



18 décembre 2015

Concept pour une surveillance nationale des champs électromagnétiques

(Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat Gilli
09.3488
« Surveillance des champs électromagnétiques »)

Résumé

Le postulat Gilli du 2 juin 2009 (09.3488) « Surveillance des champs électromagnétiques » charge le Conseil fédéral d'examiner s'il y a lieu de planifier et de mettre en œuvre un système de surveillance de la situation d'exposition de la population au rayonnement non ionisant (RNI) et de soumettre un projet prévoyant les mesures nécessaires.

La loi fédérale sur la protection de l'environnement constitue la base légale pour une surveillance du RNI en Suisse. Elle prévoit que la Confédération et les cantons procèdent à des enquêtes sur les nuisances grevant l'environnement, dont le RNI, et contrôlent l'efficacité des mesures prises en vertu de la loi. Les autorités fédérales et cantonales doivent par ailleurs renseigner le public de manière objective sur la protection de l'environnement et sur l'état des nuisances qui y portent atteinte, et notamment publier les résultats des enquêtes qui sont menées et des mesures qui sont prises.

Le but premier d'une surveillance du RNI à l'échelle nationale est d'obtenir des informations représentatives concernant l'exposition de la population suisse au RNI et son évolution dans le temps. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a mandaté plusieurs études afin de déterminer la faisabilité d'une surveillance du RNI et d'élaborer un concept. Ces travaux de fond montrent qu'il est possible de mettre en place une surveillance du RNI fournissant des informations représentatives sur l'exposition de la population. Elle comprendrait les quatre modules suivants :

- mesures représentatives des immissions dans des contextes définis, y compris dans les logements ;
- calcul des immissions dans les zones d'habitation en Suisse dues aux installations de téléphonie mobile et de radiodiffusion, aux lignes à haute tension, aux sous-stations électriques et aux lignes de contact de chemin de fer ;
- regroupement et utilisation des résultats des mesures stationnaires des immissions réalisées par les cantons et les communes sur une plate-forme centrale ;
- études de cas portant sur l'exposition des utilisateurs d'appareils émettant à proximité du corps.

Les appareils de mesure nécessaires existent, de même que les algorithmes pour calculer les immissions de RNI de la téléphonie mobile et de la radiodiffusion ainsi que les immissions des champs magnétiques des lignes à haute tension. Ces calculs peuvent en outre être intégrés dans la structure informatique existante de la base de données sonBASE de l'OFEV, ce qui permettrait de dégager des synergies. Il reste à élaborer les bases nécessaires au calcul des immissions dues aux installations de chemin de fer et aux sous-stations électriques et à établir les cadastres des installations de distribution d'électricité et de chemins de fer. Les coûts pour la Confédération afférents à la mise en place et à l'exploitation du système sur une période de dix ans sont estimés à 7 millions de francs, dont 5,2 millions pour des prestations de service externes. Vu l'importance des déficits structurels du budget fédéral et la nécessité d'introduire un programme de stabilisation, le financement du projet est toutefois incertain.

Table des matières

Résumé	2
Table des matières	3
1 Introduction	4
1.1 Mandat	4
1.2 But d'une surveillance du RNI.....	4
1.3 Base légale.....	5
1.4 Bases scientifiques	5
2 Rayonnement non ionisant.....	6
2.1 Caractéristiques physiques.....	6
2.2 Sources	6
2.3 Immissions.....	7
3 Options pour une surveillance du RNI en Suisse	8
3.1 Enjeux	8
3.2 Mesures effectuées sur des personnes	8
3.3 Mesures contextuelles	10
3.4 Mesures stationnaires.....	12
3.5 Calcul des immissions	13
3.6 Détermination de l'exposition due à l'utilisation d'appareils près du corps	16
4 Concept pour une surveillance du RNI en Suisse.....	16
5 Estimation des coûts	18
6 Conclusion	21
7 Abréviations	22
8 Bibliographie	23

1 Introduction

1.1 Mandat

Le postulat Gilli du 2 juin 2009 (09.3488) « Surveillance des champs électromagnétiques » charge le Conseil fédéral d'examiner s'il y a lieu de planifier et de mettre en œuvre un système de surveillance de la situation d'exposition de la population suisse au rayonnement non ionisant (RNI) et de soumettre un projet prévoyant les mesures nécessaires.

L'apparition d'un grand nombre de technologies de communication sans fil est invoquée comme motif dans le développement du postulat : ces technologies ont entraîné une forte augmentation du rayonnement non ionisant dans l'environnement et cette évolution risque de se poursuivre alors que les conséquences de l'exposition de la population sont inconnues. C'est pourquoi il est impératif de surveiller les immissions de RNI. La faisabilité technique de cette surveillance a été démontrée dans le programme national de recherche « Rayonnement non ionisant. Environnement et santé » (PNR 57).

Dans sa réponse du 26 août 2009, le Conseil fédéral a soutenu la proposition formulée dans le postulat, arguant qu'il n'existait, en Suisse, aucun système de surveillance permettant de recenser à l'échelle nationale, de manière représentative et sur le long terme, l'exposition de la population et de l'environnement au rayonnement non ionisant. Il a indiqué que le DETEC (Office fédéral de l'environnement) élaborerait, dans la limite des ressources disponibles, le concept requis d'un système de surveillance à long terme du rayonnement non ionisant et évaluerait les coûts de construction et de fonctionnement des équipements nécessaires. Ces travaux prendraient aussi en compte les résultats du PNR 57. Le postulat a été adopté le 10 avril 2011 par le Conseil national.

Dans son rapport du 25 février 2015 intitulé « Pour des réseaux de téléphonie mobile adaptés aux exigences futures » en réponse aux postulats Noser (12.3580) et Groupe libéral-radical (14.3149), le Conseil fédéral a relevé qu'une surveillance du RNI devrait être concrétisée rapidement. Le présent rapport décrit les bases techniques et scientifiques nécessaires à la mise en place d'une telle surveillance.

1.2 But d'une surveillance du RNI

Un peu plus de la moitié de la population suisse perçoit le rayonnement des antennes de téléphonie mobile comme dangereux ou assez dangereux (OFS 2012). En revanche très peu d'habitants connaissent le niveau actuel des immissions de RNI dans leur environnement direct. Cette méconnaissance pourrait être la cause du malaise latent ressenti par une partie de la population civile face aux installations de distribution d'électricité et de communication mobile. Le but premier d'une surveillance du RNI est donc de permettre un débat rationnel au sein de la population, basé sur des données objectives concernant l'exposition au RNI. Les effets de l'évolution technologique rapide sur les immissions de RNI, notamment dans le domaine de la communication mobile, doivent pouvoir être mis en évidence et communiqués.

Une connaissance du niveau des immissions de RNI répond encore à d'autres attentes : elle permet de contrôler le résultat des mesures de protection en vigueur, elle met en lumière les éventuelles mesures nécessaires et elle sert de base pour l'évaluation de mesures techniques et réglementaires futures. Enfin, elle fournit des données indispensables à la recherche traitant des effets du RNI sur la santé.

L'objectif premier n'est pas d'obtenir des données concernant les immissions dans certains lieux ou pour certaines personnes en particulier, mais de disposer de données représentatives pour l'ensemble de la population ou des sous-groupes de celle-ci.

Le contrôle de l'exécution de l'ORNI concernant certaines installations et la surveillance du respect des prescriptions légales ne constituent pas non plus une priorité du présent projet.

1.3 Base légale

La loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01) constitue la base légale pour une surveillance du RNI. L'art. 44 LPE prévoit que la Confédération et les cantons procèdent à des enquêtes sur les nuisances grevant l'environnement et contrôlent l'efficacité des mesures prises en vertu de la loi. Le Conseil fédéral coordonne les enquêtes et les banques de données sur le plan fédéral et cantonal. Les autorités renseignent le public de manière objective sur la protection de l'environnement et sur l'état des nuisances qui y portent atteinte ; elles doivent notamment publier les enquêtes sur les nuisances grevant l'environnement et les résultats des mesures prises en vertu de la LPE (art. 10e, al. 1, LPE).

Les informations sur l'environnement doivent, en outre, être publiées si possible sous forme de données numériques ouvertes (art. 10e, al. 4, LPE).

Le Conseil fédéral doit évaluer au moins tous les quatre ans l'état de l'environnement et présenter les résultats à l'Assemblée fédérale dans un rapport (art. 10f LPE).

Les dispositions d'exécution de la LPE en ce qui concerne les installations stationnaires émettant du RNI figurent dans l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI, RS 814.71). L'ORNI ne comporte toutefois aucune disposition concernant la surveillance du RNI. Il conviendrait donc d'y introduire des règles précisant le mandat relatif à une telle surveillance, comparable aux dispositions sur le recensement du bruit et des polluants atmosphériques qui figurent dans l'ordonnance sur la protection contre le bruit et l'ordonnance sur la protection de l'air. La proposition de compléter l'ORNI a d'ailleurs été accueillie favorablement par quasiment tous les participants à l'audition publique menée en automne 2014. Toutefois, pour que la disposition prévue puisse être intégrée à l'ORNI, la question concernant le financement doit encore être réglée.

1.4 Bases scientifiques

Afin de définir les bases nécessaires à la rédaction du rapport demandé par l'auteur du postulat, l'OFEV a organisé, en 2009, une réunion regroupant des experts ainsi que les autorités compétentes de la Confédération et des cantons. Mandat a ensuite été donné pour une étude de conception et de faisabilité devant répondre aux exigences suivantes :

- la surveillance du RNI doit fournir des informations représentatives concernant l'exposition quotidienne aux champs électromagnétiques de la population suisse, et éventuellement aussi de certains groupes de population (p. ex. jeunes, personnes exerçant une activité professionnelle, personnes âgées), la préférence devant être donnée à une statistique de l'exposition à l'échelle nationale plutôt qu'à des informations concernant certains lieux ou des personnes prises individuellement ;
- toutes les sources de RNI contribuant de manière importante à l'exposition de la population doivent être prises en compte ;
- les immissions doivent pouvoir être ventilées en fonction des sources (téléphonie mobile, radiodiffusion, distribution d'électricité, etc.) ;
- la surveillance doit être conçue de manière à permettre d'identifier les tendances à long terme sur plusieurs années ou sur plusieurs décennies.

Le rapport intitulé *NIS-Monitoring Schweiz. Eine Konzept- und Machbarkeitsstudie* (Surveillance du RNI en Suisse. Étude de conception et de faisabilité ; FSM 2012,

Dürrenberger et al. 2014) qui en a résulté se fonde sur l'expérience acquise jusqu'ici en Suisse et dans les pays voisins en matière de surveillance ainsi que sur des connaissances scientifiques, notamment celles obtenues dans le cadre du programme national de recherche PNR 57 « Rayonnement non ionisant. Environnement et santé ». Certains aspects ont ensuite fait l'objet d'investigations plus approfondies et d'études pilotes (Bürgi 2012, Bürgi 2014, Rösli et al. 2015).

2 Rayonnement non ionisant

2.1 Caractéristiques physiques

Nous connaissons le rayonnement électromagnétique sous différentes formes dans notre environnement naturel et dans le domaine technique. Il peut être catégorisé, du point de vue physique, en fonction de sa fréquence. Le spectre des fréquences est subdivisé en rayonnement ionisant et non ionisant :

- le rayonnement est ionisant lorsqu'il présente une énergie suffisante pour induire une modification chimique des molécules, p. ex. le rayonnement gamma ou X ;
- le rayonnement est non ionisant lorsque son énergie est insuffisante pour induire une modification chimique des molécules ; il comprend notamment le rayonnement thermique, la lumière visible, le rayonnement ultraviolet et le rayonnement généré par les stations émettrices de radiodiffusion et de téléphonie mobile, les installations de distribution d'électricité, les appareils électriques, etc.

Le présent rapport traite de la détermination du rayonnement non ionisant dans les principales bandes de fréquence utilisées actuellement, qui vont de 16,7 hertz à environ 5 gigahertz, et comprend donc les réseaux des chemins de fer électriques, la distribution d'électricité et les appareils électriques, la communication sans fil et les installations radar.

Le RNI d'origine technique est émis par des installations ou des appareils – désignés ci-après par le terme de « sources » – et se propage dans l'espace en s'atténuant au fur et à mesure qu'augmente la distance par rapport à la source. Là où ce rayonnement agit sur l'homme, on parle d'immissions. S'agissant des éventuels effets biologiques ou sur la santé, le rayonnement déterminant est celui qui agit à l'intérieur du corps humain, par exemple sur une cellule nerveuse, sur le système sanguin ou dans le cerveau.

2.2 Sources

Les sources de RNI sont très diverses. Elles peuvent être grossièrement subdivisées en trois groupes dans l'optique d'une surveillance du RNI :

- **les infrastructures** telles que les stations de base de téléphonie mobile, les installations de radiodiffusion, les installations de radiocommunication à faisceaux hertziens, les lignes à haute tension, les lignes de contact de chemin de fer et les installations radar. Elles ont comme point commun d'être stationnaires et de se situer généralement à l'extérieur des bâtiments. Leur rayonnement a une portée relativement grande et génère en général des immissions qui agissent de manière uniforme sur le corps humain.
- **les installations stationnaires et appareils dans des bâtiments**, tels que les installations électriques domestiques, les stations de transformation, les plaques de cuisson à induction et les fours à micro-ondes, les stations de base des téléphones sans fil (DECT) et les routeurs WLAN. Leur rayonnement a une portée relativement courte et est surtout significatif à l'intérieur des bâtiments mais peut parfois aussi encore être

mesuré à l'extérieur de ceux-ci. Le corps humain est généralement exposé de manière uniforme sauf s'il se trouve à proximité immédiate de la source.

- **les appareils mobiles** tels que les téléphones mobiles, les téléphones sans fil, les tablettes, les cartes WLAN des ordinateurs portables ainsi que les appareils électriques portatifs. Leur rayonnement n'est généralement significatif que sur une courte distance. Lorsqu'ils sont utilisés à proximité du corps, la personne exposée est en premier lieu celle qui utilise l'appareil, et seule une petite partie du corps, par exemple la tête, est alors exposée au rayonnement. Ces immissions sont plus faibles, mais non négligeables, pour les tiers se trouvant à proximité d'un appareil de ce type, par exemple les voyageurs dans un train qui sont exposés au rayonnement émis par tous les téléphones mobiles actifs.

2.3 Immissions

Les immissions de RNI sont d'une très grande diversité. Elles se différencient tout d'abord par leur fréquence, qui peut aller de quelques hertz jusqu'au domaine du gigahertz, couvrant ainsi un spectre considérable de neuf ordres de grandeur (soit un facteur d'un milliard). Du point de vue technique, des fréquences encore plus élevées pourraient être exploitées à l'avenir, et ce dans des proportions plus importantes, de sorte que ce spectre continuera de s'étendre.

Ces immissions se différencient ensuite par leur intensité, qui dépend de la puissance d'émission, de la distance par rapport à la source et des éventuels obstacles sur le trajet de propagation. À distance égale, les sources qui émettent fortement génèrent des immissions plus élevées que celles qui émettent faiblement. Toutefois, si l'on se tient plus près d'une source émettant faiblement que d'une source qui émet fortement, les immissions de la première peuvent être plus élevées. Lorsqu'un appareil est utilisé à proximité du corps, le rayonnement agissant sur le corps est beaucoup plus élevé que celui d'installations ou d'appareils éloignés. Le nombre important et la diversité des sources fait que la distribution spatiale des immissions dans l'environnement, dans les logements et sur le lieu travail peut varier considérablement. Dans le cas du rayonnement utilisé pour la communication sans fil, notamment, de grandes différences d'intensité peuvent déjà se manifester sur une distance d'un mètre.

Troisièmement, les immissions présentent un profil temporel différent selon la source. Le rayonnement des installations de radiodiffusion, par exemple, reste constant alors que celui des installations de téléphonie mobile varie selon la charge du réseau. S'agissant des lignes à haute tension, la tension reste stable mais l'intensité du courant dépend de la demande en énergie électrique, ce qui donne lieu à des fluctuations du champ magnétique au cours d'une journée, d'un mois ou d'une année. Les variations temporelles du champ magnétique des chemins de fer et du rayonnement des appareils sont encore plus marquées. Ces derniers n'émettent souvent que lorsqu'ils sont utilisés.

Enfin, la forme du signal diffère selon la source du rayonnement : elle va d'un signal parfaitement sinusoïdal, sans distorsions ni interruptions, jusqu'à un rayonnement pulsé avec des impulsions très courtes et des pauses inactives relativement longues dans le cas du rayonnement radar.

Autrement dit, le profil des immissions dans l'environnement se compose des contributions d'un grand nombre de fréquences et de formes de signaux, dont l'intensité fluctue sur des échelles différentes selon le lieu et dans le temps. Lorsqu'une personne se déplace, elle est exposée à chaque moment à un ensemble d'immissions différent. Et si elle utilise un appareil émettant du RNI, la durée d'utilisation et l'endroit du corps où il est placé sont déterminants pour l'exposition. La recherche sur les effets du rayonnement n'a jusqu'à présent pas permis d'obtenir des informations concernant la dose pertinente pouvant éventuellement avoir une

incidence sur la santé lors d'une exposition quotidienne. Il pourrait s'agir de l'immission moyenne, mais cela pourrait aussi être l'exposition maximale ou la durée pendant laquelle un certain seuil est dépassé. On ne sait pas non plus si certaines formes de signaux, notamment les signaux pulsés, ont des effets biologiques particulièrement importants comme le suggèrent quelques tests effectués en laboratoire.

3 Options pour une surveillance du RNI en Suisse

3.1 Enjeux

Une surveillance du RNI prenant entièrement en compte la multiplicité des immissions est irréalisable aujourd'hui du point de vue technique. Le défi consiste à définir un échantillonnage spatial et temporel approprié pour la détermination des immissions, afin d'obtenir des informations générales et fiables pour la Suisse. Pour déterminer l'exposition à des appareils utilisés à proximité du corps, il faut également disposer d'un recensement représentatif du parc d'appareils, du comportement des utilisateurs et de l'absorption du rayonnement dans le corps. Une méthode susceptible d'intégrer tous ces aspects n'existe pas actuellement, raison pour laquelle cinq méthodes de recensement pouvant être utilisées séparément ou en combinaison et fournissant des informations complémentaires sont présentées ci-après.

Si l'on veut pouvoir mettre en évidence des tendances sur le long terme, les méthodes de relevé et l'échantillonnage ne doivent pas être modifiés sur la durée, faute de quoi il sera impossible de distinguer les modifications effectives des immissions des écarts liés à la méthode appliquée. La grandeur de l'échantillon nécessaire afin de pouvoir déceler une modification réelle avec une certaine probabilité sera définie dans des études statistiques préliminaires.

3.2 Mesures effectuées sur des personnes

L'intérêt prioritaire étant l'exposition de la population, il est logique qu'un groupe représentatif de la population soit choisi et équipé d'appareils de mesure portatifs. Des appareils de ce type existent pour certaines catégories de rayonnement, et des efforts sont en cours pour les améliorer sur le plan technique. Ils enregistrent en continu les immissions dans l'environnement immédiat de la personne qui les porte et les présentent sous forme de série temporelle. La Figure 1 montre un enregistrement de ce type sur environ cinq heures. Lorsque le groupe est suffisamment grand et que l'enregistrement est effectué sur plusieurs jours, on couvre l'essentiel des immissions (fourchette et fréquence d'occurrence). La Figure 2 présente un exemple de la distribution de l'immission moyenne, par personne, de rayonnement haute fréquence pour un groupe de 166 personnes.

Parallèlement à l'enregistrement fait par l'appareil de mesure, il est utile que les sujets tiennent un journal dans lequel ils indiquent les changements de lieu importants et les caractéristiques marquantes de leur mode de vie, de leur comportement en matière de mobilité, ainsi que de leur environnement d'habitation et de travail.

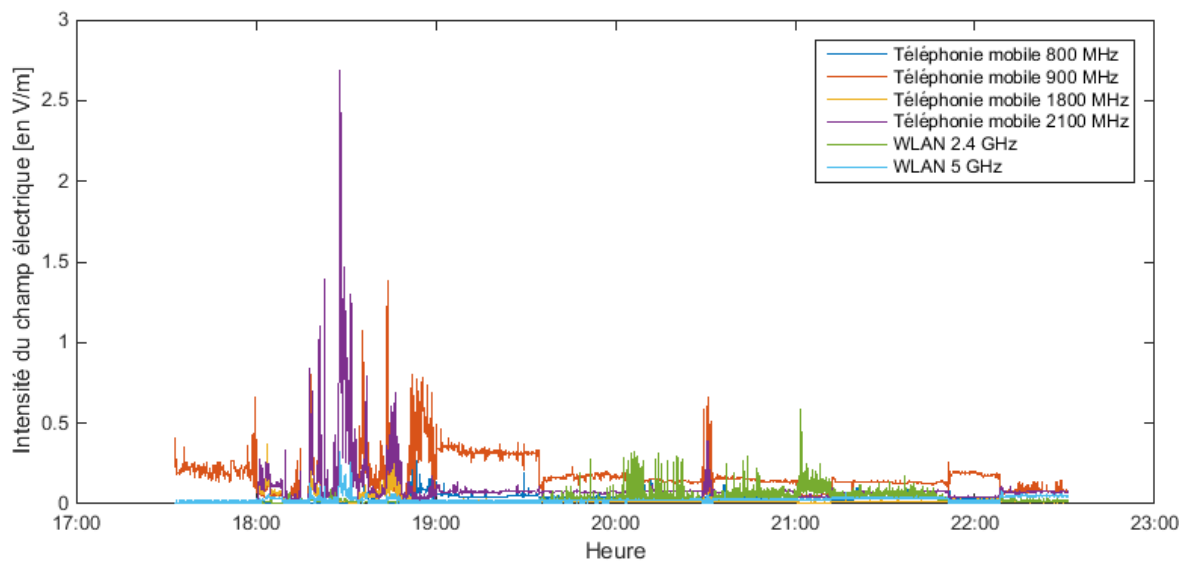


Figure 1 Enregistrement de l'intensité des champs électriques générés par des stations de base de téléphonie mobile et le WLAN pendant environ cinq heures à l'aide d'un appareil de mesure portatif. Dans cet exemple, le sujet a évolué dans plusieurs environnements différents : il était tout d'abord au bureau, puis il s'est déplacé en transports publics et à pied, et se trouvait finalement dans son appartement.

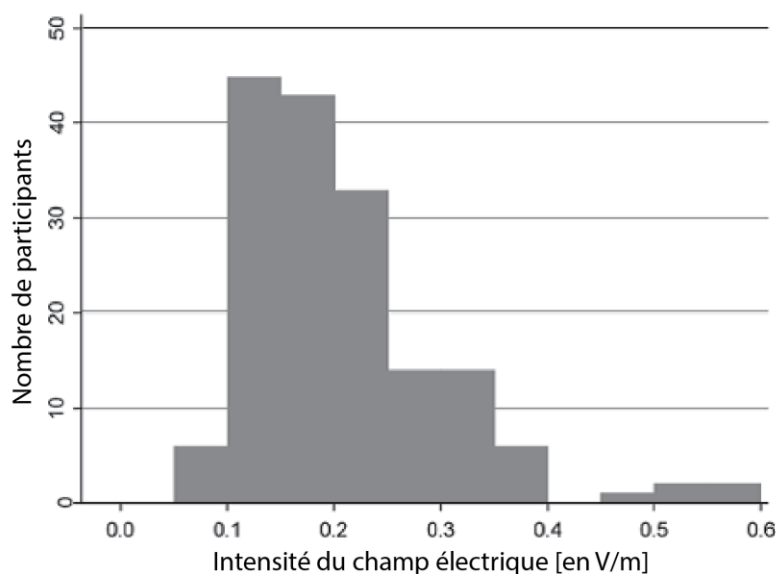


Figure 2 Exemple de la répartition de l'intensité moyenne du champ électrique de l'immission haute fréquence à laquelle sont soumis individuellement 166 sujets participant à l'étude (tiré de Mohler et al. 2009)

Les appareils de mesure disponibles actuellement permettent de mesurer les champs magnétiques des chemins de fer et de la distribution d'électricité et le rayonnement de la plupart des installations émettrices et des applications sans fil, ainsi que des appareils mobiles. Dans le cas de ces derniers toutefois, la mesure peut uniquement être faite s'ils ne sont pas utilisés par la personne participant au test mais par des tiers. Cette méthode ne permet pas de recenser de manière fiable l'exposition à des appareils lorsque la personne

les utilise elle-même ; qui plus est, il faut veiller à ce que ces appareils soient éteints pendant l'enregistrement car ils pourraient fausser le résultat de la mesure.

Bien que cette méthode soit la plus à même de permettre d'atteindre l'objectif visé, à savoir une information représentative concernant l'exposition de la population, elle n'est pas recommandée par les experts consultés. En effet, l'expérience a montré que l'on ne peut pas garantir que les personnes participant à l'étude suivent exactement le protocole de mesure prescrit. Des écarts intentionnels ou non peuvent fausser le résultat dans des proportions qu'il n'est pas possible de contrôler. Un groupe représentatif devrait être composé de plusieurs centaines de sujets, ce qui serait très exigeant du point de vue logistique. Les sujets devraient accepter de se soumettre à certaines restrictions pendant la durée de l'enregistrement et tenir un journal ; ces conditions ne les inciteraient probablement pas à réitérer leur participation à l'étude.

3.3 Mesures contextuelles

Les immissions peuvent également être recensées dans des situations définies de la vie de tous les jours sans devoir choisir au hasard un groupe de population dont on mesure l'exposition au quotidien. Exemples de situations :

- l'espace extérieur des centres-villes, des agglomérations, des quartiers résidentiels urbains ou des zones d'habitation rurales ;
- l'espace intérieur des logements, des postes de travail, des centres commerciaux ou des écoles ;
- les gares, les transports publics ou privés ;

etc.

Ces situations sont désignées ci-après par le terme de « contexte ». Des mesures effectuées dans ce type de situation permettent de répondre, par exemple, à des questions telles que :

- Quel est le niveau moyen des immissions de RNI de la téléphonie mobile de 4^e génération (LTE) dans des quartiers résidentiels urbains ? Comment ces immissions ont-elles évolué au cours des deux dernières années ?
- Quelle est la densité moyenne du flux magnétique généré par la distribution d'électricité et les appareils électriques dans les maisons individuelles en zone rurale ? Quelles sont les valeurs de pointe atteintes sur de courtes durées ? Quelle est la proportion de maisons individuelles exposées de manière continue à une immission supérieure à 1 μ T ?
- Quel est le niveau moyen des immissions de RNI des téléphones mobiles des passagers dans les trains Intercity et comment ces immissions varient-elles sur de courtes durées ? Quelle est, dans ces trains, la densité du flux magnétique généré par le courant de traction ?
- Comment les immissions de RNI de l'ensemble de la téléphonie mobile se modifient-elles en zone rurale ou au centre-ville avec l'introduction de la 5^e génération de téléphonie mobile (à partir de 2020) ?
- Quel est le niveau des immissions de RNI des réseaux locaux sans fil (WLAN) dans les logements ? Y a-t-il des différences entre les maisons individuelles et les immeubles d'habitation, entre les zones d'habitation urbaines, périurbaines et rurales ?

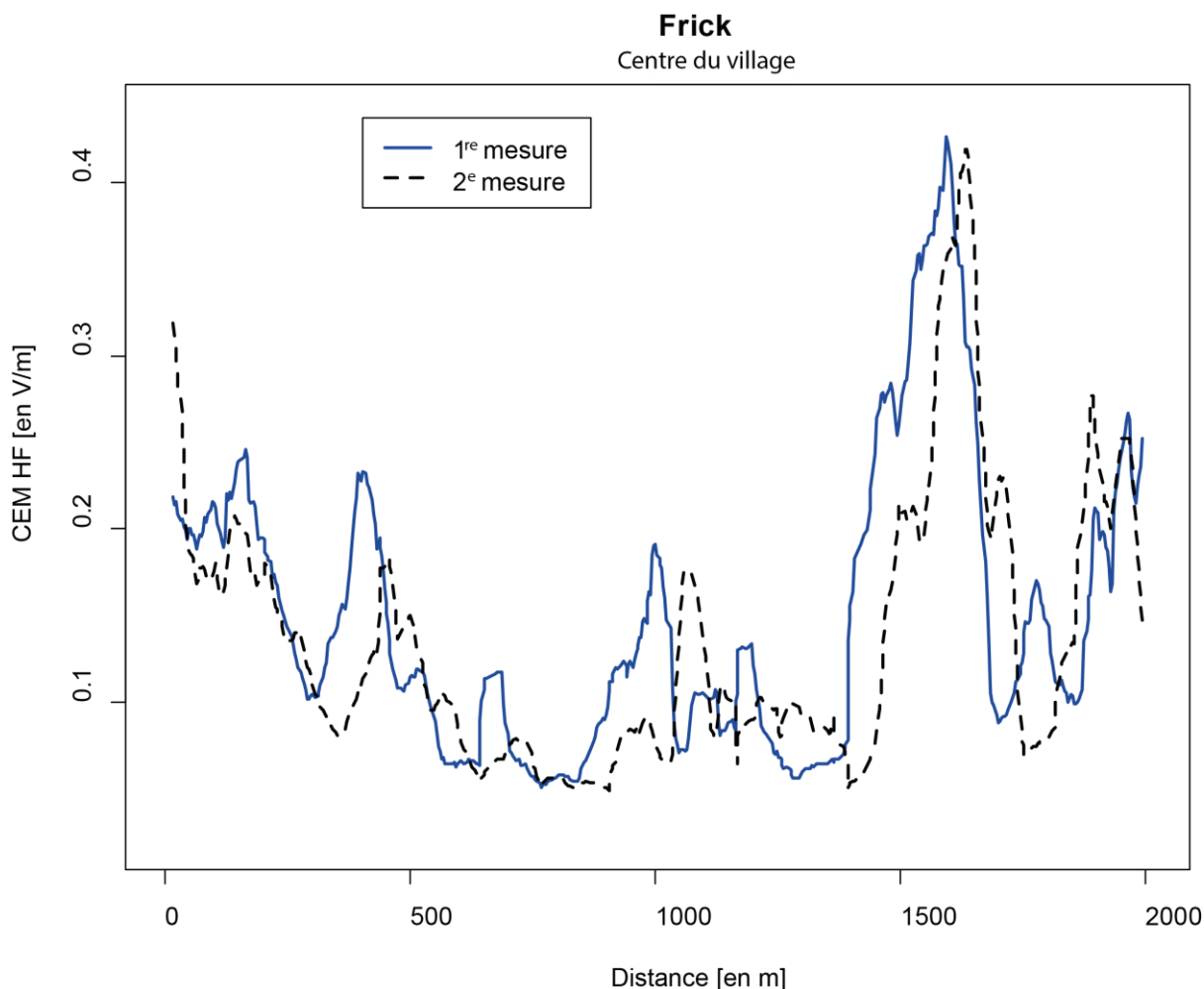


Figure 3 Intensité du champ électrique du rayonnement haute fréquence le long d'un trajet prédéfini d'environ 2 km à travers le centre du village de Frick. Les deux mesures ont été faites à un intervalle d'un mois (tiré de Rööslü et al. 2015).

Étant donné que les immissions varient selon le lieu et dans le temps pour un contexte défini, de même que dans tout l'environnement, il est opportun de choisir plusieurs situations concrètes pour un contexte donné, dans lesquelles les immissions seront mesurées sur une certaine durée et en beaucoup de points séparés. Pour le contexte « zone d'habitation au centre-ville », on pourrait, par exemple, choisir un quartier résidentiel au centre-ville de dix villes suisses réparties sur l'ensemble du territoire. Dans chacun de ces quartiers, on définirait ensuite un ou plusieurs trajets de mesures qui seraient parcourus à pied ou en voiture par des personnes ayant été instruites sur la manière d'effectuer les mesures à l'aide des appareils portatifs décrits sous 3.2. La Figure 3 présente l'intensité du champ électrique de la totalité du rayonnement haute fréquence mesurée à l'aide d'un appareil portatif le long d'un trajet prédéfini dans le centre du village du Frick; les mesures ont été réalisées au cours de deux passages effectués à un mois d'intervalle. Des études pilotes (Rööslü et al. 2015) ont montré qu'on obtient ainsi un résultat reproductible et fiable concernant l'immission moyenne et l'amplitude des variations dans ce quartier après un passage unique et une durée de mesure inférieure à une heure. Grâce au protocole de mesure standardisé et au mode opératoire contrôlé, des mesures répétées à intervalles de plusieurs mois ou années le long du même trajet sont particulièrement appropriées pour mettre en évidence une évolution des immissions sur le long terme. La Figure 4 montre les valeurs moyennes de l'exposition au rayonnement haute fréquence mesurées une fois par mois sur une période de deux ans, dans la région de Bâle, le long de trajets définis dans des lieux différents.

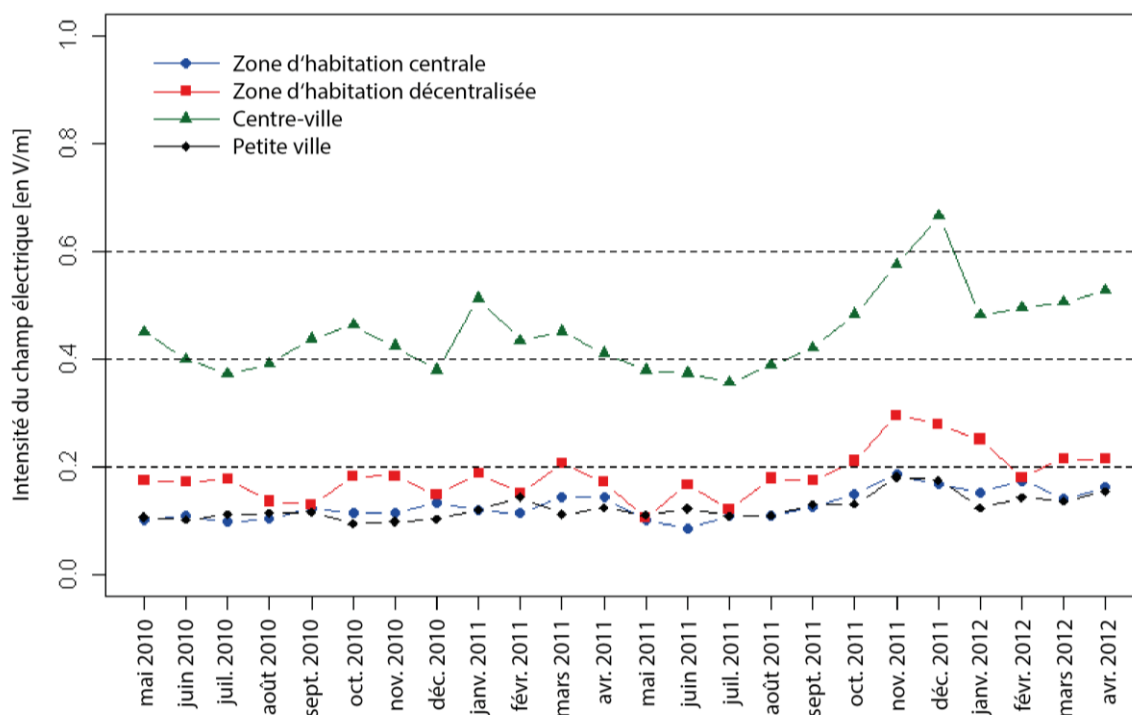


Figure 4 Intensité moyenne du champ électrique du rayonnement émis par des stations de base de téléphonie mobile en plusieurs emplacements extérieurs dans la région de Bâle, relevée lors de mesures répétées entre mai 2010 et avril 2012 effectuées le long de trajets prédéfinis (tiré d'Urbinello et al. 2013).

L'exemple présenté ci-dessus pour l'espace extérieur peut également être adapté à un autre contexte et être réalisé par exemple dans un espace intérieur ou dans les transports publics. En principe, des mesures de courte durée effectuées en plusieurs emplacements sont plus pertinentes que des mesures longues en un nombre restreint de points.

Les immissions du même type que celles faisant l'objet de mesures effectuées sur des personnes (cf. 3.2) peuvent être mesurées de cette manière. Des mesures contrôlées faites par un personnel formé présentent l'avantage de permettre également un recensement fiable des immissions des appareils mobiles utilisés par des tiers si la personne chargée de la mesure renonce à utiliser elle-même des appareils de ce type pendant qu'elle effectue la mesure.

Afin de pouvoir tirer des conclusions concernant l'exposition moyenne de la population ou de sous-groupes pertinents (p. ex. enfants, personnes actives, retraités, etc.) à partir de données recueillies selon cette méthode, il faut en outre déterminer les durées de séjour typiques dans les contextes définis.

3.4 Mesures stationnaires

Si l'on désire connaître le niveau des immissions en un emplacement donné, par exemple dans le préau d'une école, dans une gare ou près d'une ligne à haute tension, les immissions peuvent être enregistrées à l'aide d'appareils de mesure appropriés installés de manière fixe à ces endroits. Des enregistrements de ce type effectués sur des durées relativement longues fournissent des informations détaillées concernant les variations

temporelles des immissions et leur évolution sur le long terme et servent de base pour la validation du calcul des immissions décrit sous 3.5. Les résultats obtenus sont toutefois uniquement valables pour l'emplacement sur lequel se trouvait l'appareil de mesure ; les immissions peuvent différer considérablement à quelques mètres de là. La Figure 5 montre, à titre d'exemple, l'enregistrement de l'intensité du champ électrique du rayonnement émis par des stations de base de téléphonie mobile à Liestal effectué sur une semaine.

En principe, il est possible de recenser toutes les immissions de RNI présentes actuellement dans l'environnement en s'équipant d'instruments de mesure appropriés.

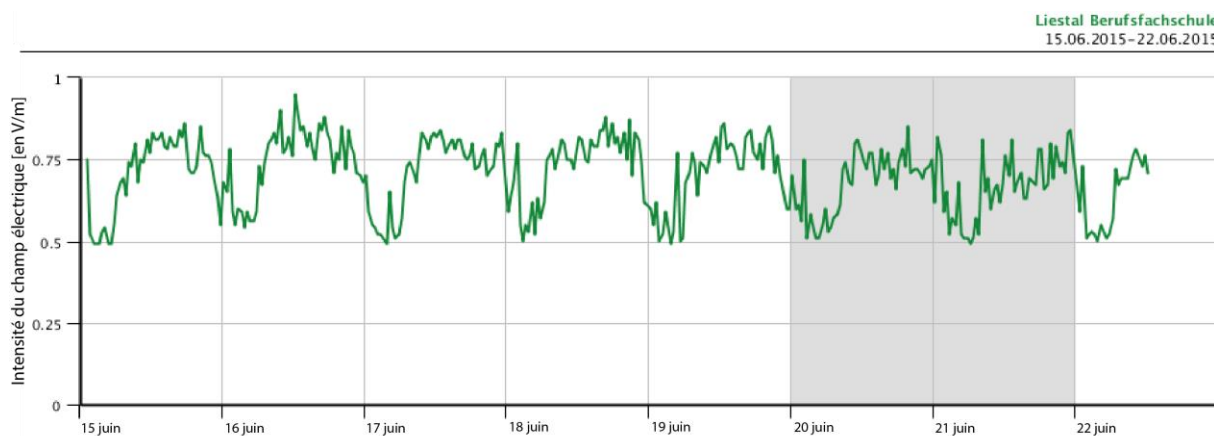


Figure 5 Intensité du champ électrique du rayonnement émis par des stations de base de téléphonie mobile, enregistrée sur plusieurs jours par une station de mesure fixe à Liestal BL (station de mesure de l'Office de l'hygiène de l'air des deux Bâle¹). La zone grisée correspond au week-end.

3.5 Calcul des immissions

La propagation du rayonnement de la source jusqu'au lieu d'immission peut être décrite mathématiquement et calculée. Toutefois, les calculs détaillés sont longs et complexes, et ils requièrent des paramètres d'entrée extrêmement détaillés et précis. On travaille donc généralement avec des approximations et des modèles simplifiés. Les données de base suivantes sont nécessaires pour la modélisation :

- emplacements (coordonnées) des sources ;
- nature, intensité et évolution temporelle de l'émission ;
- diffusion spatiale des sources en trois dimensions ;
- topographie ;
- obstacles entre les sources et le lieu d'immission ainsi que leurs caractéristiques d'atténuation.

Lorsque tous ces paramètres sont connus, les immissions peuvent être calculées à chaque instant et en chaque point dans l'espace à l'aide de logiciels basés sur des données SIG, et être représentées sous forme de cartes d'immissions, par exemple.

Cependant, les données de base dont on dispose actuellement ne sont pas complètes et toutes les sources n'ont de loin pas été recensées et caractérisées. On ne connaît

¹ <http://www.oasi.ti.ch/web/nisbasel/>

notamment pas dans le détail l'emplacement et la durée d'utilisation des appareils mobiles. Toutes les sources mobiles ou stationnaires à l'intérieur des bâtiments, telles que les câblages électriques, les appareils électro-ménagers, les routeurs WLAN ou les téléphones sans fil et leurs stations de base ne sont pas répertoriées dans des cadastres. Peuvent être modélisés en premier lieu les infrastructures érigées dans l'environnement, telles que les stations émettrices et les installations radar, les lignes à haute tension, les sous-stations électriques, les stations de transformation et les installations de chemin de fer. Si l'on dispose actuellement d'un cadastre complet et actualisé des installations de téléphonie mobile et de radiodiffusion, les cadastres pour les autres catégories d'installations doivent encore être établis, puis mis à jour périodiquement.

Les caractéristiques d'atténuation des différents obstacles situés entre la source et le lieu d'immission ne sont pour la plupart pas connues. Selon le matériau de construction utilisé, les enveloppes des bâtiments atténuent de manière très différente le rayonnement provenant de l'extérieur, mais on ne connaît généralement pas les matériaux employés. L'espace intérieur ne se prête donc pas aux modélisations avec toutefois une exception : les champs magnétiques basse fréquence générés par la distribution d'électricité et les chemins de fer, qui traversent pratiquement sans entrave les matériaux de construction usuels.

Des modélisations de ce type ont été utilisées pour le rayonnement émis par les infrastructures de téléphonie mobile et de radiodiffusion, ainsi qu'à l'échelle pilote pour des lignes à haute tension (Bürgi 2012). En Suisse centrale² et dans les deux Bâle³, les immissions de RNI de la radiodiffusion et de la téléphonie mobile émis sur l'ensemble du territoire des cantons concernés sont recalculées à intervalles d'un an et les résultats sont publiés sur Internet. Les immissions sont généralement calculées sous forme de moyennes temporelles et ne représentent pas le niveau à un moment donné.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de représenter les immissions sur l'ensemble du territoire, voire même d'avoir une couverture spatiale complète, comme le montre la Figure 6, qui présente une carte des immissions de RNI des stations de base de téléphone mobile qui ont été calculées. On obtient ainsi une vue d'ensemble des sources de rayonnement et de la distribution spatiale des immissions. Une modélisation répétée à intervalles d'une ou de plusieurs années convient parfaitement pour mettre en évidence l'évolution à long terme des immissions, à condition que la méthode de calcul ne change pas.

² <http://www.e-smogmessung.ch>

³ <http://www.baselland.ch/immissionskataster-htm.314306.0.html>

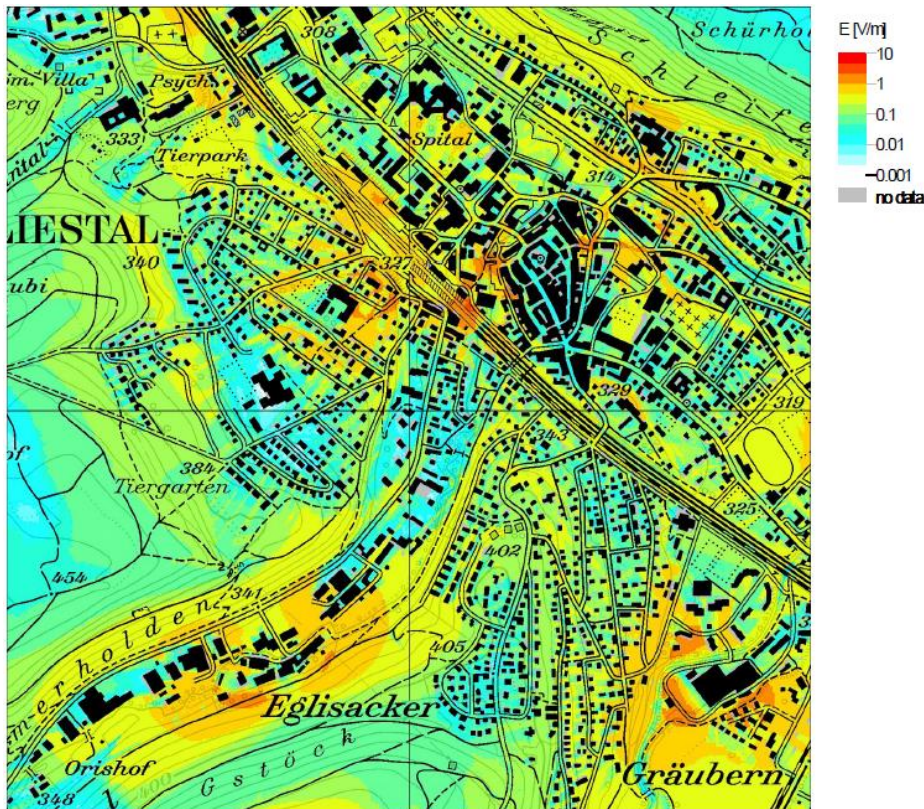


Figure 6 Exemple de carte de l'intensité calculée du champ électrique du rayonnement émis par des stations de base de téléphonie mobile à 1,5 mètre au-dessus du sol. L'immission à l'intérieur des bâtiments n'a pas été calculée. (Tiré de Bürgi 2014 ; fond de carte CP25 ©Swisstopo)

Bien que les calculs d'immissions soient principalement utiles pour l'espace extérieur, ils permettent néanmoins d'obtenir une limite supérieure pour l'exposition des personnes dans leur logement ou sur leur lieu de travail. Les immissions de RNI à l'extérieur du bâtiment (façade, toit) peuvent, par analogie à la modélisation de l'exposition au bruit, être calculées en utilisant une grille de points suffisamment dense (Bürgi 2014). Le niveau des immissions de RNI qui proviennent de l'extérieur et auxquelles sont exposés les habitants des espaces intérieurs situés derrière cette enveloppe peut alors être tout au plus égal à celui que l'on observe devant la façade. Une combinaison de ces éléments avec des données statistiques concernant l'utilisation des espaces intérieurs permet de déterminer la distribution des immissions au sein de la population dans (ou devant) leur logement. En comparant des modélisations réitérées à différents moments, il est possible de mettre en évidence de manière fiable des tendances à long terme, comme pour la représentation cartographique.

Le résultat d'un calcul d'immission effectué pour un point isolé dans l'espace est entaché d'une incertitude plus grande que les valeurs statistiques obtenues pour une zone plus grande. Plus le nombre de points considérés est grand, plus les écarts des différents points tendent à se compenser de sorte que les grandeurs agrégées, par exemple l'immission moyenne dans l'espace extérieur d'une ville, peuvent être déterminées de manière fiable et robuste. En revanche, une présentation des résultats concernant les différents points d'immission calculés pour chaque parcelle reflèterait une précision trompeuse et nuirait à la communication.

3.6 Détermination de l'exposition due à l'utilisation d'appareils près du corps

Les appareils émettant du RNI qui sont utilisés près du corps peuvent exposer la personne qui les manipule à un rayonnement important. Le corps entier n'est pas exposé uniformément : c'est la partie du corps la plus proche de l'appareil qui l'est en premier lieu. Afin d'évaluer l'exposition à l'intérieur du corps, il faut tout d'abord déterminer la manière dont le rayonnement se répartirait autour de l'appareil s'il était exploité isolément, en l'absence du corps. Une fois cet élément connu, il est possible de calculer à l'aide de modèles informatiques complexes, pour les différents organes, le rayonnement qui pénètre dans le corps. On peut en principe procéder de la sorte pour tout appareil dont on connaît la position d'utilisation près du corps et l'état de fonctionnement. Il y a toutefois lieu de relever qu'une quantification de ce type ne s'applique qu'à une utilisation donnée et qu'une généralisation n'est pas possible sans autre. Pour obtenir des informations représentatives concernant l'exposition à une certaine catégorie d'appareils, par exemple les téléphones mobiles, il faut donc, parallèlement aux mesures techniques et aux calculs, faire des enquêtes approfondies sur leur utilisation. Les aspects à recenser sont notamment :

- la diffusion au sein de la population des différentes marques/modèles de la catégorie d'appareils présentant un intérêt ;
- l'endroit du corps près duquel l'appareil est placé pendant son utilisation. Dans le cas d'appareils qui émettent également un rayonnement en mode veille, l'endroit du corps près duquel l'appareil est placé pendant ces périodes est également important ;
- la durée d'utilisation ;
- l'émission en exploitation réelle. Elle peut dépendre du lieu où la personne se trouve ainsi que de la nature et de l'intensité de l'utilisation. Un smartphone, par exemple, émet plus faiblement lorsqu'il communique avec un point d'accès WLAN proche qu'avec une antenne de téléphonie mobile très éloignée, et l'émission est en moyenne plus forte lors d'une connexion GSM que lors d'une connexion UMTS.

Pour une seule catégorie d'appareils, on a donc déjà une foule de scénarios d'exposition différents, dont un nombre restreint pourra être sélectionné et modélisé de manière détaillée. Une modélisation représentative de l'ensemble du parc d'appareils et de la diversité des conditions d'utilisation représenterait un travail énorme et n'est pas faisable actuellement selon les experts consultés. Et même si cela s'avérait possible à l'avenir, la procédure devrait être entièrement répétée à intervalles de quelques années étant donné l'évolution relativement rapide du parc d'appareils et du comportement des utilisateurs.

Au contraire des relevés décrits sous 3.2 à 3.5, un recensement représentatif de l'exposition due à l'utilisation d'appareils à proximité du corps n'est actuellement pas réalisable.

4 Concept pour une surveillance du RNI en Suisse

En l'état actuel de la technique, une combinaison des modules énumérés ci-après, décrits au chapitre 3, semble appropriée pour une surveillance du RNI en Suisse.

- **Mesures contextuelles** (cf. 3.3) du rayonnement haute fréquence et des champs magnétiques basse fréquence. La première étape consiste à définir les contextes devant faire l'objet d'un recensement. Les contextes suivants devraient tout au moins être inclus :

- espace extérieur dans les zones d'habitation, en tenant compte de la typologie des communes⁴ établie par l'Office fédéral du développement territorial, en caractérisant les quartiers d'habitation en fonction de leur distance par rapport au centre-ville et en les distinguant des zones industrielles ;
- espace intérieur des logements, différencié selon les mêmes critères que les quartiers d'habitation ;
- espace réservé aux passagers dans les transports publics.

Les appareils de mesure sont disponibles et la méthodologie est prête à être mise en pratique. Le rayonnement haute fréquence et les champs magnétiques basse fréquence peuvent être recensés au cours d'un même passage. Au vu de l'évolution dynamique des techniques de communication sans fil et de leur utilisation, il est indiqué de répéter l'opération chaque année. Il est également envisageable d'effectuer uniquement les mesures dans l'espace extérieur et les transports publics chaque année et de réaliser moins fréquemment, par exemple tous les cinq ans seulement, celles dans l'espace intérieur des logements, dont les coûts logistiques sont beaucoup plus élevés.

- **Calcul des immissions** (cf. 3.5) : la structure informatique de la banque de données existante sonBASE⁵ de l'OFEV, à l'aide de laquelle sont calculées les nuisances sonores pour l'ensemble de la Suisse, se prête particulièrement bien à ce calcul. Les données de base (géodonnées, cadastre des bâtiments, statistique de la population) nécessaires aussi bien aux modélisations du bruit qu'à celles du RNI sont déjà intégrées dans sonBASE, ce qui permet de tirer parti de synergies importantes.

Les calculs d'immissions peuvent être transposés relativement rapidement au rayonnement des installations de téléphonie mobile et de radiodiffusion du fait que l'on dispose déjà d'un cadastre complet et actualisé de ces installations. Il est souhaitable que la modélisation couvre tout au moins les zones d'habitation sur l'ensemble du territoire et recense les immissions moyennes dans l'espace extérieur, notamment au niveau des façades des bâtiments dans lesquels des personnes séjournent pendant une période prolongée. Un relevé annuel semble indiqué au vu de l'évolution dynamique des réseaux et de l'utilisation de la téléphonie mobile.

S'agissant des champs magnétiques de la distribution électrique, il faut prévoir une démarche par étapes, en commençant par les lignes à très haute tension (tension de 220 kV et plus) et en étendant successivement les relevés aux lignes du niveau de réseau 3 (tension en dessous de 220 kV et jusqu'à env. 45 kV) ainsi qu'aux sous-stations et aux postes de couplage. Un cadastre digital géoréférencé des installations émettrices intégrant les paramètres d'exploitation pertinents pour les émissions doit d'abord être établi. Il s'agit de modéliser les valeurs moyennes annuelles de la densité de flux magnétique dans un périmètre relativement étroit autour des installations émettrices. Les champs magnétiques basse fréquence n'étant pratiquement pas influencés par les structures des bâtiments, les espaces intérieurs peuvent – et devraient même – également être inclus dans la modélisation. Un recensement tous les quatre à cinq ans devrait suffire. En revanche, une modélisation des stations de transformation et des lignes moyenne et basse tension n'est pas réaliste étant donné le nombre important d'installations et le travail considérable nécessaire pour la mise à disposition et le traitement des données relatives aux installations et à l'exploitation sur le long terme. Les

⁴ Grands centres, centres secondaires des grands centres, couronne des grands centres, centres moyens, couronne des centres moyens, petits centres, communes périurbaines rurales, communes agricoles, communes touristiques

⁵ <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10312/10340/index.html?lang=fr>

champs magnétiques générés par ces installations sont mieux recensés dans le cadre de mesures contextuelles telles que décrites sous 3.3.

Bien que le calcul des champs magnétiques générés par les lignes de contact de chemin de fer à proximité immédiate des voies soit en principe faisable, il ne peut pas être réalisé aujourd'hui, les données nécessaires (input) étant encore lacunaires; les algorithmes de calcul n'ont pas non plus été validés. Ces éléments de base doivent encore être développés avant de pouvoir réaliser une modélisation de grande envergure. Un relevé tous les cinq ans devrait suffire. En revanche, l'exposition des voyageurs aux champs magnétiques dans les trains peut déjà être recensée de manière représentative par des mesures contextuelles telles que décrites sous 3.3.

- **Mesures stationnaires** (cf. 3.4) : certains cantons et communes réalisent déjà des mesures de ce type. Elles sont toutefois insuffisantes pour obtenir des informations représentatives concernant l'exposition de l'ensemble de la population, mais fournissent des compléments d'information précieux concernant les fluctuations des immissions au cours d'une journée et d'une semaine, et peuvent être utilisées pour la validation des calculs d'immissions. Dès lors, il semble peu judicieux que la Confédération mette en place et exploite son propre réseau de mesures stationnaires. Les données disponibles, jusqu'ici dispersées, devront néanmoins être regroupées sur une plate-forme centrale et être accessibles au public. Une banque de données SIG centrale et les interfaces nécessaires avec les banques de données cantonales doivent être créées à cet effet. De plus, il y a lieu d'émettre des recommandations sur les mesures et de proposer des formations afin de garantir la qualité des mesures réalisées de manière décentralisée. La mise en place de ce module devrait prendre quelques années, pendant lesquelles les mesures contextuelles et les calculs d'immissions pourront être effectués en parallèle.
- Un relevé représentatif de l'exposition des utilisateurs à des **appareils émettant près du corps** n'est pas possible de par la multiplicité des appareils et des conditions d'utilisation. Cependant, si l'on veut obtenir une vue d'ensemble de l'exposition totale, on ne peut pas faire abstraction de la part due à ces appareils. Des études de cas peuvent être réalisées en lieu et place des recensements représentatifs et des modélisations afin de déterminer le rayonnement effectif dans le corps lors de certaines utilisations typiques, l'accent devant être mis en priorité sur les équipements terminaux de la communication mobile.

5 Estimation des coûts

Le concept de surveillance nationale du RNI proposé au chapitre 4 comprend plusieurs modules qui sont actuellement à différents stades de développement. Les mesures contextuelles des immissions (cf. 3.3) peuvent être réalisées immédiatement. Un temps de préparation de deux à trois ans est nécessaire pour l'implémentation du calcul des immissions (cf. 3.5) de RNI de la téléphonie mobile et de la radiodiffusion dans la structure du logiciel sonBASE. S'agissant de la modélisation des immissions des autres groupes de sources, notamment les installations de distribution d'électricité et de chemins de fer, un cadastre des installations doit d'abord être établi, ce qui devrait prendre plusieurs années. L'uniformisation des résultats des mesures effectuées par les cantons et les communes et leur regroupement sur une plate-forme centrale (cf. 3.4) requièrent également un temps de préparation de quelques années.

La conception modulaire de la surveillance du RNI présente l'avantage de permettre une mise en exploitation échelonnée des différents modules en fonction de leur stade de développement. La surveillance du RNI comprendra une phase de mise en place de plusieurs années et une exploitation opérationnelle en plusieurs étapes. Selon les estimations actuelles, il faut compter au moins cinq ans pour la mise en place. Après la première implémentation des modules, ceux-ci devront continuer à être développés et

adaptés aux éventuels nouveaux développements concernant les sources ou les instruments de recensement. Une estimation des coûts afférents aux acquisitions externes nécessaires à la mise en place et à l'exploitation pour la Confédération est présentée dans les tableaux Tableau 1 et Tableau 2. S'ajoute à cela le travail des entreprises électriques et ferroviaires pour l'établissement des cadastres des installations nécessaires pour les calculs des immissions (cf. 3.5) générées par la distribution d'électricité et les chemins de fer⁶.

Mise en place, dépense unique	
Acquisition des appareils de mesure	50 000 francs
Intégration du calcul des immissions des installations émettrices dans sonBASE (développement du logiciel)	500 000 francs
Intégration du calcul des immissions des lignes à haute tension et des sous-stations électriques dans SonBASE (développement du logiciel)	100 000 francs
Intégration du calcul des immissions des installations de chemin de fer dans sonBASE (développement du logiciel)	100 000 francs
Création de la plateforme informatique regroupant les résultats des mesures effectuées par cantons et les communes	200 000 francs
Réserve	50 000 francs
Total pour la mise en place	1 000 000 francs
Coûts récurrents annuels	
Mesures contextuelles des immissions à l'extérieur et dans les transports publics	100 000 francs
Calcul des immissions des installations émettrices	100 000 francs
Entretien/hébergement du logiciel	100 000 francs
Études de cas et réserve	100 000 francs
Total des coûts récurrents annuels	400 000 francs
Coûts récurrents tous les cinq ans	
Mesures contextuelles des immissions à l'intérieur	300 000 francs
Calcul des immissions des lignes à haute tension et des sous-stations	100 000 francs
Calcul des immissions des installations de chemin de fer	100 000 francs
Total des coûts récurrents tous les cinq ans	500 000 francs

Tableau 1 Estimation détaillée des coûts afférents aux acquisitions externes pour la Confédération

⁶ Le module « mesures contextuelles des immissions » (cf. 3.3) n'entraîne aucune charge pour les entreprises électriques et ferroviaires.

Position	Évaluation	Récurrence	Coût
Mise en place	1 000 000 francs	1	1 000 000 francs
Coûts récurrents annuels	400 000 francs	8	3 200 000 francs
Coûts récurrents tous les cinq ans	500 000 francs	2	1 000 000 francs
Total			5 200 000 francs

Tableau 2 Estimation détaillée des coûts afférents aux acquisitions externes pour la mise en place et l'exploitation sur une période de dix ans pour la Confédération

Les coûts estimés pour la Confédération s'élèvent donc à environ 5,2 millions de francs pour les dix premières années à partir du début de la mise en place du système. Un poste supplémentaire devra être créé à l'OFEV pour la conception, la mise en soumission, l'adjudication des mandats, le pilotage, le suivi des mandats externes, la coordination avec les cantons, ainsi que l'information et la communication concernant les résultats de la surveillance du RNI.

La Confédération dispose de recettes importantes provenant de la vente des concessions de radiocommunication pour des services de télécommunication sans fil. Pour les concessions de téléphonie mobile octroyées pour la période de 2014 à 2028, par exemple, elles se sont montées à environ un milliard de francs. Le projet de surveillance du RNI est dans une large mesure directement lié à l'octroi par la Confédération de concessions de radiocommunication, qui autorisent l'émission d'un rayonnement haute fréquence dans l'environnement. Or il s'agit maintenant de recenser et de surveiller ce rayonnement en guise de mesure d'accompagnement. Les coûts estimés pour la mise en place et l'exploitation sur une période de dix ans, y compris les charges de personnel de la Confédération, correspondent à environ 0,7 % des recettes provenant de ces concessions. Le Conseil fédéral a mentionné la possibilité d'affecter une partie des produits des concessions au financement de mesures d'accompagnement et de projets dans le domaine du monitoring, de la recherche et du développement dans le rapport 2014 sur les télécommunications⁷.

⁷ <http://www.bakom.admin.ch/dokumentation/gesetzgebung/00512/03498/index.html?lang=fr>

6 Conclusion

Il est possible de surveiller le RNI sur l'ensemble du territoire suisse de manière à obtenir des informations représentatives sur l'exposition de la population. Le projet comprendrait les quatre modules suivants :

- mesures représentatives des immissions dans des contextes définis, y compris dans les habitations ;
- calcul des immissions dans les zones d'habitation dues aux installations émettrices de téléphonie mobile et de radiodiffusion, aux lignes à haute tension, aux sous-stations électriques et aux lignes de contact de chemin de fer ;
- regroupement et utilisation des résultats des mesures stationnaires des immissions réalisées par les cantons et les communes sur une plate-forme centrale ;
- études de cas portant sur l'exposition des utilisateurs d'appareils émettant à proximité du corps.

Les appareils de mesure nécessaires existent, de même que les algorithmes pour calculer les immissions de RNI de la téléphonie mobile et de la radiodiffusion ainsi que les immissions des champs magnétiques des lignes à haute tension. Ces calculs peuvent être intégrés dans la structure informatique de la base de données sonBASE de l'OFEV, ce qui permettrait de dégager des synergies importantes. Les bases pour le calcul des immissions dues aux installations de chemin de fer et aux sous-stations électriques, ainsi que les cadastres des installations de distribution d'électricité et de chemins de fer nécessaires au calcul des immissions, doivent encore être établis. Les coûts pour la Confédération afférents à la mise en place et à l'exploitation du système sur une période de dix ans sont estimés à 7 millions de francs, dont 5,2 millions de francs pour des prestations de service externes. Vu l'importance des déficits structurels du budget fédéral et la nécessité d'introduire un programme de stabilisation, le financement du projet est toutefois incertain.

7 Abréviations

GSM	Global System for Mobile Communication (téléphonie mobile de 2 ^e génération)
Hz	hertz (unité de fréquence)
LPE	loi fédérale sur la protection de l'environnement
LTE	Long Term Evolution (téléphonie mobile de 4 ^e génération)
μT	microtesla (un millionième de tesla, unité de densité de flux magnétique)
OFEV	Office fédéral de l'environnement
ORNI	ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant
RNI	rayonnement non ionisant
SIG	Système d'information géographique
sonBASE	Base de données SIG de l'OFEV pour l'évaluation du bruit
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (téléphonie mobile de 3 ^e génération)
V/m	volt par mètre (unité d'intensité du champ électrique)
WLAN	Wireless Local Area Network (réseau local sans fil)

8 Bibliographie

- Bürgi 2012 Bürgi, A., Cadastre des immissions pour les champs magnétiques basse fréquence produits par des lignes à haute tension - étude de faisabilité et étude pilote. Rapport sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2012 (en allemand avec résumé en français).
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01117/index.html?lang=fr> > Publications et études > 2. immissions
- Bürgi 2014 Bürgi, A., Statistische Analyse der Immissionsmodellierung von Sendeanlagen auf der Datengrundlage von SonBase und der Antennendatenbank des BAKOM. Rapport sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2014 (en allemand)
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01117/index.html?lang=fr> > Publications et études > 2. immissions
- Dürrenberger et al. 2014 EMF Monitoring – Concepts, Activities, Gaps and Options. Int. J. Environ. Res. Public Health 2014, **11**, 9460-9479
- FSM 2012 Forschungsstiftung Mobilkommunikation (Éd.): NIS-Monitoring Schweiz. Eine Konzept- und Machbarkeitsstudie (Surveillance du RNI en Suisse. Étude du concept et de la faisabilité). Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Zurich 2012.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01117/index.html?lang=fr> > Publications et études > 2. immissions
- Mohler et al. 2009 Mohler, E. u. a., Persönliche Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder in der Region Basel (Schweiz): Ein Überblick über die QUALIFEX-Studie. Umweltmed Forsch Prax 2009, **14** (6) 329–338.
- OFS 2012 Office fédéral de la statistique 2012: Perception de la qualité de l'environnement et comportements environnementaux. Résultats de l'enquête Omnibus 2011
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/news/publikationen.Document.159831.pdf>
- PNR57 Programme national de recherche 57: Rayonnement non ionisant. Environnement et santé.
<http://www.PNR57.ch/>
- Rösli et al. 2015 Rösli u. a., Stichprobenkonzept für Messungen der nichtionisierenden Strahlung mit Exposimetern. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Bâle 2015.
<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/> > Publikationen und Studien > 2. immissionen
- Urbinello et al. 2013 Urbinello D. u. a., Zeitliche und räumliche Verteilung hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) im Raum Basel, SwissTPH und Basel-Stadt, 2013.
<https://team.swisstph.ch/share/s/2J-bAtXETy-eSalqHiVXQQ>