

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 70 (1992)

**Heft:** 11

**Artikel:** Les immissions du rayonnement électromagnétique non ionisant dues aux faisceaux hertziens

**Autor:** Baumann, Jürg / Siegenthaler, Jürg

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874012>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Les immissions du rayonnement électromagnétique non ionisant dues aux faisceaux hertziens

Jürg BAUMANN et Jürg SIEGENTHALER, Berne

## 1 Introduction

Les faisceaux hertziens permettent la transmission sans fil de conversations téléphoniques, de programmes radio et TV et de données entre deux lieux lorsqu'ils sont en vue directe. Ils remplissent donc le même rôle que les câbles, qu'ils remplacent avantageusement lorsque les conditions topographiques sont difficiles. On les utilise également pour des liaisons temporaires. En Suisse, la transmission est assurée aux quatre coins du pays par l'intermédiaire d'antennes émettrices et réceptrices disposées tous les 50 à 70 km. Les installations sont régulièrement adaptées aux techniques les plus récentes, ce qui permet, tout en maintenant une qualité de réception équivalente, d'en abaisser la puissance d'émission. La densité de ce réseau ne devrait guère se modifier dans les années à venir. En revanche, un autre dispositif de transmission connaît une évolution croissante. Certaines liaisons sont en effet de plus en plus souvent effectuées sur des distances de quelques kilomètres seulement. Conçues pour des fréquences de 18 à 38 GHz – permettant une forte concentration des rayons –, les antennes de ce type requièrent une puissance d'émission nettement plus basse que celle des installations couvrant de longues distances. Leur implantation devrait se multiplier à l'avenir, car elles ne nécessitent qu'un minimum d'infrastructure et leur mise en place est aisée.

La transmission d'informations par faisceau hertzien est assurée par des micro-ondes dont la fréquence se situe généralement entre 4 et 13 GHz, mais va, depuis peu, jusqu'à 38 GHz. Leur focalisation, par des antennes paraboliques de quelques mètres de diamètre, est telle que la quasi-totalité du rayonnement est concentrée dans un faisceau dont l'angle d'ouverture est inférieur à un degré et propagé de façon rectiligne entre les antennes émettrice et réceptrice. La puissance est donc notablement moindre que celle que requièrent les émetteurs radio. Les micro-ondes entrent dans la catégorie des rayons électromagnétiques non ionisants qui, selon la loi sur la protection de l'environnement, ne doivent pas provoquer d'atteintes nuisibles ou incommodes. Cela étant, un groupe d'experts mandaté par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP), a recommandé d'adopter des valeurs limites d'immissions [1].

Il n'est pas rare de lire dans la presse que les antennes à faisceaux hertziens, sources d'immissions électromagnétiques, sont nuisibles pour la santé de l'homme et

contribuent à l'affaiblissement des forêts. Pour ce qui est de cette seconde accusation, une étude menée dans la région du mont Gibloux n'a révélé aucun lien entre le rayonnement de micro-ondes et les dégâts aux forêts [2]. Afin de répondre à la première, l'OFEP a chargé une maison spécialisée de mesurer les immissions dans un périmètre donné autour de la poste St-François, à Lausanne. Des mesures parallèles – aux mêmes endroits et en même temps – ont également été effectuées par les PTT.

## 2 Immissions engendrées par les antennes à faisceaux hertziens

Les faisceaux, qu'ils soient émis ou reçus, peuvent générer des immissions de rayonnement électromagnétique dont la densité de puissance (puissance par unité de surface) est exprimée ci-après en  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  ( $1 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 10^{-6}\text{W}/\text{m}^2$ ).

Bien que fortement concentré, le faisceau, de forme circulaire, s'élargit avant d'atteindre l'antenne réceptrice. La densité de puissance peut être calculée sans difficulté au centre du rayon, à quelque endroit que ce soit le long de la trajectoire. Maximale au centre, elle diminue ensuite progressivement au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. A titre d'exemple, on a tracé sur la *figure 1* des droites et des cercles reliant les points auxquels cette densité est de moitié inférieure à la valeur au centre. Le diamètre de ces cercles peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Le faisceau couvre donc une surface importante autour de l'antenne réceptrice (à côté, en dessous et en dessus) où les micro-ondes ont une intensité relativement régulière. Il n'en va, par contre, pas de même pour le rayon émis: l'antenne émettrice est en général placée en un lieu inaccessible (dans le cas présent: sur le toit) et le diamètre du rayon est équivalent à celui de l'antenne qui l'émet. Les faisceaux émis à partir de St-François sont également reportés sur la *figure 1*. L'angle d'ouverture dépend du diamètre de l'antenne et de la fréquence émise. Les antennes sont installées de façon qu'aucun obstacle n'entrave la propagation des rayons. Il est donc impossible que des personnes puissent être touchées par des rayons émis (à l'exception des membres du personnel d'entretien, protégés en conséquence). Outre le rayon principal, l'antenne émet cependant une série de rayons secondaires. Leur densité de puissance est 200 fois plus faible, mais ils quit-

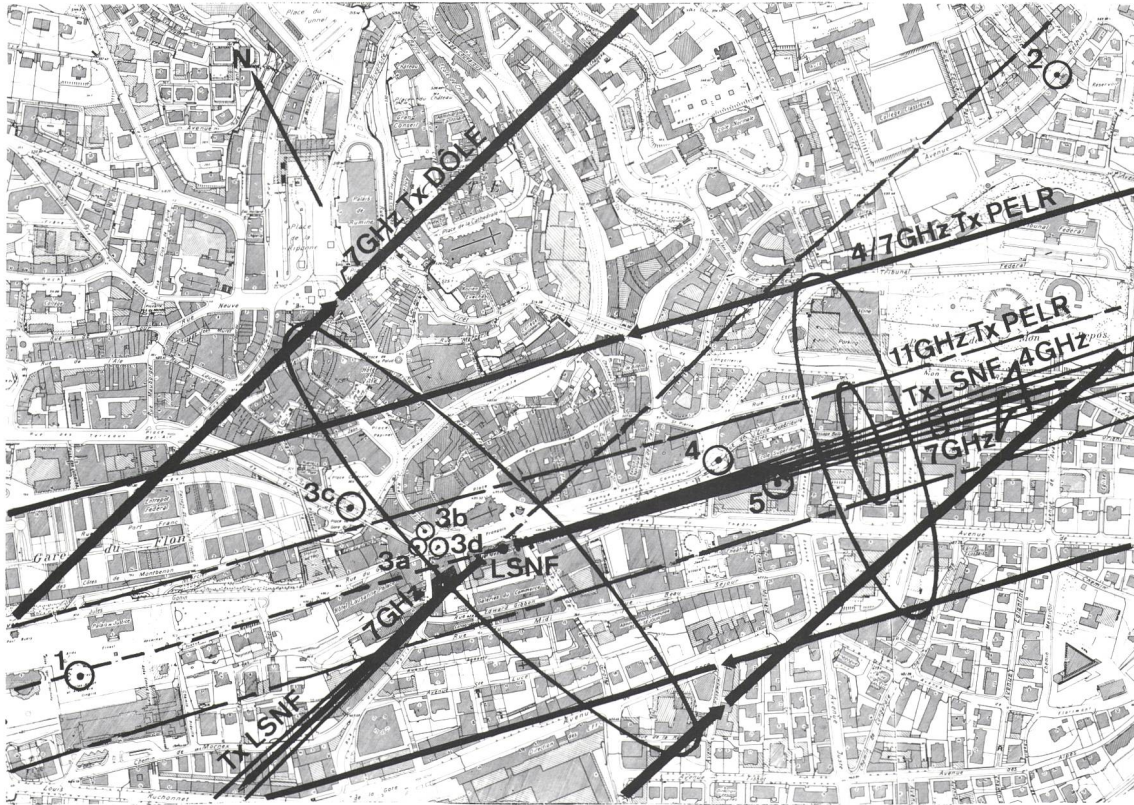


Fig. 1 Plan de situation (échelle: 1:10 000)

Pour la signification des limites des faisceaux, voir texte.  
Plan reproduit avec l'autorisation du service du cadastre de la Ville de Lausanne du 13 août 1992

Tx Station émettrice  
LSNF Lausanne St-François  
DOLE La Dôle  
PELR Mont-Pèlerin

tent l'antenne sous d'autres angles et peuvent donc toucher le terrain ou les immeubles situés à proximité de l'antenne (à côté et en dessous). Les immissions que l'on peut détecter – mais non calculer dans la pratique – dans les environs immédiats d'une antenne émettrice sont engendrées par ces rayons annexes.

La qualité de propagation des ondes électromagnétiques dépend de leur trajectoire. Si le trajet est libre d'entrave, elles le parcourent de façon uniforme, en ligne droite. En revanche, s'il est jalonné de bâtiments, le rayon reçu et les rayons annexes se réfléchissent sur des objets (immeubles, voitures, etc.) et sur le sol, générant des immissions qui ne peuvent pas être calculées et dont les mesures sont très difficiles à effectuer. Ce phénomène a été enregistré pour trois des cinq sites examinés.

En règle générale, les émetteurs fonctionnent en permanence à une puissance constante. Celle-ci atteint un maximum de 20 W par fréquence pour les longs trajets et de 10 à 100 mW pour les courtes distances. Selon les conditions atmosphériques, la densité de puissance au lieu de réception varie quelque peu.

### 3 Mesures effectuées à St-François

L'installation de St-François présente les caractéristiques suivantes:

- Elle est située sur le toit de la poste, au centre de Lausanne; les immissions qu'elle génère ont donc une incidence directe sur la population.
- Elle reçoit et émet des faisceaux longue distance sur 46 canaux (fréquences) répartis dans les gammes de 4, 7 et 11 GHz; 20 de ces canaux fonctionnent à une densité de puissance plus élevée, génératrice des immissions enregistrées dans le cadre de la présente étude; les stations-relais sont La Dôle (située à 42 km) et le Mont-Pèlerin (14 km).
- Le terrain est en pente ascendante en direction de l'est; le rayon émis par la station-relais de La Dôle effleure des zones à l'arrière de l'antenne réceptrice.

De par ces caractéristiques, les résultats enregistrés sont représentatifs pour les environs d'une installation émettant des rayons de forte intensité. L'installation de St-François est illustrée sur la figure 2; quant à l'emplacement de cette dernière et aux endroits auxquels ont été effectuées les mesures, ils sont reportés sur la figure 1. Les coupes transversales sont présentées sur les figures 3 et 4.

Les mesures ont été effectuées entre le 19 et le 23 août 1991 pendant une période de temps stable (beau) et d'exploitation normale. Le niveau de réception, enregistré en permanence durant cette semaine sur un canal de liaison La Dôle – St-François par la Direction des télécommunications de Lausanne, a varié d'un facteur de 2,2 au plus.

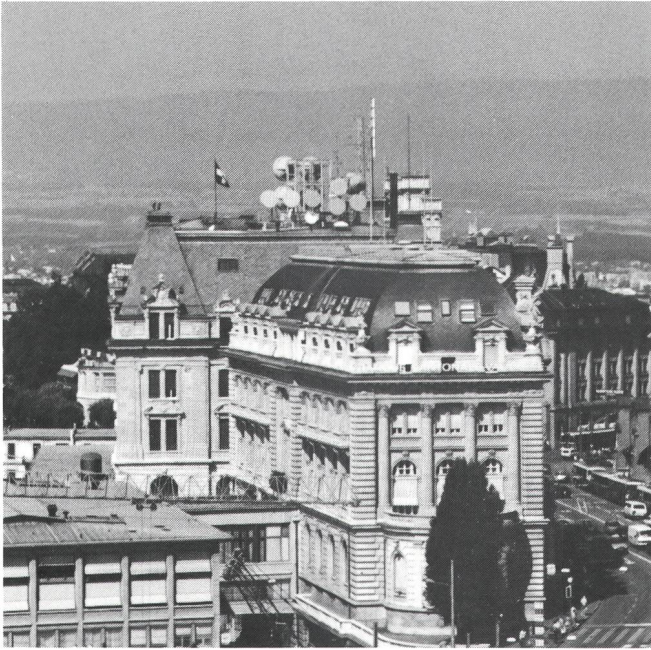


Fig. 2 Installation de St-François vue depuis le toit de l'immeuble (lieu 5). Les antennes les plus petites, rondes, sont dirigées vers le Mont-Pèlerin, les plus grosses, partiellement cachées, vers La Dôle. La place St-François se trouve entre la poste et l'église (lieux 3A-3D)

Les sondes isotropes à large bande n'étant pas assez sensibles pour mesurer les immissions générées par l'installation de St-François, chaque groupe a utilisé une antenne directionnelle – de construction différente – et un analyseur de spectre permettant de séparer les signaux en fonction de leur fréquence.

Les mesures sont toujours entachées d'incertitude. Selon la recommandation récemment publiée par l'OFEFP [3], on doit s'attendre à une incertitude de  $\pm 3$  dB (+100 %/-50 %) pour les rayonnements électromagnétiques à haute fréquence, compte tenu de la marge d'erreur inhérente aux appareils de mesure. Les variations de la densité de puissance – dans le temps et dans l'espace – ne sont pas comprises dans ce montant. Les deux groupes, qui avaient étalonné leurs instruments de

façon indépendante, estiment l'incertitude à un maximum de  $\pm 3$  dB (+100 %/-50 %) pour le premier et de  $\pm 4,4$  dB (+175 %/-64 %) pour le second. Les résultats des mesures effectuées au même moment («mesures parallèles») se situent à l'intérieur de cette marge d'incertitude.

Les variations de la densité de puissance dans le temps ne peuvent être enregistrées que si les mesures sont effectuées sur une longue période. Sachant que les variations seraient notablement plus importantes en fonction du lieu, on a préféré multiplier les sites et limiter les temps de mesure. On a donc enregistré la densité de puissance maximale obtenue en l'espace d'une minute.

Comme le veut la pratique internationale, les mesures ont été effectuées à 1,5 mètre du sol. Un des groupes disposait d'un mât d'antenne qui lui a permis de prendre des mesures jusqu'à six mètres de hauteur.

Pour déterminer la quantité totale d'immissions, on additionne les densités de puissance de tous les signaux (fréquence, polarisation et angle d'incidence) en un endroit donné [3]. Cette opération ne pose aucun problème lorsque la propagation des ondes n'est entravée par aucun obstacle, car il n'y a, en règle générale, qu'un signal par fréquence. Elle est, par contre, plus difficile à réaliser lorsqu'il y a réflexion, car on a alors plusieurs signaux provenant de directions diverses, qu'il s'agit de mesurer un à un, en réorientant chaque fois l'antenne de mesure. Pour des raisons de temps, on a renoncé à ce «balayage» et on s'est contenté de chercher et d'enregistrer, pour chaque fréquence, le signal le plus fort, en tournant l'antenne horizontalement et en l'inclinant dans les deux directions de polarisation.

## 4 Résultats

Les résultats obtenus par les deux groupes de mesure sont réunis au *tableau 1*. Toutes les valeurs enregistrées se situent entre 2,5 et 314  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Les emplacements des lieux de mesure sont reportés sur la figure 1. Il ressort des mesures effectuées à différentes hauteurs du sol que les densités de puissance peuvent varier d'un facteur de 4 entre 1,5 et 6 mètres, même sans réflexions.

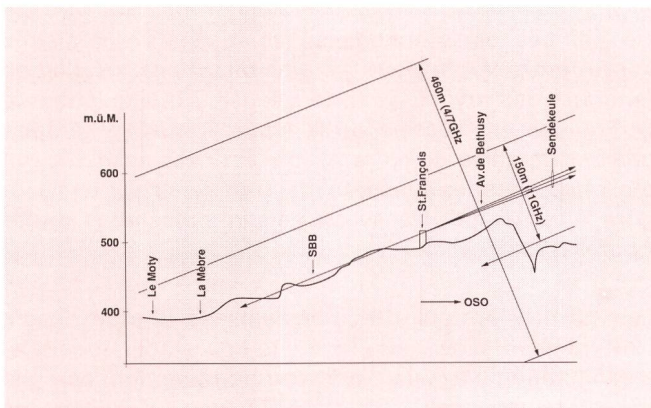


Fig. 3 Coupe transversale Mt-Pèlerin – Lausanne  
Echelle ~ 1:100 000/1:10 000  
Représentation décuplée

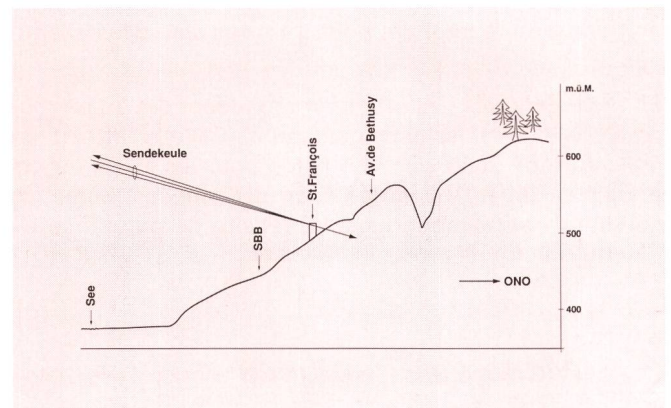


Fig. 4 Coupe transversale La Dôle – Lausanne  
Echelle ~ 1:100 000/1:10 000  
Représentation décuplée

Tableau I. Immissions (en  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) mesurées à 1,5 mètre du sol

Lieu	Groupe 1	Groupe 2	Mesures parallèles	Présence de réflexions
1 Parc	4,7	3,9	oui	non
2 Av. Béthusy	(227) <sup>2</sup>	36 65 <sup>3</sup>	non	oui oui
3A Place		48		oui
3B St-François	2,5 <sup>1</sup>	4,6	non	oui
3C		34		oui
3D	3,0 <sup>1</sup>			oui
4 Parc à vélos	60	22	non	oui
5 Immeuble	314	303	non	non

<sup>1</sup> Pour la hauteur de mesure, voir le texte (lieu 3)

<sup>2</sup> Valeurs nettement supérieures à ce que la théorie laissait supposer

<sup>3</sup> Nouvelle mesure effectuée deux jours plus tard

Aucune tendance systématique ne peut cependant être mise en évidence, car il semble que cette variation soit plutôt occasionnelle. A l'exception du lieu 3, toutes les valeurs d'immissions inscrites au *tableau I* ont été enregistrées à 1,5 mètre du sol.

*Lieu 1:* Ce parc public est situé un peu en contrebas de la poste, en vue directe sur La Dôle et sur St-François, sur le bord extérieur du rayon émis par La Dôle et dans le prolongement de celui du Mont-Pèlerin. Les immissions proviennent environ pour moitié de St-François et pour un quart respectivement de La Dôle et du Mont-Pèlerin. Les signaux de la Dôle atteignent 5 % seulement de la densité de puissance théorique possible dans l'axe du rayon.

*Lieu 2:* L'avenue Béthusy, en légère pente ascendante, est touchée par le centre du rayon en provenance de La Dôle. Ce sont les signaux de cette station-relais qui sont à l'origine des immissions enregistrées. Le groupe 1 a mesuré une valeur étonnamment élevée qu'il conviendrait de vérifier, car les densités de puissance mesurées sont jusqu'à 10 fois supérieures à ce qu'elles devraient être en théorie.

La deuxième série de mesures effectuées deux jours plus tard par le groupe 2 donne un indice de la reproductibilité obtenue en effectuant une seconde série de mesures à des moments différents, mais pour des conditions de propagation comparables.

*Lieu 3:* La place St-François se trouve à proximité immédiate des antennes. Les réflexions y sont nombreuses et varient rapidement et fortement. Y dominent les signaux émis de St-François en direction de La Dôle, alors que les signaux des stations-relais, atténués par les bâtiments environnants, sont négligeables. Le groupe 1 a effectué des mesures entre 1,5 et 6,2 mètres au-dessus du sol. La hauteur n'influe pas systématiquement sur les densités de puissance. Vu la difficulté à mesurer toutes

les réflexions, on a retenu la plus haute densité de puissance recueillie, par fréquence, pour les différentes hauteurs, directions et polarisations prises en compte. Le groupe 2 a enregistré, aux lieux 3A et 3C, deux signaux relativement forts en provenance de St-François probablement émis par un rayon annexe.

*Lieu 4:* Le parc à vélos situé à l'avenue Benjamin-Constant a une vue directe sur St-François. Les immissions proviennent essentiellement des signaux de St-François en direction du Mont-Pèlerin; celles de la station-relais, étouffées par des bâtiments, sont en revanche quantité négligeable. Il y a donc, là aussi, réflexion.

*Lieu 5:* Ce dernier site se trouve sur le toit (plat) d'un immeuble, en ligne quasiment directe entre St-François et le Mont-Pèlerin, pratiquement au centre du rayon arrivant du Mont-Pèlerin et proche du centre du rayon émis par St-François. A cette hauteur, les ondes se propagent presque sans entrave et, partant, sans réflexion. C'est là qu'ont été enregistrées les immissions les plus élevées de toute la campagne. Si les résultats finaux des deux groupes concordent, il n'en va pas de même pour les différents signaux pris en compte, mais les écarts sont dans les limites de l'incertitude. Les immissions sont générées pour moitié par les signaux du Mont-Pèlerin et pour moitié par ceux de St-François en direction de ce dernier. La densité de puissance enregistrée pour les signaux émis par le Mont-Pèlerin est de 50 % inférieure à la densité théoriquement possible.

## 5 Conclusions

Dans l'ensemble, les résultats obtenus par les deux groupes concordent bien. Selon le lieu et son emplacement par rapport aux axes des faisceaux, les immissions sont dues aux signaux des stations-relais ou à ceux de St-François. Une estimation sur la base de calculs est fiable pour les signaux incidents seulement, en tant que le lieu soit touché par le centre du rayon. Les deux groupes ont obtenu des valeurs d'immission allant de 2,5 à environ 300  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . La plus haute valeur a été recueillie sur le toit de l'immeuble. Celui-ci n'étant pas accessible au public, le risque d'exposition est minime. Cette valeur maximale est du même ordre de grandeur que celle qu'a enregistrée *Ch. Stäger* [2] aux environs de l'installation du Mont-Gibloux (100  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ). La valeur limite d'immission recommandée pour les fréquences supérieures à 2 GHz est de 10  $\text{W}/\text{m}^2$  [1]. La valeur d'immission maximale enregistrée est donc près de 30 000 fois inférieure à la valeur limite.

L'installation de St-François étant une des plus importantes de Suisse et son emplacement – au centre de la ville – pouvant être considéré comme des plus défavorable pour ce qui est des immissions par rayonnement électromagnétique, les résultats donnent des indications valables pour l'ensemble des installations à faisceaux hertziens: au vu des connaissances actuelles, on peut donc dire que ni la santé ni le bien-être ne sont mis en danger par ces dispositifs, puisque les immissions sont 30 000 fois inférieures à la valeur limite fixée.

## Bibliographie

- [1] Effets biologiques du rayonnement électromagnétique non ionisant sur l'homme et son environnement, 1<sup>re</sup> partie: Gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz, Cahier de l'environnement N° 121, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, juin 1990.
- [2] *Stäger Ch.* Essais en campagne concernant des dégâts éventuels aux forêts dus aux champs électromagnétiques à micro-ondes. Berne, Bull. techn. PTT (1989) 12, p. 517.
- [3] Mesures du rayonnement électromagnétique non ionisant, 1<sup>re</sup> partie: Gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz, Cahier de l'environnement N° 164, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, mai 1992.

### Zusammenfassung

*Immissionen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung durch Richtstrahlanlagen*

In der näheren Umgebung einer Richtstrahlanlage wurden die Immissionen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung in den Frequenzbändern 4, 7 und 11 GHz gemessen. Die Ergebnisse beider Messgruppen stimmen innerhalb der geschätzten Messunsicherheit überein. Die Immissionen, als summierte Leistungsdichte aller Einzelsignale ausgedrückt, liegen im Bereich zwischen 2,5 und 300  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Sie stehen somit ungefähr 30 000mal unter dem Immissionsgrenzwert von 10  $\text{W}/\text{m}^2$ . Dies gestattet zu folgern, dass die Immissionen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung von Richtstrahlanlagen in der Schweiz nach heutigem Kenntnisstand keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bevölkerung haben.

### Résumé

*Immissions par des installations à faisceaux hertziens de rayonnements électromagnétiques non ionisés*

Les immissions de rayonnements électromagnétiques non ionisants ont été mesurées dans l'environnement immédiat d'une installation à faisceaux hertziens, dans les bandes de fréquences de 4, 7 et 11 GHz. Les résultats obtenus par les deux groupes de mesure coïncident dans les limites de l'insécurité de mesure supposée. Les immissions exprimées en tant que la somme des densités de puissance se situent entre 2,5 et 300  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Elles sont donc environ 30 000 fois inférieures à la valeur limite de 10  $\text{W}/\text{m}^2$ . Cela permet de déduire que les immissions de rayonnements électromagnétiques non ionisants des installations à faisceaux hertziens en Suisse n'ont, selon les connaissances actuelles, aucun effet négatif sur la santé et le bien-être de la population.

### Riassunto

*Immissioni della radiazione elettromagnetica non ionizzante provocate da impianti di ponti radio*

Nelle immediate vicinanze di un impianto di ponti radio sono state misurate le immissioni della radiazione elettromagnetica non ionizzante nelle bande di frequenze 4, 7 e 11 GHz. I risultati dei due gruppi di misure concordano nell'ambito dell'incertezza di misura stimata. I valori delle immissioni, espressi come somma della densità di potenza di ogni segnale singolo, spaziano tra 2,5 e 300  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; essi sono quindi 30 000 volte inferiori al valore limite di 10  $\text{W}/\text{m}^2$ . Se ne può dedurre che, secondo lo stato attuale delle conoscenze, le immissioni della radiazione elettromagnetica non ionizzante cagionate da impianti di ponti radio in Svizzera non hanno effetti negativi sulla salute della popolazione.

### Summary

*Ambient Field of Electromagnetic Radiation from Microwave Radio Links in the Environment*

The ambient field of nonionizing electromagnetic radiation in the 4-, 7- and 11-GHz frequency bands has been measured in the immediate vicinity of a microwave radio station. The results achieved by two measuring teams compare well within the estimated accuracy. The incident radiation expressed in the summed power density of all single signals is found in the range of 2.5 to 300  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , i.e. by a factor of 30 000 below the limit of 10  $\text{W}/\text{m}^2$ . From this can be concluded that the incident nonionizing radiation from microwave radio links does not produce any negative effect upon health and well-being of the population.