

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 978-2-8322-6444-7

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	16
INTRODUCTION.....	18
1 Scope.....	19
2 Normative references	20
3 Terms and definitions	21
4 Symbols and abbreviated terms.....	36
4.1 Physical quantities	36
4.2 Constants	36
4.3 Abbreviated terms.....	36
5 How to use this document.....	39
5.1 Quick start guide.....	39
5.2 RF evaluation purpose categories.....	42
5.3 Implementation case studies.....	42
6 Evaluation processes for product compliance, product installation compliance and in-situ RF exposure assessments	42
6.1 Evaluation process for product compliance	42
6.1.1 General	42
6.1.2 Establishing compliance boundaries	42
6.1.3 Iso-surface compliance boundary definition	43
6.1.4 Simple compliance boundaries	43
6.1.5 Methods for establishing the compliance boundary	45
6.1.6 Uncertainty	49
6.1.7 Reporting for product compliance	49
6.2 Evaluation process used for product installation compliance	50
6.2.1 General	50
6.2.2 General evaluation procedure for product installations.....	50
6.2.3 Product installation compliance based on the actual maximum transmitted power or EIRP.....	52
6.2.4 Product installation data collection.....	55
6.2.5 Simplified product installation evaluation process	56
6.2.6 Assessment area selection	59
6.2.7 Measurements.....	60
6.2.8 Computations	62
6.2.9 Uncertainty	62
6.2.10 Reporting for product installation compliance.....	63
6.3 In-situ RF exposure evaluation or assessment process	64
6.3.1 General	64
6.3.2 In-situ measurement process.....	64
6.3.3 Site analysis	65
6.3.4 Case A evaluation	66
6.3.5 Case B evaluation	66
6.3.6 Uncertainty	67
6.3.7 Reporting.....	67
6.4 Averaging procedures	67
6.4.1 Spatial averaging.....	67
6.4.2 Time averaging.....	68
7 Determining the evaluation method.....	68

7.1	Overview.....	68
7.2	Process to determine the evaluation method.....	68
7.2.1	General	68
7.2.2	Establishing the evaluation points in relation to the source-environment plane	69
7.2.3	Exposure metric selection.....	70
8	Evaluation methods	71
8.1	General.....	71
8.2	Measurement methods.....	72
8.2.1	General	72
8.2.2	RF field strength and power density measurements	72
8.2.3	SAR measurements	73
8.3	Computation methods	74
8.4	Methods for assessment based on actual maximum approach	76
8.4.1	General requirements	76
8.4.2	Actual transmitted power or EIRP monitoring.....	76
8.4.3	Actual transmitted power or EIRP control.....	77
8.5	Methods for the assessment of RF exposure to multiple sources	78
8.6	Methods for establishing the BS transmitted power or EIRP.....	79
9	Uncertainty.....	80
10	Reporting.....	81
10.1	General requirements	81
10.2	Report format.....	81
10.3	Opinions and interpretations	82
Annex A (informative) Source-environment plane and guidance on the evaluation method selection.....		83
A.1	Guidance on the source-environment plane	83
A.1.1	General	83
A.1.2	Source-environment plane example	83
A.1.3	Source regions	84
A.2	Select between computation or measurement approaches	90
A.3	Select measurement method.....	91
A.3.1	Selection stages	91
A.3.2	Selecting between RF field strength, power density and SAR measurement approaches.....	91
A.3.3	Selecting between broadband and frequency selective measurement	92
A.3.4	Selecting RF field strength measurement procedures	93
A.4	Select computation method	93
A.5	Additional considerations	95
A.5.1	Simplicity	95
A.5.2	Evaluation method ranking	95
A.5.3	Applying multiple methods for RF exposure evaluation	95
Annex B (normative) Evaluation methods.....		96
B.1	Overview.....	96
B.2	General.....	96
B.2.1	Coordinate systems and reference points	96
B.2.2	Variables	97
B.3	RF exposure evaluation principles	98
B.3.1	Simple calculation of RF field strength and power density.....	98

B.3.2	Measurement of RF field strength and power density	102
B.3.3	Spatial averaging	104
B.3.4	Time averaging	107
B.3.5	Comparing measured and computed values	109
B.3.6	Personal RF monitors	109
B.4	RF field strength and power density measurements	109
B.4.1	Applicability of RF field strength and power density measurements	109
B.4.2	In-situ RF exposure measurements	109
B.4.3	Laboratory based RF field strength and power density measurements	121
B.4.4	RF field strength and power density measurement uncertainty	131
B.5	SAR measurements	136
B.5.1	Overview of SAR measurements	136
B.5.2	SAR measurement requirements	136
B.5.3	SAR measurement description	138
B.5.4	SAR measurement uncertainty	143
B.6	Basic computation methods	146
B.6.1	General	146
B.6.2	Basic computation formulas for RF field strength or power density evaluation	146
B.6.3	Basic whole-body SAR and peak spatial-average SAR evaluation formulas	153
B.6.4	Basic compliance boundary assessment method for BS using parabolic dish antennas	160
B.6.5	Basic compliance boundary assessment method for intentionally radiating cables	163
B.7	Advanced computation methods	164
B.7.1	General	164
B.7.2	Synthetic model and ray tracing algorithms	164
B.7.3	Full wave RF exposure computation	171
B.7.4	Full wave SAR computation	180
B.8	Extrapolation from the evaluated values to the maximum or actual values	185
B.8.1	Extrapolation method	185
B.8.2	Extrapolation to maximum in-situ RF field strength or power density using broadband measurements	187
B.8.3	Extrapolation to maximum in-situ RF field strength / power density using frequency or code selective measurements	187
B.8.4	Influence of traffic in real operating network	188
B.8.5	Extrapolation for massive MIMO and beamforming BS	189
B.8.6	Maximum exposure extrapolation with dynamic spectrum sharing (DSS)	191
B.9	Guidance for implementing the actual maximum approach	192
B.9.1	BS actual EIRP evaluation assumptions	192
B.9.2	Technology duty-cycle factor description	193
B.9.3	CDF evaluation using modelling studies	195
B.9.4	CDF evaluation using measurement studies on operational BS sites	196
B.9.5	Actual transmitted power or EIRP monitoring counters	198
B.9.6	Configurations with multiple transmitters	198
B.10	Transmitted power or EIRP evaluation	200
B.10.1	General	200
B.10.2	Measurement of the transmitted power in conducted mode	200
B.10.3	Measurement of the transmitted power in OTA conditions	201

B.10.4	Measurement of the EIRP in OTA and laboratory conditions	201
B.10.5	Measurement of the EIRP in OTA and in-situ conditions	202
Annex C (informative)	Guidelines for the validation of power or EIRP control features and monitoring counter(s) related to the actual maximum approach	203
C.1	Overview.....	203
C.2	Guidelines for validating control feature(s) and monitoring counters.....	203
C.3	Validation of power or EIRP monitoring counter in laboratory conditions	204
C.3.1	Validation of power or EIRP monitoring counter in conducted mode – test procedure	204
C.3.2	Validation of power or EIRP monitoring counter in OTA mode – test procedure	206
C.3.3	Validation of control feature(s) in laboratory conditions.....	209
C.3.4	Validation of control features using in-situ measurements.....	212
C.4	Validation test report.....	214
C.5	Case studies	215
C.5.1	Case study A – In-situ validation.....	215
C.5.2	Case study B – In-situ validation.....	219
C.5.3	Case study C – In-situ validation	222
Annex D (informative)	Rationale supporting simplified product installation criteria.....	227
D.1	General.....	227
D.2	Class E2	227
D.3	Class E10	228
D.4	Class E100	229
D.5	Class E+	231
D.6	Simplified formulas for millimetre-wave antennas using massive MIMO or beam steering.....	232
Annex E (informative)	Technology-specific exposure evaluation guidance	234
E.1	Overview to guidance on specific technologies	234
E.2	Summary of technology-specific information	234
E.3	Guidance on spectrum analyser settings.....	235
E.3.1	Overview of spectrum analyser settings.....	235
E.3.2	Detection algorithms	236
E.3.3	Resolution bandwidth and channel power processing	236
E.3.4	Integration per service	239
E.4	Stable transmitted power signals	239
E.4.1	TDMA/FDMA technology.....	239
E.4.2	WCDMA/UMTS technology	240
E.4.3	OFDM technology	241
E.5	WCDMA measurement and calibration using a code domain analyser.....	241
E.5.1	WCDMA measurements – General.....	241
E.5.2	WCDMA decoder characteristics.....	241
E.5.3	Calibration	242
E.6	Wi-Fi measurements	244
E.6.1	General	244
E.6.2	Integration time for reproducible measurements	245
E.6.3	Channel occupation	245
E.6.4	Some considerations	246
E.6.5	Measurement configuration and steps.....	246
E.6.6	Influence of the application layers.....	247

E.6.7	Power control	247
E.7	LTE measurements	248
E.7.1	Overview	248
E.7.2	LTE transmission modes.....	248
E.7.3	LTE-FDD frame structure.....	249
E.7.4	LTE-TDD frame structure.....	250
E.7.5	Maximum LTE exposure evaluation	252
E.7.6	Instantaneous LTE exposure evaluation	257
E.7.7	MIMO multiplexing of LTE BS	258
E.8	NR BS measurements.....	258
E.8.1	General	258
E.8.2	Maximum NR exposure evaluation.....	258
E.9	Establishing compliance boundaries using numerical simulations of MIMO array antennas emitting correlated waveforms	268
E.9.1	General	268
E.9.2	Field combining near base stations for correlated exposure with the purpose of establishing compliance boundaries	268
E.9.3	Numerical simulations of MIMO array antennas with densely packed columns.....	269
E.9.4	Numerical simulations of large MIMO array antennas	270
E.10	Massive MIMO antennas.....	270
E.10.1	Overview	270
E.10.2	Deterministic conservative approach	270
E.10.3	Statistical conservative approach.....	270
E.10.4	Example approaches	271
Annex F (informative)	Guidelines for the assessment of BS compliance with ICNIRP-2020 brief exposure limits	288
F.1	General.....	288
F.2	Brief exposure limits	288
F.3	Implications of brief exposure limits on signal modulation and TDD duty cycle.....	290
F.4	Implications of brief exposure limits on the actual maximum approach	290
Annex G (informative)	Uncertainty	294
G.1	Background.....	294
G.2	Requirement to estimate uncertainty	294
G.3	How to estimate uncertainty	295
G.4	Guidance on uncertainty and assessment schemes	295
G.4.1	General	295
G.4.2	Overview of assessment schemes	295
G.4.3	Examples of assessment schemes	296
G.4.4	Assessment schemes and compliance probabilities	299
G.5	Guidance on uncertainty	301
G.5.1	Overview	301
G.5.2	Measurement uncertainty and confidence levels	302
G.6	Applying uncertainty for compliance assessments.....	303
G.7	Example influence quantities for field measurements	304
G.7.1	General	304
G.7.2	Calibration uncertainty of measurement antenna or field probe.....	304
G.7.3	Frequency response of the measurement antenna or field probe	304
G.7.4	Isotropy of the measurement antenna or field probe	306

G.7.5	Frequency response of the spectrum analyser	306
G.7.6	Temperature response of a broadband field probe	306
G.7.7	Linearity deviation of a broadband field probe	307
G.7.8	Mismatch uncertainty	307
G.7.9	Deviation of the experimental source from numerical source	307
G.7.10	Meter fluctuation uncertainty for time-varying signals	307
G.7.11	Uncertainty due to power variation in the RF source	308
G.7.12	Uncertainty due to field gradients	308
G.7.13	Mutual coupling between measurement antenna or isotropic probe and object	309
G.7.14	Uncertainty due to field scattering from the surveyor's body	310
G.7.15	Measurement device	312
G.7.16	Fields out of measurement range	312
G.7.17	Noise	313
G.7.18	Integration time	313
G.7.19	Power chain	313
G.7.20	Positioning system	313
G.7.21	Matching between probe and the EUT	313
G.7.22	Drifts in output power of the EUT, probe, temperature, and humidity	313
G.7.23	Perturbation by the environment	313
G.8	Example influence quantities for RF field strength computations by ray tracing or full wave methods	314
G.8.1	General	314
G.8.2	System	314
G.8.3	Technique uncertainties	315
G.8.4	Environmental uncertainties	315
G.9	Influence quantities for SAR measurements	316
G.9.1	General	316
G.9.2	Post-processing	316
G.9.3	EUT holder	316
G.9.4	EUT positioning	317
G.9.5	Phantom shell uncertainty	318
G.9.6	SAR correction depending on target liquid permittivity and conductivity	318
G.9.7	Liquid permittivity and conductivity measurements	319
G.9.8	Liquid temperature	319
G.10	Influence quantities for SAR calculations	319
G.11	Spatial averaging	319
G.11.1	General	319
G.11.2	Small-scale fading variations	320
G.11.3	Error on the estimation of local average power density	321
G.11.4	Characterization of environment statistical properties	322
G.11.5	Characterization of different spatial averaging schemes	322
G.12	Influence of human body on measurements of the electric RF field strength	327
G.12.1	Simulations of the influence of human body on measurements based on the method of moments (surface equivalence principle)	327
G.12.2	Comparison with measurements	329
G.12.3	Conclusions	330
Annex H (informative)	Guidance on comparing evaluated parameters with a limit value	331
H.1	Overview	331

H.2	Information recommended to compare evaluated value against limit value	331
H.3	Performing a limit comparison at a given confidence level.....	331
H.4	Performing a limit comparison using a process-based assessment scheme	332
Bibliography.....		333
Figure 1	– Quick start guide to the evaluation process	40
Figure 2	– Example of iso-surface compliance boundary	43
Figure 3	– Example of cylindrical and half-pipe compliance boundaries	44
Figure 4	– Example of box shaped compliance boundary	45
Figure 5	– Example of truncated box shaped compliance boundary	45
Figure 6	– Example illustrating the linear scaling procedure.....	46
Figure 7	– Example of massive MIMO antenna and corresponding beams and envelope patterns	48
Figure 8	– Example of compliance boundary shape for BS antennas with beam steering	48
Figure 9	– Example of dish antenna compliance boundary	49
Figure 10	– Flowchart describing the product installation evaluation process	51
Figure 11	– Example of a CDF curve representing the normalized actual transmitted power or EIRP	53
Figure 12	– Flow chart for product installation compliance based on the actual maximum transmitted power or EIRP threshold(s).....	55
Figure 13	– Simplified compliance assessment process using installation classes	56
Figure 14	– Example of DI within a square-shaped assessment domain boundary (ADB) with dimension L_{ADB}	60
Figure 15	– In-situ RF exposure evaluation or assessment process flow chart	65
Figure 16	– Source-environment plane concept	69
Figure 17	– Flow chart of the measurement methods	72
Figure 18	– Flow chart of the relevant computation methods	75
Figure 19	– Example of segments used for monitoring and control of BS using mMIMO or beam steering.....	77
Figure A.1	– Example source-environment plane regions near a base station antenna on a tower.....	83
Figure A.2	– Example source-environment plane regions near a roof-top antenna that has a narrow vertical (elevation plane) beamwidth (not to scale).....	84
Figure A.3	– Geometry of an antenna with largest linear dimension L_{eff} and largest end dimension L_{end}	85
Figure A.4	– Maximum path difference for an antenna with largest linear dimension L	89
Figure B.1	– Cartesian, cylindrical and spherical coordinate systems relative to the BS antenna (view from the rear panel)	97
Figure B.2	– Typical RF exposure assessment case	99
Figure B.3	– Reflection due to the presence of a ground plane	100
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.....	101
Figure B.5	– General representation of RF field strength or power density measurements	102
Figure B.6	– Practical examples of measurement equipment installation.....	103

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	105
Figure B.8 – Spatial averaging relative to spatial-peak field strength point height	107
Figure B.9 – Evaluation locations	119
Figure B.10 – Relationship of separation of remote radio source and evaluation area to separation of evaluation points	120
Figure B.11 – Outline of the surface scanning methodology	123
Figure B.12 – Block diagram of the antenna measurement system.....	124
Figure B.13 – Minimum radius constraint, where a denotes the minimum radius of a sphere, centred at the reference point, that encompasses the EUT.....	125
Figure B.14 – Maximum angular sampling spacing constraint	125
Figure B.15 – Outline of the volume/surface scanning methodology.....	128
Figure B.16 – Block diagram of typical near-field EUT measurement system.....	129
Figure B.17 – Examples of positioning of the EUT relative to the relevant phantom	136
Figure B.18 – Phantom liquid volume and measurement volume used for whole-body SAR measurements with the box-shaped phantoms.....	143
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)	147
Figure B.20 – Views illustrating the three valid zones for field strength computation around an antenna.....	149
Figure B.21 – Enclosed cylinder around collinear array antennas, with and without electrical downtilt.....	150
Figure B.22 – Spherical formulas reference results	153
Figure B.23 – Cylindrical formulas reference results	153
Figure B.24 – Directions for which SAR estimation expressions are provided.....	154
Figure B.25 – Description of SAR estimation formulas physical parameters	155
Figure B.26 – Flow chart for the simplified assessment of RF compliance boundary in the line of sight of a parabolic dish antenna	162
Figure B.27 – Radiating cable geometry	163
Figure B.28 – Synthetic model and ray tracing algorithms geometry and parameters	167
Figure B.29 – Line 4 far-field positions for synthetic model and ray tracing validation example.....	169
Figure B.30 – Antenna parameters for synthetic model and ray tracing algorithms validation example	170
Figure B.31 – Generic 900 MHz BS antenna with nine dipole radiators	177
Figure B.32 – Line 1, 2 and 3 near-field positions for full wave and ray tracing validation	178
Figure B.33 – Generic 1 800 MHz BS antenna with five slot radiators	179
Figure B.34 – BS antenna placed in front of a multi-layered lossy cylinder.....	185
Figure B.35 – Time variation over 24 h of the exposure induced by NR, GSM and FM, each normalized to the mean value.....	189
Figure B.36– Generic structure of a base station transmitted RF signal frame.....	194
Figure B.37 – Example of setup for the direct power level measurement for BS equipped with direct access conducted output ports.....	201
Figure C.1 – Example of a laboratory test setup for validation of an actual power control feature intended for use with a 5G BS	210

Figure C.2 – Example of a test setup for validation of an actual power control feature implemented in a 5G BS	213
Figure C.3 – Ground based in-situ validation setup	216
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)	217
Figure C.5 – Comparison between measured time-averaged EMF and power control feature (5G counter data) for the ground-based measurements	218
Figure C.6 – Measured exposure adaptation in time expressed as a percentage of ICNIRP limits [1], [2] for the measurements near the general public compliance boundary	218
Figure C.7 – Overview of the measurement site	220
Figure C.8 – Ground view of the validation site and measurement setup, located 60 m from the 5G BS, in the line of sight	221
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)	221
Figure C.10 – Overview of the test platform	223
Figure C.11 – Example of synthetic model simulation of the test area	223
Figure C.12 – Examples of traffic load profiles	223
Figure C.13 – Example of testing in different segments in the test area	224
Figure C.14 – Results of the monitoring validation and baseline test in phase 1	225
Figure C.15 – Example of power density measurements and power density derived from counters	225
Figure C.16 – Measured power density and power density derived from counters	226
Figure C.17 – Comparisons of both counters and measurements	226
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)	227
Figure D.2 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E10	228
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	229
Figure D.4 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E100	230
Figure D.5 – Averaged power density at ground level for various installation configurations of equipment with 100 W EIRP (installation class E100)	231
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+	232
Figure D.7 – Minimum installation height h_m as a function of EIRP corresponding to installation class E+	232
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)	233
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)	233
Figure E.1 – Spectral occupancy for GMSK	237
Figure E.2 – Spectral occupancy for CDMA	238
Figure E.3 – Channel allocation for a WCDMA signal	241
Figure E.4 – Example of Wi-Fi frames	244

Figure E.5 – Channel occupation versus the integration time for IEEE 802.11b standard	245
Figure E.6 – Channel occupation versus nominal throughput rate for IEEE 802.11b/g standards.....	246
Figure E.7 – Wi-Fi spectrum trace snapshot.....	246
Figure E.8 – Frame structure of transmission signal for LTE-FDD downlink	250
Figure E.9 – Frame structure LTE-TDD type 2 (for 5 ms switch-point periodicity)	251
Figure E.10 – Frame structure of transmission signal for LTE-TDD	251
Figure E.11 – LTE-TDD PBCH measurement example	254
Figure E.12 – Example of VBW setting for LTE-FDD and LTE-TDD to avoid underestimation	255
Figure E.13 – Examples of received waves from LTE-FDD downlink signals using a spectrum analyser using zero span mode	256
Figure E.14 – LTE-TDD PBCH measurement example spectrum analyser using zero span mode.....	257
Figure E.15 – Example of VBW setting for NR to avoid underestimation	261
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).....	261
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).....	262
Figure E.18 – Example of NR signal frame measured on SA with SSB signal above PDSCH (data).....	262
Figure E.19 – Example of NR signal frame measured on SA with SSB signal below or equal to PDSCH (data)	263
Figure E.20 – Time gating of SS burst signal	264
Figure E.21 – Representation of the channel bandwidth (CBW)	264
Figure E.22 – An example for one port CSI-RS beam design	267
Figure E.23 – Plan view representation of statistical conservative model	273
Figure E.24 – Binomial cumulative probability function for $N = 24$, $PR = 0,125$	281
Figure E.25 – Binomial cumulative probability function for $N = 18$, $PR = 2/7$	281
Figure E.26 – Binomial cumulative probability function for $N = 100$, $PR = 0,125$	285
Figure E.27 – Binomial cumulative probability function for $N = 82$, $PR = 2/7$	285
Figure F.1 – Limits for brief exposure ($t < 360$ s), see Table F.1, divided by the corresponding time interval t and normalized with the value obtained for t up to 360 s	289
Figure F.2 – F_{PR_min} as a function of the pulse duration assuming a whole-body averaging time of 30 min.....	293
Figure F.3 – F_{PR_min} as a function of the pulse duration assuming an averaging time of 6 min	293
Figure G.1 – Examples of general assessment schemes.....	297
Figure G.2 – Target uncertainty scheme overview.....	298
Figure G.3 – Probability of the true value being above (respectively below) the evaluated value depending on the confidence level assuming a normal distribution	302
Figure G.4 – Plot of the calibration factors for E (not E^2) provided from an example calibration report for an electric field probe	305
Figure G.5 – Computational model used for the variational analysis of reflected RF fields from the front of a surveyor	311
Figure G.6 – EUT positioning equipment and different positioning errors	317

Figure G.7 – Physical model of small-scale fading variations	320
Figure G.8 – Example of E-field strength variations in line of sight of an antenna operating at 2,2 GHz.....	320
Figure G.9 – Error at 95 % on average power estimation	321
Figure G.10 – 343 measurement points building a cube (centre) and different templates consisting of a different number of positions	323
Figure G.11 – Moving a template (Line 3) through the cube	324
Figure G.12 – Standard deviations for GSM 900, DCS 1800 and UMTS	326
Figure G.13 – Simulation arrangement.....	328
Figure G.14 – Body influence.....	328
Figure G.15 – Simulation arrangement.....	329
Table 1 – Quick start guide evaluation steps.....	41
Table 2 – Example of product installation classes where a simplified evaluation process is applicable (based on ICNIRP general public limits [1] and [2]).....	57
Table 3 – Exposure metrics validity for evaluation points in each source region	71
Table 4 – Requirements for RF field strength and power density measurements	73
Table 5 – Whole-body SAR exclusions based on RF power levels.....	73
Table 6 – Requirements for SAR measurements	74
Table 7 – Applicability of computation methods for source-environment regions of Figure 16	75
Table 8 – Requirements for computation methods.....	75
Table A.1 – Definition of source regions.....	86
Table A.2 – Default source region boundaries.....	86
Table A.3 – Source region boundaries for antennas with maximum dimension less than $2,5 \lambda$	87
Table A.4 – Source region boundaries for linear/planar antenna arrays with a maximum dimension greater than or equal to $2,5 \lambda$	87
Table A.5 – Source region boundaries for equiphase radiation aperture (e.g. dish) antennas with maximum reflector dimension much greater than a wavelength	88
Table A.6 – Source region boundaries for radiating cables.....	88
Table A.7 – Far-field distance r measured in metres as a function of angle β	90
Table A.8 – Guidance on selecting between computation and measurement approaches.....	91
Table A.9 – Guidance on selecting between broadband and frequency selective measurement.....	92
Table A.10 – Guidance on selecting RF field strength measurement procedures.....	93
Table A.11 – Guidance on selecting computation methods.....	94
Table A.12 – Guidance on specific evaluation method ranking	95
Table B.1 – Dimension variables.....	97
Table B.2 – RF power variables	97
Table B.3 – Antenna variables	98
Table B.4 – Exposure metric variables	98
Table B.5 – Broadband measurement system minimum requirements	111
Table B.6 – Frequency selective measurement system minimum requirements	112

Table B.7 – Example template for estimating the expanded uncertainty of an in-situ RF field strength measurement that used a frequency selective equipment	132
Table B.8 – Example template for estimating the expanded uncertainty of an in-situ RF field strength measurement that used a broadband equipment.....	133
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	134
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	135
Table B.11 – Numerical reference SAR values for reference dipoles and flat phantom – All values are normalized to a forward power of 1 W	140
Table B.12 – Phantom liquid volume and measurement volume used for whole-body SAR measurements [61], [77]	143
Table B.13 – Correction factor to compensate for a possible bias in the obtained general public whole-body SAR when assessed using the large box-shaped phantom for child exposure configurations [72].....	143
Table B.14 – Measurement uncertainty evaluation template for EUT whole-body SAR test	144
Table B.15 – Measurement uncertainty evaluation template for whole-body SAR system validation	145
Table B.16 – Definition of boundaries for selecting the zone of computation	149
Table B.17 – Input parameters for cylindrical and spherical formulas validation	152
Table B.18 – Applicability of SAR estimation formulas	154
Table B.19 – Calculation of $A(f, d)$	157
Table B.20 – Antenna parameters for SAR estimation formulas verification	159
Table B.21 – Verification data for SAR estimation formulas – front.....	159
Table B.22 – Verification data for SAR estimation formulas – axial and back	159
Table B.23 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a synthetic model and ray tracing RF field strength computation.....	168
Table B.24 – Synthetic model and ray tracing power density reference results.....	171
Table B.25 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a full wave RF field strength / power density computation.....	176
Table B.26 – Validation 1 full wave field reference results.....	178
Table B.27 – Validation 2 full wave field reference results.....	179
Table B.28 – Example template for estimating the expanded uncertainty of a full wave SAR computation.....	183
Table B.29 – Validation reference SAR results for computation method	185
Table B.30 – Relevant parameters for performing RF exposure modelling studies of a massive MIMO site or site cluster	195
Table B.31 – Measurement campaign parameters for performing RF exposure assessment of a massive MIMO site or site cluster	197
Table B.32 – Power combination factors applicable to the normalized actual transmitted power CDF in case of combination of multiple independent identical transmitters.....	199
Table B.33 – Power combination factors applicable to two independent transmitters with a ratio p in amplitude	200
Table C.1 – Relative difference between the measured averaged transmitted power and actual power counter value for systems that allow direct power level measurements	204

Table C.2 – Correlation between the configured maximum power level and the level reported by actual power counters for BS that allow direct power level measurements.....	205
Table C.3 – Correlation between the configured time-averaged load levels and the actual power counter value for systems that allow direct power level measurements.....	205
Table C.4 – 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	206
Table C.5 – Correlation between the configured power level and the level reported by power counters for BS that do not support direct power level measurements	207
Table C.6 – 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	209
Table E.1 – Technology specific information	234
Table E.2 – Example of spectrum analyser settings for an integration per service.....	239
Table E.3 – Example constant power components for specific TDMA/FDMA technologies	240
Table E.4 – WCDMA decoder characteristics	242
Table E.5 – Signal configurations.....	242
Table E.6 – WCDMA generator setting for power linearity.....	243
Table E.7 – WCDMA generator setting for decoder calibration	243
Table E.8 – WCDMA generator setting for reflection coefficient measurement	244
Table E.9 – Uplink-downlink configurations	252
Table E.10 – Theoretical extrapolation factor, N_{RS} , based on frame structure given in 3GPP TS 36.104 [21].....	253
Table E.11 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for sub-6 GHz signals	259
Table E.12 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for mm-wave signals.....	260
Table E.13 – List of variables in the case study	284
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]	289
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].....	293
Table G.1 – Determining target uncertainty	298
Table G.2 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using best estimate	300
Table G.3 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using target uncertainty of 4 dB.....	300
Table G.4 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials where surveyor uses upper 95 % CI and auditor uses lower 95 % CI	301
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	309
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	309
Table G.7 – Example minimum separation conditions for selected dipole lengths for 10 % uncertainty in E	310
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.....	312

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.....	312
Table G.10 – Maximum sensitivity coefficients for liquid permittivity and conductivity over the frequency range 300 MHz to 6 GHz.....	319
Table G.11 – Uncertainty at 95 % for different fading models.....	322
Table G.12 – Correlation coefficients for GSM 900 and DCS 1800.....	325
Table G.13 – Variations of the standard deviations for the GSM 900, DCS 1800 and UMTS frequency bands.....	326
Table G.14 – Examples of total uncertainty calculation.....	327
Table G.15 – Maximum simulated error due to the influence of a human body on the measurement values of an omnidirectional probe.....	329
Table G.16 – Measured influence of a human body on omnidirectional probe measurements.....	329

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. 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 third edition cancels and replaces the second edition published in 2017. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) increased frequency range, from 110 MHz to 300 GHz (including consideration of ambient sources from 100 kHz to 300 GHz);
- b) specification of assessment procedures based on the actual maximum approach including methods for the validation of monitoring counter and control features;
- c) introduction of assessment methods relevant to 5G technologies and BS using beam-steering such as massive MIMO systems;
- d) clarification of criteria for exposure from multiple sources;

- e) restructuring of Annex B (Evaluation methods) for better readability;
- f) update of the requirements and procedures for power density measurements in laboratory conditions;
- g) update of simplified assessment formulas for dish antennas used in radio relays and microwave links;
- h) compatibility with ICNIRP-2020 [1]¹ exposure limits.

This document contains attached files that are cited in Figure B.30 and G.4.4.3. 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
106/576/FDIS	106/590/RVD

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 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,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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], 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.

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 62669:2019 [5], which includes a set of case studies providing practical examples of the application of this document.

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 62669:2019 [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	359
INTRODUCTION.....	361
1 Domaine d'application	362
2 Références normatives	363
3 Termes et définitions	364
4 Symboles et abréviations.....	381
4.1 Grandeurs physiques	381
4.2 Constantes	381
4.3 Abréviations.....	381
5 Informations sur l'utilisation du présent document	385
5.1 Guide de démarrage rapide.....	385
5.2 Catégories d'objectif d'évaluation RF	388
5.3 Études de cas de mise en œuvre	388
6 Processus d'évaluation pour la conformité du produit, la conformité de l'installation du produit et les évaluations de l'exposition RF sur site.....	388
6.1 Processus d'évaluation pour la conformité du produit.....	388
6.1.1 Généralités	388
6.1.2 Détermination des frontières de conformité.....	389
6.1.3 Définition de la frontière de conformité isosurfacique	389
6.1.4 Frontières de conformité simples	389
6.1.5 Méthodes de détermination de la frontière de conformité	391
6.1.6 Incertitude	396
6.1.7 Activité de rapport de conformité du produit.....	396
6.2 Processus d'évaluation pour la conformité de l'installation du produit.....	397
6.2.1 Généralités	397
6.2.2 Procédure d'évaluation générale de l'installation du produit.....	397
6.2.3 Conformité d'installation du produit en fonction de la puissance transmise maximale réelle ou de la PIRE.....	399
6.2.4 Collecte de données sur l'installation du produit	403
6.2.5 Processus d'évaluation simplifiée de l'installation du produit.....	403
6.2.6 Choix de la zone d'évaluation	407
6.2.7 Mesurages.....	409
6.2.8 Calculs	410
6.2.9 Incertitude	411
6.2.10 Activité de rapport de conformité de l'installation du produit.....	412
6.3 Processus d'évaluation de l'exposition RF sur site	413
6.3.1 Généralités	413
6.3.2 Processus de mesure sur site.....	413
6.3.3 Analyse du site	415
6.3.4 Évaluation du Cas A	415
6.3.5 Évaluation du Cas B	415
6.3.6 Incertitude	416
6.3.7 Rapport	416
6.4 Procédures de moyennage	417
6.4.1 Moyennage spatial.....	417
6.4.2 Moyennage temporel	417
7 Détermination de la méthode d'évaluation	417

7.1	Vue d'ensemble	417
7.2	Processus de détermination de la méthode d'évaluation	418
7.2.1	Généralités	418
7.2.2	Détermination des points d'évaluation par rapport au plan source-environnement.....	418
7.2.3	Choix de l'indicateur d'exposition	420
8	Méthodes d'évaluation	421
8.1	Généralités	421
8.2	Méthodes de mesure	422
8.2.1	Généralités	422
8.2.2	Mesurages de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	424
8.2.3	Mesurages du DAS	424
8.3	Méthodes de calcul	425
8.4	Méthodes d'évaluation fondées sur l'approche fondée sur la maximale réelle	427
8.4.1	Exigences générales	427
8.4.2	Surveillance de la puissance transmise réelle ou de la PIRE	428
8.4.3	Contrôle de la puissance transmise réelle ou de la PIRE	429
8.5	Méthodes d'évaluation de l'exposition RF à plusieurs sources	430
8.6	Méthodes d'établissement de la puissance transmise ou de la PIRE de la BS.....	432
9	Incertitude	432
10	Rapport	433
10.1	Exigences générales.....	433
10.2	Format de rapport	433
10.3	Avis et interprétations	434
Annexe A (informative) Plan source-environnement et recommandations pour le choix de la méthode d'évaluation		435
A.1	Recommandations relatives au plan source-environnement	435
A.1.1	Généralités	435
A.1.2	Exemple de plan source-environnement	435
A.1.3	Régions de la source	436
A.2	Choix entre l'approche par calcul ou l'approche de mesure	443
A.3	Choix de la méthode de mesure.....	444
A.3.1	Étapes du choix	444
A.3.2	Choix entre approche de mesure de l'intensité de champ, de la densité de puissance et du DAS	444
A.3.3	Choix entre mesurages à large bande et mesurages sélectifs en fréquence	444
A.3.4	Choix des procédures de mesure de l'intensité des champs de radiofréquences.....	446
A.4	Choix de la méthode de calcul	446
A.5	Considérations supplémentaires	448
A.5.1	Simplicité.....	448
A.5.2	Classement des méthodes d'évaluation	448
A.5.3	Appliquer plusieurs méthodes pour l'évaluation de l'exposition RF	448
Annexe B (normative) Méthodes d'évaluation.....		449
B.1	Vue d'ensemble	449
B.2	Généralités	449
B.2.1	Systèmes de coordonnées et points de référence	449
B.2.2	Variables	450

B.3	Principes d'évaluation de l'exposition RF	452
B.3.1	Calcul simple de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	452
B.3.2	Mesurage de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	456
B.3.3	Moyennage spatial.....	458
B.3.4	Moyennage temporel	462
B.3.5	Comparaison des valeurs mesurées et des valeurs calculées	464
B.3.6	Contrôleurs RF personnels	464
B.4	Mesurages de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	465
B.4.1	Applicabilité des mesurages de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	465
B.4.2	Mesurages de l'exposition RF sur site.....	465
B.4.3	Mesurages en laboratoire de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	477
B.4.4	Incertitude de mesure de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	489
B.5	Mesurages du DAS	495
B.5.1	Présentation des mesurages du DAS.....	495
B.5.2	Exigences de mesure du DAS.....	495
B.5.3	Description du mesurage du DAS	498
B.5.4	Incertitude de mesure du DAS	505
B.6	Méthodes de calculs de base	508
B.6.1	Généralités	508
B.6.2	Formules des calculs de base pour l'évaluation de l'intensité du champ RF ou de la densité de puissance	508
B.6.3	Formules pour l'évaluation du DAS du corps entier de base et de la valeur maximale moyennée dans l'espace du DAS	516
B.6.4	Méthode d'évaluation de la frontière de conformité de base pour une BS utilisant des antennes à réflecteur parabolique	523
B.6.5	Méthode d'évaluation de la frontière de conformité de base pour les câbles rayonnants	526
B.7	Méthodes de calculs avancés	527
B.7.1	Généralités.....	527
B.7.2	Modèle synthétique et algorithmes de lancer de rayon.....	528
B.7.3	Calcul d'exposition RF en onde pleine	535
B.7.4	Calcul en onde pleine du DAS	545
B.8	Extrapolation à partir des valeurs évaluées aux valeurs maximales ou réelles.....	552
B.8.1	Méthode d'extrapolation.....	552
B.8.2	Extrapolation à l'intensité du champ RF ou à la densité de puissance sur site lors des mesurages à large bande.....	553
B.8.3	Extrapolation à la valeur maximale de l'intensité du champ RF/densité de puissance sur site au moyen de mesurages sélectifs en code ou en fréquence	553
B.8.4	Influence du trafic sur un réseau fonctionnant véritablement.....	554
B.8.5	Extrapolation pour la BS à MIMO massif et formation de faisceau	555
B.8.6	Extrapolation de l'exposition maximale avec le partage de spectre dynamique (DSS)	558
B.9	Recommandations de mise en œuvre de l'approche fondée sur la maximale réelle	558
B.9.1	Hypothèses d'évaluation de la PIRE réelle de la BS	558
B.9.2	Description du rapport cyclique de la technologie	560
B.9.3	Évaluation de la CDF à l'aide des études de modélisation	561

B.9.4	Évaluation de la CDF à l'aide d'études de mesure sur sites de BS opérationnels.....	563
B.9.5	Compteurs de surveillance de la puissance transmise ou de la PIRE réelle.....	564
B.9.6	Configurations avec plusieurs émetteurs.....	565
B.10	Évaluation de la puissance transmise ou de la PIRE.....	567
B.10.1	Généralités.....	567
B.10.2	Mesurage de la puissance transmise en mode conduit.....	567
B.10.3	Mesurage de la puissance transmise dans des conditions OTA.....	568
B.10.4	Mesurage de la PIRE dans des conditions OTA et de laboratoire.....	568
B.10.5	Mesurage de la PIRE dans des conditions OTA et sur site.....	569
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 maximale réelle.....		
C.1	Vue d'ensemble.....	570
C.2	Lignes directrices relatives à la validation de la fonction ou des fonctions de commande et des compteurs de surveillance.....	570
C.3	Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE dans des conditions de laboratoire.....	571
C.3.1	Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE en mode conduit – procédure d'essai.....	571
C.3.2	Validation du compteur de surveillance de puissance ou de PIRE en mode OTA – procédure d'essai.....	573
C.3.3	Validation de la ou des fonctions de commande dans les conditions de laboratoire.....	578
C.3.4	Validation des fonctions de commande par des mesurages sur site.....	581
C.4	Rapport d'essai de validation.....	583
C.5	Études de cas.....	584
C.5.1	Étude de cas A – Validation sur site.....	584
C.5.2	Étude de cas B – Validation sur site.....	588
C.5.3	Étude de cas C – Validation sur site.....	592
Annexe D (informative) Justification prenant en charge les critères simplifiés d'installation du produit.....		
D.1	Généralités.....	600
D.2	Classe E2.....	600
D.3	Classe E10.....	601
D.4	Classe E100.....	602
D.5	Classe E+.....	605
D.6	Formules simplifiées pour les antennes à ondes millimétriques utilisant le MIMO massif ou le orientation de faisceau.....	607
Annexe E (informative) Recommandations concernant l'évaluation d'exposition spécifiques à la technologie.....		
E.1	Introduction aux technologies spécifiques.....	609
E.2	Synthèse des informations spécifiques à la technologie.....	609
E.3	Recommandations relatives aux réglages d'analyseurs de spectre.....	610
E.3.1	Introduction aux réglages d'analyseurs de spectre.....	610
E.3.2	Algorithmes de détection.....	611
E.3.3	Largeur de bande de résolution et traitement de la puissance du canal.....	612
E.3.4	Intégration par service.....	615
E.4	Signaux de puissance transmise stables.....	616
E.4.1	Technologies AMRT/ AMRF.....	616

E.4.2	Technologies AMRC à bande élargie/UMTS	617
E.4.3	Technologie OFDM.....	618
E.5	Mesurage et étalonnage AMRC à bande élargie au moyen d'un analyseur de domaine des codes	618
E.5.1	Mesurages AMRC à bande élargie – Généralités	618
E.5.2	Caractéristiques du décodeur AMRC à bande élargie	618
E.5.3	Étalonnage	619
E.6	Mesurages WiFi.....	621
E.6.1	Généralités.....	621
E.6.2	Temps d'intégration pour des mesurages reproductibles.....	622
E.6.3	Occupation du canal	623
E.6.4	Autres considérations	624
E.6.5	Configuration et étapes de mesure	625
E.6.6	Influence des couches d'application.....	626
E.6.7	Commande de puissance.....	626
E.7	Mesurages LTE.....	626
E.7.1	Vue d'ensemble	626
E.7.2	Modes de transmission LTE.....	627
E.7.3	Structure de trame LTE-FDD	628
E.7.4	Structure de trame LTE-TDD	630
E.7.5	Évaluation de l'exposition LTE maximale	632
E.7.6	Évaluation de l'exposition LTE instantanée	640
E.7.7	Multiplexage MIMO de la BS LTE	640
E.8	Mesurages de la BS NR.....	640
E.8.1	Généralités.....	640
E.8.2	Évaluation de l'exposition NR maximale.....	641
E.9	Définition des frontières de conformité au moyen de simulations numériques des réseaux d'antennes MIMO émettant des formes d'ondes corrélées	653
E.9.1	Généralités	653
E.9.2	Combinaison de champs à proximité des stations de base pour l'exposition corrélée dans le but de définir des frontières de conformité.....	653
E.9.3	Simulations numériques des réseaux d'antennes MIMO dont les colonnes sont très rapprochées	654
E.9.4	Simulations numériques de réseaux d'antennes MIMO de grande taille	655
E.10	Antennes MIMO massif	656
E.10.1	Vue d'ensemble	656
E.10.2	Approche déterministe conservatrice	656
E.10.3	Approche statistique conservatrice	656
E.10.4	Exemples d'approches.....	657
Annexe F (informative) Lignes directrices pour l'évaluation de la conformité de la BS aux limites de brève exposition de l'ICNIRP-2020		676
F.1	Généralités	676
F.2	Limites de brève exposition.....	676
F.3	Implications des limites de brève exposition sur la modulation du signal et le rapport cyclique TDD	678
F.4	Implications des limites de brève exposition sur l'approche fondée sur la maximale réelle.....	678
Annexe G (informative) Incertitude.....		683
G.1	Contexte	683
G.2	Exigences de calcul de l'incertitude.....	683

G.3	Méthode de calcul de l'incertitude	684
G.4	Recommandations pour les schémas d'incertitude et d'évaluation.....	684
G.4.1	Généralités	684
G.4.2	Vue d'ensemble des systèmes d'évaluation	684
G.4.3	Exemples de systèmes d'évaluation.....	685
G.4.4	Systèmes d'évaluation et probabilités de conformité	688
G.5	Recommandations pour l'incertitude.....	692
G.5.1	Vue d'ensemble	692
G.5.2	Incertitude de mesure et niveaux de confiance	692
G.6	Application de l'incertitude pour des évaluations de la conformité	694
G.7	Exemples de grandeurs d'influence pour des mesurages de champs	695
G.7.1	Généralités	695
G.7.2	Incertitude d'étalonnage de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ	695
G.7.3	Réponse en fréquence de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ	696
G.7.4	Isotropie de l'antenne de mesure ou de la sonde de champ	697
G.7.5	Réponse en fréquence de l'analyseur de spectre	698
G.7.6	Réponse en température d'une sonde de champ à large bande	698
G.7.7	Écart de linéarité d'une sonde de champ à large bande	698
G.7.8	Incertitude de désadaptation.....	698
G.7.9	Écart entre la source expérimentale et la source numérique	699
G.7.10	Incertitude des fluctuations de l'appareil de mesure pour les signaux à variation temporelle	699
G.7.11	Incertitude due à une variation de puissance de la source RF.....	699
G.7.12	Incertitude due à des gradients de champ.....	700
G.7.13	Couplage mutuel entre l'antenne de mesure ou la sonde isotrope et un objet	701
G.7.14	Incertitude due à la diffusion du champ par le vérificateur.....	702
G.7.15	Dispositif de mesure	704
G.7.16	Champs hors de la plage de mesure.....	704
G.7.17	Bruit	704
G.7.18	Temps d'intégration	705
G.7.19	Chaîne de puissance	705
G.7.20	Système de positionnement.....	705
G.7.21	Correspondance entre la sonde et l'EUT.....	705
G.7.22	Dérives de puissance de sortie de l'EUT, de température et d'humidité	705
G.7.23	Perturbations liées à l'environnement	705
G.8	Exemples de grandeurs d'influence pour des calculs de l'intensité de champs de radiofréquences par les méthodes de lancer de rayon ou en onde pleine	705
G.8.1	Généralités	705
G.8.2	Système	706
G.8.3	Incertitudes liées à la technique.....	707
G.8.4	Incertitudes liées à l'environnement	707
G.9	Grandeurs d'influence pour les mesurages du DAS.....	708
G.9.1	Généralités	708
G.9.2	Post-traitement.....	708
G.9.3	Support de l'EUT	708
G.9.4	Positionnement de l'EUT.....	709

G.9.5	Incertitude de l'enveloppe de fantôme.....	711
G.9.6	Correction du DAS selon la permittivité et la conductivité du liquide cible	711
G.9.7	Mesurages de la permittivité et de la conductivité d'un liquide	711
G.9.8	Température d'un liquide	711
G.10	Grandeurs d'influence pour les calculs du DAS	711
G.11	Moyennage spatial.....	712
G.11.1	Généralités	712
G.11.2	Variations d'évanouissements à petite échelle	713
G.11.3	Erreur dans l'estimation de la densité de puissance moyenne locale	713
G.11.4	Caractérisation des propriétés statistiques d'environnement	715
G.11.5	Caractérisation des différentes procédures de moyennage spatial	715
G.12	Influence du corps humain sur les mesurages de l'intensité du champ RF électrique.....	721
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).....	721
G.12.2	Comparaison avec les mesurages	722
G.12.3	Conclusions.....	723
Annexe H (Informative) Recommandations relatives à la comparaison de paramètres évalués avec une valeur limite		724
H.1	Vue d'ensemble	724
H.2	Informations recommandées pour comparer une valeur évaluée à une valeur limite.....	724
H.3	Comparaison d'une limite à un niveau de confiance donné	724
H.4	Comparaison d'une limite au moyen d'un système d'évaluation fondé sur le processus	725
Bibliographie.....		727
Figure 1 – Guide de démarrage rapide du processus d'évaluation		386
Figure 2 – Exemple de frontière de conformité isosurfacique		389
Figure 3 – Exemple de frontières de conformité cylindrique et en demi-lune		390
Figure 4 – Exemple de frontière de conformité rectangulaire.....		391
Figure 5 – Exemple de frontière de conformité rectangulaire tronquée		391
Figure 6 – Exemple de procédure de mise à l'échelle linéaire		392
Figure 7 – Exemple d'antenne MIMO massif et de faisceaux et diagrammes d'enveloppe correspondants		394
Figure 8 – Exemple de forme de frontière de conformité pour les antennes de BS à orientation de faisceau.....		395
Figure 9 – Exemple de frontière de conformité pour antenne à réflecteur.....		395
Figure 10 – Organigramme du processus d'évaluation de l'installation du produit		398
Figure 11 – Exemple de courbe CDF représentant la puissance transmise réelle normalisée ou la PIRE		400
Figure 12 – Logigramme de la conformité d'installation du produit en fonction du ou des seuils de puissance transmise maximale réelle ou de PIRE.....		402
Figure 13 – Processus d'évaluation simplifié de la conformité utilisant les classes d'installation		404
Figure 14 – Exemple de DI au sein de la frontière de domaine d'évaluation (ADB) carrée avec la dimension L_{ADB}		409
Figure 15 – Logigramme du processus d'évaluation de l'exposition RF sur site.....		414

Figure 16 – Concept de plan source-environnement	419
Figure 17 – Logigramme des méthodes de mesure	423
Figure 18 – Logigramme des méthodes de calcul applicables	426
Figure 19 – Exemple de segments utilisés pour surveiller et commander la BS à l'aide de mMIMO ou du orientation de faisceau	429
Figure A.1 – Exemple de régions d'un plan source-environnement à proximité d'une antenne de station de base radio sur un pylône	435
Figure A.2 – Exemple de régions d'un plan source-environnement à proximité d'une antenne en toiture avec un faisceau vertical étroit (vue en élévation non à l'échelle)	436
Figure A.3 – Configuration d'une antenne avec la plus grande dimension linéaire L_{eff} et la dimension la plus grande aux extrémités L_{end}	437
Figure A.4 – Différence de trajet maximale pour une antenne avec la plus grande dimension linéaire L	442
Figure B.1 – Systèmes de coordonnées cartésien, cylindrique et sphérique relatifs à l'antenne de BS (vue depuis le panneau arrière)	450
Figure B.2 – Cas d'évaluation d'exposition RF classique	452
Figure B.3 – Réflexion due à la présence d'un plan de masse	454
Figure B.4 – Réflexions dues à la présence des parois internes du boîtier, du bitume et du sol environnants configurant une station de base enterrée	455
Figure B.5 – Représentation générale des mesurages de l'intensité du champ RF ou de la densité de puissance	456
Figure B.6 – Exemples pratiques d'installation d'équipement de mesure	457
Figure B.7 – Procédures de moyennage spatial par rapport à la surface de marche ou de repos et sur le plan vertical orienté pour offrir la zone maximale dans la direction de la source évaluée	460
Figure B.8 – Moyennage spatial relatif à une hauteur de champ d'intensité maximale	462
Figure B.9 – Emplacements de l'évaluation	475
Figure B.10 – Rapport de la séparation de la source radiofréquences distante et de la zone d'évaluation avec la séparation des points d'évaluation entre eux	476
Figure B.11 – Présentation de la méthode de balayage de surface	480
Figure B.12 – Diagramme du système de mesure par antenne	481
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	482
Figure B.14 – Contrainte d'espacement angulaire maximal d'échantillonnage	483
Figure B.15 – Présentation de la méthode de balayage de volume/surface	486
Figure B.16 – Diagramme d'un système type de mesure de l'EUT en champ proche	487
Figure B.17 – Exemples de positionnement de l'EUT par rapport au fantôme applicable	495
Figure B.18 – Volume de liquide de fantôme et volume de mesure utilisés pour les mesurages du DAS du corps entier avec un fantôme de forme parallélépipédique	504
Figure B.19 – Cadre de référence utilisé pour les formules cylindriques de calcul d'intensité du champ RF en un point P (à gauche) et sur une ligne perpendiculaire à l'axe de visée (à droite)	509
Figure B.20 – Vues représentant les trois zones valides de calcul de l'intensité de champ autour d'une antenne	510
Figure B.21 – Cylindre inscrit autour d'antennes en réseau colinéaire avec et sans inclinaison électrique vers le bas	512
Figure B.22 – Résultats de référence pour les formules sphériques	515
Figure B.23 – Résultats de référence pour les formules cylindriques	515

Figure B.24 – Directions fournies dans les expressions d'estimation du DAS	516
Figure B.25 – Description des paramètres physiques des formules d'estimation du DAS	518
Figure B.26 – Organigramme pour l'évaluation simplifiée de la frontière de conformité RF dans la ligne de visibilité d'une antenne à réflecteur parabolique.....	525
Figure B.27 – Géométrie d'un câble rayonnant.....	526
Figure B.28 – Configuration et paramètres du modèle synthétique et des algorithmes de lancer de rayon	530
Figure B.29 – Positions de l'axe 4 en champ lointain pour l'exemple de validation du modèle synthétique et du lancer de rayon	533
Figure B.30 – Paramètres d'antenne pour l'exemple de validation du modèle synthétique et des algorithmes de lancer de rayon.....	534
Figure B.31 – Antenne 900 MHz de BS générique à neuf radiateurs dipôles	542
Figure B.32 – Positions de l'axe 1, de l'axe 2 et de l'axe 3 en champ proche pour la validation de l'onde plane et du lancer de rayon.....	543
Figure B.33 – Antenne 1 800 MHz de BS générique à cinq éléments rayonnants à fente	544
Figure B.34 – Antenne de BS placée en face d'un cylindre multicouche avec pertes.....	551
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	555
Figure B.36 – Structure générique d'une trame de signal RF transmise par la station de base	560
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	568
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.....	579
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.....	581
Figure C.3 – Montage de validation sur site au sol.....	585
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).....	586
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	587
Figure C.6 – Adaptation temporelle de l'exposition mesurée, exprimée en pourcentage des limites ICNIRP [1], [2] pour les mesurages à proximité de la frontière de conformité grand public.....	588
Figure C.7 – Présentation du site de mesure	590
Figure C.8 – Vue en plan du site de validation et du montage de mesure, situé à 60 m de la BS 5G, dans la ligne de visibilité	590
Figure C.9 – Puissance transmise par l'antenne mMIMO (trace supérieure), mesurages de la puissance du canal (ChP) (trace du milieu) et blocs de ressources (RB) transmis (trace inférieure).....	591
Figure C.10 – Présentation de la plateforme d'essai	593
Figure C.11 – Exemple de simulation de modèle synthétique de la zone d'essai	593
Figure C.12 – Exemples de profils de charge de trafic	594
Figure C.13 – Exemple d'essai dans différents segments de la zone d'essai.....	595
Figure C.14 – Résultats de la validation de surveillance et de l'essai de base de la phase 1.....	596
Figure C.15 – Exemple de mesurages de densité de puissance et densité de puissance déduite des compteurs	597

Figure C.16 – Densité de puissance mesurée et densité de puissance déduite des compteurs.....	598
Figure C.17 – Comparaisons des compteurs et des mesurages	599
Figure D.1 – Mesure de l'ER en fonction de la distance pour une BS ($G = 5$ dBi, $f = 2\ 100$ MHz) dont la PIRE de transmission est égale à 2 W (classe d'installation E2) et 10 W (classe d'installation E10)	601
Figure D.2 – Hauteur minimale d'installation en fonction de la puissance de transmission correspondant à la classe d'installation E10	602
Figure D.3 – Distance de conformité dans le lobe principal en fonction de la PIRE établie conformément à la formule de champ lointain correspondant à la classe d'installation E100	603
Figure D.4 – Hauteur minimale d'installation en fonction de la puissance de transmission correspondant à la classe d'installation E100	604
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)	605
Figure D.6 – Distance de conformité dans le lobe principal CD_m en fonction de la PIRE établie conformément à la formule de champ lointain correspondant à la classe d'installation E+	606
Figure D.7 – Hauteur minimale d'installation h_m en fonction de la PIRE correspondant à la classe d'installation E+.....	607
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 x 8 à une fréquence de 28 GHz (pas de grille de 10 cm)	608
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 x 8 à 39 GHz (pas de grille de 10 cm)	608
Figure E.1 – Occupation spectrale pour une modulation GMSK	613
Figure E.2 – Occupation spectrale pour une modulation CDMA	614
Figure E.3 – Affectation des canaux pour un signal AMRC à bande élargie.....	618
Figure E.4 – Exemple de trames WiFi	622
Figure E.5 – Occupation du canal en fonction du temps d'intégration pour la norme IEEE 802.11b.....	623
Figure E.6 – Occupation du canal en fonction du taux de débit nominal pour les normes IEEE 802.11b/g	624
Figure E.7 – Instantané d'une trace de spectre WiFi	625
Figure E.8 – Structure de la trame d'un signal de transmission pour la liaison descendante LTE-FDD.....	629
Figure E.9 – Structure de trame LTE-TDD de type 2 (pour une périodicité au point de commutation de 5 ms).....	630
Figure E.10 – Structure de la trame d'un signal de transmission pour LTE-TDD	631
Figure E.11 – Exemple de mesure LTE-TDD PBCH	634
Figure E.12 – Exemple de réglage de la VBW pour LTE-FDD et LTE-TDD afin d'éviter toute sous-estimation.....	636
Figure E.13 – Exemples d'ondes reçues émises par les signaux de liaison descendante LTE-FDD au moyen d'un analyseur de spectre en mode bande de fréquences égale à zéro	638
Figure E.14 – Exemple de mesure du PBCH LTE-TDD au moyen d'un analyseur de spectre en mode bande de fréquences égale à zéro	639

Figure E.15 – Exemple de réglage de la VBW pour NR afin d'éviter toute sous-estimation	644
Figure E.16 – Exemples de résultats d'exactitude de mesure selon le rapport de la VBW sur la RBW pour NR SCS 30 kHz et une RBW de 1 MHz à l'aide de différents types de SA (A à D)	644
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)	645
Figure E.18 – Exemple de trame de signal NR mesurée sur un SA avec signal SSB supérieur au PDSCH (données)	646
Figure E.19 – Exemple de trame de signal NR mesurée sur un SA avec signal SSB inférieur ou égal au PDSCH (données)	647
Figure E.20 – Masquage temporel du signal en salves SS	648
Figure E.21 – Représentation de la largeur de bande de canal (CBW)	649
Figure E.22 – Exemple pour une conception de faisceau CSI-RS à un accès	652
Figure E.23 – Vue en plan du modèle statistique conservateur	659
Figure E.24 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 24$, $PR = 0,125$	667
Figure E.25 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 18$, $PR = 2/7$	668
Figure E.26 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 100$, $PR = 0,125$	672
Figure E.27 – Fonction de probabilité cumulative binomiale pour $N = 82$, $PR = 2/7$	673
Figure F.1 – Limites de "brève exposition ($t < 360$ s) (voir le Tableau F.1) divisées par l'intervalle de temps t correspondant et normalisées avec la valeur obtenue de t jusqu'à 360 s	677
Figure F.2 – F_{PR_min} en fonction de la durée d'impulsion avec une durée de moyennage réputée du corps entier de 30 min	681
Figure F.3 – F_{PR_min} en fonction de la durée d'impulsion avec une durée de moyennage réputée de 6 min	682
Figure G.1 – Exemples de systèmes d'évaluation génériques	686
Figure G.2 – Vue d'ensemble du schéma de l'incertitude cible	687
Figure G.3 – Probabilité qu'une 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	693
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	696
Figure G.5 – Modélisation informatique utilisée pour l'analyse des variations de champs RF réfléchis par l'avant d'un vérificateur	703
Figure G.6 – Dispositif de positionnement de l'EUT et différentes erreurs de positionnement	710
Figure G.7 – Modèle physique des variations d'évanouissements à petite échelle	712
Figure G.8 – Exemple de variations de champ E dans la ligne de visibilité d'une antenne fonctionnant à 2,2 GHz	713
Figure G.9 – Erreur à 95 % dans l'estimation de la densité de puissance moyenne	714
Figure G.10 – 343 points de mesure constituant un cube (centre) et différents modèles comprenant un certain nombre de positions	716
Figure G.11 – Déplacement d'un modèle (Axe 3) à travers le cube	717
Figure G.12 – Écarts-types pour GSM 900, DCS 1800 et UMTS	719
Figure G.13 – Disposition de simulation	721
Figure G.14 – Influence du corps	722

Figure G.15 – Disposition de simulation	723
Tableau 1 – Étapes d'évaluation du guide de démarrage rapide	387
Tableau 2 – Exemple de classes d'installation de produit pour lesquelles un processus d'évaluation simplifiée est applicable (sur la base des limites grand public de l'ICNIRP [1] et [2]).....	405
Tableau 3 – Validité des indicateurs d'exposition pour les points d'évaluation de chaque région de la source	421
Tableau 4 – Exigences de mesure de l'intensité du champ RF et de la densité de puissance	424
Tableau 5 – Exclusions du DAS du corps entier en fonction des niveaux de puissance RF ..	425
Tableau 6 – Exigences de mesure du DAS	425
Tableau 7 – Applicabilité des méthodes de calcul pour les régions source-environnement de la Figure 16.....	427
Tableau 8 – Exigences des méthodes de calcul	427
Tableau A.1 – Définition des régions de la source.....	438
Tableau A.2 – Frontières des régions de la source par défaut.....	439
Tableau A.3 – Frontières des régions de la source pour des antennes de dimension maximale inférieure à $2,5\lambda$	439
Tableau A.4 – Frontières des régions de la source pour des réseaux d'antennes linéaires/planaires de dimension maximale supérieure ou égale à $2,5\lambda$	440
Tableau A.5 – Frontières des régions de la source pour des antennes à ouverture de rayonnement équiphase (par exemple à réflecteur) dont la dimension maximale des réflecteurs est bien plus grande qu'une longueur d'onde.....	440
Tableau A.6 – Frontières de régions de la source pour les câbles rayonnants.....	441
Tableau A.7 – Distance de champ lointain r (en mètres) en fonction d'un angle β	442
Tableau A.8 – Recommandations relatives au choix de l'approche par calcul et de l'approche de mesure.....	443
Tableau A.9 – Recommandations relatives au choix entre mesurages à large bande et mesurages sélectifs en fréquence	445
Tableau A.10 – Recommandations relatives au choix des procédures de mesure de l'intensité du champ RF	446
Tableau A.11 – Recommandations relatives au choix de méthodes de calcul.....	447
Tableau A.12 – Recommandations relatives au classement de méthodes d'évaluation spécifiques	448
Tableau B.1 – Variables dimensionnelles.....	450
Tableau B.2 – Variables de puissance RF.....	451
Tableau B.3 – Variables d'antenne	451
Tableau B.4 – Variables d'indicateur d'exposition	451
Tableau B.5 – Exigences minimales relatives au système de mesure à large bande	467
Tableau B.6 – Exigences minimales relatives au système de mesure sélective en fréquence	467
Tableau B.7 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage sur site de l'intensité du champ RF avec un équipement de mesure sélectif en fréquence.....	490
Tableau B.8 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage sur site de l'intensité du champ RF avec un équipement de mesure à large bande	491

Tableau B.9 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage en laboratoire de l'intensité du champ RF ou de la densité de puissance avec la méthode de balayage de surface	493
Tableau B.10 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un mesurage en laboratoire de l'intensité du champ RF ou de la densité de puissance avec la méthode de balayage de volume.....	494
Tableau B.11 – Valeurs numériques de référence du DAS pour dipôles de référence et fantômes plans – Toutes les valeurs sont normalisées à une puissance incidente de 1 W	500
Tableau B.12 – Volume de liquide de fantôme et volume de mesure utilisés pour les mesurages du DAS du corps entier [61], [77]	504
Tableau B.13 – Facteur de correction à appliquer pour compenser un éventuel biais du DAS du corps entier obtenu pour le grand public pour une évaluation avec grand fantôme de forme parallélépipédique pour les configurations d'exposition d'enfants [72].....	504
Tableau B.14 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour l'essai du DAS du corps entier de l'EUT	505
Tableau B.15 – Modèle d'évaluation de l'incertitude de mesure pour le DAS du corps entier (validation du système)	506
Tableau B.16 – Définition de frontières pour le choix de la zone de calcul	511
Tableau B.17 – Paramètres d'entrée pour la validation des formules cylindriques et sphériques	514
Tableau B.18 – Applicabilité des formules d'estimation du DAS	517
Tableau B.19 – Calcul du $A(f, d)$	520
Tableau B.20 – Paramètres d'antenne pour la vérification des formules d'estimation du DAS.....	522
Tableau B.21 – Données de vérification pour les formules d'estimation du DAS – avant	522
Tableau B.22 – Données de vérification pour les formules d'estimation du DAS – axiale et arrière.....	523
Tableau B.23 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie d'un calcul d'intensité du champ RF par modèle synthétique et lancer de rayon	532
Tableau B.24 – Résultats de référence de la densité de puissance du lancer de rayon et du modèle synthétique	535
Tableau B.25 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie pour un calcul de l'intensité du champ RF/densité de puissance en onde pleine	540
Tableau B.26 – Validation 1: résultats de référence de l'évaluation de champs en onde pleine.....	543
Tableau B.27 – Validation 2: résultats de référence de l'évaluation de champs en onde pleine.....	545
Tableau B.28 – Exemple de modèle d'estimation de l'incertitude élargie de calcul en onde pleine du DAS	548
Tableau B.29 – Résultats du DAS de référence pour la validation de la méthode de calcul.....	551
Tableau B.30 – Paramètres pertinents pour réaliser des études de modélisation de l'exposition RF d'un site ou cluster de sites MIMO massif	562
Tableau B.31 – Paramètres de la campagne de mesure pour l'évaluation de l'exposition RF d'un site ou cluster de sites MIMO massif	563
Tableau B.32 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à la CDF de puissance transmise réelle normalisée en cas de combinaison de plusieurs émetteurs identiques indépendants	566
Tableau B.33 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à deux émetteurs indépendants avec un rapport p en amplitude	566

Tableau C.1 – Différence relative entre la puissance transmise moyennée mesurée et la valeur du compteur de puissance réelle pour des systèmes permettant des mesurages directs du niveau de puissance	572
Tableau C.2 – Corrélation entre le niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS, qui permettent des mesurages directs du niveau de puissance	572
Tableau C.3 – 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	573
Tableau C.4 – Différence relative entre la puissance maximale configurée, la puissance transmise moyennée mesurée, et les compteurs de puissance réelle pour des systèmes ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance.....	574
Tableau C.5 – Corrélation entre le niveau de puissance configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance pour une BS, qui ne prennent pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance	576
Tableau C.6 – Corrélation entre la linéarité temporelle du niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS, qui ne prennent pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance	577
Tableau E.1 – Informations spécifiques à la technologie	609
Tableau E.2 – Exemple de réglages d'analyseur de spectre pour une intégration par service.....	616
Tableau E.3 – Exemple de composantes de puissance constante pour des technologies AMRT/AMRF spécifiques.....	616
Tableau E.4 – Caractéristiques du décodeur AMRC à bande élargie.....	619
Tableau E.5 – Configurations des signaux	619
Tableau E.6 – Réglage de la linéarité de puissance du générateur AMRC à bande élargie	620
Tableau E.7 – Réglage du générateur AMRC à bande élargie pour l'étalonnage du décodeur	621
Tableau E.8 – Réglage du générateur AMRC à bande élargie pour le mesurage du coefficient de réflexion	621
Tableau E.9 – Configurations de liaison montante/descendante.....	632
Tableau E.10 – Facteur d'extrapolation théorique, N_{RS} , fondé sur la structure de trame donnée dans la spécification technique 3GPP TS 36.104 [21].....	633
Tableau E.11 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeurs de bande de canal de la BS et espacement entre sous-porteuses SSB (SCS) de signaux inférieurs à 6 GHz.....	642
Tableau E.12 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeurs de bande de canal de la BS et espacement entre sous-porteuses SSB (SCS) pour des signaux à ondes millimétriques	642
Tableau E.13 – Liste des variables de l'étude de cas	671
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].....	677
Tableau F.2 – Valeurs F_{PR} , F_{PR_min} minimales, pour lesquelles la conformité aux limites du 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]	682
Tableau G.1 – Détermination de l'incertitude cible	688
Tableau G.2 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant la "meilleure estimation"	690
Tableau G.3 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant une incertitude cible de 4 dB	690

Tableau G.4 – Simulation de Monte Carlo avec 10 000 essais; le vérificateur utilise un IC supérieur à 95 % tandis que l'auditeur utilise un IC inférieur à 95 % 691

Tableau G.5 – Recommandations concernant les distances de séparation minimales pour certaines longueurs de dipôles de sorte que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour un mesurage de E 700

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 701

Tableau G.7 – Exemple de conditions de séparation minimales pour des longueurs de dipôle choisies avec une incertitude de 10 % dans E 702

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.5 703

Tableau G.9 – Estimations de l'incertitude type (u) pour E et H dues aux réflexions du corps du vérificateur pour des services de radiodiffusion ordinaires, dérivées des estimations du Tableau G.8 704

Tableau G.10 – Coefficients de sensibilité maximaux pour la permittivité et la conductivité d'un liquide sur la plage de fréquences comprise entre 300 MHz et 6 GHz 711

Tableau G.11 – Incertitude à 95 % pour différents modèles d'évanouissement 715

Tableau G.12 – Coefficients de corrélation pour GSM 900 et DCS 1800 718

Tableau G.13 – Variations des écarts-types pour la bande de fréquences GSM 900, DCS 1800 et UMTS 720

Tableau G.14 – Exemples de calcul de l'incertitude totale 720

Tableau G.15 – Erreur maximale simulée due à l'influence d'un corps humain sur les valeurs de mesure d'une sonde omnidirectionnelle 722

Tableau G.16 – Influence mesurée d'un corps humain sur les mesurages d'une sonde omnidirectionnelle 723

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**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**

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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62232 a été établie 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 troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2017. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) augmentation de la plage de fréquences de 110 MHz à 300 GHz (avec prise en considération des sources ambiantes de 100 kHz à 300 GHz);

- b) spécification des procédures d'évaluation reposant sur l'approche fondée sur la maximale réelle, y compris les méthodes de validation du compteur de surveillance et des fonctions de commande;
- c) présentation des méthodes d'évaluation relatives aux technologies 5G et BS qui utilisent l'orientation de faisceau, par exemple les systèmes mMIMO;
- d) clarification des critères de conformité pour l'exposition depuis plusieurs sources;
- e) restructuration de l'Annexe B (Méthodes d'évaluation) pour en faciliter la lecture;
- f) mise à jour des exigences et procédures de mesure de la densité de puissance dans les conditions de laboratoire;
- g) mise à jour des formules d'évaluation simplifiées pour les antennes à réflecteur utilisées dans les relais hertziens et les liaisons par faisceau hertzien;
- h) compatibilité avec les limites d'exposition de l'ICNIRP-2020 [1]¹.

Le présent document contient des fichiers joints qui sont cités à la Figure B.30 et au G.4.4.3. Ces fichiers peuvent être téléchargés à partir de l'adresse <https://www.iec.ch/tc106/supportingdocuments>.

La présente version bilingue (2023-03) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2022-10.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

INTRODUCTION

Le présent document traite de l'évaluation de l'intensité du champ RF, 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 dans la plage de radiofréquences (RF) de 110 MHz à 300 GHz, conformément au domaine d'application (voir l'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 les évaluations de conformité du produit, de conformité de l'installation du produit et 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 évaluations 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], ICNIRP-1998 [2], IEEE Std C95.1™-2019 [3] et Safety Code 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 maximale réelle.

L'Article 2, l'Article 3 et l'Article 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 évaluations de l'exposition RF sur site. Il inclut les exigences essentielles en matière d'évaluation de l'exposition RF en s'appuyant sur l'utilisation de l'approche fondée sur la maximale réelle. Il contient également des critères simplifiés de mise en fonctionnement 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 de l'Annexe H.

L'Article 10 décrit les exigences relatives à l'activité de rapport pour les évaluations.

Il est également fait référence aux annexes et à la bibliographie qui donnent des clarifications ou des recommandations utiles.

Des recommandations complémentaires peuvent être consultées dans l'IEC TR 62669:2019 [5] qui comprend un ensemble d'études de cas qui fournit des exemples pratiques d'application du présent document.

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

1 Domaine d'application

Le présent document donne des méthodes de détermination de l'intensité du 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 qui transmettent sur une ou plusieurs antennes dans la plage de fréquences de 110 MHz à 300 GHz;
- b) étudie l'effet 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'évaluation de la conformité, à savoir:
 - 1) conformité du produit: détermination des informations sur la frontière de conformité des produits BS avant leur 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) évaluation 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'évaluation de l'exposition RF en s'appuyant sur l'approche fondée sur la maximale réelle;
- e) décrit plusieurs méthodologies de mesure et de calcul de l'intensité du 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'évaluation 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 le 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 62669:2019 [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'ICNIRP1998 [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 (Safety Code 6 [4] et IEEE Std C95.1-2019 [3], par exemple).

NOTE 4 La spécification de mesures appropriées de réduction 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 se référer aux règlements applicables ou aux 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 évaluer la conformité de l'exposition RF avec les limites d'exposition applicables, il est possible que les agences nationales de réglementation spécifient des exigences différentes. Il est nécessaire que l'entité qui effectue une évaluation 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*