

Bruno Delorme

Les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile

Ingénierie des sites d'antennes



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

*Les antennes
dans les réseaux
de téléphonie mobile*
Ingénierie des sites d'antennes

Bruno Delorme

Ingénieur ESME
Consultant en systèmes de radiocommunications



11, rue Lavoisier
F-75008 Paris

Chez le même éditeur

Les antennes Ultra Large Bande

X. Begaud (sous la dir.), 2010

Outils pour la compression des signaux : applications aux signaux audio

N. Moreau, 2009

Télécoms pour l'ingénierie du risque

T. Tanzi, P. Perrot, 2009

Multicoupleurs et filtres VHF/UHF : applications des résonateurs à air

B. Piette, 2007



© LAVOISIER, 2010
ISBN : 978-2-7430-1323-3

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins – 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, d'autre part les analyses et courtes citations justifiées dans le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 – art. L. 122-4 et L. 122-5 et Code pénal art. 425).

Préface

En une vingtaine d'années, c'est-à-dire en très peu de temps en réalité, les réseaux de téléphonie mobile se sont imposés pour devenir – qu'on le veuille ou non – une partie intégrante de notre vie. Pour les ingénieurs et techniciens s'impliquant dans leur déploiement et leur fonctionnement, leur complexité a rapidement évolué, nécessitant des connaissances sans cesse plus approfondies, plus pointues et parfois inattendues, dans des domaines aussi variés que ceux de la radio, de l'informatique, du génie civil, ou encore du marketing, sans parler de la sociologie ou de la médecine !

Pour rester dans la partie purement technique, en ce qui concerne la radio et plus précisément les antennes, élément primordial et pourtant souvent négligé de tout réseau radio, deux catégories d'ouvrages existaient à ce jour. Dans les littératures anglophone et germanophone en particulier, de nombreux ouvrages scientifiques développaient avec beaucoup de précision et avec force bases théoriques leur concept et leurs applications. À l'opposé, un certain nombre de livres à vocation clairement empirique tentaient d'expliquer – sans toujours se pencher sérieusement sur la théorie – le mode de fonctionnement et de fabrication, à vocation parfois artisanale, des antennes. Il est intéressant et curieux au passage de noter qu'aucun de ces ouvrages n'était jusqu'à présent spécifiquement dédié aux antennes pour les réseaux de téléphonie mobile.

Le grand mérite de Bruno Delorme, c'est d'avoir par le présent ouvrage réussi en quelque sorte un triple grand écart, c'est-à-dire à concilier la théorie – pour autant compréhensible pour tout un chacun disposant de connaissances mathématiques et physiques de base – et la pratique des antennes, et le tout axé explicitement sur le domaine des réseaux de téléphonie mobile.

Si je me réjouis sincèrement de cette initiative, c'est non seulement parce que cet ouvrage pourra servir de support à toutes celles et ceux, de plus en plus nombreux, qui sont professionnellement impliqués dans la définition et l'utilisation d'antennes pour les réseaux de téléphonie mobile, mais aussi parce qu'il permettra à des profanes de s'intéresser à ce sujet et d'y trouver des explications fondées sur beaucoup de sujets dont on parle si souvent en méconnaissance de cause.

Pour ma part, il est clair que le livre de Bruno Delorme me servira, à moi ainsi qu'à mes équipes de par le monde, de support pour les nombreuses formations

que nous réalisons à longueur d’année à destination des ingénieurs et techniciens travaillant directement ou indirectement pour des opérateurs cellulaires.

C’est donc avec grand plaisir que mes collaborateurs et moi-même avons modestement accompagné et soutenu Bruno Delorme dans la réalisation de son projet, dont nous espérons en toute confiance qu’il se transformera rapidement, grâce à sa simplicité et à sa clarté, en un ouvrage de référence dans ce domaine passionnant !

Christian Harel
Directeur Général de Kathrein France

Table des matières

Préface	III
Avant-propos	1
Conventions	4

Première partie Les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile

Chapitre 1

Rayonnement d'une antenne

1. Historique de l'antenne	7
2. Système rayonnant de Hertz et antenne dipôle 1/2 onde	10
3. Propriétés des ondes électromagnétiques	14
3.1. Vitesse de l'onde électromagnétique c	16
3.2. Relation entre le champ électrique et le champ magnétique	16
3.3. Énergie électrique et magnétique de l'onde électromagnétique – Vecteur de « POYNTING »	17
4. Surface d'onde – Onde sphérique – Onde plane – Polarisation de l'onde	17
4.1. Surface d'onde	17
4.2. Onde sphérique	18
4.3. Onde plane	18
4.4. Polarisation de l'onde	18
5. Perte d'énergie du champ électrique dans une liaison, en vue directe, entre l'antenne de l'émetteur et celle du récepteur	19

Chapitre 2

Paramètres des antennes

1. Principaux paramètres des antennes	21
2. Définition de la directivité d'une antenne	21
3. Intensité de rayonnement dans une direction donnée	22

4. Application : intensité de rayonnement d’une antenne isotrope.	23
5. Polarisation d’une antenne	23
6. Directivité	24
7. Diagrammes de rayonnement	24
8. Gain de l’antenne	26
8.1. Gain isotrope	26
8.2. Gain relatif.	26
9. Angle d’ouverture.	27
10. Impédance d’entrée de l’antenne	27

Chapitre 3

Antennes filaires verticales omnidirectionnelles

Introduction.	29
1. Champ électrique du Doublet.	29
2. Influence du sol – Théorie des images	33
3. Antennes filaires verticales omnidirectionnelles	33
3.1. Antenne 1/2 onde (dipôle).	35
3.2. Antenne de longueur λ (onde entière).	37
3.3. Antenne de longueur $1,5 \lambda$ (3 demi-ondes).	39
3.4. Analyse des résultats	41
4. Impédance d’entrée des antennes filaires verticales.	42
5. Calcul du gain de l’antenne demi-onde verticale isolée dans l’espace	45
5.1. Gain isotrope G_i	45
5.2. Gain relatif au dipôle.	47
6. Alignement d’antennes demi-ondes dans le plan vertical	47
6.1. Principe	47
6.2. Dipôles verticaux le long d’un pylône.	47
6.3. Intégration des dipôles dans un tube en fibre de verre	48
6.4. Exemple de l’antenne verticale à 4 dipôles	50
6.4.1. Gain par rapport au dipôle et gain isotrope	51
6.4.2. Diagrammes de rayonnement	52
6.5. Autres types d’antenne cierge	54

Chapitre 4

Antennes directives, panneaux et YAGI

1. Antennes panneaux.	61
1.1. Étude de base : rayonnement d’un dipôle placé à une distance d d’un écran métallique	62
1.1.1. Diagramme de rayonnement dans le plan E.	63
1.1.2. Diagramme de rayonnement dans le plan H.	65
1.2. Panneau à polarisation verticale à n dipôles constituant une seule antenne	68
1.2.1. Gain de l’antenne panneau à 4 dipôles	69
1.2.2. Rayonnement dans le plan E.	69
1.2.3. Rayonnement dans le plan H	70
2. Antennes YAGI.	70
2.1. Principe de l’antenne YAGI.	72
2.2. Fonctionnement d’une antenne YAGI	73
2.2.1. Influence du réflecteur	73
2.2.2. Influence des directeurs	79

2.2.3. Réalisation de l'antenne YAGI	82
3. Antenne « dipôle replié » ou trombone	82

Chapitre 5

Ouvertures rayonnantes, cornet et antenne parabolique

1. Ouvertures rayonnantes	89
2. Principe de Huygens-Fresnel	90
3. Ouverture rayonnante rectangulaire – Application au cornet pyramidal	92
3.1. Diagrammes de rayonnement	92
3.1.1. Diagramme dans le plan E	92
3.1.2. Diagramme dans le plan H	94
3.2. Calcul du gain isotrope de l'ouverture rectangulaire	96
4. Ouverture rayonnante circulaire – Application à l'antenne parabolique	97
4.1. Diagramme de rayonnement d'une ouverture rayonnante circulaire.	98
4.2. Gain isotrope	102
5. Réalisation d'une antenne parabolique.	103
5.1. Recouvrement de toute la surface concave du paraboloïde par des ondes sphériques	103
5.2. Calcul du cornet pyramidal	104
5.3. Exercice : calcul d'un cornet pyramidal adapté à une antenne parabolique	105

Deuxième partie

Ingénierie des sites d'antennes

Chapitre 6

Couplage des antennes entre elles

1. Effet du couplage entre antennes	113
1.1. Effet nuisible	113
1.2. Effet utile	113
2. Impédances mutuelles	113
3. Distance recommandée entre deux antennes sur un pylône et sur une terrasse	116

Chapitre 7

Couplage des antennes au pylône

1. Influence du pylône ou du mât sur le diagramme de rayonnement d'une antenne dans le plan horizontal	117
1.1. Mât tubulaire	117
1.2. Pylône	120

Chapitre 8

« Tilt », diversité de polarisation et multibandes sur les antennes panneaux

1. Panneau à polarisation verticale à n dipôles avec « tilt » fixe ou « tilt » électrique ajustable, constituant une seule antenne.	123
--	-----

1.1.	Présentation du « Tilt » et des différents types de « Tilts »	123
1.1.1.	« Tilt » mécanique.	124
1.1.2.	« Tilt » électrique.	127
1.2.	Application du « Tilt » électrique à 4 dipôles	128
1.3.	Avantages du « Tilt » électrique.	129
2.	Panneau à 2 antennes à n dipôles à polarisation croisées (+ 45°, – 45°) pour faire de la diversité de polarisation en réception	130
2.1.	Diversité d’espace et diversité de polarisation	130
2.2.	Principe du panneau à 2 antennes à polarisations croisées	131
3.	Panneau à polarisations croisées (+45°, –45°), multibandes à 2 ou 3 antennes, pour faire de la diversité de polarisation en réception	132

Chapitre 9

Les filtres

1.	Rôle des filtres	137
2.	Caractéristiques des filtres	137
3.	Structures des filtres	138
3.1.	Filtre passe-bas	139
3.2.	Filtre passe-haut	139
3.3.	Filtre passe-bande	139
4.	Technologie des filtres	140
4.1.	Technologie L.C	140
4.2.	Technologie à lignes microbandes.	140
4.3.	Technologie à cavités coaxiales.	140
4.3.1.	Principe de la cavité coaxiale	141
4.3.2.	Réalisation d’une cavité coaxiale	141
4.4.	Comparaison des technologies des cavités coaxiales et des lignes microbandes	142
5.	Réalisation d’un filtre passe-bande à cavités coaxiales	143

Chapitre 10

Couplage sur une même antenne de plusieurs émetteurs-récepteurs

1.	Avantages de ce couplage.	147
2.	Différents types de multicoupleurs.	147
3.	Multicoupleur émission	148
3.1.	Coupleur 3 dB	148
3.1.1.	Coupleur en anneau	148
3.1.2.	Coupleur de Wilkinson	150
3.1.3.	Coupleur à lignes microbandes $\lambda / 4$	151
3.2.	Coupleur à cavités	151
3.3.	Coupleurs actifs	152
3.4.	Les circulateurs	152
3.4.1.	Propriété de la ferrite	153
3.4.2.	Réalisation d’un circulateur	154
4.	Multicoupleur réception	155
5.	Le duplexeur	156
5.1.	Duplexeur à filtres réjecteurs.	157
5.2.	Duplexeur à filtres coupe-bande	158
5.3.	Duplexeur à filtres passe-bande.	158
6.	Réalisation d’un multicoupleur émission-réception.	158

6.1. Technologie coupleurs 3 dB	159
6.2. Technologie coupleur à cavités	160

Chapitre 11

Étude de l'environnement radioélectrique sur un site d'antennes, mesures des fréquences parasites et protection contre ces fréquences

1. Introduction	165
2. Méthode préconisée pour cette étude	166
2.1. Phase de renseignements	166
2.2. Phase de calcul	166
2.3. Phase de mesures et de recherche de solutions de protection	166
3. Mesure sur l'émetteur – ROS de l'antenne	166
4. Mesures des fréquences parasites sur le récepteur – Protection contre ces fréquences	167
4.1. Montages de mesures à effectuer	167
4.1.1. Signaux forts	167
4.1.2. Signaux faibles	167
4.2. Mesure des niveaux des fréquences des émetteurs du site – Protection contre le « Blocking »	168
4.2.1. Mesure	168
4.2.2. Protection	168
4.3. Mesure du bruit des émetteurs – Protection contre ce bruit	169
4.3.1. Mesure	169
4.3.2. Protection	170
4.4. Mesure des harmoniques des émetteurs – Protection contre ces raies	170
4.4.1. Mesure	170
4.4.2. Protection	170
4.5. Mesure des produits d'intermodulation d'ordre 3 – Protection	171
4.5.1. Produits d'intermodulation d'ordre 3 dans les émetteurs	171
4.5.2. Produits d'intermodulation d'ordre 3 dans les récepteurs	172
4.6. Mesures des fréquences parasites extérieures au site – Protection	172
4.6.1. Mesure	172
4.6.2. Protection	172
5. Spécifications E.T.S.I.	172
5.1. Spécifications des émetteurs analogiques	172
5.2. Spécifications des émetteurs numériques	173

Troisième partie

Annexes

Annexe 1

Bandes de fréquences de la téléphonie mobile

1. Part du spectre de fréquences utilisée dans les réseaux de la téléphonie mobile, pour les liaisons mobile – Infrastructure	177
1.1. Bande métrique 30-300 MHz – Bande VHF	177
1.2. Bande décimétrique 300-3 000 MHz – Bande UHF	177

2. Part du spectre de fréquences utilisé dans les réseaux de la téléphonie mobile, pour les liaisons par faisceaux hertziens entre le site d’antennes et le centre de commutation, ou pour des liaisons entre sites	178
2.1. Bande décimétrique 300-3 000 MHz – Bande UHF	178
2.2. Bande centimétrique 3-30 GHz – Bande SHF	178
2.3. Bande millimétrique 30-300 GHz – Bande EHF	179

Annexe 2

Calcul vectoriel – rappels

1. Vecteurs et scalaires	181
1.1. Vecteurs	181
1.2. Scalaire	181
1.3. Algèbre vectorielle	181
1.4. Vecteurs unitaires – Repère orthogonal direct.	182
1.5. Représentation d’un vecteur dans ce système d’axes	183
2. Produit scalaire et produit vectoriel	183
2.1. Produit scalaire	183
2.1.1. Définition	183
2.1.2. Propriété du produit scalaire	184
2.2. Produit vectoriel	184
2.2.1. Définition	184
2.2.2. Propriété du produit vectoriel	185
3. Rotationnel	185
4. Théorème de Stokes	186

Annexe 3

Nombres complexes – rappels

1. Définitions	187
2. Égalité de 2 nombres complexes	188
3. Formule d’Euler	188
4. Représentation d’une fonction sinusoïdale par une fonction exponentielle.	189

Annexe 4

Électrostatique – rappels

1. Loi de Coulomb	191
2. Champ électrique	191
3. Conducteurs et isolants.	192
3.1. Conducteurs.	192
3.2. Diélectrique – 1 ^{re} équation de Maxwell	193
4. Énergie électrostatique	194

Annexe 5

Électromagnétisme – rappels

1. Loi de Coulomb	195
2. Champ magnétique.	195
3. Loi de Laplace	196

4. Potentiel vecteur	197
5. Relation de Maxwell-Faraday – 2 ^e équation de Maxwell	198
6. Relation de Maxwell-Ampère – 3 ^e équation de Maxwell	199
7. Relation de proportionnalité – 4 ^e équation de Maxwell	200
8. Énergie électromagnétique	200
9. Effet de peau	200

Annexe 6

Physique des vibrations – rappels

1. Définition de l'onde	203
2. Équation d'onde	203
3. Onde progressive – Équation de l'onde progressive	204
4. Onde stationnaire – Équation de l'onde stationnaire	205
5. Rayonnement de sources ponctuelles alignées sur un segment de longueur D	207

Annexe 7

Les lignes de transmission en haute fréquence et les lignes microbandes – rappels

1. Définition	213
2. Équations de propagation le long de la ligne	213
3. Interprétation de la solution	216
4. Longueur d'onde	216
5. Coefficient de réflexion	217
6. Impédance de la ligne	217
7. Ligne terminée par son impédance caractéristique	219
8. Ligne désadaptée	220
8.1. Cas général	220
8.2. Cas particulier : ligne ouverte (cas de l'antenne filaire)	222
8.3. Cas particulier : ligne fermée par un court-circuit	224
9. Rapport d'onde stationnaire	224
10. Calcul du courant dans une ligne ouverte sans perte de longueur L	225
11. Types de lignes de transmissions	226
11.1. Caractéristiques de la ligne bifilaire	227
11.2. Caractéristique de la ligne coaxiale	227
11.3. Comparaison des lignes bifilaires et des lignes coaxiales	227
12. Lignes bifilaires en microélectronique	228
13. Applications de la ligne microbande	229
13.1. Réalisation des composants	229
13.2. Réalisation de filtres avec des lignes microbandes couplées	232

Annexe 8

Guides d'ondes – rappels

1. Présentation des guides d'ondes	233
2. Réflexion d'une onde électromagnétique plane sur un plan conducteur	233
3. Propagation d'une onde électromagnétique plane en mode TE entre deux plans conducteurs parallèles	237

4. Propagation d’une onde électromagnétique plane en mode TE dans un guide d’onde rectangulaire	238
4.1. Conditions de propagation.	238
4.2. Définition du mode TE_{m_0}	238
4.3. Étude du mode fondamental TE_{10}	239
4.3.1. Calcul du champ électrique en chaque point à l’intérieur du guide	239
4.3.2. Excitation d’un guide d’ondes en mode TE_{10}	240
Bibliographie	241
Index	242

Avant-propos

L'idée d'écrire ce livre m'est venue de la constatation qu'en librairie on ne trouve pas à l'heure actuelle d'ouvrages sur les antennes industrielles utilisées sur les infrastructures des réseaux de téléphonie mobile, dont les sites d'antennes envahissent le paysage français depuis quelques années.

On compte en effet, d'après un des derniers recensements, 47 000 sites d'antennes en France, ce qui correspond à un nombre très important de réseaux de téléphonie mobile.

Il faut savoir, en effet, que ces réseaux ne concernent pas uniquement les infrastructures des téléphones portables gérées par les 3 opérateurs, France-Télécom, SFR et Bouygues, mais également tous les réseaux privés (P.M.R), utilisés par les pompiers, la police, la gendarmerie, le SAMU, les DDE, la SNCF, l'EDF, GDF, les phares et balises, les mairies, les compagnies de bus, de tramways, les métros, les taxis, les ambulanciers, les aéroports, les ports autonomes, les autoroutes...

Qu'existe-t-il actuellement en librairie ?

- Des livres uniquement théoriques avec très peu d'applications industrielles.
- Des livres sur des antennes utilisées depuis le début de la radiodiffusion pour les stations d'émission en grandes ondes (GO), en ondes moyennes (PO), en ondes courtes (OC).
- Des livres sur les antennes utilisées en télédiffusion.
- Des livres sur les antennes utilisées dans la bande HF (2 à 30 MHz) pour les liaisons longue distance (liaisons intercontinentales) de phonie ou de transmission de données.
- Des livres uniquement pratiques pour radioamateur, essentiellement dans la bande HF également.

Il y a donc un besoin de pouvoir trouver en librairie un livre consacré :

- aux rappels de base sur les antennes, et à leur application aux antennes industrielles, qui sont installées sur tous les pylônes de la téléphonie mobile, dans les bandes VHF et UHF (de 34 MHz à 2,2 GHz) pour les mobiles, et dans les bandes SHF et EHF pour les liaisons fixes par faisceaux hertziens ;

- à l’ingénierie des sites d’antennes, pour la meilleure implantation des antennes à installer (multicouplage éventuel), et pour la protection des récepteurs contre les fréquences parasites créées ou induites sur les sites.

Cet ouvrage répond donc à ces deux attentes.

Il se compose de trois parties :

1^{re} partie : les antennes des infrastructures de téléphonie mobile

- Explication du rayonnement d’une antenne et présentation des caractéristiques de l’onde électromagnétique.
- Définition des paramètres des antennes : intensité de rayonnement, polarisation, directivité, gain isotrope et gain relatif, impédance d’entrée, bande passante, angle d’ouverture à mi-puissance.
- Calcul des caractéristiques des antennes filaires verticales omnidirectionnelles VHF et UHF (gain, diagrammes de rayonnement, angle d’ouverture...) pour les dipôles et les antennes à dipôles multiples. Exemples d’antennes industrielles.
- Calcul des caractéristiques des antennes filaires directives VHF et UHF : antennes panneaux, antennes YAGI – exemples d’antennes industrielles.
- Calcul des caractéristiques des ouvertures rayonnantes UHF et SHF : applications aux cornets pyramidaux et aux antennes paraboliques pour faisceaux hertziens. Exemple d’une antenne parabolique industrielle.

2^e partie : ingénierie des sites d’antennes

- Couplage des antennes entre elles sur un pylône ou sur une terrasse.
- Couplage des antennes à un mât tubulaire ou à un pylône.
- Utilisation des panneaux directifs dans les réseaux cellulaires : « Tilt », diversité d’espace, diversité de polarisation, panneaux multibandes – exemples d’antennes industrielles.
- Les filtres : filtres LC, filtres à lignes microbandes, filtres à cavités coaxiales – exemples de filtres industriels.
- Couplage sur une même antenne de plusieurs émetteurs-récepteurs – exemples de duplexeurs industriels.
- Étude de l’environnement radioélectrique sur site d’antennes – mesures des fréquences parasites – protection contre ces fréquences parasites.

3^e partie : annexes

Cette partie comprend un certain nombre de rappels utiles à la bonne compréhension de l’ouvrage :

- Annexe 1 : Bandes de fréquences de la téléphonie mobile
- Annexe 2 : Calcul vectoriel – rappels
- Annexe 3 : Nombre complexes – rappels
- Annexe 4 : Électrostatique – rappels
- Annexe 5 : Électromagnétisme – rappels
- Annexe 6 : Physique des vibrations – rappels

- Annexe 7 : Les lignes de transmission en hautes fréquences – rappels
- Annexe 8 : Les guides d’ondes – rappels.

Ce livre s’adresse aux ingénieurs, aux techniciens de niveau BTS et IUT et aux étudiants.

Je me suis efforcé dans l’étude des antennes (1^{re} partie) d’utiliser au maximum, lorsque c’était possible, les nombres complexes, qui permettent, de façon très simple, d’additionner les champs électriques en faisant des sommes de vecteurs.

Je remercie tout particulièrement Christian Harel, directeur général de Kathrein France, d’avoir bien voulu accepter de rédiger la préface et m’autoriser à présenter les antennes Kathrein dans cet ouvrage, ainsi que ses collaborateurs Pascal Vallet, Henri Benhamou, Jean Fleury, Dragan Gavric, pour leurs informations techniques.

Je remercie également Christian Le Mazou pour ses conseils sur les mesures radioélectriques et Pierre Vienney pour son étude de marché.

Pour les lecteurs intéressés par davantage d’informations sur les multicoupleurs et sur les filtres, je recommande le livre de Bernard Piette *Multicoupleurs et filtres VHF/UHF* – Éditions Hermès-Lavoisier.

Bruno Delorme

Bruno Delorme a fait toute sa carrière dans les radiocommunications, à TRT comme ingénieur d'étude d'émetteur-récepteur, chez Motorola Communication comme directeur des études d'ingénierie des réseaux et chez INGIRA comme consultant en systèmes de radiocommunications où il a notamment conduit des études de réseaux et des audits techniques. Il est également formateur au Centre de formation de Radio-Data-Com.

Depuis une vingtaine d'années, les antennes des réseaux de téléphonie mobile ont connu un développement industriel important avec l'arrivée des GSM chez les opérateurs agréés et l'augmentation des réseaux cellulaires privés. Les constructeurs se sont donc adaptés à ces nouveaux besoins en développant une grande variété d'antennes nouvelles. Pour les techniciens et les ingénieurs impliqués dans leur installation et leur maintenance, cela nécessite la maîtrise de connaissances de plus en plus complexes.

Fruit d'une expérience de 35 ans dans les radiocommunications, **Les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile** est le premier ouvrage technique intégralement consacré à tous les types d'antennes de ces réseaux. Véritable support technique, il aide à la bonne conduite de l'ingénierie des sites devenue indispensable pour obtenir des réseaux de bonne qualité dans un environnement radioélectrique perturbé par des fréquences parasites dues aux multiples émetteurs présents. Le lecteur y trouvera :

- un rappel des connaissances de base sur les antennes (onde électromagnétique, rayonnement de l'antenne, paramètres, bandes de fréquences utilisées...);
- une présentation détaillée du fonctionnement et des caractéristiques des différents types d'antennes (antenne dipôle demi-onde, antenne « cierge » à gain, antenne panneau, antenne YAGI, antenne cornet, antenne parabolique);
- des conseils d'optimisation pour l'installation de sites d'antennes : couplage des antennes au pylône et entre elles, antenne panneau pour les réseaux cellulaires (« Tilt » électrique, diversité de polarisation, multibandes), différents types de filtres (éléments discrets, lignes microbande, cavités coaxiales), couplage de plusieurs émetteurs-récepteurs sur une même antenne (présentation détaillée des équipements de couplage);
- une méthode d'étude de l'environnement radioélectrique des sites d'antennes ainsi que les moyens de protection contre les fréquences parasites.

Cet ouvrage est un véritable guide pratique à l'usage des ingénieurs et techniciens travaillant sur les réseaux de téléphonie mobile. Il intéressera également les fournisseurs d'équipements de radiocommunications, les intégrateurs de réseaux et les opérateurs de réseaux publics et privés.

978-2-7430-1323-3



9 782743 013233