

réseaux et télécommunications

Réseaux locaux et Internet

des protocoles à l'interconnexion

Laurent Toutain

HERMES

Table des matières

Préface	XVII
Chapitre 1. Introduction	1
1.1. Pourquoi un réseau ?.....	1
1.2. Classification des réseaux	2
1.2.1. En fonction de la distance	2
1.2.1.1. MAN	4
1.2.1.2. LAN	4
1.2.2. En fonction de la topologie	4
1.2.2.1. Types de voies de transmission	4
1.2.2.2. Types d'interconnexion	5
1.2.2.3. Différents types de routages	5
1.2.3. En fonction de la propagation	6
1.3. Interconnexion des réseaux	7
1.4. Exemples d'utilisation de réseaux	8
1.5. Plan du livre	8
Chapitre 2. Normalisation et câblage	11
2.1. Le comité IEEE 802	11
2.1.1. Types de trafic et contraintes	11
2.1.2. Contraintes	11
2.1.3. Les standards	12
2.2. L'adressage IEEE 802.1	14
2.3. Le codage Manchester	16
2.4. Règles de câblage	18
Chapitre 3. Les protocoles Ethernet et IEEE 802.3.....	25
3.1. Historique	25
3.2. Principes	26

3.3. Les supports	27
3.3.1. Equipements pour le 10 base 5	29
3.3.1.1. Le câble	29
3.3.1.2. Les transceivers	29
3.3.1.3. Fan out	34
3.3.1.4. Les répéteurs	35
3.3.1.5. Les répéteurs distants	36
3.3.2. Equipements pour le 10 base 2	36
3.3.2.1. Le câble et les connecteurs	36
3.3.2.2. Les transceivers	36
3.3.2.3. Les répéteurs	37
3.3.3. Equipements pour le 10 base T	37
3.4. Paramètres du protocole	39
3.5. Format des trames	40
3.5.1. Niveau Physique	40
3.5.2. Niveau MAC	41
3.5.2.1. Trame IEEE 802.3	41
3.5.2.2. Trame Ethernet	42
3.6. Algorithme du BEB	43
3.6.1. Algorithme d'émission	45
3.6.2. Algorithme de réception	45
3.7. Le protocole 802.3D	46
3.7.1. Le principe du DCR	48
3.7.2. Modes de fonctionnement	50
3.7.3. Performance du protocole 802.3D	50
3.8. Exemples de trames Ethernet	50
3.8.1. Signaux	50
3.8.2. Trames	54
3.9. Extensions par rapport à la norme initiale	55
3.9.1. Confidentialité	55
3.9.2. Ethernet commuté	56
3.10. Ethernet à 100 Mb/s	60
3.10.1. Le sous-comité IEEE 802.3 : 100 base T	60
3.10.1.1. Les règles de câblage et les connecteurs	60
3.10.1.2. Modèle 1	62
3.10.1.3. Modèle 2	64
3.10.2. Le sous-comité IEEE 802.12 100 VG-AnyLAN	65
3.10.2.1. Les règles de câblage et les connecteurs	65
3.10.2.2. Le codage de l'information	65
3.10.2.3. Le protocole d'accès	67
3.10.2.4. Apprentissage	69

Chapitre 4. Le protocole IEEE 802.5 : l'anneau à jeton	71
4.1. Principes	71
4.2. Le matériel	72
4.3. La connectique	74
4.3.1. Le câblage	74
4.3.2. Les connecteurs	74
4.3.3. Plan de câblage	75
4.3.3.1. Cas simple	76
4.3.3.2. Cas complexe	77
4.4. Protocole	80
4.4.1. Format des trames	81
4.4.2. Circulation du jeton	83
4.4.3. La gestion des priorités	83
4.4.3.1. Algorithmes	86
4.4.3.2. Exemple de trame de données	86
4.4.4. La station moniteur	88
4.4.4.1. Surveillance du jeton	89
4.4.4.2. Surveillance des trames	89
4.4.4.3. Surveillance de la priorité	89
4.4.4.4. Taille de l'anneau	89
4.4.4.5. Organigramme du fonctionnement du moniteur	90
4.4.5. Les trames MAC	91
4.4.5.1. Format des trames	91
4.4.5.2. Les vecteurs	93
4.4.5.3. Les sous-vecteurs	96
4.4.5.4. Exemple	99
4.4.5.5. Les temporisateurs	100
4.4.6. Surveillance du moniteur	101
4.4.7. Election du moniteur	102
4.4.8. Insertion d'une station dans l'anneau	102
4.4.9. Traitement en cas d'erreur	103
Chapitre 5. La sous-couche LLC	105
5.1. Définition	105
5.2. Les trames LLC	106
5.2.1. Le format des trames	106
5.2.1.1. Les champs DSAP et SSAP	106
5.2.1.2. Le champ contrôle	108
5.2.1.3. Le bit P/F	110
5.2.2. Exemples de protocole	111
5.2.2.1. Cas sans erreur	111
5.2.2.2. Cas avec perte de trames	113

5.2.2.3. Cas avec pertes multiples	113
5.2.2.4. Cas de rupture de séquence	114
5.2.3. Largeur des fenêtres	114
5.3. Exemple	115
5.3.1. LLC type 1	115
5.3.2. LLC type 2	116
Chapitre 6. La sous-couche SNAP	121
6.1. Introduction	121
6.2. Format des trames	121
6.3. Exemple	122
Chapitre 7. Interconnexion par ponts : algorithme du Spanning Tree	125
7.1. Introduction	125
7.2. Ponts filtrants transparents	126
7.2.1. Cas simple	126
7.2.2. Cas complexe	127
7.3. Algorithme du Spanning Tree	128
7.3.1. Exemples	131
7.3.1.1. Ponts en parallèle	131
7.3.1.2. Interconnexion de 4 réseaux	133
7.3.2. Mise à jour des informations	133
7.3.3. Diagramme d'état des ports	135
7.3.4. Format des messages	136
7.3.5. Exemple	138
7.4. Les demi-ponts	140
Chapitre 8. Interconnexion par ponts : algorithme du Source Routing.....	141
8.1. Introduction	141
8.2. Format des trames.	143
8.3. Protocole	145
8.4. Exemples	148
Chapitre 9. L'Internet et le protocole IP	153
9.1. Le réseau Internet	153
9.1.1. RFC	154
9.1.2. IANA	155
9.2. Mise en œuvre des protocoles TCP/IP dans les systèmes Unix	155
9.3. Le protocole IP (<i>Internet Protocol</i>) (rfc 791, rfc 1122)	159
9.3.1. L'adressage Internet	159
9.3.1.1. Adresses particulières	161
9.3.1.2. Le masque de réseau	162

9.3.2. Format des datagrammes IP	163
9.3.2.1. Version	163
9.3.2.2. Longueur de l'en-tête	164
9.3.2.3. Type de service	164
9.3.2.4. Longueur totale	165
9.3.2.5. Fragmentation	165
9.3.2.6. Durée de vie	167
9.3.2.7. Protocole	168
9.3.2.8. Checksum (rfc 1071, rfc 1141)	168
9.3.2.9. Adresses de la source et de la destination	169
9.3.2.10. Options	169
9.4. Le protocole ICMP (<i>Internet Control Message Protocol</i>) (rfc 792)	172
9.4.1. Le message ne peut atteindre sa destination	172
9.4.2. Durée de vie expirée et le programme traceroute	172
9.4.3. Source Quench	177
9.4.4. Indication de redirection	177
9.4.5. Echo/la commande Ping	179
9.4.5.1. Option d'enregistrement de la route	180
9.4.5.2. Adresse de diffusion	181
9.4.6. Demande de netmask/réponse au netmask (rfc 950)	182
9.4.7. Information sur les routeurs (rfc 1256)	183
9.5. Internet et le multicast (rfc 1112)	183
9.5.1. Emission/réception de données multicast	185
9.5.1.1. Emission	185
9.5.1.2. Réception	185
9.5.2. Propagation du trafic multicast	185
9.5.2.1. Les mrouteurs	185
9.5.2.2. Portée d'une adresse multicast	187
9.5.3. Adresses de classe D réservées	187
9.6. Configuration d'une station Unix	187
9.6.1. L'interface réseau	188
9.6.1.1. Consultation	189
9.6.1.2. Configuration	190
9.7. IPv6	191
9.7.1. Version	192
9.7.2. Identificateur de flux	193
9.7.3. Longueur des données utiles (payload)	193
9.7.4. En-tête suivant	193
9.7.5. Nombre de sauts	193
9.7.6. Adresse de la source/adresse de la destination	193

Chapitre 10. Les protocoles TCP et UDP	195
10.1. Notion de port	195
10.2. Le protocole UDP (<i>User Datagram Protocol</i>) (rfc 768)	196
10.3. Le protocole TCP (<i>Transmission Control Protocol</i>) (rfc 793)	198
10.4. Les trois phases du protocole	200
10.4.1. Ouverture d'une connexion	200
10.4.2. Transfert de données	200
10.4.2.1. Exemple sur un réseau local	201
10.4.2.2. Exemple sur un réseau public	204
10.4.3. Fermeture d'une connexion	204
10.5. Adaptation à l'environnement	204
10.5.1. Gestion des temporisations	206
10.5.1.1. Algorithme de Karn	207
10.5.1.2. Calcul de la moyenne et de la déviation	207
10.5.1.3. Calcul de la valeur du temporisateur	208
10.5.1.4. Exemple	208
10.5.1.5. Retransmission rapide des données	209
10.5.2. Limitation du trafic	209
10.5.2.1. Retard de l'acquittement	209
10.5.2.2. L'algorithme de Nagle	210
10.5.3. Contrôle de flux	212
10.5.4. Détermination de l'anticipation	213
10.5.4.1. La fenêtre de congestion	215
10.5.4.2. Slow Start	216
 Chapitre 11. Les protocoles de résolution d'adresses et configuration automatique	 221
11.1. Le protocole ARP (<i>Address Resolution Protocol</i>) (rfc 826)	221
11.1.1. Format des trames	221
11.1.2. Exemple	223
11.1.3. Table ARP	224
11.1.4. ARP gratuit	226
11.1.5. Le proxy ARP	226
11.1.6. Cas des adresses de diffusion et multicast	227
11.2. Démarrage et auto-configuration	227
11.2.1. TFTP (<i>Trivial File Transfert Protocol</i>) (rfc 1350)	227
11.2.1.1. Scénario	228
11.2.1.2. Sécurité	228
11.2.2. RARP (<i>Reverse Address Resolution Protocol</i>) (rfc 903)	229
11.2.2.1. Format des trames	229
11.2.2.2. Configuration d'un serveur RARP	229

11.2.3. BOOTP (rfc 951 et rfc 1542)	230
11.2.3.1. Format des paquets	230
11.2.3.2. Scénario	234
11.2.3.3. Exemple	237
11.2.3.4. Cas de sous-réseaux différents	241
11.2.4. DHCP (<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>) (rfc 1541)	243
11.3. Le serveur de noms (DNS) (rfc 1034, rfc 1035)	243
11.3.1. Principes généraux	243
11.3.1.1. Serveurs primaires	245
11.3.1.2. Serveurs secondaires	246
11.3.1.3. Serveurs caches	246
11.3.2. Principe de l'interrogation	247
11.3.2.1. La commande nslookup	247
11.3.2.2. Format des paquets	250
11.3.2.3. Exemple	255
11.3.2.4. Transfert d'information	257
11.3.2.5. Information sur un domaine	258
11.3.2.6. Les résolutions des adresses d'équipements	259
11.3.2.7. Configuration d'un serveur	261
11.3.2.8. Déboguage de named	263
Chapitre 12. Les protocoles de routage	265
12.1. Les tables de routage	265
12.1.1. Définition	265
12.1.1.1. La destination	265
12.1.1.2. Le chemin	266
12.1.1.3. Le coût	266
12.1.2. Configuration de tables de routage	266
12.1.2.1. Affichage de la table de routage	266
12.1.2.2. Modification de la table de routage	268
12.1.3. Connecté ou datagramme ?	269
12.2. Protocoles de routage	270
12.3. L'algorithme du <i>Distant Vector</i>	273
12.3.1. Description	273
12.3.2. Problème de convergence	276
12.3.2.1. L'horizon coupé	277
12.3.2.2. La retenue de chemin et les routes empoisonnées	277
12.3.3. RIP (rfc 1058)	278
12.3.4. IGRP	282
12.3.5. RIP-2 (rfc 1388)	283
12.4. L'algorithme du <i>Link State et OSPF</i>	285
12.4.1. Principes	285

12.4.2. Vocabulaire et concepts	286
12.4.3. Protocoles d'OSPF (rfc 1583)	290
12.4.3.1. Le protocole <i>Hello</i>	292
12.4.3.2. Election du routeur désigné	293
12.4.3.3. Chargement de la base de données	294
12.4.3.4. Propagation de l'information	296
12.5. CIDR (rfc 1466)	298
12.6. Annonce des routes	302
12.6.1. Principes	302
12.6.2. Base de données RIPE	304
12.6.3. Liste des systèmes autonomes traversés	305
12.7. EGP (rfc 827)	306
12.7.1. Format des trames (rfc 904)	308
12.7.1.1. Acquisition d'un voisin	309
12.7.1.2. Accessibilité des routeurs	310
12.7.1.3. Accessibilité des routes	310
12.7.1.4. Message d'erreur	311
12.7.2. Limitations d'EGP	313
12.7.2.1. Notion de classes	313
12.7.2.2. Distances non significatives	313
12.7.2.3. Hiérarchie sur deux niveaux	314
12.8. BGP	314
12.8.1. Format des messages	315
12.8.1.1. En-tête	315
12.8.1.2. Ouverture	316
12.8.1.3. Mise à jour	316
12.8.1.4. Notification	319
12.8.2. Politiques de routage	320
12.9. Limite du routage dans l'Internet	320
Chapitre 13. IP sur liaison point-à-point : SLIP et PPP	323
13.1. Les liaisons séries	323
13.2. SLIP (rfc 1055)	328
13.2.1. Principe	328
13.2.1.1. Encapsulation	328
13.2.1.2. Intégration	328
13.2.1.3. Exemple	331
13.2.2. Limitations	331
13.3. PPP (rfc 1661)	332
13.3.1. Adaptation au support physique	334
13.3.1.1. Format de trame	334
13.3.1.2. Liaison synchrone ou asynchrone	335

13.3.1.3. Optimisation du format	335
13.3.2. Les trames PPP	336
13.3.3. Le protocole LCP	338
13.3.3.1. Principes de la négociation	338
13.3.3.2. Fermeture de la connexion	339
13.3.3.3. Rejet de trames	339
13.3.3.4. Trames propres à LCP	339
13.3.3.5. Options de négociations	339
13.3.4. Les protocoles d'authentification (rfc 1334)	341
13.3.4.1. PAP : <i>Password Authentication Protocol</i>	341
13.3.4.2. CHAP : <i>Challenge Authentication Protocol</i>	342
13.3.5. Les protocoles de configuration du niveau 3	342
13.3.6. Compression des en-têtes TCP/IP (rfc 1144)	343
13.3.6.1. Encore plus de compression	347
13.3.6.2. Correction des erreurs	347
13.3.6.3. Exemple	348
13.4. Configuration des routeurs	352
13.5. Pontage avec PPP (rfc 1638)	353
13.5.1. Trames de données	353
13.5.2. Trames du Spanning Tree	355
13.5.3. Protocole de configuration : BCP	355
Chapitre 14. IP sur X.25	357
14.1. Les réseaux X.25	357
14.1.1. Le protocole HDLC	357
14.1.2. Le protocole X.25_3	358
14.1.2.1. Ouverture d'une connexion	361
14.1.2.2. transfert de données	363
14.1.3. Exemple	365
14.2. Encapsulation de IP dans X.25_3 (rfc 1356)	368
14.2.1. Adressage	368
14.2.2. Durée d'un circuit virtuel	368
14.2.3. Nature de l'encapsulation	369
14.3. Exemple	369
14.4. PPP sur X.25 (rfc 1598)	371
14.5. X.25 sur IP (rfc 1613)	373
Chapitre 15. Administration des réseaux	375
15.1. Introduction	375
15.1.1. Principes	375
15.1.2. Vocabulaire et concepts	376
15.2. Protocole SNMP	376
15.3. La syntaxe abstraite ASN.1	378

15.3.1. La norme	378
15.3.1.1. Définition d'un module	378
15.3.1.2. Types et variables universels	378
15.3.2. Encodage	382
15.4. Définition de la MIB SNMP (rfc 1213)	383
15.4.1. Gestion des tableaux	385
15.4.2. Le groupe system (1.3.6.1.2.1.1)	386
15.4.3. Le groupe interface (1.3.6.1.2.1.2)	386
15.4.4. Le groupe at (1.3.6.1.2.1.3)	388
15.4.5. Le groupe IP (1.3.6.1.2.1.4)	388
15.4.6. Le groupe ICMP (1.3.6.1.2.1.5)	391
15.4.7. Le groupe TCP (1.3.6.1.2.1.6)	392
15.4.8. Le groupe UDP (1.3.6.1.2.1.7)	393
15.4.9. Le groupe EGP (1.3.6.1.2.1.8)	393
15.4.10. Le groupe transmission (1.3.6.1.2.1.10)	395
15.4.11. Le groupe SNMP (1.3.6.1.2.1.11)	395
15.5. Autres MIB	395
15.5.1. La MIB Host (RFC 1514)	397
15.5.2. La MIB RMON (rfc 1757)	398
15.6. Format des messages SNMP version 1 (rfc 1157)	400
15.6.1. Les messages d'interrogation	401
15.6.2. Le message d'interruption	402
15.7. Exemples	404
15.7.1. Interrogation simple	404
15.7.2. Demande des interfaces	405
Chapitre 16. Unix et les sockets	409
16.1. Introduction	409
16.2. Enchaînement des procédures	410
16.2.1. Mode connecté	410
16.2.2. Mode datagramme	411
16.2.3. Les commandes de débogage	412
16.3. Description des primitives Unix	413
16.3.1. Définition d'une socket	413
16.3.1.1. Création	413
16.3.1.2. Adressage	414
16.3.1.3. Lien	415
16.3.1.4. Ouverture d'une connexion	416
16.3.1.5. Les primitives du serveur	416
16.3.2. Adresses locales et distantes d'une socket	416
16.3.3. Réception de données	417
16.3.4. Emission de données	417

16.3.5. Fin d'utilisation d'une socket	419
16.3.6. Les bases de données relatives aux sites	419
16.4. Exemples	420
16.4.1. Programme client	420
16.4.2. Programme serveur	422
16.4.3. Réception simultanée sur plusieurs descripteurs	424
16.4.4. Le multicast	428
16.5. Les sockets en mode raw	432
16.5.1. Réception des paquets ICMP	432
16.5.2. Emission de paquets ICMP	434
Chapitre 17. Travaux Pratiques	437
17.1. Désassemblage de trames TCP/IP/Ethernet	437
17.1.1. /etc/ethers	437
17.1.2. /etc/hosts	437
17.1.3. /etc/services	438
17.2. Programmation des sockets	457
17.3. Serveur et client FTP	460
17.4. Les sockets en mode raw	460
17.4.1. Qu'est-ce que traceroute ?	460
17.4.2. Programme reçoit	461
17.4.3. Programme émet	463
17.4.4. Exploitation	465
17.5. Le plan de routage	465
Chapitre 18. Corrections	469
18.1. Désassemblage de trames	469
18.2. Programmation des sockets	482
18.3. FTP	496
18.4. Les sockets en mode raw	499
18.5. Plan de routage	504
Bibliographie	515
Index	517