



Agence Nationale des Fréquences

Commission de compatibilité électromagnétique

Rapport CCE(14)03

Utilisation de la bande 2700-2900 MHz par les liaisons vidéo mobiles

Rapport approuvé par la CCE le 8 septembre 2014

Table des matières

1	Introduction.....	4
2	Description des systèmes LVR.....	4
2.1	Scenarios d'application et types de liaisons.....	4
2.2	Paramètres d'émission des liaisons LVR.....	5
2.3	Critères de protection des systèmes LVR	6
2.3.1	Blocking response.....	7
2.3.2	Valeurs de C/I.....	8
3	Situation réglementaire de la bande	9
4	Description des systèmes existants.....	10
4.1	Radars maritimes défense (radionavigation).....	10
4.2	Radars de l'aviation civile, radars terrestres de la défense et radar météo	10
4.3	Service mobile (LTE).....	11
4.4	Exploration de la terre par satellite (passive).....	13
4.5	Radio astronomie	13
4.5.1	Caractéristiques du site de radioastronomie de Nançay	13
4.5.2	Caractéristiques des bandes passives mesurées	14
4.5.3	Critères de protection des récepteurs de Radio Astronomie.....	14
4.6	Recherche spatiale (passive)	15
5	Etudes de partage	15
5.1	Partage en bande adjacente LVR (brouilleur) vers LTE (victime)	15
5.2	Partage en bande adjacente LTE (brouilleur) vers LVR (victime)	18
5.3	Partage LVR vs radars	19
5.3.1	Partage LVR (brouilleur) vs radar (victime), cas co-canal.....	19
5.3.2	Partage LVR (brouilleur) vs radar (victime), canal adjacent.....	19
5.4	Partage radars (brouilleurs) vs LVR (victimes)	29
5.4.1	Co-canal.....	29
5.4.2	Canal adjacent.....	30
5.5	Partage entre LVR et Radioastronomie	34
5.5.1	Partage en bande adjacente entre LVR et Radioastronomie.....	34
5.5.2	Partage en co-canal entre LVR et Radioastronomie.....	37
6	Conditions d'utilisation de la bande 2700-2900 MHz.....	42
6.1.1	LTE @ 2600 MHz	42
6.1.2	Radioastronomie dans la bande 2690-2700 MHz.....	42
6.1.3	Radars	43
	ANNEXE 1. FORMULES.....	44
	La puissance utile C, en réception est donné par :.....	46

ANNEXE 2. EMISSIONS HORS BANDE DES LVR.....	48
ANNEXE 3. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE LVR vers LTE.....	51
ANNEXE 4. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE LTE vers LVR.....	59
6.1.4 Blocking.....	61
6.1.5 C/I.....	63
ANNEXE 5. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE. LVR CLASSE C VERS RADARS	64
LVR de classe C vs radar maritime défense	64
LVR de classe C vs radar ATC	65
LVR de classe C vs radar METEO.....	66

1 Introduction

L'étude CPF « Identifications de nouvelles ressources pour les liaisons vidéo mobiles » a relevé la nécessité d'identifier des ressources spectrales supplémentaires pour les liaisons de vidéo reportage (LVR). Dans cette perspective, les bandes 2700-2900 MHz et 3800-4200 MHz sont potentiellement candidates.

L'objet de ce rapport est de présenter le résultat des études de partage entre les liaisons vidéo mobiles et les services existant dans la bande 2700-2900 MHz. Les études relatives à la bande 3800-4200 MHz fera, le cas échéant, l'objet d'un rapport séparé.

2 Description des systèmes LVR

2.1 Scenarios d'application et types de liaisons

Trois différents types d'événements peuvent être identifiés :

- les événements quotidiens ou de routine (qui peuvent nécessiter un nombre plus ou moins important de canaux),
- les grands événements prévisibles à l'avance où de 35 et 45 canaux peuvent être utilisés (utilisation provisoire de spectre attribué à d'autres services et relevant potentiellement d'autres affectataires comme par exemple la Défense),
- les grands événements soudains pour lesquels la réalisation du travail en amont afin d'identifier des canaux est impossible.

Les autorisations pour ce genre d'évènement sont limitées à une durée de deux mois. Cependant, certains cas où l'utilisation est autorisée de manière quasi continue sont possibles. Les hippodromes semblent, par exemple, avoir un besoin continu de caméras sans fil.

Les grands événements sont aussi très souvent organisés commercialement et opérationnellement par un radiodiffuseur principal, qui obtient les droits de diffusions, et des radiodiffuseurs additionnels qui rachètent les droits d'image pour leur pays. La demande en fréquence sera en majorité le fait du radiodiffuseur principal. Les autres auront des limitations imposées par leurs droits qui influencent leur demande fréquentielle.

La demande en fréquence pour un événement n'est pas prévisible à l'avance car cela dépend de l'intérêt porté par un pays pour l'événement ou même du contenu media du pays à ce moment (s'il y a beaucoup de contenu médiatique, l'équipe de production pourrait décider de ne pas couvrir l'événement).

Les types de systèmes LVR suivants sont considérés (la définition en anglais correspond au classement usuel dans les études de la CEPT) :

- « Wireless Camera » : il s'agit d'une caméra portable avec une liaison sans fil entre l'opérateur et une station fixe. La station fixe peut être un deuxième opérateur ou un camion équipé.
- « Portable link » : lien sans fil portable, avec une distance maximale de 2 km.
- « Mobile link (terrestrial) » : il s'agit d'une caméra installée typiquement sur une moto ou une voiture qui transmet les données à une station de réception à terre (typiquement un camion équipé).
- « Mobile link (airborne) » : il s'agit d'une caméra installée typiquement sur une moto ou une voiture qui transmet les données à un hélicoptère ou un avion.
- « Temporary point to point link » : il s'agit d'un faisceau hertzien, portable, d'une distance maximale de 80 km.

Les transmissions HD standards utilisent des canaux de 10 MHz, mais il est aussi considéré que HHD et vidéo 3D exigent actuellement une bande passante de 20 MHz. Il est cependant prévu que le besoin pour les HHD et équipement 3D soit réduit à 10 MHz via une amélioration des algorithmes de codage et de décodage.

2.2 Paramètres d'émission des liaisons LVR

Le Tableau 1 indique les paramètres caractéristiques des systèmes LVR et le modèle de propagation qui sera retenu pour les études de coexistence avec les autres services/applications compte tenu du type de LVR.

Tableau 1

Type of link	Range	Max E.I.R.P. dBW	Typical E.I.R.P. dBW	Min Tx ant. gain	Min Rx ant. gain	Channel raster	typical antenna height	PMSE Class	Propagation model
Cordless Camera	<500 m	6	-7 / 0	0	6	10-20-30	1.5	A1	Hata/P 452
Portable Link	<2km	16	-7 / 0	6	17	10-20-30	2	A2	Hata/P 452
Mobile Link (Terrestrial)	<10km	26	3/6	3	13	10-20-30	1.5	A3	Hata/P 452
Mobile Link (Airborne)	<10km	26	3/6	3	13	10-20-30	30-600	C	Free space
Temporary Point-to-point Link	<80 km	40	20	13	17	10-20-30 (40 for IP)	4-10	B	Hata/P 452

Afin de mener les études, les liaisons de vidéo reportage sont classées en trois catégories, en fonction de leurs potentiels de brouillage (voir Tableaux 1 et 2). En général les études sont menées en considérant la puissance de transmission des LVR comme un paramètre variable et non pas une valeur déterminée. Cette approche a l'avantage de permettre d'évaluer l'impact de mesures règlementaires éventuelles en fonction de la puissance d'émission maximale imposée. La catégorie A comprend les liaisons qui ont une hauteur typique d'antenne entre 1,5m et 2m (caméras sans fil, liaisons portables, liaisons mobiles terrestres), la catégorie B (liaisons temporaires point à point) les liaisons ayant une hauteur typique de 10m, et enfin la catégorie C (liaisons mobiles aéroportées) est celle des liaisons mobiles aéroportées. Néanmoins, dans les cas où la distinction sera nécessaire, les trois sous classes A1, A2 et A3 seront traitées individuellement au lieu de la classe A (Tableau 1).

Tableau 2

Classe	Hauteur antenne, m	P.I.R.E. , gamme de valeurs, dBW
A	1.5	-7/26
B	10	10 /40
C	NA	3/26

Les émissions hors bande sont celles données par la norme EN 302064-1 est retenue (voir Annexe 2 pour une discussion détaillée de ce sujet). La norme considère une largeur de canal de 10 MHz et exprime les limites d'émission hors bande en termes de P.I.R.E. maximale dans le premier canal adjacent (N+1) et dans le second canal adjacent (N+2). Voir la Figure 1.

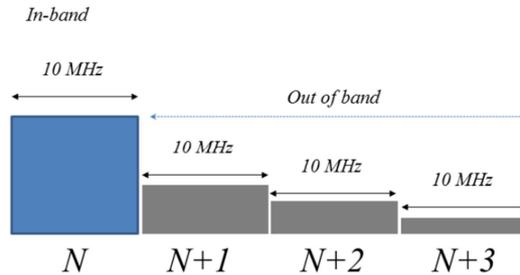


Figure 1

La figure 2 montre les valeurs d'émission hors bande pour les LVR selon la norme EN 302-064.

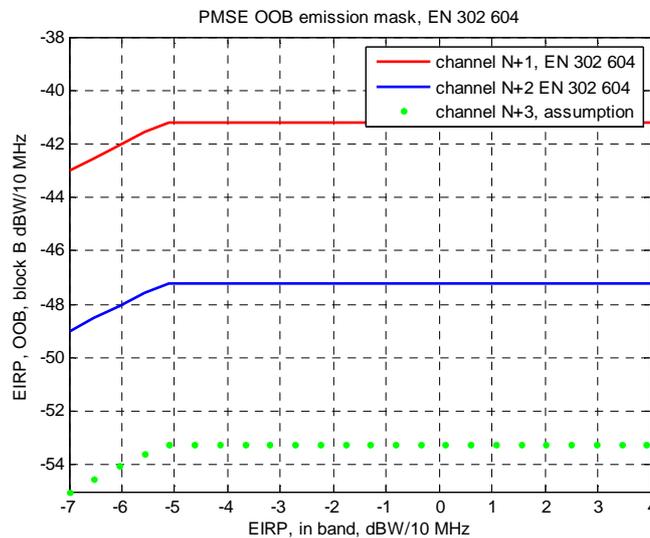


Figure 2

A noter que la norme EN 302-064 n'indique pas de valeurs d'émission pour les cas N+3 et N+4. Néanmoins, les études de partage, par exemple avec la radio astronomie, considèrent aussi le cas N+3. Faute de données sur les valeurs du masque d'émission du LVR dans la bande N+3, l'hypothèse a été faite que les émissions dans le canal N+3 sont 6 dB plus basses que celles dans la bande N+2. Le raisonnement à la base de cette hypothèse est l'observation que 6 dB est l'écart entre le cas N+1 et le cas N+2. Il faut noter que le cas N+3 entre dans la zone de fréquence des émissions non essentielles, pour laquelle la Recommandation ECC REC 74-01 spécifie une valeur de -30 dBm/MHz, ce qui est 3 dB au-dessus de la valeur prise en compte dans l'étude. Ceci constitue une hypothèse raisonnable compte tenu que la limite de la norme doit être tenue par les équipements en situation de test dans des conditions extrêmes et qu'en conséquence, il existe une marge par rapport à la norme.

2.3 Critères de protection des systèmes LVR

Dans le cas co-canal, le critère de protection est déterminé avec les hypothèses suivantes :

Le rapport de C/N est celui requis par le DVB-T dans le cas d'une réception mobile (canal de type Rayleigh variable dans le temps). Le Tableau 3 (extrait du document technique EBU : « DVB-T, C/N

values for portable single and diversity reception » (EBU Technical review , 2006)) fournit les valeurs de C/N pour un canal de Rayleigh, pour une réception portable pendant 99% du temps, en conformité avec le critère ESR₅ et avec une perte d'insertion du récepteur de 1 dB.

Tableau 3. C/N values required for good portable reception 99% of the time in conformity with the ESR₅ criterion, for a receiver with an implementation loss of 1dB

Modulation	Code Rate	C/N (dB)
QPSK	1/2	11.5
QPSK	2/3	14.7
QPSK	3/4	16.7
16-QAM	1/2	17.2
16-QAM	2/3	20.9
16-QAM	3/4	23.1
64-QAM	1/2	22.1
64-QAM	2/3	25.3
64-QAM	3/4	27.5

En présence d'un signal brouilleur, dont la puissance est indiquée par I , la réception sera assurée si le rapport $C/(N+I)$ atteint la valeur de C/N (Tableau 3) qui assure la réception en absence de brouilleur.

Dans les calculs de brouillage des LVR en canal adjacent, deux effets doivent être pris en compte :

- Le blocage du récepteur ;
- Le brouillage dû aux émissions hors bande dans la bande de réception du LVR.

Les deux effets sont traités en détails dans les paragraphes suivants.

2.3.1 Blocking response

La norme ETSI ES 202 239 v 1.1.1 « *Wireless digital video links operating above 1.3 GHz; Specification of typical receiver performance parameters for spectrum planning* » fait référence à des systèmes basés sur une puce DVB-T dont les performances de réceptions sont indiquées dans le Tableau 4 (extrait de la spécification ETSI ES 202 239 v 1.1.1). A noter que la valeur d'ACS est de 30 dB et le « *blocking response* » est de 40 dB¹.

¹ Concernant en particulier la valeur de « *blocking response* » elle est définie dans les conditions suivantes :

1. Signal « *wanted* » reçu 3 dB au-dessus de la valeur qui assure une réception satisfaisante, sur le canal à la limite de la bande de réception.
2. Signal « *blocking* » constitué par une CW à la fréquence $f_0 + \Delta f$ où f_0 indique la limite du canal de réception
3. Puissance de la CW augmentée jusqu'à la valeur limite qui entame la qualité de réception.
4. La valeur de « *blocking* » à satisfaire est définie dans la norme comme le rapport, en dB, entre la valeur de puissance limite définie au point 3 et la puissance du signal « *wanted* » définie au point 1

La valeur minimale de « *blocking* », 40 dB, doit être respecté pour $\Delta f = \pm 5$ MHz, ± 10 MHz, ± 20 MHz, ± 50 MHz (le signe est choisi par rapport au cas hors bande inférieure/supérieure).

Tableau 4

Modulation	Code rate	QEF (note)	Receiver sensitivity
QPSK	1/2	3,1	-93 dBm
QPSK	2/3	4,9	-91 dBm
QPSK	3/4	5,9	-90 dBm
QPSK	5/6	6,9	-89 dBm
QPSK	7/8	7,7	-88 dBm
16-QAM	1/2	8,8	-87 dBm
16-QAM	2/3	11,1	-85 dBm
16-QAM	3/4	12,5	-84 dBm
16-QAM	5/6	13,5	-83 dBm
16-QAM	7/8	13,9	-82 dBm
64-QAM	1/2	14,4	-82 dBm
64-QAM	2/3	16,5	-80 dBm
64-QAM	3/4	18,0	-78 dBm
64-QAM	5/6	19,3	-77 dBm
64-QAM	7/8	20,1	-76 dBm
Blocking (All modes)			40 dB
Adjacent channel selectivity			30 dB
NOTE: Required C/N in a Gaussian channel for BER = 2E-4 after Viterbi, QEF after Reed-Solomon			

Après analyse d'une fiche de données réelle, les valeurs suivantes ont été notées (Tableau 5) :

Tableau 5. Bloking response ETSI ES 202 239 v1.1.1

<i>Delta F (Futile-Finterf), MHz</i>	<i>C/blocker [dBc]</i>
0 (in-band)	-4
1 (in-band)	-4
2 (in-band)	-4
3 (in-band)	-4
4 (in-band)	-4
5 (in-band)	-12
6	-36
8	-52
10	-55
20	-57
30	-58
100	-58
>100	-58

On voit qu'à partir d'un écart de 3 MHz par rapport à l'extrémité de la bande de travail de l'équipement (vers les 8 MHz dans le Tableau 5), l'équipement considéré a une performance meilleure que celle de la norme. Dans la suite de cette étude, la valeur de -55 dBc sera prise en compte.

2.3.2 Valeurs de C/I

Pour ce qui concerne les valeurs de C/I requises par un système DVB-T à 2,6 GHz, il est possible de considérer que l'architecture de ce type de système consiste en un TX/RX DVB-T @ 800 MHz avec une conversion dans la bande voulue. Le Tableau 3, extrait du document technique « *DVB-T, C/N values for*

portable single and diversity reception » (EBU Technical review , 2006) fournit les valeurs de C/N pour un canal de Rayleigh, pour une réception portable pendant 99% du temps, en conformité avec le critère ESR₅ et avec une perte d'insertion du récepteur de 1 dB.

Le critère de protection est déterminé sur la base des hypothèses suivantes :

- L'émission hors bande du TX brouilleur est assimilée à un bruit gaussien ;
- Le rapport C/N est celui requis par le DVB-T dans le cas d'une réception mobile (canal de type Rayleigh variable dans le temps) ;
- En présence du brouilleur I, la réception sera assurée si le rapport C/(N+I) atteint la valeur de C/N qui assure la réception en l'absence de brouilleur (Tableau 3).

3 Situation règlementaire de la bande

Le tableau suivant, extrait du TNRBF, indique les attributions de service dans la bande 2700-2900 MHz et dans les bandes adjacentes :

Tableau 6. Extrait du TNRBF

REGION 1	REGION 2	REGION 3	MHz	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes	France	Ser	Aff	Statut	Notes	
FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.384A-5.410- 5.412	FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.208B-5.384A- 5.410-5.415	FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE sauf mobile aéronautique Exploration de la Terre par satellite (passive) Radioastronomie Recherche spatiale (passive) 5.149-5.351A-5.384A- 5.410-5.415-5.419	2 670,000																
EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340-5.422			2 690,000		ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340		ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340		ASR EPS RPS	RST ESP	EGAL	5.340	
RADIONAVIGATION AERONAUTIQUE Radiolocalisation 5.337-5.423-5.424			2 700,000		RNA LOC	AC DEF MTO	PRIO	5.337 5.423		RNA LOC	AC DEF MTO	PRIO	5.337 5.423		RNA LOC	AC DEF MTO	PRIO	5.337 5.423	
RADIOLOCALISATION RADIONAVIGATION 5.424A-5.425-5.426-5.427			2 900,000		LOC RNV	ARCEP DEF PNM AC ARCEP DEF PNM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87		LOC RNV	ARCEP DEF PNM AC ARCEP DEF PNM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87		LOC RNV	DEF PNM TTOM AC DEF PNM TTOM	EGAL	5.424A 5.425 5.426 5.427 F87	
			3 100,000																

Depuis l'introduction du service mobile et plus précisément du LTE dans la bande inférieure (2500-2690 MHz), des contraintes peuvent restreindre la mise en œuvre de nouveaux radars dans la partie basse de la bande entre 2700 MHz et environ 2740/2750 MHz. Ceci peut présenter une opportunité pour introduire des liaisons vidéo mobiles.

Les études qui font l'objet de ce rapport consistent, pour les trois régions définies dans le TNRBF, à étudier des conditions d'utilisation de la bande 2700-2900 MHz par les liaisons vidéo mobiles compte tenu des utilisations dans les bandes adjacentes et en co-fréquence.

Les services à considérer dans les études de partage sont ceux auxquelles la bande considérée et les bandes adjacentes sont également attribuées :

- Radars (service de radionavigation) : étude de partage co-canal et en bande adjacente.
- Radars (service de radiolocalisation) : étude de partage co-canal et en bande adjacente.
- Service mobile sous 2690 MHz (LTE) : étude de partage
- Exploration de la terre par satellite (passive) : études de partage en bande adjacente. Radio astronomie : études de compatibilité en bande adjacente.
- Recherche spatiale (passive) : études de compatibilité en bande adjacente.

Les notes du RR suivantes sont pertinentes:

- 5.337 : *L'emploi des radars par le service de radionavigation aéronautique est limité aux radars au sol et aux répondeurs aéroportés associés n'émettant que sur des fréquences dans cette bande, uniquement lorsqu'ils sont mis en action par les radars opérant dans la même bande.*
- 5.423 : *Les radars au sol utilisés dans la bande 2700-2900 MHz pour les besoins de la météorologie sont autorisés à fonctionner sur une base d'égalité avec les stations du service de radionavigation aéronautique*
- 5.340 : *toutes les émissions sont interdites dans les bandes 2690-2700 MHz à l'exception de celles prévues au numéro 5.421 et 5.422*

4 Description des systèmes existants

4.1 Radars maritimes défense (radionavigation)

Les caractéristiques des radars maritimes de la Défense sont extraites du Rapport ECC 174 :

Tableau 7. Caractéristiques techniques des radars maritimes de la Défense

Paramètres	Valeurs
Gain maximum de l'antenne	34 dBi
Hauteur de l'antenne	5-40 m (12 m en général)
Polarisation	circulaire
Perte d'insertion	non disponible
Niveau de protection	-122 dBm/MHz
Critère de protection	I/N = -10 dB
Puissance de transmission	30 kW
Largeur de bande référence	800 kHz
Out of band roll off	20 dB/decade
Limite d'émission parasite	-60 dBc

4.2 Radars de l'aviation civile, radars terrestres de la défense et radar météo

Le niveau de protection des radars ATC, MTO et terrestres de la Défense dans la bande 2700-2900 MHz est de -122 dBm/MHz (voir Tableau 8, extrait du Rapport ECC 174).

Tableau 8

Parameter	Unit	ATC and defense			Meteorology	
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	
Category		Frequency hopping	2 to 4 frequencies		Single frequency	
Maximum antenna gain	dBi	>40	34		43	
Antenna pattern		Not given	Vertical pattern cosecant-squared (see figure 5)		ITU-R F.1245[22]	
Antenna height	m	5-40 (normal 12)			7-21 (normal 13)	
Polarization		Circular			H/V	
Feeder loss	dB	<1		Not given	2	
Minimum elevation angle	°	Not given	2 (see ITU-R M.1851[38], see also Figure 13:)		0.5	
Protection level (Note 1)	dBm/MHz	-122				
1 dB compression point	dBm	-20 (see ITU-R M.1464[39])			10	
Blocking level	dBm	Not given	See Figure 13:		ANNEX 3:	
Transmission power	kW	1000	400	30	794	
Reference bandwidth	kHz	2500	1000	800	1000	
40 dB bandwidth	MHz	9.5	20	4	2	ANNEX 1:
Out of band roll off	dB/decade	20	20	20		40
Spurious level	dBc	-60	-60	-60		-60 for old radars and -75 to -90 for new radars
Unwanted emission mask		To be calculated using elements above + Annex 2 for actual examples			ANNEX 1:	
Pulse repetition rate	Hz	<300	~1000	825		250 - 1200 (See ITU-R M.1849[21])
Pulse duration	µs	20 and 100	1	1	100	0.8-2
Rise and fall time	% of pulse length	1%	10%	16.9%	Not given	10%
Antenna rotation	rpm	6-12	12-15	15		See ITU-R M.1849[21]
Scan in elevation		Not given	Fixed		See ITU-R M.1849[21]	

En ce qui concerne la sélectivité et le niveau de blocage des radars, les informations ont également été extraites du Rapport ECC 174.

Pour l'analyse préliminaire de la compatibilité LVR vs Radars, deux valeurs ont été utilisées :

- Sélectivité des radars : 60 dB de rejection hors bande utile
- Niveau de blocage du récepteur : -36 dBm

4.3 Service mobile (LTE)

La canalisation applicable au service mobile dans la bande 2500-2690 MHz est indiquée dans la figure suivante :

2500 MHz	2505 MHz	2510 MHz	2515 MHz	2520 MHz	2525 MHz	2530 MHz	2535 MHz	2540 MHz	2545 MHz	2550 MHz	2555 MHz	2560 MHz	2565 MHz	2570 MHz	2575 MHz	2580 MHz	2585 MHz	2590 MHz	2595 MHz	2600 MHz	2605 MHz	2610 MHz	2615 MHz	2620 MHz	2625 MHz	2630 MHz	2635 MHz	2640 MHz	2645 MHz	2650 MHz	2655 MHz	2660 MHz	2665 MHz	2670 MHz	2675 MHz	2680 MHz	2685 MHz	2690 MHz
UL 01	UL 02	UL 03	UL 04	UL 05	UL 06	UL 07	UL 08	UL 09	UL 10	UL 11	UL 12	UL 13	UL 14	TDD* or										DL 01	DL 02	DL 03	DL 04	DL 05	DL 06	DL 07	DL 08	DL 09	DL 10	DL 11	DL 12	DL 13	DL 14	
FDD Uplink Blocks														FDD Downlink (External)*										FDD Downlink Blocks														

*Any guard bands required to ensure adjacent band compatibility at 2570 MHz and 2620 MHz boundaries will be decided on a national basis and taken within the band 2570 – 2620 MHz.

Figure 3. Canalisation du LTE à 2600 MHz

Les caractéristiques de la technologie LTE utilisée en France sous le service mobile sont extraites du Rapport ECC 174 et indiquées dans les deux Tableaux suivants.

Tableau 9 : Caractéristiques techniques des terminaux LTE

Paramètres	Valeurs
Fréquence montante (MHz) FDD	2500-2570
Fréquence montante (MHz) TDD	2570-2620
Largeur de bande	5, 10 ou 20 MHz
Technique d'accès	SC-FDMA
Type de modulation	QPSK/16-QAM/64-QAM
Puissance maximum de l'émetteur (dBm)	23
Rapport de puissance de l'émetteur entre le maximum et la moyenne (dB)	7 - 8
Gain d'antenne (dBi)	0
Hauteur d'antenne (m)	1.5
Type d'antenne	Omnidirectionnelle
Polarisation	Linéaire
Nombre d'utilisateurs simultanés par cellule émettant avec la puissance maximale	1
Masque d'émission	Ref: 3GPP TS 36.101 Pour le pire cas (20 MHz) : - 13 dBm/MHz 2700 - 2710 MHz - 25 dBm/MHz 2700-2715 MHz
ACLR (1er canal adjacent)	Pour le pire cas (canal nominal de 20 MHz, ACLR calculée sur 18 MHz BW): 30 dB. 23 dBm de puissance de sortie => -7 dBm/18 MHz dans 2690 – 2710 MHz, - 19.5 dBm/MHz
ACLR (2nd canal adjacent)	N.A.
ACS (1er canal adjacent)	N.A. au-dessus de 2700 MHz
ACS (2nd canal adjacent)	N.A.
Blocking [Note 1]	- 44 dBm 2700-2750 MHz - 30 dBm 2750-2775 MHz - 15 dBm above 2775 MHz
ACS relatives calculées à partir des niveaux de blocking (basée sur un facteur de bruit de 9 dB pour le LTE)	Pour 20 MHz : 43.7 dB 2700-2750 MHz 57.7 dB 2750-2775 MHz 72.7 dB au-dessus de 2775 MHz
Limites des émissions non essentielles (puissance moyenne ou, lorsque applicable, puissance moyennée pendant la durée des impulsions dans la bande de référence)	Référence: ETSI EN 301 908-14 v.5.1.1 -30 dBm/MHz Applicable à 2700-2900 MHz dans les cas non exceptionnels et de 2705/2710/2715 MHz pour 10/15/20 MHz dans les cas exceptionnels.
Facteur de bruit du récepteur (dB)	9 (exigence de spécification 3GPP)
Bruit thermique du récepteur	-98 dBm dans 5 MHz -95 dBm dans 10 MHz -92 dBm dans 20 MHz
Seuil d'interférence basé sur un I/N = -6 dB (i.e. 1 dB)	-104 dBm dans 5 MHz

Paramètres	Valeurs
d'impact sur la sensibilité du récepteur)	-101 dBm dans 10 MHz -98 dBm dans 20 MHz

Tableau 10. Caractéristiques techniques des stations radio base LTE

Paramètres	Valeurs
Fréquence descendante FDD	2620-2690 MHz
Fréquence descendante TDD	2570-2620 MHz
Largeur de bande (BW)	5,10 ou 20 MHz
Type de modulation	QPSK/16-QAM/64-QAM
Déploiement	Macro, urbain et rural
Rayon des cellules	4330 m (rural), 220 m (urbain)
Distance inter-sites ISD	12990 m (rural), 660 m (urbain)
Puissance maximum de l'émetteur	43 pour BW = 5 MHz 46 pour BW = 10 MHz 46 pour BW = 20 MHz
Rapport de puissance de l'émetteur entre le maximum et la moyenne (dB)	7-8
Réduction de puissance dans une analyse statistique	3 dB (en prenant l'hypothèse que les stations de base transmettront 50 % du temps)
Gain maximum de l'antenne	18 dBi
Hauteur de l'antenne	45 m (rural), 30 m (urbain)
Tilt de l'antenne (degré vers le bas)	2,5 (rural), 5 (urbain)
perte du à l'alimentation	3 dB
Polarisation	± 45° cross-polarized
Ouverture à 3dB de l'antenne en élévation (°)	1,57
Ouverture à 3dB de l'antenne en azimut (°)	65
Limite d'émission parasite	Reference: ETSI EN 301908-14 v.5.1.1 -30 dBm/MHz
Niveaux d'émissions non essentielles	-30 dBm/MHz appliqué à 10 MHz de la limite de bande

La P.I.R.E. maximale des stations de base est de 61dBm/5MHz mais, pour des applications spécifiques, elle peut atteindre 68dBm/5MHz (Décision 2008/477/EC).

4.4 Exploration de la terre par satellite (passive)

Le service d'exploration passive de la terre pas satellite n'a pas été pris en compte car il n'y a pas de tel système opérationnel ni actuellement prévu dans la bande 2690-2700 MHz.

4.5 Radio astronomie

4.5.1 Caractéristiques du site de radioastronomie de Nançay

Le site de radioastronomie est localisé à 02°12'00 E et 47°23'00 N (d m s).

Les bandes 2655-2690 MHz et 2690-2700 MHz sont deux bandes mesurées uniquement en France par le site de radioastronomie de Nançay. Par ailleurs le radiotélescope de Nançay est relativement unique en

son genre puisqu'il fait partie à la fois des sept structures mondiales de classe 100 m tout en ne présentant pas de configuration parabolique.

Sa configuration particulière à base de deux miroirs, face à face, distants de plus de 100 m (l'un fixe et l'autre mobile) lui confère des lobes latéraux et arrière particuliers et relativement difficiles à caractériser. Le diagramme de rayonnement d'un radiotélescope est conventionnellement décrit comme une antenne omnidirectionnelle de 0 dBi (comme la Rec. ITU-R RA. 769-2 le préconise dans certains cas). La hauteur de l'antenne est estimée à 21 m. C'est cette hypothèse qui sera prise dans la présente étude.

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.

4.5.2 Caractéristiques des bandes passives mesurées

Les bandes utilisées par la radioastronomie sont des bandes d'observations du continuum. Les conditions réglementaires applicable à chacune d'entre elles n'implique pas les mêmes contraintes.

La bande 2690–2700 MHz est protégée de toute émission par le **No. 5.340** du **RR**. Cet article mentionne précisément que « toute émission est prohibée dans cette bande ».

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).

4.5.3 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.

Tableau 11 Caractéristiques des récepteurs de radioastronomie

Fréquence Centrale (MHz)	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))
1665	10	12	10	0.16	-267	-207	-181
2673	35	12	10	0.083	-269	-204	-174
2695	10	12	10	0.16	-267	-207	-177
4995	10	12	10	0.16	-267	-207	-171

Note sur le tableau : la ligne grisée correspond aux valeurs de seuil de brouillage extrapolées des données dans la bande 1660-5000 MHz. Les seuils sont définis pour une station de réception omnidirectionnelle de 0dBi de gain. Les valeurs calculées le sont sur la base des équations 1 à 5 de la **Rec. ITU-R RA 769-2**.

Comme indiqué dans le rapport CCE « Coexistence en bande adjacente et en co-canal entre les stations LTE opérant dans la bande 2500-2690 MHz et les stations du site de radioastronomie de Nançay dans les bandes 2655-2690 MHz et 2690-2700 MHz », la température réelle mesurée du système de réception de Nançay peut être prise égale à 35 K. C'est sur cette base que les niveaux de protection suivants sont calculés :

- Dans la bande 2655-2690 MHz ($\Delta T=0.13$), le seuil de sensibilité (ΔP) est de -207dBW/MHz. La puissance reçue (voir équation ci-dessous) est donc de -202 dBW/35MHz, soit -187 dBm/MHz.
- Dans la bande 2690-2700 MHz ($\Delta T=0.25$), le seuil de sensibilité (ΔP) est de -205dBW/MHz. La puissance reçue (voir équation ci-dessous) est donc de -205 dBW/10MHz, soit -185dBm/MHz.

Il est important de noter que les valeurs indiquées ci-dessus sont calculées sur la base de l'équation (4) de la Recommandation **UIT-R RA.769-2** : $P_{reçu} = 0.1\Delta P\Delta f$. Cette puissance reçue sur 10 MHz est ensuite ramenée dans 1 MHz.

4.6 Recherche spatiale (passive)

Le service de recherche spatiale n'a pas été pris en compte car il n'y a pas de tel système opérationnel ni actuellement prévu dans la bande 2690-2700 MHz.

5 Etudes de partage

Les formules utilisées dans les sections suivantes sont explicitées en Annexe 1. La fréquence pour les calculs de propagation est prise égale à 2700 MHz.

5.1 Partage en bande adjacente LVR (brouilleur) vers LTE (victime)

Une analyse détaillée du partage en bande adjacente (LVR vers LTE) est présentée en Annexe 3. Dans cette section sont présentés les hypothèses de départ, le scénario considéré le plus réaliste et les conclusions.

Hypothèses:

- Les paramètres des terminaux LTE sont indiqués dans le Tableau 9. On considère un terminal LTE qui utilise un canal de 10 MHz entre 2680 et 2690 MHz en downlink. Comme indiqué dans le Tableau 9, concernant le critère de protection du terminal LTE, il faut assurer à la fois :
 - Un $I/N = -6$ dB, à respecter pas les émissions hors bande du LVR qui tombent dans la bande utile du récepteur du terminal LTE (donc 2680-2690 MHz)
 - Eviter le blocage du récepteur. Le blocage est calculé en prenant en compte l'ACS du terminal, l'effet du filtre duplexeur et ensuite un I/N cible égale à -6dB (voir Annexe 3 pour une démonstration complète).
- Concernant l'effet de blocage du terminal LTE par la LVR, on prend en compte la protection additionnelle par rapport à la valeur minimale spécifiée dans la norme ETSI (tous les détails en Annexe 3)
- Les paramètres des LVR sont ceux du Tableau 1
- Le modèle de propagation entre LVR et LTE UE est d'espace libre, ce qui correspond évidemment à un pire cas. En outre, un fading lognormal avec $\sigma = 7$ dB est pris en compte.

Scénario:

Le scénario pour la simulation est le suivant :

- L'émetteur LVR est placé à une distance variable du terminal LTE
- La perte de propagation, consistant en sa composante déterministe (espace libre) et sa composante aléatoire (slow fading) est tirée aléatoirement. Ce cycle est répété un nombre de fois suffisant pour assurer une fiabilité statistique.
- La probabilité de blocage est calculée en fonction des paramètres LTE et LVR, ainsi que de l'écart fréquentiel
- Le pointage des antennes LVR n'a pas d'impact dans le cas de LVR de classe A, leurs antennes étant omnidirectionnelles. Pour le LVR de classe B, à chaque tirage, l'hypothèse est faite que le pointage de l'antenne présente une distribution uniforme entre 0 et 360° en azimut. La séparation angulaire dans le plan vertical est négligée. Le diagramme d'antenne est décrit par la Recommandation **ITU-R. F. 1245** (Figure 57 en Annexe 3).
- Les résultats sont présentés en termes de probabilité que le blocage se produise en fonction de la distance pour différents écarts fréquentiels.

Résultats

- Les figures 4, 5, 6 et 7 montrent les résultats des analyses. Dans les figures la fréquence indiquée correspond au bord inférieur du canal LVR.
- Effets des émissions hors bande des LVR dans la bande utile des terminaux LTE : un critère de protection des terminaux LTE correspondant à $I/N = -6\text{dB}$ implique, si les émissions hors bande des LVR (classe A, B ou C) sont à la limite de la norme, une distance de séparation de 2-5 mètres pour un écart fréquentiel de 10 MHz (LVR qui émet dans la bande 2700-2710 MHz).
- Effet de blocage des LVR sur les terminaux LTE : en considérant la protection additionnelle garantie par le filtre duplexeur du terminal LTE, la probabilité que le blocage se produise, en fonction de la distance, est indiquée dans les figures suivantes. Les sous-classes A1, A2, A3 et B sont considérées séparément. Les figures suivantes montrent les résultats pour les différentes classes de LVR (A1, A2, A3 et B). Les figures montrent que si les terminaux de classe A1, A2 et A3 sont opérés à la puissance typique leur classe, l'utilisation du canal 2700-2710 MHz engendre une probabilité de blocage négligeable pour une distance de séparation de quelques mètres. Pour un LVR de classe B, une probabilité de blocage négligeable est atteinte soit avec une distance de séparation de 20 m soit avec une utilisation à partir du canal 2720-2730 MHz.

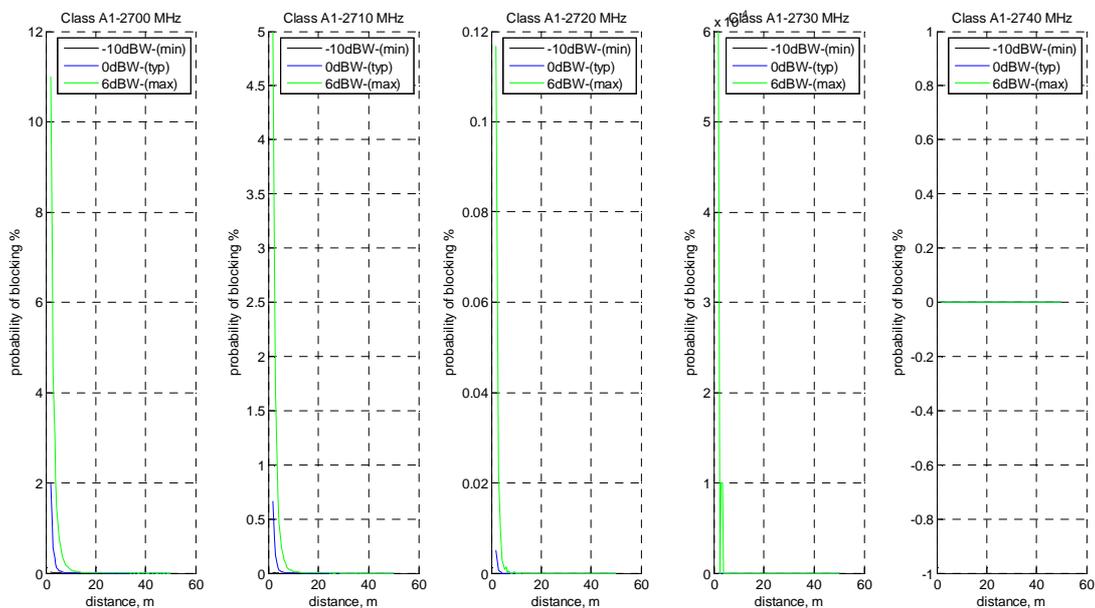


Figure 4. Classe A1, Scenario 3, blocking

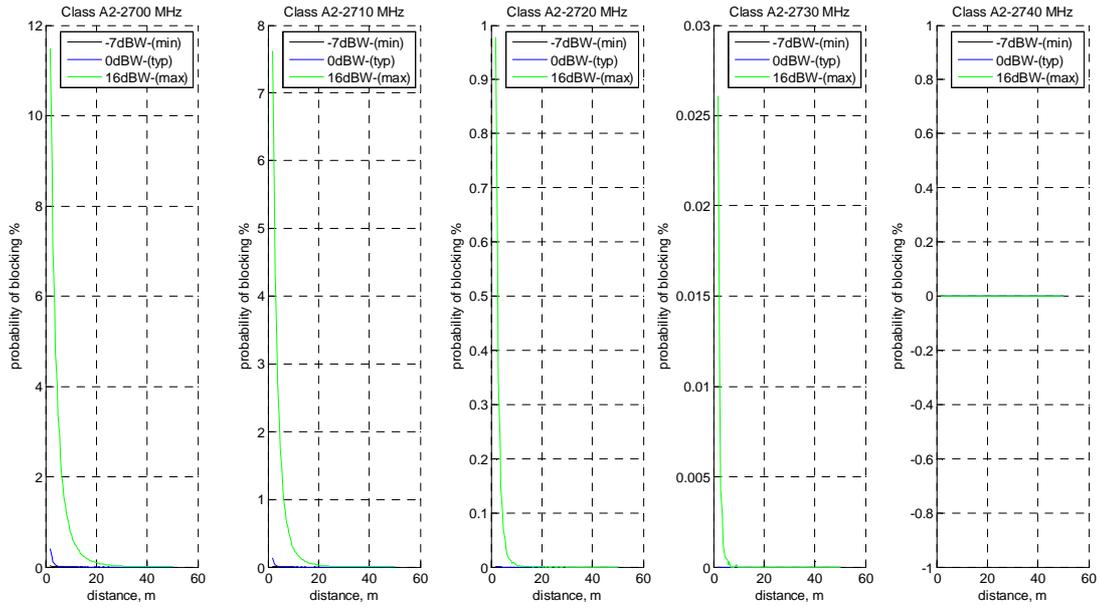


Figure 5 Class A2, Scenario 3, blocking

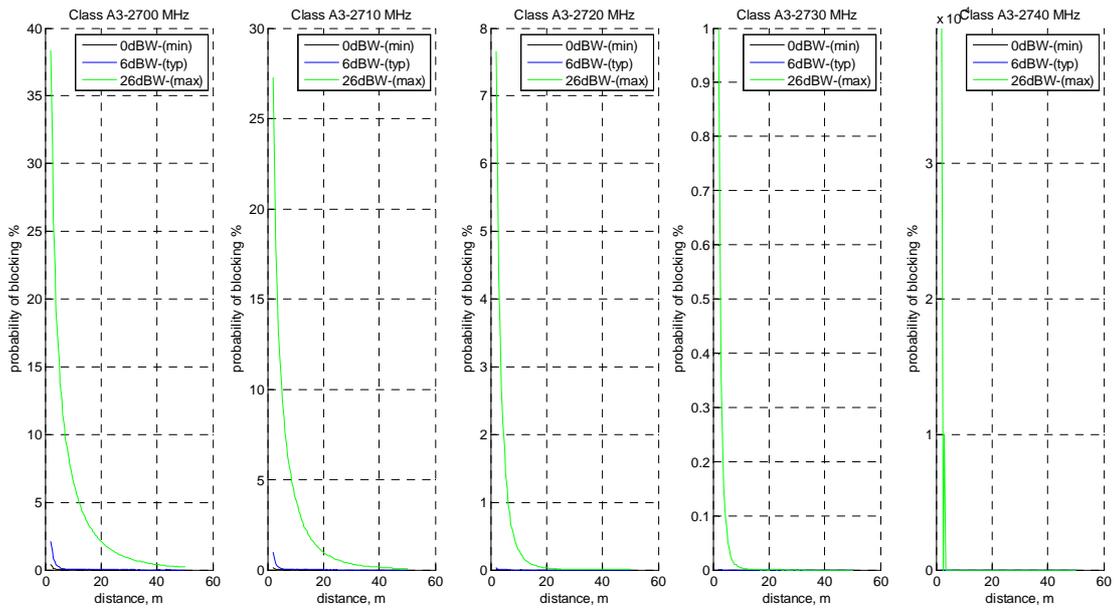


Figure 6. Classe A3, Scenario 3, blocking

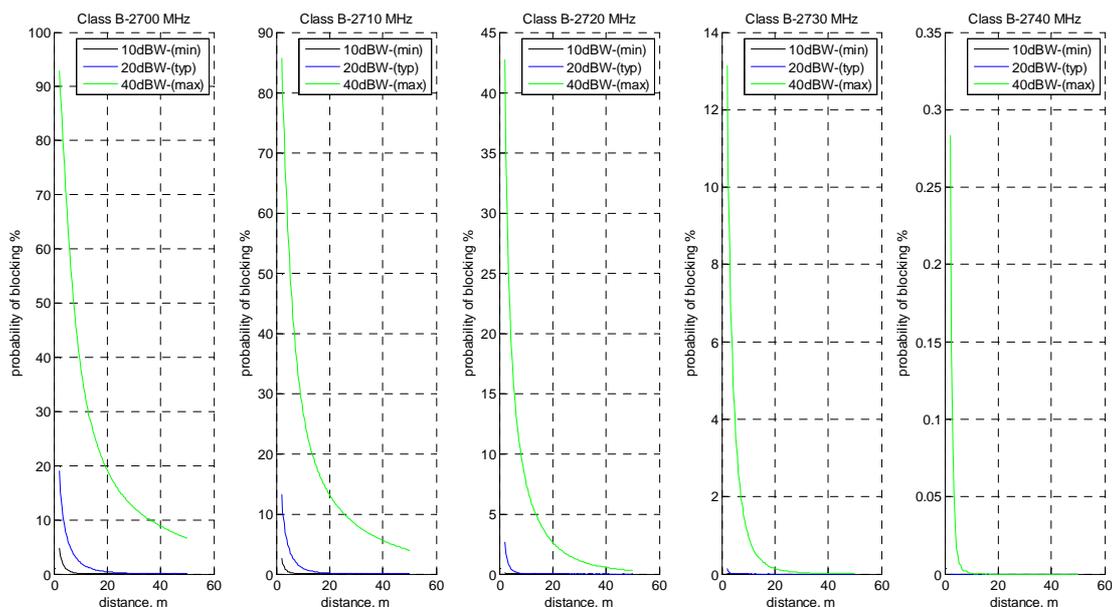


Figure 7. Classe B, Scenario 3, blocking

5.2 Partage en bande adjacente LTE (brouilleur) vers LVR (victime)

Une analyse détaillée du partage en bande adjacente, LTE vs LVR est présentée en Annexe 4. Dans cette section sont uniquement présentés les hypothèses de départ, le scénario considéré le plus réaliste et les conclusions.

Hypothèses

- Les paramètres et les critères de protection des LVR sont représentés dans le paragraphe 2.2
- Les paramètres de la station radio base LTE sont décrits dans le paragraphe 4.3.

Scenario

- Simulation aléatoire de la position du terminal LVR dans le secteur de la station de base LTE
- Diagramme d'antenne réel de la station radio base LTE
- Calcul de la probabilité d'interférence en considérant les effets des émissions hors bande de la station de base et de son effet de blocage sur le récepteur de la LVR.

Tableau 12

Parametres	Valeur	Remarques
PIRE BS	61 dBm/5MHz	<i>Pire cas</i>
Valeur de blocage	55 dB	<i>Valeur réelle</i>
Modèle de propagation	Espace libre	<i>Pire cas</i>
Pointage antenne	Antenne LVR classe A omnidirectionnelle. Antenne LVR classe B dépointée de 45° par rapport à la BS LTE	<i>Contrainte opérationnelle sur le choix du site LVR</i>

Conclusions

Les résultats sont les suivants :

- Effet de l'émission hors bande de la station de base LTE dans la bande utile du récepteur LVR : la probabilité d'interférence est négligeable (voir analyse détaillée en Annexe 4).
- Effet de blocage du récepteur LVR par la station radio base LTE : la probabilité de blocage est négligeable pour les terminaux de classe A et elle devient négligeable pour la classe B si un dépointage de l'antenne LVR par rapport à la station de base LTE est garanti (voir figure 8).

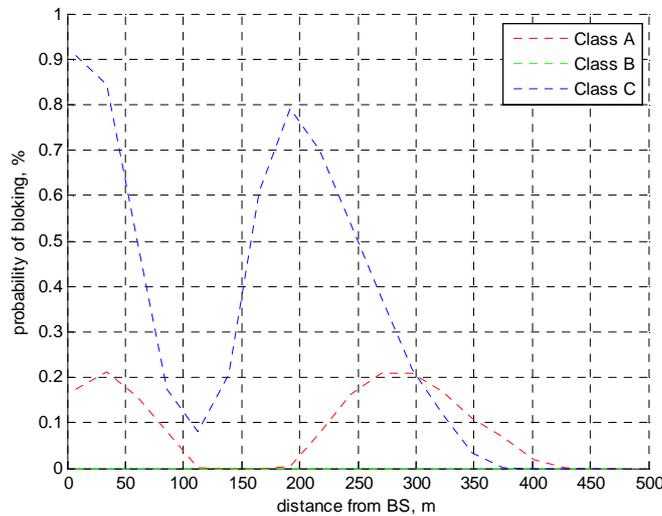


Figure 8. Probabilité de blocage (scenario en Tableau 11)

L'évolution des courbes de la Figure 8 est liée à la directivité des antennes des stations de base du LTE.

5.3 Partage LVR vs radars

5.3.1 Partage LVR (brouilleur) vs radar (victime), cas co-canal

Dans le cas co-canal, les distances de séparation entre radar et LVR sont déterminées par la distance de l'horizon radio, donnée, dans le cas d'un terrain plat, par la formule :

$$H_e [km] = 4.12 \cdot (\sqrt{h_{PMSE}} + \sqrt{h_{Radar}})$$

A noter qu'en principe le radar peut être perturbé au-delà de l'horizon radioélectrique.

Le rôle du relief est cependant important. Dans le cas où les LVR seraient autorisées à opérer dans la bande radar, des études précises pour chaque site radar pourront être facilement menées pour déterminer la zone d'exclusion autour de chaque radar prenant en considération le profil du terrain.

Dans ce cas les hypothèses suivantes peuvent être utilisées pour le calcul de la zone d'exclusion :

- Critère de protection des radars défini au paragraphe 4.2.
- Le modèle de propagation pourra être un modèle géométrique basé, par exemple, sur la combinaison de la Recommandation ITU-R P. 525 (perte de propagation espace libre) et la Recommandation ITU-R P. 526 (perte de propagation par diffraction), plus une perte de supplémentaire due à la présence du sursol (un exemple peut être trouvé dans la Recommandation ITU-R P.452 et avec la Figure 40). Le calcul sera effectué en utilisant un modèle numérique du terrain.

5.3.2 Partage LVR (brouilleur) vs radar (victime), canal adjacent

Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Les paramètres des LVR sont décrits au paragraphe 2.2
- Les paramètres des radars sont ceux décrits dans le paragraphe 4.1 et 4.2. En particulier, concernant les critères de protection des radars, trois effets ont été considérés:
 - Émissions hors bande des LVR dans la bande utile de réception des radars. L'effet des émissions hors bande dépend évidemment de leur intensité et par conséquent de l'écart fréquentiel entre le canal LVR utilisé et la réception du radar.
 - Blocage du récepteur des radars. Le blocage s'exprime en terme de valeur maximale du signal interférant qui cause la saturation du *front end* du radar
 - Interférence hors bande qui, à cause d'une sélectivité non infinie du récepteur, cause une dégradation préjudiciable du C/I. La valeur de sélectivité adoptée pour les études est de 60 dB (valeur fixe), ce qui revient à faire l'hypothèse que le canal LVR utilisé se trouve toujours hors de la bande passante du récepteur radar et à un écart fréquentiel suffisant pour assurer qu'un filtrage de 60 dB soit atteint par le filtre du radar.

Le scénario de partage suivant a été retenu :

- On suppose que l'antenne du radar pointe vers le LVR. Cet évènement peut se produire régulièrement quand le radar exécute son balayage. En réalité, pour les LVR de classe A et B, il est raisonnable de penser qu'ils seront vus par le radar avec une élévation égale à zéro (sur terrain plat) et qu'en général (sauf pour les radars météo et les radars situés sur des point hauts qui peuvent avoir des angles de site négatifs) l'antenne radar conserve toujours une élévation minimale de quelques degrés au-dessus du plan horizontal. Néanmoins, une analyse des diagrammes d'antenne des radars indique que ce dépointage ne garantit que 3dB maximum de protection et cet effet n'est donc pas considéré dans l'analyse.
- Le LVR pointe également vers le radar. Pour les classe A et C, l'antenne étant omnidirectionnelle c'est le cas réel ; pour un LVR de classe B, qui a une antenne directionnelle, cela correspond à un pire cas.
- On fait varier la P.I.R.E. du LVR et, en appliquant le modèle de propagation (voir Tableau 13) et les trois critères de protection, on en déduit la distance de séparation (fonction de la puissance) nécessaire pour assurer la protection du radar.

Tableau 13. Scenarios de partage LVR vs RADARS et canal adjacent

Paramètre	Choix	
Modèle de propagation	Classe A	Extented -Hata
	Classe B	Extented -Hata
	Classe C	Espace Libre
Pointage antennes	« <i>beam to beam</i> »	

Concernant l'utilisation du modèle extended-Hata, ce modèle est utilisé en dehors de ses limites originelles d'hauteur d'antenne et de fréquence. Le Rapport ECC 174 analyse la question de l'utilisation de ce modèle de propagation et conclut qu'un modèle plus adapté que l'Espace Libre devrait être utilisé, comme le modèle extended-Hata

Les résultats sont présentés dans les paragraphes suivants.

5.3.2.1 LVR de classe A

5.3.2.1.1 LVR classe A vs radar maritimes de défense

Les figures 9, 10 et 11 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe A, en fonction de sa puissance, et un radar maritime défense, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

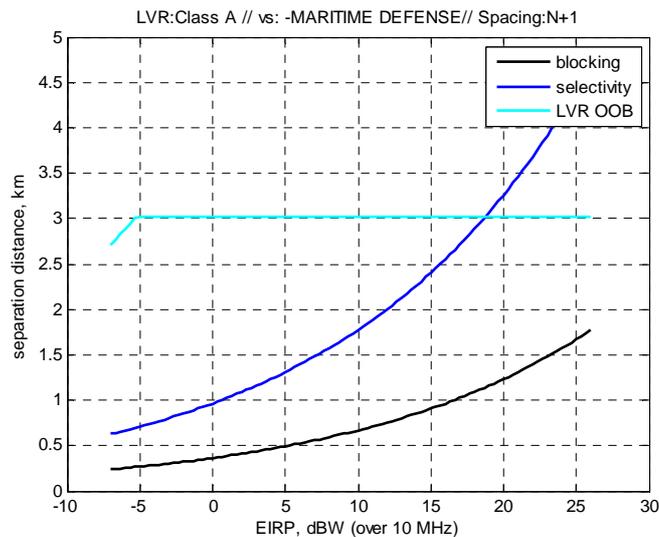


Figure 9

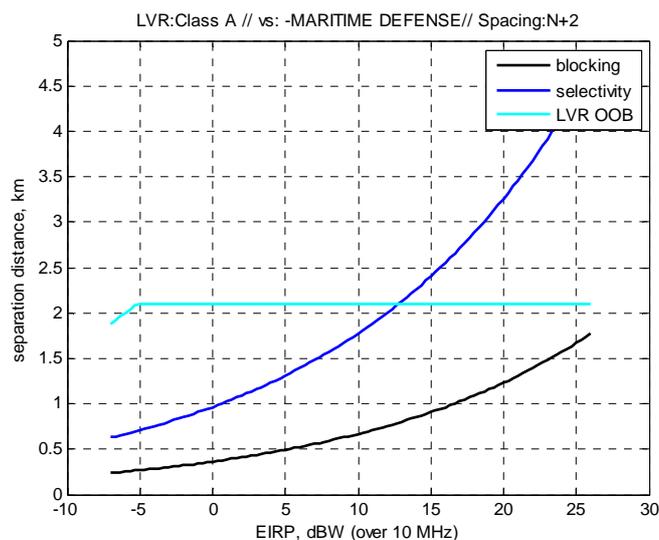


Figure 10

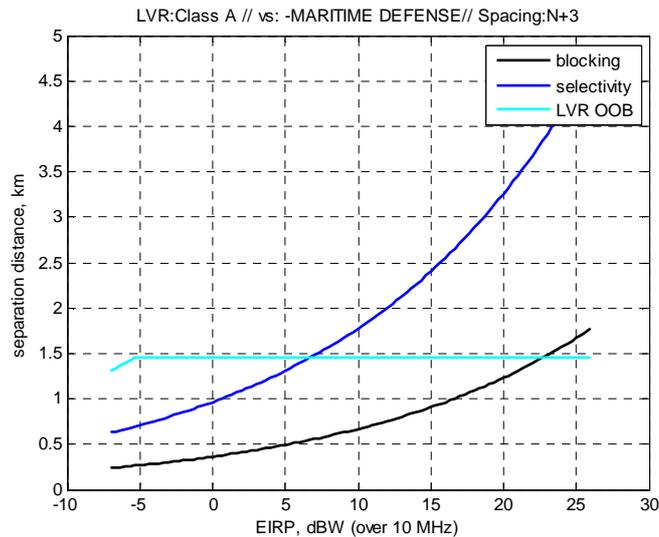


Figure 11

5.3.2.1.2 LVR classe A vs radar ATC

Les figures 12, 13 et 14 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe A, en fonction de sa puissance, et un radar ATC, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

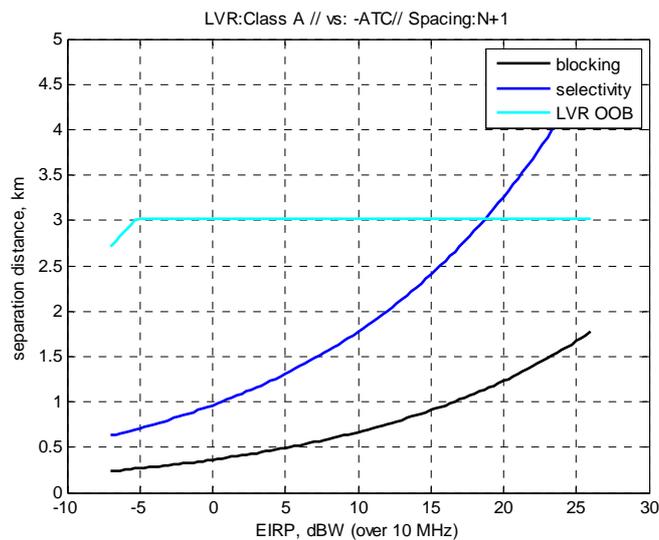


Figure 12

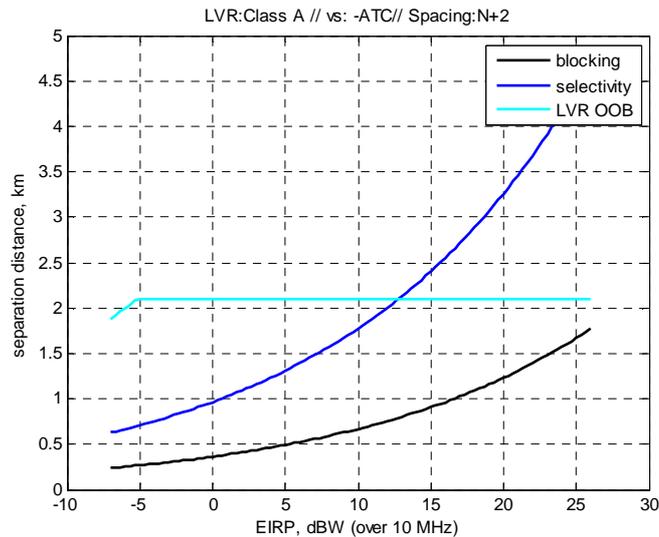


Figure 13

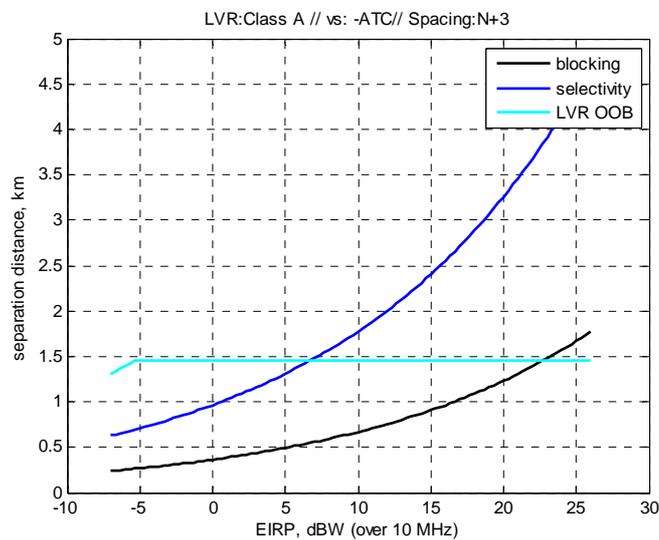


Figure 14

5.3.2.1.3 LVR classe A vs radar météo

Les figures 15, 16 et 17 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe A, en fonction de sa puissance, et un radar Météo, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

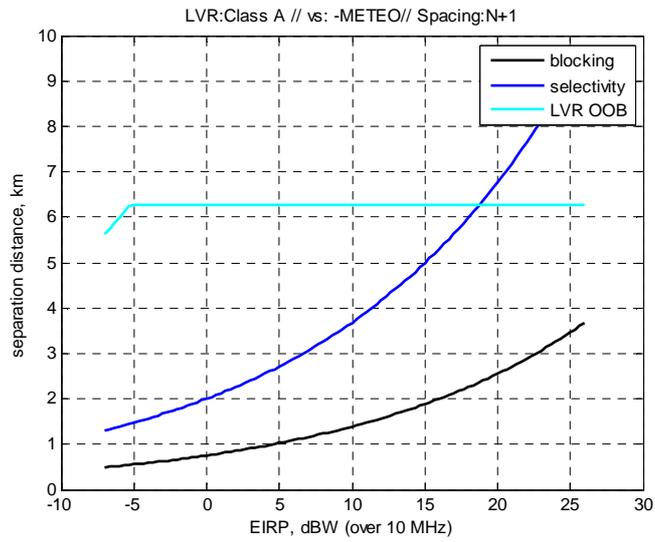


Figure 15

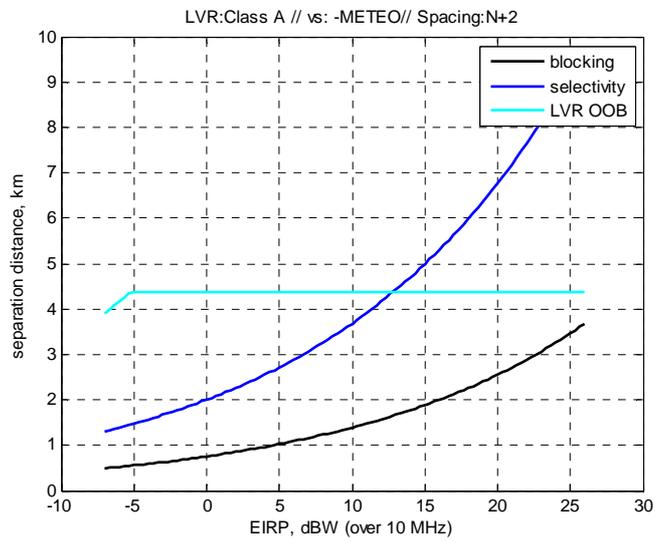


Figure 16

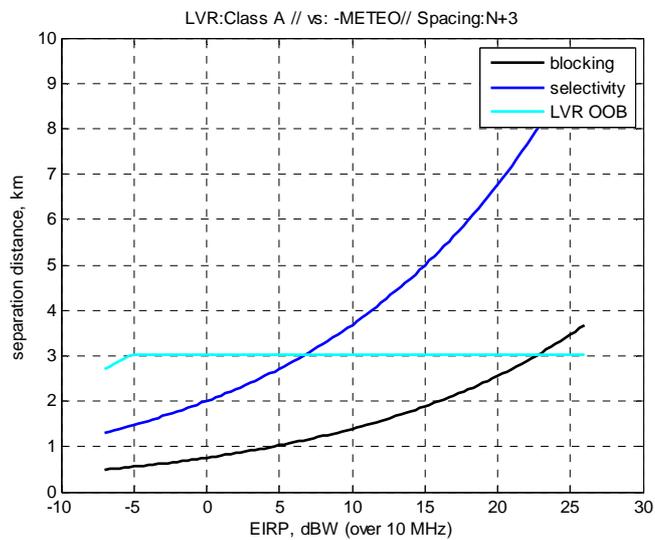


Figure 17

5.3.2.2 LVR de classe B

5.3.2.2.1 LVR classe B vs radar maritimes défense

Les figures 18, 19 et 20 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe B, en fonction de sa puissance, et un radar maritime défense, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

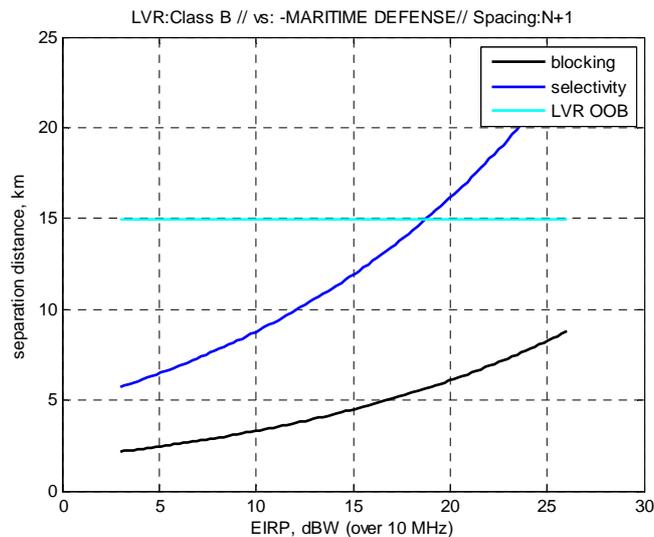


Figure 18

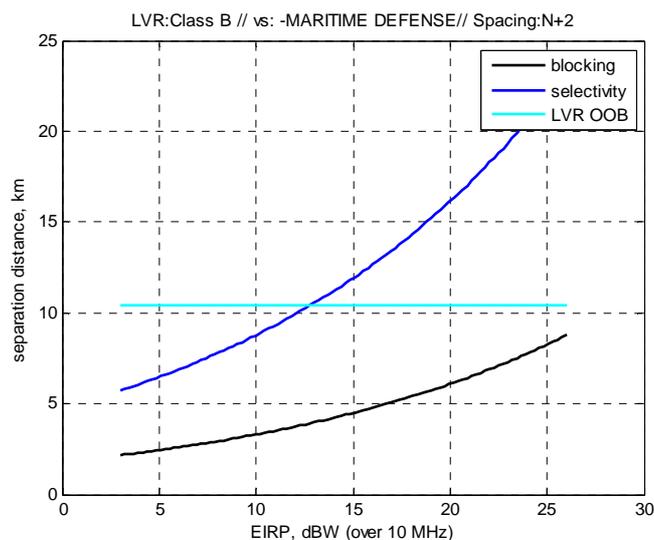


Figure 19

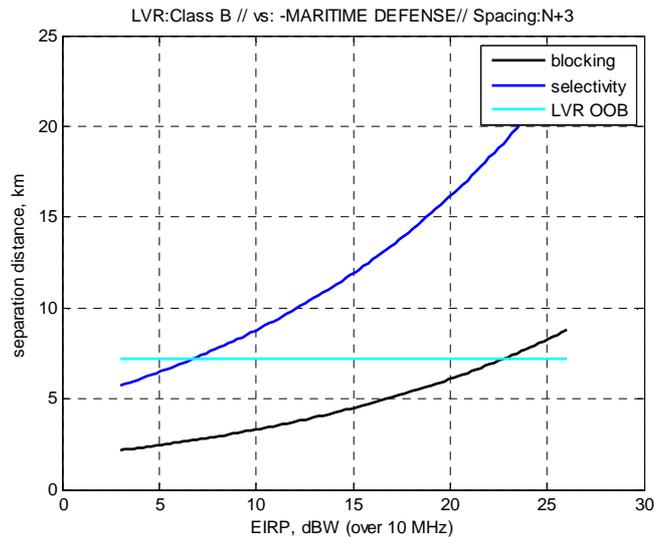


Figure 20

5.3.2.2.2 LVR classe B vs radar ATC

Les figures 21, 22 et 23 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe B, en fonction de sa puissance, et un radar ATC, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

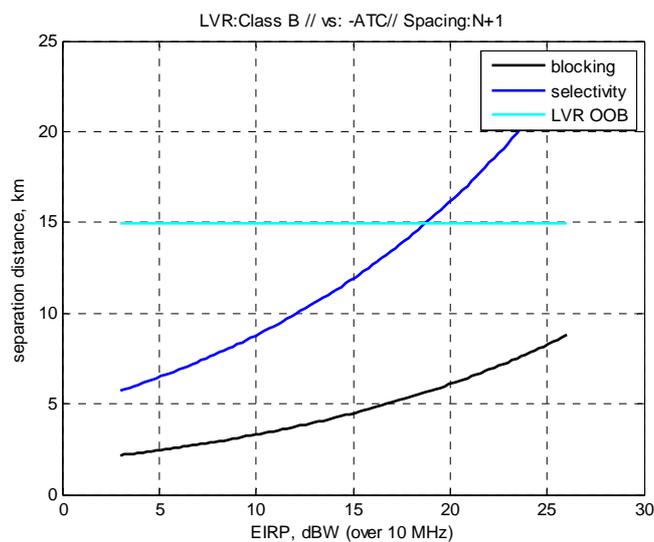


Figure 21

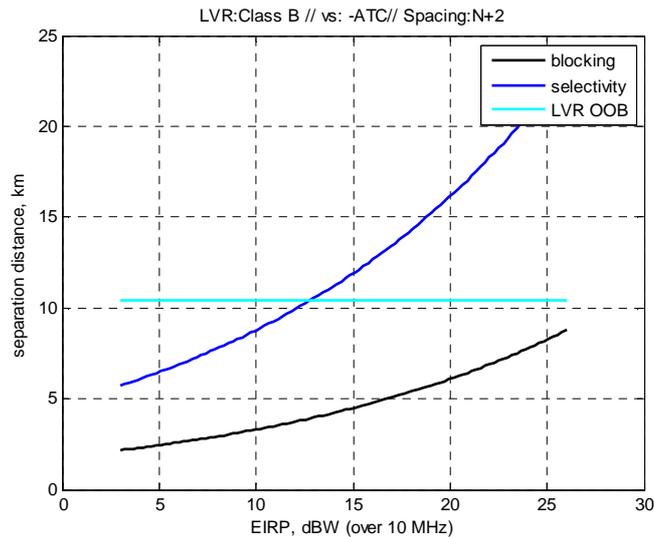


Figure 22

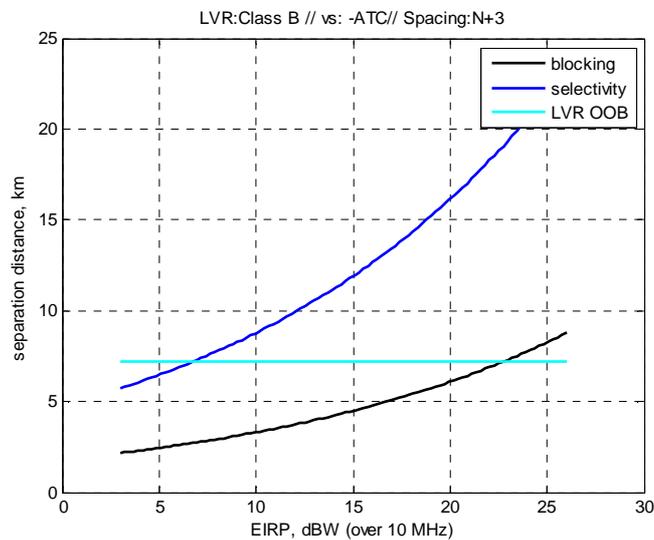


Figure 23

5.3.2.2.3 LVR classe B vs radar météo

Les figures 24, 25 et 26 suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe B, en fonction de sa puissance, et un radar Météo, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 du LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

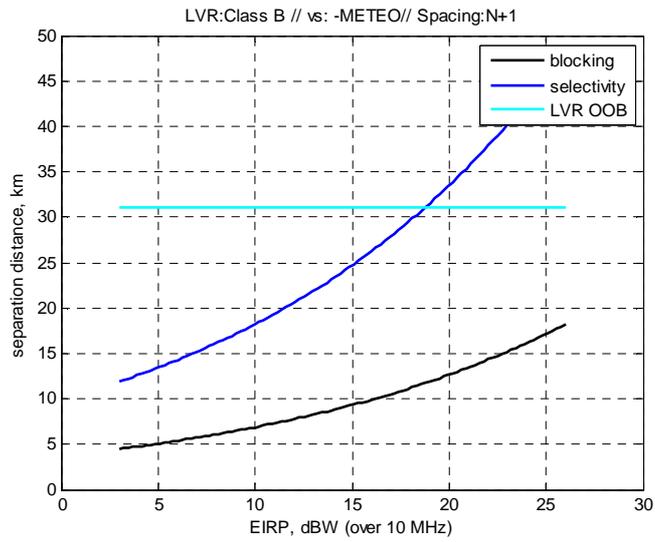


Figure 24

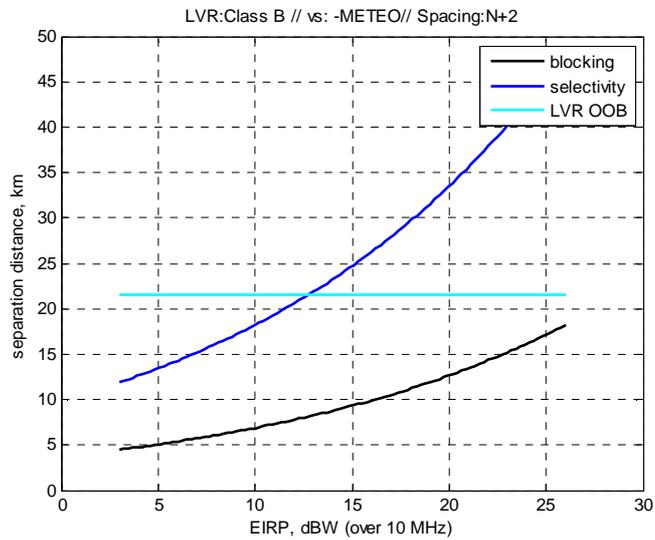


Figure 25

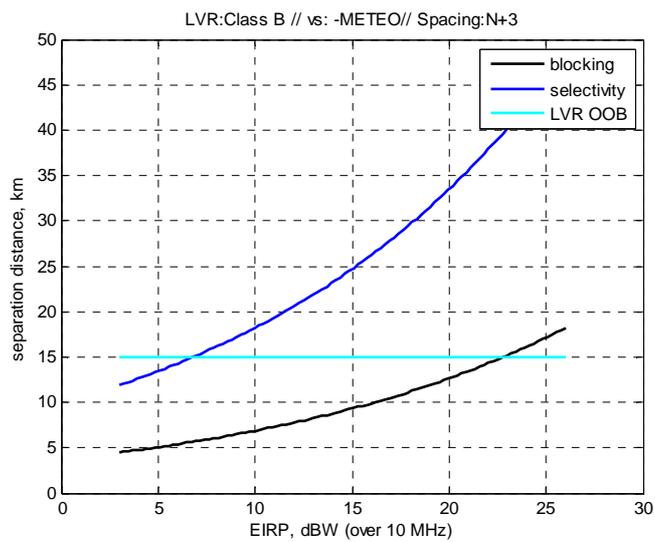


Figure 26

5.3.2.3 LVR de classe C

Pour un LVR de classe C (aéroporté) la propagation entre les radars et le LVR est en principe en visibilité directe (espace libre). Les distances de séparation deviennent donc importantes. La figure suivante montre, à titre illustratif, les distances de protection d'un radar météo, pour un LVR de classe C. La courbe bleu foncé fait référence à la sélectivité du récepteur radar (sélectivité égale à 60 dB), la courbe azur fait référence aux émissions hors bande de la LVR (dans ce cas N+1) et la courbe noire fait référence au blocking. Pour chaque valeur de P.I.R.E de la LVR, la distance de séparation correspond à la valeur maximale de trois courbes. L'intégralité de l'analyse relative au LVR de classe C est donnée en Annexe 5.

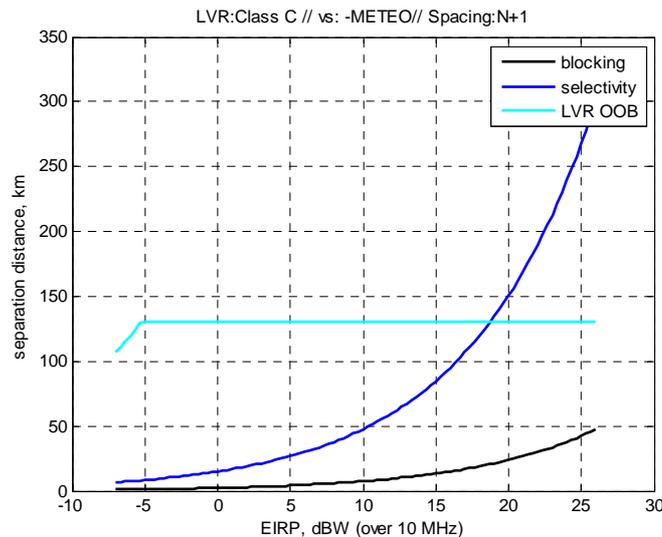


Figure 27

5.4 Partage radars (brouilleurs) vs LVR (victimes)

5.4.1 Co-canal

Dans le cas co-canal, les distances de séparation entre radar et LVR sont déterminées par la distance de l'horizon radio), donnée, dans le cas d'un terrain plat, par la formule :

$$H_e [km] = 4.12 \cdot (\sqrt{h_{PMSE}} + \sqrt{h_{Radar}})$$

Le rôle du relief est cependant important. Dans le cas où les LVR seraient autorisées à opérer dans la bande radar, des études précises pour chaque site radar pourront être facilement menées pour déterminer la zone d'exclusion autour de chaque radar prenant en considération le profil du terrain. Dans ce cas les hypothèses suivantes peuvent être utilisées pour le calcul de la zone d'exclusion :

- Critère de protection des LVR défini au paragraphe 2.3.
- Le modèle de propagation pourra être un modèle géométrique basé, par exemple, sur la combinaison de la Recommandation **ITU-R P. 525** (perte de propagation espace libre) et la Recommandation **ITU-R P. 526** (perte par diffraction), plus une perte de supplémentaire due à la présence du sursol (un exemple peut être trouvé dans la Recommandation **ITU-R P.452**, notamment la Figure 40).

5.4.2 Canal adjacent

Concernant les émissions hors bande des radars, l'analyse a été menée en utilisant la Rec. **ITU-R SM 1541-5**.

Pour tous les radars, sauf les radars météorologiques, les émissions hors bande ont été considérées avec une perte de 30 dB/décade (voir figure 26). La valeur de 30 dB/décade est un compromis intermédiaire entre la valeur 20 dB/décade (la norme minimale) et la valeur 40 dB/décade (objectif de projet).

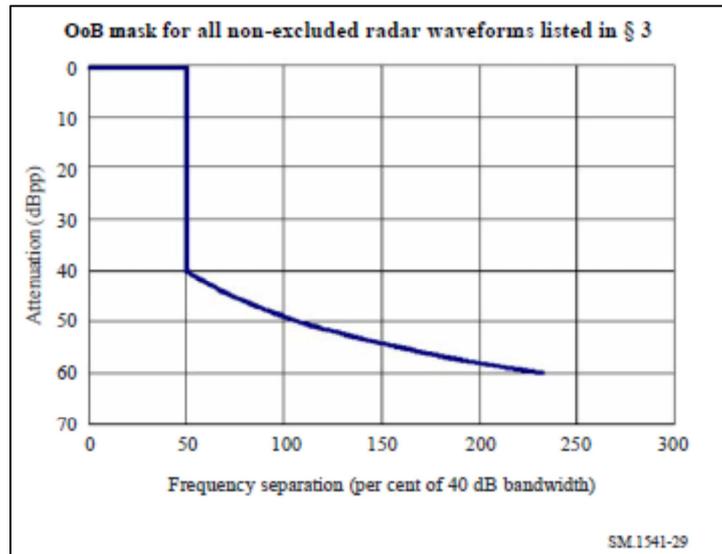


Figure 28. Masque d'émission des radars (sauf météo)

Pour les radars météorologiques, le Rapport ECC 174 stipule qu'ils atteignent l'objectif en question et en conséquence, le masque à 40 dB/décade a été retenu (figure 30) :

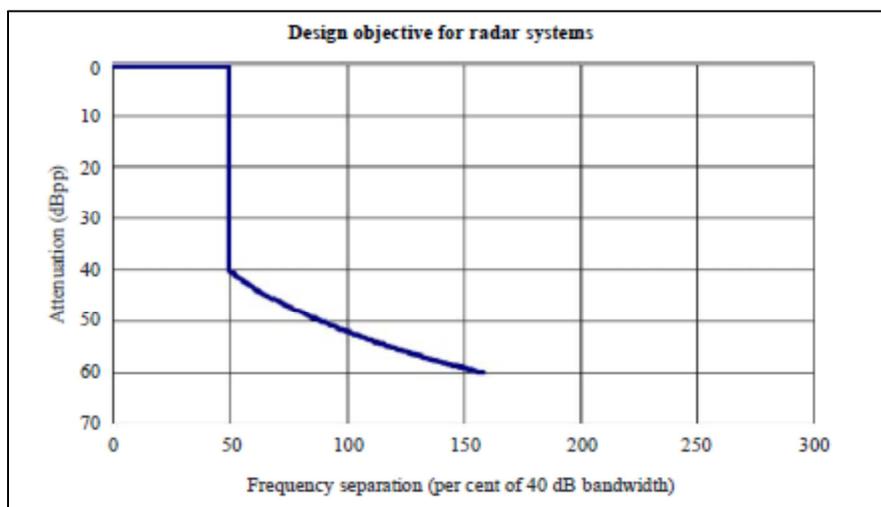


Figure 29 Masque d'émission des radar météo

Les critères de protection des LVR sont les mêmes que ceux décrits dans le paragraphe 5.1.3. Par rapport aux scénarios de partage, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Pas de discrimination d'antenne en azimut pour les radars (du fait de la rotation des radars).

- Pas de discrimination d'antenne de la LVR (donc, dans le cas des liaisons portables, il s'agit d'un pire cas)

La méthodologie de simulation est la suivante:

- La puissance utile reçue par le récepteur LVR est déterminée par un tirage aléatoire, répété un nombre de fois suffisant pour atteindre une fiabilité statistique du tirage. La distribution de probabilité de la puissance reçue utile est décrite au paragraphe 5.2
- La distance entre le radar et la LVR varie de 0 km à 60 km
- Calcul de la puissance de brouillage en fonction de la distance entre le radar et la LVR
- Détermination du pourcentage de cas où la puissance de brouillage dépasse le critère de protection (voir ci-dessous).
- Critère de C/I :

La figure suivante montre le pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction de la distance de séparation entre radar type « Maritime » et les LVR de classes A, B et C.

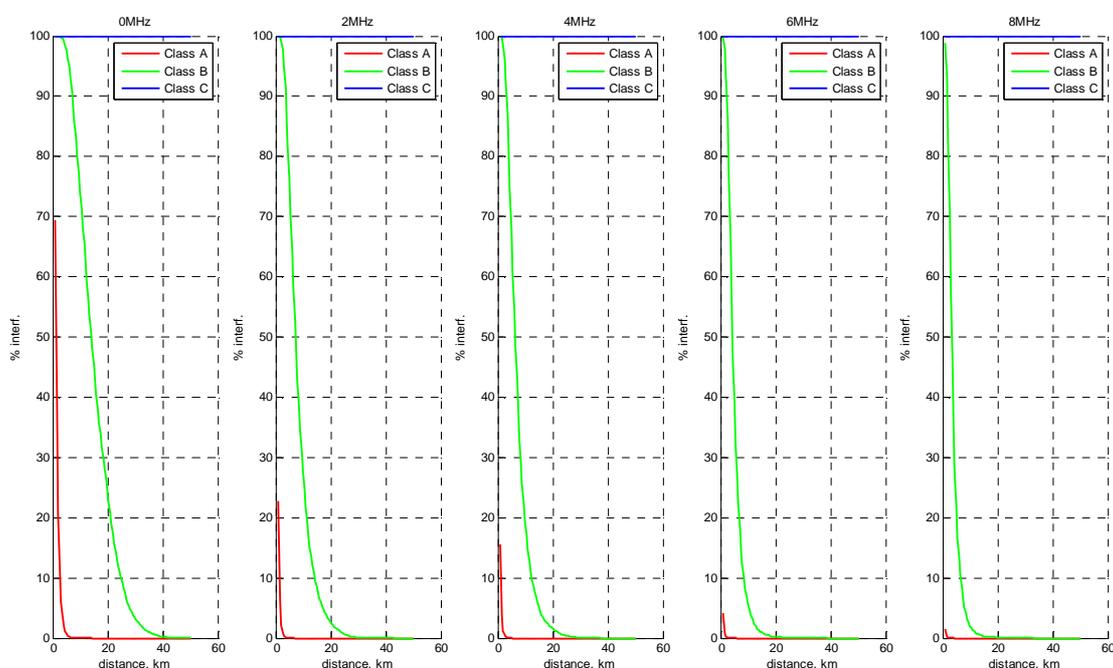


Figure 30. Pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction des distances de séparation entre radars maritimes et LVR

La figure suivante montre le pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction de la distance de séparation entre radar type « ATC et Terrestre Défense » et les LVR de classes A, B et C :

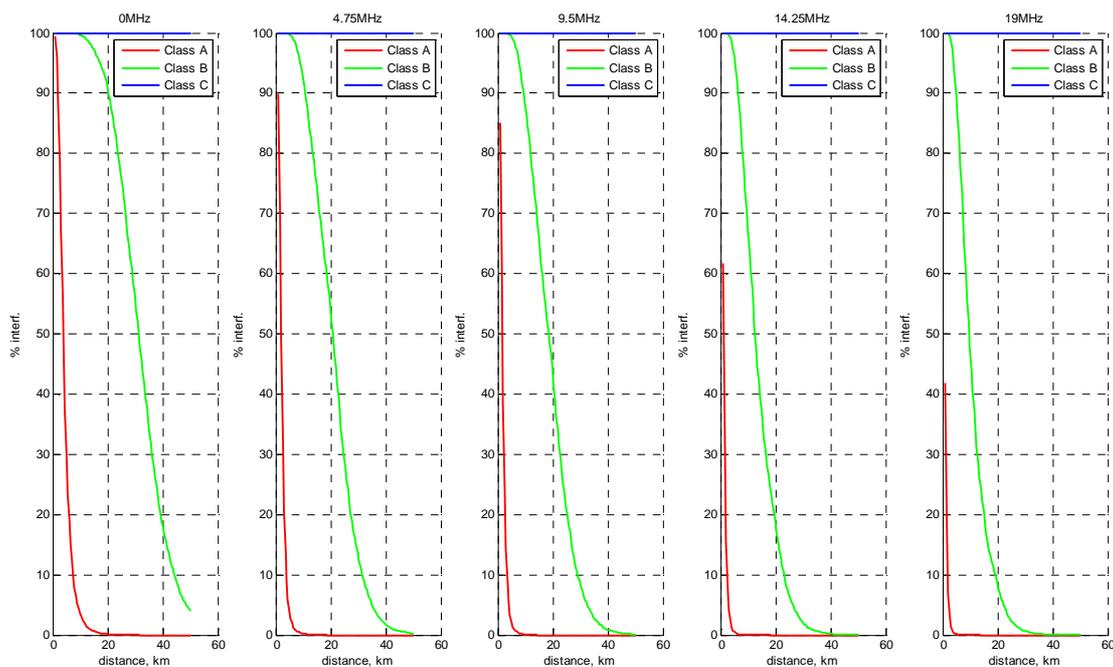


Figure 31. Pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction des distances de séparation entre radars (ATC et terrestres défense) et LVR

La figure suivante montre le pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction de la distance de séparation entre radar type Météo et LVR de classe A, B et C :

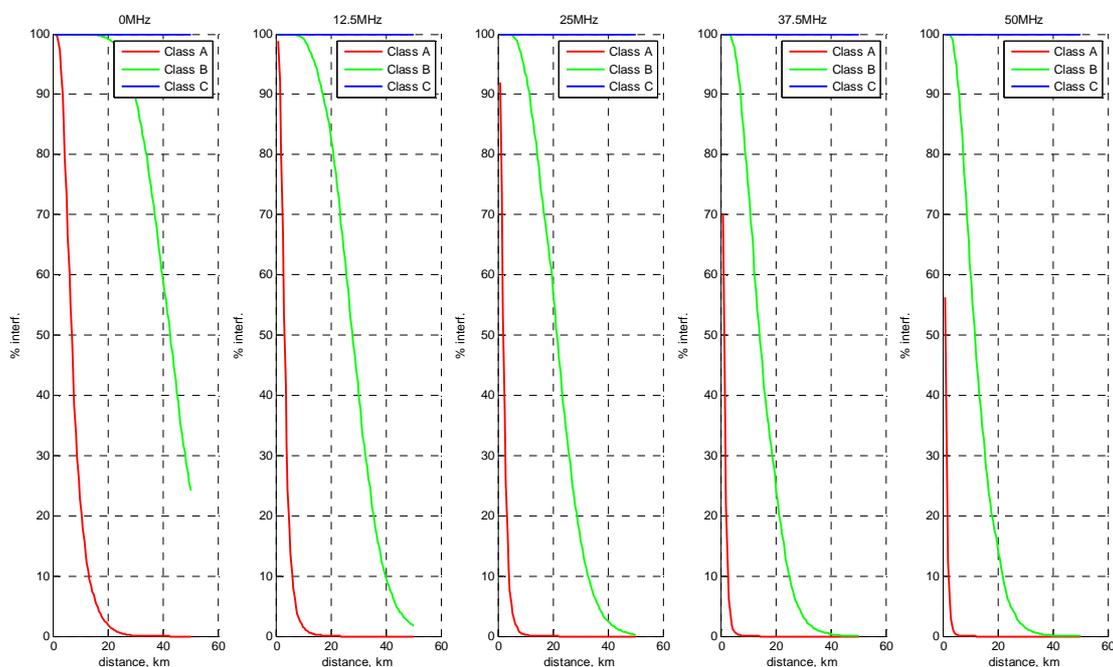


Figure 32. Pourcentage de dépassement du critère de C/I en fonction des distances de séparation entre radars météorologiques et LVR

L'analyse des figures 30, 31 et 32 montre que pour assurer le C/I requis, une distance de séparation de 5 à 30 km est nécessaire. Concernant les LVR de classe B (liaison terrestre portable), il faut noter que

l'analyse fait l'hypothèse que l'antenne du LVR est pointée vers le brouilleur, ce qui est évidemment un pire cas. Une analyse Monte Carlo montrerait une probabilité d'interférence considérablement inférieure.

- Blocking :

La figure suivante représente la probabilité de blocage en fonction de la distance pour une *blocking response* de 44 dB

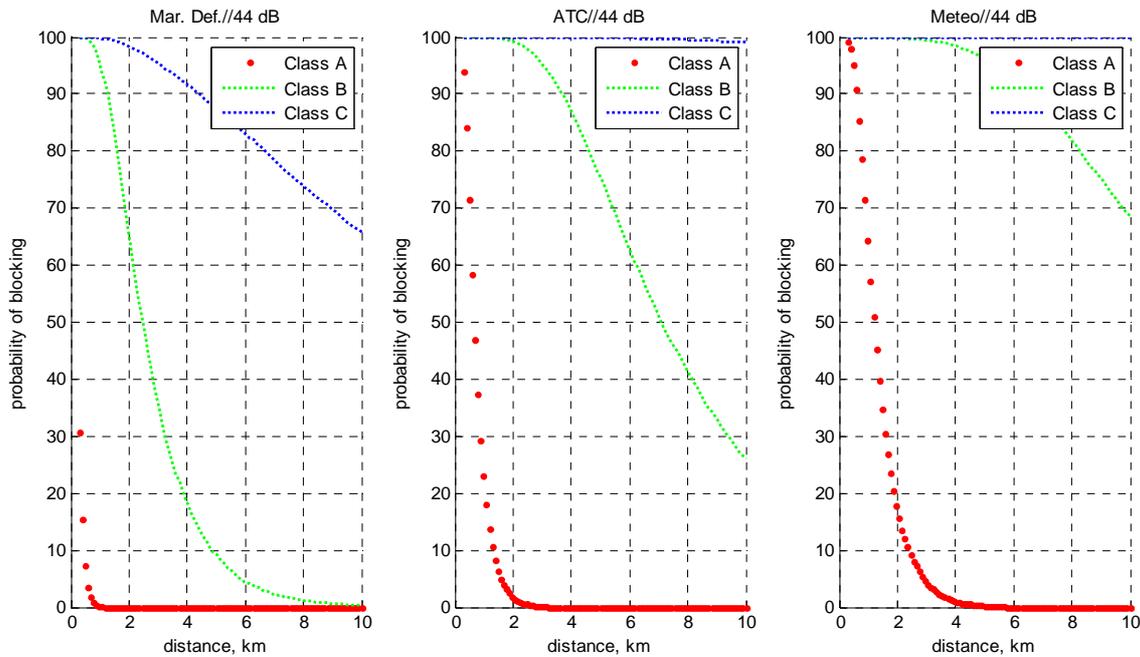


Figure 33. Distances de separation entre radars et LVR, blocking 44 dB.

La figure suivante montre la distance de séparation pour un *blocking response* de 55 dB :

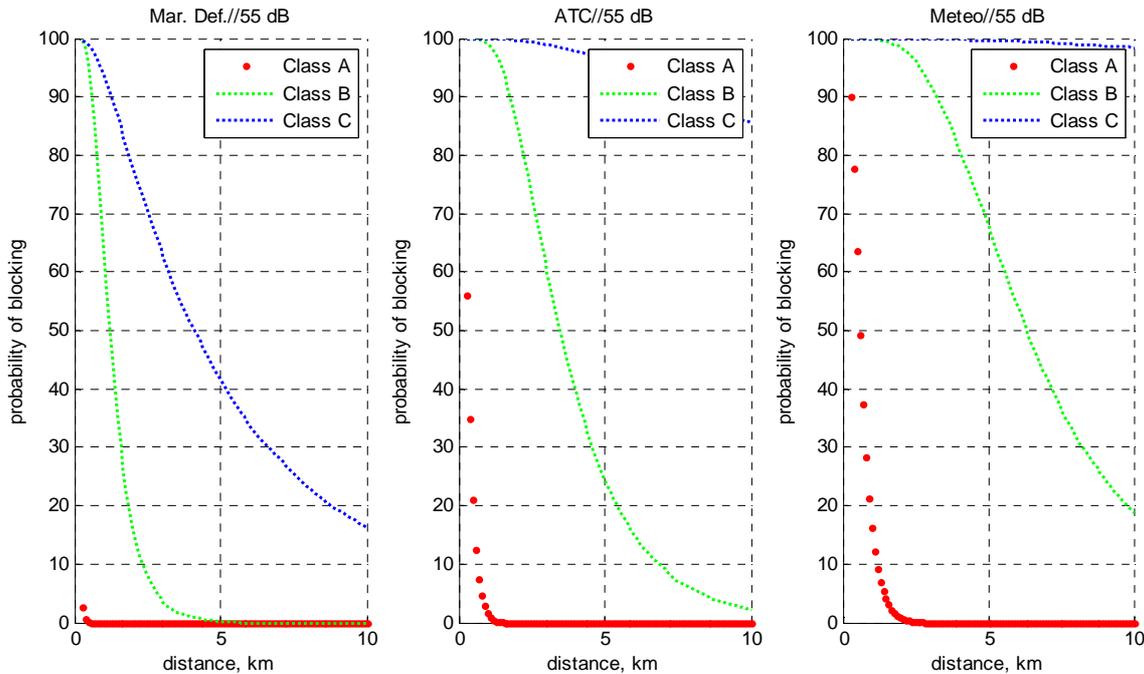


Figure 34. Distance de separation entre radars et LVR, blocking 55dB

Concernant le LVR de classe B (liaison terrestre portable), il faut noter que l'analyse fait l'hypothèse que l'antenne du LVR est pointée vers le brouilleur, ce qui est évidemment un pire cas. Une analyse Monte Carlo montrerait une probabilité d'interférence considérablement inférieure.

5.5 Partage entre LVR et Radioastronomie

5.5.1 Partage en bande adjacente entre LVR et Radioastronomie

Afin d'évaluer au préalable la coexistence entre les LVR et le service de radioastronomie, la distance de séparation théorique entre les deux services a été calculée. Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Une seule LVR (pas de puissance agrégée), avec une PIRE variable.
- Pour les LVR de classe A et B le modèle de propagation est celui de la **Recommandation P.452**, sur terrain plat, pour un pourcentage de temps de 2%. Dans le cas des LVR de classe A la hauteur d'antenne est de 1.5 m sur le sol, pour les LVR de classe B la hauteur est de 10 m.
- Pour les LVR de classe C (LVR en vol) la perte est calculée en espace libre.

Il convient de noter que les simulations sont faites sans tenir compte du sursol dont l'atténuation n'est donc pas prise en compte.

La figure suivante indique, en fonction de la PIRE des LVR, la distance de séparation entre LVR et le site de radioastronomie. Les courbes correspondantes à la norme EN 302 064-1 définissent la distance de coordination entre LVR et radio astronomie.

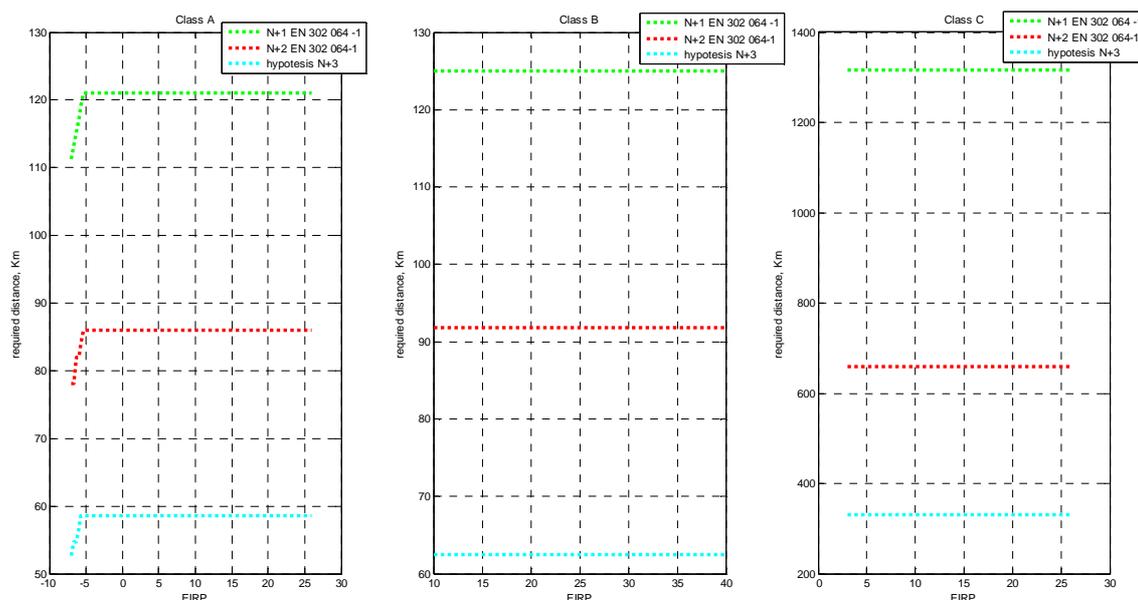


Figure 35 Distances de séparation entre LVR et le site de radioastronomie de Nançay

La distance de séparation maximale, pour un LVR de classe A, est de l'ordre de 120 km s'il opère dans le canal immédiatement adjacent à la bande de radioastronomie, de l'ordre de 85 km dans le cas N+2 et de moins de 60 km dans le cas N+3. Les distances estimatives sont respectivement de 125 km, 90 km et 60 km pour un LVR de classe B. Les distances ne prennent pas en compte l'agrégation de puissance due à l'utilisation de plusieurs LVR.

La zone d'exclusion autour de Nançay a ensuite été déterminée en prenant en compte le relief du terrain, selon la méthodologie suivante :

- Modèle numérique du terrain : données NASA SRTM avec 90 m de résolution
- Modèle de propagation : **ITU-R P.452**, à 2% du temps
- Dans l'application de la Recommandation **ITU-R P.452** on ne prend pas en compte la perte additionnelle due au sursol.
- Pour chaque pixel du terrain, la perte de propagation entre le pixel même et le site de Nançay est calculée.

La figure suivante représente les zones de coordination d'une LVR (classe A) autour du site de Nançay. La LVR de classe A est opérée en extérieur, à une hauteur de 1.5 sur le terrain. Dans la figure les codes suivant sont les suivant :

- code 1 (bleu) : il est possible d'utiliser la LVR en canal N+1
- code 2 (azur): il est possible d'utiliser la LVR en canal N+2
- code 3 (jaune): il est possible d'utiliser la LVR en canal N+3
- code 4 (rouge) : il n'est pas possible d'utiliser la LVR (à moins de garantir des émissions hors bande plus basse que le cas N+3, ce qui n'est pas pris en compte dans cette étude).

Dans la figure les deux cercles ont un rayon respectif de 50 km et 100 km.

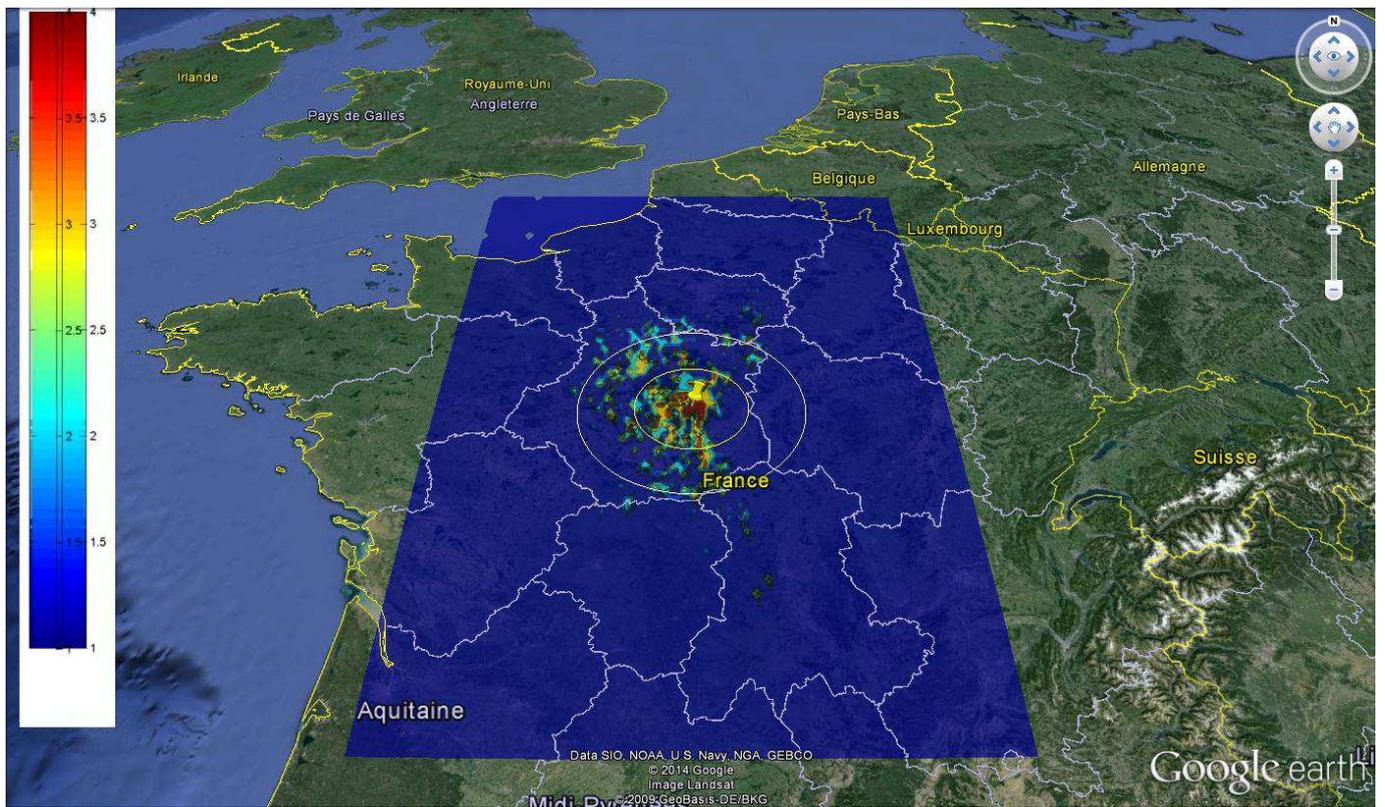


Figure 36 Zone d'exclusion d'un LVR (classe A) autour du site de Nançay

Ces résultats sont cohérents avec les calculs préalablement réalisés.

La figure suivante montre la zone de coordination d'une LVR (classe B) autour du site de Nançay, avec les mêmes codes couleurs que ceux de la figure précédente. La LVR est opérée à une hauteur de 20 m sur le terrain. Le code des couleurs est également le même que celui de la figure précédente.

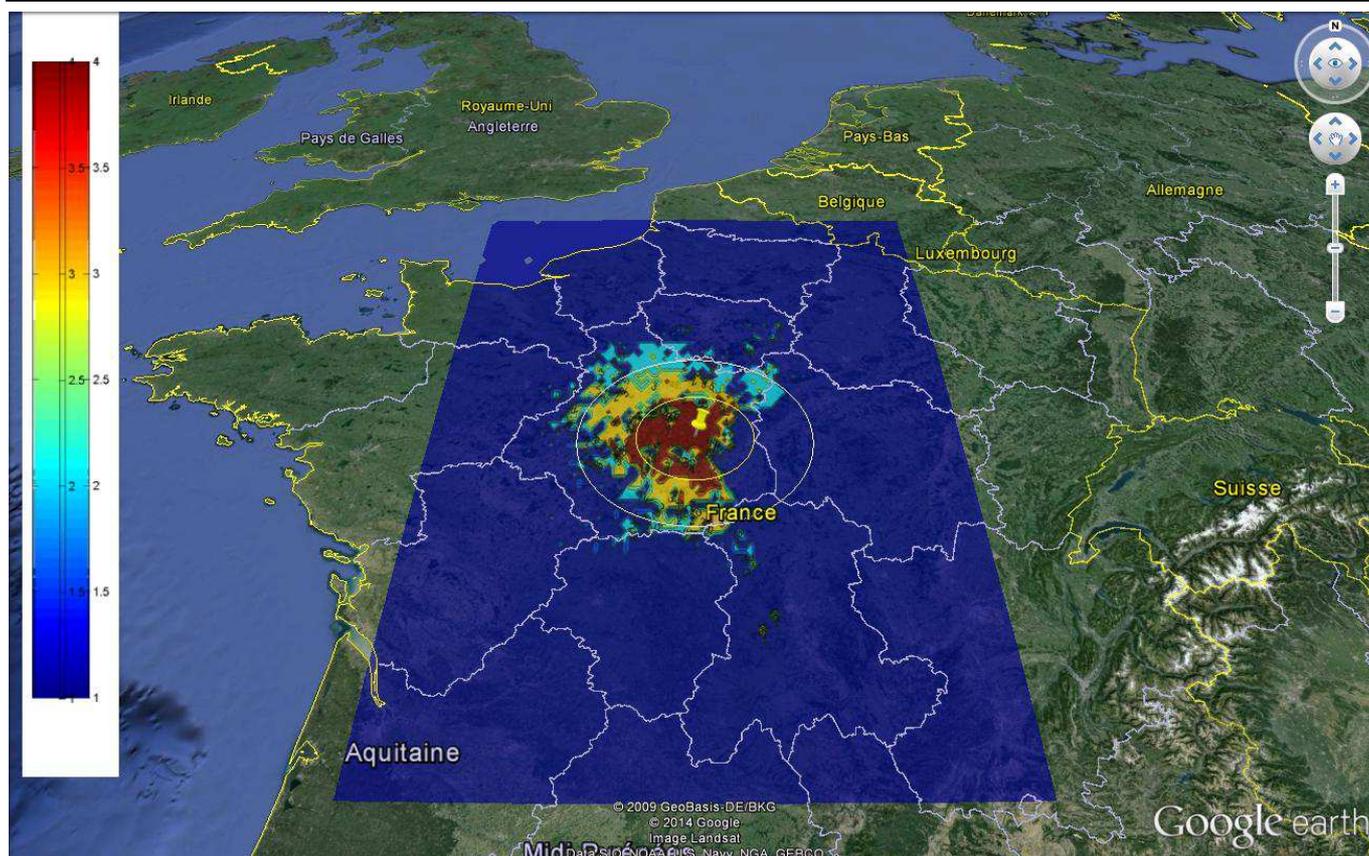


Figure 37. Zone d'exclusion d'une LVR, classe B, autour de Nancy

Ces résultats sont également cohérents avec les calculs préalablement réalisés.

5.5.2 Partage en co-canal entre LVR et Radioastronomie

La figure suivante indique la PIRE admissible pour une LVR située à 1.5 m de hauteur sur le terrain, avec les hypothèses suivantes :

- Critères de protection du site de Nancy décrits dans le texte du rapport.
- Modèle de propagation : **ITU-R P.452** à 2% du temps
- Sursol : négligé. En particulier, la PIRE admissible dans les zones urbaines et suburbaines est sous-estimée.

Dans la figure suivante, la zone en rouge est la zone d'exclusion théorique, sans perte de sursol, pour une LVR de classe A opérée à une puissance de 0 dBW.

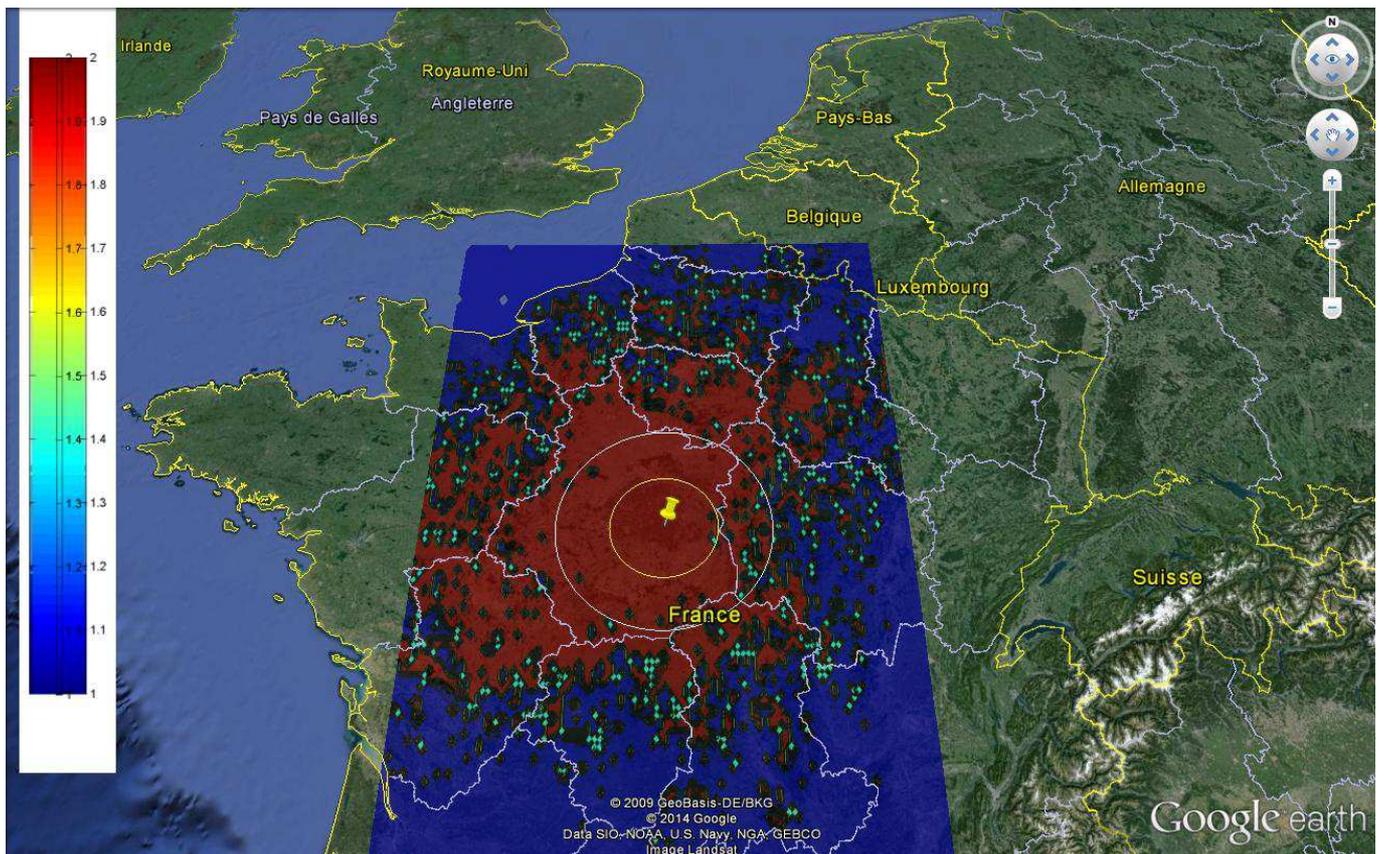


Figure 38. Zone d'exclusion, sans perte de sursol, pour une LVR de classe A à 0 dBW en co-canal. La zone d'exclusion, est marquée en rouge dans la figure. La zone en bleu est la zone où l'opération de la LVR est possible.

Afin d'estimer la protection additionnelle du sursol, la perte due au « clutter » a été calculée selon le modèle de la Recommandation P.452-15. La figure suivante montre la perte additionnelle due au sursol, en fonction de la hauteur d'antenne pour des différents types de sursol ($f=2.8$ GHz).

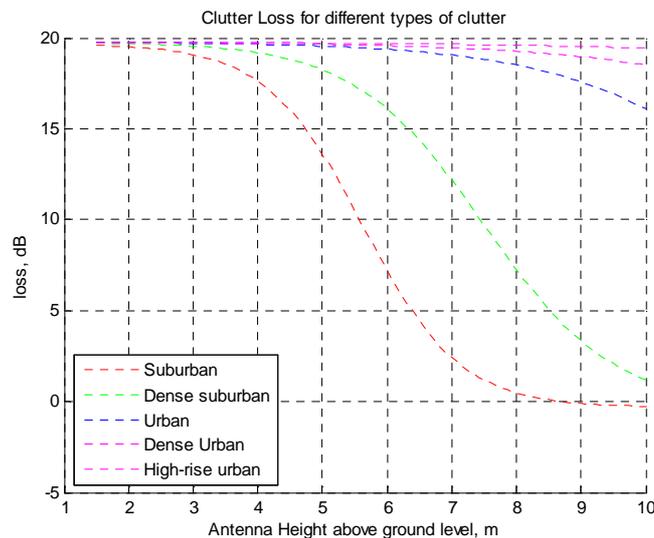


Figure 39. Perte de propagation additionnelle due à l'occupation du sol, ITU-R P.452

On observe que la perte, pour un émetteur à 1.5 m est d'environ 20 dB. La figure suivante montre donc la PIRE admissible avec les hypothèses suivantes :

- Critères de protection du site de Nançay décrits dans le texte du rapport.
- Modèle de propagation : P.452 à 2% du temps

- Sursol : perte fixe égale à 20 dB. La PIRE admissible calculée dans les zones urbaines et suburbaines n'est pas sous-estimée, mais la PIRE dans les zones rurales est surestimée.

Dans la figure suivante, on voit la zone d'exclusion pour une LVR de classe A de PIRE 0 dBW. **Dans l'interprétation de la figure il faut considérer que l'indication de la PIRE admissible représentée n'est pas valable en zone rurale.**

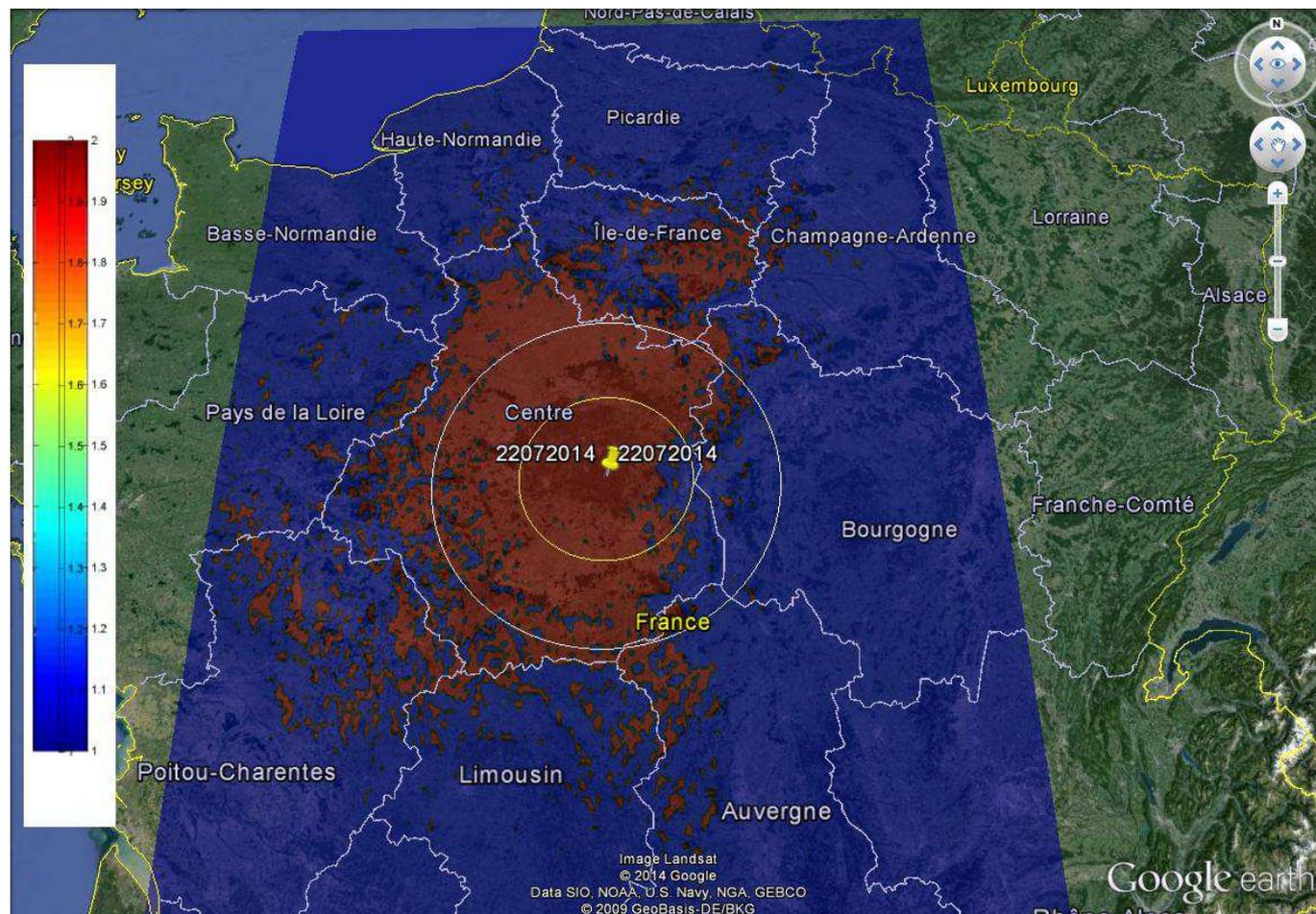


Figure 40. Zone d'exclusion, avec pertes de sursol pour les aires urbaines et suburbaines, pour une LVR de classe A à 0 dBW en co-canal. La zone d'exclusion, est marquée en rouge dans la figure. La zone en bleu est la zone où l'opération de la LVR est possible.

La figure suivante montre un détail de la figure 40, centré sur l'Ile de France.

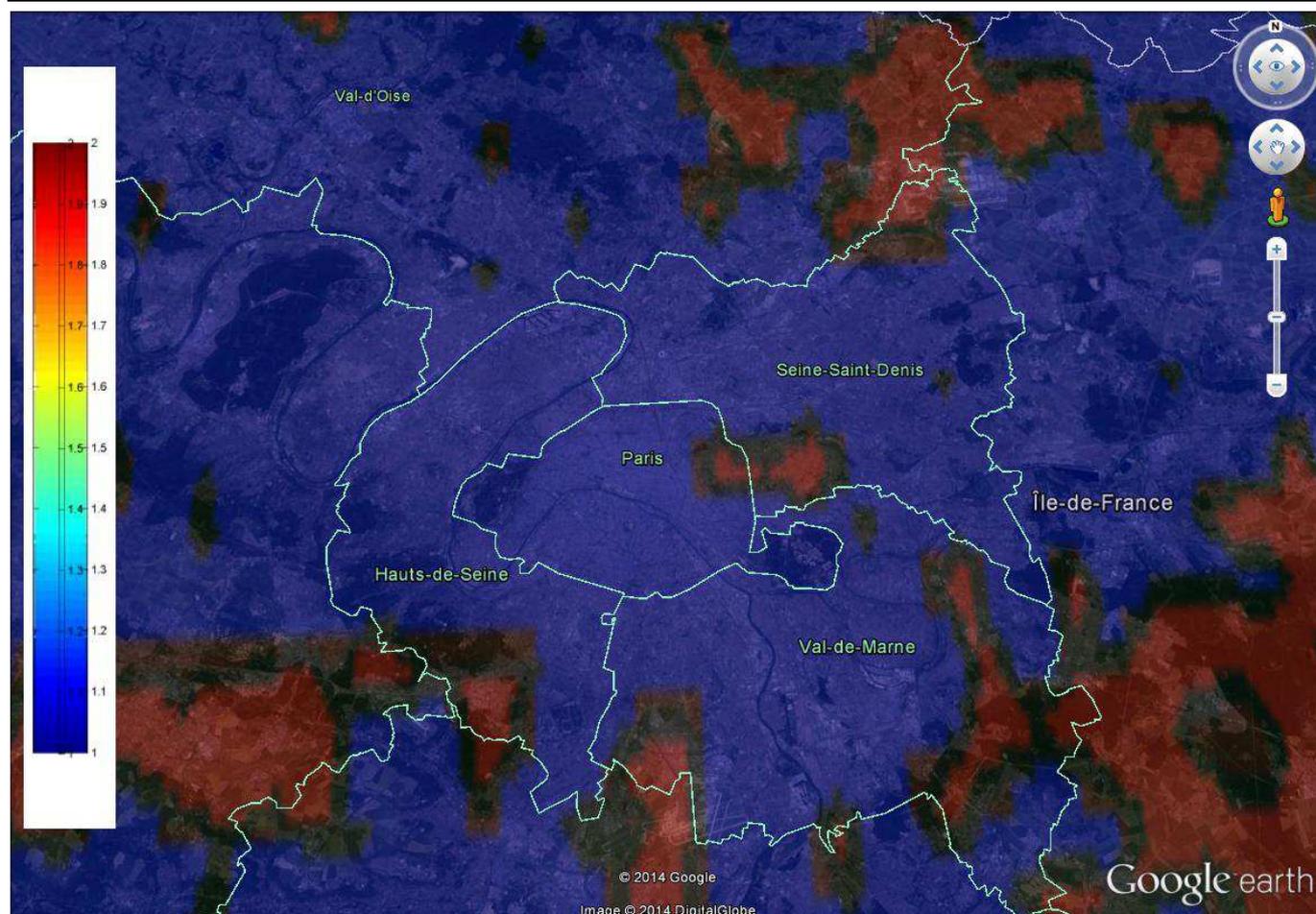


Figure 41. Détail de la Figure 40. La zone d'exclusion, est marquée en rouge dans la figure. La zone en bleu est la zone où l'opération de la LVR est possible.

5.5.2.1 Emissions dans les agglomérations urbaines

Note : Cette partie est tirée du rapport « Coexistence en bande adjacente et en co-canal entre les stations LTE opérant dans la bande 2500-2690 MHz et les stations du site de radioastronomie de Nançay dans les bandes 2655-2690 MHz et 2690-2700 MHz »

Note : Cette partie est uniquement destinée à donner un ordre d'idée des pertes potentielles que peut engendrer le milieu urbain. En aucun cas, les valeurs simulées dans cette partie ne peuvent donner lieu à des conclusions directes. Ceci est d'autant plus vrai que les valeurs calculées, le sont sur des hypothèses qui représentent des cas très particuliers et notamment le fait que les stations de bases ou les récepteurs se situent derrière des obstacles urbains.

La Recommandation **ITU-R P.1411** fournit un modèle de propagation qui permet d'estimer les pertes liées à l'environnement urbain, notamment pour des systèmes de radiocommunication de courte portée destinés à fonctionner à l'extérieur de bâtiments dans des gammes de fréquence comprises entre 300 MHz et 100 GHz. Ce modèle prend en compte, différents facteurs tel que la hauteur moyenne des bâtiments, la distance qui les sépare, la longueur totale de leur association, la largeur des rues, la longueur du trajet, etc... A partir de ces données, il est possible d'estimer les pertes de propagation (diffraction par les toits, multi-trajets, canyon urbain,...) et d'évaluer ainsi, les valeurs de champs en périphérie d'agglomération. Le modèle tient compte de plusieurs types de pertes particulières sur les trajets :

1. Les pertes LRTS qui représentent les pertes par diffraction entre les toits et la rue. Cette valeur est indépendante de la hauteur de l'antenne de la station de base.

2. La réduction LMDS due à la diffraction par effet d'écran multiple à travers les différentes rangées de bâtiments. Cette grandeur varie selon la position de l'antenne par rapport au toit.

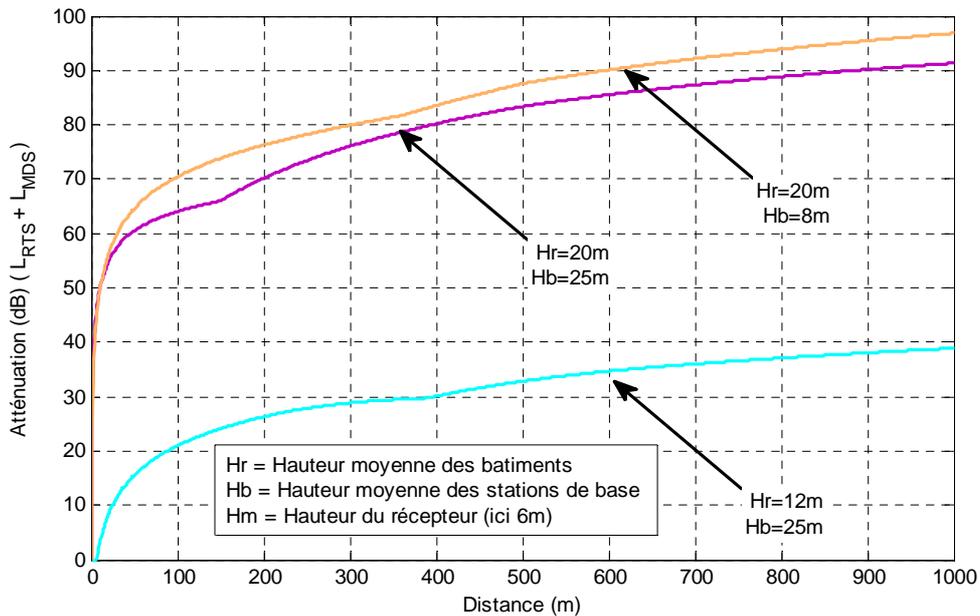


Figure 42. Représentation de l'atténuation potentielle dans les agglomérations en fonction de différents facteurs

La figure 42, ci-dessus présente les résultats de l'association des pertes LRTS et LMDS obtenues dans différentes configurations d'antennes et de hauteurs de bâtiments. Les pertes sont évaluées sur un kilomètre de distance en prenant en compte des largeurs de rue de 10m (donc un espacement entre bâtiment de 10m). Ces pertes ne tiennent pas compte des pertes en espace libre. La figure 42 permet uniquement d'évaluer les pertes potentielles accessibles par l'environnement urbain. Elle démontre par exemple que les pertes sont d'autant plus importantes que les stations de base sont à des hauteurs inférieures au niveau moyen des toits (cette atténuation peut atteindre jusqu'à 100 dB sur 1 km dans les cas les plus critiques).

Le tableau suivant donne pour certaines des agglomérations, une estimation approximative (car les paramètres sont multidimensionnels) des pertes pour une antenne d'émission se situant au-dessus des toits (à 5m) en plein centre la ville. Cette position haute de l'antenne permet d'évaluer un des cas les plus critiques. La hauteur moyenne des bâtiments est fonction de l'agglomération. Dans le tableau 14 le type d'agglomération fait référence aux dimensions moyennes des édifices dans le centre :

- A : taille modérée (< 10m) (maisons à 2 ou 3 étages)
- B : taille moyenne (>10 et <20m) (immeuble de 3 à 7 étages)
- C : taille importante (>20m) (immeuble présentant plus de 7 étages)

Tableau 14. Estimation des pertes en sortie des agglomérations

Agglomérations	Rayon / au centre de la ville (km)	Type d'agglomération	Atténuations Potentielles (dB)
Vierzon	2	A	40
Romorantin-Lanthenay	2	A	40
Bourges	3	A/B	60
Châteauroux	3	A	60
Orléans	5	B	65
Tours	5	B	65
Le Mans	5	B	65

Cette étude approximative permet de montrer que l'environnement urbain peut présenter des pertes supplémentaires à associer aux pertes de propagation. Autrement dit, une station de type microcellules avec des niveaux hors bande de PIRE de -2 dBm/MHz placée au centre d'une ville de type A présenterait une PIRE de -42 dBm/MHz en sortie de l'agglomération à quelques mètres au-dessus du sol.

6 Conditions d'utilisation de la bande 2700-2900 MHz

Les résultats de cette étude excluent la possibilité d'utiliser la bande 2700-2900 MHz par des LVR à bord d'aéronefs. Dans le sens descendant, l'exclusion est due à l'interférence vers les radars et vers le site de radioastronomie de Nançay. Dans le sens inverse, l'interférence par les radars à longue distance rend l'utilisation des LVR peu intéressante. Dans la suite de ce paragraphe, les résultats ne feront donc référence qu'aux LVR de classes A et B.

6.1.1 LTE @ 2600 MHz

Dans sens LVR vers terminaux LTE, les résultats indiquent :

- Pour une LVR opérée avec une PIRE typique de 0 dBW, les conditions suivantes sont nécessaires une probabilité d'interférence négligeable de la réception au niveau du terminal LTE :
 - Distance de quelque mètre (2-3 m)
 - Séparation en fréquence ≥ 10 MHz au-delà de 2700 MHz (ce critère peut être relâché au prix de l'augmentation de la distance de séparation entre les deux équipements)

Dans le sens station de base LTE vers LVR :

- La probabilité de brouillage est négligeable.

6.1.2 Radioastronomie dans la bande 2690-2700 MHz

Le partage en bande adjacente impose une zone d'exclusion autour du site de radioastronomie de Nançay. Dans le cas N+1 la distance de séparation atteint 125 km environ, dans le cas N+2 elle se réduit à 85 km et pour le cas N+3 à environ 60 km. Ce sont des distances calculées sans les pertes de sursol et sans agrégation (voir les figures pour plus de précision). En conclusion, le partage en bande adjacente entre radio astronomie et LVR est possible avec une zone d'exclusion.

Concernant le partage en co-canal, une importante zone d'exclusion s'impose. Si on considère l'hypothèse que la LVR est opérée à 0 dBW, à 1.5m de hauteur sur le sol et au milieu d'une agglomération urbaine, la perte de propagation supplémentaire due au bâti réduit considérablement la taille de la zone d'exclusion (voir figure 42). Donc l'opération en co-canal ne peut être envisagée, après avoir imposée une zone d'exclusion de taille acceptable, que pour des LVR de classe A, avec une PIRE limitée à 0dBW et au milieu d'agglomérations urbaines. La validité de cette conclusion sur l'opération en

co-canal est assujettie à la vérification que la perte supplémentaire due au bâtiment soit effectivement celle estimée à partir de la Recommandation **ITU-R P.1411**.

6.1.3 Radars

Le partage avec les radars est plus problématique et la coexistence doit être assurée sur une base géographique.

Le partage en co-canal ne peut se faire qu'à condition d'assurer que la LVR se trouve au-delà de l'horizon par rapport au radar.

Le partage en canal adjacent nécessite aussi une séparation géographique entre la LVR et le radar. Le Tableau 15 indique les distances de séparation pour les LVR de classe A et B aux valeurs de P.I.R.E. mentionnées. La classe C n'est pas considérée car les distances de séparation sont telles que l'utilisation de LVR de classe C dans la bande n'est pas envisageable.

Tableau 15. Distances (km) de séparation entre LVR de classes A et B et les radars

	Type de radar	N+1	N+2	N+3
Classe A (0 dBW)	Météo	6.5	4.5	3
	ATC, Défense Terrestre et Maritime	3	2.2	1.5
Classe B (20 dBW)	Météo	33	33	33
	ATC, Défense Terrestre et Maritime	16	16	16
Classe B (10 dBW)	Météo	31	22	17
	ATC, Défense Terrestre et Maritime	15	11	9

A noter que les distances de séparation peuvent différer de celles du tableau ci-dessus selon l'altimétrie et la planimétrie autour du radar (cf. exemple en annexe 6, LVR classe A : zone de blocking jusqu'à 6km).

ANNEXE 1. FORMULES

1. Critères de protection des LVR

Les deux critères de protection suivants doivent être satisfaits:

$$A. \frac{C}{N+I_{INB}} \geq \left(\frac{C}{N}\right)_{TARGET}$$

$$B. \frac{C}{I_{BLOC}} \geq \left(\frac{C}{I}\right)_{BLOC}$$

Où:

- C : Puissance utile reçue par le LVR
- N : niveau de bruit de fond du récepteur LVR ($N=KTBF$)
- $EIRP_{int}$: PIRE du brouilleur dans la direction du récepteur PMSE
- OOB_{int} : PIRE des émissions hors bande du brouilleur dans la direction du récepteur LVR
- I_{INB} : Puissance de brouillage in bande. Dans les scenarios de partage en co-canal, I_{INB} est calculée comme $I_{INB}=EIRP_{int}+G_{rx}^{LVR}-P_{Loss}$, dans le cas en canal adjacent $I_{INB}=OOB_{int}+G_{rx}^{LVR}-P_{Loss}$
- I_{BLOC} : Puissance de brouillage hors bande. $I_{OOB}=EIRP_{int}+G_{rx}^{LVR}-P_{Loss}$
- $\left(\frac{C}{N}\right)_{TARGET}$: Niveau puissance utile/bruit requis par le démodulateur
- $\left(\frac{C}{I}\right)_{BLOC}$: réponse au blocage du récepteur LVR défini comme rapport maximum tolérable entre signal utile reçu et signal brouilleur hors bande.
- P_{Loss} : perte de propagation
- G_{rx}^{LVR} : gain de réception de l'antenne LVR

2. Critères de protection des radars

Dans le cas canal adjacent, les trois critères de protection suivants doivent être satisfaits en même temps :

$$A. \frac{I_{INB}}{N} \leq \left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$$

$$B. \frac{I_{SELEC}}{N} \leq \left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$$

$$C. I_{BLOC} \leq I_{BLOC-MAX}$$

- $\left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$: rapport brouillage/bruit maximum tolérable (-10 dB). Si on calcule la valeur de N, on peut en déduire la puissance de brouillage maximale en bande : $I_{MAX}=N+\left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$
- N : niveau de bruit de fond du récepteur radar ($N=KTBF$)
- $EIRP_{int}$: PIRE du brouilleur dans la direction du récepteur radar
- OOB_{int} : PIRE des émissions hors bande du brouilleur LVR dans la direction du récepteur radar
- I_{INB} : Puissance de brouillage in bande. $I_{INB}=OOB_{int}+G_{rx}^{RADAR}-P_{Loss}$
- I_{SELEC} : Puissance de brouillage qui, à cause de l'imparfaite sélectivité du filtre de réception du radar, rejoint le démodulateur. $I_{SELEC}=EIRP_{int}+G_{rx}^{RADAR}+S-P_{Loss}$

- $I_{BLOC-max}$: Puissance de brouillage maximale tolérable hors bande avant que le blocage du récepteur radar ne commence à se manifester.
- I_{BLOC} : Puissance de brouillage du LVR émise hors de la bande de réception du radar.
 $I_{BLOC} = EIRP_{int} + G_{rx}^{RADAR} - P_{Loss}$
- S : sélectivité de la chaîne de réception du radar

Exemple numérique de calcul :

SATURATION (OU BLOCKING):

La perte minimale de propagation entre le radar et la LVR est donnée par la formule:

$$P_{Loss} = EIRP_{int} + G_{rx}^{RADAR} - I_{BLOC-max}$$

- Pour une LVR de classe A, dont la PIRE maximale est 56 dBm, un radar dont le gain est de 34 dBi et avec une valeur de $I_{BLOC-max}$ égale à -36dBm, on obtient : $P_{Loss} = 56 + 34 - (-36) = 126\text{dB}$
- Pour une LVR de classe B, dont la PIRE maximale est 70 dBm, un radar dont le gain est de 34 dBi et avec une valeur de $I_{BLOC-max}$ égale à -36dBm, on, $P_{Loss} = 70 + 34 - (-36) = 140\text{dB}$,
- Pour une LVR de classe C, dont la PIRE maximale est 56 dBm, un radar dont le gain est de 34 dBi et avec une valeur de $I_{BLOC-max}$ égale à -36dBm, on, $P_{Loss} = 56 + 34 - (-36) = 126\text{dB}$

DESENSIBILISATION DES RADARS PAR LES RAYONNEMENTS NON ESSENTIELS (SPURIOUS) DES LVR:

La perte minimale de propagation entre le radar et la LVR est donnée par la formule:

$$P_{Loss} = OOB_{int} + G_{rx}^{RADAR} - I_{MAX}$$

Par exemple, pour une LVR de classe A2, dont les émissions hors bande ont une PIRE de -41 dBW/10MHz, un radar dont le gain d'antenne est de 34 dBi et $I_{max} = -122\text{dBm}$, :

$$P_{Loss} = -41 + 10 \cdot \log_{10}(1/10) + 30 + 34 - (-122) = 135\text{dB}.$$

3. Critères de protection du LTE

Dans le cas canal adjacent, les trois critères de protection suivants doivent être satisfaits:

$$D. \frac{I_{INB}}{N} \leq \left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$$

$$E. I_{SELEC} \leq I_{BLOC-MAX}$$

- $\left(\frac{I}{N}\right)_{MAX}$: rapport brouillage/bruit maximum tolérable.
- N : niveau de bruit de fond du récepteur LTE ($N = KTB F$)
- OOB_{int} : PIRE des émissions hors bande du brouilleur LVR dans la direction du récepteur LTE
- I_{INB} : Puissance de brouillage in bande. $I_{INB} = OOB_{int} + G_{rx}^{LTE} - P_{Loss}$
- I_{SELEC} : Puissance de brouillage qui, à cause de l'imparfaite sélectivité du filtre de réception du LTE, rejoint le démodulateur. $I_{SELEC} = EIRP_{int} + G_{rx}^{LTE} - ES$
- ES : filtrage supplémentaire due à la présence d'un duplex filtre dans la chaîne de réception

- $I_{BLOC-MAX}$: puissance maximale de blocage tolérable par le récepteur, dans le cas d'un signal brouilleur *in-band*
- G_{rx}^{LTE} gain d'antenne du récepteur LTE

4. Bilan de liaison

La puissance utile C, en réception est donné par :

$$C = PIRE + G_{tx} - P_{loss} - X_{pol}$$

où

- PIRE : puissance équivalente isotrope rayonnée équivalente de l'émetteur victime
- G_{tx} : gain d'antenne du récepteur victime
- P_{loss} : perte de propagation
- X_{pol} : éventuelle perte due à la polarisation différente entre émetteur et récepteur

La puissance de brouillage dans le cas co-canal est donnée par :

$$I_{CO-CANAL} = PIRE_{INT} + G_{tx} - P_{loss} - X_{pol}$$

où

- $PIRE_{INT}$: puissance équivalente isotrope rayonnée équivalente de l'émetteur brouilleur
- G_{tx} : gain d'antenne du récepteur victime
- P_{loss} : perte de propagation
- X_{pol} : éventuelle perte due à la polarisation différente entre émetteur et récepteur

La puissance de brouillage des émissions hors bande dans le cas du canal adjacent est donnée :

$$I_{INB} = PIRE_{OOB} + G_{tx} - P_{loss} - X_{pol}$$

où

- $PIRE_{OOB}$: puissance équivalente isotrope rayonnée équivalente hors bande de l'émetteur brouilleur
- G_{tx} : gain d'antenne du récepteur victime
- P_{loss} : perte de propagation
- X_{pol} : éventuelle perte due à la polarisation différente entre émetteur et récepteur

La puissance de brouillage dans le cas canal adjacent, à cause d'une sélectivité non idéale du récepteur victime, est donnée par :

$$I_{SELEC} = PIRE_{INT} + G_{tx} - P_{loss} - X_{pol} - S$$

où :

- $PIRE_{INT}$: puissance équivalente isotrope rayonnée équivalente de l'émetteur brouilleur
- G_{tx} : gain d'antenne du récepteur victime
- P_{loss} : perte de propagation
- X_{pol} : éventuelle perte due à la polarisation différente entre émetteur et récepteur
- S : sélectivité de la chaîne de réception victime

La puissance de brouillage à prendre en compte pour la vérification des critères de blocage est donnée par :

$$I_{BLOC} = PIRE_{INT} + G_{tx} - P_{loss} - X_{pol}$$

où :

- $PIRE_{INT}$: puissance équivalente isotrope rayonnée équivalente de l'émetteur brouilleur

- G_{tx} : gain d'antenne du récepteur victime
- P_{loss} : perte de propagation
- X_{pol} : éventuelle perte due à la polarisation différente entre émetteur et récepteur

ANNEXE 2. EMISSIONS HORS BANDE DES LVR

Afin de déterminer les émissions non désirées (émissions non essentielles et hors bande) des LVR, on considère en règle générale que l'équipement est basé sur une technologie DVB-T. Pour une configuration LVR typique, les paramètres suivants peuvent être retenus pour le signal DVB-T :

Tableau 16

Paramètre	Valeur
Mode DVB-T	2k
Bande	10 MHz
Intervalle de garde	1/6
Modulation	64 QAM
Code rate	2/3

Dans ce cas, une première indication est donnée par la norme EN 300 744, qui donne le masque d'émission d'un signal théorique DVB-T (sans filtrage supplémentaire). Le masque est indiqué dans la figure suivante (masque d'émission pour un canal de 8 MHz et un intervalle de garde de 1/4) :

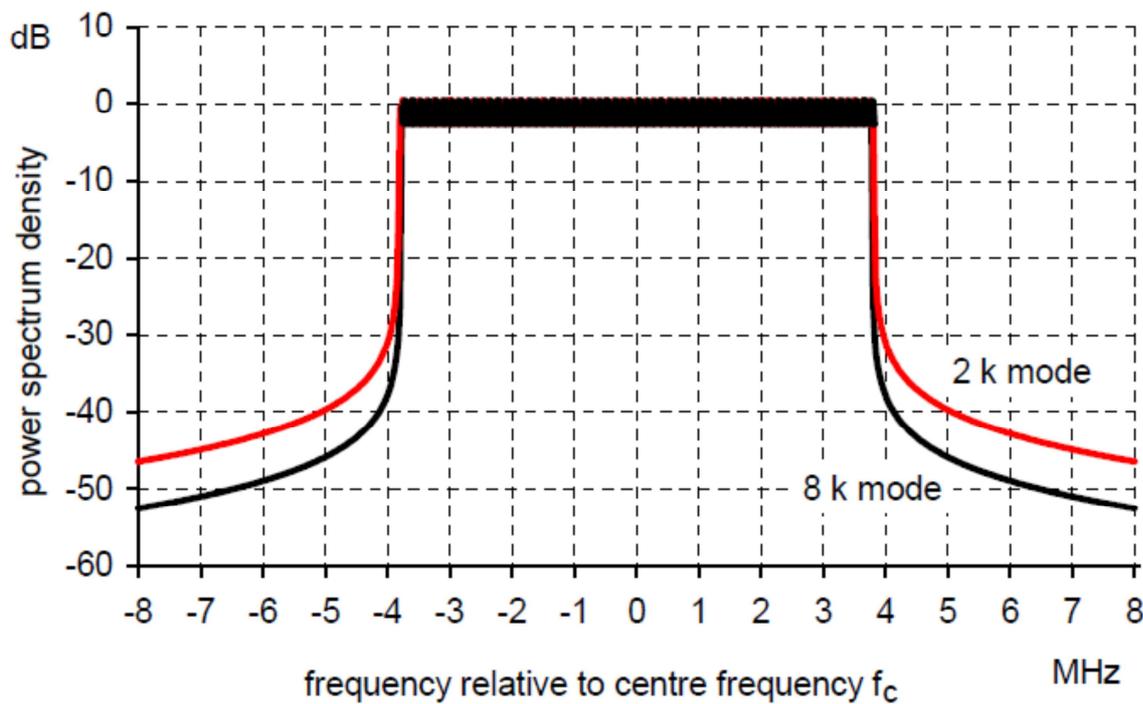


Figure 43. Masque d'émission d'un signal théorique DVB-T

Il convient aussi de remarquer que le standard DVB-T est très souvent retenu du fait de la disponibilité sur le marché des puces de ce type, mais que sa largeur de canal (8 MHz) n'est pas idéale pour le canal typique LVR (10 MHz). En outre, bien que le mode 2k fournisse une certaine résilience pour les applications mobiles, le DVB-T n'est pas optimisé pour ce type d'application. Il est donc fort possible que, dès que le DVB-T2 se sera répandu, les nouvelles caméras sans fil seront basées sur cette norme (qui présente notamment une largeur de bande de 10 MHz et des configurations de codage pensées pour les applications mobiles).

Après analyse d'une fiche de données réelles, les éléments suivants ont été déterminés :

Tableau 17

Puissance émise en canal	P_o
Puissance émise en 1 ^{er} canal adjacent	$P_o-42 \text{ dB}$
Puissance émise en 2 nd canal adjacent	$P_o-50 \text{ dB}$

Le tableau 18 est en gros compatible avec la figure 43. La même fiche de données, indique, pour le gabarit spectral : 30 dB à Fo+/- 5 MHz et 50 dB à Fo+/-15 MHz (à noter que ces valeurs sont plus pessimistes que celles de la figure 2).

Simultanément, pour les émissions hors bande des LVR, la norme des liaisons vidéo mobiles EN 302 064-1 doit également s'appliquer. Notamment la norme indique que (cf section 7.3.4.1 de cette norme) :

- Pour $P_o < 0.3 \text{ W}$ les limites de puissance relative à P_{max} sont:

Tableau 18

	<i>Each half of the region</i>	<i>Both halves of the region</i>
Block 2	-36 dB	-33 dB
Block 3	-42 dB	-39 dB

- Pour $P_o > 0.3 \text{ W}$ les limites de puissance relative à P_{max} sont:

Tableau 19

	<i>Each half of the region</i>	<i>Both halves of the region</i>
Block 2	$-36-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$	$-33-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$
Block 3	$-42-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$	$-39-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$

De plus la norme, pour couvrir les cas d'émissions à bande étroite qui pourraient avoir des effets de nuisance, indique (paragraphe 7.3.4.2) qu'en même temps les limites suivantes doivent être respectées :

- Pour $P_o < 0.3 \text{ W}$ les limites de puissance relative à P_{max} sont:

Tableau 20

	<i>Puissance dans chaque sous-bande de 3kHz</i>
Block 2_D	-48 dB
Block 3_D	-54 dB

- Pour $P_o > 0.3 \text{ W}$ les limites de puissance relative à P_{max} sont:

Tableau 21

	<i>Puissance dans chaque sous-bande de 3kHz</i>
Block 2_D	$-48-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$
Block 3_D	$-54-10 \cdot \log_{10}(P_o/0.3) \text{ dB}$

Il est donc utile de comparer les deux normes (norme DVB-T et standard ETSI EN-302 064 pour les LVR). La figure suivante présente cette comparaison. Son interprétation est la suivante :

- Les lignes en trait plein correspondent aux valeurs limites d'émission hors bande imposées par la norme applicable aux liaisons de vidéo reportage (EN 302-064). Il est donc certain qu'en tout cas les émissions des LVR ne seront au-delà ces limites. Les analyses de compatibilité ont été menées en considérant cette norme.
- Les lignes en trait pointillé correspondent aux valeurs qu'on peut s'attendre par une puce DVB-T. On voit clairement que pour des puissances basses, le trait pointillé est en dessous du trait plein. La conséquence est que les LVR basées sur une puce DVB-T pour la puissance basse auront en général une performance probablement meilleure que la norme.

A noter que la norme EN 302-064 n'indique pas des valeurs d'émission pour le cas N+3, N+4. Néanmoins, les études de partage avec la radio astronomie considèrent aussi le cas N+3 (correspondant à un émetteur LVR dont la fréquence centrale d'émission est située à 25 MHz du bord de la bande utilisée par la radio astronomie). Faute de données sur les valeurs du masque d'émission du LVR dans la bande N+3, l'hypothèse a été faite que les émissions dans le canal N+3 soient 6 dB plus basses que celle dans la bande N+2. Le raisonnement à la base de cette hypothèse est l'observation que 6 dB est l'écart entre le cas N+1 et le cas N+2.

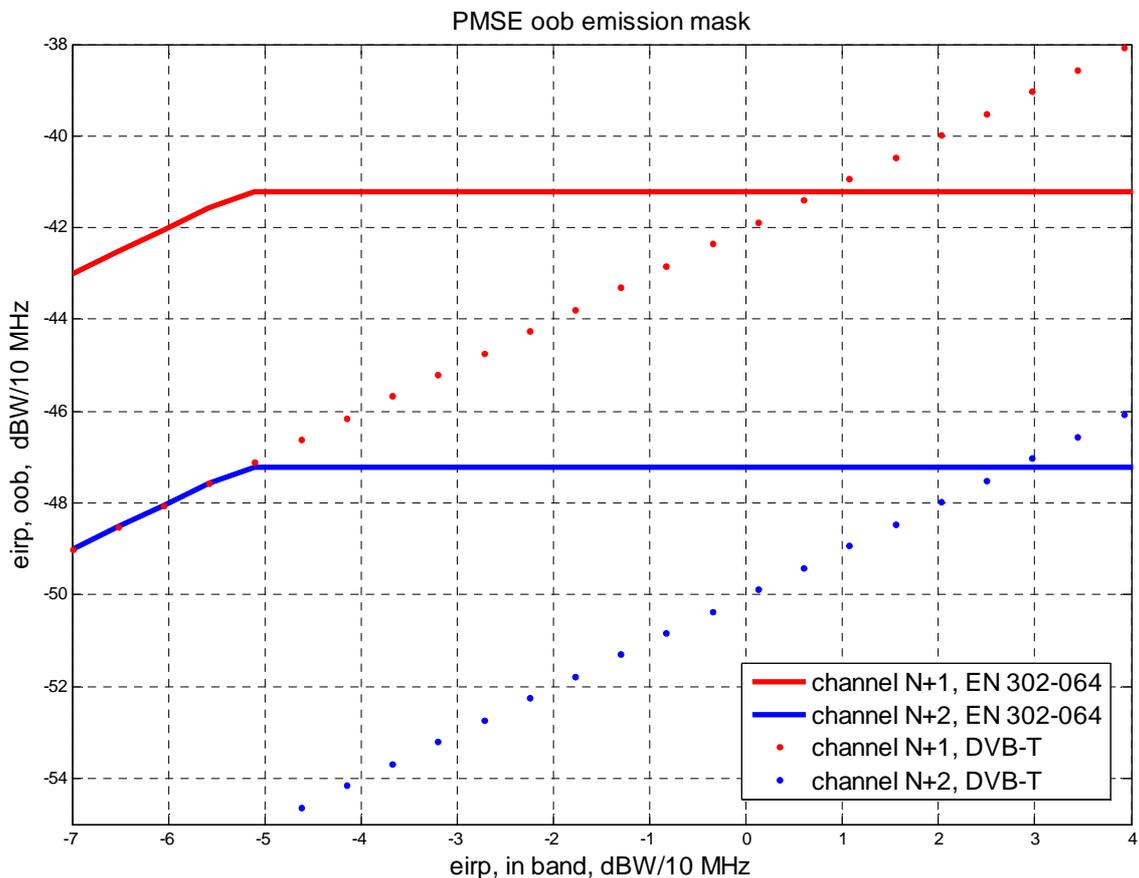


Figure 44 Emission hors bande des LVR

ANNEXE 3. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE LVR vers LTE

Afin d'évaluer l'impact des LVR sur le LTE dans la bande 2600 MHz, le document 3GPP TS 136.101 v. 11.4.0 a été considéré. Pour le terminal LTE, les hypothèses suivantes ont été faites : $G=0$ dBi, $B_w=10$ MHz, $F = 9$ dB (facteur de bruit), body loss=3.5 dB. Différents scénarios ont été considérés, afin de mieux évaluer l'impact des hypothèses, du plus pessimiste au plus réaliste. Ils sont synthétisés dans les Tableaux 20, 21 et 22.

Tableau 22

<i>Scenario 1 : LVR vs. LTE UE « pire cas », LTE avec caractéristiques strictement conformes à la norme</i>		
Elément	Choix	
Modèle de propagation :	Espace libre	
Pointage d'antenne :	Antenne LVR vers terminal LTE	
Caractéristiques LTE	C/I	I/N=-6 dB
	Blocking	ECC Report 174

Tableau 23

<i>Scenario 2 : LVR vs. LTE UE « pire cas », LTE avec caractéristiques réelles</i>		
Elément	Choix	
Modèle de propagation :	Espace libre	
Pointage d'antenne :	Antenne LVR vers terminal LTE	
Caractéristiques LTE	C/I	I/N=-6 dB
	Blocking	In band blocking + attenuation filtre RX Fig.7

Tableau 24

<i>Scenario 3 : LVR vs. LTE UE « statistique », LTE avec caractéristiques réelles</i>		
Elément	Choix	
Modèle de propagation :	Espace libre	
Pointage d'antenne :	Antenne LVR pointage aléatoire, diagramme ITU-R F. 1245	
Caractéristiques LTE	C/I	I/N=-6 dB
	Blocking	In band blocking + attenuation filtre RX Fig.7

Les effets suivants ont été pris en compte :

- Effet des émissions hors bande de la LVR dans la bande utile du récepteur LTE. Les émissions hors bande des LVR sont indiquées dans la figure 2. Dans ce cas le critère de protection est un I/N de -6 dB. La puissance maximale de bruit correspondante est égale à -100 dBm. La figure 45 indique les distances de séparation pour protéger les terminaux LTE de l'effet de l'interférence, suivant les hypothèses du scénario décrit dans le Tableau 20 (pire cas). Les résultats indiquent, qu'en termes de C/I, une distance de séparation de quelques mètres serait suffisante à assurer la compatibilité (les courbes à considérer sont les courbes vertes, correspondantes à la norme d'émission hors bande des LVR).

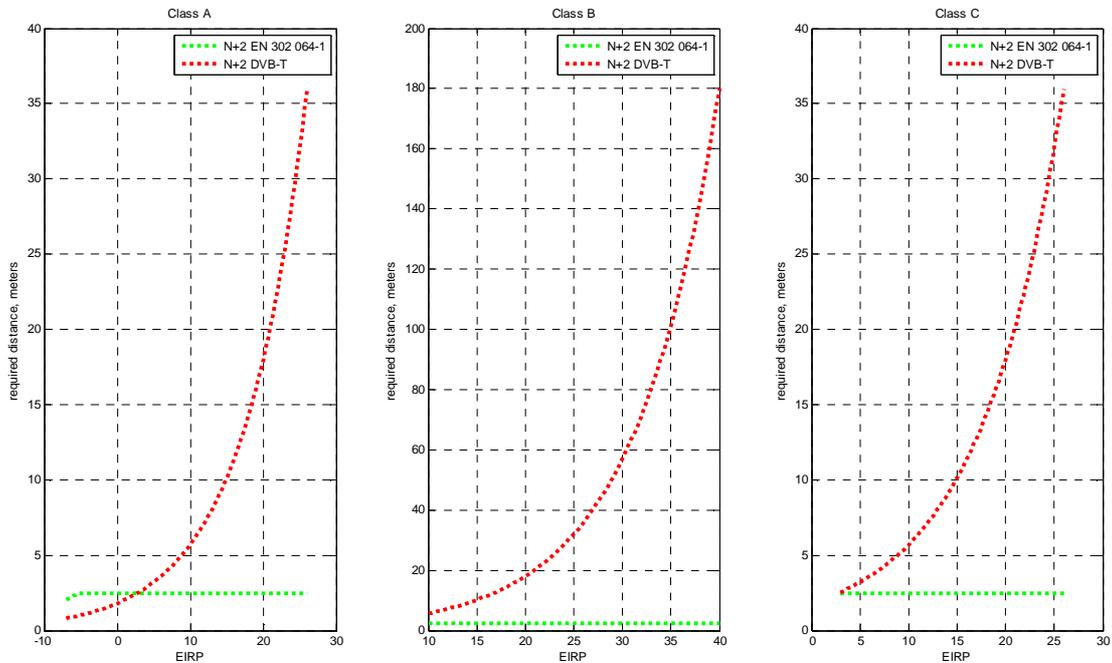


Figure 45 Distance de séparation (C/I, espace libre), Scenario 1

- Effet de blocage/sélectivité du récepteur du LTE. Le Rapport ECC 174 donne les valeurs suivantes de puissance maximale en bande adjacente pour une compression de 6 dB : -44 dBm dans la bande 2700-2750 MHz, -30 dBm dans la bande 2750-2775 MHz et -15 dBm au-dessus de 2775 MHz. Les figures 46 et 47 montrent une estimation des distances de séparation entre le terminal LTE et les LVR pour la bande 2700-2750 MHz (-44 dBm) dans un pire cas suivant les hypothèses du Tableau 20 («pire cas et LTE UE strictement conforme au standard »).

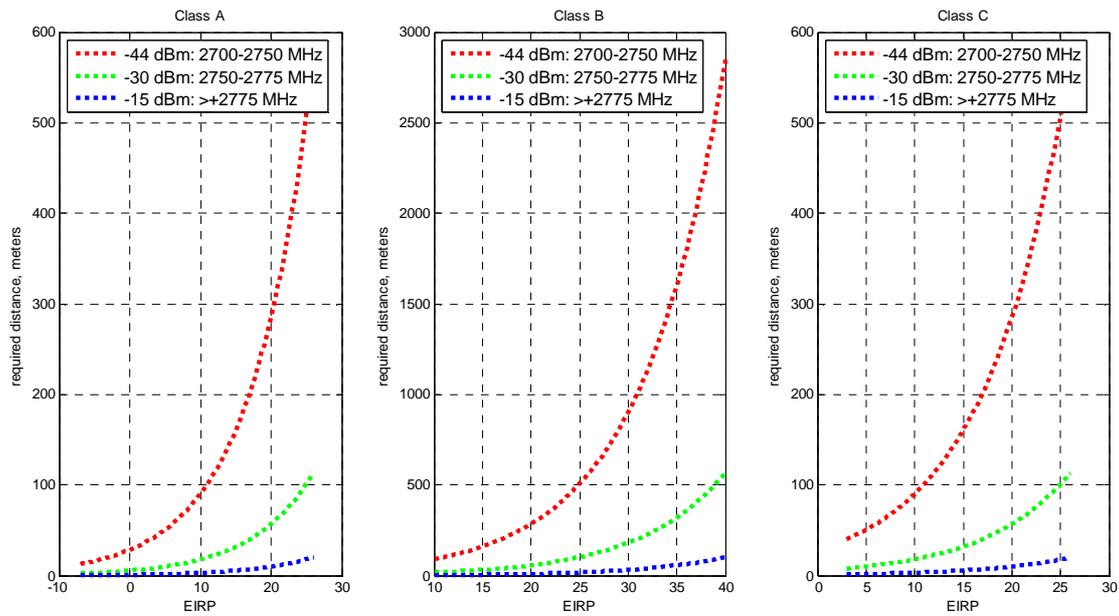


Figure 46. Distance de séparation (Scenario 1, blocking).

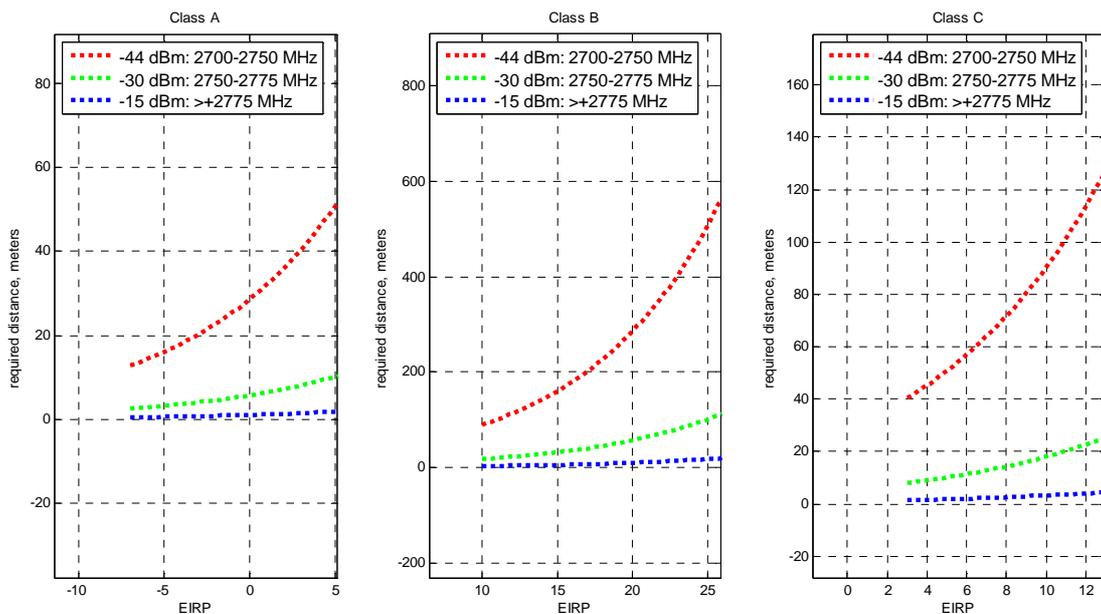


Figure 47. Détail de la figure 7, distance de séparation (Scenario 1, blocking).

Comme on peut le voir, le blocage du récepteur LTE par l'émetteur LVR est un problème qui peut persister à des distances significatives. Une analyse plus approfondie a donc été menée. L'hypothèse de travail est que la valeur de puissance qui cause le blocking hors bande est déterminée par la valeur in-band spécifiée dans la norme ETSI à laquelle vient s'ajouter l'atténuation supplémentaire donnée par le filtre de réception du terminal LTE. La performance du filtre varie avec l'échantillon, la température et l'âge du composant. En conséquence, dans les calculs, un gabarit a été considéré qui sur indication du constructeur est typique à 25°C. La figure ci-dessous représente le gabarit indiqué dans le data-sheet d'un filtre réel :

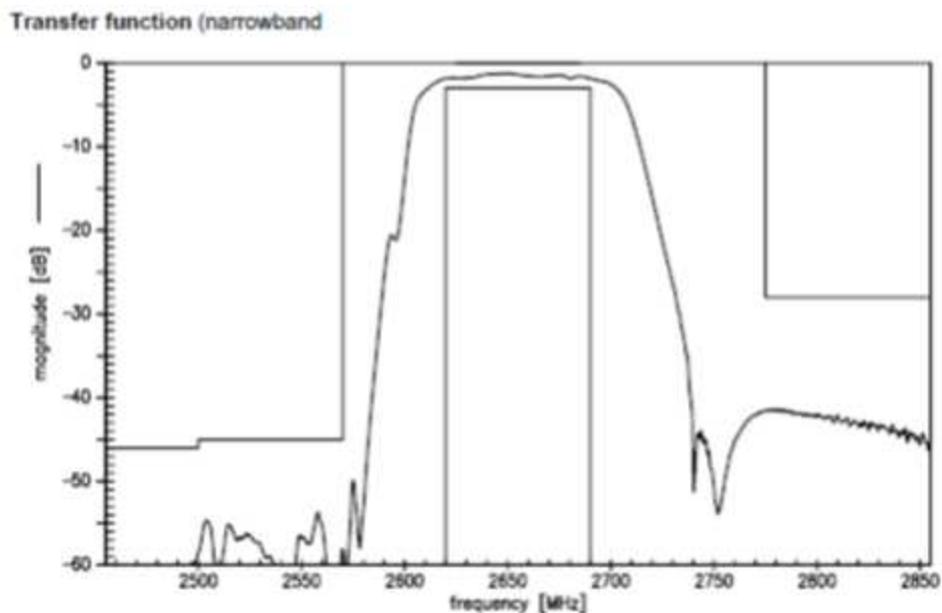


Figure 48

Les valeurs d'atténuation supplémentaire de ce gabarit sont les suivants:

Tableau 25

Fréquence	Atténuation
2700 MHz	2 dB
2710 MHz	5 dB
2720 MHz	15 dB
2730 MHz	25 dB
2740 MHz	43 dB

La figure suivante indique la distance de séparation entre le PMSE et le LTE UE, en fonction de la puissance dans un pire cas mais des valeurs de résilience au blocage déduites après analyse du data-sheet (voir Tableau 23 et Tableau 24). Dans la figure la fréquence indiquée correspond au bord inférieur du canal LVR.

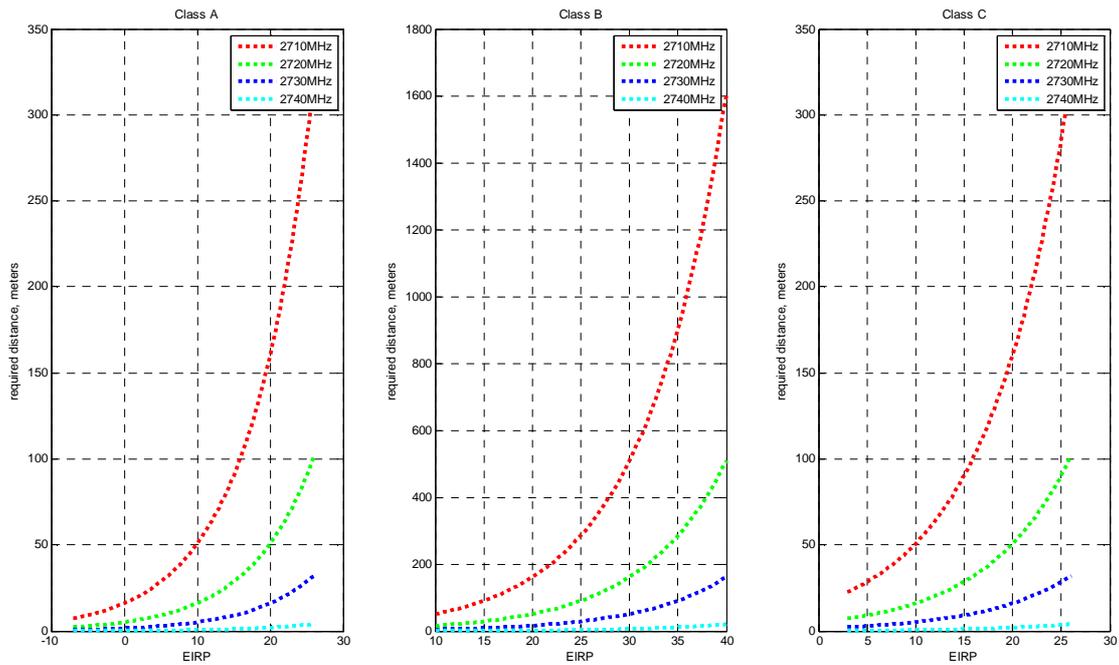


Figure 49. Distance de séparation. Scenario 2, blocking

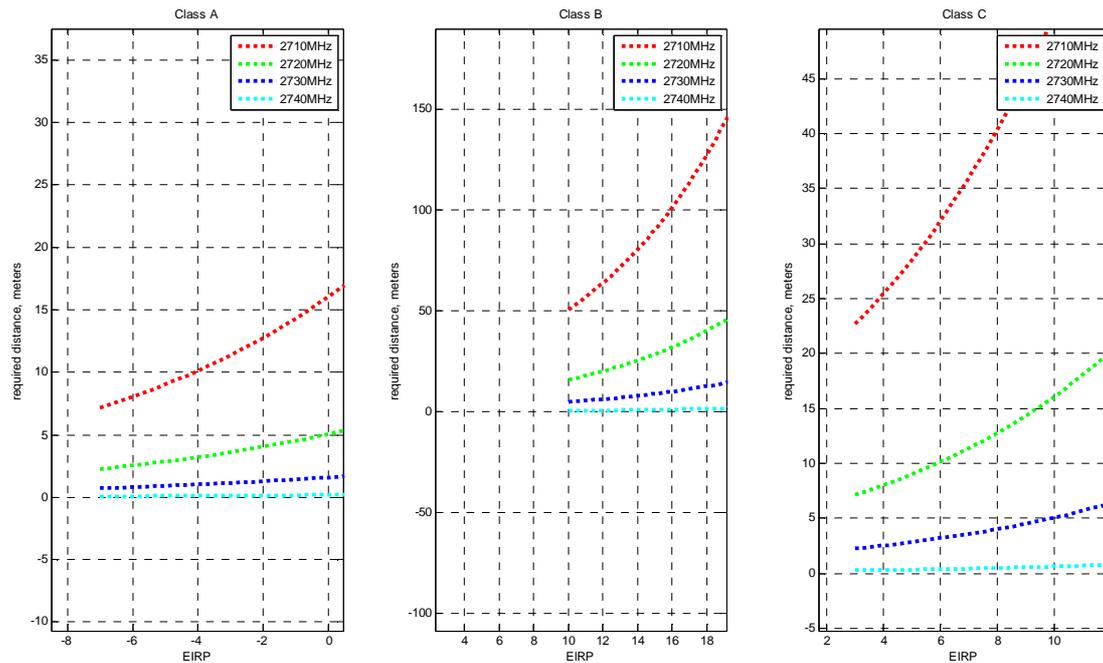


Figure 50. (Détail de la figure 49) Scenario 2, blocking

Le cas plus réaliste (voir Tableaux 24 et 25) a donc été simulé avec une méthode Monte Carlo. En particulier cela permet de tenir compte de la directivité de l'antenne des LVR de classe B et du fait qu'elle n'est pas pointée dans tous les cas vers le terminal LTE. Notamment le scénario suivant a été simulé :

- Le PMSE a une antenne dont le diagramme de rayonnement est spécifié par la Recommandation **ITU-R F-1245**. La figure suivante montre le diagramme d'antenne en fonction du gain maximum (dans le cas d'un LVR de classe B, le gain typique est 17 dBi).

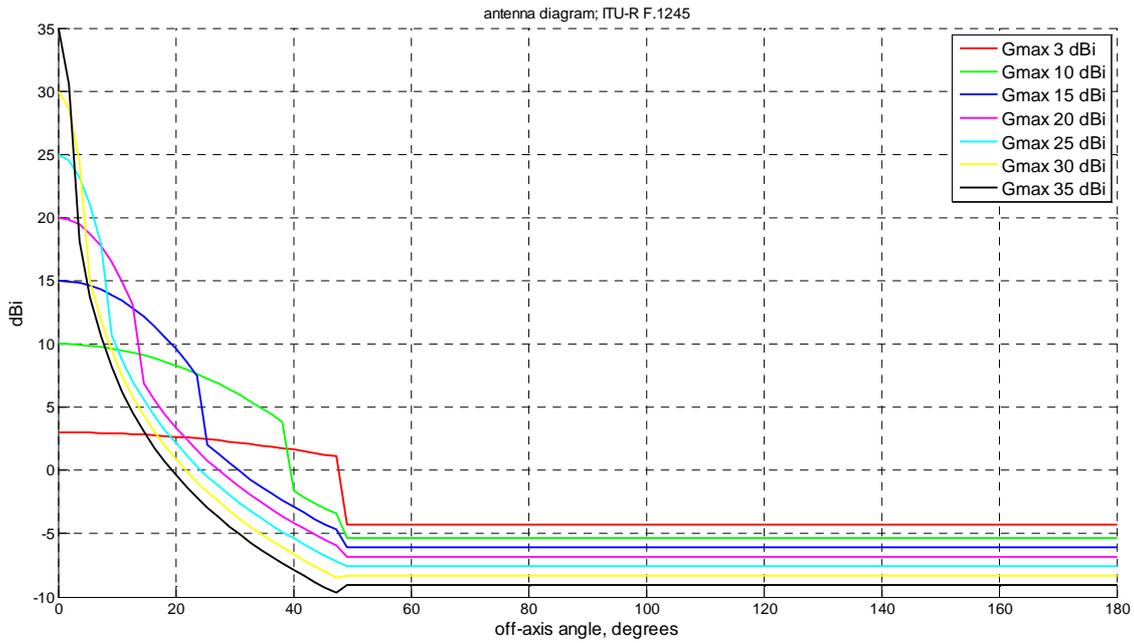


Figure 51. Diagrammes d’antenne, Recommandation ITU-R F.1245

- Le terminal LTE peut être placé dans n’importe quelle direction par rapport à la LVR, de façon que l’azimut de pointage de l’antenne de la LVR par rapport au LTE UE soit une variable aléatoire avec distribution uniforme
- Pour simplifier l’analyse, la séparation angulaire dans le plan vertical a été négligée
- Dans tous les cas le modèle de propagation est espace libre
- La performance des récepteurs face au blocage est celle indiquée dans le Tableau 9.

Les figures suivantes montrent les résultats pour les différentes classes de LVR (A1, A2, A3,B, C) :

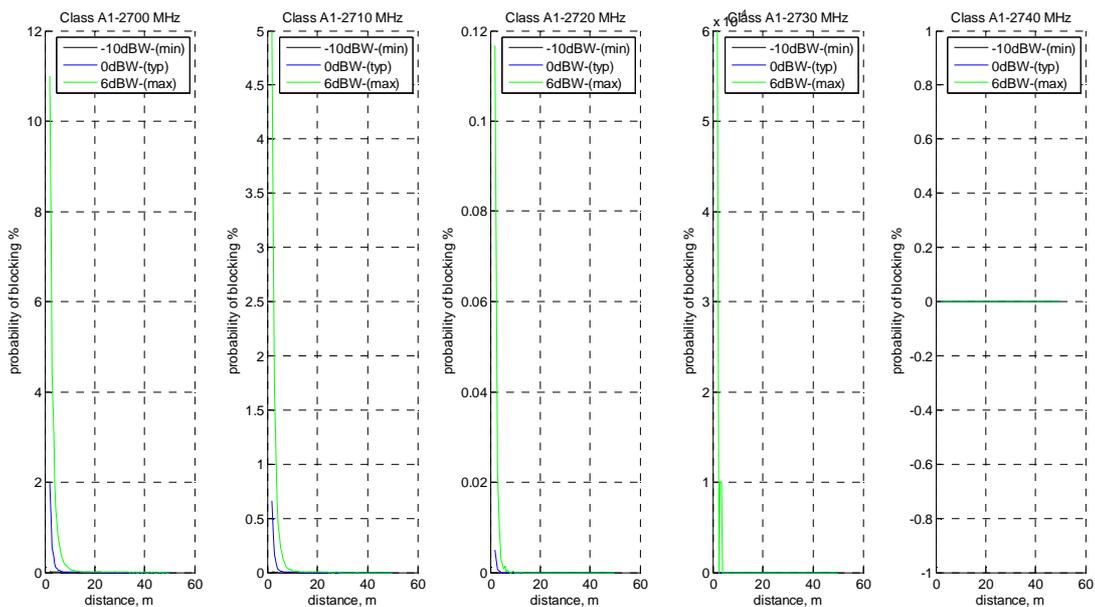


Figure 52. Classe A1, Scenario 3, blocking

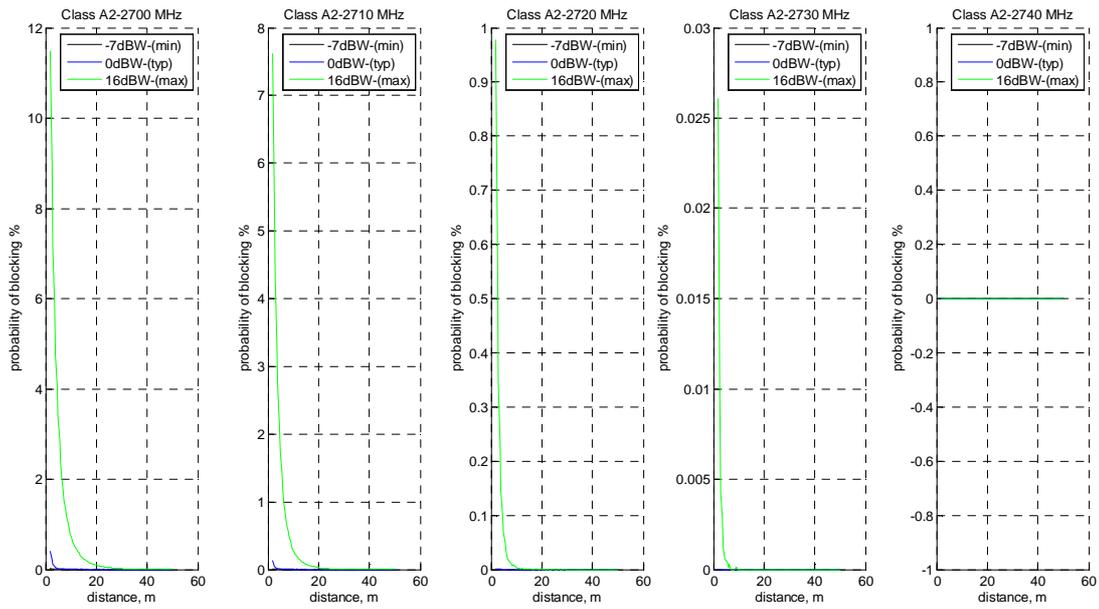


Figure 53 Classe A2, Scenario 3, blocking

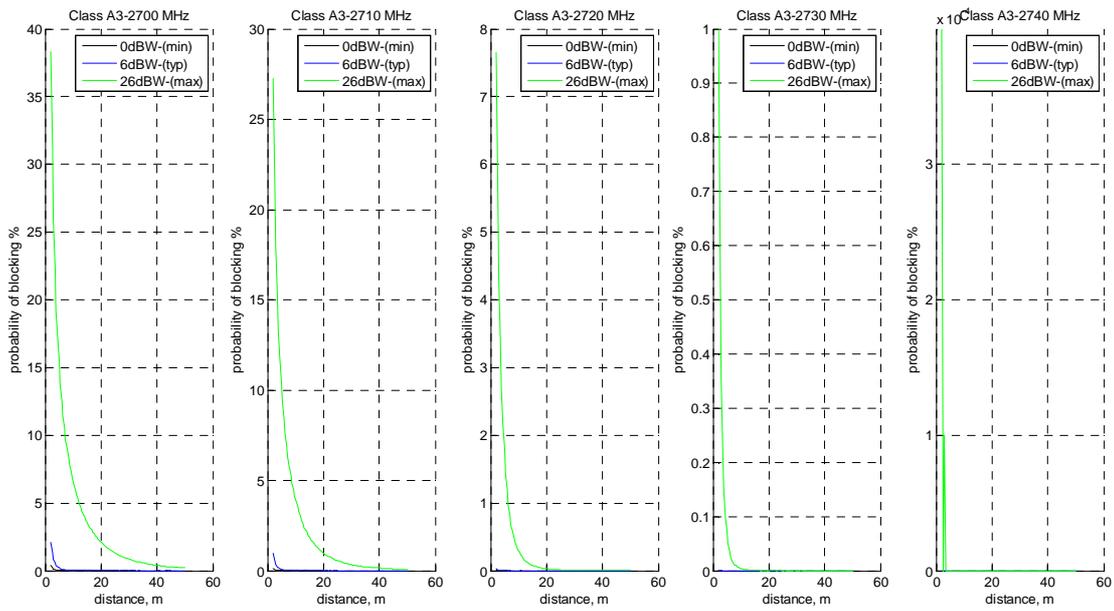


Figure 54. Classe A3, Scenario 3, blocking

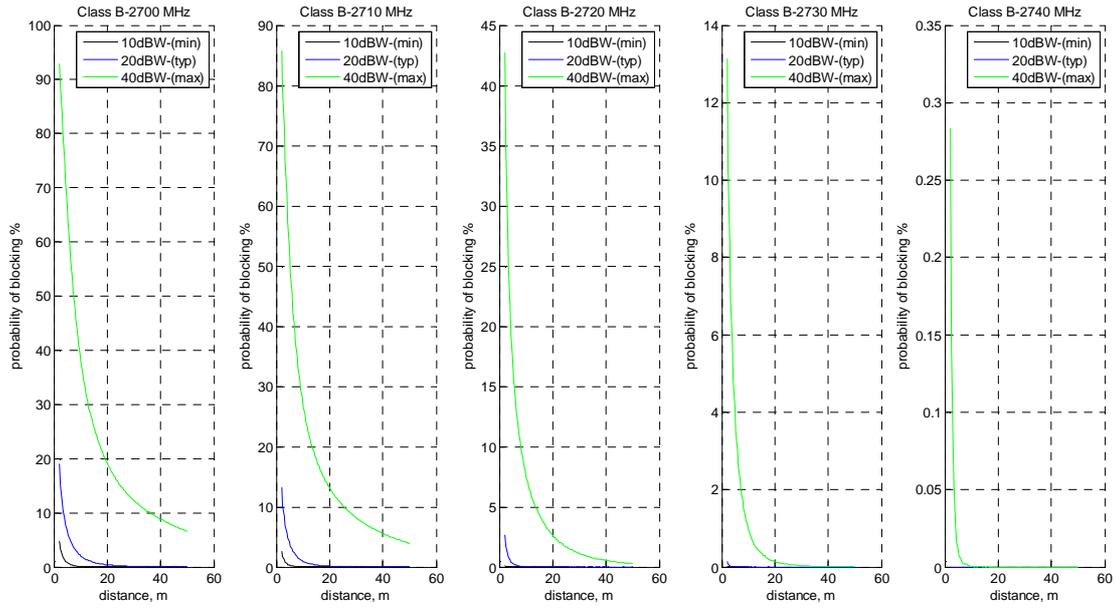


Figure 55. Classe B, Scenario 3, blocking

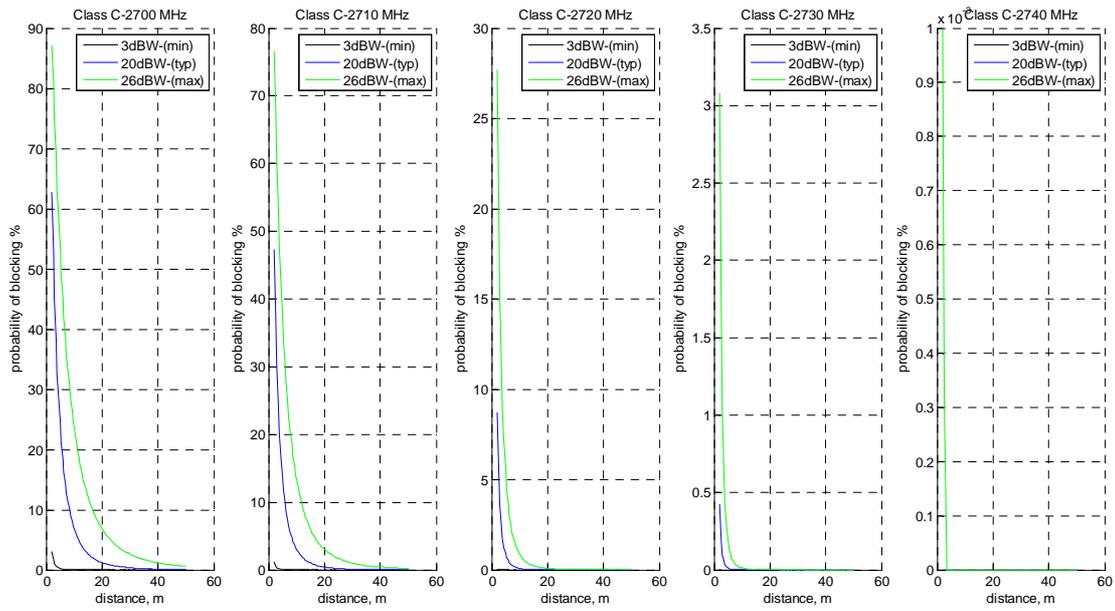


Figure 56. Classe C, Scenario 3, blocking

ANNEXE 4. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE LTE vers LVR

Dans les calculs les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Le data-link est configuré pour avoir une disponibilité de réception de 99.99%, ce qui correspond à 0.36 secondes de « data loss » par heure, une valeur compatible avec des applications de vidéo reportage professionnelles.
- Le récepteur a un facteur de bruit $F= 5$ dB, sur une bande de 7.6 MHz (portion utile du canal DVB-T). On ne considère pas de perte entre l'antenne et le récepteur. Cela donne : $KTBF= -100$ dBm.
- Le récepteur LVR reçoit un signal 16 QAM 1/2, sur un canal Rayleigh, qui nécessite donc un C/N de 17.2 dB.
- On suppose un fading log-normale, avec un $\sigma = 8$ dB. Donc comme le percentile normal pour $p=99.99\%$ est égal à $\mu=3.7218$, on peut considérer que le signal reçu au démodulateur aura une valeur moyenne égale à $KTBF+ \mu*\sigma+C/N = -100 + 3.7218*8+18.5= -59$ dBm.
- Concernant la station de base de LTE, les cas suivants sont considérés :
 - Un cas « typique » où la station de base transmet avec une PIRE de 46 dBm dans la direction de gain maximum de l'antenne, sur un canal de 10 MHz.
 - Un « pire » cas, qui correspond à une émission (PIRE) de 61 dBm sur 5 MHz. Cela correspond à la note 5 du Tableau 1 du Rapport ECC 174 et au Tableau 2 (« specific requirements ») de la Décision européenne 2008/477/EC.
 - Les émissions hors bande de la BS LTE utilisées pour le calcul sont de -30 dBm/MHz (limite de la norme).
 - Le diagramme de rayonnement de l'antenne de la BS est conforme à la Recommandation **ITU-R F-1336** (cas « *typical antenna* »). Le tilt est de 5° et la hauteur de la station de base sur le terrain est de 30 m. On considère une antenne sectorielle de 120° , dont le gain est de 18 dBi. La Figure 57 montre le diagramme d'antenne.
- Le modèle de propagation est l'espace libre, afin de simuler le pire cas.

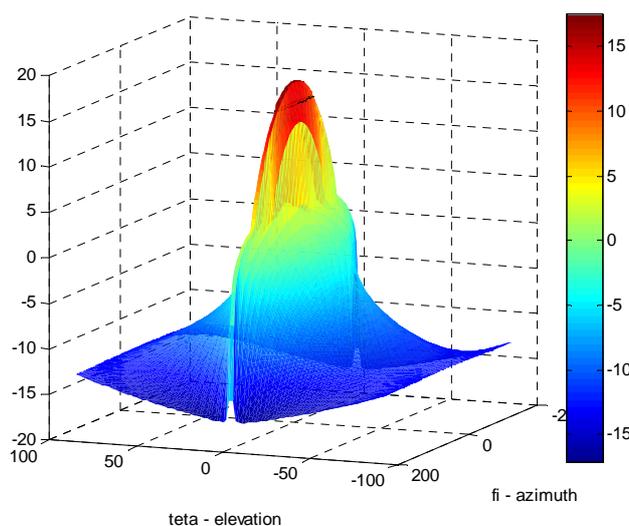


Figure 57. Exemple d'enveloppe du diagramme d'antenne, BS LTE. $f=2.8$ GHz, down tilt = 10° , ouverture = 120°

L'étude est conduite à travers une simulation Monte Carlo, selon la procédure suivante :

- Le récepteur LVR est placé dans une position déterminée aléatoirement, dans un secteur donné de la BS (donc dans $\pm 60^\circ$ de azimuth). Le tirage des positions est fait de façon à ce que la densité de probabilité soit uniforme en espace. La figure suivante montre la distribution des récepteurs LVR par rapport à la BS LTE.

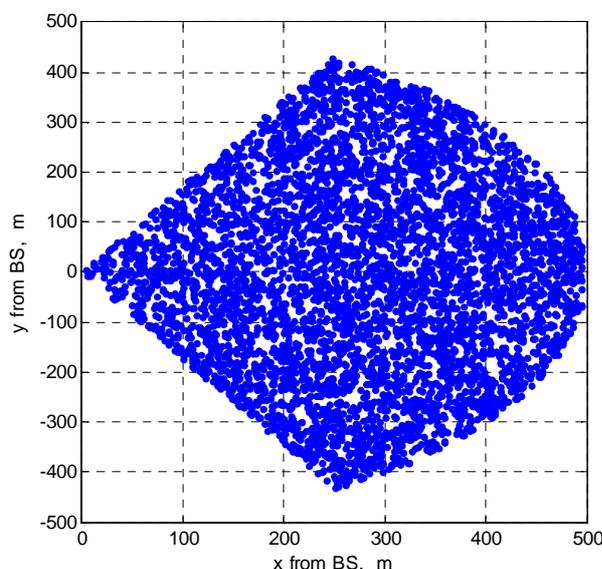


Figure 58. Tirage aléatoire du RX LVR dans un secteur donné de la BS

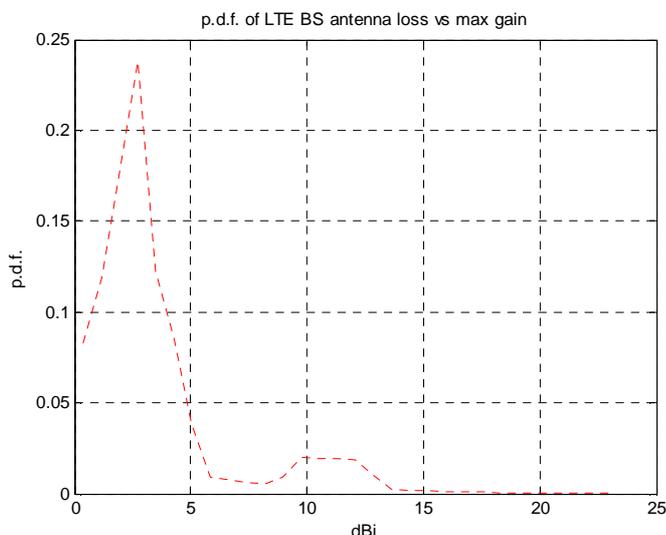


Figure 59. Densité de probabilité, pour des récepteurs LVR distribués comme en Figure 58, de la réduction du gain de la BS en direction du LVR, par rapport à son gain maximal (gain back-off)

- Dans le cas où l'antenne du LVR n'est pas directive (classe B), les deux hypothèses différentes suivantes sont considérées et étudiées :
 - Antenne du LVR de classe B pointée en direction de la LVR. Cela correspond évidemment au pire cas. Si la compatibilité est obtenue, pour une distance donnée, avec cette hypothèse, il n'y aura pas de contrainte supplémentaire dans l'installation des LVR de classe B par rapport aux stations de base LTE.
 - Antenne LVR classe B pointée dans une direction qui fait un angle de 45° par rapport à la ligne entre le LVR et la station de base. Cela correspond à l'hypothèse que la liaison LVR,

pour pouvoir être installée et opérée, nécessite un choix du site de façon que l'antenne de réception LVR ne vise pas une station de base en proximité. Selon la Recommandation ITU-R F.1245, pour une antenne de gain 17dBi, le gain pour un dépointage de 45° est -4.6 dBi.

- La puissance d'émission de la station de base est aussi tirée de façon aléatoire en accord avec la distribution décrite précédemment.

Les critères de protection des LVR sont décrits au paragraphe 2.3.

6.1.4 Blocking

Les cas suivants ont été considérés:

Tableau 26

<i>Parametres</i>	<i>Valeur</i>	<i>Remarques</i>
PIRE BS	61 dBm/5MHz	<i>Pire cas</i>
Valeur de blocage	44 dB	<i>Pire cas, valeur à la limite de la norme</i>
Modèle de propagation	Espace libre	<i>Pire cas</i>
Pointage antenne	Antenne LVR classe B vers la BS LTE	<i>Pire cas</i>

Tableau 27

<i>Parametres</i>	<i>Valeur</i>	<i>Remarques</i>
PIRE BS	61 dBm/5MHz	<i>Pire cas</i>
Valeur de blocage	55 dB	<i>Valeur réelle</i>
Modèle de propagation	Espace libre	<i>Pire cas</i>
Pointage antenne	Antenne LVR classe B dépointée de 45° par rapport à la BS LTE	<i>Contrainte opérationnelle sur le choix du site LVR</i>

Tableau 28

<i>Parametres</i>	<i>Valeur</i>	<i>Remarques</i>
PIRE BS	46 dBm/10MHz	<i>Valeur moyenne</i>
Valeur de blocage	55 dB	<i>Valeur réelle</i>
Modèle de propagation	Espace libre	<i>Pire cas</i>
Pointage antenne	Antenne LVR classe B dépointée de 45° par rapport à la BS LTE	<i>Contrainte opérationnelle sur le choix du site LVR</i>

La figure suivante montre la probabilité de blocage en fonction de la distance dans le scénario décrit dans le Tableau 27.

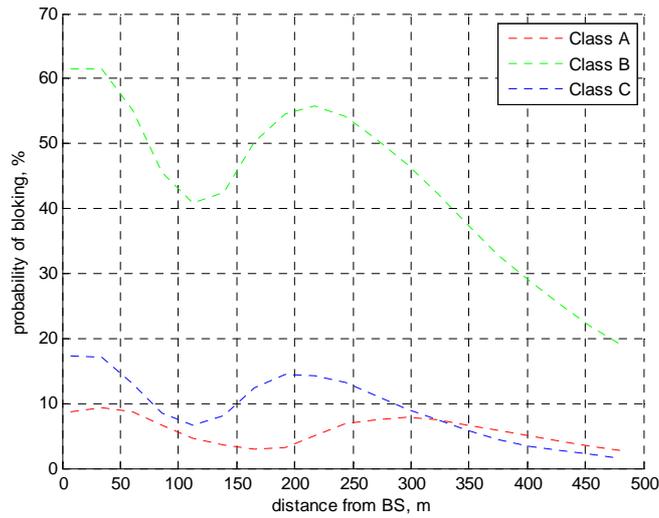


Figure 60 Probabilité de blocage (scenario en Tableau 24)

La figure suivante montre la probabilité de blocage en fonction de la distance dans le scenario décrit dans Tableau 28.

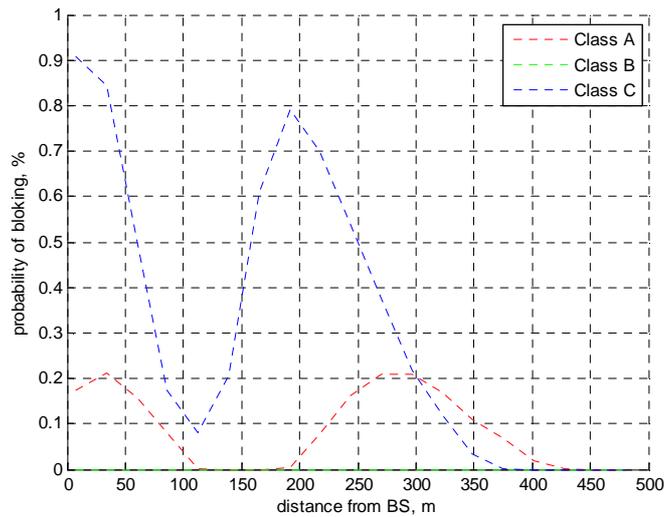


Figure 61. Probabilité de blocage (scenario en Tableau 25)

La figure suivante montre la probabilité de blocage en fonction de la distance dans le scenario décrit dans Tableau 29.

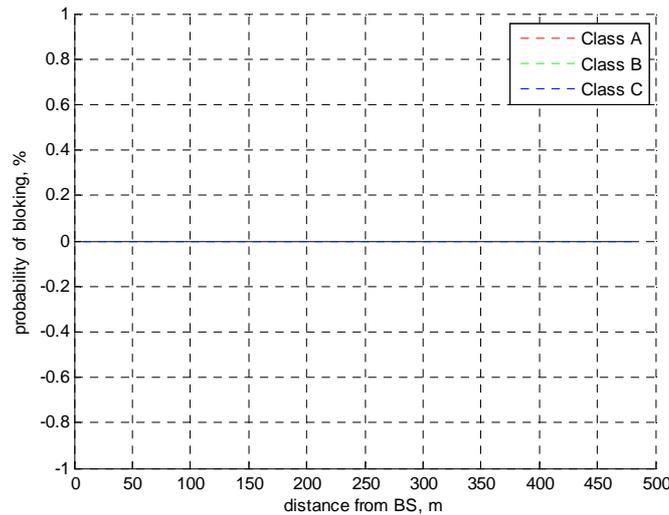


Figure 62 Probabilité de blocage (scenario en Tableau 26)

L'analyse des figures indique que dans des cas réels, la probabilité de blocage due à la BS LTE est très faible.

6.1.5 C/I

Concernant le C/I, avec les hypothèses suivantes

- Espace libre
- Antenne LVR toujours pointée vers la station de base LTE

On obtient alors les résultats suivants:

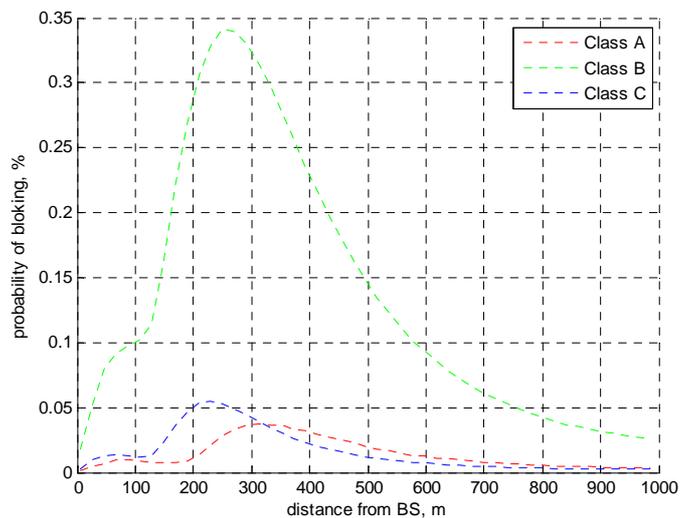


Figure 63

La figure montre que la probabilité d'interférence est négligeable.

ANNEXE 5. ANALYSE DU PARTAGE EN BANDE ADJACENTE. LVR CLASSE C VERS RADARS

LVR de classe C vs radar maritime défense

Les trois figures suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe C, en fonction de sa puissance, et un radar maritime défense, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 de la LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

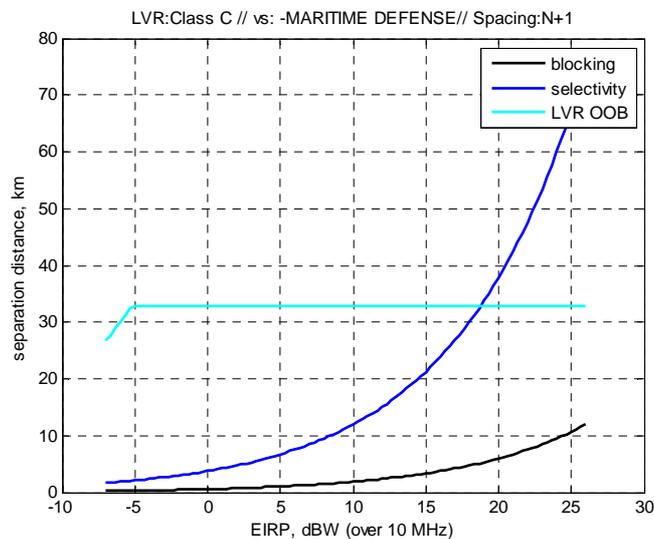


Figure 64

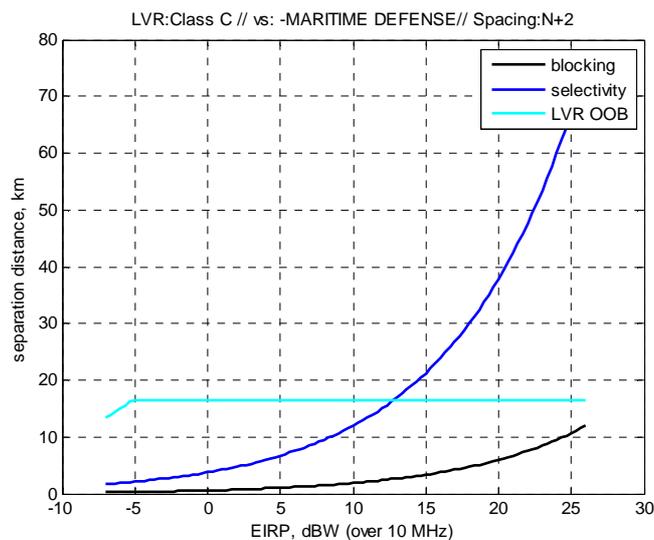


Figure 65

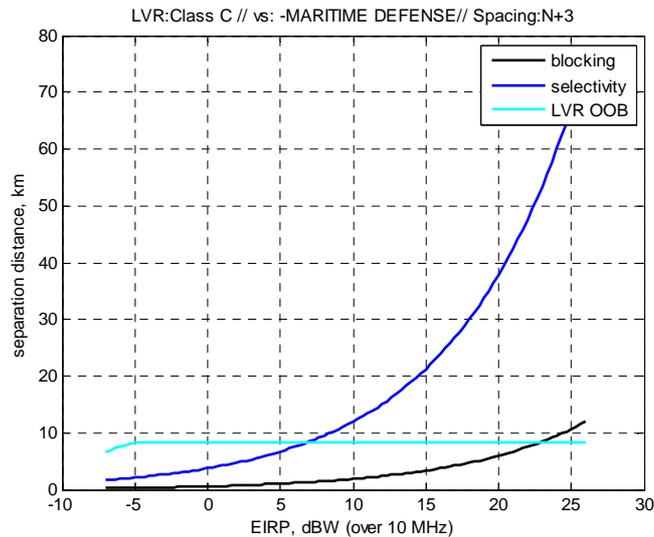


Figure 66

LVR de classe C vs radar ATC

Les trois figures suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe C, en fonction de sa puissance, et un radar ATC, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 de la LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

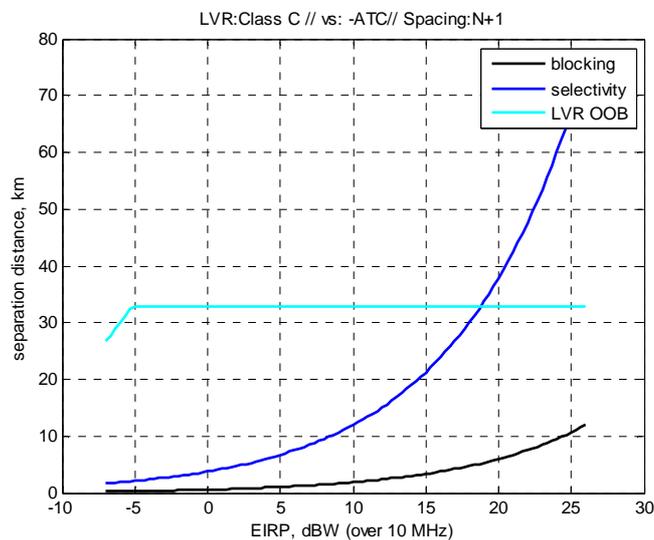


Figure 67

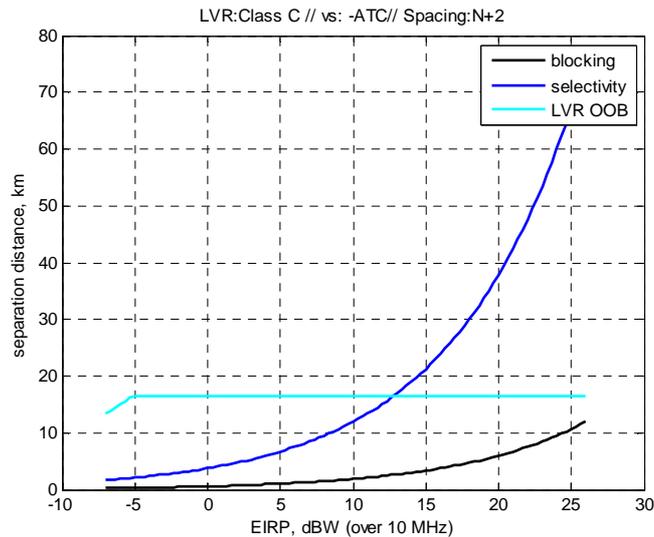


Figure 68

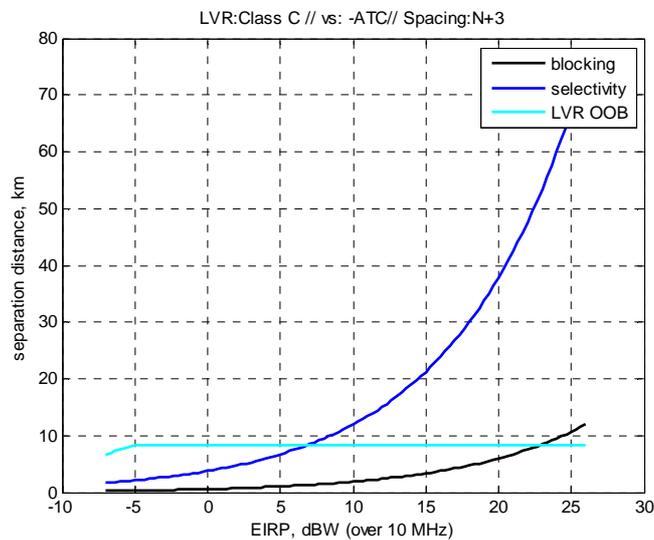


Figure 69

LVR de classe C vs radar METEO

Les trois figures suivantes indiquent les distances de séparation entre un LVR de classe C, en fonction de sa puissance, et un radar Météo, lorsque la bande de réception du radar tombe, respectivement, dans le canal N+1, N+2 et N+3 de la LVR qui opère dans le canal N.

A noter que chaque figure indique trois courbes indépendantes, une pour chacun des trois phénomènes d'interférence indiqués. Les courbes liées à la sélectivité du récepteur radar sont basées sur l'hypothèse que le canal N se trouve à un écart fréquentiel tel que la valeur de 60 dB de réjection du filtre du radar soit atteinte. Pour chacune des trois figures, la distance de protection du radar correspond à la distance qui assure la protection en même temps par rapport aux trois phénomènes d'interférence et donc à la valeur maximale des trois courbes.

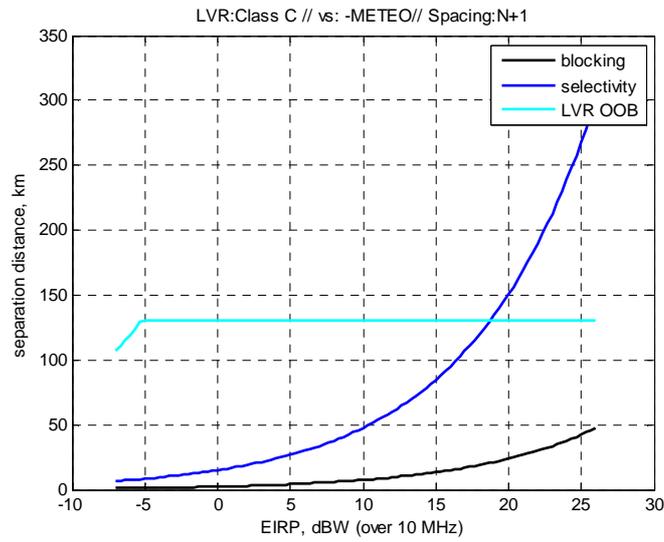


Figure 70

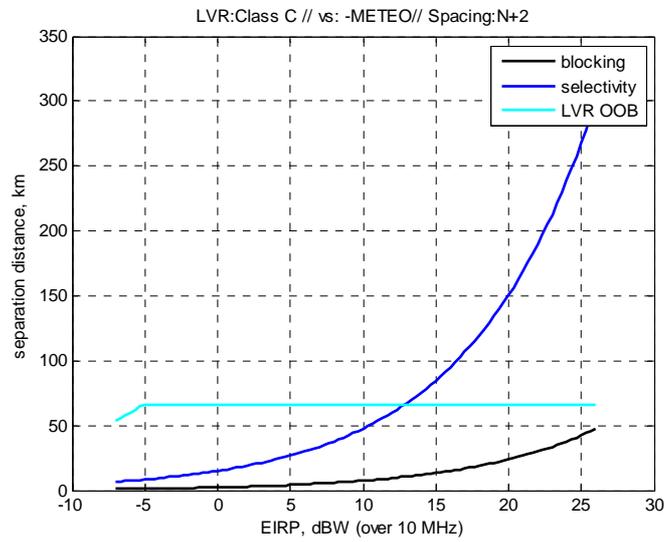


Figure 71

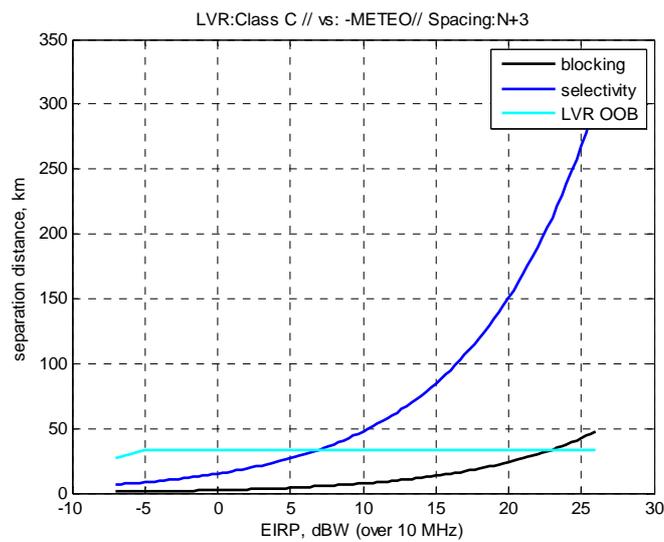


Figure 72

ANNEXE 6 EXEMPLE DE CALCUL DE ZONE D'EXCLUSION POUR UN RADAR

La figure suivante montre la zone d'exclusion d'un radar défense, pour un scénario de simulation décrit dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 29

Paramètre	Valeur
Scénario	Cocanal
Critère de protection	$P_{int} \leq -109 \text{ dBm}$ (desensitisation)
Gain antenne radar	45 dBi
Hauteur antenne radar	10 m
Polarisation du radar	Horizontale
Pire LVR	36 dBm
Hauteur d'antenne LVR	1.5 m
Fréquence	2850 MHz

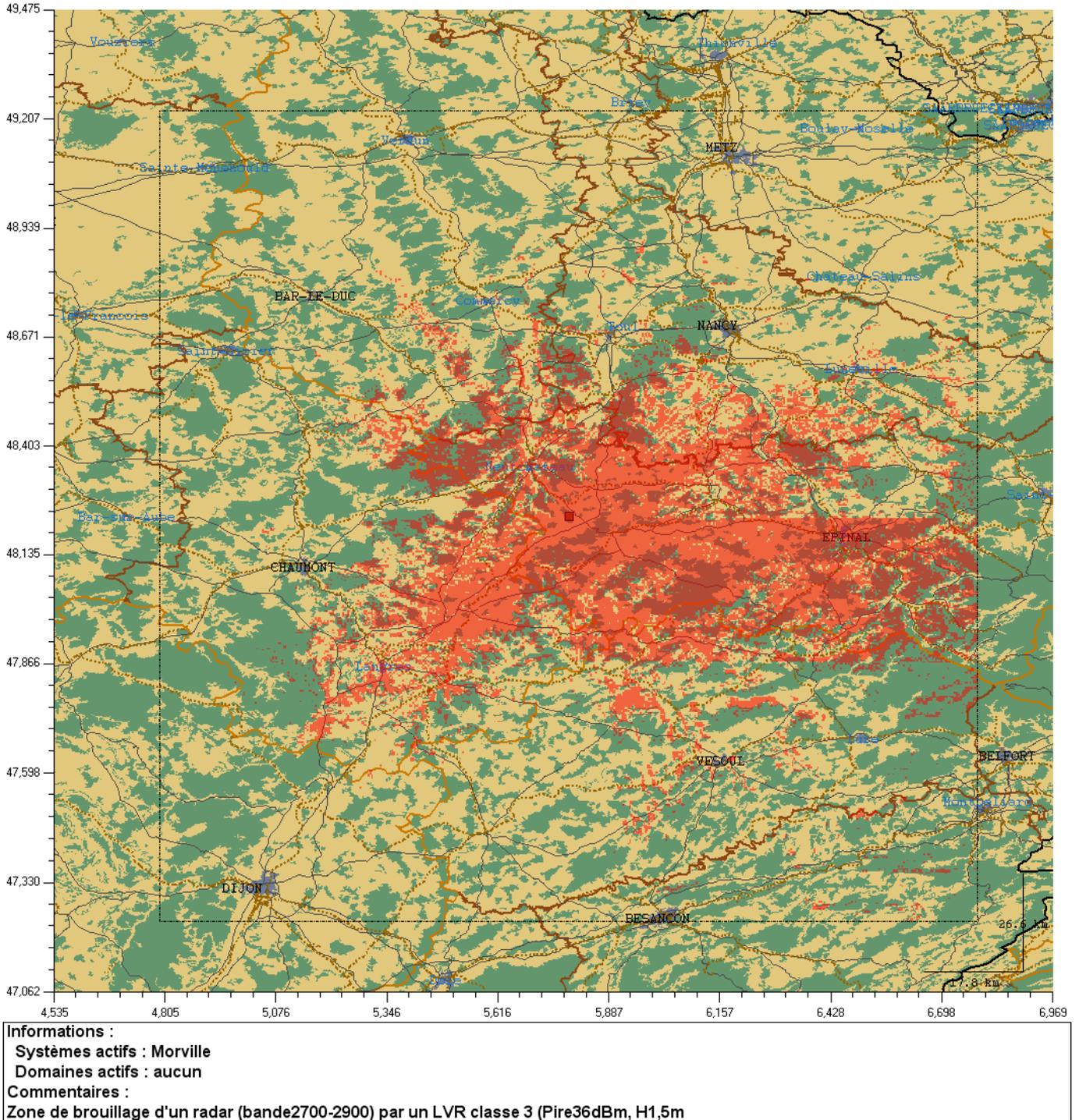


Figure 73

La figure 74 montre la zone d'exclusion afin d'éviter le blocking pour un radar, avec les mêmes paramètres indiqués que ceux du Tableau 29. On y voit clairement l'effet du relief sur la zone d'exclusion.

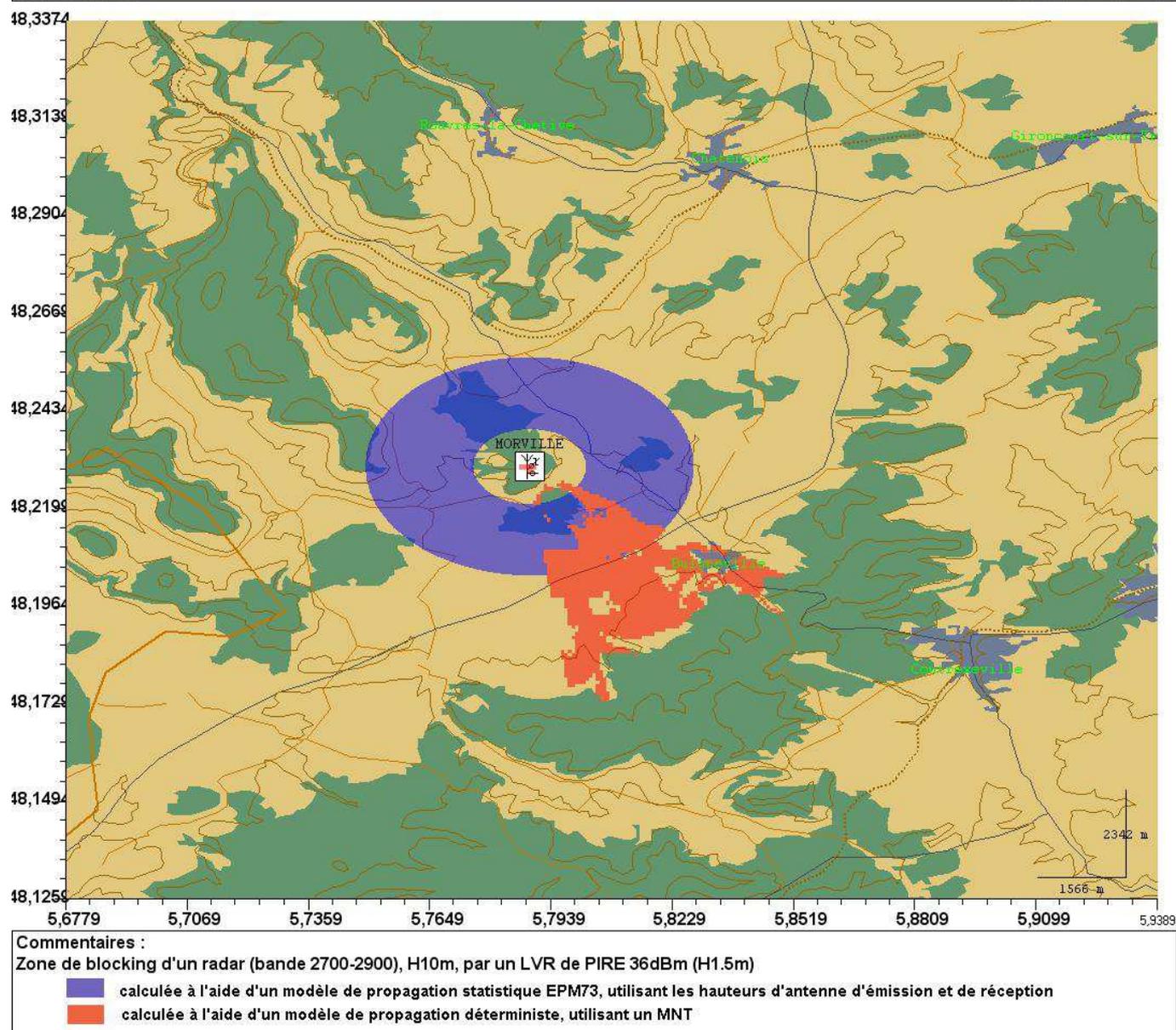


Figure 74. Zone d'exclusion due au blocking

La Figure 75 montre la zone d'exclusion du même radar pour une LVR de 0 dBW de P.I.R.E :

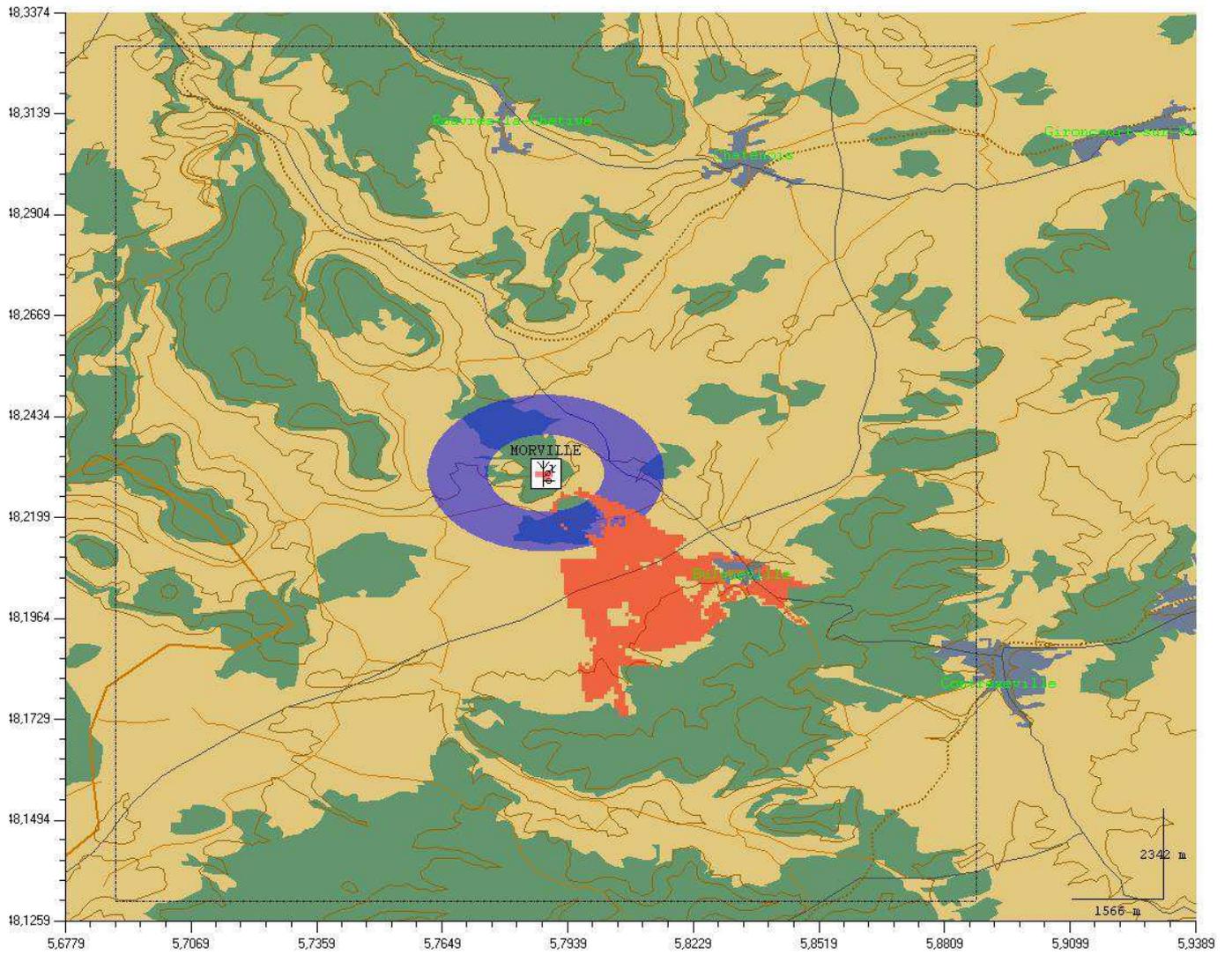


Figure 75