

Rapport sur la coexistence entre les stations des services fixes opérant dans la bande 23 GHz et les stations du site de radioastronomie de Maïdo dans les bandes 22.21 – 22.5 GHz.

1. Introduction

L'ARCEP a présenté des faisceaux hertziens de l'opérateur SRR dans la bande 23 GHz lors de la séance CAF du 11 Septembre 2012. Initialement, il n'a pas été possible de statuer favorablement en séance pour 7 faisceaux hertziens compte tenu des risques de perturbation pressentis par RST sur leur station installée sur le site du Maïdo. Il convient de noter que l'inauguration de l'observatoire a eu lieu en Octobre 2012.

Sur la base des études précédemment entreprises par l'ANFR et plus particulièrement par la DGNF/DAC, il a été demandé au département DPSAI/IS de valider certaines simulations les résultats préliminaires avec des outils différents.

Les simulations effectuées sont relatives aux 7 stations de base présentant des niveaux potentiels d'interférence importants et déjà décelés par les calculs de la DGNF/DAC. Il s'agit donc ici d'une vérification des résultats obtenus par le biais d'outils différents.

Le présent rapport vise deux objectifs distincts :

1. Valider les calculs entrepris par la DGNF/DAC
2. Déterminer les modalités de coexistence en co-canal ou en bande adjacente autour de 23 GHz entre les Faisceaux Hertziens des services mobiles et du service de radioastronomie (RST).

A partir des résultats de ces études, un ensemble de recommandations est proposé afin de faciliter la coexistence entre les stations FH du service mobile et les instruments de mesure du site de radioastronomie de Maïdo.

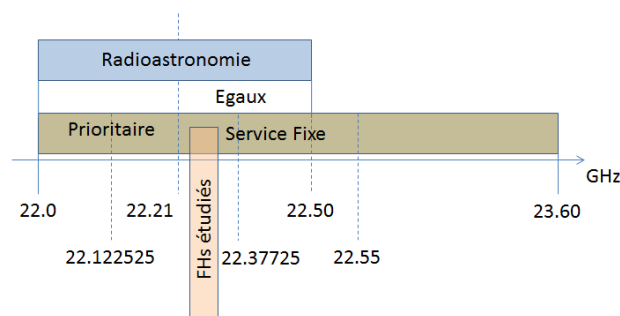


Figure 1 : Représentation spectrale de la coexistence des deux services d'après le TNRBF

2. Caractéristiques du service de radioastronomie

2.1 Caractéristiques du site de radioastronomie de Maïdo

Le site de radioastronomie de Maïdo est localisé à 21°04'46'' S et 55°23'01'' E (d m s). D'un point de vue géographique le site du radiotélescope de Maïdo se situe sur la côte Ouest de la Réunion à un peu plus de 2200 m d'altitude, au-dessus de la couche limite atmosphérique afin de disposer des conditions de mesure optimales. Il existe un certain nombre d'instruments (notamment un certain nombre de LIDAR) sur le site de radioastronomie. Toutefois celui impacté par cette étude est le radiomètre H2O stratosphérique qui permet entre autre de mesurer les quantités de vapeur d'eau dans la stratosphère. Cette vapeur d'eau joue un rôle majeur dans les équilibres énergétiques de l'atmosphère en émettant et en absorbant dans le domaine infrarouge. Cette vapeur d'eau peut aussi

être utilisée comme traceur de la dynamique de l'atmosphère moyenne. Son étude permet donc, entre autre, l'analyse des évolutions climatiques.

Le radiomètre de Maïdo n'est pas directement impacté par les rayonnements provenant des FH lors des mesures (puisque que son gain est dirigé dans ce cas, principalement à la verticale). Toutefois de sérieux problèmes apparaissent lors du calibrage de l'appareil qui doit se faire dans toutes les directions azimutales et d'élévation autour du radiomètre. Des interférences même faibles durant cette phase peuvent amener à des résultats de mesure totalement erronés.

La station du Maïdo accueille ou doit accueillir les instruments suivant dans la bande des 22 GHz :

- le radiomètre DODO mis en service en avril 2013 (mis en place en phase de test depuis avril 2012)
- le radiomètre MIAWARA-C mis en place en septembre 2013
- le radiomètre WIRA mis en place en septembre 2013

2.1.1 Caractéristiques du radiomètre DODO

Le radiomètre DODO est équipé d'une antenne de type MIAWARA. Cette antenne est constituée d'un miroir réflecteur plan orientable et d'un cornet corrugué MIAWARA :

- $F_c = 22.235\text{GHz}$
- $BW = 1\text{ GHz}$
- Longueur du cornet : environ 170 cm
- Ouverture du lobe à $-3\text{dBc} = 6^\circ$
- Directivité maximale = 30 dBi

Tableau 1 : Diagramme de rayonnement de l'antenne MIAWARA

Gr (dBc)	-3	-10	-20	-30	-40	-50	-60
G (dBi)	27	20	10	0	-10	-20	-30
Angle (°)	± 3	± 6	± 9.5	± 13	± 17	± 25	± 36

Le pointage de l'antenne peut se faire par l'intermédiaire du miroir de 0 à 360° en azimut et de 0 à 90° en élévation. La calibration de l'antenne se fait en pointant différentes sources :

- Une charge froide ciel, élévation = 20° à 90° (zénith)
- Une charge froide azote, élévation = -90° (cuve sous l'antenne). On peut considérer le faisceau presque entièrement vu par la cuve.
- Une charge chaude, élévation = 0°, azimut = +/- 90°.

En résumé, au vu des résultats précédents, on peut considérer que la calibration sur les différentes sources nécessite que l'antenne présente :

- Une élévation de 0° à 90°
- Un azimut de 0° à 360°

Pour les élévations inférieures à 90°, il est possible de considérer les lobes secondaires (pris en amplitude égaux à -40 dB par rapport au gain max - Donc Gain minimum de -10 dBi) du cornet illuminés par le miroir réflecteur et les masques artificiels et naturels (relief). C'est cette valeur de -10 dBi qui est prise dans les simulations dont les résultats sont rapportés plus loin dans ce rapport.

2.1.2 Caractéristiques du radiomètre MIAWARA-C

Cette antenne est une version compacte d'une antenne MIAWARA et est donc constituée d'un miroir réflecteur parabolique orientable et d'un cornet corrugué plus petit :

- Elévation : 0 à 90°
- Ouverture du lobe à $-3\text{dBc} = 5^\circ$
- Directivité maximale = 32 dBi (24 dBi pour le cornet seul)

La méthodologie de calibration est indépendante des antennes, ce qui implique que les élévations et azimut maximum de cette antenne sont ceux relevés dans la partie précédente.

Tableau 2 : Diagramme de rayonnement de l'antenne MIAWARA-C

Gr (dBc)	-3	-10	-20	-30	-40	-50	-52
G (dBi)	29	22	12	2	-8	-18	-20
Angle (°)	± 3	± 6	± 8.5	± 10	± 13	± 17	± 20

Dans un souci de précision, l'antenne utilisée pour les simulations sera celle qui présente les caractéristiques les plus contraignantes en termes de réception, autrement écrit, l'antenne qui ayant la directivité maximale la plus faible : l'antenne MIAWARA du radiomètre DODO.

2.2 Caractéristiques des bandes passives mesurées

La bande utilisée dans ces études est une bande d'observations du continuum et de raie spectrale. Elle correspond à la première bande d'observation de la raie H₂O dont la fréquence exacte d'oscillation au repos est 22.235 GHz. Cette raie est élargie en fonction de la pression atmosphérique donc de l'altitude d'émission, par l'effet collisionnel des molécules. La bande scientifique utile 22.01 à 22.50 GHz permet de mesurer la distribution verticale de la vapeur d'eau respectivement entre 20 et 70 km d'altitude. Une limitation de la bande d'observation à 22.21 GHz aurait pour conséquence de limiter proportionnellement l'altitude du profil à 30 km. Le profil de la vapeur d'eau entre 20 et 30 km, ne serait alors pas observable à l'Observatoire du Maïdo.

La bande 22.21-22.50 GHz est une bande à statut égal entre plusieurs affectataires pour plusieurs services primaires et la bande 22.01-22.21 GHz est une bande à statut exclusif ARCEP pour le service fixe et secondaire pour le service de radioastronomie. Les deux bandes sont protégées par l'article **5.149** de la réglementation radiofréquence (**RR**). Cet article précise que « les administrations doivent prendre toutes les mesures réalisables pour protéger les services de radioastronomie d'interférence nuisible ».

Les observations du continuum sont des études à long terme sur la variabilité des objets célestes (Ex : Quasars, Pulsars ou des vestiges de Supernova). Les émissions observées de ces sources radios 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 (dans la plupart des cas, on considère que l'amplificateur doit être stable durant 2000s).

2.3 Critères de protection des récepteurs de Radio Astronomie

La Recommandation **ITU-R RA. 769-2** définit les critères de protection à utiliser pour la Radio Astronomie qui sont résumés dans le tableau 1 de cette Recommandation. Ce tableau 1 décrit précisément les seuils de sensibilité dans la bande 22.21 – 22.5 MHz à prendre en compte dans le cas d'observations du continuum (première ligne) ou de la raie spectrale (seconde ligne).

Tableau 3 : Caractéristiques des récepteurs de radioastronomie

Fréquence Centrale (GHz)	Largeur de bande (MHz)	Température de bruit minimale de l'antenne (K)	Température de bruit du récepteur (K)	Température (mK)	Densité Spectrale dB(W/Hz)	Puissance Reçue à l'entrée (dBW)	Puissance surfacique (dB(W/m ²))
22.355	290	35	30	0.085	-269	-195	-146
22.2	0.25	35	30	2.91	-254	-210	-162

Note sur le tableau : Les seuils sont définis pour une station de réception omnidirectionnelle de 0dBi de gain. La première ligne correspond au niveau requis pour des observations du continuum, la seconde pour des observations de raie spectrale

A partir des valeurs mentionnées dans le Tab.3 :

- Pour des observations du continuum, le niveau de protection de la radioastronomie s'élève à -195 dBW, soit -165 dBm.
- Pour des observations de raie spectrale, le niveau de protection de la radioastronomie s'élève à -210 dBW soit -180 dBm.

3. Définition des caractéristiques des FH à 23 GHz.

Les caractéristiques générales des FHs sont globalement extraites du FNF (Fichier National des fréquences) ainsi que de la norme EN 302 217-2-2. Le tableau 4 récapitule les différentes grandeurs utilisées pour l'étude relative au FH.

Tableau 4 : Caractéristiques des émissions de FHs

Station FH	Valeurs	Référence
Fréquence des liens montant (GHz)		
Fréquence des liens descendants (GHZ) TDD		
Bande Passante	3.5, 7, 14 et 28	EN 302 217-2-2
Déploiement	urbain et rural	
PIRE maximum (dBm)	Entre 40 à 55	FNF
Puissance maximum (dBm) (PRAT)	Particulière à chaque station étudiée	Tableau 2
Gain max dBi	Approximativement 35 dB	FNF
Gain min dBi	Approximativement -25 dB (atténuation -60dB)	FNF & Figure 3
Hauteur d'antenne (m)	Entre 3 et 15 selon les antennes	FNF
Masque hors bande	Figure 2	EN 302 217-2-2
Diagramme d'antenne	Antenne RFS/SB1-220A - Figure 3	FNF
Niveaux d'émissions non essentielles	-45 à -50 dB (Figure 2)	EN 302 217-2-2

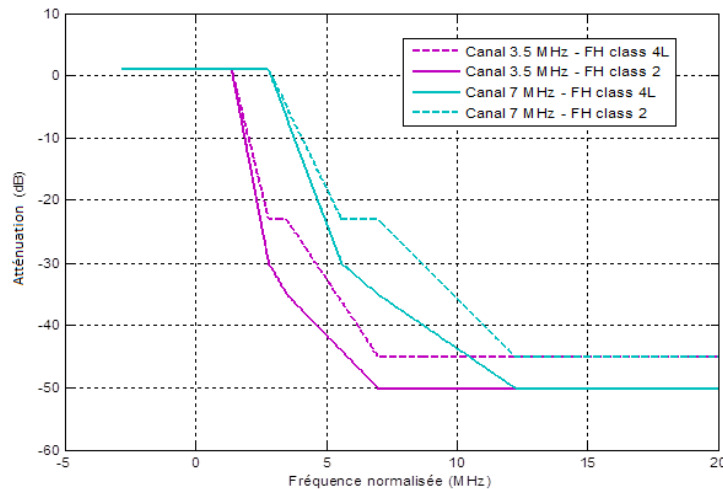


Figure 2 : Représentation des comportements hors bande des stations du service fixe

Note sur la figure 2 : les classes 2 et 4L des stations du service fixe sont à prendre en considération sur la base de l'EN 302-217-2-2.

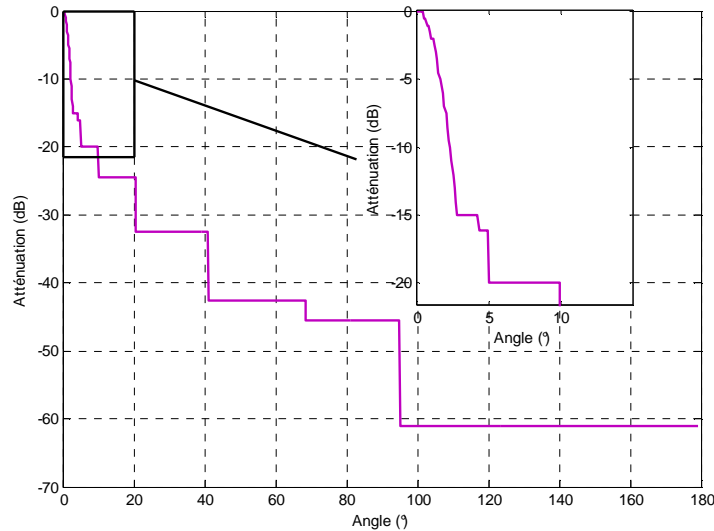


Figure 3 : Diagramme de rayonnement des antennes des stations FH à 23 GHz

La figure 2, montre que pour des émissions hors bande (de 50 à 250% de la bande utile) :

- Dans une bande 3.5 MHz les émissions hors bande couvrent la bande 1.75 MHz à 8.75 MHz, ce qui représente au vu de la figure une atténuation comprise entre -20 et -45 dB pour un FH de class 2 et de -30 à -50 dB pour un FH de class 4L.
- Dans une bande 7 MHz les émissions hors bande couvrent la bande 3.5 MHz à 17.5 MHz, ce qui représente au vu de la figure une atténuation comprise approximativement entre -10 et -45 dB pour un FH de class 2 et de -10 à -50 dB pour un FH de class 4L.

4. Etude Théorique

Afin d'étudier l'impact des émissions des stations de Faisceaux Hertiens (FHs) sur le site de Radioastronomie de Maïdo, la première phase consiste en l'étude des « isoPIRE » ou « isochamps » autour des FHs concernés. Dans une seconde phase, les « isoPIREs » sont générés à partir du critère de protection du site de radioastronomie et permettent donc de connaître les valeurs de champs à respecter pour protéger les mesures faites à Maïdo.

Ces « isoPIREs » sont en fait des surfaces qui définissent de façon progressive les valeurs maximales de PIRE ou de champs électromagnétiques et plus particulièrement électrique E qui peuvent être émis en direction de la station de radioastronomie. La décroissance de ces champs (ou de la PIRE) est liée à l'augmentation de la distance entre les FHs 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. Le chapitre 4.1 présente les équations qui régissent le calcul de la PIRE ou du champ électromagnétique.

Les éléments pris en compte pour l'obtention des résultats de la première phase sont les suivants :

- Utilisation du modèle de propagation défini par la Rec. **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 Rec. **ITU-R RA. 769-2**, le pourcentage de temps intégré dans le modèle de propagation est de 2%.

Les résultats obtenus sont des valeurs de PIRE ou de champs maximales autour des FHs, ils sont donc totalement dépendants des caractéristiques des antennes d'émission du service fixe (gain, tilt, puissance...etc) mais aussi des hauteurs d'antennes qui restent essentielles pour les calculs d'horizon

artificiel. Bien entendu, la position des systèmes de FHs (émission-réception) par rapport à la station de radioastronomie est totalement intégrée aux simulations (ce qui permet de prendre en compte le gain réel de l'antenne du FH vu par Maïdo).

4.1 Mise en équation du problème

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 (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) 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 la station FH (dBW)

$G_t(\theta_t)$: gain de l'antenne de la station FH 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 de la station FH (dBi)

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

θ_t : angle entre l'axe de l'antenne du FH et le trajet de brouillage (degrés)

θ_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 de la station FH et le récepteur de la station de radioastronomie (dB).

A partir de la valeur de PIRE maximum admissible dans la direction de la station de Maïdo, il est relativement simple de déterminer la valeur du champ électrique maximum admissible selon :

$$|\vec{E}_{(V/m)}|^2 = 120\pi P_{(W/m^2)}$$

On en déduit

$$E_{(dB(\mu V/m))} = P_{dB(W/m^2)} + 145.8$$

Où P peut aussi bien représenter la puissance que la PIRE maximum de la station FH. En ayant pris soin au préalable de passer la puissance ou PIRE en dB (W/m^2), c'est-à-dire en utilisant le facteur de surface équivalente de l'antenne isotrope de 0 dBi comme suit :

$$P_{dB(W/m^2)} = P_{dB(W)} + 20 \log(f_{(Hz)}) - 158.5$$

4.2 Résultats de l'étude des « isoPIRE » provenant des 7 FHs à étudier

La première phase de l'étude s'axe principalement sur l'étude de 7 FHs positionnées à différents emplacements autour de Maïdo et dont le tableau suivant résume les propriétés de localisation et de quelques caractéristiques particulières.

Tableau 6 : Caractéristiques des autres faisceaux – Association des largeurs de canaux

n° utilisateur FNF	Fréquence (MHz)	Base FH (émetteur)	Coordonnées WGS84 4DMS	Base FH (récepteur)	Coordonnées WGS84 4DMS	Largeur canaux (MHz)
SR00903 FH1	22267	S PAUL GUILLAUME	55.1739 / - 21.0209	S PAUL PETITE France	55.1950 / - 21.0244	3.5

SR00906 FH2	22281	LES TROIS BASSIN MICRO	55.1746 / - 21.0628	S PAUL TROIS BASSINS	55.1754 / - 21.0615	3.5
SR00908 FH3	22258.25	S PAUL RAVINE	55.1538 / - 21.0648	S PAUL LA SALINE ROSSOLIN	55.1602 / - 21.0513	7.0
SR00932 FH4	22279.25	S PAUL LA SALINE HAUTS	55.1712 / - 21.0548	S PAUL LA SALINE ROSSOLIN	55.1602 / - 21.0513	7.0
SR00935 FH5	22244.25	S PAUL GUILLAUME	55.1739 / - 21.0209	S PAUL BERNICA	55.1648 / - 21.0305	7.0
SR00939 FH6	22244.25	S PAUL BOUCAN CANOT	55.1356 / - 21.0136	S PAUL BOUCAN CANOT PLAGE	55.1337 / - 21.0140	7.0
SR00944 FH7	22244.25	S PAUL BELLEMENE	55.1815 / - 21.0109	S PAUL CREVE CŒUR	55.1716 / - 21.0114	7.0

Pour chaque FH présenté dans le tableau, on simule l'évolution de sa PIRE en prenant en compte l'évolution de la distance et du relief. Les figures 4, 5, 6, et 7 présentent les résultats pour chaque FH. Les éléments FHR_i et FHE_i dans les figures représentent respectivement les émetteurs et récepteur des FH_i. La légende à gauche donne les niveaux de PIRE en dBm.

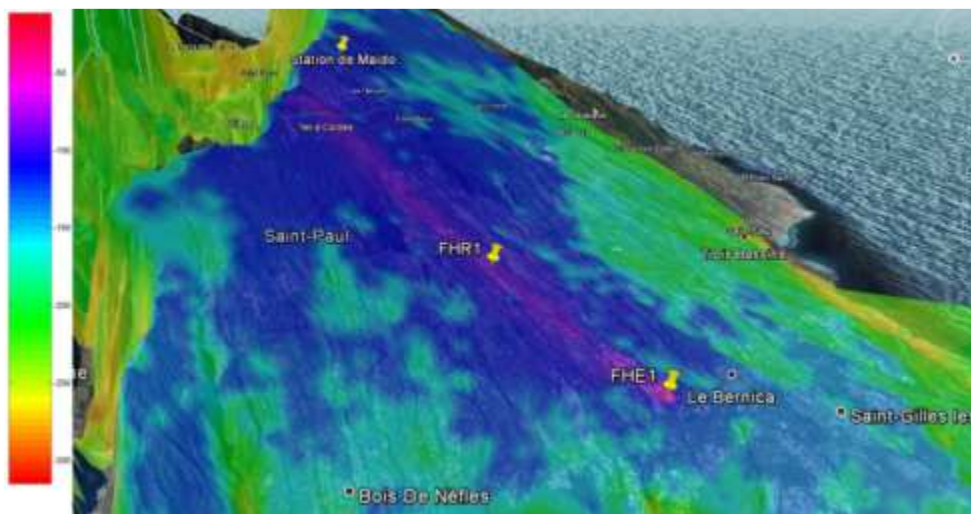


Figure 4 : représentation 3D pour le FH1 (FNF : SR00903)

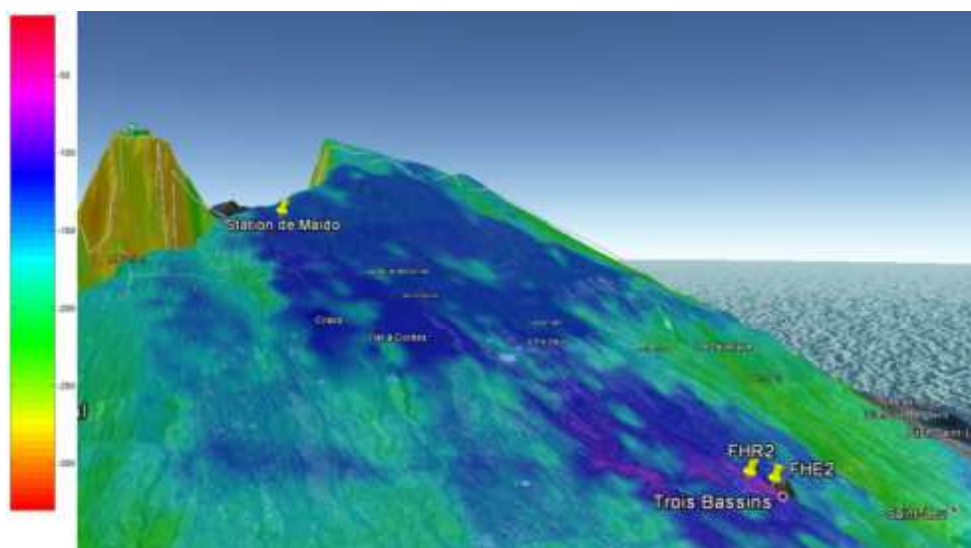


Figure 5 : représentation 3D pour le FH2 (FNF : SR00906)

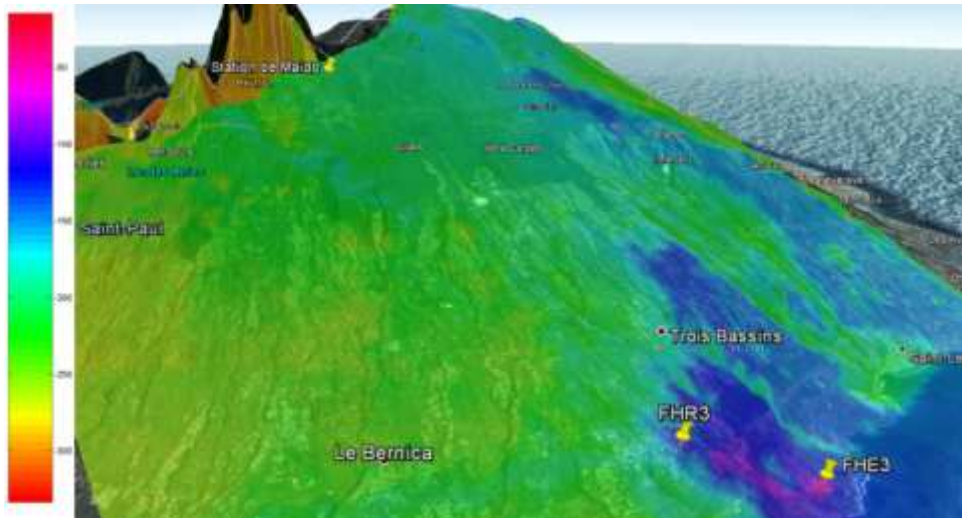
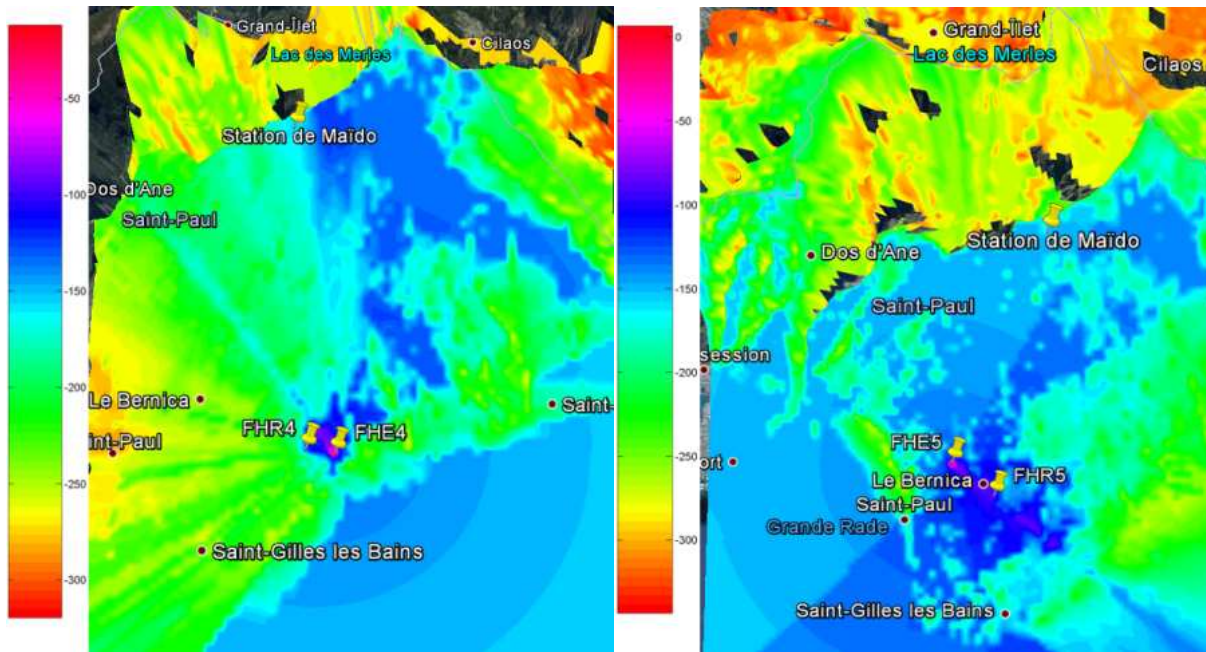


Figure 6 : représentation pour le FH2. (FNF : SR00908)



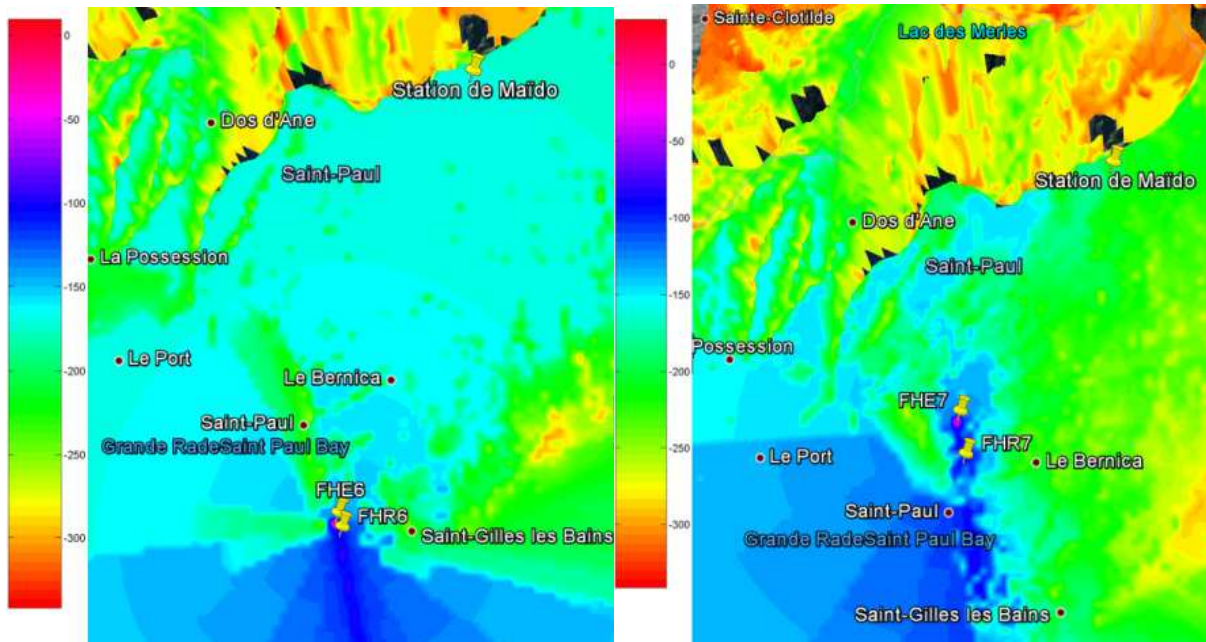


Figure 7 : représentations en coupe pour le FH4, FH5, FH6 et FH7 (FNF : SR00932, SR00935, SR00939 et SR00944)

Tableau 7 : Valeur des champs émis par les stations FH à proximité du site de radioastronomie – critère RST équivalent de -165 à -180 dBm (selon types de mesure) en considérant une PIRE de réception des lobes arrière de -10 dB

n° utilisateur FNF	Valeurs à proximité de la station (dBm)	Valeur dans le récepteur (dBm)	n° utilisateur FNF	Valeurs à proximité de la station (dBm)	Valeur dans le récepteur (dBm)
SR00903 FH1	-130	-140	SR00935 FH5	-160	-170
SR00906 FH2	-130	-140	SR00939 FH6	-170	-180
SR00909 FH3	<-200	<-210	SR00944 FH7	<-200	<-210
SR00932 FH4	-160	-170			

En considérant le gabarit réel de réception de la station de radioastronomie, on peut considérer des lobes secondaires approximativement de l'ordre de -10 dB (atténuation du gabarit de l'antenne à -40 dB, pour un gain maximum de 30 dB).

A partir de ces données, les résultats du tableau ci-dessus montrent clairement que

1. le FH3 et le FH7 peuvent être déployé **sans poser aucun problème** d'interférence à la station de Maïdo.
2. Le déploiement des FH1 et FH2 sont particulièrement **critiques** avec des niveaux d'interférences trop forts pour la station, de **25 à 40 dBm au-dessus du seuil** (fonction du critère utilisé).
3. Le déploiement des autres FH (FH4, FH5 et FH6) **risquent de causer des interférences** sur la station avec des valeurs comprises entre **0 à 10 dBm au-dessus du seuil** (fonction du critère utilisé) et du FH étudié.

4.3 Calcul des PIRE maximales autorisées pour respecter le critère de protection de la station de Maïdo

Dans cette partie, l'étude consiste en la détermination de zones d'« isoPIRE » qui permettent de respecter le critère de protection de la radioastronomie, si la PIRE de la station FH respecte une valeur inférieure ou égale à celle du cercle simulé dans lequel elle est située. Cette étude est basée sur le critère le plus contraignant qui correspond aux mesures de raie spectrale et équivalent à -180 dBm. Afin de tenir compte du gain de réception de l'antenne de réception du site de radioastronomie, les angles de la pente Ouest de la Réunion ont été calculés et représentés sur la Figure 8.

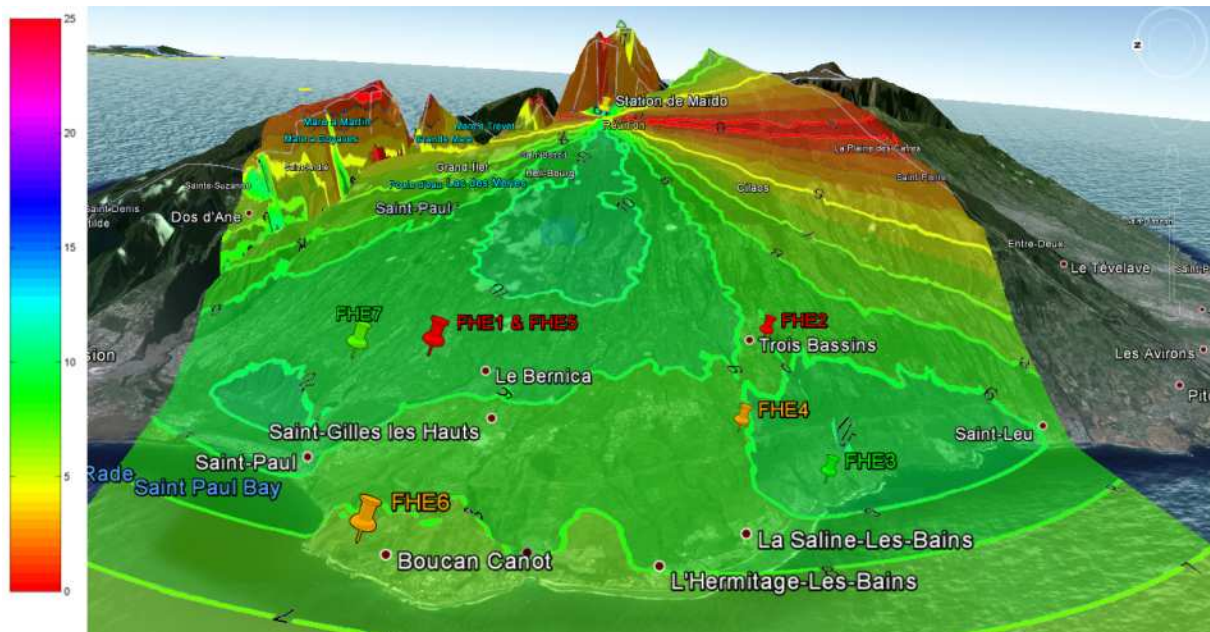


Figure 8 : représentations de l'évolution des angles d'arrivée des ondes sur la station de Maïdo pour un émetteur FH parallèle à la pente (sans tilt particulier)

La figure 8 montre clairement que la pente en contre bas de Maïdo est comprise entre 8 et 10° . Ce qui signifie implicitement que des ondes électromagnétiques émises depuis un faisceau FH, dont l'émetteur serait parallèle à la pente, arriverait sur le radiomètre avec un angle compris entre -8 et -10° par rapport à l'horizontale (0° référencée au niveau de l'horizon de la station). La figure 8 montre aussi que la partie Sud de la station doit être particulièrement protégée du fait qu'une zone étroite est située horizontalement à la station ou avec des élévations positives, impliquant donc la potentialité de croiser dans ces zones le gain maximum de l'antenne de radioastronomie.

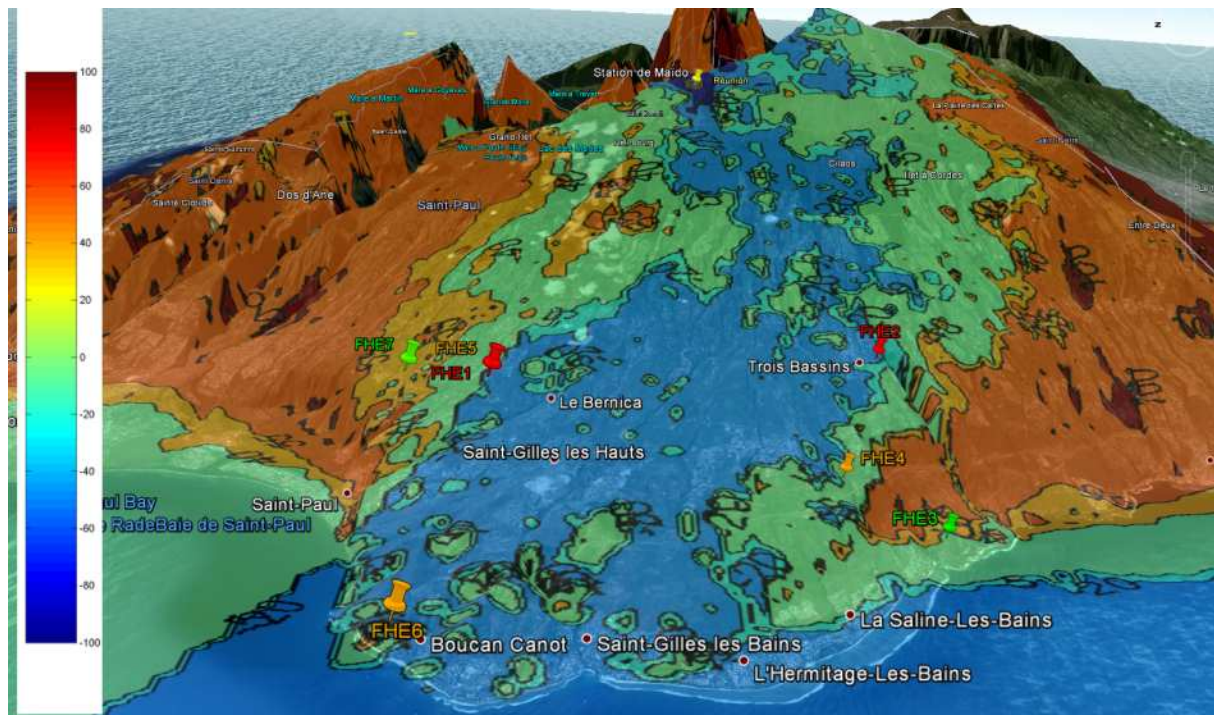


Figure 9 : représentations des « isoPIRE » autour de Maïdo pour des FHs de 10m

La figure 9 démontre bien que la partie Ouest de l'île est plus sensible que les autres parties. Il est possible d'observer qu'une bande plus ou moins étroite présente une forte potentialité d'interférences en cas d'implantation de stations FH de 10 m de haut. Cette bande définie de couleur bleu par la figure 9 peut être délimitée par les villes de **Trois Bassins, Le Bernica, Saint-Gilles les Hauts, la Saline les Bains, L'Hermitage les Bains, Saint Gilles les Bains, Boucan Canot** et la partie **Sud de Saint Paul**. Cette zone correspond à des PIREs qui doivent être inférieure ou égale à -5 ou -20 dBm (zone du bleu foncé / bleu clair).

Globalement au vu du diagramme de rayonnement des antennes des FHs de la figure 3 et des PIRE maximum (tableau 5) qui se situent entre 40 et 55 dBm, il est difficilement concevable que la PIRE d'une station dans la direction de Maïdo soit inférieure à une valeur comprise entre -20 et -5 dBm (ces valeurs sont évaluées sur la base d'un gain d'antenne de -60 dB ce qui correspond à un angle entre stations E/R et Maïdo supérieur à 95°).

La valeur de l'atténuation est nécessairement liée à la valeur de l'angle et par conséquent en relation direct avec le diagramme présenté dans la figure 3. Les émetteurs FH1 et FH5 sont un très bon exemple des potentialités du dépointage (offset). Ces deux éléments sont positionnés sur le même mât mais pointent dans deux directions différentes, ce qui implique que seul le FH1 soit critique pour la station de radioastronomie.

Des simulations effectuées (non présentées) pour des stations de 5m de hauteur montrent des zones « isoPIRE » quasiment similaires dans lesquelles sont incluses les agglomérations précédemment citées.

5. Conclusions Synthétiques

5.1 FH fonctionnant dans la bande en partage

En fonction de la PIRE d'émission comprise entre 55 et 40 dBm, les conclusions et zones peuvent légèrement différer. Le tableau 8, les figures 10 et 11 synthétisent les zones en fonction de la PIRE minimum (40 dBm) et maximum (55 dBm) des stations FH. Les zones sont caractérisées comme suit :

- **Zone 1A** : Zone où les FHs sont fortement déconseillés en cofréquence pour des raisons techniques (puissance d'émission et atténuations potentielles trop faibles – limitation à -60 dB

des lobes secondaires pour des angles supérieur à 95°) et des présomptions particulièrement fortes de brouillage sur la station de radioastronomie

- **Zone 2A** : Zone où les FHs sont potentiellement implantables par le biais d'un offset angulaire plus ou moins conséquent par rapport à la station de Maïdo de façon à ce que le critère de la radioastronomie soit respecté à l'entrée du récepteur.
- **Zone 3A** : Zone où les FHs peuvent être implantés sans aucune contrainte particulière.



Figure 10 : Zones pour une PIRE minimum de 40 dBm

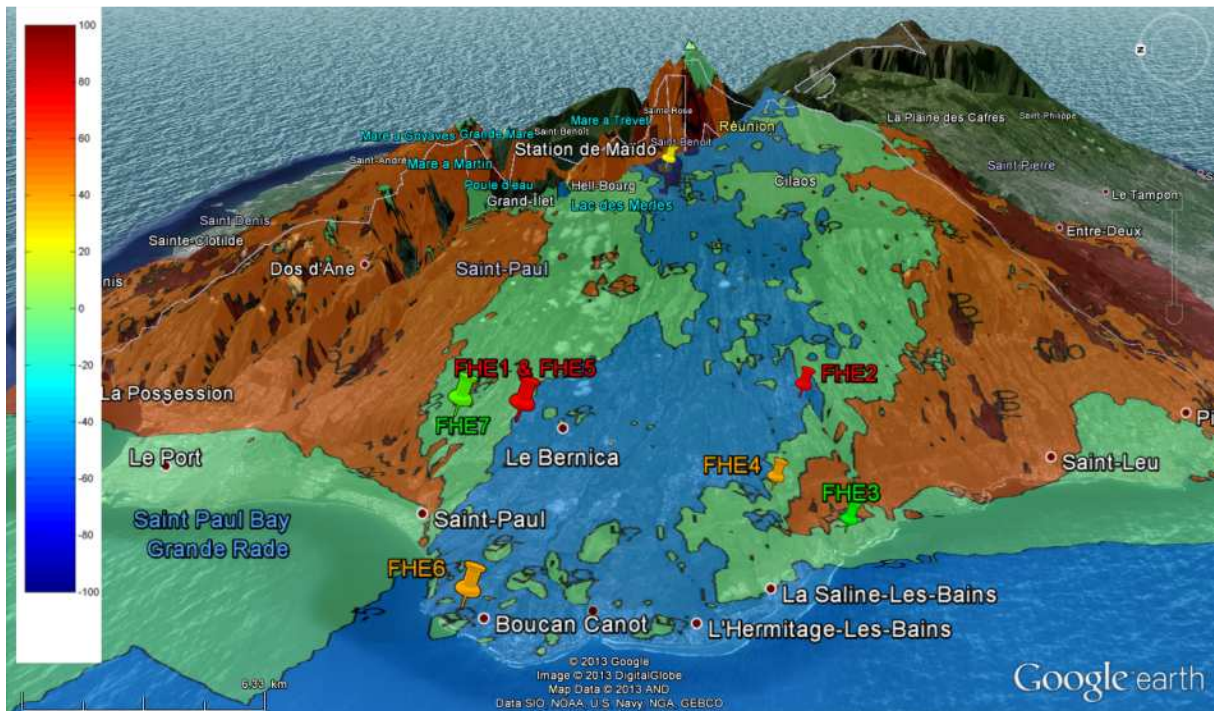


Figure 11 : Zones pour une PIRE maximum de 55 dBm

Tableau 8 : Tableau Synthétique de déploiement dans le cas d'un fonctionnement **dans la bande de RAS**

PIRE (dBm)	Zone 1A			Zone 2A			Zone 3A		
	Valeur max PIRE (dBm)	Couleur	Commentaire	Valeur max PIRE (dBm)	Couleur	Commentaire	Valeur max PIRE (dBm)	Couleur	Commentaire
40 (Fig.10)	< -20	Bleu foncé	Interférences très fortes, pas de déploiement	De -20 à 40	Bleu clair	Déploiement possible avec offset angulaire	> 40	Jaune et Rouge	Déploiement sans contrainte
50 (Fig.11)	< -5	Bleu foncé	Interférences très fortes, pas de déploiement	De -5 à 55	Vert	Déploiement possible avec offset angulaire	>55	Orange et Rouge	Déploiement sans contrainte

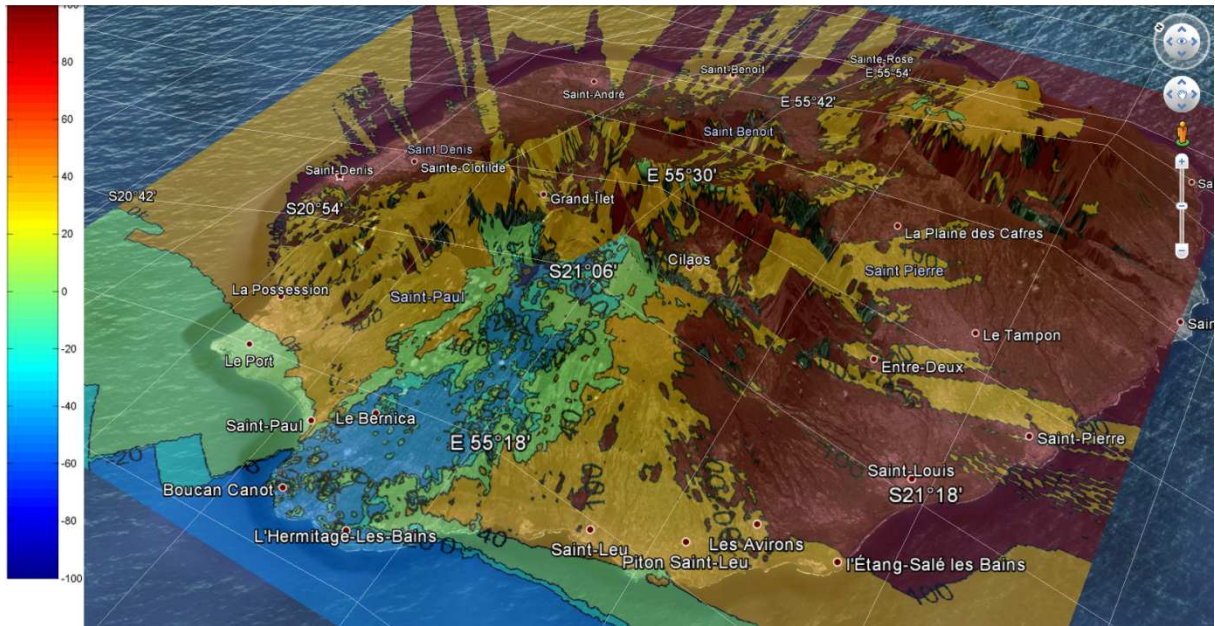


Figure 12 : Représentation des « isoPIRes » pour l'ensemble de l'île de la Réunion

La Figure 12 montre clairement que seule la pente en contre bas du Maïdo est impactée par les FH à 22 GHz. Il est important de noter qu'une petite zone autour du point 21°13'7.83"S 55°39'4.20"E (zone verte en haut à droite de la figure) demande des études de compatibilité lors de toutes implantations

5.2 FH fonctionnant dans le domaine non essentiel (« spurious »)

D'après les éléments de la Figure 2, les FH présentant des émissions non essentielles dans la bande en partage de radioastronomie peuvent présenter des niveaux inférieurs de 45 à 50 dB selon leur classe (4L ou 2). Autrement dit, en prenant la valeur d'atténuation (45 dB) la plus faible, pour des émissions :

1. De 40 dBm, les émissions non essentielles maximum sont de -5 dBm.
2. De 55 dBm, les émissions non essentielles maximum sont de 10 dBm.

Auxquelles, bien entendu il peut être appliqué l'atténuation lié au gain de l'antenne qui peut être de 60 dB au maximum et on en déduit que pour des émissions :

1. De 40 dBm, les émissions non essentielles minimum sont de -65 dBm.
2. De 55 dBm, les émissions non essentielles minimum sont de -50 dBm.

Tableau 9 : Tableau Synthétique de déploiement dans le cas d'un fonctionnement **dans le domaine non essentiel**

PIRE (dBm)	Zone 1B			Zone 2B			Zone 3B		
	Valeur max PIRE	Couleur	Commentaire	Valeur (dBm)	Couleur	Commentaire	Valeur max PIRE	Couleur	Commentaire

	(dBm)						(dBm)		
55 (Fig.13)	< -50	Bleu foncé	Déploiement impossible	De -50 à 10	Turquoise	Déploiement possible avec offset angulaire	> 10	Jaune, orange et rouge	Déploiement sans contrainte

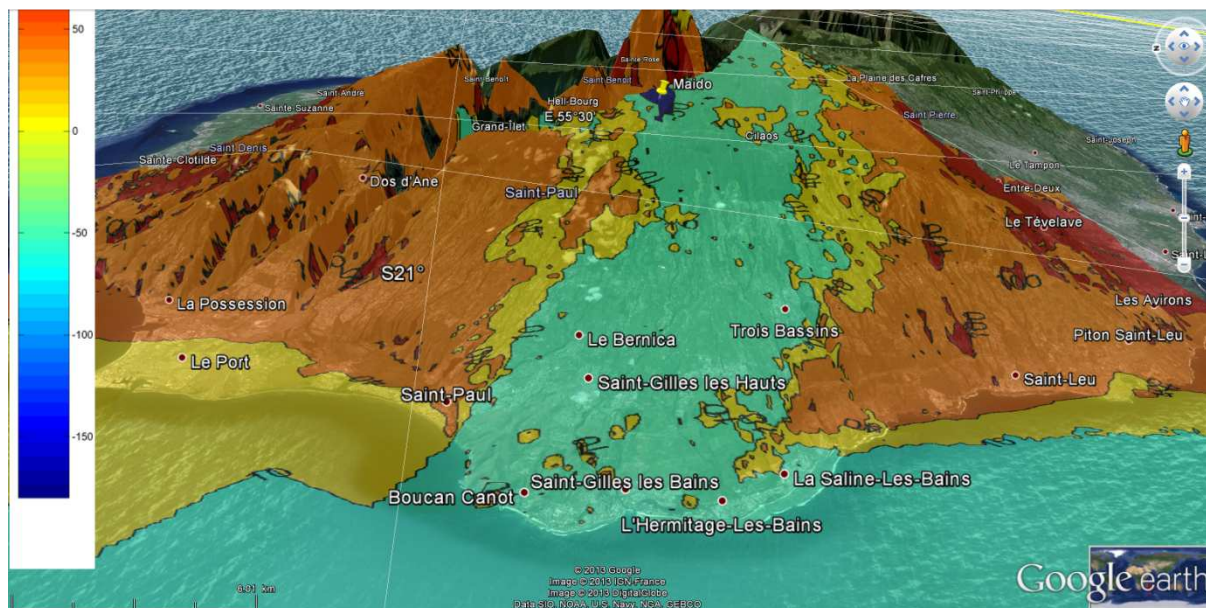


Figure 13 : Zones pour une PIRE maximum de 55 dBm – Fonctionnement en émissions non essentielles (association au tableau ci-dessus)

6. Recommandation Potentielle ANFR

Il faut noter que les zones 1A ou 1B font respectivement référence à des fonctionnements des FH en in band ou en émissions non essentielles.

- **Pour la zone 1A**, un changement de fréquence est nécessaire, de façon à ce que les FHs présentent des émissions non essentielles (spurious) dans la bande 22.21-22.5 GHz. Toutefois même **dans le domaine non essentiel**, des zones sont à respecter :
 - Une zone 1B restreinte autour du radiotélescope qui doit être préservée de toute implantation (Tableau 7 - voir Figure 13)
 - Une zone 2B relativement importante (Tableau 7), des offsets angulaires sur les stations sont nécessaires pour assurer la protection du site de radioastronomie.

Les zones 1B et 2B sont globalement incluses dans la zone 1A.

- **Pour la zone 2A**, à chaque nouvelle implantation de FH dans la bande de la radioastronomie, il est nécessaire de vérifier que le dépointage de la station est suffisant pour respecter le critère de protection du radiotélescope.
- **Pour la zone 3A et 3B**, toutes implantations peut être envisagées sans aucune contrainte

Pour les zones 2A et 2B, on notera que :

- A une position donnée, le dépointage devra être d'autant plus important que la puissance d'émission du FH est grande.
- Pour une puissance donnée, le dépointage devra être d'autant plus important que la distance entre le radiotélescope et le FH est faible.

En outre, pour la zone 2B, pour une puissance et une position du FH données, le dépointage requis sera d'autant plus faible que le niveau des émissions non-essentiels sera bas au regard de ce que prévoit la norme.

Quelle que soit la puissance d'émission de l'émetteur et en se référant aux figures 10, 11, 12 et 13, les zones 1 & 2 comprennent les communes désignées dans le tableau suivant (source Google Earth) :

	Zones 1A/2B	Zone 2A
Agglomérations, communes...	Trois Bassins, Fleurimont Saline Les Hauts, L'Eperon, Le Bernica, Villèle, Saint-Gilles les Hauts, Plateau Caillou, La Saline les Bains, L'Hermitage les Bains, Saint Gilles les Bains, Boucan Canot, Grand fond, Saint Paul	Piton Saint-Leu, L'Etang, Le Port

Sauf si cela entre en contradiction par rapport aux figures 10, 11, 12 et 13, les agglomérations non citées dans la liste ci-dessus sont considérées être localisées en zone 3.

Compte tenu des masques d'émission, il est proposé que les FH en émission hors-bande soient considérés comme les FH en in-band, sous réserve d'études au cas par cas. Un filtrage supplémentaire par rapport à ceux donnés par la norme, augmenterait le nombre de canaux utilisables, avec des contraintes d'offset angulaire réduites, en dehors de la bande primaire de radioastronomie. Ceci peut avoir un impact favorable pour pouvoir utiliser les 2nd et 3^{ième} canaux de 56 MHz.

Il est noté que compte tenu de l'attribution en secondaire de la bande 22,01-22,21 GHz à la radioastronomie, un déploiement de FH dans une autre gamme de fréquence dans les zones 1A/2B favoriserait l'observation dans cette bande.