



Agence Nationale des Fréquences

**ÉTUDE SUR L'ÉVALUATION DU RISQUE DE BROUILLAGE DU
CANAL 60 PAR LES STATIONS DE BASE DES RESEAUX MOBILES
OPERANT DANS LA BANDE 790-862 MHz**

Table des matières

1.	Introduction	3
2.	Compléments des études de la CEPT	3
2.1.	Rappel de l'objet des études CEPT : Estimation du pourcentage des endroits brouillés	3
2.2.	Premier complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée	4
2.3.	Second complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée en considérant une topologie réelle de stations de base	9
2.4.	Troisième complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée sur le département de la Gironde	13
3.	Etudes pratiques	16
3.1.	Hypothèses pour le réseau de radiodiffusion	16
3.2.	Hypothèses pour le réseau mobile	19
3.3.	Evaluation de la population brouillée	20
3.3.1.	Résultats à partir des niveaux de champ médian	22
3.3.2.	Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C/I	30
3.3.3.	Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C et de I ...32	
3.3.4.	Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C et de I en prenant en compte les émetteurs secondaires de la Mayenne et de la Gironde	37
4.	Conclusions	41
	GLOSSAIRE	42
	BIBLIOGRAPHIE	43
	Annexe 1 : utilisation du modèle Okumura Hata dans ICS Télécom	44

1. Introduction

Afin de répondre à un mandat de la Commission Européenne (CE) [1], la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) a réalisé des études sur le brouillage de la télévision par les stations de base des réseaux mobiles fonctionnant dans la bande 790-862 MHz. Elles ont conduit à adopter au niveau européen (Décision ECC et Décision CE) des conditions techniques applicables à ces stations de base et visant à limiter le risque de brouillage.

Ces études théoriques ont été basées sur une évaluation des brouillages en terme de probabilité de brouillage des emplacements. Elles concluent que même en limitant sévèrement les émissions non désirées des stations de base dans les canaux de radiodiffusion, plus de 4% des emplacements supposés recevoir le canal 60 de la télévision pourraient être brouillés. Par conséquent, le rapport 30 de la CEPT [2] répondant au second mandat de la CE sur le dividende numérique, insiste sur le fait que des mesures devront être prises au niveau national pour résoudre les brouillages qui surviendront malgré tout et ceci quelques soient les contraintes imposées aux stations de base. Le rapport 30 fournit aussi des lignes directrices aux administrations sur les techniques de réduction de brouillage et sur les solutions pour résoudre localement les cas de brouillage entre réseaux mobiles et radiodiffusion hertzienne.

L'Agence a donc conduit de nouveaux travaux :

- Pour préciser les probabilités de brouillage en termes de population et de foyers plutôt qu'en terme d'emplacement
- Pour mieux comprendre la nature du brouillage sur le terrain, en simulant les brouillages dans les zones où le canal 60 sera utilisé, c'est-à-dire, pour les 8 premières régions pour lesquelles le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel (CSA) a publié le plan de passage, notamment la Mayenne (émetteur de Laval) et les Vosges (émetteurs d'Epinal et Vittel) ainsi que sur la Gironde où le canal 60 fait parti du plan de Genève 2006.

Nos travaux ont suivi deux axes convergents, avec d'un côté une modélisation affinant la méthode de simulation utilisée par la CEPT (partie 2), et de l'autre une modélisation partant des simulations déterministes de brouillage réalisées à partir de l'outil ICS Telecom¹ et la complétant par des calculs statistiques qui sont essentiels pour avoir une vue complète du risque de brouillage (partie 3).

Ce rapport présente l'ensemble des étapes de complexification des deux modélisations, non seulement pour aider le lecteur à mieux comprendre la démarche scientifique mais aussi parce que chaque étape a été l'occasion de mieux comprendre dans quels cas le brouillage peut se produire et de tester la sensibilité des paramètres techniques et opérationnels qui ne sont pas pleinement connus.

L'ensemble des résultats contenus dans ce rapport permet ainsi d'avoir une vue réaliste de l'ordre de grandeur et de la nature des brouillages attendus sur le terrain.

2. Compléments des études de la CEPT

2.1. Rappel de l'objet des études CEPT : Estimation du pourcentage des endroits brouillés

Les études de la CEPT sont basées sur un calcul statistique de la puissance du signal utile (C), émettant sur la fréquence 786 MHz avec une largeur de bande à 8 MHz (canal 60), et des signaux

¹ http://www.atdi.com/docs/ics-mapserver_eng.pdf

brouilleurs (I), émettant sur la fréquence 796 MHz avec une largeur de bande à 10 MHz, afin de déterminer par échantillonnage les conditions de rapport signal sur bruit (C/I). La méthodologie appliquée est la suivante :

- 1- Tirage d'une position aléatoire d'une station de base au sein d'une zone couverte par un émetteur de radiodiffusion, considérée comme circulaire et de rayon 27km. Un ensemble de 6 cellules environnant la station de base centrale est ajouté. Chaque cellule du réseau mobile a un rayon de 2.7 km.
- 2- Tirage d'une position aléatoire d'une installation de réception TV au sein de la cellule centrale du réseau mobile. L'antenne TV est pointée en azimut vers l'émetteur de radiodiffusion.
- 3- Calcul de la puissance de brouillage agrégée (I) des 7 émetteurs les plus proches
- 4- Calcul de la puissance du signal utile C . L'émetteur TV a une puissance apparente rayonnée de 10kW.
- 5- Calcul du rapport de protection C/I et comparaison avec le seuil de 21dB.

Le rapport CEPT 30 disponible sur le serveur de l'ECO (www.ero.dk) contient l'ensemble des études et résultats à ce sujet.

2.2. Premier complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée

La méthodologie utilisée dans les études CEPT peut être adaptée afin d'estimer désormais non plus le pourcentage d'endroits brouillés mais le pourcentage de population brouillée. Ceci passe par la modification de l'étape 1 de la méthodologie rappelée dans la précédente section et en supprimant l'étape 4 :

1bis - Tirage d'une valeur de signal utile TV suivant une loi de probabilité indiquant la puissance du signal TV reçu en fonction de la population.

Le document de consultation OFCOM sur la radio cognitive [3] fournissait une distribution du champ du signal utile de la réception TV. Il s'agissait du résultat d'une simulation menée par la société Arqiva² sur 3 canaux. Les discussions ultérieures avec l'OFCOM ont permis de déterminer que le niveau indiqué était un niveau de champ médian et que Arqiva utilisait une procédure complexe pour affecter à chaque pixel une station d'émission (meilleure station mais compte tenu d'une priorité donnée à la réception des chaînes du service public puis du plus grand nombre possible de chaînes commerciales). Cette distribution est reproduite ci-dessous.

² <http://www.arqiva.com/>

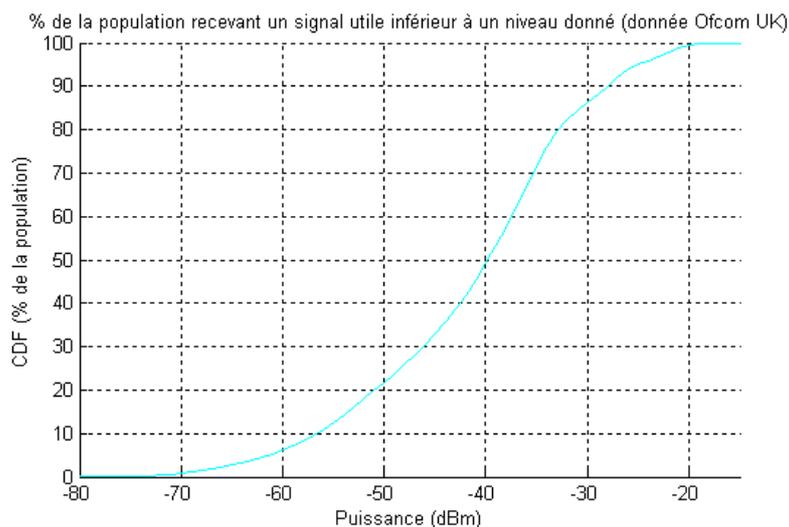


Figure 1 : Répartition de la population en fonction du signal utile TV (données Ofcom UK)

L'utilisation de cette distribution du niveau de signal utile comme hypothèse des simulations permet de constater que le pourcentage de population brouillée est significativement plus faible que le pourcentage d'emplacements brouillés, traduisant ainsi le fait que les zones à forte population sont en général bien couvertes. Sur la figure 2, on compare ces deux pourcentages pour une hypothèse de puissance de station de base de 64 dBm, soit 5 dB au-dessus du niveau nécessaire pour assurer un équilibre entre la voie montante et la voie descendante. Dans la dernière courbe, les tirages correspondant à un niveau de réception en dessous de la sensibilité ont été écartés, mais cela n'affecte pas significativement les résultats. Les pourcentages doivent être lus pour un niveau de rayonnement hors bande de 0 dBm/8 MHz puisque c'est la valeur (« BEM ») retenue pour les conditions techniques harmonisées au niveau Européen. Le niveau de brouillage en terme de population, devient donc inférieur à 1%.

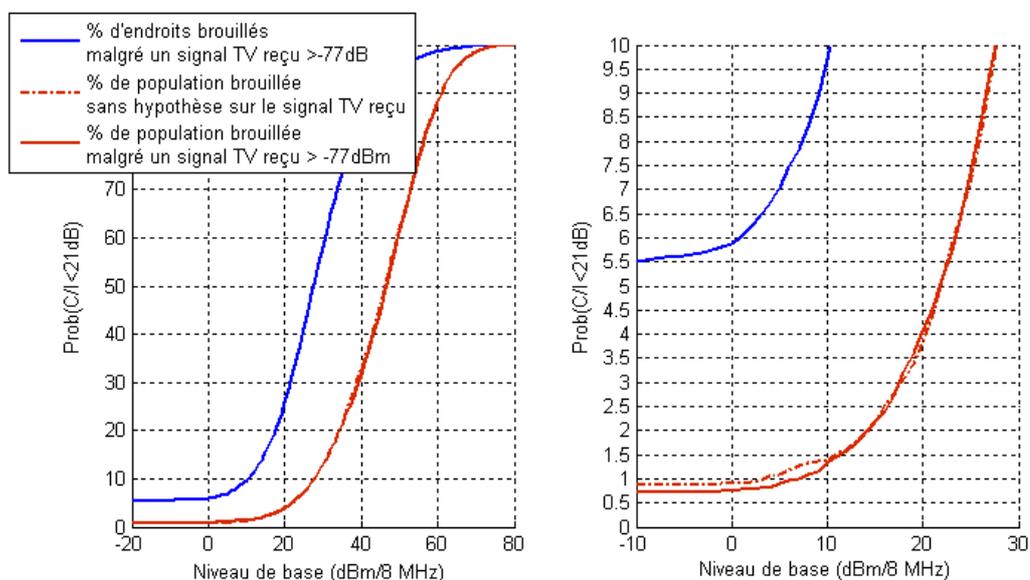


Figure 2 : Comparaison des pourcentage de brouillage (population et emplacement) (données Ofcom UK)

Nous avons considéré qu'il serait intéressant de disposer dans le cas de la France d'une distribution similaire du niveau de signal utile en fonction de la population. Une estimation a été faite pour le cas de l'émetteur de Laval situé en zone rurale et assez loin de la ville de Laval (qui reste toutefois bien couverte). La distribution du niveau de signal utile a été réalisée en se limitant à tous les pixels

dans le département de la Mayenne où le niveau médian de signal utile dépassait la sensibilité des récepteurs ($49 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ soit -77dBm^3). D'autres zones à forte population autour du département de la Mayenne (autour d'Alençon et du Mans par exemple) peuvent recevoir l'émetteur de Laval, mais ils sont aussi a priori couverts par d'autres émetteurs. La figure 3 illustre cette répartition de la population utilisée pour l'estimation du brouillage (en comparaison avec celle de l'OFCOM).

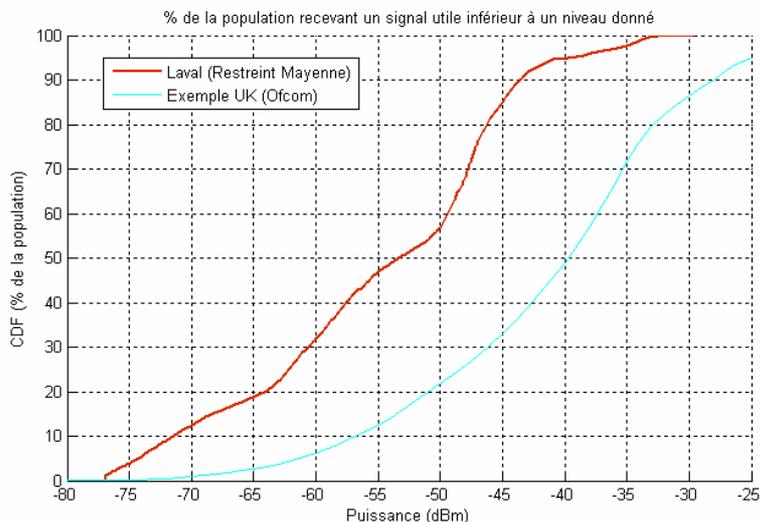


Figure 3 : Fonction de distribution du signal utile en fonction de la population

La probabilité de brouillage en utilisant cette distribution du signal utile est présentée sur la figure 4 (pire de la station de base de 64 dBm) en exploitant la courbe de densité (rouge) de population en fonction du champ ($> -77 \text{ dBm}$) pour le département de la Mayenne). On constate que la prise en compte de la distribution du signal utile en terme de population permet d'obtenir une probabilité légèrement plus faible (4,5 % pour le niveau de base de 0dBm) que dans les simulations du rapport CEPT 30 (5.7%) mais restant largement supérieure aux résultats obtenus à partir de la distribution « OFCOM ». Rappelons que les cas où le signal de réception TV est inférieur à la sensibilité (-77dBm) sont exclus.

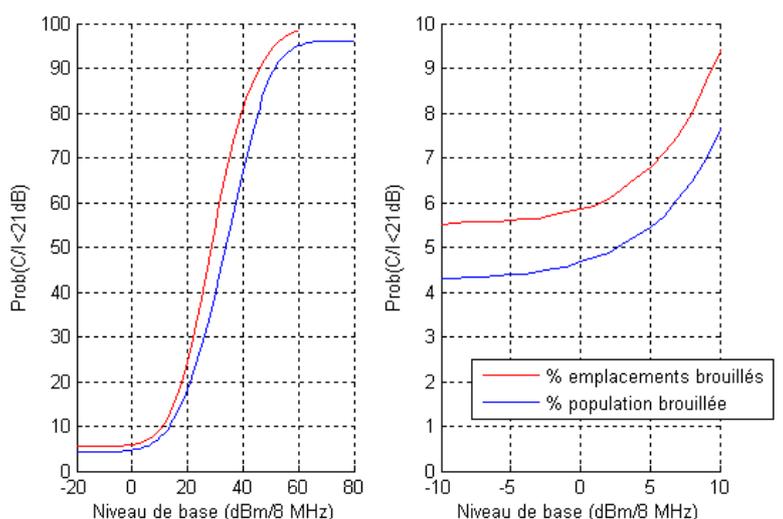


Figure 4 : % de brouillage sur la Mayenne (emplacement ou population) pour une PIRE de 64dBm

³ Suivant la formule de conversion $E_{\text{dB}\mu\text{V/m}} = P_{\text{dBm}} + 20\text{Log}(f_{\text{MHz}}) + 77.21 - G_{\text{dBd}}$ avec $f=790 \text{ MHz}$ et $G=12\text{dBd}-5\text{dB}=7\text{dBd}=9.15\text{dBi}$

En ce qui concerne l'évaluation du nombre de cas de brouillage (en terme d'emplacements), il est intéressant de regarder la répartition de ces cas en fonction de l'emplacement par rapport à l'émetteur de radiodiffusion.

En ordonnant les cas de brouillage suivant leur éloignement à l'émetteur TV, il est possible de définir les conditions de brouillage associées (champs utile et brouilleur, rapport signal sur bruit C/I) et observer si une tendance particulière se dégage.

La figure 5 ci-dessous illustre cela pour une p.i.r.e. de station de base de 64 dBm. On dénombre un peu plus de 550 emplacements brouillés (numérotés ainsi sur l'axe horizontal). La courbe noire croissante monotone donne la distance de séparation vis-à-vis de l'émetteur TV. On s'aperçoit que les premiers cas de brouillage sont estimés à 10km et se concentrent très vite au-delà de 20km. On ne peut donc pas considérer que le brouillage ne survient qu'en bordure géographique de la zone de couverture. Les conditions de C/I sont relativement indépendantes de la séparation à l'émetteur TV et restent dans de nombreux cas relativement proches de 21 dB.

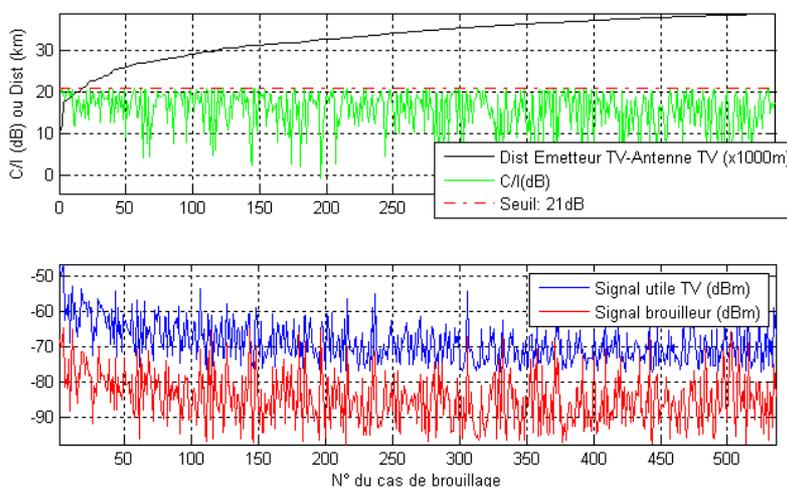


Figure 5 : Caractéristiques des situations de brouillage au sein de la cellule DTT pour une PIRE de 64dBm

Nous avons par ailleurs constaté que l'hypothèse d'une pire de station de base de 64 dBm était largement pessimiste lorsque l'on considérait le réseau GSM 900 tel qu'enregistré dans la base de données STATIONS pour la Mayenne, avec des valeurs généralement comprises entre 50 et 56 dBm. Nous avons donc vérifié la sensibilité du modèle en faisant varier ce paramètre ainsi que les rayons de cellule. On constate alors que le pourcentage de population brouillée est d'environ 2 %.

PIRE Station de base (dBm/10MHz)	50	55	59	64
Rayon cellule	1.47	2.07	2.7	2.7
% brouillage	2%	2%	2.5%	4.5%

La figure 6 illustre le pourcentage de population brouillée en considérant des pire de stations de base de 59dBm et une taille de cellule de 2.7km

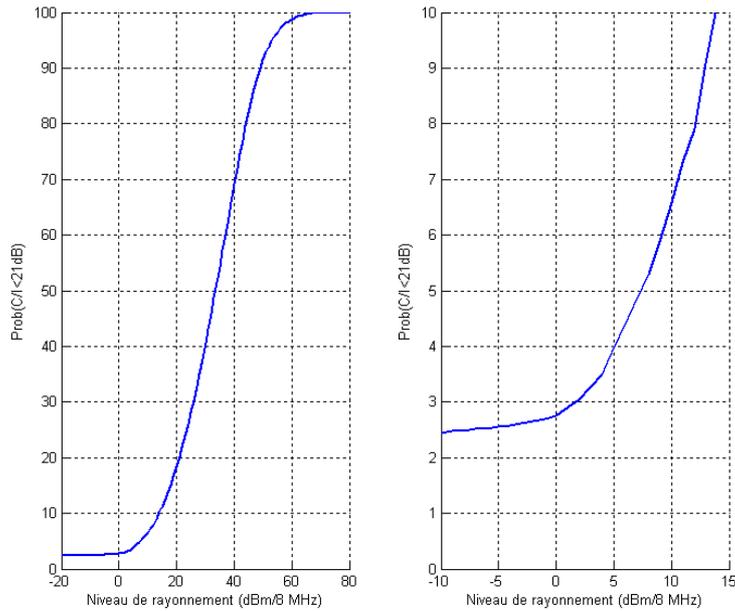


Figure 6 : % de brouillage sur la Mayenne (population) pour une PIRE de 59dBm

Il est intéressant de regarder les caractéristiques des situations de brouillage simulées dans ce contexte ($C/I < 21\text{dB}$). En ordonnant les cas de brouillage suivant la séparation entre l'antenne TV (« TNT ») vis-à-vis de la station de base (« ECN ») la plus proche (un peu plus de 250 cas de brouillage numérotés sur l'axe horizontal), il est possible de définir les conditions de brouillage associées (champ utile et brouilleur, C/I).

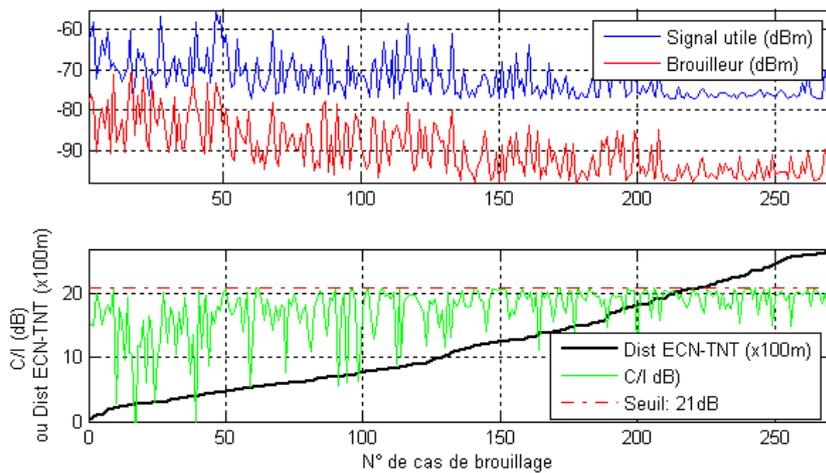


Figure 7 : Caractéristiques des situations de brouillage au sein de la cellule ECN

La figure 7 montre que les cas de brouillage sont répartis sur l'ensemble de la cellule du réseau mobile (courbe noire monotone croissante parcourant les distances de 0 à 2700m). **On ne peut donc pas considérer que seuls les récepteurs TV les plus proches de la station de base seront brouillés.**

Nombre de tirages	10 000
Nombre de cas en saturation (Brouilleur > -10dBm)	0
Nombre de cas en dessous du champ minimal (-77dBm)	739
Nombre de cas considérés dans le calcul du % de brouillage	9261

Nombre de cas de brouillage (SINR<21dB)	290
Nombre de cas de brouillage (SINR<21dB) en zone proche (<100m)	2

2.3. Second complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée en considérant une topologie réelle de stations de base

Les résultats proposés dans la section 2.2 reposaient sur une position du brouilleur utilisant un maillage régulier de la cellule de radiodiffusion à l'aide de cellules élémentaires de 2.7km. Le maillage réel peut être différent en pratique.

La figure 8 montre la répartition des stations de base GSM 900 MHz d'un des trois opérateurs (Réseau 2) en Mayenne. L'émetteur de Laval-Mont Rochard est placé au centre de la figure. La majeure partie de la Mayenne est bien couverte par un champ médian supérieur à 49dB μ V/m (si ce n'est la partie basse vers Châteaubriant). Les émetteurs secondaires sont aussi pris en compte afin de conserver en un endroit donné, la puissance du signal TV la plus appropriée. Les gabarits de rayonnement⁴ de chacun des émetteurs TNT sont aussi intégrés

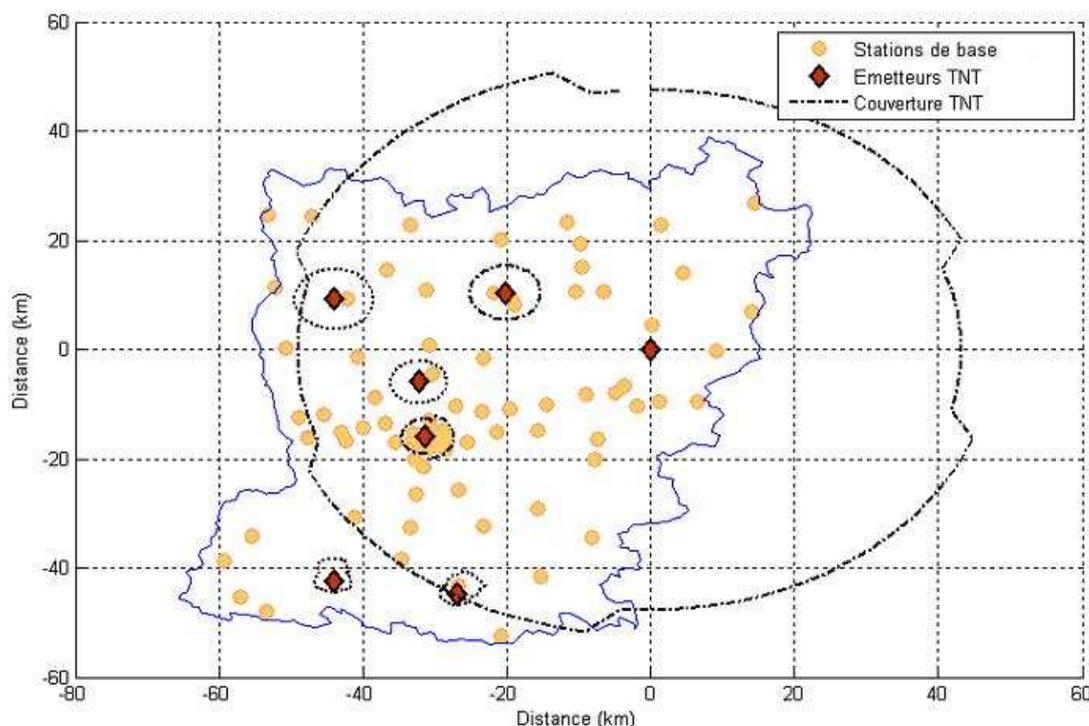


Figure 8 : Positions des émetteurs TNT et des stations de base d'un réseau dans la Mayenne

La topologie des réseaux à 800 MHz a été supposée identique à celles des réseaux GSM 900. Ainsi, les informations concernant la position, la puissance et le tilt des stations de base ont été extraits de la base de données STATIONS de l'ANFR pour le département de la Mayenne.

Il serait intéressant de considérer pour chaque tirage de position d'un récepteur TV les stations de base les plus proches géographiquement et d'estimer à nouveau la probabilité de brouillage. Cependant, on peut s'apercevoir sur la figure ci-dessus que le tracé des limites de couverture de 2.7 km autour de chaque station de base laisserait apparaître de nombreuses zones blanches. De ce fait, une antenne de réception TV placée dans ces zones subirait peu voire pas d'interférence du tout des stations de base. Or la répartition des stations de base est aussi représentative de la répartition de la

⁴ Disponible sur le site du CSA (www.csa.fr)

population au sein de la Mayenne puisque les antennes relais sont installées et densifiées en fonction de la population. La répartition des stations de base peut donc aussi être exploitée pour estimer l'emplacement probable des récepteurs TV. Deux scénarios sont donc définis quant à la distribution des antennes TV au sein de la Mayenne. Le premier suppose une distribution uniforme des antennes TV (cas 2a) mais risque de sous estimer le brouillage réel. Le second suppose une distribution des antennes TV avec comme contrainte d'être aussi localisées au sein d'une cellule mobile (cas 2b). Ce cas risque au contraire de surestimer le brouillage réel. Ces deux scénarii extrêmes sont peu réalistes mais permettent d'encadrer la probabilité de population brouillée. En bleu sont représentées les stations de base, en rouge les positions des antennes TV, en vert, les positions pour lesquelles un brouillage est attendu.

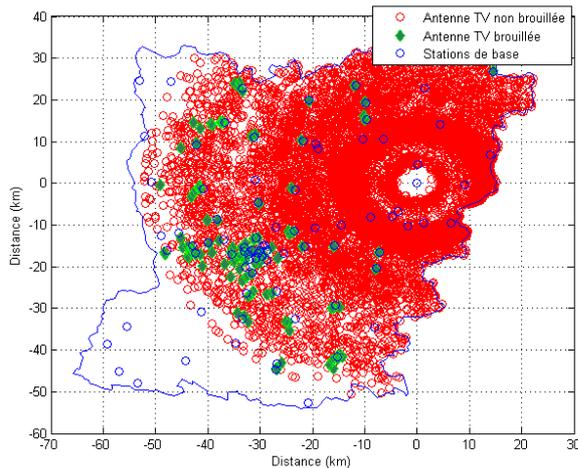


Figure 9 : Cas d'une distribution homogène des antennes TV (cas 2a)

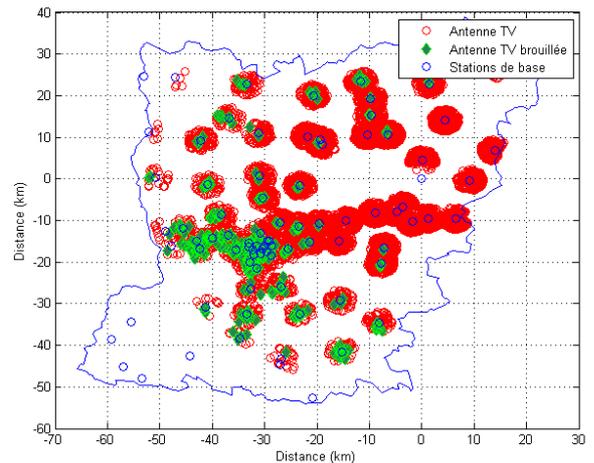


Figure 10 : Cas d'une distribution non homogène des antennes TV (cas 2b)

La méthodologie appliquée par la CEPT (introduite au début de la section 2) est modifiée à nouveau de la façon suivante :

- 1- Tirage d'une valeur de signal utile C suivant une loi de probabilité relevé sur le département d'étude
- 2- Calcul d'une distance typique d'éloignement du récepteur TV vis-à-vis de l'émetteur TV. L'antenne TV est pointée en azimuth vers l'émetteur TV. L'émetteur TV a une puissance par de 10kW.
- 3- Tirage aléatoire d'un azimuth pour placer ce récepteur TV au sein de la zone couverte par l'émetteur de radiodiffusion. Un contrôle est effectué pour que l'antenne reste dans le département de la Mayenne (et d'une cellule mobile dans le cas 2b).
- 4- Correction éventuelle du niveau du signal utile C si un émetteur secondaire assure une meilleure réception (algorithme dit du '*best-served*'). Toutefois, dans la grande majorité des cas, ceci est assuré par l'émetteur de Laval Mont Rochard.
- 5- Calcul de la puissance du signal brouilleur I en considérant les 7 stations de base les plus proches
- 6- Calcul du rapport de protection C/I co-canal et comparaison avec le seuil de 21dB.

L'estimation des pourcentages de population brouillée est alors résumée sur la figure 11.

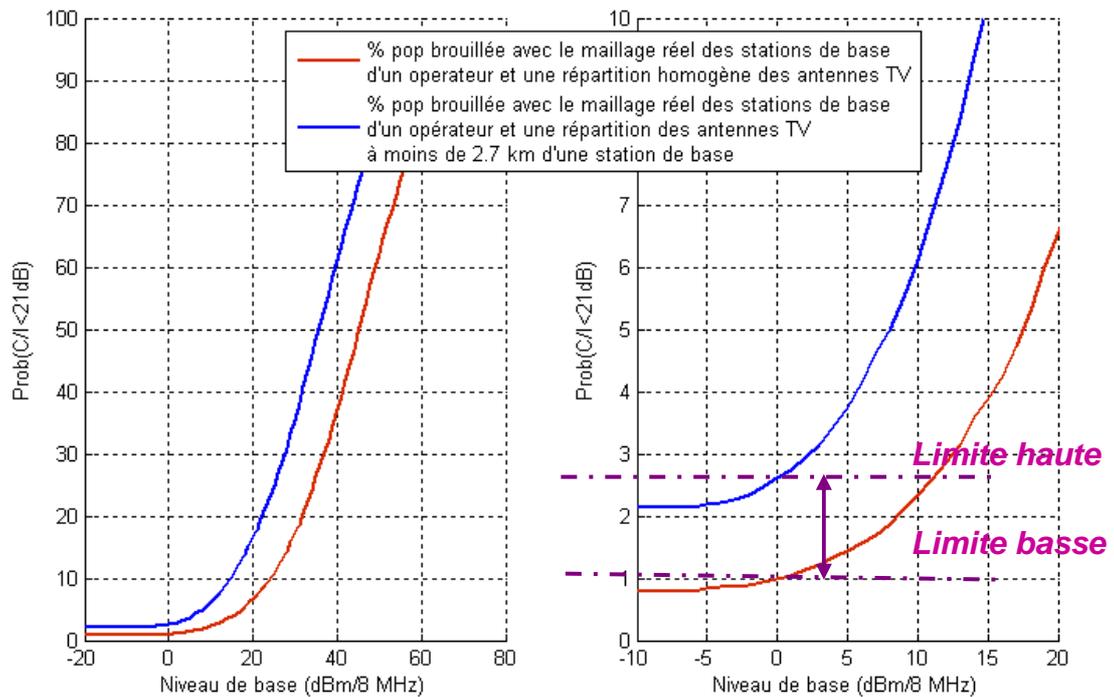


Figure 11: Estimation des bornes inférieure et supérieure de population brouillée au sein de la Mayenne

Dans le cas d'une simulation portant sur 10 000 tirages, les brouillages constatés sont dus à environ 40 stations de base dont la répartition est indiquée sur la figure 12.

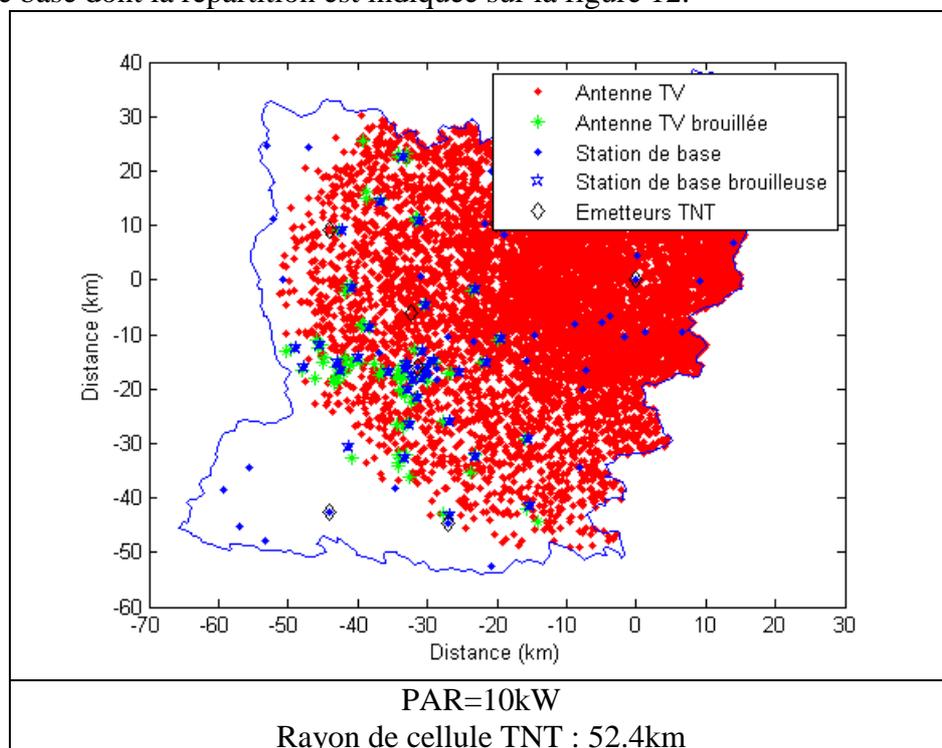


Figure 12: Position des stations de base brouilleuses (étoiles bleues) et antennes TV brouillées (croix vertes) pour une PAR de 10kW

A noter que les émetteurs secondaires de la Mayenne sont représentés sur la carte mais seul l'émetteur de Laval Mont Rochard est pris en compte.

Les positions des brouillages sont indiquées par une croix verte alors que les stations de base responsables de ce brouillage sont indiquées par une étoile bleue. Les points bleus indiquent quant à eux les autres positions des stations de base. Les points rouges indiquent les positions de réception TV pour lesquels il n'apparaît pas de brouillage. Il convient de noter que le nombre de stations de base brouilleuses augmenterait mécaniquement si l'on effectuait une simulation sur l'ensemble des récepteurs TV couverts. La figure 12 permet donc d'illustrer la situation de brouillage mais le chiffre de 40 stations de base n'est pas significatif.

Il est aussi possible d'analyser la sensibilité de ce résultat à la puissance de l'émetteur TNT.

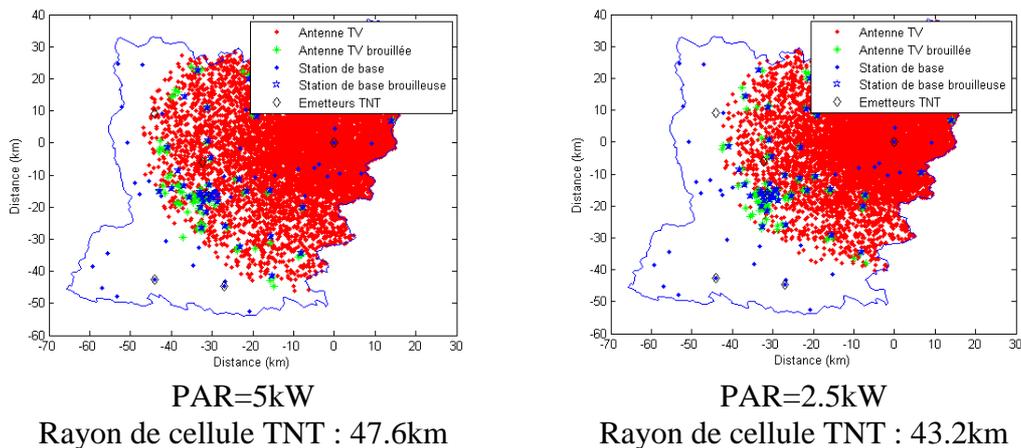


Figure 13: Position des stations de base brouilleuses (étoiles bleues) et antennes TV brouillées (croix vertes)

Les figures 13 et 14 illustrent le pourcentage de brouillage pour une puissance de l'émetteur de radiodiffusion réduite de 3 et 6dB. La couverture TNT est plus réduite mais le pourcentage de brouillage reste sensiblement le même. Les antennes TV sont supposées réparties de façon uniforme dans le département.

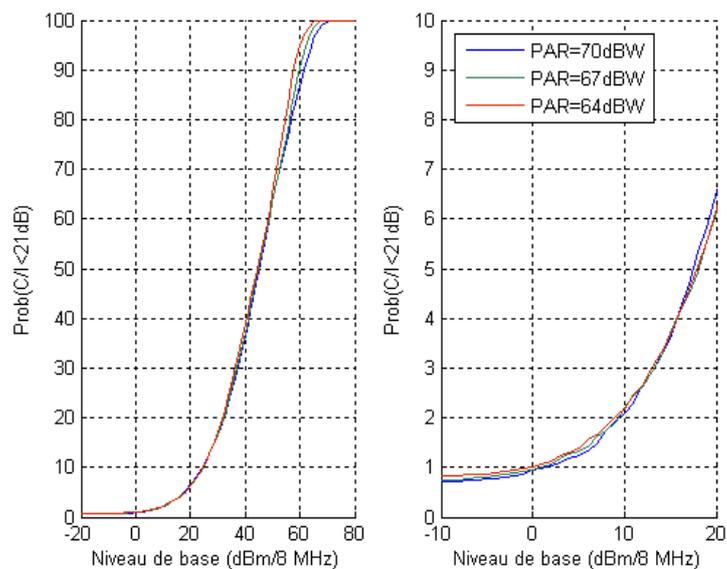


Figure 14: Influence de la puissance de l'émetteur TNT sur le taux de brouillage

Conclusion :

- La **borne inférieure du pourcentage de la population brouillée** se situe autour de **1% de la population** en considérant une répartition homogène des antennes TV sur le département.
- La **borne supérieure du pourcentage de la population brouillée** se situe autour de **2.5% de la population** en considérant une répartition non homogène des antennes TV (localisées à moins de 2.7km d'une antenne relai).

2.4. Troisième complément des études CEPT : Estimation du pourcentage de la population brouillée sur le département de la Gironde

La même étude a été réalisée sur le département de la Gironde sur demande du CSA. L'émetteur principal est situé à Bordeaux Bouliac. On considère le réseau de l'opérateur mobile 'Réseau 2'. Un relevé de la puissance du signal utile TV en fonction de la population est réalisé à l'aide du logiciel ICS Telecom. La figure suivante indique la distribution retenue.

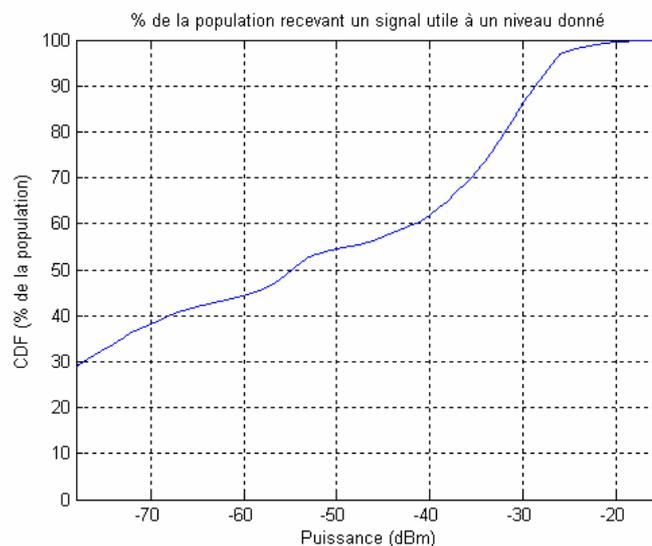


Figure 15 : Fonction de distribution de la puissance reçue en fonction de la population

Les deux scénarios d'études pour encadrer la probabilité de brouillage sont repris. Le premier suppose une distribution homogène des antennes TV (cas 2a) mais risque de sous-estimer le brouillage réel. Le second suppose une distribution des antennes TV avec la contrainte d'être aussi localisé au sein d'une cellule mobile (cas 2b). Ce cas risque au contraire de surestimer le brouillage réel. Dans les figures 16 et 17, les positions des brouillages, pour une simulation avec 10 000 tirages, sont indiquées par une croix verte alors que les stations de base responsables de ce brouillage sont indiquées par une étoile bleue. Les points bleus indiquent quant à eux les autres positions des stations de base. Les points rouges indiquent les positions de réception TV pour lesquels il n'apparaît pas de brouillage.

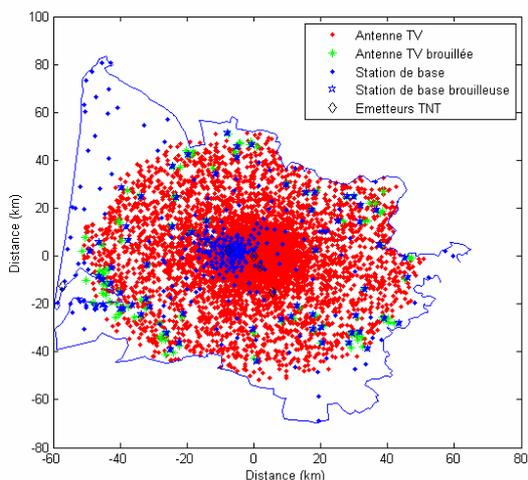


Figure 16 : Cas d'une distribution homogène des antennes TV (cas 2a)

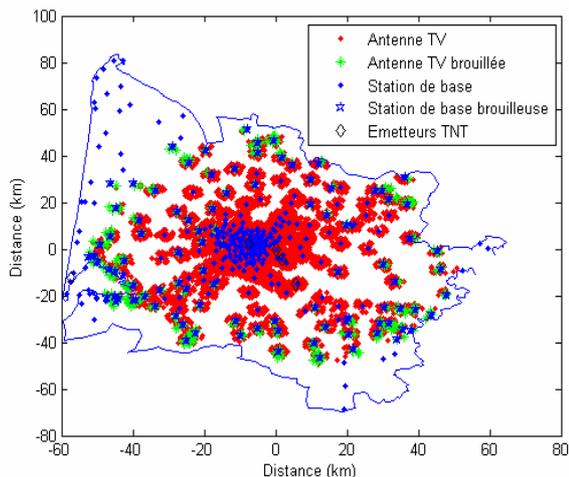


Figure 17 : Cas d'une distribution non homogène des antennes TV (cas 2b)

A noter que les émetteurs secondaires de la Gironde sont représentés sur la carte mais seul l'émetteur de Bordeaux Bouliac est pris en compte.

L'estimation des pourcentages de population brouillée est alors résumée par la figure 18.

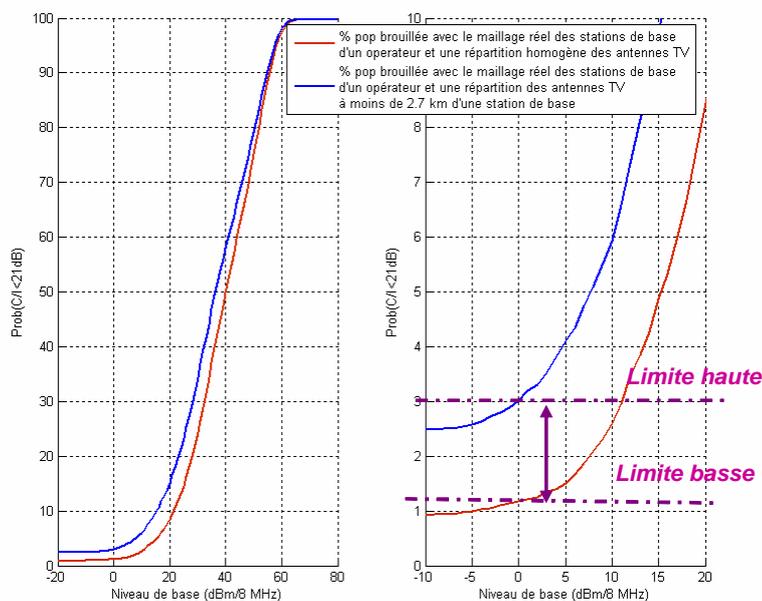


Figure 18: Estimation des bornes inférieure et supérieure du pourcentage de la population brouillée en Gironde

Conclusion :

- Les brouillages attendus sont estimés en périphérie de l'émetteur principal de Bordeaux (points verts). Selon cette simulation, l'émetteur de Bordeaux Bouliac assure de bonnes conditions de réception sur la ville de Bordeaux, mais il convient de noter que le modèle de propagation ne prend pas en compte le détail du bâti.
- La borne inférieure de la probabilité de brouillage se situe autour de 1 % de la population en considérant une répartition homogène des antennes TV sur le département.

- La borne supérieure de la probabilité de brouillage se situe autour de 3 % de la population en considérant une répartition non homogène des antennes TV exclusivement localisées à moins de 2.7 km d'une antenne relais.
- **En appliquant cette méthodologie, le taux de brouillage réel attendu se situerait donc entre 1 et 3 % de la population de la Gironde**

3. Etudes pratiques

Ces études ont été menées à l'aide du logiciel de planification ICS Telecom et d'un modèle numérique de terrain au pas de 100 m.

Elles ont été réalisées dans un premier temps dans les départements de la Mayenne et des Vosges.

A la demande du CSA, l'étude sur le département de la Gironde a également été réalisée. Compte tenu de la configuration plus urbaine de ce département, il convient de prendre les résultats avec précaution car le bâti n'est pas à disposition de l'ANFR.

Les méthodologies décrites dans ce document ont été développées pour les besoins de la présente étude et ne substituent pas à des méthodologies de planification, de protection ou de détermination des couvertures des réseaux de radiodiffusion qui seraient utilisées par le CSA.

3.1. Hypothèses pour le réseau de radiodiffusion

Comme indiqué dans l'introduction, les départements de la Mayenne et des Vosges ont été choisis car les assignations du plan de passage publié par le CSA incluent le canal 60.

Pour la Gironde, le canal 60 est un droit obtenu lors de la conférence de Genève 2006 et est pressenti pour le plan de passage.

Les études au niveau européen et les compléments donnés en section 2 montrent qu'une des hypothèses les plus sensibles correspond au choix de la zone de couverture considérée. Deux approches sont a priori possibles :

- Soit on considère que l'émetteur de Laval couvre le département de la Mayenne, les émetteurs de Vittel et d'Epinal le département des Vosges et l'émetteur de Bordeaux Bouliac le département de la Gironde.
- Soit on évalue pour un pixel (carré de 100x100m) donné le niveau de champ médian correspondant aux émetteurs du département et des départements voisins et on considère que les antennes de réception sur le pixel donné visent l'émetteur qui donne le meilleur niveau de champ (« best server »).

La deuxième approche peut paraître plus précise. Toutefois, elle n'intègre ni le fait que le niveau de champ médian n'est pas le niveau de champ réel, et donc qu'il peut y avoir dans la réalité des situations où l'émetteur donnant le meilleur niveau de champ n'est pas celui pour lequel on a calculé le meilleur niveau de champ médian, ni qu'un téléspectateur pouvant recevoir l'émetteur d'un département voisin préférera a priori viser l'émetteur de son département pour bénéficier des décrochages régionaux pertinents. De plus, l'émetteur sur lequel pointe un récepteur TV dépend de l'historique de déploiement des émetteurs de radiodiffusion. Cette « initialisation » des antennes TV est complexe et ne peut être définie a priori.

Par simplicité, cette étude a donc pris comme hypothèse que la zone de couverture correspondait à chacun des départements, négligeant ainsi à la fois le cas de récepteurs brouillés situés dans des départements voisins et visant les émetteurs considérés et le cas de récepteurs situés dans les départements considérés mais visant d'autres émetteurs et donc non brouillés sur le canal 60.

Un autre élément qui n'est pas pris en compte dans les études est le bâti qui jouera pourtant sur le terrain un rôle important sur la matérialisation ou non du risque de brouillage. Cette information serait coûteuse à acquérir et à traiter et poserait de manière encore plus aigüe la question de l'initialisation (où sont placés exactement les antennes sur les toits ?).

Les puissances et les diagrammes d'antenne des émetteurs de radiodiffusion de la Mayenne, des Vosges et de la Gironde sont les suivants :

- Laval – Mont Rochard : PAR de 10 kW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- Vittel – Thuillières : PAR de 10 kW avec antenne omnidirectionnelle
- Epinal – Bois de la vierge PAR max de 3,2 kW avec antenne omnidirectionnelle
- Bordeaux Bouliac avec une PAR de 24 kW avec le gabarit d'antenne fourni par le CSA

Il s'agit des valeurs maximales de PAR et elles apparaissent réalistes compte tenu de la couverture souhaitée. Toutefois, une étude de sensibilité vis-à-vis d'une puissance réelle plus faible a été réalisée sur la Mayenne.

Les émetteurs secondaires ont été pris en compte dans une simulation complémentaire sur les départements de la Mayenne et de la Gironde.

La discrimination angulaire des antennes de réception TV a été supposée conforme à la recommandation UIT-R BT.419-3 [4]. A la demande l'ARCEP, le cas de discrimination angulaire des antennes de réception TV a été également étudié à partir du diagramme d'une antenne Yagi fournie par un fabricant. Il est à noter qu'un tel diagramme n'est pas forcément représentatif de la majorité des cas observés sur le terrain, compte tenu notamment de la dégradation des performances des antennes avec le temps. La recommandation UIT-R BT.419 s'est avérée pertinente dans d'autres situations où l'Agence est intervenue.

La discrimination de polarisation vis-à-vis de stations de base supposées utiliser une polarisation croisée est de 3 dB dans le lobe principal de l'antenne (+/- 20°) et de 0 dB hors-axe (au-delà de 60°) avec une interpolation linéaire en dB entre ces deux angles.

Les hypothèses pour le réseau de télévision à la fréquence du canal 60 sont les suivantes : une sensibilité de 49 dB μ V/m et un champ variant selon une loi lognormale avec un écart type de 5.5 dB, ce qui correspond à un niveau de planification de 58 dB μ V/m pour une couverture pour 95% des emplacements. Le modèle de propagation est Fresnel-Deygout avec une méthode complémentaire d'intégration fine liée au logiciel utilisé.

La carte des niveaux de champs reçus depuis l'émetteur de Laval Mont Rochard donnée ci-dessous démontre dans le cas de la Mayenne que l'hypothèse d'une couverture de l'ensemble du département est réaliste. En effet, la population recevant un niveau de champ supérieur à 49 dB μ V/m est de 292 mille habitants pour une population totale du département de 299 mille.

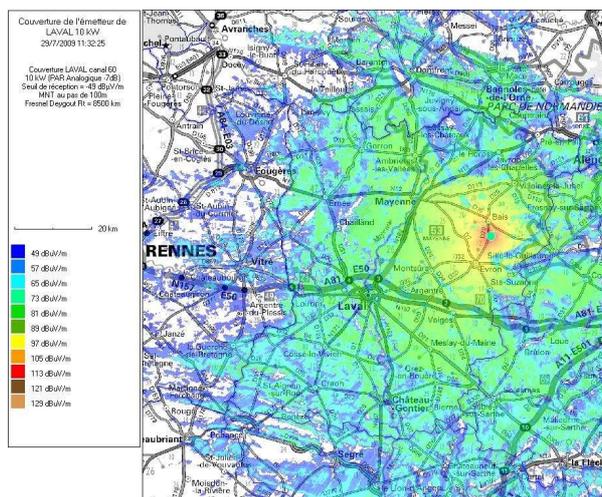


Figure 19 : Niveaux de champ reçu (émetteur de Laval Mont Rochard)

Dans les Vosges, cette hypothèse est nettement moins réaliste compte tenu de l'existence de nombreuses vallées couvertes par des réémetteurs (la population recevant un champ supérieur à 49 dBuV/m est de 207 mille alors que la population totale est de 379 mille).

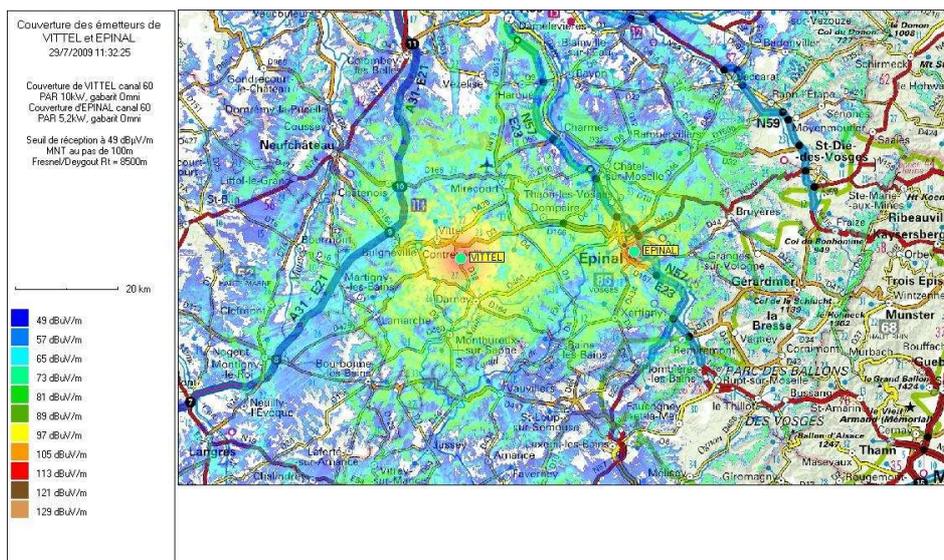


Figure 20 : Couverture des émetteurs de Vittel et d'Epinal

Le cas de la Gironde se rapproche de ce qui est observé dans la Mayenne, à la différence que l'émetteur est situé très proche du centre ville de Bordeaux, où l'on trouve la majeure partie de la population du département. La population recevant un champ supérieur à 49 dBuV/m est de 1,349 million d'habitants pour une population totale du département de 1,393 million.

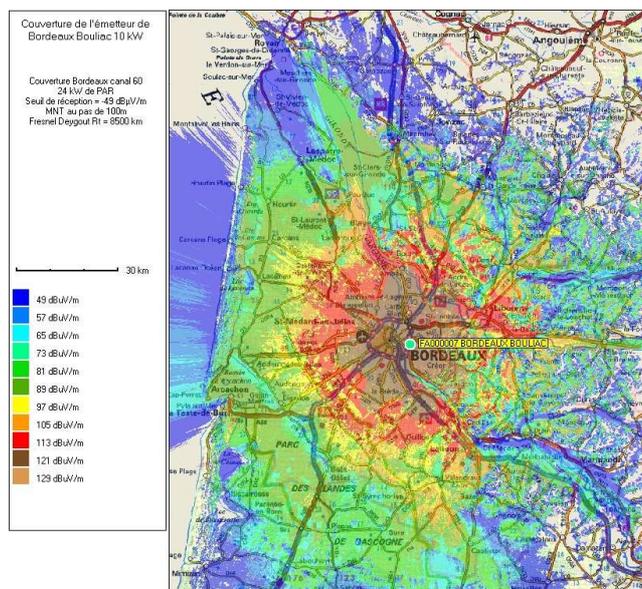


Figure 20 : Niveaux de champ reçu (Bordeaux Bouliac)

3.2. Hypothèses pour le réseau mobile

La topologie des réseaux à 800 MHz a été supposée identique à celles des réseaux GSM 900. Ainsi, les informations concernant la position, la puissance et le tilt des stations de base ont été extraites de la base de données STATIONS de l'ANFR pour les trois départements considérés.

Pour des raisons de confidentialité, les informations permettant d'identifier les opérateurs de chacun des réseaux sont supprimées de ce rapport. Afin de conserver cet anonymat, les réseaux seront appelés Réseau 1, 2 ou 3.

Le diagramme d'antenne dans le plan horizontal n'a pas *a priori* été pris en compte car le recouvrement des trois diagrammes des antennes d'une station de base tri-sectorielle correspond approximativement à un diagramme omnidirectionnel. Le diagramme d'antenne dans le plan vertical qui a été pris en compte dans certaines simulations est basé sur la recommandation UIT-R F.1336-2 [5]. Il convient de noter qu'un test de sensibilité a été mené sur la variable « k » de cette recommandation qui représente la qualité de l'antenne et que l'effet de ce paramètre est totalement négligeable.

Il convient de noter que lorsque la valeur des tilts des station de base n'est pas renseignée, une valeur par défaut à -3° a été attribuée (valeur issue des études du groupe d'action conjoint 5-6 de l'UIT-R).

Le modèle de propagation utilisé pour la simulation du signal brouilleur, c'est-à-dire celui des émis par les stations de base, est Okumura-Hata avec un champ variant selon une loi lognormale d'écart type 5.5 dB. Il s'agit du modèle Okumura-Hata adapté pour ICS Telecom. Ce modèle prend en compte les caractéristiques du terrain indiquées dans la couche clutter (voir annexe 1) et est reconnu par les opérateurs comme le plus réaliste des modèles empiriques.

Les simulations effectuées avec le modèle COST 231, disponible sur ICS ont donné des résultats absurdes, probablement à cause des limites du modèle pour des distances inférieures à 1 km. Pour

vérification, une simulation a aussi été effectuée avec le modèle de propagation utilisée dans les simulations du SE42 au moins pour les distances entre 100 m et 3 km et une hauteur d'antenne de 30 m (il n'a pas été possible de définir dans ICS Telecom le modèle SE42 complet, applicable pour les autres distances et hauteurs d'antenne), donnant des probabilités de brouillage légèrement inférieures.

3.3. Evaluation de la population brouillée

Le critère de brouillage du canal 60 vis-à-vis d'une émission LTE en canal adjacent est un C/I égal à -34 dB, basé sur les considérations suivantes :

- C/I co-canal de 21 dB
- Réjection du brouillage de 55 dB, correspondant à :
 - a) des rayonnements hors bande des stations de base (BEM de 0 dBm/8 MHz) causant un brouillage négligeable comparés à celui lié au manque de sélectivité du récepteur TV
 - b) un ACS « typique » pour une bande de garde de 1 MHz, compte tenu des mesures présentés et utilisés dans le cadre des travaux de la CEPT. Les mesures effectuées dans le cadre des travaux de la CEPT ont montré que les valeurs d'ACS n'étaient pas homogènes et les résultats de l'étude varient significativement selon la valeur considérée (voir les études aux §3.3.1.1 et §3.3.1.3. sur la sensibilité du modèle au choix du critère de C/I, et donc d'ACS, à plus ou moins 3 dB)

Des mesures effectuées par le CSA sur 24 récepteurs TV ont confirmé que ce niveau correspondait à la sélectivité médiane des récepteurs. Toutefois, la sélectivité est dégradée d'au moins 4 dB pour environ 10 % des récepteurs.

Les logiciels de type ICS Telecom permettent de déterminer les niveaux médians des champs C, I et donc du rapport de protection C/I sur l'ensemble de points (« pixels ») d'une zone (le département considéré).

Il est également pris comme hypothèse que les antennes de réceptions TV sont orientées vers l'émetteur TNT du département fournissant le meilleur signal utile.

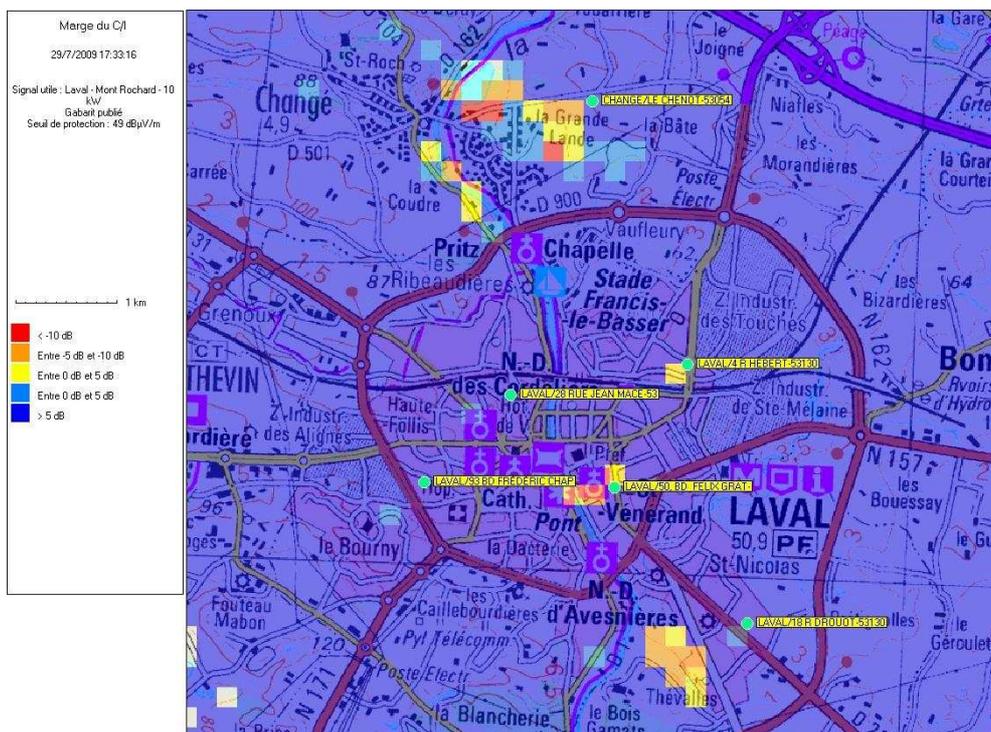


Figure 21: Exemple de carte de marge en C/I

Ce logiciel offre aussi des fonctionnalités permettant d'évaluer la population des zones répondant à un critère simple (par exemple $C/I < -34$ dB) en additionnant la population de chaque pixel. Cette population est évaluée par ICS Telecom à partir des données concernant la commune et le « clutter » (urbain, suburbain ou rural) dont le pixel fait partie.

En revanche, la prise en compte de la variation des champs utile et brouilleur (C et I) autour de leur valeur médiane suivant une loi lognormale ne peut pas être prise en compte directement dans ICS Telecom et nécessite un post-traitement réalisé à partir de l'extraction de toutes les valeurs médianes de C et de I sur tous les pixels de chaque département.

Les études réalisées pour évaluer le pourcentage de population brouillée à partir des niveaux de champs médians (§ 3.3.1) et en prenant en compte la variation statistique de C/I (§ 3.3.2.) permettent de visualiser l'évolution de la méthodologie utilisée et donnent un ordre d'idée des résultats. Elles ont aussi été utilisées pour tester la sensibilité des résultats vis-à-vis de plusieurs hypothèses.

Elles auront permis le développement de la méthodologie évaluant le pourcentage de population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C et de I (§ 3.3.3.). Cette méthode permet de s'affranchir totalement du paramètre de seuil de couverture. **Cette méthodologie fournit les résultats de référence qui apparaissent en conclusion.**

3.3.1. Résultats à partir des niveaux de champ médian

Dans cette première approche, les valeurs de C/I sont calculés à partir des niveaux médians, sans prendre en compte les distributions de C et de I. Ces calculs simples ont permis de tester la sensibilité des résultats à différents paramètres mais il convient de prendre ces résultats avec beaucoup de précautions.

Il n'est donc pas possible de déterminer précisément la part de population à l'intérieur de ce pixel qui est susceptible d'être couverte par l'émetteur de télévision : un pixel est soit couvert, soit non couvert.

Dans cette étude, il est supposé que la réception est limitée à chacun des départements. Deux hypothèses sont donc testées pour évaluer la population brouillée :

- Situation A : Un pixel est « couvert » si le niveau médian du signal utile dépasse 49 dB μ V/m (50 % de la population du pixel est susceptible de recevoir le signal utile)
- Situation B : Un pixel est « couvert » si le niveau médian du signal utile dépasse 58 dB μ V/m (95 % de la population du pixel est susceptible de recevoir le signal utile)

L'impact de la discrimination d'antenne des stations de base dans le plan vertical ainsi que de la discrimination de polarisation est aussi évaluée avec 4 cas différents :

- Cas n°1 : diagramme vertical de la station de base et discrimination de polarisation
- Cas n°2 : diagramme vertical de la station de base et pas de discrimination de polarisation
- Cas n°3 : pas de diagramme vertical de la station de base et discrimination de polarisation
- Cas n°4 : pas de diagramme vertical de la station de base et pas de discrimination de polarisation

Les hypothèses supplémentaires pour obtenir les résultats suivants sont :

- C/I = -34 dB
- Détermination de la population brouillée à partir d'une couche clutter (pondération d'un pixel par le type de zone (urbain, suburbain...))
- La conversion en foyer est réalisée avec un facteur de 2,4 habitants/foyer
- Dans la Mayenne, la population recevant un champ supérieur à 49 dB μ V/m par l'émetteur de Laval est de 292 346 habitants et de 259 705 habitants pour un champ supérieur à 58 dB μ V/m.
- Dans le département des Vosges, la population recevant un champ supérieur à 49 dB μ V/m par les émetteurs de Vittel et d'Épinal est de 207 000 habitants et de 172 540 pour un champ supérieur à 58 dB μ V/m.
- Dans le département de la Gironde, la population recevant un champ supérieur à 49 dB μ V/m par l'émetteur de Bordeaux Bouliac est de 1 349 471 habitants et de 1 321 037 habitants pour un champ supérieur à 58 dB μ V/m

Avec l'utilisation de la recommandation UIT-R BT 419, ces éléments constituent les « hypothèses de bases » utilisées comme référence dans toute la suite du document.

3.3.1.1. Département de la Mayenne (53)

Les résultats suivants sont obtenus en appliquant les hypothèses de bases.

RÉSEAU 1		A	B
Personnes brouillées	1	478	209
	2	705	320
	3	999	547
	4	1397	776
% brouillage	1	0.16%	0.08%
	2	0.24%	0.12%
	3	0.34%	0.21%
	4	0.48%	0.30%
Foyers brouillés	1	199	87
	2	294	133
	3	416	228
	4	582	323

RÉSEAU 2		A	B
Personnes brouillées	1	761	272
	2	1083	421
	3	1492	721
	4	2152	1043
% brouillage	1	0.26%	0.10%
	2	0.37%	0.16%
	3	0.51%	0.28%
	4	0.74%	0.40%
Foyers brouillés	1	317	113
	2	451	175
	3	621	301
	4	897	434

RÉSEAU 3		A	B
Personnes brouillées	1	277	101
	2	478	190
	3	870	346
	4	1799	858
% brouillage	1	0.10%	0.04%
	2	0.16%	0.07%
	3	0.30%	0.13%
	4	0.62%	0.33%
Foyers brouillés	1	116	42
	2	199	79
	3	363	42
	4	750	358

Dans ce contexte, il est intéressant d'étudier le pourcentage de sites du département pouvant être potentiellement une source de brouillage. Pour ce cas l'étude est réalisé sur le réseau 1 pour chacune des situations en prenant les cas 1 et 3, c'est-à-dire toujours en polarisation croisée.

	A – cas n°3	A - cas n°1	B - cas n°3	B - cas n°1
Nombre de sites	89%	74%	85%	61%

Dans tous les cas, on peut donc conclure que la majorité des sites seront à l'origine de brouillage. Un calcul supplémentaire est réalisé en prenant en compte les azimuts déclarés et en utilisant un diagramme horizontal basé sur la recommandation UIT-R F.1336-2 [5] et un gain d'antenne à 15 dBi.

RÉSEAU 2		A
Personnes brouillées	1	1028
	2	1335
	3	1497
	4	2014
% brouillage	1	0.35%
	2	0.46%
	3	0.51%
	4	0.69%
Foyers brouillés	1	429
	2	556
	3	624
	4	839

Cet exemple montre que l'hypothèse considérant les antennes tri sectorielles en une antenne omnidirectionnelle n'induit pas de biais important.

Selon le CSA et les chaînes de télévision, il est envisageable que la puissance réellement utilisée sur l'émetteur de Laval lors de l'extinction de l'analogique soit plus faible que la valeur maximale autorisée. Le tableau ci-dessous fournit les résultats de la simulation en diminuant la PAR de 5dB,

soit 35 dBW. Dans cette configuration, la population recevant un champ supérieur à 49 dB μ V/m passe alors à 278 638 habitants et à 240 634 habitants pour un champ supérieur à 58 dB μ V/m.

Les résultats montrent une légère augmentation de la probabilité de brouillage liée à une réception TV plus difficile.

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		PAR - 5 dB (35 dBW PAR)		Delta	
		A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	761	272	1126	434	365	162
	2	1083	421	1488	550	405	129
	3	1492	721	2287	937	795	216
	4	2152	1043	3035	1251	883	208
% brouillage	1	0.26%	0.10%	0.39%	0.17%	0.12%	0.06%
	2	0.37%	0.16%	0.51%	0.21%	0.14%	0.05%
	3	0.51%	0.28%	0.78%	0.36%	0.27%	0.08%
	4	0.74%	0.40%	1.04%	0.48%	0.30%	0.08%
Foyers brouillés	1	317	113	469	181	152	68
	2	451	175	620	229	169	54
	3	621	301	953	390	331	90
	4	897	434	1265	521	368	87

Le modèle de la simulation est testé en utilisant le diagramme d'antenne Yagi fourni par l'ARCEP. Il convient de rappeler que les résultats obtenus sont à prendre avec précaution car cette situation ne représente pas ce qui a été à ce jour observé sur le terrain compte tenu notamment de la dégradation progressive des antennes avec le temps. Par ailleurs, les résultats ne montrent pas d'amélioration significative de la probabilité de brouillage.

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		Yagi		Delta	
		A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	761	272	475	158	-286	-114
	2	1083	421	896	342	-187	-79
	3	1492	721	1003	494	-489	-228
	4	2152	1043	1838	870	-314	-172
% brouillage	1	0.26%	0.10%	0.16%	0.06%	-0.10%	-0.04%
	2	0.37%	0.16%	0.31%	0.13%	-0.06%	-0.03%
	3	0.51%	0.28%	0.34%	0.19%	-0.17%	-0.09%
	4	0.74%	0.40%	0.63%	0.34%	-0.11%	-0.07%
Foyers brouillés	1	317	113	198	66	-119	-48
	2	451	175	373	142	-78	-33
	3	621	301	418	206	-204	-95
	4	897	434	766	363	-131	-72

Comme indiqué dans le §3.3, le choix du C/I à -34 dB est fixé selon les critères de rapport de protection co-canal à 21 dB et d'une réjection des brouillages à 55 dB en considérant une bande de garde à 1 MHz. Des mesures, en cours à ce jour, pourraient amener à modifier cette valeur de C/I. Il est alors intéressant de regarder la sensibilité du modèle au choix de C/I en le faisant varier de +/-3 dB autour de -34dB.

Les résultats permettent de constater une sensibilité importante au critère de C/I, l'impact d'une variation de 3 dB affectant les résultats d'un facteur allant de 1,5 à 1,9 (50 % à 90% d'augmentation ou de réduction des cas de brouillage).

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		C/I = -31		Delta	
		A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	761	272	1267	476	506	204
	2	1083	421	1921	751	837	331
	3	1492	721	2481	1211	989	490
	4	2152	1043	3175	1552	1023	510
% brouillage	1	0.26%	0.10%	0.43%	0.18%	0.17%	0.08%
	2	0.37%	0.16%	0.66%	0.29%	0.29%	0.13%
	3	0.51%	0.28%	0.85%	0.47%	0.34%	0.19%
	4	0.74%	0.40%	1.09%	0.60%	0.35%	0.20%
Foyers brouillés	1	317	113	528	198	211	85
	2	451	175	800	313	349	138
	3	621	301	1034	505	412	204
	4	897	434	1323	647	426	212

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		C/I = -37		Delta	
		A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	761	272	413	113	-348	-159
	2	1083	421	642	232	-441	-189
	3	1492	721	925	472	-567	-249
	4	2152	1043	1264	624	-888	-419
% brouillage	1	0.26%	0.10%	0.14%	0.04%	-0.12%	-0.06%
	2	0.37%	0.16%	0.22%	0.09%	-0.15%	-0.07%
	3	0.51%	0.28%	0.32%	0.18%	-0.19%	-0.10%
	4	0.74%	0.40%	0.43%	0.24%	-0.30%	-0.16%
Foyers brouillés	1	317	113	172	47	-145	-66
	2	451	175	267	97	-184	-79
	3	621	301	385	197	-236	-104
	4	897	434	527	260	-370	-175

Une limite du logiciel utilisé réside dans la détermination de la population brouillée dans les 100 premiers mètres de la station de base, c'est-à-dire dans le même pixel. En effet, afin de déterminer le niveau de champ du pixel où se trouve la station de base, le logiciel prend comme valeur de champ de ce pixel le maximum rencontré dans les 8 pixels voisins. Le niveau de champs est donc sous estimé.

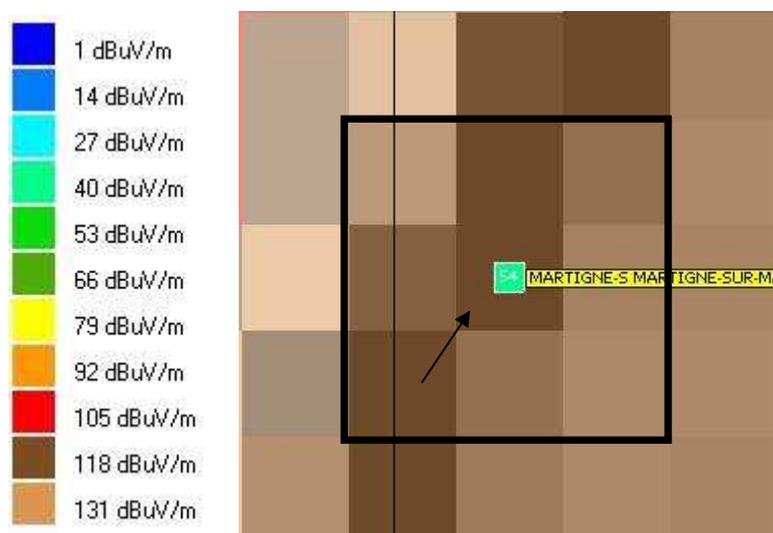


Figure 22: Estimation du champs sur le pixel où l'émetteur est situé

On peut évaluer la marge d'erreur de l'évaluation de la population brouillée en calculant le nombre de personnes sur le même pixel que la station de base et considérées comme non brouillées. En prenant les hypothèses de diagramme vertical et de polarisation croisée pour les antennes de station de base, les marges d'erreur (sous estimation des cas de brouillage) pour les situations A et B sont les suivantes :

Opérateur	Nombre total de personnes	Nombre de personnes brouillées dans les 100 premiers mètres de la station de base en situation A	Marge d'erreur en situation A	Nombre de personnes brouillées dans les 100 premiers mètres de la station de base en situation B	Marge d'erreur en situation B
RÉSEAU 1	224	1	223	1	223
RÉSEAU 2	534	8	526	8	526
RÉSEAU 3	587	1	586	1	586

Une dernière hypothèse testée consiste dans l'utilisation, pour les stations de base, d'une polarisation verticale. Les polarisations de la station de TNT de Laval Mont Rochard et des stations de bases sont donc orthogonales, la discrimination de polarisation atteint 16 dB quelle que soit la discrimination angulaire. Les résultats sont les suivants :

RÉSEAU 1		Hypothèses de base		Polarisation V	
		A	B	A	B
Personnes brouillées	1	478	209	120	44
	2	705	320		
	3	999	547	375	202
	4	1397	776		
Pourcentage	1	0.16%	0.07%	0.04%	0.01%
	2	0.24%	0.11%		
	3	0.34%	0.19%	0.13%	0.07%
	4	0.48%	0.27%		
Foyers	1	199	87	50	18
	2	294	133		
	3	416	228	156	84
	4	582	323		

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		Polarisation V	
		A	B	A	B
Personnes brouillées	1	761	272	201	56
	2	1083	421		
	3	1492	721	553	214
	4	2152	1043		
Pourcentage	1	0.26%	0.09%	0.07%	0.02%
	2	0.37%	0.14%		
	3	0.51%	0.25%	0.19%	0.07%
	4	0.74%	0.36%		
Foyers	1	317	113	84	23
	2	451	175		
	3	621	301	231	89
	4	897	434		

RÉSEAU 3		Hypothèses de base		Polarisation V	
		A	B	A	B
Personnes brouillées	1	277	101	51	23
	2	478	190		
	3	870	346	238	106
	4	1799	858		
Pourcentage	1	0.09%	0.03%	0.02%	0.01%
	2	0.16%	0.06%		
	3	0.30%	0.12%	0.08%	0.04%
	4	0.62%	0.29%		
Foyers	1	115	42	21	9
	2	199	79		
	3	363	144	99	44
	4	750	358		

3.3.1.2. Département des Vosges (88)

Les résultats suivants sont obtenus en appliquant les hypothèses de bases.

RÉSEAU 1		A	B
Personnes brouillées	1	695	107
	2	1120	195
	3	1471	273
	4	1914	364
% brouillage	1	0.34%	0.06%
	2	0.54%	0.11%
	3	0.71%	0.16%
	4	0.92%	0.21%
Foyers brouillés	1	289	44
	2	466	81
	3	613	114
	4	798	152

RÉSEAU 2		A	B
Personnes brouillées	1	861	119
	2	1365	247
	3	1846	415
	4	2378	564
% brouillage	1	0.42%	0.07%
	2	0.66%	0.14%
	3	0.89%	0.24%
	4	1.15%	0.33%
Foyers brouillés	1	359	50
	2	569	103
	3	769	173
	4	991	235

RÉSEAU 3		A	B
Personnes brouillées	1	759	139
	2	1116	209
	3	1480	309
	4	1913	421
% brouillage	1	0.37%	0.08%
	2	0.54%	0.12%
	3	0.71%	0.18%
	4	0.92%	0.24%
Foyers brouillés	1	316	58
	2	465	87
	3	617	129
	4	797	175

Le département des Vosges ayant de nombreuses vallées, la sensibilité au tilt a été testée en modifiant la valeur par défaut à -6° pour prendre en compte le relief particulier de cette région. Les résultats montrent une faible sensibilité à ce paramètre.

RÉSEAU 2		A	B
Personnes brouillées	1	818	14
	2	1230	219
	3	1846	415
	4	2378	564
% brouillage	1	0,40%	0,08%
	2	0,59%	0,13%
	3	0,89%	0,24%
	4	1,15%	0,33%
Foyers brouillés	1	341	56
	2	513	91
	3	769	173
	4	991	235

Conclusion : en appliquant cette méthodologie et en considérant comme toujours applicables les hypothèses de diagramme vertical et de polarisation croisée pour les antennes de station de base, le taux de brouillage attendu se situerait donc entre **44** et **359** foyers soit entre **0,06%** et **0,42 %** de la population des Vosges recevant la TNT.

3.3.1.3. Département de la Gironde (33)

Les résultats suivants sont obtenus en appliquant les hypothèses de bases ainsi que l'impact d'une variation de +/- 3 dB du critère de brouillage. Le pourcentage de population brouillée est nettement plus faible que dans le cas de la Mayenne. Mais cela reflète probablement l'absence de prise en compte bâti dans la simulation des pertes de propagation sur le signal TV : les cas d'occultation de l'émetteur de radiodiffusion en zone urbaine n'apparaissent pas. En revanche, la sensibilité du critère de C/I sur les résultats est le même que dans la Mayenne.

RÉSEAU 1		Hypothèses de base		C/I = -31		Delta		C/I = -37		Delta	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	1360	178	2386	339	1026	161	785	100	-575	-78
	2	2217	336	4161	893	1944	557	1236	163	-981	-173
	3	3068	1272	4985	2208	1917	936	1864	773	-1204	-499
	4	4396	1897	6709	2806	2313	909	2782	1181	-1614	-716
% brouillage	1	0.10%	0.01%	0.18%	0.03%	0.08%	0.01%	0.06%	0.01%	-0.04%	-0.01%
	2	0.16%	0.03%	0.31%	0.07%	0.14%	0.04%	0.09%	0.01%	-0.07%	-0.01%
	3	0.23%	0.10%	0.37%	0.17%	0.14%	0.07%	0.14%	0.06%	-0.09%	-0.04%
	4	0.33%	0.14%	0.50%	0.21%	0.17%	0.07%	0.21%	0.09%	-0.12%	-0.05%
Foyers brouillés	1	567	74	994	141	428	67	327	42	-240	-33
	2	924	140	1734	372	810	232	515	68	-409	-72
	3	1278	530	2077	920	799	390	777	322	-502	-208
	4	1832	790	2795	1169	964	379	1159	492	-673	-298

RÉSEAU 2		Hypothèses de base		C/I = -31		Delta		C/I = -37		Delta	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	913	168	1951	574	1038	406	560	122	-353	-46
	2	1663	491	2870	781	1207	290	784	155	-879	-336
	3	3114	1631	4376	2168	1262	537	2036	1041	-1078	-590
	4	3872	1920	5938	2880	2066	960	2582	1348	-1290	-572
% brouillage	1	0.07%	0.01%	0.14%	0.04%	0.08%	0.03%	0.04%	0.01%	-0.03%	0.00%
	2	0.12%	0.04%	0.21%	0.06%	0.09%	0.02%	0.06%	0.01%	-0.07%	-0.03%
	3	0.23%	0.12%	0.32%	0.16%	0.09%	0.04%	0.15%	0.08%	-0.08%	-0.04%
	4	0.29%	0.15%	0.44%	0.22%	0.15%	0.07%	0.19%	0.10%	-0.10%	-0.04%
Foyers brouillés	1	380	70	813	239	433	169	233	51	-147	-19
	2	693	205	1196	325	503	121	327	65	-366	-140
	3	1298	680	1823	903	526	224	848	434	-449	-246
	4	1613	800	2474	1200	861	400	1076	562	-538	-238

RÉSEAU 3		Hypothèses de base		C/I = -31		Delta		C/I = -37		Delta	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Personnes brouillées	1	899	341	1523	456	624	115	567	210	-332	-131
	2	1366	418	2536	543	1170	125	816	317	-550	-101
	3	2691	1367	4131	1942	1440	575	1620	814	-1071	-553
	4	3715	1775	5614	2455	1899	680	2273	1139	-1442	-636
% brouillage	1	0.07%	0.03%	0.11%	0.03%	0.05%	0.01%	0.04%	0.02%	-0.02%	-0.01%
	2	0.10%	0.03%	0.19%	0.04%	0.09%	0.01%	0.06%	0.02%	-0.04%	-0.01%
	3	0.20%	0.10%	0.31%	0.15%	0.11%	0.04%	0.12%	0.06%	-0.08%	-0.04%
	4	0.28%	0.13%	0.42%	0.19%	0.14%	0.05%	0.17%	0.09%	-0.11%	-0.05%
Foyers brouillés	1	375	142	635	190	260	48	236	88	-138	-55
	2	569	174	1057	226	488	52	340	132	-229	-42
	3	1121	570	1721	809	600	240	675	339	-446	-230
	4	1548	740	2339	1023	791	283	947	475	-601	-265

3.3.2. Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C/I

L'approche précédente en « champs médians » peut être affinée pour prendre en compte le fait que la valeur réelle de C/I suit une loi lognormale d'écart type $\sqrt{2} \times 5.5$ dB.

La population brouillée peut être calculée à partir de la formule suivante, qui discrétise le calcul avec un pas de C/I de 1 dB et qui est établie en utilisant plusieurs propriétés :

- Dans chaque pixel les C/I suivent la même loi statistique autour de la valeur médiane du (C/I) de la cellule, et donc, par simple changement de variable, la probabilité d'avoir un brouillage (C/I < -34) est égale à la probabilité d'avoir une variable aléatoire C/I suivant une loi lognormale centrée sur -34, supérieure à la valeur médiane du (C/I) de la cellule
- En prenant un pas de discrétisation de 1 dB, la population du département qui reçoit une valeur médiane du (C/I) donnée est prise égale à la différence entre la population brouillée en utilisant cette valeur comme seuil de brouillage et la population brouillée en utilisant comme seuil de brouillage (C/I)_{median}-1.

La probabilité de brouillage est le produit de la population du département recevant un C/I médian donné multiplié par la probabilité de brouillage pour ce C/I. Les valeurs minimale et maximale de C/I, m et n, sont choisies pour couvrir l'ensemble des occurrences correspondant à des probabilités non négligeables.

$$Pop_{brouillée} = \sum_{C/I_{médian}=m}^n \left[(pop_{brouillée}(C/I) - pop_{brouillée}(C/I-1)) \sum_{C/I_{médian}}^n p_{\frac{C}{I}} \left(\frac{C}{I} \right) \right]$$

$$Pop_{brouillée} = \sum_{C/I_{médian}=m}^n \sum_{C/I_{médian}}^n (pop_{brouillée}(C/I) - pop_{brouillée}(C/I-1)) \cdot p_{\frac{C}{I}} \left(\frac{C}{I} \right)$$

On a alors, en réarrangeant les termes de la sommation :

$$Pop_{brouillée} = \sum_{C/I=m}^n p_{\frac{C}{I}} \left(\frac{C}{I} \right) \sum_m^{C/I} [pop_{brouillée}(C/I) - pop_{brouillée}(C/I-1)] = p_{\frac{C}{I}} \left(\frac{C}{I} \right) Pop_{brouillée} \left(\frac{C}{I} \right)$$

Avec : $p_{C/I}$ qui suit une loi lognormal d'écart type $\sqrt{2} \times 5.5$ et d'espérance -34 dB

$Pop_{brouillée}(C/I)$ qui représente la population brouillée du département pour un C/I seuil donné

Cette formule peut paraître complexe, mais il s'agit seulement de justifier une méthode de calcul de probabilité à partir des résultats de simulation accessibles sur ICS Telecom.

Elle reste malheureusement imparfaite car elle ne permet pas de prendre en compte le fait que certains emplacements reçoivent un signal utile en dessous de la sensibilité et ne peuvent donc pas être considérés comme brouillés. Afin d'éviter de prendre en compte des pixels où le signal utile est trop faible, nous imposons toutefois dans cette simulation que le niveau median du signal utile reste supérieur à la sensibilité (49 dBμV/m).

De plus, ce calcul est assez fastidieux sur ICS Telecom car il requiert un calcul de la population brouillée pour chaque valeur possible de C/I. Il n'a donc été fait que dans le cas de la Mayenne, en prenant en compte à la fois la discrimination verticale de l'antenne de la station de base et la discrimination de polarisation. Le réseau étudié est le Réseau 2 en situation A.

En appliquant cette méthodologie et en considérant comme toujours applicables les hypothèses de diagramme vertical et de polarisation croisée pour les antennes de station de base, la probabilité de brouillage se situerait autour de **670** foyers soit aux environs de **0,56%** de la population de la Mayenne recevant la TNT.

3.3.3. Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C et de I

Cette méthode est la **référence** pour la détermination des conclusions car elle a l'avantage d'être **totalelement indépendante de l'hypothèse de seuil de couverture du réseau de TNT.**

Afin de prendre en compte la variabilité statistique du signal utile et donc de déterminer les probabilités sur un pixel d'un C/I inférieur au critère sachant que le signal utile est supérieur à la sensibilité, il est nécessaire d'exporter les valeurs de C et de I médians pour chaque pixel. La population de chaque pixel est ensuite estimée à partir des informations portant sur la commune et le « clutter » dont fait partie le pixel.

Les discriminations d'antenne et de polarisation sont calculées à partir des positions du pixel par rapport d'une part à l'émetteur utile donnant le champ utile le plus fort et d'autre part la station de base la plus proche, supposée apporter le champ brouilleur le plus fort.

La population totale brouillée d'un département est alors évaluée en affectant à chaque pixel du département sa population multipliée par le facteur F dépendant des niveaux médians du signal utile et du signal brouilleur et calculé comme suit :

$$F(c_m, I_m) = \int_{C=sens}^{+\infty} p_c(c) \int_{I=C-(\frac{C}{I})_{seuil}}^{+\infty} p_I(I)$$

- Avec c_m : niveau médian du champ utile pour le pixel
 I_m : niveau médian du champ brouilleur pour le pixel (discriminations incluses)
 p_c : variable aléatoire lognormale d'écart type 5.5 dB et d'espérance c_m
 p_I : variable aléatoire lognormale d'écart type 5.5 dB et d'espérance I_m
sens : sensibilité (49 dB μ V/m)
(C/I)_{seuil} : critère pour le rapport de protection (-34 dB)

Le calcul réalisé représente donc **la probabilité qu'un foyer situé dans un département desservi par le canal 60 soit brouillé (C/I<-34 dB) sachant qu'il peut recevoir correctement le signal utile (C \geq 49 dB μ V/m).**

Cette méthode prend en compte les hypothèses de base telles que définies dans le §3.3.1., et également le cas des antennes tri-sectorielles. Dans ce dernier cas on considèrera alors les 3 antennes sur le site de la station de base.

3.3.3.1. Mayenne

Les résultats pour le département de la Mayenne sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

RÉSEAU 1		Hypothèses de base	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	821	556	-265
	2	1102	794	-308
	3	1299	1 099	-200
	4	1625	1 399	-226
% brouillage	1	0.28%	0.19%	-0.09%
	2	0.38%	0.27%	-0.11%
	3	0.44%	0.38%	-0.07%
	4	0.56%	0.48%	-0.08%
Foyers brouillés	1	342	232	-110
	2	459	331	-128
	3	541	458	-83
	4	677	583	-94

RÉSEAU 2		Hypothèses de base	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	1863	2 208	345
	2	2403	2 809	406
	3	2796	2 796	0
	4	3445	3 160	-285
% brouillage	1	0.64%	0.76%	0.12%
	2	0.82%	0.96%	0.14%
	3	0.96%	0.96%	0.00%
	4	1.18%	1.08%	-0.10%
Foyers brouillés	1	776	920	144
	2	1 001	1170	169
	3	1 165	1165	0
	4	1 435	1317	-119

RÉSEAU 3		Hypothèses de base	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	905	960	55
	2	1237	1 282	45
	3	1469	1 146	-323
	4	1880	1 496	-384
% brouillage	1	0.31%	0.33%	0.02%
	2	0.42%	0.44%	0.02%
	3	0.50%	0.39%	-0.11%
	4	0.64%	0.51%	-0.13%
Foyers brouillés	1	377	400	23
	2	515	534	19
	3	612	478	-135
	4	783	623	-160

Cette méthode est complétée en utilisant des polarisations orthogonales entre la station TNT (polarisation horizontale) et les stations de base (polarisation verticale). Les résultats sont les suivants :

RÉSEAU 1		Hypothèses de base	BTS en Polarisation V	Delta
Personnes brouillées	1	821	306	-515
	2	1102		-796
	3	1299	570	-729
	4	1625		-1055
% brouillage	1	0.28%	0.10%	-0.18%
	2	0.38%		-0.28%
	3	0.44%	0.20%	-0.24%
	4	0.56%		-0.36%
Foyers brouillés	1	342	127	-215
	2	459		-332
	3	541	237	-304
	4	677		-440

RÉSEAU 2		Hypothèses de base	BTS en Polarisation V	Delta
Personnes brouillées	1	1863	665	-156
	2	2403		-437
	3	2796	1228	-71
	4	3445		-397
% brouillage	1	0.64%	0.23%	-0.05%
	2	0.82%		-0.15%
	3	0.96%	0.42%	-0.02%
	4	1.18%		-0.14%
Foyers brouillés	1	776	277	-65
	2	1 001		-182
	3	1 165	511	-30
	4	1 435		-166

RÉSEAU 3		Hypothèses de base	BTS en Polarisation V	Delta
Personnes brouillées	1	905	314	-507
	2	1237		-788
	3	1469	823	-476
	4	1880		-802
% brouillage	1	0.31%	0.11%	-0.17%
	2	0.42%		-0.27%
	3	0.50%	0.28%	-0.16%
	4	0.64%		-0.28%
Foyers brouillés	1	377	131	-211
	2	515		-328
	3	612	343	-198
	4	783		-334

Conclusion : en appliquant cette méthodologie et en considérant comme toujours applicables les hypothèses de diagramme vertical et de polarisation croisée pour les antennes de station de base, le pourcentage de population brouillée atteindrait **0,28%** à **0,64%** de la population de la Mayenne recevant la TNT selon le réseau mobile.

3.3.3.2. Gironde

Les résultats pour le département de la Gironde sont présentés dans le tableau ci-joint. On profite de l'étude de ce département pour tester la sensibilité à +/- 3dB.

RÉSEAU 1		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	2331	3 852	1 522	1 366	-964	1 934	-396
	2	3351	5 309	1 958	2 051	-1 300	2 748	-603
	3	4784	7 258	2 474	3 091	-1 693	3 779	-1 005
	4	6274	9 311	3 037	4 136	-2 138	5 019	-1 255
% brouillage	1	0.17%	0.29%	0.11%	0.10%	-0.07%	0.14%	0
	2	0.25%	0.39%	0.15%	0.15%	-0.10%	0.20%	0
	3	0.35%	0.54%	0.18%	0.23%	-0.13%	0.28%	0
	4	0.46%	0.69%	0.23%	0.31%	-0.16%	0.37%	0
Foyers brouillés	1	971	1605	634	569	-402	806	-165
	2	1396	2212	816	855	-542	1 145	-251
	3	1993	3024	1031	1 288	-705	1 575	-419
	4	2614	3880	1266	1 723	-891	2 091	-523

RÉSEAU 2		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	1872	3 132	1 259	1 099	-773	1 463	-409
	2	2659	4 345	1 685	1 594	-1 066	2 178	-481
	3	4606	6 926	2 320	3 033	-1 573	3 367	-1 239
	4	5840	8 698	2 858	3 881	-1 959	4 369	-1 471
% brouillage	1	0.14%	0.23%	0.09%	0.08%	-0.06%	0.11%	-0.03%
	2	0.20%	0.32%	0.12%	0.12%	-0.08%	0.16%	-0.04%
	3	0.34%	0.51%	0.17%	0.22%	-0.12%	0.25%	-0.09%
	4	0.43%	0.64%	0.21%	0.29%	-0.15%	0.32%	-0.11%
Foyers brouillés	1	780	1305	525	458	-322	610	-171
	2	1108	1810	702	664	-444	908	-201
	3	1919	2886	967	1 264	-655	1 403	-516
	4	2433	3624	1191	1 617	-816	1 820	-613

RÉSEAU 3		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectorielles	Delta
Personnes brouillées	1	1762	3 070	1 309	998	-763	1 409	-352
	2	2606	4 421	1 816	1 500	-1 106	2 163	-443
	3	4633	6 892	2 259	3 102	-1 531	3 475	-1 158
	4	5821	8 596	2 775	3 926	-1 895	4 774	-1 048
% brouillage	1	0.13%	0.23%	0.10%	0.07%	-0.06%	0.10%	0
	2	0.19%	0.33%	0.13%	0.11%	-0.08%	0.16%	0
	3	0.34%	0.51%	0.17%	0.23%	-0.11%	0.26%	0
	4	0.43%	0.64%	0.21%	0.29%	-0.14%	0.35%	0
Foyers brouillés	1	734	1279	545	416	-318	587	-147
	2	1086	1842	756	625	-461	901	-185
	3	1931	2872	941	1 293	-638	1 448	-483
	4	2426	3582	1156	1 636	-790	1 989	-437

Conclusion : en appliquant cette méthodologie et en considérant comme toujours applicables les hypothèses de diagramme vertical et de polarisation croisée pour les antennes de station de base, le taux de brouillage attendu atteindrait de **0,13%** à **0,17%** de la population de la Gironde recevant la TNT selon le réseau concerné.

Il est important de rappeler que l'étude de ce département a été réalisée sans le bâti et que la probabilité de brouillage est sans doute largement sous-estimée.

3.3.4. Population brouillée en prenant en compte la variation statistique de C et de I en prenant en compte les émetteurs secondaires de la Mayenne et de la Gironde

Avant d'appliquer les mêmes principes décrits dans le §3.3.3, le niveau de champ est déterminé selon le meilleur serveur entre l'émetteur principal et les émetteurs secondaires.

3.3.4.1. Mayenne

La carte ci-dessous représente les niveaux de champ reçu sur le département de la Mayenne pour l'ensemble des émetteurs présents sur la carte.

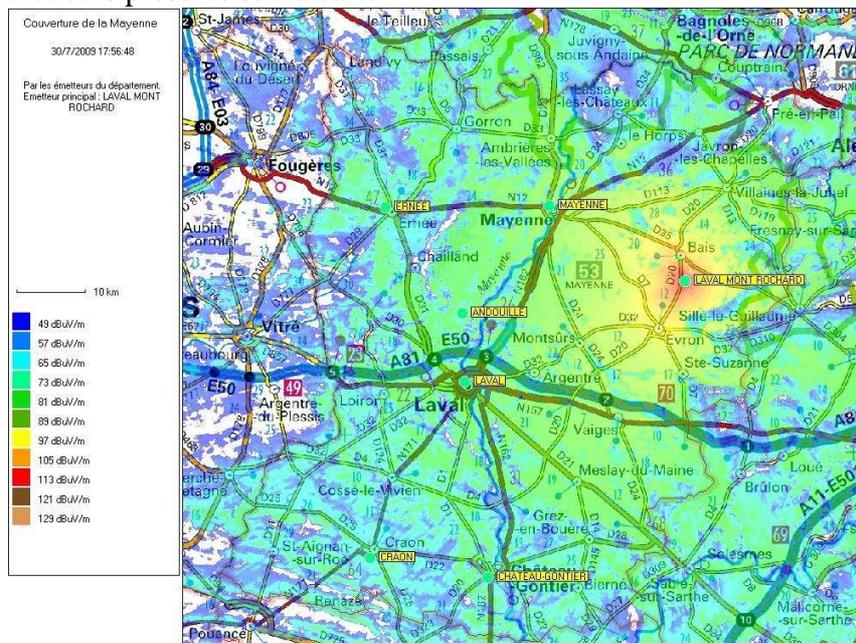


Figure 23: Niveaux de champ reçu (département de la Mayenne)

Les émetteurs secondaires ont les caractéristiques suivantes :

- *Ernée*, PAR à 9 dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- *Mayenne*, PAR à 7 dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- *Andouille*, PAR à 3dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- *Craon*, PAR à 4 dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- *Laval*, PAR à 4 dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA
- *Château Gontier*, PAR à 4 dBW avec le gabarit d'antenne disponible sur le site du CSA

La population recevant un champ supérieur à 49 dBµV/m passe alors à 292 831 et à 267 892 pour un champ supérieur à 58 dBµV/m.

Les résultats pour le département de la Mayenne sont présentés dans les tableaux ci-dessous et montrent que la prise en compte de ces réémetteurs n'affecte que marginalement les résultats.

RÉSEAU 1		Hypothèses de base	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	783	525	-258
	2	1068	768	-300
	3	1227	1 032	-195
	4	1560	1 336	-224
% brouillage	1	0.27%	0.18%	-0.09%
	2	0.37%	0.26%	-0.10%
	3	0.42%	0.35%	-0.07%
	4	0.53%	0.46%	-0.08%
Foyers brouillés	1	326	219	-108
	2	445	320	-125
	3	511	430	-81
	4	650	557	-93

RÉSEAU 2		Hypothèses de base	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	1763	2 087	324
	2	2282	2 664	382
	3	2664	2 420	-244
	4	3292	3 008	-284
% brouillage	1	0.60%	0.71%	0.11%
	2	0.78%	0.91%	0.13%
	3	0.91%	0.83%	-0.08%
	4	1.13%	1.03%	-0.10%
Foyers brouillés	1	735	870	135
	2	951	1110	159
	3	1 110	1008	-102
	4	1 372	1253	-118

RÉSEAU 3		Hypothèses de base	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	790	960	170
	2	1055	1 282	227
	3	1305	1 146	-159
	4	1671	1 496	-175
% brouillage	1	0.27%	0.33%	0.06%
	2	0.36%	0.44%	0.08%
	3	0.45%	0.39%	-0.05%
	4	0.57%	0.51%	-0.06%
Foyers brouillés	1	329	400	71
	2	440	534	95
	3	544	478	-66
	4	696	623	-73

3.3.4.2. La Gironde

La carte ci-dessous représente les niveaux de champ reçu dans l'allotissement de la Gironde pour l'ensemble des émetteurs présents sur la carte. Le contour de l'allotissement est représenté en vert.

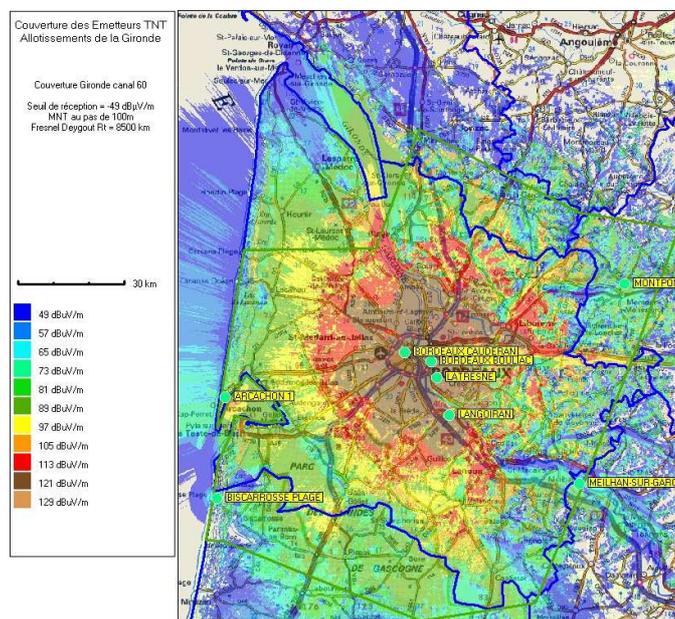


Figure 24: Niveaux de champ reçus (allotissement de la Mayenne)

Les émetteurs secondaires ont les caractéristiques suivantes :

- *BORDEAUX CAUDERAN, PAR à 7 dBW*
- *LATRESNE, PAR à -4 dBW*
- *LANGOIRAN, PAR à 6 dBW*
- *ARCACHON 1, PAR à 17 dBW*
- *MEILHAN-SUR-GARONNE, PAR à -13 dBW*
- *MONTPON-MENESTEROL, PAR à 0 dBW en polarisation verticale*
- *BISCARROSSE PLAGE, PAR à -8,2 dBW*

Les gabarits d'antenne sont fournis par le CSA

La population recevant un champ supérieur à 49 dBµV/m passe alors à 1 354 010 et à 1 339 833 pour un champ supérieur à 58 dBµV/m.

Les résultats pour le département de la Gironde sont présentés dans le tableau ci-dessous et confirment que la prise en compte des réémetteurs ne change pas significativement les résultats.

Réseau 1		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	2194	3 624	1 430	1 293	-901	1 821	-373
	2	3131	4 977	1 846	1 918	-1 212	2 567	-564
	3	4487	6 836	2 349	2 895	-1 592	3 545	-942
	4	5862	8 758	2 897	3 845	-2 017	4 689	-1 172
% brouillage	1	0.16%	0.27%	0.11%	0.10%	-0.07%	0.13%	-0.03%
	2	0.23%	0.37%	0.14%	0.14%	-0.09%	0.19%	-0.04%
	3	0.33%	0.51%	0.17%	0.21%	-0.12%	0.26%	-0.07%
	4	0.43%	0.65%	0.21%	0.28%	-0.15%	0.35%	-0.09%
Foyers brouillés	1	914	1510	596	539	-375	759	-155
	2	1304	2074	769	799	-505	1 070	-235
	3	1870	2848	979	1 206	-663	1 477	-393
	4	2442	3649	1207	1 602	-840	1 954	-488

Réseau 2		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	1672	2 826	1 154	965	-706	1 398	-274
	2	2410	3 957	1 546	1 434	-977	2 086	-324
	3	4257	6 441	2 184	2 786	-1 471	3 244	-1 013
	4	5429	8 121	2 693	3 593	-1 836	4 213	-1 216
% brouillage	1	0.12%	0.21%	0.09%	0.07%	-0.05%	0.10%	-0.02%
	2	0.18%	0.29%	0.11%	0.11%	-0.07%	0.15%	-0.02%
	3	0.31%	0.48%	0.16%	0.21%	-0.11%	0.24%	-0.07%
	4	0.40%	0.60%	0.20%	0.27%	-0.14%	0.31%	-0.09%
Foyers brouillés	1	697	1177	481	402	-294	582	-114
	2	1004	1649	644	597	-407	869	-135
	3	1774	2684	910	1 161	-613	1 352	-422
	4	2262	3384	1122	1 497	-765	1 755	-507

Réseau 3		Hypothèses de base	C/I = -31	Delta	C/I = -37	Delta	Tri sectoriel	Delta
Personnes brouillées	1	1611	2 756	1 144	937	-675	1 305	-306
	2	2323	3 898	1 575	1 366	-957	1 905	-418
	3	4249	6 359	2 109	2 826	-1 423	3 315	-935
	4	5359	7 942	2 583	3 601	-1 758	4 394	-965
% brouillage	1	0.12%	0.20%	0.08%	0.07%	-0.05%	0.10%	-0.02%
	2	0.17%	0.29%	0.12%	0.10%	-0.07%	0.14%	-0.03%
	3	0.31%	0.47%	0.16%	0.21%	-0.11%	0.25%	-0.07%
	4	0.40%	0.59%	0.19%	0.27%	-0.13%	0.33%	-0.07%
Foyers brouillés	1	671	1148	477	390	-281	544	-128
	2	968	1624	656	569	-399	794	-174
	3	1771	2649	879	1 178	-593	1 381	-390
	4	2233	3309	1076	1 500	-733	1 831	-402

4. Conclusions

Les deux études réalisées en complément de celles du SE42 pour la Mayenne permettent de converger vers une fourchette de probabilité de brouillage de la population de 0,6 % (étude terrain) à environ 2 % (complément des études européennes).

Cette probabilité représente la probabilité pour un récepteur TV d'être brouillé par une station de base alors que le signal TV est correctement reçu.

Il faut noter que l'on s'attache ainsi à la probabilité de brouillage d'un récepteur TV, indépendamment de la possibilité de réception de la télévision par d'autres moyens que la voie hertzienne (satellite, ADSL...). Par ailleurs, seul le brouillage du canal 60 est considéré dans l'étude et d'autres risques de brouillage (canal 59 et en dessous, saturation des récepteurs TV) n'ont pas été pris en compte.

Les valeurs retenues pour les hypothèses utilisées dans les simulations sont sans doute assez proches de la réalité et une analyse de sensibilité à ces hypothèses a été réalisée. Toutefois, la modélisation n'a pas pu prendre en compte certains éléments comme le bâti ou la répartition statistique des valeurs de sélectivité dans le parc existant de récepteurs TV, pour lesquelles les données n'ont été disponibles qu'à la fin de l'étude. Le nombre de cas réels de brouillage pourrait donc se situer en dehors de cette fourchette, en mieux ou en pire, selon le département concerné. De même, les différences de résultats en fonction du réseau signifient que la probabilité du brouillage dépend fortement de la couverture du département réalisé par un opérateur dans le bloc adjacent au canal 60.

En revanche, les autres paramètres ont un impact moindre sur les résultats (définition du niveau minimal de réception, puissance de l'émetteur TV) voire négligeable (prise en compte des réémetteurs et des départements voisins, diagrammes d'antenne TV, tilt des stations de base).

Les études réalisées dans les Vosges et dans la Gironde sont moins réalistes à cause du relief particulier des Vosges et de l'absence de prise en compte des réémetteurs dans les Vosges ou du bâti dans la Gironde. Toutefois, elles confirment l'ordre de grandeur du risque de brouillage évalué plus précisément dans le cas de la Mayenne.

Un autre élément apporté par ces études est que, à cause de la variabilité statistique des paramètres, notamment les pertes de propagation et la sélectivité des récepteurs, il est extrêmement difficile de prévoir quels récepteurs de radiodiffusion seront brouillés ni même quelles stations de base causeront le brouillage. Ce brouillage se présente sous forme de « risque » probabiliste qui ne se matérialisera qu'une fois la station de base allumée et toute mesure préalable pourra réduire ce risque mais en aucun cas le supprimer. A noter toutefois que des mesures comme l'utilisation de la polarisation verticale sur les antennes de station de base permettrait de réduire ce risque d'un facteur 3 environ.

GLOSSAIRE

ACS	Adjacent Channel Selectivity
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes
BEM	Block Edge Mask
BTS	Base Transceiver Station, station de base du réseau mobile
CE	Commission Européenne
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications qui regroupe 48 pays européens.
CSA	Conseil Supérieur de l'Audiovisuel
DVB-T	Le système de radiodiffusion de terre spécifié par la norme de l'ETSI ETS 300-744. (Le terme est aussi employé pour le service de radiotélévision utilisant la norme DVB-T).
ECO	Office Européens des Communications, www.ero.dk
LTE	Long Term Evolution, 4 ^{ème} génération de téléphonie mobile basée sur la spécification technique 36.101
OFCOM	Office of Communications, http://www.ofcom.org.uk/
SE42	Groupe de l'ECO en charge des bandes flexibles, des WAPECS et des nouvelles approches de partages, http://www.ero.dk/88DF5D27-F8BA-4C0B-87A4-47C2BF9B0B79.W5Doc?frames=no&
TNT	Télévision Numérique Terrestre
UIT-R	Secteur des Radiocommunications de l'Union Internationale des Radiocommunications

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Second mandat de la Commission Européenne sur les considérations techniques vis-à-vis des options d'harmonisation pour le dividende numérique au sein de l'Union Européenne, http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/radio_spectrum/document_storage/rsc/rsc2_3_public_docs/rscom08-06.pdf
- [2] Rapport CEPT 30 sur l'identification des conditions techniques communes et minimales (moins restrictives) pour la bande du dividende numérique 790-862 MHz au sein de l'Union Européenne, <http://www.erodocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=16>
- [3] Digital dividend: cognitive access Consultation on licence-exempting cognitive devices using interleaved spectrum, 2009, <http://www.ofcom.org.uk/consult/condocs/cognitive/cognitive.pdf>
- [4] Directivity and polarization discrimination of antennas in the reception of television broadcasting, Recommendation BT.419-3, 1990, <http://www.itu.int/rec/R-REC-BT.419-3-199006-I/en>
- [5] Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas in point-to-multipoint systems for use in sharing studies in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz, Recommendation F.1336-2, 2007, <http://www.itu.int/rec/R-REC-F.1336-2-200701-I/en>

Annexe 1 : utilisation du modèle Okumura Hata dans ICS Télécom

La documentation du logiciel confirme que le modèle d'Okumura Hata prend bien en compte la configuration du terrain indiquée dans la couche « clutter ».

Extrait de la documentation :

« ...

1.4 OKUMURA-HATA MODEL

This model is used to determine field-strength in mainly urban environments. It is recommended for working with frequencies located between 150 and 1500 MHz.

The model implemented in ICS-telecom uses the 1980 Hata formulation broadly upheld by the CCIR in its guideline No. 529 to which the author has added a few graph describing formulas.

Recommended options:

- Diffraction: Deygout 1994

Nota : this model uses Deygout diffraction method instead of the foothills attenuation which formula is:

$$A_f = 3 + 12 \log(h / 31,6) + 8(\log(h / 31,6))^2$$

- Attenuation: No Subpath loss

Several types of ground-occupancy are taken into account for calculations:

- Urban areas

- Suburban areas

- Rural areas

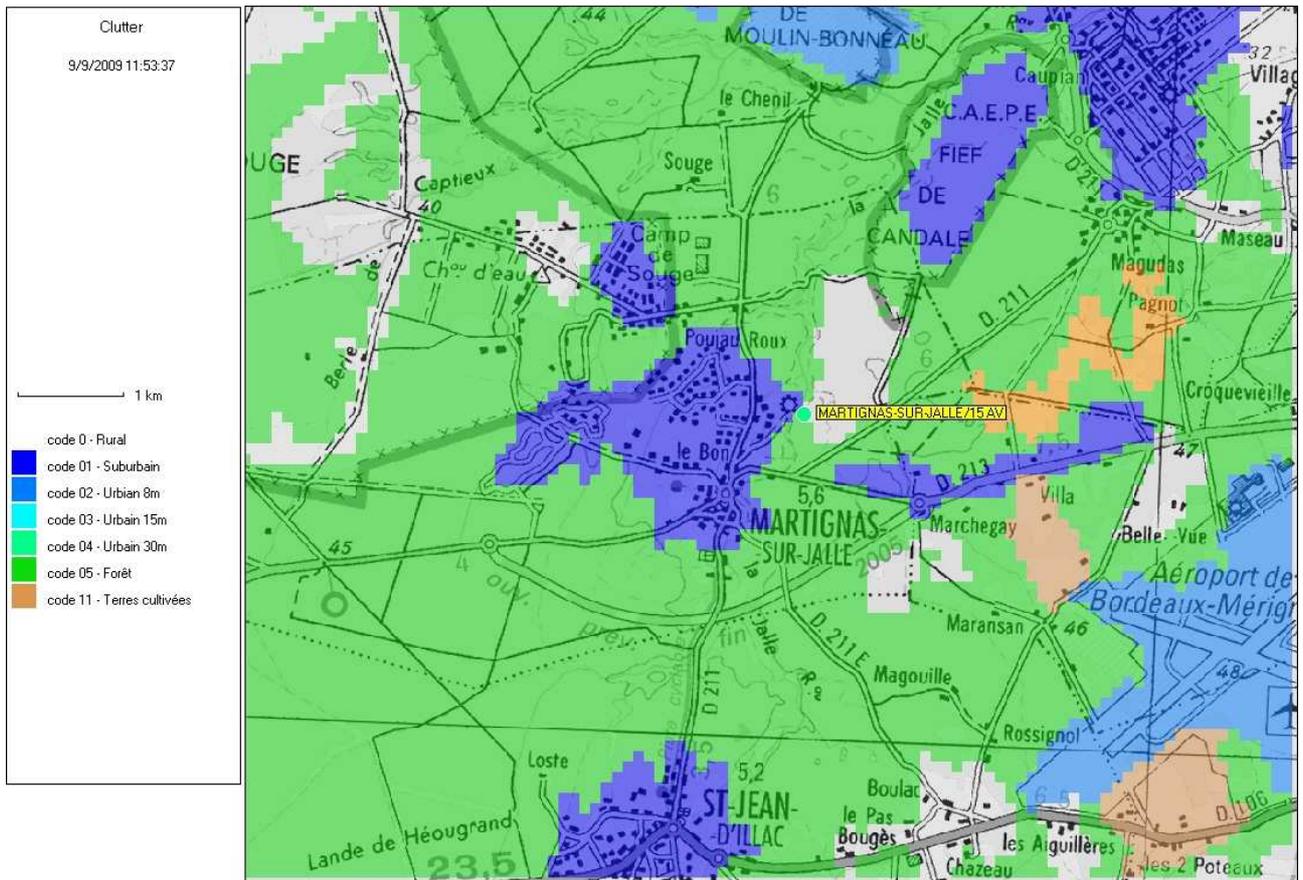
A ground-occupancy type must be specified if the project does not contain a Clutter file (.sol). In this case, the entire specified area will be considered as the chosen ground-occupancy type.

In the case that the project does contain a clutter file, no options are to be specified. ICS-telecom modifies the calculations for every point it encounters in the ground-occupancy file according to the following formulations:

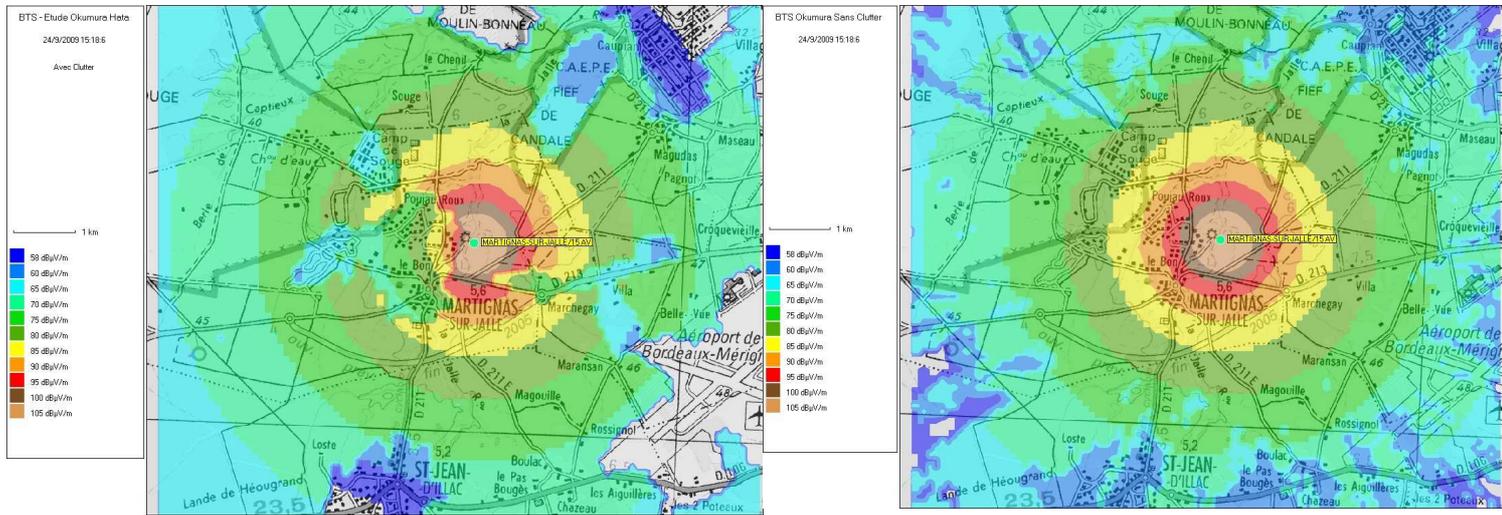
Code 0 (Rural) Rural area
Code 1 (Suburban) Suburban area
Code 2 (Urban) Suburban area
Code 3 (Urban +) Urban area
Code 4 (Urban ++) Urban area
Code 5 (Forest) Rural area
Code 6 (Hydro) Rural area
Code 7 (Urban +++) Urban area
Code 8 (Wooded Rural) .. Rural area
Code 9 (Road) Roads

...»

Une simulation a été réalisée afin de confirmer que la couche « clutter » était bien prise en compte. Sur une zone dont la couche clutter est représentée ci-dessous, la couverture d'une station de base est réalisée selon le modèle Okumura Hata avec et sans la couche clutter.



Couche clutter



Avec Clutter

Sans clutter