

Rayonnement non ionisant

Stations de base pour téléphonie mobile (UMTS - FDD)

Recommandation sur les mesures

Projet du 17.9.2003



BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
UFAFP Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio
UFAGC Uffizi federal d'ambient, gaud e cuntrada

m

e

t

a

s

metrologie und akkreditierung schweiz

Commandes:

Langues: La présente publication existe aussi en allemand et en italien.

Internet: Un fichier.pdf de la présente publication peut être téléchargé par Internet.
<http://www.environnement-suisse.ch/electrosmog>

Table des matières

Table des matières	3
Abstracts	5
Avant-propos	7
1 But et champ d'application	9
2 A propos de la technique UMTS	11
2.1 Le système de téléphonie mobile UMTS	11
2.2 L'interface radio	11
2.3 Canaux de signalisation et canaux de données	12
3 Les exigences de l'ORNI	15
4 Généralités concernant les mesures	17
4.1 Exploitation de l'installation lors des mesures de réception	17
4.2 Valeur mesurée et valeur d'appréciation	17
4.2.1 Valeur mesurée	17
4.2.2 Valeur d'appréciation	17
4.3 Exigences posées aux entreprises et aux personnes effectuant les mesures	18
4.4 Renseignements fournis par le mandataire et l'opérateur de réseau	19
4.5 Emplacements de mesure	19
4.6 Moment de mesure	20
4.7 Méthodes de mesure (à large bande, spectrale ou à sélection de code)	20
4.8 Incertitude de mesure et étalonnage	21
4.8.1 Généralités	21
4.8.2 Incertitude de l'équipement de mesure	22
4.8.3 Incertitude de la prise d'échantillon	23
4.8.4 Exigence posée à l'incertitude de mesure	24
4.8.5 Etalonnage	24
4.9 Rapport de mesure	24
5 Détermination des facteurs d'extrapolation	27
6 Mesure à large bande	29
6.1 Méthode de mesure	29
6.2 Equipement de mesure	29
6.3 Calcul de la valeur d'appréciation	29
7 Mesure spectrale	31
7.1 Méthode de mesure	31
7.2 Equipement de mesure	32
7.2.1 Antennes	32
7.2.2 Instruments de mesure	32

7.2.3	Câble	33
7.3	Calcul de la valeur d'appréciation	33
8	Mesure à sélection de code	35
8.1	Méthode de mesure	35
8.2	Equipement de mesure	36
8.2.1	Antennes	36
8.2.2	Instruments de mesure	36
8.2.3	Câble	36
8.3	Calcul de la valeur d'appréciation	36
8.4	Signaux faibles	38
9	Mesure de réception d'une installation combinée UMTS/GSM	39
Annexe 1	Exemples de calcul de l'incertitude de mesure	41
Exemple 1.1:	Sonde à large bande étalonnée	44
Exemple 1.2:	Equipement pour mesure à résolution de spectre (antenne et câble étalonnés ensemble)	47
Exemple 1.3:	Equipement pour mesure à sélection de code (antenne et câble étalonnés séparément)	50
Annexe 2	Exemples de calcul de la valeur d'appréciation des installations purement UMTS	55
Exemple 2.1		55
	Description de l'installation 1	55
	Mesure à large bande concernant l'installation 1	57
	Mesure spectrale concernant l'installation 1	57
	Mesure à sélection de code concernant l'installation 1	57
Exemple 2.2		59
	Description de l'installation 2	59
	Mesure à large bande concernant l'installation 2	59
	Mesure spectrale concernant l'installation 2	60
	Mesure à sélection de code concernant l'installation 2	60
Exemple 2.3		62
	Description de l'installation 3	62
	Mesure à large bande concernant l'installation 3	63
	Mesure spectrale concernant l'installation 3	64
	Mesure à sélection de code concernant l'installation 3	64
Exemple 2.4		66
	Description de l'installation 4	66
	Mesure à large bande concernant l'installation 4	67
	Mesure spectrale concernant l'installation 4	68
	Mesure à sélection de code concernant l'installation 4	68
Annexe 3	Exemple de calcul de la valeur d'appréciation d'installations combinées UMTS/GSM	71
	Description de l'installation	71
	Mesure à large bande	73
	Mesure spectrale	73
	Mesure spectrale (GSM) et mesure à sélection de code (UMTS)	75
Annexe 4	Liste des abréviations	77

Abstracts

This publication provides instructions for enforcement authorities and measuring laboratories, on how radiation from mobile telecommunication base stations of the UMTS network has to be measured and assessed. It also provides the basis for the accreditation of measuring laboratories for such measurements. Indoor measurements are the main priority. After a short overview of UMTS technology, the relevant regulations in the Ordinance relating to Protection from Non-Ionising Radiation (ONIR) are explained and further specified. Then, detailed recommendations are given on the measurement procedures, the measurement equipment, the treatment of the measurement uncertainty and the assessment of results in accordance with the Ordinance. An appendix illustrates the determination of the measurement uncertainty, another appendix illustrates projections of the measured values to the maximum capacity of the transmission installation.

Keywords: non-ionising radiation; ONIR; installation limit values; base station; measurement; UMTS; accreditation

La présente publication, destinée aux autorités d'exécution et aux laboratoires de mesures, contient des instructions sur la manière de mesurer et d'évaluer le rayonnement émis par les stations de base de téléphonie mobile des réseaux UMTS. Elle sert en même temps de base à l'accréditation des laboratoires effectuant de telles mesures. L'accent porte sur les mesures effectuées à l'intérieur des bâtiments. Après un bref aperçu de la technique UMTS, les dispositions déterminantes de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) sont expliquées et précisées. Suivent des recommandations détaillées concernant la méthode et les appareils de mesure, le traitement de l'incertitude de mesure et une évaluation des résultats conforme à l'ordonnance. Une des annexes concerne la détermination de l'incertitude de mesure, une autre l'extrapolation d'un résultat de mesure à la capacité maximale de l'installation émettrice.

Mots-clés: rayonnement non ionisant; ORNI; valeur limite de l'installation; station de base; mesure; UMTS; accréditation

Diese Publikation ist eine Anleitung für Vollzugsbehörden und Messlabors, wie die Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen der UMTS-Netze zu messen und zu beurteilen ist. Sie bildet gleichzeitig die Grundlage für die Akkreditierung von Messlabors für solche Messungen. Im Vordergrund stehen Messungen in Innenräumen. Nach einem kurzen Überblick über die UMTS-Technik werden die massgebenden Bestimmungen der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) erläutert und präzisiert. Es folgen detaillierte Empfehlungen zum Messverfahren, zur Messeinrichtung, zur Behandlung der Messunsicherheit und zur verordnungskonformen Beurteilung eines Messergebnisses. Ein Anhang illustriert die Bestimmung der Messunsicherheit, ein weiterer Anhang die Hochrechnung eines Messresultats auf die maximale Kapazität der Sendeanlage.

Schlüsselwörter: nichtionisierende Strahlung; NISV; Anlagegrenzwert; Basisstation; Messung; UMTS; Akkreditierung

La presente pubblicazione vuole essere un'introduzione rivolta alle autorità esecutive e ai laboratori di misurazione che indichi come rilevare e valutare le radiazioni emesse dalle stazioni base di telefonia mobile delle reti UMTS. Al contempo, costituisce la base per l'accreditamento dei laboratori di misurazione per simili rilevamenti. In primo piano vi sono le misurazioni in ambienti chiusi. Dopo un breve sguardo sulla tecnica UMTS vengono illustrate e precisate le principali prescrizioni dell'ordinanza sulla protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ORNI). Seguono raccomandazioni dettagliate sul procedimento e sugli apparecchi di misurazione, su come gestire il margine di errore di misurazione e su come effettuare una valutazione dei risultati delle misurazioni conforme all'ordinanza. Un primo allegato illustra come determinare il margine di errore delle misurazioni, un secondo l'estrapolazione di un risultato di misurazione sulla capacità massima dell'impianto di trasmissione.

Parole chiave: radiazioni non ionizzanti; ORNI; valore limite dell'impianto; stazione base; misurazione; UMTS; accreditalmento

Avant-propos

La présente recommandation sur les mesures donne des instructions détaillées sur la manière dont il convient de mesurer le rayonnement dû aux réseaux de téléphonie mobile UMTS actuellement en construction, et d'évaluer ledit rayonnement au sens de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI). Elle a été élaborée sous la responsabilité de l'OFEFP et en étroite collaboration avec l'Office fédéral de métrologie et d'accréditation (METAS). Un groupe consultatif, formé de représentants des autorités fédérales et cantonales, des opérateurs de réseau et des organisations de protection de l'environnement a été associé à son élaboration.

La présente recommandation sur les mesures a le statut d'un projet devant être testé dans la pratique. Cela ne sera possible qu'avec la mise en service des réseaux UMTS. Il est prévu de réaliser des mesures comparatives (essai interlaboratoire) dès qu'un nombre suffisant de laboratoires se sera équipé en appareils de mesure destinés spécifiquement à l'UMTS. A la fin de la phase d'essai, la recommandation sur les mesures sera revue et corrigée, si nécessaire, et publiée dans sa version définitive.

Les laboratoires de mesure peuvent se faire accréditer dès maintenant en se fondant sur le présent projet sur les mesures UMTS.

S'il s'avère nécessaire de procéder à une mesure de réception d'une installation émettrice UMTS dès avant sa mise en service, on pourra l'effectuer en se fondant sur la mesure du rayonnement GSM. La méthode correspondante et les conditions accessoires à observer sont fixées dans un complément¹ à la recommandation sur les mesures GSM. Cette méthode constitue une solution transitoire et ne sera utilisée qu'aussi longtemps que les installations UMTS ne seront pas en service. C'est ensuite qu'on appliquera la présente recommandation sur les mesures.

¹ OFEFP/METAS: Stations de base pour téléphonie mobile (GSM) - Recommandation sur les mesures - Complément, 2003.
<http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/vorschriften/VU-5800-F-Nachtrag.pdf>

1 But et champ d'application

L'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) exige que le rayonnement des installations émettrices pour téléphonie mobile respecte la valeur limite de l'installation dans les lieux à utilisation sensible (LUS). Selon l'ORNI, une installation pour téléphonie mobile comprend les antennes émettrices des services de radiocommunication GSM, UMTS, Tetrapol, TETRA et WLL. Avant la construction d'une nouvelle station émettrice, l'opérateur du réseau remet à l'autorité compétente une fiche de données spécifique au site comportant les données techniques de l'installation, il fournit les indications concernant l'environnement immédiat de l'installation et de son utilisation, et calcule la charge de RNI que l'on peut attendre. Il en fait de même avant que la puissance d'émission d'une station existante ne soit augmentée au-delà de la valeur autorisée ou que les directions de propagation ne soient modifiées au-delà du domaine autorisé.

L'autorité compétente est, dans la plupart des cas, le service des constructions de la commune ou du canton. Les stations émettrices fixées sur les pylônes de lignes à haute tension relèvent de l'Inspection fédérale des installations à courant fort, celles fixées sur des installations des chemins de fer de l'Office fédéral des transports.

L'autorité compétente est tenue de vérifier si les indications et les calculs de l'opérateur sont corrects et si la valeur limite de l'installation est respectée. L'art. 12 ORNI précise cette tâche comme suit:

Art. 12 Contrôle
¹ L'autorité veille au respect des limitations d'émissions.
² Pour vérifier si la valeur limite de l'installation, au sens de l'annexe 1, n'est pas dépassée, elle procède ou fait procéder à des mesures ou à des calculs, ou elle se base sur des données provenant de tiers. L'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) recommande des méthodes de mesure et de calcul appropriées.
³ ...

L'expérience montre que le calcul ne peut pas saisir toutes les nuances de la réalité des immissions. En effet, seule une mesure permet de cerner pleinement l'intensité du rayonnement. Par la présente recommandation, l'OFEFP s'acquitte de sa mission de faire des recommandations sur les méthodes de mesure appropriées.

La présente recommandation concerne les mesures de **réception**. Celles-ci sont effectuées à la demande de l'autorité compétente, en général chaque fois que la charge de RNI atteint, selon un calcul de prévision, au moins 80 % de la valeur limite de l'installation. Une mesure de réception sert à vérifier officiellement si la valeur limite de l'installation est respectée lorsque l'installation fonctionne dans le mode d'exploitation déterminant.² Le résultat d'une mesure de réception constitue en outre la base de toute demande d'augmentation de la puissance d'émission.

La présente recommandation traite la mesure du rayonnement UMTS dans le mode d'exploitation FDD (frequency division duplex, voir chap. 2). Les installations émettant exclusivement un rayonnement UMTS en mode FDD peuvent être mesurées et évaluées pleinement au moyen de la présente recommandation sur les mesures. Les installations émettrices pour téléphonie mobile, comportant, outre les antennes UMTS (FDD), des antennes GSM, Tetrapol, TETRA, WLL ou UMTS (TDD), ne peuvent pas

² Les mesures de réception peuvent être ultérieurement complétées par des mesures de **contrôle**. Celles-ci ont un autre objectif et livrent une autre conclusion que les mesures de réception. La mesure de réception permet de constater si la valeur limite de l'installation est respectée dans les conditions les moins favorables admises par l'autorisation. La mesure de contrôle permet de constater la charge de RNI dans les conditions réelles d'exploitation de l'installation.

être pleinement évaluées uniquement au moyen de la présente recommandation. En pareil cas, le rayonnement des antennes précitées doit également être mesuré et pris en compte lors de l'évaluation.³ Un exemple d'évaluation d'une installation combinée UMTS/GSM figure à l'annexe 3.

Les méthodes de mesure et d'extrapolation décrites ici sont également applicables lorsqu'il s'agit de vérifier le respect de la valeur limite d'immission. A la différence de la valeur limite de l'installation, la valeur limite d'immission ne se réfère pas uniquement au rayonnement émis par une seule installation, mais à l'ensemble du rayonnement haute fréquence présent en un emplacement de mesure. La présente recommandation sur les mesures donne des instructions sur la manière dont il convient de mesurer la part de rayonnement UMTS. L'addition des diverses contributions au rayonnement et l'évaluation globale ne sont pas décrites dans le présent document, mais dans une recommandation cadre⁴ de l'OFEFP.

Dans le domaine des hautes fréquences, les mesures de RNI sont exigeantes et requièrent de grandes connaissances techniques. La présente recommandation s'adresse donc en premier lieu aux spécialistes des mesures de haute fréquence. En outre, elle sert de base à l'accréditation des laboratoires de mesures travaillant dans ce domaine.

³ La mesure et l'évaluation du rayonnement GSM s'effectuent selon la recommandation sur les mesures de l'OFEFP/METAS: « Stations de base pour téléphonie mobile (GSM) – Recommandation sur les mesures », L'environnement pratique, OFEFP/METAS, Berne 2002. Le rayonnement Tetrapol peut en grande partie être mesuré avec les mêmes méthodes et les mêmes instruments que le rayonnement GSM.

⁴ OFEFP: « Mesure du rayonnement électromagnétique non ionisant – 1^{re} partie: Gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz ». Cahier de l'environnement n° 164, Berne, mai 1992

2 A propos de la technique UMTS

2.1 Le système de téléphonie mobile UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est le nom d'une technique de téléphonie mobile de la troisième génération. En Suisse, fin 2000, quatre concessions nationales ont été accordées à quatre opérateurs de réseau. Chaque opérateur exploitera son propre réseau UMTS, l'infrastructure émettrice pouvant être utilisée en commun sous certaines conditions.

Les réseaux UMTS permettent de transmettre des taux de données nettement plus importants que les réseaux GSM. Ils sont donc indiqués non seulement pour le trafic vocal mais également pour la transmission d'importantes quantités de données numériques, par exemple d'images numériques.

La zone desservie par un opérateur de réseau est divisée en cellules. Une antenne émettrice alimente une ou plusieurs cellules en rayonnement UMTS, celles-ci pouvant faire partie d'un même réseau ou de réseaux différents. En général, plusieurs antennes émettrices sont fixées sur un mât ou un bâtiment, constituant ainsi une station de base.

Pour communiquer, l'appareil mobile établit une liaison radio avec une ou plusieurs stations de base. Depuis la station de base, la communication passe ensuite à la centrale de gestion des radiocommunications par l'intermédiaire de lignes ou de liaisons hertziennes.

2.2 L'interface radio

Le standard UMTS connaît deux modes d'exploitation:

- le mode TDD (time division duplex): le transfert de données depuis l'appareil mobile vers la station de base (uplink) s'effectue à la même fréquence qu'en sens inverse (downlink). Les séquences uplink et downlink sont séparées dans le temps;
- le mode FDD (frequency division duplex): les liaisons uplink et downlink s'effectuent en même temps mais sur des fréquences différentes.

Chacun des quatre opérateurs de réseau suisses dispose d'une bande de 5 MHz de large pour l'exploitation en TDD et de deux bandes de 15 MHz pour celle en FDD. Les bandes de fréquence attribuées sont représentées sur la figure 1.

Selon la planification actuelle, seuls des réseaux UMTS exploités en mode FDD sont prévus pour le moment en Suisse. La présente recommandation traite donc uniquement la mesure du rayonnement UMTS dans le mode d'exploitation FDD.

Une liaison UMTS en mode FDD nécessite deux fréquences porteuses avec une largeur de bande de 5 MHz, l'une pour l'uplink et l'autre pour le downlink. Un réseau UMTS peut être réalisé et exploité au moyen d'un seul de ces couples de fréquence, l'ensemble des antennes émettrices d'un réseau utilisant la même fréquence porteuse downlink et les appareils mobiles la même fréquence porteuse uplink. Afin que plusieurs utilisateurs d'appareils mobiles puissent transmettre des données en même temps, celles-ci sont codées, superposées et transmises simultanément dans cette bande de 5 MHz de large. Tout appareil mobile n'extrait de l'ensemble des données émises que les contenus qui lui sont destinés.

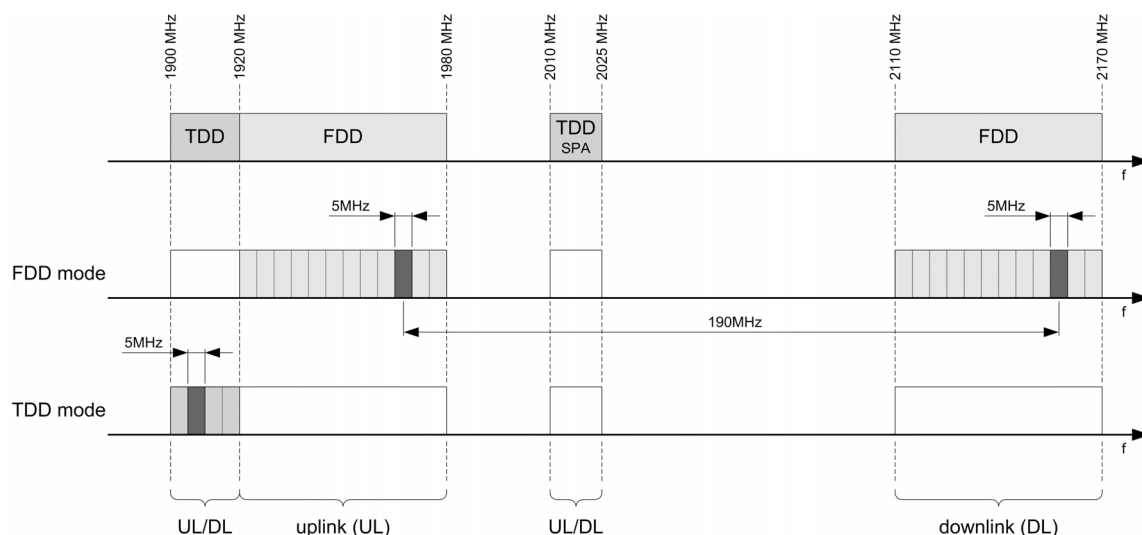


Figure 1: Bandes de fréquence réservées à l'UMTS en Suisse

Avec deux bandes de 15 MHz de large, chaque opérateur dispose de trois paires de fréquences UMTS indépendantes pour l'uplink et d'autant pour le downlink. Au moment de la mise en service de l'UMTS, chaque opérateur ne disposera probablement que d'une seule paire de fréquences. A l'heure actuelle, on ne sait pas si les autres fréquences seront utilisées. Pour les mesures de réception RNI, il est important de savoir si l'opérateur utilise une seule fréquence UMTS par antenne ou s'il émet, éventuellement, simultanément sur deux ou trois fréquences. La présente recommandation sur les mesures est conçue de manière à couvrir toutes les possibilités. S'il s'avérait que chaque opérateur de réseau UMTS n'utilise en réalité qu'une seule fréquence porteuse par station de base, les formules de calcul pourraient être simplifiées.

La notion de cellule est la notion centrale de l'évaluation des mesures RNI. Dans un réseau UMTS, une cellule est constituée par l'espace alimenté par le même signal UMTS provenant d'une station de base donnée. Ce signal est clairement caractérisé par la fréquence porteuse et le code de brouillage (scrambling code). Il s'agit d'un nombre fixe transmis en permanence par la station de base et indiquant à l'appareil mobile l'antenne émettant les signaux UMTS.

Ainsi, une station de base simple, composée de trois antennes, exploitée par un seul opérateur UMTS utilisant une seule fréquence porteuse, alimente trois cellules. Les signaux UMTS émis ont la même fréquence mais se distinguent par le code de brouillage. Lorsque la station de base est utilisée par deux opérateurs UMTS avec trois antennes chacun, le nombre de cellules est de six. Les six signaux UMTS émis se distinguent par le code de brouillage et/ou la fréquence. La fréquence définit clairement un réseau (opérateur) donné. Une combinaison donnée code de brouillage/fréquence n'intervient qu'une fois par installation et dans l'environnement de celle-ci.

2.3 Canaux de signalisation et canaux de données

Le signal UMTS de chaque cellule contient à la fois des canaux de signalisation et des canaux de données. Le canal de signalisation le plus important pour les mesures RNI

est le CPICH primaire (primary common pilot channel). Celui-ci est émis en permanence à puissance constante connue. Dans une configuration typique, la puissance d'émission du CPICH primaire équivaut à environ 10 % de la puissance émettrice maximale du signal UMTS global. Ce CPICH primaire contient entre autres le code de brouillage. Il est « caché » (codé) dans le signal UMTS, mais il peut, au moyen d'appareils de mesure modernes se basant sur le code de brouillage, en être « extrait » (décodé) et mesuré. La méthode de mesure à sélection de code décrite au chap. 8 est basée sur cette caractéristique.

Outre le CPICH-P, le signal UMTS contient encore d'autres canaux de signalisation, mais, pour le moment, ceux-ci ne sont pas utilisés pour les mesures RNI.

Les canaux de données sont superposés aux canaux de signalisation. La superposition est additive, en d'autres termes son seul effet sur le spectre final sera une augmentation de l'amplitude, la forme du signal restant constante. La puissance émettrice des canaux de données est réajustée et optimisée toutes les 0,67 ms. Un signal UMTS représenté dans le domaine de fréquence se comporte à peu près comme un bruit de fond d'une largeur de bande de 5 MHz, dont l'intensité varie selon la quantité de données transmises. L'intensité est minimale lorsque seules des données de signalisation – et non des données d'utilisation – sont transmises, elle est maximale lorsque la capacité de transmission est pleinement utilisée. Ceci est illustré par la figure 2.

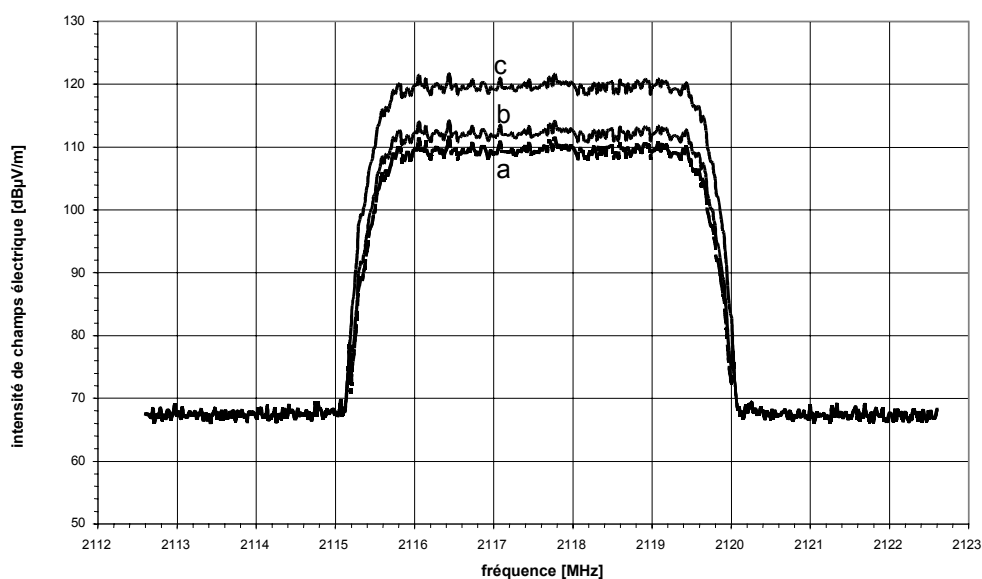


Figure 2: Représentation schématique de la forme et de l'intensité d'un signal UMTS dans le domaine de fréquence en fonction de la quantité de données transmises (Détecteur: RMS, largeur de bande mesurée: 300 kHz).
 Courbe a: contribution du seul CPICH primaire.
 Courbe b: contribution maximale de tous les canaux de signalisation.
 Courbe c: niveau du signal lorsque les cellules fonctionnent à pleine capacité.

3 Les exigences de l'ORNI

Les dispositions concernant les stations de base se trouvent à l'annexe 1, ch. 6 de l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI):

Annexe 1 ORNI
..... 6 Stations émettrices pour téléphonie mobile et raccordements téléphoniques sans fils 61 Champ d'application ¹ Les dispositions du présent chiffre s'appliquent aux émetteurs des réseaux de téléphonie mobile cellulaires et aux émetteurs pour raccordements téléphoniques sans fils avec une puissance apparente rayonnée (ERP) totale d'au moins 6 W. ² Elles ne s'appliquent pas aux installations de radiocommunication à faisceaux hertziens. 62 Définitions ¹ Par installation, on entend toutes les antennes émettrices de radiocommunication au sens du ch. 61 fixées sur un mât ou se trouvant à proximité les unes des autres, notamment sur le toit d'un même bâtiment. ² Par modification, on entend l'augmentation de puissance apparente rayonnée (ERP) maximale ou la modification de la direction d'émission. 63 Mode d'exploitation déterminant Par mode d'exploitation déterminant, on entend le mode d'exploitation dans lequel un maximum de conversations et de données est transféré, l'émetteur étant au maximum de sa puissance. 64 Valeur limite de l'installation La valeur limite de l'installation pour la valeur efficace de l'intensité de champ électrique est de: 4,0 V/m pour les installations qui émettent exclusivement dans la gamme de fréquence de 900 MHz environ; 6,0 V/m pour les installations qui émettent exclusivement dans la gamme de fréquence de 1800 MHz environ ou dans une gamme de fréquence plus élevée; 5,0 V/m pour les installations qui émettent à la fois dans la gamme de fréquence selon la let. a et dans la gamme de fréquence selon la let. b. 65 Nouvelles et anciennes installations Les nouvelles et les anciennes installations ne doivent pas dépasser la valeur limite de l'installation dans les lieux à utilisation sensible dans le mode d'exploitation déterminant.

Selon l'annexe 1, ch. 61 ORNI, font seules partie de l'installation les antennes émettrices utilisées pour les réseaux de téléphonie mobile cellulaires (actuellement les réseaux UMTS, GSM900, GSM1800, GSM-Rail, Tetrapol et TETRA) et les raccordements téléphoniques sans fil (WLL). Les antennes de tous les autres services de radiocommunication (p. ex. radiodiffusion, Telepage, radiocommunication à usage professionnel, radioamateur) constituent une catégorie d'installation particulière au sens de l'annexe 1, ch. 7 ORNI. Par principe, les antennes à faisceaux hertziens ne font pas partie de l'installation. Dès la procédure d'autorisation, l'autorité définit les antennes émettrices à prendre en compte lors de l'évaluation. La liste de celles-ci, accompagnée de leurs données techniques, figure sur la fiche de données spécifique au site à déposer auprès de l'autorité lors de la procédure d'autorisation.

Lors d'une mesure de réception, il faut saisir le rayonnement dû à toutes les antennes émettrices faisant partie de l'installation considérée⁵. La présente recommandation sur les mesures ne régit que la mesure du rayonnement UMTS dans le mode d'exploitation FDD.

La puissance émettrice d'une station de base UMTS varie fortement selon la quantité de données à transmettre. Il s'agit toutefois d'évaluer le mode d'exploitation déterminant (transfert maximal de communications vocales et de données au maximum de la puissance d'émission). Comme le fait d'imposer ce dernier entraverait le fonctionnement du réseau entier, la mesure sera effectuée dans le mode d'exploitation effectif de l'installation, la valeur mesurée étant ensuite extrapolée au mode d'exploitation déterminant.

Lors des mesures de réception, les antennes dont l'autorisation fait état d'un **domaine** angulaire pour ce qui concerne leur direction d'émission, seront orientées de manière à ce que leur direction principale de propagation coïncide avec la direction émettrice critique.

La valeur limite de l'installation ne doit être respectée que dans les lieux à utilisation sensible (LUS). L'art. 3, al. 3 ORNI définit la liste exhaustive de ces lieux. En cas de doute, c'est l'autorité qui décide lors de la procédure d'autorisation. En général, le mandataire choisit les lieux dans lesquels il faut effectuer des mesures.

Art. 3 Définitions

.....

³ Par lieu à utilisation sensible, on entend:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">a. les locaux d'un bâtiment dans lesquels des personnes séjournent régulièrement;b. des places de jeux publiques ou privées, définies dans un plan d'aménagement;c. les surfaces non bâties sur lesquelles des activités au sens des let. a et b sont permises. |
|---|

L'expérience montre que le rayonnement varie nettement d'un endroit à l'autre, en particulier dans les locaux. L'évaluation du RNI est fondée sur l'intensité locale maximale du rayonnement non ionisant subi en un LUS donné.

Les mesures sont toujours entachées d'une incertitude, qui s'avère notable dans le cas du rayonnement de la téléphonie mobile. La charge réelle peut donc être supérieure ou inférieure à la valeur mesurée. La valeur la plus probable est toutefois celle qui est affichée par l'appareil de mesure. Elle constitue le fondement de l'évaluation du RNI; l'incertitude de mesure n'y est ni ajoutée ni soustraite. En complément, on fixe à la rubrique 4.8.4 l'incertitude de mesure maximale admise, posant ainsi une exigence de qualité à l'équipement de mesure.

⁵ On peut déroger à ce principe lorsque les conditions suivantes sont simultanément remplies:

- il s'agit de la modification ou de l'extension d'une installation existante;
- la modification ou l'extension ne concerne que certaines antennes de l'installation;
- les LUS les plus exposés après modification ou extension sont les mêmes qu'avant modification ou extension;
- l'installation existante a déjà fait l'objet d'une mesure de réception complète dans les LUS les plus chargés.

Si ces conditions sont remplies, il suffit de mesurer le rayonnement dû aux antennes modifiées ou aux nouvelles antennes. Pour la partie non modifiée de l'installation, il est permis d'utiliser les résultats de l'ancienne mesure de réception et de les intégrer dans le nouveau rapport de mesure.

4 Généralités concernant les mesures

4.1 Exploitation de l'installation lors des mesures de réception

Lors des mesures de réception, les antennes dont l'autorisation fait état d'un **domaine** angulaire pour ce qui concerne leur direction d'émission doivent être orientées de manière à ce que leur direction principale de propagation coïncide avec la direction émettrice critique. Celle-ci est définie sur la fiche de données spécifique au site relativement à chaque antenne émettrice. Elle peut être fonction de l'endroit où l'on effectue la mesure.⁶

L'installation ne doit pas nécessairement émettre à puissance maximale et être pleinement utilisée durant la mesure, car les valeurs mesurées pour un mode d'exploitation donné peuvent être extrapolées au mode d'exploitation déterminant (§ 4.2.2).

4.2 Valeur mesurée et valeur d'appréciation

4.2.1 Valeur mesurée

Il s'agit de mesurer la valeur efficace de l'intensité de champ électrique due à l'ensemble des signaux UMTS émis par l'installation (concernant les exceptions, cf. chap. 3, note de bas de page 5). Par une exploration appropriée de l'espace, on s'assure que l'intensité de champ saisie est localement la plus élevée.

On obtient une ou plusieurs **valeurs mesurées** selon la méthode employée (chap. 6 à 8).

4.2.2 Valeur d'appréciation

Les valeurs mesurées sont ensuite extrapolées au mode d'exploitation déterminant et sommées. Le résultat obtenu constitue ce qu'on appelle la **valeur d'appréciation** E_A . Celle-ci représente l'intensité du rayonnement UMTS que l'on mesurerait – en tant que maximum local – si l'installation était exploitée dans le mode d'exploitation déterminant, c'est-à-dire au maximum de sa capacité admise.

L'incertitude de mesure n'est pas prise en compte lors du calcul de la valeur d'appréciation, ce qui signifie que l'extrapolation est effectuée à partir des valeurs affichées lors de la mesure.

Lorsque l'installation émettrice ne comporte que des antennes UMTS, la valeur d'appréciation déterminée peut être comparée directement à la valeur limite de l'installation de l'ORNI. Cette valeur limite est considérée comme respectée lorsque la valeur d'appréciation lui est inférieure ou égale.

Si d'autres services de téléphonie mobile sont présents sur l'installation (p.ex. GSM ou Tetrapol), leurs contributions au rayonnement doivent également être mesurées; elles

⁶ Lors de mesures de contrôle (cf. chap. 1) on peut renoncer à orienter les antennes dans la direction de propagation critique, ces mesures s'intéressant non pas au mode d'exploitation provoquant la plus grande charge potentielle, mais au mode d'exploitation effectif.

seront additionnées à la contribution de la partie UMTS pour donner une valeur d'appréciation relative à l'ensemble de l'installation.

4.3 Exigences posées aux entreprises et aux personnes effectuant les mesures

Les mesures faites selon la présente recommandation doivent être effectuées par des spécialistes.

Pour le laboratoire effectuant des mesures selon la présente recommandation, l'accréditation est un avantage, mais pas une condition. Le mandataire et l'autorité sont libres d'accepter également des mesures effectuées par des entreprises non accréditées pour autant que celles-ci garantissent la qualité exigée pour le matériel et la réalisation des mesures. En cas d'accréditation, le Service d'accréditation suisse atteste que l'entreprise accréditée dispose des compétences nécessaires et qu'elle est en mesure d'assurer la qualité souhaitée. Lorsqu'une entreprise n'est pas accréditée, cette preuve n'est pas apportée par des tiers. Dans ce cas, le mandataire doit vérifier lui-même que le contractant dispose des compétences nécessaires et qu'il est en mesure d'assurer la qualité souhaitée.

Le rapport de mesure concernant une mesure accréditée doit comporter le logo du Service d'accréditation suisse (SAS) ainsi que le numéro d'accréditation (xy) correspondant. Ce n'est qu'ainsi que la mesure est considérée comme accréditée.



STS (xy)

Si le mandant d'une mesure de réception ou l'autorité ou des tiers constatent qu'une entreprise accréditée effectue une mesure de façon incorrecte ou livre des rapports incomplets ou incorrects, le mandant peut exiger de l'entreprise de mesure qu'elle répète ou rectifie la mesure. L'entreprise de mesure doit fournir des pièces justificatives de ces incidents conformément à la norme ISO/IEC 17025. Elle doit aussi les présenter et les justifier en détail au Service d'accréditation suisse (SAS) lors des contrôles périodiques.

Si les défauts se répètent, ils peuvent être signalés directement au SAS avec copie du rapport de mesure. Ces défauts ne doivent toutefois concerner que les mesures pour lesquelles l'entreprise est accréditée et porter sur des fautes et omissions, et non pas sur des aspects formels des résultats de mesure. Le SAS enquête d'office sur des incidents de ce genre, mais facture les frais à la partie plaignante si les reproches sont infondés.

4.4 Renseignements fournis par le mandataire et l'opérateur de réseau

Le **mandataire** de la mesure doit fournir les renseignements suivants:

- la fiche de données spécifique au site avec le plan de situation – toutes les antennes faisant partie de l'installation sont indiquées sur la fiche de données spécifique au site, y compris les données techniques et les données relevant de l'exploitation ayant été autorisées;
- la liste des locaux et des emplacements où les mesures doivent être effectuées - lorsque la mesure de réception est ordonnée par l'autorité, on consultera le service chargé de la protection contre le rayonnement non ionisant (RNI) du canton ou de la commune pour fixer les emplacements de mesure;
- les adresses des personnes responsables de l'accès aux locaux.

Les **opérateurs de réseau** doivent fournir les données techniques suivantes, valables au moment de la mesure:

- pour chaque cellule alimentée par l'installation: la fréquence porteuse, le code de brouillage et la puissance émettrice (ERP) actuelle du CPICH primaire;
- la répartition des CPICH primaires entre les antennes et les polarisations;
- les directions émettrices effectives des antennes lors de la mesure - celles-ci devant correspondre aux directions émettrices critiques selon la fiche de données spécifique au site.

L'opérateur de réseau ou l'entreprise de mesure – mandatée par l'opérateur – informera suffisamment tôt le service cantonal ou communal chargé de la protection contre le rayonnement non ionisant (RNI) et la commune du site de l'installation du moment exact auquel il est prévu d'effectuer une mesure de réception.

4.5 Emplacements de mesure

Les mesures doivent être effectuées dans des lieux à utilisation sensible (LUS, cf. chap. 3). Dans la plupart des cas, il s'agit de locaux. S'il est possible d'ouvrir les fenêtres, on effectuera les mesures fenêtres ouvertes.

A l'intérieur des locaux, l'intensité de champ varie de manière très diverse sur des distances relativement courtes du fait de réflexions et d'ondes stationnaires présentes. En présence de plusieurs canaux UMTS, les ondes stationnaires qu'elles génèrent dans le local se superposent, produisant des interférences complexes. En outre, l'allure du champ dans le local est modifiée par la présence de personnes et de mobilier. En pareil cas, la valeur des maxima est peu modifiée, mais leur position dans le local est décalée.

La mesure doit en principe permettre de déterminer l'intensité de champ la plus élevée du local. A cet effet, le local doit être balayé avec la sonde ou l'antenne de mesure, une attention particulière devant être accordée aux zones où le maximum apparaît. Concernant la hauteur, on peut en général se contenter de balayer jusqu'à 1,75 m au-dessus du sol. Ce n'est que dans des situations particulières, lorsque des personnes

sont susceptibles de séjourner longuement à une hauteur supérieure, qu'on adaptera le volume de recherche à la situation.

Pour des raisons techniques, il convient de tenir les antennes à une distance des murs, du sol, du plafond et du mobilier au moins égale à 0,5 m.

La partie du local balayée lors de la recherche du maximum sera illustrée au moyen d'un schéma ou d'une photo.

4.6 Moment de mesure

Le moment de la mesure n'est pas déterminant. La seule condition est que, durant la mesure, les CPICH primaires soient actifs et exploités à la puissance indiquée par l'opérateur de réseau. Dans le cas des mesures à large bande et des mesures spectrales, la valeur d'appréciation est toutefois la plus proche de l'intensité de champ UMTS réelle lorsque seuls les canaux de signalisation sont actifs au cours de la mesure; si un ou plusieurs canaux de données sont également actifs, la valeur de l'intensité de champ est plutôt surestimée.

4.7 Méthodes de mesure (à large bande, spectrale ou à sélection de code)

La mesure à **large bande** (chap. 6) sert de mesure indicative. Elle est effectuée avec une sonde à large bande, qui saisit le rayonnement dans un large domaine de fréquence mais qui ne permet pas d'identifier les diverses contributions au rayonnement. Le rayonnement provenant éventuellement de sources parasites est mesuré en même temps.

Lorsque la valeur d'appréciation résultant d'une mesure à large bande ne dépasse pas la valeur limite de l'installation, celle-ci est réputée respectée. En revanche, lorsqu'elle lui est supérieure, cela ne signifie pas nécessairement que la valeur limite de l'installation soit effectivement dépassée. Dans ce cas, il faut en effet procéder à une mesure spectrale ou à sélection de code. La mesure à large bande permet donc en principe uniquement de montrer que la valeur limite de l'installation est respectée et non pas qu'elle est dépassée.

La mesure **spectrale** (chap. 7) sert également de mesure indicative. Au contraire de la mesure à large bande, les signaux ne provenant pas d'émetteurs UMTS ne sont pas saisis. Seule l'intensité de champ des canaux UMTS est mesurée, et ceci séparément pour chaque canal. Cette méthode de mesure permet donc de distinguer et de reconnaître les signaux UMTS de différents opérateurs. Elle ne permet toutefois pas de distinguer l'origine – installation émettrice ou antenne – du signal UMTS mesuré, car les stations de base d'un opérateur peuvent employer la même fréquence porteuse. L'intensité de champ mesurée pour un canal UMTS donné varie en fonction du taux d'utilisation de l'installation. L'extrapolation livre en général des intensités de champ maximales surestimées.

Lorsque la valeur d'appréciation résultant d'une mesure spectrale ne dépasse pas la valeur limite de l'installation, celle-ci est réputée respectée. En revanche, lorsqu'elle lui est supérieure, cela ne signifie pas nécessairement que la valeur limite de l'installation soit effectivement dépassée. Dans ce cas, il faut en effet procéder à une mesure à

sélection de code. La mesure spectrale – comme la mesure à large bande – permet donc en principe uniquement de montrer que la valeur limite de l'installation est respectée et non pas qu'elle est dépassée.

La mesure spectrale constitue un intermédiaire entre la mesure à large bande et la mesure à sélection de code. Elle conduit à des résultats comparables à ceux de la méthode à sélection de code lorsque le taux d'utilisation de l'installation est faible et que la distance par rapport aux installations UMTS voisines est grande.

La mesure à **sélection de code** (chap. 8) constitue la méthode de référence; en cas de doute, elle prime les deux méthodes plus simples. On mesure de manière sélective l'intensité de champ constante des CPICH primaires de l'installation. A cette fin, il y a lieu d'utiliser un appareil de mesure capable de décoder le signal UMTS global et de détecter de manière sélective la part des divers CPICH primaires. A cet effet, il faut connaître le code de brouillage des divers CPICH de l'installation à évaluer ainsi que leurs fréquences porteuses. Cette méthode de mesure permet d'attribuer clairement les signaux mesurés à une installation émettrice, une antenne et un opérateur donnés.

Lorsque la valeur d'appréciation résultant d'une mesure à sélection de code ne dépasse pas la valeur limite de l'installation, celle-ci est réputée respectée. Dans le cas contraire, elle est considérée comme dépassée.

Si d'autres services de téléphonie mobile sont présents sur l'installation (p.ex. GSM ou Tetrapol), leurs contributions au rayonnement doivent également être mesurées tant avec la méthode spectrale qu'avec la méthode à sélection de code; elles seront additionnées à la contribution de la partie UMTS pour donner une valeur d'appréciation relative à l'ensemble de l'installation (cf. chap. 9).

4.8 Incertitude de mesure et étalonnage

4.8.1 Généralités

Toute mesure est entachée d'une certaine incertitude. Cela implique que des mesures répétées par diverses personnes et au moyen d'un équipement différent donnent des résultats divergents.

L'incertitude totale associée à un résultat de mesure comprend deux éléments:

- une incertitude liée aux instruments, déterminée par la précision des appareils et de leur étalonnage, désignée ci-après par « incertitude de l'équipement de mesure »;
- une incertitude liée à la méthode, appelée ci-après « incertitude de la prise d'échantillon ». Cette part d'incertitude est par exemple due au fait que la manière de rechercher le maximum local diffère d'une personne à l'autre. En revanche, elle n'inclut pas les fluctuations apparaissant lors des mesures à large bande et des mesures spectrales, qui sont liées à la variation du taux d'utilisation de l'installation avec le temps et – dans le cas des mesures à large bande – à l'influence de signaux de radiocommunication étrangers à l'installation.

Statistiquement, on distingue l'incertitude standard u de l'incertitude élargie U .

- L'incertitude standard d'une mesure correspond à l'écart type de la distribution de la grandeur mesurée.
- L'incertitude élargie définit le domaine dans lequel la valeur de la grandeur mesurée se situe avec une certaine probabilité (la probabilité est normalement fixée à 95%).

L'incertitude standard u du résultat de mesure est calculée comme suit à partir de l'incertitude de l'équipement de mesure et de l'incertitude de la prise d'échantillon:

$$u = \sqrt{u_m^2 + u_p^2} \quad (1)$$

Signification des symboles:

u	incertitude standard du résultat de mesure
u_m	incertitude standard de l'équipement de mesure
u_p	incertitude standard de la prise d'échantillon

L'incertitude élargie U se calcule comme suit:

$$U = 2 \cdot u \quad (2)$$

4.8.2 Incertitude de l'équipement de mesure

En théorie, l'équipement de mesure est étalonné au moyen d'un signal dont la fréquence, l'intensité, la polarisation et la modulation correspondent exactement à celles du signal de téléphonie mobile à mesurer. Lorsqu'en outre la température à laquelle l'étalonnage a été effectué correspond à la température au moment de la mesure, l'incertitude de l'équipement de mesure est essentiellement celle associée à l'étalonnage.

En pratique, les conditions de mesure sont toutefois trop diverses et souvent trop peu définies pour qu'on puisse étalonner l'équipement de mesure de manière spécifique à chaque situation. On se contente donc d'effectuer l'étalonnage pour un nombre restreint de conditions de référence (une ou plusieurs). Ainsi, par exemple, les sondes à large bande ne sont souvent étalonnées qu'à une seule fréquence et qu'à une intensité donnée. La sensibilité de la sonde aux autres fréquences est spécifiée par le fabricant pour un type de sonde et non pas pour chaque sonde individuelle; elle est exprimée par une déviation maximale par rapport au point d'étalonnage. Il en est de même du domaine des intensités: les déviations pouvant apparaître par rapport au comportement linéaire idéal de la sonde sont également spécifiées par le fabricant sous la forme d'une déviation maximale. Ces caractéristiques ainsi que d'autres caractéristiques non idéales de l'équipement de mesure contribuent à l'augmentation de l'incertitude du résultat de mesure.

On cherche normalement à compenser de telles imperfections par un étalonnage suivi d'une correction numérique. Ainsi, par exemple, dans le cas d'un équipement de mesure à sélection de fréquence, on peut déterminer un facteur de correction à diverses fréquences. Chaque valeur mesurée est ensuite corrigée au moyen du facteur correctif valable pour la fréquence concernée. Toutefois, même dans ce cas, l'incertitude ne disparaît pas totalement, car une incertitude est associée au facteur de correction lui-même et en général il faut interpoler entre deux points d'étalonnage. L'incertitude résiduelle est toutefois nettement plus petite que dans le cas où l'on ne dispose que d'une spécification de la déviation maximale concernant l'ensemble du domaine de fréquence. Dans le cas des sondes à large bande, la correction décrite n'est cependant possible que si le rayonnement à l'emplacement de la mesure ne comporte qu'une seule bande de fréquence. Si cette condition n'est pas remplie, il faut en outre prendre en compte la réponse en fréquence de la sonde lors du calcul de l'incertitude.

L'incertitude de l'équipement de mesure dépend de la façon dont il a été étalonné et de la façon dont l'équipement et les données d'étalonnage sont utilisés lors de la me-

sure. On peut par exemple rencontrer la situation suivante: l'équipement de mesure est étalonné individuellement pour chaque fréquence mais les facteurs d'étalonnage correspondants ne sont pas utilisés lors de la mesure. Dans ce cas, il faut utiliser toute la largeur de bande de la réponse en fréquence comme contribution à l'incertitude, ce qui livre une valeur nettement plus élevée que si les résultats de mesure sont corrigés avec le facteur d'étalonnage, qui est connu.

L'incertitude de l'équipement de mesure doit être calculée par le laboratoire de mesure concerné sur la base des spécifications des appareils et de l'étalonnage, et en prenant en compte la méthode de mesure employée; elle figure dans le rapport de mesure. Pour calculer l'incertitude de l'équipement de mesure, on tient compte au moins des paramètres suivants:

Sondes à large bande

- Incertitude liée à l'étalonnage de l'appareil de mesure
- Déviation de la linéarité de l'appareil de mesure
- Réponse en fréquence de l'appareil de mesure
- Déviation de l'isotropie de l'appareil de mesure
- Influence de la modulation sur l'appareil de mesure
- Influence de la température sur l'appareil de mesure

Dans le cas des sondes à large bande, il faut veiller à ce que la valeur mesurée se situe dans le domaine de mesure spécifié pour la sonde (intensité et fréquence).

Equipement pour les mesures à résolution spectrale et à sélection de code

- Incertitude liée à l'étalonnage de l'appareil de mesure
- Déviation de la linéarité de l'appareil de mesure
- Réponse en fréquence de l'appareil de mesure
- Influence de la modulation sur l'appareil de mesure (mesures spectrales)
- Incertitude liée à la détection du code (mesures à sélection de code)
- Influence de la température sur l'appareil de mesure
- Incertitude de l'étalonnage de l'antenne
- Incertitude de l'étalonnage du câble
- Désadaptations

Des exemples de calcul de l'incertitude de l'équipement de mesure figurent à l'annexe 1.

4.8.3 Incertitude de la prise d'échantillon

L'incertitude de la prise d'échantillon ne peut pas être réduite par le laboratoire de mesure au-delà d'une certaine limite.

Il faut compter avec une incertitude standard de la prise d'échantillon u_p de $\pm 15\%$. Cette valeur suppose une mesure effectuée avec soin. Elle est introduite en tant que contribution fixe dans le calcul de l'incertitude totale.

Lors des mesures à large bande et des mesures spectrales, la charge variable des stations de base ainsi que – dans le cas des mesures à large bande - l'influence de signaux parasites provoquent une augmentation de la dispersion des résultats de mesure. Il s'ensuit une surestimation des intensités de champ électrique UMTS. Ces influences ne pouvant guère être appréhendées par la statistique, elles ne sont pas incluses dans l'incertitude de la prise d'échantillon.

4.8.4 Exigence posée à l'incertitude de mesure

L'incertitude élargie totale U ne doit pas dépasser $\pm 45\%$. Cela signifie que l'incertitude standard de l'équipement de mesure ne doit pas dépasser $\pm 16,7\%$ et que l'incertitude élargie de l'équipement de mesure ne doit pas dépasser $\pm 33,5\%$. Les mesures ne sont acceptées que si cette condition est remplie.

Les incertitudes admises sont récapitulées dans le tableau 1. Comme incertitude de la prise d'échantillon on utilisera une valeur fixe; l'incertitude de l'équipement de mesure sera calculée par le laboratoire de mesure pour son équipement de mesure.

	Incertitude standard	Incertitude élargie
Incertitude de l'équipement de mesure	$u_m \leq \pm 16,7\%$	$U_m \leq \pm 33,5\%$
Incertitude de la prise d'échantillon	$u_p = \pm 15\%$	$U_p = \pm 30\%$
Incertitude totale	$u \leq \pm 22,5\%$	$U \leq \pm 45\%$

Tableau 1: Exigences posées à l'incertitude de mesure.

4.8.5 Etalonnage

Les appareils de mesure, les antennes et les câbles doivent être étalonnés annuellement par un laboratoire d'étalonnage reconnu.

Les certificats d'étalonnage doivent avoir été établis et être présentés au mandataire sur demande.

4.9 Rapport de mesure

Le rapport de mesure doit être suffisamment détaillé pour que toutes les étapes de la mesure et de l'exploitation des valeurs mesurées puissent être comprises. Il doit comporter au moins les indications suivantes:

- une référence à la fiche de données spécifique au site;
- les renseignements fournis par le mandataire;
- les renseignements fournis par les opérateurs de réseau, en particulier les renseignements au sujet de l'exploitation de l'installation pendant la mesure (puissances d'émission, directions d'émission);
- le moment de la mesure;
- les personnes présentes;
- les emplacements de mesure et les volumes dans lesquels le maximum a été recherché (schéma, photos, justification)
- l'incertitude de mesure totale;
- les appareils de mesure utilisés;
- l'incertitude de mesure totale;
- les valeurs mesurées et les valeurs d'appréciation (détails, avec calculs des valeurs d'appréciation);

- les conditions météorologiques ou autres conditions particulières, éventuellement temporaires, p. ex. de construction, etc.;
- etc.

Il est recommandé de faire figurer en tête du rapport de mesure un condensé daté et signé⁷. Ce condensé comportera, pour chaque lieu de mesure, la valeur d'appréciation déterminée pour le mode d'exploitation déterminant ainsi que la valeur limite correspondante.

⁷ Cette signature est valable pour tout le rapport de mesure.

5 Détermination des facteurs d'extrapolation

Il est recommandé de déterminer les facteurs d'extrapolation nécessaires au calcul de la valeur d'appréciation avant d'effectuer la mesure. A cet effet, il faut disposer des indications des opérateurs concernant la puissance émettrice actuelle des CPICH primaires et des puissances émettrices UMTS maximales admises au sens de la fiche de données spécifique au site.

L'extrapolation s'effectue normalement à partir de la puissance émettrice actuelle des CPICH primaires. Le signal UMTS comporte cependant, outre les CPICH primaires, d'autres signaux de contrôle, qui sont toujours présents et dont il faudrait également tenir compte lors de la détermination du facteur d'extrapolation. A l'heure actuelle, on ne sait cependant pas comment ces signaux supplémentaires seront configurés dans les réseaux UMTS suisses. En attendant que l'expérience pratique correspondante soit acquise, l'extrapolation s'effectuera exclusivement à partir du CPICH primaire. Dans le cas des mesures à large bande et des mesures spectrales, on admet l'hypothèse du pire scénario, à savoir que, durant la mesure, seuls les CPICH primaires sont actifs et que – dans le cas des mesures à large bande – il n'existe pas de sources parasites.

Le signal UMTS alimentant une cellule donnée est clairement défini par sa fréquence porteuse et le code de brouillage. La fréquence porteuse permet de reconnaître le réseau (opérateur) émettant le signal. Pour chaque cellule alimentée par la station de base à mesurer, l'opérateur de réseau doit indiquer la puissance émettrice du CPICH primaire, utilisée au moment de la mesure.

La fiche de données spécifique au site ne comporte pas nécessairement la puissance émettrice admise pour chaque cellule. En particulier, lorsqu'un opérateur de réseau alimente plusieurs cellules au moyen de la même antenne, la fiche de données spécifique au site ne comporte que la puissance d'émission par antenne et non les puissances d'émission relatives aux diverses cellules. Il en est autrement lorsque deux opérateurs utilisent une antenne commune. En général, dans ce cas, figure sur la fiche de données spécifique au site la puissance d'émission impartie à chaque opérateur de réseau.

Pour chaque antenne j de l'installation émettant de l'UMTS, on calcule un facteur d'extrapolation K_j au moyen de la formule (3). Ce calcul sera effectué séparément pour chaque réseau UMTS représenté sur l'installation.

$$K_j = \sqrt{\frac{P_{j,adm}}{\sum_i P_{i,j}}} \quad (3)$$

Signification des symboles:

j	indice de l'antenne
i	indice de la cellule
K_j	facteur d'extrapolation de l'antenne j
$P_{i,j}$	puissance émettrice (ERP) actuelle du CPICH primaire de la cellule i , émise par l'antenne j , exprimée en W

$P_{j, adm}$ puissance émettrice UMTS (ERP) **admise** pour l'antenne j , exprimée en W (somme des canaux de signalisation et des canaux de données). Lorsque deux opérateurs de réseau exploitent une antenne commune, $P_{j, adm}$ ne représente que la puissance émettrice UMTS admise pour l'opérateur correspondant et non pas la puissance admise pour les deux opérateurs réunis.

L'addition s'effectue pour toutes les cellules i du réseau concerné, alimentées par l'antenne j .

Les puissances émettrices actuelles P_{ij} sont reprises des données fournies par les opérateurs de réseau, les puissances émettrices admises pour chaque antenne d'un opérateur donné $P_{i, adm}$ figurent sur la fiche de données spécifique au site.

Les valeurs types du facteur d'extrapolation K_j se situent entre 3 et 8.

Des exemples de calcul des facteurs d'extrapolation figurent à l'annexe 2.

6 Mesure à large bande

6.1 Méthode de mesure

Avec une sonde isotrope à large bande, on mesure l'intégralité du champ électrique en un point de l'espace dans une bande de fréquences relativement large. Le résultat est la somme des intensités de champ au point donné, toutes les fréquences du domaine de fréquence spécifié de la sonde et toutes les polarisations étant additionnées automatiquement. Cette méthode donne certes une valeur mesurée clairement définie, du point de vue physique, en un point précis de l'espace, mais elle ne permet pas de saisir immédiatement l'intensité de champ la plus élevée du volume de mesure.

Il faut donc balayer manuellement tout le volume de mesure avec la sonde à large bande et rechercher de la sorte le maximum de l'intensité de champ. Lors du balayage, on doit veiller à ne pas prendre les variations temporelles de la charge de RNI, dues à des variations de taux d'utilisation de l'installation émettrice et au rayonnement étranger à l'installation, pour des variations locales. Le balayage doit être effectué de manière suffisamment lente afin que l'appareil puisse enregistrer les valeurs maximales et que la mesure ne soit pas faussée par le mouvement effectué dans le champ électrostatique.

La valeur maximale E_{max} mesurée dans le volume de mesure est déterminante pour le calcul de la valeur d'appréciation.

6.2 Equipement de mesure

Comme instruments de mesure on peut employer des sondes isotropes à large bande, dont la spécification comprend les bandes de fréquence UMTS à mesurer. Les intensités de champ mesurées doivent se situer dans le domaine spécifié et l'incertitude de l'équipement de mesure ne doit pas dépasser l'incertitude de mesure admise fixée au paragraphe 4.8.4.

6.3 Calcul de la valeur d'appréciation

Comme on ne sait pas quelle antenne contribue le plus à la charge UMTS globale à l'emplacement de la mesure, le facteur d'extrapolation K utilisé est le facteur K_j le plus élevé des facteurs calculés selon le chap. 5.

La valeur d'appréciation E_A est calculée au moyen de la formule suivante:

$$E_A = E_{max} \cdot K \quad (4)$$

Signification des symboles:

E_A valeur d'appréciation exprimée en V/m

E_{max} intensité de champ électrique maximale mesurée dans le volume de mesure, exprimée en V/m

K facteur d'extrapolation pour le calcul de la valeur d'appréciation

Des exemples de calcul de la valeur d'appréciation figurent à l'annexe 2.

7 Mesure spectrale

7.1 Méthode de mesure

Les mesures de l'intensité de champ électrique de chacun des canaux UMTS sont des mesures à sélection de fréquence effectuées à l'aide d'une antenne et d'un analyseur de spectre ou d'un récepteur de mesure. Un canal UMTS est défini par une fréquence porteuse donnée. Une mesure spectrale permet d'identifier les signaux UMTS des différents opérateurs car les fréquences porteuses sont clairement attribuées à ces derniers. Cette méthode ne permet cependant pas de reconnaître l'installation et l'antenne ayant émis le signal UMTS car les réseaux UMTS sont exploités en ondes communes.

A l'intérieur du volume de mesure, il faut rechercher le maximum de l'intensité de champ pour chacune des fréquences porteuses f émises par l'installation et ceci par rapport:

- aux ondes stationnaires dans le local;
- à la polarisation de l'antenne de mesure;
- à l'orientation de l'antenne de mesure définie par l'azimut et l'élévation.

Il faut donc balayer manuellement tout le volume de mesure avec l'antenne en faisant varier simultanément la direction préférentielle et la direction de polarisation de l'antenne. Lors du balayage, on doit veiller à ne pas prendre les variations temporelles de la charge de RNI, dues à des variations de taux d'utilisation de l'installation émettrice, pour des variations locales.

Par volume de mesure on entend le volume situé entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol et à une distance de 0,5 m des murs, lorsque la surface du local est inférieure ou égale à 25 m². Lorsque les locaux sont plus vastes, on peut, lors de la recherche du maximum et lors de l'addition des divers signaux UMTS, se contenter d'un volume ayant une surface de base de 25 m² et se situant entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol. Ce volume sera choisi de manière telle que la valeur d'appréciation qui en résulte soit maximale. Lors du balayage de ce volume, l'antenne doit rester à une distance minimale de 50 cm des murs, du sol, du plafond et du mobilier. Durant toute la recherche, le spectre ou le niveau d'intensité UMTS est enregistré en continu à l'aide de la fonction « maximum hold » de l'appareil.

Pour trouver le maximum local, deux démarches sont possibles:

Variante 1:

La valeur est observée en permanence sur le système de mesure durant l'opération (p.ex. avec affichage simultané de la valeur instantanée et de la valeur du « maximum hold »). La position à l'intérieur du volume, la direction et la polarisation de l'antenne sont modifiées jusqu'à ce que le maximum de l'intensité de champ soit trouvé et enregistré. Dans cette variante, la recherche spatiale est généralement effectuée séparément pour chacune des fréquences UMTS à mesurer.

Variante 2:

Le volume de mesure est balayé systématiquement et lentement, avec des polarisations et des orientations d'antenne différentes, sans que l'affichage soit observé lors du balayage. Différentes fréquences UMTS peuvent être saisies simultanément en **un**

seul balayage. L'appareil de mesure enregistre, lors du balayage, les valeurs maximales au moyen de la fonction « maximum hold ».

En général, les deux démarches, exécutées avec soin, fournissent le même résultat. Dans chacune des variantes, le mouvement de l'antenne, rapporté à la vitesse d'enregistrement de l'appareil de mesure, doit être suffisamment lent.

Pour chaque fréquence UMTS f on lit la valeur affichée maximale $E_{f, max}$. Les valeurs mesurées à toutes les fréquences d'un opérateur donné sont introduites dans la formule (5).

7.2 Equipement de mesure

7.2.1 Antennes

L'antenne utilisée doit avoir des dimensions suffisamment petites (moins de 40 cm perpendiculairement à la direction de réception) afin que son utilisation dans les locaux ne pose pas de problèmes. Elle doit être étalonnée.

Les types d'antenne suivants sont appropriés:

- les petites antennes Log Per, normalement avec un domaine de fréquence dont la limite inférieure est à env. 500 MHz – ces antennes ont l'avantage, en raison de leur effet directionnel, d'être moins sensibles à la personne effectuant la mesure et se trouvant derrière l'antenne; il faut cependant être particulièrement attentif, justement en raison de cet effet directionnel, à ce qu'en tout point du volume de mesure l'antenne soit orientée dans chaque direction et chaque polarisation possibles;
- les petites antennes biconiques, normalement avec un domaine de fréquence dont la limite inférieure est à env. 500 MHz;
- les dipôles résonants.

Les antennes biconiques et les dipôles résonants n'exercent pas d'effet directionnel dans le plan radial. De ce fait, elles sont plus sensibles à l'influence de personnes se situant à proximité. C'est pourquoi, l'antenne doit être tenue dans un porte-antenne non métallique à une distance suffisante de la personne effectuant la mesure.

7.2.2 Instruments de mesure

Pour faire la mesure spectrale on peut utiliser un analyseur de spectre ou un récepteur de mesure. Le système de mesure sera équipé d'une fonction « maximum hold ». Les appareils doivent être étalonnés et leurs incertitudes de mesure doivent être connues.

La valeur limite de l'installation selon l'annexe 1, ch. 64 ORNI étant définie pour la **valeur efficace** de l'intensité de champ électrique, on considère comme méthode de référence la mesure effectuée avec un détecteur « true RMS » et une largeur de bande de 5 MHz correspondant à la largeur de bande du signal UMTS. On n'utilisera pas d'autres détecteurs. Les mesures effectuées avec une largeur de bande inférieure à 5 MHz sont autorisées pour autant que l'appareil ait été étalonné avec un signal UMTS conforme aux normes.

Les appareils de mesure modernes disposent en partie d'un système de détection spécifique aux signaux UMTS déterminant automatiquement le niveau intégral d'un canal UMTS entier au moyen d'un détecteur « true RMS ». Dans ce cas, il n'est pas

nécessaire de se soucier de la largeur de bande ni de lire une valeur dans un spectre, la valeur mesurée étant directement affichée.

7.2.3 Câble

Le câble reliant l'antenne à l'appareil de mesure doit être étalonné.

On sait par la pratique qu'il existe un risque important que le câble soit soumis à des contraintes excessives et que, de ce fait les valeurs d'étalonnage ne soient plus valables, sans que l'utilisateur s'en aperçoive. C'est pourquoi il est recommandé de contrôler rapidement le câble avant et après chaque mandat de mesure. A cet effet, on peut par exemple employer le générateur tracking de l'appareil de mesure.

7.3 Calcul de la valeur d'appréciation

L'extrapolation décrite ci-après est effectuée séparément pour chaque réseau UMTS représenté sur l'installation à évaluer. Il importe peu que chaque opérateur de réseau dispose de ses propres antennes UMTS ou que celles-ci soient utilisées en commun. Il en résulte pour chaque réseau UMTS une intensité de champ UMTS extrapolée à la puissance émettrice admise E_e . Ces résultats partiels sont ensuite introduits dans l'équation (6) livrant ainsi la valeur d'appréciation de l'installation.

Comme on ne sait normalement pas quelle antenne contribue le plus à la charge UMTS à l'emplacement de la mesure pour la fréquence porteuse concernée, le facteur d'extrapolation K utilisé dans le calcul de la valeur d'appréciation est le facteur le plus élevé des facteurs K_j calculés selon le chap. 5.

Les valeurs enregistrées $E_{f, max}$ correspondant à toutes les fréquences UMTS du réseau concerné sont groupées et extrapolées comme suit:

$$E_e = K \cdot \sqrt{\sum_f E_{f, max}^2} \quad (5)$$

Signification des symboles:

f fréquence porteuse UMTS

E_e intensité de champ UMTS du réseau UMTS concerné, exprimée en V/m, extrapolée à la puissance émettrice admise

$E_{f, max}$ intensité de champ électrique maximale relative à la fréquence f , mesurée dans le volume de mesure, exprimée en V/m

La somme est faite pour toutes les fréquences UMTS f du réseau concerné.

Lorsque l'installation est utilisée par un seul opérateur UMTS, l'intensité de champ E_e calculée au moyen de l'équation (5) est égale à la valeur d'appréciation E_A .

Lorsque l'installation est utilisée par plusieurs opérateurs UMTS, on détermine une intensité de champ extrapolée E_e pour chaque réseau. La valeur d'appréciation E_A est déduite comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{\text{réseau } 1,e}^2 + E_{\text{réseau } 2,e}^2 + \dots} \quad (6)$$

Des exemples de calcul de la valeur d'appréciation figurent à l'annexe 2.

8 Mesure à sélection de code

8.1 Méthode de mesure

L'intensité de champ électrique de chacun des CPICH primaires est mesurée sélectivement à l'aide d'une antenne et d'un appareil pouvant décoder les signaux UMTS. Un CPICH donné est clairement caractérisé par son code de brouillage et la fréquence porteuse.

A l'intérieur du volume de mesure, il faut rechercher le maximum de l'intensité de champ pour chacun des CPICH primaires émis par l'installation et ceci par rapport:

- aux ondes stationnaires dans le local;
- à la polarisation de l'antenne de mesure;
- à l'orientation de l'antenne de mesure définie par l'azimut et l'élévation.

Il faut donc balayer manuellement tout le volume de mesure avec l'antenne en faisant varier simultanément la direction préférentielle et la direction de polarisation de l'antenne. Lors du balayage de ce volume, l'antenne doit rester à une distance minimale de 50 cm des murs, du sol, du plafond et du mobilier. Durant toute la recherche, les niveaux d'intensité des divers CPICH sont saisis en continu. Il est bon que le système de mesure dispose d'une fonction « maximum hold ».

Par volume de mesure on entend le volume situé entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol et à une distance de 0,5 m des murs, lorsque la surface du local est inférieure ou égale à 25 m². Lorsque les locaux sont plus vastes, on peut, lors de la recherche du maximum et lors de l'addition des divers signaux UMTS, se contenter d'un volume ayant une surface de base de 25 m² et se situant entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol. Ce volume sera choisi de manière telle que la valeur d'appréciation qui en résulte soit maximale.

Pour trouver le maximum local, deux démarches sont possibles:

Variante 1:

La valeur mesurée est observée en permanence sur l'appareil durant la mesure (p.ex. avec affichage simultané de la valeur instantanée et de la valeur du « maximum hold »). La position à l'intérieur du volume, la direction et la polarisation de l'antenne sont modifiées jusqu'à ce que le maximum de l'intensité de champ soit trouvé et enregistré. Dans cette variante, la recherche spatiale est généralement effectuée séparément pour chacun des CPICH impliqués, qui sont décodés au moyen du code de brouillage associé.

Variante 2:

Le volume de mesure est balayé systématiquement et lentement, avec des polarisations et des orientations d'antenne différentes, sans que la valeur affichée ne soit observée lors du balayage. Tous les CPICH à mesurer peuvent être saisis simultanément en **un seul** balayage. Le système de mesure doit disposer d'une fonction « maximum hold » à l'aide de laquelle les valeurs maximales sont enregistrées lors du balayage.

Les deux démarches, exécutées avec soin, fournissent le même résultat. Dans chacune des variantes, le mouvement de l'antenne, rapporté à la vitesse d'enregistrement de l'appareil de mesure, doit être suffisamment lent.

Pour chaque CPICH_{*i,j*} primaire émis par l'installation on lit la valeur maximale affichée $E_{i,j,max}$. L'indice *j* désigne l'antenne émettrice du CPICH, l'indice *i* la cellule. Ces valeurs mesurées sont regroupées par antenne et réseau, puis introduites dans la formule (7).

8.2 Equipement de mesure

8.2.1 Antennes

Les exigences sont les mêmes que pour la mesure spectrale (cf. § 7.2.1).

8.2.2 Instruments de mesure

Pour la mesure à sélection de code on utilise des analyseurs de spectre, des récepteurs ou des appareils de mesure UMTS appelés « drive tester », qui sont spécifiés pour le décodage et la mesure absolue du niveau d'intensité du signal du CPICH primaire. Les systèmes de mesure doivent être étalonnés pour la mesure de la valeur efficace et disposer de la fonction « maximum hold ». Leurs incertitudes de mesure doivent être connues.

Les appareils haut de gamme permettent de mesurer simultanément plusieurs CPICH alors qu'avec des appareils simples les CPICH doivent être ajustés et mesurés les uns après les autres. On peut utiliser aussi bien des appareils capables de reconnaître le code de brouillage des CPICH à mesurer que des appareils nécessitant une introduction manuelle de ce code.

8.2.3 Câble

Les exigences sont les mêmes que pour la mesure spectrale (cf. § 7.2.3).

8.3 Calcul de la valeur d'appréciation

L'extrapolation décrite ci-après est effectuée séparément pour chaque réseau UMTS représenté sur l'installation à évaluer. Il importe peu que les antennes UMTS soient propres aux opérateurs ou qu'elles soient utilisées en commun. On obtient pour chaque réseau UMTS une intensité de champ UMTS extrapolée à la puissance émettrice admise E_e . Ces résultats partiels sont ensuite introduits dans l'équation (9) livrant ainsi la valeur d'appréciation de l'installation.

Tout d'abord, les valeurs mesurées relatives aux CPICH primaires du réseau concerné, émis par une antenne donnée, sont sommées et extrapolées au mode d'exploitation déterminant:

$$E_{j,e} = K_j \cdot \sqrt{\sum_i E_{i,j,max}^2} \quad (7)$$

Signification des symboles:

j indice de l'antenne

i	indice de la cellule
$E_{j,e}$	valeur extrapolée pour l'antenne j , exprimée en V/m
$E_{i,j,max}$	intensité de champ électrique maximale, mesurée dans le volume de mesure, du CPICH de la cellule i , émise par l'antenne j , exprimée en V/m
K_j	facteur d'extrapolation pour l'antenne j et le réseau concerné selon le chap. 5

La somme est faite pour toutes les cellules i du réseau concerné, alimentées par l'antenne j .

Les résultats obtenus par l'équation (7) sont regroupés comme suit:

$$E_e = \sqrt{\sum_{j=1}^n E_{j,e}^2} \quad (8)$$

Signification des symboles:

E_e	intensité de champ UMTS du réseau UMTS concerné, exprimée en V/m, extrapolée à la puissance émettrice admise
$E_{j,e}$	valeur extrapolée pour l'antenne j , exprimée en V/m
n	nombre d'antennes émettant des signaux UMTS du réseau concerné

Lorsque l'installation est utilisée par un seul opérateur UMTS, l'intensité de champ E_e calculée au moyen de l'équation (8) est égale à la valeur d'appréciation E_A .

Lorsque l'installation est utilisée par plusieurs opérateurs UMTS, on obtient une intensité de champ extrapolée E_e pour chaque réseau. La valeur d'appréciation E_A est ensuite déduite comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{\text{réseau } 1, e}^2 + E_{\text{réseau } 2, e}^2 + \dots} \quad (9)$$

Des exemples de calcul de la valeur d'appréciation figurent à l'annexe 2.

8.4 Signaux faibles

Lorsque le niveau d'un CPICH primaire reste inférieur à une limite donnée, le signal UMTS ne peut plus être décodé et il n'est pas possible de mesurer ce CPICH par une mesure à sélection de code. Un tel CPICH peut être négligé lors de la sommation selon l'équation (7) lorsque les conditions suivantes sont remplies:

- on doit être assuré qu'il n'existe pas, tant au niveau de l'émission que de la réception, de perturbations d'ordre technique rendant le décodage impossible;
- au vu de la direction de propagation, de la topographie, des constructions présentes, etc. il doit être plausible que le CPICH primaire considéré soit inférieur d'au moins 10 dB au plus puissant des CPICH primaires de l'installation.

9 Mesure de réception d'une installation combinée UMTS/GSM

De nombreuses installations de téléphonie mobile comprennent des antennes UMTS ainsi que des antennes GSM. Lorsque tel est le cas, il faut mesurer, lors d'une mesure de réception, aussi bien le rayonnement UMTS que le rayonnement GSM et déduire des résultats de mesure la valeur d'appréciation de l'ensemble de l'installation.

Normalement, on mesure le rayonnement GSM selon la recommandation de l'OFEFP/METAS intitulée « Stations de base pour téléphonie mobile (GSM) – Recommandation sur les mesures »⁸ - ci-après « Recommandation sur les mesures GSM » – et le rayonnement UMTS selon la présente recommandation pour l'UMTS.

On obtient une valeur d'appréciation $E_{A,GSM}$ pour le GSM et une valeur d'appréciation $E_{A,UMTS}$ pour l'UMTS. La valeur d'appréciation E_A de l'ensemble de l'installation s'en déduit comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{A,GSM}^2 + E_{A,UMTS}^2} \quad (10)$$

Toutefois, cette méthode ne peut être utilisée lors des mesures à large bande car, dans ce cas, on mesure le rayonnement total, les rayonnements UMTS et GSM ne pouvant être séparés.

On détermine alors le facteur d'extrapolation K_{GSM} selon la rubrique 5.3 de la recommandation sur les mesures GSM et le facteur d'extrapolation K_{UMTS} selon le chap. 5 de la présente recommandation sur les mesures UMTS. Pour calculer la valeur d'appréciation E_A on utilise comme facteur d'extrapolation K le facteur le plus élevé des facteurs K_{GSM} et K_{UMTS} , car, par principe, on ne sait pas lequel des deux rayonnements prédomine à l'endroit où la mesure est effectuée.

La valeur d'appréciation E_A est calculée au moyen de la formule suivante:

$$E_A = E_{max} \cdot K \quad (11)$$

Signification des symboles:

E_A valeur d'appréciation exprimée en V/m

E_{max} intensité de champ électrique maximale mesurée dans le volume de mesure, exprimée en V/m

K facteur d'extrapolation pour le calcul de la valeur d'appréciation

Des exemples de calcul de la valeur d'appréciation d'une installation combinée UMTS/GSM figurent à l'annexe 3.

⁸ OFEFP/METAS: Stations de base pour téléphonie mobile (GSM) – Recommandation sur les mesures, L'environnement pratique, Berne, 2002

Annexe 1 Exemples de calcul de l'incertitude de mesure

L'incertitude de mesure est déterminée sur la base de l'ouvrage intitulé « Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure » (1995 ISBN 92-67-20188-3).

En métrologie on utilise les notions d'**incertitude standard** et d'**incertitude élargie**.

- L'incertitude standard d'une mesure correspond à l'écart type de la distribution de la grandeur mesurée.
- L'incertitude élargie définit le domaine dans lequel la valeur de la grandeur mesurée se situe avec une certaine probabilité (normalement la probabilité est fixée à 95 %). Lorsque les résultats de mesure suivent une distribution normale (distribution de Gauss) et que le niveau de confiance est de 95 %, l'incertitude élargie est 1,96 fois plus grande que l'incertitude standard. En métrologie, ce facteur est généralement arrondi à 2.

Pour déterminer l'incertitude du résultat de mesure, on prend en considération tous les paramètres pouvant influencer le résultat de mesure. On estime l'incertitude associée à chacun des paramètres. En plus de l'incertitude de l'équipement de mesure il y a lieu d'ajouter une contribution fixe de $\pm 15\%$ (incertitude standard) pour l'incertitude de la prise d'échantillon.

L'incertitude standard est calculée à partir de l'incertitude associée à un paramètre au moyen d'un diviseur spécifique à la distribution statistique admise. Les contributions à l'incertitude ainsi normées sont ensuite additionnées comme suit:

$$u = \sqrt{\sum_q u_q^2} = \sqrt{\sum_q \left(\frac{U_q}{k_q}\right)^2} \quad (12)$$

$$U = 2 \cdot u \quad (13)$$

Signification des symboles:

k_q diviseur associé au paramètre q pour l'obtention de l'incertitude standard

u incertitude standard de la mesure, en %

u_q incertitude standard du paramètre q , en %

U incertitude élargie de la mesure, en %

U_q contribution spécifiée/estimée du paramètre q à l'incertitude, en %

Le facteur de sensibilité prévu par le « Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure » est considéré comme égal à 1 et n'apparaît donc pas dans les exemples ci-après.

Le diviseur k_q nécessaire au calcul de l'incertitude standard est choisi selon les règles suivantes:

- $k = 2$, lorsque les incertitudes sont issues d'un certificat d'étalonnage, car elles sont normalement considérées comme des valeurs d'un niveau de confiance de 95 % d'une distribution normale;
- $k = \sqrt{3}$, lorsque les incertitudes sont issues des spécifications de la fiche de données, car elles sont à considérer comme des valeurs maximales d'une distribution rectangulaire;
- $k = \sqrt{2}$, lorsque les incertitudes résultent de désadaptations, auquel cas il faut admettre une distribution en U.

Lorsqu'un des facteurs d'influence est connu quantitativement dans des conditions de mesure données, la valeur mesurée peut être corrigée au moyen de la valeur de ce facteur. L'incertitude relative à ce paramètre ne disparaît certes pas complètement, mais elle se réduit à l'incertitude liée à la correction.

- En général on corrige la valeur mesurée au moyen du facteur d'étalonnage déterminé lors de l'étalonnage absolu.
- Lorsqu'un étalonnage a été effectué aux fréquences UMTS à mesurer, on peut renoncer à la prise en compte de la réponse en fréquence. Il faut éventuellement tenir compte d'une petite contribution à l'incertitude lorsqu'il faut interpoler entre deux fréquences d'étalonnage. Par principe, il est toujours possible de procéder à une telle correction avec des équipements pour les mesures à résolution spectrale ou à sélection de code. En revanche, dans le cas d'appareils à large bande, on ne sait quels signaux ont quelle intensité, en particulier dans le cas d'installations combinées UMTS/GSM. C'est pourquoi aucune correction de la réponse en fréquence n'est possible dans ce cas. Il en est autrement si l'on est assuré que l'installation à mesurer n'émet que de l'UMTS. En pareil cas, il est également possible de procéder à une correction de la réponse en fréquence lors de mesures à large bande pour autant que la sonde ait été étalonnée dans la bande de fréquence UMTS.
- Lorsqu'un étalonnage a été effectué pour diverses intensités, les déviations de la linéarité peuvent être corrigées numériquement. Dans ce cas aussi, l'incertitude résiduelle est celle liée à la correction correspondante.

Désadaptations

Des désadaptations peuvent se produire entre l'antenne, le câble et l'appareil de mesure. Grâce à des mesures de réflexion, les incertitudes U_F qui sont liées aux désadaptations peuvent être calculées pour chaque connexion au moyen de la formule suivante:

$$U_D = |r_{charge}| \cdot |r_{source}| \quad (14)$$

Signification des symboles:

$|r_{charge}|$ facteur de réflexion de la charge

$|r_{source}|$ facteur de réflexion de la source

U_D incertitude due aux désadaptations

Pour l'incertitude due aux désadaptations on admet une distribution en U.

Les données relatives aux désadaptations (VSWR), à l'affaiblissement d'adaptation et au facteur de réflexion sont équivalentes et peuvent être converties au moyen des rapports suivants:

$$\text{Facteur de réflexion } r = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (15)$$

$$\text{Affaiblissement d'adaptation (en dB)} = 20 * \log\left(\frac{1}{r}\right) \quad (16)$$

Les données relatives aux désadaptations (VSWR) proviennent du rapport d'étalonnage ou des spécifications.

Ci-après figurent trois exemples de calcul de l'incertitude élargie. On admet que l'UMTS et le GSM sont implémentés sur l'installation à mesurer.

Exemple 1.1: Sonde à large bande étalonnée

Exemple 1.2: Equipement de mesure à résolution spectrale, l'antenne et le câble ayant été étalonnés ensemble

Exemple 1.3: Equipement pour la mesure à sélection de code, l'antenne et le câble ayant été étalonnés séparément

Exemple 1.1: Sonde à large bande étalonnée

Les spécifications générales de la sonde du présent exemple sont les suivantes:

Domaine de fréquence spécifié:	100 kHz – 3 GHz
Domaine de mesure spécifié:	0,6 V/m – 800 V/m
Domaine de température spécifié:	0 – 50 °C

La sonde à large bande a été étalonnée par un laboratoire d'étalonnage. L'étalonnage a consisté en trois mesures, enregistrées dans le rapport d'étalonnage:

- Un étalonnage absolu pour une intensité de champ électrique de 27,5 V/m et une fréquence de 27,12 MHz, l'incertitude étant de $\pm 1,9$ V/m, soit $\pm 6,9$ %. Le facteur d'étalonnage résultant est mis en mémoire par l'appareil de mesure et chaque valeur mesurée est automatiquement corrigée au moyen de ce facteur. Les données concernant la déviation de la linéarité et la réponse en fréquence se rapportent à ce point d'étalonnage.
- Une mesure de la déviation de la linéarité, effectuée pour la fréquence fixe de 27,12 MHz. Il s'agit d'une mesure relative effectuée pour diverses intensités, rapportée à l'intensité de référence de 27,5 V/m. La présente sonde a été étalonnée pour 0,8 V/m, 2 V/m et 10 V/m (etc.), l'incertitude liée à chacune des intensités ayant été spécifiée.
- Une mesure de la réponse en fréquence à une intensité de 27,5 V/m. Il s'agit d'une mesure relative effectuée pour diverses fréquences, rapportée à la fréquence de référence de 27,12 MHz. La présente sonde a été étalonnée aux fréquences 800 MHz, 900 MHz, 1 GHz, 1,2 GHz, 1,4 GHz, 1,6 GHz, 1,8 GHz, 2,0 GHz, 2,2 GHz, 2,4 GHz etc., avec une incertitude de $\pm 3,6$ V/m jusqu'à 1 GHz, de $\pm 3,8$ V/m entre 1,2 GHz et 2 GHz, et de ± 4 V/m à partir de 2 GHz.

Le calcul de l'incertitude de mesure ci-après s'applique à une valeur mesurée que l'on attend à 1 V/m et pour des fréquences de 800 à 1000 MHz, 1700 à 1900 MHz et 2100 à 2200 MHz. Une sonde à large bande ne pouvant faire la distinction entre les signaux de la bande de fréquence GSM et ceux de la bande de fréquence UMTS, on prend en compte, dans le cas présent, les trois bandes de fréquence lors du calcul de l'incertitude de mesure.

L'incertitude de mesure se compose des contributions suivantes:

- **Incertitude de l'étalonnage absolu**

Chaque valeur mesurée est automatiquement corrigée au moyen du facteur d'étalonnage du certificat d'étalonnage. L'incertitude liée au facteur d'étalonnage lui-même est de $\pm 6,9$ %. Comme cette donnée provient du laboratoire d'étalonnage, on admet que la distribution est normale.

- **Déviations de la linéarité**

La déviation de la linéarité mentionnée dans le rapport d'étalonnage pour la fourchette prévisible d'intensité de champ (1 à 20 V/m) se situe entre -3 % et +2 %. En général, les valeurs mesurées ne sont pas corrigées. Les déviations de la linéarité

mentionnées définissent une bande de tolérance, traitée comme contribution à l'incertitude. Cette bande de tolérance est, comme indiquée au tableau A1.1, de ± 3 %, et la distribution est rectangulaire.

A cela s'ajoute l'incertitude liée à la détermination de la déviation de la linéarité lors de l'étalonnage. Elle figure dans le rapport d'étalonnage, associée à chacune des intensités; elle varie entre ± 2 % et $\pm 2,5$ %. On indique dans le tableau A1.1 une valeur de $\pm 2,5$ %, au titre de contribution à l'incertitude de mesure, et la distribution est normale.

- **Réponse en fréquence**

La réponse en fréquence figure dans le rapport d'étalonnage. Dans le domaine de fréquence allant de 800 à 2200 MHz, la déviation se situe entre $+7$ % et -15 %. En général, les valeurs mesurées ne sont pas corrigées. Les déviations mentionnées définissent une bande de tolérance, traitée comme contribution à l'incertitude. La bande de tolérance est chiffrée à ± 15 %, et la distribution est rectangulaire.

A cela s'ajoute l'incertitude liée à la détermination de la réponse en fréquence lors de l'étalonnage. Elle figure dans le rapport d'étalonnage, associée à chacun des points de fréquence déterminants; elle varie entre ± 12 et ± 14 %. On indique, dans le tableau A1.1, une valeur de ± 14 %, au titre de contribution à l'incertitude de mesure, et la distribution est normale.

- **Déviations de l'isotropie**

La déviation de l'isotropie est spécifiée sur la fiche de données; elle est de ± 1 dB, soit ± 12 %. On admet que la distribution est rectangulaire.

- **Influence de la modulation**

L'influence de la modulation peut être estimée grâce à une expérience comparant les signaux sinus et les signaux UMTS. Dans notre exemple, on admet une déviation de ± 10 % (distribution rectangulaire).

- **Influence de la température**

L'influence de la température figure sur la fiche de données. Elle est de $+0,2/-1,5$ dB dans l'intervalle de température allant de 0 à 50°C. On peut s'attendre à ce que la sonde soit employée à des températures allant de $+5$ à 30°C. L'incertitude résultant de la courbe de réponse en température peut être estimée à $\pm 0,3$ dB ($\pm 3,5$ %) pour ledit intervalle (distribution rectangulaire).

Paramètre	Origine des données	Contribution à l'incertitude %	Distribution	Diviseur k_q	Incertitude standard %
Incertitude de l'étalonnage absolu	rapport d'étalonnage	± 7	normale	2	$\pm 3,5$
Bande de tolérance de la déviation de la linéarité	rapport d'étalonnage	± 3	rectangulaire	1,73	$\pm 1,7$
Incertitude de la mesure de linéarité	rapport d'étalonnage	$\pm 2,5$	normale	2	$\pm 1,3$
Bande de tolérance de la réponse en fréquence	rapport d'étalonnage	± 15	rectangulaire	1,73	$\pm 8,7$
Incertitude de la mesure de la réponse en fréquence	rapport d'étalonnage	± 14	normale	2	± 7
Déviation de l'isotropie	fiche de données	± 12	rectangulaire	1,73	$\pm 6,9$
Influence de la modulation	estimation	± 10	rectangulaire	1,73	$\pm 5,8$
Influence de la température	fiche de données	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	± 2
Incertitude standard de l'équipement de mesure u_m					$\pm 15,0$
Incertitude standard de la prise d'échantillon u_p	objectif				± 15
Incertitude standard du résultat de mesure u					$\pm 21,2$

Tableau A1.1: Calcul de l'incertitude standard pour une sonde à large bande étalonnée (exemple)

Résultat

L'incertitude standard u est de $\pm 21,2$ %.

L'incertitude élargie U est de $\pm 42,5$ %.

L'exigence posée à l'incertitude élargie ($U < \pm 45$ %) est remplie.

Exemple 1.2: Equipement pour mesure à résolution de spectre (antenne et câble étalonnés ensemble)

Le présent exemple suppose un équipement pour mesure à résolution spectrale moderne. L'antenne et le câble auront été considérés comme un tout lors de l'étalonnage effectué par un laboratoire d'étalonnage. Les valeurs mesurées sont corrigées au moyen du facteur d'antenne (perte de câble incluse). Lors de la mesure, on utilisera le même câble et on le branchera de la même façon que lors de l'étalonnage de l'antenne. En procédant ainsi on réduit la contribution à l'incertitude des désadaptations. Il est à noter que cette solution présente un inconvénient: en effet, en cas de défectuosité du câble il faut refaire tout l'étalonnage de l'antenne alors que si le câble a été étalonné séparément, il suffit de refaire uniquement l'étalonnage du câble. Cependant, les contributions à l'incertitude dues aux désadaptations sont alors plus élevées. (Voir exemple 1.3).

Appareil de mesure

Concernant l'appareil de mesure du présent exemple (analyseur de spectre), on dispose d'un certificat d'étalonnage relatif au niveau absolu et à la réponse en fréquence. Les autres données sont estimées ou reprises de la fiche de données du fabricant.

Incertitude du *niveau absolu* selon le certificat d'étalonnage: $\pm 1,5 \%$
(distribution normale)

Incertitude de la *réponse en fréquence* selon le certificat d'étalonnage: $\pm 1,5 \%$
(distribution normale)

Interpolation de la réponse en fréquence (distribution rectangulaire): $\pm 1,0 \%$

Déviations de la linéarité (distribution rectangulaire): $\pm 0,3 \text{ dB} \Rightarrow \pm 3,5 \%$

On admet que l'appareil mesure au moyen d'un détecteur « true RMS ». Ainsi, l'influence de la modulation sur l'appareil de mesure est déjà contenue dans les incertitudes ci-devant. Dans cet exemple, l'influence de la température est également intégrée dans les données susmentionnées et n'apparaît donc pas séparément.

Antenne, câble inclus

Les valeurs mesurées sont corrigées au moyen du facteur d'antenne (perte de câble incluse). Les incertitudes suivantes sont liées à cette correction:

Incertitude de l'*étalonnage de l'antenne* selon le certificat d'étalonnage (distribution normale): $\pm 1,5 \text{ dB} \Rightarrow \pm 18,9 \%$

Interpolation (distribution rectangulaire): $\pm 0,3 \text{ dB} \Rightarrow \pm 3,5 \%$

En général, l'antenne n'est étalonnée que pour un nombre restreint de fréquences. Pour les fréquences se situant entre les valeurs correspondantes s'ajoute une incertitude supplémentaire. On admet dans le présent exemple que pour les fréquences situées entre les points d'étalonnage de l'antenne on utilise la valeur d'étalonnage de la fréquence la plus proche. Dans ce cas, l'incertitude indiquée est constituée par la différence maximale entre deux points de l'étalonnage de l'antenne.

Il existe des antennes à préamplificateur incorporé. Si ce préamplificateur est utilisé lors de la mesure, l'influence de la température qu'il subit et sa linéarité doivent également être prises en compte lors du calcul de l'incertitude. On admet, dans cet exemple, que l'antenne est utilisée sans préamplificateur.

Désadaptation antenne, câble inclus / appareil de mesure

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation	Facteur de réflexion r
Antenne, câble inclus (source)	2150 MHz	1,5	14,0 dB	0,200
Appareil de mesure (charge)	2150 MHz	1,5	14,0 dB	0,200

Ainsi: $U_D = |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 0,200 \cdot 0,200 = 0,04$, soit $\pm 4 \%$

Paramètre	Origine des données	Contribution à l'incertitude %	Distribution	Diviseur k_q	Incertitude standard %
Appareil de mesure					
Niveau d'intensité absolu	rapport d'étalonnage	$\pm 1,5$	normale	2	$\pm 0,75$
Réponse en fréquence	rapport d'étalonnage	$\pm 1,5$	normale	2	$\pm 0,75$
Interpolation de la réponse en fréquence	estimation	$\pm 1,0$	rectangulaire	1,73	$\pm 0,6$
Déviations de la linéarité	fiche de données	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	$\pm 2,0$
Antenne					
Etalonnage de l'antenne	rapport d'étalonnage	$\pm 18,9$	normale	2	$\pm 9,5$
Interpolation	estimation	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	$\pm 2,0$
Désadaptations					
Désadaptation antenne, câble inclus / appareil de mesure	rapport d'étalonnage/ fiche de données	± 4	en U	1,41	$\pm 2,8$
Incertitude standard de l'équipement de mesure u_m					$\pm 10,3$
Incertitude standard de la prise d'échantillon u_p	objectif				± 15
Incertitude standard du résultat de mesure u					$\pm 18,2$

Tableau A1.2: Calcul de l'incertitude standard de l'équipement pour une mesure spectrale, l'antenne et le câble ayant été étalonnés ensemble (exemple)

Résultat

L'incertitude standard u est de $\pm 18,2$ %.

L'incertitude élargie U est de $\pm 36,4$ %.

L'exigence posée à l'incertitude élargie ($U < \pm 45$ %) est remplie.

Exemple 1.3: Equipement pour mesure à sélection de code (antenne et câble étalonnés séparément)

Le présent exemple suppose un équipement pour mesure à sélection de code moderne, une antenne et un câble étalonnés par un laboratoire d'étalonnage et des valeurs mesurées corrigées au moyen du facteur d'antenne et de la perte de câble.

Appareil de mesure

Concernant l'appareil de mesure du présent exemple (analyseur de spectre), on dispose d'un certificat d'étalonnage relatif au niveau absolu et à la réponse en fréquence. Les autres données sont estimées ou reprises de la fiche de données du fabricant.

Incertitude du *niveau absolu* selon le certificat d'étalonnage: $\pm 1,5 \%$
(distribution normale)

Incertitude de la *réponse en fréquence* selon le certificat d'étalonnage: $\pm 1,5 \%$
(distribution normale)

Interpolation de la réponse en fréquence (distribution rectangulaire): $\pm 1,0 \%$

Déviation de la linéarité (distribution rectangulaire): $\pm 0,3 \text{ dB} \Rightarrow \pm 3,5 \%$

Incertitude de la détection du code (distribution rectangulaire): $\pm 0,1 \text{ dB} \Rightarrow \pm 1,2 \%$

Dans cet exemple, l'influence de la température est intégrée dans les données susmentionnées et n'apparaît donc pas séparément.

Antenne

Les valeurs mesurées sont corrigées au moyen du facteur d'antenne. Les incertitudes suivantes sont liées à cette correction:

Incertitude de l'*étalonnage de l'antenne* selon le certificat d'étalonnage (distribution normale): $\pm 1,5 \text{ dB} \Rightarrow \pm 18,9 \%$

Interpolation (distribution rectangulaire): $\pm 0,1 \text{ dB} \Rightarrow \pm 1,2 \%$

En général, l'antenne n'est étalonnée que pour certaines fréquences choisies. Pour les fréquences situées entre les valeurs correspondantes, il faut procéder à une interpolation, ce qui entraîne une incertitude. Au contraire de l'exemple 1.2 on admet ici que les facteurs d'antenne sont interpolés de manière linéaire entre les points d'étalonnage et qu'il existe suffisamment de ces points. C'est pourquoi cette contribution à l'incertitude est inférieure à celle de l'exemple 1.2.

Câble

Les valeurs mesurées sont corrigées de la perte de câble. Les incertitudes suivantes sont liées à cette correction:

Incertitude de *l'étalonnage du câble* selon le certificat d'étalonnage (distribution normale): $\pm 0,2 \text{ dB} \Rightarrow \pm 2,3 \%$

Interpolation (distribution rectangulaire): $\pm 0,1 \text{ dB} \Rightarrow \pm 1,2 \%$

Désadaptation câble / appareil de mesure

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation	Facteur de réflexion r
Câble (source)	2150 MHz	1,2	20,8 dB	0,091
Appareil de mesure (charge)	2150 MHz	1,5	14,0 dB	0,200

Ainsi:

$$U_D = |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 0,200 \cdot 0,091 = 0,018, \text{ soit } \pm 1,8 \%$$

Désadaptation antenne / câble

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation	Facteur de réflexion r
Antenne (source)	2150 MHz	1,6	12,7 dB	0,231
Câble (charge)	2150 MHz	1,2	20,8 dB	0,091

Ainsi:

$$U_D = |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 0,091 \cdot 0,231 = 0,021, \text{ soit } \pm 2,1 \%$$

Désadaptation antenne / appareil de mesure

Lorsque le câble accuse une perte relativement faible, il faut également prendre en compte la désadaptation entre l'antenne et l'entrée de l'appareil de mesure. Pour simplifier l'estimation, l'affaiblissement d'adaptation de l'antenne est augmenté du double de la perte de câble. On prend ainsi en compte le fait que l'onde réfléchie traverse deux fois le câble.

Selon le rapport d'étalonnage, la perte de câble est de 4 dB.

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation *	Facteur de réflexion r^*
Antenne* (source)	2150 MHz	1,6	12,7 dB + 8 dB =20,7 dB	0,092
Appareil de mesure (charge)	2150 MHz	1,5	14 dB	0,200

*: Affaiblissement d'adaptation et facteur de réflexion de l'antenne, comme ils apparaissent à l'entrée de l'appareil de mesure.

Ainsi:

$$U_D = |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 0,200 \cdot 0,092 = 0,018, \text{ soit } \pm 1,8 \%$$

Cette contribution à l'incertitude peut être réduite en choisissant un câble avec une atténuation plus grande ou en introduisant un atténuateur entre l'antenne et le câble.

Paramètre	Origine des données	Contribution à l'incertitude %	Distribution	Diviseur k_q	Incertitude standard %
Appareil de mesure					
Niveau d'intensité absolu	rapport d'étalonnage	$\pm 1,5$	normale	2	$\pm 0,75$
Réponse en fréquence	rapport d'étalonnage	$\pm 1,5$	normale	2	$\pm 0,75$
Interpolation	estimation	$\pm 1,0$	rectangulaire	1,73	$\pm 0,6$
Déviations de la linéarité	fiche de données	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	$\pm 2,0$
Incertitude de la détection du code	fiche de données	$\pm 1,2$	rectangulaire	1,73	$\pm 0,7$
Antenne					
Etalonnage de l'antenne	rapport d'étalonnage	$\pm 18,9$	normale	2	$\pm 9,5$
Interpolation	estimation	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	$\pm 2,0$
Câble					
Etalonnage du câble	rapport d'étalonnage	$\pm 2,3$	normale	2	$\pm 1,2$
Interpolation	estimation	$\pm 1,2$	rectangulaire	1,73	$\pm 0,7$
Désadaptations					
Antenne / câble	rapport d'étalonnage	$\pm 1,8$	en U	1,41	$\pm 1,3$
Câble / appareil de mesure	rapport d'étalonnage / fiche de données	$\pm 2,1$	en U	1,41	$\pm 1,5$
Antenne / appareil de mesure	rapport d'étalonnage / fiche de données	$\pm 1,8$	en U	1,41	$\pm 1,3$
Incertitude standard de l'équipement de mesure u_m					$\pm 10,1$
Incertitude standard de la prise d'échantillon u_p	objectif				± 15
Incertitude standard du résultat de mesure u					$\pm 18,1$

Tableau A1.3: Calcul de l'incertitude standard de l'équipement pour une mesure à sélection de code, l'antenne et le câble ayant été étalonnés séparément (exemple)

Résultat

L'incertitude standard u est de $\pm 18,1$ %.

L'incertitude élargie U est de $\pm 36,2$ %.

L'exigence posée à l'incertitude élargie ($U < \pm 45$ %) est remplie.

Annexe 2 Exemples de calcul de la valeur d'appréciation des installations purement UMTS

Le calcul de la valeur d'appréciation E_A est illustré sur les exemples de quatre installations typiques, à chaque fois pour la mesure à large bande (chap. 6), la mesure spectrale (chap. 7) et la mesure à sélection de code (chap. 8).

La fiche de données spécifique au site doit indiquer sur la puissance émettrice (ERP) admise $P_{j, adm}$ pour chaque antenne. Cette puissance concerne toujours la somme des puissances d'émission du CPICH primaire, des autres canaux de signalisation et de tous les canaux de données de l'antenne concernée. Lorsque plusieurs opérateurs UMTS utilisent le même site, les puissances d'émission sont en général indiquées et admises séparément pour chaque opérateur.

L'opérateur du réseau est tenu de mettre à disposition notamment les données techniques suivantes, valables au moment de la mesure:

- puissance émettrice (ERP) $P_{i,j}$ du CPICH de chaque cellule i alimentée par l'antenne j ;
- fréquence porteuse de chaque cellule i ;
- code de brouillage de chaque cellule i .

La méthode de calcul des facteurs d'extrapolation est expliquée au chap. 5.

Exemple 2.1

Description de l'installation 1

Un opérateur de réseau alimente trois cellules UMTS au moyen de trois antennes fixées sur un mât. Les directions principales de propagation des trois antennes font entre elles un angle de 120° . Les directions d'émission et l'emplacement de la mesure sont représentés sur la figure A2.1.

Les données techniques de l'installation et les facteurs d'extrapolation qui en ont été déduits figurent dans le tableau A2.1.

L'installation décrite est une installation purement UMTS. La valeur limite de l'installation est donc de 6 V/m.

Antenne j	Cellule i	Direction principale de propagation horizontale	Code de brouillage	Fréquence porteuse f [MHz]	Puissance émettrice (ERP) actuelle du CPICH $P_{i,j}$ [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{j, adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_j
A1	1	30°	151	2117,6	50	710	3,77
A2	1	150°	152	2117,6	50	710	3,77
A3	1	270°	153	2117,6	50	710	3,77

Tableau A2.1: Données techniques de l'installation 1 (en gris, données fournies par l'opérateur) et facteurs d'extrapolation K_j qui en ont été déduits.

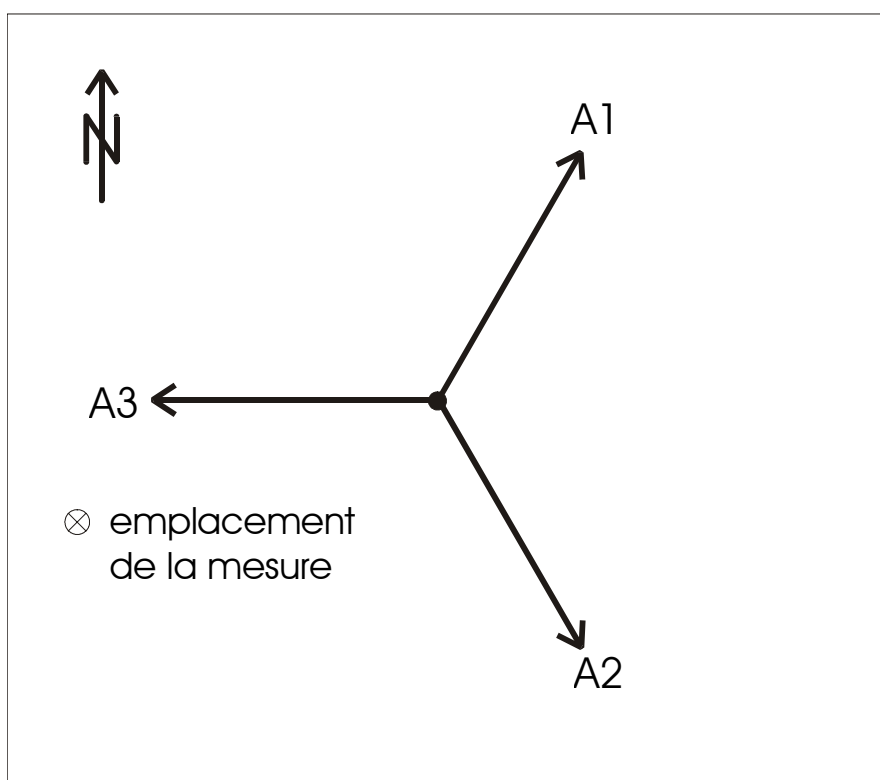


Figure A2.1: Schéma de l'installation 1 comportant les trois directions principales de propagation et la position de l'emplacement de la mesure

Mesure à large bande concernant l'installation 1

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'une sonde à large bande près de l'installation 1.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} vaut 1,05 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.1. Dans le cas présent, les K_j sont tous égaux à 3,77, le facteur d'extrapolation K vaut donc également 3,77.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 1,05 \text{ V/m} \cdot 3,77 = 3,96 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Mesure spectrale concernant l'installation 1

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de fréquence près de l'installation 1.

La valeur mesurée maximale (locale) $E_{f,max}$ vaut 0,86 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.1. Dans le cas présent, les K_j sont tous égaux à 3,77, le facteur d'extrapolation K vaut donc également 3,77.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{f,max} \cdot K = 0,86 \text{ V/m} \cdot 3,77 = 3,24 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Mesure à sélection de code concernant l'installation 1

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de code près de l'installation 1. L'intensité de champ électrique maximale (locale) $E_{i,j,max}$ est saisie pour chaque CPICH primaire et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation K_j correspondant du tableau A2.1. Les valeurs mesurées $E_{i,j,max}$, les facteurs d'extrapolation K_j et les valeurs extrapolées $E_{j,e}$ figurent dans le tableau A2.2.

Antenne j	Cellule i	$E_{i,j,max}$ du CPICH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_j	Valeur extrapolée $E_{j,e}$ [V/m]
A1	1	0,15	3,77	0,58
A2	1	0,14	3,77	0,54
A3	1	0,68	3,77	2,57

Tableau A2.2: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées concernant chaque antenne.

La valeur d'appréciation E_A est calculée comme suit:

$$E_A = E_e = \sqrt{\sum_{i=1}^3 E_{j,e}^2} = \sqrt{0,58^2 + 0,54^2 + 2,57^2} \text{ V/m} = 2,69 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Comme on s'y attend, la valeur d'appréciation résultant de la mesure à sélection de code est inférieure à celle résultant de la mesure spectrale, parce que celle-ci mesure en même temps, à une fréquence donnée, le rayonnement des canaux de données et celui de signaux UMTS d'installations voisines.

En revanche, la valeur d'appréciation résultant de la mesure spectrale est inférieure à celle résultant de la mesure à large bande parce que celle-ci mesure en même temps le rayonnement de signaux parasites.

Exemple 2.2

Description de l'installation 2

Il s'agit de la même installation qu'à l'exemple 2.1 (installation 1) à la différence que l'opérateur de l'installation émet cette fois-ci sur chaque antenne aux trois fréquences UMTS à disposition.

Les données techniques de l'installation et les facteurs d'extrapolation qui en ont été déduits figurent dans le tableau A2.3.

L'installation décrite est une installation purement UMTS. La valeur limite de l'installation est donc de 6 V/m.

Antenne j	Cellule i	Direction de propagation principale horizontale	Code de brouillage	Fréquence porteuse f [MHz]	Puissance émettrice (ERP) actuelle $P_{i,i}$ du CPICH [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{j,adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_j
A1	1	30°	151	2112,5	20	900	3,59
	2		154	2117,5	20		
	3		157	2122,5	30		
A2	1	150°	152	2112,5	15	900	3,87
	2		155	2117,5	30		
	3		158	2122,5	15		
A3	1	270°	153	2112,5	30	900	3,35
	2		156	2117,5	30		
	3		159	2122,5	20		

Tableau A2.3: Données techniques de l'installation 2 (en gris, données fournies par l'opérateur) et facteurs d'extrapolation K_j qui en ont été déduits.

Mesure à large bande concernant l'installation 2

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'une sonde à large bande près de l'installation 2.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} vaut 1,78 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.3, soit la valeur de 3,87.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 1,78 \text{ V/m} \cdot 3,87 = 6,89 \text{ V/m}.$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Il faut procéder à une mesure spectrale ou à sélection de code.

Mesure spectrale concernant l'installation 2

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de fréquence près de l'installation 2. L'intensité de champ électrique maximale (locale) $E_{f, \max}$ est saisie pour chaque fréquence UMTS f et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.3. La fréquence f , les valeurs mesurées $E_{f, \max}$ et le facteur d'extrapolation K figurent dans le tableau A2.4.

Fréquence f [MHz]	Valeur mesurée $E_{f, \max}$ [V/m]	Facteur d'extrapolation K
2112,5	0.89	3,87
2117.5	1.02	
2122,5	0.81	

Tableau A2.4: Fréquences, valeurs mesurées et facteur d'extrapolation

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_e = K \cdot \sqrt{\sum_f E_{f, \max}^2} = 3,87 \cdot \sqrt{0,89^2 + 1,02^2 + 0,81^2} \text{ V/m} = 6,11 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Il faut procéder à une mesure à sélection de code.

Mesure à sélection de code concernant l'installation 2

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de code près de l'installation 2. Pour chaque fréquence UMTS et chaque code de brouillage, donc pour chaque cellule, on saisit l'intensité de champ électrique $E_{i, j, \max}$ du CPICH primaire. On effectue ensuite la somme quadratique des valeurs mesurées relatives aux cellules alimentées par une antenne j et une extrapolation au moyen du facteur d'extrapolation K_j de l'antenne concernée.

Les valeurs mesurées $E_{i, j, \max}$, les facteurs d'extrapolation K_j et les valeurs extrapolées $E_{j, e}$ concernant les diverses antennes figurent dans le tableau A2.5.

Antenne j	Cellule i	$E_{i,j,max}$ du CPICH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_j	Valeur extrapolée $E_{j,e}$ [V/m]
A1	1	0,23	3,59	1,39
	2	0,14		
	3	0,28		
A2	1	0,11	3,87	0,98
	2	0,11		
	3	0,20		
A3	1	0,68	3,35	3,32
	2	0,60		
	3	0,40		

Tableau A2.5: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour chaque antenne.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{1,39^2 + 0,98^2 + 3,32^2} \text{ V/m} = 3,73 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. Le résultat de la mesure à sélection de code prime celui de la mesure spectrale et celui de la mesure à large bande. La valeur limite de l'installation est respectée.

Exemple 2.3

Description de l'installation 3

Deux opérateurs de réseau se partagent un site d'antennes. Les deux opérateurs émettent chacun sur deux fréquences sur chacune des trois antennes. L'opérateur 1 émet par les antennes A1, A2 et A3, l'opérateur 2 par les antennes A4, A5 et A6. Les directions d'émission et l'emplacement de la mesure sont représentés sur la figure A2.2.

Les données techniques de l'installation et les facteurs d'extrapolation qui en ont été déduits figurent dans le tableau A2.6.

L'installation décrite est une installation purement UMTS. La valeur limite de l'installation est donc de 6 V/m.

Opérateur	Antenne j	Cellule i	Direction principale de propagation horizontale	Code de brouillage	Fréquence porteuse f [MHz]	Puissance émettrice (ERP) actuelle $P_{i,i}$ du CPICH [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{j,adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_j
Opérateur 1	A1	1 2	0°	151 152	2112,5 2117,5	30 30	600	3,16
	A2	1 2	120°	153 154	2112,5 2117,5	20 40	600	3,16
	A3	1 2	240°	155 156	2112,5 2117,5	10 10	600	5,48
Opérateur 2	A4	1 2	30°	121 122	2127,5 2132,5	5 5	500	7,07
	A5	1 2	150°	123 124	2127,5 2132,5	10 10	500	5,00
	A6	1 2	270°	125 126	2127,5 2132,5	10 5	400	5,16

Tableau A2.6: Données techniques de l'installation 3 (en gris, données fournies par l'opérateur) et facteurs d'extrapolation K_j qui en ont été déduits.

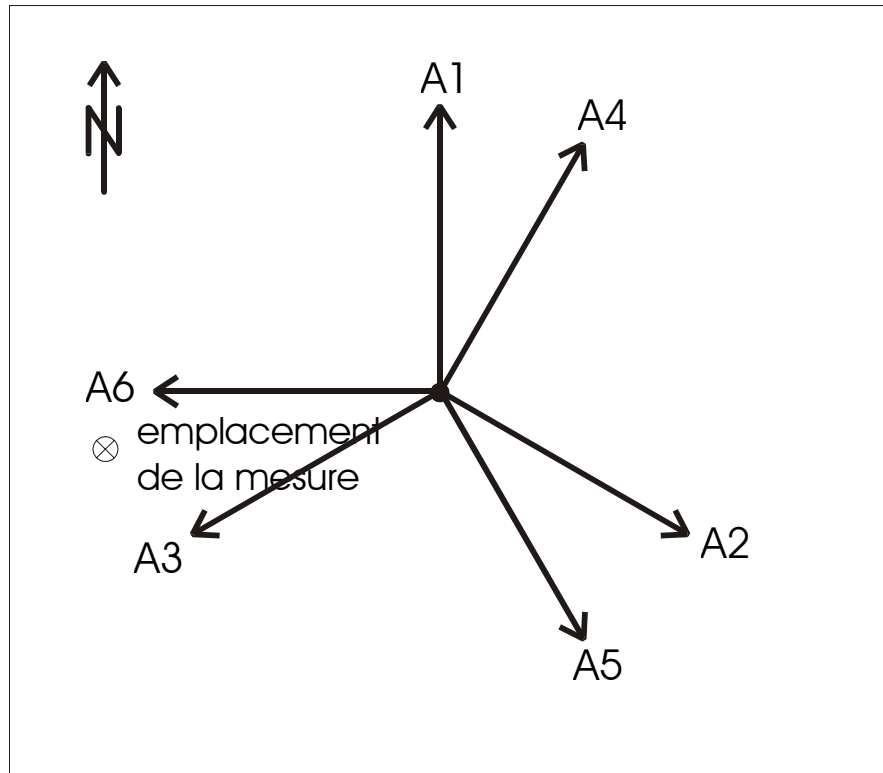


Figure A2.2: Schéma de l'installation 3 comportant les six directions principales et la position de l'emplacement de la mesure

Mesure à large bande concernant l'installation 3

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'une sonde à large bande à l'emplacement de la mesure situé près de l'installation 3.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} vaut 1,51 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on emploiera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.6, soit une valeur de 7,07.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 1,51 \text{ V/m} \cdot 7,07 = 10,68 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Il faut procéder à une mesure spectrale ou une mesure à sélection de code.

Mesure spectrale concernant l'installation 3

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de fréquence près de l'installation 3. L'intensité de champ électrique maximale (locale) $E_{f, \max}$ est saisie pour chaque fréquence UMTS f . On effectue ensuite la somme quadratique des valeurs mesurées relatives aux fréquences d'un réseau et on extrapole au moyen du facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.6, relatif au réseau concerné. Les valeurs mesurées $E_{f, \max}$, les facteurs d'extrapolation K et les valeurs extrapolées E_e concernant chaque opérateur figurent dans le tableau A2.7.

Opérateur	Fréquence f [MHz]	$E_{f, \max}$ [V/m] (valeur mesurée)	Facteur d'extrapolation K	Valeur mesurée E_e [V/m]
Opérateur 1	2112,5	0,80	5,48	6,56
	2117,5	0,89		
Opérateur 2	2127,5	0,21	7,07	2,65
	2132,5	0,31		

Tableau A 2.7: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour chaque opérateur

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{e, \text{opérateur 1}}^2 + E_{e, \text{opérateur 2}}^2} = \sqrt{6,56^2 + 2,65^2} \text{ V/m} = 7,08 \text{ V/m}$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Il faut procéder à une mesure à sélection de code.

Mesure à sélection de code concernant l'installation 3

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de code près de l'installation 3. Pour chaque fréquence UMTS f et chaque code de brouillage, donc pour chaque cellule, on saisit l'intensité de champ électrique $E_{i, j, \max}$ du CPICH primaire. On effectue ensuite la somme quadratique des valeurs mesurées relatives aux cellules alimentées par une antenne j et une extrapolation au moyen du facteur d'extrapolation K_j de l'antenne concernée.

Les valeurs mesurées $E_{i, j, \max}$, les facteurs d'extrapolation K_j et les valeurs extrapolées $E_{j, e}$ concernant les diverses antennes figurent dans le tableau A2.8.

Opérateur	Antenne j	Cellule i	$E_{i,j,max}$ du CPICH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_j	Valeur extra- polée $E_{j,e}$ [V/m]
Opérateur 1	A1	1 2	0,11 0,09	3,16	0,45
	A2	1 2	0,12 0,15	3,16	0,61
	A3	1 2	0,33 0,26	5,48	2,30
Opérateur 2	A4	1 2	0,14 0,11	7,07	1,26
	A5	1 2	0,27 0,26	5,00	1,87
	A6	1 2	0,47 0,81	5,16	4,83

Tableau A2.8: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour chaque antenne

Pour les deux opérateurs on obtient les résultats intermédiaires suivants:

$$E_{opérateur\ 1,e} = \sqrt{0,45^2 + 0,61^2 + 2,30^2} \text{ V/m} = 2,42 \text{ V/m}$$

$$E_{opérateur\ 2,e} = \sqrt{1,26^2 + 1,87^2 + 4,83^2} \text{ V/m} = 5,33 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{opérateur\ 1,e}^2 + E_{opérateur\ 2,e}^2} = \sqrt{2,42^2 + 5,33^2} \text{ V/m} = 5,85 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. Le résultat de la mesure à sélection de code prime celui de la mesure spectrale et celui de la mesure à large bande. La valeur limite de l'installation est respectée.

Exemple 2.4

Description de l'installation 4

Deux opérateurs de réseau se partagent un site d'antennes. Les deux opérateurs émettent chacun sur deux fréquences dans trois directions par les *mêmes* antennes A1, A2 et A3. Chaque antenne alimente ainsi quatre cellules. Les directions d'émission et l'emplacement de la mesure sont représentés sur la figure A2.3.

Les données techniques de l'installation et les facteurs d'extrapolation qui en ont été déduits figurent dans le tableau A2.9.

L'installation décrite est purement une installation UMTS. La valeur limite de l'installation est donc de 6 V/m.

Opérateur	Antenne j	Cellule i	Direction principale de propagation horizontale	Code de brouillage	Fréquence porteuse f [MHz]	Puissance émettrice (ERP) $P_{i,i}$ du CPICH [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{j,adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_j
Opérateur 1	A1	1 2	30°	151 152	2112,5 2117,5	30 30	600	3,16
	A2	1 2	150°	153 154	2112,5 2117,5	20 40	600	3,16
	A3	1 2	270°	155 156	2112,5 2117,5	10 10	600	5,48
Opérateur 2	A1	1 2	30°	121 122	2127,5 2132,5	5 5	500	7,07
	A2	1 2	150°	123 124	2127,5 2132,5	10 10	500	5,00
	A3	1 2	270°	125 126	2127,5 2132,5	10 5	400	5,16

Tableau A2.9: Données techniques de l'installation 4 (en gris, données fournies par l'opérateur) et facteurs d'extrapolation K_j qui en ont été déduits.

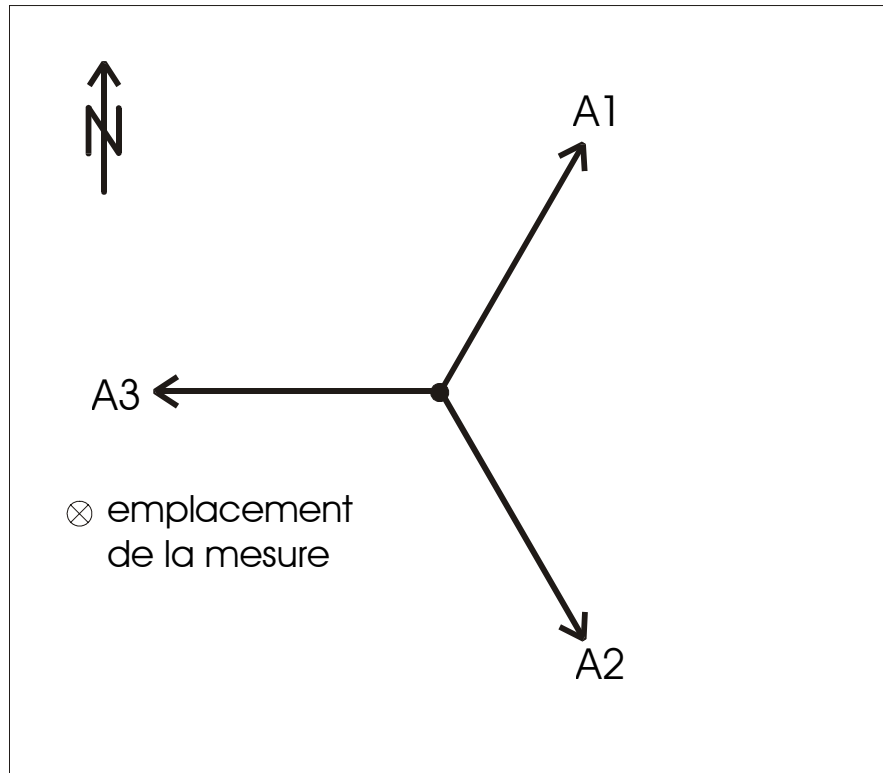


Figure A2.3: Schéma de l'installation 4 comportant les trois directions principales et la position de l'emplacement de la mesure.

Mesure à large bande concernant l'installation 4

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'une sonde à large bande à l'emplacement de la mesure situé près de l'installation 4.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} vaut 1,37 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.9, soit une valeur de 7,07.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 1,37 \text{ V/m} \cdot 7,07 = 9,69 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Il faut procéder à une mesure spectrale ou à une mesure à sélection de code.

Mesure spectrale concernant l'installation 4

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement pour mesure à sélection de fréquence à l'emplacement de la mesure situé près de l'installation 4. L'intensité de champ électrique maximale (locale) $E_{f,max}$ est saisie pour chaque fréquence UMTS f . On effectue ensuite la somme quadratique des valeurs mesurées relatives aux fréquences d'un réseau et on extrapole au moyen du facteur d'extrapolation K_j le plus élevé du tableau A2.9, relatif au réseau concerné.

Les valeurs mesurées $E_{f,max}$, les facteurs d'extrapolation K et les valeurs extrapolées E_e concernant chaque opérateur figurent dans le tableau A2.10.

Opérateur	Fréquence f [MHz]	$E_{f,max}$ (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K	Valeur extrapolée E_e [V/m]
Opérateur 1	2112,5	0,71	5,48	4,99
	2117,5	0,57		
Opérateur 2	2127,5	0,29	7,07	3,00
	2132,5	0,31		

Tableau A 2.10: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour chaque opérateur

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{e,opérateur\ 1}^2 + E_{e,opérateur\ 2}^2} = \sqrt{4,99^2 + 3,00^2} \text{ V/m} = 5,82 \text{ V/m}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Mesure à sélection de code concernant l'installation 4

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'un équipement pour mesure à sélection de code à l'emplacement de la mesure situé près de l'installation 4. Pour chaque fréquence UMTS f et chaque code de brouillage, donc pour chaque cellule, on saisit l'intensité de champ électrique $E_{i,j,max}$ du CPICH primaire. On effectue ensuite la somme quadratique des valeurs mesurées relatives aux cellules d'un opérateur, alimentées par une antenne j et une extrapolation au moyen du facteur d'extrapolation K_j de l'antenne concernée.

Les valeurs mesurées $E_{i,j,max}$, les facteurs d'extrapolation K_j et les valeurs extrapolées $E_{j,e}$ concernant les diverses antennes figurent dans le tableau A2.11.

Opérateur	Antenne j	Cellule i	$E_{i,j,max}$ du CPICH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_j	Valeur extra- polée $E_{j,e}$ [V/m]
Opérateur 1	A1	1 2	0,12 0,09	3,16	0,47
	A2	1 2	0,08 0,12	3,16	0,46
	A3	1 2	0,31 0,26	5,48	2,22
Opérateur 2	A1	1 2	0,06 0,03	7,07	0,47
	A2	1 2	0,07 0,05	5,00	0,43
	A3	1 2	0,39 0,21	5,16	2,29

Tableau A2.11: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour chaque antenne et chaque opérateur

Pour les deux opérateurs on obtient les résultats intermédiaires suivants:

$$E_{opérateur\ 1,e} = \sqrt{0,47^2 + 0,46^2 + 2,22^2} \text{ V/m} = 2,32 \text{ V/m}$$

$$E_{opérateur\ 2,e} = \sqrt{0,47^2 + 0,43^2 + 2,29^2} \text{ V/m} = 2,38 \text{ V/m}.$$

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{opérateur\ 1,e}^2 + E_{opérateur\ 2,e}^2} = \sqrt{2,32^2 + 2,38^2} \text{ V/m} = 3,32 \text{ V/m}.$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Annexe 3 Exemple de calcul de la valeur d'appréciation d'installations combinées UMTS/GSM

Le calcul de la valeur d'appréciation E_A est illustré sur l'exemple d'une installation combinée UMTS/GSM typique, tant pour la mesure à large bande que pour la mesure spectrale⁹ et la mesure à sélection de code.

Il doit exister une fiche de données spécifique au site montrant la puissance émettrice ERP admise pour chaque antenne UMTS et GSM. Par puissance émettrice admise on entend, en UMTS, la somme des puissances d'émission du CPICH primaire, des autres canaux de signalisation et de tous les canaux de données, et, en GSM, la somme des puissances d'émission du BCCH et des TCH de l'antenne concernée. Lorsque plusieurs opérateurs utilisent le même site, ces puissances d'émission sont en général indiquées et admises séparément pour chaque opérateur.

L'opérateur du réseau est tenu de mettre à disposition notamment les données techniques suivantes, valables au moment de la mesure:

UMTS

- Puissance émettrice (ERP) actuelle $P_{i,j}$ du CPICH de chaque cellule i alimentée par l'antenne j .
- Fréquence porteuse pour chaque cellule i .
- Code de brouillage pour chaque cellule i .

GSM

- Puissance émettrice (ERP) actuelle P_i à la fréquence du BCCH de chaque cellule i .
- Répartition actuelle des fréquences BCCH et TCH entre les cellules et les antennes.

Pour l'UMTS, le calcul des facteurs d'extrapolation est expliqué au chap. 5 de la présente recommandation sur les mesures, pour le GSM il est expliqué aux rubriques 5.3 et 6.3 de la recommandation sur les mesures GSM.

Description de l'installation

Un opérateur de réseau alimente trois cellules UMTS et trois cellules GSM900 au moyen de six antennes fixées sur un mât. Les directions principales de propagation des trois antennes UMTS (A1 – A3) font entre elles un angle de 120°. L'angle entre les directions principales de propagation des trois antennes GSM900 (A4-A6) est également de 120°. Les directions d'émission du GSM900 sont toutefois décalées de

⁹ Dans la recommandation sur les mesures GSM on utilise la notion synonyme « à sélection de fréquence ».

60° par rapport à celles de l'UMTS. Les directions d'émission et l'emplacement de la mesure sont représentés sur la figure A3.1.

Les données techniques de l'installation et les facteurs d'extrapolation qui en ont été déduits figurent dans le tableau A3.1.

L'installation décrite est une installation mixte GSM900/UMTS. La valeur limite de l'installation est donc de 5 V/m.

UMTS	Antenne j	Cellule i	Direction principale de propagation horizontale	Code de brouillage	Fréquence porteuse f [MHz]	Puissance émettrice (ERP) actuelle $P_{i,j}$ du CPICH [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{j,adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_j
	A1	1	0°	151	2117,6	50	710	3,77
	A2	1	120°	152	2117,6	40	710	4,21
	A3	1	240°	153	2117,6	50	710	3,77
GSM	Antenne	Cellule i	Direction principale de propagation horizontale		Fréquence du BCCH [MHz]	Puissance émettrice (ERP) actuelle P_i du BCCH [W]	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{i,adm}$ [W]	Facteur d'extrapolation K_i
	A4	1	60°		947,6	273	710	1,61
	A5	2	180°		948,0	273	710	1,61
	A6	3	300°		951,4	273	710	1,61

Tableau A3.1: Données techniques de l'installation (en gris, données fournies par l'opérateur) et facteurs d'extrapolation K_j (UMTS) et K_i (GSM) qui en ont été déduits.

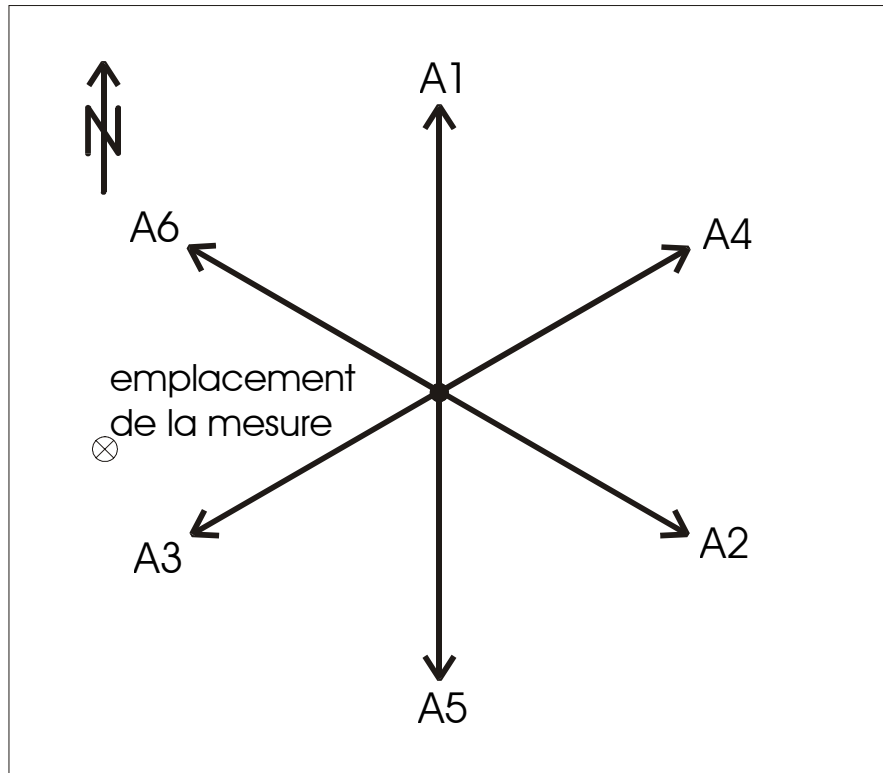


Figure A3.1: Schéma de l'installation comportant les six directions principales pour UMTS et GSM, et la position de l'emplacement de la mesure.

Mesure à large bande

L'intensité de champ électrique est mesurée au moyen d'une sonde à large bande près de l'installation. La sonde est spécifiée pour le GSM900 et la bande de fréquence UMTS.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} vaut 1,65 V/m. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation le plus élevé du tableau A3.1. Le facteur d'extrapolation le plus élevé est égal à 4,21.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 1,65 \text{ V/m} \cdot 4,21 = 6,95 \text{ V/m}.$$

La valeur d'appréciation est supérieure à la valeur limite de l'installation. On ne peut cependant pas en conclure que celle-ci est dépassée. Dans le cas du GSM, il faut procéder à une mesure à sélection de fréquence et, dans le cas de l'UMTS, à une mesure spectrale ou à sélection de code.

Mesure spectrale

Les intensités de champ électrique dues à l'UMTS et le GSM sont mesurées au moyen d'un équipement pour mesure à sélection de fréquence près de l'installation.

UMTS

La valeur mesurée maximale (locale) $E_{f,max}$ vaut 0,96 V/m pour l'UMTS. Comme facteur d'extrapolation K on utilisera le facteur d'extrapolation K_j le plus élevé (pour l'UMTS !) du tableau A3.1. Le facteur d'extrapolation concernant l'UMTS est égal à 4,21.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_{A,UMTS} = E_{f,max} \cdot K = 0,96 \text{ V/m} \cdot 4,21 = 4,04 \text{ V/m.}$$

GSM

L'intensité de champ maximale $E_{i,max}$ est saisie séparément pour chaque BCCH de l'antenne GSM et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation correspondant K_i (pour le GSM !) du tableau A3.1. Les valeurs mesurées $E_{i,max}$, les facteurs d'extrapolation K_i et les valeurs extrapolées $E_{i,e}$ pour le GSM figurent dans le tableau A3.2.

Cellule i	Antenne	$E_{i,max}$ du BCCH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_i	Valeur extrapolée $E_{i,e}$ [V/m]
1	A4	0,25	1,61	0,40
2	A5	0,55	1,61	0,89
3	A6	0,61	1,61	0,98

Tableau A3.2: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour les antennes GSM.

Pour le GSM, la valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_{A,GSM} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 E_{i,e}^2} = \sqrt{0,40^2 + 0,89^2 + 0,98^2} \text{ V/m} = 1,38 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation E_A de l'ensemble de l'installation se calcule comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{A,UMTS}^2 + E_{A,GSM}^2} = \sqrt{4,04^2 + 1,38^2} \text{ V/m} = 4,26 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Mesure spectrale (GSM) et mesure à sélection de code (UMTS)

Pour le GSM, l'intensité de champ électrique au lieu de mesure situé près de l'installation est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de fréquence, pour l'UMTS elle est mesurée au moyen d'un équipement à sélection de code.

GSM

L'intensité de champ maximale (locale) $E_{i,max}$ est saisie séparément pour chaque BCCH de l'antenne GSM et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation correspondant K_i relatif au GSM du tableau A3.1. Les valeurs mesurées $E_{i,max}$, les facteurs d'extrapolation K_i et les valeurs extrapolées $E_{i,e}$ concernant le GSM figurent dans le tableau A3.3.

Cellule i	Antenne	$E_{i,max}$ du BCCH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_i	Valeur extrapolée $E_{i,e}$ [V/m]
1	A4	0,25	1,61	0,40
2	A5	0,55	1,61	0,89
3	A6	0,61	1,61	0,98

Tableau A3.3: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour les antennes GSM.

Pour le GSM, la valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_{A,GSM} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 E_{i,e}^2} = \sqrt{0,40^2 + 0,89^2 + 0,98^2} \text{ V/m} = 1,38 \text{ V/m}.$$

UMTS

L'intensité de champ maximale (locale) $E_{i,j,max}$ est saisie pour chaque CPICH primaire des antennes UMTS et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation correspondant K_j relatif à l'UMTS du tableau A3.1. Les valeurs mesurées $E_{i,j,max}$, les facteurs d'extrapolation K_j et les valeurs extrapolées $E_{j,e}$ concernant l'UMTS figurent dans le tableau A3.4.

Antenne j	Cellule i	$E_{i,j,max}$ du CPICH (valeur mesurée) [V/m]	Facteur d'extrapolation K_j	Valeur extrapolée $E_{j,e}$ [V/m]
A1	1	0,15	3,77	0,56
A2	1	0,11	4,21	0,46
A3	1	0,24	3,77	0,90

Tabelle A3.4: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées pour les antennes UMTS

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_{A,UMTS} = \sqrt{0,56^2 + 0,46^2 + 0,90^2} \text{ V/m} = 1,16 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation E_A relative à toute l'installation est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{E_{A,UMTS}^2 + E_{A,GSM}^2} = \sqrt{1,16^2 + 1,38^2} \text{ V/m} = 1,80 \text{ V/m.}$$

La valeur d'appréciation est inférieure à la valeur limite de l'installation. La valeur limite de l'installation est respectée.

Annexe 4 Liste des abréviations

CPICH	Common Pilot Channel	
FDD	Frequency Division Duplex	
GSM	Global System for Mobile Communication	
LUS	Lieu à utilisation sensible	
ORNI	Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant	
RNI	Rayonnement non ionisant	
TDD	Time Division Duplex	
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (rapport des ondes stationnaires)	
E_A	Valeur d'appréciation de l'installation	V/m
$E_{f, max}$	Valeur maximale (locale) mesurée de l'intensité de champ électrique relative à la fréquence UMTS f (mesure spectrale)	V/m
E_e	Valeur extrapolée pour un réseau UMTS donné (mesures spectrale et à sélection de code)	V/m
$E_{i, j, max}$	Valeur maximale (locale) mesurée de l'intensité de champ électrique du CPICH de la cellule i , émise par l'antenne j (mesure à sélection de code)	V/m
$E_{j, e}$	Valeur extrapolée pour l'antenne j (mesure à sélection de code)	V/m
E_{max}	Valeur maximale (locale) mesurée de l'intensité de champ électrique (mesure à large bande)	V/m
f	Fréquence porteuse du signal UMTS	MHz
i	Indice de la cellule	
j	Indice de l'antenne	
K	Facteur d'extrapolation pour le calcul de la valeur d'appréciation (mesures à large bande et spectrale)	—
K_j	Facteur d'extrapolation pour l'antenne j (mesure à sélection de code)	—
k_q	Diviseur pour l'incertitude de mesure concernant le paramètre q	—
n	Nombre d'antennes émettant des signaux UMTS d'un réseau donné	—
$P_{i, j}$	Puissance émettrice (ERP) actuelle du CPICH de la cellule i , émise par l'antenne j	W
$P_{j, adm}$	Puissance émettrice (ERP) admise (UMTS) pour l'antenne j (somme des canaux de signalisation et de trafic)	W
r	Facteur de réflexion r	—
u	Incertitude standard du résultat de mesure	%

U	Incertitude élargie du résultat de mesure pour un niveau de confiance de 95 %	%
U_D	Incertitude élargie due aux désadaptations	%
u_m	Incertitude standard de l'équipement de mesure	%
U_m	Incertitude élargie de l'équipement de mesure	%
u_p	Incertitude standard de la prise d'échantillon	%
U_p	Incertitude élargie de la prise d'échantillon	%