

Best
EYROLLES

5^e édition

GUY PUJOLLE

Les Réseaux

EYROLLES

2-004-315-1

EYROLLES

5^e édition

GUY PUJOLLE

Les Réseaux

Avec la collaboration de Olivier Salvatori
et la contribution de Jacques Nozick

EYROLLES

Table des matières

Préface à la 5 ^e édition	v
---	---

PARTIE I

Les éléments de base des réseaux	1
--	---

CHAPITRE 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
Le multimédia	13
Le RNIS (Réseau numérique à intégration de services)	14
NGN (Next Generation Network)	17
Conclusion	18
Références	18

CHAPITRE 2

Commutation, routage et techniques de transfert	21
Routeurs et commutateurs	21
Fonctionnalités des routeurs et des commutateurs	22
Les commutateurs	24
Les routeurs	25
Les routeurs-commutateurs	25
Les techniques de transfert	26
La commutation de circuits	26
Le transfert de messages	27
Le transfert de paquets	29
Les solutions mixtes circuits-paquets	30
La commutation multicircuit et la commutation rapide de circuits	31
Le transfert de trames	32
La commutation de cellules	33
Les techniques de transfert hybrides	34
Conclusion	34
Références	35

PARTIE II

L'architecture en couches	37
--	----

CHAPITRE 3

L'architecture générique	39
Le modèle de référence	40
La sémantique d'association	42
La sémantique de fonctionnalité	45
Les couches du modèle de référence	55
L'architecture OSI	62
L'architecture TCP/IP	63
Le modèle UIT-T	66
Les niveaux d'architecture	69
Les architectures de niveau 1 (physique)	69
Les architectures de niveau 2 (trame)	70
Les architectures de niveau 3 (paquet)	71
Les architectures hybrides	71
Les architectures multipoint	72
Conclusion	76
Références	77

CHAPITRE 4

Le médium de transport	79
Les médias physiques	79
La paire de fils torsadée	80
Le câble coaxial	82
La fibre optique	82
Les médias hertziens	84
Le câblage	85
Le câblage départemental	86
Le câblage d'établissement	92
Contraintes d'installation	95
Le câblage banalisé, ou structuré	96
Les équipements	107
Les équipements réseau	109
Conclusion	112
Références	112

CHAPITRE 5

Le niveau physique	115
Le codage et la transmission	115
La transmission en bande de base	118
La modulation	119
La modulation d'amplitude	120
La modulation de phase	120
La modulation de fréquence	121
Les modems	121
Nœuds et terminaux	123
Les multiplexeurs	124
Multiplexages fréquentiel et temporel	124
Le multiplexage statistique	125
La transmission dans les réseaux locaux	126
La transmission en bande de base	126
La transmission large bande	126
La numérisation des signaux	127
La numérisation des signaux analogiques	129
Numérisation de la parole téléphonique	130
Détection et correction d'erreur	133
La correction d'erreur	134
La détection d'erreur	136

Les architectures de niveau physique	137
Conclusion	138
Références	139

CHAPITRE 6

Le niveau trame	143
L'architecture de niveau trame	144
Les fonctionnalités du niveau trame	144
L'adressage de niveau trame	145
Les protocoles de niveau trame	146
Les protocoles HDLC et LAP-B	147
Le protocole LAP-D	156
Le protocole PPP	157
Les autres protocoles de niveau trame	158
Le protocole LAP-F	158
Le protocole ATM	159
Ethernet	159
Le label-switching	162
Les normes LLC	162
La couche LLC	163
Les primitives de service et leurs attributs	165
Conclusion	166
Références	166

CHAPITRE 7

Le niveau paquet	169
Caractéristiques du niveau paquet	170
Les modes avec et sans connexion	171
Les principaux protocoles de niveau paquet	172
Les grandes fonctionnalités du niveau paquet	173
Le contrôle de flux	174
Le contrôle de congestion	177
Le routage	178
L'adressage	184
L'adressage ISO	185
Les fonctionnalités du niveau paquet	188
Modélisation d'une connexion à un service réseau	191
La qualité de service	192

IP (Internet Protocol)	195
Les protocoles IPv4 et IPv6	195
Le protocole X.25	201
Caractéristiques de X.25	201
Format des paquets X.25	203
La connexion X.25	205
Le protocole IP-ISO	210
Structure du paquet IP-ISO	211
Conclusion	213
Références	214
 CHAPITRE 8	
Le niveau message	217
Les fonctionnalités du niveau message	218
Caractéristiques du niveau message	219
Adresses et chemins de données	220
Les protocoles de niveau message	222
Le protocole TCP	222
Le protocole AAL	230
Le niveau message de l'architecture OSI	231
Le service de transport en mode avec connexion (ISO 8073 ou X.224) ..	234
Conclusion	244
Références	244

PARTIE III

Les réseaux d'accès	247
----------------------------------	-----

CHAPITRE 9

Typologie des réseaux d'accès	249
La fibre optique	250
FSAN (Full Service Access Network)	250
Les réseaux câblés (CATV)	252
Les paires métalliques	255
La boucle locale métallique	255
Le RNIS bande étroite	255

Évolution vers le RNIS large bande	257
Les accès xDSL	258
La boucle locale électrique	258
Les accès hertziens	261
La boucle locale hertzienne	261
La première génération de réseaux de mobiles, ou 1G	263
La deuxième génération de réseaux de mobiles, ou 2G	264
La troisième génération de réseaux de mobiles, ou 3G	266
La BLR (boucle locale radio)	267
La boucle locale satellite	268
Les réseaux locaux sans fil	269
Wi-Fi (IEEE 802.11)	270
Les WPAN	271
Les accès infranet	272
Conclusion	272
Références	273

CHAPITRE 10

Les accès xDSL et câble	275
Les accès xDSL	275
Le modem ADSL	276
Les protocoles de l'ADSL	279
Les modems VDSL	280
La parole et la vidéo sur xDSL	281
Les modems câble	282
IEEE 802.14 et MLAP	283
DOCSIS (Data Over Cable Service Interoperability Specification)	284
DVB-DAVIC	285
Le contrôle des paquets IP	285
Conclusion	285
Références	286

CHAPITRE 11

Les réseaux d'accès radio et satellite	289
La boucle locale radio	289
Les systèmes WLL	290
LMDS (Local Multipoint Distribution Service)	292
IEEE 802.16	292
WiMax	293

La boucle locale satellite	294
Les techniques d'accès	295
Les protocoles de la boucle locale satellite	298
Conclusion	298
Références	299

PARTIE IV

Les architectures de niveau physique	301
---	-----

CHAPITRE 12

Les réseaux optiques	303
La fibre optique	303
Le multiplexage en longueur d'onde	306
Architecture des réseaux optiques	307
Les réseaux à diffusion	308
Les réseaux à routage en longueur d'onde	310
Les commutations par burst et par paquet	312
La signalisation et GMPLS	315
Conclusion	316
Références	316

CHAPITRE 13

Les interfaces de la couche physique	319
Les interfaces avec la couche physique	320
Les supports plésiochrones	322
Les interfaces SONET/SDH	325
SONET (Synchronous Optical Network)	325
SDH (Synchronous Digital Hierarchy)	327
POS (Packet Over SONET) et POW (Packet Over WDM)	330
L'interface OTN (Optical Transport Network)	331
La signalisation OIF (Optical Internetworking Forum)	333
EPON (Ethernet Passive Optical Network)	334
RPR (Resilient Packet Ring)	335
Conclusion	340
Références	340

PARTIE V

Les architectures de niveau trame	343
CHAPITRE 14	
Le relais de trames	345
La commutation de niveau trame	345
La commutation de trames (Frame Switching)	347
Fonctionnement du relais de trames (Frame Relay)	348
L'avis Q.922 de l'UIT-T	350
Le contrôle dans le relais de trames	353
Conclusion	354
Références	355
CHAPITRE 15	
Les réseaux ATM	357
La commutation de cellules	357
La cellule ATM	362
L'en-tête (Header)	363
L'architecture en couches de l'ATM	368
La couche d'adaptation ATM (AAL)	370
Les classes de services	370
La couche SAR (Segmentation And Reassembly)	371
La couche CS (Convergence Sublayer)	375
Les classes de services ATM	378
La qualité de service ATM	381
Le contrôle de flux	382
Services supplémentaires	385
Gestion des réseaux ATM	388
Le contrôle dans les réseaux ATM	390
L'adressage	395
Le groupe PNNI	396
Conclusion	396
Références	397
CHAPITRE 16	
Les réseaux Ethernet	399
Les modes partagé et commuté	399

Les réseaux Ethernet partagés	400
Caractéristiques des réseaux Ethernet partagés	402
L'accès aléatoire	406
La trame Ethernet	409
Les réseaux Ethernet 10 Mbit/s	410
Le Fast Ethernet 100 Mbit/s	412
Le Gigabit Ethernet (GbE)	413
Les réseaux Ethernet commutés	414
La commutation Ethernet (full-duplex)	415
Le contrôle de flux	417
Les réseaux locaux virtuels	418
Les réseaux Ethernet métro	421
Ethernet sur le WAN	423
Ethernet et le multimédia	425
Les développements d'Ethernet	426
Ethernet dans la boucle locale	426
PoE (Power over Ethernet)	427
L'Ethernet sans fil	428
Les réseaux compatibles avec Ethernet	428
Conclusion	429
Références	429

PARTIE VI

Les architectures de niveau paquet	433
CHAPITRE 17	
Les réseaux IP	435
L'architecture IP	435
Internet	436
La normalisation des réseaux IP	439
Fonctionnement des réseaux TCP/IP	442
L'adressage IPv4 et IPv6	443
DNS (Domain Name System)	447
Le routage IP	449
Les algorithmes de routage	451
L'avenir de TCP/IP	459
Conclusion	460
Références	461

CHAPITRE 18

La gestion et le contrôle dans les réseaux IP	463
Les protocoles de contrôle	463
ICMP (Internet Control Message Protocol)	463
IGMP (Internet Group Management Protocol)	465
Les protocoles de signalisation	465
RSVP (Resource reSerVation Protocol)	465
RTP (Real-time Transport Protocol)	470
Les protocoles de sécurité	470
IPsec (IP sécurisé)	471
Haut débit et multimédia	471
Le surdimensionnement et la technologie POS	472
La qualité de service	473
IntServ (Integrated Services)	474
DiffServ (Differentiated Services)	475
IP Mobile	487
Configuration automatique des réseaux IP	489
Conclusion	490
Références	490

CHAPITRE 19

MPLS et GMPLS	493
IP sur ATM	494
LANE (LAN Emulation)	495
NHRP et MPOA	499
MPLS (MultiProtocol Label-Switching)	502
IP-switching	502
Caractéristiques de MPLS	504
Fonctionnement de MPLS	504
Distribution des références	508
Les piles de références	511
MPLS et l'ingénierie de trafic	512
La qualité de service dans MPLS	514
GMPLS (Generalized MPLS)	516
Les extensions de MPLS	516
Hiérarchie des supports et réseaux overlay	517
Conclusion	521
Références	521

PARTIE VII

Les réseaux hertziens	525
CHAPITRE 20	
Les réseaux de mobiles	527
Les trois générations de réseaux de mobiles	528
La première génération	529
La deuxième génération	530
La deuxième génération et demie	537
La troisième génération	538
Les protocoles des réseaux de mobiles	544
L'interface radio	546
Le GSM	547
L'IS-95	549
L'IS-136	550
Le GPRS	550
L'IMT 2000	552
L'UMTS	554
Le cdma2000	557
Conclusion	557
Références	558
CHAPITRE 21	
Les réseaux sans fil	561
WPAN et IEEE 802.15	563
Bluetooth	564
Les réseaux WiMedia, UWB et WUSB	570
Les réseaux ZigBee	572
Les réseaux Wi-Fi	573
La norme IEEE 802.11	574
L'architecture Wi-Fi	575
Les techniques d'accès	577
Fonctionnalités	582
Les trames Wi-Fi	591

IEEE 802.11a, b et g	592
IEEE 802.11e et f	593
Les réseaux WiMax	594
Les réseaux ad-hoc	596
Le routage	598
Réseaux de capteurs et réseaux mesh	600
Conclusion	601
Références	602
 CHAPITRE 22	
Les réseaux satellite	605
Les catégories de systèmes satellitaires	605
Les fréquences radio	607
Les techniques d'accès au satellite	608
Les politiques de réservation fixe	610
Les politiques d'accès aléatoire	610
Les protocoles avec réservation par paquet	612
Les protocoles de réservation dynamique et les méthodes hybrides	614
Les couches de protocoles des réseaux satellite	616
Les protocoles de niveau liaison	616
Les protocoles de niveau réseau	618
Les systèmes satellite	619
Les systèmes satellite bande étroite et large bande	619
Les constellations de satellites	621
Les handovers satellitaires	622
Conclusion	624
Références	625

PARTIE VIII

Les réseaux d'entreprise et d'opérateurs	627
---	-----

CHAPITRE 23

Les réseaux Internet-intranet	629
Les générations de réseaux Internet	629
L'Internet 1	629
Les ISP (Internet Service Provider)	630

L'Internet 2	631
Caractéristiques de l'Internet 2	631
I2 et NGI	632
Les applications Internet	634
Les applications Internet classiques	635
Les applications multicast	639
Les réseaux intranet	640
Conclusion	642
Références	643

CHAPITRE 24

Architecture des réseaux d'entreprise	645
L'intégration voix-données	645
Les entreprises monosites	651
Token-Ring et les réseaux à jeton	651
Les entreprises multisites	662
Les réseaux locaux industriels	663
Architecture des réseaux industriels	664
Ethernet dans un contexte industriel	664
La norme ISO 8802.4 (IEEE 802.4)	666
Conclusion	671
Références	672

CHAPITRE 25

Architecture des réseaux d'opérateurs	673
SLA opérateur	674
SLA, SLO et SLS	674
Paramètres d'un SLS de QoS	675
Paramètres d'un SLS de mobilité	677
Paramètres d'un SLS de sécurité	678
Identification du trafic	682
Les réseaux en mode avec connexion	682
Les réseaux partagés	685
Les opérateurs Ethernet	689
Disponibilité d'un réseau d'opérateur	691
Conclusion	692
Références	693

PARTIE IX

Les équipements réseau	695
CHAPITRE 26	
Routeurs et commutateurs	697
Architecture des routeurs	698
Architecture des commutateurs	700
Rôle et fonctionnalités des commutateurs	701
Les catégories de commutateurs	702
Blocage et mémorisation	703
Exemples de commutateurs	704
Le commutateur Crossbar	704
Le commutateur Banyan et ses extensions	706
Les commutateurs à répartition dans le temps	713
Les commutateurs ATM temporels statistiques	713
Conclusion	718
Références	719
CHAPITRE 27	
Autres équipements	721
Les passerelles	722
Les répéteurs	723
Les ponts	723
Le protocole Source-Routing	724
Le protocole Spanning-Tree	725
Les relais-routeurs	725
Les routeurs multiprotocoles	726
Les gigarouteurs	726
Les bridge-routers	726
Les relais de transport	727
Les techniques de tunneling	728
Translation et encapsulation	728
Les pare-feu	730
Les proxy	731
Les appliances	732
Conclusion	733
Références	733

PARTIE X

Le contrôle et la gestion. 737

CHAPITRE 28

Le contrôle de flux et de congestion 739**Le contrôle de flux 741**

Le contrôle par crédit 741

Le contrôle par seuil 742

Le contrôle par allocation de ressources 743

Le contrôle de congestion 745**Le contrôle de flux dans les réseaux IP 746**

Le contrôle de flux dans TCP 746

Le contrôle de flux dans IP 748

Le contrôle de flux dans les réseaux ATM 749

Le multiplexage statistique et le contrôle des réseaux ATM 749

La qualité de service et le contrôle d'admission 751

Les techniques de contrôle de flux 753

Les méthodes de contrôle de congestion 755

Le contrôle de flux dans les réseaux Ethernet 757**Le contrôle de flux dans le relais de trames 758****Conclusion 760****Références 760**

CHAPITRE 29

La gestion de réseau 763**Fonctions de base de la gestion de réseau 764****La gestion ISO 765**

La gestion système CMIS/CMIP 767

MIB (Management Information Base) 771

Fonctions de gestion spécifiques 771

Problématique de la gestion ISO 776

L'approche TMN 777

Architecture du TMN 778

Architecture physique 778

Architecture fonctionnelle 781

La gestion dans les réseaux Internet avec SNMP 783

Le protocole SNMP 783

SNMPv2 et SNMPv3	787
Comparaison de CMIP et de SNMP	788
La gestion par le Web	790
L'architecture WBEM	790
JMAPI (Java Management API)	791
La gestion par le middleware	793
Le modèle DME	796
Conclusion	796
Références	797
 CHAPITRE 30	
La gestion et le contrôle par politique	801
Les politiques	801
PCIM (Policy Core Information Model)	803
QPIM (QoS Policy Information Model)	804
QDDIM (QoS Device Datapath Information Model)	804
Architecture d'un contrôle par politique	804
Le PDP (Policy Decision Point)	805
Le PEP (Policy Enforcement Point)	807
COPS (Common Open Policy Service)	807
Caractéristiques principales du protocole COPS	809
COPS et les modèles de gestion par politique	811
Interactions entre les PEP et le PDP	814
La sécurité dans COPS	816
Conclusion	816
Références	817
 CHAPITRE 31	
La signalisation	819
Caractéristiques de la signalisation	820
Fonctionnement de la signalisation	820
La sécurité	821
La mobilité	821
La charge du réseau	821
Le protocole RSVP	822
Caractéristiques de RSVP	822
Fonctionnement de RSVP	823
Format des messages de RSVP	824

COPS (Common Open Policy Service)	826
Les messages COPS	827
Les extensions de COPS	830
SIP (Session Initiation Protocol)	833
Les entités SIP	833
Les scénarios de session	836
SDP (Session Description Protocol)	836
SIP nouvelle version	839
Échange des caractéristiques du média de session	840
Le dispositif middle box et l'architecture MIDCOM	841
La signalisation CCITT n° 7	844
La signalisation dans les réseaux ATM	847
Conclusion	847
Références	848
 CHAPITRE 32	
Les VPN	851
Les grandes catégories de VPN	852
Les VPN d'entreprise	852
Les VPN d'opérateurs	853
Les VPN de niveaux 2, 3 et 7	854
Les VPN de niveau 2	854
Les VPN de niveau 3	856
Les VPN MPLS	856
Les VPN de niveau 7	859
Les VPN fonctionnels	859
Les VPN de sécurité	859
Les VPN de qualité de service	860
Les VLAN	861
Configuration d'un VPN par politique	863
Conclusion	864
Références	864

PARTIE XI

La sécurité	867
 CHAPITRE 33	
Vue générale des éléments de sécurité	869
Les services de sécurité	869

Les mécanismes de chiffrement	871
Les algorithmes de chiffrement	872
Solutions de chiffrement	873
Les certificats	875
L'authentification	875
L'intégrité des données	875
La non-répudiation	876
Caractéristiques des algorithmes de sécurité	876
Les algorithmes de chiffrement	876
Longueur de la clé	877
La performance temporelle	878
Les algorithmes d'authenticité	879
Exemples d'environnements de sécurité	881
PGP (Pretty Good Privacy)	881
L'infrastructure PKI	881
Kerberos	884
Conclusion	885
Références	885

CHAPITRE 34

La sécurité dans l'environnement IP	889
Les attaques par Internet	889
Les attaques par ICMP	890
Les attaques par TCP	890
Les attaques par cheval de Troie	891
Les attaques par dictionnaire	891
Les autres attaques	891
Les parades	891
L'authentification	892
L'intégrité du flux de données	892
La non-répudiation	892
La confidentialité	893
La sécurité dans les protocoles	893
La sécurité dans SNMP	894
IPsec (IP sécurisé)	895
SSL (Secure Sockets Layer)	900
EAP (Extensible Authentication Protocol)	902
RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server)	907
Les pare-feu	908
Les filtres	910
La sécurité autour du pare-feu	911

Les virus	914
Conclusion	915
Références	915

PARTIE XII

Les applications	919
CHAPITRE 35	
La téléphonie informatique	921
L'application téléphonique	922
Les codeurs audio	923
La téléphonie sur ATM et le relais de trames	924
AAL-2	925
Le relais de trames	926
La téléphonie sur IP	927
Les protocoles de signalisation	929
Les réseaux de téléphonie IP d'entreprise	931
Mise en œuvre de la téléphonie sur IP	932
Les applications de téléphonie sur IP grand public	934
Évolution des PABX	934
Les autocommutateurs privés	934
Les différentes générations de PABX	936
PABX et transmission de données	937
L'intégration téléphonie-informatique	939
Conclusion	940
Références	940
CHAPITRE 36	
Le multimédia et la vidéo	943
Codage et compression	944
JPEG (Joint Photographic Experts Group)	945
La recommandation H.261	945
MPEG (Moving Pictures Expert Group)	948
VRML (Virtual Reality Modeling Language)	953
DVB (Digital Video Broadcasting)	954
La télévision numérique	955
Les terminaux multimédias	958

Le transport de la vidéo	959
La vidéo sur ATM	959
La vidéo sur Internet	962
Conclusion	962
Références	963

CHAPITRE 37

Protocoles et applications pour l'Internet mobile	965
Les réseaux de l'Internet mobile	966
Les réseaux de l'Internet sans fil	968
Contrôle et gestion de l'Internet mobile	969
Le contrôle de l'Internet mobile	969
La sécurité dans l'Internet mobile	970
Gestion de la mobilité	970
Hawaii	972
Les applications de l'Internet mobile	973
Les applications sans persistance	973
Les applications persistantes	978
Conclusion	979
Références	980

PARTIE XIII

L'intelligence dans les réseaux	983
--	-----

CHAPITRE 38

Les réseaux intelligents et autonomes	985
INCM (Intelligent Network Conceptual Model)	986
Le plan de service	987
Le plan fonctionnel global	987
Le plan fonctionnel distribué	988
Les entités fonctionnelles	989
Le plan physique	990
Modélisation des fonctionnalités	993
ODP (Open Distributed Processing)	993
Le modèle G.805 et UML	995
Réalisation d'un réseau intelligent	998

Les réseaux autonomes	1001
Conclusion	1001
Références	1002

CHAPITRE 39

Les réseaux multiagents	1003
Les agents intelligents	1003
Gestion d'un environnement complexe	1003
Les systèmes multiagents	1005
Les systèmes d'agents réactifs	1011
Les agents réseau	1012
Les agents Internet	1013
Les agents intranet	1013
Les agents assistants ou bureautiques	1013
Les agents mobiles	1014
Les réseaux actifs	1015
Les réseaux programmables	1017
Conclusion	1019
Références	1019

PARTIE XIV

Les réseaux du futur	1021
-----------------------------------	------

CHAPITRE 40

Les grandes tendances	1023
Les architectures 2005	1024
Les tendances 2010	1025
Les deux grandes familles de réseaux	1026
Les quatre architectures du NGN	1027
Les technologies 2010	1029
Conclusion	1029
Références	1030

CHAPITRE 41

Perspectives et conclusion	1033
L'Internet 3	1033
L'hétérogénéité	1036

Un réseau proactif	1037
Conclusion	1039
Références	1039

PARTIE XV

Annexes	1041
Organismes de normalisation et consortiums	1043
Documents normatifs	1044
Revue spécialisée	1044
Salons et conférences	1045
Architectures et protocoles	1045
ADSL	1045
ATM	1045
Ethernet	1045
Fibre Channel (FCS)	1046
Frame Relay	1046
Site HIPPI	1046
LDAP	1046
RNIS	1046
TCP/IP	1046
Token-Ring	1047
Administration réseau	1047
Constructeurs d'équipements réseau et télécoms	1047
Réseaux de mobiles et sans fil	1048
Réseaux et sécurité	1048
Opérateurs de télécommunications	1049
Instituts et laboratoires de recherche	1049
En France	1049
Aux États-Unis	1049
Groupes de News	1050
Adresses utiles	1050
Normes	1053
Architecture OSI	1053
Architecture TCP/IP	1054
Architecture UIT-T	1054
Réseaux multiagents	1054
Liste des sigles et acronymes	1055
Index	1069