

Rapport d'étude du Comité de concertation de Compatibilité Electromagnétique

Coexistence entre les stations terriennes du
service fixe par satellite et le service mobile dans
la bande de fréquences 3 600 – 3 800 MHz

Rédigé par Soraya Contreras

Référence: CCE_2016_01 du 26/10/2016

Table des matières

1.	INTRODUCTION	3
2.	CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	4
2.1.	<i>RÉGLEMENTATION MONDIALE</i>	<i>4</i>
2.2.	<i>RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE.....</i>	<i>4</i>
2.3.	<i>RÉGLEMENTATION SUR LE PLAN NATIONAL.....</i>	<i>5</i>
3.	CARACTERISTIQUES DES SYSTÈMES	6
3.1.	<i>STATIONS TERRIENNES DU SERVICE FIXE PAR SATELLITE</i>	<i>6</i>
3.2.	<i>STATIONS DU SERVICE MOBILE.....</i>	<i>9</i>
4.	PROTECTION DES STATIONS TERRIENNES DU SFS	10
5.	PROPAGATION ET MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN	11
6.	ETUDE DE L'IMPACT D'UNE STATION DE BASE LTE SUR UNE STATION TERRIENNE DU SFS	11
6.1.	<i>CONSIDÉRATIONS SUR LES STATIONS DU SM ET DU SFS.....</i>	<i>11</i>
6.2.	<i>MÉTHODOLOGIE</i>	<i>11</i>
6.3.	<i>PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....</i>	<i>12</i>
7.	ETUDE DE L'IMPACT DE L'EFFET AGRÉGÉ DES STATIONS DE BASE LTE SUR UNE STATION TERRIENNE DU SFS	18
7.1.	<i>CONSIDÉRATIONS SUR LES STATIONS DU SERVICE MOBILE</i>	<i>18</i>
7.2.	<i>MÉTHODOLOGIE</i>	<i>19</i>
7.3.	<i>PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....</i>	<i>20</i>
8	LIMITES DE L'ETUDE.....	40
9	CONCLUSIONS RELATIVES AUX CONDITIONS DE COEXISTENCE.....	40
10	DOCUMENTS DE REFERENCE.....	41

1. INTRODUCTION

Le présent document a pour objectif de présenter les études de coexistence entre les stations terriennes du service fixe par satellite et les réseaux mobiles (LTE) dans la bande de fréquences 3600-3800 MHz. Le rapport définit les conditions techniques pour assurer la protection entre le service mobile des stations du Service Fixe par Satellite (SFS) autorisées et les futures utilisations envisagées pour le service mobile dans la bande 3600-3800 MHz.

La bande 3 600 – 3 800 MHz fait l'objet d'une utilisation par des stations terriennes de réception du service fixe par satellite, limitée géographiquement sur le territoire métropolitain et pour certaines dans le temps. Pour ces dernières, ces conditions seront applicables de façon transitoire jusqu'au terme des autorisations préalablement délivrées dans la bande par l'Arcep avec des échéances en 2017, 2019 et ce jusqu'en 2023.

Le présent rapport est constitué des parties suivantes :

- Rappel du contexte réglementaire
- Identification des caractéristiques des réseaux SFS existant dans la bande 3 600 – 3 800 MHz
- Caractérisation des paramètres représentatifs des futures stations du service mobile
- Etudes de partage dans la bande 3 600 – 3 800 MHz entre le service fixe par satellite existant et le service mobile
- Limites de l'étude
- Conclusions relatives aux conditions de coexistence

2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Le présent rapport vise ainsi à analyser les modalités de coexistence du service fixe par satellite et du service mobile (LTE) dans la bande 3 600 – 3 800 MHz en France en tenant compte du contexte règlementaire explicité ci-après.

2.1. Réglementation mondiale

Dans le Règlement des Radiocommunications de l'UIT dans sa dernière version en date du présent rapport, la bande de fréquence 3 600- 3800 MHz est attribuée au service fixe, service fixe par satellite (espace-vers-Terre) et service mobile en Région 1. Dans les Régions 2 et 3, cette bande est également attribuée au service de radiolocalisation, cependant cette étude ne concerne que la France métropolitaine (Région 1).

Tableau 1 Extrait du tableau d'attribution des bandes de fréquences du règlement des radiocommunications

Attribution aux services		
Région 1	Région 2	Région 3
3 400-3 600 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) Mobile 5.430A Radiolocalisation	3 400-3 500 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) Amateur Mobile 5.431A Radiolocalisation 5.433 5.282	3 400-3 500 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) Amateur Mobile 5.432B Radiolocalisation 5.433 5.282 5.432 5.432A
	3 500-3 700 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) MOBILE sauf mobile aéronautique Radiolocalisation 5.433	3 500-3 600 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) MOBILE sauf mobile aéronautique 5.433A Radiolocalisation 5.433
3 600-4 200 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) Mobile		3 600-3 700 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) MOBILE sauf mobile aéronautique Radiolocalisation 5.435
	3 700-4 200 FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) MOBILE sauf mobile aéronautique	

2.2. Règlementation Européenne

Conformément à l'article 4 (2) de la Décision 676/2002/EC, la Commission a donné un mandat en date du 4 Janvier 2006 à la CEPT pour identifier les conditions relatives à l'harmonisation des bandes de fréquences radio dans l'UE pour l'accès aux services à large bande sans fil. En réponse à ce mandat, la CEPT a publié un rapport (Rapport CEPT 15) qui conclut que le déploiement des réseaux fixes, nomades et mobiles est techniquement réalisable dans la bande de fréquence 3 400-3 800 MHz sur la base des conditions techniques décrites dans les Décision ECC/DEC/(07)02 et dans la Recommandation ECC/REC/(04)05.

Le 21 mai 2008, la Commission Européenne a adopté la Décision 2008/411/CE sur l'harmonisation de la bande de fréquences 3 400 – 3 800 MHz pour les systèmes de Terre permettant de fournir des services de communications électroniques dans la Communauté. L'Article 2 de cette Décision établie que pour le 1er Janvier 2012, les États

membres désignent puis mettent à disposition, sur une base non-exclusive, la bande 3 600 – 3 800 MHz, pour les réseaux de communications électroniques terrestres. Cependant, cette Décision reconnaît d'autres applications existantes dans ces bandes et n'empêche pas l'utilisation future par d'autres systèmes et services auxquels ces bandes sont attribuées conformément au Règlement des Radiocommunications de l'UIT. Les critères de partage pour la coexistence avec d'autres systèmes dans la même bande et dans les bandes adjacentes ont été élaborés par la CEPT et sont donnés dans le Rapport ECC 100. Ce rapport confirme, entre autre, que le partage avec les services par satellite est souvent réalisable compte tenu de l'étendue limitée du déploiement de ces derniers en Europe, des distances de séparation géographiques nécessaires à leur protection et de l'évaluation au cas par cas, en prenant en compte la topographie réelle.

Le 23 mars 2012, la Commission a donné un mandat à la CEPT pour identifier les conditions techniques d'utilisation du spectre dans la bande 3 400 – 3 800 MHz en vue d'accueillir les développements dans la technologie d'accès haut débit sans fil, en particulier avec des canaux large bande, tout en assurant une utilisation efficace du spectre. En réponse à ce mandat, le 8 novembre 2013, la CEPT a publié le Rapport CEPT 49 sur les conditions techniques de l'harmonisation du spectre pour les systèmes hertziens terrestres dans la bande 3 400 – 3 800 MHz. Ce rapport inclut les résultats des études sur les conditions techniques les moins restrictives, les arrangements de fréquences et les principes de coexistence et de coordination entre les applications d'accès haut débit sans fil et les services existants.

Le 2 mai 2014 a été adoptée la Décision 2014/276/EU modifiant la Décision 2008/411/EC sur l'harmonisation de la bande de fréquences 3 400 – 3 800 MHz pour les systèmes de Terre permettant de fournir des services de communications électroniques dans la Communauté Européenne. Cependant, le cadre juridique pour l'utilisation de la bande fixé par la Décision 2008/411/CE reste inchangé et assure la protection continue des autres services existants dans la bande ; en particulier, des systèmes du Service Fixe par satellite (SFS), y compris les stations terriennes qui seraient protégées par les autorités nationales au cas par cas. Les principales modifications apportées à la Décision 2008/411/EC portent sur les paramètres à respecter par les réseaux terrestres dans la bande 3 400 – 3 800 MHz.

En outre, il est rappelé que la protection des radars opérant sous 3 400 MHz et les systèmes de téléphonie mobile au-dessus de 3 400 MHz est traité par le rapport CCE(15)03. Dans ce rapport, il est noté que conformément à la possibilité donnée par la décision européenne 2014/276/EU, des limites d'émissions non désirées sont appliquées aux stations de base LTE pour protéger les récepteurs radars de la Défense opérant en dessous de 3400MHz; la valeur retenue en France est une PIRE de -59dBm/MHz (dans les conditions fixées au cas A du tableau 6 de la Décision Européenne).

2.3. Réglementation sur le plan National

Le tableau national de répartition des fréquences (TNRBF) identifie l'ARCEP comme affectataire exclusif dans la Région 1 bande de fréquence 3600-3800MHz pour les services fixe, fixe par satellite et mobile hors aéronautique.

Tableau 2 Extrait du tableau national de répartition des fréquences TNRBF (édition 2013)

MHz	REGION 1					REGION 2					REGION 3				
	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes
3 600,000							FIX FXE MXA loc	ARCEP DEF	EXCL	5.433 F88a		FIX FXE MXA loc	TTOM DEF	EXCL	5.433 5.433A F88a
		FIX FXE MXA	ARCEP	EXCL	F88a A2										
3 700,000															
3 800,000							FIX FXE MXA	ARCEP	EXCL	F88a		FIX FXE MXA	TTOM	EXCL	F88a
4 200,000		FIX FXE	ARCEP	EXCL			FIX FXE	ARCEP	EXCL						

3. CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES

3.1. Stations terriennes du service fixe par satellite

Etant donné que l'attribution au SFS concerne uniquement la liaison espace-vers-Terre, les caractéristiques des stations terriennes sont prises en compte en réception.

Par ailleurs le nombre limité de telles stations du SFS dans la bande en question et le fait que leurs caractéristiques soient connues, les caractéristiques utilisées ont été définies au cas par cas pour établir les conditions associées à leur protection vis-à-vis des émissions des stations de base du SM (LTE).

La Figure 1 présente la localisation de quelques sites pour lesquels des stations terriennes du SFS sont actuellement en opération dans la bande 3 600 – 3 800 MHz.



Figure 1 Exemple de sites avec des stations terriennes du SFS fonctionnant dans la bande 3 600 – 3 800 MHz

Pour chacun de ces sites, seules les caractéristiques des liaisons dimensionnantes¹, c'est-à-dire les plus sensibles aux brouillages, ont été prises en compte dans l'analyse. Pour deux des sites sur lesquels plusieurs stations sont déployées, la protection de ces dernières est traitée de manière particulière, telle que détaillée ci-après. Dans le cas d'Aussaguel, même si les liaisons sont nombreuses, elles sont toutes établies avec seulement trois satellites. En conséquence, trois ensembles de résultats sont fournis pour ce site, chacun correspondant à la liaison la plus sensible aux brouillages pour le satellite considéré.

Le cas de Bercey sur Othe est moins simple car un nombre significatif de satellites sont utilisés par les systèmes qui y sont installés. La protection du site est donc analysée en prenant en compte les liaisons établies avec les trois satellites correspondant aux positions orbitales suivantes: la plus à l'Est, la plus au sud et la plus à l'Ouest pointées par les

¹ Les paramètres pris en compte pour déterminer les liaisons dimensionnantes de chacun des sites SFS analysés sont l'angle d'élévation de la station terrienne, la largeur de bande et la température de bruit de l'antenne.

stations terriennes de ce site. On considère alors que ces trois liaisons dimensionneront l'arc Est-Sud-Ouest pour lequel des contraintes devront être imposées pour protéger l'ensemble des stations terriennes de ce site. L'arc Est-Sud-Ouest est illustré dans la Figure 2 ci-dessous.

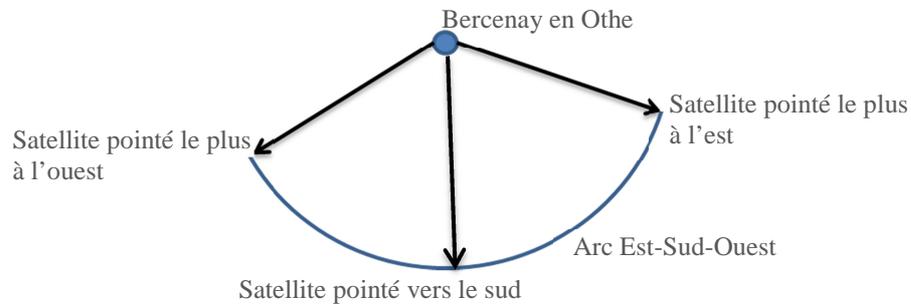


Figure 2 Région sur laquelle les conditions de protection sont déterminées sur la base des liaisons dimensionnantes (Est, Sud et Ouest) pour la station de Bercenay en Othe

Le diagramme d'antenne de réception des stations du SFS est détaillé dans l'Annexe 2 de ce rapport. La Figure 3 ci-dessous montre un exemple du diagramme généré pour un gain maximal de 49,2 dBi.

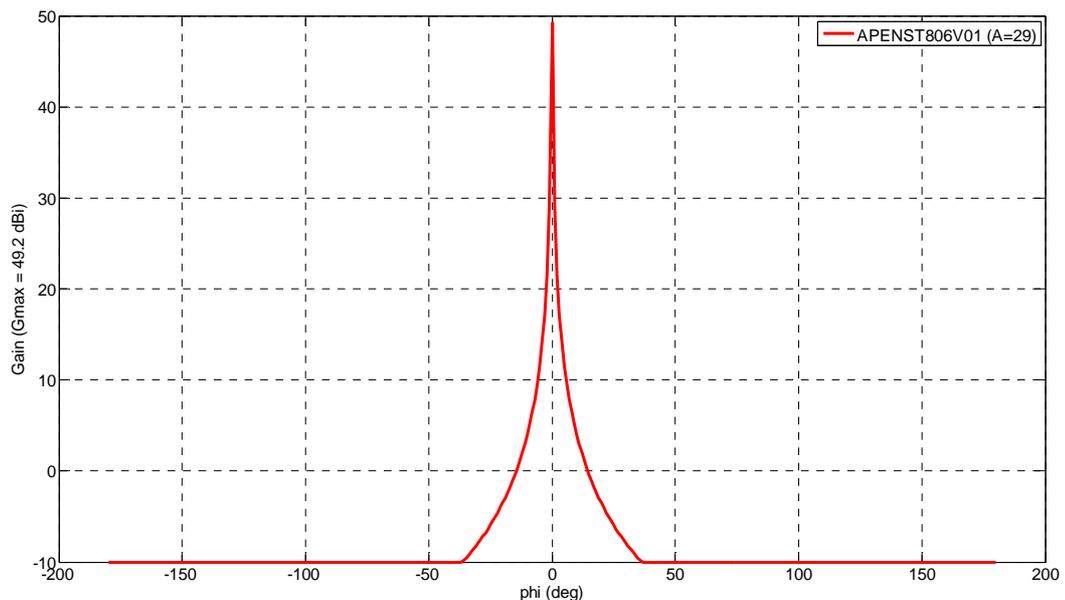


Figure 3 Exemple de diagramme d'antenne de réception d'une station terrienne avec gain maximal de 49,2 dBi

L'ensemble des caractéristiques des liaisons prises en compte dans l'étude sont présentées dans le Tableau 3. Une représentation graphique du spectre utilisé par chacune des stations est également fournie dans la Figure 4.

Tableau 3 Caractéristiques représentatives des stations terriennes considérées dans l'étude

Site	Coordonnées		Hauteur AGL		Orientation antenne		Antenne		Diagramme d'antenne	BW max (MHz)	T de bruit (K)	Puissance bruit thermique (dBW)	Fréquences utilisées (MHz)
	Long (DMS)	Lat (DMS)	Site (m)	Ant (m)	Azimut (°)	Elev (°)	D (m)	Gain (dBi)					
Aussaguel Inm-3 E	1° 30' 03''	43° 25' 45''	204	207	204°	37.1		49.2	Annexe 2	10	71	-140,09	3600 – 3629
Aussaguel Inm-3 W	1° 30' 03''	43° 25' 45''	204	207	245.5°	15.2		49.2	Annexe 2	10	71	-140,09	3600 – 3629
Aussaguel Inm-3 IOR	1° 30' 03''	43° 25' 45''	204	207	109.3°	10.7		49.2	Annexe 2	10	71	-140,09	3600 – 3629
La Ciotat	5° 35' 58''	43° 12' 04''	91	95	151.5 0	36	4.5	43.5	Annexe 2	1.4	62	-149,22	3783 – 3785
Frejus-2	6° 43' 55''	43° 27' 54''	35	39	218.5 0	32.2	7.3	47.6	Annexe 2	3	84	-144,59	3773 – 3777
Lognes	2° 38' 34''	48° 50' 18''	92	93	125.7 0	18.8	3.8	41.9	Annexe 2	0.65	68	-152,15	3783 – 3785
Lognes Infotel	2° 38' 34''	48° 50' 18''	92	105	222	25.1		47	Annexe 2	0.78	77	-150,82	3735 – 3737
Bercenay E	3° 53' 10''	48° 13' 24''	183	186	116°	3.5		59.3	Annexe 2	72	72	-131,45	3629 – 3808
Bercenay S	3° 53' 10''	48° 13' 24''	183	186	181°	34.6	13	54	Annexe 2	50	100	-140,08	3700 – 3808
Bercenay W	3° 53' 10''	48° 13' 24''	183	186	226.7°	23.5		59.3	Annexe 2	72	72	-131,45	3629 – 3808
S Assise 2 42	2° 33' 35''	48° 33' 03''	77	78	197.8 5	32.7	4.5	42.7	Annexe 2	36	100	-133,04	3657 – 3693
S Assise 2 43	2° 33' 35''	48° 33' 03''	77	78	190	33.8	4.5	42.7	Annexe 2	36	100	-133,04	3709 - 3745
Lannion A30	-3° 28' 21''	48° 44' 59''	85	88	182	34	2.4	37.6	Annexe 2	15	40	-140,82	3724 – 3740

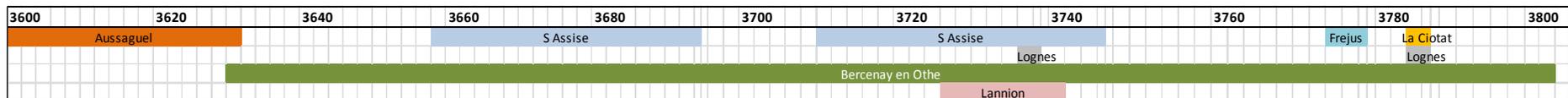


Figure 4 Représentation graphique de l'utilisation du spectre par les stations terriennes du SFS

3.2. Stations du service mobile

Le présent paragraphe fournit les caractéristiques des stations du service mobile prises en compte dans l'étude. Etant donné que la puissance d'émission et la hauteur sont bien plus importantes pour une station de base que pour un terminal d'utilisateur et qu'un plan TDD est prévu pour cette bande de fréquence, il est considéré que si les stations du SFS sont protégées des émissions des stations de base du SM, elles le sont aussi des émissions des terminaux d'utilisateur. Ceci a été montré par plusieurs études conduites à ce sujet².

Le Tableau 4 présente les caractéristiques des stations de base utilisées pour l'étude du brouillage induit par un seul émetteur.

Tableau 4 Caractéristiques des stations de base du SM

Paramètre	Valeur	Référence
Mode de duplexage	TDD	2014/276/UE
Bande d'opération E-UTRA 43 (MHz)	3600 - 3800	ETSI TS 136 104 V11.4.0 (2013-04)
Largeur de bande de canal (MHz)	20	ETSI TS 136 104 V11.4.0 (2013-04)
Gain antenne max (dBi)	18 (site à 3 secteurs)	ITU-R Rep. M. 2292
p.i.r.e. maximale par secteur (dBm/20 MHz) ¹	74 (macro)	2014/276/UE
Polarisation de l'antenne	Linéaire, $\pm 45^\circ$	ITU-R Rep. M. 2292
Discrimination de polarisation vis-à-vis la réception des stations du SFS (dB)	3	Polarisation linéaire dans l'émission du SM et circulaire dans la réception du SFS
Diagramme d'antenne (macro-cellule)	Rec. ITU-R F.1336 ²	ITU-R Rep. M. 2292
Hauteur d'antenne (AGL) ³ (m)	40	Valeur retenue pour l'étude
Limite densité puissance domaine des rayonnements non essentiels	-30 dBm/1MHz	Rec. UIT-R SM. 329-12 (Tableau 3)

¹ Dans la décision communautaire, la limite de puissance (p.i.r.e.) intrabloc est facultative. Cependant, au cas où une administration souhaite imposer une limite supérieure, la valeur utilisée ne doit pas dépasser 68 dBm/5 MHz par antenne.
² Le diagramme d'antenne correspondant aux stations de base sectorisées dans la gamme de fréquences 400 MHz – 6 GHz pour le cas de « peak-side lobe » donné dans la section 3.1.1 de la Recommandation peut être utilisé avec les paramètres suivants : $k_a = 0.7$, $k_p = 0.7$, $k_n = 0.7$, $k_v = 0.3$, angle -3 dB (horizontal) = 65° .
³ agl: above ground level

Les masques d'émission des blocs LTE sont également considérés. Dans la norme 3GPP TS 136 104 (version 11.4.0), les gabarits sont donnés pour plusieurs types de station de base selon leur dimension et leur catégorie (A ou B). Seuls les masques correspondant aux stations de Catégorie B sont pris en compte car ce sont ceux qui s'appliquent en Europe. D'autre part, la Décision 2014/276/EU définit des masques d'émission différents de ceux spécifiés par la norme 3GPP TS 136 104. L'application de ces masques dépend du fait que les réseaux mobiles soient synchronisés ou pas. Les Figures 5 et 6 permettent de comparer les masques correspondant aux stations de base du type macro et micro cellule spécifiées dans les deux documents.

² Rapport ECC 100, Rapport ITU-R S.2199, Etude complémentaire de compatibilité entre accès hertzien large bande (BWA) et service fixe par satellite (SFS) dans la bande 3,6 - 3,8 GHz disponible sur le site de l'ANFR : www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/etudes/RapportBWA_FSS_3%207GHZ_CCE.pdf

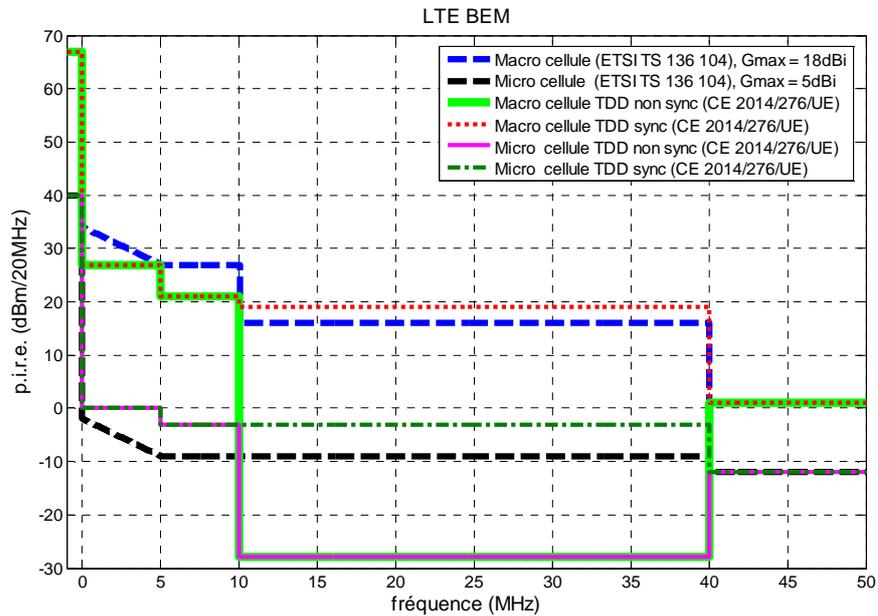


Figure 5 Masques d'émission des blocs LTE

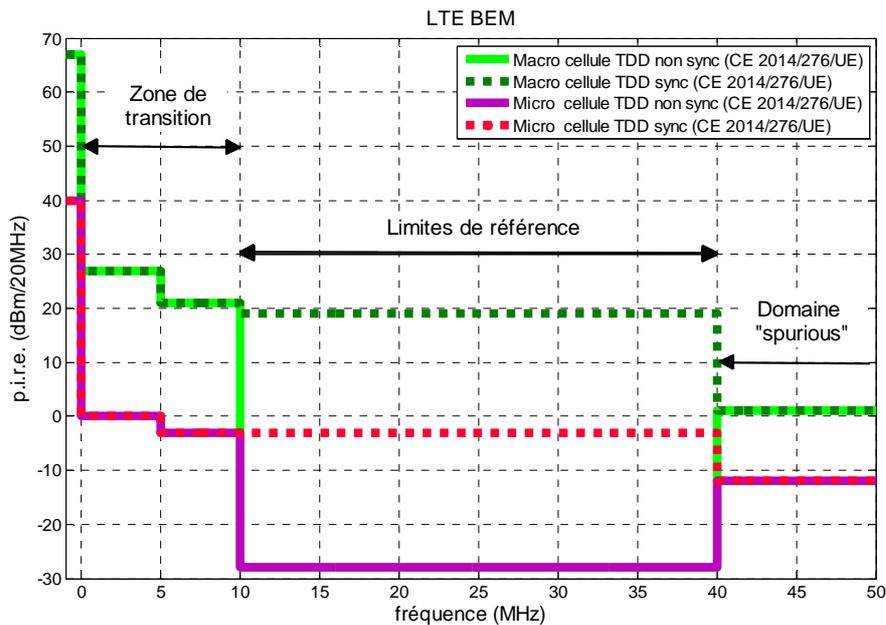


Figure 6 Détails masques émission (BEM) des stations de base LTE associés à la Décision 2014/276/EU

Seuls les masques spécifiés dans la Décision communautaire et détaillés dans la Figure 6 sont pris en considération dans l'étude.

4. PROTECTION DES STATIONS TERRIENNES DU SFS

La protection des stations terriennes du SFS est traitée dans les Recommandations UIT-R S.1432-1 et UIT-R SF. 1006. Le critère de protection long terme du SFS est défini par un rapport I/N de -10 dB à respecter pendant 20% du temps d'un mois quelconque.

Par ailleurs, le critère de protection court terme est défini dans la Recommandation UIT-R SF. 1006 par un rapport I/N de -1.3 dB pendant $0,005/n_2$ % du temps (n_2 étant le nombre de brouilleurs). Dans ce cas, le pourcentage de temps

associé à ce dernier est 0,0016% d'un mois quelconque. Le critère de protection court-terme est souvent utilisé pour la détermination des zones de coordination.

Pour information, l'Annexe 1 fournit des exemples de l'évaluation d'impact de brouillages agrégés sur la base des critères issus des Recommandation UIT-R S.1432 (critère de protection long-terme) et ITU-R SF.1006 (critère de protection court-terme). Toutefois, le CCE a jugé que ces critères étaient trop sévères et a retenu à titre de compromis un pourcentage de temps de 5% d'un mois quelconque associé à un rapport I/N de -8,2 dB pour l'ensemble des études "single entry" et brouillage agrégé.

5. PROPAGATION ET MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

Le modèle utilisé pour la simulation des pertes de propagation est celui de la Recommandation UIT-R P. 452-14, prenant en compte le pourcentage du temps de 5%, spécifié dans le paragraphe précédent.

La prise en compte du sursol est basée sur les données SRTM issues de la NASA, utilisées pour mener l'étude. Le choix de ce modèle de terrain impose les limitations expliquées dans la Section 8 de ce rapport. Les cartes iso-pires fournies comme résultat de l'analyse d'un seul brouilleur sont générées avec des données SRTM ayant une résolution de 90 m. Par contre, la résolution est améliorée jusqu'à 30 m pour l'étude de l'effet du brouillage agrégé, en utilisant la version SRTM 1 Arc-Second Global³.

6. ETUDE DE L'IMPACT D'UNE STATION DE BASE LTE SUR UNE STATION TERRIENNE DU SFS

Dans cette première analyse, l'objectif est d'étudier l'effet d'un seul brouilleur (station de base) sur chacune des stations terriennes qui est à protéger. Pour ce faire, il est proposé de tracer des régions autour des stations terriennes du service fixe par satellite (SFS) dans lesquelles les niveaux de p.i.r.e. émis par une station du service mobile (SM) sont limités à une certaine valeur, afin de protéger les stations du SFS. Les régions dans lesquelles de tels niveaux de p.i.r.e. (ou de champ) ont la même valeur sont nommées des « iso-p.i.r.e. » ou régions à p.i.r.e. constante. Ceci permet de visualiser les conditions de partage entre les stations terriennes du SFS et des stations de base du service mobile (LTE) dans la bande 3 600 – 3 800 MHz pour le cas où le critère de protection de la station SFS soit à respecter par une seule station de base LTE.

6.1. Considérations sur les stations du SM et du SFS

Dans la méthodologie pour générer les cartes d'iso-pires toute l'analyse est basée sur la puissance de brouillage maximale tolérée par la station victime, c'est-à-dire, la station terrienne du SFS. Par conséquent, le seul paramètre relevant du brouilleur, dans ce cas la station du SM, est son hauteur par rapport au sol. La valeur retenue pour cette analyse est de 40 mètres (macro-cellule).

Les caractéristiques des stations terriennes du SFS, sont celles décrites dans la Section 3.1.

6.2. Méthodologie

L'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible pour la protection de la station terrienne est donné par la formule suivante:

$$L_b(p\%) = P_t + G_t(\theta_t) - (P_i - G_r(\theta_r))$$

Où:

P_t : puissance de la station de base du LTE (dBW)

P_i : puissance maximale admissible provenant du brouilleur (station LTE) permettant de respecter le critère de protection du SFS.

$G_t(\theta_t)$: gain de l'antenne de la station de base LTE dans la direction de la station terrienne (dBi)

$G_r(\theta_r)$: gain de l'antenne de la station terrienne dans la direction de la station de base LTE (dBi)

³ Pour tous les détails, voir SRTM_paper.pdf, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>

La valeur de p.i.r.e. (puissance isotrope rayonnée équivalente) qui ne doit pas être dépassée par la station de base pour respecter le critère de protection est donc donnée par :

$$p.i.r.e. (\theta_t) = L_b(p\%) + (P_i - Gr(\theta_r))$$

La méthodologie pour calculer l'affaiblissement de transmission et les gains d'antenne dans la direction du trajet de propagation est détaillée dans la Recommandation UIT-R P. 452-14, en utilisant le modèle numérique de terrain indiqué dans la section 5.

Afin de tenir compte de la différence de largeurs de bande entre l'émetteur et le récepteur, il est nécessaire de calculer le rapport entre celles-ci et l'inclure dans l'équation pour le calcul de la p.i.r.e. de la manière suivante :

$$p.i.r.e. (\theta_t)|_{Br} = L_b(p\%) + ((10 \log(k T_r B_r) + (I/N)) - Gr(\theta_r)) + 10 \log (B_t/B_r)$$

où B_r et B_t représentent la largeur de bande du récepteur (station SFS) et de l'émetteur (station de base LTE), respectivement. D'autre part, T_r représente la température de bruit équivalent du récepteur et k , la constante de Boltzmann.

6.3. Présentation des résultats

Les figures des « iso-p.i.r.e. » sont générées pour des pourcentages de 5% du temps (d'un mois quelconque) associés au critère de protection $I/N = -8,2$ dB des stations terriennes du SFS. Les figures fournies permettent de visualiser les contraintes associées à une seule station de base fonctionnant à proximité de la station terrienne à protéger.

Le niveau de p.i.r.e. indiqué pour chacune de ces régions représente la limite à respecter par une station de base du SM qui émet dans la direction de la station du SFS en question. A partir de ces figures il est possible de déduire les conditions d'opération d'une station de base à proximité du site analysé, et plus particulièrement des couples distance-p.i.r.e. maximale dans la direction de la station du SFS pour une hauteur d'antenne de la station du SM donnée. Une analyse de la section 8, qui aborde les limites de l'étude, permet une meilleure interprétation des résultats.

Les unités de l'échelle à droite de toutes les figures de cette section est donnée en dBm/20 MHz.

6.3.1. La Ciotat

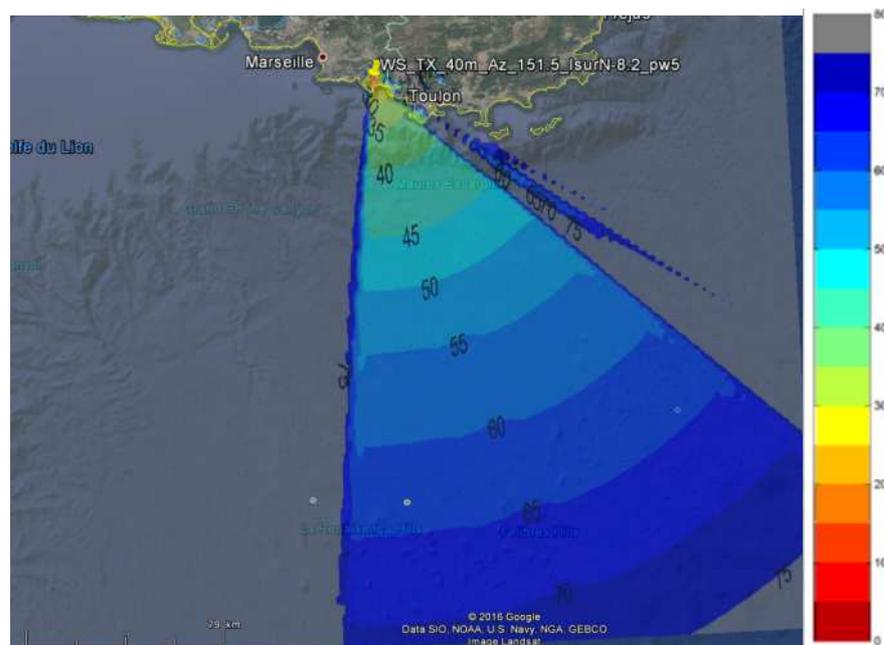


Figure 7 Niveaux iso-p.i.r.e. La Ciotat

6.3.2. Bercenay

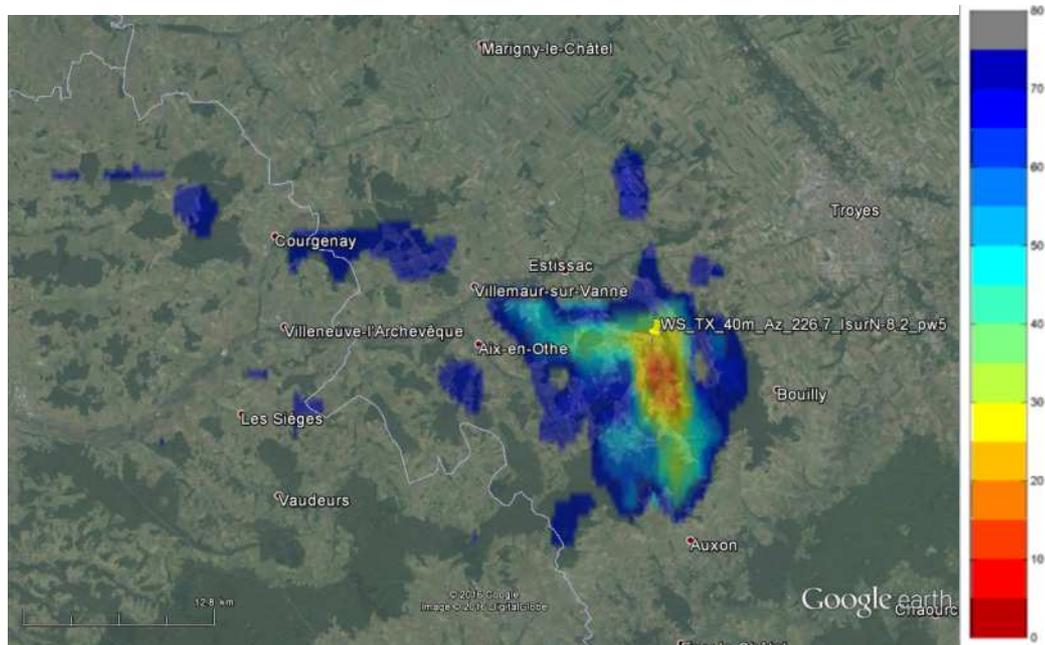


Figure 8 Niveaux iso-p.i.r.e. Bercenay Ouest (226°)

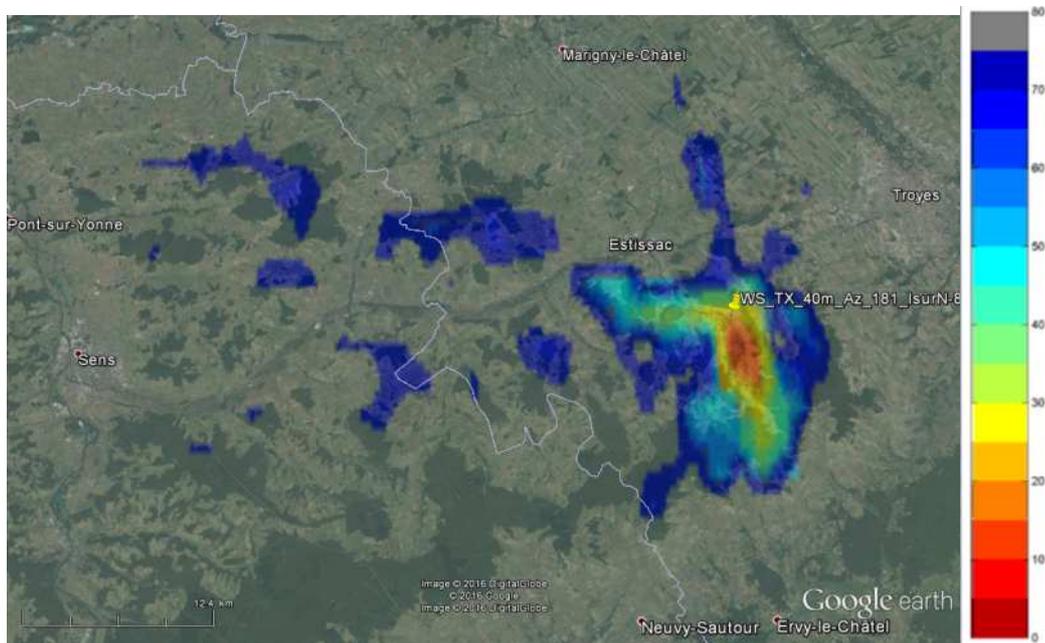


Figure 9 Niveaux iso-p.i.r.e. Bercenay Sud (181°)

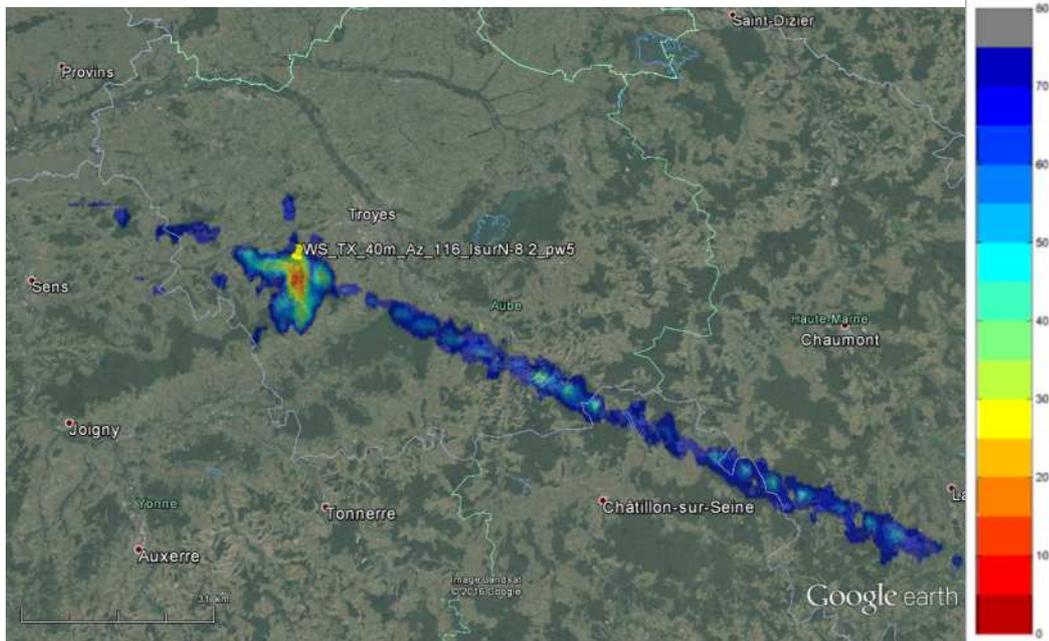


Figure 10 Niveaux iso-p.i.e. Bercenay Est (116°)

6.3.3. Aussaguel

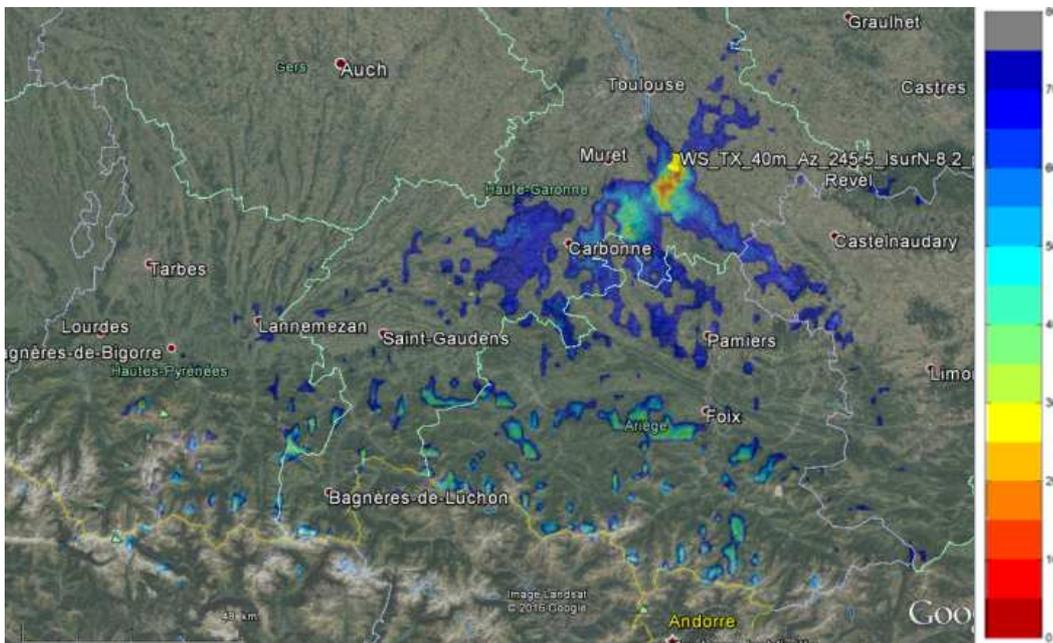


Figure 11 Niveaux iso-p.i.e. Aussaguel Inm-3 W (245.5°)

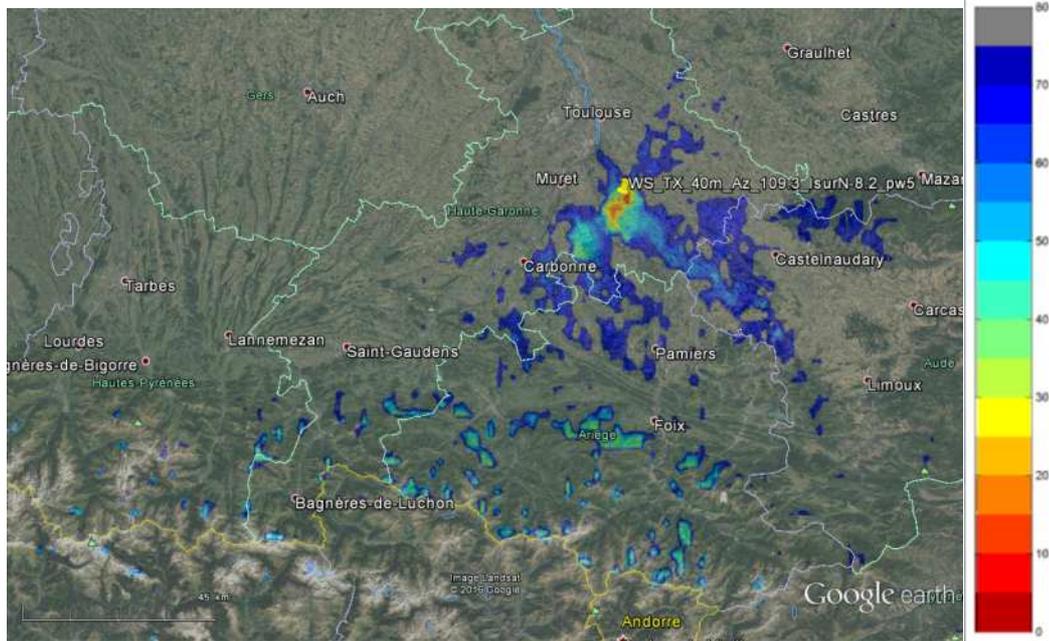


Figure 12 Niveaux iso-p.i.e. Aussaguel Inm-3 IOR (109°)

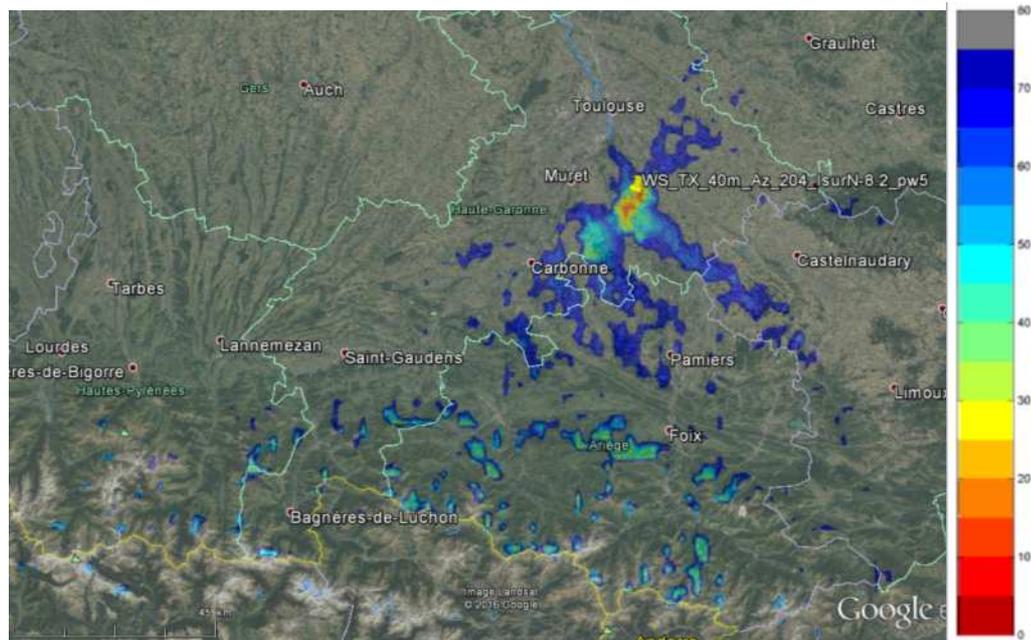


Figure 13 Niveaux iso-p.i.e. Aussaguel Inm-3 E (204°)

6.3.4.Lannion

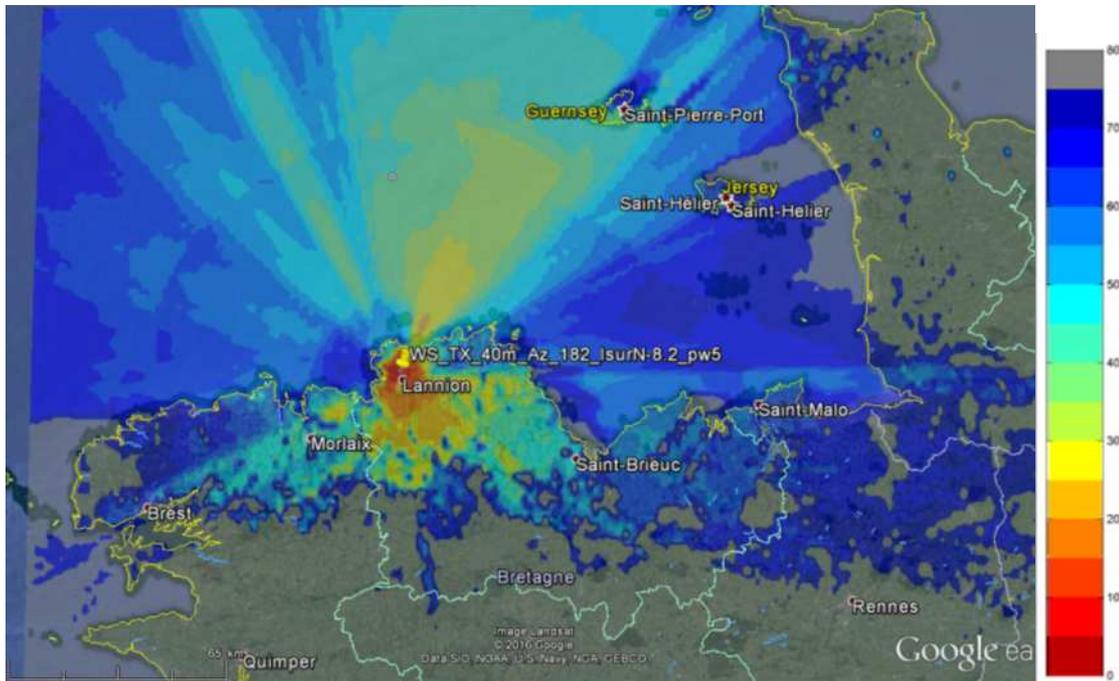


Figure 14 Niveaux iso-p.i.r.e. Lannion

6.3.5.Fréjus-2

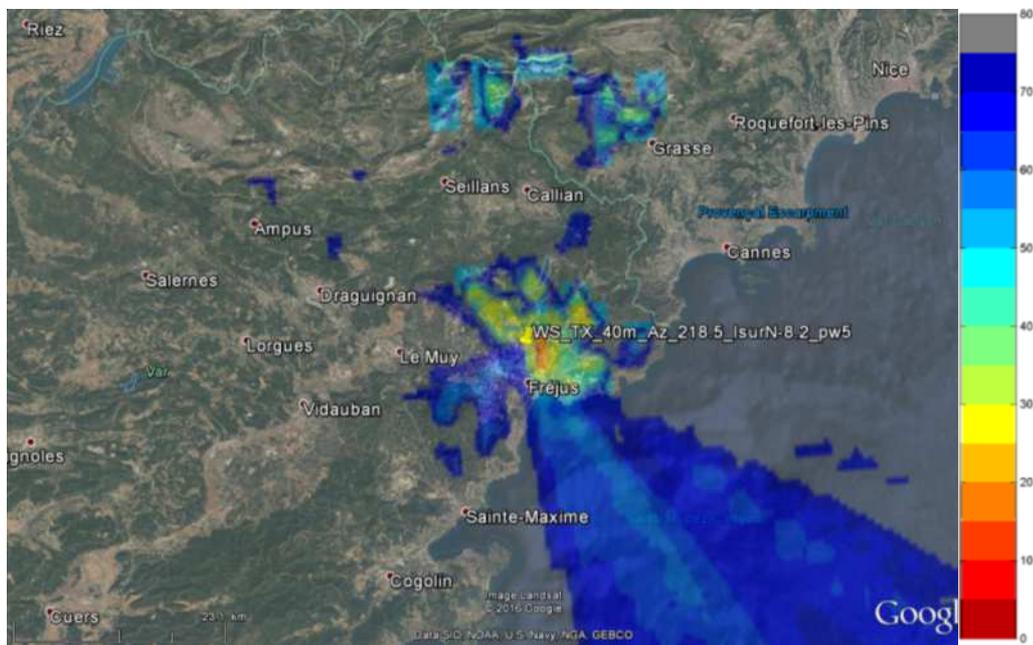


Figure 15 Niveaux iso-p.i.r.e. Fréjus-2

6.3.6. Lognes

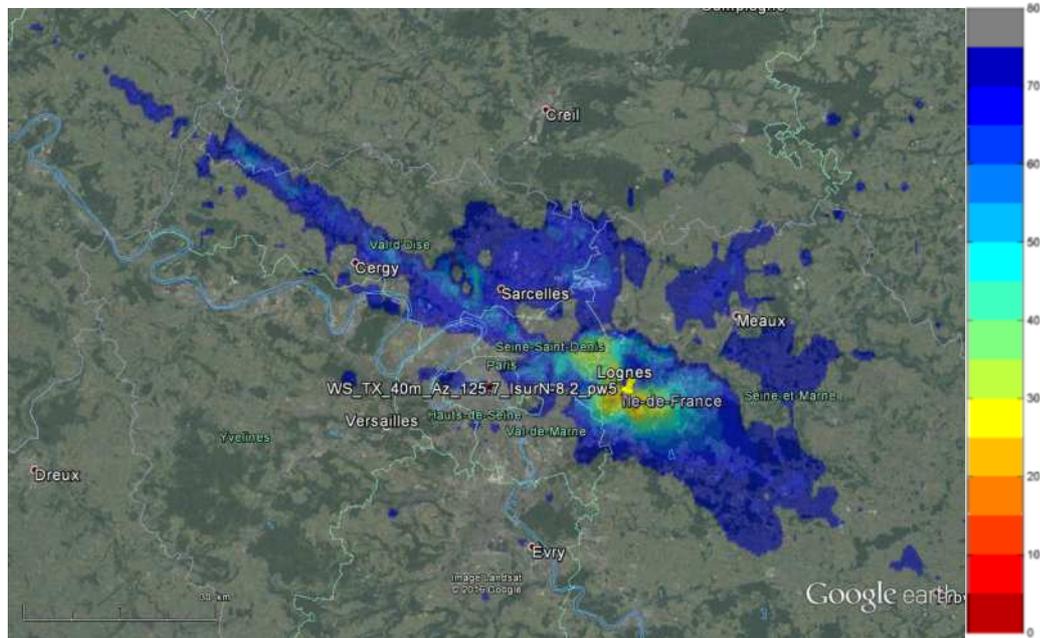


Figure 16 Niveaux iso-p.i.r.e. Lognes

6.3.7. Lognes Infotel

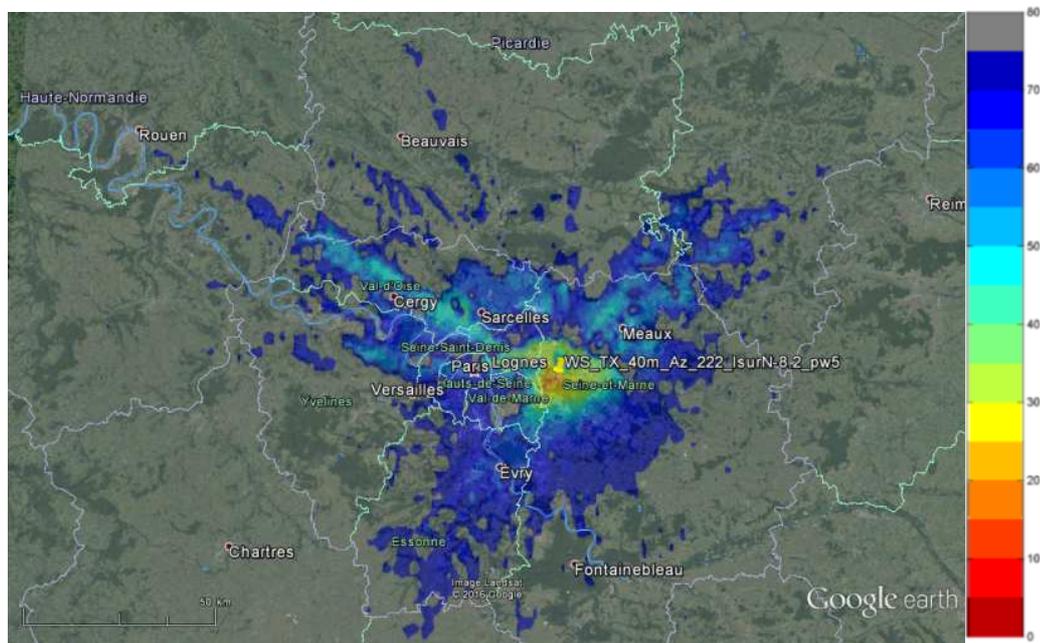


Figure 17 Niveaux iso-p.i.r.e. Lognes Infotel

6.3.8. Saint Assise

La figure présentée pour ce site correspond à la liaison désignée S Assise 2 42 dans le Tableau 3; les résultats sont équivalents à ceux qui correspondent à la liaison S Assise 2 43 dans le même tableau.

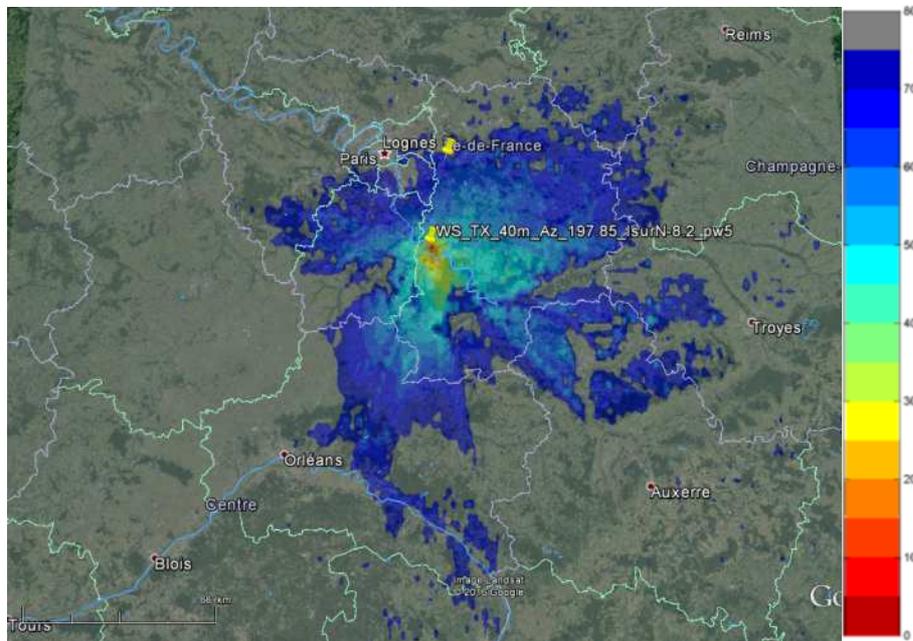


Figure 18 Niveaux iso-p.i.r.e. Saint Assise

7. ETUDE DE L'IMPACT DE L'EFFET AGREGÉ DES STATIONS DE BASE LTE SUR UNE STATION TERRIENNE DU SFS

Cette section traite de l'évaluation de l'effet agrégé des émissions des stations de base sur les stations terriennes du SFS. Cependant, l'absence des connaissances du futur déploiement et des statistiques d'émission (temps, puissance) des stations de base du LTE dans cette bande de fréquences conduit à prendre en compte une configuration existante et des hypothèses simplificatrices pour la modélisation du réseau mobile. Ainsi il a été convenu que l'effet de l'agrégation serait étudié sur la base du déploiement actuel de l'opérateur mobile disposant sur le territoire du plus grand nombre de sites fonctionnant dans une bande dont les caractéristiques de déploiement sont jugées le plus proches possible de celles de la bande étudiée et certaines caractéristiques techniques comme le tilt sont fixées en fonction de la classification de leur environnement (urbain, suburbain ou rural). Par conséquent, les résultats sont associés à des exemples de déploiement pour les sites LTE identifiés dans l'étude et en cas d'augmentation significative du nombre de sites LTE, les résultats de l'étude en effet agrégé serait impacté en conséquence.

7.1. Considérations sur les stations du service mobile

Les sites considérés dans l'analyse de l'effet agrégé sont ceux répertoriés sur la base de données Cartoradio et exploités par l'opérateur mobile retenu dans la bande de 2 GHz. La réutilisation de fréquences du LTE conduit à considérer que tous les secteurs fonctionnent en co-canal avec la station du SFS à protéger.

Etant donné que les informations sur le tilt ne sont pas fournies systématiquement par l'opérateur et que dans les cas où elles sont fournies, elles correspondent uniquement au tilt mécanique, le tilt pris en compte dans l'étude n'est pas celui répertorié sur Cartoradio. La valeur de ce paramètre est une valeur typique appliquée en fonction de l'environnement comme suit : un down-tilt de 8° pour l'environnement urbain, de 4° pour l'environnement sub-urbain et de 3° pour des zones rurales. Le tableau 5 présente les caractéristiques des stations du SM pour cette étude du brouillage agrégé.

En outre, il est difficile de juger à cette stade que les statistiques de trafic des réseaux actuellement déployées dans d'autres bandes de fréquences et avec des densifications diverses soient applicables à un futur réseau fonctionnant dans la bande de fréquences analysée. Par conséquent, le moyen utilisé pour refléter l'activité du réseau en fonction du trafic est l'utilisation des niveaux de puissance d'émission différents pour chaque un des secteurs installés sur un site. Ceci est valable pour 100% du temps car, seulement le temps de transmission downlink (stations de base vers mobiles) est considéré. Chaque site aurait une répartition de puissance comme suit :

- un secteur à puissance maximale,
- un secteur à puissance maximale – 3 dB (charge moyenne de trafic)
- un secteur à puissance maximale – 10 dB (secteur qui ne véhicule pas de trafic, seulement de la signalisation)

Dans le cas où le site n'intègre que deux secteurs, il est supposé qu'un secteur fonctionne à puissance maximale et l'autre secteur à puissance maximale – 3 dB.

Tableau 5 Caractéristiques des stations de base du SM considérées pour l'étude du brouillage agrégé

Paramètre	Valeur	Commentaires
Localisation, azimut	Variable	Fournie par Cartoradio
Tilt	– 8°, – 4°, – 3°	respectivement urbain, suburbain, rural
Hauteur d'antenne (m)	Variable, supérieur à 10m	Fournie par Cartoradio
Largeur de bande de canal (MHz)	20	Valeur retenu pour l'étude par la CCE
Secteurs par site	Entre 1 et 3	Fournie par Cartoradio
Polarisation	±45°	Source : ITU-R Rep. M. 2292
Gain maximale d'antenne (dBi)	18 (sites à 2, 3 secteurs) 5 (sites mono-secteur)	Source : ITU-R Rep. M. 2292
Diagramme d'antenne	Rec. ITU-R F.1336 ² , Omni	Rec. ITU-R F.1336 ² pour sites multi-secteur (ITU-R Rep. M. 2292), Omni pour sites mono-secteur.
p.i.r.e. maximale par secteur (dBm/20 MHz)	74 (multi-secteur), 61 ⁴ (mono-secteur)	Dans la décision communautaire, la limite de puissance (p.i.r.e.) intrabloc est facultative. Au cas où une administration souhaite imposer une limite supérieure, la valeur utilisée ne doit pas dépasser 68 dBm/5 MHz par antenne.
Réduction de polarisation de la puissance maximale (dB)	3	La puissance maximale est exprimé par secteur, chaque secteur présente deux polarisations.

7.2. Méthodologie

La méthodologie pour calculer l'affaiblissement de transmission et les gains d'antenne dans la direction du trajet de propagation est celle détaillée dans la Recommandation UIT-R P. 452-14, en utilisant le modèle numérique de terrain indiqué dans la Section 5 de ce rapport et le même pourcentage de temps pour les critères de protection court terme et long terme (5%). Sur la base de ces résultats, l'algorithme d'analyse est divisé en deux étapes :

- **Etape 1:** Calcul de la puissance reçue par la station terrienne depuis chacun des secteurs du SM localisé à moins de 200 km. Une fois ces niveaux de puissance sont calculés, les secteurs dépassant individuellement le niveau de bruit toléré par la station SFS sont identifiés et ensuite, éliminés du calcul de la puissance de bruit agrégée.
- **Etape 2:** Si la valeur de puissance agrégée calculée dans l'étape 1 dépasse le critère de protection de la station terrienne, le secteur contribuant le plus à cette puissance est identifié. La puissance agrégée est à nou-

⁴ p.i.r.e. maximale pour sites mono-secteur : 61 dBm/20 MHz (74 dBm/20 MHz -18 dBi + 5 dBi)

veau calculée en excluant le secteur identifié précédemment et cette procédure continue jusqu'à ce que le critère de protection de la station SFS soit respecté. La figure 19 ci-dessous illustre l'étape 2 de l'algorithme.

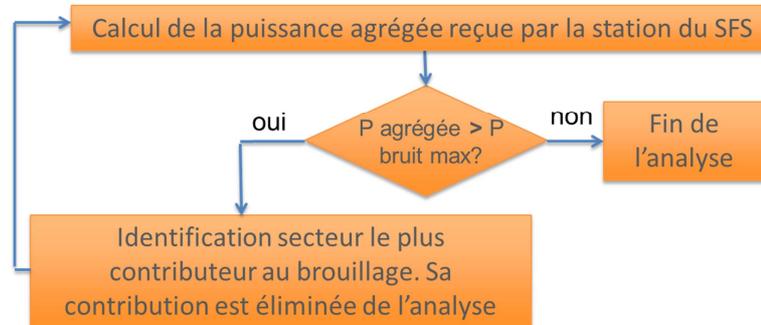


Figure 19 Etape 2 de l'algorithme utilisé pour l'analyse de l'effet de brouillage agrégé

Des exemples d'analyses co-canal sont présentés en prenant en compte le même niveau de puissance d'émission maximale pour chacune des stations de base. Enfin, pour le site de Lannion, un exemple d'analyse en bande adjacente en utilisant le même niveau de puissance d'émission maximale pour chacune des stations de base est également présenté.

7.3. Présentation des résultats

Les exemples des résultats de l'étude de la puissance agrégée sont fournis sous forme de cartes où les stations de base sont représentées par des cercles colorés. Chaque cercle correspond à un site mais un site peut contenir un, deux ou trois secteurs. Par contre, les statistiques associées à chaque figure sont bien données en nombre de secteurs.

Les cercles rouges représentent les secteurs qui dépassent individuellement le critère de protection de la station terrestre et qui sont donc exclus du calcul de la puissance de bruit agrégée dans l'étape 1 de l'algorithme (voir section 7.3). Les cercles verts correspondent aux secteurs qui ont été exclus du calcul de la puissance de bruit agrégé dans l'étape 2 de l'algorithme afin de satisfaire le critère de protection de la station terrestre. Enfin, les cercles bleus représentent les sites pour lesquels aucune restriction n'est nécessaire. Du fait de la difficulté de représenter chacun des secteurs indépendamment, un site est coloré comme ayant des restrictions (rouge ou vert) même si un seul des secteurs est impacté par lesdites restrictions.

7.3.1 Bercenay

La largeur de bande représentative des récepteurs de Bercenay (72 MHz et 50 MHz) est très supérieure à la largeur de bande d'un canal du SM (20 MHz). La puissance de brouillage reçue par ces liaisons SFS est calculée sur une largeur de bande de 20 MHz, ce qui suppose qu'en pratique toutes les stations de base fonctionnant dans les autres canaux qui chevauchent la bande de réception sont actives simultanément et que le déploiement des réseaux du SM est comparable à celui qui a été simulé (nombre de sites et de secteurs, modèle de trafic, etc).

Bercenay Ouest (225°)

La figure suivante présente les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Concernant ce dernier calcul, se référer à la section 8 qui développe les implications de prendre en compte ce pourcentage de temps. Par ailleurs, la section 8 fourni aussi des précisions sur d'autres limitations de cette étude.

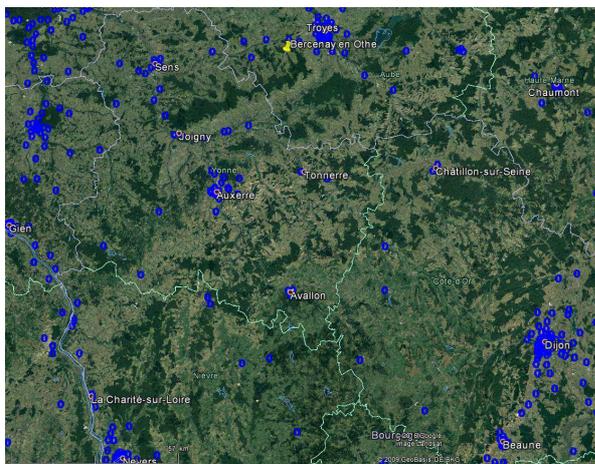


Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
0	9872	-117.18	-115.2	+1.98	0

Figure 20 Exemple des résultats d'agrégation pour Bercenay Ouest, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Bercenay Sud (181°)

La figure suivante présente les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz. L'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé.



Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
0	9872	-116.55	-117.77	-1.22	1

Figure 21 Exemple des résultats d'agrégation pour Bercenay Sud, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Bercenay Est (116°)

La figure suivante présente les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz. L'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé.



Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection
0	9872	-116.29	-115.2	+1.08	0

Figure 22 Exemple des résultats d'agrégation pour Bercenay Est, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

7.3.2 Aussaguel

La figure 23 ci-dessous présente le type d'environnement utilisé pour les stations de base à proximité de Toulouse. Cette classification détermine la valeur de tilt utilisée dans les simulations. Les cercles jaunes représentent les sites ruraux (tilt de -3°) ; les cercles orange représentent les sites suburbains (tilt de -4°) et les cercles violets les sites urbains (-8°). Ces conditions ont été utilisées pour les analyses du site d'Aussaguel où la puissance maximale ne dépend pas de l'environnement du site.

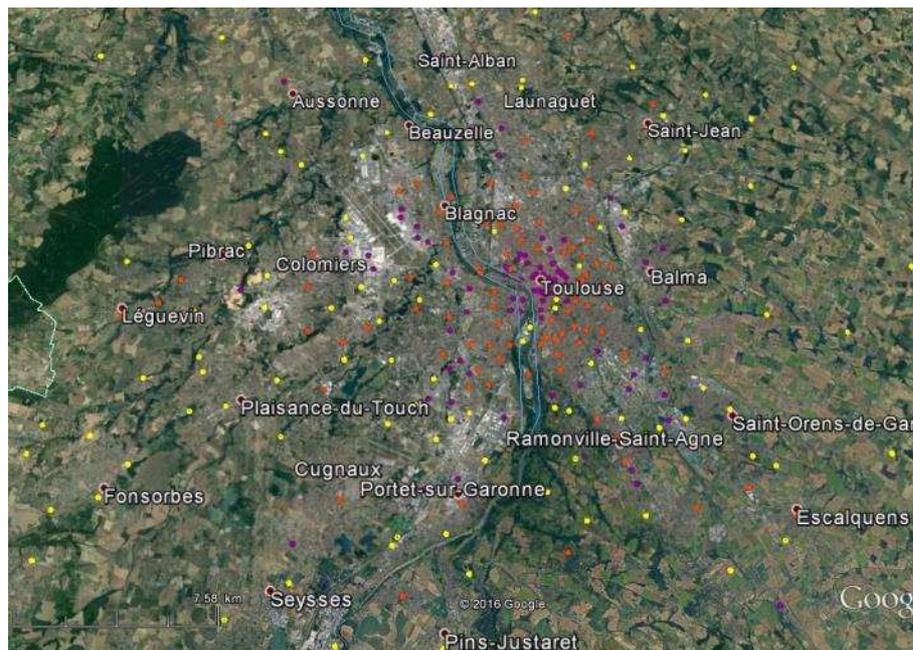


Figure 23 Classification des sites autour de Toulouse (urbains, suburbains, ruraux)

Aussaguel INM-3 Ouest (245,5°)

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Pour plus de précisions sur ce dernier calcul, se référer à la section 8 qui développe les implications de prendre en compte ce pourcentage de temps. Par ailleurs, la section 8 fourni aussi des précisions sur d'autres limitations de cette étude.

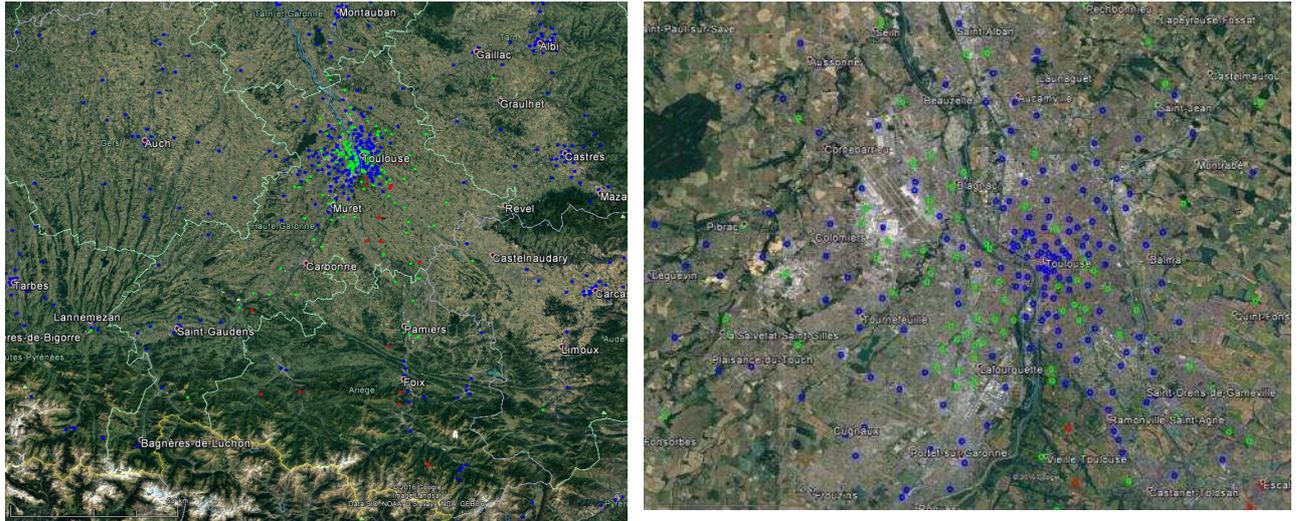


Figure 24 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 Ouest, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
40	3562	-107.09	-118.28	-11.19	202

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 71 dBm/20 MHz.

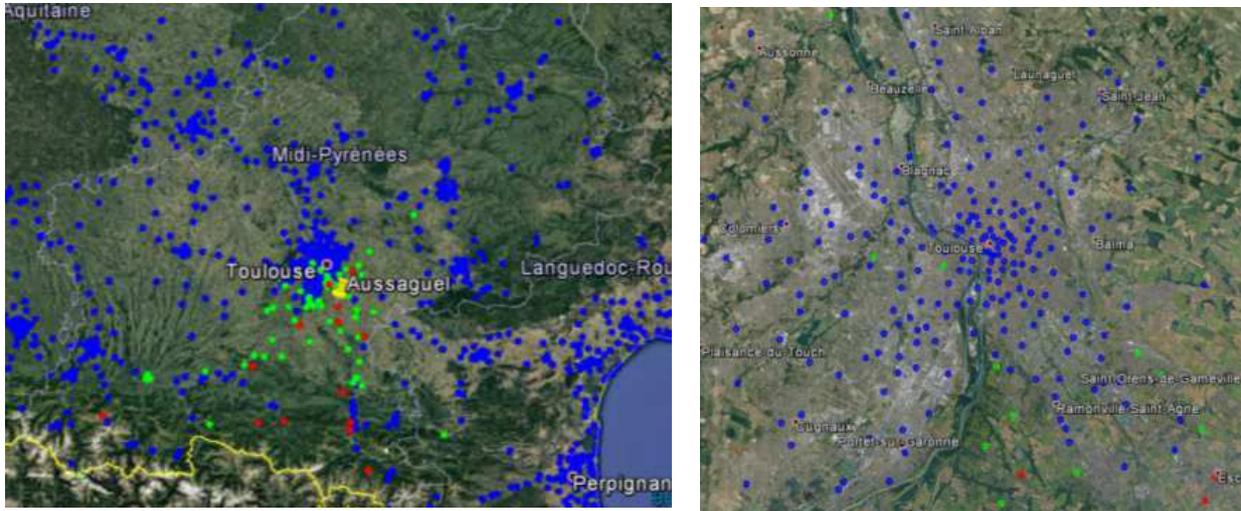


Figure 25 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 Ouest, p.i.r.e. max = 71 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
35	3567	-109.25	-118.28	-9.03	85

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 67 dBm/20 MHz.

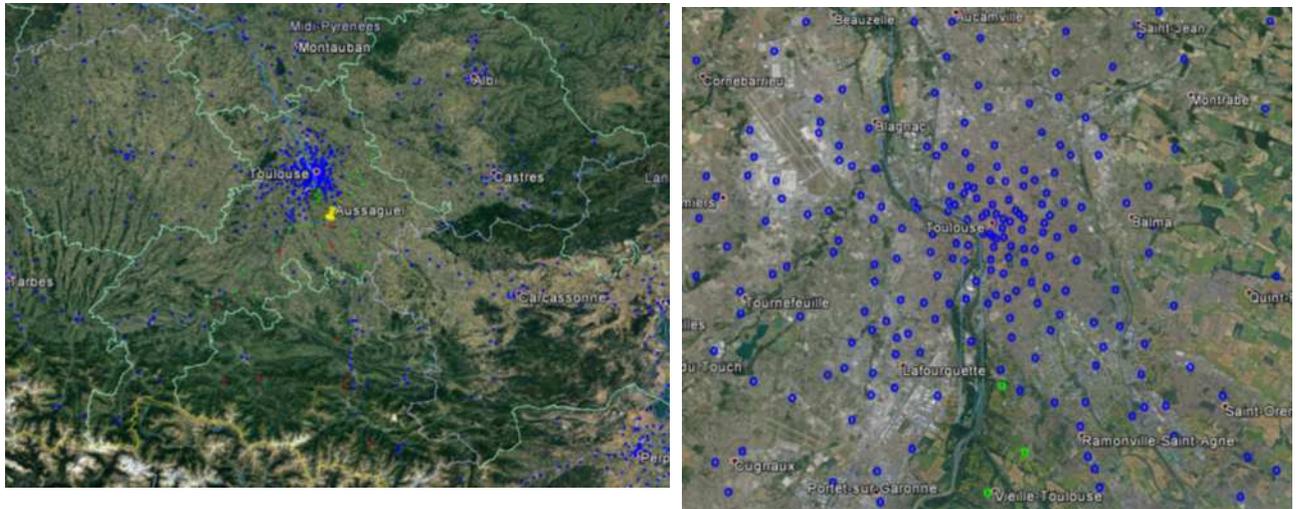


Figure 26 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 Ouest, p.i.r.e. max = 67 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
24	3578	-110	-118.28	-8.28	43

Aussaguel INM-3 IOR (109,3°)

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Des informations additionnelles à prendre en compte pour l'analyse de ces résultats sont décrites dans la section 8 qui traite les limites de cette étude.

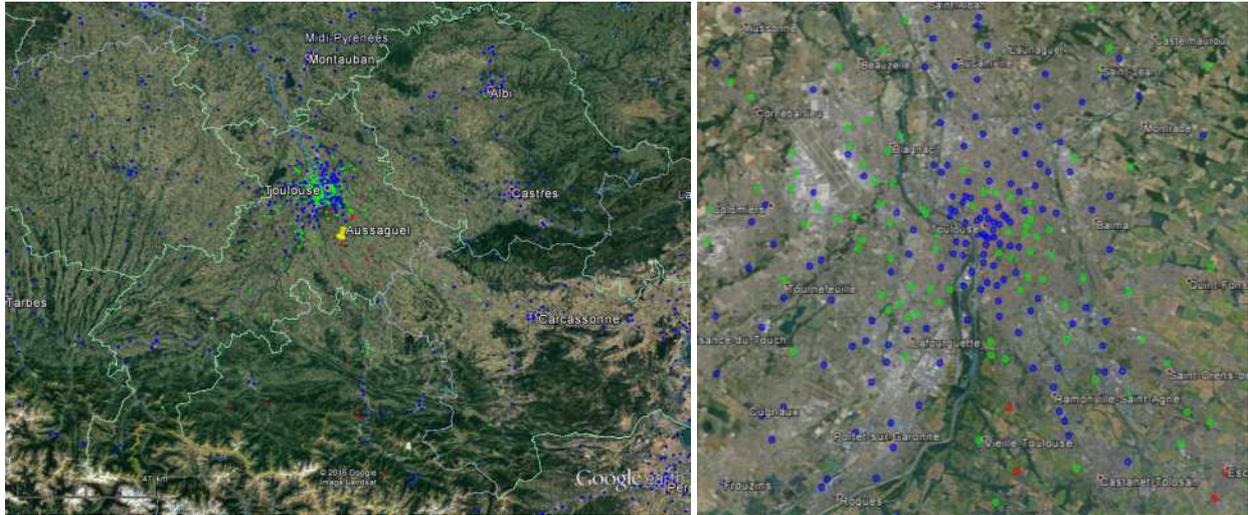


Figure 27 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 IOR, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
40	3562	-107.09	-118.28	-11.19	193

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 71 dBm/20 MHz.

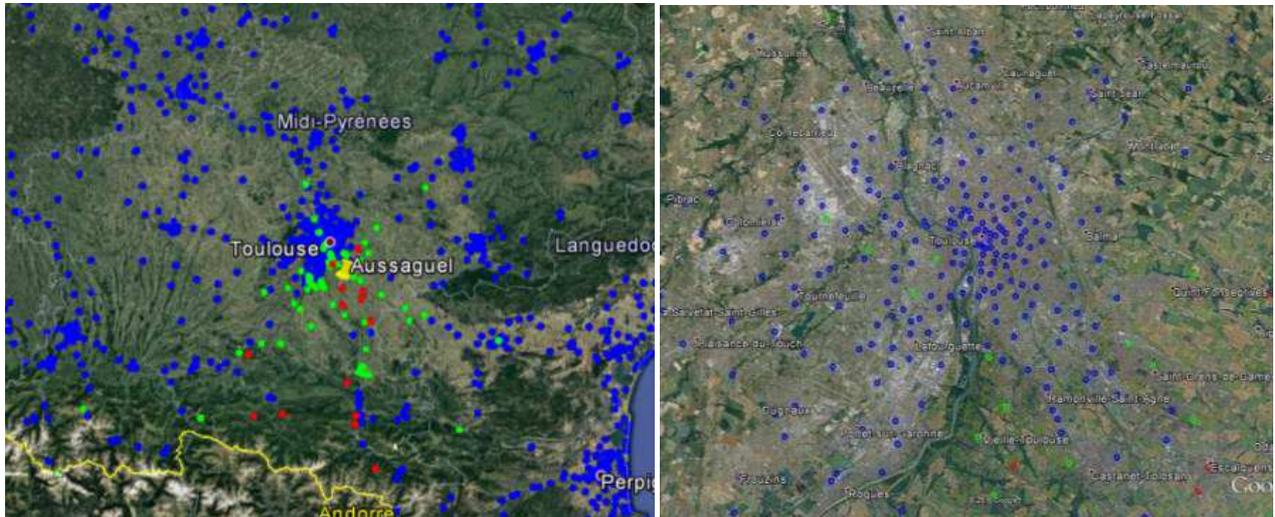


Figure 28 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 IOR, p.i.r.e. max = 71 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
35	3567	-108.85	-118.28	-9.43	87

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 67 dBm/20 MHz.

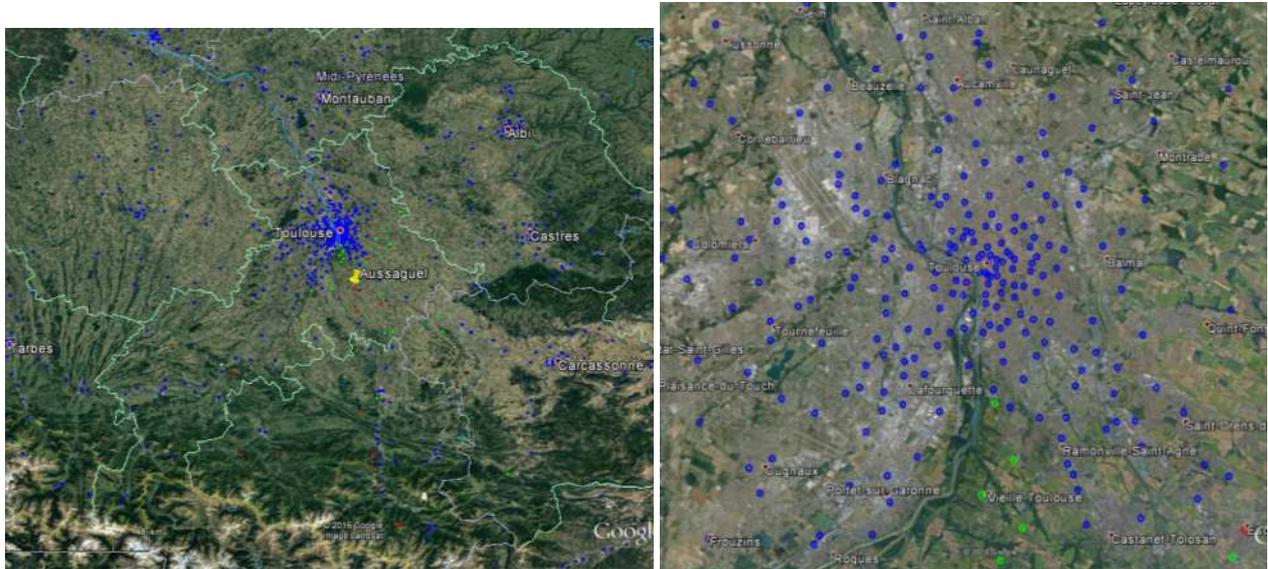


Figure 29 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 IOR, p.i.r.e. max = 67 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
23	3579	-109.9	-118.28	-8.38	39

Aussaguel INM-3 Est (204°)

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Concernant ce dernier calcul, se référer à la section 8 qui développe les implications de prendre en compte ce pourcentage de temps. Par ailleurs, la section 8 fourni aussi des précisions sur d'autres limitations de cette étude.

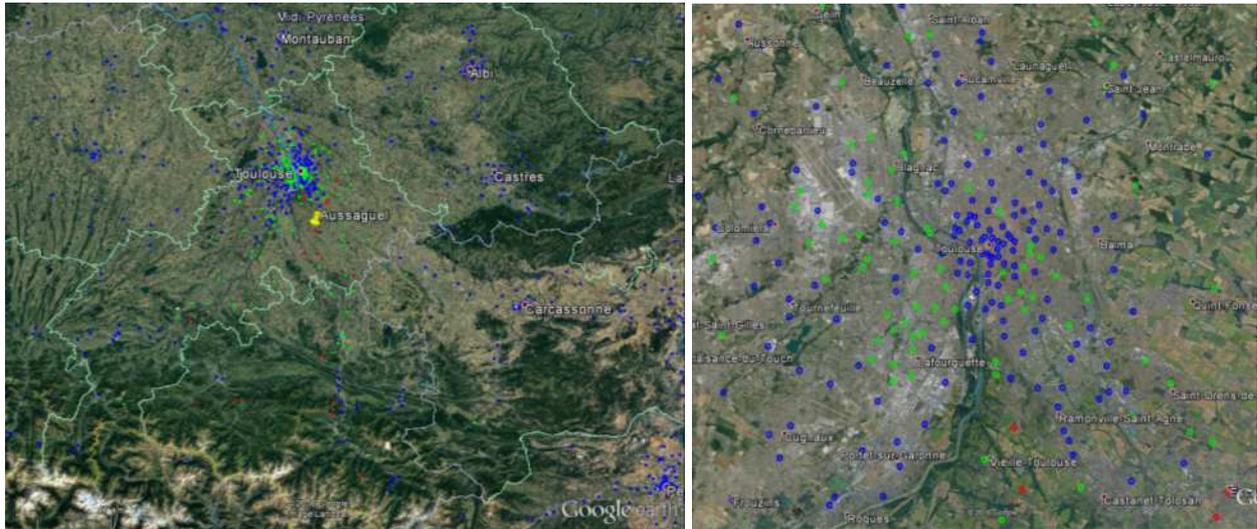


Figure 30 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 Est, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
36	3566	-107.23	-118.28	-11.05	190

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 71 dBm/20 MHz.

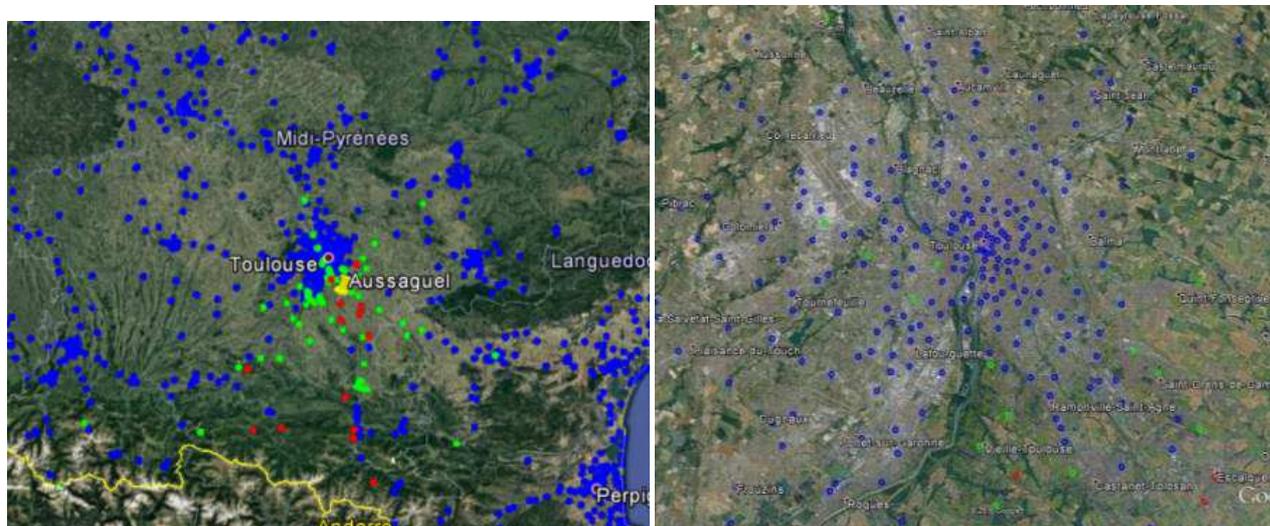


Figure 31 Exemple des résultats d'agrégation pour Aussaguel INM-3 Est, p.i.r.e. max = 71 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
31	3571	-109.4	-118.28	-8.88	79

7.3.3 Lannion

En plus des simulations de brouillage en co-canal sur la station SFS de Lannion, un exemple d'analyse en bande adjacente est aussi mené. Il est supposé que la bande de réception (SFS) est située dans les cinq premiers MHz de la zone de transition du masque BEM des stations du SM. La valeur de p.i.r.e. maximale dans cette région est spécifiée dans la Décision Communautaire comme suit :

$$\text{Min} ((\text{p.i.r.e. max} - 40) \text{ dBm/5 MHz}, 21 \text{ dBm/5 MHz})$$

Etant donné la p.i.r.e. maximale considérée dans cette étude, l'expression précédente mène à la valeur de 21 dBm/5 MHz. Celle-ci représente une atténuation supplémentaire de 47 dB par rapport au cas co-canal. Aucune considération sur le filtrage du récepteur n'est prise en compte.

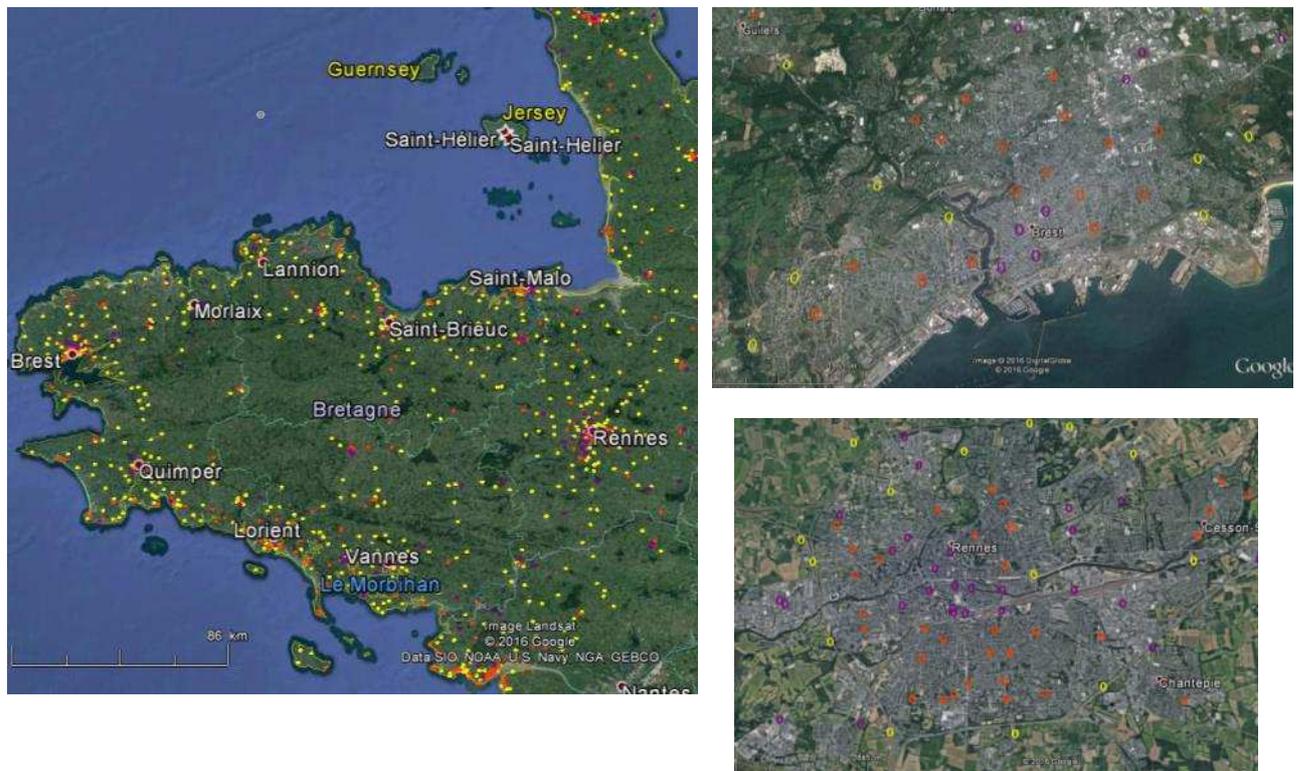


Figure 33 Classification des sites autour de Lannion : urbains (mauve), suburbains (orange), ruraux (jaune)

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Concernant ce dernier calcul, se référer à la section 8 qui présente les implications de prendre en compte ce pourcentage de temps. La section 8 fournit aussi des précisions sur d'autres limitations de cette étude.

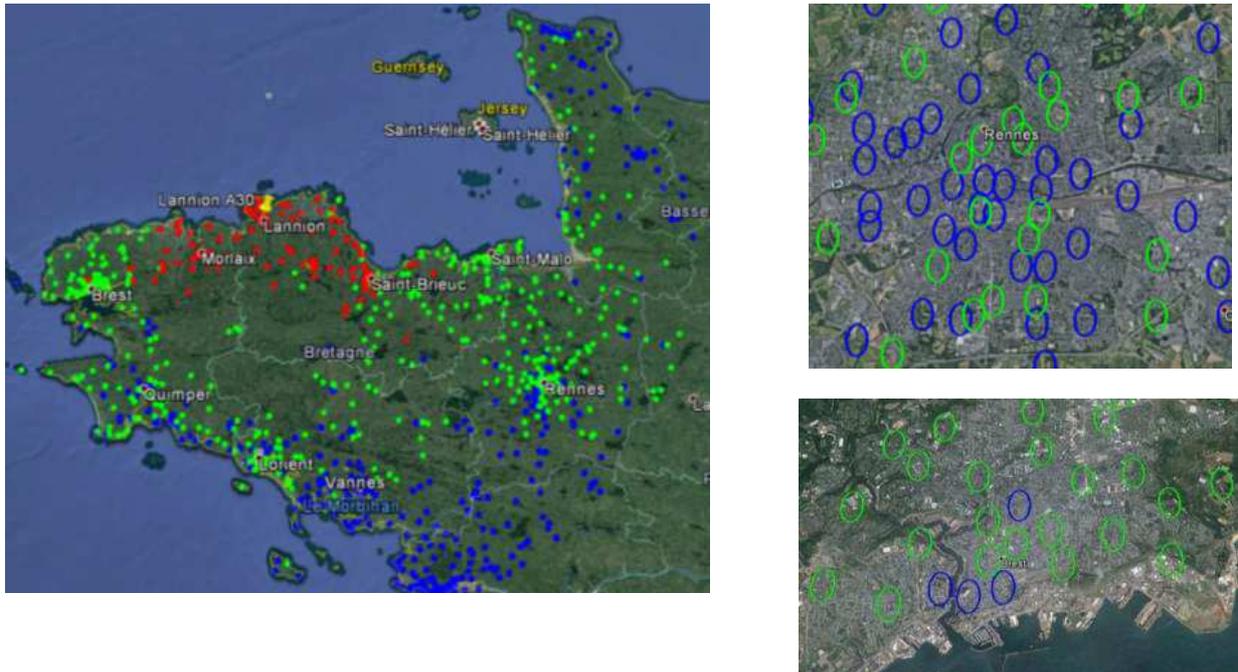


Figure 34 Exemple des résultats d'agrégation pour Lannion, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
286	2966	-101.3	-119	-17.7	874

La carte de gauche dans cette figure montre la présence de secteurs à exclure pour respecter le critère de protection en bordure de la zone d'étude, ce qui suggère que la prise en compte d'un rayon de 200 km autour de la station de Lannion conduit à minorer le nombre de secteurs à exclure quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz.

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 71 dBm/20 MHz; l'analyse est co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et aussi pour le calcul de l'effet agrégé. Pour plus d'informations à prendre en compte pour l'analyse de ces résultats, se référer à la section 8 qui fournit des précisions sur les limites de cette étude.

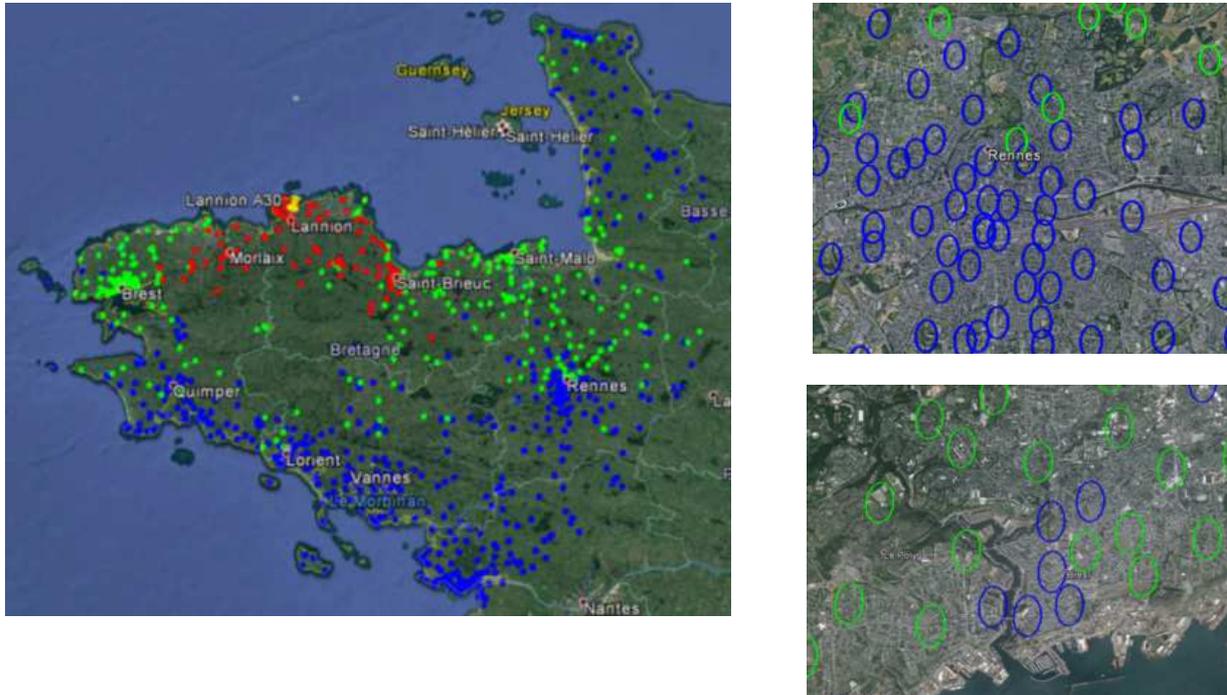


Figure 35 Exemple des résultats d'agrégation pour Lannion, p.i.r.e. max = 71 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
256	2996	-103.13	-119	-15.87	629

7.3.4 La Ciotat

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) ainsi que pour le calcul du brouillage agrégé. Se référer à la section 8, pour une meilleure interprétation des résultats.

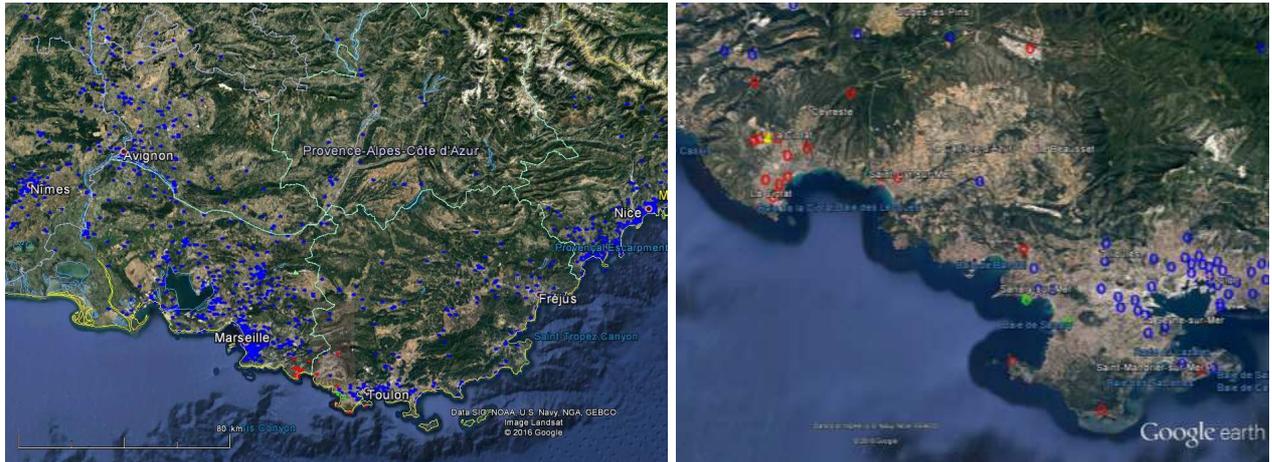


Figure 36 Exemple des résultats d'agrégation pour La Ciotat, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
45	3753	-122.90	-127.41	-4.51	5

7.3.5 Fréjus

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) ainsi que pour le calcul du brouillage agrégé. Se référer à la section 8, pour une meilleure interprétation des résultats.

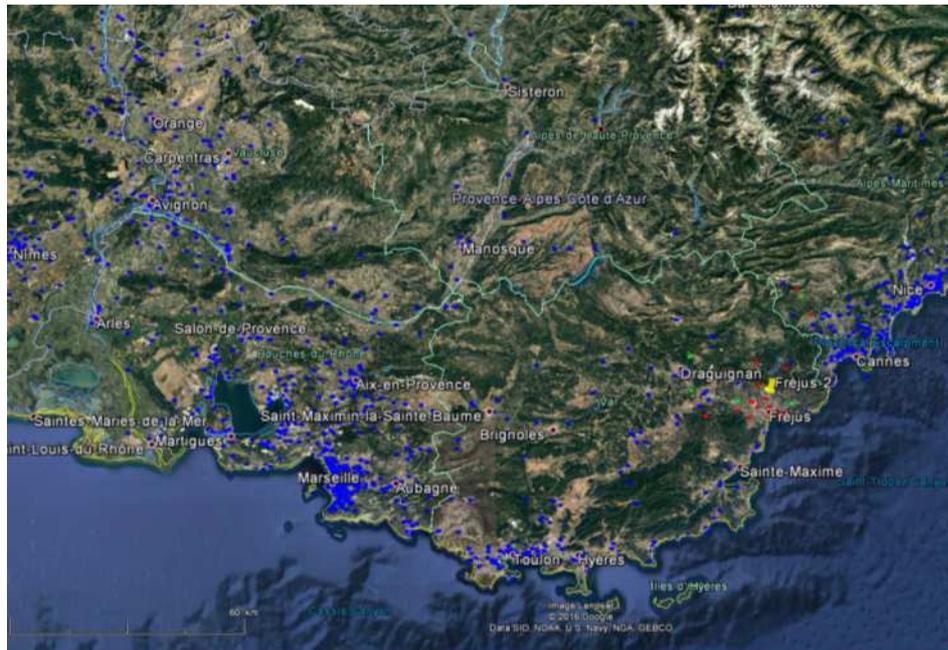


Figure 37 Exemple des résultats d'agrégation pour Fréjus, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
49	3165	-114.04	-122.78	-8.74	20

7.3.6 Lognes

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) ainsi que pour le calcul du brouillage agrégé. Se référer à la section 8 pour une meilleure interprétation des résultats.

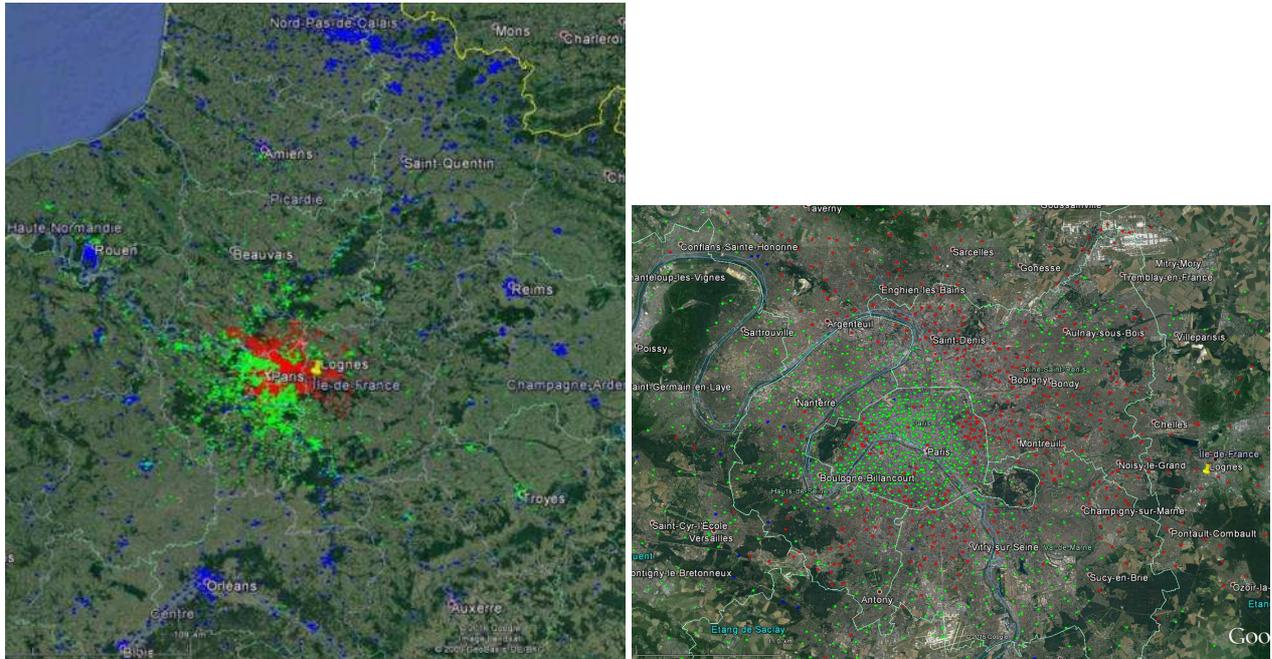


Figure 38 Exemple des résultats d'agrégation pour Lognes, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
1272	11446	-104.53	-130.34	-25.81	4964

7.3.7 Lognes Infotel

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) ainsi que pour le calcul du brouillage agrégé. Se référer à la section 8, pour une meilleure interprétation des résultats.

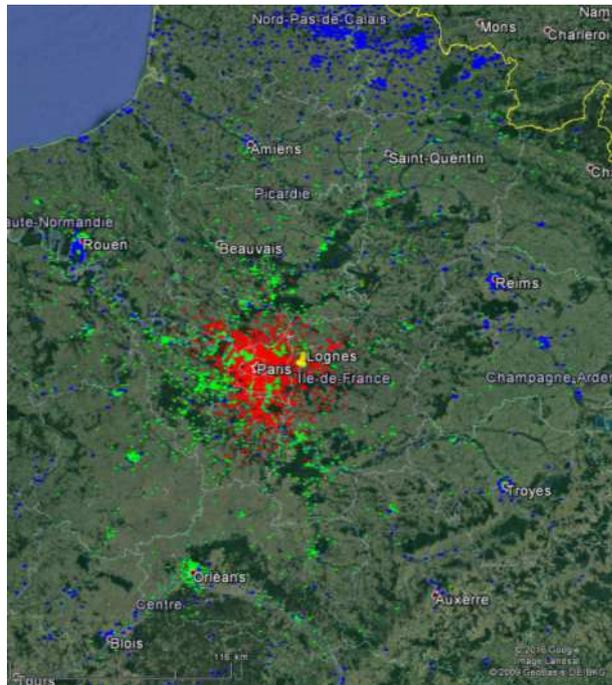


Figure 39 Exemple des résultats d'agrégation pour Lognes Infotel, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
2915	9803	-102.21	-129	-26.79	4456

7.3.8 Saint Assise

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 5% pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) ainsi que pour le calcul du brouillage agrégé. Se référer à la section 8, pour une meilleure interprétation des résultats.

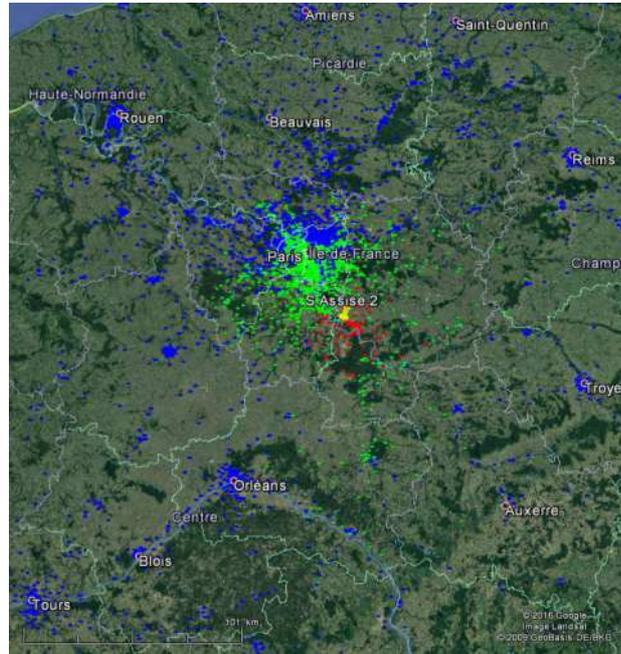


Figure 40 Exemple des résultats d'agrégation pour S Assise, p.i.r.e. max = 74 dBm/20 MHz

Secteurs dépassant le critère de protection (rouge)	Secteurs initialement agrégés (bleu)	Puissance agrégée reçue par la station SFS (dBm)	Limite de brouillage de la station SFS (dBm)	Marge (dB)	Secteurs exclus pour respecter le critère de protection (vert)
178	11448	-92.85	-111.23	-18.38	1991

8 LIMITES DE L'ETUDE

La résolution de 30 m ou 90 m associée aux données SRTM, qui sont issues des mesures satellitaires, implique que la hauteur associée à une superficie (de 30 m x 30 m ou de 90 m x 90 m) du terrain est moyennée sur la base de telles mesures. Par conséquent, les données tiennent compte d'une certaine manière du bâti mais en ajoutant à l'altitude du terrain une hauteur moyennée de ce bâti. Ceci conduit à une simulation avec des antennes plus hautes que dans la réalité du fait de les placer à la hauteur « h » indiquée dans les bases de données ANFR au-dessus de l'altitude SRTM qui est moyennée en prenant déjà en compte le bâti sur le sol. Cela a également pour effet dans certains cas, de limiter les pertes de diffractions liées au bâti dans les environnements urbain et suburbain, puisque les antennes apparaissent « dégagées » par rapport aux données SRTM.

Le pourcentage de temps associé au critère de protection de la station terrienne du SFS vis-à-vis du brouillage agrégé au niveau de la station terrienne ne signifie pas que les calculs de l'atténuation liée à la propagation de chaque liaison doivent individuellement prendre le même pourcentage de temps. En effet, le pourcentage de temps associé aux pertes de propagation sur le chemin entre le brouilleur et la victime peut être inférieur ou supérieur à 5% pour respecter le critère de protection du récepteur: $I/N = -8.2$ associé à 5% du temps. Dans le cas du présent rapport, l'agrégation des puissances prenant en compte les pertes de propagation individuelles calculées pour chaque chemin avec un pourcentage de temps de 5% conduit à un pourcentage de temps associé qui est inférieur ou égal à 5% au niveau du récepteur. Cette configuration a été utilisée afin de simplifier le problème d'une analyse très complexe qui nécessiterait des statistiques liées aux phénomènes de propagation pour chacun des trajets analysés (depuis chaque station de base vers la station terrienne du SFS analysée) mais conduit donc à des résultats conservateurs.

D'autre part, il est à noter que pour l'étude du brouillage agrégé, il a été convenu de prendre en compte un déploiement de macro-cellules en considérant les stations de base ayant une hauteur minimum de 10 m ; par conséquent, l'impact des secteurs avec une hauteur inférieure à 10 m n'est pas inclus dans les résultats de la section 7.

Enfin, l'utilisation de la bande 3,6-3,8 GHz est moins favorable en termes de conditions de propagation que la bande 2 GHz, ce qui pourrait avoir un impact sur le type de déploiement pour assurer une couverture équivalente.

9 CONCLUSIONS RELATIVES AUX CONDITIONS DE COEXISTENCE

Ce rapport présente les résultats des simulations menées pour identifier les conditions de coexistence entre les stations de base du SM et les stations terriennes du SFS dans la bande 3 600 – 3 800 MHz.

Des cartes iso-p.i.r.e. permettent de visualiser les niveaux maximum d'émission d'une station de base du SM à proximité d'une station terrienne de réception du SFS dans la bande considérée. Ces cartes iso-p.i.r.e. ont été générées pour un critère de protection des stations terriennes du SFS de $I/N = -8.2$ dB, associé à un pourcentage de temps de 5% d'un mois quelconque⁵, issu d'un compromis pour une protection suffisante des stations terriennes qui permette le déploiement des réseaux mobiles sur le territoire français. Ce compromis garde un caractère purement national.

L'effet de l'agrégation a aussi été étudié sur la base du déploiement actuel de l'opérateur mobile disposant sur le territoire du plus grand nombre de sites fonctionnant dans une bande dont les caractéristiques de déploiement sont jugées le plus proche possible de celles de la bande étudiée. Les fichiers au format .csv contenant les valeurs de p.i.r.e. ainsi que les fichiers de représentation cartographique au format .kmz peuvent être mis à disposition des opérateurs sur demande auprès de l'ANFR.

L'absence des connaissances du type de déploiement et des statistiques d'émission (temps, puissance) des stations de base du LTE dans cette bande de fréquences a conduit à prendre en compte une configuration existante pour modéliser le réseau mobile. Sur la base de cette hypothèse et en fixant un certain nombre de paramètres, quelques exemples ont permis d'illustrer les conditions de coexistence entre les deux services analysés.

Les résultats montrent que les conditions de coexistence dépendent significativement de la localisation et des caractéristiques de chaque station terrienne du SFS considérée. Par conséquent, il est proposé qu'un niveau maximal

⁵ Le pire mois inclus

de puissance au niveau du récepteur de chacune des stations terriennes soit respecté par l'opérateur du SM en tenant compte du pourcentage de temps de 5% d'un mois quelconque associé à un rapport I/N de $-8,2$ dB ainsi que des caractéristiques du diagramme d'antenne. Cet opérateur, ayant une autorisation de fonctionner en co-canal avec la bande de réception de la station terrienne, devra prendre en compte l'effet des stations de base de son propre réseau pour calculer le niveau de puissance agrégée afin de ne pas dépasser la limite de puissance qui assure la protection de la station terrienne en question.

La valeur de la puissance maximum admissible au niveau de l'antenne du récepteur SFS est celle de la puissance de bruit de celui-ci moins $8,2$ dB qui correspondent au critère de protection.

Tableau 6 Caractéristiques représentatives et limites de puissance à respecter pour la protection des stations terriennes considérées dans le rapport

Site	Orientation antenne		Gain maximum (dBi)	Diagramme d'antenne	Largeur de bande de référence X ⁶ (MHz)	Limite de puissance au niveau de l'antenne SFS (dB(W)/X MHz)	Fréquences utilisées (MHz)
	Azimut (°)	Elev (°)					
Aussaguel Inm-3 E	204	37,1	49,2	Annexe 2	10	-148/10 MHz	3600 – 3629
Aussaguel Inm-3 W	245,5	15,2	49,2	Annexe 2	10	-148/10 MHz	3600 – 3629
Aussaguel Inm-3 IOR	109,3	10,7	49,2	Annexe 2	10	-148/10 MHz	3600 – 3629
La Ciotat	151,5	36	43,5	Annexe 2	1,4	-157/1,4 MHz	3783 – 3785
Frejus-2	218,5	32,2	47,6	Annexe 2	3	-152/3 MHz	3773 – 3777
Lognes	125,7	18,8	41,9	Annexe 2	0,65	-160/0,65 MHz	3783 – 3785
Lognes Infotel	222	25,1	47	Annexe 2	0,78	-159/0,78 MHz	3735 – 3737
Bercenay E	116	3,5	59,3	Annexe 2	20	-145/20 MHz	3629 – 3808
Bercenay S	181	34,6	54	Annexe 2	20	-143/20 MHz	3700 – 3808
Bercenay W	226,7	23,5	59,3	Annexe 2	20	-145/20 MHz	3629 – 3808
S Assise 2 42	197,85	32,7	42,7	Annexe 2	20	-145/20 MHz	3657 – 3693
S Assise 2 43	190	33,8	42,7	Annexe 2	20	-145/20 MHz	3709 – 3745
Lannion A30	182	34	37,6	Annexe 2	15	-149/15 MHz	3724 – 3740

10 DOCUMENTS DE REFERENCE

- Décision du Parlement Européen et du Conseil no 2014/276/UE
- Rapport ETSI TS 136 104 V11.4.0 (2013-04)
- Rapport UIT-R M. 2292, "Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses"
- Recommandation UIT-R S.1432, « Répartition des dégradations admissibles de la qualité de fonctionnement en termes d'erreurs occasionnées à des conduits numériques fictifs de référence du service fixe par satellite par des brouillages non variables dans le temps pour des systèmes fonctionnant au-dessous de 30 GHz »
- Recommandation UIT-R SF.1006, « Détermination des possibilités de brouillage entre stations terriennes du service fixe par satellite et stations du service fixe »
- Recommandation UIT-R SM.329-12, « Rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels »
- Tableau National de Répartition des Bandes de Fréquences (consultable en ligne à l'adresse <http://www.anfr.fr/gestion-des-frequences-sites/le-trnrbf/>)
- Règlement des Radiocommunications

⁶ Correspond à la valeur minimale entre la largeur de bande indiquée dans le Tableau 3 pour chacun des sites SFS et la largeur de bande de canal IMT considérée (20 MHz).

Annexe 1

Cette annexe fourni pour information, des exemples de l'évaluation d'impact de brouillages agrégés sur la base des critères de protection issus des Recommandation UIT-R S.1432 (critère long-terme) et ITU-R SF.1006 (critère court-terme).

Exemples d'évaluation de l'effet agrégé des stations du SM sur les stations SFS, en prenant compte un pourcentage de temps court terme de 0.0016% et un pourcentage long terme de 20%.

Les cercles rouges représentent les secteurs qui dépassent individuellement le critère de protection court-terme considéré pour la station terrienne et qui sont donc exclus du calcul de la puissance de bruit agrégée dans l'étape 1 de l'algorithme (voir section 7.2). Les cercles jaunes correspondent aux secteurs qui ont été exclus du calcul de la puissance de bruit agrégé dans l'étape 2 de l'algorithme afin de satisfaire le critère de protection long-terme considéré de la station terrienne. Enfin, les cercles verts représentent les sites pour lesquels aucune restriction n'est nécessaire. Du fait de la difficulté de représenter chacun des secteurs indépendamment, un site est coloré comme ayant des restrictions (rouge ou jaune) même si un seul des secteurs est impacté par les dites restrictions.

Les figures suivantes présentent les résultats de simulation quand la p.i.r.e. maximale est de 74 dBm/20 Mhz et la puissance maximale de 54 dBm/20 MHz; l'analyse est en co-canal. Le pourcentage de temps lié au modèle de propagation est de 0.0016% d'un mois quelconque pour l'analyse "single entry" (étape 1 de l'algorithme) et 20 % pour le calcul de l'effet agrégé. Les stations inférieures à 10m ont aussi été considérées.

Aussaguel Inm-3E

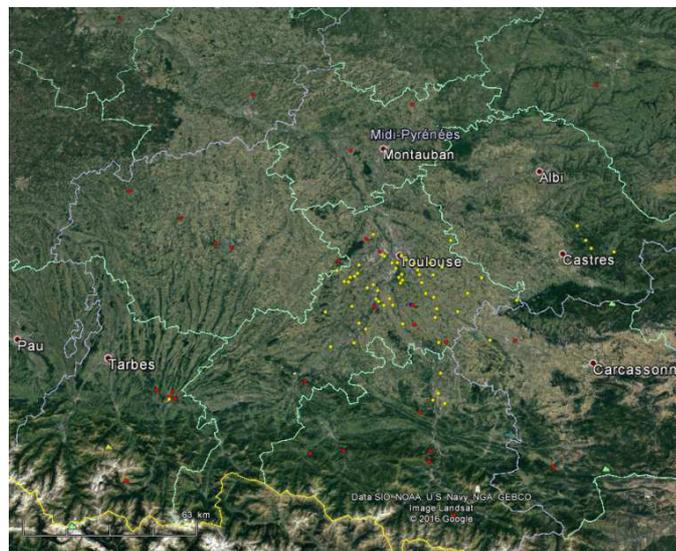


Figure A1-1 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	8761
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	71
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	2,14 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	115

Aussaguel Inm-3W

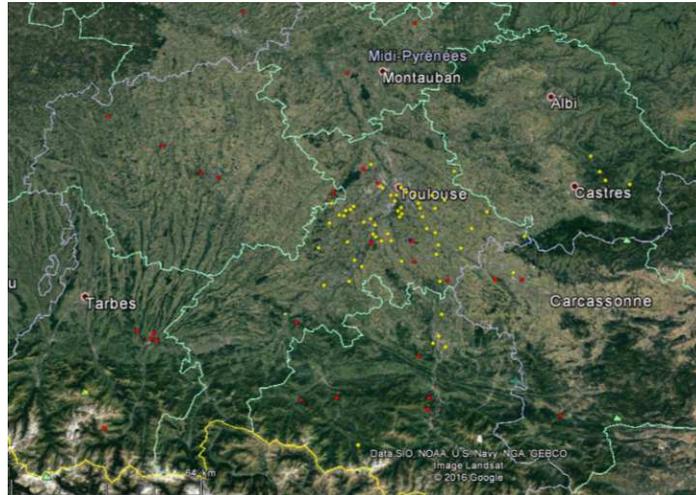


Figure A1-2 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	8761
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	73
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	2,43 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	118

Aussaguel Inm-3 IOR

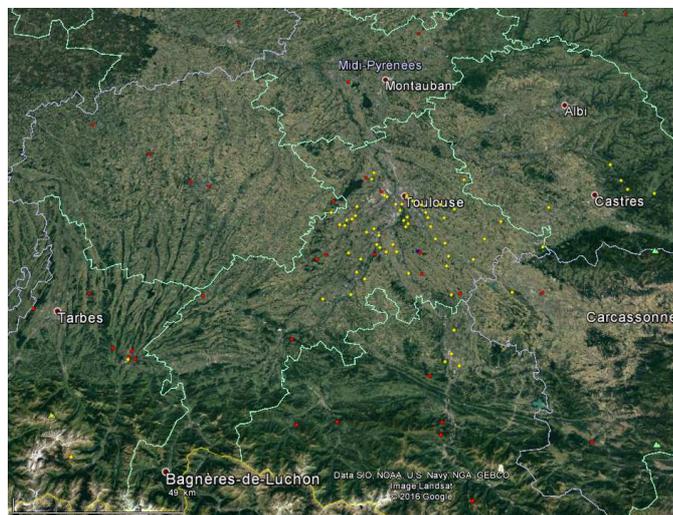


Figure A1-3 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	8761
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	7è
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	3,95 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	123

La Ciotat

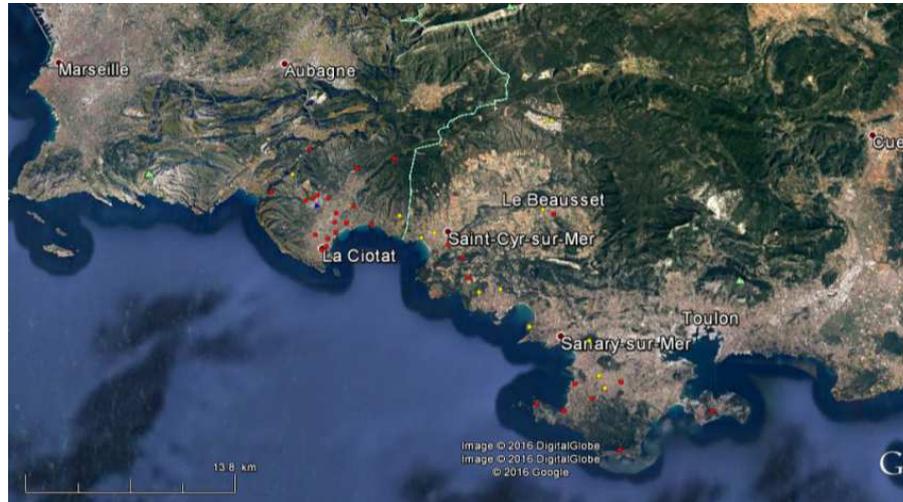


Figure A1-4 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	8030
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	86
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	0,6 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	21

Frejus-2

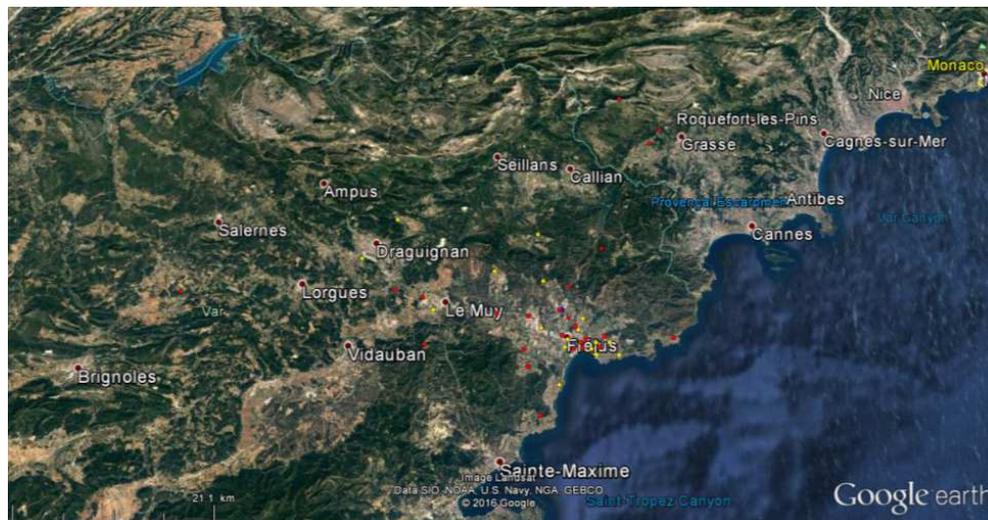


Figure A1-5 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	7644
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	74
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	8,49 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	40

Lognes

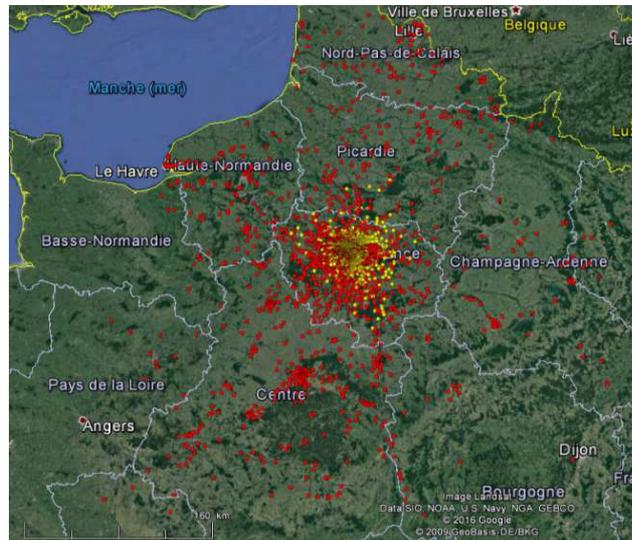


Figure A1-6 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	21891
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	5868
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	10,96 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	2498

Lognes Infotel

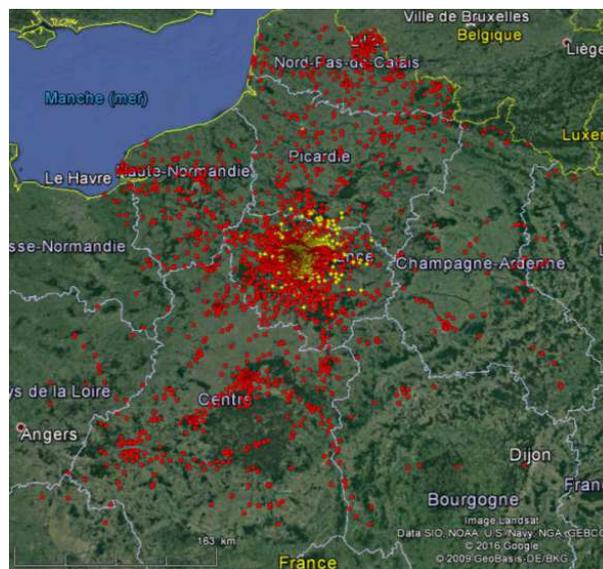


Figure A1-7 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	21891
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	8345
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	10,93 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	2083

Bercenay E

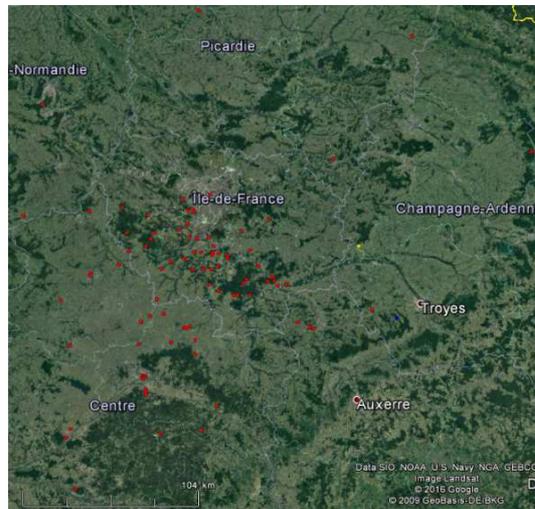


Figure A1-8 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	20190
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	191
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	9,96 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	1

Bercenay W

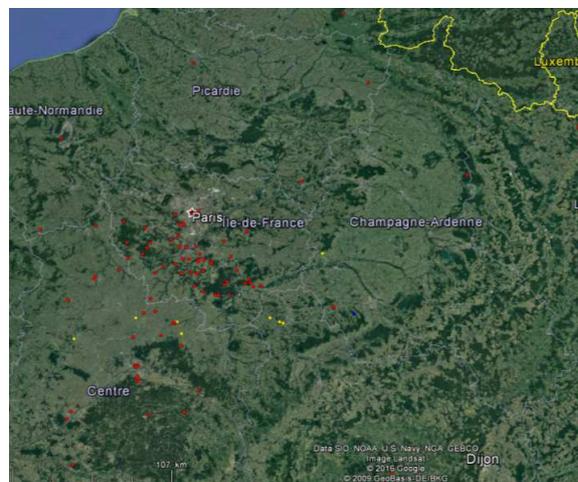


Figure A1-9 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	20190
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	176
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	10 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	0

S Assise 2 42

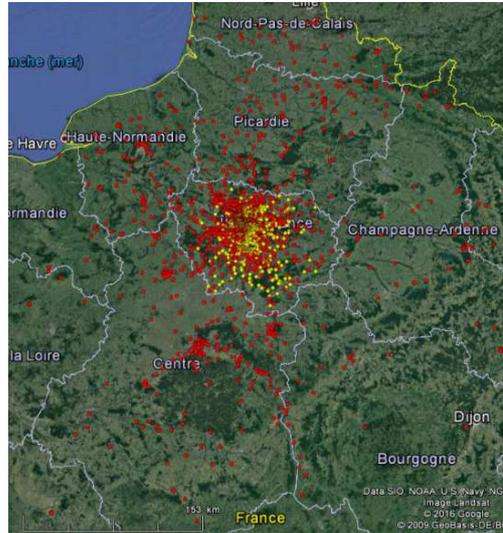


Figure A1-10 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	2147
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	4344
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	7,46 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	1208

S Assise 2 43

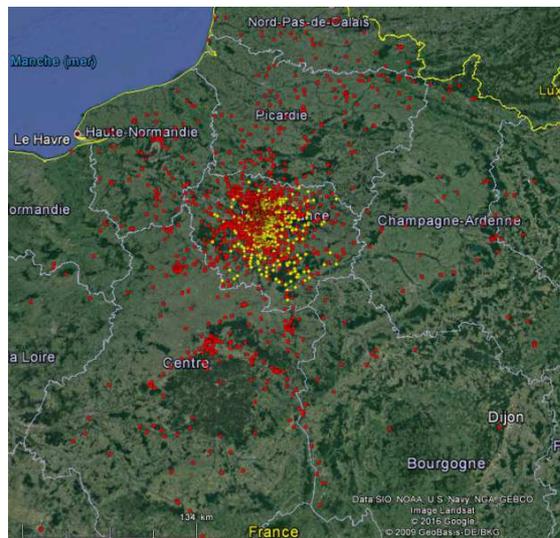


Figure A1-11 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	2147
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	4344
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	7,46 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	1208

Lannion A30

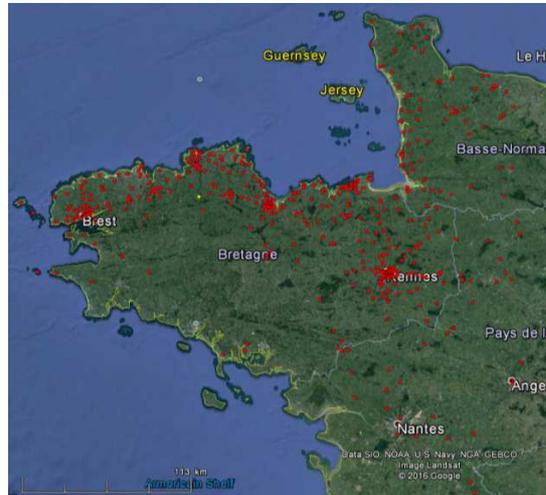


Figure A1-12 Secteurs à exclure pour respecter les critères de protection court-terme (rouge) et long-terme (jaune)

Nombre de secteurs	6220
Nombre de secteurs ne respectant pas le pourcentage court-terme (rouge)	1215
I/N agrégé pour 20% du pire mois (dB)	-1,59 dB
Nombre de secteur exclus pour respecter le critère long terme (jaune)	10

Annexe 2

Le diagramme d'antenne des stations terriennes du SFS est défini par les équations ci-après, tirés de l'implémentation APENST806V01 du Bureau de Radiocommunications⁷.

Pour la présente étude, le coefficient A est fixée à 29, conformément aux déclarations faites par la France auprès du Bureau de Radiocommunications (BR) de l'UIT pour ces stations terriennes.

$$\begin{aligned}
 G &= G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} (D/\lambda \cdot \varphi)^2 && \text{for } 0^\circ \leq \varphi < \varphi_m \\
 G &= G_1 && \text{for } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\
 G &= \text{Max} (\text{CoefA} - 25 \log \varphi, -10) && \text{for } \varphi_r \leq \varphi \leq 180^\circ
 \end{aligned}$$

where:

$$D/\lambda = \sqrt{10 \left(\frac{G_{\max}}{10} \right) / \eta \pi^2}$$

$$\begin{aligned}
 G_1 &= \text{CoefA} && \text{for } D/\lambda > 100, \\
 &= \text{CoefA} - 50 + 25 \log D/\lambda && \text{for } D/\lambda \leq 100.
 \end{aligned}$$

$$\varphi_m = 20 \lambda / D \sqrt{G_{\max} - G_1}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi_r &= 1^\circ && \text{for } D/\lambda > 100, \\
 &= 100 \lambda / D && \text{for } D/\lambda \leq 100.
 \end{aligned}$$

$$\varphi_b = 10 \left(\frac{\text{CoefA} + 10}{25} \right)$$

⁷ http://www.itu.int/en/ITU-R/software/Documents/ant-pattern/APL_DOC_BY_PATTERN_NAME/APENST806V01.pdf