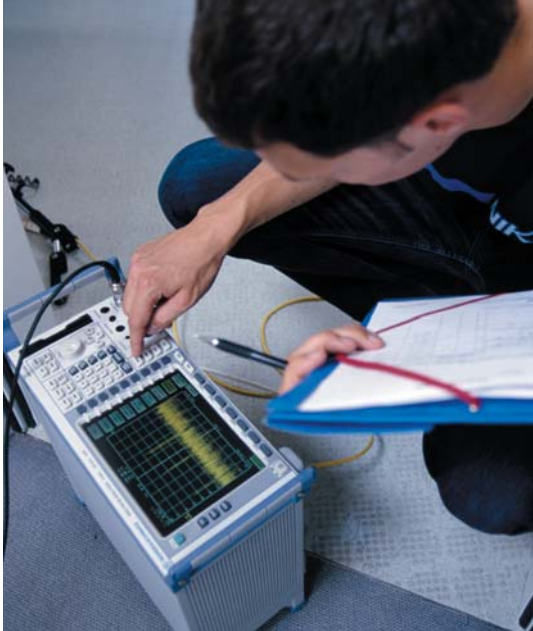


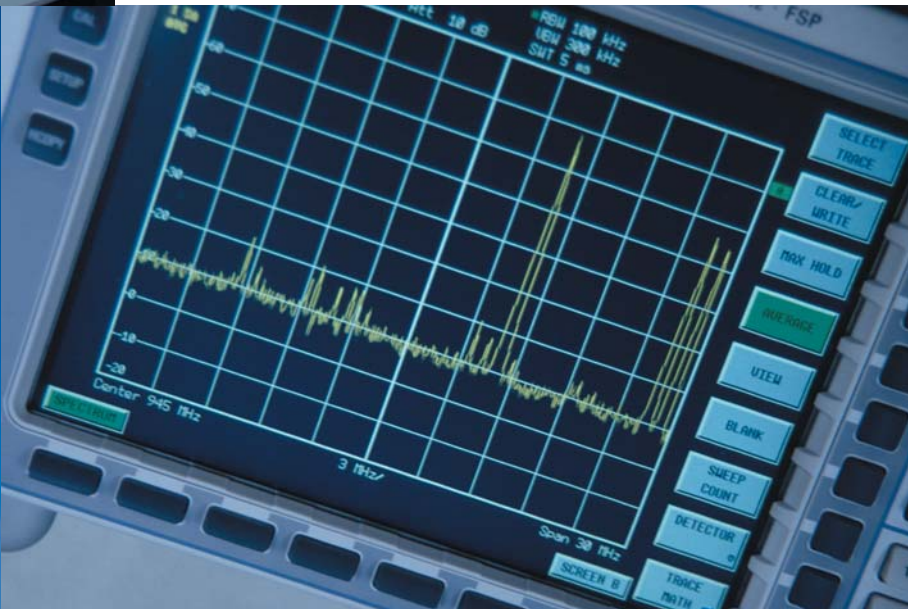


L'environnement pratique

Rayonnement non ionisant

**Stations de base
pour téléphonie mobile
(GSM)**

Recommandation sur les mesures



m e t a s
métrologie et accréditation suisse



**Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP**

Rayonnement non ionisant

**Stations de base
pour téléphonie mobile
(GSM)**

Recommandation sur les mesures

**Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts
et du paysage OFEFP et par
l'Office fédéral de métrologie
et d'accréditation METAS
Berne, 2002**

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une recommandation pour l'exécution, élaborée par l'OFEFP en tant qu'autorité de surveillance, qui s'adresse en premier lieu aux autorités d'exécution. Elle concrétise des notions juridiques indéterminées de lois et d'ordonnances et doit permettre ainsi une pratique d'exécution uniforme. L'OFEFP publie de telles recommandations (souvent appelées aussi directives, instructions, manuels, aides pratiques, etc.) dans sa collection « L'environnement pratique ». Ces recommandations garantissent dans une grande mesure l'égalité devant la loi et la sécurité du droit tout en permettant de trouver des solutions flexibles et adaptées aux cas particuliers. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe qu'elles se conforment au droit fédéral. D'autres solutions ne sont pas exclues; selon la jurisprudence, il faut cependant prouver qu'elles sont conformes au droit.

Editeur

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, OFEFP
Office fédéral de métrologie et d'accréditation, METAS

Rédaction

Section Rayonnement non ionisant, OFEFP
Section RF, CEM et trafic, METAS

Langues

La présente publication est également disponible en allemand.

Internet

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

Photos Couverture

© Emanuel Ammon / AURA et OFEFP

Commande

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Documentation
CH-3003 Berne
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Numéro de commande

VU-5800-F

Table des matières

Abstracts	5
Avant-propos	7
1 But et champ d'application	9
2 A propos de la technique GSM	11
2.1 Le système de téléphonie mobile GSM	11
2.2 L'interface radio	11
2.3 Canal de signalisation et canaux de trafic	12
2.4 Autres fonctions particulières de l'interface radio	13
2.4.1 Réglage de puissance (Power control)	13
2.4.2 Saut de fréquence (Slow frequency hopping)	13
2.4.3 Transmission discontinue (Discontinuous transmission)	13
3 Les exigences de l'ORNI	15
4 Généralités concernant les mesures	17
4.1 Exploitation de l'installation lors de la mesure	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	18
4.5 Emplacement de la mesure	18
4.6 Moment et durée de la mesure	19
4.7 Mesure à large bande et mesure à sélection de fréquence	19
4.8 Incertitude de mesure et étalonnage	20
4.8.1 Généralités sur l'incertitude de mesure	20
4.8.2 Incertitude de l'équipement de mesure	21
4.8.3 Incertitude de la prise d'échantillon	22
4.8.4 Exigence posée à l'incertitude de mesure	22
4.8.5 Etalonnage	23
4.9 Rapport de mesure	23
5 Mesure à large bande	25
5.1 Méthode de mesure	25
5.2 Equipement de mesure	25
5.3 Calcul de la valeur d'appréciation	26

6	Mesure à sélection de fréquence	27
6.1	Méthode de mesure	27
6.2	Equipement de mesure	28
6.2.1	Antennes	28
6.2.2	Analyseur de spectre / récepteur de mesure	28
6.2.3	Câble	29
6.3	Calcul de la valeur d'appréciation	29
7	Cas particuliers	31
Annexe 1	Exemples de calcul de l'incertitude de mesure	33
Exemple 1.1:	Sonde à large bande étalonnée individuellement	35
Exemple 1.2:	Equipement pour mesure à sélection de fréquence, l'antenne et le câble ayant été étalonnés séparément	38
Annexe 2	Exemples de calcul de la valeur d'appréciation	43
Exemple 2.1:	Description de l'installation 1	44
	Mesure à large bande concernant l'installation 1	45
	Mesure à sélection de fréquence concernant l'installation 1	45
Exemple 2.2	Description de l'installation 2	46
	Mesure à large bande concernant l'installation 2	47
	Mesure à sélection de fréquence concernant l'installation 2	48
Annexe 3	Liste des abréviations	49

Abstracts

This publication provides instructions for enforcement authorities and measuring laboratories, on how radiation from mobile telecommunication base stations of the GSM 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 GSM 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; GSM; 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 GSM. 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 GSM, 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; GSM; accréditation

Diese Publikation ist eine Anleitung für Vollzugsbehörden und Messlabors, wie die Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen der GSM-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 GSM-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; GSM; 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 GSM. 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 GSM 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; GSM; accreditalmento

Avant-propos

En Suisse, ces dernières années, la téléphonie mobile s'est développée à une vitesse vertigineuse. Actuellement plus des deux tiers de la population profitent de ses avantages. Son mode de fonctionnement suppose des antennes émettrices réparties sur tout le territoire, établissant la liaison avec les téléphones mobiles par ondes radio. Par nature ces antennes libèrent un rayonnement haute fréquence dans l'environnement. Le Conseil fédéral a fixé des valeurs limites pour ce rayonnement dans l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) entrée en vigueur le 1^{er} février 2000. Les autorités compétentes des cantons et des communes sont tenues de veiller au respect de ces valeurs limites. A cet effet, elles contrôlent les installations de téléphonie mobile en se basant, au stade de la planification, sur un calcul de prévision et, après mise en service des installations, sur des mesures de rayonnement.

La présente recommandation traite le second point, soit les mesures. Il s'est avéré qu'il existait à ce propos une part de liberté incompatible avec la fiabilité des résultats de mesure, les valeurs d'appréciation dépendant en effet sensiblement de la méthode utilisée et de la manière de prendre en compte l'incertitude de mesure. Suite à des discussions approfondies avec les milieux concernés et à une décision du Chef de département du DETEC, cette latitude d'appréciation a été limitée au point qu'une méthode claire puisse maintenant être proposée.

La présente recommandation sur les mesures donne des instructions détaillées sur la manière dont il convient de mesurer et d'évaluer le rayonnement des antennes de téléphonie mobile des réseaux GSM. Elle a été élaborée sous la responsabilité de l'OFEFP et en étroite collaboration avec l'Office fédéral de métrologie et d'accréditation (METAS). Elle contribuera à l'uniformisation de l'exécution de l'ORNI dans le domaine de la téléphonie mobile et constitue en même temps la base matérielle pour l'accréditation des entreprises de mesure. Les deux offices fédéraux souhaitent ainsi apporter une contribution à une exécution sûre de l'ORNI et, par conséquent, à la protection de la population.

Ulrich Feller

Vice-directeur de METAS

Bruno Oberle

Sous-directeur de l'OFEFP

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, les installations de communication mobile du rail (GSM-Rail) 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.¹ 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 des **antennes GSM**. Les installations émettrices comportant exclusivement des antennes GSM peuvent être mesurées et évaluées pleinement au moyen de la présente recommandation sur

¹ 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.

les mesures. Les installations émettrices pour téléphonie mobile, comportant, outre les antennes GSM, des antennes UMTS, Tetrapol, TETRA ou WLL, ne peuvent pas être pleinement évaluées uniquement au moyen de la présente recommandation. En pareil cas, le rayonnement des autres antennes de l'installation doit aussi être mesuré et pris en compte lors de l'évaluation.²

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.

² Des recommandations spécifiques à la mesure et à l'évaluation du rayonnement des services de radiocommunication cités, éventuellement en combinaison avec un rayonnement GSM, sont en préparation. A la base, les méthodes de mesure sont les mêmes que pour le rayonnement GSM, mais il convient de prendre en compte et d'exploiter les particularités techniques des services de radiocommunication correspondants. Le rayonnement Tetrapol peut en grande partie être mesuré avec les mêmes méthodes et les mêmes instruments que le rayonnement GSM.

2 A propos de la technique GSM

2.1 Le système de téléphonie mobile GSM

GSM (Global System for Mobile Communication) est le nom de la technique de téléphonie mobile de deuxième génération qui est actuellement exploitée en Suisse. Le GSM est un système de téléphonie mobile cellulaire. La zone desservie par un opérateur est divisée en cellules alimentées à partir d'une station de base. Une ou plusieurs fréquences d'émission (canaux) sont attribuées à chaque cellule; ces fréquences ne peuvent être réutilisées que par des cellules éloignées afin d'éviter des perturbations réciproques.

Pour établir une communication téléphonique, le téléphone mobile crée une liaison radio avec la station de base la plus proche. 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.

Sur un mât d'antennes ou le toit d'une maison peuvent être montées les antennes d'un ou plusieurs opérateurs de réseaux de téléphonie mobile. Un site d'antennes d'un opérateur du réseau alimente une ou plusieurs cellules (normalement pas plus de trois cellules dans la même bande de fréquence).

La répartition des cellules et l'attribution des fréquences sont régulièrement (après plusieurs mois) réoptimisées par l'opérateur du réseau afin que les sites des antennes et les fréquences donnés couvrent une zone aussi grande que possible et que les cellules puissent gérer les communications attendues si possible de manière optimale.

2.2 L'interface radio

Sur l'interface radio, la liaison entre le téléphone mobile et la station de base fonctionne selon un procédé combinant le multiplexage en fréquence et le multiplexage temporel.

En Suisse, à l'heure actuelle, les fréquences suivantes sont attribuées ou prévues d'être attribuées au GSM (cf. figure 1):

GSM 900:

Fréquence d'émission des appareils mobiles: 876 MHz – 915 MHz (uplink)

Fréquence d'émission des stations de base: 921 MHz – 960 MHz (downlink)

GSM 1800:

Fréquence d'émission des appareils mobiles: 1710 MHz – 1785 MHz (uplink)

Fréquence d'émission des stations de base: 1805 MHz – 1880 MHz (downlink)

La présente recommandation sur les mesures ne concerne que le rayonnement des **stations de base** GSM. Sont donc déterminantes les fréquences downlink.

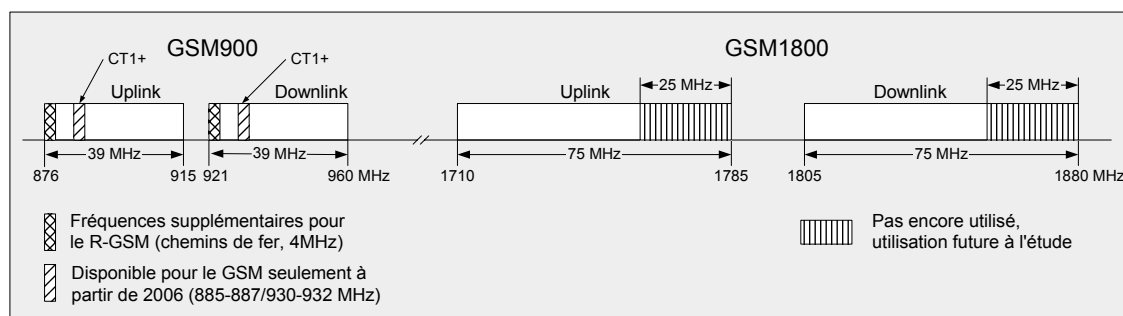


Figure 1: Bandes de fréquence réservées au GSM en Suisse.

2.3 Canal de signalisation et canaux de trafic

Une station de base émet en général sur plusieurs fréquences fixes. Chaque fréquence constitue un **canal** (physique). Chaque canal organise l'information qu'il doit transmettre en huit intervalles de temps dans le cadre d'un accès multiple à répartition dans le temps AMRT (TDMA, time domain multiple access). Les intervalles de temps de 0,58 ms sont répétés toutes les 4,615 ms (217 Hz). Des informations indépendantes les unes des autres peuvent être transmises dans chacun de ces intervalles de temps. Sur une fréquence d'émission, c'est-à-dire sur un canal, il est donc possible de transmettre simultanément un maximum de huit conversations (ou autres données).

Pour chaque cellule de la station de base, il existe au moins un canal émettant à puissance constante. Il s'agit du canal appelé BCCH (canal de signalisation, Broadcast Control Channel). Celui-ci sert, entre autres, à indiquer au téléphone mobile les stations de base de la région qui sont actives. Il sert aussi à créer la liaison. Le niveau de réception des diverses fréquences BCCH permet au téléphone mobile de trouver la cellule la plus favorable à un endroit donné. Les signaux de commande n'utilisent toutefois pas les huit intervalles si bien que la fréquence BCCH peut également être utilisée pour des communications vocales. Si les intervalles de temps de la fréquence BCCH ne sont pas tous utilisés pour des signaux de commande ou des communications vocales, les intervalles libres sont comblés avec des signaux neutres. Ainsi, le canal de signalisation émet à puissance constante. Ceci est exploité dans la méthode de mesure à sélection de fréquence (cf. chap. 6).

Il existe normalement, en plus du BCCH, une à plusieurs autres fréquences par lesquelles on transmet principalement des communications vocales. Un tel canal, appelé TCH (canal de trafic, traffic channel), n'émet de puissance – au contraire du BCCH – que lorsque des communications vocales doivent être transmises. La puissance d'émission des TCH n'est donc pas constante, mais elle varie rapidement et parallèlement à la charge du réseau. En outre, il faut noter que la puissance d'émission peut être réglée de manière dynamique pour chaque intervalle de temps (cf. § 2.4.1).

2.4 Autres fonctions particulières de l'interface radio

Les configurations modernes des réseaux utilisent d'autres fonctions particulières pour améliorer la qualité du réseau.

2.4.1 Réglage de puissance (Power control)

Le réglage de puissance permet l'utilisation d'une puissance émettrice minimale pour chaque liaison tout en garantissant la qualité de celle-ci. La pile du téléphone mobile est ainsi moins sollicitée, et l'interférence entre les cellules est réduite dans l'ensemble du réseau. Cette fonction est implémentée par défaut sur les téléphones mobiles et, en général, aussi sur la station de base. Dans ces conditions, la puissance émettrice de la station de base est réglée séparément pour chaque intervalle de temps. La puissance émettrice totale d'une station de base dépend donc non seulement du nombre de communications vocales en cours, mais également du lieu où se trouvent les téléphones mobiles concernés. Dans le cas des stations de base GSM, le BCCH, qui émet à puissance constante, fait exception.

2.4.2 Saut de fréquence (Slow frequency hopping)

A chaque nouvel intervalle de temps GSM, l'émetteur et le récepteur passent sur un(e) autre des canaux (fréquences) à disposition. Ainsi, dans le cas de la propagation à plusieurs voies, la liaison est moins sensible aux perturbations. Le nombre de fréquences utilisées de la sorte peut être plus élevé que dans le cas d'un système sans sauts de fréquences de même puissance d'émission. Pour l'extrapolation au mode d'exploitation déterminant, ce n'est toutefois pas le nombre de canaux effectivement utilisés qui est décisif dans le cas des systèmes à sauts de fréquences, mais le nombre de canaux pouvant être actifs en même temps.

2.4.3 Transmission discontinue (Discontinuous transmission)

Lorsque cette fonction est enclenchée, le système vérifie, en permanence, s'il existe un signal de communication vocale. Le taux de transfert de données est réduit en cas de silence de l'interlocuteur, économisant ainsi la capacité de la pile. A la place du signal vocal, un bruit de fond synthétique (comfort noise) est introduit afin que le partenaire n'ait pas l'impression que la conversation est interrompue. Il est possible d'installer cette fonction dans les deux directions de transfert (uplink et downlink).

3 Les exigences de l'ORNI

Les dispositions concernant les stations de base GSM 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 la 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: a. 4,0 V/m pour les installations qui émettent exclusivement dans la gamme de fréquence de 900 MHz environ; b. 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; c. 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 GSM900, GSM1800, GSM-Rail, UMTS, 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 considérée³. La présente recommandation sur les mesures concerne la partie du rayonnement due aux antennes GSM.

Le mode d'exploitation déterminant (transfert maximal de communications vocales et de données au maximum de la puissance d'émission) est plutôt rarement en fonction. De plus, il est difficile d'enclencher, de manière ciblée, ce mode d'exploitation durant la mesure. C'est pourquoi la mesure est en général effectuée dans le mode d'exploitation effectif de l'installation. La valeur mesurée est 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:

- 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.

³ On peut déroger à ce principe lorsque les conditions suivantes sont simultanément remplies:

- il s'agit de la modification d'une installation existante;
- la modification ne concerne que certaines antennes de l'installation;
- les LUS les plus exposés après modification sont les mêmes que ceux avant modification;
- 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. 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 de la mesure

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.⁴

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 antennes émettrices GSM faisant partie de l'installation (concernant les exceptions, cf. chapitre 3, note de bas de page 3). Par une exploration appropriée de l'espace, on s'assure que l'intensité de champ saisie est localement la plus élevée.

On obtient un ou plusieurs **valeurs mesurées** selon la méthode employée (chap. 5 et 6).

4.2.2 Valeur d'appréciation

Les valeurs mesurées sont ensuite extrapolées au mode d'exploitation déterminant et additionnées, si plusieurs BCCH ont été saisis individuellement. Le résultat obtenu constitue ce qu'on appelle la **valeur d'appréciation** E_A . Celle-ci représente l'intensité du rayonnement GSM 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.

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 GSM, 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 radiocommunication sont présents sur l'installation (p.ex. UMTS ou Tetrapol), leurs contributions au rayonnement doivent également être mesurées; elles seront additionnées à la contribution de la partie GSM pour donner une valeur d'appréciation relative à l'ensemble de l'installation.

⁴ Lors des mesures de contrôle (cf. chapitre 1), on peut renoncer à orienter les antennes dans la direction critique correspondante, ces mesures s'intéressant non pas au mode d'exploitation provoquant la plus grande charge potentielle, mais au mode d'exploitation effectif.

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 certifie que l'entreprise 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.

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;
- 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:

- la répartition actuelle des fréquences BCCH et TCH entre les cellules;
- la désignation des cellules à sauts de fréquences et la répartition actuelle des fréquences pour l'exploitation avec sauts de fréquences;
- la répartition actuelle des fréquences entre les antennes et les polarisations;
- la puissance émettrice actuelle sur les fréquences BCCH;
- la puissance émettrice (maximale) actuelle sur les fréquences TCH;
- les directions émettrices effectives des antennes lors de la mesure.

4.5 Emplacement de la 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 fréquences BCCH, 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 mobi-

lier. 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 et durée de la mesure

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

La durée de mesure n'est pas déterminante non plus. Il n'est en particulier pas nécessaire de choisir une durée d'appréciation de 6 minutes.

4.7 Mesure à large bande et mesure à sélection de fréquence

La mesure à **large bande** (chap. 5) 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.

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 à sélection de fréquence. 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 à **sélection de fréquence** (chap. 6) ne vise que le rayonnement GSM de l'installation à mesurer.

Lorsque la valeur d'appréciation résultant d'une mesure à sélection de fréquence 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 radiocommunication sont présents sur l'installation (p.ex. UMTS ou Tetrapol), leurs contributions au rayonnement doivent également être mesurées; elles sont additionnées à la contribu-

tion de la partie GSM pour donner une valeur d'appréciation relative à l'ensemble de l'installation.

4.8 Incertitude de mesure et étalonnage

4.8.1 Généralités sur l'incertitude de mesure

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, qui sont liées à la variation du taux d'utilisation de l'installation avec le temps et 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 liée à la 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 doit être calculée par le laboratoire de mesure concerné sur la base des spécifications des appareils et de l'étalonnage, et figure dans le rapport de mesure. Elle peut différer d'une bande de fréquence à l'autre. Elle doit alors être déterminée séparément pour chaque bande de fréquence pour laquelle l'équipement est utilisé.

Pour calculer l'incertitude de l'équipement de mesure, on tient compte au moins des paramètres suivants:

Sondes à large bande

- Incertitude de l'étalonnage
- Déviation de la linéarité
- Réponse en fréquence
- Déviation de l'isotropie
- Influence de la modulation
- Influence de la température

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).

Équipement pour les mesures à sélection de fréquence

- 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
- 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.

Sur la base de l'expérience acquise jusqu'ici, 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, la charge variable des stations de base ainsi que 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 GSM. 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 $\pm 16,7\%$ dans chacune des bandes de fréquences dans lesquelles il est utilisé, 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. Pour l'incertitude de la prise d'échantillon on utilise une valeur fixe. L'incertitude de l'équipement de mesure doit être calculée par le laboratoire de mesure pour l'équipement correspondant.

	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, antennes et 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;
- l'heure de la mesure et les personnes ayant participé;
- les emplacements de mesure (schéma, photos, justification);
- le volume dans lequel le maximum a été recherché;
- les appareils de mesure utilisés et leurs incertitudes;
- 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.

5 Mesure à large bande

5.1 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.

5.2 Equipement de mesure

On peut employer comme instrument de mesure des sondes isotropes à large bande, dont la spécification correspond aux bandes de fréquences à mesurer et qui, dans le domaine d'intensité attendu, ne dépassent pas l'incertitude de mesure admise fixée au paragraphe 4.8.4.

Certaines sondes ne sont sensibles que dans une gamme de fréquences étroite (p.ex. entre 900 et 1800 MHz). D'où une probabilité plus faible de mesurer un rayonnement provenant de services de radiocommunication ne faisant pas partie de l'installation. De telles sondes sont toutefois considérées comme des sondes à large bande car elles ne permettent pas d'effectuer des mesures à sélection de fréquence ni d'identifier les canaux GSM. Ces équipements de mesure sont susceptibles des mêmes remarques et limitations que les sondes à large bande traditionnelles. Ces systèmes ne permettent pas non plus de montrer que la valeur limite de l'installation est dépassée, mais uniquement qu'elle est respectée. En raison de leur sensibilité limitée aux signaux parasites, la valeur d'appréciation déduite d'une mesure effectuée avec ces sondes se rapproche cependant de la valeur d'appréciation résultant d'une mesure à sélection de fréquence. En utilisant de telles sondes on pourra sans doute renoncer plus souvent aux mesures à sélection de fréquence qu'en utilisant des sondes à large bande traditionnelles.

5.3 Calcul de la valeur d'appréciation

Comme on ne connaît pas le mode d'exploitation actuel de l'installation, on admet l'hypothèse du pire scénario, à savoir que, durant la mesure, seuls les BCCH sont actifs et qu'il n'existe pas de sources parasites. Pour chaque cellule i alimentée par l'installation, on calcule un facteur d'extrapolation K_i au moyen de la formule suivante:

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,adm}}{P_i}} \quad (3)$$

Signification des symboles:

K_i facteur d'extrapolation de la cellule i

P_i puissance émettrice (ERP) **actuelle** du BCCH de la cellule i , exprimée en W

$P_{i,adm}$ puissance émettrice (ERP) **admise** de la cellule i , exprimée en W (BCCH et tous les TCH de la cellule i)

Pour calculer la valeur d'appréciation on utilise comme facteur d'extrapolation K le facteur K_i le plus élevé, car, en principe, on ne sait pas lequel des BCCH domine à l'endroit où la mesure est effectuée. Les valeurs types du facteur d'extrapolation K se situent entre 1,4 et 2,5.

Les puissances émettrices actuelles P_i sont reprises des données fournies par les opérateurs de réseau, les puissances émettrices admises $P_{i,adm}$ figurent sur la fiche de données spécifique au site.

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.

6 Mesure à sélection de fréquence

6.1 Méthode de mesure

L'intensité de champ électrique de chacune des fréquences BCCH est mesurée sélectivement à l'aide d'une antenne et d'un analyseur de spectre ou d'un récepteur de mesure.

A l'intérieur du volume de mesure, il faut rechercher le maximum de l'intensité de champ pour les fréquences BCCH concernées 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.

Comme il n'existe pas d'antennes isotropes appropriées aux mesures à sélection de fréquence, il faut effectuer la recherche du maximum, par rapport aux trois paramètres évoqués, avec une antenne non isotrope.

L'ensemble du volume de mesure est balayé manuellement avec une 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, le spectre 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 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 modifiés jusqu'à ce que le maximum de l'intensité de champ soit trouvé et enregistré pour chaque BCCH. Dans cette variante, la recherche spatiale est généralement effectuée séparément pour chacune des fréquences BCCH impliquées.

Variante 2:

Le volume de mesure est balayé systématiquement et lentement, avec des polarisations et des orientations d'antenne différentes, sans que le spectre soit observé lors du balayage. Des fréquences BCCH voisines 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.

La valeur maximale affichée $E_{i, max}$ pour le BCCH de chaque cellule i est introduite dans la formule (6).

6.2 Equipement de mesure

6.2.1 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.

6.2.2 Analyseur de spectre / récepteur de mesure

Pour faire la mesure à sélection de fréquence on peut utiliser un analyseur de spectre ou un récepteur de mesure disposant de la fonction «maximum hold». Les appareils doivent être étalonnés pour les mesures de valeurs efficaces et leurs incertitudes de mesure doivent être connues.

Les analyseurs de spectre et les récepteurs de mesure modernes sont équipés de divers détecteurs de signaux livrant des résultats légèrement différents dans le cas des signaux GSM. 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, la mesure effectuée avec un détecteur «true RMS» est considérée comme méthode de référence. La largeur de bande doit être de 200 kHz, ce qui correspond à la largeur de bande du BCCH. Les mesures effectuées avec un détecteur de crêtes et/ou avec une autre largeur de bande sont à considérer comme équivalentes pour autant que l'appareil ait été étalonné avec un signal dont la modulation correspond à celle d'un porteur de BCCH. Les appareils de mesure sans détecteur «true RMS» et sans étalonnage spécifique au GSM ont tendance à livrer des valeurs trop élevées. Néanmoins, de tels systèmes peuvent être utilisés pour effectuer les mesures; dans les cas limites on ne peut toutefois pas montrer que la valeur limite de l'installation est dépassée mais uniquement qu'elle est respectée. On ne doit procéder à aucune correction numérique.

Remarque: dans le GSM, la séparation des canaux est de 200 kHz. Normalement, l'attribution des fréquences est choisie de telle manière que les canaux voisins restent libres. Ceci peut être contrôlé au cas par cas par observation à l'aide de l'appareil effectuant la mesure à sélection de fréquence. Normalement, une mesure avec une largeur de bande de 200 ou 300 kHz est donc possible. Les largeurs de bande inférieures à 200 kHz sont à éviter, car l'intensité de champ effective est alors sous-évaluée.

6.2.3 Câble

Le câble reliant l'antenne à l'appareil de mesure doit lui-même 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.

6.3 Calcul de la valeur d'appréciation

Pour chaque cellule GSM i alimentée par l'installation on calcule un facteur d'extrapolation K_i au moyen de la formule suivante:

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,adm}}{P_i}} \quad (5)$$

Signification des symboles:

- K_i facteur d'extrapolation de la cellule i
- P_i puissance émettrice (ERP) **actuelle** du BCCH de la cellule i , exprimée en W
- $P_{i, adm}$ puissance émettrice (ERP) **admise** de la cellule i , exprimée en W (BCCH et tous les TCH de la cellule i)

Les puissances émettrices actuelles P_i sont reprises des données fournies par les opérateurs de réseau, les puissances émettrices admises $P_{i, adm}$ figurent sur la fiche de données spécifique au site.

On extrapole ensuite la valeur mesurée de chaque cellule GSM au mode d'exploitation déterminant:

$$E_{i,e} = E_{i,max} \cdot K_i \quad (6)$$

Signification des symboles:

- $E_{i,e}$ valeur extrapolée pour la cellule i , en V/m
- $E_{i,max}$ intensité de champ électrique maximale du BCCH de la cellule i , mesurée dans le volume de mesure, exprimée en V/m
- K_i facteur d'extrapolation pour la cellule i

La valeur d'appréciation E_A est calculée selon la formule suivante:

$$E_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_{i,e}^2} \quad (7)$$

Signification des symboles:

E_A valeur d'appréciation, en V/m

$E_{i,e}$ valeur extrapolée pour la cellule i , en V/m

n nombre de cellules alimentées par l'installation

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

7 Cas particuliers

Il y a risque de résultat de mesure faussé dans les cas décrits ci-après. Ces situations demandent donc une attention particulière de la part des laboratoires de mesure. Les dispositions particulières qui auront été prises seront enregistrées dans le rapport de mesure.

- Lorsque le canal voisin d'un BCCH est utilisé comme TCH avec des sauts de fréquence, il faut veiller à ce que l'appareil de mesure distingue très précisément les canaux, sinon l'intensité de champ du BCCH est surévaluée. Une mesure «true RMS» avec une largeur de bande de 200 kHz livre un résultat correct même dans ces conditions délicates.
- Si le BCCH et les TCH d'une cellule sont émis par des antennes différentes, on ne peut plus admettre que les TCH produisent à l'endroit de la mesure la même intensité de champ que le BCCH. L'extrapolation basée sur la valeur mesurée concernant le BCCH n'est alors pas fiable. En pareil cas, la part due aux TCH doit être mesurée séparément.

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.

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:

$$u = \sqrt{\sum_j u_j^2} = \sqrt{\sum_j \left(\frac{U_j}{k_j} \right)^2} \quad (8)$$

$$U = 2 \cdot u \quad (9)$$

Signification des symboles:

k_j	diviseur associé au paramètre j pour l'obtention de l'incertitude standard
u	incertitude standard de la mesure, en %
u_j	incertitude standard du paramètre j , en %
U	incertitude élargie de la mesure, en %
U_j	contribution spécifiée/estimée du paramètre j 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_j 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 GSM 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, mais une telle correction n'est judicieuse que pour un équipement destiné aux mesures à sélection de fréquence. Dans le cas des appareils de mesure à large bande, les fréquences des signaux à mesurer ne sont pas connues a priori, il n'est donc pas possible de corriger la réponse en fréquence.
- 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.

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.

Ci-après figurent deux exemples de calcul de l'incertitude élargie:

Exemple 1.1: Sonde à large bande étalonnée individuellement

Exemple 1.2: Equipement pour la mesure à sélection de fréquence, l'antenne et le câble ayant été étalonnés séparément

Exemple 1.1: Sonde à large bande étalonnée individuellement

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 enregistré dans 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 points de fréquence suivants: 800 MHz, 900 MHz, 1 GHz, 1,2 GHz, 1,4 GHz, 1,6 GHz, 1,8 GHz, 2 GHz etc., l'incertitude étant de $\pm 3,6$ V/m jusqu'à 1 GHz et de $\pm 3,8$ V/m entre 1,2 GHz et 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 et 1700 à 1900 MHz.

L'incertitude de mesure se compose des contributions suivantes:

- **Incetitude 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.

- **Déviatiion de la linéarité**

La déviation de la linéarité mentionnée dans le rapport d'étalonnage pour le domaine d'intensité de champ attendu (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 indiqué au tableau A1.1, de $\pm 3\%$, 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 $\pm 2\%$ 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 1900 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 $\pm 15\%$, 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 $\pm 14\%$. On indique, dans le tableau A1.1, une valeur de $\pm 14\%$, au titre de contribution à l'incertitude de mesure, et la distribution est normale.

- **Déviati on de l'isotropie**

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

- **Influence de la modulation**

L'influence de la modulation peut être estimée à partir d'une courbe relative aux signaux GSM et figurant sur la fiche de données. Pour des intensités allant jusqu'à 10 V/m, la déviation est inférieure à $\pm 5\%$, en admettant une 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_j	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
Déviations de l'isotropie	fiche de données	± 12	rectangulaire	1,73	$\pm 6,9$
Influence de la modulation	fiche de données	± 5	rectangulaire	1,73	$\pm 2,9$
Influence de la température	fiche de données	$\pm 3,5$	rectangulaire	1,73	± 2
Incertitude standard de l'équipement de mesure u_m					$\pm 14,2$
Incertitude standard de la prise d'échantillon u_p	objectif				± 15
Incertitude standard du résultat de mesure u					$\pm 20,7$

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

Résultat

L'incertitude standard u est de $\pm 20,7\%$.

L'incertitude élargie U est de $\pm 41,4\%$.

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

Exemple 1.2: Équipement pour mesure à sélection de fréquence, l'antenne et le câble ayant été étalonnés séparément

Le présent exemple suppose un équipement pour mesure à sélection de fréquence 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

Les données relatives à l'incertitude due à l'appareil de mesure existent sous différentes formes. Concernant l'appareil de mesure du présent exemple (analyseur de spectre), le fabricant a spécifié, pour les mesures d'intensité, les cinq incertitudes suivantes:

<i>Erreur absolue</i> (distribution rectangulaire):	$\pm 0,2$ dB	=> $\pm 2,3\%$
<i>Réponse en fréquence</i> (distribution rectangulaire):	$\pm 0,8$ dB	=> $\pm 9,6\%$
<i>Défaut de linéarité de l'atténuateur d'entrée</i> (dist. rectang.):	$\pm 0,2$ dB	=> $\pm 2,3\%$
<i>Défaut de linéarité de l'amplificateur FI</i> (dist. rectangulaire):	$\pm 0,2$ dB	=> $\pm 2,3\%$
<i>Défaut de linéarité de l'affichage</i> (distribution rectangulaire):	$\pm 0,2$ dB	=> $\pm 2,3\%$

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

Incertitude liée à *l'influence de la modulation* sur l'appareil de mesure: $\pm 10\%$
Cette incertitude est estimée (distribution rectangulaire).

Antenne

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

<i>Incertitude de l'étalonnage de l'antenne:</i> selon le certificat d'étalonnage (distribution normale)	$\pm 1,5$ dB	=> $\pm 18,9\%$
<i>Interpolation</i> (distribution rectangulaire):	$\pm 0,3$ dB	=> $\pm 3,5\%$

En général, l'antenne n'est étalonnée que pour certaines fréquences choisies. Pour les fréquences situées entre ces valeurs, il faut procéder à une interpolation, ce qui entraîne une incertitude.

Câble

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

<i>Incertitude de l'étalonnage du câble:</i> selon le certificat d'étalonnage (distribution normale)	$\pm 0,2$ dB	=> $\pm 2,3\%$
<i>Interpolation</i> (distribution rectangulaire):	$\pm 0,1$ dB	=> $\pm 1,2\%$

En général, le câble n'est étalonné que pour certaines fréquences choisies. Pour les fréquences situées entre ces valeurs, il faut procéder à une interpolation, ce qui entraîne une incertitude.

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:

$$U_D = 2 \cdot |r_{charge}| \cdot |r_{source}| \quad (10)$$

Signification des symboles:

$|r_{charge}|$ facteur de réflexion de la charge (mesuré)

$|r_{source}|$ facteur de réflexion de la source (mesuré)

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:

$$\text{Facteur de réflexion } r = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (11)$$

$$\text{Affaiblissement d'adaptation (en dB)} = \frac{1}{r} \quad (12)$$

Les données relatives aux désadaptations (VSWR) du câble sont indiquées dans le rapport d'étalonnage du câble, celles relatives aux désadaptations (VSWR) de l'antenne, dans le rapport d'étalonnage de l'antenne. Dans le présent exemple, les données relatives aux désadaptations (VSWR) de l'appareil de mesure sont indiquées sur la fiche de données.

Désadaptation câble / appareil de mesure

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation	Facteur de réflexion r
Câble (source)	1800 MHz	1,2	20,8 dB	0,091
Appareil de mesure (charge)	1800 MHz	1,5	14,0 dB	0,200

Ainsi:

$$U_D = 2 \cdot |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 2 \cdot 0,200 \cdot 0,091 = 0,036, \text{ soit } \pm 3,6\%$$

Désadaptation antenne / câble

	Fréquence	VSWR	Affaiblissement d'adaptation	Facteur de réflexion r
Antenne (source)	1800 MHz	1,6	12,7 dB	0,231
Câble (charge)	1800 MHz	1,2	20,8 dB	0,091

Ainsi:

$$U_D = 2 \cdot |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 2 \cdot 0,091 \cdot 0,231 = 0,042, \text{ soit } \pm 4,2\%$$

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)	1800 MHz	1,6	12,7 dB + 8 dB =20,7 dB	0,092
Appareil de mesure (charge)	1800 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:

$$U_D = 2 \cdot |r_{charge}| \cdot |r_{source}| = 2 \cdot 0,200 \cdot 0,092 = 0,037, \text{ soit } \pm 3,7\%$$

Cette contribution à l'incertitude peut être réduite en choisissant un câble avec 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_j	Incrtitude standard %
Appareil de mesure					
Erreur absolue	fiche de données	$\pm 2,3$	rectangulaire	1,73	$\pm 1,3$
Réponse en fréquence	fiche de données	$\pm 9,6$	rectangulaire	1,73	$\pm 5,6$
Linéarité de l'atténuateur d'entrée	fiche de données	$\pm 2,3$	rectangulaire	1,73	$\pm 1,3$
Linéarité de l'amplificateur FI	fiche de données	$\pm 2,3$	rectangulaire	1,73	$\pm 1,3$
Linéarité de l'affichage	fiche de données	$\pm 2,3$	rectangulaire	1,73	$\pm 1,3$
Influence de la modulation	estimation	± 10	rectangulaire	1,73	$\pm 5,8$
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	$\pm 3,6$	en U	1,41	$\pm 2,6$
Câble / appareil de mesure	rapport d'étalonnage/ fiche de données	$\pm 4,2$	en U	1,41	$\pm 3,0$
Antenne / appareil de mesure	rapport d'étalonnage/ fiche de données	$\pm 3,7$	en U	1,41	$\pm 2,6$
Incrtitude standard de l'équipement de mesure u_m					$\pm 13,7$
Incrtitude standard de la prise d'échantillon u_p	objectif				± 15
Incrtitude standard du résultat de mesure u					$\pm 20,3$

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

Résultat

L'incertitude standard u est de $\pm 20,3\%$.

L'incertitude élargie U est de $\pm 40,7\%$.

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

Annexe 2 Exemples de calcul de la valeur d'appréciation

Le calcul de la valeur d'appréciation E_A est illustré au travers de deux exemples d'installations caractéristiques. Dans les deux cas, il fait suite à une mesure à large bande (chapitre 5) d'une part et à une mesure à sélection de fréquence (chapitre 6) d'autre part.

Il doit exister une fiche de données spécifique au site montrant la puissance émettrice (ERP) admise $P_{i,adm}$ pour chaque cellule i . Cette puissance concerne toujours la somme des puissances d'émission du BCCH et de tous les TCH de la cellule concernée.

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

- puissance émettrice (ERP) actuelle P_i à la fréquence BCCH de chaque cellule i ;
- attribution actuelle des fréquences BCCH et TCH.

Le facteur d'extrapolation K_i est calculé comme suit pour la cellule i :

$$K_i = \sqrt{\frac{P_{i,adm}}{P_i}} \quad (13)$$

Exemple 2.1

Description de l'installation 1

Un opérateur de réseau alimente trois cellules dans la bande de fréquence à 900 MHz au moyen de trois antennes fixées sur un mât. Les directions principales de propagation 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 purement une installation GSM900. La valeur limite de l'installation est donc de 4 V/m.

Cellule i	Antenne	Direction principale de propagation	Fréquence du BCCH	Puissance émettrice (ERP) actuelle P_i du BCCH	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{i,adm}$	Facteur d'extrapolation K_i
1	A1	30°	947,6 MHz	155 W	310 W	1,41
2	A2	150°	948,0 MHz	155 W	310 W	1,41
3	A3	270°	951,4 MHz	155 W	310 W	1,41

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

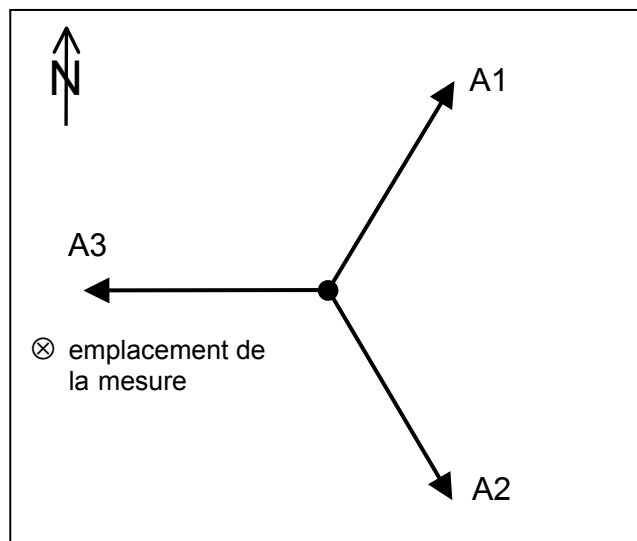


Figure A2.1: Schéma de l'installation 1 comportant les trois directions principales de propagation et la position de l'emplacement de la mesure.

Mesure à large bande concernant l'installation 1

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

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} est de 2,05 V/m. Le facteur d'extrapolation K devant être utilisé est celui des facteurs K_i du tableau A2.1 ayant la valeur la plus élevée. Dans le cas présent, tous les K_i sont égaux à 1,41, le facteur d'extrapolation K est donc lui aussi égal à 1,41.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = E_{max} \cdot K = 2,05 \text{ V/m} \cdot 1,41 = 2,89 \text{ V/m}$$

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 fréquence concernant l'installation 1

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 1. L'intensité de champ électrique (locale) maximale $E_{i,max}$ est saisie séparément pour chaque BCCH et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation correspondant figurant dans le tableau A2.1. Les valeurs mesurées $E_{i,max}$, les facteurs d'extrapolation K_i et les valeurs extrapolées $E_{i,e}$ figurent dans le tableau A2.2.

Cellule i	Antenne	$E_{i,max}$ du BCCH (valeur mesurée)	Facteur d'extrapolation K_i	Valeur extrapolée $E_{i,e}$
1	A1	0,41 V/m	1,41	0,58 V/m
2	A2	0,38 V/m	1,41	0,54 V/m
3	A3	1,82 V/m	1,41	2,57 V/m

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

La valeur d'appréciation E_A est calculée comme suit:

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

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 fréquence est inférieure à celle résultant de la mesure à large bande, parce que celle-ci mesure en même temps le rayonnement des TCH et celui de signaux parasites.

Exemple 2.2

Description de l'installation 2

Deux opérateurs de réseau se partagent une station composée d'un seul mât d'antennes. Le premier opérateur exploite trois antennes de GSM900 et trois de GSM1800 (antennes A1–A6), le second trois antennes de GSM1800 (antennes A7–A9).

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 A2.3.

L'installation émet dans la bande de fréquence de 900 MHz ainsi que dans celle de 1800 MHz. La valeur limite de l'installation est donc de 5 V/m.

Cellule i	Antenne	Direction principale de propagation	Fréquence du BCCH	Puissance émettrice (ERP) actuelle P_i du BCCH	Puissance émettrice (ERP) admise $P_{i,adm}$	Facteur d'extrapolation K_i
1	A1	0°	938,4 MHz	85 W	600 W	2,66
2	A2	120°	937,4 MHz	73 W	600 W	2,87
3	A3	240°	948,0 MHz	73 W	600 W	2,87
4	A4	60°	1837,4 MHz	175 W	900 W	2,27
5	A5	180°	1848,4 MHz	175 W	900 W	2,27
6	A6	300°	1850,2 MHz	160 W	900 W	2,37
7	A7	90°	1820,8 MHz	273 W	710 W	1,61
8	A8	210°	1824,0 MHz	273 W	710 W	1,61
9	A9	330°	1815,0 MHz	273 W	710 W	1,61

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

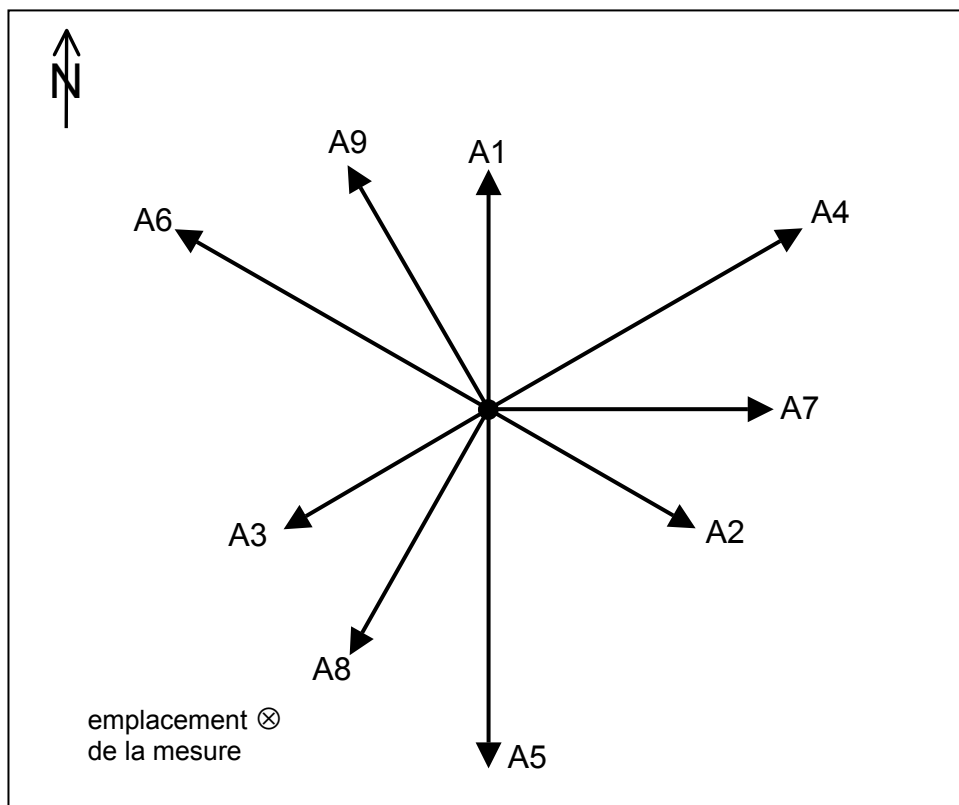


Figure A2.2: Schéma de l'installation 2 comportant les directions principales de propagation des neuf antennes et l'emplacement de la mesure. La longueur des flèches est proportionnelle à la puissance émettrice (ERP) admise $P_{i,adm}$.

Mesure à large bande concernant l'installation 2

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 2.

La valeur mesurée maximale (locale) E_{max} est de 2,13 V/m. Le facteur d'extrapolation K est égal à 2,87, valeur la plus élevée des facteurs K_i du tableau A2.3.

La valeur d'appréciation est calculée comme suit:

$$E_A = 2,13 \text{ V/m} \cdot 2,87 = 6,11 \text{ V/m}$$

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 fréquence.

Mesure à sélection de fréquence concernant l'installation 2

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 2. L'intensité de champ électrique (locale) maximale $E_{i,max}$ est saisie séparément pour chaque BCCH et extrapolée au moyen du facteur d'extrapolation correspondant figurant dans le tableau A2.3. Les valeurs mesurées $E_{i,max}$, les facteurs d'extrapolation K_i et les valeurs extrapolées $E_{i,e}$ figurent dans le tableau A2.4.

Cellule i	Antenne	$E_{i,max}$ du BCCH (valeur mesurée)	Facteur d'extrapolation K_i	Valeur extrapolée $E_{i,e}$
1	A1	0,10 V/m	2,66	0,27 V/m
2	A2	0,12 V/m	2,87	0,34 V/m
3	A3	0,63 V/m	2,87	1,81 V/m
4	A4	0,08 V/m	2,27	0,18 V/m
5	A5	0,69 V/m	2,27	1,57 V/m
6	A6	0,18 V/m	2,37	0,43 V/m
7	A7	0,09 V/m	1,61	0,14 V/m
8	A8	1,72 V/m	1,61	2,77 V/m
9	A9	0,11 V/m	1,61	0,18 V/m

Tableau A2.4: Valeurs mesurées, facteurs d'extrapolation et valeurs extrapolées.

La valeur d'appréciation E_A est calculée comme suit:

$$E_A = \sqrt{\sum_{i=1}^9 E_{i,e}^2} = \sqrt{0,27^2 + 0,34^2 + 1,81^2 + 0,18^2 + 1,57^2 + 0,43^2 + 0,14^2 + 2,77^2 + 0,18^2} \text{ V/m} = 3,72 \text{ V/m}$$

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

Comme on s'y attend, la valeur d'appréciation résultant de la mesure à sélection de fréquence est inférieure à celle résultant de la mesure à large bande, parce que celle-ci mesure en même temps le rayonnement des TCH et celui de signaux parasites.

Annexe 3 Liste des abréviations

BCCH	Broadcast Control Channel (canal de signalisation)
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
TCH	Traffic Channel (canal de trafic)
TDMA	Time Domain Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio (taux d'ondes stationnaires)
WLL	Wireless Local Loop (raccordement téléphonique sans fil)

E_A	Valeur d'appréciation	V/m
$E_{i,e}$	Valeur extrapolée pour la cellule i (mesure à sélection de fréquence)	V/m
$E_{i,max}$	Valeur maximale (locale) de l'intensité de champ électrique du BCCH pour la cellule i (mesure à sélection de fréquence)	V/m
E_{max}	Valeur maximale (locale) de l'intensité de champ électrique du BCCH (mesure à large bande)	V/m
K	Facteur d'extrapolation pour le calcul de la valeur d'appréciation (mesure à large bande)	—
K_i	Facteur d'extrapolation pour la cellule i	—
k_j	Diviseur pour l'incertitude de mesure concernant le paramètre j	—
n	Nombre de cellules alimentées par l'installation	—
P_i	Puissance émettrice (ERP) actuelle du BCCH de la cellule i	W
$P_{i,adm}$	Puissance émettrice (ERP) admise pour la cellule i (somme de BCCH et TCH)	W
r	Facteur de réflexion	—
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	%



L'environnement pratique

Rayonnement non ionisant

Stations de base pour téléphonie mobile (GSM)

Recommandation sur les mesures

COMPLÉMENT



m e t a s
métrologie et accréditation suisse



Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une recommandation élaborée par l'OFEFP en tant qu'autorité de surveillance. Elle s'adresse en premier lieu aux autorités d'exécution. Elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et permet ainsi une application uniforme de la législation. De telles recommandations (appelées aussi directives, instructions, manuels, guides, aides pratiques) paraissent dans la collection « L'environnement pratique / Vollzug Umwelt ». Ces recommandations garantissent l'égalité devant la loi ainsi que la sécurité du droit, tout en favorisant la recherche de solutions adaptées aux cas particuliers. Si l'autorité en tient compte, elle peut partir du principe que ses décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions ne sont pas exclues; selon la jurisprudence, il faut cependant prouver leur conformité avec le droit existant.

Editeur

Office fédéral de métrologie et d'accréditation, METAS
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
L'OFEFP est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)

Rédaction

Section Rayonnement non ionisant, OFEFP
Section RF, CEM et trafic, METAS

Photos Couverture

© Emanuel Ammon / AURA et OFEFP

Langues

La présente publication est également disponible en allemand.

Téléchargement du fichier PDF

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

COMPLÉMENT

à la recommandation sur les mesures relatives aux stations de base pour téléphonie mobile (GSM)

1. But

Au milieu de l'année 2002, l'OFEFP et METAS ont publié la recommandation sur les mesures relatives aux stations de base pour téléphonie mobile (GSM)¹(ci-après : « Recommandation sur les mesures »). La présente communication, destinée aux autorités d'exécution, aux opérateurs de téléphonie mobile et aux laboratoires de mesure, constitue la réponse que les deux offices concernés souhaitent apporter aux questions soulevées par l'application de cette recommandation. L'évaluation technique des stations de base combinées GSM/UMTS, si l'UMTS n'est pas encore en service, en constitue le point central (§ 2). Cette partie vaut comme solution transitoire en attendant que les installations UMTS entrent en service et puissent être évaluées selon des procédures spécifiques.

2. Mesures de réception de stations émettrices GSM/UMTS, si l'UMTS n'est pas encore en service.

La mise en place du réseau UMTS a déjà entraîné l'octroi de centaines d'autorisations pour des stations émettrices UMTS. Il s'agit souvent de compléments à des installations GSM existantes. Toutefois, actuellement et jusqu'à la mise en service effective du réseau UMTS, seule fonctionne la partie GSM des installations combinées GSM/UMTS, donc pas encore comme décrit dans l'autorisation. Il n'est donc pas encore possible stricto sensu d'effectuer les mesures de réception correspondantes. Il serait toutefois important de pouvoir le faire dès que possible. Dans ce qui suit, nous recommandons une procédure permettant d'extrapoler le futur rayonnement UMTS à partir d'une mesure de rayonnement GSM1800² et d'évaluer ainsi de façon définitive les installations combinées GSM/UMTS. La procédure s'applique lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- Les rayonnements GSM1800 et UMTS sont émis par la même antenne, dans la même direction.
- L'atténuation directionnelle en direction de l'emplacement de la mesure ne doit pas être plus faible pour l'UMTS que pour le GSM1800.

Si ces conditions ne sont pas remplies, il faut soit attendre la mise en service de l'UMTS pour effectuer la mesure de réception, soit appliquer la procédure transitoire proposée par la SICTA³.

Selon la recommandation sur les mesures, les mesures de rayonnement GSM, effectuées aux endroits appropriés, sont soit des mesures à large bande soit des mesures à sélection de fréquence. On s'assurera lors des mesures que les antennes dont l'autorisation fait état d'un

¹ Stations de base pour téléphonie mobile (GSM), Recommandation sur les mesures, L'environnement pratique, OFEFP et METAS, Berne, 2002

² L'extrapolation à partir de GSM1800 est ce qui se fait en règle générale. S'il n'est émis que du GSM900 et non pas du GSM1800 via une antenne tribande, il est admis de déroger à la règle et de mesurer le GSM900 pour extrapoler l'UMTS. Les conditions sont alors les mêmes que pour GSM1800.

³ Selon cette procédure on mesure un signal test à bande étroite émis par l'antenne UMTS dans la bande de fréquence UMTS (cf. : http://www.sicta.ch/deutsch/pdf/Broschure_ohne_Berichte.pdf ; § 5.6.7, p. 45)

domaine angulaire pour leur direction d'émission soient orientées dans la direction émettrice critique (cf. § 4). La seule modification par rapport à la recommandation sur les mesures concerne l'extrapolation du résultat de mesure au mode d'exploitation déterminant. La procédure d'extrapolation décrite ci-après est considérée comme un complément à la recommandation sur les mesures. Les entreprises de mesure accréditées pour effectuer les mesures selon la recommandation sur les mesures sont automatiquement accréditées pour appliquer la méthode d'extrapolation décrite ci-après.

Voici à titre d'illustration une installation comportant trois antennes GSM900 et trois antennes à bandes duales GSM1800/UMTS, dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

Cellule i	Antenne	Direction principale de propagation	Service de radiocommunication	Puissance d'émission actuelle (ERP) P_i du BCCH	Puissance d'émission admise (ERP) $P_{i,adm}$
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W
4a	A4	60°	GSM1800	175 W	900 W
5a	A5	180°	GSM1800	175 W	900 W
6a	A6	300°	GSM1800	160 W	900 W
4b	A4	60°	UMTS	0	1000 W
5b	A5	180°	UMTS	0	1000 W
6b	A6	300°	UMTS	0	1000 W

2.1 Mesure de large bande

L'extrapolation s'effectue selon le schéma du paragraphe 5.3 de la recommandation sur les mesures. L'alimentation combinée (GSM1800 et UMTS) au moyen d'une antenne à bande duale vaut comme alimentation d'une seule cellule (ainsi les cellules 4a et 4b de l'exemple ci-dessus sont assemblées en une seule cellule). La puissance d'émission actuelle P_i d'une telle cellule i correspond à la puissance d'émission du BCCH utilisée au cours de la mesure relative au GSM1800; la puissance d'émission admise est égale à la somme des puissances admises (GSM1800 et UMTS) pour cette cellule.

Voici les facteurs d'extrapolation K_i pour l'exemple précédent:

Cellule i	Antenne	Direction principale de propagation	Service de radiocommunication	Puissance d'émission actuelle (ERP) P_i du BCCH	Puissance d'émission admise (ERP) $P_{i,adm}$	Facteur d'extrapolation K_i
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W	2,66
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W	2,87
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W	2,87
4a+4b	A4	60°	GSM1800/UMTS	175 W	1900 W	3,30
5a+5b	A5	180°	GSM1800/UMTS	175 W	1900 W	3,30
6a+6b	A6	300°	GSM1800/UMTS	160 W	1900 W	3,45

Le facteur d'extrapolation le plus élevé est égal à 3,45. Cette valeur sera utilisée dans le calcul de la valeur d'appréciation selon l'équation (4) de la recommandation sur les mesures. Si le maximum mesuré (localement) E_{max} vaut par exemple 1,2 V/m, la valeur d'appréciation E_A est obtenue comme suit:

$$E_A = 1,2 \text{ V/m} \cdot 3,45 = 4,14 \text{ V/m}.$$

Ainsi, la valeur limite de l'installation de 5 V/m est respectée.

2.2 Mesure à sélection de fréquence

Les canaux BCCH de toutes les cellules GSM de l'installation sont mesurés individuellement. L'extrapolation s'effectue selon le schéma du paragraphe 6.3 de la recommandation sur les mesures. Au contraire de la méthode utilisée lors de la mesure à large bande (§ 2.2), l'alimentation UMTS vaut comme alimentation d'une cellule indépendante. Comme puissance d'émission actuelle P_i d'une telle cellule UMTS on prend la puissance d'émission du BCCH utilisée au cours de la mesure relative au GSM1800, émise par la même antenne.

Voici les facteurs d'extrapolation K_i pour l'exemple précédent :

Cellule i	Antenne	Direction principale de propagation	Service de radiocommunication	Puissance d'émission actuelle (ERP) P_i du BCCH	Puissance d'émission admise (ERP) $P_{i,adm}$	Facteur d'extrapolation K_i
1	A1	0°	GSM900	85 W	600 W	2,66
2	A2	120°	GSM900	73 W	600 W	2,87
3	A3	240°	GSM900	73 W	600 W	2,87
4a	A4	60°	GSM1800	175 W	900 W	2,27
5a	A5	180°	GSM1800	175 W	900 W	2,27
6a	A6	300°	GSM1800	160 W	900 W	2,37
4b	A4	60°	UMTS	175 W ¹⁾	1000 W	2,39
5b	A5	180°	UMTS	175 W ¹⁾	1000 W	2,39
6b	A6	300°	UMTS	160 W ¹⁾	1000 W	2,50

1) BCCH de GSM1800

Le tableau ci-dessous présente le résultat d'une mesure à sélection de fréquence hypothétique et son extrapolation au mode d'exploitation déterminant.

Cellule i	Antenne	Service de radiocommunication	Valeur mesurée $E_{i,max}$ du BCCH	Facteur d'extrapolation K_i	Valeur extrapolée $E_{i,e}$
1	A1	GSM900	0,10 V/m	2,66	0,27 V/m
2	A2	GSM900	0,12 V/m	2,87	0,34 V/m
3	A3	GSM900	0,63 V/m	2,87	1,81 V/m
4a	A4	GSM1800	0,08 V/m	2,27	0,18 V/m
5a	A5	GSM1800	0,69 V/m	2,27	1,57 V/m
6a	A6	GSM1800	0,18 V/m	2,37	0,43 V/m
4b	A4	UMTS	0,08 V/m ¹⁾	2,39	0,19 V/m
5b	A5	UMTS	0,69 V/m ¹⁾	2,39	1,65 V/m
6b	A6	UMTS	0,18 V/m ¹⁾	2,50	0,45 V/m

1) Valeur mesurée pour le BCCH de GSM1800

La valeur d'appréciation E_A est calculée, à partir de ce résultat, selon l'équation (7) de la recommandation sur les mesures GSM. Il est conseillé de calculer préalablement les sommes des intensités de champ E_{GSM} et E_{UMTS} , de les indiquer séparément dans le rapport de mesure et de les combiner ensuite pour donner la valeur d'appréciation de l'installation.

$$E_{GSM} = \sqrt{\sum_{GSM} E_{i,e}^2} = \sqrt{0,27^2 + 0,34^2 + \dots + 0,43^2} \text{ V/m} = 2,48 \text{ V/m}$$

$$E_{UMTS} = \sqrt{\sum_{UMTS} E_{i,e}^2} = \sqrt{0,19^2 + 1,65^2 + 0,45^2} \text{ V/m} = 1,72 \text{ V/m}$$

Pour l'ensemble de l'installation, la valeur d'appréciation E_A égale

$$E_A = \sqrt{E_{GSM}^2 + E_{UMTS}^2} = \sqrt{2,48^2 + 1,72^2} \text{ V/m} = 3,02 \text{ V/m}.$$

Ainsi, la valeur limite de l'installation de 5 V/m est respectée.

3. Déclaration de l'UMTS dans la fiche de données spécifique au site

La déclaration autonome de l'opérateur du réseau sur la fiche de données spécifique au site sert de base à l'octroi du permis de construire de l'installation. Elle engage l'opérateur. Le permis de construire octroie au requérant le droit d'exploiter l'installation aux conditions déclarées. Après la mise en service, l'autorité vérifie, éventuellement seulement de façon aléatoire, si l'installation est exploitée selon les conditions de l'autorisation. Les grandeurs de l'installation, importantes pour ce qui est de la charge de RNI, sont :

- type(s) d'antennes, diagramme d'antenne de chaque service de radiocommunication inclus;
- niveau de chaque antenne au-dessus du sol;
- azimuth et élévation de la direction d'émission de chaque antenne;
- puissance d'émission (ERP) pour chaque service de radiocommunication.

La mise en place du réseau UMTS a entraîné, ces derniers mois, le dépôt de nombreuses fiches de données spécifiques au site et de nombreuses demandes de permis de construire. Souvent l'UMTS sera installé sur des stations émettrices GSM existantes et l'émission se fera au moyen d'une antenne émettrice GSM1800 existante. Il est ainsi souvent arrivé que seule la somme des puissances d'émission GSM1800 et UMTS a été déclarée sur la fiche de données spécifique au site. Cela est contraire à l'aide à l'exécution ⁴(p. 36) : « Pour les antennes qui sont utilisées pour deux services de radiocommunication (p.ex. GSM1800 et UMTS), on remplit deux colonnes. L'ERP figurant sur la fiche complémentaire 1 (par antenne) doit donc être réparti de manière appropriée. »

Lors des mesures de réception, le résultat sera extrapolé à la puissance d'émission autorisée. A terme, les rayonnements GSM et UMTS seront saisis par des méthodes spécifiques et devront être extrapolés individuellement. C'est pourquoi il est indispensable d'indiquer séparément, dès le dépôt de la demande de permis de construire, les puissances d'émission maximales prévues pour le GSM1800 et l'UMTS, même si les deux services de radiocommunication sont

⁴ Stations de base pour téléphonie mobile et raccordements sans fil (WLL), Recommandation d'exécution de l'ORNI, L'environnement pratique, OFEFP 2002

émis par la même antenne, car ces valeurs engagent l'opérateur. Dans ce cas, il y a lieu de remplir, sur les fiches complémentaires 2 à 4 de la fiche de données spécifique au site, une colonne pour le GSM1800 et une pour l'UMTS.

4. Vérification des directions d'émission des antennes lors des mesures de réception

L'azimut et l'élévation de la direction d'émission de chaque antenne d'une installation émettrice de téléphonie mobile sont fixés dans le permis de construire. Il est possible de préciser un domaine angulaire concernant ces directions d'émission, domaine dans lequel les antennes peuvent être réorientées sans notification aux autorités. Ces angles ou domaines angulaires figurent sur la fiche de données spécifique au site. Si l'autorisation fait état d'un domaine angulaire, la « direction émettrice critique » est indiquée pour chaque LSM ou chaque LUS examiné. Il s'agit de l'orientation de l'antenne, située dans le domaine angulaire autorisé, conduisant, au lieu considéré, à la charge de RNI maximale.

Selon la recommandation sur les mesures, l'opérateur du réseau est tenu d'indiquer au mandataire ou à l'entreprise de mesure les directions d'émission des antennes utilisées au moment de la mesure. Ces indications seront également reportées dans le rapport de mesure. Si l'orientation actuelle des antennes ne correspond pas à la direction d'émission critique, il y a lieu de réorienter les antennes dans ladite direction pour la durée de la mesure. Or, de telles réorientations ne peuvent être effectuées que par l'opérateur. Par principe, une mesure de réception ne peut donc, dans ce cas, être effectuée qu'avec la participation active de l'opérateur. Si la direction d'émission critique d'une antenne donnée diffère d'un LUS à un autre, on réorientera les antennes en conséquence si le mandat prévoit d'effectuer des mesures en de tels lieux.

Bien que l'orientation correcte des directions d'émission relève de la responsabilité de l'opérateur, il est recommandé de procéder à une vérification sommaire de ces orientations lors d'une mesure de réception. L'entreprise de mesure peut le faire visuellement, de loin, sans devoir pénétrer sur le site de l'installation. Cette vérification sommaire permet de reconnaître les orientations éventuelles qui se situeraient clairement en dehors du domaine autorisé. Son résultat doit être consigné dans le rapport de mesure.

Si l'autorisation précise un domaine angulaire pour les directions d'émission, une coordination préalable entre l'entreprise de mesure et l'opérateur du réseau est nécessaire. Avant d'effectuer une mesure, il y a lieu de se renseigner sur les caractéristiques actuelles de l'installation concernée (puissances d'émission et directions d'émission). Si le réglage actuel de la direction d'émission ne correspond pas à la direction d'émission critique figurant sur la fiche de données spécifique au site, un représentant de l'opérateur du réseau, présent au moment de la mesure, doit réorienter les antennes.

5. Information des autorités sur l'exécution de mesures de réception

Les mesures de réception sont généralement ordonnées par l'autorité qui délivre les autorisations. Il est souvent de son intérêt d'assister à la réalisation de la mesure. C'est pourquoi on recommande aux opérateurs d'informer suffisamment tôt le service 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. L'opérateur peut déléguer cette tâche à l'entreprise de mesure.

6. Mesures de réception dans des locaux de grandes dimensions

Selon la recommandation sur les mesures, la valeur limite de l'installation est considérée comme respectée si, en un lieu à utilisation sensible, – dans la pratique il s'agit principalement de locaux – la charge locale maximale de RNI provenant de l'installation ne dépasse pas la VLInst lorsque l'installation fonctionne dans son mode d'exploitation déterminant. Lors de l'utilisation de la méthode à sélection de fréquence, on enregistrera la valeur maximale pour chaque BCCH en balayant le « volume de mesure » au moyen de l'antenne de mesure. Les valeurs locales maximales sont ensuite additionnées. Par « volume de mesure » on entendait jusqu'ici le volume du local situé entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol. Il peut arriver que les maxima des différents BCCH ne se situent pas exactement au même endroit. La structure du champ à l'intérieur du local pouvant varier avec le temps, il est possible que les maxima des intensités de champ des différents BCCH puissent se déplacer, tout en coïncidant localement plus tard. L'addition des valeurs maximales en tient compte et livre une valeur d'appréciation fiable.

Toutefois, si un local est très grand et si les endroits des intensités maximales de champ des divers BCCH sont très éloignés les uns des autres, il est improbable que ces maxima puissent se déplacer au point de pouvoir coïncider localement. Une telle situation se présente, par exemple, lorsque le rayonnement pénétrant dans un local provient de deux antennes faisant certes partie de la même installation mais décalées l'une par rapport à l'autre. Exemple type : deux antennes sur le toit d'un bâtiment de 50 m de long, fixées sur les bords opposés, à une distance d'environ 50 m. A l'étage supérieur de ce bâtiment, les valeurs maximales locales des deux BCCH se situent à la verticale de l'antenne correspondante ou à proximité de cette verticale; elles sont donc séparées de quelques dizaines de mètres. Si l'étage supérieur de ce bâtiment est un local d'un seul tenant, par exemple un grand bureau, la somme arithmétique des deux maxima donnerait une intensité de champ peu réaliste, ne pouvant, par principe, apparaître en un point du local. C'est pourquoi il est précisé ci-après ce qu'il faut entendre par « volume de mesure ». Cette précision ne change rien au fait que le local est à considérer dans sa totalité comme lieu à utilisation sensible.

Au sens de la recommandation sur les mesures, on entend par volume de mesure :

- 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;
- le volume situé entre 0,5 et 1,75 m au-dessus du sol et ayant une surface de base de 25 m², lorsque la surface du local est supérieure à 25 m². Il y a lieu de saisir, à l'intérieur de ce volume, les valeurs maximales locales des différents BCCH, de les extrapoler au mode d'exploitation déterminant et de les additionner. En règle générale, il faut effectuer la mesure dans plusieurs volumes de cette dimension, le volume de mesure déterminant étant celui qui génère la valeur d'appréciation la plus élevée.

Lors de l'utilisation de la méthode à large bande, cette précision est inutile, car, par principe, les sondes à large bande mesurent la somme des intensités de champ en un point de l'espace.

7. Exigences posées aux rapports de mesure

Selon le paragraphe 4.9 de la recommandation sur les mesures, 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. Les services cantonaux chargés de la protection contre le rayonnement non ionisant (RNI) et les opérateurs collaborent actuellement en vue de la standardisation des rapports de mesure. A cet effet, l'OFEFP et METAS souhaiteraient faire deux remarques générales :

- Le rapport de mesure d'une entreprise accréditée doit comporter le logo du Service d'accréditation suisse (SAS)



STS (xy)

ainsi que le numéro d'accréditation (xy) correspondant. Ce n'est qu'ainsi que la mesure est considérée comme accréditée. La méthode (au sens des définitions du champ d'application de l'accréditation) utilisée pour effectuer la mesure et la référence (p. ex. recommandation sur les mesures OFEFP/METAS, norme d'évaluation interne, NE) servant de base à celle-ci doivent figurer bien en vue dans le rapport de mesure. En revanche, les mesures ou les calculs effectués par une entreprise accréditée selon une méthode ne faisant pas partie de son domaine d'accréditation ne peuvent pas être déclarés comme évaluation accréditée et le logo SAS ne peut pas être utilisé dans le rapport de mesure.

En revanche, le logo SAS peut être utilisé par un laboratoire qui emploie, au cours d'un mandat donné, à la fois des méthodes faisant partie de son champ d'accréditation et d'autres qui n'en font pas partie. Les résultats des méthodes non accréditées doivent toutefois être mentionnés séparément dans le rapport et comporter la mention « hors domaine d'accréditation ». Le résultat d'un calcul combinant des données accréditées et non accréditées n'est pas considéré comme accrédité. En général, la partie du rapport concernant les méthodes accréditées doit être nettement moins importante que celle concernant les méthodes non accréditées.

Les entreprises de mesure accréditées pour les mesures de RNI figurent sur la page d'accueil du site Internet du Service d'accréditation suisse (SAS), à l'adresse <http://www.sas.ch/fr/sas-index.html> (indiquer « ORNI » dans la case mot-souche). La liste est actualisée en permanence par le SAS. Sont également mentionnées les méthodes de mesure pour lesquelles les entreprises ont obtenu leur accréditation. Ainsi, certaines entreprises ont demandé l'accréditation uniquement pour les mesures à large bande, d'autres pour les mesures à large bande et les méthodes de mesure sélective (« méthode par balayage »), quelques-unes pour des procédés qui leur sont propres et qui ne figurent pas dans la recommandation sur les mesures de l'OFEFP/METAS.

- Il est recommandé de faire figurer, en tête du rapport de mesure, un condensé daté et signé⁵ dont le contenu et la forme correspondent au rapport. 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. Afin d'éviter toute confusion, on renoncera à mentionner dans le condensé des résultats de mesure ou des valeurs extrapolées ne se référant pas au mode d'exploitation déterminant. De telles données complémentaires figureront parmi les détails du rapport de mesure.

8. Mesures de réception incorrectes

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.

Adresse: Société d'accréditation suisse (SAS), METAS, Lindenweg 50, 3003 Berne-Wabern

⁵ La signature vaut pour la totalité du rapport de mesure.