

# TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

## TÉLÉCOMMUNICATIONS

### Antennes

### Théorie et applications

Rabia AKSAS

ellipses

# SOMMAIRE

<b>CHAPITRE I : NOTIONS FONDAMENTALES .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Types d'antennes .....</b>	<b>11</b>
1.1 Antennes filaires .....	12
1.2 Antennes à ouvertures .....	13
1.3 Antennes à réflecteurs .....	14
1.4 Antennes plaques microruban .....	14
1.5 Réseaux d'antennes .....	15
1.6 Antennes diélectriques .....	15
1.7 Antennes fractales .....	16
<b>2 Mécanisme du rayonnement .....</b>	<b>17</b>
2.1 Relation fondamental du rayonnement .....	17
2.2 Cas de deux conducteurs parallèles .....	18
<b>3 Distribution du courant sur une antenne filaire .....</b>	<b>20</b>
<b>4 Historique .....</b>	<b>21</b>
<b>5 Théorie rigoureuse et théorie élémentaire de l'antenne .....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>22</b>
<b>CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GENERALES DES ANTENNES ...</b>	<b>23</b>
<b>1 Diagramme de rayonnement.....</b>	<b>23</b>
1.1 Antenne omnidirectionnelle - Antenne directive.....	25
1.2 Caractéristiques du diagramme de rayonnement .....	26
1.3 Les trois zones de rayonnement .....	27
<b>2 Densité de puissance surfacique et intensité de rayonnement.....</b>	<b>28</b>
2.1 Rappels .....	28
2.2 Vecteur de Poynting et densité surfacique de puissance .....	29
2.3 Intensité de rayonnement .....	31
<b>3 Directivité d'une antenne .....</b>	<b>32</b>
<b>4 Intégration numérique .....</b>	<b>36</b>
4.1 Principe .....	36
4.2 Expression numérique de la puissance rayonnée .....	37
<b>5 Gain d'une antenne .....</b>	<b>39</b>
<b>6 Vecteur hauteur effective .....</b>	<b>40</b>
<b>7 Polarisation d'une antenne.....</b>	<b>41</b>
7.1 Polarisation linéaire horizontale et verticale .....	42
7.2 Polarisation linéaire quelconque .....	42
7.3 Polarisation circulaire .....	43
7.4 Polarisation elliptique .....	44
7.5 Vecteurs de base complexes .....	46
<b>8 Composantes parasites de polarisation .....</b>	<b>47</b>
<b>9 Impédance d'entrée d'une antenne .....</b>	<b>49</b>
9.1 Impédance d'entrée .....	49
9.2 Bilan énergétique .....	51
<b>10 Bande passante d'une antenne .....</b>	<b>54</b>
<b>11 Aire équivalente d'une antenne .....</b>	<b>54</b>



11.1 Aire équivalente .....	55
11.2 Aire équivalente de rayonnement .....	55
11.3 Aire équivalente de pertes dans l'antenne .....	55
11.4 Aire équivalente totale ou de "captation" .....	56
11.5 Relation entre le gain et l'aire équivalente .....	56
<b>12 Equation des télécommunications - Equation Radar .....</b>	<b>59</b>
12.1 Equation des télécommunications de Friis .....	59
12.2 Equation Radar .....	61
<b>13 Température d'antenne .....</b>	<b>63</b>
<b>14 Exercices corrigés .....</b>	<b>70</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>82</b>
<b>CHAPITRE III: RAYONNEMENT DE SOURCES EN ESPACE LIBRE .....</b>	<b>83</b>
<b>1 Equations du rayonnement .....</b>	<b>83</b>
1.1 Position du problème .....	83
1.2 Equations de maxwell .....	84
1.3 Equations d'onde en champs .....	88
1.4 Les potentiels vecteurs .....	89
1.5 Rayonnement de sources en milieu illimité .....	92
1.6 Expressions du champ lointain .....	93
<b>2 Théorèmes fondamentaux .....</b>	<b>94</b>
2.1 Principe des images .....	94
2.2 Dualité des équations de Maxwell .....	96
2.3 Principe de réciprocité .....	97
2.4 Théorème de Poynting .....	104
2.5 Théorème de Babinet .....	106
<b>3 Exercices corrigés .....</b>	<b>108</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>120</b>
<b>CHAPITRE IV : ANTENNES FILAIRES .....</b>	<b>121</b>
<b>1 Antennes filaires en régime d'ondes stationnaires .....</b>	<b>122</b>
1.1 Doublet électrique .....	122
1.2 Dipôle de longueur finie .....	129
1.3 Influence du sol .....	139
<b>2 Antennes filaires en régime d'ondes progressives .....</b>	<b>145</b>
2.1 Détermination du champ rayonné .....	146
2.2 Résistance de rayonnement et directivité .....	149
2.3 Antenne en V .....	150
2.4 Antenne losange.....	151
<b>3 Antennes cadres circulaires .....</b>	<b>152</b>
3.1 Champ lointain .....	152
3.2 Résistance de rayonnement et directivité .....	155
3.3 Spire de faibles dimensions (doublet magnétique) .....	156
3.4 Cadres polygonaux .....	159
<b>4 Antenne hélice .....</b>	<b>159</b>
4.1 Caractéristiques géométriques de l'antenne .....	159
4.2 Mode de rayonnement normal .....	160
4.3 Mode de rayonnement axial .....	161
<b>5. Exercices corrigés .....</b>	<b>163</b>

Bibliographie .....	180
<b>CHAPITRE V: RESEAUX D'ANTENNES.....</b>	<b>181</b>
<b>1 Rayonnement d'un réseau - Facteur de réseau .....</b>	<b>182</b>
<b>2 Réseau linéaire à espacement constant.....</b>	<b>185</b>
<b>3 Réseau linéaire uniforme .....</b>	<b>189</b>
3.1 Facteur de réseau .....	189
3.2 Représentation graphique – Courbes universelles .....	190
3.3 Lobe principal .....	190
3.4 Lobes secondaires.....	195
3.5 Lobes d'ambiguïté - rayonnements particuliers .....	196
3.6 Directivité d'un réseau linéaire uniforme.....	201
<b>4 Réseaux linéaires non uniformes .....</b>	<b>203</b>
4.1. Expression de la directivité d'un alignement non uniforme .....	204
4.2. Réseau binomial .....	206
4.3 Optimisation d'un réseau linéaire- Réseaux de Dolph-Chebyshev .....	207
<b>5 Réseaux plans.....</b>	<b>217</b>
<b>6 Exercices corrigés .....</b>	<b>218</b>
Bibliographie .....	233
<b>CHAPITRE VI: COUPLAGE ENTRE ANTENNES FILAIRES .....</b>	<b>234</b>
<b>1 Impédance mutuelle de deux doublets électriques .....</b>	<b>235</b>
<b>2 Champ proche rayonné par une antenne filaire rectiligne .....</b>	<b>236</b>
<b>3 Impédance propre et impédance mutuelle .....</b>	<b>240</b>
3.1 Cas de deux dipôles parallèles .....	243
3.2 Autres configurations .....	246
<b>4 Effets du couplage entre deux dipôles .....</b>	<b>248</b>
4.1 Cas de deux dipôles parallèles en réseaux .....	248
4.2 Cas d'éléments auxiliaires (parasites) – Antenne Yagi .....	249
<b>5. Exercices Corrigés .....</b>	<b>254</b>
Bibliographie .....	269
<b>CHAPITRE VII: OUVERTURES RAYONNANTES.....</b>	<b>270</b>
<b>1 Principe d'équivalence de Schelkunoff .....</b>	<b>270</b>
1.1 Enoncé du principe d'équivalence .....	270
1.2 Principe d'équivalence de Love .....	271
1.3 Expressions du champ - Formules de Kottler .....	272
1.4 Cas du rayonnement à grande distance .....	273
1.5 Principe d'équivalence de Love modifié .....	274
<b>2 Rayonnement d'une ouverture plane de forme quelconque .....</b>	<b>276</b>
2.1 Sources électriques et magnétiques .....	278
2.2 Sources magnétiques seules.....	278
2.3 Sources électriques seules.....	278
2.4 Source de Huygens .....	279
2.5 Directivité et aire équivalente .....	281
<b>3 Ouvertures planes de forme simple .....</b>	<b>282</b>
3.1 Ouverture rectangulaire.....	282
3.2 Ouverture circulaire .....	289
<b>4. Ouverture plane de forme quelconque .....</b>	<b>296</b>



<b>5. Exercices Corrigés .....</b>	<b>297</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>311</b>
<b>CHAPITRE VIII: ANTENNES A OUVERTURES .....</b>	<b>312</b>
<b>1 Rayonnement d'un guide ouvert .....</b>	<b>312</b>
1.1 Distribution des excitations.....	312
1.2 Expressions générales du champ lointain .....	313
1.3 Diagrammes de rayonnement dans les principaux plans .....	313
<b>2 Les antennes cornets .....</b>	<b>315</b>
2.1 Champ dans l'ouverture d'un cornet pyramidal .....	316
2.2 Cornet sectoriel Plan H .....	318
2.3 Cornet sectoriel Plan E .....	328
2.4 Cornet Pyramidal .....	337
2.5 Guide cylindrique ouvert .....	342
2.6 Le cornet conique .....	343
<b>3 Antennes à réflecteur parabolique .....</b>	<b>346</b>
3.1 Historique .....	346
3.2 Principe de fonctionnement .....	347
3.3 Propriétés géométriques .....	348
3.4 Loi d'illumination .....	349
3.5 Détermination du Champ rayonné .....	360
3.6 Autre structure : Système Cassegrain .....	365
<b>4. Exercices Corrigés .....</b>	<b>368</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>383</b>
<b>CHAPITRE IX : ANTENNES MICRORUBAN .....</b>	<b>384</b>
<b>1 Structure d'une antenne imprimée .....</b>	<b>384</b>
<b>2 Les techniques d'alimentation .....</b>	<b>385</b>
2.1 Alimentation par ligne microruban .....	385
2.2 Alimentation par connecteur coaxial .....	385
2.3 Alimentation par couplage électromagnétique .....	385
<b>3 Méthodes d'analyse .....</b>	<b>386</b>
<b>4 Méthode de la ligne de transmission .....</b>	<b>387</b>
4.1 Détermination du champ rayonné .....	387
4.2 Caractéristiques de rayonnement d'une fente .....	391
4.3 Caractéristiques de rayonnement de l'antenne .....	393
<b>5. Modèle de la cavité.....</b>	<b>398</b>
5.1 Formulation du problème.....	398
5.2 Cas d'un patch de forme rectangulaire .....	401
<b>6. Exercices Corrigés.....</b>	<b>412</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>422</b>
<b>Index .....</b>	<b>423</b>



La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau A Approche (éléments, résumés ou travaux dirigés)

IUT - BTS - 1<sup>er</sup> cycle

Niveau B Bases (cours avec exercices et problèmes résolus)

IUP - Licence

Niveau C Compléments (approfondissement, spécialisation)

Écoles d'ingénieurs, Master

*L'ouvrage : niveau C (Master - Écoles d'ingénieurs - Recherche)*

L'ouvrage, essentiellement didactique, propose une vue cohérente globale sur les antennes et les phénomènes liés à leur rayonnement.

Le livre s'appuie sur le concept de sources équivalentes pour développer une formulation générale applicable aux deux catégories d'antennes que l'on distingue habituellement : les antennes filaires, dont les sources d'excitation sont des courants et les antennes à ouverture, dont les sources d'excitation sont des champs. Il peut ainsi progresser de façon rationnelle, depuis les bases théoriques fondamentales de l'électromagnétisme jusqu'à l'établissement rigoureux des équations générales du rayonnement des antennes

La première étape, est consacrée au concept de rayonnement, aux caractéristiques des antennes et à l'obtention des équations générales de rayonnement. La deuxième partie est dédiée à la détermination des caractéristiques des antennes usuellement utilisées : des plus anciennes (antennes filaires), aux plus modernes (antennes imprimées). Pour faciliter la compréhension, des exemples concrets sont donnés pratiquement à la fin de chaque paragraphe. De plus, des exercices corrigés sont proposés en fins de chapitres.

Le livre constitue un outil de travail efficace pour tous élèves-ingénieurs et étudiants en télécommunications, et les enseignants y trouveront une bonne base pour leurs préparations.

*L'auteur :*

*Rabia AKSAS est Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (Département d'Electronique), Il y enseigne vibrations, ondes, électromagnétisme, systèmes de télécommunication, et surtout les antennes, et il dirige divers projets dans le domaine des antennes.*

Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.



[www.editions-ellipses.fr](http://www.editions-ellipses.fr)