

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.280, 17.240

ISBN 978-2-8327-0316-8

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

CONTENTS

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

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

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

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

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

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

H.3 Performing a limit comparison at a given confidence level.....	334
H.4 Performing a limit comparison using a process-based assessment scheme	335
Bibliography.....	336
Figure 1 – Quick start guide to the evaluation process.....	41
Figure 2 – Example of iso-surface compliance boundary.....	44
Figure 3 – Example of cylindrical and half-pipe compliance boundaries.....	45
Figure 4 – Example of box shaped compliance boundary.....	46
Figure 5 – Example of truncated box shaped compliance boundary	46
Figure 6 – Example illustrating the linear scaling procedure.....	47
Figure 7 – Example of massive MIMO antenna and corresponding beams and envelope patterns.....	49
Figure 8 – Example of compliance boundary shape for BS antennas with beam steering.....	50
Figure 9 – Example of dish antenna compliance boundary.....	50
Figure 10 – Flowchart describing the product installation evaluation process	53
Figure 11 – Example of a CDF curve representing the normalized actual transmitted power or EIRP.....	55
Figure 12 – Flow chart for product installation compliance based on the actual maximum transmitted power or EIRP threshold(s).....	56
Figure 13 – Simplified compliance assessment process using installation classes.....	58
Figure 14 – Example of DI within a square-shaped assessment domain boundary (ADB) with dimension L_{ADB}	62
Figure 15 – In-situ RF exposure evaluation or assessment process flow chart	67
Figure 16 – Source-environment plane concept	72
Figure 17 – Flow chart of the measurement methods.....	75
Figure 18 – Flow chart of the relevant computation methods.....	77
Figure 19 – Example of segments used for monitoring and control of BS using mMIMO or beam steering	79
Figure A.1 – Example source-environment plane regions near a base station antenna on a tower	85
Figure A.2 – Example source-environment plane regions near a roof-top antenna that has a narrow vertical (elevation plane) beamwidth (not to scale)	86
Figure A.3 – Geometry of an antenna with largest linear dimension L_{eff} and largest end dimension L_{end}	87
Figure A.4 – Maximum path difference for an antenna with largest linear dimension L	91
Figure B.1 – Cartesian, cylindrical and spherical coordinate systems relative to the BS antenna (view from the rear panel).....	99
Figure B.2 – Typical RF exposure assessment case.....	101
Figure B.3 – Reflection due to the presence of a ground plane.....	102
Figure B.4 – Reflections due to the presence of internal walls of the housing and surrounding asphalt and soil configuring a base station installed underground.....	103
Figure B.5 – General representation of RF field strength or power density measurements	104
Figure B.6 – Practical examples of measurement equipment installation	105

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

Figure C.2 – Example of a test setup for validation of an actual power control feature implemented in a 5G BS.....	215
Figure C.3 – Ground based in-situ validation setup	219
Figure C.4 – In-situ validation measurement setup near the general public compliance boundary in front of the 5G massive MIMO antenna (bore sight position).....	219
Figure C.5 – Comparison between measured time-averaged EMF and power control feature (5G counter data) for the ground-based measurements	220
Figure C.6 – Measured exposure adaptation in time expressed as a percentage of ICNIRP exposure limits [1], [2] for the measurements near the general public compliance boundary	221
Figure C.7 – Overview of the measurement site.....	223
Figure C.8 – Ground view of the validation site and measurement setup, located 60 m from the 5G BS, in the line of sight.....	223
Figure C.9 – Power transmitted by the massive MIMO antenna (top trace), channel power (ChP) measurements (middle trace) and transmitted resource blocks (RBs) (bottom trace)	224
Figure C.10 – Overview of the test platform.....	225
Figure C.11 – Example of synthetic model simulation of the test area	225
Figure C.12 – Examples of traffic load profiles.....	226
Figure C.13 – Example of testing in different segments in the test area.....	227
Figure C.14 – Results of the monitoring validation and baseline test in phase 1	227
Figure C.15 – Example of power density measurements and power density derived from counters.....	228
Figure C.16 – Measured power density and power density derived from counters.....	228
Figure C.17 – Comparisons of both counters and measurements.....	229
Figure D.1 – Measured ER as a function of distance for a BS ($G = 5$ dBi, $f = 2100$ MHz) transmitting with an EIRP of 2 W (installation class E2) and 10 W (installation class E10)	230
Figure D.2 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E10	231
Figure D.3 – Compliance distance in the main lobe as a function of EIRP established in accordance with the far-field formula corresponding to installation class E100	232
Figure D.4 – Minimum installation height as a function of transmitting power corresponding to installation class E100	233
Figure D.5 – Averaged power density at ground level for various installation configurations of equipment with 100 W EIRP (installation class E100)	234
Figure D.6 – Compliance distance in the main lobe CD_m as a function of EIRP established in accordance with the far-field formula corresponding to installation class E+	235
Figure D.7 – Minimum installation height h_m as a function of EIRP corresponding to installation class E+	235
Figure D.8 – Power density distribution in watts per square metre in a vertical cut plane for an 8×8 antenna array at 28 GHz (grid step of 10 cm).....	236
Figure D.9 – Power density distribution in watts per square metre in a vertical cut plane for an 8×8 antenna array at 39 GHz (grid step of 10 cm).....	236
Figure E.1 – Spectral occupancy for GMSK.....	240
Figure E.2 – Spectral occupancy for CDMA.....	241
Figure E.3 – Channel allocation for a WCDMA signal	244
Figure E.4 – Example of Wi-Fi frames.....	247

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

Figure G.6 – EUT positioning equipment and different positioning errors	321
Figure G.7 – Physical model of small-scale fading variations	323
Figure G.8 – Example of electric field strength variations in line of sight of an antenna operating at 2,2 GHz.....	324
Figure G.9 – Error at 95 % on average power estimation	325
Figure G.10 – 343 measurement points building a cube (centre) and different templates consisting of a different number of positions	326
Figure G.11 – Moving a template (Line 3) through the cube	327
Figure G.12 – Standard deviations for GSM 900, DCS 1800 and UMTS	329
Figure G.13 – Simulation arrangement.....	331
Figure G.14 – Body influence.....	331
Figure G.15 – Simulation arrangement.....	332
 Table 1 – Quick start guide evaluation steps	 42
Table 2 – Example of product installation classes where a simplified evaluation process is applicable (based on ICNIRP general public limits [1] and [2])	59
Table 3 – Exposure metrics validity for evaluation points in each source region	73
Table 4 – Requirements for RF field strength and power density measurements	75
Table 5 – wbSAR exclusions based on RF power levels	76
Table 6 – Requirements for SAR measurements.....	76
Table 7 – Applicability of computation methods for source-environment regions of Figure 16.....	78
Table 8 – Requirements for computation methods.....	78
Table A.1 – Definition of source regions.....	88
Table A.2 – Default source region boundaries	88
Table A.3 – Source region boundaries for antennas with maximum dimension less than 2,5 λ	89
Table A.4 – Source region boundaries for linear/planar antenna arrays with a maximum dimension greater than or equal to 2,5 λ	89
Table A.5 – Source region boundaries for equiphase radiation aperture (e.g. dish) antennas with maximum reflector dimension much greater than a wavelength.....	90
Table A.6 – Source region boundaries for radiating cables.....	90
Table A.7 – Far-field distance r measured in metres as a function of angle β	92
Table A.8 – Guidance on selecting between computation and measurement approaches.....	92
Table A.9 – Guidance on selecting between broadband and frequency selective measurement.....	94
Table A.10 – Guidance on selecting RF field strength measurement procedures	95
Table A.11 – Guidance on selecting computation methods.....	96
Table A.12 – Guidance on specific evaluation method ranking	97
Table B.1 – Dimension variables	99
Table B.2 – RF power variables	99
Table B.3 – Antenna variables	100
Table B.4 – Exposure metric variables.....	100
Table B.5 – Broadband measurement system minimum requirements	113
Table B.6 – Frequency selective measurement system minimum requirements	114

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

Table C.2 – Example of correlation between the configured maximum power level and the level reported by actual power counters for BS that allow direct power level measurements	207
Table C.3 – Example of correlation between the configured time-averaged load levels and the actual power counter value for systems that allow direct power level measurements	207
Table C.4 – Example of relative difference between the configured maximum power, measured averaged transmitted power, and actual power counters for systems that do not support direct power level measurements	209
Table C.5 – Example of correlation between the configured power level and the level reported by power counters for BS that do not support direct power level measurements	210
Table C.6 – Example of correlation between time linearity of the configured maximum power level and the level reported by actual power counters for BS that do not support direct power level measurements	211
Table E.1 – Technology-specific information	237
Table E.2 – Example of spectrum analyser settings for an integration per service	242
Table E.3 – Example constant power components for specific TDMA/FDMA technologies	243
Table E.4 – WCDMA decoder characteristics.....	245
Table E.5 – Signal configurations	245
Table E.6 – WCDMA generator setting for power linearity.....	246
Table E.7 – WCDMA generator setting for decoder calibration	246
Table E.8 – WCDMA generator setting for reflection coefficient measurement.....	247
Table E.9 – Uplink-downlink configurations	254
Table E.10 – Theoretical extrapolation factor, N_{RS} , based on frame structure given in 3GPP TS 36.104 [21].....	256
Table E.11 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for sub-6 GHz signals.....	262
Table E.12 – F_{BW} for each combination of BS channel bandwidth and SSB subcarrier spacing (SCS) for mm-wave signals	262
Table E.13 – List of variables in the case study	287
Table F.1 – Brief exposure limits for the general public integrated over intervals of between 0 min and 6 min as specified by ICNIRP-2020 [1].....	292
Table F.2 – Minimum F_{PR} , F_{PR_min} , for which compliance with the time-averaged whole-body limits ICNIRP-2020 [1] inherently ensures compliance with the brief exposure limits specified by ICNIRP-2020 [1]	297
Table G.1 – Determining target uncertainty	302
Table G.2 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using best estimate	304
Table G.3 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials, both surveyor and auditor using target uncertainty of 4 dB	304
Table G.4 – Monte Carlo simulation of 10 000 trials where surveyor uses upper 95 % CI and auditor uses lower 95 % CI	305
Table G.5 – Guidance on minimum separation distances for some dipole lengths such that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of E	313
Table G.6 – Guidance on minimum separation distances for some loop diameters such that the uncertainty does not exceed 5 % or 10 % in a measurement of H	313

Table G.7 – Example minimum separation conditions for selected dipole lengths for 10 % uncertainty in E	314
Table G.8 – Standard estimates of dB variation for the perturbations in front of a surveyor due to body reflected fields as described in Figure G.5	316
Table G.9 – Standard uncertainty (u) estimates for E and H due to body reflections from the surveyor for common radio services derived from estimates provided in Table G.8	316
Table G.10 – Maximum sensitivity coefficients for liquid permittivity and conductivity over the frequency range 300 MHz to 6 GHz for various SAR measurement procedures	323
Table G.11 – Uncertainty at 95 % for different fading models	326
Table G.12 – Correlation coefficients for GSM 900 and DCS 1800	328
Table G.13 – Variations of the standard deviations for the GSM 900, DCS 1800 and UMTS frequency bands	329
Table G.14 – Examples of total uncertainty calculation	330
Table G.15 – Maximum simulated error due to the influence of a human body on the measurement values of an omnidirectional probe	332
Table G.16 – Measured influence of a human body on omnidirectional probe measurements	332

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- amended.

INTRODUCTION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Clause 10 describes reporting requirements for the evaluation or assessment.

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

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

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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

1 Scope

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

This document:

- a) considers intentionally radiating BS which transmit on one or more antennas using one or more frequencies in the range 110 MHz to 300 GHz;
- b) considers the impact of ambient sources on RF exposure at least in the 100 kHz to 300 GHz frequency range;
- c) specifies the methods to be used for RF exposure evaluation for compliance assessment applications, namely:
 - 1) product compliance – determination of compliance boundary information for a BS product before it is placed on the market;
 - 2) product installation compliance – determination of the total RF exposure levels in accessible areas from a BS product and other relevant sources before the product is put into operation;
 - 3) in-situ RF exposure assessment – measurement of in-situ RF exposure levels in the vicinity of a BS installation after the product has been taken into operation;
- d) specifies how to perform RF exposure assessment based on the actual maximum approach;
- e) describes several RF field strength, power density, and SAR measurement and computation methodologies with guidance on their applicability to address both the in-situ evaluation of installed BS and laboratory-based evaluations;
- f) describes how surveyors establish their specific evaluation procedures appropriate for their evaluation purpose;
- g) provides guidance on how to report, interpret and compare results from different evaluation methodologies and, where the evaluation purpose requires it, determine a justified decision against a limit value;
- h) provides methods for the RF exposure assessment of BS using time-varying beam-steering technologies such as new radio (NR) BS using massive multiple input multiple output (MIMO).

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

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

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

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

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

2 Normative references

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SOMMAIRE

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

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

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

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

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

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

G.9.2	Post-traitement	710
G.9.3	Support de l'EUT	710
G.9.4	Positionnement de l'EUT	711
G.9.5	Incertitude de l'enveloppe de fantôme	713
G.9.6	Correction du DAS selon la permittivité et la conductivité du liquide cible	713
G.9.7	Mesurages de la permittivité et de la conductivité d'un liquide	713
G.9.8	Température d'un liquide	713
G.10	Grandeurs d'influence pour les calculs du DAS	713
G.11	Moyennage spatial.....	714
G.11.1	Généralités	714
G.11.2	Variations d'évanouissement à petite échelle	715
G.11.3	Erreur d'estimation de la densité de puissance moyenne locale	715
G.11.4	Caractérisation des propriétés statistiques d'environnement.....	717
G.11.5	Caractérisation des différentes procédures de moyennage spatial	717
G.12	Influence du corps humain sur les mesurages de l'intensité de champ RF électrique.....	723
G.12.1	Simulations de l'influence du corps humain sur les mesurages fondés sur la méthode des moments (principe de l'équivalence des surfaces).....	723
G.12.2	Comparaison avec les mesurages	724
G.12.3	Conclusions	725
Annexe H (informative) Recommandations relatives à la comparaison de paramètres évalués avec une valeur limite		726
H.1	Vue d'ensemble.....	726
H.2	Informations recommandées pour comparer une valeur évaluée à une valeur limite	726
H.3	Comparaison avec la limite à un niveau de confiance donné	726
H.4	Comparaison avec la limite au moyen d'un système d'appréciation fondé sur le processus.....	727
Bibliographie.....		729
Figure 1 – Guide de démarrage rapide sur le processus d'évaluation.....		390
Figure 2 – Exemple de frontière de conformité isosurfacique.....		393
Figure 3 – Exemple de frontières de conformité cylindriques et en demi-lune.....		394
Figure 4 – Exemple de frontière de conformité de forme parallélépipédique rectangle		395
Figure 5 – Exemple de frontière de conformité de forme parallélépipédique rectangle tronquée.....		395
Figure 6 – Exemple de procédure de mise à l'échelle linéaire		396
Figure 7 – Exemple d'antenne MIMO massif et de faisceaux et diagrammes d'enveloppe correspondants		399
Figure 8 – Exemple de forme de frontière de conformité pour les antennes de BS à orientation de faisceau.....		399
Figure 9 – Exemple de frontière de conformité pour les antennes à réflecteur.....		400
Figure 10 – Logigramme du processus d'évaluation de l'installation du produit		402
Figure 11 – Exemple de courbe CDF représentant la puissance d'émission ou la PIRE réelle normalisée.....		404
Figure 12 – Logigramme pour la conformité de l'installation du produit en fonction du ou des seuils de puissance d'émission ou de PIRE réelle maximale.....		406

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

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

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

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

Figure G.9 – Erreur à 95 % dans l'estimation de la densité de puissance moyenne	716
Figure G.10 – 343 points de mesure constituant un cube (centre) et différents modèles comprenant un nombre de positions différent	718
Figure G.11 – Déplacement d'un modèle (Axe 3) à travers le cube	719
Figure G.12 – Écarts-types pour GSM 900, DCS 1800 et UMTS	721
Figure G.13 – Disposition de simulation	723
Figure G.14 – Influence du corps	724
Figure G.15 – Disposition de simulation	725
 Tableau 1 – Étapes d'évaluation du guide de démarrage rapide	 391
Tableau 2 – Exemple de classes d'installation de produit pour lesquelles un processus d'évaluation simplifiée est applicable (d'après les limites grand public de l'ICNIRP [1] et [2])	409
Tableau 3 – Validité des indicateurs d'exposition pour les points d'évaluation de chaque région de la source	426
Tableau 4 – Exigences relatives aux mesurages de l'intensité de champ RF et de la densité de puissance	429
Tableau 5 – Exclusions du wbDAS en fonction des niveaux de puissance RF	429
Tableau 6 – Exigences relatives aux mesurages du DAS	430
Tableau 7 – Applicabilité des méthodes de calcul pour les régions source- environnement de la Figure 16	432
Tableau 8 – Exigences relatives aux méthodes de calcul	432
Tableau A.1 – Définition des régions de la source	443
Tableau A.2 – Frontières des régions de la source par défaut	443
Tableau A.3 – Frontières des régions de la source pour des antennes de dimension maximale inférieure à $2,5 \lambda$	444
Tableau A.4 – Frontières des régions de la source pour des réseaux d'antennes linéaires/planaires de dimension maximale supérieure ou égale à $2,5 \lambda$	444
Tableau A.5 – Frontières des régions de la source pour des antennes à ouverture rayonnante équiphase (par exemple, à réflecteur) dont les réflecteurs ont une dimension maximale bien supérieure à une longueur d'onde	445
Tableau A.6 – Frontières des régions de la source pour les câbles rayonnants	445
Tableau A.7 – Distance de champ lointain r (en mètres) en fonction de l'angle β	447
Tableau A.8 – Recommandations relatives au choix entre l'approche par calcul et l'approche par mesurage	448
Tableau A.9 – Recommandations relatives au choix entre mesurage à large bande et mesurage sélectif en fréquence	449
Tableau A.10 – Recommandations relatives au choix des procédures de mesure de l'intensité de champ RF	450
Tableau A.11 – Recommandations relatives au choix des méthodes de calcul	451
Tableau A.12 – Recommandations relatives au classement de méthodes d'évaluation spécifiques	452
Tableau B.1 – Variables dimensionnelles	454
Tableau B.2 – Variables de puissance RF	455
Tableau B.3 – Variables d'antenne	455
Tableau B.4 – Variables d'indicateur d'exposition	455
Tableau B.5 – Exigences minimales relatives au système de mesure à large bande	471

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

Tableau B.31 – Paramètres de la campagne de mesure pour l'appréciation de l'exposition RF d'un site ou cluster de sites MIMO massif	566
Tableau B.32 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à la CDF de puissance d'émission réelle normalisée en cas de combinaison de plusieurs émetteurs identiques indépendants	569
Tableau B.33 – Facteurs de combinaison de puissance applicables à deux émetteurs indépendants avec un rapport p en amplitude.....	569
Tableau C.1 – Exemple de différence relative entre la puissance d'émission moyennée mesurée et la valeur du compteur de puissance réelle pour des systèmes permettant des mesurages directs du niveau de puissance	575
Tableau C.2 – Exemple de corrélation entre le niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS permettant des mesurages directs du niveau de puissance.....	575
Tableau C.3 – Exemple de corrélation entre les niveaux de charge moyennée dans le temps configurée et la valeur du compteur de puissance réelle pour des systèmes permettant des mesurages directs du niveau de puissance.....	576
Tableau C.4 – Exemple de différence relative entre la puissance maximale configurée, la puissance d'émission moyennée mesurée et les compteurs de puissance réelle pour des systèmes ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance....	577
Tableau C.5 – Exemple de corrélation entre le niveau de puissance configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance pour une BS ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance	578
Tableau C.6 – Exemple de corrélation entre la linéarité temporelle du niveau de puissance maximale configurée et le niveau consigné par les compteurs de puissance réelle pour une BS ne prenant pas en charge les mesurages directs du niveau de puissance	579
Tableau E.1 – Informations spécifiques à la technologie.....	611
Tableau E.2 – Exemple de réglages d'analyseur de spectre pour une intégration par service	618
Tableau E.3 – Exemple de composantes de puissance constantes pour des technologies AMRT/AMRF spécifiques	618
Tableau E.4 – Caractéristiques du décodeur AMRCLB	621
Tableau E.5 – Configuration des signaux.....	621
Tableau E.6 – Réglage de la linéarité de puissance du générateur AMRCLB	622
Tableau E.7 – Réglage du générateur AMRCLB pour l'étalonnage du décodeur.....	623
Tableau E.8 – Réglage du générateur AMRCLB pour le mesurage du coefficient de réflexion	623
Tableau E.9 – Configurations de liaison montante/descendante	633
Tableau E.10 – Facteur d'extrapolation théorique, N_{RS} , fondé sur la structure de trame donnée dans 3GPP TS 36.104 [21]	635
Tableau E.11 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeur de bande de canal et d'espacement entre sous-porteuses (SCS) SSB de la BS pour des signaux inférieurs à 6 GHz.....	643
Tableau E.12 – F_{BW} pour chaque combinaison de largeur de bande de canal et d'espacement entre sous-porteuses (SCS) SSB de la BS pour des signaux à ondes millimétriques.....	643
Tableau E.13 – Liste des variables de l'étude de cas	672
Tableau F.1 – Limites de brève exposition pour le grand public intégrées dans des intervalles compris entre 0 min et 6 min comme cela est spécifié par l'ICNIRP-2020 [1]	678

Tableau F.2 – Valeurs de F_{PR} , F_{PR_min} minimales pour lesquelles la conformité aux limites corps entier moyennées dans le temps de l'ICNIRP-2020 [1] assure de fait la conformité aux limites de brève exposition spécifiées par l'ICNIRP-2020 [1]	684
Tableau G.1 – Détermination de l'incertitude cible	690
Tableau G.2 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant la meilleure estimation	692
Tableau G.3 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur et l'auditeur utilisant une incertitude cible de 4 dB	692
Tableau G.4 – Simulation de Monte-Carlo avec 10 000 essais, le vérificateur utilisant un IC à 95 % supérieur, et l'auditeur un IC à 95 % inférieur	693
Tableau G.5 – Recommandations concernant les distances de séparation minimales pour certaines longueurs de dipôle de sorte que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour un mesurage de E	702
Tableau G.6 – Recommandations concernant les distances de séparation minimales pour certains diamètres de cadre de sorte que l'incertitude ne dépasse pas 5 % ou 10 % pour un mesurage de H	703
Tableau G.7 – Exemple de conditions de séparation minimales pour des longueurs de dipôle choisies avec une incertitude de 10 % pour E	704
Tableau G.8 – Estimations normalisées de la variation en dB des perturbations en face d'un vérificateur dues aux champs réfléchis par le corps comme cela est décrit à la Figure G.5	705
Tableau G.9 – Estimations de l'incertitude type (u) pour E et H due aux réflexions du corps du vérificateur pour des services de radiodiffusion ordinaires, dérivées des estimations du Tableau G.8	706
Tableau G.10 – Coefficients de sensibilité maximaux pour la permittivité et la conductivité d'un liquide dans la plage de fréquences comprise entre 300 MHz et 6 GHz	713
Tableau G.11 – Incertitude à 95 % pour différents modèles d'évanouissement	717
Tableau G.12 – Coefficients de corrélation pour GSM 900 et DCS 1800	720
Tableau G.13 – Variations des écarts-types pour la bande de fréquences GSM 900, DCS 1800 et UMTS	722
Tableau G.14 – Exemples de calcul de l'incertitude totale	722
Tableau G.15 – Erreur maximale simulée due à l'influence d'un corps humain sur les valeurs de mesure d'une sonde omnidirectionnelle	724
Tableau G.16 – Influence mesurée d'un corps humain sur les mesurages d'une sonde omnidirectionnelle	725

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisée.

INTRODUCTION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

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

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

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

1 Domaine d'application

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

Le présent document:

- a) examine des BS rayonnant intentionnellement qui émettent sur une ou plusieurs antennes dans la plage de fréquences de 110 MHz à 300 GHz;
- b) étudie l'impact des sources ambiantes d'exposition RF au moins dans la plage de fréquences de 100 kHz à 300 GHz;
- c) spécifie les méthodes d'évaluation de l'exposition RF à utiliser pour les applications d'appréciation de la conformité, à savoir:
 - 1) conformité du produit: détermination des informations sur la frontière de conformité d'un produit BS avant sa commercialisation;
 - 2) conformité de l'installation du produit: détermination des niveaux d'exposition RF totaux dans les zones accessibles depuis un produit BS et les autres sources pertinentes avant la mise en service du produit;
 - 3) appréciation de l'exposition RF sur site: mesurage des niveaux d'exposition RF sur site à proximité d'une installation BS après la mise en service du produit;
- d) spécifie la manière de procéder à l'appréciation de l'exposition RF en s'appuyant sur l'approche fondée sur la réelle maximale;
- e) décrit plusieurs méthodologies de mesure et de calcul de l'intensité de champ RF, de la densité de puissance et du DAS avec des recommandations relatives à leur applicabilité pour couvrir tant l'évaluation sur site des BS installées que les évaluations en laboratoire;
- f) décrit la manière dont les vérificateurs établissent leurs propres procédures d'évaluation, en fonction de leurs objectifs d'évaluation;
- g) fournit des recommandations quant à la manière de rendre compte, d'interpréter et de comparer les résultats obtenus à partir de différentes méthodologies d'évaluation et, lorsque l'objectif de l'évaluation l'exige, prendre une décision justifiée en vertu d'une valeur limite donnée;
- h) fournit les méthodes d'appréciation de l'exposition RF de la BS à l'aide de technologies à orientation de faisceau variable dans le temps telles que les BS New Radio (NR) qui utilisent la technologie de système massif à entrée multiple et sortie multiple (MIMO, *Multiple Input Multiple Output*).

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

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

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

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

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

2 Références normatives

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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