



Agence Nationale des Fréquences

Commission de compatibilité électromagnétique

Rapport CCE(14)02

Rapport sur la coexistence en bande adjacente entre les stations terriennes du service mobile par satellite (Terre-vers-espace) opérant dans la bande 1670-1675 MHz et les radiotélescopes des sites de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux opérant en deçà de 1670 MHz

Rapport approuvé par la CCE du 8 septembre 2014

Rapport sur la coexistence en bande adjacente entre les stations terriennes du service mobile par satellite (Terre vers espace) opérant dans la bande 1670-1675 MHz et les radiotélescopes des sites de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux opérant en deçà de 1670 MHz

1. Introduction

La CMR-03 a attribué mondialement au service mobile par satellite (SMS) les bandes 1518-1525 MHz et 1668-1675 MHz. Compte-tenu de l'impossibilité de partage co-fréquence entre ce service et le service de radioastronomie et d'une utilisation intensive de la bande 1668-1670 MHz par le service de radioastronomie dans les pays de la CEPT, la Décision ECC/DEC/(04)09 ne désigne que la bande 1670-1675 MHz pour le SMS (Terre vers espace).

L'ARCEP ayant reçu une demande d'autorisation de l'opérateur Inmarsat pour permettre à ce dernier d'utiliser cette bande de fréquence, elle a demandé à la Commission Consultative de la Compatibilité Electromagnétique de l'ANFR d'analyser, au niveau national, les modalités de coexistence en bande adjacente autour de 1670 MHz entre le SMS (Terre vers espace) et la radioastronomie. C'est donc l'objet du présent rapport.

A partir des résultats de ces études, deux recommandations sont proposées afin d'assurer la coexistence entre les terminaux du service mobile par satellite et les radiotélescopes des sites de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux.

2. Caractéristiques de la radioastronomie

2.1 Caractéristiques du site de radioastronomie de Nançay

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

Les bandes proches sous 1670 MHz utilisées par les stations du site de Nançay sont 1610.6-1613.8 MHz et 1660-1670 MHz où le service de radioastronomie est primaire et protégé par les notes 5.149 et 5.379C du Règlement des Radiocommunications pour la sous-bande 1668-1670MHz.

Le radiotélescope de Nançay est relativement unique en son genre puisqu'il fait partie à la fois des 7 structures mondiales de classe 100m tout en ne présentant pas de configuration parabolique.

Sa configuration particulière à base de deux miroirs, face à face, distant de plus de 100m (l'un fixe et l'autre mobile) lui confère des lobes latéraux et arrières particuliers et relativement difficiles à caractériser. La hauteur de l'axe de rotation des miroirs est estimée à 21 m (dans l'axe Nord-Sud) et est considérée comme hauteur moyenne de l'antenne.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne du radiotélescope (habituellement considéré comme omnidirectionnelle dans les recommandations et notamment dans l'**ITU RA.769-2**) est pris ici, à la demande d'Inmarsat, dans les simulations, au plus proche de la réalité.

Tableau 1 : Tableau indicatif des gains théoriques (En champ lointain) estimatifs du radiotélescope
décimétrique pour des émetteurs terrestres (juillet 2013)

Direction	Azimut	Type de gain donné	Hauteur antenne H (m)	Gain (dB) @ 1.6 GHz	Gain (dB) @ 2.6 GHz
Nord = $\pm 10^\circ$	350 - 10	- Focalisation dans le miroir sphérique après traversée du miroir plan - Gain du télescope en champ lointain - H correspond à l'axe du miroir plan	22	10	11
Nord = $\pm 10^\circ$ à $\pm 20^\circ$	340 - 350 et 10 - 20	- Zone de transition indéterminée - Le gain global correspond à du gain diffus et du gain focalisé du télescope en champ lointain. Par convention avec UIT-R RA.769, on prendra 0dB. - H correspond à l'axe du miroir plan	22	0	0
Sud = $180^\circ \pm 30^\circ$	150 - 210	- Gain du système focal après traversée du miroir sphérique - H correspond au centre du miroir parabolique bas du système focal	4	11	13.5
Sud = $180^\circ \pm 30^\circ$ à $180^\circ \pm 60^\circ$	120 - 150 et 210 - 240	- Zone de transition indéterminée - Le gain global correspond à du gain diffus et du gain focalisé du télescope en champ lointain. Par convention avec UIT-R RA.769, on prendra 0dB. - H correspond à l'axe du miroir plan	22	0	0
Ouest = $270^\circ \pm 30^\circ$	240 - 340	- Le gain correspond à la moitié du gain diffus du télescope en champ lointain - H correspond à la hauteur moyenne du gain du télescope en champ lointain	22	-1.5	-1.5
Est = $90^\circ \pm 30^\circ$	20 - 120	- Le gain correspond à la moitié du gain diffus du télescope en champ lointain - H correspond à la hauteur moyenne du gain du télescope en champ lointain	22	-1.5	-1.5

Il convient de souligner que la station de radioastronomie de Nançay est située dans une zone géographique totalement dénuée de relief, ce qui a pour conséquence de limiter considérablement sa protection par diffraction des signaux générateurs d'interférences. Les valeurs mentionnées dans le tableau sont celles valables en champ lointain. Pour des émetteurs aériens le gain du radiotélescope est de 0dBi

2.2 Caractéristiques du site de radioastronomie de Bordeaux

Le site de radioastronomie est localisé $00^\circ 31' 36''$ W et $44^\circ 50' 07''$ N (d m s).

Le radiotélescope concerné est le Wurzburg. Il est constitué d'une antenne parabolique de 7.5 mètres avec un gain de 39 dBi @1.7 GHz (HPBW = 2.7°). Son diagramme de rayonnement peut être assimilé à celui de la Recommandation **ITU-R SA.509-2**. On considère dans l'étude que l'azimut et l'élévation du radiotélescope peuvent évoluer respectivement de 90° à 270° (0° représentant le Nord) et de 5° à 110° . Lors de l'étude l'orientation de l'antenne en élévation et en azimut est prise de façon totalement aléatoire.

Ce radiotélescope mesure les fréquences suivantes : 1400-1427 MHz / 1610.6-1613.8 MHz / 1660-1670 MHz et 1718.8-1722.2 MHz. La température de son récepteur est de 400 K (voir Tableau 6 pour l'estimation de sa sensibilité).

2.3 Caractéristiques des bandes passives mesurées

La bande, dont il est question dans cette étude 1660-1670 MHz est sujette à l'application du **No. 5.149** du **RR** et le service de radioastronomie y a le statut primaire. Cette bande est liée à l'observation du radical OH. Son observation se fait, sur les sites de Nançay et de Bordeaux, aussi bien en raie spectrale, qu'en continuum. Il convient donc que cette étude tienne compte des deux critères.

2.4 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 les tableaux 1 et 2 de cette Recommandation.

Tableau 2 : Caractéristiques de la bande 1660-1670 MHz – Continuum (CO) & Raie spectrale (SLO)

	Centre Frequency (MHz)	Assumed Bandwidth (MHz)	Minimum Noise Temperature (K)	Receiver Noise Temp. (K)	Temp. (mK)	Power Spectral Density dB(W/Hz)	Input Power (dBW/dBm)	Power Flux Density (dB(W/m ²))
CO	1665	10	12	10	0.16	-267	-207	-181
SLO	1665	0.02	12	10	3.48	-253	-220	-194

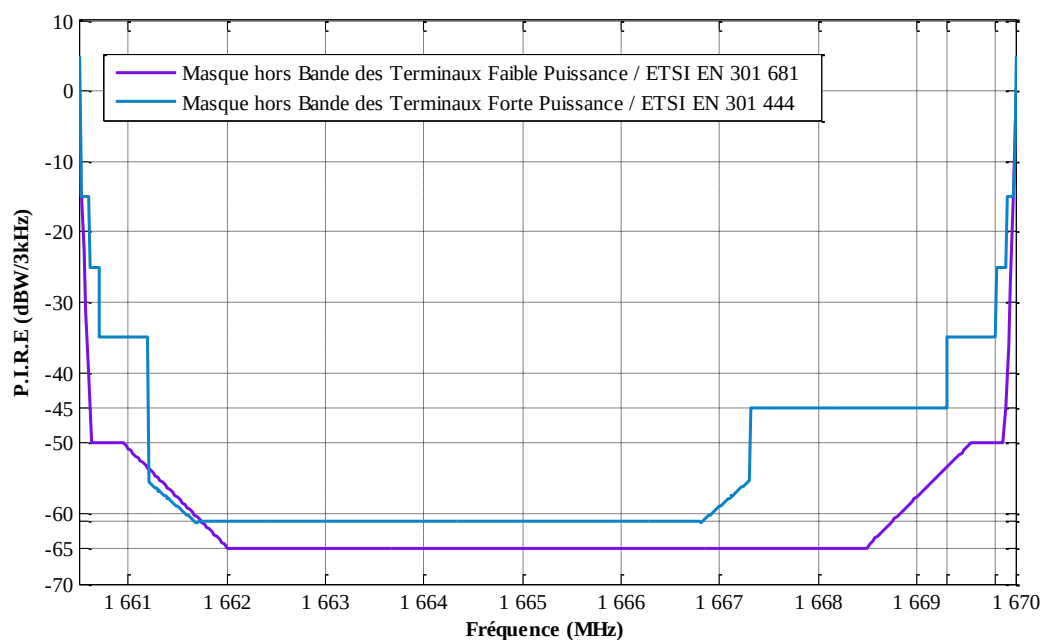
Dans la pratique, selon la Recommandation **ITU-R RA.1513**, un système brouilleur générant moins de 2% de perte de données pourrait être toléré. Toutefois les 2% du temps sont une interprétation du critère réel qui définit en fait que la tolérance est la perte de 2% (**ITU-R RA.1513**) des paquets (ou échantillons) de 2000s (**ITU-R RA. 769-2**). La première interprétation est communément employée dans les études de type déterministe, alors que la seconde est plus utilisée dans des simulations présentant une notion temporelle. C'est cette dernière qui sera utilisée dans cette étude.

3. Définition des caractéristiques du SMS dans le cas d'étude hors bande

3.1 Niveau hors bande

Les niveaux d'émissions hors-bande (1660.5 – 1670MHz) pour les terminaux SMS sont issus des normes ETSI EN 301 681 (Terminaux à faible puissance ayant une P.I.R.E maximale inférieure ou égale à 15 dBW) et ETSI EN 301 444 (Terminaux à forte puissance, ayant une P.I.R.E maximale supérieure à 15 dBW). Les terminaux, définis dans les deux normes précédentes, émettent dans le sens Terre vers espace dans les bandes 1 626,5 – 1 660,5 MHz (bande L « standard ») et 1 668,0 – 1 675,0 MHz (bande L « étendue »). Les émissions hors-bandes maximales générées dans la bande 1 660-1670 sont définies dans la figure 1.

FIGURE 1
Émissions hors bande des terminaux du SMS

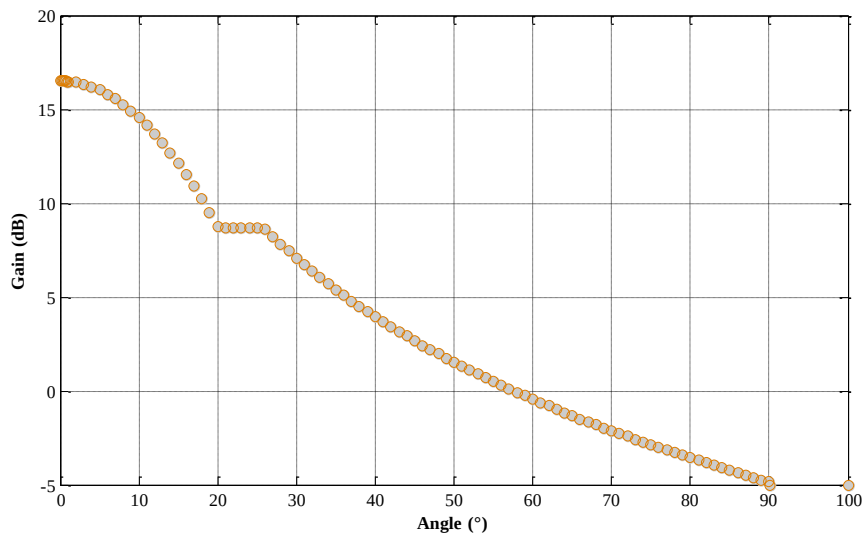


L'étude considère 5 types de terminaux, nommés respectivement (A/C – A & C diffèrent uniquement par la dimension de leur canaux), B, Aero1 et Aero2. Le tableau suivant résume les types de terminaux et quelque unes de leurs caractéristiques. Le comportement hors bande des terminaux B & (A/C) sont représentés par la Figure 1. La section 9.2.1 de l'EN 301 473 donne les valeurs d'émission non désirée maximales autorisées aux terminaux aéronautiques (type Aero1). La puissance à l'entrée de l'antenne est de -49.5.dBW/20kHz (soit -22.5dBW/10MHz ou -25.5 dBW/5MHz) pour les terminaux mono porteuse (type A1 – Note 4 du tableau 16 EN 301 473) et elle devient -22.5.dBW/20kHz (soit +4.5 dBW/10MHz ou +1.5 dBW/5MHz) dans le cas des terminaux multi porteuses (Type Aero2 – Note 5 du tableau 16 EN 301 473). Les valeurs données pour les terminaux Aero1 et Aero2 sont indépendantes de la largeur de la bande de garde. Le tableau 3 montre clairement que les terminaux de type B sont directionnels. Le diagramme de rayonnement de leur antenne est donné par la Figure 2.

Tableau 3 : Type de Terminaux

Type	Localisation	Détail	Canalisation	Gain (dB)	PIRE max in band (dBW)
Aero 1	Aéronautique	/	25x200 kHz	-10	X
Aero 2	Aéronautique	/	25x200 kHz	-10	X
A	Terrestre	Faible Puissance	25x200 kHz	0	3.5
B	Terrestre	Forte Puissance	25x200 kHz	16.5	21
C	Terrestre	Faible Puissance	50x100 kHz	0	3.5

FIGURE 2

Diagramme de Rayonnement des Terminaux Forte Puissance**3.2 Emissions hors bandes dans les bandes de réceptions de la radioastronomie**

Cette partie permet de connaître précisément les valeurs de puissances reçues dans la bande de radioastronomie par les terminaux de types, A, B ou C que ce soit lors des observations en raie spectrale (20 kHz) de bande ou en continuum (10 MHz). Les méthodologies de calcul sont relativement simples.

- Dans le cas de la raie spectrale, la puissance est calculée sur une bande de 20 kHz sur les masques de la Figure 1 (pour B et C) dans les zones les plus critiques, au plus proche de 1670 MHz. Par exemple s'il l'on considère 700 kHz de bande garde, la puissance prise en compte dans 20 kHz est celle juste à proximité de la fin de la bande de garde. Le tableau 4 présente les résultats pour les différents terminaux (Aero1, Aero2, A, B & C).
- Dans le cas du continuum, la puissance calculée est une puissance moyenne sur la bande la plus large connue. Ici on considère la bande de 5 MHz supérieure (1665-1670 MHz) pour estimer la puissance hors bande provenant des terminaux fonctionnant en bande L étendue (1670-1675 MHz). La moyenne de cette puissance, bien entendu doit se faire en linéaire. Le tableau 5 présente les résultats pour les différents terminaux (A, B, C, Aero1, Aero2) et différents canaux utilisés par ces terminaux. L'étude tolère toutefois que 50% des canaux les plus éloignés de la bande passive présente une atténuation supplémentaire de 6 dB. Du fait que les valeurs pour Aero1 et Aero2 sont indépendantes de la bande de garde, on en déduit donc qu'elles sont constantes sur toute la bande et donc, qu'une simple conversion dans la bande réarrangée du continuum (5 MHz) suffit à évaluer la moyenne de leur puissance. Dans le cas des terminaux de type C (faible puissance, canaux de 50 kHz), les valeurs de PIRE sont arrondies tous les 200 kHz.

Tableau 4: PIRE hors bande des différents canaux pour des différents terminaux dans la bande de RST lors des mesures en continuum. Valeurs calculées pour **700 kHz de bande de garde**.

Type	Canaux	Bande (MHz)	PIRE max (dBW/5000 MHz)	PIRE max dans 1669.8-1670 MHz (dBW)	Atténuations supplémentaires (dB)
A	Canal 1	1670.7 - 1670.9	-31.21	-46.76	0
	Canal 2	1670.9 - 1671.1	-31.55	-49.26	0
	Canal 3	1671.1 - 1671.3	-31.92	-52.26	0
	Canal 4	1671.3 - 1671.5	-32.33	-55.26	0
	Canal 5 - 10	1671.5 – 1672.7	-32.78	-56.76	0
	Canal 11 – 21	1672.7 – 1674.9	-32.78	-56.76	-6
B	Canal 1	1670.7 - 1670.9	-15.3	-36.8	0
	Canal 2	1670.9 - 1671.1	-15.3	-36.8	0
	Canal 3	1671.1 - 1671.3	-15.3	-36.8	0
	Canal 4	1671.3 - 1671.5	-15.3	-36.8	0
	Canal 5	1671.5 - 1671.7	-15.3	-36.8	0
	Canal 6	1671.7 – 1671.9	-15.3	-36.8	0
	Canal 7	1671.9 – 1672.1	-15.3	-36.8	0
	Canal 8	1672.1 – 1672.3	-15.3	-36.8	0
	Canal 9	1672.3 – 1672.5	-15.3	-36.8	0
	Canal 10	1672.5 – 1672.7	-15.3	-36.8	0
	Canal 11- 21	1672.7-1674.9	-15.3	-36.8	-6***
C**	Canal 1 - 4	1670.7 - 1670.9	-31.21	-46.76	0
	Canal 5 - 8	1670.9 - 1671.1	-31.55	-49.26	0
	Canal 9 - 12	1671.1 - 1671.3	-31.92	-52.26	0
	Canal 13 - 16	1671.3 - 1671.5	-32.33	-55.26	0
	Canal 17 - 40	1671.5 – 1672.7	-32.78	-56.76	0
	Canal 41 - 86	1672.7 - 1675	-32.78	-56.76	-6
Aero1	Canal 1-10	1670.7 - 1672.7	-35.5*	-59.5*	0
	Canal 11-21	1672.7-1674.9	-35.5*	-59.5*	-6
Aero2	Canal 1-10	1670.7 - 1672.7	-8.5*	-32.5*	0
	Canal 11-21	1672.7-1674.9	-8.5*	-32.5*	-6
Note	* Les valeurs de PIRE données pour les terminaux de type Aero1 et Aero2 sont associées à un gain d'antenne de -10 dBi comme définit dans l'EN 301 473 ** Les valeurs de PIRE calculées pour les terminaux de type C sont arrondies tous les 200 kHz. *** 50% des canaux présentent une atténuation supplémentaire de 6 dB				

Il est bien entendu de rigueur dans le cas du continuum de ramener le critère de protection dans la bande réellement utilisée pour les calculs de puissances (ici 5MHz).

Si la bande de garde est différente de 700 KHz, alors les valeurs du tableau doivent être recalculées en prenant en compte la bande de garde réelle.

Le tableau 5 donne les valeurs précises du critère du continuum en fonction de la largeur de bande réelle pour les deux stations françaises de radioastronomie qui procèdent à des mesures dans la bande 1660-1670 MHz et qui présentent des températures de récepteur différentes.

Tableau 5: Valeur du critère du continuum en fonction de la bande réelle et de la température réelle du radiotélescope. Valeurs calculées sur la base des éléments de la Recommandation ITU-R RA.769 et de la température réelle des récepteurs.

Critère	Continuum dans 5 MHz	Raie Spectrale 20kHz
Continuum (RA. 769)	-210 dBW	-220 dBW
Nançay Continuum réel (35 K)	-208 dBW	-218 dBW
Bordeaux Continuum réel (400K)	-197.4 dBW	-207.4 dBW

Note sur le tableau 5 : Les valeurs sont ici calculées dans 5 MHz, mais **la bande d'observation de la radioastronomie est bien de 10 MHz avec un statut primaire**. Le calcul dans 5 MHz provient d'un

consensus entre RST et Inmarsat du fait que le SMS possède déjà des licences d'exploitation dans la partie inférieure. Cette étude qui concerne la bande haute (bande L étendue) ne saurait prendre en compte les éventuelles interférences provenant des terminaux fonctionnant dans la partie basse.

4. Etudes théoriques temporelles

Pour compléter les études déterministes, des études temporelles ont été réalisées. Ces études dites « temporelles » associent la notion de temps à des répartitions aléatoires d'un grand nombre de caractéristiques de la station ou des terminaux. La notion temporelle permet de prendre en considération le critère réel de protection de la radioastronomie défini par l'association des recommandations **ITU-R RA.1513 & ITU-R RA.769**, c'est-à-dire la notion de 2% des paquets de 2000s et de considérer des scénarios réalistes de déploiement et d'utilisation des terminaux du SMS. Le tableau suivant donne les variables choisies selon une loi uniforme ainsi que les plages de valeurs que peuvent prendre ses variables.

Tableau 6: Distribution des variables & valeurs des constantes de l'étude. Dans le tableau la bande de garde de 700 kHz est considérée

Terminal	Grandeurs Caractéristique	Plage d'évolution des grandeurs	Note
Aero1,Aero2, A, B & C	Localisation du terminal en longitude, latitude (et altitude pour A)	Ensemble du beam du satellite comprenant la majorité du territoire français	Distribution uniforme des longitudes et latitudes.
B	Position du satellite sur l'arc géo	De 74 ^W à 78 ^E	Permet de connaître l'orientation du gain maximum du terminal pointant sur l'arc géostationnaire
B	Angle entre l'axe du gain maximal du terminal SMS et la station de RST (cas des terminaux directionnel uniquement)	Encadrement lié au point précédent	Permet de connaître le gain en direction de la station à partir de la Figure 2, mais aussi le gain en réception de la station de RST (tableau 1)
Aero1,Aero2, A, B & C	Temps de Communication	De 1 à 60 minutes par pas de 1 minute	Permet de moyenné la puissance d'interférence au niveau de la station sur 2000s
Aero 1, Aero2, A & B	Canalisation	21 x 200 kHz	X
C	Canalisation	86 x 50 kHz	X
Aero1,Aero2, A, B & C	Facteur d'activité des canaux	De 30 à 70%	X
Aero1,Aero2, A, B & C	Azimut antenne Bordeaux	90° à 270°	Calcul du gain en réception
	Elévation antenne Bordeaux	5° à 110°	
Aero1, Aero2 & C	Une direction de déplacement	De 0 à 360° par pas de 1° autour du terminal	X
A & C	Une vitesse de déplacement	De 0 à 60 km/h par pas de 1 km/h	X
Aero1, Aero2	Une vitesse de déplacement	De 600 à 900 km/h par pas de 50 km/h	X
A,B & C	Un pourcentage de temps	De 0.001% à 99.999% par pas de 0.001%	Pourcentage de temps incorporer dans la ITU-R P.452. (voir Note1)
Aero1,Aero2, A, B & C	Nombre de tirage aléatoire	Aucune limite	Le nombre le plus grand, pour accéder d'abord à la convergence des résultats de la distribution ensuite à une précision suffisante
Aero1 & Aero 2	Hauteur des antennes	7000 m	ITU-R P.525 (Espace libre)
A,B & C	Hauteur des antennes	1.5m	X

Note : La recommandation ITU-R P.452 est limitée pour des pourcentages de temps de 0.001 à 50%. Selon l'ITU-R M.1316, si le pourcentage tiré aléatoirement est supérieur à 50%, alors il est pris égal à 50%. Dans le cas de tirage aléatoire uniforme, il doit donc y avoir 50% des valeurs de pourcentage qui doivent être égale à 50%...

La méthodologie de simulation est relativement simple. Le tirage des canaux ainsi que leur localisation des terminaux utilisant ces canaux suit une loi uniforme (dans le cas du tirage des canaux, cette loi respecte toutefois le facteur d'activité¹). L'étude considère que l'utilisation d'un canal est indépendante de l'utilisation des autres. Ceci signifie donc que la distribution des positions des terminaux utilisant un canal particulier est indépendante l'une de l'autre. Ceci implique donc que plusieurs canaux puissent être utilisés simultanément à différentes positions dans le faisceau.

1. Pour chaque itération, la position du satellite est choisie aléatoirement sur l'arc géostationnaire de 74°W à 78°E (cette portion de l'arc géostationnaire est visible depuis la France en tenant compte de l'angle d'élévation minimum des terminaux de 5°). On considère bien entendu que le gain maximum du terminal pointe toujours vers le satellite.
2. On place aléatoirement le terminal et on choisit aléatoirement son canal d'émission en tenant compte de son facteur d'activité.
3. On considère le gain réel de Nançay pour les terminaux terrestres (voir Tab.1) ou de 0dBi dans le cas des terminaux aériens. Dans le cas de Bordeaux le tirage d'une direction d'observation du radiotélescope est aléatoire (en azimut et élévation). Ces éléments permettent de déterminer le gain en réception pour chaque radiotélescope. Dans le cas de Bordeaux, l'antenne est modélisée selon la Recommandation **ITU-R SA.509-2**.
4. A partir de la direction de pointage de l'antenne du terminal et de la position de celui-ci, l'étude déduit la valeur du gain de l'antenne en direction de Nançay et de Bordeaux. On définit alors son temps de communication (Tab.6), la puissance qu'il émet en direction des radiotélescopes (lié au gain), ainsi que les atténuations dues à la propagation en tenant compte d'un pourcentage de temps aléatoire (Tab.6) et des effets de diffraction par l'utilisation cumulée de l'**ITU-R P.452** et des modèles de terrain SRTM (avec 90m de résolution). (Attention, le pourcentage de temps et est le même pour le calcul des pertes en direction des deux stations).
5. Cela signifie donc que pour chaque tirage (localisation du terminal + canal utilisé), les interférences aux niveaux des deux radiotélescopes (Nançay et Bordeaux), durant un certain temps, sont parfaitement connues.
6. Par la suite la construction du train des interférences en fonction du temps au niveau de chaque radiotélescope est uniquement liée à l'association consécutive des interférences pour chacun d'entre eux.
7. La dernière étape consiste en la moyenne (en linéaire bien entendu) de ces trains d'interférence sur 2000s. A titre d'exemple, la Figure 3 présente la méthodologie pour un des deux radiotélescopes. Le lecteur pourra par exemple constater qu'une fois moyennée, les « trains » d'interférence présentent des temps identiques 2000s (courbe orangée en pointillé). L'association d'une couleur et d'une forme de courbe représente les interférences directes d'un canal (les canaux ont, pour cet exemple, un facteur d'activité de 20%).
8. Finalement, on construit la fonction de distribution cumulative de ces interférences moyennées sur 2000s pour chaque radiotélescope.

Ces études doivent permettre d'arriver à deux types de résultats, en considérant de prime abord une bande de garde de 700 kHz :

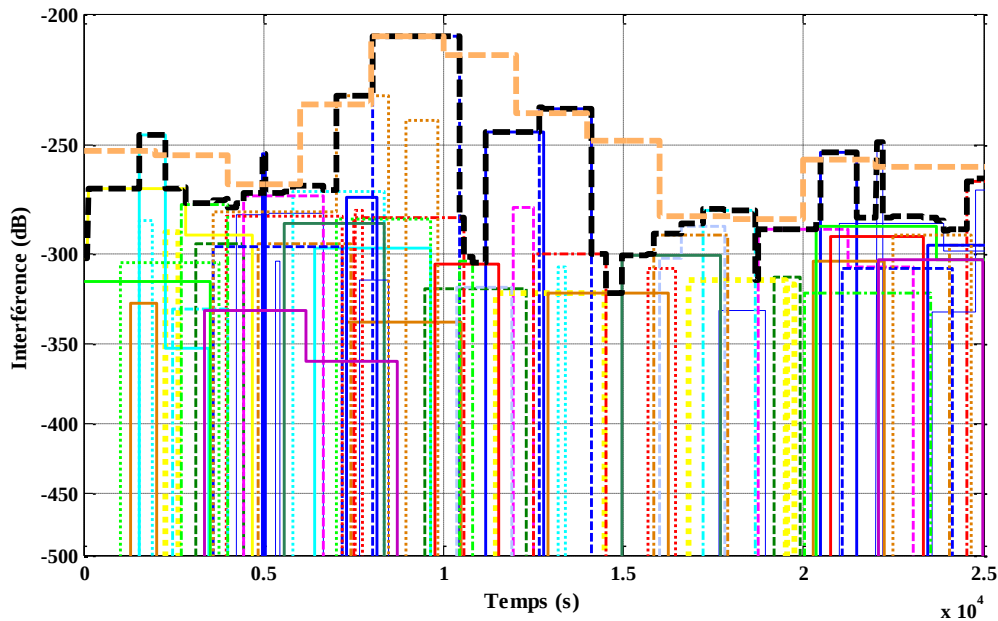
1. Une distance d'exclusion autour de Nançay et de Bordeaux en utilisant tous les canaux disponibles et tous les terminaux. Attention cette distance d'exclusion peut être différente selon les terminaux utilisés

¹ Le facteur d'activité définit ici la fraction du temps globale de liaison en émission entre les terminaux et le satellite (en considérant qu'un temps infini est lié à 100%). Cette fraction du temps se voit au niveau du satellite et non pas au niveau de chaque terminal. Autrement dit, si on considère que plusieurs terminaux peuvent émettre en même temps, il s'agit bien de la fraction de temps globale de réception du satellite. Le reste du temps le satellite ne reçoit rien, ce qui veut dire que les terminaux (un ou plusieurs n'émettent pas). Pour exemple, lorsque le facteur d'activité est de 70%, alors le satellite et les terminaux ont un temps de communication globale de 70%, 30% du temps, le satellite ne reçoit rien.

2. Un nombre de canaux utilisables sans zone d'exclusion. Dans ces circonstances et uniquement dans ces circonstances deux choses sont à prendre en considération :
 - a. Le nombre de canaux utilisables doit permettre de protéger à la fois Nançay et Bordeaux (les deux stations ne peuvent être disjointes lors de l'étude)
 - b. Le nombre de canaux utilisables peut être totalement différent selon le type de terminaux considéré.

FIGURE 3

Exemple des trains d'interférences moyennés sur 2000s pour les terminaux de type B (fixe lors de l'émission) avec un facteur d'activité de 20%.



Note sur la figure

Les courbes associant une couleur et un type de courbe représentent l'émission d'un canal dans le temps. La courbe noire en pointillée est associée à l'agrégation des puissances instantanées des canaux et la courbe orange en pointillée au moyennage de cette agrégation sur 2000s.

Dans la suite de ce document trois études sont présentées :

1. La première donne les résultats réels des interférences attendues sur chaque station de radio astronomie en fonction des terminaux utilisés sur la base de l'ensemble des hypothèses présentées et en utilisant uniquement la bande de garde considérée de 700 kHz (§ chap. 5)
2. La seconde détermine les distances d'exclusion à prendre en considération autour de chaque station pour protéger les mesures des deux radiotélescopes (distance d'exclusion fonction du type de terminal) (§ chap.6)
3. La dernière détermine, sans zone d'exclusion, le nombre de canaux utilisables en fonction du type de canaux pour protéger les mesures des deux radiotélescopes. (§ chap.7)

Enfin les deux derniers chapitres (§ chap.8 & 9) synthétisent les résultats et concluent sur les différentes possibilités de partage entre le SMS et la RAS.

5. Résultat des études avec une unique bande de garde de 700 kHz

5.1 Résultats : cas des terminaux terrestres de type B

Cette première partie s'intéresse aux brouillages potentiels engendrés par les terminaux de type B sur les stations de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux. Les résultats présentés ci-dessous sont basés sur les hypothèses du tableau 6 et la méthodologie de simulation présentée dans la section 4.

FIGURE 4

Représentation des positions des terminaux fonctionnant avec 4 canaux différents (sur 21). Les dégradés de bleus sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70%

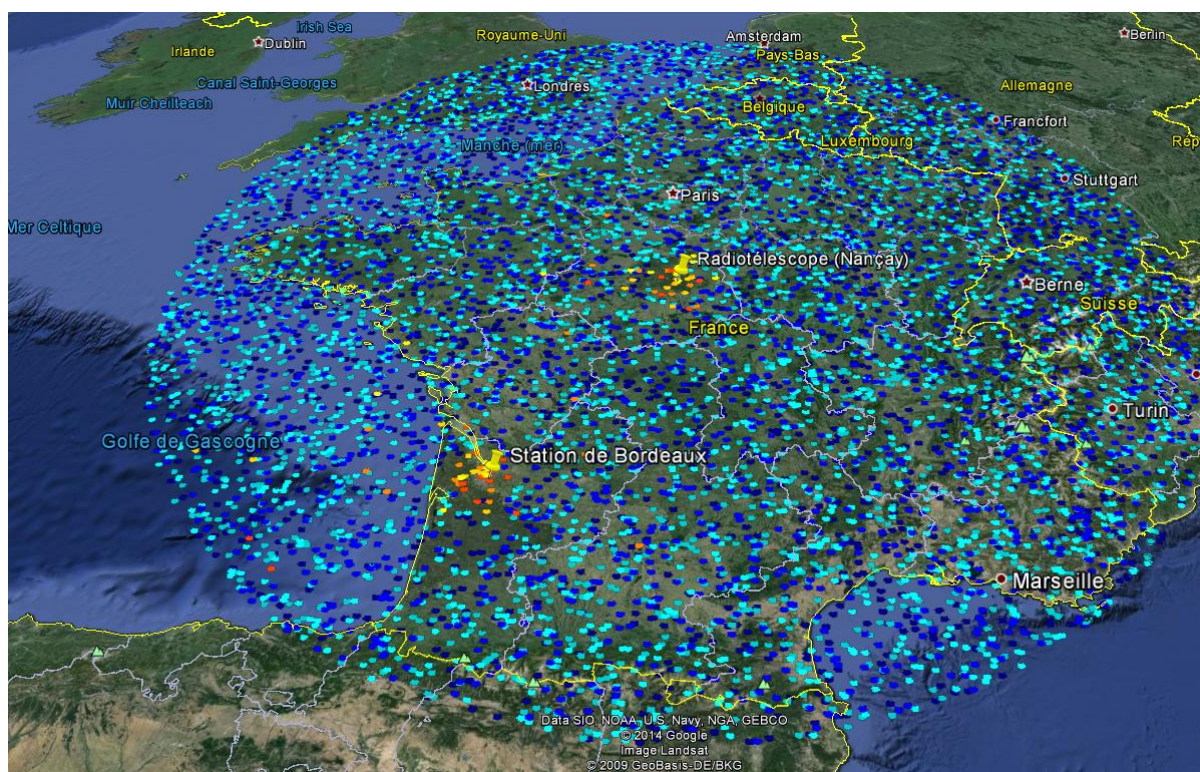
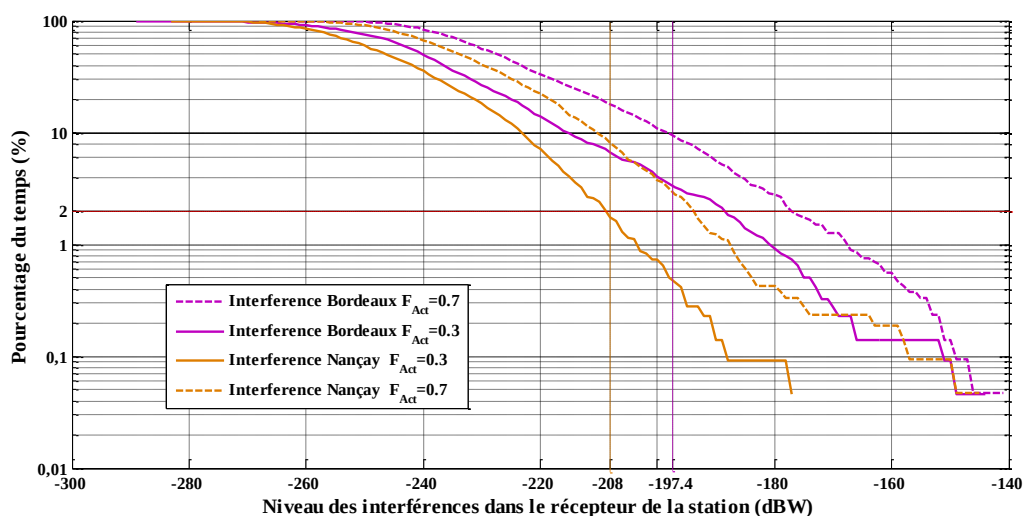


FIGURE 5

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type B présentant une bande de garde de 700 kHz. Cas des facteurs d'activité de 30 et 70%.



La figure 5 montre clairement qu'avec une unique bande de garde de 700 kHz, en considérant les terminaux de type B et les 21 canaux accessibles le critère de :

1. Nançay (208 dBW/5MHz) est **dépassé 8% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et **atteint 2% du temps** avec un facteur d'activité de **30%**.
2. Bordeaux (197.4 dBW/5MHz) est **dépassé 10% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et **un peu plus de 3%** du temps avec un facteur d'activité de **30%**

Remarque sur la Figure 5 :

1. Les divergences de profil des CDF entre Bordeaux et Nançay s'expliquent aisément par la différence d'extraction des gains en réception des deux stations. Pour Nançay, l'antenne est fixe, le gain est donc fixé dans les directions de l'espace et limité au maximum à 10 dBi pour certaines d'entre elles. Dans le cas de Bordeaux, l'antenne est considérée mobile et la direction du gain maximum (39 dBi) pointe aléatoirement dans le temps dans différentes directions de l'espace. Il y a donc des configurations possibles où le gain de maximum de la station de Bordeaux pointe sur le lobe principal ou secondaire des terminaux (voir Figure 4).
2. Il ne peut y avoir de corrélation directe entre le nombre de point « interférant » de la Figure 4 et les valeurs de pourcentage de temps d'interférence du simple fait que l'apparition dans le temps des terminaux brouilleurs est étalée quels que soient les canaux étudiés.

5.2 Résultats : cas des terminaux terrestres de type A et C

5.2.1 Les terminaux de type A.

Cette seconde partie s'intéresse aux brouillages potentiels engendrés par les terminaux de type A sur les stations de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux lorsque qu'une unique bande de garde de 700 kHz est appliquée. L'ensemble des résultats présentés ci-dessous sont basé sur les hypothèses du tableau 6 et la méthodologie de simulation présentée dans la section 4.

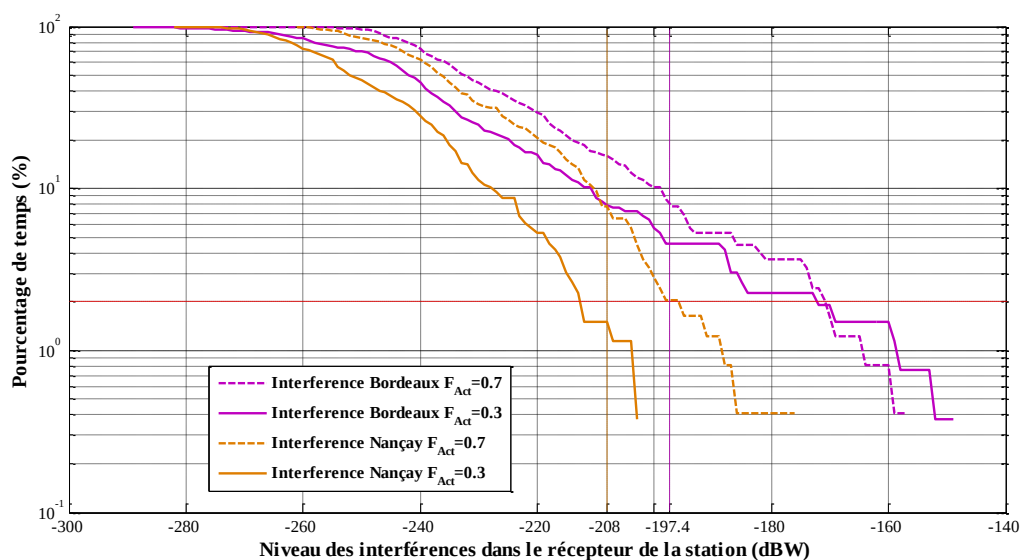
FIGURE 6

Représentation des positions des terminaux A fonctionnant avec 4 canaux différents (sur 21). Les dégradés de bleus sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70%



FIGURE 7

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type A présentant une bande de garde de 700 kHz. Cas des facteurs d'activité de 30 et 70%.

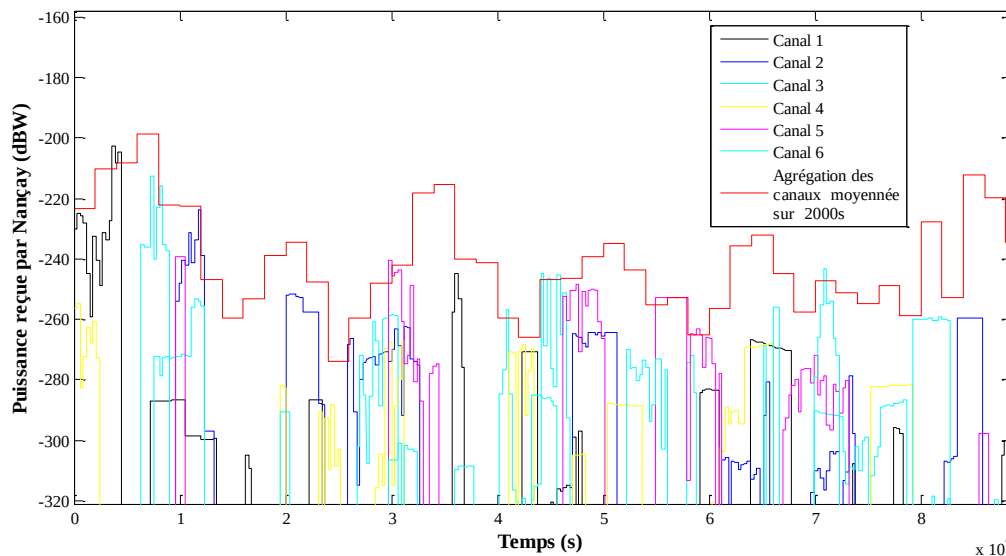


La figure 7 montre clairement qu'avec une unique bande de garde de 700 kHz, en considérant les terminaux de type A et les 21 canaux accessibles le critère de :

1. Nançay (208 dBW/5MHz) est **dépassé 7% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et **atteint 1.5 % du temps** avec un facteur d'activité de **30%**.
2. Bordeaux (197.4 dBW/5MHz) est **dépassé 8% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et **un peu plus de 4.5% du temps** avec un facteur d'activité de **30%**

FIGURE 8

Exemple des trains d'interférences moyennés sur 2000s pour les terminaux de type A (en mouvement lors de l'émission) avec un facteur d'activité de 70%. Seul 6 canaux sont représentés



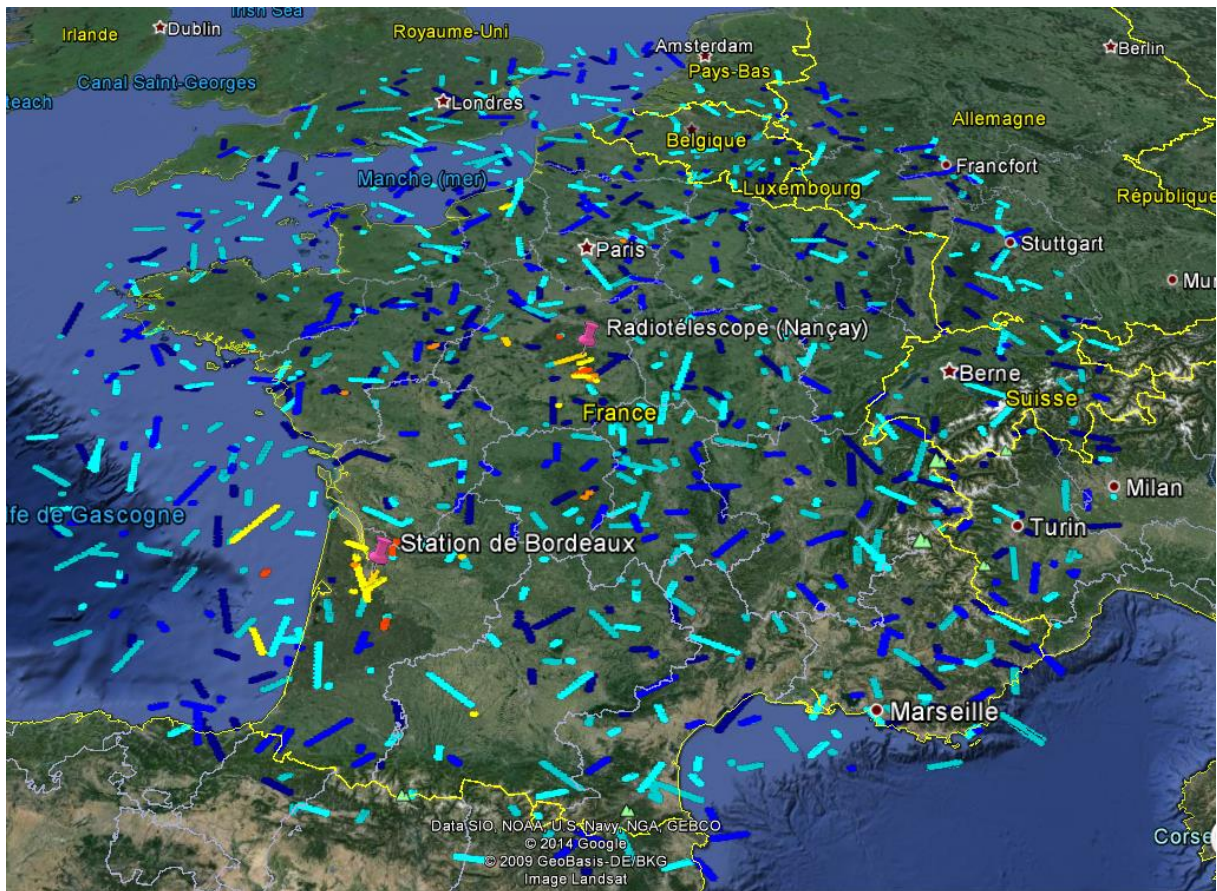
La figure 7 montre clairement que les pertes de propagation sont calculées pour chaque position du terminal. C'est pourquoi sur le temps de communication, les pertes ne sont pas constantes et présentent des variations hautes et basses d'amplitude diverse du fait de la modification du chemin de propagation par déplacement du terminal.

5.2.2 Les terminaux de type C.

Cette partie s'intéresse aux interférences potentielles engendrées par les terminaux de type C sur les stations de Bordeaux et de Nançay lorsque qu'une unique bande de garde est appliquée.

FIGURE 9

Représentation des positions des terminaux C fonctionnant avec 4 canaux différents (sur 86). Les dégradés de bleus sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70%



La figure 10 (ci-dessous) montre clairement qu'avec une unique bande de garde de 700 kHz, en considérant les terminaux de type C et les 86 canaux accessibles le critère de :

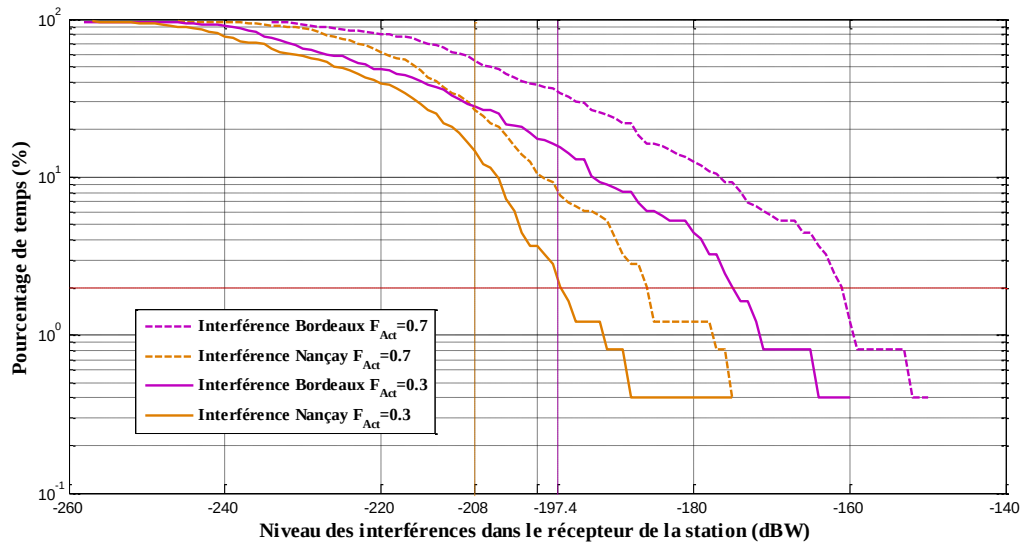
1. Nançay (208 dBW/5MHz) est **dépassé 26% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et de **15 % du temps** avec un facteur d'activité de **30%**.
2. Bordeaux (197.4 dBW/5MHz) est **dépassé 35% du temps** avec un facteur d'activité de **70%** et d'**un peu plus de 17%** du temps avec un facteur d'activité de **30%**

Contrairement, aux sections précédentes, les interférences en fonction du temps ne sont pas représentées ici, du fait d'une représentation de ces dernières très similaires à celles de la figure 7.

Il apparaît des résultats précédents qu'une simple bande de garde de 700 kHz ne peut en aucun cas protéger les récepteurs des deux stations de radioastronomie quels que soient les terminaux terrestres envisagés (A, B & C) sauf si le facteur d'activité (non réaliste) est très bas. Il est important de noter par ailleurs que les calculs sont effectués par type de terminal et que l'étude de l'utilisation simultanée de l'ensemble des terminaux (A, B, C, Aero1 & Aero2), amènerait à des valeurs encore supérieures. D'autres méthodes de mitigation (autre que la bande de garde) doivent être envisagées.

FIGURE 10

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type C présentant une bande de garde de 700 kHz. Cas des facteurs d'activité de 30 et 70%.



5.3 Résultats : cas des terminaux aéronautique de type Aéro 1 et Aéro 2

5.3.1 Estimation statique.

Comme le stipule clairement le tableau 6, le modèle de propagation utilisé pour les terminaux aéronautiques de type Aéro1 et Aéro2 est la recommandation **ITU-R P.525** ou plus précisément des conditions de propagation en espace libre.

Une étude rapide (sans simulation) montre qu'un unique avion qui vole à 7000 m d'altitude est « vu » par la station de radioastronomie (Nançay ou Bordeaux) sur l'horizon à 298.6 km. Autrement dit les pertes en espace libre associées à cette distance donne 146.35 dB. On peut donc estimer qu'à partir de la visibilité de l'aéronef, la puissance reçue par les antennes des stations (à l'entrée de l'antenne - sans considération du gain de celles-ci) est dans une bande de 5000 MHz, d'au moins :

- $-146.35 - 8.5 = -154.85$ dBW pour les terminaux de type Aéro2.
- $-146.35 - 35.5 = -181.85$ dBW pour les terminaux de type Aéro1.

En associant ces valeurs aux gains minimum des deux stations de radioastronomie (0dBi pour Nançay et -10 dBi pour Bordeaux – relatif à **ITU-R SA.509-2**), le minimum de puissance dans le récepteur :

- De Nançay est de -154.85 dBW pour Aéro2 et -181.85 dBW pour Aéro1, pour un critère de protection de -208 dBW (Tab.5).
- De Bordeaux est de -164.85 dBW pour Aéro2 et -191.85 dBW pour Aéro1, pour un critère de protection de -197.4 dBW (Tab.5).

Par ce calcul simple, il est très clair que tout avion en visibilité d'une station brouille le récepteur.

5.3.2 Calcul dynamique.

Afin d'éviter toutes erreurs potentielles, un calcul dynamique est entrepris avec le cas des terminaux de type Aéro 1 qui présentent dans la bande de radioastronomie (pour les mesures en continuum et de raie spectrale) la valeur de PIRE la plus faible (voir Tableau 4). Le processus de simulation dynamique est identique à celui des terminaux terrestres de faible puissance (Type A & C).

FIGURE 11

Représentation des positions des terminaux fonctionnant avec 4 canaux différents. Les dégradés de bleu sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas les radiotélescopes, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70% - Terminaux Aero1

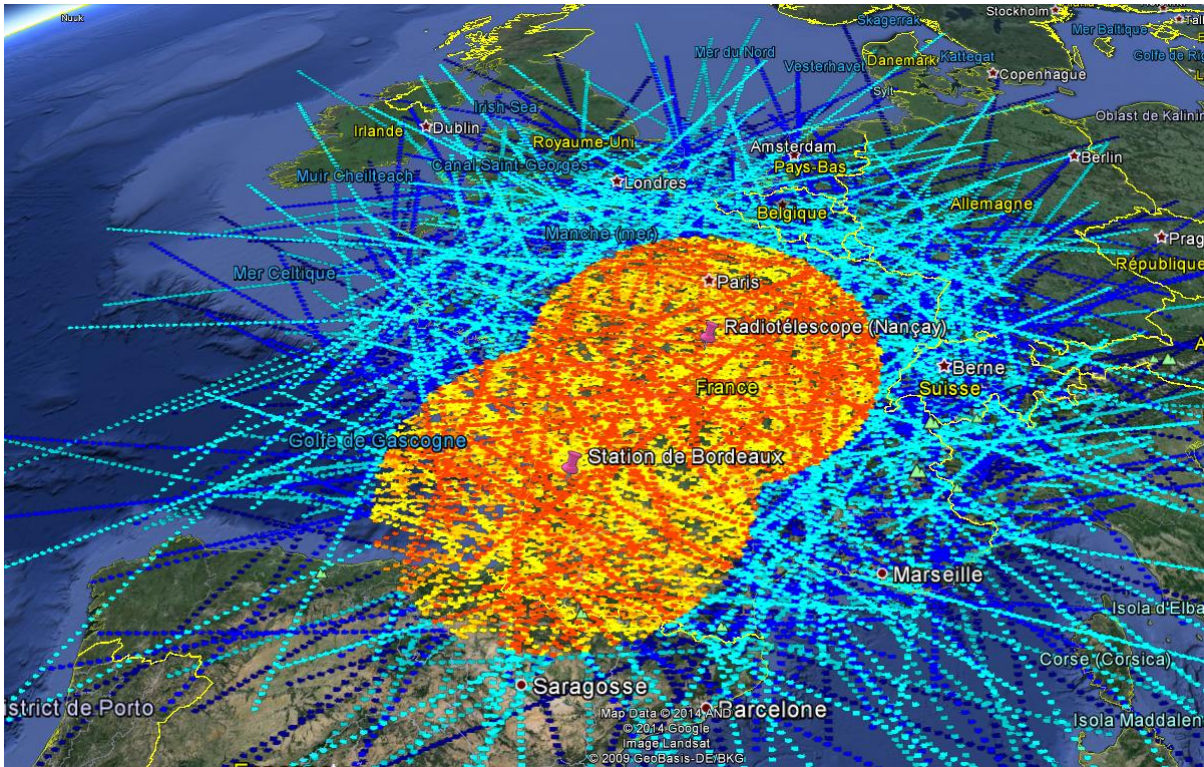
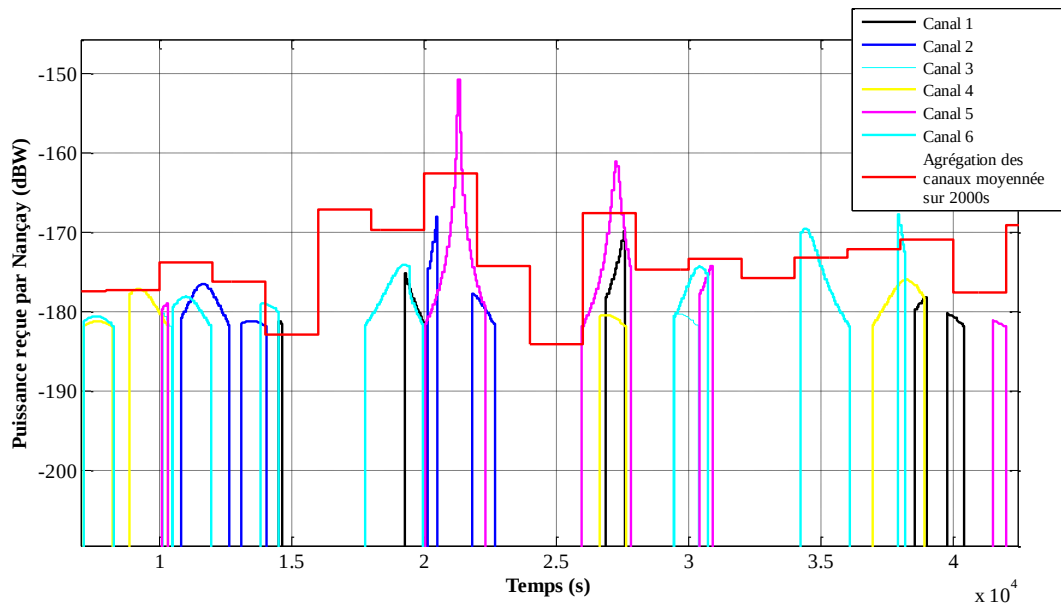


FIGURE 12

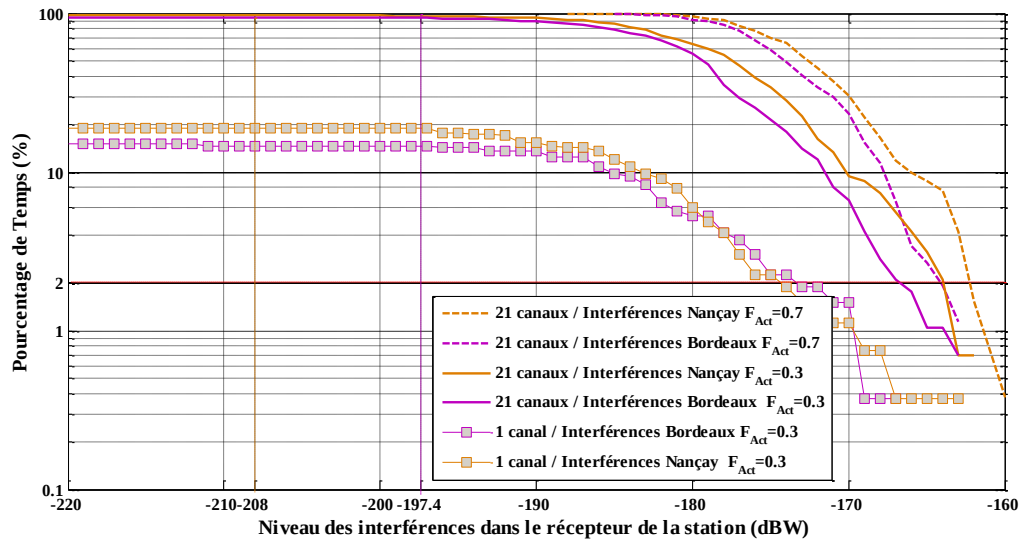
Exemple des trains d'interférences moyennés sur 2000s pour les terminaux de type Aero1 (en mouvement lors de l'émission) avec un facteur d'activité de 70%. Représentation de 6 canaux.



La figure 12 est particulièrement claire sur la pertinence de la simulation, puisque l'évolution des interférences pour un canal donné suit une loi logarithmique avec un maximum prononcé lorsque l'aéronef est au plus proche de la station de radioastronomie.

FIGURE 13

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type Aero1 présentant une bande de garde de 700 kHz. Cas des facteurs d'activité de 30 et 70%.



Comme présagé avec le calcul statique, l'évolution de la CDF implique clairement **un brouillage permanent de la station s'il on considère 21 canaux** (avec un facteur d'activité de 0.3 ou 0.7) et **entre 15 et 19 % du temps en utilisant un seul canal**. Ce dernier résultat permet en outre, de statuer directement sur le résultat de l'étude à mener pour ces terminaux dans la section 7 (relative aux nombres de canaux utilisables). **Même un nombre restreint de canaux utilisés par les terminaux aéronautiques ne peut en aucun cas garantir la protection des deux stations de radioastronomie.**

6. Détermination des zones d'exclusion

6.1 Résultats : cas des terminaux terrestres de type B

Dans cette partie, relative aux études de zone d'exclusions, l'ensemble des canaux sont utilisés et la méthodologie de calcul reste très proche de celle développée dans la partie précédente. Ici la recherche de zone d'exclusion se fait par tâtonnement et seul le ou les résultats permettant une protection des sites de Bordeaux et de Nançay sont présentés. **La première étude statique disponible en début d'année 2013 donnait une valeur de zone d'exclusion de 60 km**, C'est cette valeur qui a servi de base pour établir la nouvelle zone d'exclusion.

Un certain nombre de simulation ont permis par la suite de montrer qu'une zone de 70 km associée à une bande de garde de 700 kHz était suffisante pour garantir la protection des deux sites de radioastronomie.

La Figure 14 montre clairement qu'aucun point n'est présent dans les zones d'exclusion. Le calcul de brouillage se fait donc sur la base des points présents (en dehors des zones d'exclusion). A noter, toutefois qu'il n'y a pas de corrélation directe entre le nombre de point « interférant » sur la représentation ci-dessus et les figures de fonction de distribution cumulative (du fait que seul 4 canaux sont représentés et que les résultats de brouillage se font après agrégation et moyenne des interférences sur 2000s).

La Figure 15 (ci-après) montre que l'application d'une zone d'exclusion des terminaux de type B de 70 km autour des stations permet descendre les pourcentages de temps de brouillage pour chaque station à des valeurs inférieures ou très proches de 2% (1.5% pour Nançay et 2.2% pour Bordeaux). C'est donc cette valeur de 70km qui sera retenue pour définir la zone d'exclusion.

De façon synthétique, quel que soit le facteur d'activité (qui doit nécessairement être inférieur à 70%), aucune station de radioastronomie ne peut être brouillée si une bande de garde de 700 kHz et une zone d'exclusion de 70 km sont appliquées.

FIGURE 14

Représentation des positions des terminaux fonctionnant avec 4 canaux différents. Les dégradés de bleu sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas les radiotélescopes, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70% - Terminaux B

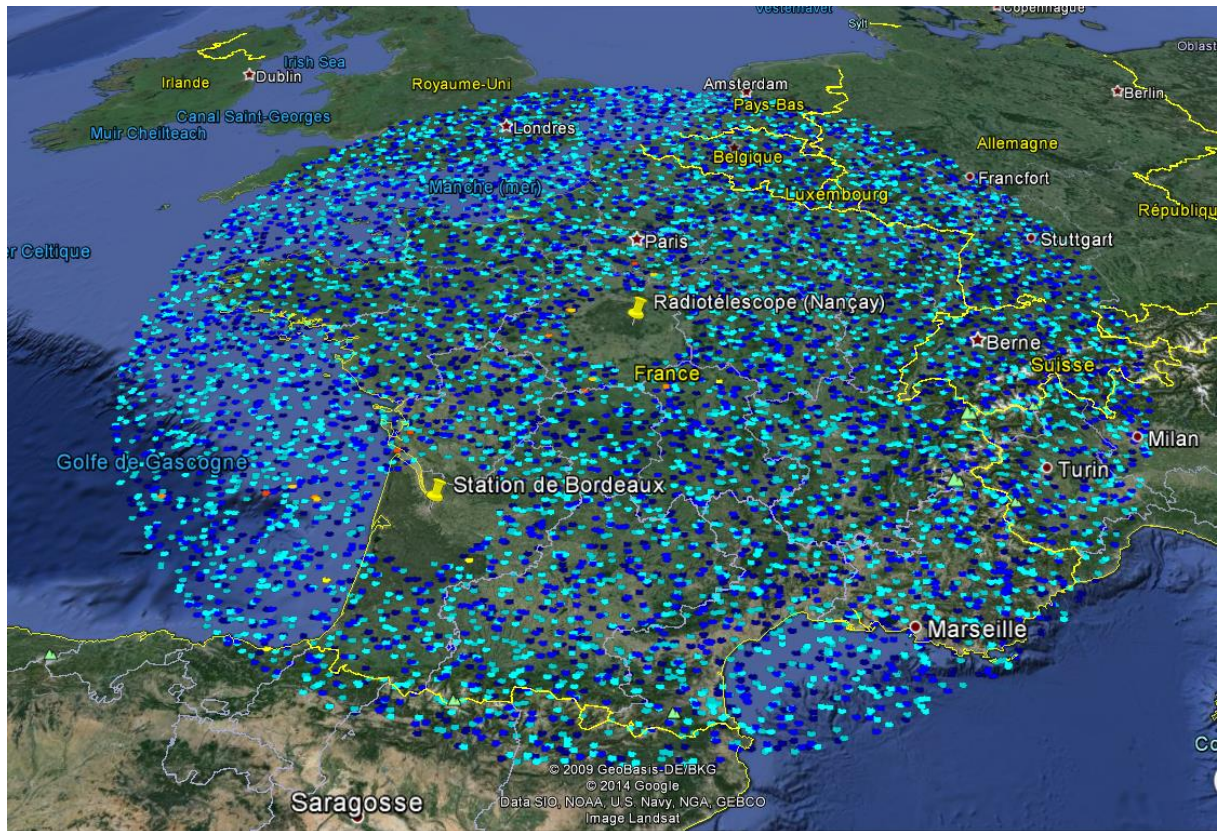
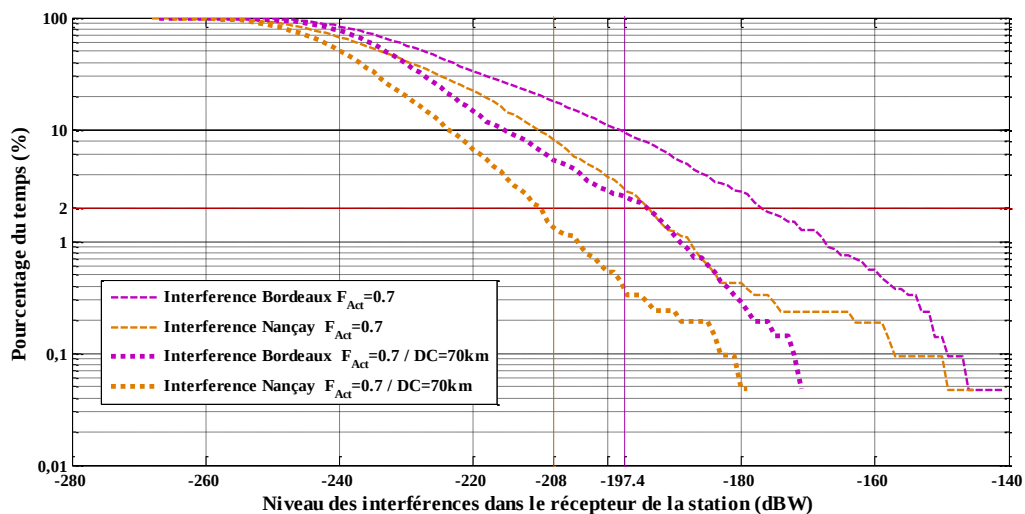


FIGURE 15

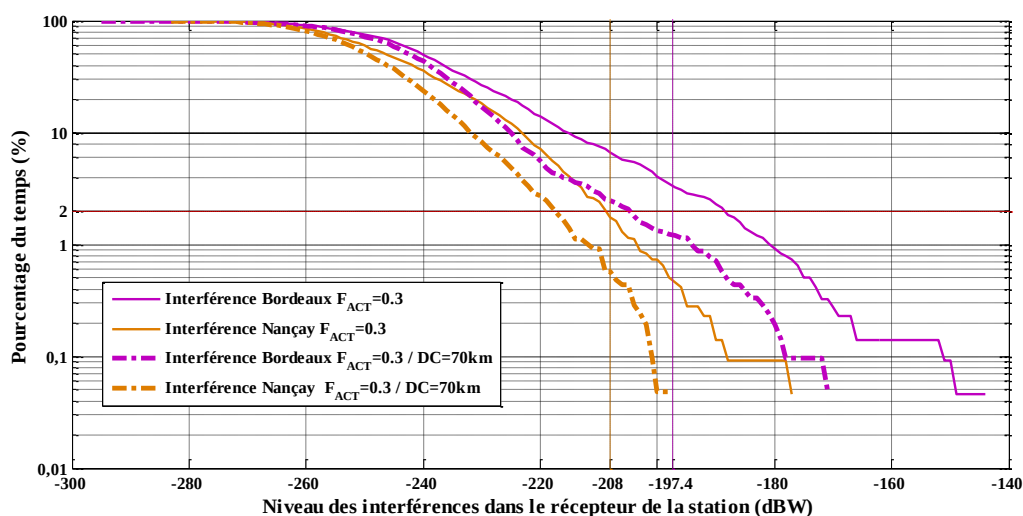
Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type B présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 70% par canal. Cas d'une zone d'exclusion de 70 km.



La figure 16 montre clairement que les stations de Bordeaux et de Nançay ne sont plus brouillées (inférieure à 2% du temps) lorsque le facteur d'activité par canal est de 30% et qu'une zone d'exclusion de 70 km est appliquée.

FIGURE 16

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type B présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 30% par canal. Zone d'exclusion de 70 km



6.2 Résultats : cas des terminaux terrestres de type A & C

6.2.1 Les terminaux de type A.

FIGURE 17

Représentation des positions des terminaux fonctionnant avec 4 canaux différents. Les dégradés de bleu sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas les radiotélescopes, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70% - Terminaux A

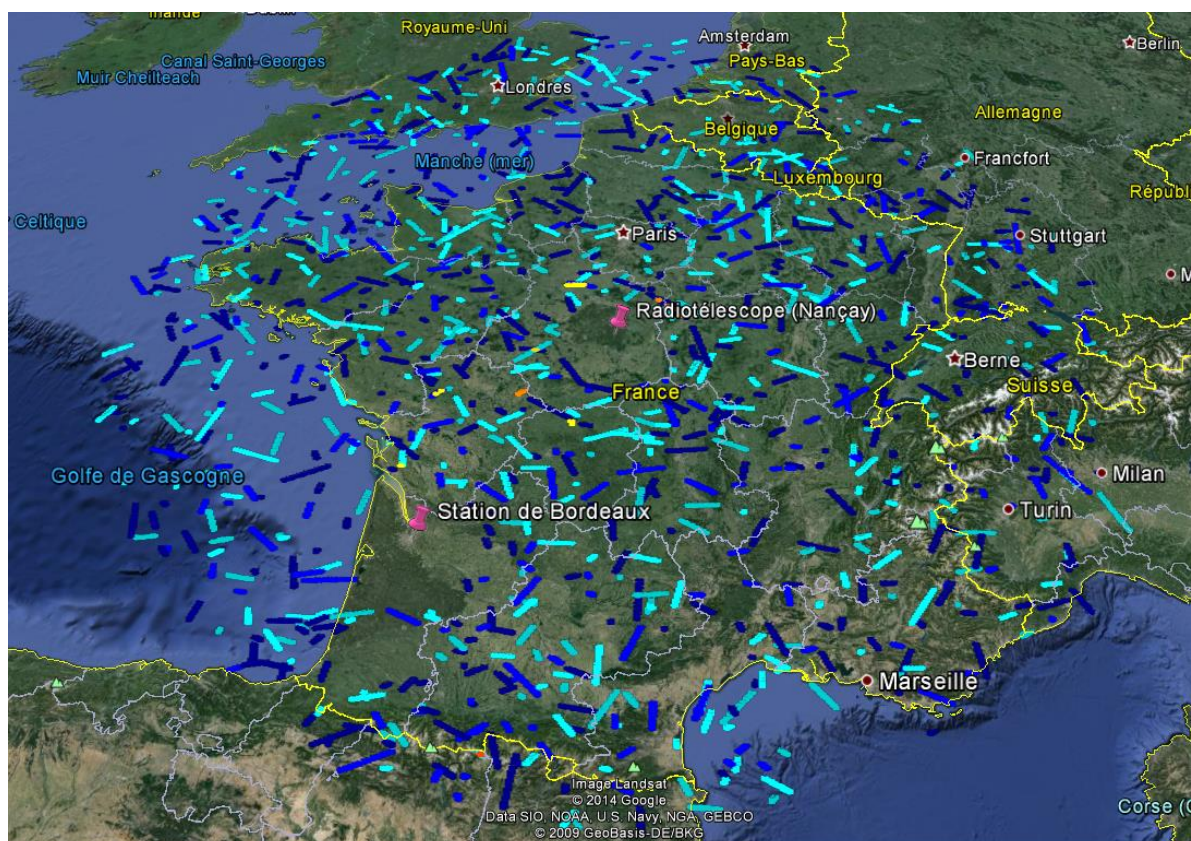
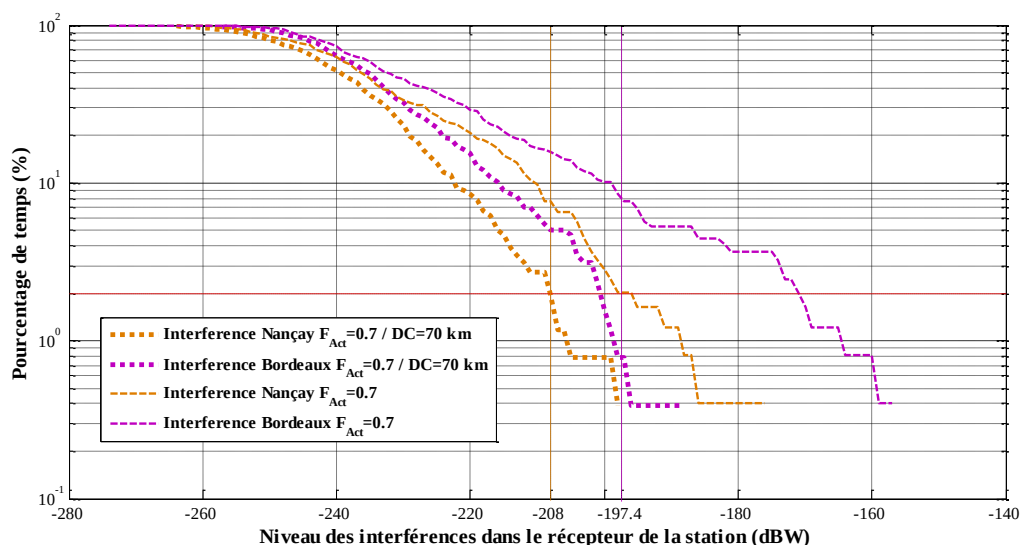


FIGURE 18

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour les stations de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type A présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 30% par canal. Zone d'exclusion de 70 km



La figure 18 (ci-dessous) montre clairement qu'avec une unique bande de garde de 700 kHz et une zone d'exclusion de 70 km, en considérant les terminaux de type A et les 21 canaux accessibles le critère de :

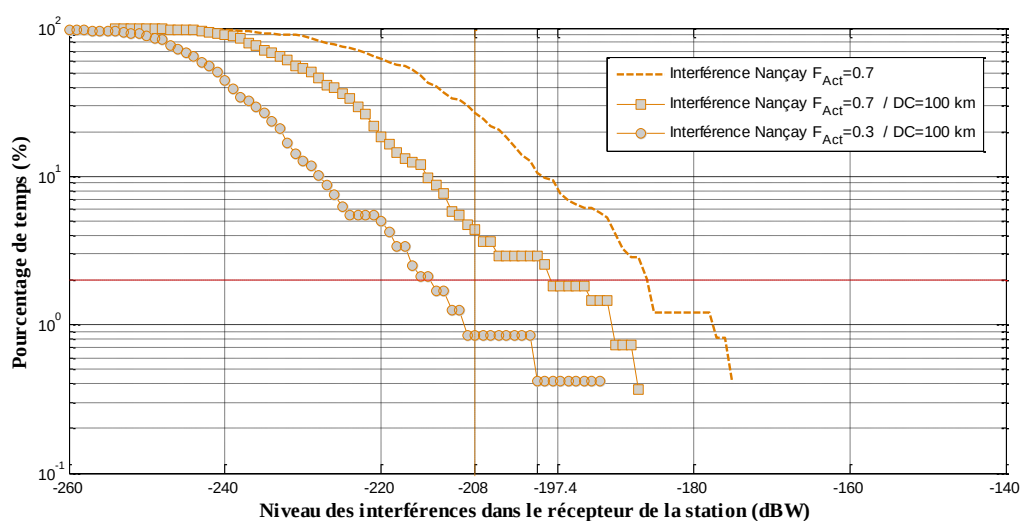
1. Nançay (208 dBW/5MHz) est **atteint 2% du temps** avec un facteur d'activité de **70%**
2. Bordeaux (197.4 dBW/5MHz) est **atteint 0.8 % du temps** avec un facteur d'activité de **70%**

Ces deux éléments permettent donc de définir qu'une bande de arde de 700 kHz et zone d'exclusion de 70 km sont suffisantes pour protéger les sites de radioastronomie.

6.2.1 Les terminaux de type C.

FIGURE 19

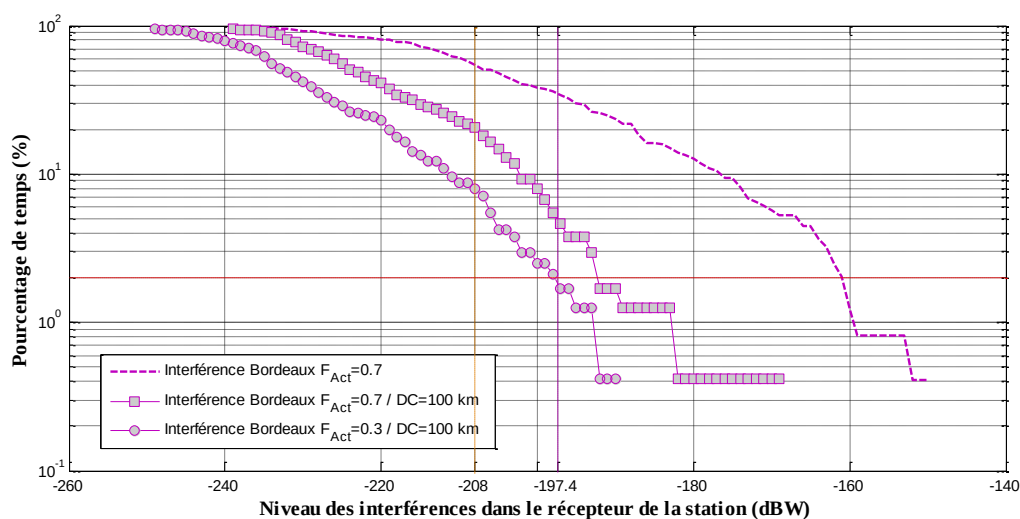
Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour la station de Nançay avec des terminaux de type C présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 30 et 70% par canal. Zone d'exclusion de 100 km



La Figure 19 montre clairement que dans le cas des terminaux de type C, une zone d'exclusion de 100 km peut être suffisante pour protéger les stations de radioastronomie si le facteur d'activité par canal est inférieur à 70%

FIGURE 20

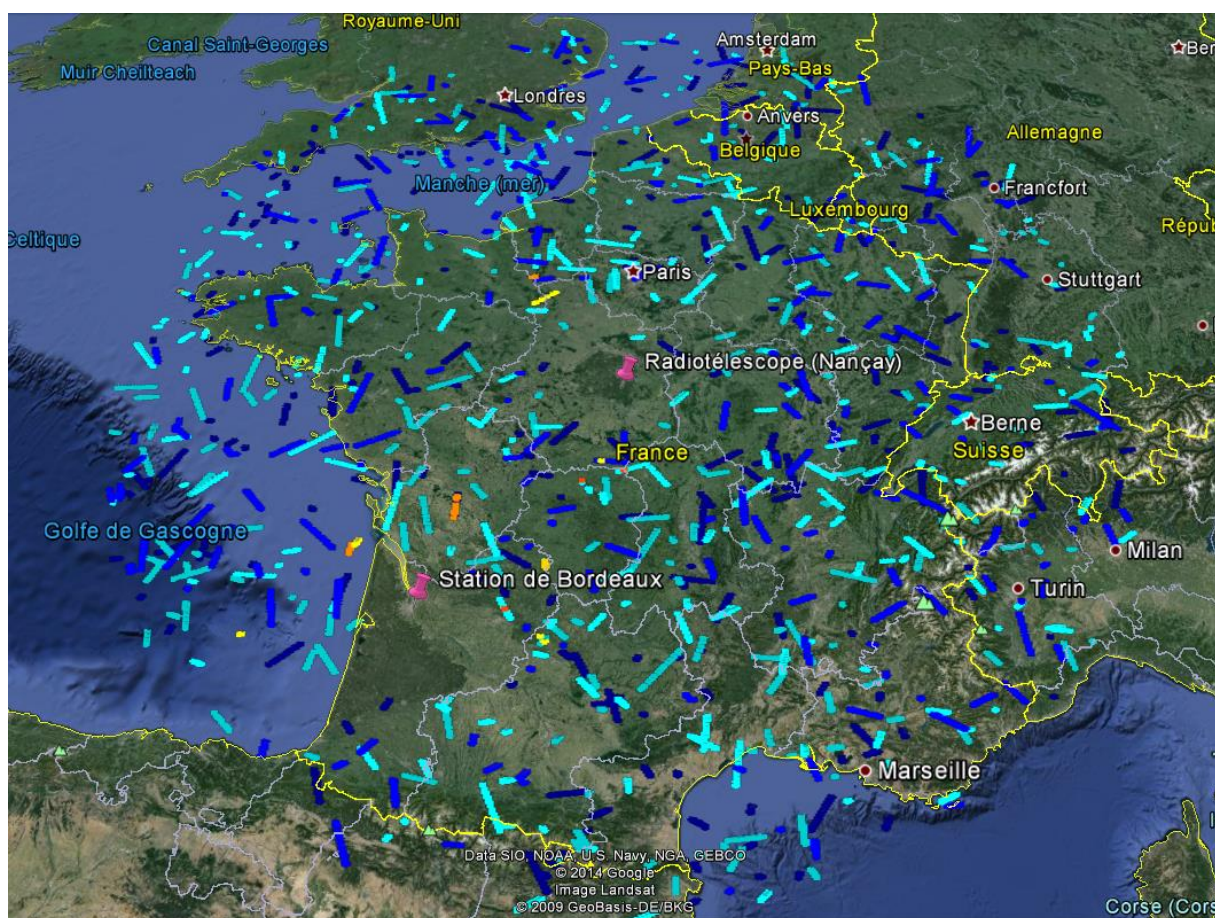
Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour la station de Bordeaux avec des terminaux de type C présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 30 et 70% par canal. Zone d'exclusion de 100 km



La Figure 20 montre clairement que dans le cas des terminaux de type C, une zone d'exclusion de 100 km peut être suffisante pour protéger les stations de radioastronomie si le facteur d'activité par canal est proche de 30%

FIGURE 21

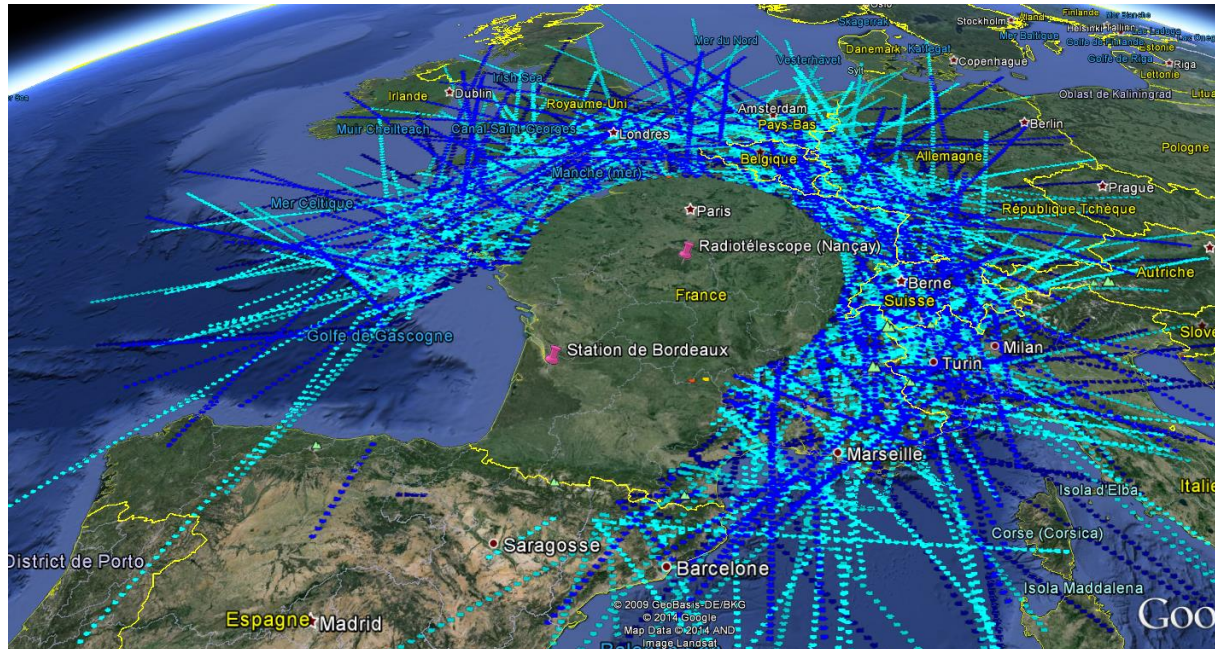
Représentation des positions des terminaux fonctionnant avec 4 canaux différents. Les dégradés de bleu sont représentatifs des positions et configurations qui ne brouillent pas les radiotélescopes, alors que les dégradés de jaune brouillent les stations. Cas d'un facteur d'activité de 70% - Terminaux C



6.3 Résultats : cas des terminaux aéronautique de type Aero 1 & Aero 2

FIGURE 22

Représentation des positions des terminaux aéronautique en considérant une zone d'exclusion équivalente à la distance de visibilité – soit 298 km.



Dans cette partie relative aux terminaux aéronautiques, le calcul n'est pas nécessaire (au regard de §5.3) pour démontrer que la zone d'exclusion doit prendre en compte la zone de visibilité radioélectrique. Autrement dit la **zone d'exclusion doit être au minimum de 298 km de rayon centré sur Nançay et sur Bordeaux**. En observant la Figure 18, il s'agit globalement d'une surface équivalente $\frac{3}{4}$ du territoire français métropolitain.

7. Détermination du nombre de canaux utilisables

Cette partie de l'étude cherche à déterminer le nombre de canaux utilisable par terminaux pour protéger les stations de radioastronomie. Dans l'ensemble des études qui vont être présentées ici, le nombre de canaux utilisables est choisi à partir de la fin de la bande (soit, 1675 MHz) et de façon décroissante vers le début de la bande. Cette méthodologie étant particulièrement plus pertinente pour une utilisation efficace du spectre. Autrement dit, cette méthodologie revient intrinsèquement à augmenter considérablement la bande de garde entre le SMS et RST.

7.1 Résultats : cas des terminaux terrestres de type B

Un certain nombre de simulation a été nécessaire pour obtenir les résultats qui suivent. Seuls les éléments pertinents pour l'étude sont représentés.

Les figures 7 et 8 montrent, dans le cas des terminaux à forte puissance (type B) que :

- L'utilisation d'un nombre de canaux compris entre **5 et 7** permet de respecter le critère de protection de la station de Nançay (Figure 7) pour un facteur d'activité par canaux de 70%
- L'utilisation d'un nombre de canaux compris entre **5 et 7** permet de respecter le critère de protection de la station de Bordeaux (Figure 8) pour un facteur d'activité de 70%.

Puisque les deux stations doivent être protégées et qu'il est difficile d'appliquer des contraintes différentes sur les mêmes terminaux suivant leur localisation. Le nombre de canaux garantissant une

protection simultanée des deux sites de radioastronomie doit donc être d'approximativement 6. Soit les 6 canaux compris entre 1673.7 et 1674.9 MHz (voir tableau)

FIGURE 23

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour la station de Nançay avec des terminaux de type B présentant une bande de garde de 700 kHz ou plus (en fonction du nombre de canaux) et un facteur d'activité de 70% par canal. Cas du Nombre de Canaux.

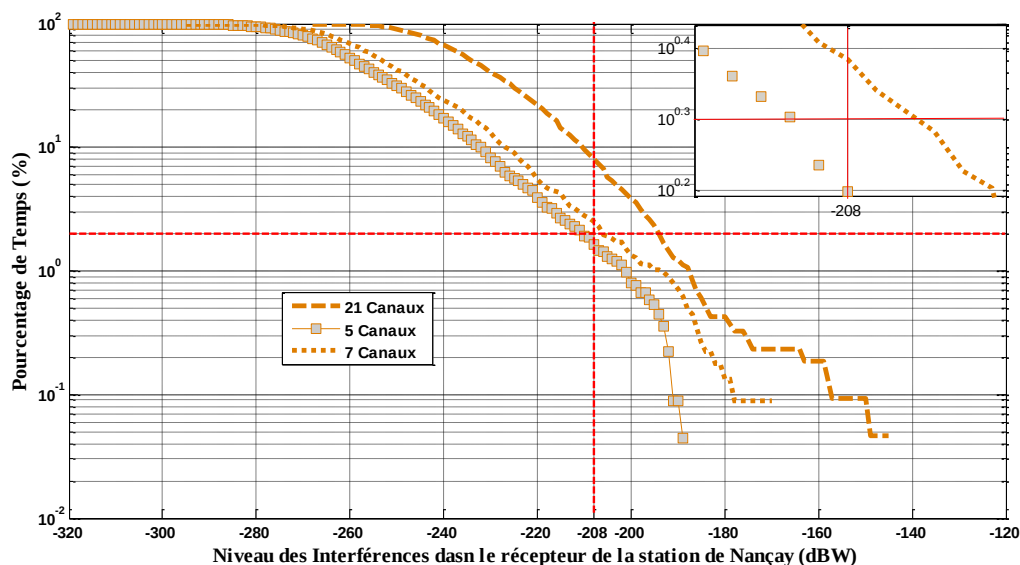
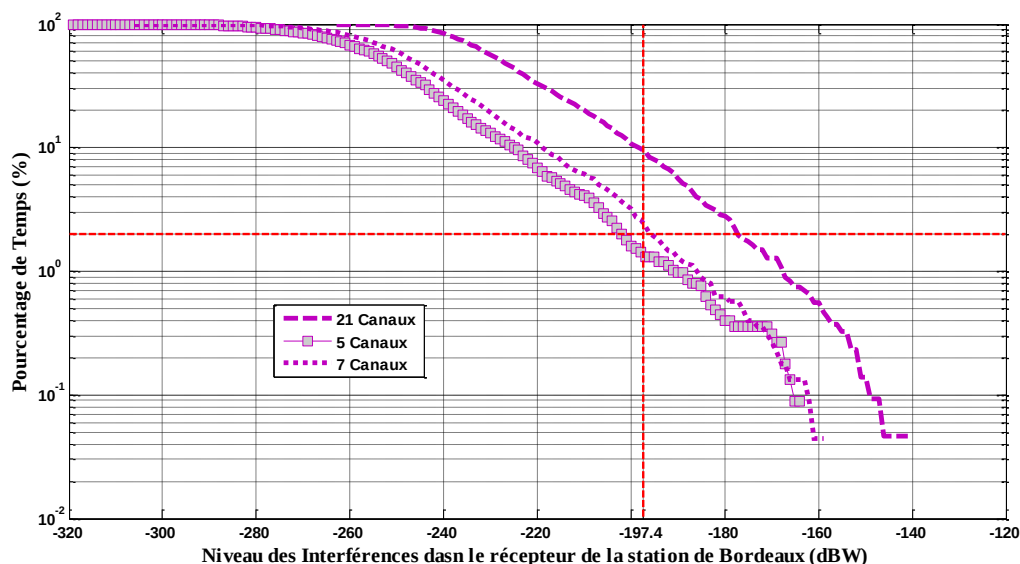


FIGURE 24

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour la station de Bordeaux avec des terminaux de type B présentant une bande de garde de 700 kHz ou plus (en fonction du nombre de canaux) et un facteur d'activité de 70% par canal. Cas du Nombre de Canaux.



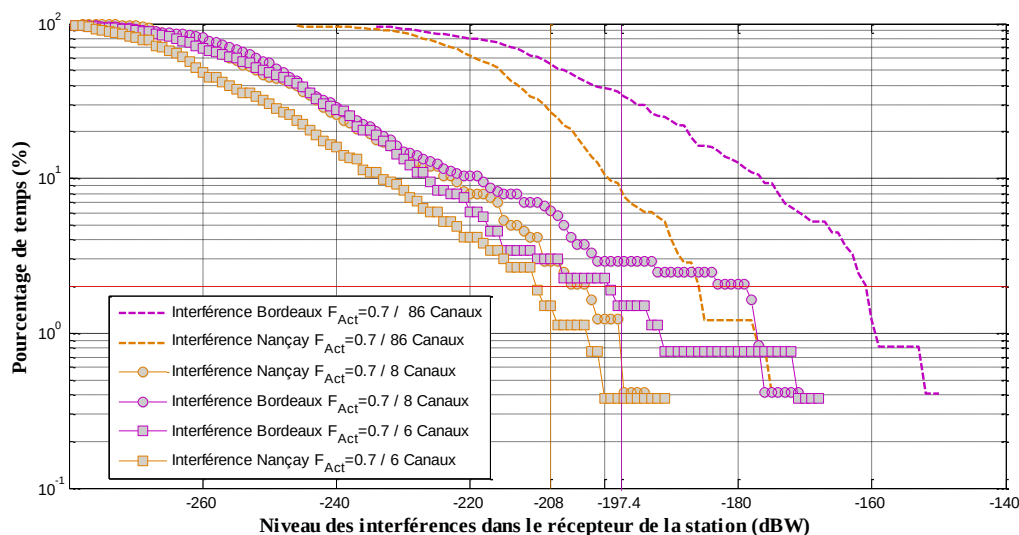
5.2 Résultats : cas des terminaux terrestres de type A & C

Il convient de noter que le nombre de canaux pour les terminaux A et C sont identiques, cela s'explique aisément par le fait que quels que soient la dimension du canal (A et C sont les mêmes

terminaux mais utilisant des dimensions de canaux différents), les comportements non désirés de ces deux types de terminaux sont identiques et indépendant de la dimension du canal.

FIGURE 25

Comparaison des CDF (Cumulative Distribution Function) pour la station de Bordeaux et de Nançay avec des terminaux de type C présentant une bande de garde de 700 kHz et un facteur d'activité de 70% par canal. Cas du Nombre de Canaux.



La Figure 24 montre clairement que le nombre de canaux doit être compris entre 6 et 8 (soit 7) pour assurer la protection des mesures de continuum des stations de radioastronomie de Nançay et de Bordeaux, ceci implique donc que :

- Pour les terminaux de type A, l'attribution peut se faire entre 1673.5 et 1674.9 MHz
- Pour les terminaux de type C, l'attribution peut se faire entre 1674.65 et 1675MHz.

La valeur des émissions non désirées des terminaux de type A & C sont bien inférieures à celles des terminaux de type B. Cette diminution permet en outre qu'un canal supplémentaire soit utilisable tout en préservant les mesures entreprises par les stations de radioastronomie

8. Synthèse & Conclusions

Tableau 7: Tableau synthétique des résultats de l'ensemble de l'étude

Terminaux	Facteur d'activité	Bande de garde 700 kHz		Bande de garde 700 kHz + Distance exclusion de 70 km		Nombre de canaux			
		Nançay	Bordeaux	DC (km)	% interférence	Nombre canaux	% interférence		
					Nançay	Bordeaux	Nançay	Bordeaux	
A	30%	1.5	4.5	70	X*	X*	7**	X	X
	70%	7	8	70	2	0.8	7**	2**	2**
B	30%	2	3	70	0.6	1.5	6**	X	X
	70%	8	10	70	1.5	2.2	6**	2**	2**
C	30%	15	17	100	0.8	2	7**	X	X
	70%	26	35	100	4	4	7**	2**	2**
Aero1	30%	100	100	298	0	0	1	19	15
	70%	100	100	298	0	0	1	X*	X*
Aero2	30%	100	100	298	0	0	1	X*	X*
	70%	100	100	298	0	0	1	X*	X*

* Valeurs non calculées car non nécessaires

** Valeurs approximées (Encadrement du critère de protection 2%) par des bornes supérieures et inférieures.

Les valeurs non calculées ne sont pas nécessaires si le cas le moins favorable (en termes de puissances – cas de Aero 1 et Aero 2 – ou de facteur d'activité – cas des terminaux de type A par exemple) permet d'obtenir des pourcentages d'interférences proches du critère.

Ces résultats sont basés uniquement sur le critère relatif aux observations du continuum qui reste le critère le moins favorable au partage. Aucun calcul n'a été entrepris avec le critère de la raie spectrale

9. Recommandations

Sur la base du tableau 7, cette étude montre que pour :

- **Les terminaux aéronautique, la coexistence ne peut jamais être assurée** (quelques soit leur type Aero1 ou Aero2). De fait les radiotélescopes seront brouillés dès que la visibilité radioélectrique sera établie peu importe le nombre de canaux utilisés et peu importe le facteur d'activité des canaux. Pour éviter cette visibilité radioélectrique, une distance de près de 300 km de rayon doit être instaurée autour des deux sites pour les protéger, ce qui équivaut à une surface englobant près des $\frac{3}{4}$ du territoire national.
- **Les terminaux terrestres de forte puissance (type B), une distance d'exclusion de 70 km autour des deux sites et une bande de garde de 700 kHz sont nécessaires pour assurer la protection de la radioastronomie.** Si le service de SMS est dans l'incapacité de localiser ces terminaux et de les couper à distance lorsqu'ils rentrent dans cette zone, alors seuls **6 canaux de 200 kHz chacun** au-dessus de 1672,7 MHz sont utilisables (sans zone d'exclusion) pour garantir la protection des deux sites de radioastronomie.
- **Les terminaux terrestres de faible puissance de type A et C, une distance d'exclusion de respectivement 70 et 100 km autour des deux sites et une bande de garde de 700 kHz sont nécessaires pour assurer la protection de la radioastronomie.** Comme dans le cas précédent, si le service SMS est dans l'incapacité de localiser ces terminaux et de les couper à distance lorsqu'ils rentrent dans cette zone, alors seuls :
 - **7 canaux de 200 kHz chacun** au-dessus de 1672,7 MHz sont utilisables **les terminaux de type A** (sans zone d'exclusion) pour garantir la protection des deux sites de radioastronomie.
 - **7 canaux de 50 kHz chacun** au-dessus de 1672,7 MHz sont utilisables par **les terminaux de type C** (sans zone d'exclusion) pour garantir la protection des deux sites de radioastronomie.