IEC 62232

Edition 4.0 2025-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Determination of RF field strength, power density and SAR in the vicinity of base stations for the purpose of evaluating human exposure

Détermination de l'intensité du champ de radiofréquences, de la densité de puissance et du DAS à proximité des stations de base dans le but d'évaluer l'exposition humaine

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.280, 17.240

ISBN 978-2-8327-0316-8

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 16
INTRODUCTION 18
1 Scope 19
2 Normative references 20
3 Terms and definitions 21
4 Symbols and abbreviated terms 37
4.1 Physical quantities 37
4.2 Constants 37
4.3 Abbreviated terms 38
5 How to use this document 41
5.1 Quick start guide 41
5.2 RF evaluation purpose categories 43
5.3 Implementation case studies 43
6 Evaluation processes for product compliance, product installation compliance and in-situ RF exposure assessments 43
6.1 Evaluation process for product compliance 43
6.1.1 General 43
6.1.2 Establishing compliance boundaries 44
6.1.3 Iso-surface compliance boundary definition 44
6.1.4 Simple compliance boundaries 44
6.1.5 Methods for establishing the compliance boundary 46
6.1.6 Uncertainty 50
6.1.7 Reporting for product compliance 51
6.2 Evaluation process used for product installation compliance 52
6.2.1 General 52
6.2.2 General evaluation procedure for product installations 52
6.2.3 Product installation compliance based on the actual maximum transmitted power or EIRP 53
6.2.4 Product installation data collection 57
6.2.5 Simplified product installation evaluation process 57
6.2.6 Assessment area selection 61
6.2.7 Measurements 62
6.2.8 Computations 64
6.2.9 Uncertainty 65
6.2.10 Reporting for product installation compliance 65
6.3 In-situ RF exposure evaluation or assessment process 66
6.3.1 General 66
6.3.2 In-situ measurement process 66
6.3.3 Site analysis 67
6.3.4 Case A evaluation 68
6.3.5 Case B evaluation 68
6.3.6 Uncertainty 69
6.3.7 Reporting 69
6.4 Averaging procedures 70
6.4.1 Spatial averaging 70
6.4.2 Time averaging 70
7 Determining the evaluation method 70

7.1 Overview 70
7.2 Process to determine the evaluation method 70
7.2.1 General 70
7.2.2 Establishing the evaluation points in relation to the source-environment plane 71
7.2.3 Exposure metric selection 73
8 Evaluation methods 74
8.1 General 74
8.2 Measurement methods 74
8.2.1 General 74
8.2.2 RF field strength and power density measurements 75
8.2.3 SAR measurements 76
8.3 Computation methods 76
8.4 Methods for assessment based on actual maximum approach 78
8.4.1 General requirements 78
8.4.2 Actual transmitted power or EIRP monitoring 79
8.4.3 Actual transmitted power or EIRP control 79
8.5 Methods for the assessment of RF exposure to multiple sources 80
8.6 Methods for establishing the BS transmitted power or EIRP 82
9 Uncertainty 82
10 Reporting 83
10.1 General requirements 83
10.2 Report format 83
10.3 Opinions and interpretations 84
Annex A (informative) Source-environment plane and guidance on the evaluation method selection 85
A.1 Guidance on the source-environment plane 85
A.1.1 General 85
A.1.2 Source-environment plane example 85
A.1.3 Source regions 86
A.2 Select between computation or measurement approaches 92
A.3 Select measurement method 93
A.3.1 Selection stages 93
A.3.2 Selecting between RF field strength, power density and SAR measurement approaches 93
A.3.3 Selecting between broadband and frequency selective measurement 94
A.3.4 Selecting RF field strength measurement procedures 95
A.4 Select computation method 96
A.5 Additional considerations 97
A.5.1 Simplicity 97
A.5.2 Evaluation method ranking 97
A.5.3 Applying multiple methods for RF exposure evaluation 97
Annex B (normative) Evaluation methods 98
B.1 Overview 98
B.2 General 98
B.2.1 Coordinate systems and reference points 98
B.2.2 Variables 99
B.3 RF exposure evaluation principles 100
B.3.1 Simple calculation of RF field strength and power density 100

B.3.2 Measurement of RF field strength and power density 104
B.3.3 Spatial averaging 106
B.3.4 Time averaging 109
B.3.5 Comparing measured and computed values 111
B.3.6 Personal RF monitors 111
B.4 RF field strength and power density measurements 111
B.4.1 Applicability of RF field strength and power density measurements 111
B.4.2 In-situ RF exposure measurements 111
B.4.3 Laboratory based RF field strength and power density measurements 123
B.4.4 RF field strength and power density measurement uncertainty 133
B.5 SAR measurements 138
B.5.1 Overview of SAR measurements 138
B.5.2 SAR measurement requirements 138
B.5.3 SAR measurement description 140
B.5.4 SAR measurement uncertainty 146
B.6 Basic computation methods 148
B.6.1 General 148
B.6.2 Basic computation formulas for RF field strength or power density evaluation 149
B.6.3 Basic wbSAR and psSAR evaluation formulas 155
B.6.4 Basic compliance boundary assessment method for BS using parabolic dish antennas 162
B.6.5 Basic compliance boundary assessment method for intentionally radiating cables 165
B.7 Advanced computation methods 166
B.7.1 General 166
B.7.2 Synthetic model and ray tracing algorithms 166
B.7.3 Full wave RF exposure computation 173
B.7.4 Full wave SAR computation 182
B.8 Extrapolation from the evaluated values to the maximum or actual values 187
B.8.1 Extrapolation method 187
B.8.2 Extrapolation to maximum in-situ RF field strength or power density using broadband measurements 189
B.8.3 Extrapolation to maximum in-situ RF field strength / power density using frequency or code selective measurements 189
B.8.4 Influence of traffic in real operating network 190
B.8.5 Extrapolation for massive MIMO and beamforming BS 191
B.8.6 Maximum exposure extrapolation with dynamic spectrum sharing (DSS) 193
B.9 Guidance for implementing the actual maximum approach 194
B.9.1 BS actual EIRP evaluation assumptions 194
B.9.2 Technology duty-cycle factor description 195
B.9.3 CDF evaluation using modelling studies 197
B.9.4 CDF evaluation using measurement studies on operational BS sites 198
B.9.5 Actual transmitted power or EIRP monitoring counters 200
B.9.6 Configurations with multiple transmitters 200
B.10 Transmitted power or EIRP evaluation 202
B.10.1 General 202
B.10.2 Measurement of the transmitted power in conducted mode 202
B.10.3 Measurement of the transmitted power in OTA conditions 203
B.10.4 Measurement of the EIRP in OTA and laboratory conditions 203

B.10.5 Measurement of the EIRP in OTA and in-situ conditions 204
Annex C (informative) Guidelines for the validation of power or EIRP control features and monitoring counter(s) related to the actual maximum approach 205
C.1 Overview 205
C.2 Guidelines for validating control feature(s) and monitoring counters 205
C.3 Validation of power or EIRP monitoring counter in laboratory conditions 206
C.3.1 Validation of power or EIRP monitoring counter in conducted mode – test procedure 206
C.3.2 Validation of power or EIRP monitoring counter in OTA mode – test procedure 208
C.3.3 Validation of control feature(s) in laboratory conditions 211
C.3.4 Validation of control features using in-situ measurements 214
C.4 Validation test report 216
C.5 Case studies 217
C.5.1 Case study A – In-situ validation 217
C.5.2 Case study B – In-situ validation 221
C.5.3 Case study C – In-situ validation 224
Annex D (informative) Rationale supporting simplified product installation criteria 230
D.1 General 230
D.2 Class E2 230
D.3 Class E10 231
D.4 Class E100 232
D.5 Class E+ 234
D.6 Simplified formulas for millimetre-wave antennas using massive MIMO or beam steering 235
Annex E (informative) Technology-specific exposure evaluation guidance 237
E.1 Overview to guidance on specific technologies 237
E.2 Summary of technology-specific information 237
E.3 Guidance on spectrum analyser settings 238
E.3.1 Overview of spectrum analyser settings 238
E.3.2 Detection algorithms 239
E.3.3 Resolution bandwidth and channel power processing 239
E.3.4 Integration per service 242
E.4 Stable transmitted power signals 242
E.4.1 TDMA/FDMA technology 242
E.4.2 WCDMA/UMTS technology 243
E.4.3 OFDM technology 244
E.5 WCDMA measurement and calibration using a code domain analyser 244
E.5.1 WCDMA measurements – General 244
E.5.2 WCDMA decoder characteristics 244
E.5.3 Calibration 245
E.6 Wi-Fi measurements 247
E.6.1 General 247
E.6.2 Integration time for reproducible measurements 248
E.6.3 Channel occupation 248
E.6.4 Some considerations 249
E.6.5 Measurement configuration and steps 249
E.6.6 Influence of the application layers 250
E.6.7 Power control 250

E.7 LTE measurements 251
E.7.1 Overview 251
E.7.2 LTE transmission modes 251
E.7.3 LTE-FDD frame structure 252
E.7.4 LTE-TDD frame structure 253
E.7.5 Maximum LTE exposure evaluation 255
E.7.6 Instantaneous LTE exposure evaluation 260
E.7.7 MIMO multiplexing of LTE BS 260
E.8 NR BS measurements 261
E.8.1 General 261
E.8.2 Maximum NR exposure evaluation 261
E.9 Establishing compliance boundaries using numerical simulations of MIMO array antennas emitting correlated waveforms 270
E.9.1 General 270
E.9.2 Field combining near base stations for correlated exposure with the purpose of establishing compliance boundaries 271
E.9.3 Numerical simulations of MIMO array antennas with densely packed columns 272
E.9.4 Numerical simulations of large MIMO array antennas 272
E.10 Massive MIMO antennas 273
E.10.1 Overview 273
E.10.2 Deterministic conservative approach 273
E.10.3 Statistical conservative approach 273
E.10.4 Example approaches 274
Annex F (informative) Guidelines for the assessment of BS compliance with ICNIRP-2020 brief exposure limits 291
F.1 General 291
F.2 Brief exposure limits 291
F.3 Implications of brief exposure limits on signal modulation and TDD duty cycle 293
F.4 Implications of brief exposure limits on the actual maximum approach 293
Annex G (informative) Uncertainty 298
G.1 Background 298
G.2 Requirement to estimate uncertainty 298
G.3 How to estimate uncertainty 299
G.4 Guidance on uncertainty and assessment schemes 299
G.4.1 General 299
G.4.2 Overview of assessment schemes 299
G.4.3 Examples of assessment schemes 300
G.4.4 Assessment schemes and compliance probabilities 303
G.5 Guidance on uncertainty 305
G.5.1 Overview 305
G.5.2 Measurement uncertainty and confidence levels 306
G.6 Applying uncertainty for compliance assessments 307
G.7 Example influence quantities for field measurements 308
G.7.1 General 308
G.7.2 Calibration uncertainty of measurement antenna or field probe 308
G.7.3 Frequency response of the measurement antenna or field probe 308
G.7.4 Isotropy of the measurement antenna or field probe 310
G.7.5 Frequency response of the spectrum analyser 310

G.7.6 Temperature response of a broadband field probe 310
G.7.7 Linearity deviation of a broadband field probe 311
G.7.8 Mismatch uncertainty 311
G.7.9 Deviation of the experimental source from numerical source 311
G.7.10 Meter fluctuation uncertainty for time-varying signals 311
G.7.11 Uncertainty due to power variation in the RF source 312
G.7.12 Uncertainty due to field gradients 312
G.7.13 Mutual coupling between measurement antenna or isotropic probe and object 313
G.7.14 Uncertainty due to field scattering from the surveyor's body 314
G.7.15 Measurement device 316
G.7.16 Fields out of measurement range 316
G.7.17 Noise 317
G.7.18 Integration time 317
G.7.19 Power chain 317
G.7.20 Positioning system 317
G.7.21 Matching between probe and the EUT 317
G.7.22 Drifts in output power of the EUT, probe, temperature, and humidity 317
G.7.23 Perturbation by the environment 317
G.8 Example influence quantities for RF field strength computations by ray tracing or full wave methods 318
G.8.1 General 318
G.8.2 System 318
G.8.3 Technique uncertainties 319
G.8.4 Environmental uncertainties 319
G.9 Influence quantities for SAR measurements 320
G.9.1 General 320
G.9.2 Post-processing 320
G.9.3 EUT holder 320
G.9.4 EUT positioning 321
G.9.5 Phantom shell uncertainty 322
G.9.6 SAR correction depending on target liquid permittivity and conductivity 322
G.9.7 Liquid permittivity and conductivity measurements 323
G.9.8 Liquid temperature 323
G.10 Influence quantities for SAR calculations 323
G.11 Spatial averaging 323
G.11.1 General 323
G.11.2 Small-scale fading variations 324
G.11.3 Error on the estimation of local average power density 324
G.11.4 Characterization of environment statistical properties 325
G.11.5 Characterization of different spatial averaging schemes 326
G.12 Influence of human body on measurements of the electric RF field strength 330
G.12.1 Simulations of the influence of human body on measurements based on the method of moments (surface equivalence principle) 330
G.12.2 Comparison with measurements 332
G.12.3 Conclusions 333
Annex H (informative) Guidance on comparing evaluated parameters with a limit value 334
H.1 Overview 334
H.2 Information recommended to compare evaluated value against limit value 334

H.3 Performing a limit comparison at a given confidence level 334
H.4 Performing a limit comparison using a process-based assessment scheme 335
Bibliography 336

Figure 1 – Quick start guide to the evaluation process 41
Figure 2 – Example of iso-surface compliance boundary 44
Figure 3 – Example of cylindrical and half-pipe compliance boundaries 45
Figure 4 – Example of box shaped compliance boundary 46
Figure 5 – Example of truncated box shaped compliance boundary 46
Figure 6 – Example illustrating the linear scaling procedure 47
Figure 7 – Example of massive MIMO antenna and corresponding beams and envelope patterns 49
Figure 8 – Example of compliance boundary shape for BS antennas with beam steering 50
Figure 9 – Example of dish antenna compliance boundary 50
Figure 10 – Flowchart describing the product installation evaluation process 53
Figure 11 – Example of a CDF curve representing the normalized actual transmitted power or EIRP 55
Figure 12 – Flow chart for product installation compliance based on the actual maximum transmitted power or EIRP threshold(s) 56
Figure 13 – Simplified compliance assessment process using installation classes 58
Figure 14 – Example of DI within a square-shaped assessment domain boundary (ADB) with dimension L_{ADB} 62
Figure 15 – In-situ RF exposure evaluation or assessment process flow chart 67
Figure 16 – Source-environment plane concept 72
Figure 17 – Flow chart of the measurement methods 75
Figure 18 – Flow chart of the relevant computation methods 77
Figure 19 – Example of segments used for monitoring and control of BS using mMIMO or beam steering 79
Figure A.1 – Example source-environment plane regions near a base station antenna on a tower 85
Figure A.2 – Example source-environment plane regions near a roof-top antenna that has a narrow vertical (elevation plane) beamwidth (not to scale) 86
Figure A.3 – Geometry of an antenna with largest linear dimension L_{eff} and largest end dimension L_{end} 87
Figure A.4 – Maximum path difference for an antenna with largest linear dimension L 91
Figure B.1 – Cartesian, cylindrical and spherical coordinate systems relative to the BS antenna (view from the rear panel) 99
Figure B.2 – Typical RF exposure assessment case 101
Figure B.3 – Reflection due to the presence of a ground plane 102
Figure B.4 – Reflections due to the presence of internal walls of the housing and surrounding asphalt and soil configuring a base station installed underground 103
Figure B.5 – General representation of RF field strength or power density measurements 104
Figure B.6 – Practical examples of measurement equipment installation 105

Figure B.7 – Spatial averaging schemes relative to walking or standing surface and in the vertical plane oriented to offer maximum area in the direction of the source being evaluated 107
Figure B.8 – Spatial averaging relative to spatial-peak field strength point height 109
Figure B.9 – Evaluation points 121
Figure B.10 – Relationship of separation of remote radio source and evaluation area to separation of evaluation points 122
Figure B.11 – Outline of the surface scanning methodology 125
Figure B.12 – Block diagram of the antenna measurement system 126
Figure B.13 – Minimum radius constraint, where a denotes the minimum radius of a sphere, centred at the reference point, that encompasses the EUT 127
Figure B.14 – Maximum angular sampling spacing constraint 127
Figure B.15 – Outline of the volume/surface scanning methodology 130
Figure B.16 – Block diagram of typical near-field EUT measurement system 131
Figure B.17 – Examples of positioning of the EUT relative to the relevant phantom 138
Figure B.18 – Phantom liquid volume and measurement volume used for wbSAR measurements with the box-shaped phantoms 145
Figure B.19 – Reference frame employed for cylindrical formulas for RF field strength computation at a point P (left), and on a line perpendicular to boresight (right) 149
Figure B.20 – Views illustrating the three valid zones for field strength computation around an antenna 151
Figure B.21 – Enclosed cylinder around collinear array antennas, with and without electrical downtilt 152
Figure B.22 – Spherical formulas reference results 155
Figure B.23 – Cylindrical formulas reference results 155
Figure B.24 – Directions for which SAR estimation expressions are provided 156
Figure B.25 – Description of SAR estimation formulas physical parameters 157
Figure B.26 – Flow chart for the simplified assessment of RF compliance boundary in the line of sight of a parabolic dish antenna 164
Figure B.27 – Radiating cable geometry 165
Figure B.28 – Synthetic model and ray tracing algorithms geometry and parameters 169
Figure B.29 – Line 4 far-field positions for synthetic model and ray tracing validation example 171
Figure B.30 – Antenna parameters for synthetic model and ray tracing algorithms validation example 172
Figure B.31 – Generic 900 MHz BS antenna with nine dipole radiators 179
Figure B.32 – Line 1, 2 and 3 near-field positions for full wave and ray tracing validation 180
Figure B.33 – Generic 1 800 MHz BS antenna with five slot radiators 181
Figure B.34 – BS antenna placed in front of a multi-layered lossy cylinder 187
Figure B.35 – Time variation over 24 h of the exposure induced by NR, GSM and FM, each normalized to the mean value 191
Figure B.36– Generic structure of a base station transmitted RF signal frame 196
Figure B.37 – Example of setup for the direct power level measurement for BS equipped with direct access conducted output ports 203
Figure C.1 – Example of a laboratory test setup for validation of an actual power control feature intended for use with a 5G BS 212

Figure C.2 – Example of a test setup for validation of an actual power control feature implemented in a 5G BS 215
Figure C.3 – Ground based in-situ validation setup 219
Figure C.4 – In-situ validation measurement setup near the general public compliance boundary in front of the 5G massive MIMO antenna (bore sight position) 219
Figure C.5 – Comparison between measured time-averaged EMF and power control feature (5G counter data) for the ground-based measurements 220
Figure C.6 – Measured exposure adaptation in time expressed as a percentage of ICNIRP exposure limits [1], [2] for the measurements near the general public compliance boundary 221
Figure C.7 – Overview of the measurement site 223
Figure C.8 – Ground view of the validation site and measurement setup, located 60 m from the 5G BS, in the line of sight 223
Figure C.9 – Power transmitted by the massive MIMO antenna (top trace), channel power (ChP) measurements (middle trace) and transmitted resource blocks (RBs) (bottom trace) 224
Figure C.10 – Overview of the test platform 225
Figure C.11 – Example of synthetic model simulation of the test area 225
Figure C.12 – Examples of traffic load profiles 226
Figure C.13 – Example of testing in different segments in the test area 227
Figure C.14 – Results of the monitoring validation and baseline test in phase 1 227
Figure C.15 – Example of power density measurements and power density derived from counters 228
Figure C.16 – Measured power density and power density derived from counters 228
Figure C.17 – Comparisons of both counters and measurements 229
Figure D.1 – Measured ER as a function of distance for a BS (G = 5 dBi, f = 2 100 MHz) transmitting with an EIRP of 2 W (installation class E2) and 10 W (installation class E10) 230
Figure D.2 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E10 231
Figure D.3 – Compliance distance in the main lobe as a function of EIRP established in accordance with the far-field formula corresponding to installation class E100 232
Figure D.4 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E100 233
Figure D.5 – Averaged power density at ground level for various installation configurations of equipment with 100 W EIRP (installation class E100) 234
Figure D.6 – Compliance distance in the main lobe CD_m as a function of EIRP established in accordance with the far-field formula corresponding to installation class E+ 235
Figure D.7 – Minimum installation height h_m as a function of EIRP corresponding to installation class E+ 235
Figure D.8 – Power density distribution in watts per square metre in a vertical cut plane for an 8 × 8 antenna array at 28 GHz (grid step of 10 cm) 236
Figure D.9 – Power density distribution in watts per square metre in a vertical cut plane for an 8 × 8 antenna array at 39 GHz (grid step of 10 cm) 236
Figure E.1 – Spectral occupancy for GMSK 240
Figure E.2 – Spectral occupancy for CDMA 241
Figure E.3 – Channel allocation for a WCDMA signal 244
Figure E.4 – Example of Wi-Fi frames 247

Figure E.5 – Channel occupation versus the integration time for IEEE 802.11b standard 248
Figure E.6 – Channel occupation versus nominal throughput rate for IEEE 802.11b/g standards 249
Figure E.7 – Wi-Fi spectrum trace snapshot 249
Figure E.8 – Frame structure of transmission signal for LTE-FDD downlink 253
Figure E.9 – Frame structure LTE-TDD type 2 (for 5 ms switch-point periodicity) 254
Figure E.10 – Frame structure of transmission signal for LTE-TDD 254
Figure E.11 – LTE-TDD PBCH measurement example 256
Figure E.12 – Example of VBW setting for LTE-FDD and LTE-TDD to avoid underestimation 258
Figure E.13 – Examples of received waves from LTE-FDD downlink signals using a spectrum analyser using zero span mode 259
Figure E.14 – LTE-TDD PBCH measurement example spectrum analyser using zero span mode 259
Figure E.15 – Example of VBW setting for NR to avoid underestimation 263
Figure E.16 – Examples of measurement accuracy results according to the ratio of VBW and RBW for NR SCS 30 kHz and 1 MHz RBW using various SA types (A to D) 264
Figure E.17 – Waterfall reconstruction plot of a 1 s long measurement trace of an NR signal with subcarrier spacing (SCS) 30 kHz (along one component of the electric field) 264
Figure E.18 – Example of NR signal frame measured on SA with SSB signal above PDSCH (data) 265
Figure E.19 – Example of NR signal frame measured on SA with SSB signal below or equal to PDSCH (data) 266
Figure E.20 – Time gating of SS burst signal 266
Figure E.21 – Representation of the channel bandwidth (CBW) 267
Figure E.22 – An example for one port CSI-RS beam design 269
Figure E.23 – Plan view representation of statistical conservative model 275
Figure E.24 – Binomial cumulative probability function for N = 24, PR = 0,125 283
Figure E.25 – Binomial cumulative probability function for N = 18, PR = 2/7 284
Figure E.26 – Binomial cumulative probability function for N = 100, PR = 0,125 288
Figure E.27 – Binomial cumulative probability function for N = 82, PR = 2/7 288
Figure F.1 – Limits for brief exposure (t < 360 s), seeTable F.1, divided by the corresponding time interval t and normalized with the value obtained for t up to 360 s 292
Figure F.2 – F_{PR_min} as a function of the pulse duration assuming a whole-body averaging time of 30 min 296
Figure F.3 – F_{PR_min} as a function of the pulse duration assuming an averaging time of 6 min 296
Figure G.1 – Examples of general assessment schemes 301
Figure G.2 – Target uncertainty scheme overview 302
Figure G.3 – Probability of the true value being above (respectively below) the evaluated value depending on the confidence level assuming a normal distribution 306
Figure G.4 – Plot of the calibration factors for E (not E^2) provided from an example calibration report for an electric field probe 309
Figure G.5 – Computational model used for the variational analysis of reflected RF fields from the front of a surveyor 315

Figure G.6 – EUT positioning equipment and different positioning errors 321
Figure G.7 – Physical model of small-scale fading variations 323
Figure G.8 – Example of electric field strength variations in line of sight of an antenna operating at 2,2 GHz 324
Figure G.9 – Error at 95 % on average power estimation 325
Figure G.10 – 343 measurement points building a cube (centre) and different templates consisting of a different number of positions 326
Figure G.11 – Moving a template (Line 3) through the cube 327
Figure G.12 – Standard deviations for GSM 900, DCS 1800 and UMTS 329
Figure G.13 – Simulation arrangement 331
Figure G.14 – Body influence 331
Figure G.15 – Simulation arrangement 332

Table 1 – Quick start guide evaluation steps 42
Table 2 – Example of product installation classes where a simplified evaluation process is applicable (based on ICNIRP general public limits [1] and [2]) 59
Table 3 – Exposure metrics validity for evaluation points in each source region 73
Table 4 – Requirements for RF field strength and power density measurements 75
Table 5 – wbSAR exclusions based on RF power levels 76
Table 6 – Requirements for SAR measurements 76
Table 7 – Applicability of computation methods for source-environment regions of Figure 16 78
Table 8 – Requirements for computation methods 78
Table A.1 – Definition of source regions 88
Table A.2 – Default source region boundaries 88
Table A.3 – Source region boundaries for antennas with maximum dimension less than 2,5 λ 89
Table A.4 – Source region boundaries for linear/planar antenna arrays with a maximum dimension greater than or equal to 2,5 λ 89
Table A.5 – Source region boundaries for equiphase radiation aperture (e.g. dish) antennas with maximum reflector dimension much greater than a wavelength 90
Table A.6 – Source region boundaries for radiating cables 90
Table A.7 – Far-field distance r measured in metres as a function of angle β 92
Table A.8 – Guidance on selecting between computation and measurement approaches 92
Table A.9 – Guidance on selecting between broadband and frequency selective measurement 94
Table A.10 – Guidance on selecting RF field strength measurement procedures 95
Table A.11 – Guidance on selecting computation methods 96
Table A.12 – Guidance on specific evaluation method ranking 97
Table B.1 – Dimension variables 99
Table B.2 – RF power variables 99
Table B.3 – Antenna variables 100
Table B.4 – Exposure metric variables 100
Table B.5 – Broadband measurement system minimum requirements 113
Table B.6 – Frequency selective measurement system minimum requirements 114

Table B.7 – Example template for estimating the expanded uncertainty of an in-situ RF field strength measurement that used a frequency selective equipment 134
Table B.8 – Example template for estimating the expanded uncertainty of an in-situ RF field strength measurement that used a broadband equipment 135
Table B.9 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a laboratory-based RF field strength or power density measurement using the surface scanning method 136
Table B.10 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a laboratory-based RF field strength or power density measurement using the volume scanning method 137
Table B.11 – Numerical reference SAR values for reference dipoles and flat phantom – All values are normalized to a forward power of 1 W 142
Table B.12 – Phantom liquid volume and measurement volume used for wbSAR measurements [61], [77] 145
Table B.13 – Correction factor to compensate for a possible bias in the obtained general public wbSAR when assessed using the large box-shaped phantom for child exposure configurations [72] 145
Table B.14 – Measurement uncertainty evaluation template for EUT wbSAR test 146
Table B.15 – Measurement uncertainty evaluation template for wbSAR system validation 147
Table B.16 – Definition of boundaries for selecting the zone of computation 151
Table B.17 – Input parameters for cylindrical and spherical formulas validation 154
Table B.18 – Applicability of SAR estimation formulas 156
Table B.19 – Calculation of $A(f, d)$ 159
Table B.20 – Antenna parameters for SAR estimation formulas verification 161
Table B.21 – Verification data for SAR estimation formulas - front 161
Table B.22 – Verification data for SAR estimation formulas – axial and back 161
Table B.23 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a synthetic model and ray tracing RF field strength computation 170
Table B.24 – Synthetic model and ray tracing power density reference results 173
Table B.25 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a full wave RF field strength / power density computation 178
Table B.26 – Validation 1 full wave field reference results 180
Table B.27 – Validation 2 full wave field reference results 181
Table B.28 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a full wave SAR computation 185
Table B.29 – Validation reference SAR results for computation method 187
Table B.30 – Relevant parameters for performing RF exposure modelling studies of a massive MIMO site or site cluster 197
Table B.31 – Measurement campaign parameters for performing RF exposure assessment of a massive MIMO site or site cluster 199
Table B.32 – Power combination factors applicable to the normalized actual transmitted power CDF in case of combination of multiple independent identical transmitters 201
Table B.33 – Power combination factors applicable to two independent transmitters with a ratio p in amplitude 202
Table C.1 – Example of relative difference between the measured averaged transmitted power and actual power counter value for systems that allow direct power level measurements 206

Table C.2 – Example of correlation between the configured maximum power level and the level reported by actual power counters for BS that allow direct power level measurements 207

Table C.3 – Example of correlation between the configured time-averaged load levels and the actual power counter value for systems that allow direct power level measurements 207

Table C.4 – Example of relative difference between the configured maximum power, measured averaged transmitted power, and actual power counters for systems that do not support direct power level measurements 209

Table C.5 – Example of correlation between the configured power level and the level reported by power counters for BS that do not support direct power level measurements 210

Table C.6 – Example of correlation between time linearity of the configured maximum power level and the level reported by actual power counters for BS that do not support direct power level measurements 211

Table E.1 – Technology-specific information 237

Table E.2 – Example of spectrum analyser settings for an integration per service 242

Table E.3 – Example constant power components for specific TDMA/FDMA technologies 243

Table E.4 – WCDMA decoder characteristics 245

Table E.5 – Signal configurations 245

Table E.6 – WCDMA generator setting for power linearity 246

Table E.7 – WCDMA generator setting for decoder calibration 246

Table E.8 – WCDMA generator setting for reflection coefficient measurement 247

Table E.9 – Uplink-downlink configurations 254

Table E.10 – Theoretical extrapolation factor, N_{RS}, based on frame structure given in 3GPP TS 36.104 [21] 256

Table E.11 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for sub-6 GHz signals 262

Table E.12 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for mm-wave signals 262

Table E.13 – List of variables in the case study 287

Table F.1 – Brief exposure limits for the general public integrated over intervals of between 0 min and 6 min as specified by ICNIRP-2020 [1] 292

Table F.2 – Minimum F_{PR}, F_{PR_min}, for which compliance with the time-averaged whole-body limits ICNIRP-2020 [1] inherently ensures compliance with the brief exposure limits specified by ICNIRP-2020 [1] 297

Table G.1 – Determining target uncertainty 302

Table G.2 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using best estimate 304

Table G.3 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using target uncertainty of 4 dB 304

Table G.4 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials where surveyor uses upper 95 % CI and auditor uses lower 95 % CI 305

Table G.5 – Guidance on minimum separation distances for some dipole lengths such that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of E 313

Table G.6 – Guidance on minimum separation distances for some loop diameters such that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of H 313

Table G.7 – Example minimum separation conditions for selected dipole lengths for 10 % uncertainty in E 314

Table G.8 – Standard estimates of dB variation for the perturbations in front of a surveyor due to body reflected fields as described in Figure G.5 316

Table G.9 – Standard uncertainty (u) estimates for E and H due to body reflections from the surveyor for common radio services derived from estimates provided in Table G.8 316

Table G.10 – Maximum sensitivity coefficients for liquid permittivity and conductivity over the frequency range 300 MHz to 6 GHz for various SAR measurement procedures 323

Table G.11 – Uncertainty at 95 % for different fading models 326

Table G.12 – Correlation coefficients for GSM 900 and DCS 1800 328

Table G.13 – Variations of the standard deviations for the GSM 900, DCS 1800 and UMTS frequency bands 329

Table G.14 – Examples of total uncertainty calculation 330

Table G.15 – Maximum simulated error due to the influence of a human body on the measurement values of an omnidirectional probe 332

Table G.16 – Measured influence of a human body on omnidirectional probe measurements 332

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

DETERMINATION OF RF FIELD STRENGTH, POWER DENSITY AND SAR IN THE VICINITY OF BASE STATIONS FOR THE PURPOSE OF EVALUATING HUMAN EXPOSURE

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at https://patents.iec.ch. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62232 has been prepared by IEC technical committee 106: Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure. It is an International Standard.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2022. It includes corrections of obvious errors and text improvements on the third edition in order to bring more clarity in the description of the assessment methods and avoid misinterpretations. This edition has the same technical content as the third edition.

This document contains attached files that are cited in Figure B.30, G.4.4.3 and bibliography reference [67]. These files can be downloaded from https://www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
106/626/CDV	106/672/RVC

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at http://www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at http://www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- amended.

INTRODUCTION

This document addresses the evaluation of RF field strength, power density and specific absorption rate (SAR) levels in the vicinity of base stations (BS), also called products or equipment under test (EUT), intentionally radiating in the radio frequency (RF) range 110 MHz to 300 GHz in accordance with the scope, see Clause 1. It does not address the evaluation of current density.

RF exposure evaluation methods to be used for product compliance, product installation compliance and in-situ RF exposure assessments are specified in this document. Exposure limits are not specified in this document. The entity conducting RF exposure assessments refers to the set of exposure limits applicable where exposure takes place. Examples of applicable exposure limits considered in this document are provided in the Bibliography, for example ICNIRP-2020 [1][1], ICNIRP-1998 [2], IEEE Std C95.1™-2019 [3] and Safety Code 6 [4].

NOTE In this document, “ICNIRP” used without “-1998 or “-2020” applies to both [1] and [2].

This document is based on IEC 62232:2017 leveraging guidelines and lessons learned from the implementation guide IEC TR 62669:2019 [5]. In particular, it specifies how to implement the actual maximum approach. It also includes corrections of obvious errors and text improvements on IEC 62232:2022 in order to bring more clarity in the description of the assessment methods and avoid misinterpretations. It has the same technical content as IEC 62232:2022.

Clause 2, Clause 3 and Clause 4 address normative references, terms and definitions, symbols, and abbreviated terms, respectively.

Clause 5 provides advice on how to use this document, including a quick-start guide.

Clause 6 describes the three main application areas of this document: RF exposure evaluation methods for product compliance, product installation compliance, and in-situ RF exposure assessments. It includes the key requirements for assessing RF exposure based on using the actual maximum approach. It also includes simplified criteria for putting BS into operation. Further details are provided in Annex C, Annex D and Annex E.

Clause 7 provides guidelines on how to select the evaluation method. Further details are provided in Annex A.

Clause 8 specifies the RF exposure evaluation methods to be used and refers to further details in Annex B, Annex C, Annex F and Annex H.

Clause 9 addresses the estimation of uncertainty and refers to Annex G and Annex H for further details.

Clause 10 describes reporting requirements for the evaluation or assessment.

Annexes and the bibliography are referenced extensively to provide useful clarifications or guidance.

Additional guidance can be found in IEC TR 62669 [5], which includes a set of case studies providing practical examples of the application of this document.

---

1 Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

DETERMINATION OF RF FIELD STRENGTH, POWER DENSITY AND SAR IN THE VICINITY OF BASE STATIONS FOR THE PURPOSE OF EVALUATING HUMAN EXPOSURE

1 Scope

This document provides methods for the determination of RF field strength, power density and specific absorption rate (SAR) in the vicinity of base stations (BS) for the purpose of evaluating human exposure.

This document:

a) considers intentionally radiating BS which transmit on one or more antennas using one or more frequencies in the range 110 MHz to 300 GHz;

b) considers the impact of ambient sources on RF exposure at least in the 100 kHz to 300 GHz frequency range;

c) specifies the methods to be used for RF exposure evaluation for compliance assessment applications, namely:

   1) product compliance – determination of compliance boundary information for a BS product before it is placed on the market;

   2) product installation compliance – determination of the total RF exposure levels in accessible areas from a BS product and other relevant sources before the product is put into operation;

   3) in-situ RF exposure assessment – measurement of in-situ RF exposure levels in the vicinity of a BS installation after the product has been taken into operation;

d) specifies how to perform RF exposure assessment based on the actual maximum approach;

e) describes several RF field strength, power density, and SAR measurement and computation methodologies with guidance on their applicability to address both the in-situ evaluation of installed BS and laboratory-based evaluations;

f) describes how surveyors establish their specific evaluation procedures appropriate for their evaluation purpose;

g) provides guidance on how to report, interpret and compare results from different evaluation methodologies and, where the evaluation purpose requires it, determine a justified decision against a limit value;

h) provides methods for the RF exposure assessment of BS using time-varying beam-steering technologies such as new radio (NR) BS using massive multiple input multiple output (MIMO).

NOTE 1 Practical implementation case studies are provided as examples in the companion Technical Report IEC TR 62669 [5].

NOTE 2 Although the current BS product types have been specified to operate up to 200 GHz (see, for example, [6] and [7]), the upper frequency of 300 GHz is consistent with applicable exposure limits.

NOTE 3 The lower frequency considered for ambient sources, 100 kHz, is derived from ICNIRP-1998 [2] and ICNIRP-2020 [1]. However, some applicable exposure guidelines require ambient fields to be evaluated as low as 3 kHz, e.g. Safety Code 6 [4] and IEEE Std C95.1-2019 [3].

NOTE 4 Specification of appropriate RF exposure mitigation measures such as signage, access control, and training are beyond the scope of this document. It is possible to refer to the applicable regulations or recommended practices on these topics.

NOTE 5 While this document is based on the current international consensus about the best engineering practice for assessing the compliance of RF exposure with the applicable exposure limits, it is possible that national regulatory agencies specify different requirements. The entity conducting an RF exposure assessment needs to be aware of the applicable regulations.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC/IEEE 62209-1528, *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures: Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-worn wireless communication devices (Frequency range of 4 MHz to 10 GHz)*

IEC 62209-3, *Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Part 3: Vector measurement-based systems (Frequency range of 600 MHz to 6 GHz)*

IEC 62311, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)*

IEC 62479, *Assessment of the compliance of low power electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz – 300 GHz)*

IEC/IEEE 62704-1, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 1: General requirements for using the finite difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations*

IEC/IEEE 62704-2, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 2: Specific requirements for finite difference time domain (FDTD) modelling of exposure from vehicle mounted antennas*

IEC/IEEE 62704-3, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 3: Specific requirements for using the finite difference time domain (FDTD) method for SAR calculations of mobile phones*

IEC/IEEE 62704-4, *Recommended practise for determining the Peak Spatial Average Specific Absorption Rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz – 6 GHz: General requirements for using the Finite-Element Method (FEM) for SAR calculations and specific requirements for modelling vehicle-mounted antennas and personal wireless devices*

IEC/IEEE 63195-1, *Measurement procedure for the assessment of power density of human exposure to radio frequency fields from wireless devices operating in close proximity to the head and body – Frequency range of 6 GHz to 300 GHz*

IEC/IEEE 63195-2, *Determining the power density of the electromagnetic field associated with human exposure to wireless devices operating in close proximity to the head and body using computational techniques, 6 GHz to 300 GHz*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 361
INTRODUCTION 363
1 Domaine d'application 365
2 Références normatives 366
3 Termes et définitions 367
4 Symboles et abréviations 384
4.1 Grandeurs physiques 384
4.2 Constantes 385
4.3 Abréviations 385
5 Informations sur l'utilisation du présent document 388
5.1 Guide de démarrage rapide 388
5.2 Catégories d'objectif de l'évaluation RF 392
5.3 Études de cas de mise en œuvre 392
6 Processus d'évaluation pour la conformité du produit, la conformité de l'installation du produit et les appréciations de l'exposition RF sur site 392
6.1 Processus d'évaluation pour la conformité du produit 392
6.1.1 Généralités 392
6.1.2 Détermination des frontières de conformité 393
6.1.3 Définition de la frontière de conformité isosurfacique 393
6.1.4 Frontières de conformité simples 393
6.1.5 Méthodes de détermination de la frontière de conformité 395
6.1.6 Incertitude 400
6.1.7 Activité de rapport pour la conformité du produit 400
6.2 Processus d'évaluation pour la conformité de l'installation du produit 401
6.2.1 Généralités 401
6.2.2 Procédure d'évaluation générale pour l'installation du produit 401
6.2.3 Conformité de l'installation du produit en fonction de la puissance d'émission ou de la PIRE réelle maximale 403
6.2.4 Collecte de données sur l'installation du produit 407
6.2.5 Processus d'évaluation simplifiée de l'installation du produit 407
6.2.6 Choix de la zone d'appréciation 411
6.2.7 Mesurages 413
6.2.8 Calculs 414
6.2.9 Incertitude 415
6.2.10 Activité de rapport pour la conformité de l'installation du produit 416
6.3 Processus d'évaluation ou d'appréciation de l'exposition RF sur site 417
6.3.1 Généralités 417
6.3.2 Processus de mesure sur site 417
6.3.3 Analyse du site 419
6.3.4 Évaluation du cas A 419
6.3.5 Évaluation du cas B 420
6.3.6 Incertitude 421
6.3.7 Activité de rapport 421
6.4 Procédures de moyennage 421
6.4.1 Moyennage spatial 421
6.4.2 Moyennage temporel 421
7 Détermination de la méthode d'évaluation 422

7.1 Vue d'ensemble 422
7.2 Processus de détermination de la méthode d'évaluation 422
7.2.1 Généralités 422
7.2.2 Détermination des points d'évaluation par rapport au plan source-environnement 423
7.2.3 Choix de l'indicateur d'exposition 425
8 Méthodes d'évaluation 426
8.1 Généralités 426
8.2 Méthodes de mesure 427
8.2.1 Généralités 427
8.2.2 Mesurages de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 428
8.2.3 Mesurages du DAS 429
8.3 Méthodes de calcul 430
8.4 Méthodes d'appréciation reposant sur l'approche fondée sur la réelle maximale 432
8.4.1 Exigences générales 432
8.4.2 Surveillance de la puissance d'émission ou de la PIRE réelle 433
8.4.3 Commande de la puissance d'émission ou de la PIRE réelle 434
8.5 Méthodes d'appréciation de l'exposition RF à plusieurs sources 434
8.6 Méthodes de détermination de la puissance d'émission ou de la PIRE de la BS 436
9 Incertitude 437
10 Activité de rapport 437
10.1 Exigences générales 437
10.2 Format de rapport 438
10.3 Avis et interprétations 439
Annexe A (informative) Plan source-environnement et recommandations pour le choix de la méthode d'évaluation 440
A.1 Recommandations relatives au plan source-environnement 440
A.1.1 Généralités 440
A.1.2 Exemple de plan source-environnement 440
A.1.3 Régions de la source 441
A.2 Choix entre l'approche par calcul ou l'approche par mesurage 447
A.3 Choix de la méthode de mesure 448
A.3.1 Étapes du choix 448
A.3.2 Choix entre les approches par mesurage de l'intensité de champ RF, de la densité de puissance et du DAS 448
A.3.3 Choix entre mesurage à large bande et mesurage sélectif en fréquence 449
A.3.4 Choix des procédures de mesure de l'intensité de champ RF 450
A.4 Choix de la méthode de calcul 450
A.5 Considérations supplémentaires 452
A.5.1 Simplicité 452
A.5.2 Classement des méthodes d'évaluation 452
A.5.3 Appliquer plusieurs méthodes pour l'évaluation de l'exposition RF 452
Annexe B (normative) Méthodes d'évaluation 453
B.1 Vue d'ensemble 453
B.2 Généralités 453
B.2.1 Systèmes de coordonnées et points de référence 453
B.2.2 Variables 454

B.3 Principes d'évaluation de l'exposition RF 456
B.3.1 Calcul simple de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 456
B.3.2 Mesurage de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 460
B.3.3 Moyennage spatial 462
B.3.4 Moyennage temporel 467
B.3.5 Comparaison des valeurs mesurées et des valeurs calculées 468
B.3.6 Contrôleurs RF personnels 468
B.4 Mesurages de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 469
B.4.1 Applicabilité des mesurages de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 469
B.4.2 Mesurages de l'exposition RF sur site 469
B.4.3 Mesurages en laboratoire de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 481
B.4.4 Incertitude de mesure de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 493
B.5 Mesurages du DAS 499
B.5.1 Vue d'ensemble des mesurages du DAS 499
B.5.2 Exigences de mesure du DAS 499
B.5.3 Description du mesurage du DAS 502
B.5.4 Incertitude de mesure du DAS 508
B.6 Méthodes de calcul de base 511
B.6.1 Généralités 511
B.6.2 Formules de calcul de base pour l'évaluation de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance 511
B.6.3 Formules de base pour l'évaluation du wbDAS et du psDAS 519
B.6.4 Méthode d'appréciation de la frontière de conformité de base pour une BS utilisant des antennes à réflecteur parabolique 526
B.6.5 Méthode d'appréciation de la frontière de conformité de base pour les câbles rayonnant intentionnellement 529
B.7 Méthodes de calcul avancées 530
B.7.1 Généralités 530
B.7.2 Modèle synthétique et algorithmes de lancer de rayons 531
B.7.3 Calcul d'exposition RF en onde pleine 538
B.7.4 Calcul en onde pleine du DAS 548
B.8 Extrapolation à partir des valeurs évaluées aux valeurs maximales ou réelles 554
B.8.1 Méthode d'extrapolation 554
B.8.2 Extrapolation à la valeur maximale de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance sur site au moyen de mesurages à large bande 555
B.8.3 Extrapolation à la valeur maximale de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance sur site au moyen de mesurages sélectifs en code ou en fréquence 556
B.8.4 Influence du trafic sur un réseau fonctionnant véritablement 556
B.8.5 Extrapolation pour la BS à MIMO massif et formation de faisceau 558
B.8.6 Extrapolation de l'exposition maximale avec le partage de spectre dynamique (DSS) 560
B.9 Recommandations de mise en œuvre de l'approche fondée sur la réelle maximale 560
B.9.1 Hypothèses d'évaluation de la PIRE réelle de la BS 560
B.9.2 Description du rapport cyclique de la technologie 562
B.9.3 Évaluation de la CDF à l'aide des études de modélisation 564

B.9.4 Évaluation de la CDF à l'aide des études de mesure sur des sites de BS opérationnels ... 566
B.9.5 Compteurs de surveillance de la puissance d'émission ou de la PIRE réelle ... 567
B.9.6 Configurations avec plusieurs émetteurs ... 568
B.10 Évaluation de la puissance d'émission ou de la PIRE ... 570
B.10.1 Généralités ... 570
B.10.2 Mesurage de la puissance d'émission en mode conduit ... 570
B.10.3 Mesurage de la puissance d'émission dans des conditions OTA (over-the-air) ... 571
B.10.4 Mesurage de la PIRE dans des conditions OTA et de laboratoire ... 571
B.10.5 Mesurage de la PIRE dans des conditions OTA et sur site ... 572
Annexe C (informative) Lignes directrices en matière de validation des fonctions de commande de puissance ou de PIRE et du ou des compteurs de surveillance en ce qui concerne l'approche fondée sur la réelle maximale ... 573
C.1 Vue d'ensemble ... 573
C.2 Lignes directrices relatives à la validation de la ou des fonctions de commande et des compteurs de surveillance ... 573
C.3 Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE dans des conditions de laboratoire ... 574
C.3.1 Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE en mode conduit – procédure d'essai ... 574
C.3.2 Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE en mode OTA – procédure d'essai ... 576
C.3.3 Validation de la ou des fonctions de commande dans des conditions de laboratoire ... 580
C.3.4 Validation des fonctions de commande par des mesurages sur site ... 583
C.4 Rapport d'essai de validation ... 586
C.5 Études de cas ... 586
C.5.1 Étude de cas A – Validation sur site ... 586
C.5.2 Étude de cas B – Validation sur site ... 591
C.5.3 Étude de cas C – Validation sur site ... 595
Annexe D (informative) Justification à l'appui des critères simplifiés d'installation du produit ... 602
D.1 Généralités ... 602
D.2 Classe E2 ... 602
D.3 Classe E10 ... 603
D.4 Classe E100 ... 604
D.5 Classe E+ ... 607
D.6 Formules simplifiées pour les antennes à ondes millimétriques utilisant le MIMO massif ou l'orientation de faisceau ... 609
Annexe E (informative) Recommandations relatives à l'évaluation de l'exposition spécifiques à la technologie ... 611
E.1 Vue d'ensemble des recommandations relatives aux technologies spécifiques ... 611
E.2 Synthèse des informations spécifiques à la technologie ... 611
E.3 Lignes directrices relatives aux réglages d'analyseur de spectre ... 612
E.3.1 Vue d'ensemble des réglages d'analyseur de spectre ... 612
E.3.2 Algorithmes de détection ... 613
E.3.3 Largeur de bande de résolution et traitement de la puissance de canal ... 614
E.3.4 Intégration par service ... 617

E.4 Signaux de puissance d'émission stables 618
E.4.1 Technologies AMRT/ AMRF 618
E.4.2 Technologies AMRCLB/UMTS 619
E.4.3 Technologie OFDM 620
E.5 Mesurage et étalonnage AMRCLB au moyen d'un analyseur de domaine des codes 620
E.5.1 Mesurages AMRCLB – Généralités 620
E.5.2 Caractéristiques du décodeur AMRCLB 620
E.5.3 Étalonnage 621
E.6 Mesurages Wi-Fi 623
E.6.1 Généralités 623
E.6.2 Temps d'intégration pour des mesurages reproductibles 624
E.6.3 Occupation du canal 625
E.6.4 Autres considérations 626
E.6.5 Configuration et étapes de mesure 627
E.6.6 Influence des couches d'application 628
E.6.7 Commande de puissance 628
E.7 Mesurages LTE 628
E.7.1 Vue d'ensemble 628
E.7.2 Modes de transmission LTE 628
E.7.3 Structure de trame LTE-FDD 630
E.7.4 Structure de trame LTE-TDD 632
E.7.5 Évaluation de l'exposition LTE maximale 634
E.7.6 Évaluation de l'exposition LTE instantanée 641
E.7.7 Multiplexage MIMO de la BS LTE 641
E.8 Mesurages de la BS NR 641
E.8.1 Généralités 641
E.8.2 Évaluation de l'exposition NR maximale 642
E.9 Détermination des frontières de conformité au moyen de simulations numériques des réseaux d'antennes MIMO émettant des formes d'onde corrélées 654
E.9.1 Généralités 654
E.9.2 Combinaison de champs à proximité des stations de base pour l'exposition corrélée dans le but de déterminer les frontières de conformité 654
E.9.3 Simulations numériques des réseaux d'antennes MIMO équipés de colonnes très rapprochées 655
E.9.4 Simulations numériques des réseaux d'antennes MIMO étendus 656
E.10 Antennes MIMO massif 656
E.10.1 Vue d'ensemble 656
E.10.2 Approche déterministe conservatrice 657
E.10.3 Approche statistique conservatrice 657
E.10.4 Exemples d'approches 658
Annexe F (informative) Lignes directrices relatives à l'appréciation de la conformité de la BS aux limites de brève exposition de l'ICNIRP-2020 677
F.1 Généralités 677
F.2 Limites de brève exposition 677
F.3 Implications des limites de brève exposition sur la modulation du signal et le cycle de service TDD 679
F.4 Implications des limites de brève exposition sur l'approche fondée sur la réelle maximale 680

Annexe G (informative) Incertitude 685
G.1 Contexte 685
G.2 Exigences d'estimation de l'incertitude 685
G.3 Méthode d'estimation de l'incertitude 686
G.4 Recommandations relatives à l'incertitude et aux systèmes d'appréciation 686
G.4.1 Généralités 686
G.4.2 Vue d'ensemble des systèmes d'appréciation 686
G.4.3 Exemples de systèmes d'appréciation 687
G.4.4 Systèmes d'appréciation et probabilités de conformité 690
G.5 Recommandations relatives à l'incertitude 694
G.5.1 Vue d'ensemble 694
G.5.2 Incertitude de mesure et niveaux de confiance 694
G.6 Application de l'incertitude pour des appréciations de la conformité 696
G.7 Exemples de grandeurs d'influence pour des mesurages de champs 697
G.7.1 Généralités 697
G.7.2 Incertitude d'étalonnage de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ 697
G.7.3 Réponse en fréquence de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ 698
G.7.4 Isotropie de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ 699
G.7.5 Réponse en fréquence de l'analyseur de spectre 699
G.7.6 Réponse en température d'une sonde de champ à large bande 700
G.7.7 Écart de linéarité d'une sonde de champ à large bande 700
G.7.8 Incertitude de désadaptation 700
G.7.9 Écart entre la source expérimentale et la source numérique 701
G.7.10 Incertitude des fluctuations d'appareils de mesure pour les signaux variables dans le temps 701
G.7.11 Incertitude due à une variation de puissance de la source RF 701
G.7.12 Incertitude due à des gradients de champ 701
G.7.13 Couplage mutuel entre l'antenne de mesure ou sonde isotrope et un objet 703
G.7.14 Incertitude due à la diffusion du champ par le corps du vérificateur 704
G.7.15 Dispositif de mesure 706
G.7.16 Champs hors de la plage de mesure 706
G.7.17 Bruit 706
G.7.18 Temps d'intégration 707
G.7.19 Chaîne de puissance 707
G.7.20 Système de positionnement 707
G.7.21 Correspondance entre la sonde et l'EUT 707
G.7.22 Dérives de puissance de sortie de l'EUT, de la sonde, de la température et de l'humidité 707
G.7.23 Perturbations liées à l'environnement 707
G.8 Exemples de grandeurs d'influence pour des calculs de l'intensité de champ RF par les méthodes de lancer de rayons ou en onde pleine 707
G.8.1 Généralités 707
G.8.2 Système 708
G.8.3 Incertitudes liées à la technique 709
G.8.4 Incertitudes liées à l'environnement 709
G.9 Grandeurs d'influence pour les mesurages du DAS 710
G.9.1 Généralités 710

G.9.2 Post-traitement 710
G.9.3 Support de l'EUT 710
G.9.4 Positionnement de l'EUT 711
G.9.5 Incertitude de l'enveloppe de fantôme 713
G.9.6 Correction du DAS selon la permittivité et la conductivité du liquide cible 713
G.9.7 Mesurages de la permittivité et de la conductivité d'un liquide 713
G.9.8 Température d'un liquide 713
G.10 Grandeurs d'influence pour les calculs du DAS 713
G.11 Moyennage spatial 714
G.11.1 Généralités 714
G.11.2 Variations d'évanouissement à petite échelle 715
G.11.3 Erreur d'estimation de la densité de puissance moyenne locale 715
G.11.4 Caractérisation des propriétés statistiques d'environnement 717
G.11.5 Caractérisation des différentes procédures de moyennage spatial 717
G.12 Influence du corps humain sur les mesurages de l'intensité de champ RF électrique 723
G.12.1 Simulations de l'influence du corps humain sur les mesurages fondés sur la méthode des moments (principe de l'équivalence des surfaces) 723
G.12.2 Comparaison avec les mesurages 724
G.12.3 Conclusions 725
Annexe H (informative) Recommandations relatives à la comparaison de paramètres évalués avec une valeur limite 726
H.1 Vue d'ensemble 726
H.2 Informations recommandées pour comparer une valeur évaluée à une valeur limite 726
H.3 Comparaison avec la limite à un niveau de confiance donné 726
H.4 Comparaison avec la limite au moyen d'un système d'appréciation fondé sur le processus 727
Bibliographie 729

Figure 1 – Guide de démarrage rapide sur le processus d'évaluation 390
Figure 2 – Exemple de frontière de conformité isosurfacique 393
Figure 3 – Exemple de frontières de conformité cylindriques et en demi-lune 394
Figure 4 – Exemple de frontière de conformité de forme parallélépipédique rectangle 395
Figure 5 – Exemple de frontière de conformité de forme parallélépipédique rectangle tronquée 395
Figure 6 – Exemple de procédure de mise à l'échelle linéaire 396
Figure 7 – Exemple d'antenne MIMO massif et de faisceaux et diagrammes d'enveloppe correspondants 399
Figure 8 – Exemple de forme de frontière de conformité pour les antennes de BS à orientation de faisceau 399
Figure 9 – Exemple de frontière de conformité pour les antennes à réflecteur 400
Figure 10 – Logigramme du processus d'évaluation de l'installation du produit 402
Figure 11 – Exemple de courbe CDF représentant la puissance d'émission ou la PIRE réelle normalisée 404
Figure 12 – Logigramme pour la conformité de l'installation du produit en fonction du ou des seuils de puissance d'émission ou de PIRE réelle maximale 406

Figure 13 – Processus simplifié d'appréciation de la conformité utilisant les classes d'installation 408
Figure 14 – Exemple de DI à l'intérieur d'une frontière du domaine d'appréciation (ADB) de forme carrée avec la dimension L_{ADB} 413
Figure 15 – Logigramme du processus d'évaluation ou d'appréciation de l'exposition RF sur site 419
Figure 16 – Concept de plan source-environnement 424
Figure 17 – Logigramme des méthodes de mesure 428
Figure 18 – Logigramme des méthodes de calcul applicables 431
Figure 19 – Exemple de segments utilisés pour surveiller et commander la BS à l'aide de mMIMO ou de l'orientation de faisceau 433
Figure A.1 – Exemple de régions du plan source-environnement à proximité d'une antenne de station de base sur un pylône 440
Figure A.2 – Exemple de régions du plan source-environnement à proximité d'une antenne en toiture avec un faisceau vertical étroit (vue en élévation, non à l'échelle) 441
Figure A.3 – Géométrie d'une antenne avec la dimension linéaire la plus grande L_{eff} et la dimension la plus grande aux extrémités L_{end} 442
Figure A.4 – Différence de trajet maximale pour une antenne avec la dimension linéaire la plus grande L 446
Figure B.1 – Systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques par rapport à l'antenne de la BS (vue depuis le panneau arrière) 454
Figure B.2 – Cas d'appréciation d'exposition RF classique 456
Figure B.3 – Réflexion due à la présence d'un plan de masse 458
Figure B.4 – Réflexions dues à la présence des parois internes du boîtier et du bitume et de la terre environnants configurant une station de base enterrée 459
Figure B.5 – Représentation générale des mesurages de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance 460
Figure B.6 – Exemples pratiques d'installation de l'équipement de mesure 461
Figure B.7 – Procédures de moyennage spatial par rapport à la surface de marche ou de station debout et dans le plan vertical orienté pour offrir la surface maximale dans la direction de la source évaluée 464
Figure B.8 – Moyennage spatial par rapport à la hauteur du point d'intensité de champ spatiale maximale 466
Figure B.9 – Points d'évaluation 479
Figure B.10 – Rapport entre la séparation de la source radioélectrique distante et de la zone d'évaluation, et la séparation des points d'évaluation entre eux 480
Figure B.11 – Présentation de la méthode de balayage de surface 484
Figure B.12 – Diagramme du système de mesure par antenne 485
Figure B.13 – Contrainte de rayon minimal, où a est le rayon minimal d'une sphère centrée sur le point de référence et qui englobe l'EUT 486
Figure B.14 – Contrainte d'espacement angulaire maximal d'échantillonnage 487
Figure B.15 – Présentation de la méthode de balayage de surface/volume 490
Figure B.16 – Diagramme d'un système type de mesure de l'EUT en champ proche 491
Figure B.17 – Exemples de positionnement de l'EUT par rapport au fantôme applicable 499
Figure B.18 – Volume de liquide de fantôme et volume de mesure utilisés pour les mesurages du wbDAS avec fantôme de forme parallélépipédique rectangle 507

Figure B.19 – Cadre de référence utilisé pour les formules cylindriques de calcul d'intensité de champ RF en un point P (à gauche) et sur une ligne perpendiculaire à l'axe de visée (à droite) 512
Figure B.20 – Vues représentant les trois zones valides pour le calcul de l'intensité de champ autour d'une antenne 513
Figure B.21 – Cylindre inscrit autour d'antennes en réseau colinéaire avec et sans inclinaison électrique vers le bas 515
Figure B.22 – Résultats de référence pour les formules sphériques 518
Figure B.23 – Résultats de référence pour les formules cylindriques 518
Figure B.24 – Directions pour lesquelles les expressions d'estimation du DAS sont fournies 519
Figure B.25 – Description des paramètres physiques des formules d'estimation du DAS 521
Figure B.26 – Logigramme pour l'appréciation simplifiée de la frontière de conformité RF dans la ligne de visibilité d'une antenne à réflecteur parabolique 528
Figure B.27 – Géométrie d'un câble rayonnant 529
Figure B.28 – Géométrie et paramètres du modèle synthétique et des algorithmes de lancer de rayons 533
Figure B.29 – Positions de l'axe 4 en champ lointain pour l'exemple de validation du modèle synthétique et du lancer de rayons 536
Figure B.30 – Paramètres d'antenne pour l'exemple de validation du modèle synthétique et des algorithmes de lancer de rayons 537
Figure B.31 – Antenne 900 MHz de BS générique à neuf radiateurs dipôles 545
Figure B.32 – Positions des axes 1, 2 et 3 en champ proche pour la validation de l'onde pleine et du lancer de rayons 546
Figure B.33 – Antenne 1 800 MHz de BS générique à cinq radiateurs à fentes 547
Figure B.34 – Antenne de BS placée en face d'un cylindre multicouche avec pertes 553
Figure B.35 – Variation temporelle sur 24 h de l'exposition induite par chacun des services NR, GSM et FM normalisés à la valeur moyenne 557
Figure B.36 – Structure générique d'une trame de signal RF transmise par la station de base 562
Figure B.37 – Exemple de montage pour le mesurage direct du niveau de puissance d'une BS équipée d'accès de sortie connectés à accès direct 571
Figure C.1 – Exemple de montage d'essai en laboratoire pour la validation d'une fonction de commande de la puissance réelle destinée à être utilisée avec une BS 5G 581
Figure C.2 – Exemple de montage d'essai pour la validation d'une fonction de commande de la puissance réelle mise en œuvre dans une BS 5G 584
Figure C.3 – Montage de validation sur site au sol 588
Figure C.4 – Montage de mesure de validation sur site à proximité de la frontière de conformité grand public devant l'antenne MIMO massif 5G (position de l'axe de visée) 588
Figure C.5 – Comparaison entre le CEM mesuré moyenné dans le temps et la fonction de commande de puissance (données du compteur 5G) pour les mesurages au sol 590
Figure C.6 – Adaptation temporelle de l'exposition mesurée, exprimée en pourcentage des limites d'exposition de l'ICNIRP [1], [2] pour les mesurages à proximité de la frontière de conformité grand public 591
Figure C.7 – Vue d'ensemble du site de mesure 593
Figure C.8 – Vue depuis le sol du site de validation et du montage de mesure, situé à 60 m de la BS 5G, dans la ligne de visibilité 593
Figure C.9 – Puissance transmise par l'antenne MIMO massif (trace supérieure), mesurages de la puissance de canal (ChP) (trace du milieu) et blocs de ressources (RB) transmis (trace inférieure) 594

Figure C.10 – Vue d'ensemble de la plateforme d'essai 596
Figure C.11 – Exemple de simulation de modèle synthétique de la zone d'essai 596
Figure C.12 – Exemples de profils de charge de trafic 597
Figure C.13 – Exemple d'essai dans différents segments de la zone d'essai 598
Figure C.14 – Résultats de l'essai de validation et de référentiel de surveillance de la phase 1 599
Figure C.15 – Exemple de mesurages de densité de puissance et de densité de puissance déduite des compteurs 600
Figure C.16 – Densité de puissance mesurée et densité de puissance déduite des compteurs 600
Figure C.17 – Comparaisons des compteurs et des mesurages 601
Figure D.1 – ER mesuré en fonction de la distance pour une BS (G = 5 dBi, f = 2 100 MHz) dont la PIRE d'émission est égale à 2 W (classe d'installation E2) et 10 W (classe d'installation E10) 603
Figure D.2 – Hauteur minimale d'installation en fonction de la puissance d'émission correspondant à la classe d'installation E10 604
Figure D.3 – Distance de conformité dans le lobe principal en fonction de la PIRE établie conformément à la formule en champ lointain correspondant à la classe d'installation E100 605
Figure D.4 – Hauteur minimale d'installation en fonction de la puissance d'émission correspondant à la classe d'installation E100 606
Figure D.5 – Densité de puissance moyennée au niveau du sol pour différentes configurations d'installation de l'équipement avec une PIRE de 100 W (classe d'installation E100) 607
Figure D.6 – Distance de conformité dans le lobe principal CD_m en fonction de la PIRE établie conformément à la formule en champ lointain correspondant à la classe d'installation E+ 608
Figure D.7 – Hauteur minimale d'installation h_m en fonction de la PIRE correspondant à la classe d'installation E+ 608
Figure D.8 – Répartition de densité de puissance en watts par mètre carré dans un plan de coupe vertical pour un réseau d'antennes 8 × 8 à 28 GHz (pas de grille de 10 cm) 609
Figure D.9 – Répartition de densité de puissance en watts par mètre carré dans un plan de coupe vertical pour un réseau d'antennes 8 × 8 à 39 GHz (pas de grille de 10 cm) 610
Figure E.1 – Occupation spectrale pour une modulation GMSK 615
Figure E.2 – Occupation spectrale pour une modulation AMRC 616
Figure E.3 – Attribution des canaux pour un signal AMRCLB 620
Figure E.4 – Exemple de trames Wi-Fi 624
Figure E.5 – Occupation du canal en fonction du temps d'intégration pour la norme IEEE 802.11b 625
Figure E.6 – Occupation du canal en fonction du taux de débit nominal pour les normes IEEE 802.11b/g 626
Figure E.7 – Instantané d'une trace de spectre Wi-Fi 627
Figure E.8 – Structure de trame d'un signal de transmission pour la liaison descendante LTE-FDD 631
Figure E.9 – Structure de trame LTE-TDD de type 2 (pour une périodicité au point de commutation de 5 ms) 632
Figure E.10 – Structure de trame d'un signal de transmission pour LTE-TDD 633

Figure E.11 – Exemple de mesurage du PBCH LTE-TDD 636
Figure E.12 – Exemple de réglage de la VBW pour LTE-FDD et LTE-TDD afin d'éviter toute sous-estimation 638
Figure E.13 – Exemples d'ondes reçues provenant des signaux de liaison descendante LTE-FDD mesurées au moyen d'un analyseur de spectre en mode bande de fréquences égale à zéro 639
Figure E.14 – Exemple de mesurage du PBCH LTE-TDD au moyen d'un analyseur de spectre en mode bande de fréquences égale à zéro 640
Figure E.15 – Exemple de réglage de la VBW pour NR afin d'éviter toute sous-estimation 645
Figure E.16 – Exemples de résultats d'exactitude de mesure selon le rapport de la VBW sur la RBW pour SCS NR 30 kHz et RBW 1 MHz à l'aide de différents types de SA (A à D) 645
Figure E.17 – Tracé de reconstruction en cascade d'une trace de mesure d'une durée de 1 s d'un signal NR avec espacement entre sous-porteuses (SCS) de 30 kHz (le long d'une composante du champ électrique) 646
Figure E.18 – Exemple de trame de signal NR mesurée sur un SA avec signal de SSB supérieur au PDSCH (données) 647
Figure E.19 – Exemple de trame de signal NR mesurée sur un SA avec signal de SSB inférieur ou égal au PDSCH (données) 648
Figure E.20 – Masquage temporel du signal en salves SS 649
Figure E.21 – Représentation de la largeur de bande de canal (CBW) 650
Figure E.22 – Exemple pour une conception de faisceau CSI-RS à un accès 653
Figure E.23 – Vue en plan du modèle statistique conservateur 659
Figure E.24 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour N = 24, PR = 0,125 668
Figure E.25 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour N = 18, PR = 2/7 669
Figure E.26 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour N = 100, PR = 0,125 673
Figure E.27 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour N = 82, PR = 2/7 674
Figure F.1 – Limites de "brève exposition (t < 360 s) (voir Tableau F.1) divisées par l'intervalle de temps t correspondant et normalisées avec la valeur obtenue de t jusqu'à 360 s 679
Figure F.2 – $F_{\mathrm{PR_min}}$ en fonction de la durée d'impulsion avec une durée de moyennage réputée du corps entier de 30 min 683
Figure F.3 – $F_{\mathrm{PR_min}}$ en fonction de la durée d'impulsion avec une durée de moyennage réputée de 6 min 683
Figure G.1 – Exemples de systèmes d'appréciation génériques 688
Figure G.2 – Vue d'ensemble du schéma de l'incertitude cible 689
Figure G.3 – Probabilité que la valeur vraie soit supérieure (respectivement inférieure) à la valeur évaluée en fonction du niveau de confiance avec l'hypothèse que l'incertitude obéit à une loi normale 695
Figure G.4 – Tracé des facteurs d'étalonnage pour E (non E^2) tiré d'un exemple de rapport d'étalonnage d'une sonde de champ électrique 698
Figure G.5 – Modélisation informatique utilisée pour l'analyse des variations de champs RF réfléchis par l'avant du corps d'un vérificateur 705
Figure G.6 – Dispositif de positionnement de l'EUT et erreurs de positionnement différentes 712
Figure G.7 – Modèle physique des variations d'évanouissement à petite échelle 714
Figure G.8 – Exemple de variations de champ électrique dans la ligne de visibilité d'une antenne fonctionnant à 2,2 GHz 715

Figure G.9 – Erreur à 95 % dans l'estimation de la densité de puissance moyenne 716
Figure G.10 – 343 points de mesure constituant un cube (centre) et différents modèles comprenant un nombre de positions différent 718
Figure G.11 – Déplacement d'un modèle (Axe 3) à travers le cube 719
Figure G.12 – Écarts-types pour GSM 900, DCS 1800 et UMTS 721
Figure G.13 – Disposition de simulation 723
Figure G.14 – Influence du corps 724
Figure G.15 – Disposition de simulation 725

Tableau 1 – Étapes d'évaluation du guide de démarrage rapide 391
Tableau 2 – Exemple de classes d'installation de produit pour lesquelles un processus d'évaluation simplifiée est applicable (d'après les limites grand public de l'ICNIRP [1] et [2]) 409
Tableau 3 – Validité des indicateurs d'exposition pour les points d'évaluation de chaque région de la source 426
Tableau 4 – Exigences relatives aux mesurages de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance 429
Tableau 5 – Exclusions du wbDAS en fonction des niveaux de puissance RF 429
Tableau 6 – Exigences relatives aux mesurages du DAS 430
Tableau 7 – Applicabilité des méthodes de calcul pour les régions source-environnement de la Figure 16 432
Tableau 8 – Exigences relatives aux méthodes de calcul 432
Tableau A.1 – Définition des régions de la source 443
Tableau A.2 – Frontières des régions de la source par défaut 443
Tableau A.3 – Frontières des régions de la source pour des antennes de dimension maximale inférieure à 2,5 λ 444
Tableau A.4 – Frontières des régions de la source pour des réseaux d'antennes linéaires/planaires de dimension maximale supérieure ou égale à 2,5 λ 444
Tableau A.5 – Frontières des régions de la source pour des antennes à ouverture rayonnante équiphase (par exemple, à réflecteur) dont les réflecteurs ont une dimension maximale bien supérieure à une longueur d'onde 445
Tableau A.6 – Frontières des régions de la source pour les câbles rayonnants 445
Tableau A.7 – Distance de champ lointain r (en mètres) en fonction de l'angle β 447
Tableau A.8 – Recommandations relatives au choix entre l'approche par calcul et l'approche par mesurage 448
Tableau A.9 – Recommandations relatives au choix entre mesurage à large bande et mesurage sélectif en fréquence 449
Tableau A.10 – Recommandations relatives au choix des procédures de mesure de l'intensité de champ RF 450
Tableau A.11 – Recommandations relatives au choix des méthodes de calcul 451
Tableau A.12 – Recommandations relatives au classement de méthodes d'évaluation spécifiques 452
Tableau B.1 – Variables dimensionnelles 454
Tableau B.2 – Variables de puissance RF 455
Tableau B.3 – Variables d'antenne 455
Tableau B.4 – Variables d'indicateur d'exposition 455
Tableau B.5 – Exigences minimales relatives au système de mesure à large bande 471

Tableau B.6 – Exigences minimales relatives au système de mesure sélectif en fréquence 471
Tableau B.7 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage sur site de l'intensité de champ RF avec un équipement sélectif en fréquence 494
Tableau B.8 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage sur site de l'intensité de champ RF avec un équipement à large bande 495
Tableau B.9 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage en laboratoire de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance avec la méthode de balayage de surface 497
Tableau B.10 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage en laboratoire de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance avec la méthode de balayage de volume..... 498
Tableau B.11 – Valeurs numériques de référence du DAS pour dipôles de référence et fantôme plan – Toutes les valeurs sont normalisées à une puissance incidente de 1 W 503
Tableau B.12 – Volume de liquide de fantôme et volume de mesure utilisés pour les mesurages du wbDAS [61], [77] 507
Tableau B.13 – Facteur de correction à appliquer pour compenser un éventuel biais du wbDAS obtenu pour le grand public lors d'une appréciation avec grand fantôme de forme parallélépipédique rectangle pour les configurations d'exposition d'enfants [72]..... 507
Tableau B.14 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai du wbDAS de l'EUT 508
Tableau B.15 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour le wbDAS (validation du système) 509
Tableau B.16 – Définition de frontières pour le choix de la zone de calcul 514
Tableau B.17 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules cylindriques et sphériques..... 517
Tableau B.18 – Applicabilité des formules d'estimation du DAS..... 520
Tableau B.19 – Calcul de $A(f, d)$..... 523
Tableau B.20 – Paramètres d'antenne pour la vérification des formules d'estimation du DAS 525
Tableau B.21 – Données de vérification pour les formules d'estimation du DAS – avant 525
Tableau B.22 – Données de vérification pour les formules d'estimation du DAS – axiale et arrière 526
Tableau B.23 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie d'un calcul d'intensité de champ RF par modèle synthétique et lancer de rayons..... 534
Tableau B.24 – Résultats de référence de la densité de puissance du modèle synthétique et du lancer de rayons..... 538
Tableau B.25 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un calcul en onde pleine de l'intensité de champ RF ou de la densité de puissance 543
Tableau B.26 – Validation 1: résultats de référence de l'évaluation en onde pleine des champs 546
Tableau B.27 – Validation 2: résultats de référence de l'évaluation en onde pleine des champs 547
Tableau B.28 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un calcul en onde pleine du DAS 551
Tableau B.29 – Résultats de référence de la validation du DAS pour la méthode de calcul 554
Tableau B.30 – Paramètres pertinents pour réaliser des études de modélisation de l'exposition RF d'un site ou cluster de sites MIMO massif 564

Tableau B.31 – Paramètres de la campagne de mesure pour l'appréciation de l'exposition RF d'un site ou cluster de sites MIMO massif 566

Tableau B.32 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à la CDF de puissance d'émission réelle normalisée en cas de combinaison de plusieurs émetteurs identiques indépendants 569

Tableau B.33 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à deux émetteurs indépendants avec un rapport p en amplitude 569

Tableau C.1 – Exemple de différence relative entre la puissance d'émission moyennée mesurée et la valeur du compteur de puissance réelle pour des systèmes permettant des mesurages directs du niveau de puissance 575

Tableau C.2 – Exemple de corrélation entre le niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS permettant des mesurages directs du niveau de puissance 575

Tableau C.3 – Exemple de corrélation entre les niveaux de charge moyennée dans le temps configurée et la valeur du compteur de puissance réelle pour des systèmes permettant des mesurages directs du niveau de puissance 576

Tableau C.4 – Exemple de différence relative entre la puissance maximale configurée, la puissance d'émission moyennée mesurée et les compteurs de puissance réelle pour des systèmes ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance 577

Tableau C.5 – Exemple de corrélation entre le niveau de puissance configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance pour une BS ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance 578

Tableau C.6 – Exemple de corrélation entre la linéarité temporelle du niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance 579

Tableau E.1 – Informations spécifiques à la technologie 611

Tableau E.2 – Exemple de réglages d'analyseur de spectre pour une intégration par service 618

Tableau E.3 – Exemple de composantes de puissance constantes pour des technologies AMRT/AMRF spécifiques 618

Tableau E.4 – Caractéristiques du décodeur AMRCLB 621

Tableau E.5 – Configuration des signaux 621

Tableau E.6 – Réglage de la linéarité de puissance du générateur AMRCLB 622

Tableau E.7 – Réglage du générateur AMRCLB pour l'étalonnage du décodeur 623

Tableau E.8 – Réglage du générateur AMRCLB pour le mesurage du coefficient de réflexion 623

Tableau E.9 – Configurations de liaison montante/descendante 633

Tableau E.10 – Facteur d'extrapolation théorique, N_{RS}, fondé sur la structure de trame donnée dans 3GPP TS 36.104 [21] 635

Tableau E.11 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeur de bande de canal et d'espacement entre sous-porteuses (SCS) SSB de la BS pour des signaux inférieurs à 6 GHz 643

Tableau E.12 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeur de bande de canal et d'espacement entre sous-porteuses (SCS) SSB de la BS pour des signaux à ondes millimétriques 643

Tableau E.13 – Liste des variables de l'étude de cas 672

Tableau F.1 – Limites de brève exposition pour le grand public intégrées dans des intervalles compris entre 0 min et 6 min comme cela est spécifié par l'ICNIRP-2020 [1] 678

Tableau F.2 – Valeurs de F_{PR}, F_{PR_min} minimales pour lesquelles la conformité aux limites corps entier moyennées dans le temps de l'ICNIRP-2020 [1] assure de fait la conformité aux limites de brève exposition spécifiées par l'ICNIRP-2020 [1] 684

Tableau G.1 – Détermination de l'incertitude cible 690

Tableau G.2 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant la meilleure estimation 692

Tableau G.3 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant une incertitude cible de 4 dB 692

Tableau G.4 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur utilisant un IC à 95 % supérieur, et l'auditeur un IC à 95 % inférieur 693

Tableau G.5 – Recommandations concernant les distances de séparation minimales pour certaines longueurs de dipôle de sorte que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour un mesurage de E 702

Tableau G.6 – Recommandations concernant les distances de séparation minimales pour certains diamètres de cadre de sorte que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour un mesurage de H 703

Tableau G.7 – Exemple de conditions de séparation minimales pour des longueurs de dipôle choisies avec une incertitude de 10 % pour E 704

Tableau G.8 – Estimations normalisées de la variation en dB des perturbations en face d'un vérificateur dues aux champs réfléchis par le corps comme cela est décrit à la Figure G.5 705

Tableau G.9 – Estimations de l'incertitude type (u) pour E et H due aux réflexions du corps du vérificateur pour des services de radiodiffusion ordinaires, dérivées des estimations du Tableau G.8 706

Tableau G.10 – Coefficients de sensibilité maximaux pour la permittivité et la conductivité d'un liquide dans la plage de fréquences comprise entre 300 MHz et 6 GHz 713

Tableau G.11 – Incertitude à 95 % pour différents modèles d'évanouissement 717

Tableau G.12 – Coefficients de corrélation pour GSM 900 et DCS 1800 720

Tableau G.13 – Variations des écarts-types pour la bande de fréquences GSM 900, DCS 1800 et UMTS 722

Tableau G.14 – Exemples de calcul de l'incertitude totale 722

Tableau G.15 – Erreur maximale simulée due à l'influence d'un corps humain sur les valeurs de mesure d'une sonde omnidirectionnelle 724

Tableau G.16 – Influence mesurée d'un corps humain sur les mesurages d'une sonde omnidirectionnelle 725

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DE CHAMP DE RADIOFRÉQUENCES, DE LA DENSITÉ DE PUISSANCE ET DU DAS À PROXIMITÉ DES STATIONS DE BASE DANS LE BUT D'ÉVALUER L'EXPOSITION HUMAINE

AVANT-PROPOS

1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'a pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse https://patents.iec.ch et www.iso.org/patents. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

L'IEC 62232 a été établi par le comité d'études 106 de l'IEC: Méthodes d'évaluation des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en relation avec l'exposition humaine. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2022. Il vient corriger des erreurs manifestes et améliorer la rédaction de la troisième édition afin d'apporter plus de clarté à la description des méthodes d'évaluation et d'éviter tout malentendu. Cette édition a le même contenu technique que la troisième édition.

Le présent document contient des fichiers joints qui sont cités à la Figure B.30, au G.4.4.3 et à la référence [67] dans la Bibliographie. Ces fichiers peuvent être téléchargés à l'adresse https://www.iec.ch/tc106/supportingdocuments.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
106/626/CDV	106/672/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous http://www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous http://www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisée.

INTRODUCTION

Le présent document traite de l'évaluation de l'intensité de champ de radiofréquences, de la densité de puissance et des niveaux de débit d'absorption spécifique (DAS) à proximité des stations de base (BS, *Base Stations*), également appelées "produits" ou "équipement soumis à l'essai" (EUT, *Equipment Under Test*), qui rayonnent intentionnellement dans la plage de radiofréquences (RF) comprise entre 110 MHz et 300 GHz, conformément au domaine d'application (voir Article 1). Il ne traite pas de l'évaluation de la densité de courant.

Les méthodes d'évaluation de l'exposition RF à utiliser pour la conformité du produit, la conformité de l'installation du produit et les appréciations de l'exposition RF sur site sont spécifiées dans le présent document. Les limites d'exposition ne sont pas spécifiées dans le présent document. L'entité qui réalise des appréciations de l'exposition RF fait référence à l'ensemble de limites d'exposition applicable en cas d'exposition. Des exemples de limites d'exposition applicables prises en considération dans le présent document sont fournis dans la bibliographie (ICNIRP-2020 [1] [1], ICNIRP-1998 [2], IEEE Std C95.1™-2019 [3] et Code de sécurité 6 [4], par exemple).

NOTE Dans le présent document, "ICNIRP" utilisé sans "-1998" ou sans "-2020", s'applique tant à [1] qu'à [2].

Le présent document se fonde sur les lignes directrices de l'IEC 62232:2017 et les enseignements tirés de la mise en œuvre de l'IEC TR 62669:2019 [5]. Il spécifie notamment la manière de mettre en œuvre l'approche fondée sur la réelle maximale. Il vient également corriger des erreurs manifestes et améliorer la rédaction de l'IEC 62232:2022 afin d'apporter plus de clarté à la description des méthodes d'évaluation et d'éviter tout malentendu. Il a le même contenu technique que l'IEC 62232:2022.

Les Articles 2, 3 et 4 donnent respectivement les références normatives, les termes et définitions et les symboles et abréviations.

L'Article 5 donne des conseils sur la manière d'utiliser le présent document, y compris un guide de démarrage rapide.

L'Article 6 décrit les trois principaux domaines d'application du présent document: méthodes d'évaluation de l'exposition RF pour la conformité du produit, la conformité de l'installation du produit et les appréciations de l'exposition RF sur site. Il inclut les exigences essentielles en matière d'appréciation de l'exposition RF en s'appuyant sur l'utilisation de l'approche fondée sur la réelle maximale. Il contient également des critères simplifiés de mise en service de la station de base. De plus amples informations sont fournies à l'Annexe C, l'Annexe D et l'Annexe E.

L'Article 7 donne des lignes directrices relatives au choix de la méthode d'évaluation. De plus amples informations sont fournies à l'Annexe A.

L'Article 8 spécifie les méthodes d'évaluation de l'exposition RF à utiliser et fait référence aux informations complémentaires de l'Annexe B, l'Annexe C, l'Annexe F et l'Annexe H.

L'Article 9 traite de l'estimation de l'incertitude et fait référence aux informations complémentaires de l'Annexe G et l'Annexe H.

L'Article 10 décrit les exigences relatives à l'activité de rapport pour l'évaluation ou l'appréciation.

---

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

Il est également fait référence aux annexes et données bibliographiques qui donnent des clarifications ou des recommandations utiles.

Des recommandations complémentaires peuvent être consultées dans l'IEC TR 62669 [5], qui comprend un ensemble d'études de cas qui fournit des exemples pratiques d'application du présent document.

DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DE CHAMP DE RADIOFRÉQUENCES, DE LA DENSITÉ DE PUISSANCE ET DU DAS À PROXIMITÉ DES STATIONS DE BASE DANS LE BUT D'ÉVALUER L'EXPOSITION HUMAINE

1 Domaine d'application

Le présent document donne des méthodes de détermination de l'intensité de champ RF, de la densité de puissance et du débit d'absorption spécifique (DAS) à proximité des stations de base (BS) dans le but d'évaluer l'exposition humaine.

Le présent document:

a) examine des BS rayonnant intentionnellement qui émettent sur une ou plusieurs antennes dans la plage de fréquences de 110 MHz à 300 GHz;

b) étudie l'impact des sources ambiantes d'exposition RF au moins dans la plage de fréquences de 100 kHz à 300 GHz;

c) spécifie les méthodes d'évaluation de l'exposition RF à utiliser pour les applications d'appréciation de la conformité, à savoir:

   1) conformité du produit: détermination des informations sur la frontière de conformité d'un produit BS avant sa commercialisation;

   2) conformité de l'installation du produit: détermination des niveaux d'exposition RF totaux dans les zones accessibles depuis un produit BS et les autres sources pertinentes avant la mise en service du produit;

   3) appréciation de l'exposition RF sur site: mesurage des niveaux d'exposition RF sur site à proximité d'une installation BS après la mise en service du produit;

d) spécifie la manière de procéder à l'appréciation de l'exposition RF en s'appuyant sur l'approche fondée sur la réelle maximale;

e) décrit plusieurs méthodologies de mesure et de calcul de l'intensité de champ RF, de la densité de puissance et du DAS avec des recommandations relatives à leur applicabilité pour couvrir tant l'évaluation sur site des BS installées que les évaluations en laboratoire;

f) décrit la manière dont les vérificateurs établissent leurs propres procédures d'évaluation, en fonction de leurs objectifs d'évaluation;

g) fournit des recommandations quant à la manière de rendre compte, d'interpréter et de comparer les résultats obtenus à partir de différentes méthodologies d'évaluation et, lorsque l'objectif de l'évaluation l'exige, prendre une décision justifiée en vertu d'une valeur limite donnée;

h) fournit les méthodes d'appréciation de l'exposition RF de la BS à l'aide de technologies à orientation de faisceau variable dans le temps telles que les BS New Radio (NR) qui utilisent la technologie de système massif à entrée multiple et sortie multiple (MIMO, *Multiple Input Multiple Output*).

NOTE 1 Des exemples d'études de cas de mise en œuvre pratique sont donnés dans le Rapport technique d'accompagnement IEC TR 62669 [5].

NOTE 2 Bien que les produits BS actuels soient conçus pour fonctionner jusqu'à 200 GHz (voir par exemple [6] et [7]), la fréquence supérieure de 300 GHz est cohérente avec les limites d'exposition applicables.

NOTE 3 La fréquence inférieure prise en considération pour les sources ambiantes, 100 kHz, provient de l'ICNIRP-1998 [2] et de l'ICNIRP-2020 [1]. Toutefois, certaines lignes directrices applicables en matière d'exposition exigent d'évaluer les champs ambiants à des valeurs aussi basses que 3 kHz (Code de sécurité 6 [4] et IEEE Std C95.1-2019 [3], par exemple).

NOTE 4 La spécification de mesures appropriées d'atténuation de l'exposition RF, telles que la signalisation, le contrôle d'accès et la formation, ne relève pas du domaine d'application du présent document. Il est possible de consulter les règlements applicables ou les pratiques recommandées sur ces sujets.

NOTE 5 Bien que le présent document repose sur le consensus international actuel concernant les meilleures pratiques d'ingénierie pour apprécier la conformité de l'exposition RF aux limites d'exposition applicables, il est possible que les agences nationales de réglementation spécifient des exigences différentes. Il est nécessaire que l'entité qui réalise une appréciation de l'exposition RF connaisse les règlements applicables.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC/IEEE 62209-1528, *Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps – Partie 1528: Modèles humains, instrumentation et procédures (plage de fréquences comprise entre 4 MHz et 10 GHz)*

IEC 62209-3, *Procédure de mesure pour l'évaluation du débit d'absorption spécifique de l'exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fil tenus à la main ou portés près du corps – Partie 3: Systèmes basés sur la mesure vectorielle (plage de fréquences comprise entre 600 MHz et 6 GHz)*

IEC 62311, *Évaluation des équipements électroniques et électriques en relation avec les restrictions d'exposition humaine aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz)*

IEC 62479, *Évaluation de la conformité des appareils électriques et électroniques de faible puissance aux restrictions de base concernant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques (10 MHz à 300 GHz)*

IEC/IEEE 62704-1, *Determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human body from wireless communications devices, 30 MHz to 6 GHz – Part 1: General requirements for using the finite difference time-domain (FDTD) method for SAR calculations* (disponible en anglais seulement)

IEC/IEEE 62704-2, *Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communications sans fil, 30 MHz à 6 GHz – Partie 2: Exigences spécifiques relatives à la modélisation de l'exposition des antennes sur véhicule, à l'aide de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD)*

IEC/IEEE 62704-3, *Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communication sans fil, 30 MHz à 6 GHz – Partie 3: Exigences spécifiques pour l'utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temporel (FDTD) pour les calculs de DAS des téléphones mobiles*

IEC/IEEE 62704-4, *Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) maximal moyenné dans le corps humain, produit par les dispositifs de communications sans fil, 30 MHz à 6 GHz – Partie 4: Exigences générales d'utilisation de la méthode des éléments finis pour les calculs du DAS*

IEC/IEEE 63195-1, *Évaluation de la densité de puissance de l'exposition humaine aux champs radiofréquences provenant de dispositifs sans fil à proximité immédiate de la tête et du corps (plage de fréquences de 6 GHz à 300 GHz) – Partie 1: Procédure de mesure*

IEC/IEEE 63195-2, *Évaluation de la densité de puissance de l'exposition humaine aux champs radiofréquences provenant de dispositifs sans fil à proximité immédiate de la tête et du corps (plage de fréquences de 6 GHz à 300 GHz) – Partie 2: Procédure de calcul*