

# Rapport du Comité de concertation de la Compatibilité Electromagnétique

---

*Etude sur la coexistence en co-fréquence et en bande adjacente entre le Service Fixe opérant dans la bande 22-23.6 GHz et la station de radioastronomie de Bure opérant entre 22 GHz et 24 GHz*

Référence:  
Rapport CCE FH et RST Bure  
22GHz du 05/10/2020

**Rapport CCE**  
Etude sur la coexistence en co-fréquence et en bande  
adjacente entre le Service Fixe opérant dans la bande  
22-23.6 GHz et la station de radioastronomie de Bure  
opérant entre 22 GHz et 24 GHz



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

Table des matières

1.	Introduction.....	4
2.	Service de Radioastronomie (RST ou RAS) .....	4
2.1.	Caractéristiques du site de Bure .....	4
2.2.	Caractéristiques des antennes.....	5
2.3.	Caractéristiques des bandes mesurées .....	7
2.4.	Critère de protection du Service de Radioastronomie .....	7
3.	Définition des caractéristiques des stations FH autour de 23 GHz .....	9
3.1.	Caractéristiques générales .....	9
3.2.	Diagramme d'antenne de FHs autour de 23 GHz.....	11
4.	Dimension des canaux des FHs vis-à-vis du critère de protection .....	12
5.	Etude .....	13
6.	Résultat des études .....	14
7.	Conclusion .....	16

## 1. INTRODUCTION

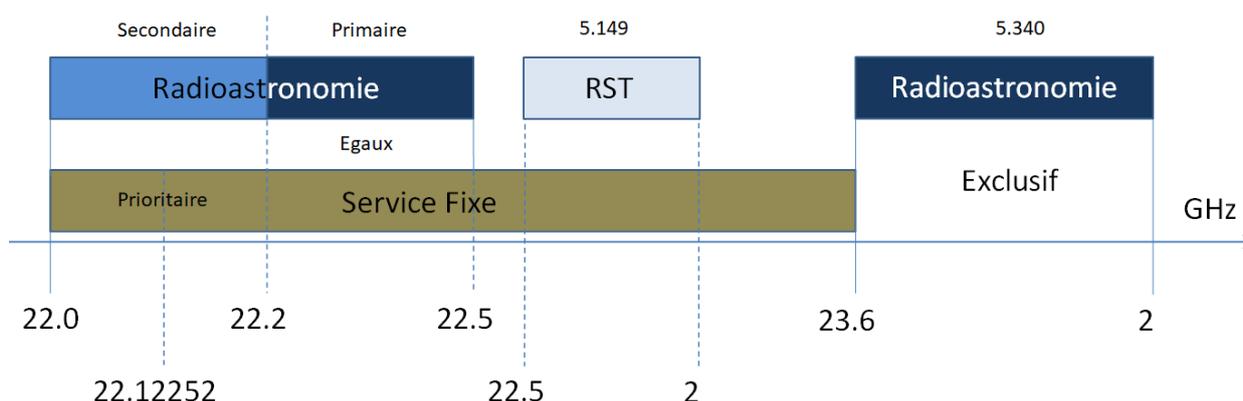
Le présent rapport vise à déterminer les modalités de coexistence en co-canal et en bande adjacente autour de 23 GHz entre les faisceaux hertziens (FH) du service fixe et les stations du service de radioastronomie (ASR) du site métropolitain de Bure.

A partir des résultats de ces études, un ensemble de recommandations est proposé afin de faciliter cette coexistence.

On peut noter que l'étude sur la coexistence entre les stations du service fixe dans la bande 23 GHz et les stations de radioastronomie du site de Maïdo (Ile de la Réunion) dans les bandes 22.21-22.5 GHz est traitée dans un autre rapport de la CCE de novembre 2013.

FIGURE 1

Représentation spectrale de la coexistence du service fixe et du service de radioastronomie autour de 23 GHz, d'après le TNRBF



## 2. SERVICE DE RADIOASTRONOMIE (RST OU RAS)

### 2.1. Caractéristiques du site de Bure

Le site de Bure accueille un interféromètre de 6 antennes. Chaque antenne de l'interféromètre de Bure intègre un radiomètre de calibration de la vapeur d'eau à haute sensibilité en bande K. Le projet NOEMA va porter le nombre d'antennes de 6 à 12, étendre les dimensions du réseau et améliorer les performances des récepteurs.

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 et 800 MHz.

## 2.2. Caractéristiques des antennes

Le réseau interférométrique 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 760 m et Nord-Sud de 370 m,
- Extension à venir de la ligne de base Est-Ouest de 800m avec 160 m en Ouest et 640m en Est (projet NOEMA),
- 6 antennes mobiles sur rail le long des lignes de base,
- 6 nouvelles antennes mobiles d'ici 2020 (projet NOEMA).

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 du 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 du plateau de Bure

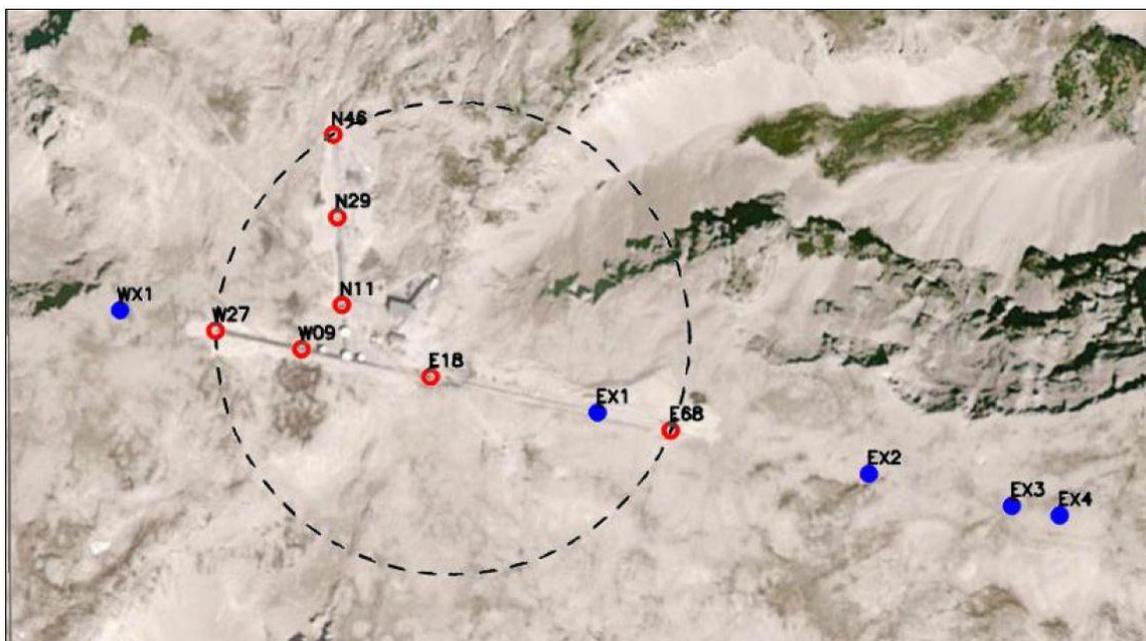


TABLEAU 2

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

Dans le cas du site de Bure, l'étude déterministe considère que le gain d'antenne maximum autour de 70 dB, est toujours sur l'horizon local référencé à 2553 m. Au vu de la topologie du terrain les gains des lobes secondaires peuvent être calculés à l'aide de la Recommandation ITU-R SA.509-3.

### 2.3. Caractéristiques des bandes mesurées

Les bandes de radioastronomie autour de 23 GHz sont des bandes d'observation du continuum et de la raie spectrale. D'un point de vue général, les observations dans la bande K (18-26 GHz) répondent à plusieurs applications scientifiques : raie H<sub>2</sub>O dont la fréquence exacte d'oscillation est la fréquence 22.355 GHz, raie NH<sub>3</sub> (ammoniaque), profil atmosphérique de la vapeur d'eau, calibration millimétrique.

D'un point de vue national, les bandes de radioastronomie en bande K sont distribuées ainsi dans le Tableau National de Répartition des Bandes de Fréquences (TNRBF)

- 22.00-22.21 GHz, secondaire et référence à la note RR 5.149,
- 22.21-22.50 GHz, primaire et référence à la note RR 5.149,
- 22.81-22.86 GHz et 23.07-23.12 GHz, référence à la note RR 5.149,
- 23.60-24.00 GHz, primaire et référence à la note RR 5.340.

### 2.4. Critère de protection du Service de Radioastronomie

La Recommandation ITU-R RA. 769-2 définit les critères à utiliser pour la protection des observations radioastronomiques, qui sont résumés dans les tableaux 1 et 2 de cette Recommandation. Le tableau 2 du rapport reprend les seuils de sensibilité à prendre en compte avec un gain d'antenne de 0 dBi, en considérant que les antennes du radiotélescope présentent des lobes secondaires. Ainsi pour la bande de fréquence 22.21 – 22.5 GHz, la première ligne (CO) correspond au critère des observations large bande du continuum et la seconde ligne (SLO) correspond au critère des observations à bande étroite de la raie spectrale.

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

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

Cette puissance de seuil, définie sur la bande de la raie spectrale ou du continuum (respectivement 250 kHz ou 290 MHz @22 GHz et 250 kHz ou 400 MHz @24 GHz), peut être ramenée dans une largeur de bande de 1 MHz. Les émissions observées des sources radioastronomiques sont extrêmement faibles et produisent donc des variations particulièrement faibles de la température de l'antenne. Une intégration longue et une haute stabilité du récepteur sont donc nécessaires et selon la Recommandation ITU-R RA.769-2, la période d'intégration est par défaut fixée à 2000 s.

**TABLEAU 3**  
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	22.355	290	35	30	0.085	-269	-195	-146
SLO	22.2	0.25	35	30	2.91	-254	-210	-162
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

A ce jour, la température de bruit n'est pas encore totalement spécifiée, il est donc nécessaire de se référer aux valeurs considérées dans la Recommandation ITU-R RA.769-2, on en déduit donc que:

- Pour le Continuum ( $\Delta T=0.085$  mK @22 GHz et 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 -191.6 dBm/MHz.
  - -194.7 dBW [290MHz] @22 GHz et s'apparente à -189.3 dBm/MHz.
- Pour la raie spectrale ( $\Delta T=2.9$  mK @ 22 et 24 GHz), la puissance maximale que peut recevoir le récepteur est donc de :
  - -210 dBW [250 kHz] @22 et 24 GHz ce qui s'apparente à -174 dBm/MHz

## 3. DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS FH AUTOUR DE 23 GHz

### 3.1. Caractéristiques générales

Le plan de canalisation des FH dans la bande 22-23.6 GHz est défini par la Décision de l'ARCEP n°2017-1332 du 9 Novembre 2017. On retrouve d'après cette décision, que des canalisations de 3.5, 7.14, 28 et 56 MHz sont possibles dans la bande 22-22.6 et 23-23.6 GHz, alors que des canalisations de 56 MHz sont exclues entre 22.6-23 GHz. Les caractéristiques générales des FHs sont globalement extraites du FNF (Fichier National des fréquences) ainsi que de la norme EN 302 217-2 (partie 2 pour les équipements et partie 4 pour les antennes). Le Tableau 4 récapitule les différentes grandeurs utilisées pour l'étude relative aux FHs. A noter que la Décision ARCEP n°2017-1332 impose l'utilisation de FH avec une antenne de classe 4 pour des canalisations de 56 MHz et de classe égale ou supérieure à 3 pour les autres canalisations et ne fixe pas de classe d'équipement.

TABLEAU 4.

Caractéristiques des FHs autour de 23 GHz utilisées pour l'étude

Station FH	Valeurs	Référence
Bande Passante	3,5 ; 7 ; 14 ; 28 et 56 MHz	EN 302 217-2-2
Déploiement	urbain et rural (hauteur 20 m du sursol)	
PIRE maximum	40 dBW ou 70 dBm par canalisation	FNF/ Décision n°2017-1332
Gain max dBi	Approximativement 45 dB	FNF
Gain min dBi	Approximativement -15/-25 dB (atténuation -60/-70dB)	FNF & Figure 4
Hauteur d'antenne (m)	Entre 3 et 15 selon les antennes	FNF
Masque hors bande	En fonction de la canalisation et de la classe d'équipement	EN 302 217-2-2
Diagramme d'antenne	Antenne RFS/SB1-220A/ITU-R F.699 - Figure 4	FNF
Niveaux d'émissions non essentiels	Tableau 6	ERC/REC 74-01

TABLEAU 5

Evaluation des PIRE en co canal et canal adjacent, basée sur une Pire max de 70 dBm. Le niveau de puissance en émission « spurious » est pris à partir des éléments du Tableau 6 et les minimum et maximum sont relatifs respectivement au cas de CS < 10 MHz avec une séparation fréquentielle inférieur à 70 MHz et au cas général.

Angle (°)	Atténuation en gain d'antenne Approximatif (dB)	PIRE in-band max (>0% et <50% de la bande*) Bw=3.5MHz/56 MHz (dBm/MHz)	Encadrement des PIRE « spurious » (>250% de la bande*) Maximum/Minimum (dBm/MHz)
0	0	65/53	15/5
3	12	53/41	3/-7
10	20	45/33	-5/-15
20	30	35/23	-15/-25
>50	40	25/13	-25/-35
>100 **	60	5/-7	-45/-55

\* Bande fait ici référence à la largeur du canal FH considéré  
\*\* Dans le cas des antennes réelles de type RFS SB1 (atténuation de 60 dB – Fig.4)

TABLEAU 6

Estimation des niveaux de « spurious » en fonction de l'éloignement du canal de la bande de radioastronomie et de la largeur du canal selon l'ERC 74-01. Pire max calculée avec un gain de 35 dBi

Type	Bande	Puissance « Spurious »	Puissance « Spurious » dBm/MHz	PIRE max « Spurious » dBm/MHz
1 < (CS) < 10 MHz	250% de CS à 70 MHz	-30 dBm/100kHz	-20	15
	> 70 MHz	-30 dBm/1MHz	-30	5
CS ≥ 10 MHz	A partir de 250% de CS	-30 dBm/1MHz	-30	5

Les Tableaux 5 et 6 représentent des encadrements des PIREs accessibles au Service Fixe selon :

1. la séparation fréquentielles entre le FH et la réception de la radioastronomie (domaine in-band ou domaine des émissions non essentielles) le domaine hors bande étant compris entre ces deux extrêmes,
2. le gain du FH en direction de la station de radioastronomie, en basant l'atténuation du gain sur l'enveloppe fournie par la Recommandation UIT-R F.699 représentée par la Fig.3.

### 3.2. Diagramme d'antenne de FHs autour de 23 GHz

Les antennes considérées dans cette étude seront basé sur le modèle d'une antenne commerciale du type RFS SB1 220A avec un gain de 35 dBi. Des antennes présentant un gain maximum supérieures (Figure 4) existent mais ne seront pas considérées dans cette étude.

Il est possible de noter que l'atténuation maximale donnée par la Recommandation F.699 est 20 dB en dessous de la limite d'une antenne réelle pour des dépointage excédant 100°.

FIGURE 3.

Représentation du diagramme d'antenne autour de 23 GHz d'une antenne de type SB1\_220A de classe 3 (35 dBi de gain) comparé au modèle de la Recommandation ITU-R F.699

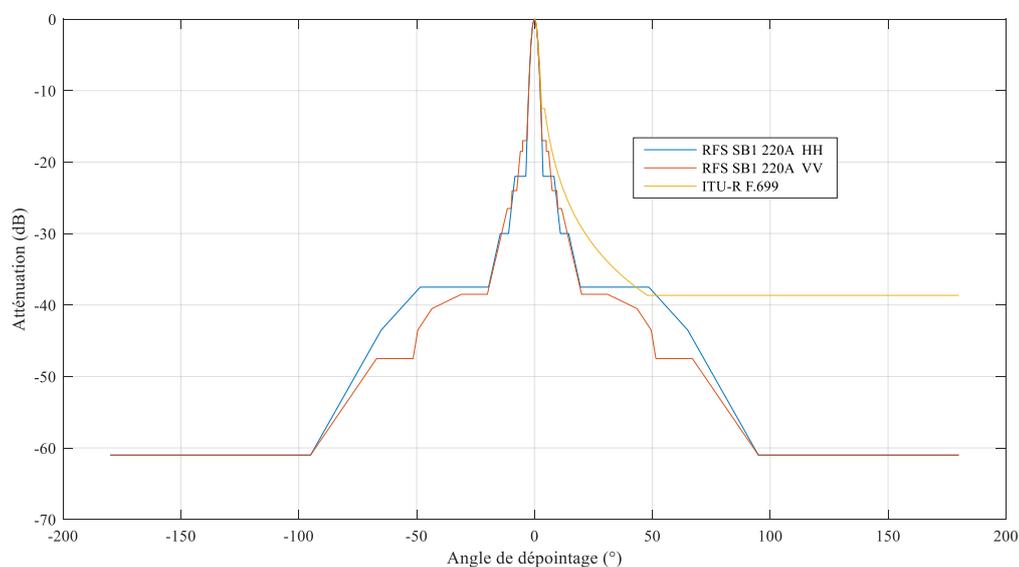
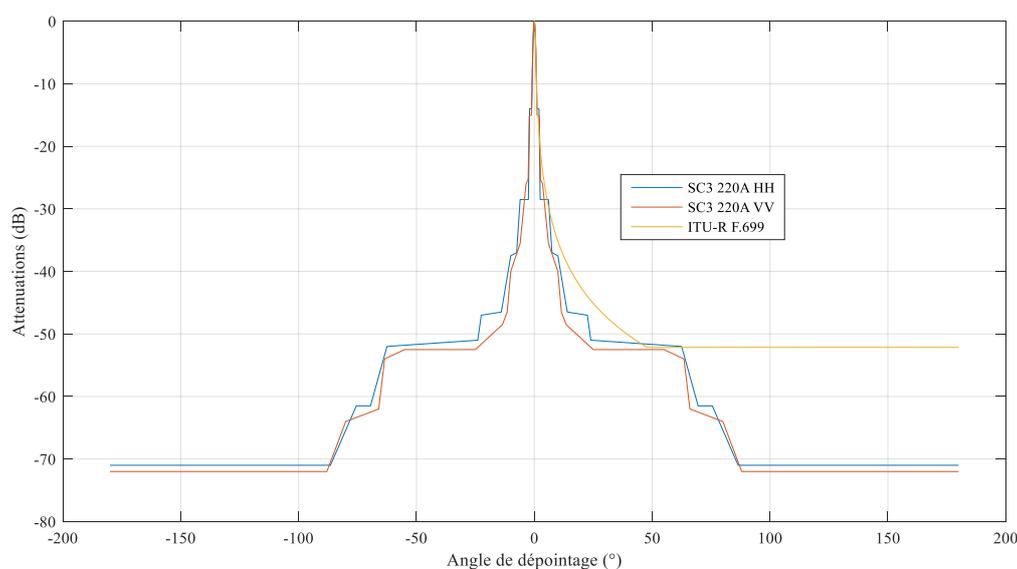


FIGURE 4.

Représentation du diagramme d'antenne autour de 23 GHz d'une antenne de type SC3\_220A de classe 3 (44 dBi de gain) comparé au modèle de la Recommandation ITU-R F.699



#### 4. Dimension des canaux des FHs vis-à-vis du critère de protection

1. Lorsque l'on considère le critère de protection du continuum, la bande d'observation est plus large que la largeur d'émission d'un canal, il faut considérer que la totalité de la puissance est émise dans la bande de radioastronomie.
  - Ex1 - 24 GHz : FH de 70dBm quelle que soit la bande dans récepteur RAS de 400 MHz [-165.6 dBm/400MHz] nécessite 235.6 dB de perte
  - Ex2 - 22 GHz: FH de 70dBm quelle que soit la bande dans récepteur RAS de 290 MHz [-164.7 dBm/290MHz] nécessite 234.7 dB de perte
2. Lorsque l'on considère le critère de protection de la raie spectrale, la bande d'observation de 250 kHz (quelques soit la bande observée 22 ou 24 GHz) est plus étroite que la largeur d'émission d'un canal (minimum de 3.5 MHz), aussi il faut considérer la quantité de la puissance émise (une fraction de la puissance) qui se retrouve dans la bande d'observation. Dans ce cas la puissance est recalculée dans une bande plus faible en considérant une densité de puissance spectrale constante.
  - Ex1 - largeur maximum des FH : FH [70dBm/56MHz] réduit dans la bande RAS [-180dBm/250kHz] soit 46.5dBm/250kHz. Soit un écart de 226.5dB.
  - Ex2 – largeur minimum des FH : FH [70dBm/3.5MHz] réduit dans la bande RAS [-180dBm/250kHz] soit 58.5dBm/250kHz. Soit un écart de 238.5dB

Dans la mesure où les deux critères de protection sont à respecter (continuum et raie spectral), la protection doit se faire sur le critère le plus contraignant. Les exemples précédents montrent très clairement que :

1. Les niveaux de protection des observations dans les bandes 22 et 24 GHz sont très proches et pourrait être pris pour des raisons de simplicité égal à -165 dBm/400 MHz
2. Seules les études avec des FHs de 3,5 MHz doivent tenir compte de la protection en raie spectrale (-180 dBm/250kHz) afin d'assurer la protection des deux critères. Pour les autres canalisations, la protection du continuum assure la protection des mesures en raie spectrale.

## 5. Etude

Afin d'étudier l'impact des émissions des stations de Faisceaux Hertiens (FH) dans la bande 22-23.6 GHz sur les bandes de radioastronomie entre 22 et 24 GHz telles que rappelées dans la section 2.2 et opérées sur le site de Bure, les « isoPIRE » sont générées à partir du critère de protection de la radioastronomie.

Ces « isoPIRE » sont en fait des surfaces qui définissent de façon progressive les valeurs maximales de PIRE qui peuvent être émis en direction de la station de radioastronomie. La décroissance de la PIRE est liée à l'augmentation des pertes de propagation entre les FH et le radiotélescope. Dans l'étude, des modèles de terrain sont associés aux calculs de pertes en espace libre afin de prendre en considération les pertes par diffractions, mais aussi les éventuelles propagations transhorizon pouvant résulter de réflexions sur les couches atmosphériques.

Les éléments pris en compte pour l'obtention des résultats sont les suivants :

- Utilisation du modèle de propagation défini par la Recommandation ITU-R P. 452-14. Ce modèle permet en outre de tenir compte de différents facteurs de pertes (diffraction, atténuation par les gaz ...)
- Comme décrit dans la Recommandation ITU-R RA. 769-2, le pourcentage de temps choisi dans le modèle de propagation est de 2% et le gain d'antenne de radioastronomie est de 0 dBi. Cela signifie que les émissions des FH sont reçues par les antennes de NOEMA dans les lobes secondaires.

L'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible pour la protection de la station de radioastronomie peut être donné par:

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

Ce qui revient finalement à déterminer une valeur de PIRE qui ne doit pas être dépassée pour respecter le critère de protection :

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

Où:

$P_t$  : puissance de l'émetteur du FH (dBW)

$G_t(\theta_t)$  : gain de l'antenne FHs dans la direction de la station de radioastronomie (dBi)

$G_r(\theta_r)$  : gain de l'antenne de la station de radioastronomie dans la direction du FHs (dBi)

$P_i$  : brouillage maximal admissible à l'entrée du récepteur de la station de radioastronomie (dBW)

$\theta_t$  : angle entre l'axe de l'antenne de la station de base et le trajet de brouillage (degrés)

$\theta_r$  : angle entre l'axe de l'antenne de la station de radioastronomie et le trajet de brouillage (degrés)

$L_b(p\%)$ : valeur de l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible devant être dépassée pendant  $(100 - p)\%$  du temps le long du trajet de brouillage entre l'émetteur (FH) et le récepteur de la station de radioastronomie (dB).

## 6. RÉSULTAT DES ÉTUDES

D'un point de vue général, il n'est pas possible d'évaluer l'ensemble des distances de séparation nécessaire à la protection du site de Bure en fonction des PIRE émises par les FH dans les bandes de radioastronomie. Comme précisé dans la section 3, ces PIRE s'étalent globalement (et selon des données normatives) de + 65 dBm/MHz à -55 dBm/MHz et cet étalement est multifactoriel (séparation fréquentiel, dépointage, largeur de bande, etc.):

1. La valeur maximale est associée au cas d'un faisceau hertzien en co-fréquence avec la bande de radioastronomie (par exemple dans la bande 22.21-22.5 GHz) qui présenterait son gain maximum en direction de la station de réception.
2. La valeur minimale est associée à un faisceau hertzien en bande adjacente à la bande de radioastronomie, dont le canal utilisé serait suffisamment éloigné de la bande d'observation de la radioastronomie pour présenter ces émissions non essentielles dans cette bande et dont l'orientation permettrait de pointer ses lobes arrière en direction de la station de radioastronomie.

La carte d'isoPIRE suivante est donnée à titre indicatif. Elle est construite sur la base d'un critère de protection continuum de -190 dBm/MHz (arrondi des critères de protection dans les deux bandes 22 GHz et 24 GHz), pour une antenne de radioastronomie à une hauteur de 8 m au-dessus du sol et de gain 0 dBi (réception par les lobes secondaires) sur le site de Bure et pour une antenne de FH à une hauteur de 20m au-dessus du sol. Le cas des FHs de 3,5 MHz de canalisation ne sont pas traité ici et devrait être associé, comme précisé dans la section 4 au critère de la raie spectrale.

TABLEAU 6

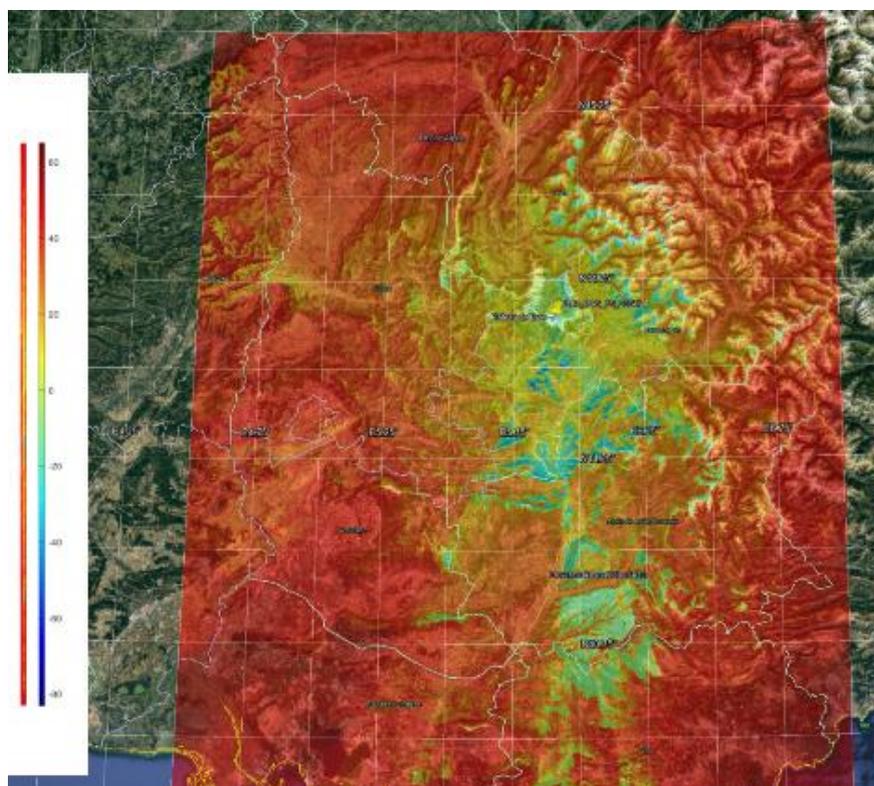
Hypothèses utilisées pour les études d'isoPIRE

Paramètres	Valeurs
Terrain	SRTM 1 arc sec
Modèle de propagation	Recommandation UIT-R P.452-14
Pourcentage de temps	2%
Critère de Protection de ASR	-190 dBm/MHz en continuum
Gain des antennes du radiotélescope dans les lobes secondaires	0 dBi
Hauteur du point focal des antennes du radiotélescope	8 m
Hauteur du FH	20 m

La figure 6, ci-dessous donnent les résultats d'isoPIRE pour l'ensemble de la gamme de PIRE accessible au FH. Il convient de noter toutefois, que les simulations ont été élaborées sur une zone géographique restreinte et que des FH présentant des PIRE de 70 dBm pourraient théoriquement ne pas pouvoir être implantés au-delà de cette zone de simulation.

FIGURE 6.

Carte d'ISOPIRE limitée à 65 dBm de PIRE



## 7. CONCLUSION

Les résultats des études entreprises dans ce rapport donnent une carte d'isoPIRE réalisées à partir des hypothèses du Tableau 6. Ces cartes apportent une estimation de la situation de coexistence entre les FH dans la bande 23 GHz et le site de radioastronomie de Bure. 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 FH 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 de la radioastronomie effectuées dans la bande "23 GHz" par les stations du site de radioastronomie de Bure, les préconisations suivantes sont données :

1. Dans les bandes 22.21-22.5 GHz (ASR primaire) et 23.6-24 GHz (ASR primaire, et toutes émissions prohibées), les seuils **des deux critères de protection doivent être respectés par tous** les moyens appropriés, indépendamment de la distance des FH par rapport aux stations de radioastronomies, soit :
  - a) pour le critère Continuum, les seuils de -195.6 dBW/400MHz dans la bande 23.6-24 GHz et de -194.7 dBW/290MHz dans la bande 22.21-22.5 GHz,
  - b) pour le critère de la raie spectrale, le seuil de -210 dBW/250 kHz dans les deux bandes 23.6-24 GHz et 22.21-22.5 GHz.
2. Dans les bandes 22.00-22.21 GHz (ASR secondaire), 22.81-22.86 GHz et 23.07-23.12 GHz (note 5.149), l'ARCEP s'engage à prendre les mesures possibles pour respecter les valeurs de protection nécessaires (voir seuils décrits dans les 1a et 1b ci-dessus) à la bonne utilisation des stations de radioastronomie. Parmi les mesures à considérer pouvant être prises en compte, il y a:
  - la puissance du FH
  - la hauteur du FH
  - l'optimisation de l'angle hors axe du FH par rapport aux stations de RST

-----§§§-----