

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1584
(07/2002)

**Méthodologie de calcul des distances
de séparation entre les stations terriennes
du service de radionavigation par satellite
(Terre vers espace) et les radars du service
de radiolocalisation et du service de
radionavigation aéronautique dans la
bande de fréquences 1 300-1 350 MHz**

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1584* **

Méthodologie de calcul des distances de séparation entre les stations terriennes du service de radionavigation par satellite (Terre vers espace) et les radars du service de radiolocalisation et du service de radionavigation aéronautique dans la bande de fréquences 1 300-1 350 MHz

(2002)

Domaine d'application

La présente Recommandation expose les méthodes de calcul des distances de séparation entre les stations terriennes du service de radionavigation par satellite (Terre vers espace) et les radars du service de radiolocalisation et du service de radionavigation aéronautique dans la bande 1 300-1 350 MHz. Ces méthodes doivent être prises en considération lors du choix des stations terriennes destinées à assurer les liaisons montantes du SRNS dans la bande 1 300-1 350 MHz, afin de calculer la distance de séparation entre ces stations et les systèmes radars du service de radiolocalisation et du service de radionavigation aéronautique.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande 1 300-1 350 MHz est attribuée à titre primaire au service de radionavigation aéronautique (SRNA) pour être utilisée par des systèmes radars au sol;
- b) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a ajouté une attribution à titre primaire au service de radionavigation par satellite (SRNS) (Terre vers espace) dans la bande 1 300-1 350 MHz;
- c) que la CMR-2000 a relevé le statut des attributions du service de radiolocalisation qui désormais sont à titre primaire dans la bande 1 300-1 350 MHz;
- d) que l'attribution faite au service de radiolocalisation est utilisée par des systèmes radars de surface ainsi que par des systèmes radars aéroportés;
- e) qu'il y a des risques de brouillage entre les stations assurant les liaisons montantes du SRNS et les systèmes radars du SRNA et du service de radiolocalisation;
- f) que les systèmes radars du SRNA et du service de radiolocalisation peuvent être protégés par l'application de distances de séparation suffisantes;
- g) que l'Appendice 7 du Règlement des radiocommunications (RR) sert à déterminer les administrations qui sont affectées en vue de la coordination de stations terriennes spécifiques du SRNS dans le sens Terre vers Espace au titre du numéro 9.17 du RR,

* La Commission d'études 8 des radiocommunications a apporté des modifications de forme à la présente Recommandation en 2004, conformément à la Résolution UIT-R 44.

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications de forme à la présente Recommandation en novembre 2010.

reconnaissant

- a) que la CMR-2000 a ajouté au RR le numéro 5.337A qui stipule que l'utilisation de la bande 1 300-1 350 MHz par des stations terriennes du SRNS et des stations du service de radiolocalisation ne doit pas causer de brouillage préjudiciable ni imposer de contraintes à l'exploitation et au développement du SRNA;
- b) qu'il est difficile pour des raisons d'ordre opérationnel et pratique d'observer, d'une part, et de maintenir, d'autre part, les distances de séparation entre les stations assurant les liaisons montantes du SRNS et les radars aéroportés, ce qui peut nuire aux capacités de ces derniers;
- c) que, dans les exemples présentés dans les Annexes 1 et 2, il faut, pour que les stations terriennes du SRNS puissent protéger suffisamment les stations de radiorepérage au sol ou aéroportées, prévoir un affaiblissement de 50 dB pour les angles d'élévation égaux ou inférieurs à 10°,

notant

- a) que l'application de la méthodologie dans le cas de l'exemple de l'Annexe 1 permet de calculer des distances de séparation entre les stations terriennes du SRNS et les radars du service de radionavigation allant de 50 à 325 km;
- b) que l'application de la méthodologie dans le cas de l'exemple de l'Annexe 2 permet de calculer, en l'absence d'anneau d'arrêt, des distances de séparation pouvant atteindre l'horizon radioélectrique des radars aéroportés,

recommande

1 que les méthodologies des Annexes 1 et 2 soient prises en compte avant de décider de l'implantation des stations terriennes destinées à assurer les liaisons montantes du SRNS dans la bande 1 300-1 350 MHz, pour calculer la distance qui devront les séparer des systèmes radars du service de radiolocalisation et du SRNA;

2 que les administrations continuent d'étudier les problèmes de compatibilité entre les émetteurs des stations terriennes du SRNS et les radars aéroportés du service de radiolocalisation et qu'elles communiquent les études en question à l'UIT-R.

NOTE 1 – Les administrations devraient continuer d'étudier les problèmes de compatibilité entre les récepteurs des systèmes à satellites du SRNS et les radars du SRNA et du service de radiolocalisation et communiquer les études en question à l'UIT-R.

Annexe 1

Méthodologie de calcul des distances de séparation entre les stations terriennes du SRNS (Terre vers espace) et les radars de surface du service de radiolocalisation et du SRNA dans la bande de fréquences 1 300-1 350 MHz

1 Introduction

De nouveaux systèmes de radionavigation par satellite utiliseront la bande 1 300-1 350 MHz pour transmettre, par les stations de leurs liaisons montantes, des données de navigation, de synchronisation ou d'intégrité par exemple, à une constellation de satellites sur orbite terrestre moyenne (MEO).

Cette étude constitue une analyse des brouillages causés par les stations assurant les liaisons montantes du SRNS aux radars récepteurs de surface.

Il ressort de cette analyse qu'une distance de séparation permet d'éviter que les brouillages causés aux radars de surface soient excessifs.

2 Caractéristiques des systèmes

2.1 Radars des services de radiolocalisation et de radionavigation aéronautique

Les caractéristiques des radars utilisés aux fins de la présente Recommandation sont définies dans la Recommandation UIT-R M.1463 – Caractéristiques et critères de protection des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage dans la bande de fréquences 1 215-1 400 MHz, qui couvre les radars du service de radiolocalisation et les radars du SRNA.

Pour calculer les seuils de perturbation ($P_{threshold}$) des radars, on a utilisé la formule ci-dessous ainsi qu'un critère de protection (I/N) de -6 dB selon la Recommandation UIT-R M.1463:

$$P_{threshold} \text{ (dBm)} = 10 \log (K T_0 FB) + 24$$

TABLEAU 1

Caractéristiques de réception des radars

	Largeur de bande (MHz)	Gain d'antenne de réception (dBi)	Seuil de perturbation (dBm)
Système 1	0,780	33,5	-119,1
Système 2	0,690	38,9	-119,6
Système 3	4,4 et 6,4	38,2	-108,8 et -107,2
Système 4	1,2	32,5	-115,7
Radars profileurs de vent	2,5	33,5	-114,5

2.2 Stations types assurant les liaisons montantes du SRNS

- Puissance émise: $\leq 57,1$ dBm
- Type d'antenne: équidirective, pourvue d'une isolation physique pour de petits angles d'élévation (normalement affaiblissement de 50 dB grâce à un anneau d'arrêt (voir l'Appendice 2 à l'Annexe 1 pour la description d'un anneau d'arrêt))
- Orientation: zénith
- Gain maximum: ≤ 3 dBi
- Gain: ≤ 1 dBi pour des angles d'élévation inférieurs à 10°
- Modulation: spectre étalé (1,023 et 10,23 Méléments/s)
- Polarisation: polarisation circulaire gauche
- Hauteur: 2 m
- Réseau: moins de 20 stations à liaisons montantes espacées avec régularité sur tout le globe. Chaque station transmet sur la même fréquence à destination d'une constellation de satellites sur MEO.

La puissance totale sert à transmettre deux signaux, étalés respectivement avec un code de 1,023 Méléments/s et de 10,23 Méléments/s. La puissance du signal est dans le premier cas de 55 dBm et dans le deuxième de 53 dBm. Aux fins de la présente étude et pour illustrer le cas le plus défavorable, on considère que la fréquence des stations à liaisons montantes est identique à celle du radar. Toutefois, on étudie l'incidence d'un déplacement de fréquence.

3 Brouillages causés par les stations à liaisons montantes du SRNS aux radars

3.1 Etude de compatibilité

Pour estimer la distance de séparation nécessaire pour protéger la réception des radars, on calcule ainsi l'affaiblissement de propagation L (dB):

$$\begin{aligned} L &= P_t + G_t - A_t - FL_t + G_r - FL_r + R_b - D_{pol} - P_{threshold} \\ &= P_{interfering} - P_{threshold} \end{aligned} \quad (1)$$

où:

- P_t : puissance de brouillage à l'émission (dBm)
- G_t : gain du brouillage à l'émission (dBi) dans la direction du radar
- A_t : isolation physique aux petits angles d'élévation (due à l'anneau d'arrêt) (dB)
- FL_t : affaiblissements dans la ligne d'alimentation à l'émission (dB)
- $P_{threshold}$: seuil de perturbation (dBm)
- G_r : gain à la réception (dBi)
- FL_r : affaiblissements dans la ligne d'alimentation à la réception (dB)
- R_b : facteur de rejet (dB)
- D_{pol} : facteur de couplage de polarisation (dB).

Le facteur de rejet R_b correspond à la quantité de la puissance totale à l'émission du SRNS que filtre le récepteur du radar, c'est-à-dire qu'il tient compte de la largeur de bande de ce récepteur, du décalage de fréquence entre le radar et les fréquences centrales à l'émission des liaisons montantes du SRNS ainsi que de la densité spectrale de puissance normalisée (NPSD, *normalized power spectral density*) des signaux du SRNS. Pour une modulation par inversion de phase bivalente (convenant au SRNS) on a:

$$\begin{aligned}
 R_b &= \int_{(B_r)} NPSD(f) \, df \\
 &= \int_{f_{0R}-B_r/2}^{f_{0R}+B_r/2} \frac{1}{f_c} \cdot \sin^2 c^2 \left(\frac{(f-f_{0T})}{f_c} \right) \cdot df \\
 &= \int_{f_{0R}-f_{0T}-B_r/2}^{f_{0R}-f_{0T}+B_r/2} \frac{1}{f_c} \cdot \sin^2 c^2 \left(\frac{f}{f_c} \right) \cdot df
 \end{aligned} \tag{2}$$

où:

B_r : largeur de bande de réception.

Il convient d'observer que le code lent (débit = 1,023 Méléments/s) est également un code bref (1 023 éléments), de sorte que le spectre du signal correspondant a des éléments de ligne de 1 kHz. Si à certains d'entre eux correspond un niveau de puissance supérieur aux valeurs de $(\text{sinc } x)^2$, les lignes conservent en moyenne une forme approximativement égale à $(\text{sinc } x)^2$. Etant donné que la largeur de bande de réception est importante par rapport aux intervalles de 1 kHz, il faut établir une moyenne pour un grand nombre d'éléments de ligne de sorte que l'équation (2) permette de calculer R_b .

Après avoir déterminé L , on peut en estimer la distance de séparation correspondante, en se référant à la Recommandation UIT-R P.452 – Méthode de prévision pour évaluer les brouillages hyperfréquences entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,7 GHz environ, et à la Recommandation UIT-R P.526 – Propagation par diffraction. On a utilisé la méthode proposée au Tableau 5 de la Recommandation UIT-R P.452 pour en extrapoler la prévision totale compte tenu du type de parcours (ligne de visée directe, ligne de visée avec diffraction sous-trajet ou transhorizon).

Le Tableau 2 résume les principales hypothèses qui ont été utilisées dans la mise en œuvre des deux Recommandations ci-dessus:

TABLEAU 2

Principales hypothèses pour le calcul des distances de protection

Modèle	Paramètre	Valeur	Observations
Diffusion troposphérique	Réfractivité au niveau de la mer au centre du trajet: N_0	360	Compromis entre les valeurs extrêmes correspondant à tous les continents
Réflexion couche guidage	Corrections en vue du couplage du guidage à la surface au-dessus de la mer pour les stations brouilleuses et les stations brouillées (A_{cb} , A_{cr})	0 dB	On suppose que la distance entre chaque terminal et la côte est supérieure à 5 km sur la totalité du trajet où se produit le brouillage dans le grand cercle
	Relief du terrain, c'est-à-dire l'altitude maximale au-dessus de la surface terrestre plane (h_m)	< 10 m	On suppose que la surface de la Terre est plane
Pertes additionnelles dues à des échos	Pertes additionnelles dues à des échos provoqués par le relief environnant, dus par exemple à des bâtiments, la végétation, ... (A_{hb} , A_{hr})	0 dB	On retient pour hypothèse le cas le plus défavorable, c'est-à-dire qu'aucun obstacle ne se dresse entre la station brouilleuse et la station brouillée
Tous	Gradient thermique de l'indice de réfraction sur le premier km de l'atmosphère (ΔN)	80	Valeur correspondant au cas le plus défavorable
Tous	Pourcentage de temps nécessaire pendant lequel la perte à l'émission de base calculée n'est pas dépassée: p	1%	
Tous	Facteur médian efficace correspondant au rayon de la Terre (K_{50})	2,0389	Obtenu avec $\Delta N = 80$

3.2 Calcul de la distance de séparation au-delà de laquelle la protection est garantie (distance de protection)

L'équation (1) s'applique à tous les radars dont il est question dans la Recommandation UIT-R M.1463, dans les deux cas correspondant, d'une part, à un fonctionnement dans le même canal (cas le plus défavorable) et, d'autre part, à un fonctionnement avec un décalage de 3 MHz en fréquence entre la fréquence centrale du radar et la fréquence d'émission du SRNS. On trouvera dans l'Appendice 1 à la présente Annexe les Tableaux présentant les résultats des calculs des pertes imposées pour protéger chaque type de radar.

La méthodologie exposée dans la Recommandation UIT-R P.452 (§ 3.1) est appliquée pour calculer les distances de protection par rapport à la perte imposée. Dans les Fig. 1 et 2 on trouvera quelques exemples des résultats obtenus pour les distances de protection correspondant à plusieurs altitudes (au-dessus du niveau moyen de la mer) de la station brouilleuse et des radars brouillés, puis pour deux cas extrêmes de pertes imposées (voir l'Appendice 1 à la présente Annexe):

- 161,1 dB, qui correspond au cas le plus défavorable (Radar 2) pour un fonctionnement dans le même canal du radar et de la station du SRNS;
- 149,7 dB, qui correspond au cas le plus défavorable (Radar 3, largeur de bande de réception de 6,4 MHz) avec un décalage de 3 MHz entre les fréquences centrales du radar et la fréquence d'émission du SRNS.

Pour bien comprendre les Fig. 1 et 2, précisons que:

- $h(m, \text{amsl})$ Rx est l'altitude (m) au-dessus du niveau moyen de la mer du radar brouillé;
- $h(m, \text{amsl})$ Tx est l'altitude (m) au-dessus du niveau moyen de la mer de la station assurant la liaison montante à l'émission du SRNS.

FIGURE 1
Distances de protection du radar pour une perte imposée de 161,1 dB

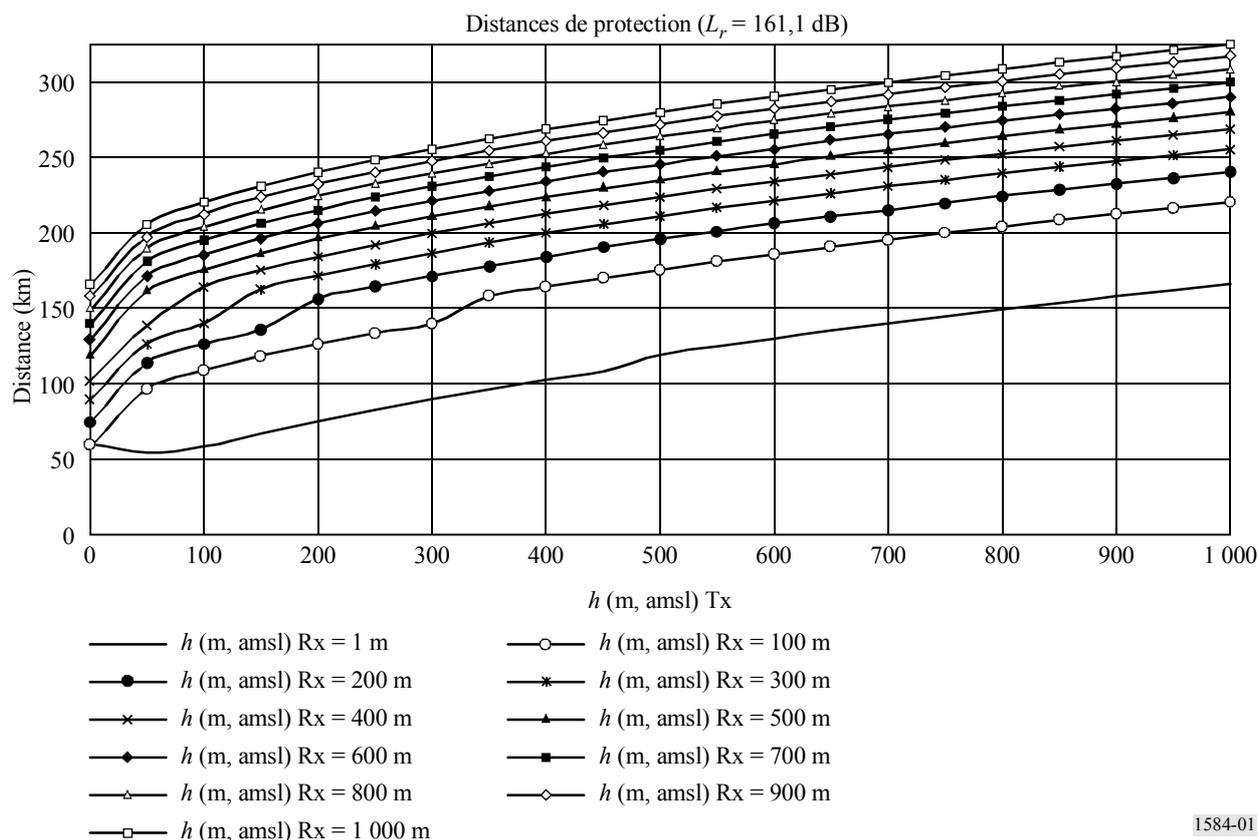
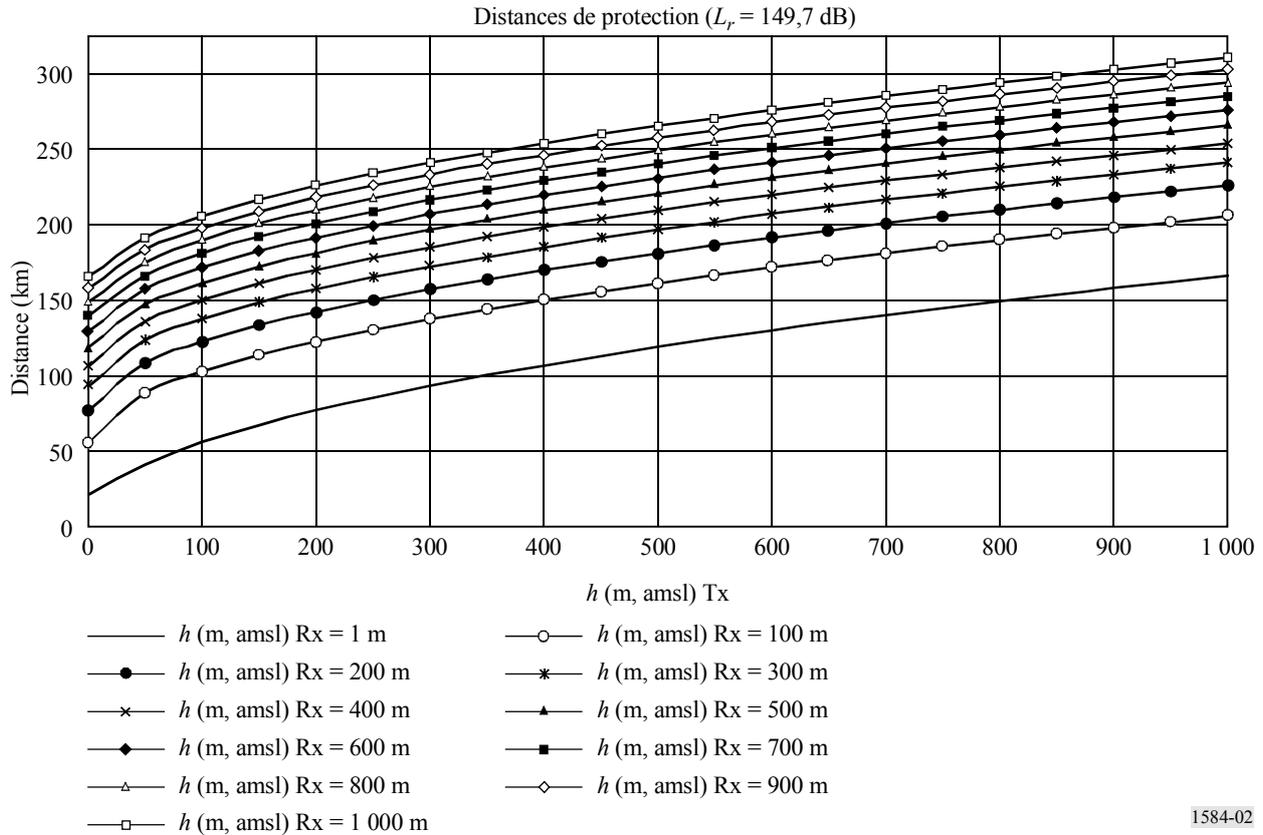


FIGURE 2

Distances de protection du radar pour une perte imposée de 149,7 dB



1584-02

3.3 Conclusions

Les résultats présentés dans les pages précédentes montrent que les distances de protection pour plusieurs altitudes aussi bien des radars brouillés que des stations brouilleuses assurant les liaisons montantes du SRNS (de 1 m à 1 000 m au-dessus du niveau moyen de la mer) varient de 50 km à 325 km, selon l'altitude des unes et des autres. Pour différents paramètres (paramètres de réception des radars, paramètres d'émission des stations terriennes du SRNS, hauteurs d'antennes, etc.), la méthodologie exposée dans la présente Annexe doit être appliquée pour calculer la distance de protection nécessaire. Dans les pages précédentes également on a supposé l'absence de tout obstacle entre les stations brouilleuses du SRNS et les radars brouillés. Le choix d'un emplacement adéquat (c'est-à-dire d'une zone naturellement protégée) pourrait permettre de réduire la distance de protection des radars, et pourrait être étudié au cas par cas en tenant compte du profil du trajet correspondant.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Système 1

Perte imposée entre le radar et les stations assurant les liaisons montantes

	Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33,5	33,5		33,5	33,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-11,2	-1,8		-12,4	-24,4	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	24,8	36,2	36,5	23,6	13,6	24
$P_{threshold}$	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1
Perte imposée (dB)	143,9	155,2	155,5	142,6	132,7	143,0

Système 2

Perte imposée entre un radar et les stations assurant les liaisons montantes

	Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	38,9	38,9		38,9	38,9	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-11,7	-2,2		-13	-25,6	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	29,7	41,2	41,5	28,4	17,8	28,8
$P_{threshold}$	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6
Perte imposée (dB)	149,3	160,8	161,1	148	137,4	148,4

Système 3

Perte imposée entre un radar et des stations assurant les liaisons montantes

	Valeurs types pour un radar de surface Rx Bw = 4,4 MHz (cas le plus défavorable) (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types pour un radar de surface Rx Bw = 6,4 MHz (cas le plus défavorable) (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	38,2	38,2		38,2	38,2	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-3,9	-0,2		-3,6	-1,7	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	36,8	42,5	43,5	37,1	41	42,5
$P_{threshold}$	-108,8	-108,8	-108,8	-107,2	-107,2	-107,2
Perte imposée (dB)	145,7	151,3	152,4	144,4	148,3	149,7

Rx Bw: largeur de bande de réception.

Système 4

Perte imposée entre un radar et des stations assurant les liaisons montantes

	Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	32,5	32,5		32,5	32,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-9,3	-0,8		-10,6	-20,7	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	25,7	36,2	36,6	24,4	16,3	25
$P_{threshold}$	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7
Perte imposée (dB)	141,4	151,9	152,3	140,1	132	140,7

Radars profileurs de vent
Perte imposée entre un radar et des stations assurant les liaisons montantes

	Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types pour un radar de surface (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33,5	33,5		33,5	33,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-6,2	-0,4		-7,4	-18,3	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	29,8	37,6	38,3	28,6	19,7	29,1
$P_{threshold}$	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5
Perte imposée (dB)	144,3	152,1	152,7	143,1	134,2	143,6

Appendice 2
à l'Annexe 1

**Description de la conception d'une antenne dotée d'un anneau d'arrêt assurant
un fort affaiblissement à des angles de faible élévation, destinée aux liaisons
montantes du SRNS dans la bande 1300-1350 MHz**

1 Introduction, objet de l'anneau d'arrêt

Le SRNS peut utiliser des liaisons montantes Terre vers espace, par exemple dans le cas de satellites MEO. La puissance émise dans cette bande est normalement d'environ 57 dBm. Orientées vers le zénith, les antennes au sol sont supposées équidirectives, avec un gain de -1 dB pour un angle d'élévation α_0 de 10° , en l'absence d'anneau d'arrêt. Pour protéger correctement les liaisons radar, il faut disposer d'un anneau d'arrêt fournissant un affaiblissement de 50 dB pour cet angle de 10° .

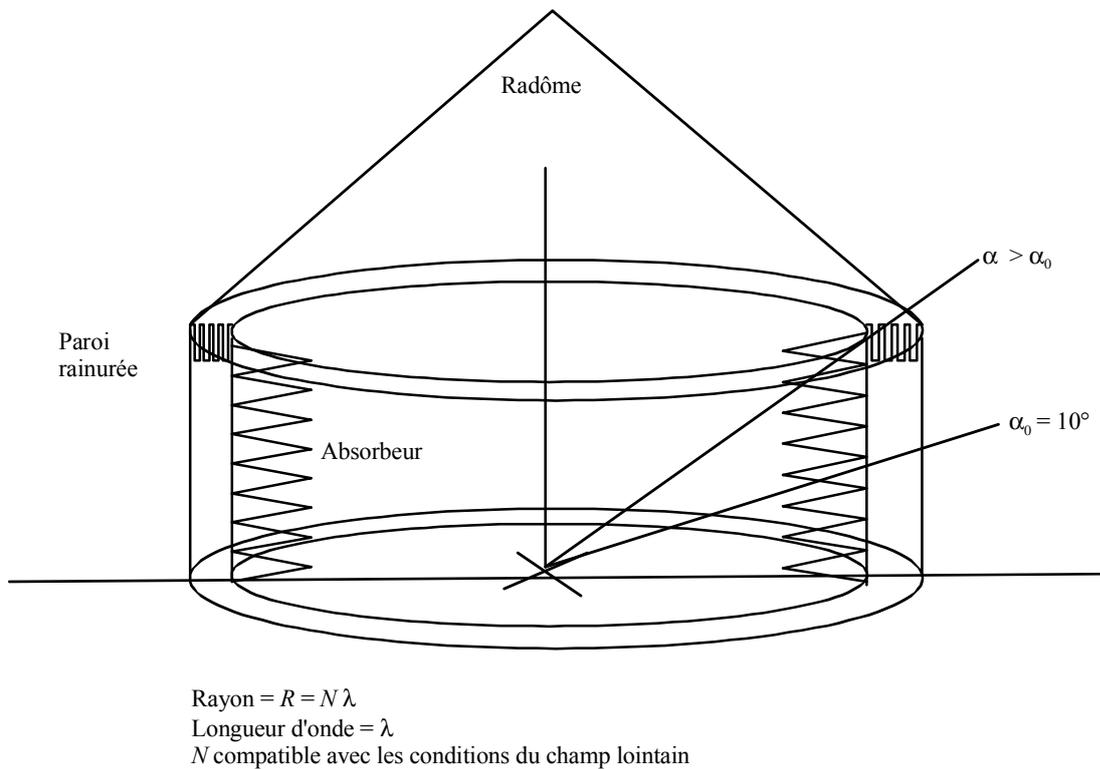
2 Description de l'anneau d'arrêt

Un anneau d'arrêt se compose d'un ou de plusieurs éléments cylindriques placés autour de l'élément rayonnant d'une antenne. Des anneaux d'arrêt sont habituellement utilisés dans le cas d'antennes de réception du système mondial de radiorepérage (GPS, *global positioning system*), pour limiter la propagation par trajet multiple et affaiblir le gain de l'antenne aux angles d'élévation faibles. Leur diamètre se limite à quelque 20-50 cm dans le cas d'une réception GPS, ce qui correspond à une ou deux longueurs d'onde du signal GPS. Dans ce cas les anneaux opèrent dans le champ proche et ont donc une capacité d'affaiblissement limitée.

Dans le cas des liaisons montantes du SRNS, leur capacité d'affaiblissement à de faibles angles d'élévation doit être augmentée; ce résultat peut être obtenu en utilisant un anneau d'arrêt cylindrique de grand diamètre, par rapport à la longueur d'onde du signal émis, comme il est indiqué à la Fig. 3. Dans pareil cas, l'anneau opère dans le champ lointain et peut donc être considéré comme un véritable masque physique. Le diamètre nécessaire est de quelques mètres (environ 5 m dans l'exemple retenu). L'angle d'élévation α de l'anneau par rapport au centre de phase de l'antenne est proche des 25° . Une paroi cylindrique axée sur l'élément rayonnant de l'antenne constitue l'anneau d'arrêt. (La hauteur de cette paroi est d'environ 1 m dans l'exemple retenu.) Le matériau de la paroi est de préférence absorbant, mais on pourrait utiliser également du simple béton; la face interne est recouverte par un absorbeur, qui peut par exemple être constitué de grandes pyramides. Il existe dans le commerce des absorbeurs qui garantissent un affaiblissement d'environ 50 dB en bande L et qui sont compatibles avec la puissance rayonnée sans le risque inhérent d'inflammation. Le bord de la paroi est conçu pour limiter l'effet de diffraction: on peut, par exemple, utiliser un bord nervuré ou rainuré et il est toujours possible d'ajouter au besoin un absorbeur sur le haut de la paroi. L'ensemble de cette structure est couverte par un radôme radiotransparent, ce qui assure ainsi un affaiblissement supérieur à 50 dB pour un angle d'élévation de 10° , en tenant compte seulement des effets de l'absorbeur et de la paroi rainurée. De plus, si une importante amélioration de la capacité d'affaiblissement s'impose, il est même possible de prévoir un deuxième anneau d'arrêt.

Par ailleurs, il n'est pas inutile d'observer que certains radars météorologiques utilisent quant à eux des éléments d'antenne d'émission et de réception placés à l'intérieur de parois séparées, couvertes par des absorbeurs: cette configuration est appelée antenne tunnel; elle assure une isolation d'environ 100 dB entre les deux antennes, pour un angle d'élévation inférieur à 5° .

FIGURE 3
Illustration d'un anneau d'arrêt



Annexe 2

Méthodologie de calcul des distances de séparation entre les stations terrestres du SRNS (Terre vers espace) et les radars aéroportés du service de radiolocalisation dans la bande de fréquences 1 300-1 350 MHz

1 Introduction

La présente Annexe constitue une analyse des brouillages causés par des stations assurant des liaisons montantes à des radars aéroportés de réception.

2 Caractéristiques des systèmes

2.1 Radars de radiolocalisation aéroportés

Les systèmes visés au Tableau 3 sont représentatifs des radars aéroportés qui sont en service ou qu'il est prévu d'utiliser dans la bande 1 300-1 350 MHz.

2.1.1 Système A

Le Système A correspond à un radar aéroporté, non cohérent, à rayonnement latéral dont on se sert pour la surveillance des océans. Le radar sera transporté à bord d'un aéronef volant à une altitude de 15 500 à 25 500 pieds (environ 4,7-7,7 km) au-dessus de la surface de la mer et à une distance de 50 à 500 mn (approximativement 92,6-926 km) des côtes.

2.1.2 Système B

Le Système B correspond à un radar multicanal aéroporté utilisé aux fins de mesure pour des opérations à des altitudes ne dépassant pas 10 000 pieds (approximativement 3 km).

2.1.3 Système C

Le Système C correspond à un radar aéroporté qui utilise deux paires de fréquences au choix de l'opérateur. Les fréquences en question sont séparées par 15 MHz. Dans un seul mode, les quatre fréquences sont utilisées pour supprimer les échos secondaires. Le radar est suspendu à un ballon captif, positionné à une altitude de 10 000 à 15 000 pieds (approximativement 3-4,5 km).

2.1.4 Système D

Le Système D correspond à un radar aéroporté fonctionnant normalement à une altitude supérieure à 30 000 pieds (approximativement 9,1 km), et plus précisément entre 30 000 et 40 000 pieds (approximativement 9,1-12,2 km).

TABLEAU 3

Caractéristiques techniques des radars de radiolocalisation aéroportés

Paramètre	Système A	Système B	Système C	Système D
Gamme de fréquences (MHz)	1 300-1 350	1 215-1 350	1 215-1 400	1 215-1 400
Puissance de sortie (kW)	15	19,2	8,4	27
Largeur de bande d'émission (MHz)	19	1	3	6, 12
Modulation	MF linéaire à impulsions	Étalement de spectre, MF linéaire	MF linéaire à compression d'impulsions	—
Taux des impulsions (impulsions/s)	55	250	369	300-1 000
Intervalle des impulsions (µs)	28	50	260,4	5-50
Temps de montée	0,04 µs	250 ns	0,1 µs	—
Temps de descente	0,04 µs	20 ns	0,1 µs	—
Gain d'antenne (dBi)	20/22	27	35	33
Altitude de l'antenne (pieds)	25 500 (environ 7,7 km)	10 000 (environ 3 km)	15 000 (environ 4,7 km)	40 000 (environ 12,2 km)
Critère de protection (I/N) (dB)	-6	-6	-6	—
Valeur de bruit (dB)	4	4	3,87	5
Taille du réflecteur	4' × 2,5' et 2' × 9' (environ 1,2 × 0,76 et 0,61 × 2,7 m)	4' × 4' (environ 1,2 × 1,2 m)	3 m	—

TABLEAU 3 (*fin*)

Paramètre	Système A	Système B	Système C	Système D
Type de faisceau	Réseau déphaseur	Réseau déphaseur	Parabolique	Etroit
Largeur du faisceau	39° (azimut) ou 12° (azimut) 13° (élévation)	5,20° (azimut) 10,45° (élévation)	(1)	3,5°
Balayage	(2)	(3)	360° horizontal	360° azimut ±60° élévation
Rotations/min	Fixe	2	5	5
Largeur de bande en fréquence intermédiaire (-3 dB) (MHz)	14	9	20	–

(1) Horizontal: premier lobe latéral principal 13,5 dBi à 2,7°; vertical: -3,5°, avec dégradation de 3 dB.

(2) Pour ce radar il existe deux types d'antenne possible, l'un et l'autre étant disposés à angle droit par rapport à la trajectoire de vol. La première antenne a une largeur de faisceau de 60 × 21° de dépointage en azimut pour 14 × 27° de dépointage en élévation; la deuxième a une largeur de faisceau de 36 × 14° de dépointage en azimut pour 14 × 27° de dépointage en élévation.

(3) Le réseau est un réseau à ouverture active capable de balayer ±60° dans le plan azimutal. Etant donné que le réseau, embarqué sur un aéronef, sera fixe, une région de 240° située à l'arrière restera donc en permanence aveugle. Le faisceau principal peut être pointé vers n'importe quel secteur d'une région de 120° (±60° par rapport à l'axe de visée) situé à l'avant du réseau.

3 Brouillage causé par les stations assurant les liaisons montantes du SRNS aux radars aéroportés

Compte tenu des caractéristiques des radars aéroportés exposées au § 2 de la présente Annexe, on peut en déduire la perte imposée (dB) pour pouvoir protéger ces radars des balises émettrices des stations assurant les liaisons montantes du SRNS. Obtenue à l'aide de l'équation donnée au § 3.1 de l'Annexe 1, les valeurs correspondantes sont présentées dans l'Appendice 1 à l'Annexe 2.

3.1 Résultats

Compte tenu de l'altitude maximale (supposée être au-dessus du niveau moyen de la mer) de chaque type de radar aéroporté, on a calculé la distance requise entre le bord extrême de la zone à l'intérieur de laquelle fonctionnent les radars aéroportés et les stations assurant les liaisons montantes du SRNS en utilisant le modèle de propagation avec affaiblissement en espace libre (qui constitue le cas le plus défavorable). Pour tous les calculs on a fixé l'altitude (au-dessus du niveau moyen de la mer) de la station terrienne émettrice du SRNS à 1 000 m.

TABLEAU 4

Distances de séparation en espace libre (antenne du SRNS pourvue d'un anneau d'arrêt) entre radars aéroportés et stations à liaisons ascendantes du SRNS (décalage de fréquence nul)

Système A			Système B			Système C			Système D		
10,23 Mélé- ments/s	1,023 Mélé- ments/s	Addition des puissances des deux codes	10,23 Mélé- ments/s	1,023 Mélé- ments/s	Addition des puissances des deux codes	10,23 Mélé- ments/s	1,023 Mélé- ments/s	Addition des puissances des deux codes	10,23 Mélé- ments/s	1,023 Mélé- ments/s	Addition des puissances des deux codes
P_L (dB) 128,4	P_L (dB) 131,0	P_L (dB) 132,9	P_L (dB) 134,5	P_L (dB) 137,8	P_L (dB) 139,5	P_L (dB) 140,2	P_L (dB) 142,6	P_L (dB) 144,5	P_L (dB) 140,0	P_L (dB) 144,5	P_L (dB) 145,8
Distance (km) 47,1	Distance (km) 63,5	Distance (km) 79,0	Distance (km) 95,0	Distance (km) 138,9	Distance (km) 169,0	Distance (km) 183,1	Distance (km) 241,4	Distance (km) 300,5	Distance (km) 179,9	Distance (km) 302,0	Distance (km) 350,8

Si on inclut dans le calcul l'affaiblissement de 50 dB dû à l'anneau d'arrêt, la distance de séparation minimale requise est de 47 km (Système A, 10,23 Méléments/s). La distance de séparation maximale requise est quant à elle de 351 km (Système D, addition des puissances des deux codes).

Si, par contre, on exclut dans le calcul l'affaiblissement de l'anneau d'arrêt, la distance de séparation minimale requise est alors déterminée par l'horizon radioélectrique du radar aéroporté.

3.2 Conclusions

Il est possible de conclure des exemples ci-dessus, en supposant un gain sur la liaison montante de -1 dBi pour des angles d'élévation inférieurs à 10° et l'utilisation d'un anneau d'arrêt fournissant un affaiblissement supplémentaire de 50 dB, que la méthodologie exposée permet d'obtenir une distance de protection par séparation de 349 km pour le radar aéroporté (Radar D) dont les caractéristiques correspondent au cas le plus défavorable. Pour des caractéristiques différentes (réception du radar, puissance d'émission de la station terrienne du SRNS, absence d'anneau d'arrêt, etc.) on obtiendra d'autres distances. Si dans l'exemple retenu on n'utilisait pas d'anneau d'arrêt, les distances deviendraient excessives pour des radars aéroportés.

Il convient de noter en outre qu'il est possible de réduire le niveau des brouillages causés aux radars aéroportés en utilisant d'autres techniques telles que la planification des fréquences.

Appendice 1 à l'Annexe 2

Système A

Perte imposée entre les radars aéroportés de type A et les stations pour liaisons montantes

	Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	22	22		22	22	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-0,6	-0,1		-1,1	-0,1	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	23,9	26,4	28,4	23,4	26,4	28,2
$P_{threshold}$	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5
Perte imposée (dB)	128,4	131	132,9	128	130,9	132,7

Système B

Perte imposée entre des radars aéroportés de type B et des stations pour liaisons montantes

	Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	27	27		27	27	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-1,4	-0,1		-2,3	-0,2	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	28,1	31,4	33,1	27,2	31,3	32,7
$P_{threshold}$	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4
Perte imposée (dB)	134,5	137,8	139,5	133,6	137,7	139,2

Système C

Perte imposée entre des radars aéroportés de type C et des stations pour liaisons montantes

	Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types des radars aéroportés (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	35	35		35	35	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-0,4	0		-0,5	0	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	37,1	39,5	41,4	37	39,5	41,4
$P_{threshold}$	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1
Perte imposée (dB)	140,2	142,6	144,5	140,1	142,5	144,5

Système D

Perte imposée entre des radars aéroportés de type D et des stations pour liaisons montantes

	Valeurs types des radars aéroportés Rx Bw = 6 MHz (cas le plus défavorable) (décalage de fréquence = 0 MHz)			Valeurs types des radars aéroportés Rx Bw = 6 MHz (cas le plus défavorable) (décalage de fréquence = 3 MHz)		
	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes	Code 10,23 Méléments/s	Code 1,023 Méléments/s	Addition des puissances des deux codes
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33	33		33	33	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-2,7	-0,1		-3,8	-3,1	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	32,8	37,4	38,7	31,7	34,4	36,3
$P_{threshold}$	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2
Perte imposée (dB)	140,0	144,5	145,8	138,9	141,6	143,5