

Table des matières

Avant-propos	11
Remerciements	17
Chapitre 1. Notions de champs électromagnétiques	19
1.1. Notions de champs	19
1.1.1. Introduction	19
1.1.2. Le champ électrique	21
1.1.3. Le champ magnétique	24
1.1.4. Introduction au champ électromagnétique	28
1.2. Ondes, fréquences et longueurs d'onde	30
1.2.1. Ondes	30
1.2.2. Fréquences-périodes	31
1.2.3. Longueurs d'onde	32
1.3. Propagation des ondes électromagnétiques	32
1.3.1. Propagation en espace libre	33
1.3.2. Polarisation de l'onde	38
1.3.3. Champ proche/champ lointain	39
1.3.4. Propagation en milieu réel	42
1.3.5. Synthèse sur les ondes électromagnétiques	43
1.4. Type de rayonnements	43
1.4.1. Rayonnements ionisants	44
1.4.2. Rayonnements non ionisants	45
1.4.3. Spectre électromagnétique	45
1.4.4. Bandes de fréquence	47
1.4.5. Domaine d'exposition aux champs électromagnétiques	50
1.4.6. Synthèse des rayonnements électromagnétiques	51

Chapitre 2. Sources de champs électromagnétiques	53
2.1. Champs d'origine naturelle	53
2.1.1. Champs électriques	53
2.1.2. Champs magnétiques	54
2.1.3. Champs électromagnétiques	54
2.2. Champs d'origine artificielle	54
2.2.1. Champs statiques ou quasi statiques	55
2.2.2. Champs basses fréquences	62
2.2.3. Champs hautes fréquences	77
2.2.4. Synthèse des sources	104
Chapitre 3. Mécanismes biophysiques	107
3.1. Interactions avec la matière	108
3.1.1. Matière exposée à un champ électrique	109
3.1.2. Matière exposée à un champ magnétique	117
3.1.3. Synthèse relative aux matières	119
3.2. Interaction avec les tissus biologiques	119
3.2.1. Caractéristiques électriques des tissus biologiques	119
3.2.2. Synthèse relative aux tissus biologiques	123
3.2.3. Pénétration des champs dans les tissus biologiques	124
3.2.4. Absorption des ondes et débit d'absorption spécifique	127
3.2.5. Synthèse de l'absorption des champs	129
3.3. Couplage des champs électromagnétiques	129
3.3.1. Couplage entre les champs électriques basse fréquence et le corps humain	130
3.3.2. Couplage entre les champs magnétiques de basse fréquence et le corps humain	133
3.3.3. Couplage entre l'énergie électromagnétique et le corps humain	135
3.3.4. Synthèse des mécanismes de couplage	139
Chapitre 4. Effets biologiques des champs électromagnétiques	141
4.1. Effets directs	142
4.1.1. Effets directs des champs de basse fréquence	143
4.1.2. Effets directs des champs magnétiques statiques (< 1 Hz)	147
4.1.3. Effets directs aux fréquences comprises entre 100 kHz et 300 GHz	149
4.1.4. Synthèse des effets biologiques directs	153
4.1.5. Effets à long terme des champs électromagnétiques	154

4.2. Effets indirects	164
4.2.1. Généralités	164
4.2.2. Effets indirects dus aux courants de contact	165
4.2.3. Effets indirects dus aux champs magnétiques statiques.	167
Chapitre 5. Limites associées aux champs électromagnétiques	169
5.1. Considérations générales	169
5.1.1. Recommandation 1999/519/CE.	171
5.1.2. Directive 2013/35/UE	171
5.2. Limites aux basses fréquences, effets directs	172
5.2.1. Restrictions de base, valeur limite d'exposition aux fréquences basses	172
5.2.2. Niveaux de référence ou valeurs d'action en basse fréquence	178
5.3. Limites pour les champs magnétiques < 1 Hz, effets directs	191
5.3.1. Restrictions de base pour les champs magnétiques statiques	191
5.3.2. Restrictions de base pour les champs magnétiques quasi statiques.	192
5.3.3. Niveaux de référence pour les champs magnétiques statiques.	193
5.4. Limites aux fréquences hautes, effets directs	194
5.4.1. Restrictions de base ou VLE haute fréquence	194
5.4.2. Niveaux de référence et valeurs d'action haute fréquence	197
5.4.3. Limites pour les courants induits	200
5.4.4. Résumé des limites pour les hautes fréquences	201
5.5. Limites contre les effets indirects	202
5.5.1. Limites pour les courants de contact.	203
5.5.2. Limites pour les champs électriques, effets indirects	204
5.5.3. Limites pour les champs magnétiques statiques, effets indirects	204
5.6. Synthèse des limites d'exposition.	205
5.7. Personnes à risque particulier	208
5.7.1. Porteurs de dispositifs médicaux	208
5.7.2. Dispositifs médicaux actifs	209
5.7.3. Dispositifs médicaux passifs	213
5.7.4. Limites pour les implants actifs.	213
5.7.5. Femmes enceintes.	215
Chapitre 6. Indices d'exposition	217
6.1. Introduction générale	217
6.2. Signaux et définitions.	218
6.2.1. Signal sinusoïdal	218

6.2.2. Signal complexe.	219
6.2.3. Valeur efficace d'un signal complexe (exemple)	223
6.3. Introduction aux indices d'exposition	224
6.4. Indice d'exposition pour les champs de hautes fréquences	224
6.4.1. Exposition à une seule fréquence supérieure à 100 kHz	224
6.4.2. Exposition à de multiples fréquences	226
6.5. Indice d'exposition pour les champs de basses fréquences	228
6.5.1. Exposition à un signal sinusoïdal basse fréquence.	229
6.5.2. Exposition à un signal de forme complexe	230
6.5.3. Comparaison des techniques de crête pondérée	241
6.6. Indices d'exposition : courants de contact et courants induits	244
6.7. Synthèse indices d'exposition	245
Chapitre 7. Exemples d'application des indices d'exposition	249
7.1. Introduction.	249
7.2. Signaux théoriques	250
7.2.1. Exemple 1 : deux signaux sinusoïdaux incohérents de fréquences proches	251
7.2.2. Exemple 2 : signal composé de deux signaux sinusoïdaux cohérents (influence de la phase).	255
7.2.3. Exemple 3 : signal composé de deux signaux sinusoïdaux de fréquences très différentes.	257
7.2.4. Exemple 4 : salve	260
7.2.5. Exemple 5 : signal sinusoïdal « découpé »	262
7.2.6. Exemple 6 : signal carré	265
7.3. Signaux réels	271
7.3.1. Exemple 7 : perceuse électroportative.	271
7.3.2. Exemple 8 : pinces à souder.	276
7.3.3. Exemple 9 : dispositif de stimulation transcrânienne	280
7.4. Conclusion sur les exemples de calculs d'indices	281
Chapitre 8. Evaluation de l'exposition	283
8.1. Introduction.	283
8.1.1. Approche théorique.	284
8.1.2. Approche numérique	285
8.1.3. Approche métrologique	285
8.2. Mesure : généralités	285

8.2.1. Démarche	285
8.2.2. Spécifications d'un appareil de mesure	288
8.3. Mesure de champs de basses fréquences.	291
8.3.1. Généralités	291
8.3.2. Mesure du champ magnétique en basse fréquence	291
8.3.3. Mesure du champ magnétique statique	299
8.3.4. Mesure du champ électrique de basses fréquences	299
8.4. Mesure de champs électromagnétiques hautes fréquences	306
8.4.1. Généralités	306
8.4.2. Capteurs de mesure de champs électromagnétiques.	307
8.4.3. Appareil de mesure du champ électromagnétique haute fréquence	309
8.4.4. Mesurage du champ électromagnétique de haute fréquence	313
8.4.5. Etalonnage de la chaîne de mesure champ électromagnétique	315
8.4.6. Sources d'incertitude de mesure de champ électromagnétique (HF).	315
8.5. Mesure du courant de contact et du courant induit.	318
8.5.1. Mesure du courant de contact (effet indirect)	318
8.5.2. Mesure du courant induit (effet direct)	318
8.6. Introduction à la dosimétrie	321
8.6.1. Définition.	321
8.6.2. Dosimétrie expérimentale	323
8.6.3. Dosimétrie théorique	327
8.6.4. Synthèse sur la dosimétrie.	335

Chapitre 9. Mise en place de la Directive 2013/35/UE 337

9.1. Contexte de la directive.	338
9.1.1. Introduction	338
9.1.2. Elaboration de la directive.	339
9.2. Mise en œuvre de la directive	341
9.2.1. Introduction	341
9.2.2. Phase préparatoire	342
9.2.3. Evaluation du risque	347
9.2.4. Prévention du risque	359
9.2.5. Autres activités	365

Annexe 1. Classification des équipements et lieux de travail	369
Annexe 2. Filtres de pondération	375
Glossaire	389
Bibliographie	397
Index	407