

Rapport du Comité de concertation de la Compatibilité Electromagnétique

Coexistence en co-fréquence entre le service mobile (IMT) opérant dans la bande de fréquence 24.25-27.5 GHz et les stations terriennes du service exploration de la terre par Satellite (SETS) dans la bande de fréquence 25.5-27 GHz

Référence:
Rapport CCE
IMTvsEESS_26GHz du
06/09/2018 version 1

Rapport CCE
Coexistence en co-fréquence entre le service mobile
(IMT) opérant dans la bande de fréquence 24.25-27.5
GHz et les stations terriennes du service exploration de
la terre par Satellite (SETS) dans la bande de fréquence
25.5-27 GHz



Rédigé par	Thibaut Caillet	DPSAI/IS
------------	-----------------	----------

Table des matières

1.	Introduction.....	4
2.	Caractéristiques du Service d’Exploration de la Terre par Satellite (SETS).....	4
2.1.	Localisation des sites.....	4
2.2.	Caractéristiques des antennes.....	4
2.3.	Critère de protection du SETS.....	5
3.	Caractéristiques des stations IMT.....	6
3.1.	Caractéristiques générales.....	6
3.2.	Diagramme d’antenne de l’IMT 2020.....	7
3.3.	Puissance de l’IMT 2020.....	8
3.4.	Caractéristique de déploiement de l’IMT 2020.....	9
4.	Pertes liées aux bâtis.....	11
5.	Méthodologie d’étude.....	13
5.1.	Cas GSO – TVG simple.....	14
5.2.	Cas NGSO – TVG modifiée.....	15
6.	Etude du cas GSO générique.....	16
7.	Etude du cas NGSO générique.....	20
8.	Agrégation.....	23
9.	Etude de cas réels.....	24
9.1.	Cas réels de stations GSO.....	25
9.2.	Cas réels de stations NGSO.....	27
10.	Conclusion générale.....	31

1. INTRODUCTION

Le présent rapport vise à analyser les modalités de coexistence en en co-canal entre l'IMT du service mobile (SM) dans bande 24.25-27.5 GHz et les stations terriennes du service de l'exploration de la terre par satellite (SETS) opérant dans la bande 25.5-27 GHz.

A partir des résultats de ces études, un ensemble de recommandations est proposé afin de faciliter la coexistence entre les stations de terre du SM et stations de terre du SETS aux abords de la ville de Toulouse et du site de Lannion. Une autre partie s'intéresse à la généralisation des résultats.

2. CARACTERISTIQUES DU SERVICE D'EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (SETS)

2.1. Localisation des sites

Trois affectataires souhaitent utiliser des stations terriennes en réception dans la bande 26 GHz. Pour chacun d'entre eux plusieurs emplacements potentiels des équipements ont été envisagés ou sont déjà existants :

- 1) Pour le CNES, deux sites distincts :
 - a) Le site de SPOT Image (43.554443°N, 1.486947°E)
 - b) Le site d'Aussaguel (43.429576°N, 1.498451°E)
- 2) Pour METEO, deux localisations possibles sur le site toulousain et une localisation sur le site de Lannion de METEO France
 - a) 43.573353°N, 1.373542°E
 - b) 43.577056°N, 1.374308°E
 - c) 48.7511111°N, 3.4741667°W
- 3) Pour la défense, plusieurs sites différents sont pris en compte et analysés mais les résultats ne sont pas inclus dans le présent rapport.

2.2. Caractéristiques des antennes

Comme présenté dans le Tableau 1, les usages des affectataires des stations sol ne sont pas identiques puisque les 3 affectataires souhaitent utiliser leur(s) station(s) en réception des émissions de satellite non géostationnaires (NGSO) alors que Météo France ciblera aussi bien des satellites géostationnaires que non géostationnaires. Le présent rapport distinguera donc les deux cas de figure, puisque les méthodes de calcul d'interférence entre les SM et le SETS ne pourraient être identiques si le SETS est appliqué au NGSO ou au GSO.

Tableau 1
Caractéristique des antennes du SETS

Affectataire	Localisation	Département	Gain (dBi)	Diagramme de Rayonnement	Hauteur Antenne/sol (m)	Type de Satellite
CNES	43.554443°N 1.486947°E	Haute Garonne	63	RR Appendice 8	10	NGSO
	43.429576°N 1.498451°E				10	
METEO	43.573353°N 1.373542°E	Haute Garonne	63	RR Appendice 8	5	GSO/NSGO
	43.577056°N 1.374308°E				10	
	48.7511111°N 3.4741667°W	Côte d'Armor			5	NSGO

2.3. Critère de protection du SETS

Le Tableau 2, ci-dessous fournit les critères de protection du SETS dans la bande 25.5-27 GHz selon les Recommandations ITU-R SA.1027 (NGSO) et ITU-R SA.1161 (GSO). Dans tous les cas, les deux critères de protection (long et court terme) doivent être respectés pour assurer la protection du SETS.

Tableau 2.
Critère de protection du SETS (NGSO et GSO) dans la bande 25.5-27 GHz

Type de satellite suivi	Critère de protection à respecter p% (long terme)	Critère de protection à respecter p % (court terme)
GSO	-147.7 dBW/10MHz ¹	-133 dBW/10MHz p=0.1%
NGSO	-143 dBW/10MHz	-116 dBW/10MHz p=0.005%

¹ critère de protection pour des angles d'élévation supérieur à 5°

3. CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS IMT

3.1. Caractéristiques générales

La bande 24.25-27.5 GHz devrait être utilisée en TDD (Time-Division Duplex), c'est en dire en duplex par séparation temporelle. Ceci implique donc que la bande devrait être utilisée aussi bien par les terminaux mobiles (UE - « User Equipmmnt ») que par les stations de base (BS). Le Tableau 3 présente les caractéristiques élaborées à ce jour par le groupe expert du service mobile à l'UIT et qui peuvent être retrouvés dans le Document [5-1/36](#).

Tableau 3.
Caractéristiques de l'IMT-2020 autour de 26 GHz

Paramètres	Unité	Station de Base (hotspot urbain / suburbain)	Station de Base (open space suburbain)	Terminaux Mobiles
Puissance transmise à chaque élément rayonnant	dBm	10		10
Dimension du panneau		8×8		4×4
Nombre total d'éléments		64		16
Puissance totale avant perte ohmique	dBm	28		22.04
Diagramme de rayonnement		Recommandation ITU-R M.2101		
Gain de l'élément simple	dB	5		
Largeur à 3dB Horiz/Vert	deg	65		90
Ratio Avant –Arrière Horiz/Vert		30		25
Antenna polarization		Linear		
Espacement Horiz/Vert	m	$\lambda/2$		
Gain d'antenne maximum	dB	23		17.04
Pertes ohmiques	dB	3		
PIRE maximum	dBm	48		36.1
Reutilisation fréquentielle UE/BS		1		
Hauteur d'antenne	m	6	15	1.5
Pointage physique de l'antenne, Az		random		See Doc. 5-1/137 Annex 1
Pointage physique de l'antenne, El		10 deg downtilt	15 deg downtilt	

Paramètres	Unité	Station de Base (hotspot urbain / suburbain)	Station de Base (open space suburbain)	Terminaux Mobiles
Body Loss	dB	N/A		4
Scenario de déploiement		Outdoor		
Topologie du réseaux		Macro network		
Positionnement		Sur les murs	Sur les toits	N/A
Déploiement des stations / km ²		30/10	10	100/30
Utilisation des UE indoor	%	0		5
Maximum range BS to UE	m	100.0		
Network loading factor		20% (Case 1A), 50% (Case 1B)		
TDD factor	%	80		20

3.2. Diagramme d'antenne de l'IMT 2020

Les antennes des équipements IMT-2020 sont des antennes actives à réseaux phasés. Comme décrit dans le Tableau 3, le diagramme de rayonnement de ce type d'antenne peut être représenté mathématiquement par les équations définies dans la Recommandation ITU-R M.2101. Toutefois, il convient de noter qu'à ce jour, de sérieux doutes persistent sur le fait que ces équations puissent être représentatives du comportement des lobes secondaires des antennes réelles utilisées.

Le diagramme de rayonnement (Fig.1) construit sur la base de la Recommandation ITU-R M.2101 ne présente en aucun cas une puissance rayonnée totale unitaire dans l'angle solide (en linéaire ou de 0 dBi). Selon les angles de pointages électriques considérés, la somme sur la sphère de la puissance totale rayonnée est comprise entre -0.5 à -12 dB pour les stations de base. Il convient donc de compenser, pour chaque pointage électrique, ce manque par normalisation afin de rendre le diagramme de rayonnement de la Recommandation aussi proche que possible de la réalité physique.

Figure 1

Représentation du diagramme de rayonnement dans le repère cartésien (à gauche) dans le repère sphérique (à droite)

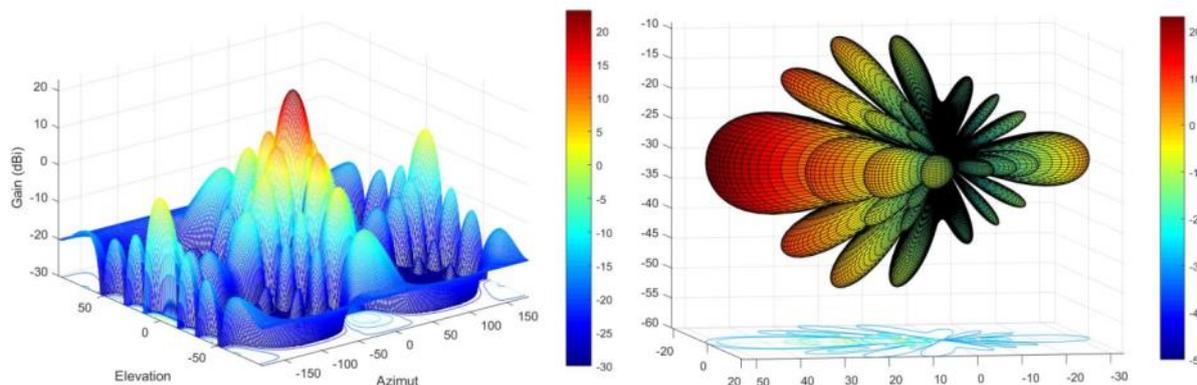
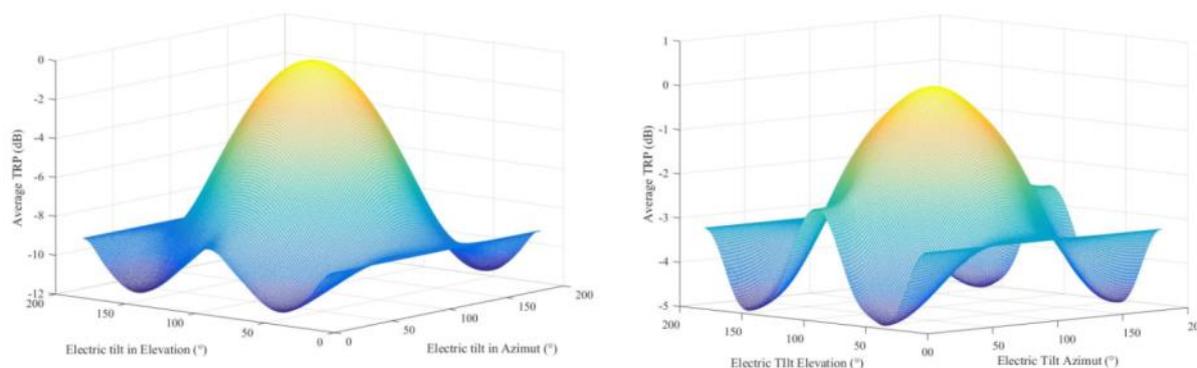


Figure 2

Représentation de la puissance rayonnée totale en fonction de l'angle électrique de pointage (azimut/élévation). A gauche pour les BS. A droite pour les UE



3.3. Puissance de l'IMT 2020

La puissance de la station de base est donnée sous forme de TRP (Puissance Rayonnée Totale) égale à 10dBm/200 MHz par élément rayonnant, il faut tenir compte du fait qu'à cette TRP, doit se soustraire des pertes ohmiques de 3dB afin de revenir à la puissance conduite. Il faut aussi tenir compte du fait que le critère de protection du SETS est défini dans 10 MHz. La puissance émise donc dans la bande de réception du SETS peut être exprimée comme :

$$P_t = P_e + 10 \log(N) - L_o - 30 + 10 \log\left(\frac{B_{ref}}{B_{IMT}}\right)$$

Dans laquelle:

- P_e (dBm): Puissance transmise à chaque élément (TRP);
- N : Nombre d'élément rayonnant composant l'antenne;
- L_O (dB): Pertes ohmiques de l'antenne;
- B_{ref} : Bande de référence du critère de protection du SETS (MHz);
- B_{IMT} : Bande de référence de l'IMT (MHz);

Considérant le critère de protection du SETS, les caractéristiques de l'IMT 2020 présentées dans le Tab.1, la puissance transmise (P_T) est donc de -17.94 dBW/10 MHz, valeur qui sera dans l'ensemble de ce document arrondie à -18 dBW/10 MHz.

3.4. Caractéristique de déploiement de l'IMT 2020

Dans le cas de cette étude, **seul l'impact des stations de base sur les récepteurs SETS sera étudié**. Ceci s'explique par le fait que les mobiles (UE) ne peuvent opérer qu'à proximité des BS. Le groupe d'étude 5D définit les caractéristiques d'utilisation des mobiles par rapport à la station base comme décrit dans le Tableau 4. Sur la base de ces distributions (Fig.3 et 4), indépendantes du type de BS considéré, le déploiement des UE est connu (Fig.5) et il est donc aisé de dériver le pointage électrique en élévation (Fig.6) selon les deux cas de figure :

- 1/ Une station de base à 6m avec un tilt mécanique de -10° .
- 2/ Une station de base à 10 m avec un tilt mécanique de -15° .

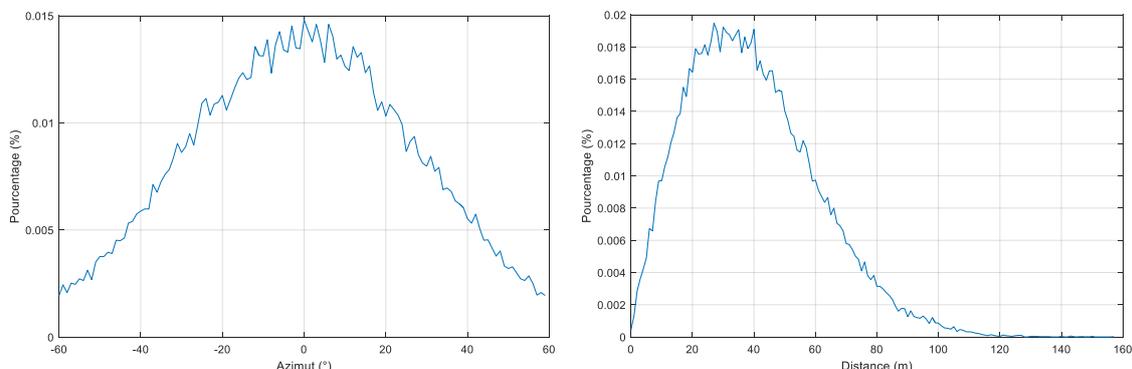
Tableau 4.

Caractéristiques d'utilisation des mobiles vis-à-vis de la station de base

Paramètre	Limite	Distribution	Figure
Pointage électrique de la BS	$-60^\circ/+60^\circ$ en azimut	(μ, σ^2) $\mu = 0^\circ$ and $\sigma = 30^\circ$	N°3
Distance entre mobile et station de base	Approx. 160 m	Rayleigh $\sigma = 32$	N°4

Figure 3 (gauche) et 4 (droite)

Représentation des distributions du pointage électriques et des distances entre BS et UE



Les Fig. 7 et Fig.8 présentent les distributions des gains sur l'horizon en fonction de la direction en azimut (dans le référentiel de la BS) de la station terrienne. Il est possible de noter d'abord que l'apparition du gain maximum normalisé (voir paragraphe précédent) sur l'horizon apparaît faiblement quelque soit l'azimut de la station terrienne.

Les deux figures montrent assez clairement qu'un dépointage de la station de base, a une influence notable sur les valeurs de gain possible en direction de la station terrienne. Par exemple, un dépointage de 90° (c'est-à-dire que la station terrienne se situe à 90° en azimut de l'axe de pointage mécanique de la BS) permet de réduire les valeurs maximums de gain de 22 à 4 dBi en direction de cette dernière pour des BS situées à 6m.

Figure 5 (gauche) et Figure 6 (droite)

Déploiement aléatoire de 5000 terminaux (UE) et distribution du gain en élévation pour une BS par rapport aux tilts mécaniques du type de station de base (6 ou 10m)

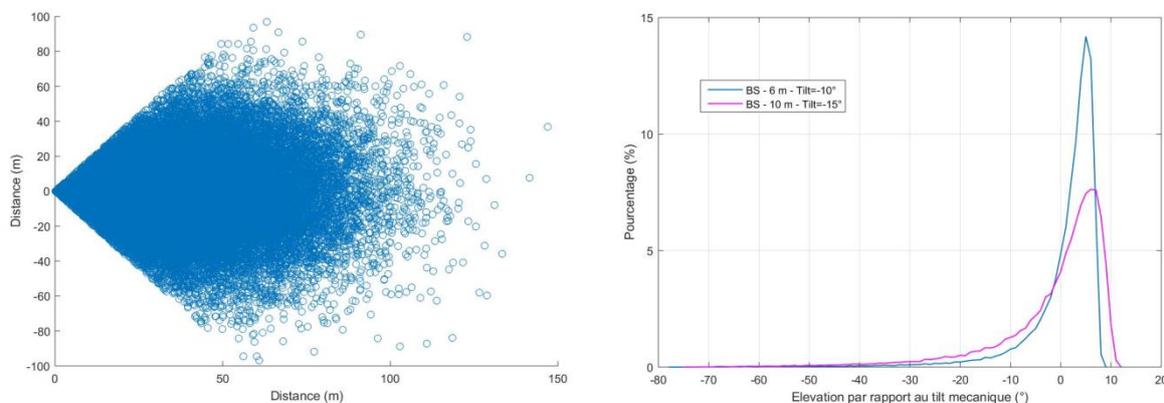
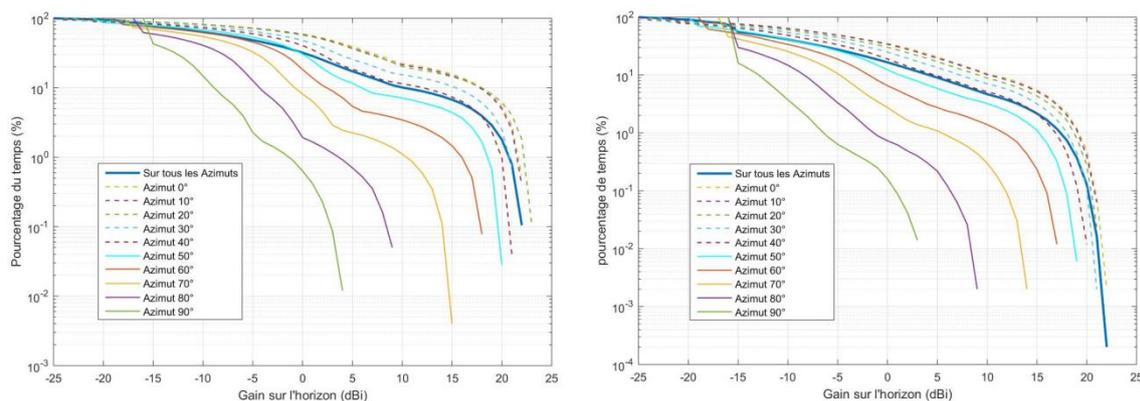


Figure 7 (gauche) et Figure 8 (droite)

Distribution cumulative du gain de la station de base (BS) sur l'horizon selon différent azimut de positionnement de la Station terrienne (par rapport à la station de base). Antenne à 6 m à gauche. Antenne à 10m à droite.



4. PERTES LIÉES AUX BÂTIS

Lors d'un déploiement dans un milieu urbain ou suburbain, des pertes liées aux bâtis sont à prendre en considération. Ils existent deux cas de figure :

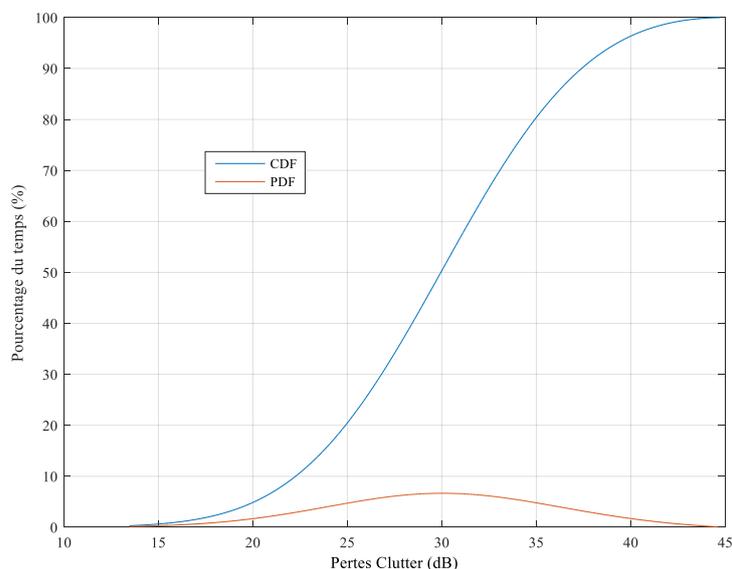
- 1/ Les modèles numériques de terrain et la hauteur du bâti sont connus
- 2/ Seules les modèles numériques de terrain sont connues

Dans le premier cas, l'application d'un modèle de perte par diffraction sur les chemins de propagation tenant compte du terrain et du bâti permet d'estimer les pertes liées à la propagation dans cet environnement. Celui-ci doit toutefois être choisi avec pertinence (Deygout, Bullington...) et être associé au modèle de propagation usuel (type P.525 pour le cas de l'espace libre – le modèle de diffraction étant déjà inclus dans la P.452). Dans le second cas de figure, il est possible d'associer aux modèles de propagation tenant compte des pertes liées aux modèles de terrain (type P.452), des pertes additionnelles extraites de La Recommandation ITU-R P.2108.

La position exacte des BS n'étant pas connue et la méthodologie appliquée dans cette étude se voulant généraliste, les pertes liées aux bâtis seront prises égales à la valeur moyenne de la distribution de pertes présentée dans la Fig.9. La somme pondérée en linéaire (négative du fait de l'atténuation) d'une telle distribution donne une valeur moyenne de perte proche de 19 dB à 500m.

Figure 9

Représentation des pertes liées aux bâtis selon la P.2108.



Il convient de noter que les 19dB de pertes ne seront appliqués qu’aux simulations faites avec des « hotspots » à 6 mètre de hauteur. Pour le cas des antennes déployées sur les toits de type « open space », ce clutter ne sera pas appliqué. Le Tableau 5 résume les valeurs de pertes dues au « clutter » utilisées en fonction des types d’antenne déployée.

Tableau 5

Application des pertes dues au « clutter » par type d’antenne

Type d’antenne	Hauteur (m)	Tilt (°)	Perte (dB)
Hotspot urbain/suburbain	6	-10	19
Open Space suburbain	10	-15	0

5. MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE

Afin d'étudier l'impact des émissions dans la bande des stations de base IMT @26 GHz dans les récepteurs des stations du SETS placés sur les sites prévus par les affectataires CNES et METEO, l'étude consiste en deux analyses distinctes, associées aux types de satellites suivis par les stations.

- 1/ Dans le cas d'un satellite GSO, une étude en TVG tenant compte de l'évolution du gain à l'émission est proposée. Le gain à la réception étant fixe pour un angle donné
- 2/ Dans le cas d'un satellite NGSO, la TVG modifiée (Time Variant Gain) est appliquée, tenant compte des évolutions temporelles des gains à l'émission et à la réception

5.1. Cas GSO – TVG simple

Dans l'Appendice 7 du Règlement des Radiocommunications, la TVG est définie comme l'approximation de la convolution entre la distribution des pertes de propagation et la distribution du gain à la réception. Dans le cas d'une station terrienne pointant sur l'arc géostationnaire, le gain en réception est fixe. Toutefois dans le cas des stations de base IMT 2020, le gain à l'émission est variable dans le temps. La P.452, utilisée dans la TVG, est symétrique, et il est donc possible d'utiliser la TVG en considérant la distribution du gain à l'émission. Les pertes de propagation minimum permettant la protection de la station terrienne peuvent donc s'écrire comme :

$$L_{req}(p_v) = P_t + G_t(p_n) + G_r - I(p) - L_c$$

Dans laquelle:

- P_t : Niveau de puissance transmise (dBW) dans la bande de référence de l'équipement IMT-2020;
- (p) : Seuil de protection (dBW) dans la bande de référence qui ne doit pas être dépasser pour plus de $p\%$ du temps à l'entrée de l'antenne du récepteur SETS
- (p_n) : Gain sur l'horizon de l'antenne de transmission (dBi) qui est dépassé pour $p_n\%$ du temps à l'azimut considéré;
- G_r : Gain sur l'horizon physique pour une azimut donné du récepteur SETS en lien avec un satellite géostationnaire.
- (p_v) : Pertes minimums de propagation (dB) pour $p_v\%$ du temps. Ces pertes doivent être dépassées par les pertes de propagation du chemin pour toutes les valeurs possibles $p_v\%$ values. p_v est le pourcentage de temps qui approxime la convolution entre la distribution du gain sur l'horizon et la distribution des pertes de propagation.
- L_c : Pertes clutter applicables aux chemins de propagation;

$$p_v(\%) = \begin{cases} \frac{100p}{p_n} & \text{for } p_n \geq 2p \\ 50 & \text{for } p_n < 2p \end{cases}$$

Cette approximation de la convolution est liée à la limitation intrinsèque du modèle de propagation de la Recommandation ITU-R P.452 (50%).

5.2. Cas NGSO – TVG modifiée

Dans le cas du suivi par la station terrienne d'un satellite non-géostationnaire (NGSO), le gain en réception sur l'horizon devient variable en fonction du temps. Tout comme dans le cas précédent, les caractéristiques des équipements IMT 2020 sont par nature aussi évolutives temporellement. La TVG modifiée, telle que proposée par l'ESA à ce jour, au groupe d'étude du 7B s'inspire de la TVG simple en appliquant une distribution de gain totale aux modèles de propagation. Gain total qui peut être calculé comme la convolution des distributions des gains à l'émission et la réception sur l'horizon pour un azimut donné. Les pertes de propagation minimum permettant la protection de la station terrienne peuvent donc s'écrire comme :

$$L_{req}(p_v) = P_t + G_t(p_t) + G_r(p_r) - I(p) - L_c = P_t + G_{tot}(p_n) - I(p) - L_c$$

Dans laquelle:

- P_t : Niveau de puissance transmise (dBW) dans la bande de référence de l'équipement IMT-2020;
- (p) : Seuil de protection (dBW) dans la bande de référence qui ne doit pas être dépasser pour plus de $p\%$ du temps à l'entrée de l'antenne du récepteur SETS
- $G_t(p_t)$: Gain sur l'horizon de l'antenne de transmission (dBi) qui est dépassé pour $p_t\%$ du temps à l'azimut considéré;
- (p_r) : Gain sur l'horizon physique pour un azimut donné du récepteur SETS en lien avec un satellite non-géostationnaire qui est dépassé pour $p_r\%$ du temps.
- $G_{tot}(p_n)$: Gain total émission/réception construit comme la convolution des distributions du gain à l'émission $G_t(p_t)$ et à la réception $G_r(p_r)$
- (p_v) : Pertes minimums de propagation (dB) pour $p_v\%$ du temps. Ces pertes doivent être dépassées par les pertes de propagation du chemin pour toutes les valeurs possibles $p_v\%$ values. p_v est le pourcentage de temps qui approxime la convolution entre la distribution du gain sur l'horizon et la distribution des pertes de propagation.
- L_c : Pertes clutter applicables aux chemins de propagation ;

$$p_v(\%) = \begin{cases} \frac{100p}{p_n} & \text{for } p_n \geq 2p \\ 50 & \text{for } p_n < 2p \end{cases}$$

Globalement, cette méthode est peu différente de la TVG usuelle. Elle prend juste en compte la variation temporelle des gains en émission et réception.

6. ETUDE DU CAS GSO GÉNÉRIQUE

Comme expliqué dans la section 5, dans le cas d'une station terrienne, pointant sur l'axe géostationnaire, il convient d'appliquer la TVG sur la distribution de gain sur l'horizon de la station de base. Afin d'approfondir l'étude, la méthode TVG sera appliquée sur les distributions de gain pour les deux types de BS (hotspot et open space) ainsi que pour différents azimuts correspondant à la présence de la station terrienne (Fig.4 et 5). Le Tableau 6 présente les résultats dans le cas où l'ensemble des azimuts de dépointage est considéré et le Tableau 7 synthétise l'ensemble des résultats par azimuth distinct. Les critères de protection pour les stations terriennes pointant sur l'arc géostationnaire (Tableau 2) sont de -147.7 dBW/10MHz et -133 dBW/10MHz pour respectivement 20% et 0.1% du temps.

Le Tableau 6 présente les résultats de la TVG en considérant un pointage de l'antenne de la station terrienne vers le zénith. Autrement dit le gain sur l'horizon de la station est de -10 dBi quel que soit l'azimut. Des valeurs de gain sur l'horizon plus réalistes (pointage exact de l'antenne sur l'arc géostationnaire) seront utilisées pour les calculs finaux mais leur utilisation ne changera en aucun cas les valeurs de pourcentage de temps données dans le tableau. Dans le cas du Tableau 6, la distribution de gain à l'émission sur l'horizon est construite sur l'ensemble des azimuts, alors que dans le Tableau 7, cette distribution est fonction d'un azimuth donné.

Il peut être noté plusieurs éléments pour analyse du Tableau 6:

1. Les deux types d'antenne, malgré des distributions de gain sur l'horizon différentes, fournissent des résultats identiques, soit :
 - a. Dans le cas du critère long terme, de 1.1 à 9.4 km en tenant respectivement compte ou non des pertes dues au clutter.
 - b. Dans le cas du critère court terme, de 0.2 à 1.9 km en tenant respectivement compte ou non des pertes dues au clutter.
2. Le critère long terme pourrait paraître le critère dimensionnant de l'étude pour les stations terriennes pointant sur l'arc géostationnaire. Toutefois, des études Monte Carlo entreprises par l'ESA ont démontré que si le critère court terme était respecté, le critère long terme l'était aussi. Cette divergence provient essentiellement de la TVG elle-même qui n'approxime pas la convolution entre les deux distributions de façon précise pour les pourcentages de temps élevés. De fait la TVG est une excellente approximation pour les critères courts termes, mais cette approximation diverge d'autant plus des résultats de la vraie convolution pour les critères de protection présentant des pourcentages de temps élevés. **Il faut donc utiliser le critère court terme dans les études TVG (soit -133 dBW/10MHz pour les stations terriennes connectées à des satellites GSO)**
3. En considérant le critère court terme comme dimensionnant, **le pourcentage de temps à prendre en compte dans le modèle de propagation est de 50% en considérant un gain de 22.5 dBi.**

Tableau 6

Résultat complets de la TVG pour la distribution gain sur l'horizon sur l'ensemble des azimuts
pour Gr=-10dBi

Critère long terme de 20%							
Type	Gt (dBi)	pn (%)	p (%)	Pv (%)	Lb¹ (dB)	Distance (km) Sans clutter	Distance (km) Avec clutter
Hotspot	-25	100	20	20	95/76	X ²	X
	-20	94.3	20	21.2	100/81	X	X
	-15	75.5	20	26.5	105/86	X	X
	-10	63.2	20	31.7	110/91	0.3	X
	-5	48.4	20	41.4	115/96	0.5	X
	0	31.9	20	50	120/101	0.9	X
	5	17.2	20	50	125/106	1.5	0.2
	10	10.1	20	50	130/111	2.7	0.3
	15	6.7	20	50	135/116	4.6	0.5
		22.5	0.1	20	50	143/124	9.4
Open Space	-25	100	20	20	95/76	X	X
	-20	90.9	20	22	100/81	X	X
	-15	55.7	20	35.9	105/86	X	X
	-10	40.9	20	49	110/91	0.3	X
	-5	27.5	20	50	115/96	0.5	X
	0	16.5	20	50	120/101	0.9	X
	5	9	20	50	125/106	1.5	0.2
	10	4.7	20	50	130/111	2.7	0.3
	15	2.2	20	50	135/116	4.6	0.5
		22.5	0.0002	20	50	143/124	9.4
Critère court terme de 0.1%							
	Gt (dBi)	pn (%)	p (%)	Pv (%)	Lb (dB)	Distance (km) Sans clutter	Distance (km) Avec clutter
Hotspot	-25	100	0.1	0.1	80/61	X	X
	-20	94.3	0.1	0.1	85/66	X	X
	-15	75.5	0.1	0.1	90/71	X	X

	-10	63.2	0.1	0.2	95/76	X	X
	-5	48.4	0.1	0.2	100/81	X	X
	0	31.9	0.1	0.3	105/86	X	X
	5	17.2	0.1	0.6	110/91	0.3	X
	10	10.1	0.1	1	115/96	0.5	X
	15	6.7	0.1	1.5	120/101	0.9	X
	22.5	0.1	0.1	50	127.5/108.5	2	0.2
Open Space	-25	100	0.1	0.1	80/61	X	X
	-20	90.9	0.1	0.1	85/66	X	X
	-15	55.7	0.1	0.2	90/71	X	X
	-10	40.9	0.1	0.3	95/76	X	X
	-5	27.5	0.1	0.4	100/81	X	X
	0	16.5	0.1	0.6	105/86	X	X
	5	9	0.1	1.1	110/91	0.3	X
	10	4.7	0.1	2.14	115/96	0.5	X
	15	2.2	0.1	4.6	120/101	0.9	X
		22.5	0.0002	0.1	50	127.5/108.5	2
¹ : Les valeurs de pertes Lb sont données Sans/Avec pertes « clutter » ² X : la distance de séparation n'est pas significative et/ou inférieure à 200m							

Tableau 7

Synthèse des résultats finaux de la TVG par azimut pour le critère court terme (0.1%) et pour Gr=-10dBi

Type	Azimut ³ (°)	Gt (dBi)	pv (%)	Lb ¹ (dB)	Distance (km) Sans clutter	Distance (km) Avec clutter
Hotspot	0	22.5	50	127.5/108.5	2	0.2
	10					
	20					
	30					
	40	21	50	126/107	1.7	X
	50	20	50	125/106	1.5	X
	60	18	50	123/104	1.2	X
	70	15	50	120/101	0.9	X
	80	9	50	114/95	0.4	X

	90	4	50	109/90	0.2	X
Open Space	0	22.5	50	127.5/108.5	2	0.2
	10					
	20					
	30	21	50			X
	40	20	50	126/107	1.7	X
	50	19	50	125/106	1.5	X
	60	17	50	123/104	1.2	X
	70	14	50	120/101	0.9	X
	80	9	50	114/95	0.4	X
	90	3	50	108/89	0.2	X
<p>¹ : Les valeurs de pertes Lb sont données Sans/Avec pertes « clutter » ² X : la distance de séparation n'est pas significative et/ou inférieure à 200m ³ Azimut de dépointage entre le centre de la station de base et la position de la station terrienne (référentiel de la station de base) pour une élévation de 0° (horizon)</p>						

L'analyse du Tableau 7 (associé au Fig. 7 et 8) montre que :

1. Les résultats de la TVG, à perte due au clutter identique (prise en compte ou non), sont identiques quel que soit le type de critère utilisé (20% ou 0.1%).
2. Les résultats pour les hotspots et les stations « open space » sont très similaires
3. Le dépointage entre l'axe de la station de base et la position de la station terrienne a un impact non négligeable sur les valeurs de distance de séparation :
 - a. Pour les hotspots (6m) et les stations « open space » (10 m) en ne considérant pas les pertes dues au clutter, les valeurs s'étalent de 2 km à 200 m pour un dépointage de 0 à 90°.
 - b. Pour les hotspots (6m) et les stations « open space » (10 m) en considérant les pertes dues au clutter, les valeurs sont inférieures à quelques centaines de mètres 0 à 90°.

7. ETUDE DU CAS NGSO GÉNÉRIQUE

Dans le cas d'une station terrienne suivant un satellite non-géostationnaire (NGSO), il convient de prendre en considération l'évolution temporelle du gain sur l'horizon. Dans ces conditions, comme décrit dans la section 5, la TVG s'applique sur la distribution de gain global émetteur/récepteur. Cette distribution se construit par convolution des distributions de gain de l'émetteur et du récepteur. Tout comme dans le cas GSO, la TVG sera appliquée ici sur les distributions de gain à l'émission des deux types de BS (hotspot et open space) ainsi que pour différents azimuts correspondant à la présence de la station terrienne (Fig.4 et 5). La Fig. 10 présente les distributions de gain à la réception de la station terrienne sur l'horizon lorsque cette dernière suit un satellite non-géostationnaire à orbite polaire dont les caractéristiques sont présentées dans la Tableau 8

Tableau 8

Caractéristiques des systèmes non-géostationnaires

Satellite			Station terrienne	
Type	Orbite (km)	Inclinaison (°)	Gain maximum (dBi)	Diagramme Rayonnement
CNES/SPOT	820	98.8	63	RR Appendice 7
METEO/METOP	840	98.7	63	RR Appendice 7

La Fig. 11 présente la convolution entre les distributions des gains à l'émission et à la réception. Le Tableau 9 synthétise l'ensemble des résultats par azimuth de dépointage distinct (la courbe pire cas – rouge - est prise en considération pour chaque groupe de courbe de la Figure 11). Le critère de protection court terme pour les stations terriennes pointant sur l'arc géostationnaire est de (Tab.2) de -133 dBW/10MHz pour 0.1% du temps.

Figure 10
Distribution du gain de l'EESS sur l'horizon.

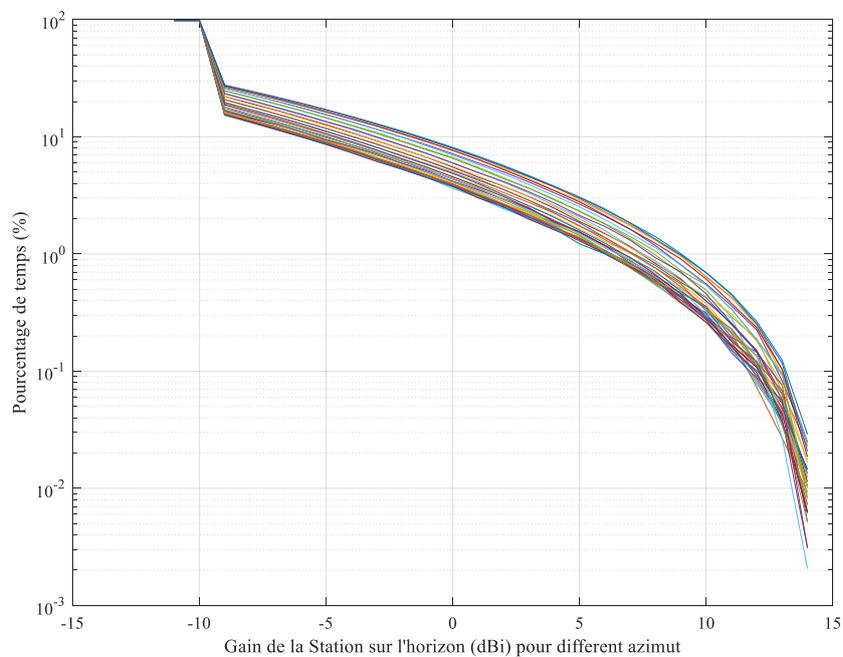


Figure 11
CDF de la convolution des distributions de gain de l'EESS et l'IMT sur l'horizon. Chaque série de courbe est associé à une direction de dépointage de l'antenne IMT. Pour chaque série, les courbes similaires correspondent à la direction en azimut de l'émetteur IMT/ à la station terrienne

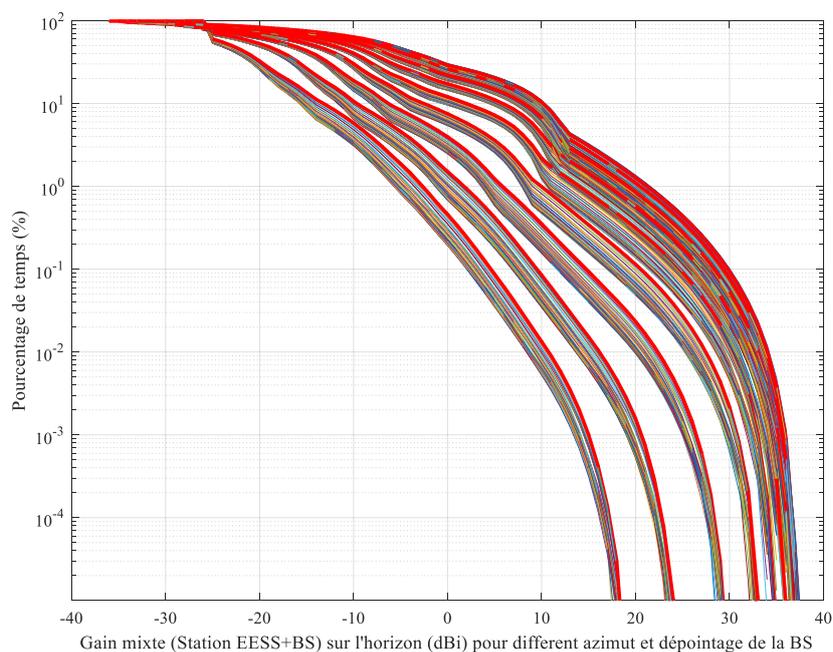


Tableau 9

Synthèse des résultats finaux de la TVG par azimut pour le critère court terme (0.1%)

Azimut³ (°)	Gtot⁴ (dBi)	pv (%)	Lb¹ (dB)	Distance (km) Sans clutter	Distance (km) Avec clutter
0	38	50	136/117	5.1	0.6
10					
20					
30					
40	36	50	134/115	4.1	0.5
50	35	50	133/114	3.7	0.4
60	34	50	132/113	3.3	
70	31	50	129/110	2.1	X
80	25	50	123/104	1.2	X
90	20	50	118/99	0.7	X

¹ Les valeurs de pertes Lb sont données Sans/Avec pertes « clutter »
² X : la distance de séparation n'est pas significative et/ou inférieure à 200m
³ Azimut de dépointage entre le centre de la station de base et la position de la station terrienne (référentiel de la station de base) pour une élévation de 0° (horizon)
⁴Gtot correspond au gain associé de l'émetteur et du récepteur

8. AGRÉGATION

Des effets agrégés de plusieurs stations de base au niveau de la station terrienne peuvent se produire, seulement dans le cas où plusieurs sources présenteraient la même amplitude de puissance au niveau du récepteur. Comme expliqué dans les sections précédentes, les études de TVG montrent que les distances permettant d'obtenir les pertes nécessaires à la protection des stations terriennes sont majoritairement en LOS, c'est-à-dire bien avant l'horizon radioélectrique.

Les études des sections 6 et 7 montrent qu'il faut utiliser :

- Dans le cas GSO, le gain max de la BS dans la direction de la station terrienne et la P.452 incluant un pourcentage de 50%
- Dans le cas NGSO, le gain max de l'association station terrienne + BS et la P.452 incluant un pourcentage de 50%

Dans ces conditions, considérant les hypothèses précédentes, les effets agrégés ne peuvent se produire que dans le cas où plusieurs BS présenteraient leur gain maximum identique (donc la station terrienne se trouve dans un azimut identique pour chaque BS) et des pertes de propagation très proches. Autrement dit, ce cas de figure pourrait se présenter pour des BS qui « verraient » la station terrienne dans un même azimut tout en présentant des associations de distances et de pertes par diffraction différentes. Afin de couvrir, ces effets agrégés potentiels, une marge arbitraire de 6dB est choisie.

9. ETUDE DE CAS RÉELS

Dans cette partie, les hypothèses de calculs sont les suivantes :

1. Le modèle de propagation est celui de la Recommandation P.452-V14 avec un pourcentage de temps fixe de 50% et le gain sur l'horizon est toujours pris comme le gain maximum en émission et en réception. Ces résultats sont liés aux études de TVG décrites dans les sections précédentes.
2. Un modèle de bâtis au pas de 5m est toujours associé aux modèles de terrain (Voir Fig.12) afin de rendre compte de la diffraction réelle accessible du fait d'un environnement urbain.
3. **Il convient de noter que l'ensemble des études est basé sur les hypothèses du WP5D et du TG5/1, c'est-à-dire sur une TRP dans la bande d'utilisation de 28 dBm/200 (puissance de 25 dBm/200MHz) et d'un gain sur l'horizon calculé à l'aide d'une antenne 8x8 de valeur maximum de 23dBi. L'évolution de cette TRP et/ou du nombre d'éléments composants l'antenne à formation de faisceaux donnera lieu à une évolution des résultats de ces études.**

Figure 12

Exemple de représentation du bâti sur la ville de Toulouse (extrait des données IGN)



9.1. Cas réels de stations GSO

Seul l'affectataire METEO prévoit une utilisation de stations terriennes avec l'arc géostationnaire. La répartition du gain de la station terrienne en fonction des différents azimuts est fixe selon le pointage de l'antenne. Le Tableau 10 présente les deux positions des satellites géostationnaires sur lesquels la station devrait pointer. Le gain en réception s'étale suivant les azimuts de -6 à -10 dB. La valeur de -6 dB est conservée.

Le Tableau 11 suivant propose les valeurs de pertes à prendre en considération en fonction du dépointage de la station terrienne par rapport à la station de base en considérant les hypothèses du WP5D. A titre d'exemple, si la PIRE maximale des stations de base devait être de 70dBm (au lieu de 48dBm – WP5D – il faudrait ajouter 22 dB aux pertes décrites dans le Tableau 11 et ceci aurait pour conséquence d'augmenter très légèrement les distances dans les figures représentant les pertes de propagation.

Les Figures 13 et 14 donnent les résultats de l'utilisation de la P.452 avec 50% pour les différentes valeurs de pertes considérées dans le tableau ci-dessus pour les deux positions proposées par Météo France dans le Tableau 1. Ces pertes ont été calculées sur la base du modèle de propagation cité (V14) en prenant en compte le terrain ainsi que la couche réelle du bâti au pas de 5 m.

1. La Figure 13, relative à la première position de la station Météo (Sur le terrain adjacent au bâtiment Météo France), la distance maximum est d'environ 3 km en direction du Golf de Toulouse. Certaines positions au Nord-ouest et Sud-est (correspondant à des points hauts du relief) devront être traitées avec attention. Le centre de Toulouse au nord-est n'est absolument pas impacté par les distances de séparation.
2. La Figure 14, relative à la deuxième position potentielle de la station Météo (sur le toit du bâtiment Météo). Dans cette configuration l'antenne surplombe une partie du bâti et les distance nécessaire à sa protection deviennent donc beaucoup plus importantes.

Tableau 10

Caractéristiques des systèmes géostationnaires

Satellites			Station terrienne	
Type	Orbite (km)	Position (°)	Gain maximum (dBi)	Diagramme Rayonnement
METEO/GEO	36000	0	63	RR Appendice 7
	36000	9.5	63	RR Appendice 7

Tableau 11

Synthèse des résultats génériques pour le cas GSO pour 48 dBm de PIRE maximum des BS

Type	Azimat ³ (°)	Pt (dBW /10MHz)	Gt (dBi)	Gr (dBi)	Cr (dBW /10MHz)	Aggr. effect (dB)	Lb (dB)
Hotspot	0	-18	22.5	-6	-133	6	137.5
	10						
	20						
	30						
	40	-18	21	-6	-133	6	136
	50	-18	20	-6	-133	6	135
	60	-18	18	-6	-133	6	133
	70	-18	15	-6	-133	6	130
	80	-18	9	-6	-133	6	124
	90	-18	4	-6	-133	6	119

Figure 13

Représentation des pertes de propagation autour de la station EESS Météo GEO – Site 1

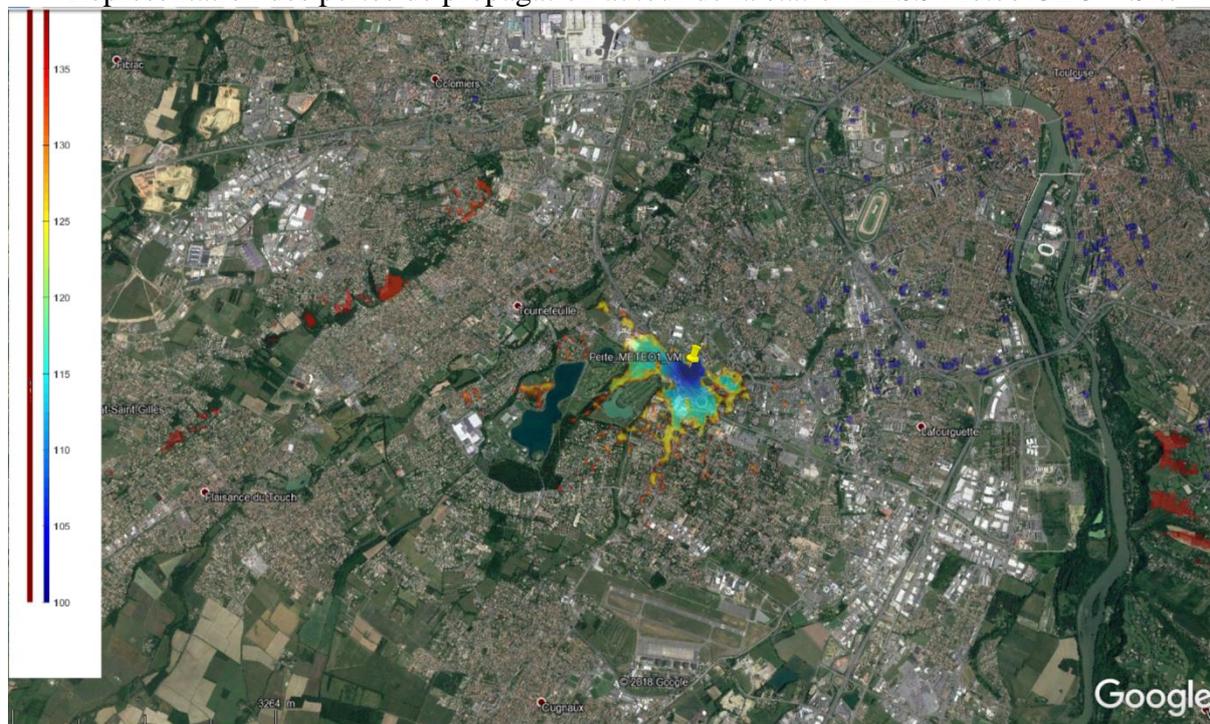
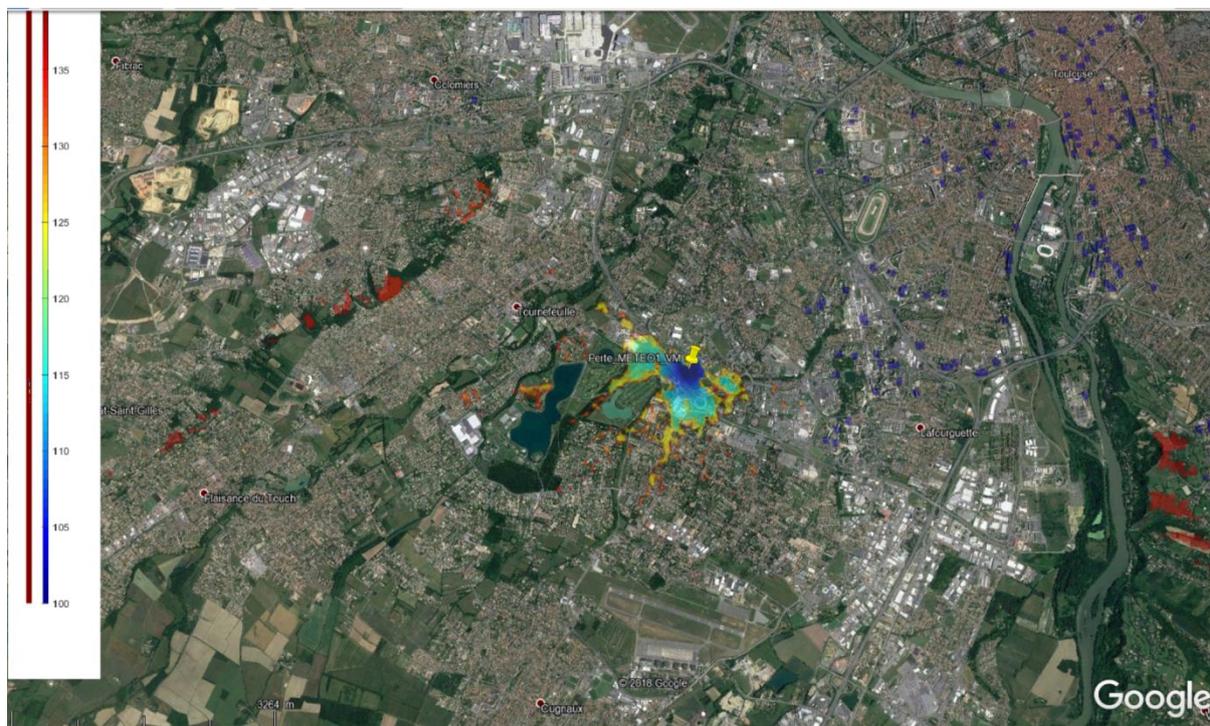


Figure 14

Représentation des pertes de propagation autour de la station EESS Météo GEO – Site 2



9.2. Cas réels de stations NGSO

Les 3 affectataires (METEO, CNES et DEF) prévoient l'utilisation de station terrienne EESS NGSO dans la bande 26 GHz. Les figures suivantes présentent les pertes de propagation autour de certaines stations en relation avec le Tableau 12 qui définit les valeurs de pertes à respecter dans le cas NGSO.

Dans la grande majorité des cas, le bâti et les pertes par diffraction qui découle de sa présence permettent une coexistence entre les deux services :

1. Dans le cas des stations CNES ou METEO aux abords de Toulouse, seule une partie mineure de la zone périphérique de Toulouse pourrait être impactée par la présence des stations EESS. Il convient de noter que la présence de ces stations n'a aucun impact sur l'hyper centre-ville, le centre-ville tout comme sur le stade, l'hippodrome ou bien encore l'aéroport de Blagnac.
2. Dans le cas des stations de la Défense (résultats non présentés dans ce document). Aucune mesure particulière n'est à considérer dans ce document.

Tableau 12

Synthèse des résultats génériques pour le cas NGSO pour 48 dBm de PIRE maximum des BS

Type	Azimet ³ (°)	Pt (dBW /10MHz)	Gt (dBi)	Cr (dBW /10MHz)	Aggr. effect (dB)	Lb (dB)
Hotspot	0	-18	38	-116	6	142
	10					
	20					
	30					
	40	-18	36	-116	6	140
	50	-18	35	-116	6	139
	60	-18	34	-116	6	137
	70	-18	31	-116	6	134
	80	-18	25	-116	6	128
	90	-18	20	-116	6	123

Figure 15

Représentation des pertes autour de la station NGSO de Météo France à Toulouse

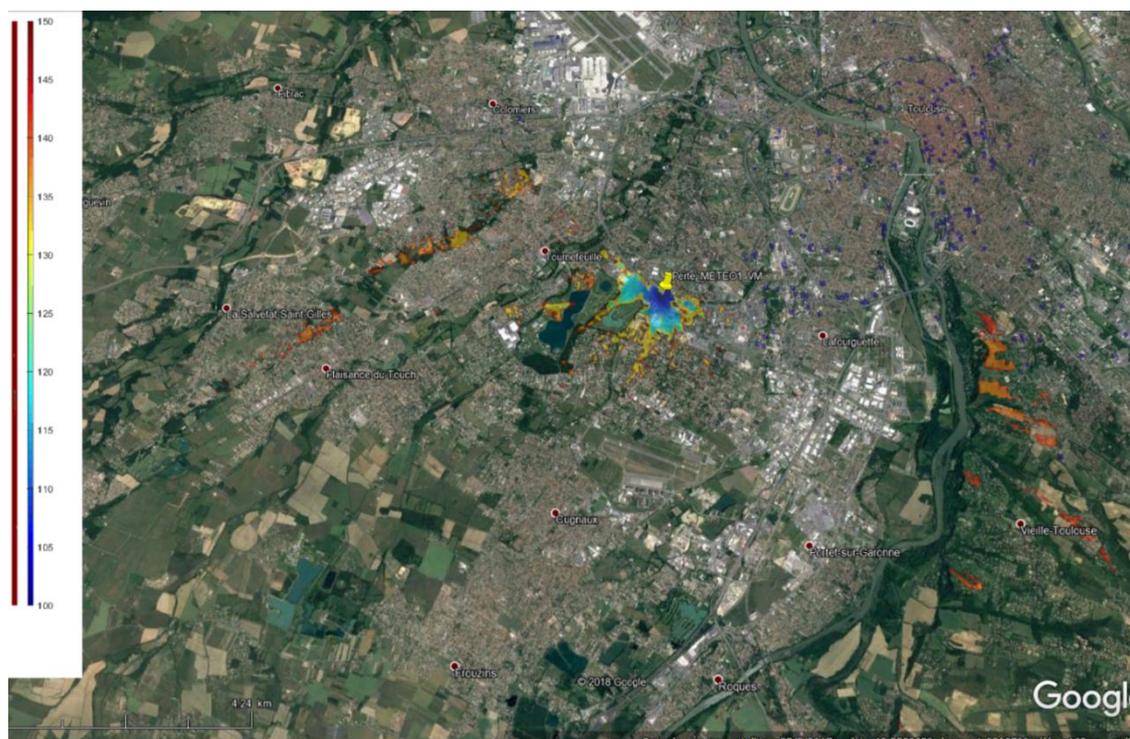


Figure 16

Représentation des pertes autour de la station NGSO de Météo France à Lannion

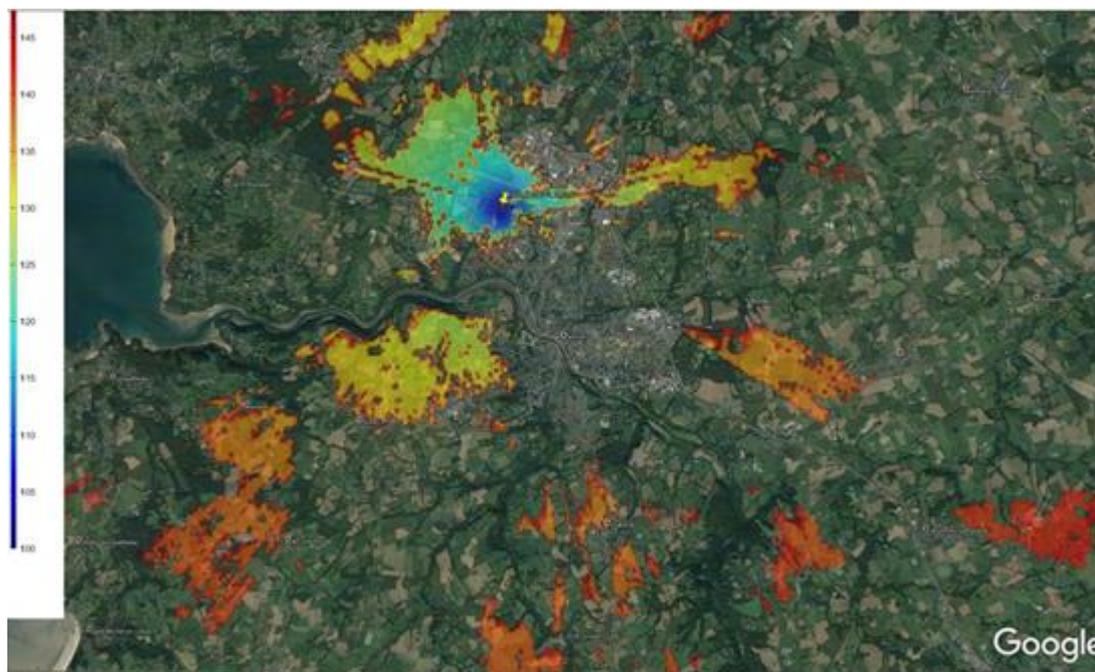


Figure 17

Représentation des pertes autour de la station NGSO du CNES (Site 1 – SPOT Image)

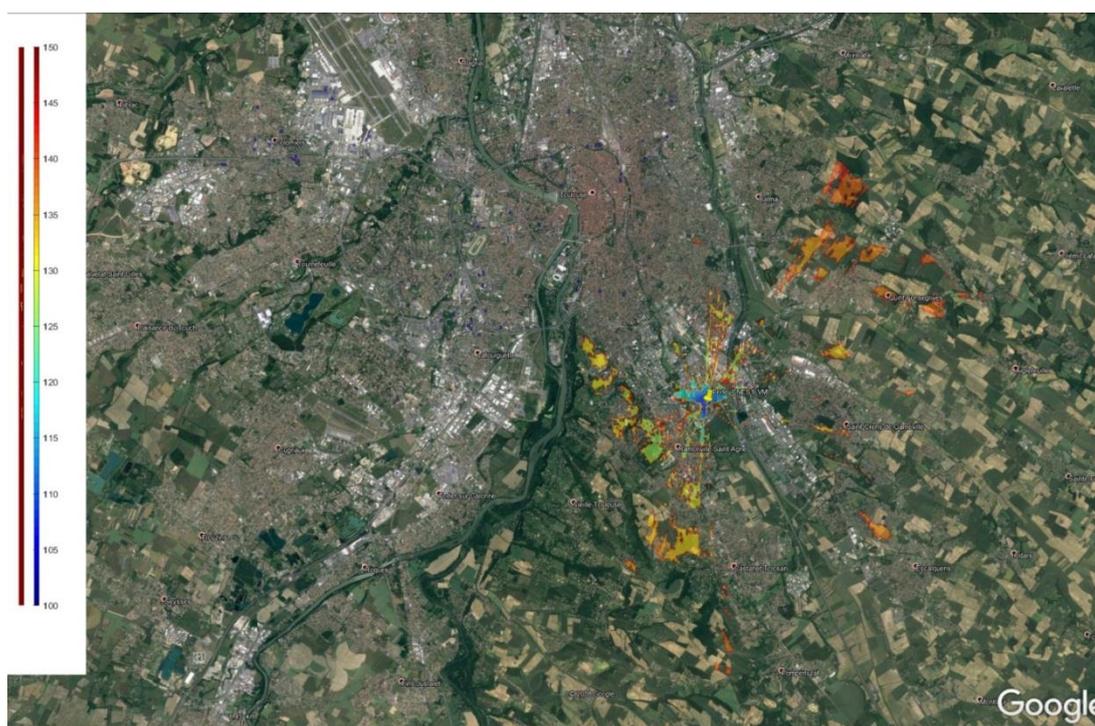
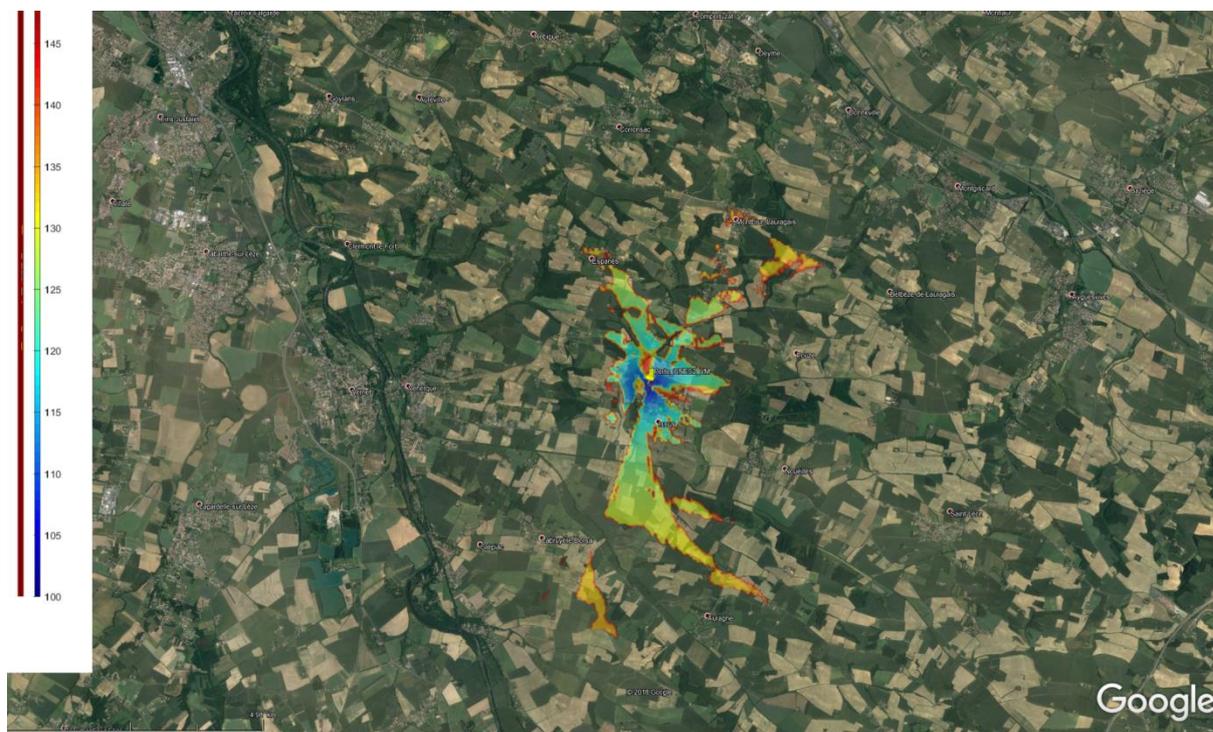


Figure 18

Représentation des pertes autour de la station NGSO du CNES (Site 2 – Aussaguel)



10. CONCLUSION GÉNÉRALE

Tout d'abord, il convient de préciser que l'ensemble des résultats présentés dans ce document est élaboré sur la base d'une PIRE maximale des stations de base de l'IMT 2020 de 48 dBm/200MHz. Toutes évolutions de cette PIRE maximale, par évolution antennaire (nombre d'éléments rayonnants et/ou puissance conduite par élément) donnera lieu à une évolution des résultats par une augmentation homothétique des pertes de propagation afin de protéger les stations terriennes.

Tableau 13

Synthèse des résultats pour 48 dBm de PIRE maximum des BS ($G_{r_{hor}}$ est le gain en réception de la station terrienne en direction de la station de base IMT 2020).

Type	Azimet ³ (°)	GSO Lb (dB)	NGSO Lb (dB)
Hotspot (TRP =25 dBm/200 MHz, 64 elements par antenne)	0	144 + $G_{r_{hor}}$	142
	10		
	20		
	30		
	40	142+ $G_{r_{hor}}$	140
	50	141+ $G_{r_{hor}}$	139
	60	139+ $G_{r_{hor}}$	137
	70	136+ $G_{r_{hor}}$	134
	80	130+ $G_{r_{hor}}$	128
	90	125+ $G_{r_{hor}}$	123

Les résultats tiennent compte d'un facteur d'agrégation potentiel de 6 dB.

Selon les stations EESS à protéger un certain niveau de perte entre la station de base IMT 2020 et la station terrienne est à respecter :

1. Pour les stations terriennes en lien avec des satellites NGSO, ce niveau de perte doit être compris entre 123 et 142 dB (Tableau 13) selon l'orientation mécanique en azimut de la station de base par rapport à la station terrienne.
2. Pour les stations terriennes en lien avec des satellites GSO, ce niveau de perte doit être compris entre 119 et 138 dB (Tableau 13) selon l'orientation mécanique en azimut de la station de base par rapport à la station terrienne. Ces valeurs sont données pour un gain en réception $G_{r_{hor}}$ de la station terrienne de -6 dB.