



**Etude complémentaire (au rapport ECC 96) sur les brouillages sur les DME
par l'UMTS 900**

30 Novembre 2007

1 Rappel des documents adoptés par l'ECC et principales conclusions

1.1 ECC report 96 (adopté en mars 2007)

Traite de la compatibilité entre UMTS 900/1800 et systèmes opérant en bande adjacente. Pour la bande 900, les principaux éléments à noter sont :

- Compatibilité avec les DME : le rapport ECC 96 ne traite pas de l'impact des transpondeurs sol DME sur les terminaux mobiles mais uniquement des brouillages causés par les stations de base UMTS 900 sur les DME.

les DME ne sont déployés aujourd'hui qu'au dessus de 977 MHz ; il n'y a donc aucun problème de compatibilité entre DME et GSM900 et il n'y en aurait pas non plus si l'UMTS900 était déployé sans modification du déploiement DME.

Cependant, la DGAC souhaite utiliser les fréquences situées entre 962 et 977 MHz. Les études ont montré que les isolations suivantes (isolation supplémentaires dans les bilans de liaison) sont nécessaires pour satisfaire le critère d'interférence donné par les textes réglementaires de l'OACI et de l'UIT-R en vigueur. Il est à noter que le critère d'interférence utilisé pour faire ces calculs est une valeur de densité spectrale de puissance (à l'entrée du récepteur DME) que l'interférence ne doit pas dépasser. Cette valeur est indépendante de la position de l'avion, notamment vis-à-vis de la balise DME sur laquelle il est calé.

Flight phase	DME 442 Rockwell Collins and DME KN 62A Honeywell					
	DME carrier					
	962 MHz	964 MHz	966 MHz	968 MHz	970 MHz	972 MHz
0 m<altitude<100m	15	15	15	13	12	7
100 m<altitude<500m	12	12	9	9	7	2
500 m<altitude<2000 m	10	10	8	8	6	0
Cruise	9	9	6	6	4	0

Tableau 1 : Isolations supplémentaires (sur le bilan de liaison) pour satisfaire le critère d'interférence de -141 dBW/MHz

Il manque donc jusqu'à 15 dB pour les altitudes basses pour les fréquences situées entre 962 et 966 MHz. Des constructeurs d'équipements UMTS900 ont annoncé officieusement que les équipements n'auraient pas des caractéristiques meilleures que les spécifications (qui ont été prises en compte dans les calculs) surtout pour les fréquences proches du bord de bande UMTS 900 (i.e. : juste au dessus de 960 MHz).

- Compatibilité avec le MIDS : Le rapport ECC 96 rappelle qu'une amélioration de 17dB par rapport aux spécifications est nécessaire dans la bande de fréquence 1000-1206 MHz (domaine des spurious UMTS), mais rappelle également que le statut réglementaire du système MIDS opérant dans la bande 960-1215 MHz relève de l'article 4.4 du RR. Les informations fournies officieusement par un équipementier UMTS900 montrent qu'une amélioration supérieure à 17 dB est attendue (en fait, cette amélioration est estimée à plusieurs dizaines de dBs). Aucune information officielle n'est disponible.

1.2 Décision ECC/DEC/(06)13 (adoptée en novembre 2006)

Cette décision ECC désigne les bandes GSM 900 et 1800 pour l'UMTS. Les rapports ECC 82 et 96 sont cités dans le corps de la décision, chacun dans un considérant.

Considérant relatif au rapport 96 : «that draft ECC Report 96 provides conclusions on the compatibility study between UMTS900/1800 and systems operating in adjacent bands and relevant measures to be applied by administrations».

1.3 Décision communautaire (adoptée en juin 2007)

Intitulé : « Décision sur l'harmonisation des bandes de fréquences de 900 MHz et de 1800 MHz pour les systèmes de Terre capables de fournir des services paneuropéens de communications électroniques dans la Communauté ».

La protection des systèmes opérant en bande adjacente est citée dans le récépissé 12 :

« Les conclusions du mandat de la CEPT doivent être appliquées dans la Communauté et mises en œuvre dans les États membres sans délai eu égard à la demande du marché en faveur de l'introduction de l'UMTS dans ces bandes. En outre, les États membres doivent veiller à ce que l'UMTS offre une protection appropriée aux systèmes existant dans les bandes de fréquences voisines, et prendre en compte les systèmes potentiels de communications aéronautiques fonctionnant au-dessus de 960 MHz qui contribuent à la politique européenne des transports ».

2 Autres éléments à prendre en compte : point d'agenda 1.6 de la CMR-07

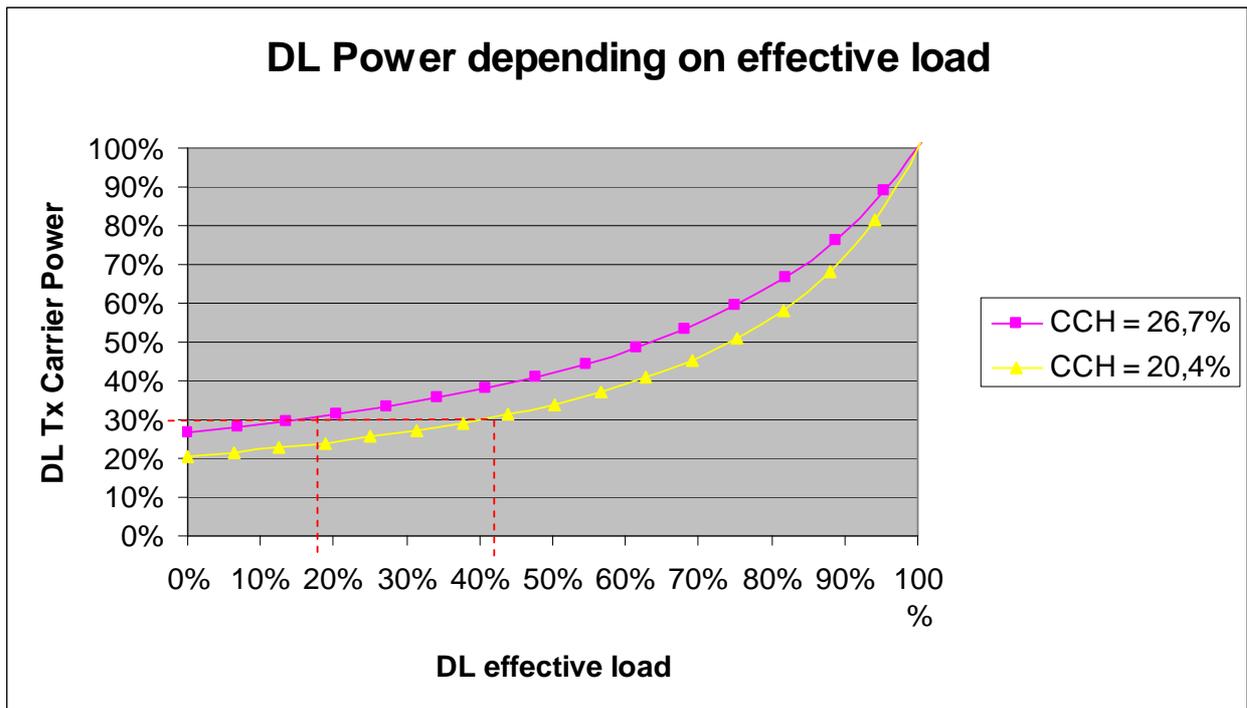
Dans ce cadre, une nouvelle attribution AM(R)S (pour y introduire un système de communication FRS : Futur Radio System) a été décidée. Cette nouvelle attribution concerne la bande 960-1164 MHz.

3 Axes d'amélioration non pris en compte dans les études

3.1 Traffic load factor

Les simulations ont pris en compte une puissance maximum des stations de base (43 dBm par canal), ce qui correspond à une charge de 100%. Cette situation correspond à un « cas pire » qui peut se produire pour une cellule isolée à un instant particulier ; mais elle n'a pas vraiment de sens pour un calcul mettant en jeu un grand nombre de stations de base, ce qui est le cas dans les scénarios étudiés.

La figure ci-dessous donne la puissance émise par une station de base en fonction de la charge de la cellule correspondante.



Lors des débats relatifs au rapport 96, il n'avait pas été possible de déterminer un « traffic load factor » adéquate. Ce facteur de charge et la diminution de puissance émise, par la BTS, n'ont pas été pris en compte dans les études. L'aviation civile souhaitait appliquer 100% de charge en expliquant que le cas pire devait être pris en compte lors d'études de compatibilité mettant en jeu des systèmes aéronautique.

Le rapport donne cependant la suggestion suivante :

	Value of the traffic load factor
Altitude of the aircraft <100m	80%
Altitude of the aircraft >100m	50%

Le gain potentiel est de 3 dB pour les altitudes supérieures à 100 m.

3.2 Facteur de répartition des brouillages (apportionnement)

Ce facteur a été fixé à 6 dB dans les calculs du rapport ECC 96. C'est-à-dire que l'UMTS900 est réputé être à l'origine de 25% des interférences sur le DME.

Le MIDS, qui opère dans la même bande que certaines fréquences du DME, est également une source d'interférence pour le DME. Cependant, c'est un système à saut de fréquence dont les fréquences de saut sont : 969, 972, 975, etc. La largeur de canal MIDS est de 5 MHz. Le premier canal MIDS est donc situé entre 966,5 et 971,5 MHz, soit adjacent au canal DME centré sur 966 MHz :

962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981		
DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME	DME		
					MIDS						MIDS						MIDS				
										MIDS											

Tableau 2 : plans de fréquences DME et MIDS

Les canaux DME centrés sur 962 et 964 ne sont donc pas impactés par le MIDS. Le canal DME centré sur 966 MHz est touché par l'une des 51 fréquences MIDS (soit 1/51 % du temps) par les émissions en bande adjacente.

De ce fait, l'impact du MIDS sur les DME, en ce qui concerne les canaux 962, 964 et 966 MHz est considéré comme négligeable.

Quant aux canaux centrés sur des fréquences supérieures à 966 MHz, on considère que l'amélioration de performance des équipements UMTS 900 par rapport à leur spécification hors bande est suffisante pour gagner les dBs d'isolation nécessaires (voir tableau 1 de ce document) pour éviter le brouillage sur le DME.

Par voie de conséquence, les autres sources d'interférences sur le DME proviennent des systèmes aéronautiques opérant au dessus de 960 MHz.

Il est donc possible de considérer soit le facteur de répartition des brouillages originel de 6 dB soit, pour les canaux DME inférieurs à 966 MHz, un facteur moins conservateur de 3 dB.

3.3 Calculs en C/I pour les altitudes basses

Les calculs, dont les résultats sont exposés dans le paragraphe 1.2 de ce document ont été effectués avec le critère de -141 dB(W/MHz), incluant une marge de sécurité de 6 dB et un facteur de répartition des brouillages de 6 dB également. Ce seuil représente le niveau maximum d'interférence tolérée par le récepteur de l'interrogateur DME. Ce critère a été appliqué indépendamment du niveau de signal utile reçu par l'interrogateur DME. Par conséquent, la valeur de -141 dBW/MHz est pertinente en particulier pour les positions lointaines de l'avion par rapport au transpondeur DME (généralement localisé dans un aéroport) donc pour des niveaux de signal utile faible. Quand l'avion se rapproche du transpondeur DME, le niveau de signal utile augmente. Le niveau d'interférence tolérée doit donc logiquement augmenter. C'est sur ce postulat que reposent les calculs complémentaires additionnels, dits calculs en C/I. Ces calculs sont effectués pour les altitudes basses (entre 0 et 3000 m), pour lesquels le signal utile reçu par l'interrogateur DME est significativement plus important que pour les altitudes élevées. Il est important de noter que les phases critiques de décollage et d'atterrissage se situe entre 0 et 3000 mètres.

3.3.1 Données DME supplémentaires à considérer pour ces calculs

Le DME est un système constitué d'un interrogateur embarqué dans un aéronef et d'un transpondeur au sol. L'interrogateur émet des paires d'impulsions à intervalle déterminé. Le transpondeur au sol reçoit l'interrogation et répond avec un retard prédéterminé sur une fréquence porteuse différente. L'équipement de bord reçoit cette réponse et mesure la différence de temps entre l'interrogation qu'il a émise et la réponse du sol. Il se base sur cette différence de temps pour calculer la distance à la balise au sol et l'afficher.

Les MOPS DME (Minimum Operational Performance Standards), dont le contenu n'est pas repris dans les SARPS OACI (Standards and Recommended Practices), donnent les caractéristiques suivantes :

- sensibilité (§3.3) :
 - 80 dBm pour le mode search and track.
 - 83 dBm pour le mode maintien de tracking.
- C/I requis :
 - 18 dB en mode search
 - 16 dB en mode maintien de tracking.
- Susceptibilité aux interférences CW (§3.16.4) :
 - Le niveau maximum d'un signal CW dans le canal DME est de -99 dBm.
 - Les travaux précédents (voir recommandation UIT-R M.1639) ont montré qu'il y a avait très peu de différence entre une perturbation CW et une perturbation liée à un signal modulé. Les critères de C/I obtenu sont donc réputés applicables à un signal CDMA.

L'annexe 10 de l'OACI contient les données suivantes :

- PIRE / portée d'un transpondeur au sol :

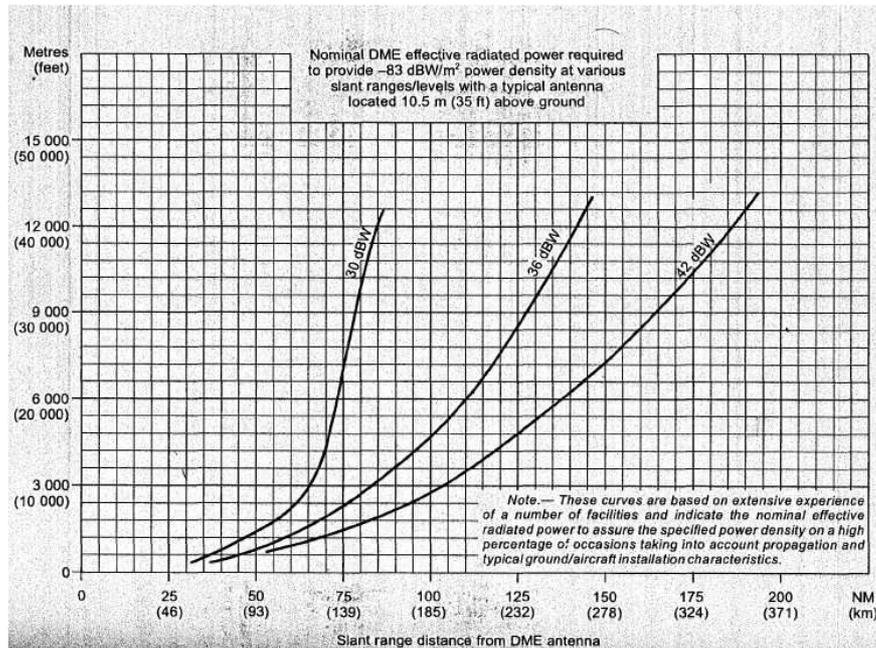


Figure 1 : PIRE mesurée d'un transpondeur sol (tirée de l'annexe 10 de l'OACI)

Les 3 courbes correspondent à 3 mesures d'équipements représentatifs des déploiements. Afin de protéger l'ensemble des DME déployés sur le territoire français, une PIRE de 30 dBW et de 35¹ dBW (correspondant à une p.a.r de 37 dBW) est prise en compte dans les calculs ci-après.

Ceci correspond à une portée de 85 milles nautiques pour un aéronef à 12000 mètres d'altitude, 65 milles nautiques pour un aéronef à 3000 mètres d'altitude, etc.

- Valeur du C/I considérée dans les calculs

Pour une certaine altitude d'un aéronef, la distance interrogateur-transpondeur peut être supérieure à la portée du DME lui-même. Cela implique que pour ces positions, interrogateur et répondeur ne sont pas accrochés. Le DME est donc en mode search. Afin de considérer le cas pire, les études considèrent que le DME est toujours en mode search (le C/I vaut 18 dB).

3.3.2 Résultats des calculs

La PIRE du transpondeur sol est donnée dans les courbes de la figure 1. Afin de couvrir le cas le plus pénalisant en terme de compatibilité entre DME et UMTS900, une PIRE de 30 dBW est considérée dans les calculs.

Il est à noter que les courbes présentées ci-après intègrent la marge de sécurité de 6 dB ainsi que le facteur de répartition des brouillages de 6 dB également (apportionment).

Les altitudes étudiées ici sont comprises entre 0 et 3000 m. Ces altitudes correspondent à la phase finale d'approche d'un aéronef. Trois cas sont étudiés : pente d'approche de 3° (cas général), pente d'approche de 1,5° (plus rare mais possible) et pente d'approche de 1° (cas rare mais possible).

¹ Cette valeur correspond aux caractéristiques déclarées en CAF par la DGAC

3.3.2.1

Résultats des calculs avec une pente d'approche de 3°

DME freq	C/I calculation	Margin needed
962 MHz		
964 MHz		
966 MHz		

Tableau 3 : Marges sur les bilan de liaisons pour une pente d'approche de 3°

3.3.2.2

Résultats des calculs avec une pente d'approche de 1,5°

DME freq	C/I calculation	Margin needed
962 MHz		
964 MHz		
966 MHz		

Tableau 4 : Marges sur les bilans de liaisons pour une pente d'approche de 1,5°

3.3.2.3

Résultats des calculs avec une pente d'approche de 1,0°

Le cas prenant en compte une pente d'approche de 1° est identifié par l'aviation civile (DGAC) comme un cas rare mais possible. C'est un cas pire qu'il est nécessaire de prendre en compte.

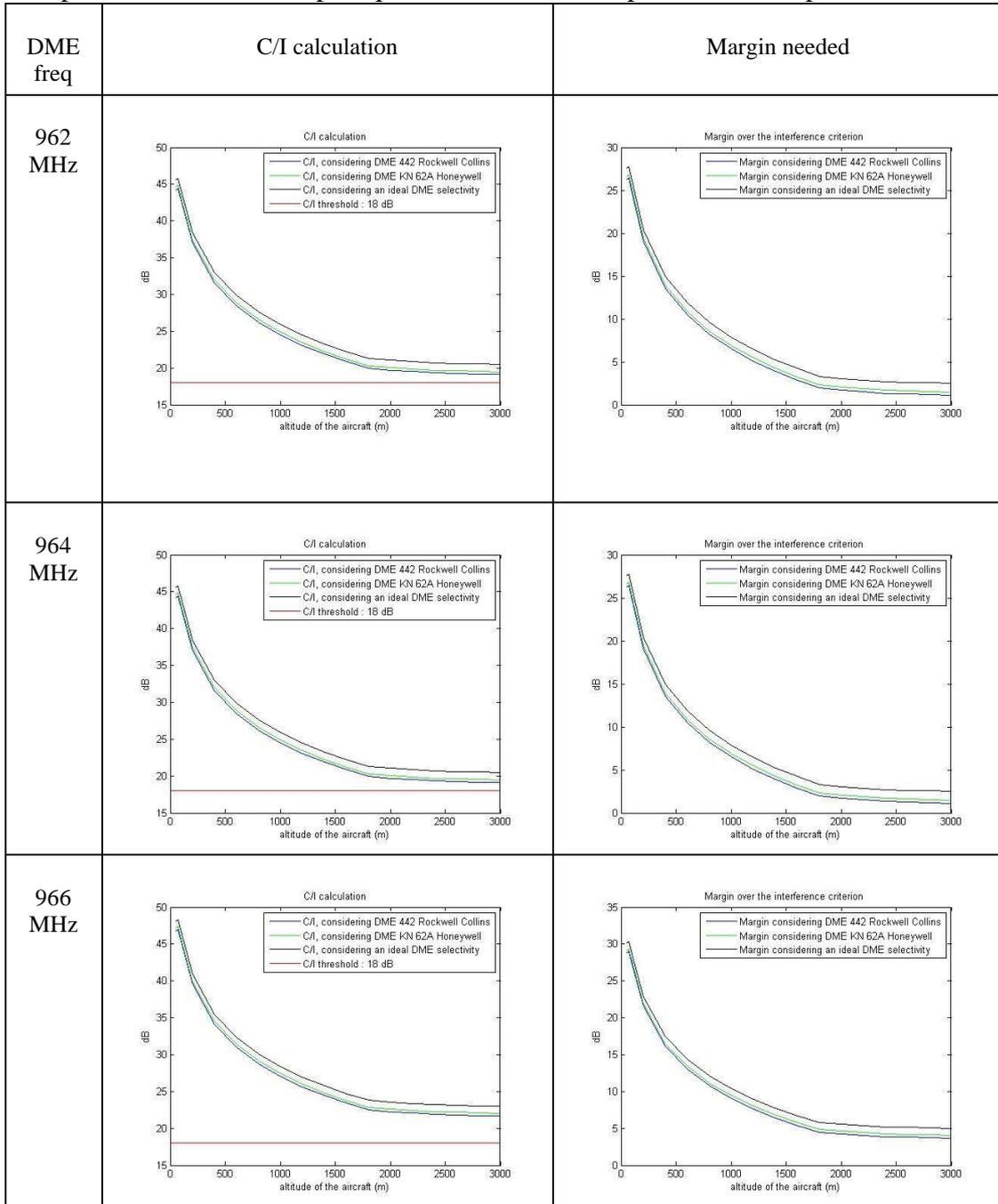


Tableau 5 : Marges sur les bilans de liaisons pour une pente d'approche de 1,0°

3.3.2.4 Synthèse des résultats relatifs aux calculs en C/I

Les résultats donnés dans le tableau ci-dessous sont des marges dans les bilans de liaison afin que le critère C/I de 19 dB soit satisfait. Ce tableau est la synthèse des informations contenues dans les courbes de la section 3.4.2. Les résultats du tableau 6 tiennent compte de la marge de sécurité de 6 dB et du facteur de répartition des brouillages de 6 dB.

Fréquence DME		962 MHz			964 MHz			966 MHz		
Angle d'approche		1°	1,5°	3°	1°	1,5°	3°	1°	1,5°	3°
PIRE _{transpondeur} = 30 dBW (portée = 85 NM)	Altitude = 100m	26,4	30,4	36,4	26,4	30,4	36,4	29,4	32,4	39,4
	Altitude = 500m	12,4	15,4	22,4	12,4	15,4	22,4	14,4	19,4	34,4
	Altitude = 1000m	6,4	10,4	16,4	6,4	10,4	16,4	9,4	13,4	19,4
	Altitude = 2000m	1,4	4,4	11,4	1,4	4,4	11,4	4,4	8,4	14,4
	Altitude = 3000m	1,4	1,4	8,4	1,4	1,4	8,4	4,4	4,4	11,4

Tableau 7 : Résultats en C/I pour les altitudes basses (marges sur les bilans de liaison)

4 Conclusion

Avec les hypothèses suivantes:

- 15 dBi (incluant les pertes feeder, soit 18-3 dB) de gain d'antenne station de base UMTS900
- 100% de charges pour l'ensemble des cellules UMTS900
- 6 dB de marge de sécurité
- 6 dB de facteur de répartition des brouillages
- PIRE DME de 30 dBW
- critères d'interférence $C/I \geq 19$ dB pour les altitudes inférieures à 3000m et $I \leq -141$ dBW/MHz pour les altitudes supérieures à 3000 m

Les résultats sont :

Phases de vol		DME 442 Rockwell Collins and DME KN 62A Honeywell																	
		DME carrier																	
		962 MHz			964 MHz			966 MHz			968 MHz			970 MHz			972 MHz		
Approche	Angle (deg)	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0	1,0	1,5	3,0
	Alt=100 m	26,4	30,4	36,4	26,4	30,4	36,4	29,4	32,4	39,4	29,4	33,4	39,4	31,4	34,4	41,4	36,4	39,4	46,4
	Alt=500 m	12,4	15,4	22,4	12,4	15,4	22,4	14,4	19,4	34,4	19,4	18,4	34,4	16,4	20,4	26,4	21,4	24,4	31,4
	Alt=1000 m	6,4	10,4	16,4	6,4	10,4	16,4	9,4	13,4	19,4	9,4	13,4	19,4	10,4	15,4	21,4	14,4	19,4	24,4
	Alt=2000 m	1,4	4,4	11,4	1,4	4,4	11,4	4,4	8,4	14,4	4,4	8,4	14,4	6,4	8,4	16,4	11,4	15,4	20,4
	Alt=3000 m	1,4	1,4	8,4	1,4	1,4	8,4	4,4	4,4	11,4	4,4	4,4	11,4	6,4	6,4	13,4	11,4	11,4	18,4
Croisière		-9			-9			-6			-6			-4			0		

Tableau 8 : Résultats en marges sur les bilans de liaison

Dans le tableau 9, les résultats sont donnés en dB. Ils indiquent la marge dont le bilan de liaison dispose pour satisfaire le critère d'interférence. Une marge négative signifie que le critère d'interférence du DME n'est pas satisfait.

Il est possible de considérer d'autres valeurs que celles prises en compte dans les études pour les paramètres suivants :

- Facteur de charge des cellules UMTS900 (en moyenne dans le réseau) : en pratique, le facteur de charge moyen des cellules est inférieur à 100%. Toutefois, il n'est pas possible pour un opérateur de s'engager sur une valeur maximale.
- Facteur de répartition des brouillages : étant donné le paragraphe 3.3, un facteur de 3 dB peut être considéré lors de l'évaluation des brouillages sur les canaux DME inférieurs à 966 MHz. Cette valeur augmentera les marges du tableau 7 de 3 dB.
- Gain d'antenne des stations de base UMTS 900 : dans les zones rurales, certains opérateurs utiliseront des antennes de 18 dBi avec RRH (Remote Radio Head) placé avant l'antenne, donc sans perte feeder. Ce qui peut diminuer les marges du tableau 7 de 3 dB.
- Une PIRE DME de 30 dBW a été considérée dans les études. Cependant, la DGAC a déclaré une valeur de 35 dBW à l'ANFR. Si on considère cette dernière valeur, les marges du tableau 7 sont augmentées de 5 dB.
- Les valeurs pour le filtre de réception DME sont des valeurs mesurées sur 2 équipements et ne sont pas forcément représentatives de l'ensemble des équipements. Cependant, l'impact d'un filtre de réception différent est limité étant donné que le brouillage dans la bande utile du DME est dominant par rapport au brouillage hors-bande.

Par ailleurs, la DGAC a indiqué que seule la situation d'approche la préoccupait. En effet, la redondance d'équipements pour la phase « croisière » permet de s'affranchir des éventuelles perturbations sur le DME.

Le tableau ci-après, représente dans les conditions de l'étude, le nombre de stations de base UMTS900 vues par le DME contribuant au calcul d'interférence, ainsi que la superficie de répartition de l'ensemble des stations de base UMTS.

Altitude	nbre de stations	surface (km2)	rayon équivalent (km)
100 m	150	11780	61
500 m	475	37306	108
1000 m	840	65973	144
2000 m	1550	121736	196
3000 m	2520	197920	250
10000 m	6900	541924	415