

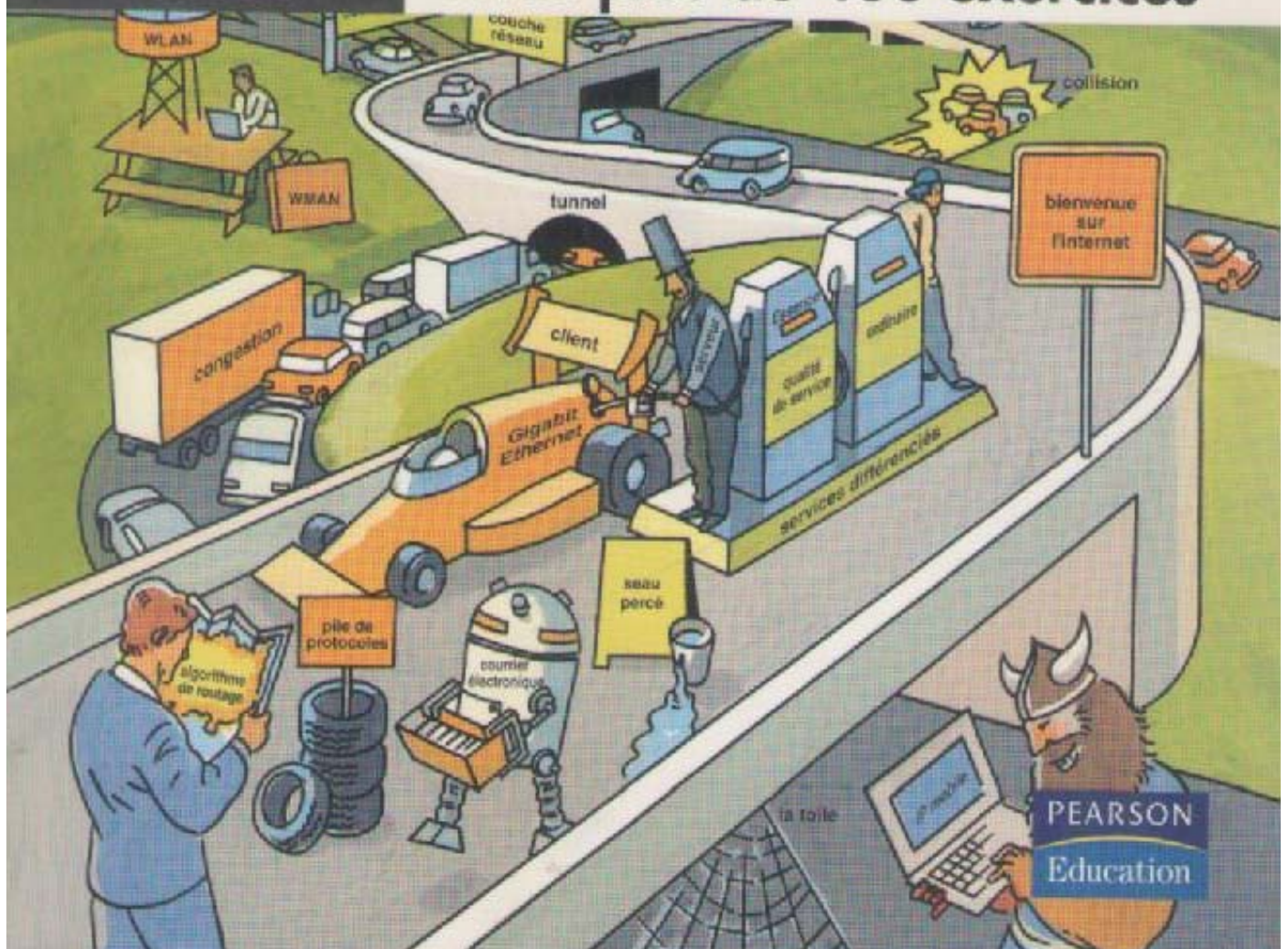


Andrew Tanenbaum

Réseaux

4^e édition

Avec plus de 400 exercices



2-004-290-1

Andrew Tanenbaum

Université libre d'Amsterdam

Réseaux



4^e édition

Traduction : Freenet Sofor Ltd, Véronique Warion,
Michel Dreyfus

Avec la contribution de Jean-Alain Hernandez et René
Joly

PEARSON
Education

Table des matières

Préface	1
1. Introduction	3
1.1 Usage des réseaux d'ordinateurs	5
1.1.1 Applications professionnelles	5
1.1.2 Applications domestiques	8
1.1.3 Utilisateurs nomades	12
1.1.4 Aspects sociaux	16
1.2 Caractéristiques physiques des réseaux	18
1.2.1 Réseaux locaux (LAN)	20
1.2.2 Réseaux métropolitains (MAN)	21
1.2.3 Réseaux longue distance (WAN)	22
1.2.4 Réseaux sans fil	25
1.2.5 Réseaux domestiques	28
1.2.6 Interréseaux	30
1.3 Logiciels de réseaux	31
1.3.1 Hiérarchies de protocoles	31
1.3.2 Principes de conception des couches	35
1.3.3 Services avec connexion et sans connexion	37
1.3.4 Primitives de service	39
1.3.5 Relations des services aux protocoles	41
1.4 Modèles de référence	42
1.4.1 Modèle de référence OSI	43
1.4.2 Modèle de référence TCP/IP	46
1.4.3 Comparaison des modèles de référence OSI et TCP/IP ...	49
1.4.4 Critique du modèle et des protocoles OSI	51
1.4.5 Critique du modèle de référence TCP/IP	53
1.5 Exemples de réseaux	54
1.5.1 L'internet	55
1.5.2 Réseaux avec connexion : X.25, relais de trames et ATM ..	64
1.5.3 Ethernet	71
1.5.4 LAN sans fil : 802.11	73

1.6	Normalisation des réseaux	76
1.6.1	Who's Who des télécommunications	77
1.6.2	Who's Who de la normalisation internationale	79
1.6.3	Who's Who de la normalisation de l'internet	81
1.7	Système métrique	83
1.8	Aperçu de la suite de cet ouvrage	84
1.9	Résumé	85
2.	La couche physique	91
2.1	Bases théoriques de la transmission des données	91
2.1.1	Analyse de Fourier	91
2.1.2	Signaux sur une bande passante étroite	92
2.1.3	Débit maximal d'un canal de transmission	95
2.2	Supports de transmission guidés : la transmission filaire	96
2.2.1	Support magnétique	97
2.2.2	Paire torsadée	97
2.2.3	Câble coaxial	99
2.2.4	Fibre optique	99
2.3	Supports de transmission non guidés : la transmission sans fil ...	107
2.3.1	Spectre électromagnétique	107
2.3.2	Transmission d'ondes radio	111
2.3.3	Transmission de micro-ondes	112
2.3.4	Transmission d'ondes infrarouges et millimétriques	116
2.3.5	Transmission d'ondes lumineuses	116
2.4	Satellites de télécommunications	118
2.4.1	Satellites géostationnaires (GEO)	119
2.4.2	Satellites à orbite moyenne (MEO)	123
2.4.3	Satellites à orbite basse (LEO)	123
2.4.4	Satellites versus fibre optique	126
2.5	Réseau téléphonique public commuté	128
2.5.1	Structure du réseau téléphonique	129
2.5.2	Orientations marquantes du système téléphonique	132
2.5.3	Desserte locale : modems, ADSL et boucle locale radio (BLR)	134
2.5.4	Artères interurbaines et multiplexage	148
2.5.5	Commutation	158

2.6	Systèmes de téléphonie mobile	164
2.6.1	Systèmes sans fil de première génération : voix analogique	166
2.6.2	Systèmes mobiles de deuxième génération : voix numérique	170
2.6.3	Systèmes mobiles de troisième génération : voix et données numériques	180
2.7	Réseau câblé de télévision	183
2.7.1	Système avec antenne collective (CATV)	183
2.7.2	L'internet par le câble	184
2.7.3	Allocation de fréquences	185
2.7.4	Modems-câble	187
2.7.5	ADSL versus le câble	189
2.8	Résumé	191
3.	La couche liaison de données	199
3.1	Fonctions de la couche liaison de données	199
3.1.1	Services fournis à la couche réseau	200
3.1.2	La notion de trames	203
3.1.3	Contrôle d'erreur	207
3.1.4	Contrôle de flux	207
3.2	Détection et correction d'erreurs	208
3.2.1	Codes correcteurs d'erreurs	209
3.2.2	Codes détecteurs d'erreurs	211
3.3	Protocoles de liaison de données élémentaires	216
3.3.1	Protocole simplex non restreint	220
3.3.2	Protocole simplex de type arrêt et attente	221
3.3.3	Protocole simplex pour un canal bruité	224
3.4	Protocoles avec fenêtre d'anticipation	227
3.4.1	Protocole à fenêtre d'une largeur de 1 bit	230
3.4.2	Protocole à fenêtre de largeur n	233
3.4.3	Protocole à rejet sélectif	239
3.5	Vérification et spécification des protocoles	245
3.5.1	Modèles d'automates à nombre d'états finis	245
3.5.2	Réseaux de Petri	249
3.6	Exemples de protocoles pour la couche liaison	251
3.6.1	HDL (High-level Data Link Control)	251
3.6.2	La couche liaison de données dans l'internet	255
3.7	Résumé	260

4. La sous-couche MAC de contrôle d'accès au canal	267
4.1 Problème d'allocation d'un canal	268
4.1.1 Allocation statique d'un canal sur les LAN et les MAN	268
4.1.2 Allocation dynamique d'un canal sur les LAN et les MAN	269
4.2 Protocoles de gestion d'accès	271
4.2.1 ALOHA	271
4.2.2 Protocoles d'accès par écoute de porteuse (CSMA)	276
4.2.3 Protocoles sans collision	280
4.2.4 Protocoles à contention limitée	283
4.2.5 Protocoles WDMA	286
4.2.6 Protocoles de LAN sans fil	290
4.3 Ethernet	293
4.3.1 Types de câblages Ethernet	294
4.3.2 Codage Manchester	297
4.3.3 Protocole de sous-couche MAC	298
4.3.4 Algorithme stochastique d'attente exponentielle	302
4.3.5 Performances d'Ethernet	303
4.3.6 Ethernet commuté	305
4.3.7 Fast Ethernet	307
4.3.8 Gigabit Ethernet	310
4.3.9 IEEE 802.2 (protocole LLC)	314
4.3.10 Rétrospective d'Ethernet	316
4.4 LAN sans fil (WLAN et Wi-Fi)	316
4.4.1 Pile de protocoles de 802.11	317
4.4.2 Couche physique de 802.11	318
4.4.3 Sous-couche MAC de 802.11	320
4.4.4 Structure d'une trame de 802.11	325
4.4.5 Services associés aux LAN sans fil	326
4.5 Sans fil à large bande (WMAN et WLL)	328
4.5.1 Comparaison de 802.11 et 802.16	328
4.5.2 Pile de protocoles de 802.16	330
4.5.3 Couche physique de 802.16	331
4.5.4 Sous-couche MAC de 802.16	333
4.5.5 Structure d'une trame de 802.16	335
4.6 Bluetooth	336
4.6.1 Architecture de Bluetooth	336
4.6.2 Applications de Bluetooth	337
4.6.3 Pile de protocoles de Bluetooth	339

4.6.4	Couche physique de Bluetooth	341
4.6.5	Couche bande de base de Bluetooth	341
4.6.6	Couche L2CAP de Bluetooth	342
4.6.7	Structure d'une trame Bluetooth	342
4.7	Commutation au niveau liaison de données	344
4.7.1	Mise en œuvre de ponts entre des LAN 802 de types différents	346
4.7.2	Interconnexion locale	348
4.7.3	Arbre recouvrant	350
4.7.4	Ponts distants	352
4.7.5	Répéteurs, hubs, ponts, commutateurs, routeurs et passerelles	352
4.7.6	LAN virtuels (VLAN)	355
4.8	Résumé	363
5. La couche réseau		371
5.1	Problèmes de conception de la couche réseau	371
5.1.1	Commutation de paquets en mode différé (store-and-forward)	371
5.1.2	Services fournis à la couche transport	372
5.1.3	Implémentation d'un service sans connexion	373
5.1.4	Implémentation d'un service avec connexion	375
5.1.5	Sous-réseau de datagrammes versus sous-réseau de circuits virtuels	376
5.2	Algorithmes de routage	378
5.2.1	Principe d'optimalité	380
5.2.2	Routage du plus court chemin	381
5.2.3	Routage par inondation	385
5.2.4	Routage par vecteur de distance	386
5.2.5	Routage par informations d'état de lien	389
5.2.6	Routage hiérarchique	396
5.2.7	Routage broadcast	398
5.2.8	Routage multicast	400
5.2.9	Routage pour les hôtes mobiles	402
5.2.10	Routage dans les réseaux ad hoc	405
5.2.11	Recherche de nœuds sur les réseaux peer-to-peer	410
5.3	Algorithmes de contrôle de congestion	415
5.3.1	Principes généraux du contrôle de congestion	417
5.3.2	Stratégies préventives contre la congestion	419
5.3.3	Contrôle de congestion sur les sous-réseaux de circuits virtuels	420

5.3.4	Contrôle de congestion sur les sous-réseaux de datagrammes	422
5.3.5	Délestage de charge	425
5.3.6	Contrôle de la gigue	427
5.4	Qualité de service	428
5.4.1	Exigences	428
5.4.2	Techniques de gestion de la qualité de service	430
5.4.3	Services intégrés	442
5.4.4	Services différenciés	445
5.4.5	Commutation par étiquettes et MPLS	448
5.5	Interconnexion de réseaux	451
5.5.1	Différences entre les réseaux	452
5.5.2	Équipements d'interconnexion	454
5.5.3	Interconnexion : modèle à circuits virtuels concaténés ...	455
5.5.4	Interconnexion : modèle à datagrammes	457
5.5.5	Technique du tunnel	458
5.5.6	Routage dans un interréseau	460
5.5.7	Fragmentation	461
5.6	Couche réseau dans l'internet	465
5.6.1	Protocole IP	467
5.6.2	Adresses IP	471
5.6.3	Protocoles de contrôle de l'internet	484
5.6.4	Protocole OSPF	490
5.6.5	Protocole BGP	495
5.6.6	Diffusion multicast sur l'internet	498
5.6.7	Protocole IP mobile	499
5.6.8	Protocole IPv6	501
5.7	Résumé	511
6.	La couche transport	519
6.1	Service transport	519
6.1.1	Services fournis aux couches supérieures	519
6.1.2	Primitives du service transport	521
6.1.3	Sockets de Berkeley	525
6.1.4	Exemple de programmation d'un socket : un serveur de fichiers internet	526
6.2	Éléments de protocoles de transport	530
6.2.1	Adressage	532

6.2.2	Établissement d'une connexion	535
6.2.3	Libération d'une connexion	540
6.2.4	Contrôle de flux et mémorisation	544
6.2.5	Multiplexage	548
6.2.6	Reprise après incident	549
6.3	Protocole de transport simple	551
6.3.1	Exemple de primitives	551
6.3.2	Exemple d'entité de transport	553
6.3.3	Protocole en tant que machine à états finis	560
6.4	Protocoles de transport internet : UDP	563
6.4.1	Introduction à UDP	564
6.4.2	RPC : appel de procédure à distance	565
6.4.3	Protocole de transport en temps réel	567
6.5	Protocoles de transport internet : TCP	570
6.5.1	Introduction à TCP	571
6.5.2	Modèle de service TCP	571
6.5.3	Protocole TCP	574
6.5.4	En-tête du segment TCP	575
6.5.5	Établissement d'une connexion TCP	578
6.5.6	Libération de la connexion TCP	579
6.5.7	Gestion de la connexion TCP	580
6.5.8	Politique de transmission de TCP	582
6.5.9	Contrôle de la congestion par TCP	586
6.5.10	Gestion des timers TCP	589
6.5.11	TCP et UDP sans fil	592
6.5.12	TCP transactionnel	594
6.6	Problèmes de performances	596
6.6.1	Problèmes de performances dans les réseaux	597
6.6.2	Mesure des performances d'un réseau	599
6.6.3	Conception de systèmes plus performants	602
6.6.4	Traitement rapide des TPDUs	606
6.6.5	Protocoles des réseaux gigabits	609
6.7	Résumé	613
7.	La couche application	621
7.1	DNS (Domain Name System)	621
7.1.1	Espace de noms du système DNS	622
7.1.2	Enregistrements de ressources	624
7.1.3	Serveurs de noms	628

7.2	Messagerie électronique	630
7.2.1	Architecture et services	632
7.2.2	Agent utilisateur	634
7.2.3	Formats de messages	637
7.2.4	Transfert de messages	645
7.2.5	Remise finale	648
7.3	La Toile (World Wide Web)	654
7.3.1	Présentation de l'architecture	656
7.3.2	Documents Web statiques	674
7.3.3	Documents Web dynamiques	688
7.3.4	Protocole HTTP	696
7.3.5	Amélioration des performances	702
7.3.6	Web sans fil	709
7.4	Multimédia	721
7.4.1	Introduction à l'audio numérique	721
7.4.2	Compression audio	723
7.4.3	Streaming audio	726
7.4.4	Radio sur l'internet	730
7.4.5	Voix sur IP	733
7.4.6	Introduction à la vidéo	741
7.4.7	Compression vidéo	744
7.4.8	Vidéo à la demande	753
7.4.9	MBone	760
7.5	Résumé	764
8.	La sécurité des réseaux	771
8.1	Cryptographie	774
8.1.1	Introduction à la cryptographie	775
8.1.2	Chiffres de substitution	778
8.1.3	Chiffres de transposition	779
8.1.4	Masques jetables (one-time pad)	781
8.1.5	Les deux principes fondamentaux de la cryptographie ...	785
8.2	Algorithmes à clé symétrique	787
8.2.1	DES : le standard de chiffrement de données	789
8.2.2	AES (Advanced Encryption Standard)	792
8.2.3	Modes de chiffrement	796
8.2.4	Autres chiffrements	802
8.2.5	Cryptanalyse	802
8.3	Algorithmes à clé publique	803
8.3.1	RSA	804
8.3.2	Autres algorithmes à clé publique	806

8.4	Signatures numériques	806
8.4.1	Signatures à clé symétrique	807
8.4.2	Signatures à clé publique	808
8.4.3	Condensats de messages	810
8.4.4	Attaque de l'anniversaire	814
8.5	Gestion des clés publiques	817
8.5.1	Certificats	817
8.5.2	X.509	819
8.5.3	Infrastructures de clés publiques	821
8.6	Sécurité des communications	824
8.6.1	IPsec	824
8.6.2	Gardes-barrières	829
8.6.3	Réseaux virtuels privés	832
8.6.4	Sécurité des transmissions radio	834
8.7	Protocoles d'authentification	839
8.7.1	Authentification fondée sur une clé secrète partagée	840
8.7.2	Établissement d'une clé partagée : l'échange de clés de Diffie-Hellman	845
8.7.3	Authentification à l'aide d'un centre de distribution de clés	847
8.7.4	Authentification au moyen de Kerberos	850
8.7.5	Authentification par cryptographie à clé publique	852
8.8	Sécurité du courrier électronique	853
8.8.1	PGP (Pretty Good Privacy)	853
8.8.2	PEM, Privacy Enhanced Mail (courrier personnel amélioré)	858
8.8.3	S/MIME	859
8.9	Sécurité du Web	859
8.9.1	Menaces	860
8.9.2	Appellations sécurisées	861
8.9.3	SSL (Secure Sockets Layer)	869
8.9.4	Sécurité des pages dynamiques	873
8.10	Problèmes sociaux	876
8.10.1	Vie privée	876
8.10.2	Liberté d'expression	879
8.10.3	Copyright	883
8.11	Résumé	886
	Bibliographie	893
	Index	895