

# Boucle locale radio

État des lieux et perspectives d'utilisation et de développement

Réponse du syndicat mixte Manche Numérique à la consultation publique émise par  
l'ARCEP du 23 mai au 23 juin 2011





# Table des matières

Commentaires sur l'état des lieux.

Évolution des réseaux de boucle locale radio

Du WiFiMax au WiFiMax MIMO

MIMO « n x m » : n émissions distinctes, sur un agrégat de m canaux

Du WiFiMax au WiFiMax MIMO : impact technologique

Deux canaux utilisés : une bande spectrale par secteur multipliée par deux.

Deux émissions distinctes : une réduction du brouillage de 6 dB (division par 4).

D'une division de fréquence à une division de fréquence + une division de temps : l'amélioration de l'efficacité spectrale.

La technologie WiFiMax MIMO permet de revisiter la QoS (Quality of Service)

Du WiFiMax au WiFiMax MIMO : impact sur les débits et les services

Règles d'ingénierie à respecter sur l'infrastructure

Le dimensionnement

Le maillage

Typologie des règles de collecte

La sécurité

Conformité avec les réglementations en vigueur

Réglementation de santé publique : décret du 3 mai 2002

Réglementation de compatibilité électromagnétique

Niveaux de référence alternatifs

Positionnement pratique du réseau WiFiMax manchois

Conformité du réseau aux réglementations en matière de filtrage et de traçabilité des connexions

Informations générales

Maîtrise d'ouvrage du projet

Localisation sur le territoire des infrastructures et des zones bénéficiant de ces infrastructures

Degré d'avancement du projet

Nomadisme

Les évolutions technologiques dans la bande des 3,5GHz

Les ressources en fréquence dans la bande des 3,5 GHz

# Introduction

La boucle locale radio est un sujet central de l'aménagement numérique du territoire dans le département de la Manche, et est intimement associée à l'histoire du syndicat mixte Manche Numérique. En effet, l'ambition d'apporter l'accès à Internet à haut débit à toute la population a été affirmée dès la création du syndicat mixte, et cette ambition est aujourd'hui une réalité, grâce à un réseau d'accès à Internet exploitant la norme Wi-Fi. Il ne s'agit pas, à proprement parler, de "boucle locale radio" au sens où ce réseau n'exploite pas les fréquences de la bande des 3,4 à 3,6 GHz, mais comme précisé dans le texte de la consultation, il s'agit d'une "technologie concurrente à la boucle locale radio"

En conséquence, Manche Numérique répond par le présent document à la consultation sur l'état des lieux et les perspectives d'utilisation et de développement de la boucle locale radio.

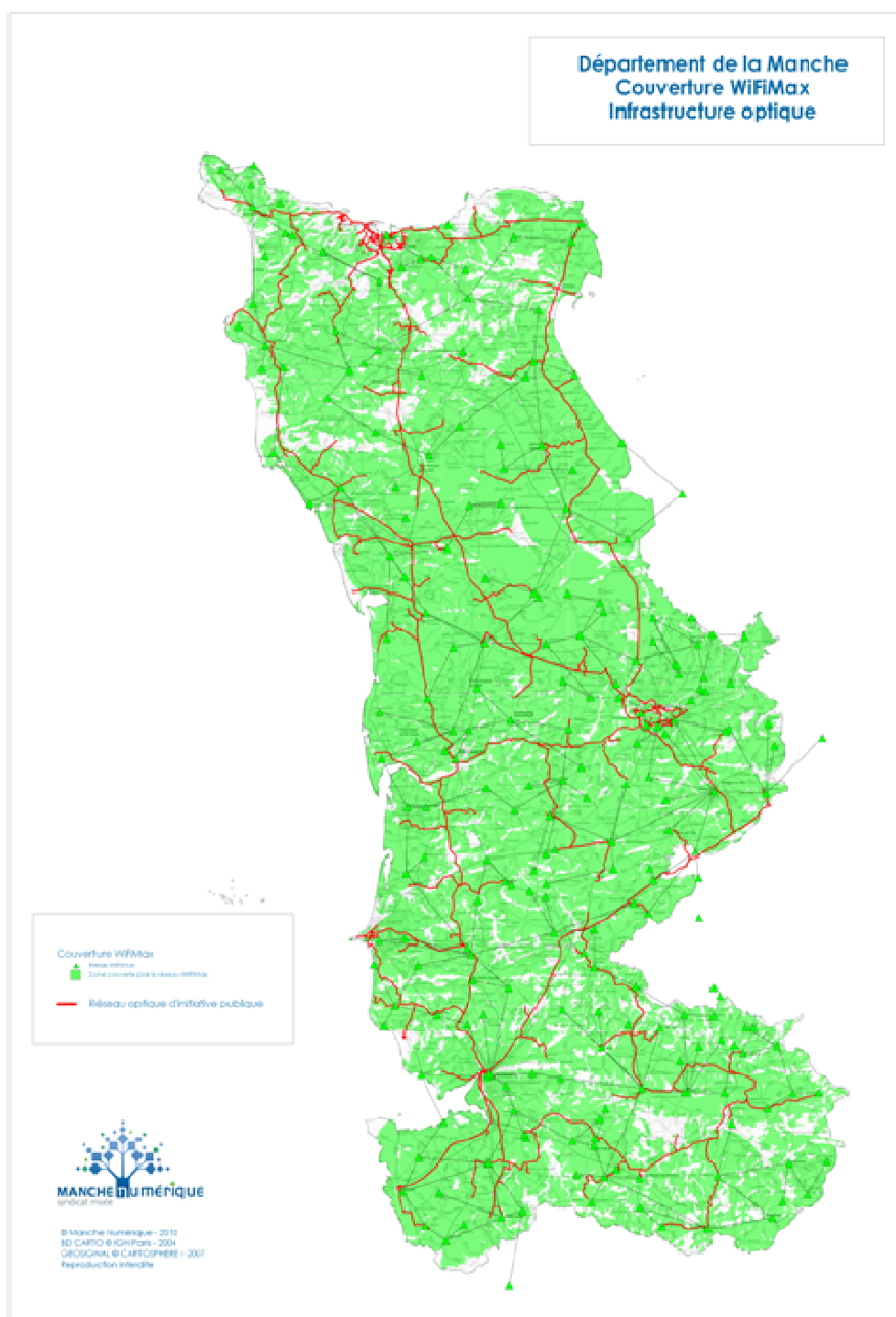
## Commentaires sur l'état des lieux.

Manche Numérique n'a aucun commentaire à apporter sur l'état des lieux réalisé par l'Autorité concernant la boucle locale radio.

## Évolution des réseaux de boucle locale radio

### Du WiFiMax au WiFiMax MIMO

Comme déjà dit, la réponse de Manche Numérique à la question de l'accès à Internet pour tous dans les zones blanches et grises de l'ADSL repose sur le réseau WiFiMax exploité par l'opérateur Ozone. Ce réseau compte aujourd'hui plus de 220 relais et couvre tout le territoire manchois; il prodigue un service de qualité, avec un débit binaire symétrique allant jusqu'à 4 Mbit/s, et une offre de téléphonie sur IP qui permet aux clients de résilier leur abonnement téléphonique, exactement comme s'ils étaient éligibles à l'ADSL et au dégroupage. À ce jour, plus de 3000 foyers manchois ne s'y sont pas trompés : tout en étant inéligibles à l'ADSL, ils profitent sans compter de l'Internet à haut-débit.



Le Schéma Directeur d'Aménagement Numérique du département de la Manche, qui sera présenté dans les jours prochains, fixe des objectifs ambitieux en matière d'accès à Internet à très haut débit. Cependant, ce déploiement d'une très grande envergure demandera plusieurs années avant d'être achevé.

Les performances du réseau WiFiMax, si elles sont suffisantes aujourd'hui, ne le seront plus d'ici à ce que les réseaux de fibre optique à l'abonné soient généralisés sur le territoire.

C'est la raison pour laquelle le syndicat mixte Manche Numérique a prévu de le faire évoluer, et pour ce faire, la technologie "MIMO", dernier stade d'évolution de la norme Wi-Fi 802.11n, présente un certain nombre d'avantages, décrits ci-après.

## **MIMO « n x m » : n émissions distinctes, sur un agrégat de m canaux**

Multiple-Input Multiple-Output ou MIMO (« entrées multiples, sorties multiples » en français) est une technique permettant des transferts de données à plus grande vitesse que la technique Wi-Fi (standard IEEE 802.11).

Là où, sur les technologies classiques de transmission radio, un seul canal est utilisé, avec la technologie MIMO plusieurs canaux peuvent être utilisés simultanément pour la même transmission. En effet, la technologie MIMO permet d'agréger plusieurs canaux au niveau de l'émetteur sur plusieurs antennes émettrices. Une technologie MIMO 2x2, par exemple, correspondra au recours à deux antennes émettrices dirigées vers un récepteur pourvu de deux antennes réceptrices. Une technologie MIMO 1x2, elle, ne correspondra qu'à une antenne en émission réceptionnée sur deux antennes distinctes.

## **Du WiFiMax au WiFiMax MIMO : impact technologique**

### **Deux canaux utilisés : une bande spectrale par secteur multipliée par deux.**

Dans le cas de la technologie WiFiMax actuelle, la bande de fréquence utilisée est décomposée en différents canaux. Un seul canal ne peut être utilisé. Sur la bande des 5GHz par exemple, la largeur de spectre se monte à 220MHz, et sur la bande des 2,4GHz, 83 MHz de largeur de bande sont disponibles. Dans les deux cas seuls 20MHz peuvent être utilisés par canal, et un secteur radio irriguant une zone donnée ne peut utiliser qu'un seul canal.

Ainsi, avec une technologie WiFiMax MIMO nx2, la bande spectrale utilisée est multipliée par deux, augmentant de facto le débit cumulé.

### **Deux émissions distinctes : une réduction du brouillage de 6 dB (division par 4).**

Concernant le nombre d'émissions, le passage d'une émission sur 2 canaux à 2 émissions distinctes permet de réduire considérablement le taux de collision radio. En effet, si n utilisateurs émettent et reçoivent des paquets radio sur l'ensemble de la bande de fréquence, le taux de collision sera important, à hauteur de ce que l'on connaît aujourd'hui

sur les technologies radio. Or, en distinguant les émissions, par l'ajout d'un module radio supplémentaire pour chaque diffusion sectorielle, on diminuera d'autant le taux de collision, ce qui augmentera le rendement spectral. Ces diffusions distinctes doivent pour cela se faire sur des polarisations orthogonales (verticale pour l'une, horizontale pour l'autre). L'orthogonalité permet un gain de 6dB, diminuant le brouillage de façon très importante (d'un facteur 4).

À cette réduction du brouillage doit être intégré le fait que le bruit ambiant dans la bande des 5 GHz est largement inférieur à celui rencontré autour de 2,4 GHz, ce qui contribuera à la nette amélioration de la qualité de transmission.

## **D'une division de fréquence à une division de fréquence + une division de temps : l'amélioration de l'efficacité spectrale.**

En technologie Wi-Fi classique, aucun partage du temps n'est opéré. Ainsi, le niveau d'utilisation du spectre de l'ensemble des CPE d'un secteur sera égal au niveau le plus faible constaté sur l'ensemble des CPE du secteur. Pour contrer cette difficulté, la technologie WiFiMax comprend un dispositif de « token ring », attribuant des jetons de parole à chaque CPE, et opérant ainsi une division de temps. Toutefois, même si cette technologie bonifie considérablement les transmissions, une perte de 4 millisecondes est constatée par CPE connecté sur le secteur. Ainsi, la limite du nombre de CPE connectables par secteur est en partie conditionnée par cette donnée, puisque la latence induite peut s'avérer très élevée pour les secteurs les plus saturés. Sur la technologie WiFiMax MIMO, une division de temps (appelée TDMA) est ajoutée, permettant de réduire la latence de synchronisation, en la divisant par un fort coefficient. En outre, cette TDMA étant plus efficace que le token ring, le taux de collision est réduit, la perte de paquet diminuant d'autant.

Le WiFiMax MIMO maintient bien la division de fréquences, dite OFDM, qui elle permet l'optimisation de l'efficacité spectrale. Une autre solution aurait consisté à intégrer un procédé DSSS, mais le rendement spectral bit/hertz aurait été moins important.

Pour résumer, par rapport à une technologie WiFiMax classique, la technologie WiFiMax MIMO :

- double la largeur de bande, ce qui augmente le débit par secteur
- diffuse sur deux émissions distinctes, ce qui diminue le taux de collision et améliore donc l'efficacité spectrale (bit/hertz)
- intègre une division de temps, ce qui diminue la latence et augmente le nombre d'abonnés raccordables par secteur.

## **La technologie WiFiMax MIMO permet de revisiter la QoS (Quality of Service)**

Du fait de ces avancées, la gestion de la QoS peut évoluer en profondeur. Le rendement spectral étant augmenté (sur les premiers tests, il semble doublé par rapport aux 30% constatés), la QoS peut être définie par des gestions de classes de service, utilisées en WiMax, plutôt que la création de tunnels spécifiques. Par conséquent, la configuration des classes de service peut être réalisée au niveau des BS, via un contrôleur central de QoS sur l'ensemble du réseau. La mise en place de classes de service permettra d'affiner les possibilités de QoS, ne pouvant aujourd'hui reposer que sur un double dispositif associant création de tunnels et tags de paquets, qui n'est pas en place sur les réseaux actuellement en service.

## **Du WiFiMax au WiFiMax MIMO : impact sur les débits et les services**

La technologie WiFiMax MIMO permet une montée en débit significative au niveau d'un secteur. S'il n'est pas possible d'être très précis en l'état actuel des choses, il est manifeste que pour le coefficient multiplicateur des débits utiles constatés au niveau d'un secteur se situera dans une fourchette de 4 à 6. Ainsi, le débit réel par secteur est compris entre 50 et 70Mbit/s selon l'impact réellement constaté des améliorations apportées. Par comparaison, un secteur aujourd'hui n'atteint que très rarement les 12 Mbit/s réels.

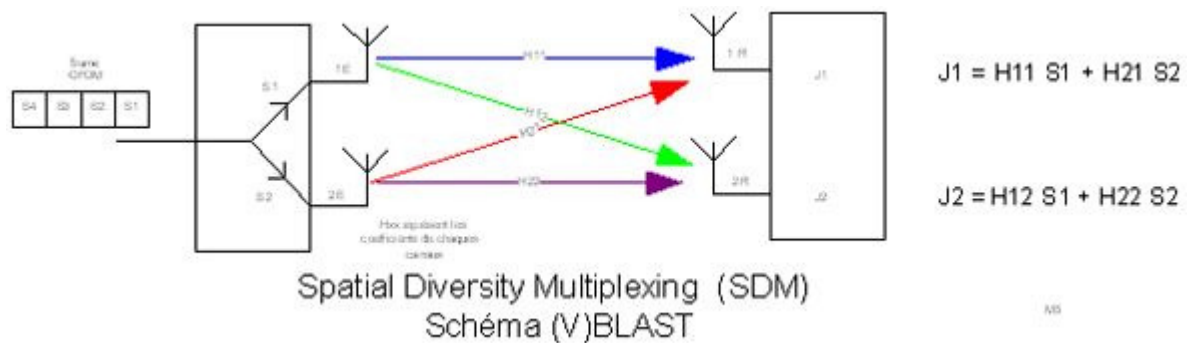
En termes de services, l'amélioration de la latence et l'intégration de la QoS laisse une grande place à l'innovation et au développement de plateformes de services. Les modèles open access constatés dans les pays scandinaves peuvent donc désormais s'appliquer sur les réseaux WiFiMax MIMO.

Par ailleurs, le transport de flux vidéo est donc possible, et les premières offres triple play sont donc implémentables sur les réseaux WiFiMax MIMO, dans la limite d'une part du débit disponible au niveau du secteur, et d'autre part de la qualité du réseau de collecte.

Par exemple, à débit constant, il serait possible d'affecter 30 à 50 Mbit/s sur les seuls flux vidéo, soit un ensemble de 6 à 10 chaînes HD compressées simultanées, ou 25 à 40 chaînes standards simultanées. Par comparaison, un secteur est aujourd'hui réputé saturé à partir de 40 clients.

L'explication ci-dessous expose une partie des améliorations technologiques apportées par le MIMO :





D'après le schéma ci-dessus, nous constatons qu'avec deux antennes de chaque côté, quatre canaux distincts sont créés. Lorsqu'un paquet S1 est envoyé à partir de l'antenne « 1 E » à destination de « 1 R » et que le paquet S2 est envoyé de « 2 E » pour « 2 R », à la réception chaque antenne reçoit à la fois ce qui a été envoyé par « 1 E » et « 2 E » multiplié par un coefficient complexe en fonction de leur canal. Pour recomposer la trame il va falloir résoudre un système de deux équations à deux inconnues afin d'isoler S1 et S2. La façon dont on retrouve le signal émis est relativement simple grâce à l'OFDM. Dans le domaine temporel, des opérations beaucoup plus complexes auraient dû être effectuées. Reste un problème : comment déterminer les coefficients complexes de chaque canal pour décoder la trame par la suite ? Ce problème est vite écarté grâce à la structure de la trame OFDM WiFi. Une trame OFDM 802.11 est toujours constituée de deux paquets d'en-tête connus de l'émetteur et du récepteur, de cette façon les différents coefficients seront déterminés et le signal sera ensuite décodé puis la trame reconstituée. Grâce au SDM, le MIMO permet au 802.11n d'atteindre des débits théoriques avoisinant les 150 Mbit/s avec 2 antennes de chaque côté et une bande de 20 MHz de spectre, avec 40 MHz on atteint 270 Mbit/s.

## Règles d'ingénierie à respecter sur l'infrastructure

### Le dimensionnement

Au-delà des quelques milliers de foyers situés en zone blanche et qui seront devenus éligibles au WiFiMax MIMO, il est nécessaire dans le dimensionnement de l'architecture d'intégrer les nouveaux clients finaux de ce réseau de nouvelle génération, disposant d'une éligibilité ADSL et intéressés par la montée en débit les nouveaux services développés. En France, avec des offres double play de 3 ou 4 Mbit/s en moyenne, chaque mois plus de 10% de nouveaux clients WiFiMax sont des déçus de l'ADSL, situés dans des zones à faible débit (1 Mbit/s ou moins). Avec la montée en débit apportée et le niveau de service, le niveau de débit utilisé par secteur devrait rapidement atteindre les 100% de sa capacité.

Cette estimation conduit à prendre deux dispositions :

- Pour qu'un site soit éligible à une desserte WiFiMax MIMO, la collecte de chaque site de diffusion ne doit pas être inférieure à la somme des débits de desserte sur les secteurs de ce site.
- Le niveau de qualité de service évoluant, la latence induite par les flux radio ne doit jamais dépasser les 10 millisecondes entre un CPE et un point de collecte fibre.

### Le maillage

Le réseau tel qu'il est actuellement constitué présente un niveau de maillage important. Aussi, une panne survenant sur un site aurait des effets minimisés sur les autres, puisque le niveau de dépendance des Points d'Accès Radio entre eux est limité.

Il est donc important de limiter le nombre de sites WiFiMax MIMO dits « pendulaires », c'est-à-dire qui ne disposeraient pas de deux chemins d'accès distincts vers un point de collecte fibre. Tous les sites non pendulaires disposent d'un protocole de routage permettant de basculer le trafic de façon dynamique en cas de charge importante ou d'interruption sur la route principale. Cette sécurisation complémentaire améliore la garantie de bon fonctionnement par rapport à un réseau purement pendulaire, et permet d'obtenir quelques pourcentages supplémentaires sur la fiabilité du réseau, qui est alors du même ordre que celle de l'ADSL.

En outre, le dimensionnement de la collecte des sites WiFiMax MIMO doit tenir compte de ces règles de reroutage dynamique des flux, pouvant amener des ensembles de paquets à transiter sur des liens interstations devant eux aussi être dimensionnés pour évacuer le trafic.

## **Typologie des règles de collecte**

En termes de collecte, le réseau doit comprendre un dimensionnement respectant en tout point du réseau une contention maximale de 40 pour 1. Cette règle doit être calculée sur un taux de charge de chaque secteur de 100%, tel qu'évoqué précédemment.

En outre, la contention doit s'opérer le plus haut possible dans le réseau. Par conséquent, s'agissant des liens de collecte radio, des liaisons 11GHz seront vraisemblablement utilisées, avec des débits nominaux par lien de 320 Mbit/s. Le remplacement de liaisons 5,4 GHz vers des liaisons 11GHz pourra s'effectuer sans évolution fondamentale d'ingénierie, dans le sens où les règles de propagation sont convergentes.

En outre, s'agissant des liens de collecte fibre, le transport sera effectué depuis les puits fibre par des liens gigabits jusqu'au point de sortie du réseau.

## **La sécurité**

Les aspects de sécurité constituent une préoccupation majeure de tout opérateur exploitant de réseau, ou même de tout FAI. Par conséquent, dans l'ensemble de l'architecture déployée, nous nous attachons à intégrer des contraintes élevées de sécurité, de façon à être en mesure d'apporter le maximum de garantie à ce sujet.

La sécurité dans le cadre de la collecte des flux : la chaîne de liaison du point d'accès à la porte de livraison intègre un ensemble d'équipements qui doivent être sécurisés aussi bien dans le transport des données que dans leur chiffrement.

La sécurité des équipements : d'une part, les équipements intègrent divers patchs logiciels sur leur noyau permettant de rendre ce noyau robuste vis-à-vis des diverses attaques (DoS, spoofing, etc.). D'autre part, les équipements déployés remontent constamment leurs logs

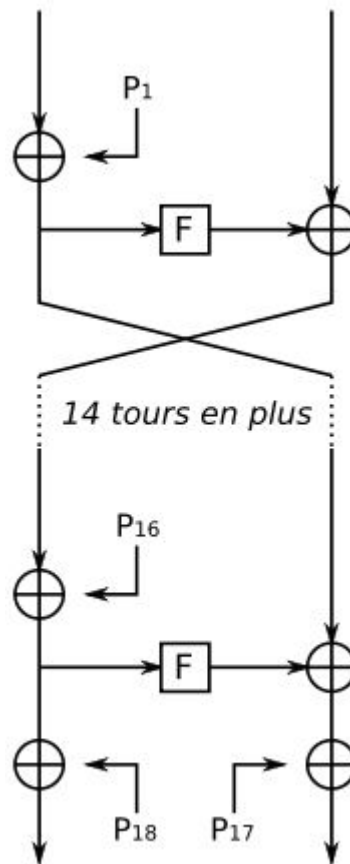
en central. Cet élément permet à la supervision de remonter l'ensemble des évènements de n'importe quel équipement, et de détecter les éventuelles anomalies.

La sécurité dans le transport des flux : entre chaque point d'accès et la porte de collecte, les flux sont encapsulés dans un tunnel VPN de niveau 2 (L2VPN). De ce fait, l'ensemble des flux circulant sur l'infrastructure ne sont pas exploitables par une source d'écoute. Cette méthode de transport a l'avantage de ne pas être liée aux moyens de transport utilisés (VLAN loués, collecte sur l'option 3 xDSL de l'opérateur Orange, faisceau hertzien)

La technologie de chiffrement utilisée est une technologie dite « blowfish », réputée et fiable. A ce jour aucune cryptanalyse n'a pu être trouvée concernant cet algorithme, le rendant particulièrement robuste. Blowfish utilise une taille de bloc de 64 bits et la clé, de longueur variable, peut aller de 32 à 448 bits. Blowfish est basé sur un schéma de Feistel avec 16 tours et utilise des S-Boxes de grande taille qui dépendent de la clé. Il ressemble à CAST-128 qui a adopté, quant à lui, des S-Boxes au contenu fixé d'avance.

Le schéma ci-dessous montre la structure principale de Blowfish. Chaque ligne représente 32 bits. L'algorithme gère deux ensembles de clés : les 18 entrées du tableau P et les quatre S-Boxes de 256 éléments chacune. Les S-Boxes acceptent un mot de 8 bits en entrée et produisent une sortie de 32 bits. Une entrée du tableau P est utilisée à chaque tour. Arrivé au tour final, la moitié du bloc de donnée subit un XOR avec un des deux éléments restants dans le tableau P.

### Schéma de Feistel dans Blowfish



Elle sépare une entrée de 32 bits en quatre morceaux de 8 bits et les utilise comme entrées pour accéder aux S-Boxes. Les sorties sont additionnées avec une somme modulo 232 et l'algorithme effectue un XOR entre les deux sous-totaux pour produire la sortie finale de 32 bits. En tant que schéma de Feistel, Blowfish peut être inversé simplement en appliquant un XOR des éléments 17 et 18 du tableau P sur le bloc chiffré. Il faut ensuite utiliser les entrées du tableau P dans l'ordre inverse.

La préparation de la structure à partir de la clé commence avec l'initialisation du tableau P et des S-Boxes avec des valeurs qui sont tirées du nombre  $P_i$  exprimé en hexadécimal. On opère ensuite un XOR entre la clé secrète et les entrées du tableau P (avec une extension cyclique de la clé si nécessaire). Un bloc de 64 bits, tous à zéro, est ensuite chiffré avec cette version temporaire de Blowfish. Le résultat chiffré remplace ensuite le premier et le deuxième élément du tableau P. On réitère l'opération de chiffrement avec cette nouvelle version et ceci sur le résultat précédent. On obtient alors le troisième et quatrième élément de P. L'algorithme continue ainsi en remplaçant tout le tableau P et les éléments des S-Boxes. Au final, environ 4 Ko de données doivent être générées et Blowfish effectue 512 itérations pour y parvenir.

# Conformité avec les réglementations en vigueur

## Réglementation de santé publique : décret du 3 mai 2002

La commission européenne a émis en 1999 une recommandation N° 1999/519/CE visant à fixer les seuils d'exposition des populations aux rayonnements électromagnétiques. Cette recommandation fixe en particulier les niveaux dits « de références » qui constituent des limites de valeurs de champs auxquels les populations peuvent être soumises de façon prolongée. La France, comme de nombreux pays européens, a transposé cette recommandation dans la réglementation française par décret N°2002□775 du 3 mai 2002.

Les valeurs de référence pour les bandes radiofréquence supérieures à 2 GHz (utilisées pour les réseaux WiFiMax) sont les suivantes :

- Densité surfacique de puissance (DSP) : 10W/m<sup>2</sup>
- Champ électrique (E) : 61 V/m
- Champ magnétique : 0.16 A/m

Les trois valeurs étant interdépendantes, on peut indifféremment considérer l'une ou l'autre, l'usage étant plutôt de considérer la valeur du Champ électrique, soit 61 V/m.

Remarque importante : *les niveaux de référence correspondent à la valeur moyenne mesurée sur 6mn d'observation continue. La commission européenne réalise en permanence le suivi de l'application et de la justification de sa recommandation 1999/519/CE. Elle a produit le 01/09/2008 son rapport de mise en œuvre de la recommandation sur les années 2002 à 2007. Ce rapport (COM/2008/532) confirme les valeurs de référence de la recommandation 1999/519, suivant en cela l'avis émis en mars 2007 par le Comité Scientifique des Risques Sanitaires Émergents et Nouveaux (CSRSEN/SCENHIR), qui estime avoir considéré toutes les preuves scientifiques disponibles à ce jour.*

[http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihir/docs/scenihir\\_o\\_007.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihir/docs/scenihir_o_007.pdf)

## Réglementation de compatibilité électromagnétique

Certaines bandes de fréquence destinées aux réseaux locaux radio sont libres de licences, c'est à dire que tout le monde peut les utiliser sans autorisation particulière. En France, ces bandes sont situées à 2.4 GHz d'une part, et à 5 GHz d'autre part. Afin d'éviter les perturbations mutuelles des installations utilisant indépendamment les mêmes fréquences, des limites de puissance d'émission sont fixées réglementairement par l'ARCEP comme suit :

- De 2.4 à 2.254 GHz : PIRE < 100 mW
- De 2.454 à 2.4835 GHz : PIRE < 10mW
- De 5.470 à 5.725 GHz :
  - PIRE < 1W avec TPC (contrôle automatique de puissance),
  - PIRE < 500 mW sans TPC.

La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) est la puissance réellement émise dans l'axe principal de l'antenne. Elle intègre donc la puissance de l'émetteur radio, l'atténuation des câbles et connecteurs, et le gain maximum de l'antenne.

## Niveaux de référence alternatifs

Comme indiqué précédemment, la valeur de référence retenue par la réglementation française pour le champ électrique des rayonnements radioélectriques est de 61 V/m, conformément à la recommandation européenne 1999/519/CE. Les agences institutionnelles chargées de la santé publique en France (AFSSET) ou au niveau mondial (OMS) confirment la validité de ces niveaux à la lumière des études et expériences les plus récentes qu'ils ont analysées.

La majorité des pays de la CE a adopté ces niveaux. Néanmoins, certains pays européens ont choisi d'utiliser des niveaux de référence réglementaires plus restrictifs, sur tout ou partie de la gamme de fréquence, parfois pour des zones spécifiques (« zones sensibles »). On peut citer par exemple (source : Rapport CE COM/2008/532) :

- La Belgique : niveau 2 fois plus bas pour les fréquences RF
- Le Luxembourg : 3 V/m pour les habitations
- L'Italie : 6 V/m
- La Pologne : 7 V/m pour les fréquences RF
- La Bulgarie : Variable en fonction de la sensibilité des zones
- La Slovaquie : 6 V/m pour les nouvelles installations RF

Enfin, certains pays (Lituanie) ou associations préconisent de limiter l'exposition de l'ensemble des populations à un niveau maximum de 0,61 V/m, soit un facteur 100 par rapport au niveau de référence de la recommandation 1999/519/CE.

Cette note technique ne cherche pas à apprécier la légitimité des affirmations des différents acteurs sur l'impact des ondes électromagnétiques sur la santé, chacun pouvant se référer aux communications présentées sur Internet et aux sites Web des organismes institutionnels ou des associations.

En revanche, elle s'attache à positionner la réalité des émissions des réseaux WiFiMax par rapport aux différents niveaux de référence. Elle montre que l'exposition des populations aux rayonnements électromagnétiques dus au type de réseau Radio que nous déploierons sur le territoire du département de la Manche reste inférieure aux seuils préconisés par les acteurs les plus exigeants (0,6 V/m).

## Positionnement pratique du réseau WiFiMax manchois

Comme indiqué plus haut, les réseaux WiFiMax sont limités réglementairement à des puissances d'émission de 1W dans la bande 5 GHz. Les émissions des différentes stations du réseau étant exclusives les unes des autres, aucune station ne peut émettre en permanence à la puissance maximale et une étude de SUPELEC réalisée pour l'ARCEP a

montré que le taux d'émission d'une station WiFiMax est de l'ordre de 50%, soit 500mW en moyenne sur les 6 mn d'observation pour la bande 5 GHz.

La densité surfacique de puissance (DSP) en fonction de la distance de l'émetteur se calcule, en espace libre (dans le vide), par la formule :

$$DSP = \frac{PIRE}{4\pi d^2}$$

avec d = distance à l'antenne

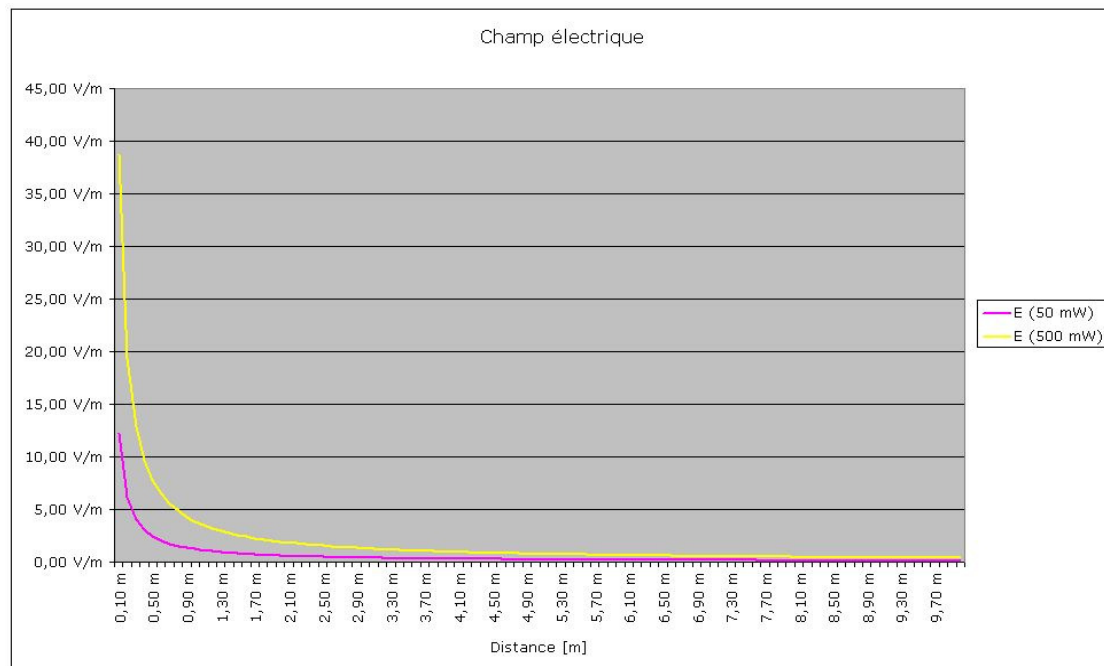
Remarque : *cette formule, valable dans le vide, ne tient pas compte de l'atténuation dans l'air qui réduit encore la densité de puissance.*

Le champ électrique, pour sa part, s'obtient par la formule :

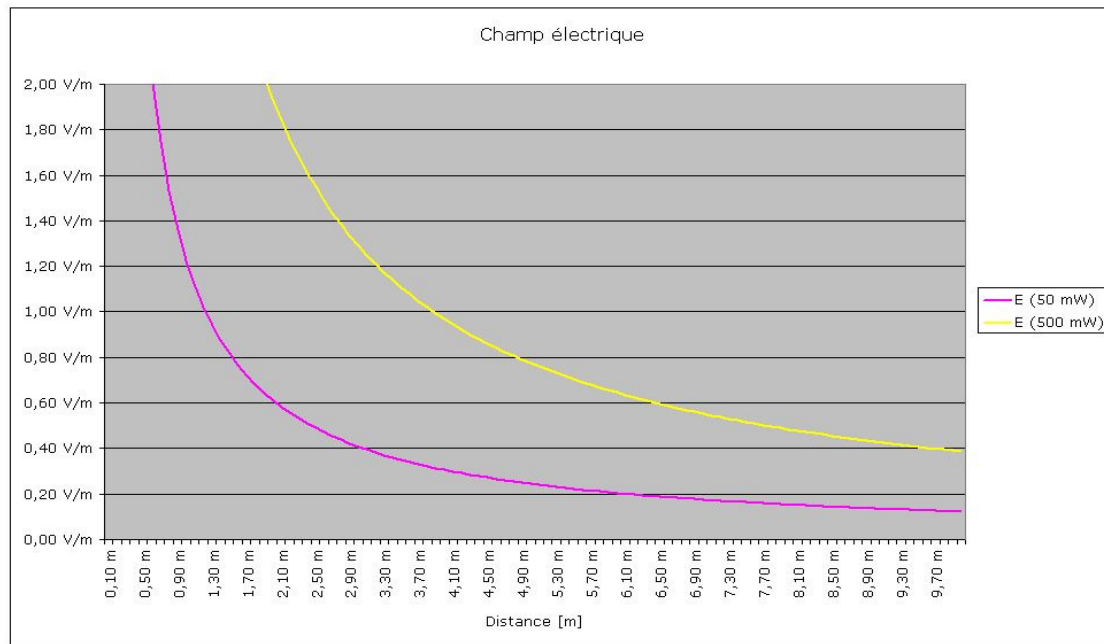
$$E = \sqrt{(377 \times DSP)}$$

$$\text{Soit } E = \sqrt{\frac{377 \times PIRE}{4\pi d^2}}$$

À partir de cette formule, on peut tracer les courbes suivantes, montrant l'intensité de champ électrique généré par les antennes en fonction de la distance à laquelle est effectuée la mesure. En rose, les courbes correspondant à un PIRE de 50 mW correspondant au champ généré par les antennes utilisées dans la bande des 2.4 GHz, et en jaune un PIRE de 500 mW correspondant au champ généré par les antennes utilisées dans la bande des 5.4 GHz.



Pour plus de clarté dans la représentation, on peut se focaliser sur les champs inférieurs à 2 V/m, comme le montre la courbe ci-dessous :



À la vue de ces courbes, on constate que :

- le niveau de 61 V/m n'est jamais observé en WiFiMax
- le niveau de 0.6 V/m est obtenu dès 2m en 2.4GHz et dès 6m en 5.4 GHz.

En pratique, le réseau dont il est question sera constitué :

- De liaisons point à point, dans la bande des 5 et 11 GHz, disposées entre deux points hauts, pour assurer les liaisons de collecte du réseau, au moyen d'antennes directives à champ étroit.
- Des zones de diffusion dans la bande des 5 GHz à partir de points hauts (clochers, poteaux, pylônes) autour des stations de base équipées d'antennes sectorielles, mais champ vertical étroit.
- Des équipements de cœur de réseau (routeurs, concentrateurs, etc.) situés dans des POP (Points Of Presence, ou sites centraux).

Il n'y a donc pratiquement pas de cas où les populations sont susceptibles d'être exposées à moins de quelques mètres des émetteurs dans le champ de l'antenne (rappelons que le champ au pied du pylône est considérablement réduit) de façon prolongée et même de façon momentanée.

On constate que dans le réseau proposé, de par sa conception et sa conformité à la réglementation, l'exposition des populations est :

- Systématiquement inférieure aux niveaux de référence réglementaires



- En pratique toujours inférieure aux niveaux de référence les plus exigeants, y compris ceux demandés par les sociétés de défense de l'environnement et de protection de la santé.

## **Conformité du réseau aux réglementations en matière de filtrage et de traçabilité des connexions**

En matière de filtrage et de traçabilité des connexions, le réseau déployé permettra aux fournisseurs d'accès à internet de disposer d'une vision précise des flux de leurs clients. Les fournisseurs d'accès à internet sont assujettis à des contraintes qui pourront être satisfaites, le réseau transportant des flux IP identifiables par le fournisseur, depuis le point de collecte jusqu'au CPE client.

## **Informations générales**

### **Maîtrise d'ouvrage du projet**

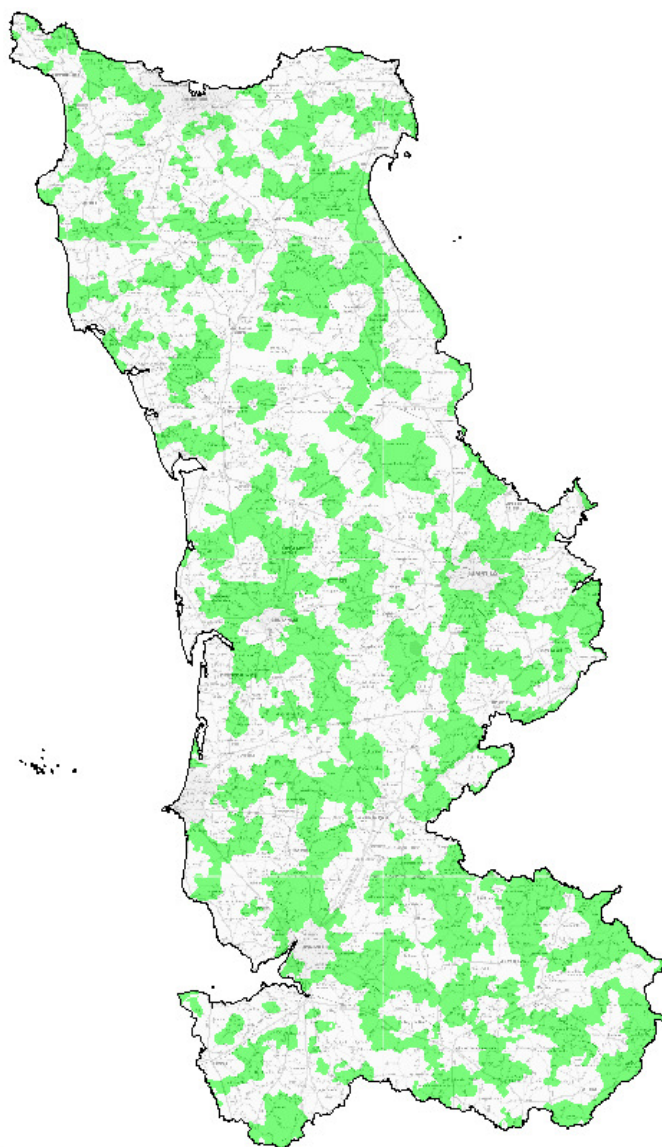
Comme l'ensemble des projets relatifs à l'aménagement numérique du territoire du département de la Manche, la maîtrise d'ouvrage de ce plan de migration du réseau WiFiMax revient de fait au syndicat mixte Manche Numérique.

### **Localisation sur le territoire des infrastructures et des zones bénéficiant de ces infrastructures**

Comme déjà dit, le but affiché est de proposer le maximum de services à un maximum de personnes. Le réseau WiFiMax dans sa configuration actuelle ne proposant que du "double play", n'entre en concurrence qu'avec les zones les moins favorisées de la carte de couverture ADSL.

Un réseau MIMO, en revanche, proposant -outre une meilleure connectivité- une offre de service plus large, devient concurrent du réseau ADSL sur une superficie bien supérieure. La carte ci-dessous montre les zones de territoire dont l'affaiblissement des lignes téléphoniques est supérieur à 50 dB, ce qui correspond à un débit binaire équivalent à 2 Mbit/s.

**Département de la Manche**  
**Détail des zones à faible éligibilité ADSL**



© Manche Numérique - 2009  
BD CARTO © IGH Paris - 2004  
GEOSIGNAL © CARTOSPHERE - 2007  
Reproduction interdite

Bien entendu, le niveau de services proposé par un réseau MIMO étant largement supérieur à ces 2 Mbit/s, le déploiement envisagé devra s'étendre bien au delà des zones indiquées. Cette carte montre donc les zones à couvrir obligatoirement, sachant que les émetteurs pourront aisément aller bien au delà.

Pour ce qui est des infrastructures à proprement parler, comme déjà dit plus haut, l'objectif est de réutiliser le plus grand nombre possible de points hauts actuellement en service. L'ensemble de ces points hauts est figuré sur la carte de couverture actuelle proposée en début de document. S'il devait s'avérer nécessaire d'en déployer de nouveaux, les critères de choix ayant prévalu lors du premier déploiement resteront valables : priorité sera donnée aux points hauts publics tels que les châteaux d'eau ou les églises.

## **Degré d'avancement du projet**

Le projet a bénéficié d'une dotation d'un million d'Euros dans le cadre de l'appel à projets pour la couverture haut débit des zones rurales lancé en 2010 par le FEADER. Il est actuellement en phase d'expérimentation.

Le château d'eau de Villebaudon, situé à 20km au sud de Saint-Lô, qui est un relais actif du réseau actuel, a été équipé de trois antennes MIMO. Ce château d'eau bénéficie d'un raccordement direct à la fibre optique, et donc d'une connectivité d'1 Gbit/s avec le reste de l'infrastructure.

Trois beta-testeurs se sont portés volontaires pour héberger un CPE expérimental. Des débits binaires supérieurs à 25 Mbit/s ont été mesurés à l'occasion de l'installation du matériel à leur domicile. Manche Numérique a par ailleurs conduit des mesures de terrain afin de valider les modèles de couverture.

Le Schéma directeur d'Aménagement Numérique du département de la Manche prévoit que le réseau MIMO sera déployé sur des zones de faible éligibilité ADSL, qui ne seront pas immédiatement couvertes par le réseau de fibre optique à l'abonné et dont la topologie est compatible avec une couverture radio.

## **Nomadisme**

Le nomadisme n'est pas abordé dans l'étude technique qui précède. En effet, la finalité du réseau WiFimax MIMO est de proposer aux habitants de la Manche une alternative à la technologie ADSL, dans l'attente du très haut débit.

Cependant, étant donné que la plupart des terminaux mobiles intègrent d'ores et déjà un module Wi-Fi, il est clair que l'usage d'un tel réseau à des fins de connexion nomade ne sera pas un problème. Les diagrammes de rayonnement des antennes étant relativement larges, la couverture à proximité d'un relais ne sera jamais problématique. En revanche, étant donné que les terminaux mobiles ne disposent pas d'antennes directives, ils seront cantonnés à proximité des relais.

# **Les évolutions technologiques dans la bande des 3,5GHz**

Le syndicat mixte Manche Numérique n'a pas eu connaissance, à ce jour, d'évolutions technologiques dans la bande des 3,5GHz de nature à remettre en cause le déploiement du réseau Wi-Fi MIMO.

# **Les ressources en fréquence dans la bande des 3,5 GHz**

Le syndicat mixte Manche numérique n'exprime pas de besoin de ressource en fréquence dans la bande des 3,5 GHz.