

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Généralités sur les antennes.</b> . . . . .	5
Jean-Pierre BLOT	
1.1. Définition, contexte et réglementation . . . . .	5
1.1.1. L'Union internationale des télécommunications et radiocommunications (UIT-R) . . . . .	11
1.1.2. Bandes de fréquences : usages et classification . . . . .	13
1.1.3. Revue de quelques technologies par bandes de fréquences . . . . .	16
1.2. Propagation et rayonnement . . . . .	24
1.3. Antenne et capteur. . . . .	24
1.3.1. Antenne fonctionnant à l'émission et à la réception. . . . .	28
1.4. Théorèmes et principes importants de l'électromagnétisme . . . . .	33
1.4.1. Théorème de réciprocité de Lorenz . . . . .	33
1.4.2. Théorème d'équivalence de Huygens-Fresnel . . . . .	33
1.4.3. Théorème d'unicité . . . . .	35
1.4.4. Théorie des images . . . . .	35
1.4.5. Principe de superposition . . . . .	36
<b>Chapitre 2. Équations fondamentales pour le calcul des antennes .</b>	37
Jean-Pierre BLOT	
2.1. Formulations des équations de Maxwell pour le calcul du rayonnement des sources électromagnétiques . . . . .	37
2.1.1. Équations de Maxwell . . . . .	38
2.1.2. Milieux matériels . . . . .	40
2.1.3. Vecteurs $\vec{D}$ et $\vec{H}$ . . . . .	41

2.1.4. Courants sources et induits . . . . .	47
2.1.5. Équation de Maxwell sous forme intégrale . . . . .	50
2.2. Conditions aux limites entre deux milieux . . . . .	50
2.3. Potentiel vecteur . . . . .	53
2.3.1. Équations de propagation du potentiel vecteur . . . . .	55
2.3.2. Équations de propagation du potentiel scalaire . . . . .	57
2.3.3. Potentiels vecteur et scalaire en régime harmonique . . . . .	58
2.4. Équation de propagation des champs $\vec{E}$ et $\vec{H}$ . . . . .	59
2.5. Résolution des équations de Helmholtz pour les potentiels vecteur et scalaire . . . . .	60
2.5.1. Orthogonalité des champs en zone lointaine et puissance rayonnée, diagramme de rayonnement . . . . .	63
2.6. Forme harmonique des équations de Maxwell . . . . .	66
2.7. Interprétation physique du théorème de Poynting . . . . .	67
2.7.1. Vecteur de Poynting dans le domaine temporel . . . . .	67
2.7.2. Vecteur de Poynting dans le domaine fréquentiel . . . . .	69
2.8. Onde polarisée . . . . .	70
2.8.1. Définition d'une onde plane . . . . .	70
2.8.2. Polarisation d'une onde . . . . .	71
2.9. Calcul du champ électromagnétique rayonné par une antenne . . . . .	76
2.9.1. Développement des formules EFIE et MFIE . . . . .	76
2.9.2. Calcul pour un dipôle élémentaire . . . . .	78
2.10. Antenne à ouverture . . . . .	81
2.10.1. Rayonnement gaussien des ouvertures . . . . .	81
2.10.2. Identification des différentes zones . . . . .	85

### **Chapitre 3. Différentes technologies d'antennes . . . . . 89**

Jean-Pierre BLOT

3.1. Cornets . . . . .	89
3.2. Lignes coaxiales et guides d'alimentation des antennes . . . . .	92
3.2.1. Lignes coaxiales . . . . .	93
3.2.2. Guides d'ondes . . . . .	95
3.3. Alimentation des antennes, accès de référence, adaptation d'impédance et balun . . . . .	108
3.3.1. Lignes d'alimentation . . . . .	108
3.3.2. Accès de référence . . . . .	109
3.3.3. Réseaux d'adaptation . . . . .	111
3.3.4. Baluns et symétriseurs . . . . .	113
3.4. Antennes à réflecteurs . . . . .	114
3.5. Antennes imprimées . . . . .	119
3.5.1. Structures à faibles bandes passantes . . . . .	120
3.5.2. Structures à larges bandes passantes, voire indépendantes de la fréquence . . . . .	124

3.6. Antennes filaires de référence . . . . .	126
3.7. Facteur de qualité et largeur de bande de fréquences . . . . .	127
3.7.1. Facteur de qualité . . . . .	127
3.7.2. Largeur de bande de fréquences . . . . .	128
3.8. Miniaturisation . . . . .	129
<b>Chapitre 4. Paramètres de caractérisation d'une antenne . . . . .</b>	<b>135</b>
Jean-Pierre BLOT	
4.1. Paramètres caractéristiques d'une antenne . . . . .	135
4.1.1. Surfaces de captation ou équivalente d'une antenne . . . . .	136
4.1.2. Directivité et gain . . . . .	137
4.1.3. Relation entre gain, directivité et diagramme de rayonnement . . . . .	139
4.1.4. Hauteur ou longueur effectives . . . . .	140
4.2. Bilan de liaison . . . . .	141
4.3. Puissance et température de bruit . . . . .	143
4.3.1. Température de bruit captée par une antenne . . . . .	146
4.3.2. Bilan de liaison et formule de Friis . . . . .	147
4.4. Facteur de qualité $Q = G/T$ . . . . .	149
<b>Chapitre 5. Méthodes numériques . . . . .</b>	<b>153</b>
Jean-Pierre BLOT	
5.1. Introduction aux méthodes numériques . . . . .	153
5.1.1. Revue des principales méthodes numériques . . . . .	153
5.1.2. Hybridation des méthodes numériques . . . . .	159
5.1.3. Méthodes basses fréquences ( <i>Low Frequency Methods</i> ) . . . . .	159
5.1.4. Introduction aux méthodes hautes fréquences ( <i>High Frequency Methods</i> ) . . . . .	192
5.2. Remarques générales sur les méthodes CEM . . . . .	199
<b>Annexe 1. Formulaire mathématique . . . . .</b>	<b>201</b>
<b>Annexe 2. Calculs vectoriels . . . . .</b>	<b>205</b>
<b>Annexe 3. Le spectre des fréquences . . . . .</b>	<b>223</b>

<b>Annexe 4. Le décibel</b> . . . . .	231
<b>Annexe 5. Le code de visibilité international</b> . . . . .	235
<b>Liste des acronymes et des constantes</b> . . . . .	237
<b>Bibliographie</b> . . . . .	239
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	247
<b>Index</b> . . . . .	249
<b>Sommaire de <i>Ondes électromagnétiques 1</i></b> . . . . .	251