel	402
3.3.4 Fibre Channel Industry Association	403
3.3.5 Fibre Channel over Ethernet (FCoE)	404
4. Réseaux industriels, vidéoprotection et capteurs	405
4.1 Problématique des réseaux industriels	406
4.2 Bus de terrain, EtherCAT et ODVA	408
4.2.1 Bus de terrain : série de normes CEI 61158	408
4.2.2 Ethernet industriel et EtherCAT	410
4.2.3 Variété de protocoles industriels : ODVA	411
4.3 Réseaux de vidéoprotection	413
4.3.1 Une application des réseaux industriels	413
4.3.2 Transition vers le numérique et vers IP	414
4.3.3 Ministère de l'Intérieur et ONVIF	416
4.4 Réseaux de capteurs à fibres optiques	416
4.4.1 Généralités sur les capteurs à fibres optiques	416
4.4.2 Normes CEI sur les capteurs	418
5. Réseaux embarqués	419
5.1 VITA	419
5.1.1 L'association VITA	419

5.1.2 VITA et les fibres optiques	419
5.1.3 Les technologies VITA	420
5.2 Réseaux dans l'automobile	421
5.3 Réseaux en avionique	424
5.3.1 Principales applications	424
5.3.2 Ethernet en avionique	424
5.3.3 Exemples de produits IFEC	426
5.3.4 Cas de l'aérospatial	426
5.4 Applications en ferroviaire	427
5.5 Réseaux en applications militaires	428
Réseaux d'exploitants en fibres optiques	
1. Typologie des réseaux en fibres optiques	431
2. Réseaux étendus	433
2.1 Réseaux transocéaniques et maritimes	433
2.1.1 Un peu d'histoire...	433
2.1.2 Quelques données chiffrées	434
2.1.3 Exemples de matériels	435
2.2 Réseaux terrestres, fluviaux et en aérien	439
2.2.1 Réseaux terrestres	439

2.2.2 Réseaux fluviaux	439
2.2.3 Réseaux en aérien	441
2.3 Réseaux métropolitains	441
2.3.1 Diversité des équipements	444
2.3.2 Nœud de raccordement optique (NRO)	444
2.3.3 Metro Ethernet Forum (MEF)	446
3. Réseaux de distribution point-à-point	447
3.1 Point-à-point v/s multipoint	449
3.2 FTTx ?	450
4. Réseaux optiques passifs	450
4.1 Historique des PON	452
4.2 Les premiers PON	454
4.3 PON à 10 Gbit/s	457
4.3.1 Le 10G-EPON	457
4.3.2 Le XG-PON	458
4.3.3 Le XGS-PON	460
4.4 Le WDM et les PON	462
4.4.1 Le WDM-PON	462
4.4.2 Les MW-PON	463

4.5 Les PON à hauts débits	465
4.5.1 Les NG-PON2 à 40 Gbit/s	466
4.5.2 Les 25G-PON et 50G-PON de l'UIT-T	470
4.5.3 Les 25GE-PON et 50GE-PON de l'IEEE	472
4.5.4 Les PON et la 5G	473
4.6 Normalisation des PON	474
4.6.1 Travaux du FSAN	474
4.6.2 Recommandations de l'UIT-T	475
4.6.3 Normes de l'IEEE	478
4.6.4 Synthèse des architectures des PON	479
4.7 La recherche sur les PON	480
4.7.1 Exemple à 25 Gbit/s par longueur d'onde	481
4.7.2 Exemple à 50 Gbit/s par longueur d'onde	481
4.7.3 Exemple à 100 Gbit/s par longueur d'onde	482
4.7.4 Exemple d'un UDWDM-PON à 1 000 clients	483
4.7.5 Exemple de recherche en PON et 5G	483
5. Réseaux dans l'immobilier et l'habitat	484
5.1 ARCEP, autorité de régulation	484
5.1.1 Un grand dossier : "La fibre"	485
5.1.2 Le cadre réglementaire de la fibre	486

5.1.3 Copropriétaires et bailleurs	487
5.1.4 La fibre dans l'habitat social	487
5.2 Association Objectif fibre	488
5.2.1 Présentation d'Objectif fibre	488
5.2.2 Les guides d'Objectif fibre	490
5.3 Le forum « La Fibre .info »	493
5.4 Exemples d'équipements	494
5.5 Concept RLDO	496
Conclusion	
1. Introduction	499
2. Le FTTH à 10 Gbit/s	499
2.1 En 2005, Hong Kong, 1 Gbit/s	499
2.2 En 2014, ELFA, 1 Gbit/s	500
2.3 En 2015, Asie et États-Unis, 10 Gbit/s	500
2.4 En 2019, France, 100 Mbit/s	500
3. La fibre optique et la 5G	501
3.1 Explosion du nombre de cellules	501
3.2 La fibre : oui, mais comment ?	502

4. Des térabits et pétabits	503
4.1 Accroître le nombre de "tuyaux"	503
4.2 Une transmission à 715 Tbit/s sur 2 009 km	504
4.3 Une transmission de 1,2 Pbit/s sur 3,37 km	504
5. En route vers 2030	505
5.1 Historique des générations de réseaux	505
5.2 Réseaux futurs (future networks - FN)	506
5.3 Opération Network 2030	507
 Annexes	
1. Organisations de normalisation	509
2. Autres organisations et associations	511
3. Événements et revues	515
4. Acronymes	516

Index

Les fibres optiques

Notions fondamentales (Câbles, Connectique, Composants, Protocoles, Réseaux...) (3e édition)

523