

Les exemples à télécharger sont disponibles à l'adresse suivante :
<http://www.editions-eni.fr>
Saisissez la référence ENI de l'ouvrage **RIHS-10RES** dans la zone de recherche
et validez. Cliquez sur le titre du livre puis sur le bouton de téléchargement.

Avant-propos

Chapitre 1

Présentation des concepts réseau

1. Historique	19
1.1 Débuts de l'informatique réseau	19
1.1.1 L'informatique centralisée	19
1.1.2 Le premier réseau informatique à grande échelle	21
1.1.3 Le développement d'une norme de fait : TCP/IP	23
1.1.4 L'informatique répartie.	25
1.2 Réseaux hétérogènes.	27
1.3 Réseaux informatiques actuels	28
1.4 Rencontre avec les réseaux informatiques	29
2. Principaux éléments d'un réseau	36
2.1 Client/serveur	37
2.1.1 Principes	37
2.1.2 Définitions	37
2.1.3 Le système d'exploitation réseau	45
2.2 Point de vue matériel	59
2.2.1 L'interconnexion.	59
2.2.2 Les protocoles de communication	59
3. Technologie des réseaux.	59
3.1 Définition d'un réseau informatique	59
3.2 Topologies de réseaux informatiques	60
3.2.1 Le réseau personnel.	60
3.2.2 Le réseau local	60

2 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

3.2.3	Le réseau métropolitain	61
3.2.4	Le réseau étendu	61
3.3	Partage des ressources.	61
3.3.1	Les services de fichiers	62
3.3.2	Les services de gestion électronique de documents	66
3.3.3	Les services de base de données	67
3.3.4	Les services d'impression	70
3.3.5	Les services de messagerie et de travail collaboratif	71
3.3.6	Les services d'application	73
3.3.7	Les services de stockage	74
3.3.8	Les services de sauvegarde	94
3.3.9	Les protocoles de réplication entre baies.	98
3.3.10	WAAS et compression de flux.	100
3.4	Virtualisation	103
3.4.1	Introduction	103
3.4.2	Quelques notions de virtualisation	103
3.4.3	Solutions de virtualisation types.	107
3.4.4	Synthèse des technologies de virtualisation	110
3.4.5	Desktop as a Service.	113
3.5	Cloud computing	118
4.	Plan de continuité d'activité.	121
4.1	Disponibilité	121
4.1.1	La fiabilisation lors du stockage.	121
4.1.2	La fiabilisation des échanges	124
4.2	Confidentialité	125
4.2.1	La sécurisation du système de fichiers	125
4.2.2	La sécurisation des échanges	127
4.3	Redondance des données	128
4.3.1	La tolérance de pannes	128
4.3.2	Le miroir de disques	133
4.3.3	Le miroir de contrôleurs et de disques.	135
4.3.4	Les agrégats par bandes avec parité.	136
4.3.5	La neutralisation des secteurs défectueux.	139

4.4	Solutions de redondance serveur	139
4.4.1	La tolérance de pannes	140
4.4.2	La répartition de charge réseau	143
4.4.3	La configuration des cartes réseau en teaming	144
4.4.4	La virtualisation comme solution à part entière	146
4.5	Stratégie de sauvegardes	147
4.5.1	La sauvegarde complète	148
4.5.2	La sauvegarde incrémentale	148
4.5.3	La sauvegarde différentielle	148
4.5.4	Sanctuarisation des sauvegardes	149
4.5.5	Sauvegardes immuables	150
4.6	Continuité et reprise d'activité en cas de sinistre	150
4.6.1	Les principes	150
4.6.2	Le plan de continuité d'activité (PCA)	151
4.6.3	Le plan de reprise d'activité (PRA)	152

Chapitre 2

Normalisation des protocoles

1.	Modèle OSI	153
1.1	Principes	154
1.2	Communication entre couches	155
1.3	Encapsulation et modèle OSI	157
1.4	Protocoles	163
1.5	Rôle des différentes couches	164
1.5.1	La couche Physique	164
1.5.2	La couche Liaison (ou Liaison de données)	164
1.5.3	La couche Réseau	165
1.5.4	La couche Transport	166
1.5.5	La couche Session	166
1.5.6	La couche Présentation	167
1.5.7	La couche Application	167

4 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

2. Approche pragmatique du modèle en couches	168
2.1 Niveau 1 - couche Physique	168
2.2 Niveau 2 - couche Liaison de données	169
2.3 Niveau 3 - couche Réseau	172
2.3.1 Les principes	172
2.3.2 L'adressage logique	172
2.3.3 La sortie du réseau logique	174
2.3.4 La transmission du datagramme sur l'interréseau	176
2.3.5 L'aiguillage du datagramme sur le routeur	179
2.4 Niveau 4 - couche Transport	181
2.4.1 Le mode connecté TCP	181
2.4.2 Le mode non connecté UDP	183
2.5 Niveau 5 et supérieurs	183
3. Normes et organismes	184
3.1 Types de normes	184
3.2 Quelques organismes de normalisation pour le réseau	184
3.2.1 American National Standards Institute (ANSI)	184
3.2.2 Union internationale des télécommunications (UIT)	186
3.2.3 Electronic Component Industry Association (ecia)	187
3.2.4 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	188
3.2.5 ISO	190
3.2.6 Internet Engineering Task Force (IETF)	190

Chapitre 3

Transmission des données couche physique

1. Rôle d'une interface réseau	191
1.1 Principes	191
1.2 Préparation des données	192
2. Options et paramètres de configuration	193
2.1 Adresse physique	193
2.2 Interruption	197
2.3 Adresse d'entrée/sortie	198

2.4	Adresse de mémoire de base	198
2.5	Canal DMA (Direct Memory Access)	198
2.6	Bus	198
2.6.1	Le bus PCI (Peripheral Component Interconnect)	200
2.6.2	Le bus USB	203
2.7	Connecteurs de câble réseau	207
2.7.1	Le connecteur RJ45	207
2.7.2	Le connecteur BNC	208
2.7.3	Les connecteurs fibre optique	209
2.7.4	Les connecteurs hybrides	211
2.8	Débits	212
2.9	Autres interfaces réseau	212
3.	Amorçage à partir du réseau	213
3.1	Principes	213
3.2	Protocoles	214
3.2.1	La liaison entre adresses physique et logique	214
3.2.2	Le protocole BOOTP	215
3.2.3	Le protocole DHCP	215
3.2.4	PXE	216
3.2.5	Wake-On-LAN : WOL	218
4.	Codage des données	222
4.1	Types de données et signaux	222
4.1.1	Le signal analogique	222
4.1.2	Le signal numérique	223
4.1.3	Les utilisations	224
4.2	Codage des données	224
4.2.1	Le codage des données numériques en signaux analogiques	224
4.2.2	Le codage des données numériques en signaux numériques	226
4.2.3	Les codages en ligne	226
4.2.4	Les codages complets	229

6 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

4.3	Multiplexage de signaux	229
4.3.1	Le système bande de base	229
4.3.2	Le système large bande	230
4.3.3	Le multiplexage	230
5.	Conversion des signaux	232
5.1	Définitions	232
5.2	Modem	233
5.3	Codec	234
6.	Supports de transmission	235
6.1	Supports limités	235
6.1.1	La paire torsadée	236
6.1.2	Le câble coaxial	243
6.1.3	La fibre optique	246
6.1.4	Les critères de choix des différents médias	250
6.1.5	La Boucle Locale Optique Mutualisée	251
6.1.6	Les câbles sous-marins intercontinentaux	254
6.2	Supports non limités	255
6.2.1	L'infrarouge	256
6.2.2	Le laser	256
6.2.3	Les ondes radio terrestres	256
6.2.4	Les ondes radio par satellites	258
6.2.5	L'orbite terrestre basse	259
6.2.6	Les ondes radio suivant les fréquences	262

Chapitre 4

Éléments logiciels de communication

1.	Configuration de la carte réseau	267
1.1	Configuration matérielle	268
1.2	Configuration logicielle	268
1.3	Spécifications NDIS et ODI	271

2. Installation et configuration du pilote de carte réseau	273
2.1 Principes	273
2.2 Utilisation d'un outil fourni par le constructeur	274
2.3 Utilisation du système d'exploitation	275
2.3.1 Sous Windows	276
2.3.2 Sous Linux Red Hat	278
2.3.3 Sous macOS	283
2.3.4 Sur un smartphone Android	286
2.3.5 Tethering.	296
2.3.6 Sur un iPhone	306
3. Pile de protocoles	312
4. Détection d'un problème réseau	314
4.1 Connectique physique réseau	314
4.1.1 Le type de câble.	314
4.1.2 Le type de composants.	315
4.2 Configuration logicielle réseau	316

Chapitre 5 Architecture réseau et interconnexion

1. Topologies.	319
1.1 Principes	319
1.2 Topologies standards	319
1.2.1 Le bus.	319
1.2.2 L'étoile	320
1.2.3 L'anneau	321
1.2.4 L'arbre	322
1.2.5 Les topologies dérivées	322
1.2.6 Le cas des réseaux sans fil.	324
2. Choix de la topologie réseau adaptée	325

8 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

3. Gestion de la communication	326
3.1 Sens de communication	326
3.1.1 Le mode simplex	326
3.1.2 Le mode half-duplex	327
3.1.3 Le mode full-duplex	327
3.2 Types de transmission	327
3.3 Méthodes d'accès au support	328
3.3.1 La contention	328
3.3.2 L'interrogation (polling)	330
3.3.3 Le jeton passant	330
3.4 Techniques de commutation	331
3.4.1 La commutation de circuits	331
3.4.2 La commutation de messages	332
3.4.3 La commutation de paquets	333
4. Interconnexion de réseaux	334
4.1 Principes	334
4.2 Composants d'interconnexion et modèle OSI	335
4.3 Description fonctionnelle des composants	336
4.3.1 Le répéteur	336
4.3.2 Le pont	338
4.3.3 Le commutateur	350
4.3.4 Le routeur	366
4.3.5 La passerelle	388
4.4 Choix des matériels de connexion appropriés	388
4.4.1 Le répéteur	389
4.4.2 Le pont	389
4.4.3 Le commutateur	389
4.4.4 Le routeur	390
4.4.5 La passerelle	390
4.5 Exemple de topologie réseau locale sécurisée	390

Chapitre 6

Couches basses des réseaux locaux

1. Couches basses et IEEE.....	393
1.1 Différenciation des couches.....	393
1.2 IEEE 802.1.....	394
1.3 IEEE 802.2.....	395
1.3.1 Les principes de Logical Link Control (LLC).....	395
1.3.2 Les types de service.....	396
2. Ethernet et IEEE 802.3.....	396
2.1 Généralités.....	396
2.2 Caractéristiques de couche physique.....	397
2.2.1 Les spécificités d'Ethernet.....	397
2.2.2 Les spécificités de Fast Ethernet.....	404
2.2.3 Le gigabit Ethernet.....	406
2.2.4 Le 10 gigabit Ethernet.....	407
2.2.5 Le 40/100 gigabit Ethernet.....	408
2.2.6 Récapitulatif.....	410
2.3 En-tête de trame Ethernet.....	411
2.4 Les cartes hybrides Ethernet/SAN.....	412
3. Token Ring et IEEE 802.5.....	414
3.1 Configuration du réseau.....	414
3.2 Autoreconfiguration de l'anneau.....	418
4. Wi-Fi et IEEE 802.11.....	419
4.1 Présentation.....	419
4.2 Normes de couche physique.....	420
4.2.1 802.11b.....	421
4.2.2 802.11a.....	422
4.2.3 802.11g.....	422
4.2.4 802.11n.....	422
4.2.5 802.11ac.....	423
4.2.6 802.11ad.....	425
4.2.7 802.11ah - Wi-Fi HaLow.....	427

10 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

4.2.8	802.11ax - High Efficiency WLAN (HEW)	428
4.2.9	802.11be - Extremely High Throughput (EHT)	429
4.2.10	Normes et logos Wi-Fi	430
4.3	Matériels	432
4.3.1	La carte réseau	432
4.3.2	L'équipement d'infrastructure	432
4.3.3	Les périphériques Wi-Fi	434
4.4	Architecture	434
4.5	Sécurisation	435
4.5.1	Introduction	435
4.5.2	WEP	438
4.5.3	WPA/WPA 2	439
4.5.4	WPA 3	441
4.6	Usages	444
4.7	En-tête de trame Wi-Fi	445
5.	Bluetooth et IEEE 802.15	446
5.1	Historique	447
5.2	Standardisation	447
5.3	Réseau Bluetooth	451
5.4	Classes d'équipements	452
6.	Autres technologies	453
6.1	Autres standards de l'IEEE	453
6.1.1	802.16	454
6.1.2	802.17	454
6.1.3	802.18	455
6.1.4	802.19	455
6.1.5	802.21	455
6.1.6	802.22	455
6.1.7	802.24	456
6.2	Infrared Data Association (IrDA)	456
6.2.1	Le protocole IrDA DATA	457
6.2.2	Le protocole IrDA CONTROL	459

6.3	Courant porteur en ligne (CPL)	460
6.3.1	Les principes	460
6.3.2	Le fonctionnement	463
7.	L'univers des objets connectés, IoT	465
7.1	Introduction	465
7.2	Évolution des objets connectés	467
7.3	Accès aux objets connectés	469
7.4	Problèmes soulevés par les objets connectés	470

Chapitre 7

Protocoles des réseaux MAN et WAN

1.	Interconnexion du réseau local	473
1.1	Usages du réseau téléphonique	473
1.2	Réseau numérique à intégration de services (RNIS)	475
1.2.1	Les principes	475
1.2.2	Le rapport au modèle OSI	476
1.2.3	Les types d'accès disponibles	477
1.3	Ligne spécialisée (LS)	478
1.3.1	Les principes	478
1.3.2	Les débits	478
1.4	Techniques xDSL	479
1.4.1	Les principes	479
1.4.2	Les différents services	480
1.4.3	Les offres « quadruple play »	482
1.5	Câble public	484
1.6	Plan très haut débit en France (THD)	484
1.7	WiMAX	487
1.7.1	La boucle locale radio	487
1.7.2	La solution WiMAX	487
1.8	Réseaux cellulaires	489
1.8.1	Les principes	489
1.8.2	Les débuts	491

12 _____ Réseaux informatiques

Notions fondamentales

1.8.3	L'évolution vers le transport de données.	492
1.8.4	La troisième génération (3G) de téléphonie cellulaire . .	494
1.8.5	La quatrième génération (4G)	495
1.8.6	La cinquième génération (5G)	497
1.9	Fiber Distributed Data Interface (FDDI)	506
1.9.1	Les principes	506
1.9.2	La topologie.	506
1.9.3	Le fonctionnement	507
1.10	Asynchronous Transfer Mode (ATM)	509
1.10.1	Les principes	509
1.10.2	Le relais de cellule	509
1.10.3	La régulation du trafic	510
1.10.4	Les types de services	511
1.10.5	La topologie et les débits	511
1.11	Synchronous Optical Network (SONET) et Synchronous Digital Hierarchy (SDH).	512
1.11.1	L'historique	512
1.11.2	Les caractéristiques de SDH.	513
1.11.3	Les débits.	513
1.12	X.25	514
1.13	Relais de trame	516
1.14	MPLS	517
1.14.1	Origine.	517
1.14.2	Les principes	518
1.14.3	Le circuit virtuel et l'étiquetage	519
1.14.4	Le routage	519
2.	Accès distant et réseaux privés virtuels.	520
2.1	Utilisation et évolution	520
2.2	Protocole d'accès distant	521
2.3	Réseau privé virtuel	521
2.3.1	L'établissement de la connexion	521
2.3.2	L'authentification.	522
2.3.3	Le chiffrement.	523

Chapitre 8

Protocoles des couches moyennes et hautes

1. Principales familles de protocoles	525
1.1 IPX/SPX	525
1.1.1 L'historique	525
1.1.2 Les protocoles	526
1.2 NetBIOS	527
1.2.1 L'historique	527
1.2.2 Les principes	528
1.2.3 Les noms NetBIOS	529
1.3 TCP/IP	533
1.3.1 L'historique	533
1.3.2 La suite de protocoles	534
1.3.3 Le rapport au modèle OSI	535
1.3.4 L'adoption en entreprise	535
2. Protocole IP version 4	536
2.1 Principes	536
2.2 Adressage	536
2.2.1 L'adresse IPv4	536
2.2.2 Le masque	537
2.2.3 Les classes d'adresses	538
2.2.4 Les adresses privées	542
2.2.5 Les adresses APIPA	542
2.3 L'adressage sans classe	543
2.3.1 Les principes	543
2.3.2 La notation CIDR	544
2.3.3 Le rôle du masque en réseau	546
2.3.4 La décomposition en sous-réseaux	552
2.3.5 La factorisation des tables de routage	559
3. Protocole IP version 6	561
3.1 Introduction	561
3.2 Principes	562

14 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

3.3	Structure d'une adresse IP	563
3.3.1	Catégories d'adresses	563
3.3.2	Portée d'une adresse	564
3.3.3	Adresse unicast	565
3.3.4	Formalisme	566
3.3.5	Identifiant EUI-64	568
3.3.6	Adresses réservées	570
3.3.7	Décomposition des plages par l'IETF	572
3.3.8	Découpage des catégories	575
3.3.9	Autoconfiguration des adresses IPv6	580
3.4	Tunnels	583
3.4.1	Introduction	583
3.4.2	Types de tunnels	584
3.5	Organismes d'attribution d'adresses	589
3.6	En-tête IPv6	591
4.	Autres protocoles de couche internet	592
4.1	Internet Control Message Protocol (ICMP)	592
4.2	Internet Group Management Protocol (IGMP)	595
4.3	Address Resolution Protocol (ARP) et Reverse Address Resolution Protocol (RARP)	596
4.4	Internet Protocol Security (IPsec)	597
4.5	Liste des numéros de protocoles de couche internet	598
5.	Voix sur IP (VoIP)	599
5.1	Principes	599
5.2	Quelques définitions importantes	599
5.3	Avantages	601
5.4	Fonctionnement	603
5.4.1	Le protocole H323	603
5.4.2	Les éléments terminaux	603
5.4.3	Les applications	604
6.	Protocoles de transport TCP et UDP	605
6.1	Transmission Control Protocol (TCP)	605
6.2	User Datagram Protocol (UDP)	606

7. Couche applicative TCP/IP	606
7.1 Services de messagerie	606
7.1.1 Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)	606
7.1.2 Post Office Protocol 3 (POP3)	608
7.1.3 Internet Message Access Protocol (IMAP)	609
7.2 Services de transfert de fichiers	610
7.2.1 HyperText Transfer Protocol (HTTP)	610
7.2.2 File Transfer Protocol (FTP) et Trivial FTP (TFTP)	613
7.2.3 Network File System (NFS)	617
7.3 Services d'administration et de gestion réseau	620
7.3.1 Domain Name System (DNS)	620
7.3.2 Dynamic Host Configuration Protocol v.4 (DHCPv4) .	631
7.3.3 Telnet	645
7.3.4 Network Time Protocol (NTP)	646
7.3.5 Simple Network Management Protocol (SNMP)	649
7.4 Services d'authentification	658
7.4.1 Méthodes d'authentification	658
7.4.2 NTLM	659
7.4.3 Kerberos	662
7.4.4 SAML 2.0	669
7.4.5 OpenID Connect	670

Chapitre 9

Principes de sécurisation d'un réseau

1. Compréhension du besoin en sécurité	671
1.1 Garanties exigées	671
1.2 Dangers encourus	672
1.2.1 La circulation des données	672
1.2.2 Les protocoles Réseau et Transport	673
1.2.3 Les protocoles applicatifs standards	673
1.2.4 Les protocoles de couches basses	674
1.2.5 Le risque au niveau logiciel	674

16 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

2. Outils et types d'attaques	675
2.1 Ingénierie sociale	675
2.2 Écoute réseau	684
2.3 Analyse des ports	685
2.4 Codes malveillants	687
2.5 Programmes furtifs	688
2.6 Ransomware	689
3. Notions de sécurisation sur le réseau local	690
3.1 Services de la sécurité	690
3.1.1 Le contrôle d'accès au système	690
3.1.2 La gestion des habilitations	691
3.1.3 L'intégrité	691
3.1.4 La non-répudiation	692
3.2 Authentification	692
3.2.1 L'identification	693
3.2.2 L'authentification par mot de passe	697
3.2.3 L'authentification avec support physique	698
3.2.4 L'authentification par caractéristique humaine	699
3.3 Confidentialité	700
3.3.1 Le chiffrement à clés symétriques	701
3.3.2 Le chiffrement à clés asymétriques	702
3.4 Protection des données utilisateur	705
3.4.1 Protection de l'amorçage du disque	707
3.4.2 Chiffrement des disques locaux	711
3.4.3 Chiffrement des disques USB	713
3.5 Outils d'investigation liés à la sécurité	715
3.5.1 Vérification d'URL	715
3.5.2 Vérification de pièce jointe	718
3.5.3 Obtention d'informations complémentaires	720
4. Sécurisation de l'interconnexion de réseaux	726
4.1 Routeur filtrant	727
4.2 Translateur d'adresse	727
4.3 Pare-feu	728

4.4 Proxy	729
4.5 Zone démilitarisée	730

Chapitre 10

Dépannage du réseau

1. Méthode d'approche	733
2. Exemples de diagnostic de couches basses	734
2.1 Matériels	735
2.1.1 Le testeur de câbles	735
2.1.2 Le réflectomètre	736
2.1.3 Le multimètre numérique	737
2.2 Analyse de trames	737
2.3 Autres problèmes avec Ethernet	739
2.3.1 L'unicité de l'adresse MAC	739
2.3.2 La configuration physique de la carte réseau	739
2.3.3 Les paramètres de communication	739
2.4 IPX et Ethernet	740
2.5 Autres problèmes liés à la fibre	740
3. Utilisation des outils TCP/IP adaptés	741
3.1 Principes	741
3.2 Exemples d'utilisation des outils	741
3.2.1 arp	741
3.2.2 Neighbor Discovery Table	744
3.2.3 ping	744
3.2.4 tracert/traceroute	746
3.2.5 ipconfig/ip address	748
3.2.6 netstat	751
3.2.7 Identification d'une adresse IP	753
3.2.8 Géolocalisation d'une adresse IP	754
3.2.9 nbtstat	754
3.2.10 nslookup	756

18 Réseaux informatiques

Notions fondamentales

4. Outils d'analyse des couches hautes	759
4.1 La boîte à outils sysinternals	759
4.2 Analyse de requêtes applicatives	766
4.3 Analyse de requêtes web	767

Annexes

1. Conversion du décimal (base 10) vers le binaire (base 2)	771
1.1 Vocabulaire utilisé	771
1.2 Conversion à partir de la base 10	772
2. Conversion du binaire (base 2) vers le décimal (base 10)	774
3. Conversion de l'hexadécimal (base 16) vers le décimal (base 10) . .	775
4. Conversion de l'hexadécimal (base 16) vers le binaire (base 2) . . .	777
5. Glossaire	778

Index	801
-----------------	-----

Les éléments à télécharger sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.editions-eni.fr>

Saisissez la référence ENI de l'ouvrage **RIRES5G** dans la zone de recherche et validez. Cliquez sur le titre du livre puis sur le bouton de téléchargement.

Avant-propos

Introduction

Chapitre 1

Généralités sur la 5G

1. Du GSM à la 5G	9
1.1 Le GSM (2G) : voix, SMS	10
1.2 La 3G : voix, SMS et Internet à haut débit	12
1.3 La 4G : voix, SMS et Internet à très haut débit	13
1.4 La 5G : le très haut débit et l'Internet des objets	13
1.5 Synthèse des débits.	14
2. Questions relatives à la 5G.	16
2.1 Avantages/défis de la 5G	16
2.1.1 Connexion beaucoup plus rapide	16
2.1.2 Communication en temps réel et sans coupure	16
2.1.3 Tout le monde peut rester connecté	16
2.1.4 Une révolution technologique avec plus d'efficacité	17
2.1.5 Une expansion rapide du réseau, de la 5G privée à l'Open RAN	18
2.2 Limites et inconvénients de la 5G	19
2.2.1 Les menaces de sécurité	20
2.2.2 Coût de l'infrastructure	20
2.2.3 Disponibilité de l'écosystème.	21
2.2.4 Écart de compétences et d'éducation	21
2.2.5 Interférence potentielle avec les opérations aériennes . . .	21

2 ————— Les réseaux 5G

Enjeux et usages d'un nouveau monde numérique

2.2.6	Épuisement de la batterie sur les appareils cellulaires . . .	22
2.2.7	Risque d'accentuation de la fracture numérique	22
2.3	La question sanitaire.	23
2.3.1	Classement du CIRC	24
2.3.2	Avis du printemps 2021 de l'ANSES	25
2.3.3	Protection des professionnels de la 5G	25
2.4	Évolution : 6G et au-delà	26

Chapitre 2

Architecture 5G

1.	Organismes de standardisation	29
1.1	ETSI.	30
1.2	3GPP	32
1.3	UIT	40
2.	Évolution de l'architecture de la 2G à la 4G	43
2.1	Le GSM/GPRS	43
2.2	L'UMTS.	48
2.2.1	L'interface radio Uu	49
2.2.2	États du mobile.	50
2.2.3	Handover en UMTS	51
2.2.4	Interfaces Iur et Iub	52
2.2.5	Interface Iu	53
2.3	Architecture LTE	55
2.4	IMS	58
3.	Les types d'architectures 5G	60
3.1	Architecture 5G NSA	60
3.2	Architecture 5G SA.	61

Chapitre 3

Évolution technique en 5G

1. Cas d'usage	63
1.1 eMBB	64
1.2 CC&URLLC	64
1.3 mIoT	65
1.4 Importance des fonctionnalités clés de la 5G	68
2. Spectre de fréquences	69
3. Évolution des antennes	71
3.1 Antennes 5G	72
3.2 mMIMO	73
3.3 Beamforming	76
4. La 5G et la virtualisation	77
4.1 NFV	78
4.2 Cloud Computing	81
4.3 SDN	82
4.4 Network Slicing	88
4.5 Edge Computing	90
4.6 Interopérabilité	94
5. Protocoles 5G	97
5.1 Pile de protocoles du plan de contrôle UE, 5G-AN, AMF et SMF	97
5.2 Pile de protocoles du plan utilisateur entre UE, 5G-AN et UPF	99
5.3 Division du gNB en CU et DU	100
6. 5G-Advanced	102

4 Les réseaux 5G

Enjeux et usages d'un nouveau monde numérique

Chapitre 4

Évolution de la 5G en France

1. Régulation par l'ARCEP	105
1.1 Historique	105
1.2 Observatoire du déploiement 5G.	109
1.3 Expérimentation 5G en France	114
1.3.1 Guichet d'expérimentation en bande 2,6 GHz TDD	116
1.3.2 Guichet d'expérimentation en bande 3,8 à 4 GHz	116
1.3.3 Guichet d'expérimentation en bande 26 GHz	117
2. Évolution des quatre opérateurs	121
2.1 Orange	121
2.2 Bouygues Telecom (BYT)	124
2.3 SFR	127
2.4 Free Mobile	129
3. Principaux constructeurs 5G en France métropolitaine.	131
3.1 Nokia	132
3.1.1 Cœur de réseau 5GC	132
3.1.2 RAN.	136
3.1.3 Solutions de transport et de gestion/orchestration	139
3.1.4 5G privée	140
3.1.5 Network as Code	142
3.2 Ericsson	144
3.2.1 Cœur de réseau 5GC	145
3.2.2 5G RAN.	147
3.2.3 Solutions de transport et de gestion du réseau.	149
3.2.4 5G privée (EP5G)	150
3.3 Cisco	152
3.3.1 Routage et sécurité.	152
3.3.2 Cisco Private 5G	154

Chapitre 5

Les réseaux 5G privés

1. Aspects d'un réseau 5G privé.....	157
1.1 Architecture des réseaux privés 5G.....	157
1.2 Cas d'utilisation spécifiques.....	158
1.3 Avantages d'un réseau 5G privé.....	160
2. Open RAN.....	163
2.1 Introduction.....	163
2.2 Fonctionnement et aspects techniques.....	165
2.3 O-RAN Alliance.....	168
2.4 Synthèse.....	175
3. Défis des petits investisseurs de la 5G privée.....	177
4. Les réseaux 5G privés en France.....	179
4.1 Cadre réglementaire.....	179
4.1.1 Rôle régulateur de l'ARCEP.....	179
4.1.2 Gestion du spectre par l'ANFR.....	181
4.2 Ouverture du marché aux startup et PME.....	182
4.2.1 Amarisoft.....	183
4.2.2 Rapid.Space.....	184
4.2.3 AW2S.....	185
4.2.4 b<>com et Obvios.....	185
4.2.5 Firecell.....	188
4.2.6 BubbleRAN.....	188
4.2.7 Alsatis Réseaux et ses partenaires dans 5GVISS.....	189
4.2.8 Transatel.....	190
4.2.9 Sequans.....	191
4.3 Toulouse et la 5G privée.....	192

6 **Les réseaux 5G**

Enjeux et usages d'un nouveau monde numérique

Chapitre 6

Construire un réseau 5G privé

1. Communautés open source de la 5G.	195
1.1 Open5GS.	197
1.2 Free5GC.	199
1.3 OpenAirInterface (OAI).	201
1.4 Aether	202
1.5 NextEPC	203
2. Construction d'un réseau privé 5G.	204
2.1 Préparation de l'environnement	204
2.2 Solution Free5GC.	206
2.3 Cœur de réseau Open5GS	217
2.3.1 Installation de MongoDB.	217
2.3.2 Installation du cœur Open5GS	218
2.3.3 Configuration	220
2.3.4 Paramétrage réseau du plan utilisateur.	224
2.3.5 Exécution des composants Open5GS	225
2.3.6 Installation de l'interface WebUI	225
2.4 UERANSIM	227
2.4.1 Installation	227
2.4.2 Configurer le gNB.	229
2.4.3 Configurer l'UE.	231
2.5 Exécution et test des cœurs 5GC.	234
2.5.1 Test d'attach 5G avec Open5GS et UERANSIM	234
2.5.2 Test d'attach 5G avec Free5GC et UERANSIM.	236
2.6 Synthèse	237
Conclusion	241

Annexes

1. Annexe 1 : Méthodologie d'IoT Analytics	245
2. Annexe 2 : Définitions par l'UIT-T	247
3. Annexe 3 : Observatoire du déploiement 5G	250
4. Annexe 4 : Membres et contributeurs O-RAN.	255
5. Annexe 5 : Architecture Open5GS	257
6. Annexe 6 : Configuration UERANSIM.	258

Index	261
-----------------	-----