



James Kurose et Keith Ross

Analyse structurée des réseaux

Des applications de l'internet
aux infrastructures de télécommunication

2^e édition

PEARSON
Education

2-004-250-1

2-004-250-1

**James Kurose
et Keith Ross**



Analyse structurée des réseaux

**Des applications de l'internet aux infrastructures
de la télécommunication**

2^e édition

Relecture et validation technique : Daniel Battu

Traduction : Stéphane Pauquet

PEARSON
Education

Table des matières

Les auteurs	1
Préface	3
Nouveautés de cette édition	3
Public ciblé	4
Originalité de l'ouvrage	4
Approche descendante	4
Approche centrée sur l'internet	5
Analyse des principes fondamentaux	6
Aspects pédagogiques	7
Histoires des réseaux et théories mises en œuvre	7
Interviews	8
Structure de l'ouvrage	8
1. Les réseaux et l'internet	9
1.1 Qu'est-ce que l'internet ?	10
1.1.1 Approche concrète	10
1.1.2 Approche fonctionnelle	13
1.1.3 Qu'est-ce qu'un protocole ?	14
1.1.4 Quelques liens utiles	17
1.2 Réseaux d'accès	18
1.2.1 Terminaux, clients et serveurs	18
1.2.2 Service sans connexion et service orienté connexion	20
1.3 Cœur de réseau	23
1.3.1 Commutation de circuits et commutation par paquets	24
1.3.2 Transmission de paquets au sein du réseau	35
1.4 Réseaux d'accès et supports physiques	39
1.4.1 Réseaux d'accès	39
1.4.2 Supports physiques	46
1.5 Les FAI (ISP) et les réseaux fédérateurs de l'internet	50

1.6	Retards et pertes au sein des réseaux à commutation par paquets	53
1.6.1	Différents types de retards	53
1.6.2	Temps d'attente et perte de paquets	56
1.6.3	Retards et acheminements au sein de l'internet	59
1.7	Les couches de protocoles et leurs modèles de services	61
1.7.1	Architecture en couches	61
1.7.2	Pile de protocoles internet	66
1.7.3	Entités de réseau et couches	69
1.8	Historique des réseaux d'ordinateurs et de l'internet	70
1.8.1	1961-1972 : naissance de la commutation par paquets ...	70
1.8.2	1972-1980 : réseaux propriétaires et interfonctionnement des réseaux	72
1.8.3	1980-1990 : prolifération des réseaux	74
1.8.4	Explosion de l'internet : les années 1990	76
1.8.5	Développements récents	78
1.9	Résumé	79
	Questions et problèmes	81
	Tests de connaissances	81
	Problèmes	82
	Questions de réflexion	87

2. La couche Applications 93

2.1	Principes des protocoles de la couche Applications	94
2.1.1	Protocoles de la couche Applications	95
2.1.2	Services nécessaires à une application	100
2.1.3	Services fournis par les protocoles de transport d'internet	102
2.1.4	Applications de réseau abordées dans cet ouvrage	105
2.2	Le Web et HTTP	105
2.2.1	Description générale de HTTP	107
2.2.2	Connexions persistantes et non-persistantes	109
2.2.3	Format des messages HTTP	112
2.2.4	Échanges utilisateur-serveur : autorisation et cookies ...	117
2.2.5	GET conditionnel	119
2.2.6	Contenus HTTP	121
2.3	Transfert de fichiers : FTP	121
2.3.1	Commandes et réponses FTP	123

2.4	Le courrier électronique sur l'internet	124
2.4.1	SMTP	126
2.4.2	Comparaison avec HTTP	130
2.4.3	Formats des messages électroniques et MIME	130
2.4.4	Protocoles d'accès à la messagerie	135
2.5	DNS, le service d'annuaire de l'internet	140
2.5.1	Services procurés par le DNS	140
2.5.2	Aperçu du fonctionnement du DNS	142
2.5.3	Enregistrements DNS	148
2.5.4	Messages DNS	150
2.6	Programmation d'interface de connexion avec TCP	152
2.6.1	Programmation d'interfaces de connexion avec TCP	153
2.6.2	Exemple d'application client-serveur en Java	155
2.7	Programmation de l'interface de connexion en UDP	162
2.8	Mise en place d'un serveur Web simplifié	168
2.8.1	Fonctions du serveur Web	169
2.9	Distribution de contenu	172
2.9.1	Mise en mémoire cache sur le Web	174
2.9.2	Réseaux de distribution de contenu (CDN)	179
2.9.3	Partage de fichiers de poste-à-poste	183
2.10	Résumé	191
	Questions et problèmes	192
	Tests de connaissances	192
	Problèmes	194
	Questions de réflexion	198
	Exercices de programmation	199
3.	La couche Transport	205
3.1	Introduction aux services de la couche Transport	206
3.1.1	Relations entre couche Transport et couche Réseau	207
3.1.2	Description rapide de la couche Transport de l'internet	209
3.2	Multiplexage et démultiplexage	210
3.3	Transport sans connexion : UDP	216
3.3.1	Structure d'un segment UDP	219
3.3.2	Somme de contrôle UDP	220

3.4	Principes élémentaires du transfert de données fiable	221
3.4.1	Mise au point d'un protocole de transfert de données fiable	223
3.4.2	Protocoles de transfert de données pipelinées	232
3.4.3	Go-Back-N (GBN)	235
3.4.4	Répétition sélective	240
3.5	Transport orienté connexion : TCP	246
3.5.1	Connexion TCP	246
3.5.2	Structure d'un segment TCP	248
3.5.3	Calcul du temps de transmission aller-retour et temporisation	253
3.5.4	Transfert de données fiable	255
3.5.5	Contrôle de flux	263
3.5.6	Gestion de connexion TCP	265
3.6	Principes élémentaires du contrôle de congestion	269
3.6.1	Causes et effets du phénomène de congestion	269
3.6.2	Différentes approches du contrôle de congestion	275
3.6.3	Exemple de contrôle de congestion assisté par le réseau : le contrôle de congestion ABR ATM	276
3.7	Contrôle de congestion de TCP	278
3.7.1	Équité	284
3.7.2	Modélisation du temps de réponse TCP	287
3.8	Résumé	295
	Questions et problèmes	297
	Tests de connaissances	297
	Problèmes	298
	Questions de réflexion	306
4.	La couche Réseau et le routage	311
4.1	Introduction et modèles de services réseau	311
4.1.1	Modèle de services réseau	314
4.1.2	Origines des services à datagrammes et à circuits virtuels ..	318
4.2	Principes du routage	319
4.2.1	Algorithme de routage par état de lien	322
4.2.2	Algorithme de routage à vecteur de distance	326
4.2.3	Autres algorithmes de routage	335

4.3	Routage hiérarchique	336
4.4	Protocole internet (IP)	339
4.4.1	Adressage IPv4	340
4.4.2	Transport d'un datagramme de sa source à sa destination : adressage, routage et acheminement	348
4.4.3	Format d'un datagramme	351
4.4.4	Fragmentation du datagramme IP	354
4.4.5	ICMP : protocole de contrôle de messages de l'internet	357
4.4.6	Protocole DHCP	359
4.4.7	Traducteurs d'adresses réseau (NAT)	361
4.5	Routage au sein de l'internet	364
4.5.1	Système de routage interne de l'internet : protocoles RIP et OSPF	364
4.5.2	Protocole de routage inter-système : BGP	371
4.6	Qu'y a-t-il à l'intérieur d'un routeur ?	377
4.6.1	Ports d'entrée	378
4.6.2	Matrice de commutation	381
4.6.3	Ports de sortie	384
4.6.4	Où s'effectue la mise en attente ?	384
4.7	IPv6	387
4.7.1	Format des datagrammes IPv6	388
4.7.2	Passage d'IPv4 à IPv6	391
4.8	Routage multidestinataire ou multicast	394
4.8.1	Introduction : modèle multicast de l'internet et groupes multicast	395
4.8.2	Protocole IGMP	398
4.8.3	Routage multicast : cas général	403
4.8.4	Routage multicast au sein de l'internet	408
4.9	Couche Réseau et questions de mobilité	412
4.9.1	Mobilité et conception de la couche Réseau	412
4.9.2	Gestion de la mobilité	414
4.9.3	IP mobile	421
4.10	Résumé	424
	Questions et problèmes	427
	Tests de connaissances	427
	Problèmes	429

Questions de réflexion	435
Exercices de programmation	436
5. La couche Liaison et les réseaux locaux	441
5.1 Couche Liaison : introduction et services	442
5.1.1 Services procurés par la couche Liaison	443
5.1.2 Communication entre adaptateurs	445
5.2 Techniques de détection et de correction d'erreurs	447
5.2.1 Contrôles de parité	448
5.2.2 Méthodes de somme de contrôle	450
5.2.3 Contrôle par code de redondance cyclique (CRC)	451
5.3 Protocoles d'accès multiple	453
5.3.1 Protocoles de partage de canal	456
5.3.2 Protocoles d'accès aléatoire	460
5.3.3 Protocole d'accès multiple avec détection de porteuse (CSMA)	464
5.3.4 Protocoles à partage de ressources	467
5.3.5 Réseaux locaux d'entreprise	469
5.4 Adresses LAN et ARP	470
5.4.1 Adresses LAN	471
5.4.2 Protocole de résolution d'adresses (ARP)	472
5.5 Ethernet	476
5.5.1 Introduction à la technologie Ethernet	477
5.5.2 CSMA/CD : le protocole d'accès multiple d'Ethernet	482
5.5.3 Technologies Ethernet	484
5.6 Hubs, ponts et commutateurs Ethernet	488
5.6.1 Hubs	488
5.6.2 Ponts	490
5.6.3 Commutateurs Ethernet	498
5.7 Liaisons sans fil	502
5.7.1 LAN sans fil (WLAN) : la norme IEEE 802.11b	502
5.7.2 Bluetooth	507
5.8 PPP, ou protocole point-à-point	510
5.8.1 Trame de données PPP	512
5.8.2 Protocole de contrôle de liaison PPP (LCP) et protocole de contrôle de réseau (IPCP)	514

5.9	ATM : mode de transfert asynchrone	516
5.9.1	Principales caractéristiques de l'ATM	517
5.9.2	Couche Physique ATM	519
5.9.3	Couche ATM	521
5.9.4	Couche d'adaptation ATM (AAL)	522
5.9.5	IP sur ATM	524
5.10	Relais de trames et X.25	527
5.10.1	Contexte historique	527
5.10.2	Relais de trames	528
5.11	Résumé	532
	Questions et problèmes	534
	Tests de connaissances	534
	Problèmes	535
	Questions de réflexion	542
6.	Les réseaux et le multimédia	545
6.1	Applications réseau multimédias	545
6.1.1	Exemples d'applications multimédias	546
6.1.2	Obstacles rencontrés actuellement par le multimédia sur l'internet	548
6.1.3	Comment rendre l'internet plus compatible avec les applications multimédias ?	550
6.1.4	Compression audio et vidéo	552
6.2	Streaming de données audio et vidéo enregistrées	554
6.2.1	Accès aux données audio et vidéo par un serveur Web	556
6.2.2	Envoi de données multimédias d'un serveur de streaming à une application auxiliaire	558
6.2.3	Protocole de streaming en temps réel (RTSP)	561
6.3	La téléphonie sur l'internet ou comment tirer le meilleur parti du service best-effort	565
6.3.1	Limites du service best-effort	565
6.3.2	Élimination de la gigue au niveau du destinataire d'une application audio	567
6.3.3	Récupération de paquets perdus	570
6.3.4	Streaming de fichiers audio et vidéo enregistrés	573

6.4	Protocoles des applications interactives en temps réel	574
6.4.1	Protocole RTP	574
6.4.2	Protocole RTCP	579
6.4.3	Protocole SIP	581
6.4.4	Protocole H.323	587
6.5	Au-delà du service best-effort	589
6.5.1	Cas de figure n°1 : une application audio à 1 Mbit/s et un transfert FTP	590
6.5.2	Cas de figure n°2 : une application audio à 1 Mbit/s et un transfert FTP à haute priorité	591
6.5.3	Cas de figure n°3 : une application audio défaillante et un transfert FTP	592
6.5.4	Cas de figure n°4 : deux applications audio à 1,5 Mbit/s sur une liaison à 2 Mbit/s surchargée	594
6.6	Mécanismes d'ordonnancement et de contrôle	595
6.6.1	Mécanismes d'ordonnancement (scheduling)	595
6.6.2	Mécanismes de contrôle : la méthode du seau percé (leaky bucket)	599
6.7	Services intégrés	602
6.7.1	Qualité de service garanti	604
6.7.2	Service réseau à contrôle de charge	604
6.8	Protocole RSVP	605
6.8.1	Description de RSVP	605
6.8.2	Quelques cas de figure simples	607
6.9	Services différenciés	610
6.9.1	Services différenciés : un cas de figure simple	611
6.9.2	Classification et conditionnement du trafic	612
6.9.3	Comportement par bond (per-hop behaviour)	615
6.9.4	Critiques formulées à l'égard des services différenciés ...	616
6.10	Résumé	617
	Questions et problèmes	619
	Tests de connaissances	619
	Problèmes	620
	Questions de réflexion	623
	Exercice de programmation	624

7. La sécurité au sein des réseaux	629
7.1 Qu'est-ce que la sécurité de réseau ?	630
7.2 Principes fondamentaux du chiffrement	633
7.2.1 Chiffrement à clé symétrique	634
7.2.2 Cryptographie à clé publique	640
7.3 Authentification	645
7.3.1 Protocole d'authentification, version ap1.0	645
7.3.2 Protocole d'authentification, version ap2.0	646
7.3.3 Protocole d'authentification, version ap3.0	647
7.3.4 Protocole d'authentification, version ap3.1	648
7.3.5 Protocole d'authentification, version ap4.0	648
7.3.6 Protocole d'authentification, version ap5.0	649
7.4 Intégrité des messages	652
7.4.1 Création de signatures numériques	653
7.4.2 Résumés de messages	654
7.4.3 Algorithmes de hachage	656
7.5 Distribution de clés et certification	658
7.5.1 Centre de distribution de clés	660
7.5.2 Certification par clé publique	661
7.6 Contrôle d'accès : les pare-feux	665
7.6.1 Filtrage de paquets	666
7.6.2 Passerelles d'application	669
7.7 Attaques et contre-mesures	671
7.7.1 Plan d'implantation	671
7.7.2 Détecteur de paquets	672
7.7.3 Imitation malicieuse (espionnage)	673
7.7.4 Attaques en déni de service et par déni de service distribué	674
7.7.5 Piratage	675
7.8 Sécurité à travers les couches : études de cas	676
7.8.1 Messages électroniques sécurisés	677
7.8.2 Protocoles SSL et TLS	682
7.8.3 Sécurité de la couche Réseau : IPsec	686
7.8.4 Normes de sécurité relatives à l'IEEE 802.11	690
7.9 Résumé	692
Questions et problèmes	693

Tests de connaissances	693
Problèmes	694
Questions de réflexion	697
8. L'administration de réseau	701
8.1 Administration de réseau	701
8.2 Infrastructure nécessaire à l'administration de réseau	706
8.3 Cadre d'administration de l'internet	709
8.3.1 Structure des informations de gestion (SMI)	710
8.3.2 Base d'informations de gestion (MIB)	713
8.3.3 Fonctionnement de SNMP et mode de transport	717
8.3.4 Sécurité et administration	720
8.4 Notation de description abstraite ASN.1	724
8.5 Conclusion	728
Questions et problèmes	730
Tests de connaissances	730
Problèmes	731
Questions de réflexion	731
Bibliographie	735
Index	773