

Jean-François
Susbielle

Internet multimédia et temps réel

Réseaux haut débit - terminaux fixes et mobiles
routage et QoS - voix et audio/vidéo sur IP

- ▶ Réseaux : WDM, Sonet, Frame Relay, VPN, Ethernet, ATM
- ▶ Accès : ADSL, câble, GPRS, UMTS, LMDS, Bluetooth, satellites
- ▶ Terminaux : mobiles, PDA, WebPhones, WebTV, compression
- ▶ Routage et QoS : MPLS, DiffServ, RTP, RSVP, WFQ, IPv6
- ▶ Convergence : WAP, SS7, H.323, SIP, Megaco, T.120
- ▶ Applications : voix et fax sur IP, CTI, centres d'appels Web
- ▶ Streaming media : RealAudio, MP3, radios et TV interactives

Table des matières

AVANT-PROPOS	1
CHAPITRE 1 : À LA CONQUÊTE DU TEMPS RÉEL	1
1. On a parlé sur l'Internet	1
1.1. Du courrier au multimédia.....	2
Historique	2
Applications : les trois âges de l'Internet	12
L'informatique centrée sur le réseau	19
Les chiffres de l'Internet	21
1.2. L'histoire du temps réel	21
Le temps des pionniers : 1974 – 1995	22
Les logiciels PC-to-PC : 1995 – 1996	24
Le temps des passerelles : 1997 – 1999	36
Et maintenant ? câble, sans fil, terminaux et applications intégrées	41
2. Le Protocole Internet	42
2.1. Paquets contre circuits	42
La philosophie de l'Internet	42
La commutation de paquets.....	45
La commutation de circuits	50
Le routage dans l'Internet.....	52
2.2. Protocoles et adressage	55
IP version 4.....	55
IP version 6.....	59
UDP plutôt que TCP.....	63
L'adressage multicast.....	66
3. Les défauts de la transmission IP	72
Les principaux défauts.....	72
3.1. Les contraintes de temps : le délai et la gigue	74
La problématique du délai	74

L'analyse du délai	78
Réduire le délai	82
La gigue et la synchronisation	83
3.1 Les pertes de paquets.....	89
La congestion des routeurs.....	90
TTL dépassé.....	90
Arrivée hors délai (drop-out)	91
4. Les organismes de standardisation	91
4.1. Contrôler les standards	92
Participer aux instances de régulation.....	93
L'interopérabilité.....	94
Les différentes structures	95
4.2. Les organismes officiels	95
IETF : la normalisation de l'Internet	96
L'ISO : International Organisation for Standardization	98
L'ITU : International Telecommunication Union.....	99
L'ETSI : European Telecommunications Standard Institute	99
L'IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers	101
L'ECMA : European Computer Manufacturers Association	101
4.3. Les consortiums.....	101
Signalisation, technologies.....	102
Interopérabilité	104
Mobiles.....	106
Le World Wide Web Consortium.....	106

CHAPITRE 2 : RÉSEAUX ET ACCÈS 107

IP par-dessus tout	107
Vers le « large bande ».....	108
La conquête du dernier kilomètre	109
Téléphonie IP sur le câble.....	110
Multimédia IP sur réseaux mobiles.....	112
1. IP sur les réseaux optiques	114
1.1. WDM : des ressources illimitées.....	114
Le multiplexage en longueur d'onde	115
Réseaux et marchés.....	116
WDM dans l'air.....	117
1.2. IP sur SONET/SDH.....	118
SONET	118
SDH : Synchronous Digital Hierarchy	119
IP over SONET	120
1.3. IP to light : IP sur WDM	121
1.4. La commutation optique.....	122
2. Les réseaux WAN et LAN	123
2.1. L'ATM	124
Un réseau unificateur	124
La commutation de cellules	125
Architecture ATM.....	127
Les classes de services	127
L'avenir d'ATM : mode natif ou service de transport ?	129
2.2. Le Relais de Trames : Frame Relay	131

Origines et description.....	131
Fonctionnement.....	131
Le contrat de bande passante.....	133
Voice over FR.....	133
2.3. VPN : Virtual Private Network.....	134
Le Tunneling : principe.....	135
Accès et réseaux.....	135
Les protocoles des VPN.....	136
2.4. Les réseaux Ethernet.....	137
Description.....	137
Le Gigabit Ethernet : 1000BaseT.....	138
L'Ethernet commuté.....	139
QoS sur réseau locaux.....	139
2.5. Les nouvelles générations de routeurs.....	140
Augmentation du trafic externe.....	140
Routeurs Terabits et Switches rapides L3.....	140
3. Les boucles d'accès filaires.....	142
Les trois types d'accès.....	142
3.1. Fil de cuivre bande étroite : modem et RNIS.....	143
Le modem téléphonique.....	143
Le RNIS.....	146
3.2. ADSL : le fil de cuivre large bande.....	147
La technologie xDSL : Digital Subscriber Line.....	147
Débits et technologies.....	149
Adaptation du réseau à xDSL.....	151
Le marché du xDSL.....	152
G.Lite ADSL : interopérabilité et simplicité.....	152
3.3. Le câble.....	154
Architecture.....	154
Le standard PacketCable/DOCSIS : IP sur le câble.....	156
Le marché du modem câble.....	160
Modem câble ou xDSL ?.....	162
3.4. IP sur le réseau électrique.....	162
Digital PowerLine.....	163
Marchés, avantages.....	164
Réseau local sur le circuit électrique.....	164
4. Les accès sans fil.....	164
4.1. Le sans fil fixe : la boucle locale radio.....	165
LMDS : Local Multipoint Distribution Service.....	166
DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications).....	168
PHS : Personal Handyphone System.....	168
Bluetooth : le sans fil de proximité.....	168
Ethernet sans fil : IEEE 802.11.....	169
4.2. Le sans fil mobile : du GSM à l'UMTS.....	170
Les générations de téléphonie mobile.....	170
HSCSD, GPRS, EDGE : évolutions vers la génération 3.....	173
Entreprise : le mariage GSM et VoIP.....	174
UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.....	175
4.3. Les satellites.....	177
Le satellite géostationnaire.....	177

Le satellite en orbite basse	178
Les satellites de téléphonie	181
Les satellites de diffusion de données multimédias	181
4.4. Les émetteurs stratosphériques	183
Sky Station	183
Skynet	185
Comparaison Satellite LEO – Ballon stratosphérique	185
5. Les bus numériques	186
5.1. IEEE 1394	186
IEEE 1394 et le connecteur FireWire	186
Vitesses	186
Nombre de nœuds	187
Adressage	187
IP over 1394	188
5.2. USB : Universal Serial Bus	188
Description	188
Comparaison 1394 et USB	188

CHAPITRE 3 : TERMINAUX ET GATEWAYS 189

1. La gateway RTC/IP	190
1.1. Introduction	190
Les différents types de gateways	192
Les fonctions	192
Deux utilisations principales	192
1.2. Structure fonctionnelle	195
Les éléments fonctionnels	195
Signalisation : SS7, H.323, SIP	197
Écho, bruit de confort, et fax	199
Fonctions de gestion, applications	200
1.3. Performances	200
Le débit de sortie	201
Délais et pertes de paquets	201
Compression d'en-têtes	203
Les générations de gateways	203
1.4. Construction	204
Gateways d'entreprises : intégrées aux PABX, aux routeurs, ou séparées ?	205
Structure d'une gateway	207
Système d'exploitation	210
1.5. Offres et marchés	212
Le marché des gateways	212
Les spécifications techniques d'une gateway	212
Segmentation de l'offre	213
2. Le terminal multimédia IP	214
2.1. Formes et technologies	214
Changement d'époque	215
Classement des terminaux	216
Les systèmes d'exploitation pour terminaux multimédias	227
2.2. Structure du terminal de téléphonie IP	234
Le PC multimédia	234
Les gateways résidentielles	242

Le Web-Phone ou Screen-Phone.....	245
L'IP-Phone	247
2.3. Les terminaux mobiles.....	248
Vers le Media Phone	249
WAP : Wireless Application Protocol	254
Formatage et stockage des données.....	259
3. La compression du signal	260
3.1. La compression audio	261
La numérisation	261
Les techniques de compression	264
Les différents codeurs	266
Compression des silences et bruit de confort	269
3.2. Choisir un codec audio	271
Le compromis taille/délai/débit.....	271
La qualité audio	274
Standardisation et brevets.....	277
Quelques directions pour les codecs audio de téléphonie	279
3.3. La compression vidéo	280
La qualité vidéo	280
La compression des images.....	282
Les standards de compression	283

CHAPITRE 4 : LA QUALITÉ DE SERVICE 289

1. Vers l'Internet multimédia.....	289
1.1. Les conditions de la Qualité de Service.....	290
Quelques recettes simples	290
Les stratégies de QoS	291
La connexion entre sous-réseaux	292
1.2. Tableau des solutions.....	292
Stratégies « de bout en bout » et stratégies « réseau »	293
L'Internet multimédia est-il plus « intelligent » ?	294
2. RTP, le Real-time Transport Protocol	296
Le développement du protocole RTP	296
2.1. Les grandes fonctions de RTP	297
Faciliter la transmission temps réel	297
Ce que RTP ne fait pas	298
2.2. Description du protocole RTP	300
Principes fondamentaux et lexique.....	300
Structure des champs fixes de l'en-tête RTP	304
Extension de l'en-tête RTP.....	307
2.3. RTCP, protocole de contrôle de RTP	308
Les principes de base.....	308
Le format des paquets RTCP.....	309
La fréquence de transmission des paquets RTCP, la « reconsidération »	309
2.4. RTCP : rapports de réception (SR, RR)	311
Description	311
Le rapport émetteur : SR (Sender's Report).....	312
Le rapport récepteur : RR.....	314
Extension des rapports émetteur (SR) et récepteur (RR)	315

Analyse des rapports émetteur et récepteur	315
2.5. RTCP : description de la source SDES	315
Structure générale d'un paquet SDES.....	315
Le nom permanent : CNAME (Canonical Name) de SDES.....	316
Le nom d'utilisateur : NAME	317
Adresse e-mail : EMAIL.....	317
Numéro de téléphone : PHONE.....	318
Localisation géographique de l'usager : LOC	318
Nom d'application ou d'outil : TOOL	318
Extension privée : PRIV	318
Note spéciale : NOTE	319
2.6. RTCP : paquets « BYE » et « APP »	319
Le paquet « au revoir » : BYE	319
Le paquet spécifique d'une application : APP.....	320
2.7. L'avenir de RTP	320
3. Les stratégies de « bout en bout »	321
3.1. Restaurer le signal	321
Synchronisation.....	321
Boucher les trous.....	322
3.2. FEC, redondance et adaptation.....	323
La redondance FEC en flux séparé	323
La redondance FEC dans les paquets de contenu	324
Efficacité et limites	326
Les stratégies adaptatives.....	328
3.3. La compression d'en-tête	329
La pile d'en-têtes temps réel	329
Principe : éliminer la redondance.....	331
Fonctionnement.....	332
En-tête compressé	332
4. RSVP : la réservation de ressources	333
4.1. Présentation	334
Historique	334
Principe	336
RSVP est-il un protocole de type télécoms ?	337
Les limitations de RSVP	338
Les transitions entre réseaux	340
4.2. Fonctionnement	340
Architecture.....	340
Les types réservations	342
Composer une requête RSVP.....	343
La question du routage.....	343
Agrégation.....	345
4.3. Structure des messages.....	345
Catégories de messages.....	345
En-têtes RSVP.....	346
Contenu des messages RSVP.....	347
5. Classes de Services et files d'attente	348
5.1. Les services différenciés	349
La philosophie DiffServ	349
Fonctionnement.....	349
Les Classes de services	352

Correspondance des CoS entre elles	353
Gestion de la bande passante.....	353
5.2. Champs de classes de services, CoS.....	353
Octet TOS de l'en-tête IPv4	354
Indice de priorité d'IPv6.....	355
IEEE 802.1p : indice de priorité sur réseau local.....	356
5.3. La gestion des files d'attente	358
Les files d'attente	358
Interface de sortie	364
Taille des buffers de file d'attente	364
Le rejet sélectif de paquets	365
6. Du routage à la commutation.....	368
6.1. Rationaliser le routage	368
Les redondances de routage	369
Les traitements.....	370
Un routage basé sur la QoS	370
QOSPF : Quality Of Service Path First, le routage QoS.....	371
NHRP : Next Hop Resolution Protocol.....	372
BGP : routage entre sous-domaines	372
Agrégation	373
6.2. Commutation de labels et tags.....	373
Commutation IP sur la couche 2 (ATM).....	374
Le Tag Switching de Cisco	375
MPLS : Multi-Protocol Label Switching	376
6.3. La gestion globale du trafic	382
NetFlow de Cisco	382
Contrôle de trafic, Packet Shaping.....	383

CHAPITRE 5 : LA SIGNALISATION..... 385

1. Protocoles de signalisation.....	385
1.1. Historique.....	385
Vers un standard commun	386
Que fait l'IETF ?	387
H.323 : la longue marche vers l'interopérabilité.....	389
MGCP : le contrôle des gateways	392
JAIN : Java in Advanced Intelligent Network	393
1.2. Quels protocoles pour la téléphonie IP ?	394
Tous les protocoles de signalisation.....	394
Comparaisons	395
2. SS7 : réseaux intelligents	398
2.1. Présentation.....	398
Le CTI à grande échelle	398
L'architecture de réseaux intelligents IN, Intelligent Networks	399
2.2. Structure d'un réseau SS7.....	400
Les couches de référence.....	401
La signalisation ISUP	402
Exemples de services réalisés avec SS7.....	403
3. H.323 de l'ITU	404
3.1. Présentation.....	404

Historique	404
Fonctionnalités	406
Interopérabilité entre réseaux	408
Protocoles de transport	409
3.2. La zone H.323	410
Le terminal	410
La gateway	412
Le gatekeeper	413
Le MCU : l'Unité de Contrôle Multipoint (Multipoint Control Unit)	416
T.120, le contrôle de conférence	419
H.323 Version 2 : première évolution	421
H.323 Version 3 (mai 1999)	422
3.3. Les limitations de H.323	425
La traversée des firewalls	425
Temps d'établissement de l'appel	426
Signalisation DTMF et tonalités	427
Interopérabilité	427
Authentification, facturation	427
4. SIP : Session Initiation Protocol	427
4.1. Présentation	428
Éléments de base	428
Mobilité personnelle	430
Transport	431
Intégration aux autres protocoles de l'Internet	432
L'adressage SIP	432
4.2. Les messages SIP	434
Les requêtes	435
Les réponses	440
Confidentialité	445
SDP : Session Description Protocol	446
Exemple d'utilisation de SIP	447
4.3. Comparaison entre H.323 et SIP	449
5. MGCP-MEGACO : Media Gateway Control	452
5.1. Présentation	453
Historique	453
La genèse de MGCP	454
Les avantages de MGCP	455
Architecture	456
5.2. Les commandes MGCP	459
Description	459
Codes de réponses et d'erreurs	466
Adresses	467
5.3. MGCP face à H.323 et SIP	468
Comparaison entre MGCP et H.323	468
Interface MGCP/H.323	474
Interface MGCP/SIP	477
MEGACO, le protocole de l'IETF	479

CHAPITRE 6 : APPLICATIONS TEMPS RÉEL483

1. La convergence484

Les scénarios de la convergence	484
Convergence des technologies	485
1.1. Les avantages économiques	487
Utilisation rationnelle de la bande passante	487
Investissements, maintenance	488
1.2. Avantages structurels	490
IP over everything : intégration des réseaux	490
Architecture distribuée	491
« Voice is data »	492
« Everything over IP » : intégration des applications ?	492
Un terminal intelligent	495
Supériorité du codage	496
Quelques défauts structurels d'IP	497
Conclusions : quelle convergence ?	498
1.3. Les constructeurs et la convergence	499
Le nouveau paysage voix-données	499
Les regroupements de compétences	500
La guerre Lucent-Cisco	503
2. Téléphonie longue distance	504
Historique de la téléphonie	505
2.1. Les marchés et applications	506
Un marché de première ligne ?	506
Quelle clientèle pour la téléphonie sur IP ?	508
Les services Phone-to-Phone sont-ils encore concurrentiels ?	511
Le toll bypass : la connexion PABX-to-PABX	516
2.2. Opérateurs Phone-to-Phone	518
Les catégories d'opérateurs VoIP	518
La gestion des compensations : clearinghouse	522
Grossistes, bourse aux minutes, roaming	525
La structure de coûts des opérateurs de téléphonie IP	526
Le plan de numérotation	528
Réguler la téléphonie IP ?	530
Localisation des gateways	534
2.3. La téléphonie IP de bout en bout	535
Des connexions permanentes	536
Les messageries instantanées : la téléphonie IP intelligente	537
Les principales messageries instantanées	543
Les services à valeur ajoutée	547
Les communautés en réalité virtuelle	550
La confidentialité des communications	552
3. Le fax sur IP	553
3.1. Avantages économiques	554
Introduction	554
Les chiffres du fax	557
Pourquoi le fax reste-t-il populaire ?	558
Quel est l'avenir du fax ?	560
Les marchés du fax sur IP	562
3.2. Le fonctionnement temps réel T.38	563
La transmission entre le fax G3 et la gateway : le protocole T.30	563
La transmission entre gateways	564

3.3. Le mode « Store and Forward » T.37	568
Numérotation.....	568
Transport du fax sur IP.....	569
Le destinataire	569
L'accusé de réception.....	570
4. Entreprise : VoIP contre CTI	571
4.1. Le CTI	571
La lente conquête de la téléphonie	572
L'arrivée du CTI	575
4.2. VoIP : voix sur le réseau de données	580
Le softswitch ou IP-BX.....	581
Des applications natives.....	583
L'arbitrage avantages-risques	585
4.3. TAPI 3.0 et les API de téléphonie	588
Les différentes interfaces	589
TAPI 3.0.....	590
Fonctionnalités de TAPI 3.0	592
Utiliser les objets TAPI.....	592
H.323 TSP	594
Conférences IP multicast	595
TAPI 3.0 et la Qualité de Service	598
Exemple de syntaxe : TAPI 3.0	599
5. La téléphonie et le Web.....	600
5.1. Architecture	602
Une seule ligne sans VoIP	602
VoIP sur la boucle locale	604
Gateway dans le centre d'appels, PC-to-Phone	606
VoIP de bout en bout	608
Deux lignes séparées	610
5.2. Le centre d'appels sur le Web	611
Qu'est-ce qu'un centre d'appels ?.....	611
Structure d'un centre d'appels	613
Le marché du Call Center	615
Web et commerce électronique.....	616
Intégrer la téléphonie au site Web.....	617
Un vendeur sur le Web.....	619
L'agent virtuel.....	620

CHAPITRE 7 : MÉDIAS EN FLUX CONTINUS STREAMING MEDIAS.....621

1. Fonctionnement	621
1.1. Architecture	622
Les différents éléments	622
Temps réel	624
Avec ou sans logiciel serveur ?.....	625
Le transport	627
1.2. Gérer les congestions.....	630
Les contraintes	630
Buffer de débit.....	631
Protéger les flux TCP.....	634
1.3. Marchés	636

Le multimédia IP à la demande	637
Nouveaux métiers	638
La concurrence du MIDI	640
L'interactivité grand public	641
L'ubiquité : les Web Cams	642
2. La distribution de musique	643
2.1. MP3 : MPEG Layer 3	645
Un nouveau modèle économique	645
Fonctionnement de MP3	648
MPEG-2 AAC : Advanced Audio Coding	651
MPEG-4	651
Quel avenir pour MP3 ?	652
Concurrents	654
2.2. SDMI : Secure Digital Music Initiative	657
Urgence	657
SDMI : le respect des droits d'auteurs	659
Les principes de fonctionnement de SDMI	661
Quel avenir pour SDMI ?	664
3. Les logiciels de diffusion	664
3.1. Real Networks	664
Présentation	667
Les technologies	668
Les marchés	671
3.2. Windows Media	671
Présentation	671
Gestionnaire de droits : Windows Media Rights Manager	673
Adaptation du débit : Intelligent Streaming	675
Les différents codecs	676
L'encodage Windows Media Services	677
4. Protocoles et langages	678
4.1. SMIL : la synchronisation multimédia	678
Présentation	678
Architecture	680
5. RTSP : le Real-time Streaming Protocol	682
Présentation	682
Fonctionnalités	684
Les messages RTSP	686
Les requêtes	688
Les réponses	691
ANNEXE : POUR EN SAVOIR PLUS	695
GLOSSAIRE	705
INDEX	713