

# Rapport du Comité de concertation de la Compatibilité Electromagnétique

---

*Etude sur la coexistence en bande adjacente entre le  
Service Mobile (IMT) dans 24.25-27.5 GHz et les  
observatoires de Bure et de Maïdo du service de  
radioastronomie opérant dans la bande 23.6-24 GHz*

Référence:  
Rapport CCE IMT vs RST  
24GHz du 14/01/2022

**Rapport CCE**  
Etude sur la coexistence en bande adjacente entre le  
Service Mobile (IMT) dans 24.25-27.5 GHz et les  
observatoires de Bure et de Maïdo du service de  
radioastronomie opérant dans la bande 23.6-24 GHz



<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Fonction</b>	<b>Nom</b>	<b>Nature des révisions</b>
V1	14/01/2022	Rédacteur	Thibaut Caillet	Création du document

Table des matières

1.	Introduction.....	4
2.	Caractéristiques du service de radioastronomie .....	4
2.1.	Bande 23,6-24 GHz.....	4
2.2.	L’observatoire de Bure.....	4
2.2.1.	Caractéristiques du site de Bure .....	4
2.2.2.	Caractéristiques des antennes .....	4
2.3.	L’observatoire de Maïdo .....	6
2.4.	Critère de protection du service de radioastronomie .....	6
3.	Définition des caractéristiques des stations IMT 26 GHz .....	7
3.1.	Caractéristiques générales .....	7
3.2.	Diagramme d’antenne de l’IMT 2020.....	9
3.3.	Caractéristique de Déploiement de l’IMT 2020 .....	10
3.3.1.	Distribution spatiale des terminaux .....	10
3.3.2.	Distribution du gain des stations de base .....	11
3.3.3.	Distribution de gain des terminaux .....	12
4.	Les pertes liées aux bâtis .....	13
5.	Méthodologie d’étude .....	14
6.	Etude du cas générique.....	15
6.1.	Etude des stations de base .....	15
6.2.	Etude des terminaux .....	17
8.	Etude des cas réels .....	18
8.1.	Site de Bure.....	18
8.2.	Site de Maïdo .....	22
9.	Conclusion .....	26

## 1. INTRODUCTION

Le présent rapport vise à analyser les modalités de coexistence en bande adjacente entre le service mobile en France dans la bande 24,25-27,5 GHz (désigné dans la suite du rapport comme IMT 26 GHz) et les stations du service de radioastronomie de l'observatoire de Bure en métropole et de l'observatoire du Maïdo sur l'île de la Réunion, opérant dans la bande passive 23,6-24 GHz.

A partir des résultats de ces études, un ensemble de recommandations est proposé afin de faciliter la coexistence entre les stations de terre IMT 26 GHz et les stations du service de radioastronomie.

## 2. CARACTERISTIQUES DU SERVICE DE RADIOASTRONOMIE

### 2.1. Bande 23,6-24 GHz

Le service de radioastronomie est primaire dans la bande 23,6-24 GHz. D'autre part, la bande 23,6-24 GHz est soumise à l'article RR **5.340** et toute émission y est interdite (bande passive). La bande est usuellement utilisée pour l'observation des raies NH<sub>3</sub> (ammoniaque), pour la mesure des profils atmosphériques de la vapeur d'eau, pour la calibration des instruments de radioastronomie millimétrique.

### 2.2. L'observatoire de Bure

#### 2.2.1. Caractéristiques du site de Bure

Le site de Bure accueille NOEMA, un interféromètre de 12 antennes. Chaque antenne de NOEMA intègre un radiomètre de calibration de la vapeur d'eau à haute sensibilité en bande K.

Sur un plan exclusivement scientifique, la bande 18-26 GHz soit presque toute la bande K (18-27 GHz) est utilisée sur le site de Bure par les radiomètres WVR pour l'observation de la vapeur d'eau en mode différentiel (à plusieurs fréquences), dans le but de calibrer les observations faites à plus haute fréquence par l'interféromètre.

Le radiomètre WVR actuel observe actuellement trois sous-bandes indépendantes de largeur 1 GHz à 19 GHz, à 22 GHz et à 25 GHz. Une évolution de ce radiomètre est prévue en parallèle avec le projet NOEMA afin de porter le nombre de sous-bandes observables de 3 à 24 pour des largeurs de bande entre 300 MHz et 800 MHz.

#### 2.2.2. Caractéristiques des antennes

NOEMA est à l'altitude NGF de 2553 m sur le plateau de Bure.

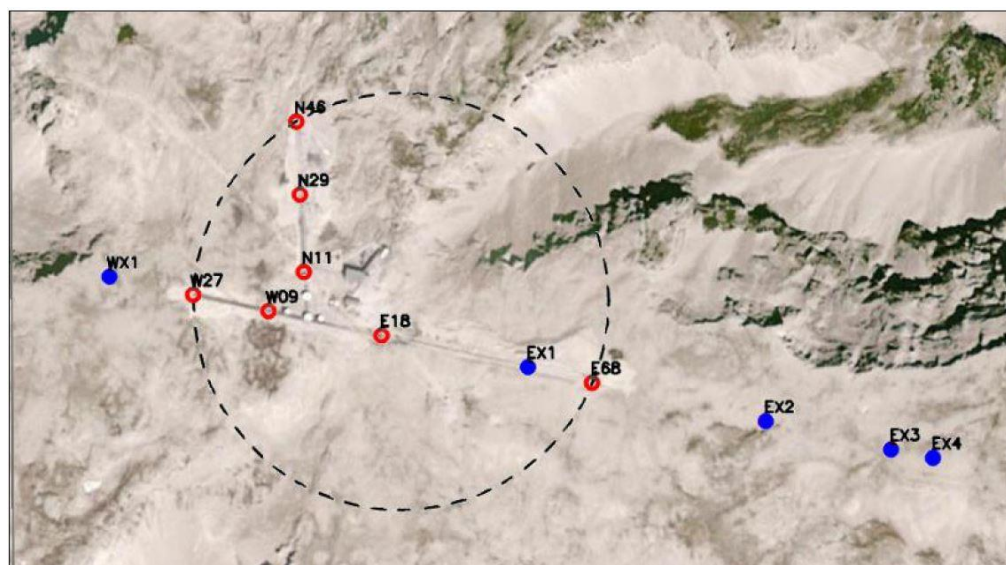
- Réseau en Y avec rails de déplacement et points de positionnement des antennes. Lignes de base Est-Ouest de 1560 m et Nord-Sud de 370 m.
- 12 antennes identiques de diamètre 15 m mobiles sur des rails, le long des lignes de base

La figure 2 et le tableau 1 donnent les coordonnées des positions extrêmes et particulières des antennes sur les lignes de base. Toutes les positions intermédiaires ne sont pas précisées. Les paramètres de ces antennes sont donnés dans le tableau 2 suivant :

TABLEAU 1  
Coordonnées de certaines positions particulières des antennes de NOEMA sur le plateau de Bure

Point	Latitude Geoportail	Longitude Geoportail	Distance depuis N0 (m)	Commentaire
Extrémité Nord N46	N 44°38'13,0"	E 05°54'23,3"	370	
Nord N29	N 44°38'08,6"	E 05°54'23,5"	230	
Nord N11	N 44°38'03,9"	E 05°54'23,9"	86	
Croisée des réseaux N0	N 44°38'01,1"	E 05°54'24,0"	0	Non indiqué sur la figure
Extrémité Ouest WX1	N 44°38'03,8"	E 05°54'07,4"	376	
Ouest W27	N 44°38'02,6"	E 05°54'14,5"	216	
Ouest W09	N 44°38'01,6"	E 05°54'20,9"	-72	
Est EX1	N 44°37'58,2"	E 05°54'42,8"	424	
Est E68	N 44°37'57,3"	E 05°54'48,1"	544	
Est EX2	N 44°37'55,1"	E 05°55'02,2"	870	
Est EX3	N 44°37'53,1"	E 05°55'14,7"	1144	
Extrémité Est EX4	N 44°37'52,8"	E 05°55'16,5"	1184	

FIGURE 2  
Représentation 2D de certaines positions particulières des antennes de NOEMA sur le plateau de Bure



L'antenne de radioastronomie millimétrique est un système Cassegrain à antenne parabolique et sub-réflécteur au foyer sur une monture alt-azimutale mobile et dont les paramètres sont donnés dans le Tableau 1 suivant :

Tableau 2

Caractéristiques des antennes de l'interféromètre

Eléments	Valeurs
Antenne Parabolique	Diamètre de 15 m, Hauteur maximum de 15,85 m Hauteur au point focal de 8,35m
Pointage	Azimut = 0 à 360° Elévation = 0 à 90°
Directivité	70.9 dBi @ 22,355 GHz 71.4 dBi @ 23,800 GHz
Gain (G)	69.6 dBi @ 22,355 GHz 70.2 dBi @ 23,800 GHz
Ouverture à 3dB	0.065° soit 3.9' @ 22,355 GHz 0.061° soit 3.6' @ 23,800 GHz
Diagramme de rayonnement	Recommandation ITU-R SA.509-3

### 2.3. L'observatoire de Maïdo

L'observatoire de Maïdo observe dans la bande 22 GHz avec des radiomètres millimétriques. Actuellement, les récepteurs ne couvrent pas la bande 23,6-24 GHz. Toutefois l'observatoire est un site d'accueil international et fait partie de réseaux de stations d'observations pour des mesures atmosphériques depuis le sol dans le cadre de l'étude des changements climatiques. Le site est privilégié par la communauté scientifique pour sa localisation géographique (dans l'océan indien, à 2200m d'altitude au-dessus de la couche limite atmosphérique) et son implantation loin des zones densément peuplées. La bande 23,6-24 GHz permet des mesures de référence et l'observatoire pourra à tout moment, recevoir des équipements pour observer dans cette bande passive. Les études sur ce site seront faites en considérant une antenne générique (répondant aux caractéristiques typiques définies par les recommandations ITU-R pertinentes) positionnées sur la terrasse du bâtiment.

### 2.4. Critère de protection du service de radioastronomie

La recommandation **ITU-R RA. 769-2** définit les critères utilisés pour la protection des observations radioastronomiques, qui sont résumés dans les tableaux 1 et 2 de cette recommandation. Le tableau 4 reprend les seuils de sensibilité dans la bande 23,60-24 GHz à prendre en compte dans le cas d'observations du continuum (CO - première ligne) ou de la raie spectrale (SLO - seconde ligne).

Tableau 2.  
Caractéristiques des récepteurs de radioastronomie

OBS	Fréquence Centrale (GHz)	Largeur bande (MHz)	Température de bruit minimale (K)	Température de bruit du récepteur (K)	Temp (mK)	Densité Spectrale dB(W/Hz)	Puissance d'entrée (dBW)	Puissance surfacique (dB(W/m <sup>2</sup> ))
CO	23.8	400	15	30	0.050	-271	-195	-147
SLO	23.7	0.25	35	30	2.91	-254	-210	-161

Note : Les seuils de puissance surfacique sont définis par défaut pour une antenne de réception équivalente à une antenne omnidirectionnelle de gain 0dBi. La première et troisième ligne (CO) correspondent au niveau requis pour des observations du continuum ; la seconde et dernière ligne (SLO) pour des observations de raie spectrale

Il est important de noter que les valeurs indiquées ci-dessus sont calculées sur la base de l'équation (4) de l'**ITU-R RA.769-2** :

$$P_{seuil} = 0.1\Delta P\Delta f$$

Cette puissance de seuil définie sur une bande étroite ou large (250kHz ou 290MHz @24 GHz) est ensuite ramenée dans 1MHz pour cette étude. Les émissions observées des sources de radioastronomie sont extrêmement faibles et produisent donc des variations particulièrement faibles de la température de l'antenne. Une intégration longue et une haute stabilité de l'amplificateur du récepteur sont donc nécessaires et selon la recommandation **ITU-R RA.769-2**, la période d'intégration est par défaut fixée à 2000s.

A ce jour, la température de bruit n'est pas encore totalement spécifiée, il est donc nécessaire de se référer aux valeurs spécifiées dans la recommandation **ITU-R RA.769-2** (45K @24GHz), on en déduit donc que :

- Pour le Continuum ( $\Delta T = 0.050$  mK @24 GHz), la puissance maximale que peut recevoir le récepteur est donc de :
  - -195.6 dBW/400MHz @24 GHz et s'apparente à -165.6 dBm/400MHz
- Pour la raie spectrale ( $\Delta T = 2.9$  mK @ 24GHz), la puissance maximale que peut recevoir le récepteur est donc de :
  - -210 dBW/250 kHz@24 GHz ce qui s'apparente à -180 dBm/250 kHz

### 3. DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DES STATIONS IMT 26 GHZ

#### 3.1. Caractéristiques générales

La bande 24.25-27.50 GHz devraient 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 Equipment ») que par les stations de base (BS). Le Tab.3 présente les caractéristiques des stations IMT 26 GHz « outdoor » délivrées 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 des stations IMT 26 GHz « outdoor »

Paramètres	Unité	Station de Base (pour un secteur) (hotspot urbain / suburbain)	Station de Base (pour un secteur) (open space suburbain)	Terminaux
Puissance transmise à chaque élément rayonnant avant perte ohmique	dBm/200 MHz	10		10
Dimension du panneau		8x8		4x4
Nombre total d'éléments		64		16
Puissance totale avant perte ohmique	dBm	28		22
Puissance rayonnée dans la bande passive (TRP) sans restriction	dBW/200MHz	-24		
Puissance rayonnée dans la bande passive (TRP) avec restriction	dBW/200MHz	-33 <sup>1</sup> et -39 <sup>2</sup>		-29 <sup>1</sup> et -35 <sup>2</sup>
Diagramme de rayonnement		Rec. ITU-R M.2101		Rec. ITU-R M.2101
Gain de l'élément simple	dBi	5		5
Largeur à 3dB Horiz/Vert	deg	65		90
Ratio Avant –Arrière Horiz/Vert	dB	30		25
Antenna polarization		Linear ±45°		Linear ±45°
Espacement Horiz/Vert	m	$\lambda/2$		$\lambda/2$
Gain d'antenne maximum	dBi	23		17
Pertes ohmiques	dB	3		3
PIRE maximum	dBm	48		
Reutilisation fréquentielle UE/BS		1		
Hauteur d'antenne	m	6	15	3
Pointage physique de l'antenne, Az		random		random
Pointage physique de l'antenne, El		10 deg downtilt	15 deg downtilt	random
Body Loss	dB	N/A		4
Scenarior de déploiement		Outdoor		Outdoor
Positionnement		Sur les murs	Sur les toits	
Déploiement des stations / km <sup>2</sup>		30/10	10	
Utilisation des UE indoor	%	0		
Maximum range BS to UE	m	100.0		
Network loading factor		20% (Case 1A), 50% (Case 1B)		
TDD activity factor	%	80		20
<sup>1</sup> Pour les stations IMT 26 GHz déployées Avant le 1er janvier 2024 (ECC)				
<sup>2</sup> Pour les stations IMT 26 GHz déployées Après le 1er janvier 2024 (ECC)				



Pour les stations de base « outdoor », la valeur de TRP initiale pour les émissions non désirées dans la bande 23.60-24.00 GHz était de -24 dBW/200 MHz soit -21 dBW/400 MHz et donc 9 dBm/400 MHz. Sur la base des études menées lors du cycle de CMR-19, ces valeurs ont été abaissées par décision CMR puis ECC à -33 dBW/200 MHz (jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre 2027 par la CMR ou 1<sup>er</sup> Janvier 2024 pour ECC) et -39 dBW/200 MHz (au-delà du 1<sup>er</sup> Septembre 2027 par la CMR ou au-delà du 1<sup>er</sup> Janvier 2024 pour l'ECC). Pour les terminaux, les valeurs de TRP pour les émissions non désirées ont été restreintes respectivement à -29 et -35 dBW/200 MHz. Les puissances utilisées dans l'étude seront les plus contraignantes pour les BS et les UE soient respectivement -6 dBm/400MHz et -2 dBm/400MHz.

### 3.2. Diagramme d'antenne de l'IMT 2020

Les antennes des équipements IMT-2020 sont des antennes actives à réseaux phasés pour les UE et les BS. Comme décrit dans le Tab.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 même en bande adjacente (et plus particulièrement dans la bande passive 23.60-24.00 GHz). 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.

Les diagrammes de rayonnement (Fig.1) construits à l'aide de la Recommandation ITU-R M.2101 ne présentent 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 et d'environ 0.5 à -5 pour les UE (voir figure 2). 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. La Figure 2 présente les valeurs de normalisation à prendre en compte pour les différents angles de pointage dans le cas des stations de base et des terminaux. Ces valeurs sont utilisées dans l'élaboration des distributions de gain sur l'horizon pour les équipements 5G.

Figure 1

Représentation du gain dans le repère cartésien (à gauche) dans le repère sphérique (à droite)

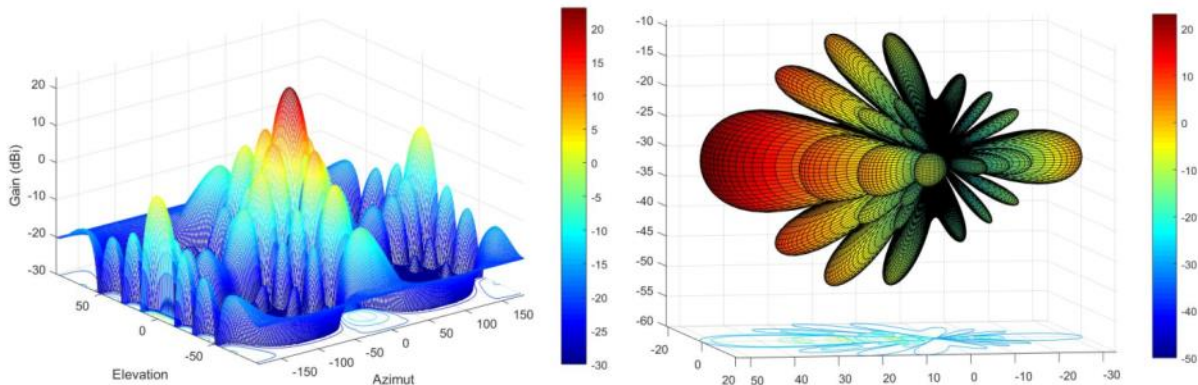
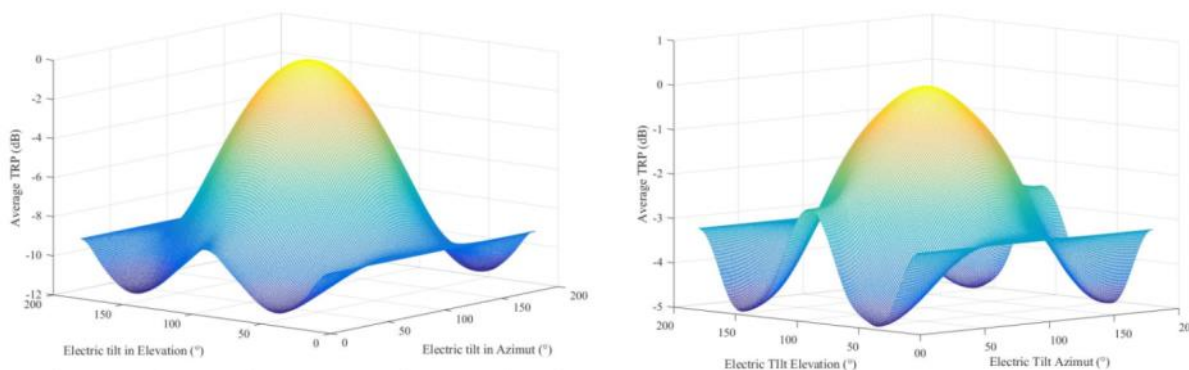


Figure 2

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. Caractéristique de Déploiement de l'IMT 2020

#### 3.3.1. Distribution spatiale des terminaux

Le groupe d'étude 5D définit les caractéristiques d'utilisation des terminaux mobiles par rapport à la station base comme décrit dans la Tab.4. Il faut noter que les BS pointent toujours leur gain maximum en direction des terminaux. 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  $-10^\circ$ .
2. Une station de base à 10 m avec un tilt mécanique de  $-15^\circ$ .

**Il est important de rappeler que pour des raisons de protections satellitaires, les stations de base IMT dans la bande 24.25-27.5 GHz ne peuvent pas fournir de pointage de leur faisceau principal au-dessus de l'horizon en se référant au *considerant r* de la Décision ECC 18(06).**

Tableau 4.

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

Paramètre	Limite	Distribution	Figure
Pointage électrique de la BS	$-60^\circ/+60^\circ$ en azimut	$(\mu, \sigma^2)$ $\mu = 0^\circ$ and $\sigma = 30^\circ$	N°3
Distance entre terminal mobile et station de base	Approx. 120 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

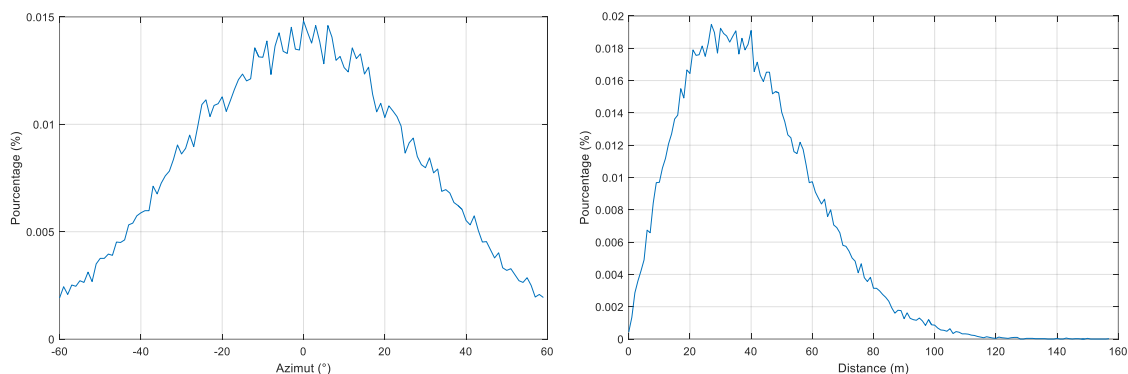
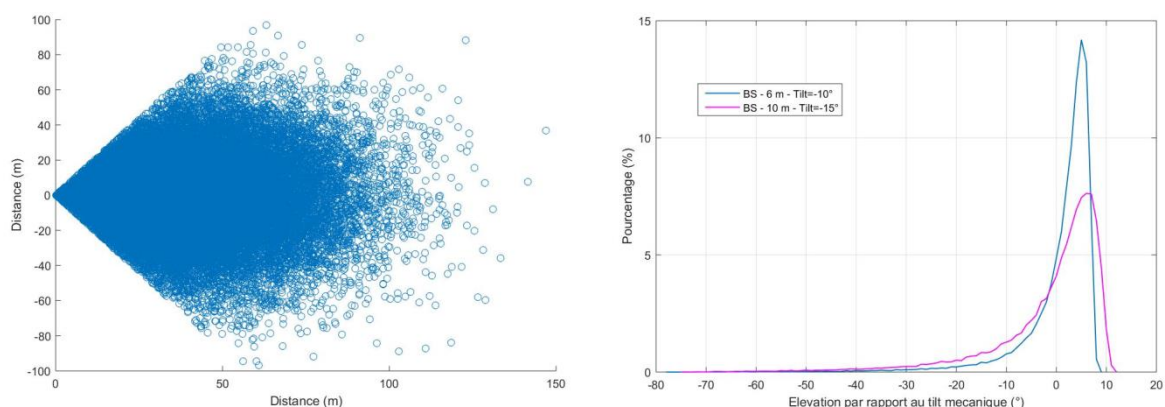


Figure 5 (gauche) et Figure 6 (droite)

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)



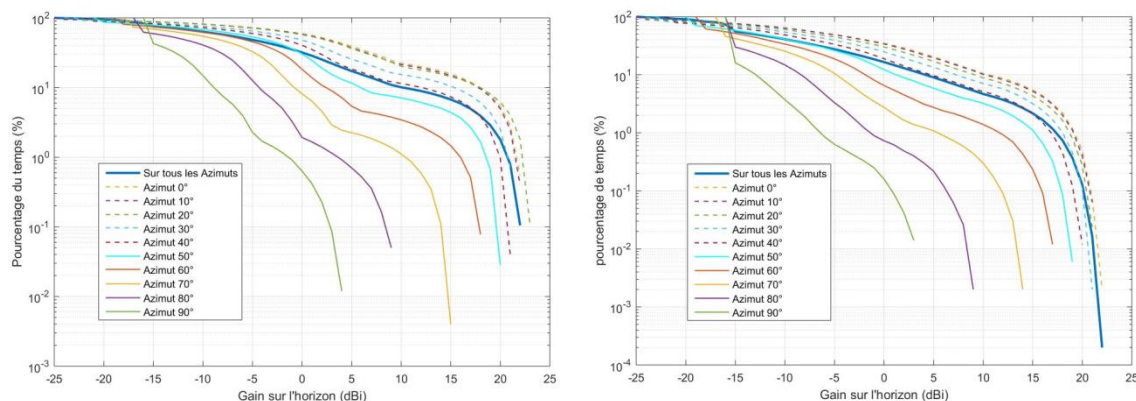
### 3.3.2. Distribution du gain des stations de base

Sur la base de la distribution spatiale des terminaux dans les secteurs des stations de base, 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 apparait faiblement quelques soit l'azimut de la station de radioastronomie.

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 de radioastronomie. 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 7 (gauche) et Figure 8 (droite)

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

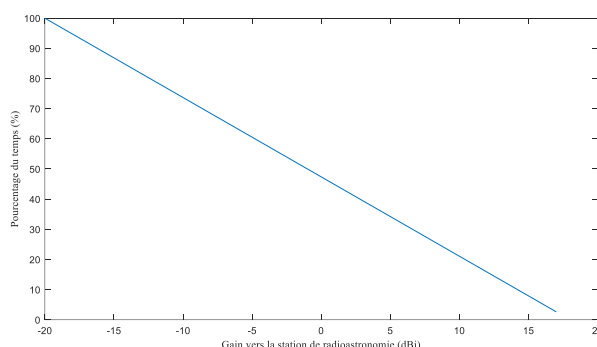


### 3.3.3. Distribution de gain des terminaux

Afin de déterminer les gains des terminaux sur l'horizon, les hypothèses de distribution spatiale de ces derniers au regard d'un secteur restent identiques et le gain maximum du terminal pointe en direction de la BS. Toutefois l'orientation spatiale du terminal ne peut être déterminée puisqu'il peut se trouver à l'horizontal, en biais, tout comme à la verticale lors de l'émission et le secteur peut, quant à lui, être orienté dans n'importe quelle direction vis-à-vis du site de radioastronomie. Afin de définir la distribution de gain, l'étude considérera que l'ensemble des gains des terminaux sont équiprobables en direction de la station de radioastronomie et la distribution sera celle d'une loi uniforme avec une dynamique de gain de -20 à 17 dBi.

Figure 8

Distribution cumulative du gain des UE en direction de la station de radioastronomie.



## 4. LES PERTES LIEES AUX BATIS

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

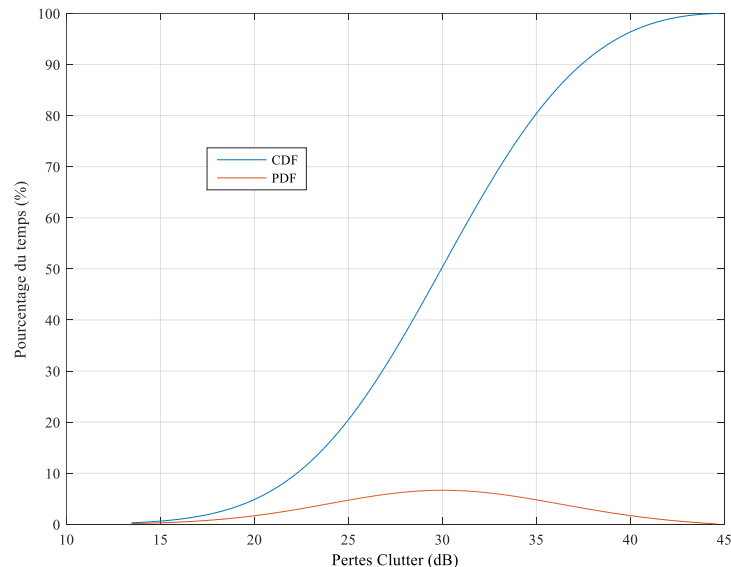
1. Les modèles numériques de terrain et la hauteur du bâti sont connus
2. Seuls les modèles numériques de terrain sont connus

Dans le premier cas de figure, 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 pour les stations de base à 6m.



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

Tableau 5

Application des pertes « 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. METHODOLOGIE D'ETUDE

Afin d'étudier l'impact des émissions dans la bande des équipements @26 GHz dans les récepteurs des stations de radioastronomie de Bure et de Maïdo, l'étude consiste en une analyse de TVG (Time Variant Gain) qui prend en compte l'évolution du gain sur l'horizon des stations de base IMT et des terminaux, en considérant un gain fixe de réception des antennes de radioastronomie égal de 0dBi

Dans l'Appendice 7 du Règlement Radio, 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 (ou à l'émission par symétrie). Dans le cas d'une station de radioastronomie, le gain en réception est pris comme fixe (lobes secondaires). 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, 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 de radioastronomie 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 réception de la station de radioastronomie;
- $I(p)$ : 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 de la station de radioastronomie
- $G_t(p_n)$ : 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 de radioastronomie.
- $L_{req}(p_v)$ : 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%).



## 6. ETUDE DU CAS GÉNÉRIQUE

### 6.1. Etude des stations 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 de présence de la station terrestre (Fig.4 et Fig.5).

Le Tab.6 présente les résultats de la TVG en considérant le gain sur l'horizon de la station de radioastronomie de 0 dBi quel que soit l'azimut. Dans le cas de la Tab.6, la distribution de gain à l'émission sur l'horizon est construite sur l'ensemble des azimuts. Ces résultats sont construits sur la base d'une puissance des émetteurs de -6 dBm/400MHz (après 2024).

Il peut être noté plusieurs éléments par analyse du Tab.6:

1. Les deux types d'antenne, malgré des distributions de gain sur l'horizon différentes, fournissent des résultats quasiment identiques, soit de l'ordre de 11.9 à 19.5 km en tenant respectivement compte ou non des pertes clutter.
2. Le résultat de la TVG donne un **pourcentage de temps à prendre en compte dans le modèle de propagation de 50% en considérant un gain de 23 dBi.**
3. Les pertes calculées par la P.452 dans le cas générique (sans modèle de terrain), sont grandement influencées pour les pourcentages de temps hauts par la diffraction sur la courbure terrestre et par le « ducting » dans le cas de pourcentage faible (proche LOS).

Tableau 6

Résultat complets Résultats complets de la TVG pour la distribution de gain de la station de base sur l'horizon sur l'ensemble des azimuts pour Gr=0dBi

<b>Critère de protection 2%</b>							
<b>Type</b>	<b>Gt (dBi)</b>	<b>pn (%)</b>	<b>p (%)</b>	<b>pv (%)</b>	<b>Lb<sup>1</sup> (dB)</b>	<b>Distance (km) Sans clutter</b>	<b>Distance (km) Avec clutter</b>
<b>Hotspot</b>	-25	100	2	2	134/115	4.7	0.5
	-20	95.6	2	2.1	139/120	6.7	0.9
	-15	75.8	2	2.6	144/125	8.2	1.6
	-10	63.3	2	3.7	149/130	10.1	2.9
	-5	48.4	2	4.1	154/135	12.2	5.1
	0	31.9	2	6.3	159/140	14.6	6.8
	5	17.2	2	11.6	164/145	15.5	7.9
	10	10.3	2	19.5	169/150	17	8.9
	15	6.7	2	29.2	174/155	18.3	10.1
	23	0.07	2	50	182/163	19.5	11.9
<b>Open Space</b>	-25	100	2	2	134/115	4.7	0.5
	-20	90.9	2	2.2	139/120	6.7	0.9
	-15	55.7	2	3.6	144/125	8.2	1.6
	-10	40.9	2	4.9	149/130	10.1	2.9
	-5	27.5	2	7.3	154/135	12.2	5.1
	0	16.6	2	12	159/140	14.6	6.8
	5	9	2	22.1	164/145	15.5	7.9
	10	4.7	2	42.3	169/150	17	8.9
	15	2.2	2	50	174/155	18.3	10.1
	23	0.0002	2	50	182/163	19.5	11.9

<sup>1</sup> : Les valeurs de pertes Lb sont données Sans/Avec pertes « clutter »



## 6.2. Etude des terminaux

Le Tab.7 présente les résultats de la TVG en considérant le gain sur l’horizon de la station de radioastronomie de 0 dBi quel que soit l’azimut. Dans le cas de la Tab.7, comme décrit dans la section 3.3.2, la distribution de gain des terminaux sur l’horizon est considérée comme uniforme. Les résultats présentés sont construits sur la base d’une puissance des émetteurs de -2 dBm/400MHz (après 2024).

Il peut être noté plusieurs éléments par analyse du Tab.6 :

1. Les deux types d’antenne, malgré des distributions de gain sur l’horizon différentes, fournissent des résultats quasiment identiques, soit de l’ordre de 11,7 à 21,4 km en tenant respectivement compte ou non des pertes clutter.
2. Le résultat de la TVG donne un **pourcentage de temps à prendre en compte dans le modèle de propagation de 10% en considérant un gain de 5 dBi**.
3. Les pertes calculées par la P.452 dans le cas générique (sans modèle de terrain), sont grandement influencées pour les pourcentages de temps hauts par la diffraction sur la courbure terrestre et par le « ducting » dans le cas de pourcentage faible (proche LOS).

Ces résultats sont à prendre avec précaution, car le calcul de la TVG est basé sur la variabilité du gain d’antenne du terminal et de la propagation, sans prendre en compte d’autres facteurs de variabilité comme le nombre de terminaux à considérer et pour un terminal comme la localisation, le trafic, le contrôle de puissance, etc...

Tableau 7

Résultats complets de la TVG pour la distribution de gain du terminal sur l’horizon sur l’ensemble des azimuts pour Gr=0dBi

Critère de protection 2%							
Type	Gt (dBi)	pn (%)	p (%)	pv (%)	Lb <sup>1</sup> (dB)	Distance (km) Sans clutter	Distance (km) Avec clutter
	-20	100	2	2	143/124	8	1.5
	-15	86.8	2	2.3	148/129	9.8	2.6
	-10	73.7	2	2.7	153/134	11.9	4.7
	-5	60.5	2	3.3	158/139	14.4	6.6
	0	47.4	2	4.2	163/144	19.3	8.1
	<b>5</b>	<b>34.2</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>168/149</b>	<b>21.4</b>	<b>11.7</b>
	10	21	2	15	173/154	21.1	11.6
	15	7.9	2	25.3	178/159	20.7	11.5
	17	2.6	2	50	180/161	19	11.4

<sup>1</sup> : Les valeurs de pertes Lb sont données Sans/Avec pertes « clutter »

## 8. ETUDE DES CAS REELS

### 8.1. Site de Bure

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 (23 dBi). En réception, le gain est de 0dBi. Ces résultats sont liés aux études de TVG décrites dans les sections précédentes,
2. Aux vues de la zone à prendre en considération, particulièrement montagneuse, les modèles de bâtis ne sont pas pris en compte. Mais des études plus précises pourraient être entreprises si nécessaires en intégrant ce facteur ou une valeur générique.

Tableau 7

Synthèse des résultats génériques de protection d'un site de radioastronomie vis-à-vis des BS hotspots

Type	Azimet <sup>3</sup> (°)	Pt (dBm /400MHz)	Gt (dBi)	Gr (dBi)	Cr (dBm /400MHz)	Lb (dB)
<b>Hotspot</b>	0	-6	23	0	-166	183
	10					
	20					
	30					
	40	-6	21	0	-166	181
	50	-6	20	0	-166	180
	60	-6	18	0	-166	178
	70	-6	15	0	-166	175
	80	-6	9	0	-166	169
	90	-6	4	0	-166	164

Le Tab.7 donne, à titre d'exemple, les pertes de propagation génériques (sans relief, ni bâtis) nécessaires à la protection d'un site (Bure ou Maïdo) en fonction de la position azimutale de ce dernier par rapport à la BS. Les études précédentes ayant montrées des distances de séparation très similaires quel que soit le type d'antenne 5G utilisé, le tableau suivant ne prend en compte que les BS hotspot à 6 m de hauteur. Les valeurs prises en compte sont aussi représentatives du cas des antennes « open space ». Il convient de noter que pour établir la TVG, une puissance d'entrée de -36 dBW/400MHz, soit -6dBm/400MHz (valeur d'émissions non désirées réglementaire au-delà 2024) a été prise.

La Figure 10 donne les résultats de pertes de propagation autour du site de Bure, calculés à l'aide du modèle de propagation P.452 associé à un pourcentage de temps de 50%. Les figures 11 et 12 sont des agrandissements de la Figure 10 dans différentes directions.

Figure 10

Représentation des pertes de propagation autour du site de Bure (échelle sur la gauche en perte de propagation dB)

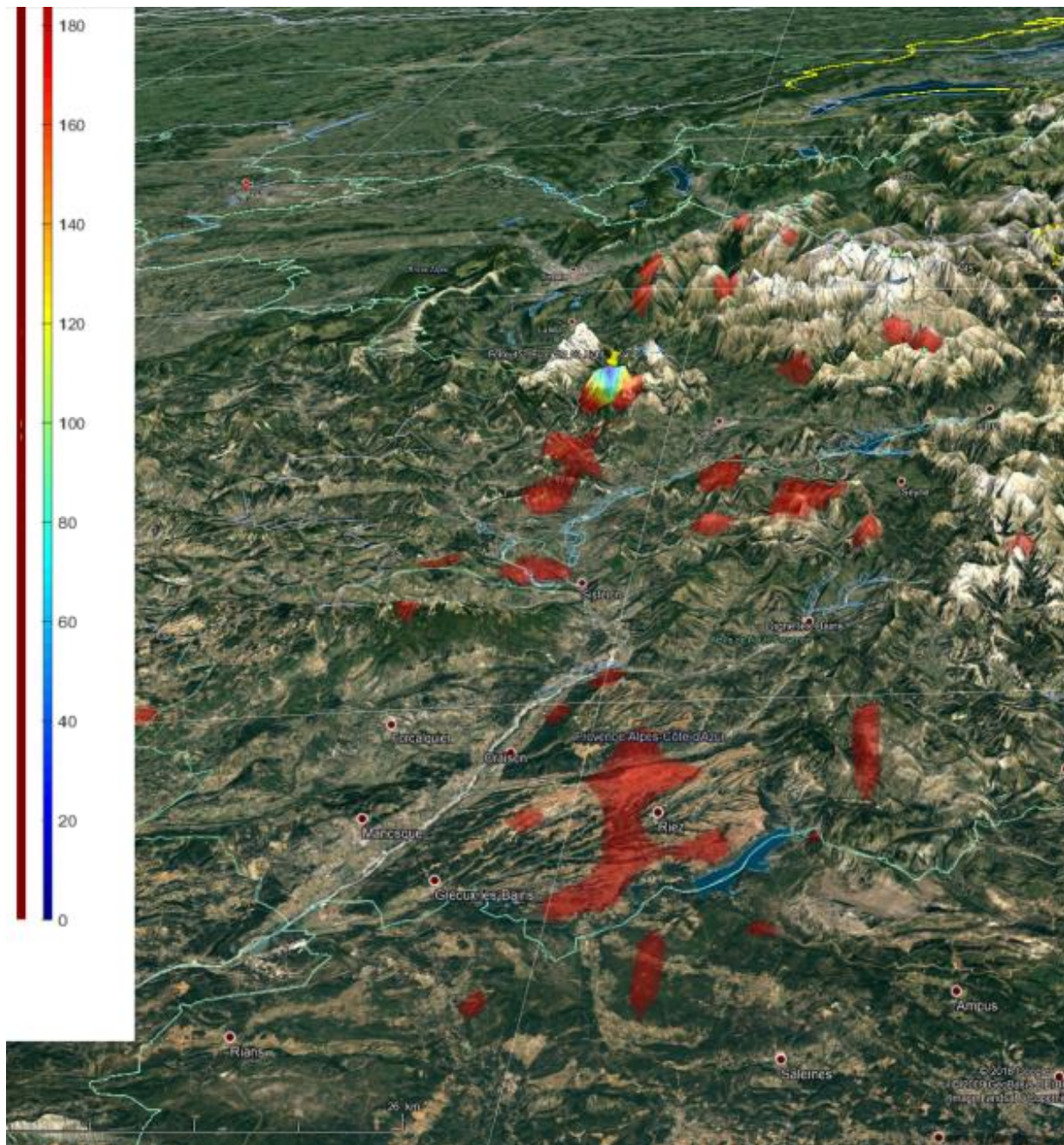


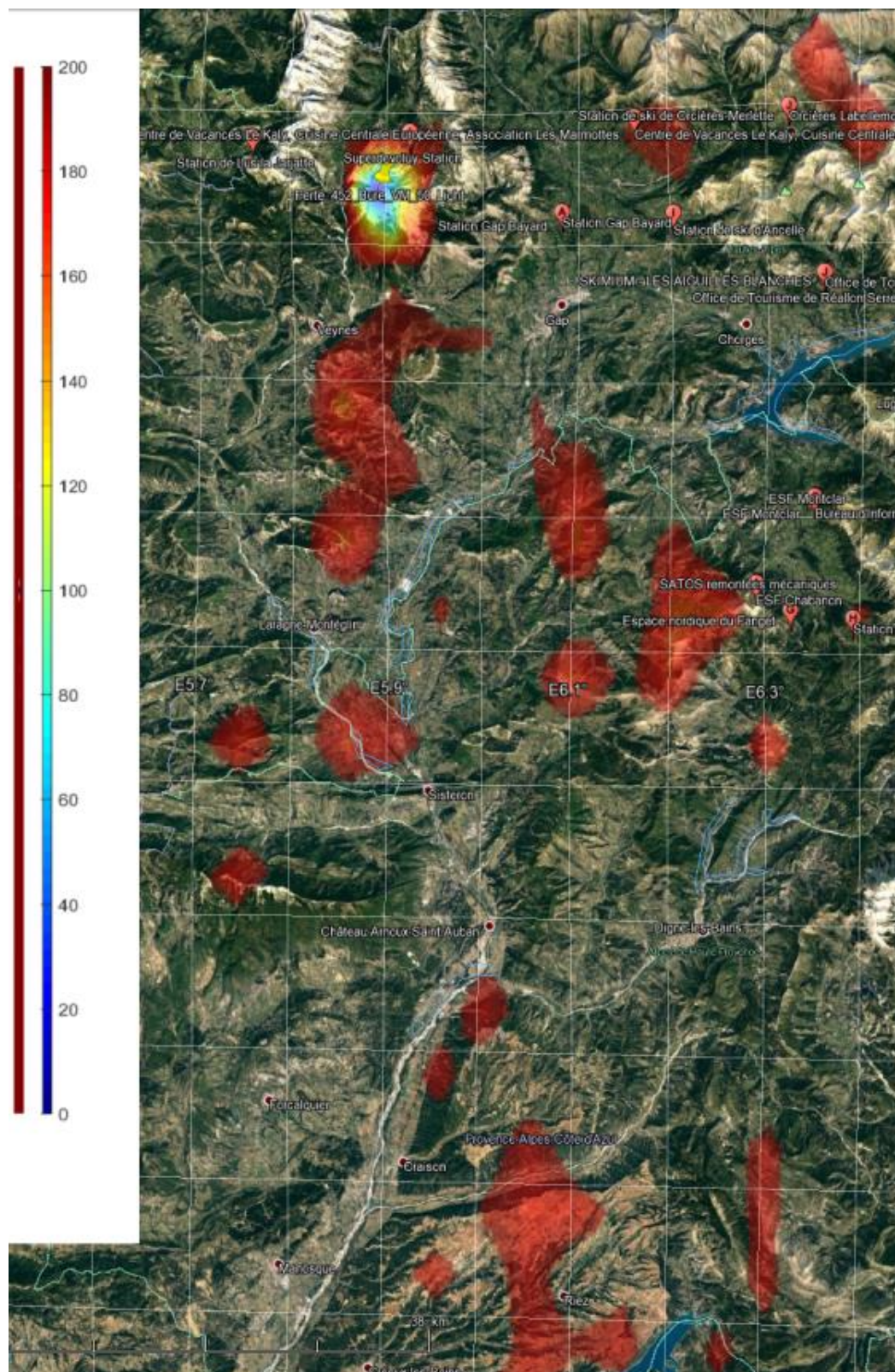






Figure 12

Représentation des pertes de propagation au Sud et l'Est du site de Bure (échelle sur la gauche en perte de propagation dB)



## 8.2. Site de Maïdo

La configuration du site de Maïdo est très différente de celle du site de Bure. Le relief aux alentours du site de Bure peut engendrer des couplages directs entre les stations de base IMT et les stations de radioastronomie sur l'horizon, ce qui justifie l'utilisation d'un diagramme en réception de 0dBi pour les stations de radioastronomie et l'utilisation du gain maximum pour les stations de base IMT. Dans le cas du site de Maïdo, celui-ci est situé sur une pente d'environ 15%, soit 9°, à proximité de la crête et avec l'océan en contrebas. Le couplage direct sur l'horizon entre les stations de base IMT et les stations de radioastronomie paraît improbable car les stations de base @26GHz ne sont pas autorisées à pointer à élévation positive (voir section 5.2).

Dans le cas du site de Maïdo, les hypothèses suivantes sont à prendre en compte pour les études :

1. Les stations de base sont en contrebas du site de radioastronomie. Dans ce cas, les hypothèses d'étude tiennent compte du fait que l'antenne de radioastronomie reçoit les émissions des stations IMT dans ses lobes arrières définies à -10 dBi et que le gain maximum des stations de base en direction de la station de radioastronomie sera de 10 dBi (correspondant au gain d'une station de base pour un angle d'élévation au-dessus de l'horizon local de 9°). On se réfère au tableau 8.
2. Les stations de base surplombent le site de radioastronomie (sur une distance représentant quelques centaines de mètres entre le site et la crête). Dans ce cas les hypothèses restent identiques à celles prises pour l'étude du site de Bure (c'est-à-dire un gain de 0 dBi pour les stations de radioastronomie et un gain maximum pour les stations de base en direction du site de radioastronomie. On se réfère au tableau 7.
3. La distribution de gain des terminaux sur l'horizon est considérée comme uniforme, quel que soit leur position géographique.

Tableau 8

Synthèse des résultats génériques de protection d'un site de radioastronomie vis-à-vis pour des BS hotspots en contrebas de la crête

Type	Azimet <sup>3</sup> (°)	Pt (dBm /400MHz)	Gt (dBi)	Gr (dBi)	Cr (dBm /400MHz)	Lb (dB)
<b>Hotspot</b>	0	-6	10	-10	-166	162.5
	10					
	20					
	30					
	40	-6	9.5	-10	-166	161
	50	-6	8.5	-10	-166	160
	60	-6	6	-10	-166	161
	70	-6	2.5	-10	-166	158
	80	-6	-2.5	-10	-166	152
	90	-6	-8.5	-10	-166	147
	180	-6	-30	-10	-166	120

Les figures 14 et 15 donnent les zones de restriction pour des stations de base respectivement

- ayant un secteur en direction du site de radioastronomie (même si le gain maximum du secteur ne peut pas pointer sur le site)
- n'ayant aucun secteur en direction du site de radioastronomie et présentant donc en direction de ce dernier ses lobes arrières.

Tableau 9

Synthèse des résultats génériques de protection d'un site de radioastronomie vis-à-vis des terminaux en contrebas de la crête

Type	Pt (dBm /400MHz)	Gt (dBi)	Gr (dBi)	Cr (dBm /400MHz)	body loss	Lb (dB)
UE	-6	5	-10	-166	4	155

La figure 16 donne les zones de risques de brouillage pour les terminaux. Il pourra être noté, du fait de la présence du bâti et de terminaux à 1.5m au-dessus du sol dans les simulations, que ces zones sont en dehors des agglomérations. Compte tenu de l'absence de prise en compte de la variabilité de certains paramètres des terminaux exposée dans la section 6.2 et des contraintes de déploiement qui s'appliqueront aux stations de base, le risque de brouillage par un terminal pourrait apparaître faible, même si on peut imaginer des scénarios spécifiques de brouillage, par exemple un terminal relativement fixe dans une configuration particulière.



Figure 14

Représentation des zones de contraintes en contrebas du site de Maïdo pour des stations de base pouvant pointer dans la direction du site de radioastronomie.

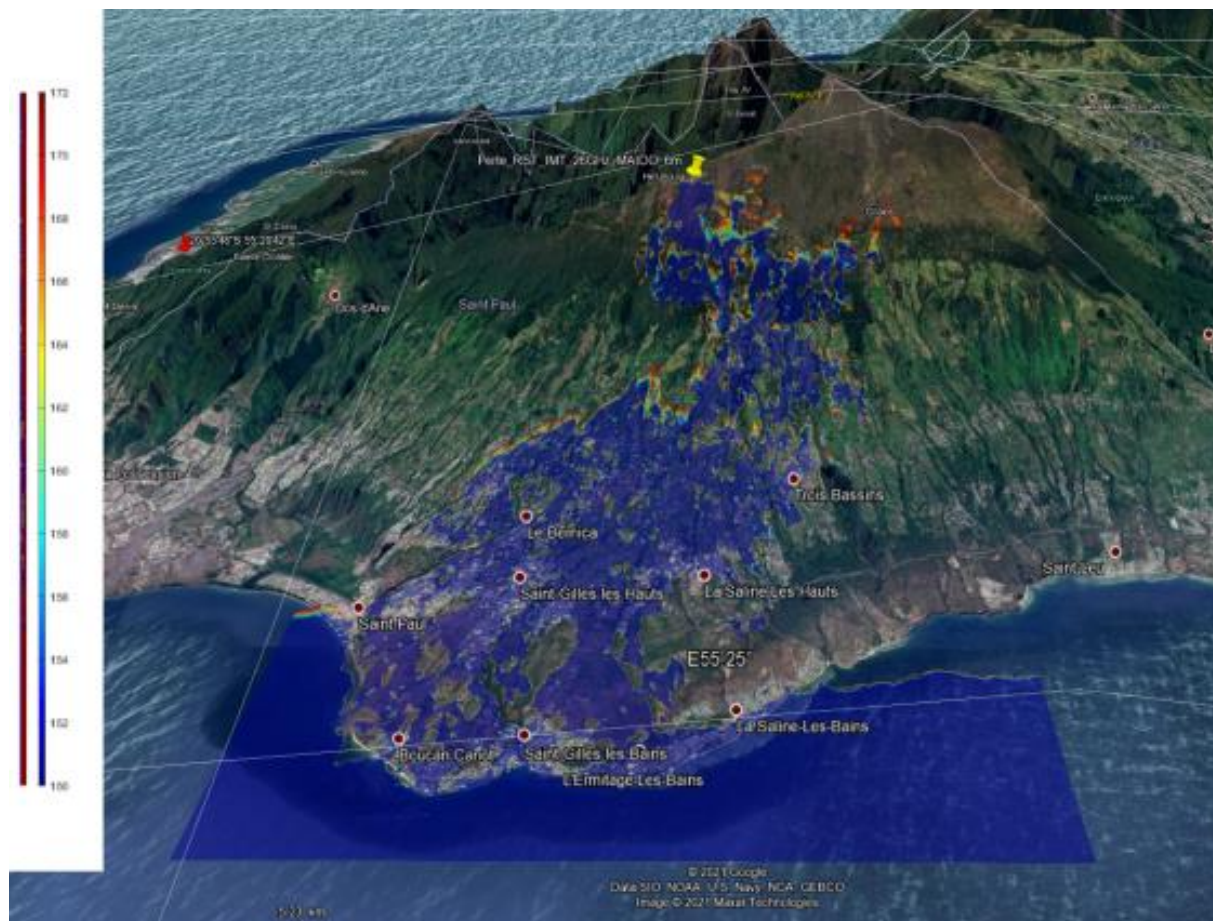




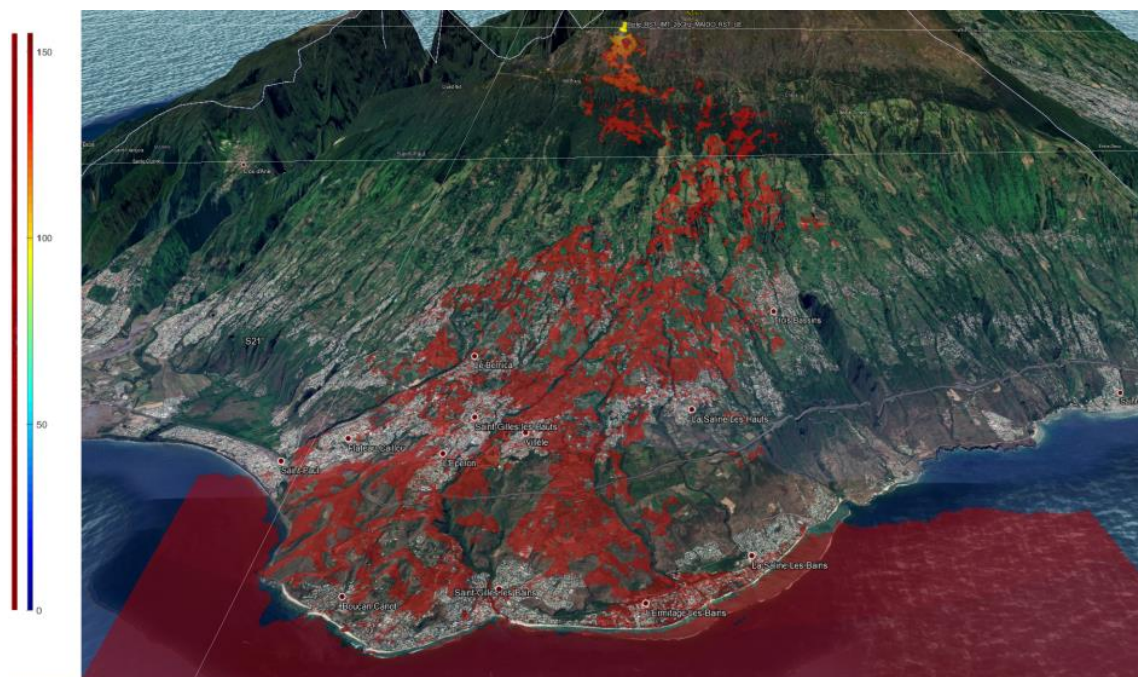
Figure 15

Représentation des zones de restrictions en contrebas du site de Maïdo dans le cas de stations de base ne présentant aucun secteur vers le site de radioastronomie



Figure 16

Représentation des zones de restriction en contrebas du site de Maïdo pour les terminaux ne pointant pas dans la direction du site de radioastronomie.



## 9. CONCLUSION

Les études entreprises dans ce rapport donnent les critères à considérer pour la compatibilité entre l'IMT 26 GHz et les stations de radioastronomie de Bure et Maïdo. Ce rapport donne aussi des exemples de cartes de zones de restriction réalisées à partir des seuils de radioastronomie et des hypothèses du rapport, en considérant les critères IMT 26 GHz valables à partir de 2024 en Europe (niveaux d'émissions non désirés). Ces cartes apportent une estimation de la situation de coexistence entre l'IMT 26 GHz et les sites de radioastronomie de Bure et de Maïdo. Ces données restent indicatives et peuvent être modifiées si on considère le cas d'un déploiement réel :

- L'insertion du bâti sur le chemin de propagation, notamment en milieu urbain
- Les paramètres factuels des stations de base notamment, la puissance utilisée, la largeur de la canalisation, la position géographique précise, la hauteur et la direction de pointage

Afin de protéger les observations effectuées dans la bande 23,6-24 GHz par les stations de radioastronomie des sites de Bure et de Maïdo, vis-à-vis des émissions non désirées des stations de base émettant dans 24,25-27,5 GHz, la puissance rayonnée reçue par les récepteurs de radioastronomie, ne devra pas excéder les seuils préjudiciables suivants :

- a) pour le critère Continuum, les seuils de -195.6 dBW/400MHz
- b) pour le critère de la raie spectrale, le seuil de -210 dBW/250 kHz

Ces critères doivent être respectés en prenant pour les stations de base l'hypothèse d'une propagation médiane (50% du temps) et en appliquant le gain maximum pour l'azimut donné en direction du site de radioastronomie.

La prise en compte des stations de base de moins de 5W ne change pas l'analyse technique de la présente étude, mais la solution règlementaire reste à déterminer vis-à-vis des autorisations pour des émetteurs de telles puissances ne relevant pas de la COMSIS dans le schéma des autorisations actuelles. En considérant les performances minimales réelles des équipements qui seront déployés, il existera toujours une zone pour un certain type de station de base et un certain type de techniques de mitigation dans laquelle les opérateurs ne pourront implanter aucune station de base respectant les critères de protection de la radioastronomie.

Pour les terminaux, il est difficile de vérifier par la mesure que les émissions reçues par le site de radioastronomie respectent ces critères de seuils préjudiciables. Au regard de l'application des règles énoncées pour la protection du site de radioastronomie vis-à-vis des stations de base, l'occurrence de brouillage issu des mobiles devient faible. Toutefois, dans les cas où des études doivent être établies en considérant l'impact des terminaux, elles devront prendre les hypothèses définies dans la section 6.2.