

Avant-propos

Chapitre 1

Problématique des centres de données

- 1. Raisons d’être des centres de données 25
 - 1.1 Développement de l’économie numérique 26
 - 1.1.1 Économie numérique et entreprise 26
 - 1.1.2 Économie numérique et administration 26
 - 1.1.3 Économie numérique et objets 27
 - 1.1.4 Économie numérique et formation 28
 - 1.1.5 Économie numérique et domaine personnel 29
 - 1.1.6 France, 14e de l’Union européenne 29
 - 1.2 Centre de données et informatique en nuage 30
 - 1.2.1 Définition d’un centre de données 31
 - 1.2.2 Définition de l’informatique en nuage 31
 - 1.3 Centre de données : point névralgique 31
 - 1.4 Présentation générale d’un site 32
 - 1.5 Présentation générale d’un centre de données 33
- 2. Typologie des centres de données par taille 34
 - 2.1 Centres de données de faible capacité 34
 - 2.2 Centres de moyenne et grande capacité 35
 - 2.3 Mégacentres de données 35
 - 2.3.1 Dénominations 35
 - 2.3.2 Définition selon Cisco 36
 - 2.4 Centres de données de proximité - EDC 36
 - 2.4.1 Objectif des EDC 36
 - 2.4.2 Centre de données en conteneur 37
 - 2.4.3 Centre de données mobile 37
 - 2.5 Course à la taille 38
 - 2.5.1 Comparaison de la consommation d’énergie 38
 - 2.5.2 Paradoxe de Jevons 39

2 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

3.	Services associés à un centre de données	40
3.1	Infrastructure - IaaS	40
3.2	Plateforme - PaaS	40
3.3	Logiciels et applicatifs - SaaS	41
3.4	Stockage des données - SaaS	41
3.5	Sauvegarde des données - BaaS	41
3.6	Reprise d'activités - DRaaS	42
4.	Modes de déploiement	42
4.1	Propriétaire ou locataire	42
4.2	Centre de données privé	43
4.3	Centre de données en colocation	43
4.4	Centre de données classique	44
5.	Centre de données et taux de disponibilité	45
5.1	Distinction de quatre classes	45
5.2	Tableau de synthèse	47
6.	Quelques données chiffrées	47
6.1	Parc des centres de données en France	47
6.1.1	Évolution du parc en France	47
6.1.2	Implantations en France	48
6.1.3	Exemple en France	49
6.2	Parc des mégacentres de données	50
6.2.1	Croissance du parc mondial	50
6.2.2	Exemples de mégacentres de données	51

Chapitre 2
Normalisation pour centres de données

- 1. Introduction 53
- 2. Organismes de normalisation pour centres de données. 54
 - 2.1 Organisation internationale de normalisation - ISO 55
 - 2.2 Commission électrotechnique internationale - CEI 56
 - 2.3 Comité technique commun ISO/CEI JTC 1 57
 - 2.3.1 Domaine d'intervention du JTC 1 57
 - 2.3.2 Principaux sous-comités du JTC 1 57
 - 2.4 Association française de normalisation 58
- 3. Normes internationales pour systèmes de câblage générique 59
 - 3.1 Série de normes ISO/CEI 11801-x 59
 - 3.2 Norme ISO/CEI 11801-5 "Centre de données" 60
- 4. Normes européennes de câblage 61
 - 4.1 Normes d'installation et normes de systèmes 61
 - 4.2 Série NF EN 50174-x pour installations de câblage 62
 - 4.3 Norme NF EN 50174-2 "Intérieur des bâtiments" 63
 - 4.4 Série NF EN 50173-x pour systèmes de câblage 64
 - 4.5 Norme NF EN 50173-5 "Espaces de centres de données" 65
- 5. Normes européennes pour centres de données. 67
 - 5.1 Série de normes NF EN 50600-x 67
 - 5.2 Norme NF EN 50600-2-4 "Infrastructure de câblage dédiée aux télécommunications" 68
- 6. Normes américaines pour centres de données 69
 - 6.1 Organismes américains de normalisation 69
 - 6.2 Norme ANSI/TIA-942-B 72
 - 6.3 Normes ANSI/BICSI 73
 - 6.3.1 À propos de BICSI 73
 - 6.3.2 ANSI/BICSI 002-2019 74
 - 6.3.3 BICSI 009-2019 74

4 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

Chapitre 3

Fibres unimodales pour centres de données

1. Généralités sur les fibres optiques	77
1.1 Diversité des applications	77
1.2 Centre de données	78
2. Quelques caractéristiques	78
2.1 Dimensions	78
2.1.1 Revêtement 250 μm	79
2.1.2 Revêtement 200 μm	79
2.1.3 Revêtement 180 μm	81
2.2 Transmission	81
3. Fibres unimodales spécifiques	84
3.1 Fibres à quelques modes - FMF	84
3.2 Fibres optiques multicœurs - MCF	84
3.3 Fibres multicœurs à quelques modes - FMMCF	85
4. Recommandations de l'UIT-T	86
4.1 Union internationale des télécommunications - UIT	86
4.2 Série des recommandations UIT-T G.65x	87
4.2.1 UIT-T G.652	87
4.2.2 UIT-T G.653	87
4.2.3 UIT-T G.654	87
4.2.4 UIT-T G.655	88
4.2.5 UIT-T G.656	89
4.2.6 UIT-T G.657	89
4.3 Fibres unimodales UIT-T G.652	89
4.4 Fibres unimodales UIT-T G.657	91
4.4.1 Idée de création des fibres G.657	91
4.4.2 Recommandation UIT-T G.657	92
4.4.3 Niveaux des pertes par courbure	93
4.5 Fiabilité des fibres câblées	94
4.5.1 Supplément 59	94
4.5.2 Exemple de risque	95

- 5. Normalisation de la CEI 96
 - 5.1 Norme CEI 60793-2-50:2018 96
 - 5.2 Correspondance entre UIT-T et CEI 97
 - 5.3 Normalisation OS1a et OS2 98

Chapitre 4

Fibres multimodales pour centres de données

- 1. Généralités 99
 - 1.1 Fibres unimodales versus fibres multimodales 99
 - 1.2 Typologie des fibres multimodales 100
- 2. Familles et normes des fibres multimodales 101
 - 2.1 Fibres multimodales à saut d'indice. 101
 - 2.2 Fibres multimodales à gradient d'indice 102
 - 2.3 Diamètres du cœur et de la gaine 102
 - 2.4 Norme EN 60793-2-10:2019. 103
 - 2.4.1 Présentation de la norme. 103
 - 2.4.2 Correspondances entre ISO, CEI et ANSI 104
 - 2.5 Fibres multimodales UIT-T G.651.1 105
- 3. Fibres multimodales et cycle de vie 106
 - 3.1 Fibres multimodales en fin de vie : A1-OM1 et A1-OM2 106
 - 3.2 Fibres multimodales classiquement installées :
A1-OM3 et A1-OM4 106
 - 3.3 Fibres multimodales à faibles pertes par courbure : BIMMF . . 107
- 4. Fibres multimodales A1-OM5 spécifiques au SWDM 108
 - 4.1 Caractéristiques des fibres multimodales A1-OM5 108
 - 4.2 Multiplexage SWDM 108
 - 4.2.1 Transmission sans SWDM 108
 - 4.2.2 Principe du SWDM 109
 - 4.2.3 Transmission avec SWDM4 110
 - 4.2.4 SWDM4 à 40 Gbit/s 111
 - 4.2.5 SWDM4 à 100 Gbit/s 112
 - 4.2.6 SWDMA. 112

6 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

5. Fibres optiques multimodales en plastique (FOP)	114
5.1 Généralités sur les FOP	114
5.2 Norme AFNOR sur les FOP	115
5.3 Organisation internationale POF-TO	116

Chapitre 5

Connectique optique

1. Introduction	117
2. Aboutement des fibres optiques	118
2.1 Principaux problèmes	118
2.2 Contact physique	119
3. Normalisation de la connectique optique	121
3.1 Organismes de normalisation	121
3.2 Série de normes européennes IEC 61754-x	122
3.3 Série de normes américaines FOCIS	122
3.4 Connectique pour centre de données	123
4. Fiches optiques classiques	124
4.1 Fiche optique et raccord	124
4.2 Fiches SC	125
4.3 Fiches LC et LC duplex	125
4.4 Variantes des fiches LC	126
4.4.1 Version LC avec capot de protection	126
4.4.2 Version LC-X	126
4.4.3 Mini-LC	126
4.4.4 LC-QR	127
4.4.5 Version LC pour fibre en plastique	127

5.	Connectique optique à forte densité	127
5.1	Pourquoi la densification ?	127
5.2	Connectique MPO-12 une et deux rangées	128
5.2.1	Présentation de MPO-12 une et deux rangées	128
5.2.2	Norme CEI de MPO-12 une rangée	129
5.2.3	Norme CEI de MPO-12 deux rangées	130
5.3	Connectique MPO-16 et MPO-32	130
5.3.1	Présentation de MPO-16	130
5.3.2	Présentation de MPO-32	131
5.3.3	Norme CEI de MPO-32	131
5.4	Variantes de MPO	132
5.4.1	Connectique MTP	132
5.4.2	Connectique MPO-QR	133
6.	Connectiques récentes	133
6.1	Connectique MXC	134
6.1.1	Présentation de MXC	134
6.1.2	MXC versus MTP	135
6.1.3	MXC et microlentilles	135
6.2	Connectique CS	137
6.2.1	Présentation de CS	137
6.2.2	CS versus LC	138
6.2.3	CS Consortium	138
6.3	Connectique MDC	139
6.3.1	Présentation MDC	139
6.3.2	MDC versus LC	139
6.4	Connectique SN	140
6.4.1	Présentation SN	140
6.4.2	SN versus CS et LC	141

8 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

Chapitre 6

Propreté des faces optiques

1. Problème de la contamination	143
1.1 Idée générale	143
1.2 D'où vient la contamination ?	144
1.3 Conséquences de la contamination	145
2. Normes pour contrôle et nettoyage	146
2.1 IEC 62627-05 - Impact sur les performances	147
2.2 IEC 61300-3-1 - Examen visuel	147
2.3 IEC 61300-3-35 - Contrôle visuel des connecteurs	148
2.4 IEC TR 62627-01 - Nettoyage des connecteurs	150
2.5 IEC TR 62572-4 - Nettoyage des embases	151
2.6 Norme TIA IPC-8497-1	151
3. Exemples d'outils	152
3.1 Nécessaire pour nettoyage	152
3.2 Microscope optique	153
3.3 Sonde d'inspection	154
3.3.1 Sondes d'inspection pour connectique multifibre	156
3.3.2 Logiciel de traitement d'images	157

Chapitre 7

Émetteurs-récepteurs optiques

1. Introduction	159
2. Codage et modulation des signaux	160
2.1 Où il est question du gigabaud	160
2.2 Codages 8B/10B, 64B/66B et 256B/257B	160
2.3 Modulations NRZ et PAM-4	161
2.4 Diagrammes de l'œil	163

3.	Émetteurs-récepteurs optiques SFP	163
3.1	Famille SFP	164
3.2	Famille SFP-DD	165
3.3	Association SFP-DD MSA	166
4.	Émetteurs-récepteurs optiques CXP	166
5.	Émetteurs-récepteurs optiques QSFP	167
5.1	Famille QSFP	167
5.2	Transmissions avec le QSFP28	169
5.2.1	Transmission sur huit fibres parallèles	169
5.2.2	Transmission sur fibres duplex	170
5.2.3	Transmission en CWDM4	170
5.3	Associations PSM4 MSA, CWDM4 MSA et CWDM8 MSA	171
5.4	Famille QSFP-DD	172
5.5	Association QSFP-DD MSA	174
6.	Émetteurs-récepteurs optiques μ QSFP	175
6.1	Famille μ QSFP	175
6.2	Association μ QSFP MSA	175
7.	Émetteurs-récepteurs optiques BiDi	176
7.1	Famille BiDi	176
7.2	Association 400G BiDi MSA	177
8.	Émetteurs-récepteurs optiques CFP	177
8.1	Famille CFP	177
8.2	Association CFP MSA	179
9.	Émetteurs-récepteurs CDFP	180
9.1	Famille CDFP	180
9.2	Association CDFP MSA	180
10.	Émetteurs-récepteurs à 800 Gbit/s	181
10.1	Émetteurs-récepteurs OSFP	181
10.1.1	Famille OSFP	181
10.1.2	Association OSFP MSA	182

10 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

10.2 Émetteurs-récepteurs QSFP-DD800	183
10.2.1 Pourquoi un QSFP-DD800 ?	183
10.2.2 Association QSFP-DD800 MSA	183
10.3 Futur émetteur-récepteur QSFP112	184
10.3.1 Où en est-on ?	184
10.3.2 Association 800G Pluggable MSA	184
11. Évolution et marché des émetteurs-récepteurs	184

Chapitre 8

Câbles, convertisseurs et cordons optiques

1. Raisons d'être des câbles	187
1.1 Raison d'être des câbles à fibres optiques	187
1.2 Structures serrée, libre, en ruban	187
1.2.1 Structure serrée	187
1.2.2 Structure libre	188
1.2.3 Structure en ruban	189
1.3 Quelques mots sur les matériaux	190
2. Normes pour les câbles	191
2.1 Série de normes européennes IEC 60794-x	191
2.1.1 Norme générique IEC 60794-1-1:2015	192
2.1.2 Norme pour câbles d'intérieur IEC 60794-2:2017	193
2.1.3 Autres exemples de normes IEC pour câbles	193
2.2 Versions AFNOR NF EN 60794-x	193
3. Câbles de fibres optiques	194
3.1 Câbles simplex et duplex	194
3.1.1 Présentation générale	194
3.1.2 Norme IEC 60794-2-10:2011	195
3.1.3 Norme IEC 60794-2-11:2019	196
3.2 Câbles multifibres en intérieur	197
3.2.1 Présentation générale	197
3.2.2 Câbles UHCF	197

3.2.3	Norme IEC 60794-2-21:2019.	198
3.3	Câbles en ruban	198
3.3.1	Présentation générale.	198
3.3.2	Norme IEC 60794-1-31:2018.	199
3.4	Câbles connectorisés.	200
3.4.1	Simplex et duplex connectorisés, IEC 60794-2-50:2020	200
3.4.2	Rubans connectorisés, IEC 60794-2-30:2019.	200
4.	Convertisseurs de média	201
4.1	Liaisons entre fibres de cœurs différents.	201
4.2	Raisons d'être des convertisseurs de média.	203
4.3	Exemples d'usages des convertisseurs de média	204
4.3.1	Convertisseur cuivre-fibre optique.	204
4.3.2	Convertisseur fibre unimodale-fibre multimodale	204
4.3.3	Convertisseur transparent pour les protocoles	205
5.	Cordons optiques	205
5.1	Jarretières optiques.	205
5.2	Cordons optiques actifs - AOC	206
5.2.1	Trois fonctions pour un AOC.	206
5.2.2	Présentation générale d'un AOC	206
5.2.3	Types de fibres pour un AOC.	207
5.2.4	Connectique optique et connectique électrique	207
5.2.5	Mixage des connectiques	208

Chapitre 9

Équipements passifs des centres de données

1.	Introduction	209
2.	Mètre versus pouce.	210
2.1	Côtes en 19"	211
2.1.1	Série de normes CEI 60297-x	211
2.1.2	Exemple : norme CEI 60297-3-100.	211

12 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

2.2	Côtes métriques	212
2.2.1	Série de normes CEI 60917-x	212
2.2.2	Exemple : norme CEI 60917-1	212
2.3	Point de vue de la CEI	213
3.	Baies et boîtiers	214
3.1	Six questions clés	214
3.2	Baies de serveurs	217
3.3	Baies 100 % flash	218
3.4	Baies de câblage	218
3.5	Baies pour colocation	220
3.6	Baies de refroidissement	221
3.6.1	Baies à porte arrière froide	221
3.6.2	Baies de refroidissement	222
3.7	Boîtiers	222
4.	Implantation physique	223
4.1	Notion d'urbanisation	223
4.2	Confinement froid ou chaud	223
4.2.1	Allée froide confinée	223
4.2.2	Allée chaude confinée	224
4.3	Confinement et structure	225
5.	Gestion du câblage	227
5.1	Organisation du câblage	227
5.2	Accessoires de câblage	227
5.2.1	Cheminement des câbles	227
5.2.2	Plateaux et cassettes d'épissures	228
5.2.3	Signalétique	229
5.2.4	Bandeaux de distribution d'énergie	229

Chapitre 10
Fibre Channel et InfiniBand

- 1. Introduction 231
- 2. Fibre Channel 231
 - 2.1 Présentation de Fibre Channel..... 231
 - 2.2 Système Fibre Channel..... 233
 - 2.3 Générations de Fibre Channel 234
 - 2.3.1 Générations 1 à 5..... 234
 - 2.3.2 Génération 6 234
 - 2.3.3 Génération 7 235
 - 2.3.4 Synoptique des sept générations 236
 - 2.4 Systèmes de câblage Fibre Channel..... 237
 - 2.4.1 Médias et distances de transmission 237
 - 2.4.2 Connectique optique et adaptateurs 238
 - 2.4.3 Connexité structurée..... 240
- 3. Fibre Channel et autres protocoles 241
 - 3.1 FC over Ethernet..... 241
 - 3.2 FC over IP 242
 - 3.3 FC over NVMe 243
- 4. InfiniBand 244
 - 4.1 Présentation d'InfiniBand..... 244
 - 4.2 Principales versions InfiniBand 245
 - 4.2.1 Versions classiques : SDR, DDR et QDR..... 245
 - 4.2.2 Versions à débits élevés : FDR, EDR et HDR 245
 - 4.2.3 Version à débits très élevés : NDR 246
 - 4.2.4 Diagramme des versions InfiniBand..... 246
- 5. Associations dédiées 247
 - 5.1 FCIA 247
 - 5.2 INCITS 248
 - 5.3 IBTA 249

Chapitre 11

Ethernet dans les centres de données

1. Introduction	251
2. Norme IEEE 802.3-2018	252
2.1 Organisme IEEE	252
2.2 Historique de la norme IEEE 802.3	253
2.3 Présentation de la norme IEEE 802.3-2018	254
2.4 ISO/CEI 8802.3	255
3. Ethernet de 100 Mbit/s à 10 Gbit/s	256
3.1 Ethernet de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s	257
3.2 Familles Ethernet 10 GbE à 10 Gbit/s	258
3.2.1 Famille 10GBASE-R	258
3.2.2 Famille 10GBASE-X	258
3.2.3 Famille 10GBASE-W	259
4. Familles Ethernet à 40 Gbit/s et 100 Gbit/s	259
4.1 Famille Ethernet 40GbE à 40 Gbit/s	259
4.1.1 Versions 40GbE normalisées	259
4.1.2 Autre version 40GbE	260
4.2 Famille Ethernet 100GbE à 100 Gbit/s	260
4.2.1 Versions 100GbE normalisées	260
4.2.2 Version Ethernet 100G CLR4	261
4.2.3 Version Ethernet 100G CWDM4	262
4.2.4 Autres versions 100GbE	262
4.3 Association 100G lambda MSA et 100GbE	263
5. Familles Ethernet 25GbE et 50 GbE	264
5.1 Famille 25GbE à 25 Gbit/s	264
5.2 Famille 50GbE à 50 Gbit/s	265
5.2.1 Amendement IEEE 802.3cd-2018	265
5.2.2 Amendement IEEE 802.3cn-2019	265
5.2.3 Projet IEEE P802.3cp	266

- 6. Familles des 200 Gbit/s et 400 Gbit/s 266
 - 6.1 Famille 200GbE à 200 Gbit/s 266
 - 6.1.1 Versions 200GbE normalisées 266
 - 6.1.2 Autre version 200GbE 267
 - 6.2 Famille 400GbE à 400 Gbit/s 267
 - 6.2.1 Versions 400GbE normalisées 267
 - 6.2.2 Norme IEEE 802.3cm-2020 268
 - 6.3 Association 100G lambda MSA et 400GbE 269
- 7. Autres évolutions en cours 269
 - 7.1 Projet IEEE P802.3ck 269
 - 7.2 Projet IEEE P802.3cu 270
 - 7.3 Groupe New Ethernet Applications 271
 - 7.4 Vers l'Ethernet téra-bitaire 273
 - 7.4.1 Versions à 800 Gbit/s 273
 - 7.4.2 Ethernet Technology Consortium et 800GbE 273
 - 7.4.3 Ethernet au-delà du Tbit/s 274
- 8. Associations pro-Ethernet 274
 - 8.1 Ethernet Alliance 275
 - 8.2 Association 10GEA 275
 - 8.3 Association 400G-BiDi MSA 276
 - 8.4 Association CW-WDM MSA 276
 - 8.5 Metropolitan Ethernet Forum 277

Chapitre 12

PCIe, RDMA, NVMe et autres...

- 1. Introduction 279
- 2. PCIe 279
 - 2.1 Présentation de PCIe 279
 - 2.2 Version PCIe 6.0 281
 - 2.3 Association PCI-SIG 282

16 ————— Les centres de données

Notions fondamentales

3.	RDMA	282
3.1	Présentation de RDMA	282
3.2	RDMA over InfiniBand	283
3.3	RoCE	284
3.3.1	Présentation générale de RoCE	284
3.3.2	Association RoCE Initiative	284
3.4	iWARP	285
3.4.1	Présentation d'iWARP	285
3.4.2	iWARP versus RoCE	285
3.5	Synthèse des RDMA	286
4.	NVMe et NVMe-oF	287
4.1	NVMe	287
4.1.1	Présentation de NVMe	287
4.1.2	Marché de NVMe	288
4.1.3	Association NVMe	289
4.2	NVMe-oF	290
4.2.1	Présentation de NVMe-oF	290
4.2.2	NVMe over FC	291
4.2.3	NVMe over RoCE	292
4.2.4	NVMe over TCP/IP	293
4.3	Open Fabrics Alliance	293
5.	Autres protocoles	294
5.1	ATA, SATA et eSATA	294
5.1.1	ATA	294
5.1.2	SATA	295
5.1.3	eSATA	296
5.1.4	Association SATA-IO	296
5.2	SCSI, SAS et iSCSI	297
5.2.1	SCSI	297
5.2.2	SAS	298
5.2.3	iSCSI	300
5.2.4	SCSI Trade Association	300
5.3	NFS	301

5.4 IEEE 1394 302
 5.5 USB 302

Chapitre 13

Intra- et interconnexion des centres de données

1. Introduction 305
 2. Attachements serveurs - unités de stockage 306
 2.1 Notions de base. 306
 2.1.1 Modes d'accès. 306
 2.1.2 Configurations d'accès 306
 2.2 Attachement direct - DAS 307
 2.3 Attachement en réseau - NAS 308
 2.4 Réseau de stockage de données - SAN. 310
 3. Intra-connexion des centres de données - IDC. 311
 3.1 IDC en arbre 311
 3.2 IDC en anneau 313
 3.3 IDC en PON 313
 3.4 IDC basé sur des routeurs 314
 4. Interconnexion des centres de données. 315
 4.1 Applications DCI et DCN 315
 4.2 Association IOAKB. 317
 4.3 DCI en CWDM. 318
 4.3.1 Principe de base de DCI en CWDM. 318
 4.3.2 Exemple de DCI en CWDM 318
 4.4 DCI en 400ZR. 319
 4.4.1 Présentation du 400ZR 319
 4.4.2 Cas d'utilisation. 320
 4.4.3 Document normatif du 400ZR. 321
 4.4.4 Modulation des signaux du 400ZR 322
 4.4.5 Association OIF 323

18 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

4.5	DCI basé sur des ROADMs	323
4.5.1	Principe de base de DCI avec ROADMs	323
4.5.2	Exemple d'architecture DCI avec ROADMs	324
4.5.3	Association Open ROADMs MSA	326
4.6	DCI avec une topologie en anneau	326
4.6.1	Concept de DCI en anneau	326
4.6.2	Exemple d'architecture DCI en anneau	327
5.	Exemples de DCI	327
5.1	DCI à 600 Gbit/s aux États-Unis	327
5.2	DCI à 800 Gbit/s en Russie	328
5.3	DCI multiprotocole en Autriche	329
5.4	DCI en Chine	330

Chapitre 14

Tests et mesures dans les centres de données

1.	Que mesurer et comment mesurer ?	331
1.1	Que mesurer ?	331
1.2	Comment mesurer ?	334
2.	Outils de test et de mesure optiques légers	336
2.1	Localisateur visuel de défaut - VFL	336
2.2	Identificateur de fibre optique - OFI	337
2.3	Traceur-identificateur de fibre	337
2.4	Testeur de polarité multifibres - MPT	338
2.5	Tests pour l'affaiblissement - OLTS	339
2.6	Photomètre optique	340
3.	Réflectométrie optique	340
3.1	Réflectomètre optique temporel - OTDR	340
3.2	Quelques caractéristiques	341
3.3	Exemples d'OTDR spécifiques	342
3.3.1	Réflectomètre de polarisation - P-OTDR	342
3.3.2	Réflectomètre fréquentiel - OFDR	343

- 3.3.3 Réflectomètre d'onde continue - OCWR..... 343
 - 3.4 Unité de test et de diagnostic optiques - OTDU 344
 - 3.5 Système de test de fibre à distance - RFTS..... 344
- 4. Équipements d'analyses diverses 345
 - 4.1 Analyseur de spectre optique..... 345
 - 4.2 Analyseur de protocole..... 346
 - 4.3 Testeur de taux d'erreur binaire 347
 - 4.4 Mesureurs et contrôleurs 347
 - 4.4.1 Mesureur de longueur d'onde - OWM 347
 - 4.4.2 Contrôleur de canal optique - OCM 348
 - 4.4.3 Moniteur de performance optique - OPM..... 349
 - 4.4.4 Analyseur de modulation optique - OMA..... 349
- 5. Compléments : étalonnage et accréditation 350
 - 5.1 ISO/IEC 61315 étalonnage des photomètres 350
 - 5.2 ISO/IEC 61746-x étalonnage des réflectomètres 350
 - 5.2.1 ISO/IEC 61746-1 étalonnage des réflectomètres
pour fibres unimodales 351
 - 5.2.2 ISO/IEC 61746-2 étalonnage des réflectomètres
pour fibres multimodales 351
 - 5.3 ISO/IEC 62129-1 étalonnage d'analyseurs de spectre 352
 - 5.4 ISO/IEC 17025 accréditation des laboratoires de calibration . 352

Chapitre 15

Énergie et climatisation des centres de données

- 1. Énergie..... 353
 - 1.1 Problématique..... 353
 - 1.2 Installation électrique principale..... 354
 - 1.2.1 Vue générale..... 354
 - 1.2.2 Norme IEC 61850:2020 SER..... 355
 - 1.2.3 Interconnexion au réseau d'énergie 356
 - 1.2.4 Distribution de la moyenne tension..... 357
 - 1.2.5 Distribution de la basse tension 358

1.2.6	Énergies renouvelables.	358
1.3	Alimentation sans interruption.	358
1.3.1	Principe des onduleurs électriques	359
1.3.2	Stockage de l'énergie : batteries classiques.	360
1.3.3	Stockage de l'énergie : batteries Li-ion	361
1.4	Efficacité énergétique	362
1.4.1	Définition de l'efficacité énergétique	362
1.4.2	Évolution de l'efficacité énergétique.	363
1.4.3	Exemple de calcul de l'efficacité énergétique	364
2.	Climatisation	365
2.1	Problématique.	365
2.2	Système de climatisation de base	366
2.2.1	Une question de quantité	366
2.2.2	Refroidissement de l'air par l'air	367
2.2.3	Refroidissement de l'air par l'eau	367
2.2.4	Refroidissement par rangée.	368
2.3	Association ASHRAE	369

Chapitre 16 Sécurité des centres et des données

1.	Introduction	371
2.	Sécurisation des équipements	371
2.1	Réseaux de communication.	372
2.1.1	Problématique	372
2.1.2	Points d'échange Internet	372
2.1.3	Association PeeringDB	374
2.2	Sécurisation du site	374
2.3	Sécurisation du bâtiment.	375
2.4	Sécurisation de la salle des serveurs.	375
2.5	Sécurisation des baies.	375
2.6	Éclairage de sécurité	377

2.7	Risque d'incendie	377
2.7.1	Points à considérer	377
2.7.2	Certification APSAD	378
3.	Sécurisation des données	379
3.1	Question liminaire	379
3.1.1	Présentation de la CNIL	380
3.1.2	Loi Informatique et Libertés	380
3.1.3	RGPD	381
3.2	Sécurité de l'information	381
3.2.1	Gestion de la sécurité de l'information	381
3.2.2	Norme NF EN ISO/IEC 27001:2017	382
3.3	Sécurité du stockage des données	383
3.3.1	Problématique de la sécurité du stockage	383
3.3.2	Norme ISO/IEC 27040:2015	384
3.4	Accès aux données	385
3.4.1	Accès à distance	385
3.4.2	Types d'accès à distance	386
3.4.3	Protocoles d'accès à distance	386
3.5	Chiffrement des données	387
3.5.1	Un peu de vocabulaire	387
3.5.2	Chiffrement symétrique	388
3.5.3	Chiffrement asymétrique	389
3.5.4	Chiffrement hybride	390
3.5.5	Chiffrement homomorphe	390
3.5.6	Cryptographie quantique	391
3.6	ANSSI	392
3.6.1	Présentation de l'ANSSI	392
3.6.2	Données publiques, sensibles et classifiées	393

Chapitre 17

Gestion et environnement des centres de données

1. Gestion des centres de données	395
1.1 Problématiques MAC et ODF	395
1.2 Gestion d'infrastructure automatisée	396
1.2.1 Norme IEC 18598	396
1.2.2 Avantages de la gestion d'infrastructure automatisée	397
1.2.3 Différentes variantes	398
1.2.4 Marchés AIM et DCIM	399
1.2.5 Acteurs AIM et DCIM	401
1.2.6 Exemples de solutions	402
2. Environnement des centres de données	404
2.1 Points à considérer	404
2.1.1 Point de vue législatif	404
2.1.2 Moyens disponibles	405
2.1.3 Face aux risques	405
2.1.4 Normes sur les risques	406
2.2 Zones d'emplacement	407
2.2.1 Zones climatiques en France	408
2.2.2 Emplacements atypiques	408
3. Normalisation des centres de données écoresponsables	409
3.1 Recommandations d'écoresponsabilité de l'UIT-T	409
3.2 Exemples de recommandations d'écoresponsabilité	410
3.2.1 Recommandation L.1300	410
3.2.2 Recommandation L.1301	411
3.2.3 Recommandation L.1302	411
3.2.4 Recommandation L.1303	412
3.2.5 Recommandation L.1305	413
3.2.6 Recommandation L.1320	413

- 3.3 Autres organismes dans l'écoresponsabilité 414
 - 3.3.1 ETSI 414
 - 3.3.2 ECMA 415
 - 3.3.3 IETF 415

Chapitre 18
Évolution des centres de données

- 1. Introduction 417
- 2. Mégacentres de données 418
 - 2.1 Quelques tendances 418
 - 2.2 Marché mondial 421
 - 2.3 Open Compute Project 422
 - 2.4 Mégadonnées (big data) 423
 - 2.5 Lac de données (data lake) 425
- 3. Centres de données de proximité 425
 - 3.1 Cinq tendances 425
 - 3.2 Marché mondial 426
 - 3.3 Open19 Foundation 427
- 4. Centres de données modulaires 428
 - 4.1 Tendances émergentes 428
 - 4.2 Marché mondial 430
- 5. Microcentres de données 431
 - 5.1 Raisons d'être 431
 - 5.2 Marché mondial 432

24 _____ Les centres de données

Notions fondamentales

Annexes

1. Organismes de normalisation	433
2. Autres organismes et associations	435
3. Événements et revues	439
4. Principaux sigles	440

Index	445
-----------------	-----