

Pujolé

RÉSEAUX

Édition 2003

EYROLLES

PARTIE I

LES ÉLÉMENTS DE BASE DES RÉSEAUX ◆ 1

1. LES RÉSEAUX NUMÉRIQUES ◆ 3

Le transfert de paquets	3
Les réseaux informatiques	6
Les réseaux de télécommunications	8
Les réseaux des câblo-opérateurs	10
Les réseaux multimédias	13
<i>Le multimédia</i>	13
<i>Le RNIS (réseau numérique à intégration de service)</i>	14
<i>Le réseau multimédia du futur</i>	17
Conclusion	18
Références	18

2. COMMUTATION, ROUTAGE ET TECHNIQUES DE TRANSFERT ◆ 23

Principales différences entre le routage et la commutation	23
Fonctionnalités des routeurs et des commutateurs	25
<i>La fonction de transfert</i>	25
<i>Structure d'un commutateur haut débit</i>	26
<i>Architectures des routeurs gigabit</i>	27
<i>Les routeurs-commutateurs</i>	28
Les techniques de transfert	29
<i>La commutation de circuits</i>	29
<i>Le transfert de messages</i>	30
<i>Le transfert de paquets</i>	31
<i>Les solutions mixtes circuits-paquets</i>	33
<i>La commutation multicircuit</i>	34
<i>La commutation rapide de circuits</i>	36
<i>Le transfert de trames</i>	37
<i>La commutation de cellules</i>	38
Les techniques de transfert hybrides	39
Conclusion	40
Références	41

PARTIE II

L'ARCHITECTURE EN COUCHES ◆ 43**3. L'ARCHITECTURE GÉNÉRIQUE ◆ 45**

Le modèle de référence	45
<i>Les modes avec et sans connexion</i>	48
<i>Le multipoint</i>	51
Les couches du modèle de référence	57
<i>Les unités de données</i>	61
<i>Les éléments nécessaires au fonctionnement d'une couche</i>	66
<i>La couche 2 (niveau trame)</i>	68
<i>La couche 3 (niveau paquet)</i>	69
<i>La couche 4 (niveau message)</i>	70
<i>La couche 5 (niveau session)</i>	71
<i>La couche 6 (niveau présentation)</i>	72
<i>La couche 7 (niveau application)</i>	73
L'architecture ISO	75
L'architecture TCP/IP	77
Le modèle UIT-T	79
Les niveaux d'architecture	83
<i>Les architectures de niveau 1</i>	83
<i>Les architectures de niveau 2</i>	83
<i>Les architectures de niveau 3</i>	84
<i>Les architectures hybrides</i>	85
Conclusion	86
Normes	86
<i>Architecture OSI</i>	86
<i>Architecture TCP/IP</i>	87
<i>Architecture UIT-T</i>	87
Références	87

4. LE NIVEAU PHYSIQUE ◆ 89

Le codage et la transmission	89
La transmission en bande de base	91
Les modulations	94
<i>La modulation d'amplitude</i>	94
<i>La modulation de phase</i>	94
<i>La modulation de fréquence</i>	95
Les modems	95
Les nœuds et les terminaux	97

Les multiplexeurs	98
<i>Les multiplexeurs fréquentiel et temporel</i>	99
<i>Les multiplexeurs statistiques et les concentrateurs</i>	99
Les transmissions dans les réseaux locaux	101
<i>La transmission en bande de base</i>	101
<i>La transmission large bande</i>	101
<i>La numérisation des signaux</i>	101
Les jonctions V.24 et X.21	104
<i>La jonction V.24</i>	104
<i>L'avis X.21</i>	104
<i>L'avis X.21bis</i>	107
La numérisation des signaux analogiques	109
<i>La numérisation de la voix téléphonique</i>	111
La détection et la correction d'erreur	113
<i>Éléments de correction d'erreur</i>	114
<i>Éléments de détection d'erreur</i>	116
Conclusion	117
Références	118

5. LE NIVEAU TRAME ◆ 121

L'architecture de niveau trame	122
<i>Les fonctions du niveau trame</i>	122
<i>L'adressage de niveau trame</i>	123
Les protocoles de niveau trame	124
<i>Les protocoles HDLC et LAP-B</i>	124
<i>Le protocole LAP-D</i>	134
<i>Le protocole PPP</i>	135
Les technologies de niveau trame	136
<i>LAP-F</i>	136
<i>ATM</i>	137
<i>Ethernet</i>	138
<i>Les techniques de label-switching</i>	139
Conclusion	140
Références	140

6. LE NIVEAU PAQUET ◆ 143

Caractéristiques du niveau paquet	143
<i>Les modes avec et sans connexion</i>	144
<i>Principaux protocoles</i>	145
Les trois grandes fonctionnalités du niveau paquet	146
<i>Le contrôle de flux</i>	148
<i>Le contrôle de congestion</i>	151
<i>Le routage</i>	153
L'adressage	159

<i>L'adressage ISO</i>	160
La couche réseau	163
<i>Les services du niveau paquet</i>	164
<i>Modèle de connexion de réseau</i>	166
<i>Qualité de service de la couche réseau</i>	168
Le protocole X.25, ou ISO 8208 (mode avec connexion)	170
<i>Caractéristiques de X.25</i>	171
<i>La connexion X.25</i>	174
<i>Les accès asynchrones : X.3, X.28, X.29</i>	180
IP (Internet Protocol)	182
<i>Les protocoles IPv4 et IPv6</i>	183
<i>IPv6</i>	185
Conclusion	193
Références	193

7. LE NIVEAU MESSAGE ◆ 195

Les fonctionnalités du niveau message	195
<i>Transport de bout en bout</i>	195
<i>Sélection d'une qualité de service</i>	196
Les caractéristiques du niveau message	197
<i>Les informations échangées au niveau 4</i>	198
<i>Les adresses et les chemins de données</i>	198
<i>Localisation dans un système informatique</i>	199
Les protocoles de niveau message	200
<i>Le niveau message de l'architecture OSI</i>	200
<i>Le protocole TCP</i>	221
<i>Le protocole UDP</i>	229
<i>Le protocole AAL</i>	229
Conclusion	230
Références	231

PARTIE III

LES RÉSEAUX D'ACCÈS ◆ 233

8. LA BOUCLE LOCALE ◆ 235

La fibre optique	235
Les réseaux câblés (CATV)	238
Les paires métalliques	241

<i>La boucle locale métallique</i>	241
<i>Le RNIS bande étroite</i>	242
<i>Évolution vers le RNIS large bande</i>	245
<i>Les accès xDSL</i>	246
<i>La boucle locale électrique</i>	246
Les accès hertziens	247
<i>La boucle locale hertzienne</i>	247
<i>La première génération de réseaux de mobiles, ou 1 G</i>	249
<i>La deuxième génération de réseaux de mobiles, ou 2 G</i>	250
<i>La troisième génération de réseaux de mobiles, ou 3 G</i>	252
<i>La BLR, ou boucle locale radio</i>	254
<i>La boucle locale satellite</i>	255
Les réseaux locaux sans fil	256
<i>Wi-Fi (IEEE 802.11)</i>	257
<i>HiperLAN</i>	258
Les WPAN	259
Les accès infranet	260
Conclusion	261
Références	261

9. LES ACCÈS XDSL ET CÂBLE ◆ 265

Les accès xDSL	265
<i>Le modem ADSL</i>	266
<i>Les modems VDSL</i>	269
<i>La parole et la vidéo sur xDSL</i>	270
Les modems câble	271
<i>IEEE 802.14 et MLAP</i>	272
<i>DOCSIS</i>	273
Conclusion	274
Références	274

10. LES RÉSEAUX D'ACCÈS RADIO ET SATELLITE ◆ 277

La boucle locale radio	277
<i>Les systèmes WLL</i>	278
<i>Les bandes de fréquences</i>	279
<i>LMDS (Local Multipoint Distribution Service)</i>	280
<i>IEEE 802.16</i>	281
La boucle locale satellite	282
<i>Les techniques d'accès</i>	283
<i>Les protocoles</i>	287
Conclusion	288
Références	288

PARTIE IV

LES ARCHITECTURES DE NIVEAU PHYSIQUE ♦ 291

11. LES RÉSEAUX OPTIQUES ♦ 293

La fibre optique	293
Le multiplexage en longueur d'onde	296
Architecture des réseaux optiques	297
<i>Les réseaux à diffusion</i>	298
<i>Les réseaux à routage en longueur d'onde</i>	299
Les commutateurs optiques	300
Conclusion	302
Références	302

12. LES INTERFACES AVEC LA COUCHE PHYSIQUE ♦ 305

La couche physique	306
<i>Les interfaces de la couche physique</i>	306
<i>Les interfaces de la couche physique</i>	307
<i>Les supports plésiochrones</i>	308
SONET-SDH	309
<i>Les caractéristiques de SONET</i>	309
SDH	311
<i>POS (Packet Over SONET) et POW (Packet Over WDM)</i>	314
Les interfaces avec la fibre optique	315
<i>L'interface G.709 OTN</i>	315
<i>La signalisation OIF UNI 1.0</i>	318
<i>EPON (Ethernet Passive Optical Network)</i>	318
<i>RPR (Resilient Packet Ring)</i>	320
Conclusion	325
Références	326

PARTIE V

LES ARCHITECTURES DE NIVEAU TRAME ◆ 329

13. LE RELAIS DE TRAMES ◆ 331

La commutation de niveau trame	331
La commutation de trames (Frame Switching)	333
Le relais de trames (Frame Relay)	334
Conclusion	341
Références	343

14. LES RÉSEAUX ATM ◆ 345

La cellule ATM	345
La commutation de cellules	347
<i>Performance des réseaux ATM</i>	350
L'architecture des réseaux à commutation de cellules	352
La couche ATM	354
La couche d'adaptation ATM (AAL)	359
<i>Les sous-couches de l'AAL</i>	359
<i>La couche SAR (Segmentation And Reassembly)</i>	361
<i>La couche CS (Convergence Sublayer)</i>	365
Les classes de services ATM	368
<i>La qualité de service ATM</i>	371
<i>Le contrôle de flux</i>	373
<i>Services supplémentaires</i>	376
La gestion des réseaux ATM	379
Le contrôle des réseaux ATM	381
Conclusion	389
Références	390

15. LES RÉSEAUX ETHERNET ◆ 393

Les modes partagé et commuté	393
L'accès aléatoire	394
<i>Principe général de l'aloha</i>	394
<i>Architecture des réseaux Ethernet partagés</i>	398
<i>Caractéristiques d'un réseau Ethernet partagé</i>	400
Les réseaux Ethernet 10 Mbit/s	405
<i>Cheapernet</i>	405
<i>Starlan</i>	405

Sommaire

Le Fast Ethernet 100 Mbit/s	407
Le Gigabit Ethernet	408
La commutation Ethernet	410
<i>L'Ethernet full-duplex et la commutation</i>	410
<i>L'Ethernet commuté</i>	411
Les réseaux compatibles avec Ethernet	414
<i>Ethernet IsoNet</i>	414
<i>Le 100VG AnyLAN</i>	415
<i>CIF, ou l'encapsulation ATM dans une trame Ethernet</i>	416
Ethernet et le multimédia	416
Les réseaux locaux virtuels	417
<i>Le concept de VLAN (Virtual LAN)</i>	417
<i>Le contrôle de flux</i>	420
Conclusion	420
Références	421

PARTIE VI

LES ARCHITECTURES DE NIVEAU PAQUET ◆ 425

16. LES RÉSEAUX IP ◆ 427

L'architecture IP	427
L'architecture Internet	428
L'essor du protocole IP	430
<i>Les débuts du réseau Internet</i>	430
<i>La normalisation des réseaux IP</i>	431
Fonctionnement des réseaux TCP/IP	433
<i>Les problèmes posés par la synchronisation</i>	434
<i>L'adressage IPv4 et IPv6</i>	435
<i>Les protocoles de résolution d'adresses ARP et RARP</i>	437
<i>Le DNS (Domain Name Service)</i>	437
Le routage IP	438
<i>RIP (Routing Information Protocol)</i>	439
<i>OSPF (Open Shortest Path First)</i>	439
<i>IS-IS</i>	439
<i>IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)</i>	440
<i>EGP (Exterior Gateway Protocol)</i>	440
<i>BGP (Border Gateway Protocol)</i>	440

<i>Le routage IDR</i> P (InterDomain Routing Protocol)	441
L'avenir de TCP/IP	442
Conclusion	443
Références	443

17. LA GESTION ET LE CONTRÔLE DES RÉSEAUX IP ◆ 447

Les protocoles de contrôle	447
<i>ICMP</i> (Internet Control Message Protocol)	447
<i>IGMP</i> (Internet Group Management Protocol)	449
La signalisation dans les réseaux IP	449
<i>RSVP</i> (Resource reSerVation Protocol)	450
<i>RTP</i> (Real-time Transport Protocol)	455
Sécurité et IPsec	456
IP haut débit et multimédia	457
<i>Le surdimensionnement et la technologie POS</i>	457
<i>La qualité de service dans IP</i>	458
<i>IP sur un réseau à qualité de service garantie</i>	460
IP Mobile	460
Autres protocoles du monde IP	462
<i>Configuration automatique de réseaux IP</i>	462
<i>Les liaisons à haut débit</i>	463
<i>VMTP</i> (Versatile Message Transaction Protocol)	464
Conclusion	464
Références	464

18. MPLS ET GMPLS ◆ 467

Les techniques IP sur ATM	468
<i>LANE</i> (LAN Emulation)	468
<i>CIOA</i> (Classical IP over ATM)	471
<i>NHRP et MPOA</i>	473
MPLS (Multiprotocol Label-switching)	476
<i>Les techniques pré-MPLS</i>	476
<i>Les principes de MPLS</i>	479
<i>Fonctionnement de MPLS</i>	479
<i>Le protocole LDP (Label Distribution Protocol)</i>	485
<i>Les piles de références</i>	486
<i>MPLS et l'ingénierie de trafic</i>	487
GMPLS (Generalized MPLS)	490
<i>Les extensions de MPLS</i>	490
<i>La hiérarchie des supports</i>	491
Conclusion	494
Références	494

<i>Le cdma2000</i>	640
Conclusion	640
Références	641

23. LES RÉSEAUX SATELLITE ◆ 645

Les catégories de systèmes satellitaires	645
Les fréquences radio	647
Les techniques d'accès au satellite	648
<i>Les politiques de réservation fixe</i>	650
<i>Les politiques d'accès aléatoire</i>	650
<i>Les protocoles avec réservation par paquet</i>	652
<i>Les protocoles de réservation dynamique et les méthodes hybrides</i>	655
Les couches de protocoles des réseaux satellite	656
<i>Les protocoles de niveau liaison</i>	657
<i>Les protocoles de niveau réseau</i>	659
Les systèmes satellite	661
<i>Les systèmes satellite bande étroite et large bande</i>	661
<i>Les constellations de satellites</i>	663
<i>Les handovers satellitaires</i>	664
Conclusion	666
Références	666

24. LES RÉSEAUX SANS FIL ◆ 669

Les réseaux Wi-Fi	670
Wi-Fi (IEEE 802.11)	671
<i>Les protocoles du réseau Wi-Fi</i>	672
<i>Les techniques d'accès</i>	674
<i>Mode de fonctionnement</i>	679
<i>Les trames Wi-Fi</i>	683
Wi-Fi 2 (IEEE 802.11b)	684
Wi-Fi 5 (IEEE 802.11a)	685
IEEE 802.11e et IEEE 802.11g	685
WPAN et IEEE 802.15	686
<i>Bluetooth</i>	687
Les réseaux ad-hoc	693
Conclusion	695
Références	695

PARTIE IX

LES ÉQUIPEMENTS RÉSEAU ◆ 699

25. LES COMMUTATEURS ◆ 701

Architectures des commutateurs	701
<i>Rôle et fonctionnalités des commutateurs</i>	702
<i>Structure d'un commutateur ATM</i>	703
<i>Blocage et mémorisation</i>	704
Exemples de commutateurs ATM	706
<i>Le commutateur Crossbar</i>	706
<i>Le commutateur Banyan et ses extensions</i>	708
Les commutateurs à répartition dans le temps	714
<i>L'architecture en boucle</i>	715
<i>L'architecture en bus</i>	719
Conclusion	720
Références	721

26. LES PASSERELLES ◆ 725

Les répéteurs	726
Les ponts	727
<i>Les ponts Ethernet-Token-Ring</i>	728
<i>Le protocole Source Routing</i>	728
<i>Le protocole Spanning-Tree</i>	729
Les relais-routeurs	730
<i>Architecture des routeurs</i>	730
<i>Les routeurs multiprotocoles</i>	732
<i>Les gigarouteurs</i>	733
<i>Les bridge-routers</i>	734
Les relais de transport	734
Les techniques de tunnel	735
<i>Translation et encapsulation</i>	735
Conclusion	737
Références	737

PARTIE X

LE CONTRÔLE ET LA GESTION ◆ 741

27. LE CONTRÔLE DE FLUX ET DE CONGESTION ◆ 743

Le contrôle de flux	745
<i>Le contrôle par crédit</i>	745
<i>Le contrôle par seuil</i>	746
<i>Le contrôle par allocation de ressources</i>	747
Le contrôle de congestion	749
Le contrôle de flux dans les réseaux ATM	750
<i>Le multiplexage statistique et le contrôle des réseaux ATM</i>	751
<i>La qualité de service et le contrôle d'admission</i>	752
<i>Les techniques de contrôle de flux</i>	755
<i>Les méthodes de contrôle de congestion</i>	761
Le contrôle de flux dans les réseaux IP	764
<i>Le contrôle de flux dans TCP</i>	764
<i>Le contrôle de flux dans IP</i>	766
<i>IntServ</i>	766
<i>Les services différenciés DiffServ</i>	768
Le contrôle de flux dans les réseaux Ethernet	771
Le contrôle de flux dans le relais de trames	773
Conclusion	774
Références	775

28. LA GESTION DE RÉSEAU ◆ 777

Les fonctions de base	777
La gestion ISO	779
<i>La gestion système CMIS/CMIP</i>	781
<i>MIB (Management Information Base)</i>	785
<i>Les fonctions de gestion spécifiques</i>	785
<i>Problématique de la gestion ISO</i>	791
<i>OSI/NM Forum</i>	791
L'approche TMN (Telecommunication Management Network)	794
<i>Architecture du TMN</i>	795
<i>Architecture physique</i>	795
<i>Architecture fonctionnelle</i>	799
<i>Le modèle informationnel de la gestion TMN</i>	799
La gestion dans les réseaux Internet : SNMP et CMOT	800
<i>Le protocole SNMP</i>	800

<i>La MIB (Management Information Base)</i>	802
<i>SNMPv2 et SNMPv3</i>	804
<i>La gestion axée sur le Web</i>	805
<i>Comparaison de CMIP et de SNMP</i>	806
Le modèle DME	808
La gestion par le Web	808
<i>WBEM (Web-Based Enterprise Management)</i>	809
<i>JMAPI (Java Management API)</i>	810
La gestion par le middleware	810
Conclusion	814
Références	815

29. LES VPN ◆ 819

Les grandes catégories de VPN	820
<i>Les VPN d'entreprise</i>	820
Les VPN de niveau trame et de niveau paquet	821
<i>Les VPN de niveau 2</i>	821
<i>Les VPN de niveau 3</i>	822
<i>Les VPN-MPLS</i>	823
Les VPN fonctionnels	826
<i>Les VPN de sécurité</i>	826
<i>Les VPN de qualité de service</i>	826
Les VLAN	827
Configuration d'un VPN par politique	829
Conclusion	830
Références	830

30. LA GESTION ET LE CONTRÔLE PAR POLITIQUE ◆ 833

Les politiques	833
<i>PCIM (Policy Core Information Model)</i>	834
<i>QPIM (QoS Policy Information Model)</i>	835
<i>QDDIM (QoS Device Datapath Information Model)</i>	836
L'architecture d'un contrôle par politique	836
<i>Le PDP (Policy Decision Point)</i>	837
<i>Les PEP (Policy Enforcement Point)</i>	839
COPS (Common Open Policy Service)	839
<i>Les caractéristiques principales du protocole COPS</i>	841
<i>COPS et les modèles de gestion par politique</i>	843
<i>Interactions entre PEP et PDP</i>	846
<i>La sécurité dans COPS</i>	848
Conclusion	849
Références	849

PARTIE XI

LA SÉCURITÉ ◆ 851

31. LA SÉCURITÉ ◆ 853

Les services de sécurité	853
Les mécanismes de chiffrement	855
<i>Les algorithmes de chiffrement</i>	856
<i>Quelques solutions de chiffrement</i>	858
<i>Les certificats</i>	859
<i>L'authentification</i>	859
<i>L'intégrité des données</i>	859
<i>La non-répudiation</i>	860
Les algorithmes de sécurité	860
<i>PGP (Pretty Good Privacy)</i>	860
<i>L'infrastructure PKI</i>	861
<i>PKCS (Public-Key Cryptography Standards)</i>	861
<i>Kerberos</i>	862
Conclusion	863
Références	864

32. LA SÉCURITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT IP ◆ 869

Les attaques par Internet	869
<i>Les attaques par ICMP</i>	869
<i>Les attaques par TCP</i>	870
<i>Les attaques par cheval de Troie</i>	870
<i>Les attaques par dictionnaire</i>	871
<i>Les autres attaques</i>	871
Les parades	871
<i>L'authentification</i>	871
<i>L'intégrité du flux de données</i>	872
<i>La non-répudiation</i>	872
<i>La confidentialité</i>	873
La sécurité dans les protocoles	873
<i>La sécurité dans SNMP</i>	873
<i>IPsec</i>	874
<i>SSL (Secure Sockets Layer)</i>	879
Les firewalls	880
<i>Les filtres</i>	882
<i>La sécurité autour du firewall</i>	883

Les virus	885
Conclusion	887
Références	887

PARTIE XII

LES APPLICATIONS ◆ 891

33. LA TÉLÉPHONIE INFORMATIQUE ◆ 893

L'application téléphonique	893
Les codeurs audio	894
La téléphonie sur ATM et relais de trames	896
<i>L'émulation de circuit CES (Circuit Emulation Service)</i>	896
<i>VTOA (Voice and Telephony Over ATM)</i>	896
<i>AAL-2</i>	897
<i>Le relais de trames</i>	898
La téléphonie sur IP	899
<i>Les protocoles SIP et SDP</i>	901
<i>Les réseaux de téléphonie IP d'entreprise</i>	903
L'évolution des PABX	904
<i>Les autocommutateurs privés</i>	904
<i>Les différentes générations de PABX</i>	906
<i>PABX et transmission de données</i>	906
<i>La signalisation entre PABX</i>	908
<i>PABX et RNIS</i>	909
L'intégration téléphonie-informatique	910
Conclusion	911
Références	912

34. LE MULTIMÉDIA ET LA VIDÉO ◆ 915

Codage et compression	916
<i>JPEG (Joint Photographic Experts Group)</i>	917
<i>La recommandation H.261</i>	917
<i>DVB (Digital Video Broadcasting)</i>	920
<i>MPEG-2</i>	921
<i>MPEG-4</i>	924
<i>MPEG-7 et XML</i>	925
<i>VRML (Virtual Reality Modeling Language)</i>	925
<i>MHEG (Multimedia and HyperMedia Expert Group)</i>	926

Les terminaux multimédias	926
Le transport de la vidéo	928
<i>La vidéo sur ATM</i>	928
<i>DAVIC (Digital Audio VIvisual Council)</i>	929
Conclusion	931
Références	931

35. L'INTERNET MOBILE ◆ 935

Les réseaux de l'Internet mobile	935
<i>Les réseaux de l'Internet sans fil</i>	938
Contrôle et gestion de l'Internet mobile	939
<i>Le contrôle de l'Internet mobile</i>	939
<i>La sécurité dans l'Internet mobile</i>	940
<i>La gestion de la mobilité</i>	940
<i>Hawaii</i>	942
Les applications de l'Internet mobile	943
<i>Les applications sans persistance</i>	943
<i>Les applications persistantes</i>	947
Conclusion	948
Références	948

PARTIE XIII

L'INTELLIGENCE DANS LES RÉSEAUX ◆ 951

36. LES RÉSEAUX INTELLIGENTS ◆ 953

L'INCM, modèle du réseau intelligent	954
<i>Le plan de service</i>	955
<i>Le plan fonctionnel global</i>	955
<i>Le plan fonctionnel distribué</i>	956
<i>Les entités fonctionnelles</i>	957
<i>Le plan physique</i>	959
Modélisation des fonctionnalités	961
<i>ODP (Open Distributed Processing)</i>	962
<i>Le modèle G.805 et UML</i>	963
TINA (Telecommunication Information Networking Architecture)	964
Réalisation d'un réseau intelligent	967
La signalisation	970

<i>La signalisation CCITT n° 7</i>	970
<i>La signalisation dans les réseaux ATM</i>	973
Le processus de normalisation	973
Conclusion	974
Références	974

37. LES RÉSEAUX MULTIAGENT ◆ 977

Les agents intelligents	977
<i>Gestion d'un environnement complexe</i>	977
<i>Les systèmes multiagent</i>	979
<i>Les systèmes d'agents réactifs</i>	985
Les agents réseau	986
<i>Les agents Internet</i>	987
<i>Les agents intranet</i>	987
<i>Les agents assistants ou bureautiques</i>	988
Les agents mobiles	988
Les réseaux actifs	990
<i>Les réseaux programmables</i>	991
Conclusion	994
Normes	994
Références	995

PARTIE XIV

LES RÉSEAUX DU FUTUR ◆ 999

38. LES GRANDES TENDANCES ◆ 1001

Les architectures 2000-2005	1002
<i>Quatre solutions</i>	1002
<i>Le modèle de référence OSI 2000</i>	1003
Les tendances 2005-2010	1005
<i>Les deux grandes familles de réseau</i>	1005
<i>Les quatre architectures du NGN</i>	1006
Conclusion	1008
Références	1009

39. PERSPECTIVES ET CONCLUSION ◆ 1011

L'Internet 3	1011
L'hétérogénéité	1014

Conclusion	1015
Références	1015

ANNEXE ♦ 1017

Annuaires généraux et outils de recherche	1017
Répertoires thématiques réseaux et télécoms	1017
Organismes de normalisation et consortiums	1018
Documents normatifs	1019
Revues spécialisées	1019
Salons et conférences	1020
Architectures et protocoles	1020
Administration réseau	1022
Constructeurs d'équipements réseaux et télécoms	1022
Réseaux de mobiles et sans fil	1024
Réseaux et sécurité	1024
Opérateurs de télécommunications	1025
Instituts et laboratoires de recherche	1025
Groupes de News	1026
Adresses utiles	1027

INDEX ♦ 1031