

---

# Table des matières

---

<b>Préface</b> . . . . .	15
Jean-Jacques DAMLAMIAN	
<b>Introduction</b> . . . . .	17
<b>Chapitre 1. Les fondamentaux</b> . . . . .	19
1.1. Les différentes catégories de réseau . . . . .	19
1.1.1. Définitions classiques . . . . .	19
1.1.2. Réseau national et liaisons internationales . . . . .	21
1.1.3. Exploitants de réseaux et opérateurs . . . . .	22
1.1.4. Rôle économique des MVNO et des VNO . . . . .	24
1.1.5. Réseau public et réseaux privés. . . . .	25
1.1.6. Réseau fixe et réseau radioélectrique . . . . .	25
1.1.7. Principaux exploitants mondiaux. . . . .	26
1.1.8. Projet de réseau paneuropéen . . . . .	26
1.1.9. Office européen unique de réglementation des télécommunications . . . . .	27
1.1.10. Mutualisation des infrastructures de réseau . . . . .	27
1.1.11. Consommation en énergie des systèmes de communication . . . . .	28
1.2. Aspects financiers liés aux réseaux . . . . .	28
1.2.1. Etudes économiques en télécommunications. . . . .	28
1.2.2. Prix de revient . . . . .	29
1.2.3. Mécanismes financiers impliqués . . . . .	30
1.2.4. Coût des réseaux et charges des exploitants . . . . .	31
1.2.5. La rente cachée des exploitants de réseaux historiques . . . . .	31
1.3. Survol historique du marché des communications . . . . .	32

1.3.1. Le monde industriel français . . . . .	32
1.3.2. Composants d’hier et d’aujourd’hui . . . . .	33
1.3.3. Composants de demain. . . . .	34
1.3.4. Historique des exploitants de réseaux . . . . .	36
1.3.5. Financements des réseaux . . . . .	37
1.3.6. Réglementations nationale et internationale . . . . .	37
1.4. Techniques de réseau . . . . .	38
1.4.1. Analogique et numérique . . . . .	38
1.4.2. Commutation de circuits . . . . .	40
1.4.3. Commutation de données par paquets et Internet . . . . .	41
1.4.4. Intelligence de réseau et NGN . . . . .	42
1.4.5. Portée et disponibilité des réseaux . . . . .	43
1.4.6. Confidentialité. . . . .	43
1.5. Choix ouverts aux entreprises dans un monde en mouvement . . . . .	44
1.5.1. Les PME face aux TIC. . . . .	44
1.5.2. Les PME face au choix de connexions . . . . .	45
1.5.3. Facteurs de choix de connexion pour l’entreprise . . . . .	45
1.6. Résumé . . . . .	46

**Chapitre 2. Techniques de communication . . . . . 47**

2.1. Paramètres de transmission . . . . .	47
2.1.1. Les gammes de fréquences en transmission . . . . .	48
2.1.2. Affaiblissement . . . . .	48
2.1.3. Phase, gigue et latence . . . . .	49
2.1.4. Bruit et diaphonies . . . . .	50
2.1.5. Synchronisation . . . . .	50
2.1.6. Echos . . . . .	50
2.1.7. Microcoupures. . . . .	50
2.1.8. Taux d’erreurs sur les éléments binaires . . . . .	50
2.2. Modulations et codages. . . . .	51
2.2.1. Principaux types de modulation . . . . .	51
2.2.2. Multiplexage en fréquence ( <i>Frequency Division Multiplexing</i> , FDM) . . . . .	51
2.2.3. Multiplexage en longueur d’onde ( <i>Wave Division Multiplexing</i> , WDM) . . . . .	51
2.2.4. Multiplexage dans le temps ( <i>Time Division Multiplexing</i> , TDM). . . . .	52
2.2.5. Codages de source et codage de canal. . . . .	52
2.2.6. Contrôle d’erreur . . . . .	53
2.3. Commutation . . . . .	55

---

2.4. Signalisation dans les réseaux . . . . .	56
2.5. Protocoles et exploitation des données . . . . .	56
2.5.1. Informations à transmettre . . . . .	56
2.5.2. Exploitation des liaisons numériques . . . . .	57
2.5.3. Modes de communication . . . . .	58
2.5.4. Débit d'une liaison numérique . . . . .	60
2.6. Le « modèle OSI » . . . . .	60
2.6.1. Définition des protocoles de communication . . . . .	61
2.6.2. Principe du modèle OSI . . . . .	61
2.6.3. Les sept couches du modèle OSI . . . . .	62
2.6.4. Evolution du modèle OSI . . . . .	64
2.6.5. Architecture de communication de l'information (ICA) . . . . .	64
2.6.6. Les couches 1 et 2 des réseaux WAN . . . . .	65
2.6.7. La couche 3 dans les WAN . . . . .	66
2.6.8. L'ensemble TCP/IP et UDP/IP . . . . .	67
2.6.9. Encapsulation . . . . .	70
2.6.10. Protocoles de réseau associés à IP . . . . .	71
2.7. Réseau local d'entreprise (LAN) . . . . .	74
2.7.1. PBX et LAN . . . . .	74
2.7.2. Fonctions du PBX . . . . .	74
2.7.3. Le LAN . . . . .	75
2.7.4. Structure de réseau d'entreprise . . . . .	75
2.7.5. Construction d'un réseau privé d'entreprise . . . . .	76
2.7.6. Organisation d'un réseau d'entreprise . . . . .	77
2.7.7. Pont audio-vidéo . . . . .	77
2.7.8. Principaux protocoles de LAN . . . . .	78
2.8. Les réseaux publics de données (WAN) . . . . .	81
2.8.1. Caractéristiques fonctionnelles . . . . .	81
2.8.2. La téléinformatique sur RTPC . . . . .	82
2.8.3. Protocoles de réseau WAN . . . . .	83
2.8.4. Les routeurs . . . . .	84
2.8.5. Le réseau d'accès et le WAN . . . . .	84
2.9. Gestion de réseau . . . . .	85
2.10. Résumé . . . . .	85
<b>Chapitre 3. Supports de transmission . . . . .</b>	<b>87</b>
3.1. Description des supports . . . . .	87
3.1.1. Câbles métalliques à paires ou à quartes . . . . .	87
3.1.2. Câbles coaxiaux . . . . .	88
3.1.3. Fibre optique . . . . .	88

3.1.4. Systèmes radioélectriques . . . . .	88
3.1.5. Connectique audio-vidéo . . . . .	89
3.2. Systèmes numériques d'accès radioélectrique . . . . .	90
3.2.1. Systèmes radioélectriques publics 2 et 3G . . . . .	91
3.2.2. LTE, WiMAX et 4G . . . . .	93
3.2.3. Réseaux Wi-Fi. . . . .	99
3.2.4. Réseau à petites cellules radioélectriques (SCN, <i>microcells</i> ) . . . . .	101
3.2.5. Réseaux hétérogènes HetNet . . . . .	103
3.2.6. <i>Software Defined Networks</i> SDN et SUN. . . . .	103
3.2.7. SON ( <i>Self Organizing Networks</i> ). . . . .	104
3.2.8. TETRA et la PMR . . . . .	105
3.2.9. Desserte du RAN ( <i>Cellular Backhaul Links</i> ). . . . .	106
3.2.10. Réseau Internet par satellite dédié . . . . .	107
3.3. Les systèmes ADSL. . . . .	107
3.4. Courants porteurs en ligne (CPL). . . . .	109
3.5. Réseaux d'accès composites. . . . .	109
3.5.1. Fibre commune et fibres divisées FTTx. . . . .	109
3.5.2. Raccordement par une seule fibre optique . . . . .	111
3.5.3. Association fibre et paires métalliques PON . . . . .	112
3.5.4. Association fibre et câble coaxial HFC . . . . .	113
3.5.5. Associations fibre et systèmes radioélectriques . . . . .	113
3.5.6. VPN en IP ou en Ethernet . . . . .	113
3.6. Structures particulières de réseau . . . . .	114
3.6.1. Architecture IPX de la GSMA . . . . .	114
3.6.2. Réseaux de livraison de contenu (CDN) . . . . .	116
3.7. Rappel des débits possibles . . . . .	116
3.7.1. Liaisons numériques à grande distance . . . . .	116
3.7.2. Liaisons numériques du réseau d'accès . . . . .	117
3.7.3. Panorama des hauts débits. . . . .	117
3.8. Réglementations à observer par l'exploitant . . . . .	118
<b>Chapitre 4. Protocoles de réseau . . . . .</b>	<b>119</b>
4.1. Problèmes à résoudre . . . . .	119
4.1.1. La double dualité des réseaux. . . . .	119
4.1.2. La diversité des terminaux. . . . .	120
4.1.3. Le foisonnement d'applications . . . . .	120
4.1.4. L'augmentation du volume de trafic . . . . .	121
4.1.5. Le sentiment permanent d'insécurité . . . . .	122
4.2. Commutation de circuits et intelligence du réseau . . . . .	122
4.2.1. Le RTPC (réseau téléphonique public commuté) . . . . .	122

4.2.2. Le RNIS (réseau numérique à intégration de service) . . . . .	124
4.2.3. La commutation de circuits . . . . .	125
4.2.4. Le « réseau intelligent » (1980) . . . . .	126
4.3. Réseau de données à commutation par paquets (RDCP) . . . . .	127
4.3.1. RDCP : paquets et datagrammes . . . . .	127
4.3.2. Adressage IPv4 . . . . .	128
4.3.3. Adressage IPv6 . . . . .	129
4.3.4. La mutation IPv4 vers IPv6 . . . . .	129
4.3.5. Adoption d'IPv6 . . . . .	130
4.3.6. La marche forcée vers IPv6 . . . . .	131
4.4. Les NGN et l'IMS ( <i>IP Multimedia Subsystem</i> ) . . . . .	133
4.4.1. Définitions . . . . .	133
4.4.2. Principe de l'IMS . . . . .	134
4.4.3. Caractéristiques de l'IMS . . . . .	137
4.4.4. Le protocole SIP . . . . .	138
4.4.5. SIP distant ( <i>SIP Trunking</i> ) . . . . .	139
4.4.6. Controverses du <i>SIP Trunking</i> . . . . .	140
4.4.7. Diameter . . . . .	140
4.5. Virtualisation . . . . .	140
4.5.1. Virtualisation des fonctions de réseau . . . . .	141
4.5.2. Virtualisation dans l'entreprise . . . . .	142
4.5.3. Virtualisation et localisation des défauts . . . . .	143
4.6. Sécurité des réseaux . . . . .	143
4.6.1. Les cinq points majeurs de sécurité . . . . .	143
4.6.2. Attaques sur le réseau . . . . .	145
4.6.3. Attaques informatiques . . . . .	146
4.6.4. Espionnage informatique . . . . .	147
4.6.5. Sécurisation des échanges . . . . .	148
4.6.6. Vulnérabilités des terminaux mobiles . . . . .	149
4.6.7. Réseau privé virtuel et sécurité . . . . .	149
4.7. Conclusion . . . . .	151

## **Chapitre 5. Le service vocal et les messageries . . . . .** 153

5.1. Critères de qualité des signaux de parole . . . . .	153
5.2. Interface vocale . . . . .	154
5.2.1. Technique analogique . . . . .	154
5.2.2. Technique numérique . . . . .	154
5.2.3. La numérisation des signaux de parole . . . . .	155
5.2.4. Le PBX . . . . .	156
5.2.5. PBX spéciaux . . . . .	156

5.3. VoIP et ToIP . . . . .	157
5.3.1. Compression des signaux vocaux et usage d'un protocole . . . . .	157
5.3.2. Justification du VoIP . . . . .	157
5.3.3. Voix à haute définition (HD) . . . . .	158
5.4. Bureautique communicante . . . . .	158
5.4.1. Communications de collaboration . . . . .	158
5.4.2. Technologies en présence . . . . .	159
5.4.3. Terminologie des offres . . . . .	161
5.4.4. Suite de communications enrichies (RCS) . . . . .	162
5.4.5. Le LTE et les services associés . . . . .	163
5.4.6. Structure IPX (IP eXchange) . . . . .	168
5.4.7. VoIP sur cloud. . . . .	170
5.4.8. Exemples de messageries professionnelles . . . . .	171
5.4.9. Téléphonie et messagerie <i>via</i> Internet . . . . .	171
5.4.10. WebRTC . . . . .	172
5.4.11. WebRTC et le DTMF. . . . .	174
5.4.12. La fin du téléphone historique (12 juin 2018). . . . .	175
5.4.13. Difficultés et blocages . . . . .	176
5.5. Exploitation de la messagerie . . . . .	177
5.5.1. Service de messages courts . . . . .	177
5.5.2. Concurrence en SMS. . . . .	178
5.5.3. SMS furtifs. . . . .	178
5.5.4. MMS . . . . .	178
5.5.5. Trafic SMS. . . . .	179
5.6. Communications avec les services d'urgence. . . . .	179
5.6.1. Principes . . . . .	179
5.6.2. Messages de notification d'urgence (MNS) . . . . .	180
5.6.3. Service de secours routier . . . . .	180
5.7. Conclusion . . . . .	180
<b>Chapitre 6. Applications de données . . . . .</b>	<b>181</b>
6.1. Services multimédias . . . . .	181
6.2. Affichage dynamique . . . . .	182
6.2.1. Définitions . . . . .	182
6.2.2. Domaines d'applications. . . . .	183
6.2.3. Exemples de messages diffusés. . . . .	183
6.2.4. Technologies de l'affichage dynamique. . . . .	184
6.2.5. Réseaux associés . . . . .	184
6.2.6. Rétroactivité . . . . .	185
6.2.7. Application au télé-enseignement . . . . .	185

---

6.2.8. Normalisation . . . . .	185
6.2.9. Aspects commerciaux . . . . .	186
6.3. Technologies de l'identification . . . . .	187
6.3.1. Identification des personnes . . . . .	187
6.3.2. Codes conventionnels . . . . .	188
6.3.3. RFID . . . . .	188
6.3.4. <i>Near Field Communication</i> (NFC) . . . . .	189
6.3.5. Code QR ( <i>Quick Response</i> ) et Flashcode . . . . .	189
6.4. Services d'images . . . . .	190
6.4.1. Image fixe . . . . .	190
6.4.2. Images animées . . . . .	191
6.4.3. Diffusion de vidéos ou de films . . . . .	192
6.4.4. Visioconférence . . . . .	193
6.4.5. Qualité d'image . . . . .	193
6.5. Conclusion . . . . .	194
<b>Chapitre 7. Internet et le NGN . . . . .</b>	<b>195</b>
7.1. Création et principes des NGN . . . . .	195
7.1.1. Rappel historique . . . . .	195
7.1.2. Caractéristiques générales . . . . .	196
7.1.3. Organismes fondateurs impliqués . . . . .	196
7.1.4. Description technique . . . . .	198
7.1.5. Adressage d'Internet . . . . .	198
7.1.6. Statistiques Internet . . . . .	200
7.1.7. Gestion d'Internet . . . . .	200
7.1.8. Les NGN en étude à l'UIT . . . . .	201
7.2. Applications courantes sur Internet . . . . .	203
7.2.1. Applications d'origine . . . . .	203
7.2.2. Accès des mobiles à Internet . . . . .	205
7.2.3. Services d'information en ligne . . . . .	206
7.2.4. Le paiement à distance . . . . .	207
7.2.5. Les jeux en ligne . . . . .	210
7.3. Développements en cours . . . . .	211
7.3.1. Extension des applications sur la toile . . . . .	211
7.3.2. La collaboration ouverte ( <i>crowdsourcing</i> ) . . . . .	213
7.3.3. La révolution personnelle par le numérique . . . . .	214
7.3.4. Formation audiovisuelle à distance (MOOC) . . . . .	214
7.3.5. Bouversements techniques . . . . .	215
7.4. Le <i>cloud computing</i> (nuage informatique) . . . . .	216
7.4.1. Principe du <i>cloud</i> . . . . .	216

---

7.4.2. Avantages et inconvénients du <i>cloud</i> . . . . .	217
7.4.3. Aspects commerciaux du <i>cloud</i> . . . . .	218
7.4.4. Vue critique sur le <i>cloud</i> . . . . .	218
7.5. Les données massives ( <i>big data</i> ) . . . . .	219
7.6. L'Internet des objets (IdO) et le M2M . . . . .	220
7.6.1. Définitions . . . . .	220
7.6.2. Applications visées . . . . .	220
7.6.3. Réseau et protocoles . . . . .	221
7.6.4. Recherches en cours . . . . .	222
7.6.5. Vulnérabilités de l'IdO. . . . .	222
7.7. Réseaux sociaux et médias sociaux. . . . .	223
7.7.1. Définitions . . . . .	223
7.7.2. Exemples de réseaux sociaux . . . . .	224
7.7.3. Réseaux sociaux et entreprise. . . . .	225
7.7.4. Réseaux sociaux de proximité . . . . .	227
7.7.5. Fragilité des réseaux sociaux . . . . .	228
7.7.6. Menaces . . . . .	228
7.8. Principes tarifaires. . . . .	229
7.8.1. Forfaits ou tarifs basés sur les coûts . . . . .	229
7.8.2. Déséquilibre de la rétribution dans la chaîne de valeurs . . . . .	229
7.8.3. Coût du terminal et prix des applications . . . . .	231
7.8.4. Rentabilité des réseaux. . . . .	232
7.9. Les faiblesses de l'édifice NGN/Internet . . . . .	233
7.9.1. Absence de sécurité. . . . .	233
7.9.2. Variabilité de la qualité de service . . . . .	234
7.9.3. Protection des données personnelles . . . . .	235
7.9.4. Droits de propriété intellectuelle sur Internet. . . . .	235
7.9.5. L'absence d'autorité décisionnaire. . . . .	236
7.9.6. Neutralité des réseaux et du Net . . . . .	238
7.9.7. Nécessité d'un réajustement technique . . . . .	240
7.9.8. Jugements sur le rôle d'Internet . . . . .	241
7.10. Où va le NGN ? . . . . .	242
7.10.1. La stratégie du futur Internet . . . . .	242
7.10.2. Gouvernance d'Internet vue de l'étranger. . . . .	243
7.10.3. Les projets d'études. . . . .	244
7.10.4. Internet dans les pays en développement . . . . .	246
7.10.5. La situation actuelle. . . . .	247
7.10.6. Scission d'Internet. . . . .	249
7.11. Conclusion . . . . .	250



<b>Chapitre 8. Les choix pour l'entreprise.</b> . . . . .	251
8.1. Analyse des besoins en communication . . . . .	251
8.1.1. Communication interne . . . . .	251
8.1.2. Communication externe . . . . .	252
8.1.3. Recommandations générales . . . . .	255
8.1.4. Sociologie des télécoms . . . . .	255
8.2. Les TIC dans les PME . . . . .	256
8.2.1. Les courriels . . . . .	256
8.2.2. Les outils collaboratifs . . . . .	258
8.2.3. Les réseaux sociaux. . . . .	258
8.2.4. Les nouveaux outils du numérique. . . . .	259
8.2.5. L'Internet en entreprise . . . . .	259
8.2.6. La cybersécurité. . . . .	260
8.2.7. L'économie du numérique à la recherche d'une métrique . . . . .	261
8.3. L'évolution technique et les coûts . . . . .	263
8.3.1. Les besoins en débit . . . . .	263
8.3.2. Protection du consommateur . . . . .	264
8.3.3. L'entreprise de type 3.0 . . . . .	265
8.3.4. Secours et redondances . . . . .	265
8.3.5. La facture « communication » pour une entreprise . . . . .	266
8.4. Sécurité dans les PME . . . . .	267
8.4.1. Terminaux mobiles . . . . .	267
8.4.2. La sécurité des échanges. . . . .	267
8.4.3. Les mots de passe et procédures à éviter . . . . .	268
8.4.4. Appropriation du terminal . . . . .	270
8.4.5. La clé USB (perso ou entreprise ?). . . . .	272
8.4.6. Accès Wi-Fi à des tiers. . . . .	273
8.4.7. Les chartes de la sécurité numérique. . . . .	275
8.4.8. VPN et Proxy . . . . .	276
8.5. Bonnes pratiques. . . . .	276
8.5.1. Fragilité des réseaux NGN . . . . .	276
8.5.2. La transformation inéluctable des entreprises vers le numérique. . . . .	276
8.5.3. La mise en place de réseaux sociaux en entreprise . . . . .	277
8.5.4. Le cloud et l'entreprise. . . . .	278
8.5.5. Construction d'un site Internet d'entreprise . . . . .	279
8.5.6. La vente par correspondance en numérique . . . . .	280
8.5.7. La vidéo pour l'entreprise . . . . .	281
8.5.8. Gestion du SI de l'entreprise . . . . .	283
8.5.9. Gestion du réseau et des outils de communication . . . . .	283

8.5.10. Alimentation des terminaux . . . . .	284
8.5.11. Importance du DSI . . . . .	285
8.6. Références pour la cybersécurité . . . . .	285
8.7. Quelques organismes concernés par les bonnes pratiques de sécurité . . . . .	286
8.8. Conclusion . . . . .	288
<b>Chapitre 9. Panorama et conclusions . . . . .</b>	<b>289</b>
9.1. La souplesse de l'univers des réseaux . . . . .	289
9.2. La nécessité d'une réglementation des télécommunications . . . . .	290
9.3. Neutralité des réseaux et services temps réel . . . . .	291
9.4. Concurrence commerciale et innovations techniques . . . . .	291
9.5. Vues sur le futur . . . . .	293
9.5.1. Ombres et lumière sur l'Internet de l'avenir . . . . .	293
9.5.2. Acceptabilité universelle. . . . .	293
9.5.3. Les leçons de l'histoire. . . . .	293
9.5.4. La cybersécurité. . . . .	295
9.5.5. Les publics de l'Internet . . . . .	295
9.5.6. L'entreprise numérique . . . . .	297
9.5.7. Perspectives . . . . .	298
<b>Annexes . . . . .</b>	<b>299</b>
<b>Glossaire . . . . .</b>	<b>313</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>321</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>323</b>