



OFCOM Juin 2003

**Technologie
à large-bande**



Appréciation du pouvoir perturbateur des installations PLC à Fribourg

Version 1.00

Auteur du rapport:

Pascal Krähenbühl; FM-FP, Fachstelle EMV

Participation:

Hans Breitenmoser; FM-FP, Fachstelle EMV

Verteiler

Name	Zeichen	Funktion	Firma/OE

Änderungskontrolle

Datum	Version	Status	Firma	Name	Bemerkungen
5 mai 2003	0.06		OFCOM	krp, beh	Document initial
16 juin 2003	1.0		OFCOM	krp	Version finale

Genehmigungskontrolle

Datum	Firma	Name	Visum	Bemerkungen

Sommaire

La commercialisation sur le marché européen des technologies de transmission de données à haut débit sur réseaux filaires suscite quelques inquiétudes au sein des opérateurs et usagers des systèmes de radiocommunication et de radiodiffusion. Leur question étant de savoir quel sera l'impact du rayonnement perturbateur (pouvoir perturbateur) de ces systèmes sur la qualité de la réception radio, et s'il existe un risque de pollution généralisé du spectre dans les bandes de fréquences inférieures à 30MHz. Ces inquiétudes concernent plus particulièrement les installations PLC (Powerline Communication) et ADSL (Audio Digital Subscriber Line), du fait qu'elles sont implantées sur des réseaux qui ne sont pas prévus à cet usage. Ces technologies dites à "large bande" trouvent une application commerciale en suisse comme étant une alternative au monopole de Swisscom sur le tronçon dit du "dernier kilomètre", jusqu'à l'abonné et dans la création de réseaux de transmission privés à l'intérieur des bâtiments.

Comme il n'existe aucunes spécifications techniques harmonisées concernant la technologie PLC au niveau de l'Union européenne. Les fabricants développent leur propre standard, basés sur des procédés de modulation, des bandes de fréquence et des puissances différentes, qui rendent incompatible les différents modems présents sur le marché entre eux. Cependant, le principal obstacle au développement des technologies à "large-bande" étant leur pouvoir perturbateur, l'UE a mandaté (mandat M313) les organisations de normalisation ETSI et CENELEC d'élaborer une norme harmonisée sur le pouvoir perturbateur des réseaux. Ce travail est suivi par l'OFCOM au sein du groupe de travail JWG CENELEC/ETSI. Une présentation de la situation sur l'état des travaux de normalisation est réalisée dans le rapport du Prof. Michel Ianoz qui est joint en annexe 1 du présent rapport.

Le centre de compétence CEM/CEME de l'OFCOM a reçu mandat, en janvier 2002, de mener une campagne de mesure de grande envergure, afin d'apprécier le pouvoir perturbateur des installations PLC des "Entreprises Electriques Fribourgeoises" en ville de Fribourg. Cette campagne a débuté en août 2002 et s'est poursuivie jusqu'en février 2003 où plus de 4400 mesures ont été effectuée à 236 emplacements différents situés en zone urbaine et en zone rurale.

Conclusions: Une approche statistique dans l'analyse des données a permis de retrouver le niveau de bruit qui prévalait avant l'implantation des installations PLC et de se projeter dans le futur afin de voir quel niveau le bruit pourrait être atteint si cette technologie se généralise. Toute extrapolation du résultat à d'autres villes, probablement équipées d'autres systèmes (ex. modems américains) doit faire l'objet d'une analyse approfondie.

- Le pouvoir perturbateur maximum a été mesuré à proximité des points d'alimentation des cellules PLC, soit à proximité des cabines de transformateur de quartier (17kV/230V). Il décroît cependant rapidement si l'on s'éloigne de ces endroits.
- L'augmentation du niveau de bruit existant en milieu urbain reste faible en dessous de 10MHz alors qu'il est sensiblement plus important aux fréquences supérieures. Cela est dû au rayonnement perturbateur des caténaires des trolleybus de la ville, ainsi que de certaines lignes à haute tension qui génèrent un niveau de bruit très important en dessous de 10MHz.
- Le niveau du rayonnement perturbateur généré par les installations PLC varie faiblement en fonction des fréquences mesurées autour d'un niveau médian d'environ 41dBuV/m.
- Le rayonnement perturbateur des installations PLC sur le domaine public excède les valeurs limites des dispositions NB30 à toutes les fréquences mesurées. Le dépassement est encore plus significatif et peu atteindre jusqu'à 21 dB à proximité des points d'alimentation des cellules PLC. On constate également que le niveau de bruit radioélectrique qui prévalait avant l'implantation des installations PLC excède déjà les limites NB30.
- Le rayonnement perturbateur PLC généré dans les zones urbaines et propagé par l'onde de sol à l'extérieur de la ville n'a pu être détecté en milieu rural, situé à une distance d'environ 500mètres des installations les plus proches. Cela confirme l'hypothèse que le pouvoir perturbateur du signal PLC n'affecterait que des zones très proche des sites d'implantation PLC.

Tables des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Situation sur le marché.....	5
1.2	Normalisation européenne et régulations nationales.....	5
2	Introduction de la technologie PLC en Suisse.....	7
2.1	Technologie PLC implantée à Fribourg.....	8
3	Appréciation du pouvoir perturbateur du réseau PLC à Fribourg	11
3.1	Objectifs de la campagne de mesure de Fribourg.....	11
3.2	Mesures préliminaires sur les sites de Broc et Fribourg.....	11
3.3	Bruit radioélectrique.....	16
3.4	Mesures sur site à Fribourg.....	19
3.5	Systèmes de mesure.....	29
3.6	Procédures de mesure	31
4	Résultats	33
4.1	A proximité des points d'alimentation des cellules PLC.	35
4.2	En milieu "Urbain".	36
4.3	En milieu "rural".	41
4.4	Qualité de réception radio.....	42
4.5	Comparaison aux limites des dispositions NB30.....	44
5	Conclusions.....	45
6	Littérature et abréviations.....	46

Annexes

Annexe 1: Rapport du Prof. Michel Ianoz sur "*Electromagnetic effects due to PLC and work progress in different standardization bodies*", Novembre 2002

Annexe 2: Elektrizitätswerk Fribourg, "*Einspeisepunkte von Fribourg*", Juli, 2002

Annexe 3: Messpunkte mit Koordinaten

1 Introduction

1.1 Situation sur le marché

Il y a quelques années, plusieurs entreprises européennes se sont lancées sur le marché de la technologie PLC. Elles envisageaient d'offrir l'accès à Internet, des services de diagnostique à distance, des applications dans le domaine de la domotique ainsi que la création de réseaux domestiques de transmission de données. Certaines ont eu pour intention de concurrencer le réseau téléphonique sur le tronçon dit « du dernier kilomètre », jusqu'à l'abonné. Dans ce dernier domaine, les technologies de transmission à haut débit actuellement concurrente au PLC sont l'ADSL ou le réseau TV câblé (CATV).

La technologie PLC est déjà implantée depuis de nombreuses années aux Etats-Unis, mais son application se situe dans les réseaux de transmission de données domestiques. En Europe, la topologie des réseaux de distribution d'énergie se prête mieux à l'implantation de solution globale alliant réseau d'accès et réseau domestique.

Les équipements utilisés sont les modems PLC, possédant des spécificités différentes qui leur permettent de fonctionner comme gestionnaire de réseau, répéteur de signal ou simple terminal. Aucune norme technique ne règle la technologie PLC en Europe, ce qui a pour effet que chaque fabricant développe son propre standard qui rend incompatible les équipements entre eux.

Les modems actuellement présents sur le marché en Europe exploitent plusieurs techniques de modulation différentes, soit:

- OFDM (Orthogonal frequency division multiplex)
- GMSK (Gaussian minimum shift keying)
- DSSS (Direct sequence spread spectrum)

La puissance des modems ainsi que les bandes de fréquences utilisées sont diverses, mais tous opèrent à des fréquences inférieures à 30MHz.

1.2 Normalisation européenne et réglementations nationales

Considérant que l'émergence des transmissions à haut débit pourrait sensiblement affecter la réception de signaux radioélectriques, les régulateurs de différents pays et les organisations de normalisation européennes font un gros effort pour essayer de poser les bases d'une normalisation du pouvoir perturbateur des réseaux. A l'heure actuelle, seuls les réseaux CATV disposent d'une norme harmonisée de produit: EN50083.

Une présentation de la situation sur l'état des travaux de normalisation est réalisée dans le rapport du Prof. Michel Ianoz qui est joint en annexe 1 du présent rapport.

Essayant de combler le vide laissé par les organisations de normalisation européenne, l'Allemagne a adopté, en juillet 2001 une réglementation nationale nommée NB30 [3] (Nutzungsbestimmungen 30), traitant du libre usage des fréquences dans les conducteurs et couvrant la bande de fréquences allant de 9kHz à 30MHz (la partie 30MHz- 2,5 GHz est prévue pour juillet 2003). Ce document a été publié en tant qu'annexe à "l'ordonnance d'allocation des bandes de fréquences" qui représente l'implémentation du règlement radio de l'UIT en Allemagne. Le principe général de cette réglementation est qu'elle permet un libre usage des fréquences à l'intérieur des conducteurs d'un réseau pour autant:

- qu'elles ne tombent pas dans les bandes attribuées à des services de radiocommunication liés à la sécurité.
- que le pouvoir perturbateur de l'installation n'excède pas les limites de champ rayonné spécifiée dans les dispositions NB30, mesuré selon les spécifications de mesure Reg TP 322 MV05 [2].

Un projet de décret relatif à la protection des émetteurs et des récepteurs radioélectriques utilisés à des fins de sécurité est en préparation en vue de remplacer les dispositions NB30.

De son côté, afin de couvrir l'introduction de l'ADSL, le Royaume-Uni a adopté en août 2001 une norme nationale, désignée MTP1570, couvrant la bande de fréquences allant de 9KHz à 1.6MHz. Alors que la NB 30 est applicable à tous les types de réseau, la MTP1570 est restreinte aux réseaux DSL, PLT et les LAN domestiques. Son contenu technique est cependant similaire à la NB30.

Dans l'intention d'harmoniser la situation au niveau européen, la commission a officiellement publié en août 2001, un mandat de normalisation, désigné M-313. Ce mandat demande aux comités du CEN, CENELEC et ETSI l'élaboration d'une norme harmonisée sur la compatibilité électromagnétique (CEM) des réseaux de télécommunication filaires dans le cadre de la directive CEM. Les types de réseaux à considérer sont le réseau à courant fort, le réseau téléphonique et les réseaux coaxiaux (CATV et LAN domestiques). Le travail doit prendre en considération les spécifications européennes et internationales existantes telles que EN50083-8 (CATV), NB30 et MPT 1570. Une fois cette norme harmonisée publiée, elle entrera en vigueur au sein de l'UE et en Suisse. L'Allemagne et le Royaume-Uni devront alors retirer leurs législations nationales respectives.

Dans le cadre de la CEPT/ECC, le groupe de travail PT SE35 a élaboré un rapport [5] sur "la compatibilité entre les systèmes de communication par câble incluant DSL, PLT, CATV, LAN et de leurs effets sur les services radio". Le rapport a été approuvé en février 2003 par l'ECC et transmis au Joint Working Group CENELEC/ ETSI en charge du mandat de l'UE, M-313. Notons que l'OFCOM est représenté dans les deux groupes de travail.

2 Introduction de la technologie PLC en Suisse

Au niveau suisse, l'OFCOM a publié en octobre 2001 un guide technique [4] concernant « La mise sur le marché et/ou exploitation d'installations PLC ». Ce guide contient l'ensemble des informations juridiques, techniques et administratives en la matière. Il y est mentionné que l'exploitant d'une installation de télécommunication doit s'assurer que cette dernière ne perturbe ni les télécommunications, ni la radiodiffusion. En cas de perturbation avérée tombant sous le coup de l'article 34 LTC (perturbations), sont applicables les valeurs limites des dispositions NB30 et les spécifications de mesures y relatives.

La mise en œuvre d'un réseau PLC sur le domaine public nécessite une concession de service qui interdit, à titre préventif, la transmission de données sur les lignes aériennes du réseau électrique à basse tension, car l'aspect du rayonnement parasite généré par celles-ci doit encore faire l'objet d'une étude plus approfondie. Elle peut également, si nécessaire, exclure certaine zone géographique sensible (ex : à proximité d'aéroport ou de zones militaires).

Des essais pilotes ont été mené en Suisse par le fabricant de modem PLC Ascom Powerline Communication System, notamment dans les régions de Broc et de Suhr. Ce fabricant a également mené de nombreuses études [8] en collaboration avec l'OFCOM afin d'apprécier le pouvoir perturbateur des réseaux PLC.

En 2001, les Entreprises Électriques Fribourgeoises (EEF) et Électricité Neuchâteloise SA (ENSA) se sont regroupées sous la dénomination EEF.ENSA. Elles ont lancé un projet PLC commercial visant à fournir un accès Internet au travers du réseau de distribution d'électricité dans différentes localités du canton, à commencer par la ville de Fribourg et son agglomération. La figure ci-après présente l'extension actuelle du réseau PLC.

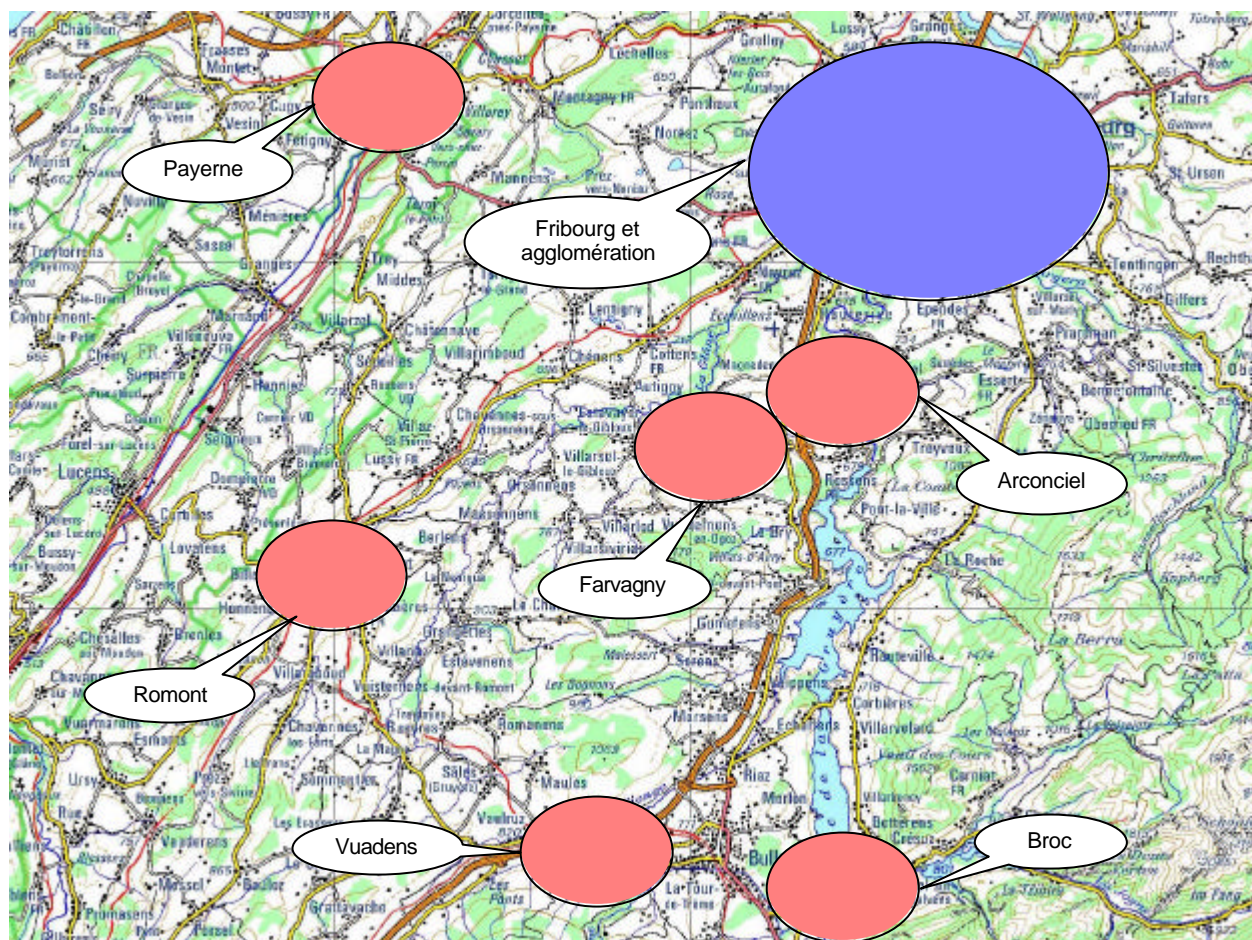


Figure 1 : Extension du réseau à Fribourg et dans les communes avoisinantes

2.1 Technologie PLC implantée à Fribourg.

Le réseau PLC est implanté sur la partie basse tension du réseau de distribution d'énergie. Il est basé sur le concept de cellule PLC. L'extension d'une cellule inclut tous les bâtiments raccordés à un même transformateur de quartier (17kV/230V). Chacune de ces cellules est reliée au réseau de télécommunication (backbone) du fournisseur de service au moyen d'une liaison à fibre optique.

L'alimentation d'une cellule PLC se fait à partir de la cabine du transformateur de quartier (17kV/230V), où un modem injecte le signal PLC sur les câbles du réseau électrique. Celui-ci se propage ensuite sur l'ensemble du réseau desservi par ce transformateur. Dans les quartiers où l'extension du réseau est importante, la puissance des modems devient insuffisante et le signal doit être amplifié au moyen de répéteurs de façon à pouvoir être transmis sur de plus longues distances. Notons que la concession de service délivrée par l'OFCOM n'autorise aucune transmission de signal PLC sur des lignes aériennes. Cette partie du réseau est appelée "réseau d'Accès" ou "Access network".

Chez l'abonné, un modem situé au niveau des compteurs d'énergie électrique transpose le signal PLC sur les porteuses "Indoor" et l'injecte ensuite sur l'installation intérieure du bâtiment. Celui-ci se propage sur l'intégralité de l'installation domestique. Cette partie du réseau est appelée "réseau domestique" ou "Indoor network".

Le réseau implanté à Fribourg est basé sur la technologie PLC développée par le fabricant suisse Ascom Powerline Communication System AG [9]. Ce système permet la mise en œuvre d'un réseau global allant du fournisseur de service à l'abonné. Le schéma ci-dessous présente une vue schématique de l'ensemble du réseau.

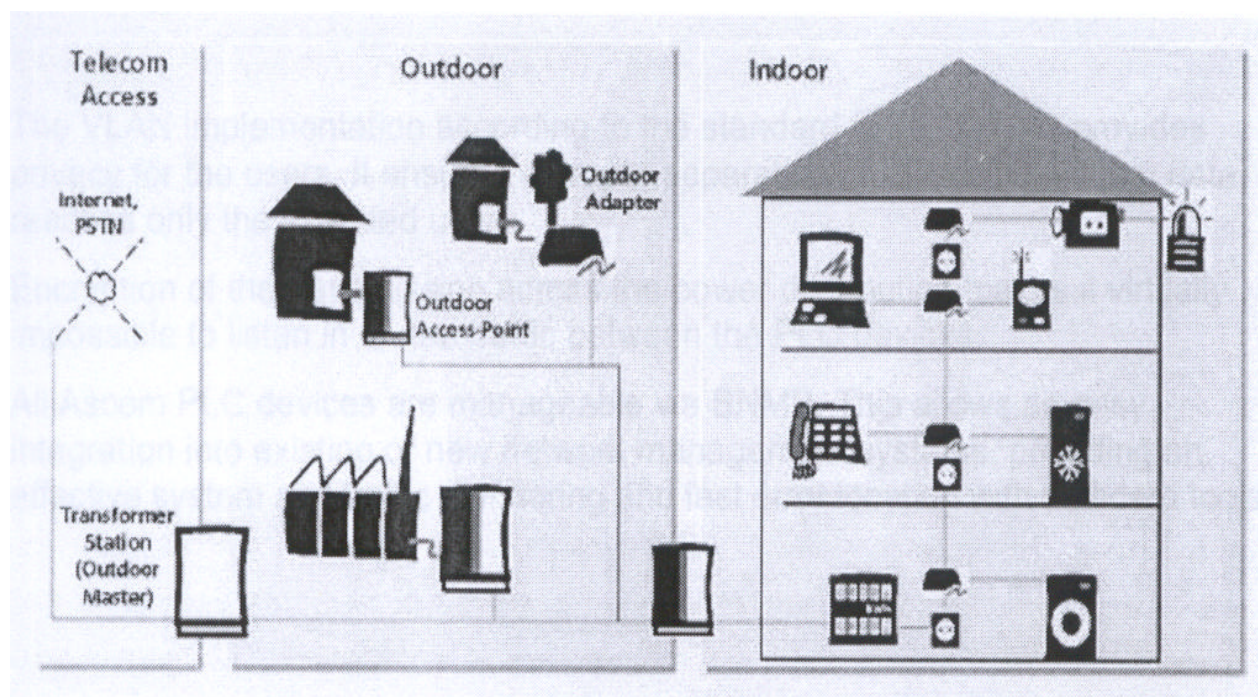


Figure 2: Structure du réseau PLC implanté à Fribourg et basé sur la technologie d'Ascom Powerline (Source: Ascom Powerline)

Sur cette figure, on distingue l'emplacement des différents composants du système développés par le fabricant suisse:

- le modem "MASTER Outdoor", est implanté dans le local du transformateur de quartier 17kV/230V. Il est en charge de la gestion du réseau d'accès.

- le modem "Outdoor Adapter" qui en tant que terminal du réseau d'accès, relie directement l'abonné sans passer par le réseau domestique.
- le modem "Outdoor Access Point", qui fait l'interface entre le réseau d'accès et le réseau domestique.
- le modem "Indoor Adapter" qui est un simple terminal du réseau domestique sur lequel peut être branché l'ordinateur.
- D'autres composants tel que les modems "Indoor/Outdoor Repeater" et "Indoor/Outdoor Foreman" permettent d'augmenter la distance de propagation du signal ou d'éviter les interférences entre 2 systèmes PLC très proches l'un de l'autre.

Les modems PLC peuvent aussi bien recevoir les données que les envoyer. Les modems destinés au réseau d'accès sont raccordés sur les trois phases, mais l'injection ne se fait que sur 2 des 3 phases. Le choix des conducteurs d'injection est fait en vue d'obtenir la meilleure qualité du signal. Les modems destinés au réseau domestique sont raccordés entre la phase et le neutre et injectent le signal sur ces 2 conducteurs. Notons qu'un découplage à l'entrée des habitations empêche les fréquences présentes sur le réseau d'Accès de se propager sur le réseau domestique et vice et versa.

Modulation et bandes de fréquences

Le système utilise des porteuses discrètes modulées en GMSK et possédant une largeur de bande de 2MHz à – 10dBc.

Les porteuses du réseau d'accès sont fixées à 2.4 ; 4.8 et 8.4 MHz et les porteuses du réseau domestique à 19.8 ; 22.8 et 25.4 MHz. Par programmation, elles peuvent être décalées par pas de 0.6 MHz.

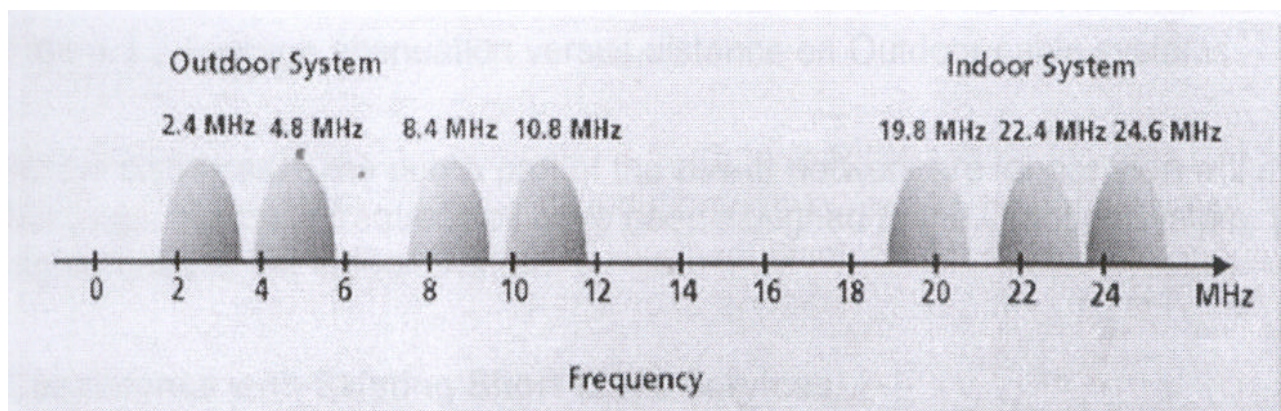


Figure 3: Allocation des fréquences du system PLC Ascom Powerline. Notons que fréquence de 10.8MHz n'est pas utilisée à Fribourg. (Source: Ascom Powerline)

En fonction des exigences du trafic, le système peut utiliser simultanément jusqu'à trois porteuses sur le réseau d'accès et trois porteuses sur le réseau domestique. Chacune d'elle est considérée comme un canal de transmission indépendant permettant un débit de donnée allant de 0.75 à 1,5 MB/s par seconde. La capacité de transmission maximale peut donc atteindre 4.5MB/s.

Management fréquence-puissance

Dans le but de limiter au maximum le rayonnement perurbateur du réseau, les modems régulent en permanence leur puissance de façon à injecter le minimum nécessaire à assurer la transmission. Ils choisissent en outre la/les fréquences porteuses où se trouve le moins d'interférence sur la ligne.

Cette gestion fréquence- puissance opère donc selon trois modes d'exploitation prédéfini par l'utilisateur, soit:

- Chacune des porteuses peut être inactivée manuellement.
- la puissance des porteuses peut être fixée manuellement par pas de 6dB jusqu'au niveau maximum.
- Le niveau maximum d'injection est de 14dBm par porteuse. Il n'est autorisé que si 2 des 3 porteuses sont activées
- Si les trois porteuses sont activées, seule une des trois est injectée au niveau maximum de 14dBm, le niveau maximum des autres est alors inférieur de 6 dB.

Lors d'une transmission de données, le modem active tout d'abord la porteuse bénéficiant de la liaison de meilleure qualité, puis adapte la puissance. S'il voit que la capacité de transmission devient insuffisante, il augmente alors la puissance, puis le nombre de porteuses actives jusqu'à atteindre le maximum autorisé.

Puissance

La puissance maximum totale injectée par un modem est de 17dBm, soit 50mW. Sa portée de transmission atteint entre 150 et 250 mètres sur le réseau d'accès et entre 70-100 mètres sur le réseau domestique.

3 Appréciation du pouvoir perturbateur du réseau PLC à Fribourg

3.1 Objectifs de la campagne de mesure de Fribourg

Le centre de compétence CEM/CEME de l'office fédéral de la communication a reçu mandat en janvier 2002, par le PAS du groupe de projet PLC, de mener une campagne de mesure de grande envergure en ville de Fribourg. Elle vise à l'appréciation du pouvoir perturbateur d'un réseau PLC en exploitation dans le but de savoir quelle serait la dégradation de la qualité de réception à attendre dans les bandes de fréquences allant jusqu'à 30 MHz.

Cette appréciation se basera sur::

- Une appréciation du niveau de bruit déjà existant en milieu urbain et rural, sans considération de la technologie PLC.
- Une évaluation du rayonnement perturbateur en comparaison des limites de bruit radioélectrique données par la réglementation allemande NB30

Cette étude devrait également permettre de fournir des informations sur les variations temporelles (à court et long terme) du pouvoir perturbateur des installations PLC, et sur l'évolution de celui-ci avec l'augmentation future du taux de pénétration dans la population.

3.2 Mesures préliminaires sur les sites de Broc et Fribourg

La planification de la campagne de mesure ainsi que des moyens logistiques à mettre à disposition a nécessité des mesures préliminaires sur l'installation domestique du bâtiment des EEF à Broc et des mesures sur site en ville de Fribourg. Elles ont eu trois objectifs principaux:

- Approfondir nos connaissance de la technologie PLC du fabricant Ascom, et notamment du système de gestion "Puissance-Fréquence" des modems, afin de pouvoir déterminer tous les paramètres d'influence du rayonnement perturbateur des installations PLC.
- Apprécier la limite de validité des dispositions allemandes NB30 en vue de l'élaboration de nos procédure de mesures.
- Estimer le niveau de bruit radioélectrique généré par les installations PLC du réseau d'accès et domestique, ainsi que le niveau minimum de bruit en milieu rural afin d'établir un cahier des charges du/des systèmes de mesure, en particulier concernant sa sensibilité de mesure.

Mesures préliminaire sur le site de Broc.

Nous avons mené ces mesures dans le bâtiment des EEF à Broc qui est équipé d'un réseau PLC domestique, raccordé au réseau de télécommunication du fournisseur de services, offrant l'accès à Internet.

La spécification de mesure allemande RegTP322 MV05 [2] liée aux dispositions NB30 se base sur les recommandations de la publication No 16 du CISPR[13]. Elle impose la mesure du champ magnétique, au moyen d'une antenne cadre placée à 1 mètre au dessus du sol. Elle est réalisée dans les trois axes orthogonaux, puis est suivie du calcul du champ résultant.

La distance de mesure standard est à 3 mètres de la ligne ou de sa projection verticale sur le sol (voir figure 4). D'autres distances sont autorisées, si les valeurs mesurées sont ensuite corrigées afin d'obtenir l'équivalence à la distance de 3 mètres.

Dans la bande de fréquence 150kHz-30MHz, la bande passante du récepteur de mesure est de 9KHz. Les valeurs limites spécifiées dans les dispositions NB30 sont des valeurs crête, mais afin d'éviter que des impulsions parasites ne fausse la mesure, la spécification recommande l'utilisation d'un détecteur quasi-crête, suivi de l'application d'un facteur de correction. Celui-ci est à déterminer au moyen d'une mesure avec la pince de courant directement à la sortie du modem.

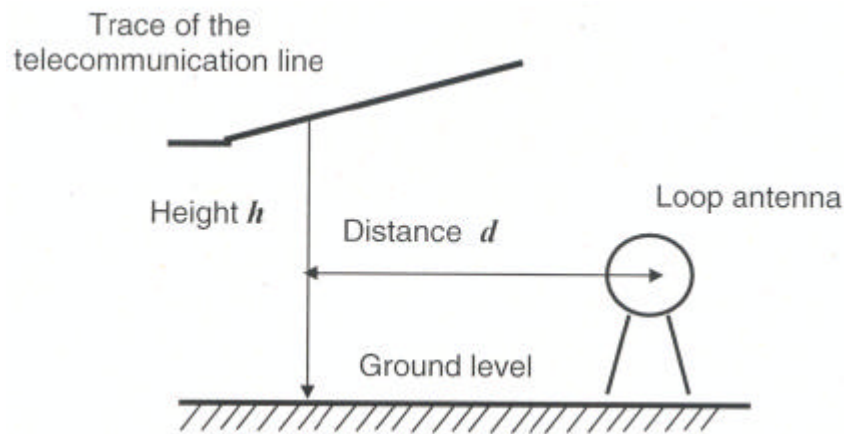


Figure 4: Position de l'antenne par rapport à la projection verticale de la ligne de transmission du signal. (Source: RegTP)

L'équipement utilisé lors de ces mesures était:

- Une antenne cadre Rohdes & Schwarz HFH2-Z2 avec support
- Un analyseur de spectre Advantest, type U3661
- Un récepteur de mesure R&S, type ESH2
- Une pince de courant R&S ESH2-Z1
- Un câble rallonge permettant la mesure du courant injecté à la sortie du modem PLC



Figure 5: Vue du point de raccordement des 2 ordinateurs au modem PLC, et du système de mesure avec l'antenne cadre Rhodes & Schwarz HFH2-Z2.

L'antenne cadre détermine la sensibilité de mesure de l'équipement. Elle varie ici entre +22 et +27dBuV/m dans la bande allant de 1 à 30MHz. La plus grande partie des mesures a été effectuée dans la salle de démonstration du bâtiment située au premier étage (voire figure 5). Au milieu de cette salle se trouvent 2 ordinateurs reliés chacun à un modem PLC. Les emplacements de mesures ont été choisis en prenant cet endroit comme référence. Ils représentent un quadrillage de points équidistants de 1 ou 3 mètres. L'emplacement le plus rapproché est situé à 1 mètre (points 2 et 5) et le plus éloigné à 9 mètres (point 8). Notons ici que le tracé du passage des lignes du réseau domestique dans les murs, le plafond ou le plancher, n'est pas connu. Seuls les emplacements des prises électriques et des luminaires sont connus. Cette situation est la plus courante en pratique.

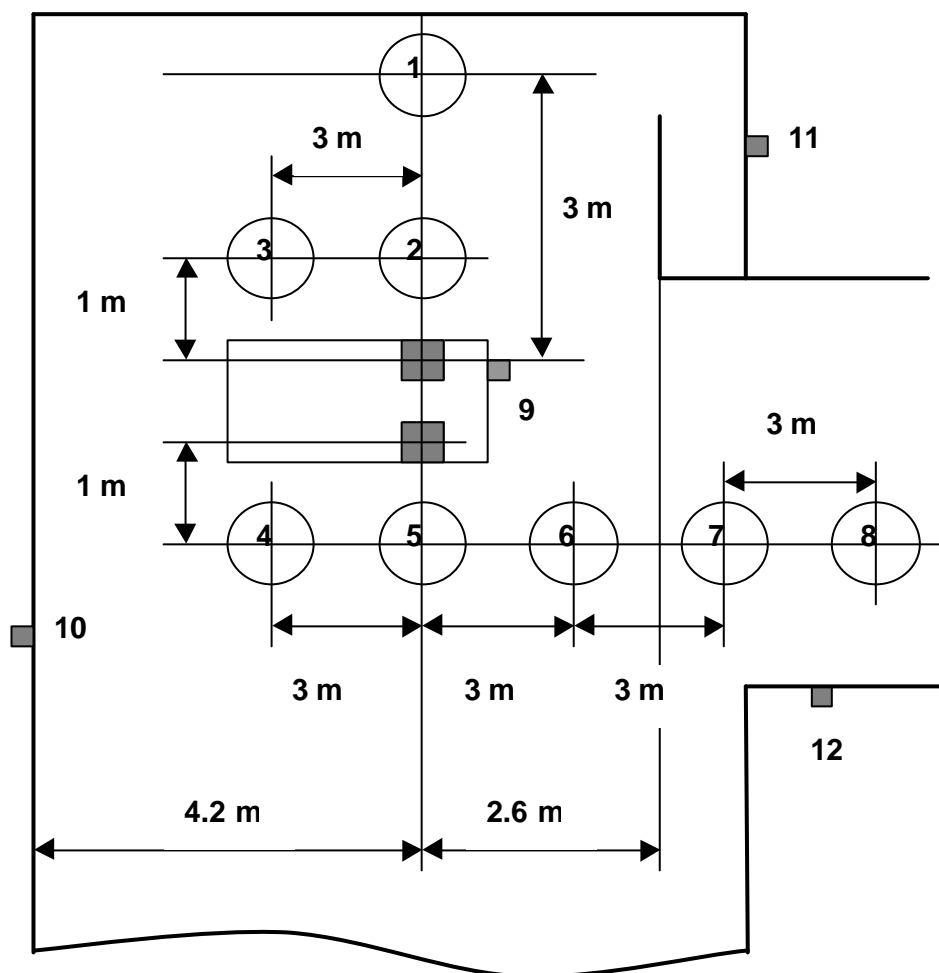


Figure 6: Esquisse montrant le quadrillage de mesure dans la salle de démonstration du bâtiment des EEF à Broc. Les emplacements de mesure sont numérotés de 1 à 8 et les prises électriques de 9 à 12.

Le modem PLC régule sa puissance de sortie, mais cela se traduit par un courant d'injection qui est fonction de l'impédance du réseau à la fréquence considérée. Ce courant d'injection va générer un rayonnement parasite plus ou moins intense en fonction de "l'effet d'antenne" des lignes de transmission. La variation de ce rayonnement est cependant proportionnelle à celle du courant d'injection.

Le champ mesuré à de courte distance des conducteurs électriques ou à l'intérieur des bâtiments sont de type "champ proche". Ayant pour conséquence, en l'occurrence, une impédance d'onde complexe où le champ magnétique prédomine.

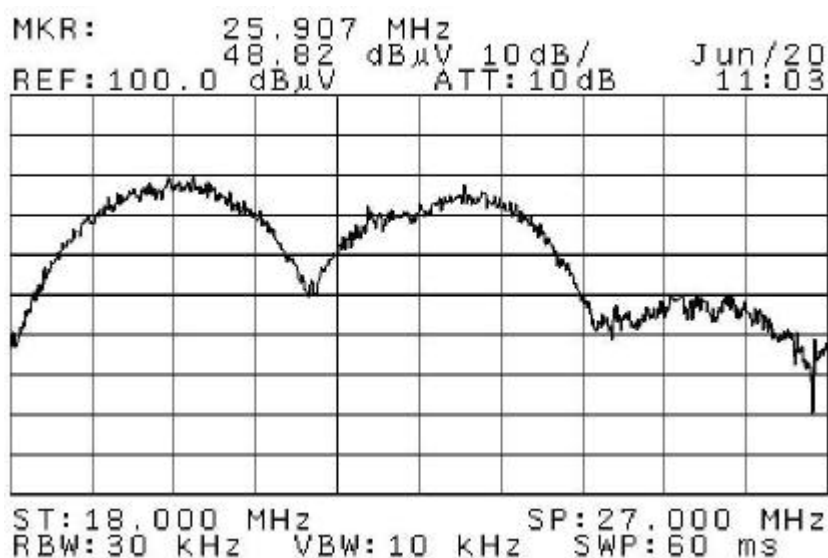


Figure 7 : Empreinte spectrale du signal PLC à la sortie du modem constitué des trois porteuses domestiques à 19.8, 22.8 et 25.4MHz. Mesure effectuée sur l'analyseur de spectre (en mode MAX HOLD) couplé à une pince de courant(Courant=courbe-6dB).

Les mesures sur le site de Broc ont abouti aux conclusions suivantes:

- **Distribution du champ à l'intérieur du bâtiment:**

Les mesures ont montré une variation importante du champ magnétique à l'intérieur du local considéré, exigeant de l'équipement une grande dynamique de mesure. Le rayonnement en tout endroit du local est le fruit de l'effet cumulatif des champs perturbateurs rayonnés par plusieurs parties distinctes de l'installation domestique. Il n'est pas possible d'identifier les pics de rayonnement avec l'équipement de mesure sus-mentionné.

Une seule mesure à trois mètres de distance de la ligne est totalement insuffisante pour apprécier le rayonnement perturbateur à l'intérieur d'un local d'un bâtiment.

- **Distance de mesure:**

Ne connaissant pas le tracé du passage des lignes du réseau domestique dans les murs, le plafond ou le plancher, on ne peut jamais savoir si la distance de mesure est réellement respectée. Par exemple, on peut avoir 3 mètres de distance par rapport au modem et se trouver sans le savoir à 1 mètre d'un mur ou passe une ligne électrique. En pratique, la mesure du signal aux points 1 à 9, situés à des distances diverses du modem PLC, montre que le facteur de correction recommandé dans [2] en cas de mesure à une distance autre que 3 mètres n'est pas applicable pour une mesure sur site à l'intérieur d'un local.

- **Système de mesure:**

Les mesures ont montré que le système de mesure, recommandé dans les dispositions allemandes, n'est pas adapté à la recherche de maximum locaux. Il exige une mesure dans les trois axes orthogonaux, il est encombrant et peu maniable et ne dispose que d'une faible autonomie pour être utilisé en ville de Fribourg. Le système choisi à Fribourg devra en outre permettre une visualisation préliminaire du spectre radioélectrique et une analyse de l'empreinte sonore, indispensable à l'identification du signal PLC.

- **Rayonnement perturbateur PLC.**

Le rayonnement perturbateur PLC dépend des conditions de trafic (vitesse de transmission, volume de données) et des courants perturbateurs déjà présent sur la ligne. Il est également dépendant de l'impédance de la ligne et de son "effet d'antenne". La gestion fréquence-puissance du modem agit en permanence afin de réduire ce rayonnement au minimum nécessaire.

Mesures préliminaires sur le site de Fribourg

Sachant que le rayonnement perturbateur PLC varie dans temps en fonction du trafic de données, nous avons voulu savoir quelles périodes de la journée était la plus propice à mesurer les maxima temporels. Dans ce but, les EEF ont fourni un relevé graphique quotidien et hebdomadaire du trafic sur l'ensemble du réseau PLC. L'identification des graphiques a montré 3 pics de trafic quotidien sur lesquelles 3 fenêtres temporelles de mesure ont été déterminées, soit 9h-12h ; 13h-17h et 19h-22h. Malheureusement, ces graphiques ne nous donnent aucunes indications plus détaillées au niveau des cellules ou des différentes zones urbaine.

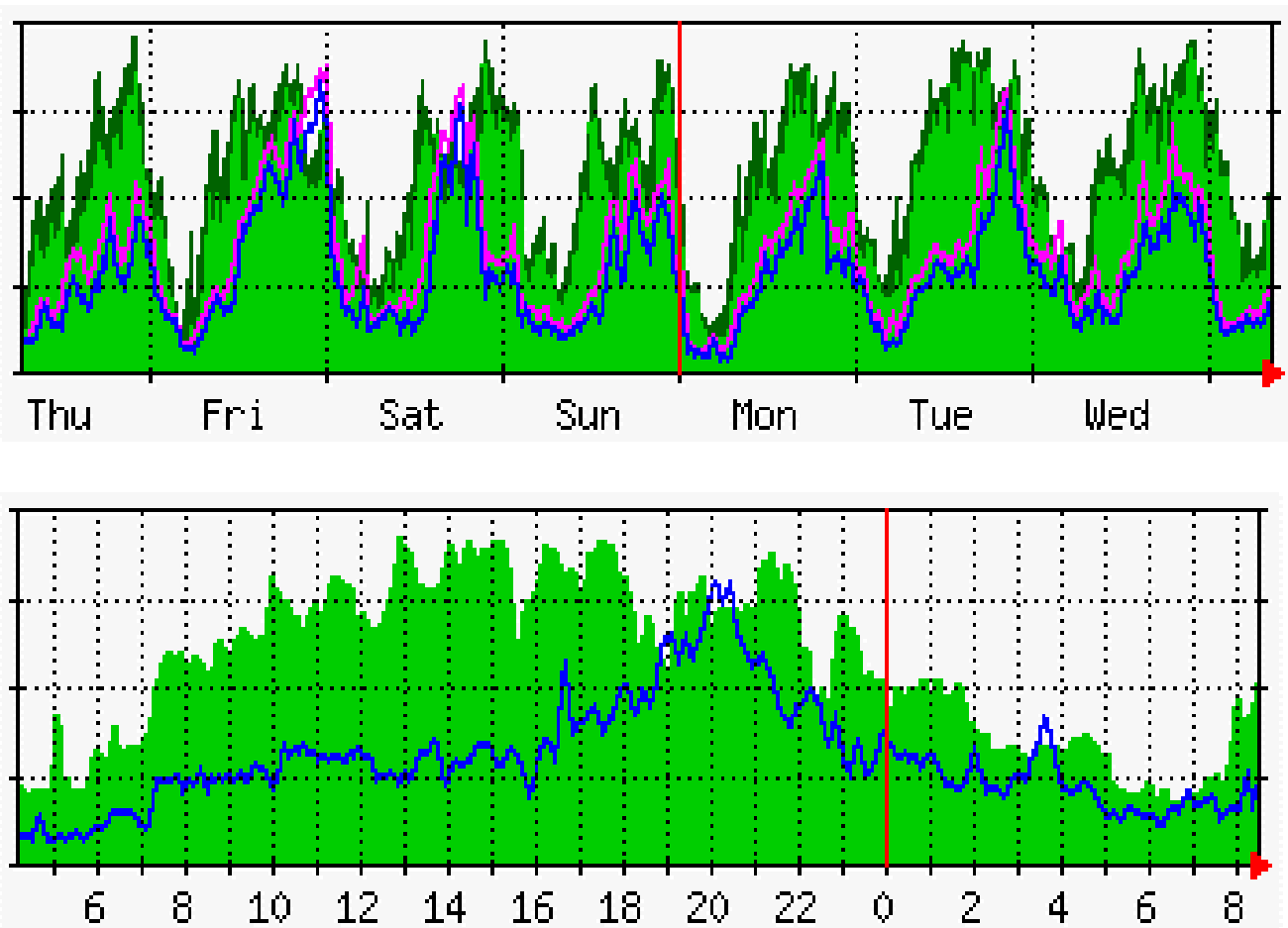


Figure 8: Graphiques des variations hebdomadaire et quotidienne du trafic sur le réseau complet (Courbe verte: trafic downlink; courbe bleue: trafic Uplink).

3.3 Bruit radioélectrique.

Le bruit radioélectrique est un phénomène aléatoire variable dans le temps, et fonction de la fréquence. On peut le voir comme la résultante de l'effet cumulatif de toutes les sources de perturbations individuelles. De part sa nature aléatoire, sa mesure puis son interprétation restent délicates. Dans ce contexte, l'identification d'une source de bruit particulière, en l'occurrence celle de la technologie PLC, nous oblige à définir des procédures de mesure appropriée à chacun des cas de figure rencontrés.

Charge spectrale

Lors des mesures sur site, nous mesurons en fait à chaque fréquence considérée, la charge spectrale globale. C'est à dire le cumul de l'énergie de l'ensemble des signaux utiles ou parasites (bruit radioélectrique) présent dans une bande de fréquences donnée.

Différentes sources sont à l'origine des signaux constituant la charge spectrale, il s'agit:

- du bruit radioélectrique naturel et atmosphérique lié à des phénomènes naturels terrestres ou extra-terrestres [6]. Il constitue la charge spectrale de base sur la terre et représente le bruit minimum à considérer lors de la réception de signaux radioélectriques.
- du bruit radioélectrique d'origine technique (man made noise), constitué par le cumul du rayonnement parasite émanant des appareils électriques et des lignes auxquelles ils sont raccordés. Ce type de rayonnement domine en milieu urbain, où la densité des équipements et des installations électriques est importante.
- des signaux des radiocommunications et de la radiodiffusion constituant la part "utile" du spectre et dont la qualité de réception dépend fortement de l'intensité de bruit radioélectrique sus-mentionné.

Mesure du bruit radioélectrique

Le résultat d'une mesure de bruit radioélectrique représente son niveau d'intensité instantané. Il est la résultante du cumul des sources de bruit individuelles à l'emplacement de mesure uniquement. On perçoit donc le caractère aléatoire spatial et temporel de la mesure, le résultat obtenu aujourd'hui n'étant à coup sûr pas celui de demain, ni celui d'après-demain.

Les facteurs ayant une influence sur le résultat sont liés aux caractéristiques du pouvoir perturbateur de la source elles-mêmes, ainsi que de la distance qui la sépare du site de mesure. Le bruit radioélectrique s'affaiblissant avec l'augmentation de la distance.

Sources de bruit radioélectrique

Chaque appareil électrique en fonctionnement est une source potentielle de bruit radioélectrique. Un appareil électrique consommant, par l'intermédiaire de ses composants internes, de l'énergie électrique produit des "déchets" non désirés appelé pouvoir perturbateur. Il se manifeste par l'émission d'un rayonnement électromagnétique ou par l'injection de courants parasites induits dans les réseaux auxquels il est connecté.

Un appareil électrique ou de télécommunication peut être raccordé simultanément à plusieurs types de réseau, soit:

- le réseau à courant fort
- Les caténaires des installations ferroviaires, de tramways ou de trolleybus.
- le réseau téléphonique
- Le réseau TV par câble
- Les réseaux informatiques

Lorsque l'on parle du pouvoir perturbateur d'un appareil seul, on peut le considérer comme une source de perturbation ponctuelle. Son pouvoir de nuisance sera limité du fait qu'il va décroître avec l'éloignement du point d'observation.

Si la perturbation est injectée dans les réseaux connectés à l'appareil, alors cette perturbation se propage le long des lignes qui rayonnent à leur tour par "effet d'antenne". De par leur extension le pouvoir perturbateur est ainsi amplifié et pourra nuire à des distances bien plus importantes qu'un appareil seul.

L'intensité du pouvoir perturbateur est spécifique au réseau et est fonction de la puissance injectée dans celui-ci. A puissance injectée égale, le pouvoir perturbateur des réseaux à courant fort (230V) et des caténaires des bus ou des trains est le plus élevé, vient ensuite le réseau téléphonique qui est déjà bien meilleur. Le pouvoir perturbateur minimum sera présenté par les réseaux coaxiaux (TV câblée; informatique). La fibre optique représente la solution idéale car son pouvoir perturbateur est nul.

Types de sources de bruit radioélectrique.

Le bruit radioélectrique d'origine technique peut être classé en plusieurs catégories :

- Les sources fixes qui sont constituées d'appareils ou machines connectées à un endroit précis. Ces sources n'émettent que lorsqu'elles sont actives. Et la puissance rayonnée peut varier en fonction de la charge et du degré de filtrage de l'appareil.
- Les lignes électriques aériennes traversant certains quartiers ou certaines régions. Elles agissent comme de véritables antennes pour les perturbations conduites qui les traversent. Leur pouvoir perturbateur est accentué par temps humide ou sous la pluie (effet corona)
- Les caténaires des installations ferroviaires et des services de transport public (bus, tramway), qui agissent également comme de véritables antennes. Elles se distinguent cependant des lignes électriques aériennes du fait que lui sont raccordés des véhicules en déplacement et que le pouvoir perturbateur de ceux-ci varie rapidement suivant qu'ils soient en phase de freinage, d'accélération, ou à l'arrêt.
- Les sources de perturbation mobiles, tels les systèmes d'allumage de véhicules automobiles et des scooters, ou les convertisseurs d'énergie des bus, qui provoquent une variation locale importante du bruit radioélectrique lorsque le véhicule passe à proximité de l'emplacement de mesure. Les mesures ont été effectuées ici de telle manière que ces perturbations ne soient pas considérées.
- Les sources de perturbation intermittentes comme les ascenseurs, le système d'éclairage communal actif la nuit etc... ou des installations temporaires comme les clôtures à bétail en milieu rural.

Pouvoir perturbateur de la technologie PLC de ASCOM

Les installations PLC sont des sources de bruit radioélectriques de type fixe. L'intensité de leur pouvoir perturbateur dépend cependant de plusieurs facteurs:

- Si le/les modems sont enclenchés ou déclenchés. Car le pouvoir perturbateur d'un modem déclenché est nul.
- Si le modem est enclenché, le facteur le plus important est la puissance injectée dans le réseau. On a vu au chapitre 2.1 qu'elle est gérée par pas de 6dB et qu'elle est constamment adaptée en fonction des exigences de transmission et du niveau de perturbation déjà existant sur la ligne. Le nombre de porteuses augmentent également si une grande capacité de transmission est requise.
- Un autre facteur important est la distance du site de mesures à la source de bruit PLC avoisinante. Un déplacement du site de mesure induit une modification de cette distance et donc du pouvoir perturbateur mesuré.

- L'effet d'antenne, spécifique à la structure de chacune des installations PLC domestiques, fait que pour une même puissance injectée, le pouvoir perturbateur de l'installation est différent. Quant au réseau d'accès, qui est enterré, il possède une structure qui lui confère un faible "effet d'antenne".
- Le nombre d'installation avoisinante apportant leur contribution au résultat de la mesure. Ce facteur est négligeable si une seule des sources PLC est dominante.

Durant les mesures, de par leur nature aléatoire, il ne nous a pas été possible de connaître et de quantifier les facteurs d'influence sus-mentionnés. De ce fait, nous considérons que seule une approche statistique sur un grand nombre d'emplacements de mesure peut nous fournir une image du pouvoir perturbateur moyen qui soit proche de la réalité.

3.4 Mesures sur site à Fribourg

La mise en œuvre, dès 2001, d'un réseau PLC en ville de Fribourg a incité l'Office fédéral de la communication à mener sa campagne de mesure sur ce site, dans le but de montrer dans quelle mesure le pouvoir perturbateur PLC affecterait la qualité de la réception radio dans la bande des ondes courtes, compte tenu du niveau de bruit radioélectrique déjà existant en milieu urbain. Le régulateur est intéressé au rayonnement parasite des installations PLC dans les zones d'accès à la population. C'est pourquoi tous les emplacements mesurés lors de cette campagne ont été choisis sur le domaine public.

En milieu urbain, le bruit d'origine technique est prédominant sur le bruit naturel. La grande densité des sources potentielles de bruit radioélectrique a pour effet d'accroître l'inhomogénéité des mesures en fonction de l'endroit et dans le temps.

Le système de gestion puissance-fréquence de chacun des modems PLC actifs sur le réseau adapte en permanence la puissance injectée et le nombre de porteuses actives, en fonction des conditions d'exploitation du réseau. De ce fait l'observateur ne peut jamais savoir si le modem travaille à sa puissance maximum.

Notre choix s'est porté sur une méthode d'analyse statistique car, pour autant qu'elle porte sur un nombre suffisant de mesure, elle nous a semblé la méthode la plus appropriée pour quantifier l'ampleur d'un phénomène aussi aléatoire. Le niveau de bruit radioélectrique pertinent retenu pour l'appréciation est issu du concept de " probabilité CISPR 80%" [13] qui est défini comme étant la limite supérieure de 80% des valeurs analysées.

Les emplacements choisis pour cette analyse se répartissent en trois entités distinctes:

- Les emplacements où le rayonnement parasite est supposé maximum sur le domaine public soit à proximité des cabines des transformateurs de quartier (17kV/230V) dans lesquelles sont installés les modems PLC du réseau d'accès. Cette entité statistique a été nommée "TR-modems"
- Les emplacements situés en milieu rural en dehors de la ville. Cette zone, non-équipée d'installations PLC, est située entre 500-1000mètre de la ville et devrait nous permettre de voir si la propagation de l'onde de sol du rayonnement PLC émanant de la ville est perceptible alors que le bruit radioélectrique à cet endroit est très faible. Cette entité statistique a été nommée "rurale".
- Les emplacements situés en milieu urbain en ville de Fribourg où différentes zones urbaines sont représentées: industrielles – résidentielles – commerciales. Cette entité statistique a été nommée "urbaine".

Au total 236 emplacements ont été mesurés sur une période de 6 mois.

3.4.1 Planification du projet

Le calendrier du projet a été donné par le mandat de mesure. Sur cette base, ont été déterminées les différentes phases du projet, soit:

- | | |
|--|--------------------------------|
| • Mesures préliminaires et planification: | août 2002 à mi-septembre |
| • Mesures à "court terme": | mi-septembre à mi-octobre |
| • Mesures à "long terme": | fin octobre à fin février 2003 |
| • Evaluation des résultats et
élaboration d'un rapport de mesure : | jusqu'à mi-avril |
| • Préparation d'une synthèse du rapport en
vue d'une publication dans les comités de
normalisation internationale: | jusqu'à fin juin |

Suite aux mesures préliminaires (voir chapitre 3.2), la planification de la campagne de mesure s'est donnée pour objectif de cerner 2 facteurs essentiels de variation du bruit radioélectrique et du pouvoir perturbateur PLC, soit:

- sa variation spatiale
- sa variation temporelle

Afin d'appréhender les variations spatiales du bruit radioélectrique, différentes zones et emplacements de mesures ont été choisis et vous sont présentés dans la suite de ce chapitre.

Mesures à court et à long terme

Le but lors de la planification des mesures a été d'essayer de cerner le niveau maximum du rayonnement perturbateur PLC par des mesures répétitives à des périodes ou les pics de trafic sur le réseau augmentait fortement la probabilité d'avoir ce maximum.

Les mesures à court terme correspondent à une répétition continue des mesures à tous les emplacements et aux trois périodes de la journée définies lors des mesures préliminaires, soit 9h-12h ; 13h-17h et 19h-22h.

Les mesures à long terme répètent les mesures sur certains emplacements uniquement avec un intervalle de un mois.

3.4.2 Points d'alimentation des cellules PLC (transformateur 17kV/230V)

Les EEF ont fourni des détails sur les emplacements des 42 points d'alimentation des cellules PLC du réseau d'accès à l'époque des mesures. A chacun de ces points, un modem PLC est placé dans une cabine de transformateur de quartier (17kV/230V). De ces points, 34 ont été mesurés, le reste ayant été laissé de côté parce que trop difficile d'accès. La figure ci-après montre les emplacements de ces différents endroits.

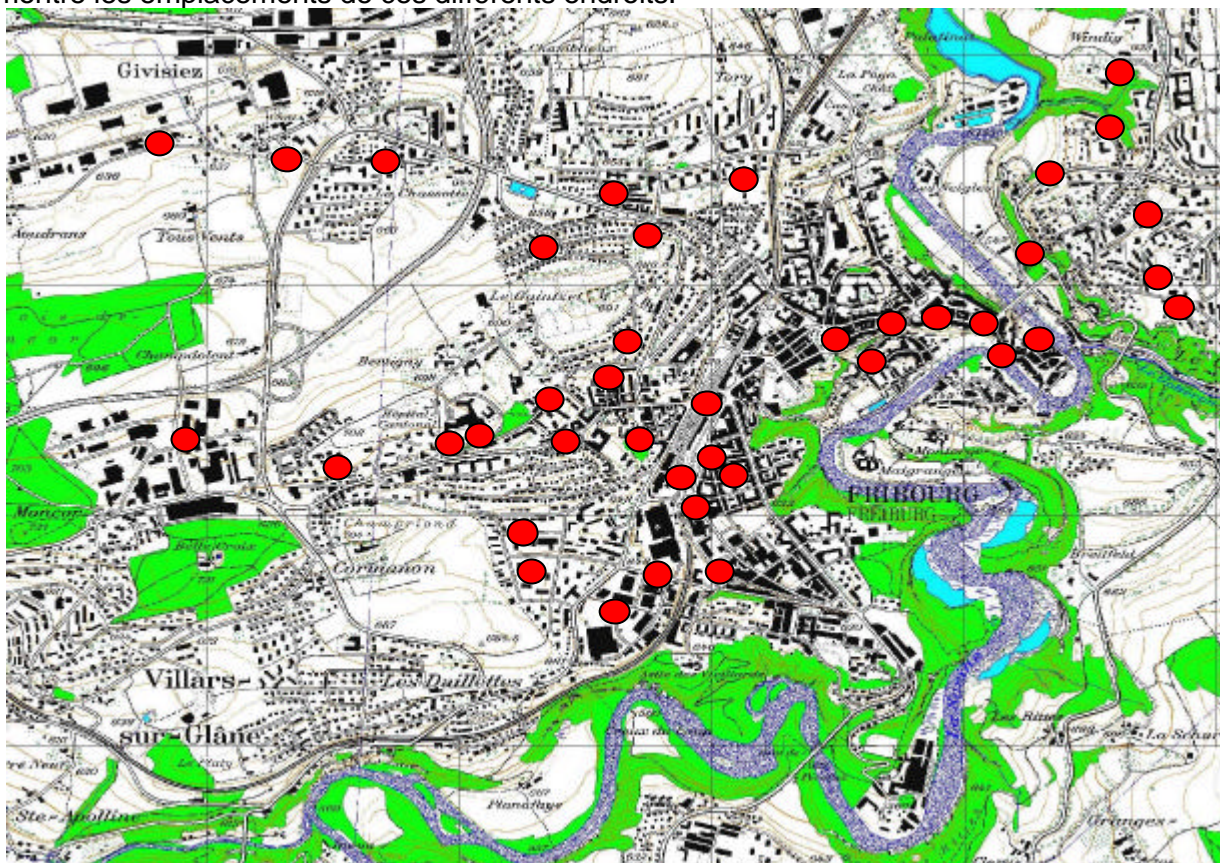


Figure 9: Emplacements des cabines des transformateurs de quartier (17kV/230V) où se trouvent les modems d'alimentation des cellules PLC.

Dans l'annexe 2 se trouve la liste et les coordonnées des ces emplacements de mesure. Cette liste inclurait aujourd'hui 20 emplacements supplémentaires, car le réseau s'est entre-temps étendu.

L'exemple ci-après montre une station transformatrice située dans un quartier résidentiel et abritant le modem d'alimentation d'une cellule PLC. Nous avons eu l'occasion de visiter cette station qui était équipée d'un nouveau système de contact des lignes de données PLC sur les câbles électriques. Ce nouveau système de couplage direct permet d'avoir une portée de transmission plus élevée pour une même puissance injectée. Les photos ci-après présentent ce nouveau système.



Figure 10: Vue de l'aspect extérieur typique d'une cabine de transformateur abritant le modem d'alimentation d'une cellule PLC.

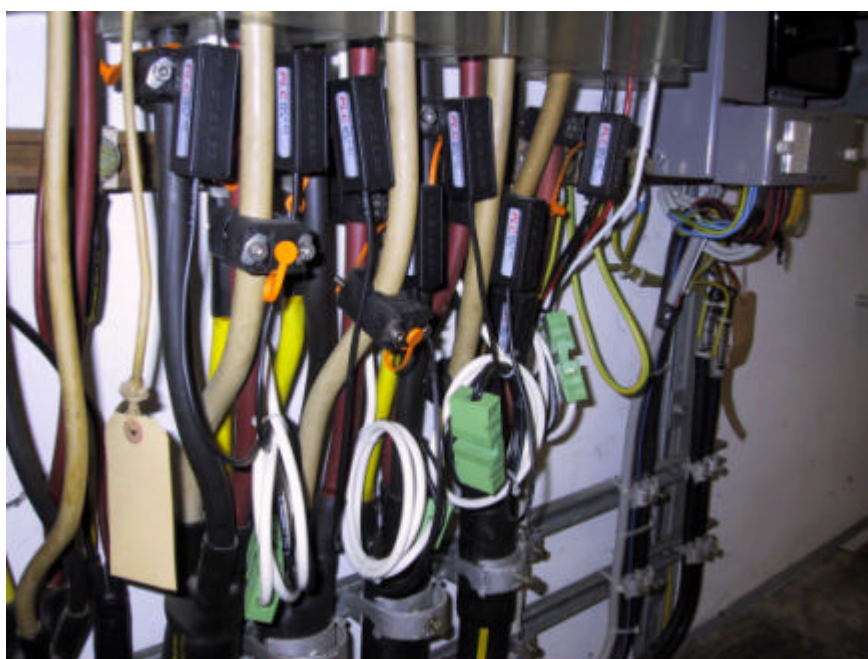


Figure 11: Vue du raccordement des câbles de données PLC sur les conducteurs du réseau de distribution d'énergie à basse tension.

La figure 11 montre la nouvelle variante de raccordement entre les lignes du modem PLC et les conducteurs du réseau électrique. Alors que l'ancien système d'injection était réalisé par une boucle d'induction, le nouveau se fait par contact direct au moyen d'une aiguille piquée sur le conducteur électrique.



Figure 12: Vue du coffret contenant le modem PLC

La figure 12 montre le coffret contenant le modem PLC installé dans la cabine du transformateur. En amont, il est relié au réseau télécom par câble coaxial ou par fibre optique. En aval côté courant fort, il injecte le signal PLC sur le tronçon dit du "dernier kilomètre" qui constitue une alternative à la ligne téléphonique pour l'abonné.

3.4.3 Emplacements de mesure en milieu urbain et rural

Les sources de bruits techniques en milieu urbain, PLC inclus, sont nombreuses. L'activité qui les génère peut également être concentrée à certaine période de la journée, C'est pourquoi notre planification s'est donc portée sur le choix de différentes zones urbaines typiques, comme :

- Les zones "industrielles" ou des bâtiments abritent usines et petites entreprises. Ici, les bâtiments sont en règle générale de taille importante et assez disséminés. L'activité PLC dans ces zones est à attendre durant les heures de bureau.
- Les zones "résidentielles" représentées par des quartiers à grande densité de population logée dans des maisons familiales ou des immeubles locatifs. Dans ces quartiers, on peut s'attendre à avoir une activité PLC en soirée de préférence.
- La zone "commerciale" au centre ville, qui regroupe magasins et bâtiments locatifs. L'activité PLC dans cette zone s'étale sur toute la journée. C'est dans cette zone que le nombre de sources de perturbation potentielles est le plus important.

La figure ci-après présente les emplacements de ces différentes zones en ville de Fribourg.

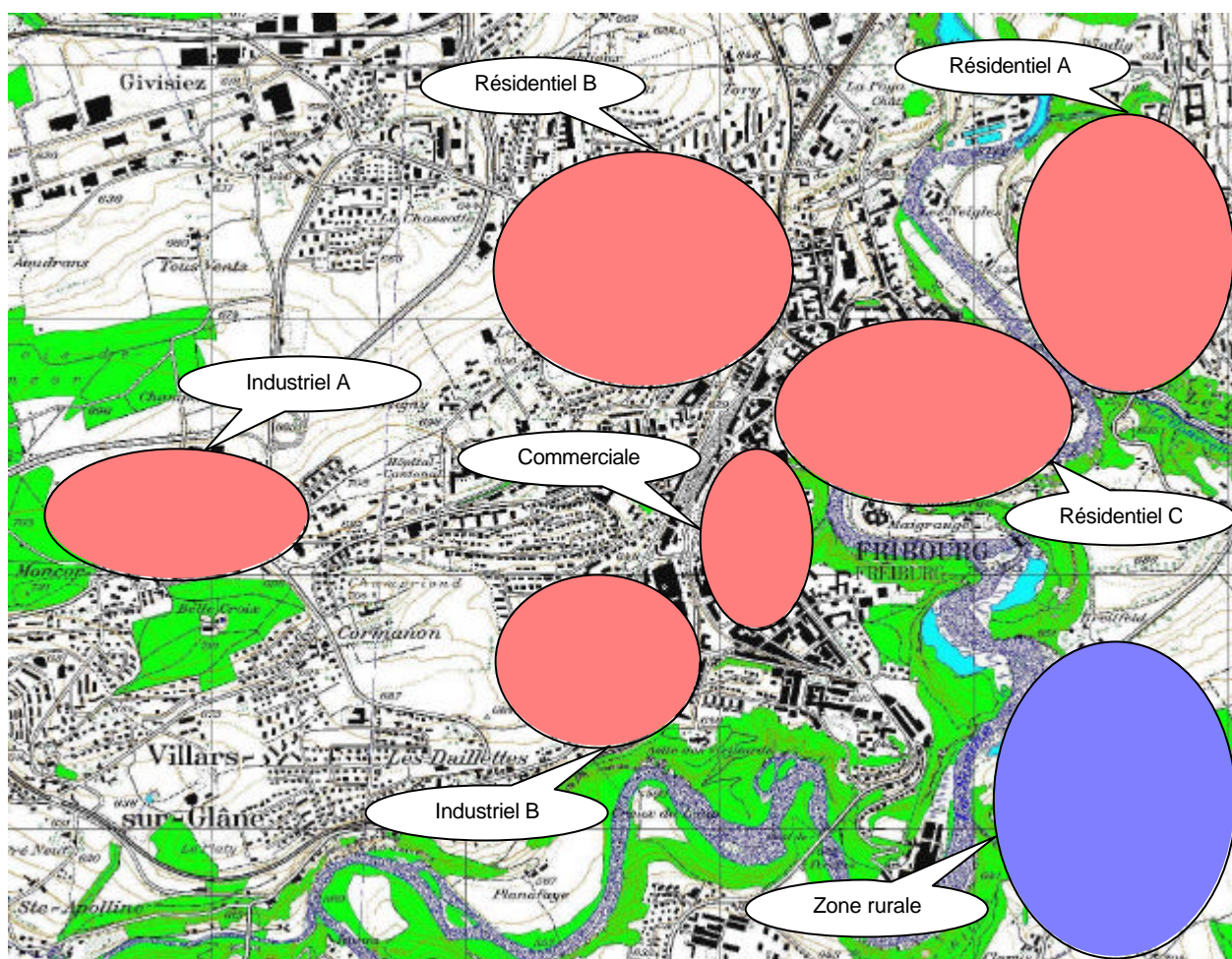
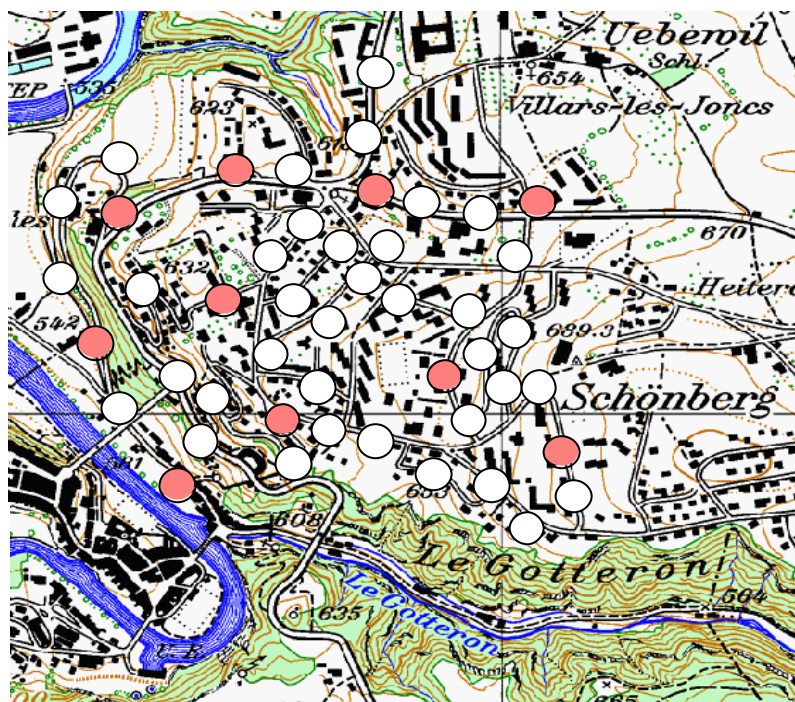


Figure 13: Situation géographique des zones retenues pour le choix des emplacements de mesure en milieu urbain et rural.

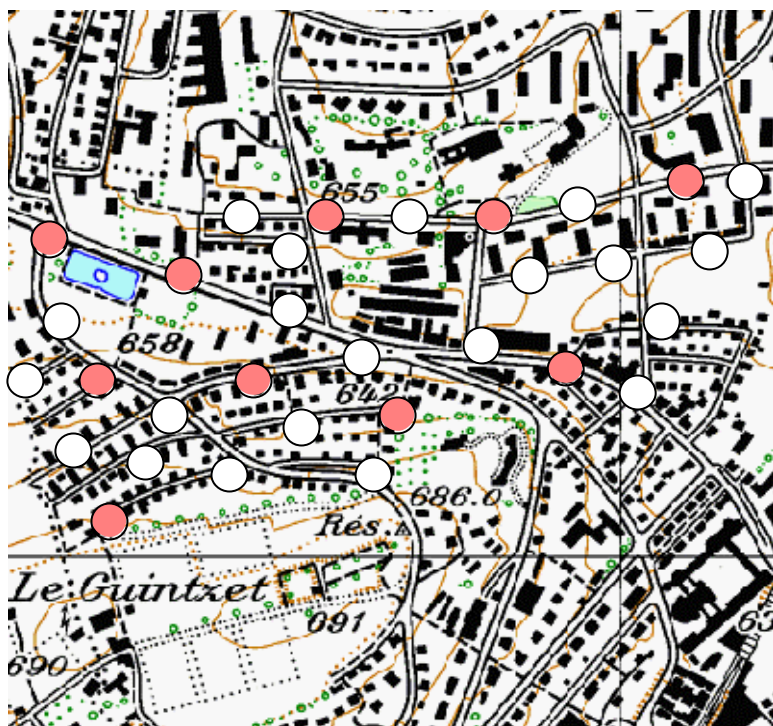
Zones résidentielles



Cette zone résidentielle se situe en hauteur sur le flanc d'une colline. 47 emplacements de mesure ont été choisis le long des voies de communication et sont équidistants d'une centaine de mètres. La surface de cette zone représente environ 1km². Notons que cette zone est desservie par le service des trolleybus de la ville, qui est une importante source potentielle de perturbation dans la bande 1.6 à 30 MHz.

Figure 14: Emplacements de mesure en zone résidentielle A

Notons que les points rouges sur les figures 14 à 22 représentent les emplacements choisis pour les mesures à long terme.



Cette zone est située sur une colline. C'est un quartier mixte, composé de maisons familiales, de blocs locatifs et quelques grands bâtiments commerciaux. 31 emplacements de mesure ont été choisis et sont équidistants d'environ 100mètres. Sa surface représente 1km². Les axes principaux de cette zone sont également desservis par le service des trolleybus de la ville.

Figure 15: Emplacements de mesure en zone résidentielle B



Cette zone se situe au centre de la vieille-ville de Fribourg et couvre une surface de 0.5km². Une partie se situe au niveau du fleuve traversant Fribourg (Sens) et une autre partie dans une zone située en hauteur où le trafic automobile est plus dense et où circule le service des trolleybus de la ville. Dans cette zone, les bâtiments sont de grande dimension et bâtis sur plusieurs étages. Ils alternent entre quartier abritant des logements, des petits commerces et des bureaux de l'administration publique. 20 emplacements ont été choisis dans cette zone.

Figure 16: Emplacements de mesure en zone résidentielle C

Zones industrielles

Cette zone industrielle a une surface de 0.5km² sur laquelle ont été choisis 18 emplacements de mesure. Elle correspond à une zone industrielle typique sur laquelle ne se trouvent aucuns logements. Elle n'est pas desservie par le service des trolleybus, mais une ligne à haute tension située en bordure de la zone est à considérer ici comme une importante source potentielle de perturbation.

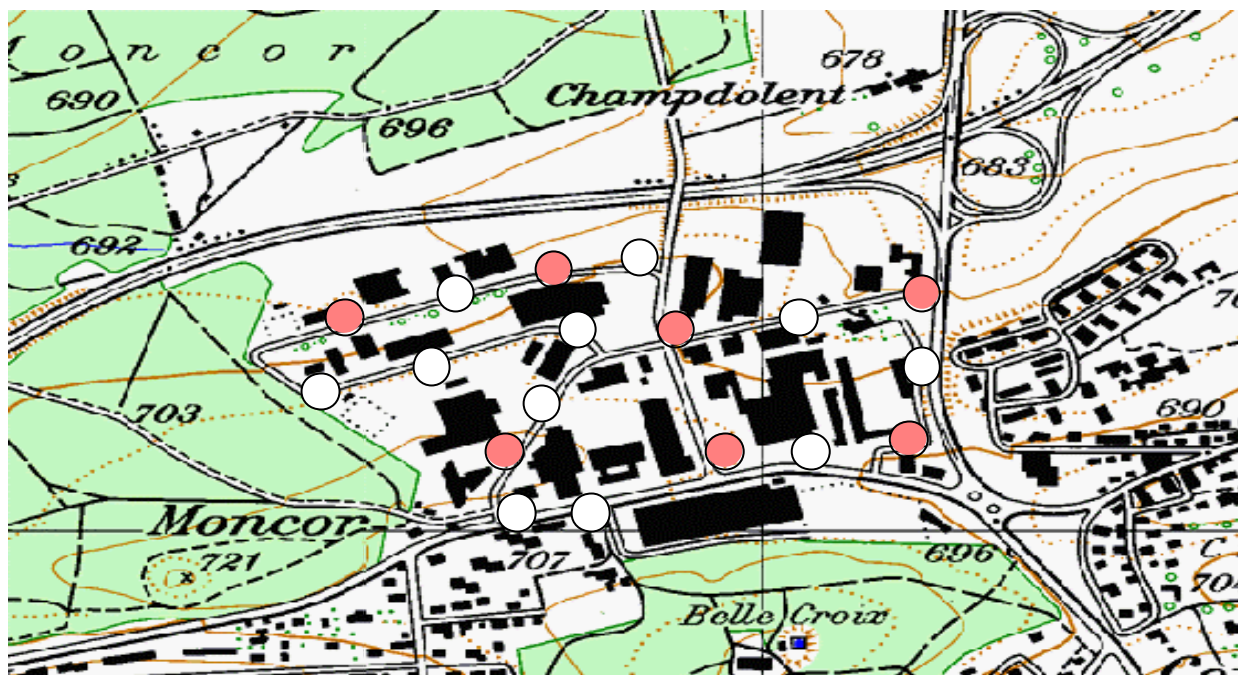
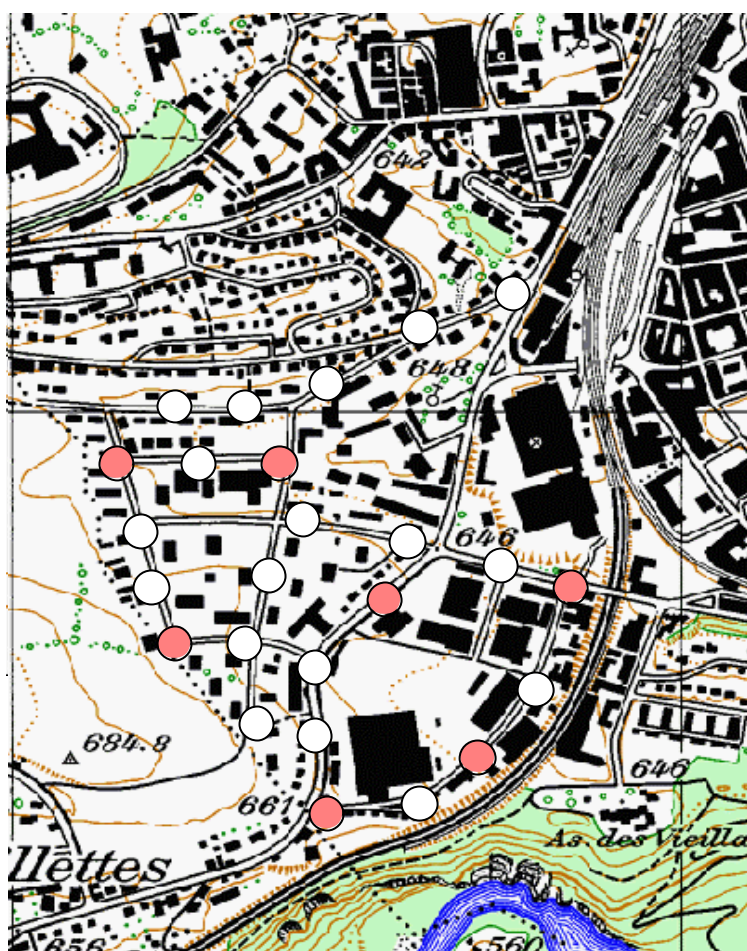


Figure 17: Emplacements de mesure en zone industrielle A



Figure 18: Vue d'un quartier typique de la zone A



Cette zone mixte industrielle et résidentielle possède une surface de 0.5km² sur lesquels 25 emplacements de mesure ont été choisis. La partie principale est occupée par les services techniques de la ville (situé à droite sur la figure) et le reste par de hauts bâtiments locatifs. Les installations des services techniques sont ici la principale source potentielle de perturbation.

Figure 19: Emplacements de mesure en zone industrielle B

Zone commerciale du centre-ville.



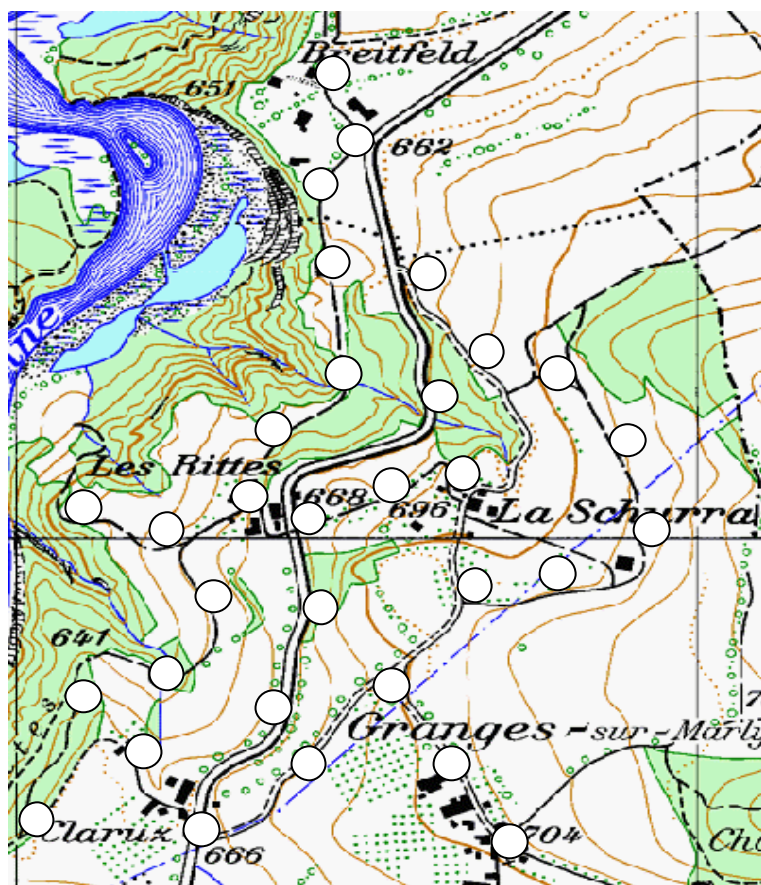
Le dernier secteur examiné en milieu urbain est la zone commerciale du centre-ville de. Sa surface est de 0.5 km² et 27 emplacements de mesure ont été choisis dans cette zone. Elle est composée de grands bâtiments accolés les uns aux autres. C'est une zone de centre-ville typique où l'on trouve de petits commerces, des centres d'achat, des bâtiments culturels et administratifs, ainsi que des logements. Les bâtiments sont très proches de la route et des ruelles. Notons que cette zone est desservie par le service des trolleybus de la ville.

Figure 20: Emplacements de mesure en zone commerciale du centre-ville



Figure 21: Vue d'un bâtiment typique de cette zone.

Milieu rural



La zone rurale est éloignée d'environ 500mètres de la zone PLC la plus proche située en ville de Fribourg et possède une surface d'environ 1Km2. Elle se situe en milieu rural au milieu de la campagne où seules quelques fermes ou maisons familiales isolées sont présentes. 32 emplacements de mesure, équidistant d'environ 150mètres, ont été choisis dans cette zone. Certains de ces endroits se trouvent à proximité d'une ligne à haute tension sillonnant le paysage. La principale source de perturbation reste cependant les clôtures électriques à bétail, installées durant la période allant de mai à septembre.

Figure 22: Emplacements de mesure en milieu à „La Schurra“



Figure 23 : Vue typique rencontrée en milieu rural à "La Schurra"

3.5 Systèmes de mesure

Les mesures préliminaires en ville de Fribourg ont très vite confirmé que la mesure au moyen d'une antenne cadre ne permettait pas de mesurer les faibles niveaux de bruit radioélectrique que l'on rencontre en extérieur à certains endroits, et qu'elle n'était pas assez maniable pour des mesures en champ proche du fait de sa caractéristique directionnelle. Elles nous ont permis de sélectionner les 2 systèmes qui représentent le meilleur compromis entre autonomie, maniabilité et sensibilité de mesure.

Mesures sur site à proximité des points d'alimentation des cellules PLC.

A proximité des cabines des transformateurs où sont installés les modems PLC, la mesure s'effectue en champ proche et requiert la mesure du champ magnétique. Le niveau de signal étant généralement élevé, nous pouvons nous permettre un équipement de mesure plus maniable au détriment de la sensibilité de mesure. L'autonomie est également ici un facteur important.

La mesure conduit à la recherche du maximum du rayonnement perturbateur PLC à 3 mètres des cabines des transformateurs. Cela est effectué par déplacement latéral accompagné d'une orientation de l'antenne, pour tenir compte de la polarisation du signal à cet endroit.

Nous avons opté pour un récepteur portable de Rhodes & Schwarz de type EB200 assorti d'une antenne cadre HE200, module 10kHz à 20MHz. L'autonomie de cet équipement est de plus de huit heures. Sa sensibilité de mesure, le préamplificateur étant actif, varie dans la bande 2.4 à 25.4MHz de 20...30dBuV/m.

Le petit inconvénient de ce système est qu'il ne possède pas de détection quasi-crête et nous oblige par conséquent à une mesure de la valeur crête, très sensibles aux pics de signal, et à une correction du résultat à posteriori.



Figure 24: Equipement de mesure R&S EB200 avec module d'antenne HE200, 10kHz-20MHz.

Mesures en milieu urbain et rural

Lors des mesures statistiques, notre impératif était d'utiliser un système monté sur véhicule et possédant une sensibilité de mesure maximale qui nous permettrait une mesure à la limite du bruit radioélectrique naturel dans les zones rurales.

Le choix s'est porté sur une antenne "brin" électrique conçue spécialement par R&S pour la mesure du bruit radioélectrique en milieu rural. Le fait d'utiliser une antenne électrique joue ici un rôle de moindre importance. Car nous sommes suffisamment éloignés des sources radioélectriques pour une mesure en "condition de champ lointain" où le rapport champ électrique/ et magnétique est connu.

Notre équipement de mesure se compose d'une antenne brin active de Rodes & Schwarz de type HE011 relié à un récepteur de mesure R&S de type ESS10. La sensibilité de mesure atteinte par ce système est inférieure à 10dBuV/m et permet des mesures de bruit jusque dans les zones rurales dites calmes.



Figure 25: Antenne R&S HE011 montée sur véhicule de mesure à 2.7mètres de hauteur.

3.6 Procédures de mesure

Les fréquences exclusives considérées lors de nos mesures, correspondent aux 6 porteuses du système PLC du fabricant ASCOM Powerline, soit 2.4; 4.8; 8.4; 19.8 ; 22.8; 25.4MHz, mesurées avec une largeur de bande de 10KHz. C'est à ces fréquences que le pouvoir perturbateur PLC est maximum.

Mesures des points d'alimentation des cellules PLC.

L'équipement de mesure utilisé a été présenté au chapitre 3.5.

Le récepteur de mesure enregistre la valeur de crête avec une bande passante de 10kHz, puis une correction en valeur quasi-crête est effectuée. Une analyse spectrale est effectuée en parallèle afin de s'assurer qu'aucune impulsion parasite n'est venue perturber la mesure.

Les périodes de mesure choisies correspondent aux tranches horaires 9h-12h ; 13h-17h ; et 19h-22h qui sont représentatives des pics de trafic quotidien de l'ensemble du réseau PLC.

La mesure a été effectuée à 3 mètres du mur / de la paroi extérieure de la cabine et à 1mètre au-dessus du sol. Le maximum obtenu a été enregistré.

Les fréquences mesurées sont 2.4; 4.8; 8.4; 19.8; 22.8; 25.4MHz. Seules les fréquences où le rayonnement perturbateur PLC a été détecté ont été enregistrées.

Le formatage des données est identique à celui des mesures en statistiques.

Mesures des zones "Urbaine" et "Rurale"

L'équipement de mesure utilisé a été présenté au chapitre 3.5.

Le récepteur de mesure enregistre la valeur quasi-crête avec une bande passante de 10kHz conformément aux recommandations CISPR 16-1[13]

Les périodes de mesure choisies aussi bien pour les mesures de courte et de longue durée correspondent aux tranches horaires 9h-12h ; 13h-17h ; et 19h-22h qui sont représentatives des pics de trafic quotidien de l'ensemble du réseau PLC.

A chaque emplacement de mesure ont été relevées les coordonnées exactes de l'endroit par système GPS, le niveau de bruit à chacune des fréquences mesurées, la période, la date de la mesure et la nature de la source de bruit prédominante (PLC, ou autre si identifiable).

Les mesures ont toujours été réalisées alors que le moteur de notre véhicule était à l'arrêt, car nous avons constaté que les sources de bruit radioélectriques internes étaient nombreuses (allumage électronique, convertisseur de tension, câblage à proximité immédiate de l'antenne).

La procédure d'identification du signal dominant à chacune des fréquences repose sur l'analyse simultanée de ses empreintes sonore et spectrale selon la séquence suivante:

- a) Définir s'il s'agit d'un signal de radio ou radiodiffusion, si oui nous avons à chaque fois légèrement décalé la fréquence centrale de mesure jusqu'à arriver dans le bruit radioélectrique. Notons que ce léger décalage n'a aucune incidence sur la précision du résultat.
- b) Si le bruit radioélectrique varie fortement sur de court laps de temps, est-ce dû à des sources mobiles tels bus, voitures, scooters etc...? Si oui, nous avons tenté d'éliminer l'effet de ces sources mobiles sur le résultat afin de ne mesurer que les sources de bruit émanant d'installations fixes.
- c) Est-ce que la source de bruit dominante est un signal PLC? L'identification était parfois délicate du fait que les signaux PLC possèdent plusieurs types d'empreinte sonore.

- d) Si aucun signal PLC n'est présent, l'identification d'une autre source de bruit est-elle possible? Notons ici que le pouvoir perturbateur des bus, lignes à haute tension, moteur d'ascenseur et clôture électrique possèdent une empreinte sonore plus facilement identifiable.

Remarquons qu'aux emplacements de mesure ou une source de bruit radioélectrique ne domine pas clairement, seule l'empreinte sonore peut permettre une identification de la source.

Aux emplacements mesurés à plusieurs reprises, où nous avons constaté que le signal PLC n'était pas présent à chaque fois, les valeurs avec et sans signal PLC ont été considérées.

En zone "rurale", de nombreuses clôtures électriques jalonnent le paysage à certaines époques de l'année. Les mesures, effectuées de septembre à février donnent des valeurs avec et sans clôtures. Cependant, seules les valeurs mesurées sans clôtures ont été considérées dans l'analyse statistique.

Mesure de la réception radio

Lors de chaque mesure de bruit radioélectrique, nous avons mesuré le signal radio d'un émetteur identifié dans la bande des ondes courtes. Nous avons choisi le signal de l'émetteur allemand « Deutsche Welle » à la fréquence de 6.075MHz.

Cette mesure a eu pour but d'une part de permettre le contrôle de bon fonctionnement de l'appareillage de mesure, et d'autre part de voir dans quelles proportions les conditions de propagation font varier le niveau du signal reçu (évaluation du phénomène de fading). Nous avons constaté une variation très rapide due aux conditions de propagation momentanées. La mesure considère le maximum de signal dans un laps de temps allant jusqu'à environ 1minute. Les variations à plus long terme (jour, saison) sont enregistrées lors des mesures "longue durée". L'analyse statistique se base ensuite sur le maximum et le minimum mesurés à chaque emplacement.

Les conditions de mesures sont identiques à celles des mesures en zones "Urbaine" et "Rurale". Le récepteur de mesure enregistre la valeur moyenne sur 0.2 secondes avec une bande passante de 10kHz.

4 Résultats

Les résultats présentés ci-après sont issus de plus de 4400 mesures effectuées à 236 emplacements différents, tous situés sur le domaine public. Les mesures ont été répétées plusieurs fois à chacun des emplacements, mais seule la valeur maximum a été retenue dans notre appréciation. Elle correspond au niveau de bruit radioélectrique mesuré avec un détecteur quasi-crête possédant une bande passante de 10kHz [13].

Le niveau de bruit radioélectrique pertinent retenu pour l'appréciation du pouvoir perturbateur est issu du concept de " probabilité CISPR 80%" qui est défini comme étant la limite supérieure de 80% des valeurs analysées. Elle correspond au niveau de bruit radioélectrique possédant une probabilité d'occurrence de 0.8 sur les courbes présentées dans ce chapitre. Ce même niveau sera soumis à comparaison envers les limites des dispositions allemandes NB30.

Groupes de données présentés dans les graphiques

La signification à donner aux différents groupes de valeurs de l'analyse statistiques, présentés dans les graphiques de ce chapitre, n'est possible que si chacun de ces groupes est composé d'un nombre suffisant de valeurs. L'attrait de ces regroupements est qu'il permet d'évaluer de façon réaliste l'évolution du niveau de bruit à différents stades du développement du réseau PLC. Ce développement est caractérisé par son facteur de pénétration dans la population, qui peut varier en fonction de la zone observée. A Fribourg ce taux de pénétration nous est inconnu.

Groupe « Rural »

C'est un groupe de données issues des mesures effectuées en milieu "Rural" uniquement, et composé des valeurs maximums mesurées à chacun des emplacements. Elles représentent la valeur quasi-crête mesurée avec une largeur de bande de 10kHz. Ce groupe représente le niveau de bruit radioélectrique dans un environnement campagnard où la densité des sources de bruit est faible et où aucune installation PLC n'était installée. Ce milieu offre les conditions idéales à la réception radio. Afin d'obtenir un ensemble de données homogène, le rayonnement perturbateur des clôtures électriques à bétail a été éliminé.

Groupe « Urbain sans PLC »

C'est un groupe de données issues des mesures, effectuées en milieu "Urbain", uniquement aux emplacements où aucun signal PLC n'a été détecté. Il est composé des valeurs maximums mesurées à ces endroits et représente les valeurs quasi-crête mesurées avec une largeur de bande de 10kHz.

La signification statistique de ce groupe de données, représente le niveau qu'atteignait le bruit radioélectrique, avant l'introduction de la technologie PLC (ou de manière fictive, on parlerait d'un taux de pénétration de la technologie PLC égal à 0%).

Groupe « Urbain PLC seul »

C'est un groupe de données issues des mesures effectuées en milieu "Urbain", uniquement aux emplacements où un signal PLC a été détecté en permanence ou par intermittence. Il est composé des valeurs maximums mesurées à ces endroits et représente les valeurs quasi-crête mesurées avec une largeur de bande de 10kHz.

La signification statistique de ce groupe de données, représente par extrapolation le niveau qu'atteindrait le bruit radioélectrique si le taux de pénétration de la technologie PLC dans la population était important. Ce taux supposerait toutefois une densité d'équipement telle qu'elle générerait un effet cumulatif qui n'est ici pas pris en compte dans le résultat.

Groupe « Mixte »

C'est un groupe de données issus du regroupement des groupes « sans PLC » et « PLC seul ». Aux endroits où un signal PLC intermittent a été détecté, les 2 valeurs maximums, avec et sans signal PLC sont retenues.

La signification statistique de ce groupe de données, représente le niveau qu'atteignait le bruit radioélectrique à l'époque des mesures. Notons que le taux de pénétration de la technologie PLC, relatif à ce niveau de bruit, ne nous était pas connu.

Groupe « TR-modems »

C'est un groupe de données issu des mesures à proximité des cabines de transformateurs (17kV/230V) où sont installés les modems d'alimentation de chacune des cellules PLC. Il est composé des valeurs maximums du rayonnement perturbateur PLC mesuré à ces endroits et, étant donné que la procédure de mesure utilisée ici est différente (voir chapitre 3.6), il représente la valeur crête mesurée sur une largeur de bande de 10kHz, puis corrigée en valeur quasi-crête. La signification statistique de ce groupe de données, représente le niveau du rayonnement perturbateur à attendre à proximité d'un modem PLC ou d'un répéteur PLC raccordé au réseau d'accès.

La Figure ci-dessous présente les valeurs statistiques du niveau de bruit radioélectrique, toutes fréquences confondues. Le niveau de bruit radioélectrique le plus faible a été mesuré en milieu rural à 6dBuV/m et le niveau le plus élevé en milieu urbain à 75dBuV/m. En milieu urbain, une dynamique de plus de 60dB caractérise les valeurs.

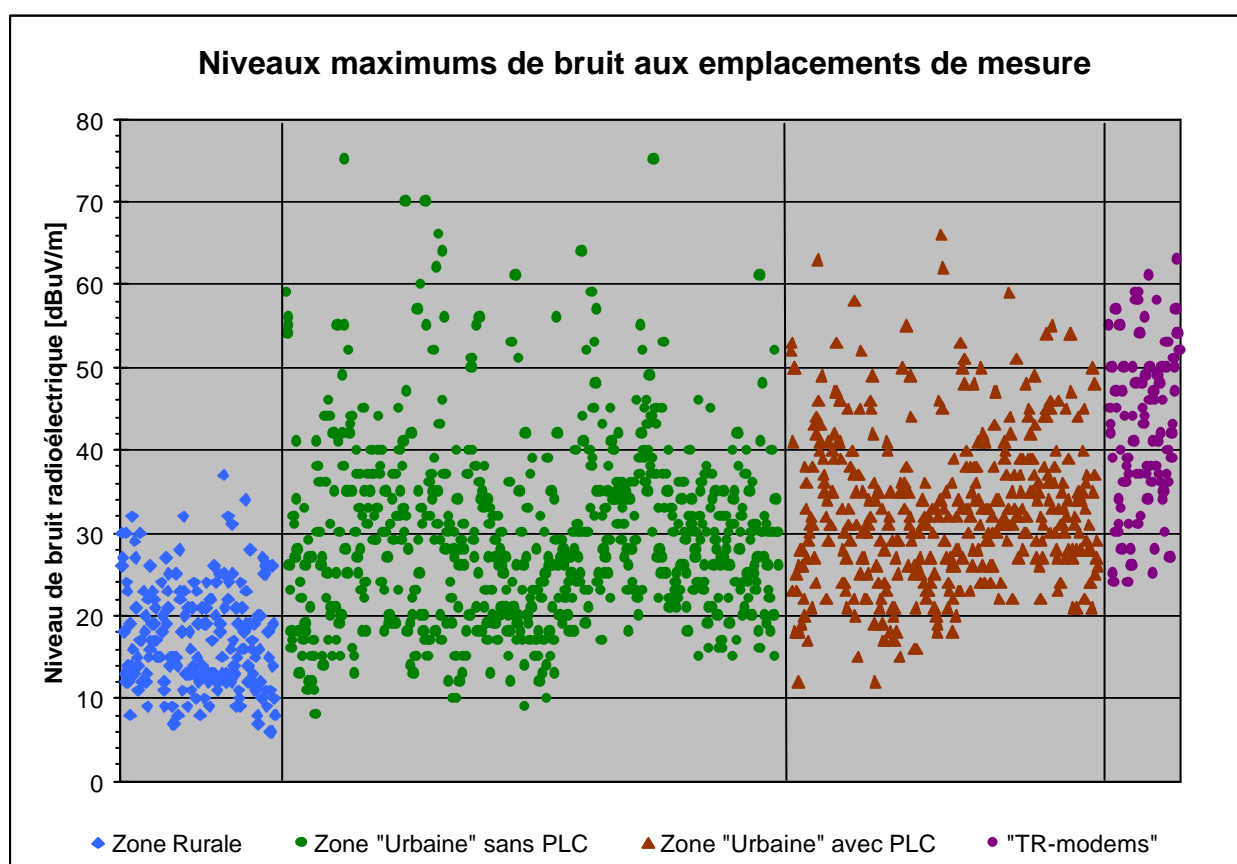


Figure 26: Représentation des valeurs de bruit radioélectrique composant les différents groupes de données soit: 210 valeurs "Rurale"; 670 valeurs "Urbain, sans PLC"; 420 valeurs "Urbain, avec PLC"; 126 valeurs "TR-modems"

4.1 A proximité des points d'alimentation des cellules PLC.

L'analyse des mesures à proximité des cabines des transformateurs de quartier, abritant les modems des points d'alimentation des cellules PLC, a montré que c'est effectivement à ces endroits que le pouvoir perturbateur PLC maximum a été mesuré, avec une intensité de 55dBuV/m à 2.4MHz. L'intensité diminue néanmoins très rapidement en fonction de la distance.

L'analyse a également montré que le pouvoir perturbateur à ces endroits est resté plus ou moins constant durant la période d'observation, probablement du fait qu'à ces endroits, une grande capacité de transmission est requise, obligeant le système à travailler en permanence à la puissance maximum avec 2 porteuses ou plus.

La figure ci-après présente le résultat de l'analyse aux trois fréquences du réseau d'accès.

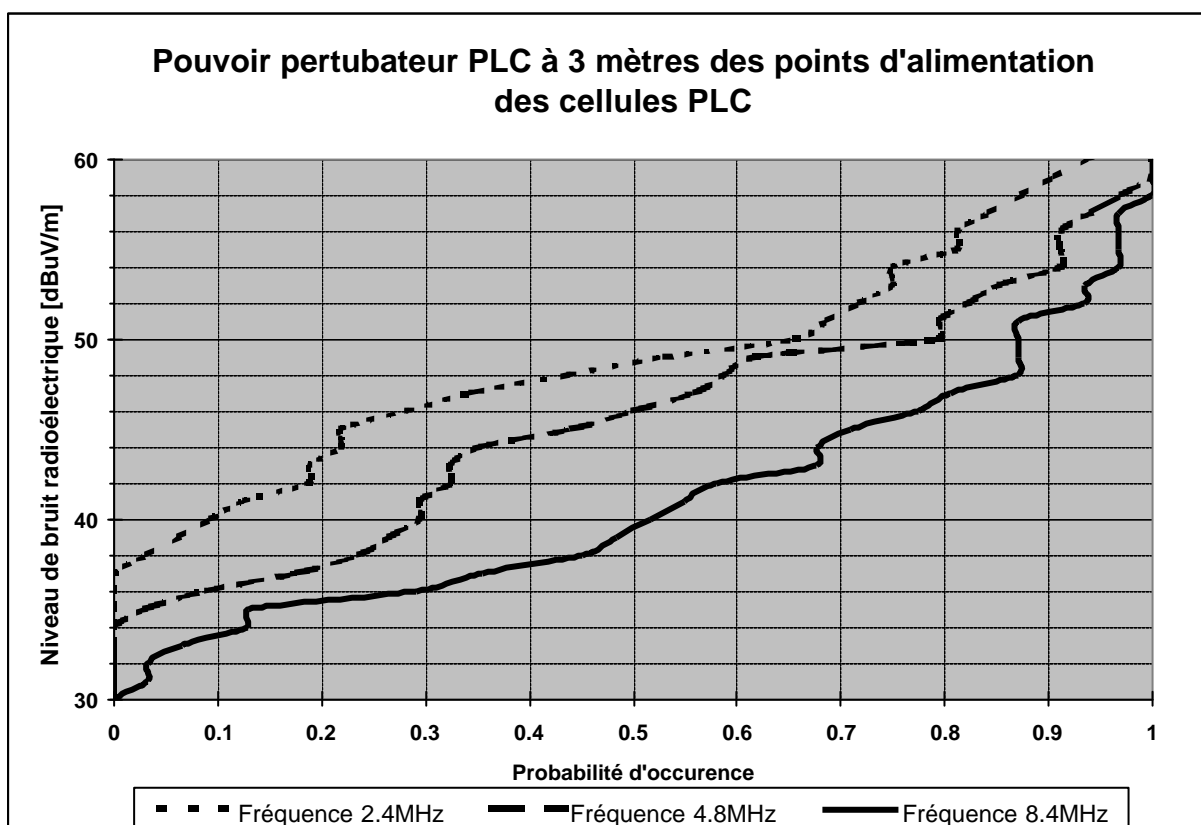


Figure 27: Bruit radioélectrique aux fréquences du réseau d'Accès (valeur crête corrigée en quasi-crête avec facteur de -6dB) en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz.

Tableau 1 : Niveau du pouvoir perturbateur PLC (équivalent quasi-crête) pour une probabilité d'occurrence de 0.8 (égal CISPR 80%)

Fréquence [MHz]	2.4	4.8	8.4
Pouvoir perturbateur PLC [dBuV/m]	55	52	47

4.2 En milieu "Urbain".

Les graphiques ci-dessous permettent d'observer l'évolution du niveau de bruit radioélectrique qui accompagne l'extension du réseau PLC et du nombre d'abonné. Ils permettent également de constater que le niveau de bruit en milieu rural est très inférieur à celui en milieu urbain. Les mesures ont en outre montré qu'une grande partie des zones urbaines est affectée par le rayonnement perturbateur des trolleybus ou des lignes à haute tension.

Ils présentent le niveau de bruit radioélectrique mesuré aux différentes fréquences d'exploitation des installations PLC, en fonction de sa probabilité d'occurrence.

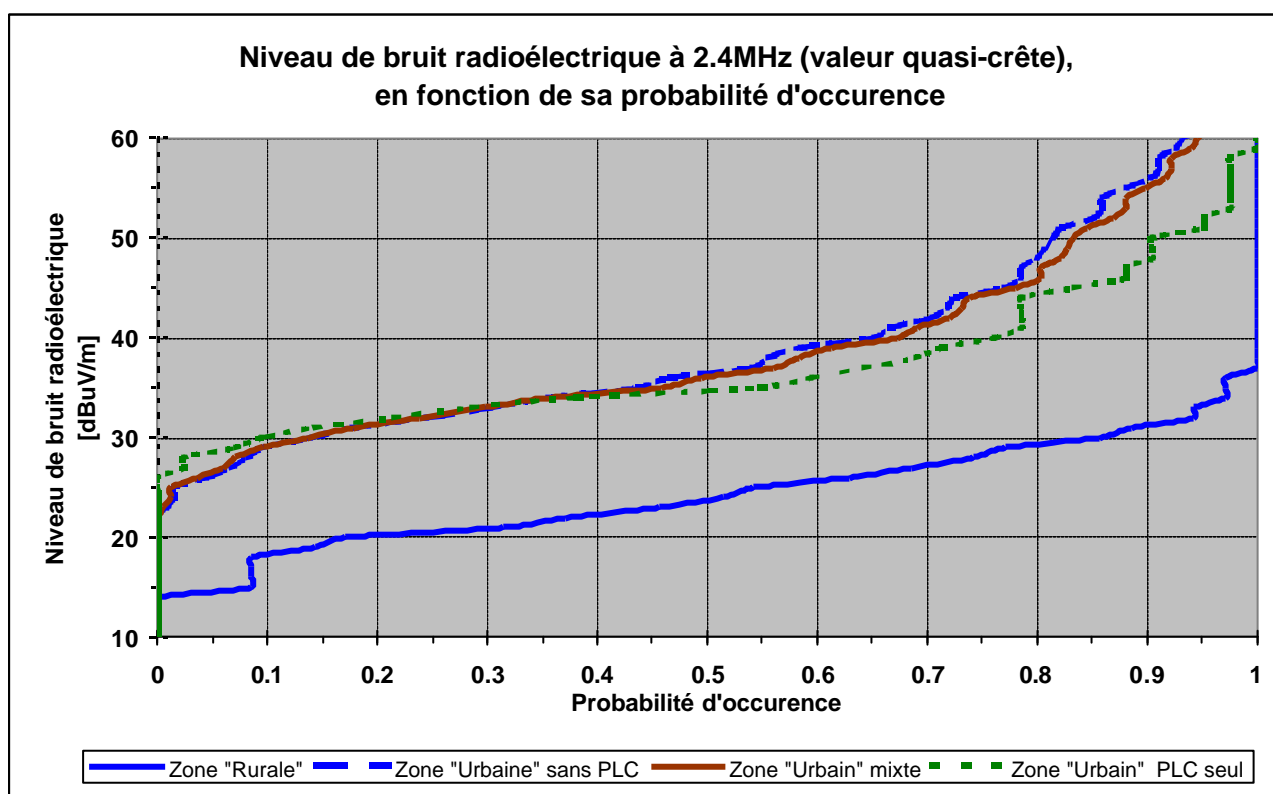


Figure 28: Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 2.4MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

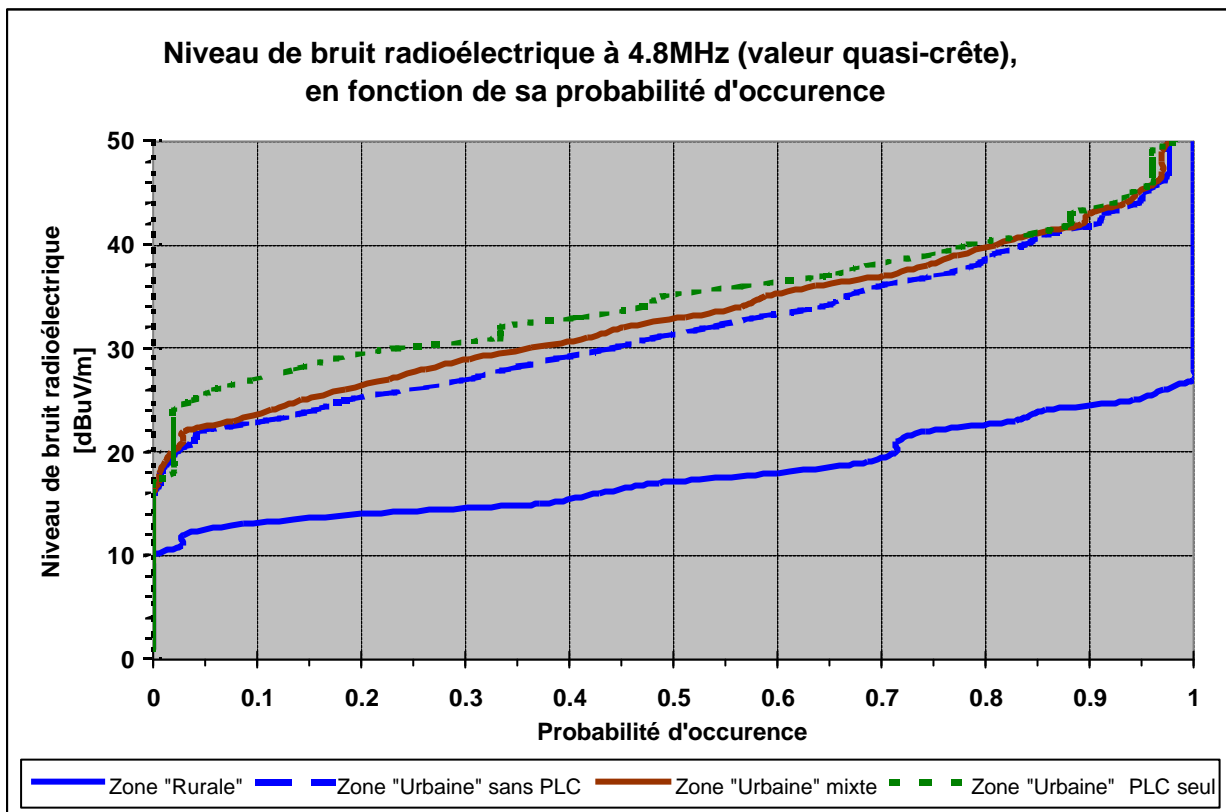


Figure 29: Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 4.8MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

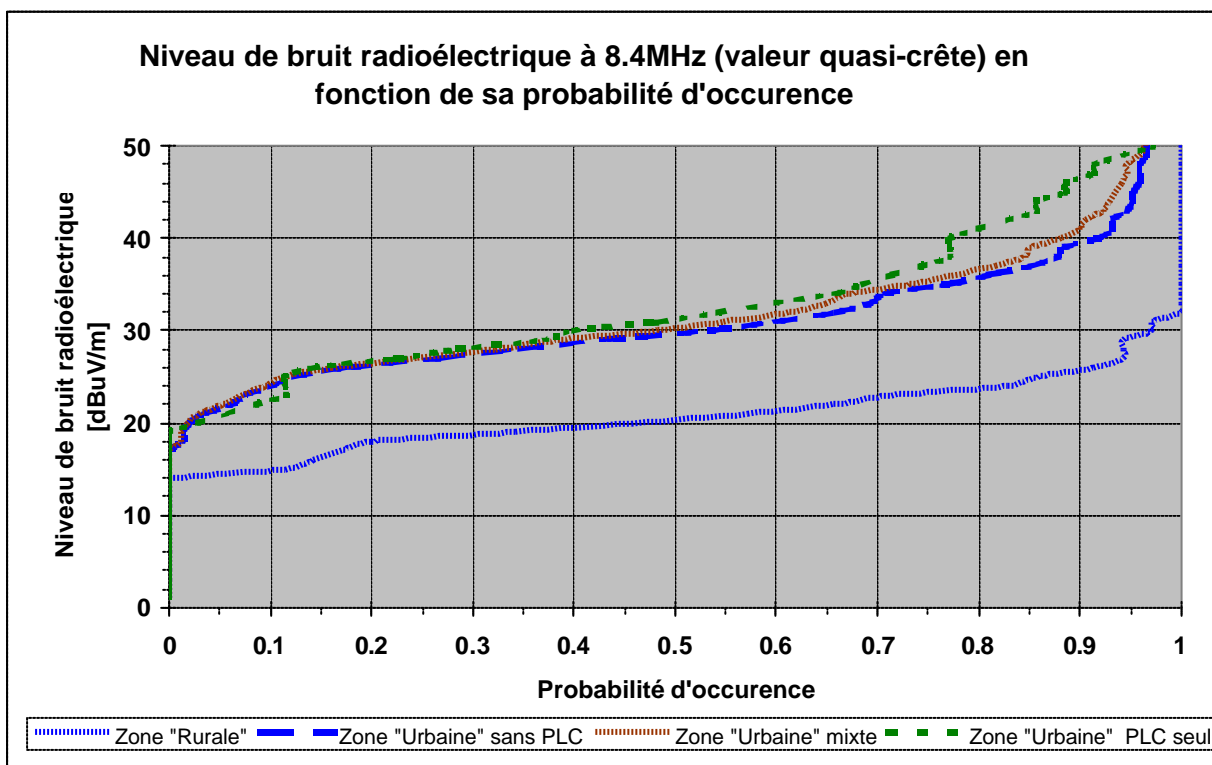


Figure 30: Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 8.4MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

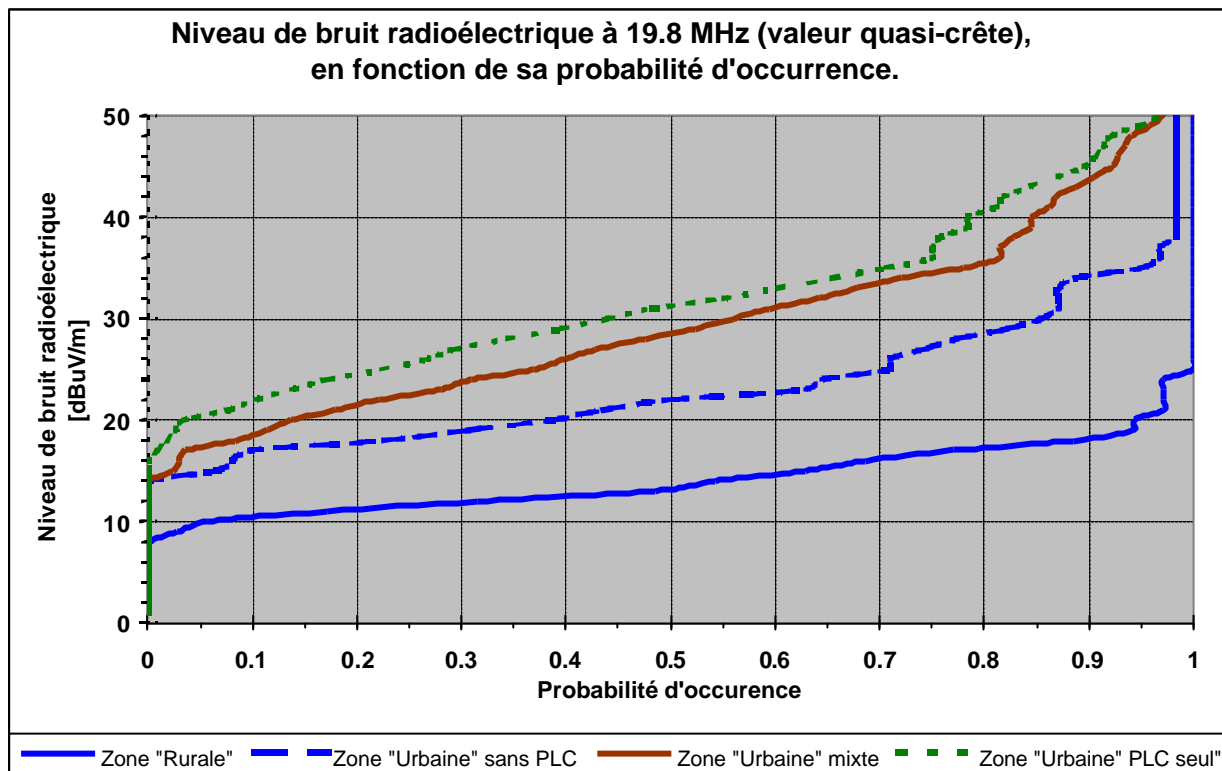


Figure 31: Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 19.8MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

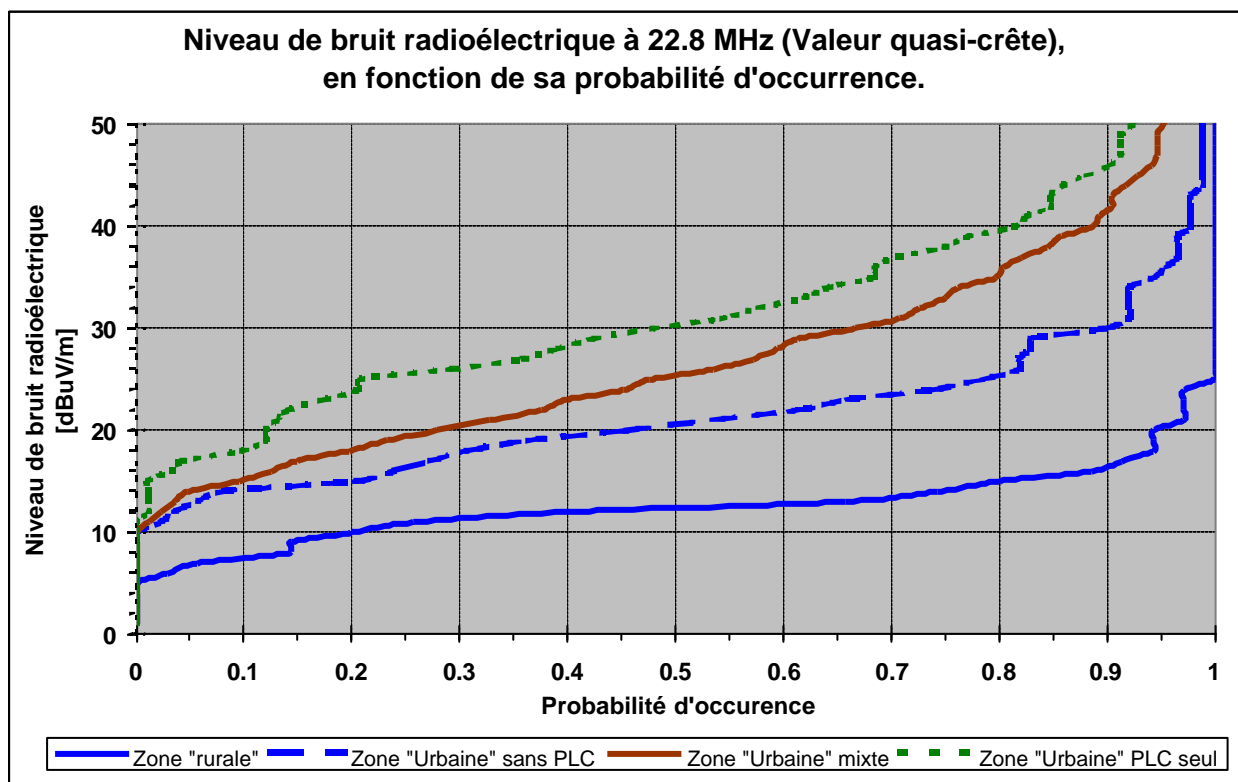


Figure 32 : Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 22.8MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

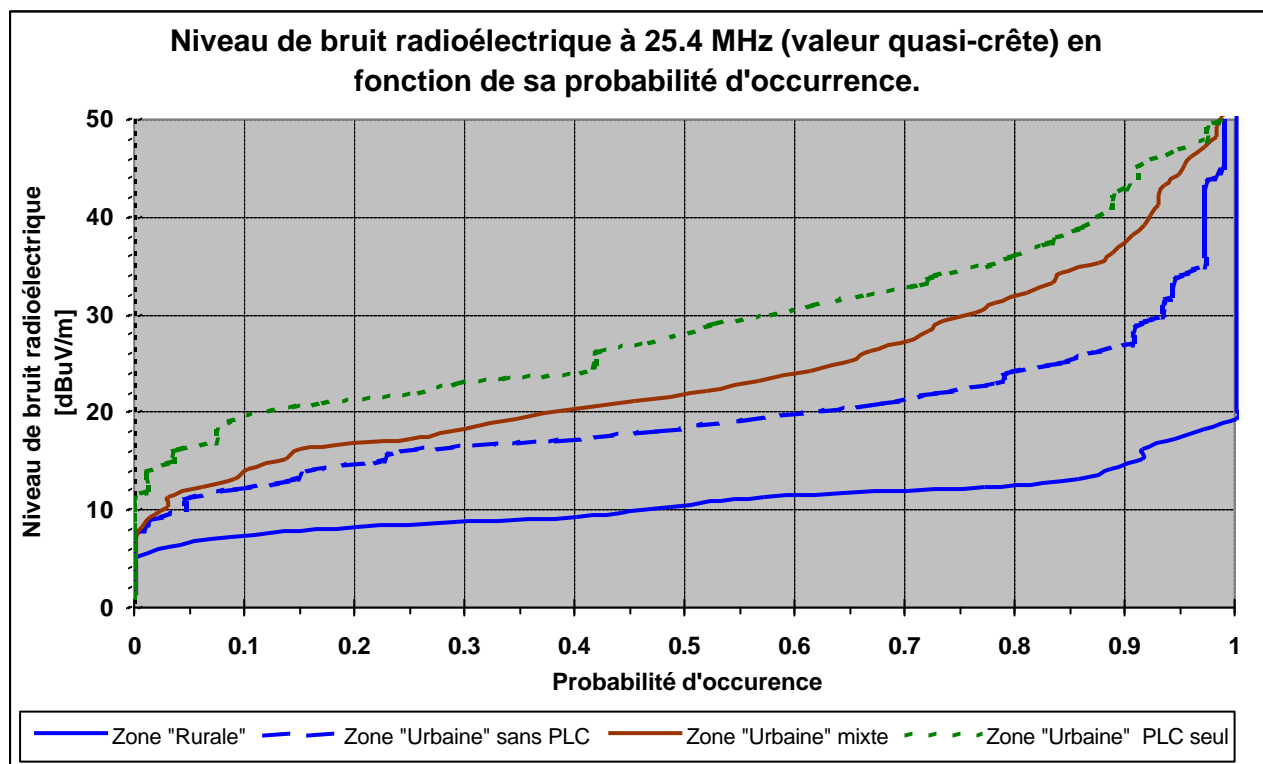


Figure 33 : Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) à la fréquence de 25.4MHz, en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz

Tableau 2: Niveau du bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) en milieu "Urbain", pour une probabilité d'occurrence de 80%.

Fréquence :		2.4MHz	4.8MHz	8.4MHz	19.8MHz	22.8MHz	25.4MHz
Niveau de bruit radioélectrique [dBuV/m]	Groupe «PLC seul»	45	41	41	41	40	36
	groupe «mixte»	46	40	37	36	36	32
	Groupe «sans PLC»	49	39	36	29	26	25

On constate, au travers de ces différents graphiques, que l'intensité de bruit radioélectrique "Urbain sans PLC" est significativement plus importante dans les bandes de fréquences inférieures à 10MHz. Plus particulièrement aux fréquences de 2.4 et 4.8MHz où le rayonnement perturbateur généré par les caténaires des trolleybus est prédominant sur de larges zones urbaines. Dans ces quartiers, le rayonnement perturbateur des installations PLC est probablement masqué par celui des trolleybus.

Mise à part à la fréquence de 2.4 MHz, le pouvoir perturbateur (courbes "Urbain PLC seul") des installations PLC est plus élevé que le niveau de bruit radioélectrique avant l'introduction de cette technologie. On constate une différence encore plus marquée si la fréquence augmente, notamment au-dessus de 10MHz.

Une autre constatation intéressante, est que le niveau du pouvoir perturbateur PLC tiré du tableau 2 (groupe "PLC seul") varie peu en fonction de la fréquence. Le niveau médian, dans notre cas, se situe autour de 41dBuV/m et est représentatif d'un niveau de bruit dans les zones d'accès publiques de la ville. Ce résultat est cependant lié au type de technologie mesurée.

Ces graphiques montrent que l'introduction de la technologie PLC à Fribourg aura pour conséquence à terme de voir le niveau de bruit radioélectrique augmenter principalement aux fréquences supérieures à 10MHz. Aux fréquences inférieures, où l'effet des caténaires des trolleybus et des lignes à haute tension est déjà important, une augmentation future du taux de pénétration PLC ne sera suivie que d'une augmentation négligeable du niveau de bruit radioélectrique.

Le réseau d'accès étant constitué, c'est avant tout la densité des modems domestiques qui va augmenter dans le future affectant plus spécialement les fréquences domestiques. Alors que la courbe de donnée du groupe « mixte » reflète le niveau du bruit radioélectrique (PLC inclus) à l'époque des mesures, elle évoluera au fil des nouveaux abonnés, vers la courbe du groupe « PLC seul ». L'augmentation à attendre sera ainsi de l'ordre 5dB (voir tableau 2).

Le tableau 3 donne la proportion des emplacements où le rayonnement perturbateur PLC a été détecté. Il montre notamment qu'en milieu urbain 2 fois plus d'emplacements sont concernés par une augmentation du niveau de bruit dû aux installations PLC domestique (53% contre 24% aux fréquences d'accès).

Tableau 3: Pourcentage des emplacements, en milieu "Urbain", où le rayonnement perturbateur des installations PLC a été détecté.

Zone observée:	Toutes fréquences confondues	Fréquences d'accès	Fréquences domestiques
Zones industrielles AB	41%	27%	55%
Zone commercial	53%	25%	80%
Zones résidentielles ABC	33%	22%	45%
Toutes zones confondues	38%	24%	53%

4.3 En milieu "rural".

La charge spectrale en milieu rural est généralement faible, procurant des conditions de réception radio optimales. Elle peut augmenter localement si l'on s'approche des habitations et des fermes, ou à proximité des zones traversées par des lignes à haute tension. La principale source de perturbation rencontrée dans cette zone sont les clôtures électriques. Leur mauvaise qualité, dû à l'usure, provoque de petits arcs électriques qui « polluent » le spectre sur une large gamme de fréquence jusqu'à 30 MHz et même au-delà. On trouve ces clôtures un peu partout en milieu rural, principalement durant la période allant de mai à octobre.

En zone "Rurale", aucune installation PLC n'est exploitée et la zone urbaine la plus proche desservie par le réseau PLC est située à environ 500m de distance à vol d'oiseau. Malgré cette faible distance, on n'a pu détecter aucune interférence due aux systèmes PLC, même à un niveau de bruit très faible. Cela tend à confirmer que la propagation du rayonnement perturbateur PLC par l'onde de sol décroît rapidement avec la distance et n'affecterait que les zones à proximité immédiate des quartiers d'implantation PLC.

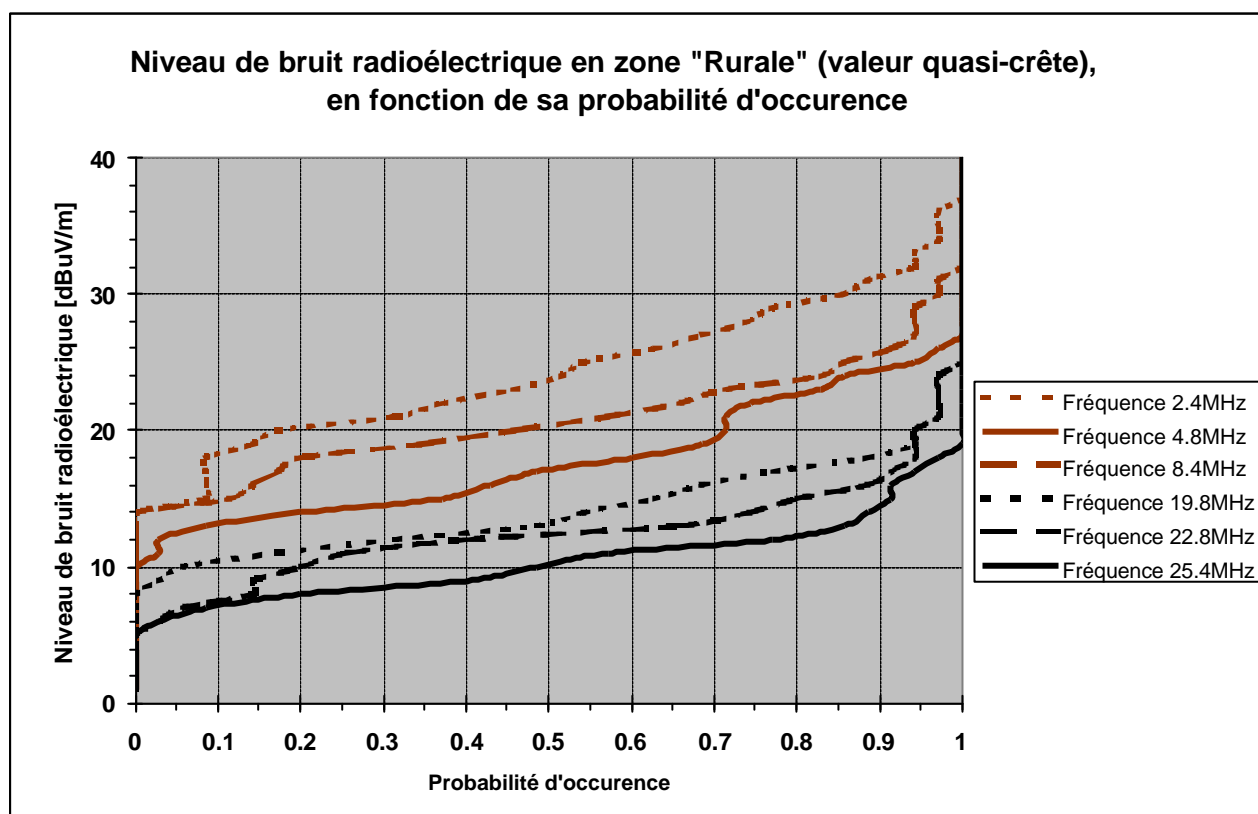


Figure 34: Bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) en milieu "Rural" en fonction de sa probabilité d'occurrence, pour une bande passante de 10KHz. L'effet des clôtures électriques des parcs à bétail a été éliminé.

Tableau 4: Niveau du bruit radioélectrique (valeur quasi-crête) pour une probabilité d'occurrence de 80% en milieu rural

Fréquences :	2.4 MHz	4.8MHz	8.4MHz	19.8MHz	22.8MHz	25.4MHz
Niveau de bruit radio-électrique [dBuV/m]	30	23	24	18	16	13

4.4 Qualité de réception radio

La portée de transmission d'un émetteur à ondes courtes peut aller de quelques centaines à plusieurs milliers de kilomètres. Le signal se propage dans l'espace par réflexions multiples entre la terre et les basses couches de l'ionosphère et ne nécessite par conséquent aucun relais entre l'émetteur et le récepteur, même si celui-ci est situé à l'autre bout du monde. Ce mode de propagation reste d'ailleurs le principal atout de la bande à ondes courtes. Les propriétés des zones de réflexion ionosphérique changent constamment avec la météo, le jour, la nuit, ou avec les saisons, et provoque une variation continue du signal nommée fading, qui peut aller jusqu'à 30dB en quelques minutes.

La qualité de réception d'un signal de radio se mesure principalement par son rapport "signal sur bruit" (S/N). Les recommandations du CCIR donnent un rapport S/N de 40 à 52 dB, suivant la nature de l'interférence, lorsque le signal reçu est modulé en amplitude. La dégradation de la qualité de réception se fait sentir si ce rapport chute au-dessous de ces valeurs. Cependant quelques essais menés sur le site de Fribourg ont montré qu'un rapport S/N de 20 dB est suffisant pour la réception de la parole.

Lors de notre campagne de mesure, nous avons doublé chacune des mesures de bruit radioélectrique par la mesure du signal d'un émetteur de radiodiffusion reçu dans la bande des ondes courtes. Notre choix s'est porté sur un signal dont le niveau de réception nous semblait typique de la zone de couverture d'un émetteur en ondes courtes, soit le programme national Allemand « Deutsche Welle » à la fréquence de 6.075 MHz.

Le graphique ci-dessous montre une représentation statistique des niveaux de réception minimum et maximum obtenus lors de nos mesures.

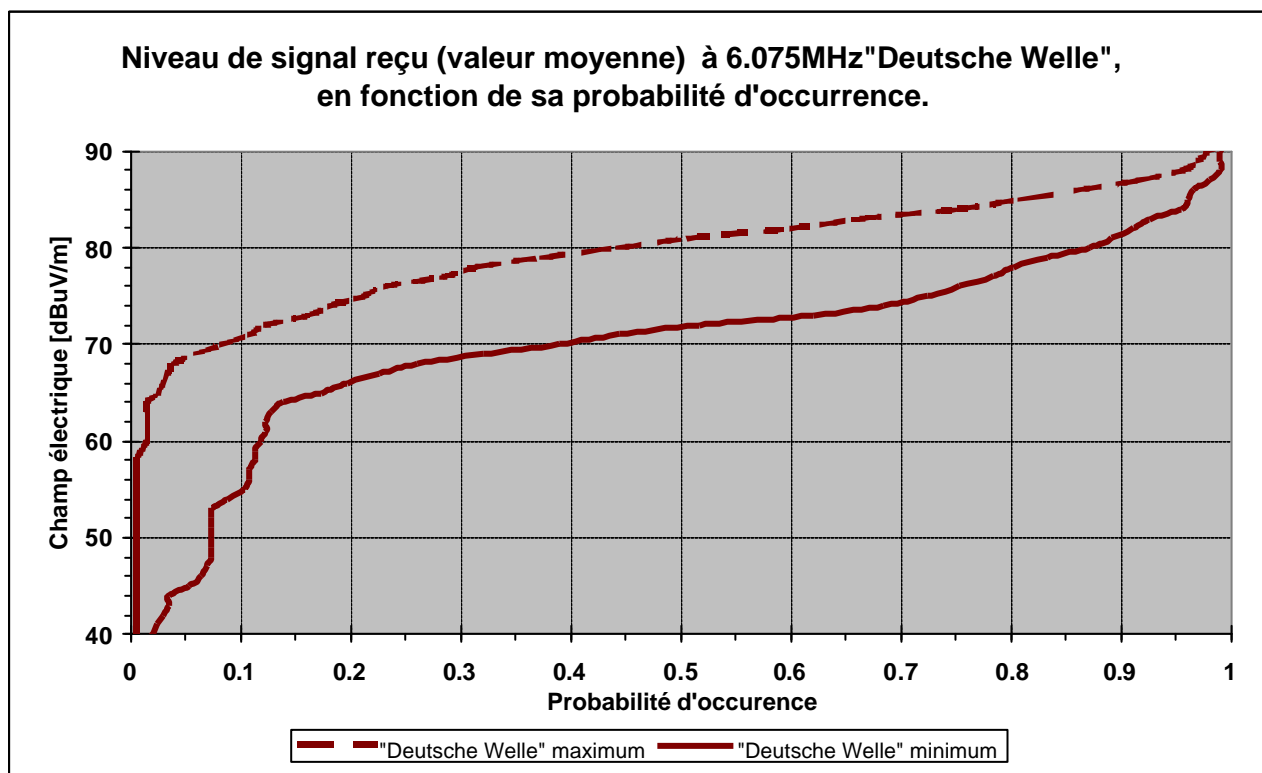


Figure 35: Signal reçu (valeur moyenne sur 0.2 seconde) de l'émetteur national Allemand « Deutsche Welle » à 6.075MHz en fonction de sa probabilité d'occurrence.

On constate que la valeur médiane (probabilité d'occurrence 0.5) du signal reçu est comprise entre 72 et 81dBuV/m. Cette différence d'env. 10dB est constante pour plus de 60% des valeurs mesurées (probabilité d'occurrence allant de 0,15 à 0,75)

A titre d'exemple, dans le tableau 5 on calcule le rapport S/N de l'émetteur "Deutsche Welle" par rapport aux résultats des mesures. Les mesures ayant été réalisées à la fréquence de 4.8MHz, une extrapolation à 6.075MHz est nécessaire:

- Le pouvoir perturbateur PLC à 6.075 MHz est réduit de -10dBc du fait que l'on se trouve à la limite de la bande passante de la porteuse (voir chapitre 2.1).
- D'autre part, on admet que le niveau de bruit radioélectrique "sans PLC" à 6.075MHz comme étant identique à celui mesuré à 4.8MHz.

Tableau 5: Calcul du rapport S/N minimum relatif au niveau de réception médian de l'émetteur "Deutsche Welle", en regard du niveau de bruit radioélectrique et du rayonnement perturbateur des installations PLC (niveau CISPR 80%).

"Deutsche Welle", niveau maximum de la valeur médiane [dBuV/m] :		81	
"Deutsche Welle", niveau minimum de la valeur médiane [dBuV/m] :		72	
Niveau de bruit radioélectrique avec une probabilité d'occurrence de 80% [dBuV/m]	Groupe " Urbain, sans PLC" 4.8MHz	39	S/N=33
	Groupe "rural" à 4.8MHz	23	S/N=49
	*Groupe "TR modem" à 4.8MHz corrigé à 6.075MHz	42	S/N=30
	*Groupe "Urbain,PLC seul" 4.8MHz corrigé à 6.075MHz	31	S/N=41

- Le niveau du bruit généré par la porteuse PLC à 4.8MHz a été corrigé de -10dB pour permettre son extrapolation à 6.075MHz.

Le calcul montre que le rapport signal sur bruit minimum varie 30 à 49 dB suivant que l'on se trouve en milieu urbain ou rural. Le plus mauvais cas de figure, avec un rapport S/N de 30dB, se présente à proximité des points d'alimentation des cellules PLC. On constate également qu'à 6.075MHz en zone urbaine, le bruit radioélectrique est prédominant par rapport au rayonnement perturbateur des installations PLC.

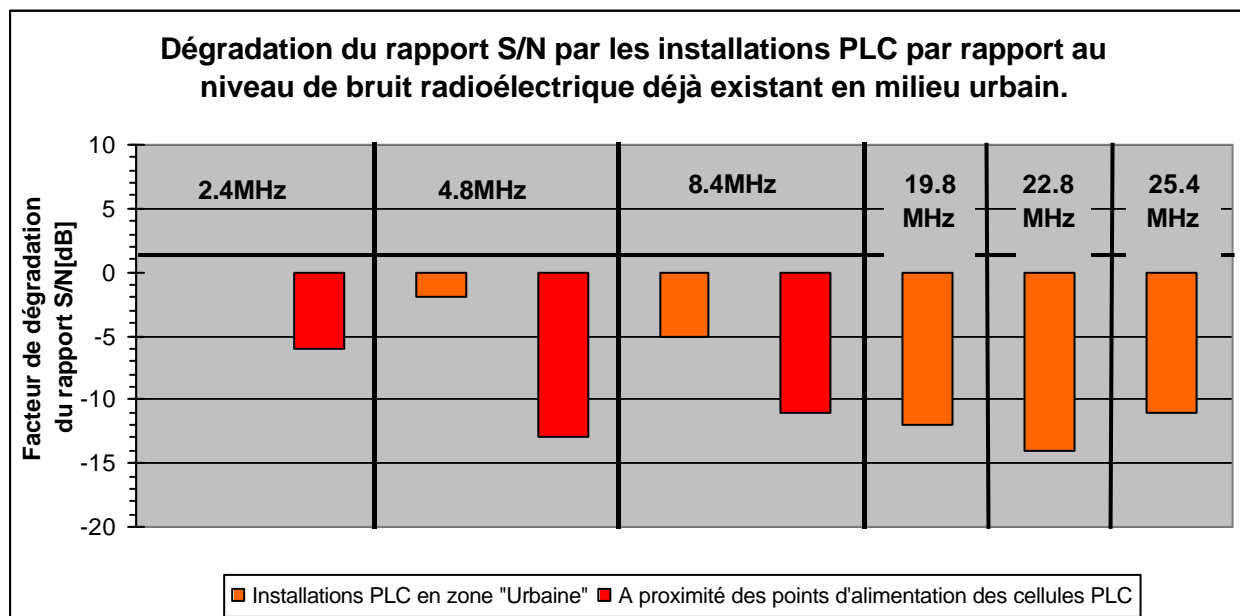


Figure 36: Dégradation du rapport S/N par les installations PLC en milieu urbain et à proximité des points d'alimentation des cellules PLC.

La figure ci-dessus montre la dégradation du rapport signal sur bruit à attendre, par rapport au niveau de bruit radioélectrique qui prévalait avant l'implantation de la technologie PLC en milieu "Urbain" (groupe "Urbain, sans PLC"), et compte tenu de l'augmentation future du taux de pénétration PLC (groupe "Urbain, PLC seul"). L'analyse porte également sur les points d'alimentation des cellules PLC (groupe "TR-modems").

On constate que l'écart peut aller jusqu'à environ 14 dB dans les 2 cas de figure.

4.5 Comparaison aux limites des dispositions NB30

Le graphique ci-dessous présente, à titre indicatif, une comparaison des résultats (valeurs CISPR 80%) aux limites des dispositions allemandes NB30. Cette comparaison est toutefois sujette à caution du fait que la spécification de mesure [2] liée aux dispositions NB30 n'a pas été appliquée, exception faite pour les points d'alimentations des cellules PLC. Pour permettre la comparaison, la courbe NB30 a été corrigée de -6dB, du fait qu'elle définit la valeur crête du rayonnement perturbateur et que nos résultats représentent la valeur quasi-crête. Ce facteur de 6 dB a été obtenu statistiquement lors de la campagne de mesure.

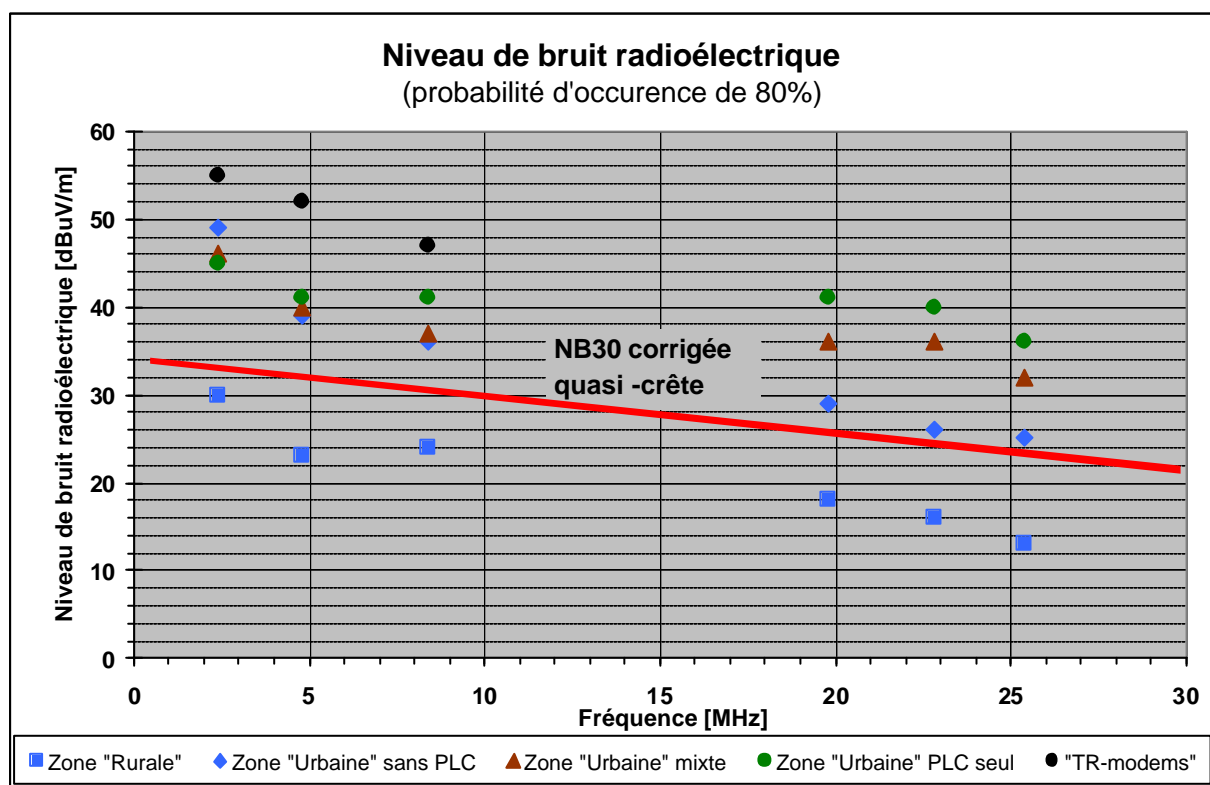


Figure 37: Résultats de l'analyse avec présentations des valeurs du bruit radioélectrique (80% probabilité d'occurrence) en fonction de la fréquence. Elle représente sa valeur quasi-crête avec une largeur de bande de 10kHz

Le graphique montre que le rayonnement perturbateur des installations PLC, en milieu urbain sur le domaine public, est clairement supérieur aux limites des dispositions allemandes NB30. Cela est également le cas pour les points d'alimentation des cellules PLC où le dépassement atteint jusqu'à 21dB à 2.4MHz. Il est également intéressant de constater que le niveau de bruit radioélectrique "Urbain, sans PLC" excède également les dispositions NB30.

Seule le niveau de bruit radioélectrique en milieu "Rural" est inférieur aux dispositions NB30

5 Conclusions

La campagne de mesure menée à Fribourg nous a permis d'apprécier le pouvoir perturbateur d'un réseau PLC en activité dans un milieu urbain. Grâce à une approche statistique, l'analyse des données a permis de retrouver le niveau de bruit qui prévalait avant l'implantation des installations PLC et de se projeter dans le futur afin de voir quel niveau de bruit pourrait être atteint si cette technologie se généralise.

Les résultats de cette étude montrent:

- Le pouvoir perturbateur maximum a été mesuré à proximité des points d'alimentation des cellules PLC, soit à proximité des cabines de transformateur de quartier (17kV/230V). Il décroît cependant rapidement si l'on s'éloigne de ces endroits.
- L'augmentation du niveau de bruit existant en milieu urbain reste faible en dessous de 10MHz alors qu'il est sensiblement plus important aux fréquences supérieures. Cela est dû au rayonnement perturbateur des caténaires des trolleybus de la ville, ainsi que de certaines lignes à haute tension qui génèrent un niveau de bruit déjà très important en dessous de 10MHz.
- Le niveau du rayonnement perturbateur généré par les installations PLC varie faiblement en fonction des fréquences mesurées autour d'un niveau médian d'environ 41dBuV/m.
- Le rayonnement perturbateur des installations PLC sur le domaine public excède les valeurs limites des dispositions NB30 à toutes les fréquences mesurées. Le dépassement est encore plus significatif et peu atteindre jusqu'à 21 dB à proximité des points d'alimentation des cellules PLC. On constate également que le niveau de bruit radioélectrique qui prévalait avant l'implantation des installations PLC excède déjà les limites NB30.
- Le rayonnement perturbateur PLC généré dans les zones urbaines et propagé par l'onde de sol à l'extérieur de la ville n'a pu être détecté en milieu rural, situé à une distance d'environ 500mètres des installations les plus proches. Cela confirme l'hypothèse que le pouvoir perturbateur du signal PLC n'affecterait que des zones très proches des sites d'implantation PLC.

La validité des résultats de cette étude est liée aux spécifications de la technologie utilisée, tels que la puissance maximum délivrée par modems, le type de modulation ou la bande passante du système, et est fonction de la topologie du réseau de distribution électrique et des installations domestiques.

Les résultats sont représentatifs des niveaux présents dans les zones publiques uniquement, souvent éloignée des réseaux domestiques. Seule une campagne de mesure spécifique des installations PLC domestiques permettrait d'obtenir des résultats plus représentatifs du niveau du rayonnement perturbateur à l'intérieur d'une habitation.

Une analyse de la situation nous laisse supposer qu'à l'avenir, l'implantation de réseaux complets (réseau d'Accès + domestique) sera progressivement abandonnée au profit du développement ou de l'importation de modem PLC à usage domestique uniquement. Ces équipements, importés des USA ou d'autres pays seront vendus sur le marché suisse sans que le régulateur ne puisse garder le contrôle sur les sites d'implantation de ces appareils. Cette situation, si elle se confirme, pourrait conduire à une dégradation sensible de la qualité de réception et provoquer une augmentation des plaintes concernant les perturbations radio, de la part des différents services opérant en ondes courtes.

6 Littérature et abréviations

Littérature

- [1] M. Ianoz, *"Report on the Progress concerning the use of PLC and the work in different standardization bodies"*, Pully, Oktober 15, 2002
- [2] Reg TP 322 MV 05 Part 1 , *"Specification for the Measurement of Disturbance Fields from Telecommunications Systems and Networks in the Frequency Range 9kHz to 3 GHz"*, RegTP, octobre 2001
- [3] Anhang der Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung (FreqBZPV) , *"Nutzungsbestimmung 30 : Nutzung von Frequenzen für Telekommunikationsanlagen und Telekommunikationsnetze in und längs von Leitern"*, RegTP, Juillet 2001
- [4] Guide technique NT-2721, *"Mise sur le marché et /ou exploitation d'installations PLC (Powerline Communications) en Suisse"* , OFCOM, 28 septembre 2001
- [5] *"ECC report on PLT,DSL, cable communications (including cable TV), LAN's and their effect on radio serves"*, CEPT ECC (WG PT SE35), Février 2003
- [6] Recommandation UIT-R PI.372-6, *"Bruit radioélectrique"*, 1994
- [7] Recommandation UIT-R P.845-3, *"Mesure du champ des ondes décamétriques"*, 1997
- [8] Far Field Radiation study; FARFIRA Report 1-5, Ascom and Ofcom, 2001
- [9] Ascom Powerline Communications, *"Powerline system description, version 1.2"*, Ascom Powerline System AG; avril 2001
- [10] Jean-Paul van Assche und Jan Coenraads, *"Information on radiating properties of mains network"*, Radiocommunications Agency Netherland, February 24, 2003
- [11] *"Spektrum-Mesungen vom 7.-13. September 1993 beim KWS Schwarzenburg"*, EMC Baden/ F.Gassmann, Octobre 1993
- [12] *"Mandat de mesure PLC V1.0"*, Projektausschuss PLC, 9 janvier 2002
- [13] *"Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus"* CISPR 16-1:1999/A2:2003

Abréviations

ADSL	Audio digital subscriber line
Ascom	Ascom Powerline Communication System
OFCOM; BAKOM	Office Fédéral de la Communication; Bundesamt für Kommunikation
CATV	Cable TV
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications
CEM	Compatibilité électromagnétique
CEN	Comité Européen de Normalisation
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
CEPT	Comité Européen des Postes et des Télécommunications
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ECC	Electronic Communication Committee (Comité de la CEPT)
EEF ENSA	Entreprises Electriques Fribourgeoises & Electricité Neuchâteloise SA
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
LAN	Local Area Network
LTC	Loi sur les Télécommunication du 30 avril 1997; RS 784.10
NB 30	Nutzungsbestimmungen 30
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PAS	Projekt Ausschuss
PLC	Powerline Communications
PLT	Powerline Telecommunications
PP PLC	Pouvoir Perturbateur d'installation PLC
R&S	Rhode & Schwarz
RegTP	Regulationsbehörde Telekommunikation und Post
S/N	Rapport Signal sur Bruit (Signal/ Noise ratio)
UE	Union Européenne

Annexe 1: Rapport du Prof. Michel Ianoz sur "*Electromagnetic effects due to PLC and work progress in different standardization bodies*", November, 2002

Annexe 2: Elektrizitätswerk Fribourg, "*Einspeisepunkte von Fribourg*", Juli, 2002

Annexe 3: Messpunkte mit Koordinaten