

**Commission de compatibilité électromagnétique**

**Rapport sur la coexistence en bande adjacente entre le service mobile dans la bande 1427-1452 MHz et le service de radioastronomie dans la bande 1400-1427 MHz.**

**Responsable de l'étude : T. Caillet**

## 1. Introduction

Le présent rapport vise à analyser les modalités de compatibilité en bande adjacente entre les stations macro opérant dans le service mobile (SM) dans la bande 1427-1452 MHz et le service de radioastronomie (ASR) dans la bande 1400-1427 MHz.

A partir des résultats de ces études, un ensemble de recommandations est proposé afin de faciliter la compatibilité entre les stations de terre du SM et les stations de terre d'ASR, dont la seule concernée à la date de l'étude est le radiotélescope décimétrique du site de radioastronomie de Nançay.

L'utilisation de la bande 1427-1452MHz par le service mobile est encadrée au niveau européen par la « DÉCISION D'EXÉCUTION (UE) 2018/661 DE LA COMMISSION du 26 avril 2018 modifiant la décision d'exécution (UE) 2015/750 ». Cette décision précise notamment que « le mode d'exploitation dans la bande de fréquences 1 427-1517 MHz est limité à la transmission (en liaison exclusivement descendante) à partir de la station de base. ».

## 2. Caractéristiques du service de radioastronomie

### 2.1 Caractéristiques du site de radioastronomie de Nançay

Le site de radioastronomie de Nançay est référencé au point de coordonnées WGS 02°12'00'' E et 47°23'00'' N (d m s).

L'instrument d'observation le plus sensible du site dans la bande 1.4 GHz est le radiotélescope décimétrique de Nançay (RDN). Le RDN observe dans les bandes 1330-1400 MHz et 1400-1427 MHz. Le point focal de référence du RDN est localisé au point de coordonnées 02°11'52'' E et 47°22'17'' N (d m s). Par ailleurs, le RDN est relativement unique en son genre puisqu'il fait partie à la fois des sept structures mondiales de classe 100m tout en ne présentant pas de configuration parabolique.

Sa configuration particulière à base de deux miroirs, face à face, distants de 460 m (l'un fixe et l'autre mobile) lui confère des lobes latéraux et arrière particuliers et relativement difficiles à caractériser. La hauteur de rotation des miroirs est estimée à 22 m (dans l'axe Nord-Sud) et est considérée comme hauteur moyenne de l'antenne.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne du radiotélescope (habituellement considérée comme omnidirectionnelle dans les recommandations et notamment dans la recommandation ITU-R-RA.769-2) est pris conforme à la situation théorique calculée dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Tableau indicatif des gains théoriques (Ce diagramme en champs lointains a été validé par l'ANFR qui l'estime valable pour établir les études de partage) estimatifs du radiotélescope décimétrique de Nançay pour des émetteurs terrestres dans la bande 1.4 GHz (juillet 2013)

Direction	Azimut	Type de gain donné	Hauteur antenne H (m)	Gain (dB) @ 1.4 GHz
Nord = ±10°	350 - 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Focalisation dans le miroir sphérique après traversée du miroir plan</li> <li>Gain du télescope en champ lointain</li> <li>H correspond à l'axe du miroir plan</li> </ul>	22	10.5
Nord = ±10° à ±20°	340 - 350 et 10 - 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zone de transition indéterminée</li> <li>Le gain global correspond a du gain diffus et du gain focalise du télescope en champ lointain. Par convention avec UIT-R RA.769, on prendra 0dB.</li> <li>H correspond à l'axe du miroir plan</li> </ul>	22	0
Sud = 180°±30°	150 - 210	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gain du système focal après traversée du miroir sphérique</li> <li>H correspond au centre du miroir</li> </ul>	4	10

		parabolique bas du système focal		
Sud = $180 \pm 30^\circ$ à $180 \pm 60^\circ$	120 – 150 et 210 - 240	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zone de transition indéterminée</li> <li>• Le gain global correspond à du gain diffus et du gain focalisé du télescope en champ lointain. Par convention avec UIT-R RA.769, on prendra 0dB.</li> <li>• H correspond à l'axe du miroir plan</li> </ul>	22	0
Ouest = $270^\circ \pm 30^\circ$	240 - 340	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gain correspond à la moitié du gain diffus du télescope en champ lointain</li> <li>• H correspond à la hauteur moyenne du gain du télescope en champ lointain</li> </ul>	22	-1.5
Est = $90^\circ \pm 30^\circ$	20 - 120	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le gain correspond à la moitié du gain diffus du télescope en champ lointain</li> <li>• H correspond à la hauteur moyenne du gain du télescope en champ lointain</li> </ul>	22	-1.5

Il convient de souligner que la station de radioastronomie de Nançay est située dans une zone géographique totalement dénuée de relief, ce qui a pour conséquence de limiter considérablement sa protection par diffraction des signaux générateurs d'interférences.

Il existe des incertitudes de gain en champ proche. Les valeurs mentionnées dans le tableau sont celles valables en champ lointain.

## 2.2 Caractéristiques des bandes passives mesurées

Les bandes utilisées par ASR dans la bande 1.4GHz sont des bandes d'observations à la fois du continuum et de raie spectrale :

1. D'un point de vue international, la bande **1400-1427 MHz est totalement protégée** de toutes émissions par l'article **5.340** du **RR**. Cet article mentionne précisément que « toutes les émissions sont prohibées dans cette bande ». Les mêmes règles s'appliquent d'un point de vue national.
2. D'un point de vue international, la bande **1330-1400 MHz** est régie par l'article **RR 5.149** mais la radioastronomie n'y a pas d'attribution. Dans le TNRBF cette bande est attribuée avec un statut secondaire.
  - Les émissions observées des 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 du récepteur sont donc nécessaires. Généralement, on considère que la stabilité doit être au moins de 2000s.
  - 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 bandes observées sont larges afin d'augmenter la sensibilité.
  - Les observations de raies spectrales sont des études de l'évolution des propriétés spectrales d'une molécule ou d'un atome. Dans la bande 1.4 GHz, la raie observée est celle de l'hydrogène neutre, nommé H1 et l'émission électromagnétique mesurée est liée à l'évolution de l'état de spin de l'unique électron composant l'atome d'hydrogène. L'évolution spectrale de cette raie d'observation peut être associée, selon les éléments et/ou phénomènes étudiés, à un décalage en fréquence (par effet Doppler) ou à un empatement de la raie. Ces deux phénomènes demandant que l'ensemble de la bande d'observation (27 MHz) reste particulièrement dénuée d'interférences.

D'un point de vue général, la bande **1400-1427 MHz** est utilisée pour les observations de notre galaxie (Voie Lactée) et des galaxies proches et la bande **1330-1400 MHz** pour les observations des galaxies lointaines. De fait, plus une galaxie est distante de la Terre, plus sa vitesse est grande à cause de l'expansion de l'univers et donc plus le décalage Doppler est grand (le décalage est toujours vers les basses fréquences et c'est pour cette raison que la bande primaire 1400-1427 n'est pas centrée sur la fréquence au repos (laboratoire) de la raie H1 qui est de 1420.4 MHz).

## 2.3 Critères de protection des récepteurs de Radioastronomie

La Recommandation **ITU-R RA. 769-2** définit les critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie, qui sont résumés dans les tableaux 1 (continuum) et 2 (raies spectrales) de cette Recommandation. Ceux-ci décrivent précisément les seuils de sensibilité dans la bande 1400-1427 MHz

TABLEAU 2.

Niveaux de protection de la bande 1.4 GHz selon le type d'observation pour une durée d'intégration de 2000s

Obs.	Fréquence Centrale (MHz)	Bande Passante (MHz)	Température de bruit minimale de l'antenne (K)	Température de bruit du récepteur. (K)	Sensibilité en Temp. (mK)	Sensibilité en Densité spectrale de puissance (dB(W/Hz))	Seuil de brouillage en Puissance d'entrée (dBW/dBm)	Seuil de brouillage en Densité de flux de Puissance (dB(W/m <sup>2</sup> ))
CO	1413.5	27	12	10	0.095	-269	-205/-175	-180
SLO	1420	0.02	12	10	3.48	-253	-220/-190	-196

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** :

Cette puissance reçue sur une bande définie (20kHz ou 27MHz) est ensuite ramenée dans 1MHz. La **Recommandation ITU-R RA.1513** définit clairement que des brouillages peuvent être occasionnés sur 2% des paquets de données d'observation (liés à l'intégration) de 2000s. Lorsque les hypothèses d'études ne permettent pas de prendre en considération la notion temporelle, il est convenu que ces 2% des paquets de 2000s deviennent 2% du temps.

La **température réelle mesurée** du système de réception du RDN, n'est pas tout à fait celle théorique de 22 K. Elle doit être prise égale à 35 K. D'autre part, les durées d'intégration pour les programmes d'observation réalisés à Nançay, en raie HI comme en continuum, peuvent atteindre plus de 20h, soit 72000 secondes, durée retenue ici.

C'est sur cette base que les niveaux de protection suivant sont calculés :

- Pour le continuum ( $\Delta T=0.025\text{mK}$ ), le seuil de sensibilité ( $\Delta P$ ) est de -215 dBW/MHz. La puissance reçue (voir équation ci-dessous) est donc de -210 dBW/27MHz et s'apparente à -195 dBm/MHz.
- Pour la raie spectrale ( $\Delta T=0.92\text{mK}$ ), le seuil de sensibilité ( $\Delta P$ ) est de -256 dBW/Hz. La puissance reçue (voir équation ci-dessous) est donc de -226 dBW/20kHz et s'apparente à -196 dBm/20kHz.

## 3. Définition des caractéristiques des stations IMT

La bande 1427-1452 MHz sera donc utilisée en France en « downlink ». Les études de compatibilité seront entreprises uniquement entre les radiotélescopes et les stations de base.

Les caractéristiques générales des stations de base IMT sont globalement extraites d'une note de liaison du 5D en direction du JTG 4567 lors du cycle de la CMR 15 (Table C du Document [4-5-6-7/236](#)).

TABLEAU 3.

Caractéristiques des Stations de base autour de 1.4 GHz

	Macro rural	Macro suburbain	Macro urbain	Small cell outdoor / Micro urbain	Small cell indoor / Indoor urbain
Rayon de cellule / densité de déploiement	> 3 km (figure typique pour les études de partage 5 km)	0.5-3 km ((figure typique pour les études de partage 1 km)	0.25-1 km (figure typique pour les études de partage 0.5 km)	1-3 par macro cellule urbaine <1 par macro site suburbain	Dépendance de la couverture indoor/ de la demande en capacité
Hauteur moyenne Antenne	30 m	30 m	25 m	6 m	3 m
Hauteur maximale	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Sectorisation	3-secteurs	3- secteurs	3- secteurs	mono secteur	Mono secteur
Tilt négatif	3 degrés*	6 degrés*	10 degrés*	n.a.	n.a.
Réutilisation	1	1	1	1	1

fréquentielle					
Diagramme d'antenne	Recommendation ITU-R F.1336 Annexe 10 (voir la section "Antenna Pattern") <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k_a = 0.7</math></li> <li>• <math>k_p = 0.7</math></li> <li>• <math>k_h = 0.7</math></li> <li>• <math>k_v = 0.3</math></li> </ul> Horizontal 3 dB beamwidth: 65 degrees Vertical 3 dB beamwidth: determined from the horizontal beamwidth by equations in Recommendation ITU-R F.1336. Vertical beamwidths of actual antennas may also be used when available.			Recommendation ITU-R F.1336 omni	
Polarisation	linéaire/ +/- 45 degrés	linéaire / +/- 45 degrés	linéaire / +/- 45 degrés	linéaire	linéaire
Déploiement indoor	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	100 %
Perte de pénétration	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	20 dB (horizontal) P.1238, Table 3 (vertical)
Déploiement sous les toits	0 %	0 %	30 % (1-2 GHz) 50 % (2-3 GHz)	100 %	n.a.
Feeder loss	3 dB	3 dB	3 dB	n.a.	n.a.
Canalisation minimale	5 MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz
Puissance maximale (5/10/20 MHz)	43/46/46 dBm	43/46/46 dBm	43/46/46 dBm	35 dBm	24 dBm
Gain maximal	18 dBi	16 dBi	16 dBi	5 dBi	0 dBi
PIRE maximale	58/61/61 dBm	56/59/59 dBm	56/59/59 dBm	40 dBm	24 dBm
Facteur Activité moyenne	50 %	50 %	50%	50 %	50 %
Nombre moyen de secteurs actifs	2.7	2.7	2.7	/	/
*Urbain : Population >10 <sup>3</sup> hab/km <sup>2</sup> , Suburbain : 10 <sup>3</sup> hab /km <sup>2</sup> <PS <100 hab /km <sup>2</sup> , Rural : 100 hab /km <sup>2</sup> <PS < 0 hab /km <sup>2</sup>					

En moyenne le déploiement par site est plutôt de l'ordre de 2.7 secteurs. Le facteur d'activité mentionné dans le tableau est indépendant de cette valeur et doit se comprendre comme un facteur d'activité temporel par secteur.

La **Résolution 750** de l'ITU révisée lors de la CMR 2015 et référencée dans l'annexe 9 du TNRBF, ainsi que la décision de la Commission Européenne précitée définissent clairement les valeurs de puissance des émissions non désirées que doit respecter le service mobile dans la bande 1427-1452 MHz afin de protéger les observations faites par l'EESS dans la bande passive (**RR 5.340**) adjacente (1400-1427 MHz). Le tableau 4 suivant reprend ces valeurs.

TABLEAU 4 :  
Niveau d'émissions non désirées des stations de base requis pour la protection de l'EESS

EES (passif)	Bande du service actif	Service utilisant la bande	Niveau de <b>puissance</b> des émissions non désirées (à l'entrée du port d'antenne) dans la bande passive
1400-1427 MHz	1427-1452 MHz	Mobile	-72 dBW/27 MHz pour les stations de base IMT

C'est donc sur la base d'une valeur de **puissance** des émissions non désirées (à l'entrée du port d'antenne) des stations de base dans la bande 1400-1427 MHz de **-72dBW/27MHz**, que l'étude de compatibilité sera entreprise pour la protection des mesures en continuum. Cette valeur de puissance décrite dans la Résolution 750 ne concerne que la protection de l'EESS pour ses mesures en continuum réalisées dans la bande passive (température de brillance des sols ou des océans par AQUARIUS ou SMOS), Dans cette bande, l'EES ne réalise à priori aucune mesure en raie spectrale et la résolution 750 ne s'applique pas pour ce type de mesures.

En ce qui concerne les études relatives aux mesures en raie spectrale par ASR, il n'existe pas encore de données au moment de la réalisation de l'étude, permettant d'anticiper le masque des émissions non

désirées dans les domaines hors bande et spurios. **Aussi, pour cette étude, la valeur des émissions non désirées en bande étroite de 20 kHz sera donc extrapolée à partir de la valeur large bande considérée sur 27 MHz, en appliquant un facteur de bande.** La valeur d'END sera prise égale à -103dBW/20kHz.

#### 4. Méthodologie d'étude : ISOPIRE – Single entry

Cette étude se base sur l'analyse des « isoPIRE » ou « isochamps » autour de la station de radioastronomie de Nançay. Ces éléments 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 par les stations de base en bande adjacente, tout en assurant la protection de la station de radioastronomie du site de Nançay.

La décroissance de ces champs (ou de la PIRE) est liée à l'augmentation de la distance entre les stations de base et le radiotélescope. Dans l'étude les modèles de terrain sont bien entendu inclus afin de rendre compte des pertes par diffractions. Le modèle de propagation est celui décrit dans 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, effet troposphérique, « ducting »...).

Comme les résultats obtenus sont des valeurs de PIRE ou de champs maximaux assurant la vérification du critère de protection de la radioastronomie, ils restent totalement indépendants des caractéristiques des antennes d'émission du service mobile (gain, tilt, puissance...etc) à l'exception des hauteurs d'antennes qui restent essentielles pour les calculs d'horizon artificiel.

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 de base du LTE (dBW)  
 $G_t(\theta_t)$  : gain de l'antenne de la station de base 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 de base (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 (station de base) et le récepteur de la station de radioastronomie (dB).

Cette étude ne prend pas compte les potentiels effets agrégés pour plusieurs raisons :

1. A ce jour la modélisation du comportement de l'antenne de Nançay lorsque plusieurs sources opèrent en même temps reste inconnue, notamment du fait de sa géométrie particulière.
2. Les analyses effectuées à ce jour sur la comparaison des études « single entry » et agrégées ne permettent pas de conclure par le calcul que l'agrégation apporte une plus-value sur les résultats finaux. Des analyses complémentaires pourraient être nécessaires. Généralement il est constaté dans les simulations que la mauvaise position d'un unique émetteur, présentant des conditions de propagation particulière sur le chemin de propagation qui le lie au récepteur, génère des niveaux d'interférence qui prédominent suffisamment pour rendre les autres interféreurs non visibles par le récepteur. Ce cas étant pris en compte par les études « single entry ».

## 5. Résultats des études ISOPIRE – Single entry

### 5.1 Pour le respect des mesures en continu

Les figures 2 et 3 donnent respectivement les résultats des ISOPIREs pour le site de Nançay pour des hauteurs de station de base de 45 et 30 m. Afin de faciliter la lecture des figures, les niveaux de PIRE à ne pas dépasser au niveau de la station de base pour respecter le critère de protection du récepteur du radiotélescope sont donnés suivant certaines hypothèses :

1. La zone à fortes contraintes (zone 1 – fushia) : La zone à fortes contraintes est donc associée à une valeur de PIRE inférieure à  $-56\text{dBm/MHz}$ . Elle est construite comme une zone se référant à une station de base présentant une valeur de puissance non désirée en entrée du port d'antenne, conforme à la législation en vigueur dans la bande adjacente (soit  $-72\text{dBW}/27\text{MHz}$ , soit  $-42\text{dBm}/27\text{MHz}$  ramené à  $-56\text{dBm/MHz}$ ) à laquelle peut être associé le gain des lobes arrière d'un secteur qui est globalement de l'ordre de  $0\text{dBi}$ .
2. Une zone à contraintes modérées (zone 2 – bleu) : elle peut être établie comme la zone pour laquelle les valeurs de PIRE doivent être comprises entre  $-56\text{dBm/MHz}$  (PIRE minimale avec un gain d'antenne de  $0\text{dBi}$ ) et  $-38\text{dBm/MHz}$  (PIRE maximale avec un gain d'antenne de  $18\text{dBi}$ ). Dans cette zone des stations de base peuvent être installées, dans la mesure où une atténuation du gain d'antenne le permet. Comme observé sur la Figure 6 (présentant le diagramme « pic » d'une antenne LTE construite sur la base de la Recommandation ITU-R F.1336 avec un gain de  $18\text{dBi}$ ), un downtilt de  $2^\circ$  à  $4^\circ$  sur une station de base LTE peut permettre de générer une atténuation maximale (la valeur de  $k$  est prise égale à  $0.3$ ) de gain de l'ordre de  $13$  à  $15\text{dBi}$  et le gain de la station sur l'horizon devient donc proche de  $5$  à  $0\text{dBi}$ . Dans cette zone, pour une position donnée, la valeur du gain d'antenne doit bien entendu être en adéquation avec le respect du seuil de protection de la station de radioastronomie impactée.
3. La dernière zone (zone 3 – sans couleur) est une zone définie par une PIRE de  $-38\text{dBm/MHz}$ . Elle est associée à une station de base présentant un niveau d'émissions rayonnées non désirées réglementaire de  $-56\text{dBm/MHz}$  et son gain maximum en direction du radiotélescope. Dans cette zone, toute station respectant les valeurs d'END de la résolution 750 du RR pourrait être déployée.

FIGURE 2.

Représentation des niveaux de PIRE autour de la station de Nançay pour une hauteur des émetteurs de 45 m. Unité de l'échelle en  $\text{dBm/MHz}$

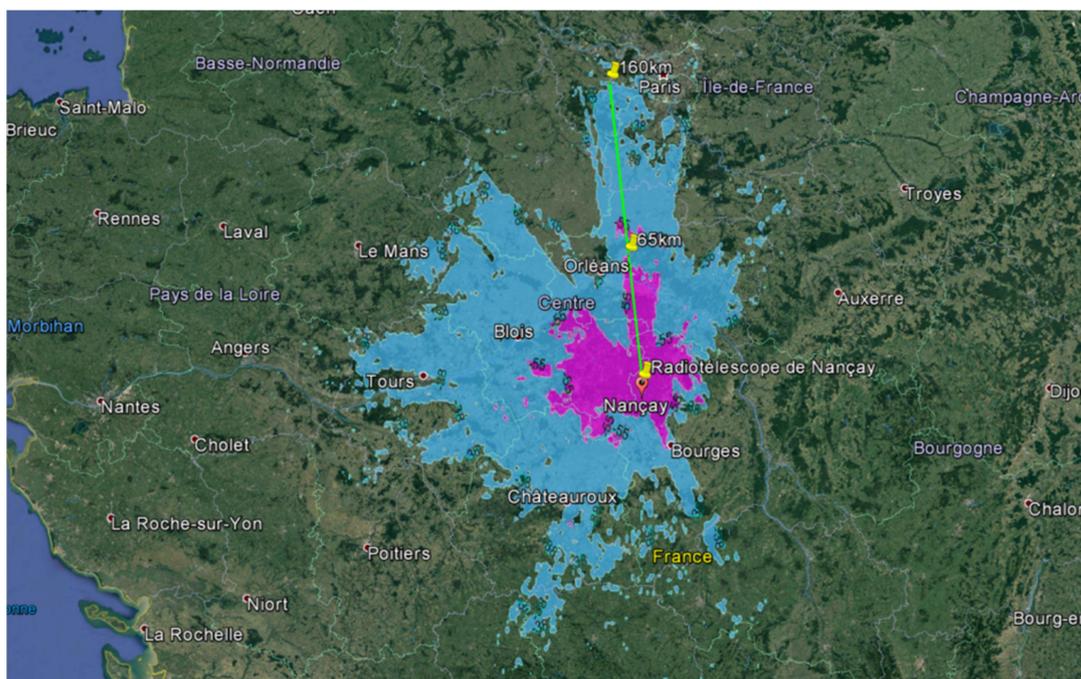
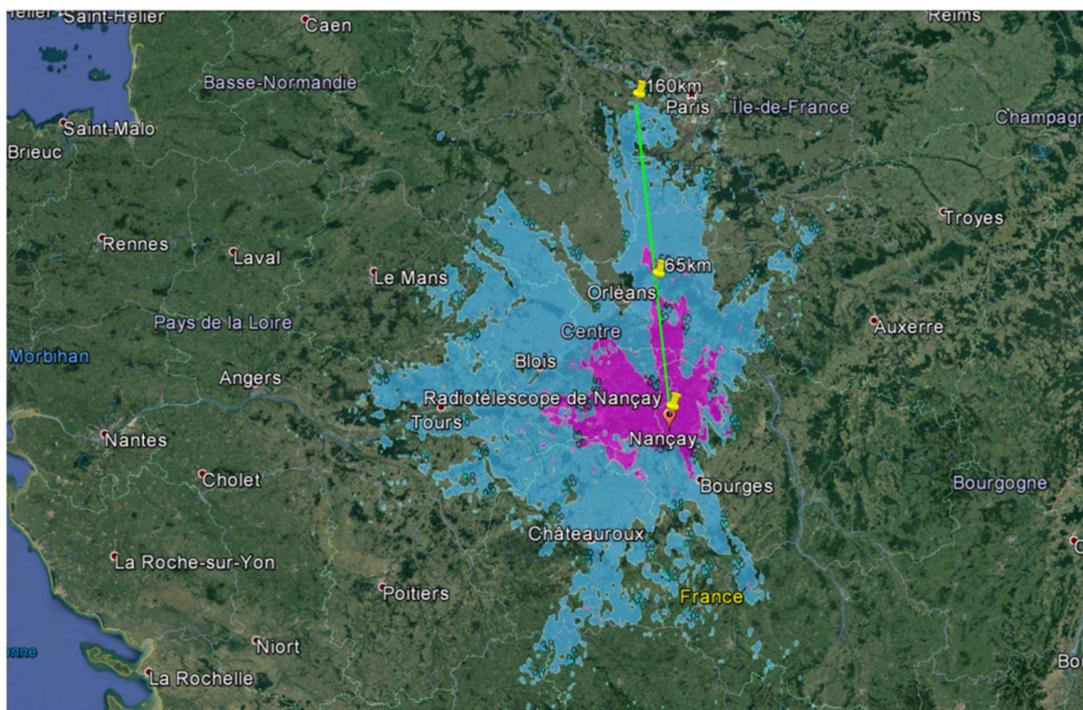


FIGURE 3

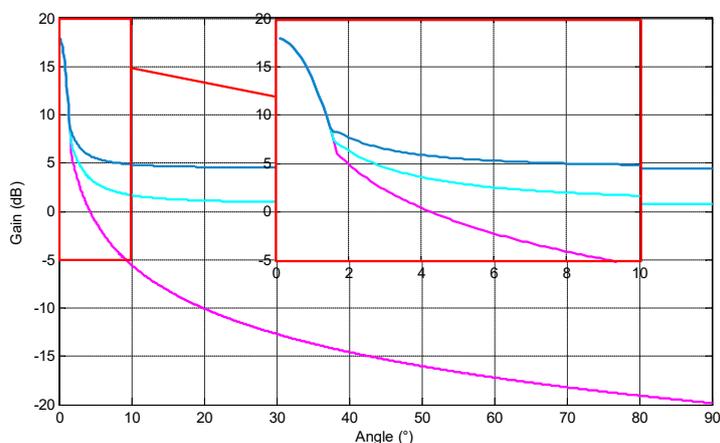
Représentation des niveaux de PIRE autour de Nançay pour une hauteur des émetteurs de 30 m. Unité de l'échelle en dBm/MHz



A noter que la différence de hauteur (entre 30 et 45) pour les stations de base n'est pas réellement significative sur les résultats (les différences sont de l'ordre de 1 à 5 km selon les cas)

FIGURE 6.

Diagramme de rayonnement d'une antenne LTE de gain maximum de 18 dBi (rose k=0, turquoise k=0.3 et bleu k=0.7).



Selon la Recommandation F.1336, le paramètre  $k$  est ainsi défini :

- En cas d'utilisation d'antennes typiques, fonctionnant entre 400 MHz et 3 GHz, le paramètre  $k$  doit être égal à 0,7;
- En cas d'utilisation d'antennes ayant des caractéristiques des lobes latéraux améliorées, fonctionnant entre 400 MHz et 3 GHz, et d'antennes de tous types fonctionnant dans la gamme 3-70 GHz, le paramètre  $k$  doit avoir une valeur nulle;

En Résumé, les distances à respecter pour chaque zone, dans le cas de la protection des mesures en continu de la station de Nançay, selon la station (il existe peu de différence dans les résultats d'isoPIRE entre les deux types de hauteur de station de base utilisées) sont:

- A. Zone 1 – zone à fortes contraintes - fuchsia - la distance maximum de 65 km correspond à une ISOPIRE de -56 dBm/MHz
- B. Zone 2 – zone à contraintes modérées - bleu – la distance maximum entre 65 et 160 km correspond respectivement à une ISOPIRE entre -56 dBm/MHz et -38 dBm/MHz
- C. Zone 3 – sans couleur – la distance au-delà de 160 km correspond à une ISOPIRE supérieure à -38 dBm/MHz

## 5.2 Pour le respect des mesures en raie spectrale

FIGURE 4.

Représentation des niveaux d'isoPIRE autour de la station de Nançay pour une hauteur d'émetteur de 45m. Unité de l'échelle en dBm/20kHz

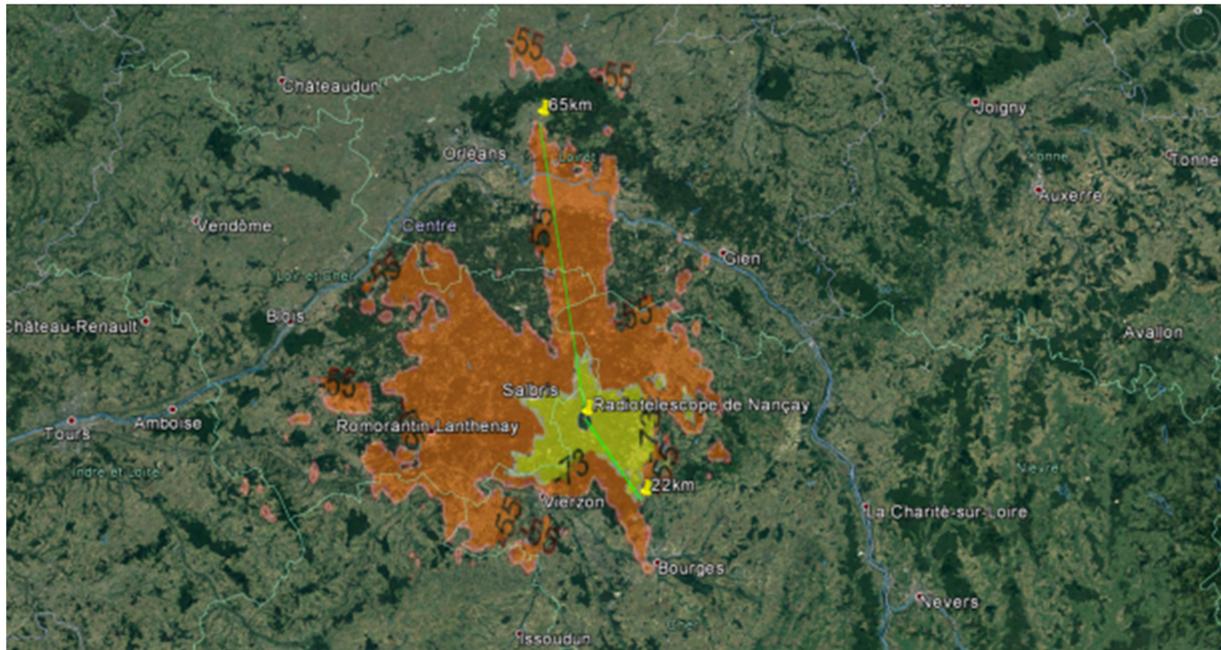
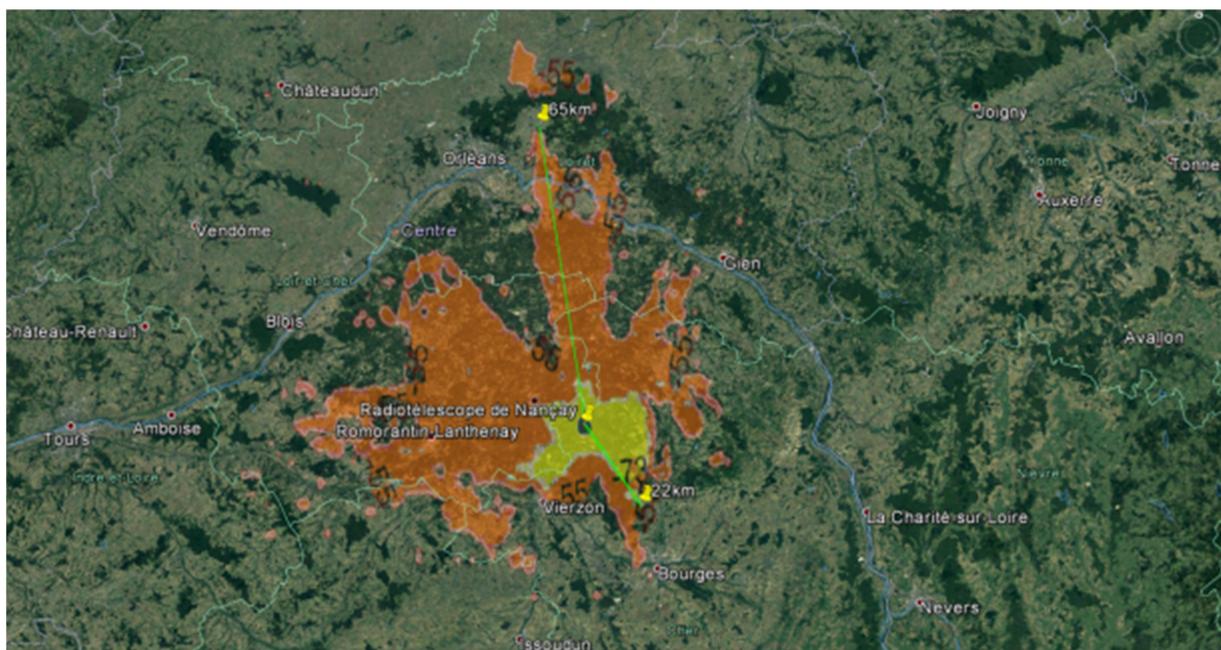


FIGURE 5

Représentation des niveaux d'isoPIRE autour de la station de Nançay pour une hauteur d'émetteur de 30m. Unité de l'échelle en dBm/20kHz



En Résumé, les distances à respecter pour chaque zone selon la station de Nançay (il existe peu de différence dans les résultats d'ISOPIRE entre les deux types de hauteur de station de base utilisés sont:

- A. Zone 1 – zone à fortes contraintes - jaune- la distance maximum de 22 km correspond à une ISOPIRE de -73 dBm/20kHz
- B. Zone 2 – zone à contraintes modérées – orange - la distance maximum entre 22 et 65 km correspond respectivement à une ISOPIRE entre -73dBm/20kHz et -55 dBm/20kHz
- C. Zone 3 –sans couleur – la distance au-delà de 65 km correspond à une ISOPIRE supérieure à -55 dBm/20kHz

**A noter : Du fait du type de mesure entreprise par la radioastronomie en raie spectrale dans des canaux de 20kHz, aucune moyenne des END sur une bande plus large ne peut être effectuée. Le critère de protection doit être respecté dans toute sous-bande de 20 kHz à l'intérieur de la bande de 27 MHz. Ce qui revient à dire par exemple, que le critère de -196 dBm/20kHz à Nançay doit être respecté dès la sous-bande 1426,980-1427 MHz.**

## 6. Conclusion & Recommandation

L'ensemble des études (et plus particulièrement l'interprétation des valeurs de PIREs) est basé sur les caractéristiques définies dans la DÉCISION D'EXÉCUTION (UE) 2018/661 DE LA COMMISSION du 26 avril 2018 modifiant la décision d'exécution (UE) 2015/750 » **pour les stations de base et réglementaires issues de la résolution 750 du RR. Il convient de considérer que les études ont été entreprises sur la base des modèles de terrain générés par les SRTM 90m**, qui présentent par nature une moyenne des hauteurs de bâtis. Cet aspect rend leur action dans les résultats, pertinent dans les zones peu urbanisées, mais sans doute moins dans les zones à forte densité d'urbanisation dans lequel le bâti pourraient parfois jouer un rôle sur les pertes par diffraction

Dans la bande 1400-1427 MHz (ASR primaire), les seuils préjudiciables pour **les deux critères de protection de la radioastronomie doivent être respectés par les stations de base** en bande adjacente par tous les moyens appropriés dont leur distance par rapport à la station de radioastronomie du site de Nançay, soit :-195 dBm/MHz pour le critère continuum et -196 dBm/20 kHz pour le critère spectral.

**Il est donc préconisé qu'en l'absence de données constructeur spécifiques:**

### **Pour le continuum :**

Sur la base des caractéristiques réglementaires prises comme hypothèses dans cette étude et pour des hauteurs d'antenne respectivement de 30 m à 45 m, des zones de très fortes contraintes peuvent être représentées par une surface de rayon de 65 km centrée sur le site de radioastronomie de Nançay.

Toutefois des caractéristiques réels de systèmes présentant des performances minimales inférieures (par exemple, des valeurs d'émissions non désirées inférieures à celles mentionnées dans la Résolution 750 ou autres techniques de mitigation amenant à minimiser la puissance ou la PIRE dans la bande de radioastronomie) pourraient amener à des distances de séparation moindres. Il convient de noter, qu'il existera toujours

### **Pour la raie spectrale :**

Sur la base des caractéristiques extrapolées sur la base des caractéristiques et réglementaires prises comme hypothèses dans cette étude et pour des hauteurs d'antenne des station de base respectivement de 30 m à 45 m, des zones de très fortes contraintes peuvent être représentées par une surface de rayon de 22 km centrée sur le sites de radioastronomie de Nançay. Ces résultats se basant sur l'hypothèse de masque d'émission d'END constant dans l'ensemble de la bande de radioastronomie (Pour une station donnée, toutes les sous-bandes de 20 kHz du récepteur de radio astronomie reçoivent une PIRE identique).

Il convient de considérer, que même si les distances sont moindres que dans le cas de la protection des mesures de radioastronomie du continuum, **l'application du critère spectral pourrait s'avérer plus contraignant puisque qu'une station de base devra présenter un niveau de PIRE inférieur ou égale à la valeur de PIRE calculée (considérant la protection de la raie spectral au niveau du radiotélescope pour sa position donnée), dans toute sous-bande de 20 kHz à l'intérieur de la bande 1400-1427 MHz, et notamment dès la sous-bande 1426.980-1427 MHz.** Selon la forme des masques d'END (Emission Non Désirées) réels, des techniques de mitigation supplémentaires pourraient être nécessaires.

Au final, les distances décrites dans cette partie pourraient donc être très fluctuantes en fonction des masques réels d'émission hors bande et non essentielle des stations de base mais aussi en fonction des techniques de mitigation envisagées.

Nota : la prise en compte des émetteurs 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.