

RAPPORT 764-2

**PROBLÈMES DE BROUILLAGE ET DE BRUIT DANS LE CAS DE SYSTÈMES
DU SERVICE MOBILE MARITIME PAR SATELLITE UTILISANT
DES FRÉQUENCES DANS LES BANDES DES 1,5 ET DES 1,6 GHz**

(Programme d'études 17A/8)

(1978-1982-1986)

1. Introduction

Les systèmes opérationnels du service mobile maritime par satellite utiliseront au minimum des fréquences des bandes des 1,5 et des 1,6 GHz pour les trajets respectifs satellite-navire et navire-satellite. Le présent Rapport indique les résultats de recherches théoriques portant, dans la gamme de fréquences considérée, sur les brouillages qu'un système du service mobile maritime peut subir du fait d'autres services et sur les brouillages que ce système peut causer à ces autres services [Haakinson et Kimball, 1974; Haakinson, 1974]. Il donne ensuite un résumé des résultats de mesures du bruit électromagnétique faites dans des ports et à bord de navires en mer [Clarke et autres, 1974]. Finalement, il contient des considérations relatives à d'autres sources de bruit dans cette gamme de fréquences, par exemple, le bruit extra-terrestre et la température de bruit des récepteurs.

2. Brouillages causés à des systèmes maritimes par satellite**2.1 Brouillages causés par des altimètres à radiodétection**

Les radioaltimètres peuvent causer des brouillages aux récepteurs de bord des systèmes à satellite quand l'aéronef se trouve dans le faisceau de l'antenne du navire, l'altimètre étant en fonctionnement. D'ailleurs, semble-t-il, le nombre des altimètres fonctionnant dans cette bande va en diminuant. On peut réduire les risques de brouillages et leur durée, en faisant fonctionner le radioaltimètre uniquement sur les fréquences supérieures de la bande attribuée.

2.2 Brouillages causés par les systèmes aéronautiques par satellite

L'émetteur de bord de l'aéronef d'un système aéronautique par satellite ne devrait pas causer de brouillage à l'équipement terminal du navire d'un système maritime par satellite, même s'il rayonne dans le faisceau principal de l'antenne du navire [Haakinson, 1974].

2.3 Brouillage causé par des émissions hors bande de systèmes de radiodétection

On peut considérer comme une cause éventuelle de brouillages radioélectriques le radiodétecteur de recherches aériennes AN/SPS-29 utilisé par les navires du Gouvernement des Etats-Unis. Cependant, on peut supprimer cette source de bruit électromagnétique, en montant dans l'émetteur un simple filtre coaxial RF commercial. De même, on peut supprimer le brouillage causé par les radiodétecteurs de recherches en surface à ondes décimétriques, en montant à la sortie de leur émetteur un simple filtre à guide d'ondes commercial. On n'a pas mis en évidence que le bruit présent dans la bande 9 fût causé par des radiodétecteurs de recherches en surface de 3 cm utilisés par les navires du Gouvernement ou les navires de la marine marchande.

2.4 Brouillages causés par le matériel de radiocommunication actuellement monté à bord de navires et par les isolateurs haute tension correspondants

Les émissions des émetteurs de navire à ondes décimétriques peuvent causer des brouillages aux voies de satellite des stations terriennes de navire. Les résultats d'évaluations théoriques et expérimentales de cet effet sont publiés dans l'Annexe I au présent Rapport. Il est nécessaire de disposer d'autres données expérimentales et des résultats de nouvelles études.

3. Brouillage pouvant être causé par les émetteurs de navire du service mobile maritime par satellite**3.1 Brouillages causés aux systèmes aéronautiques par satellite**

Il résulte d'une étude que l'émetteur de navire d'un système maritime par satellite ne peut causer des brouillages que si le récepteur de l'aéronef du système aéronautique par satellite se trouve à moins de 4 milles marins du navire et à l'intérieur du faisceau principal de l'émetteur [Haakinson, 1974].

3.2 Brouillages causés à des systèmes de prévention des collisions

Les systèmes expérimentaux de prévention des collisions risquent d'être brouillés par les émissions non essentielles d'émetteurs de navire. Il convient d'imposer à ces émissions des limites permettant d'éliminer, dans la mesure du possible, une telle source de brouillage.

3.3 *Brouillages hors bande causés à d'autres services de radiocommunication*

Les émetteurs de stations de navire associées au secteur spatial peuvent engendrer des produits d'intermodulation, des harmoniques et d'autres formes d'émissions parasites qui risquent de causer des brouillages nuisibles à d'autres services fonctionnant au-dessus, entre ou au-dessous des bandes des 1,5 et 1,6 GHz attribuées au service mobile maritime par satellite. Il convient de déterminer les limites à imposer aux émissions parasites émanant des stations de navire du secteur spatial pour que les brouillages en question soient éliminés dans la mesure du possible. En étudiant les valeurs de ces limites, on devrait mettre en évidence les limitations pratiques dues au matériel.

3.4 *Brouillages dans la bande causés au service fixe*

Conformément aux dispositions des numéros 727 et 730 du Règlement des radiocommunications, la bande 1540-1660 MHz est aussi attribuée au service fixe, dans certains pays des Régions 1 et 3.

On étudie actuellement les brouillages qui pourraient être causés au service fixe par des émetteurs installés à bord de navires (voir le Rapport 917, Annexe I).

4. **Compatibilité électromagnétique**

On a étudié la compatibilité électromagnétique, au port et en mer, à bord du navire *American Alliance*, où était installé un équipement terminal de service maritime par satellite fonctionnant dans la bande 1500 à 1600 MHz [RCA, 1974].

4.1 *Champ*

Les mesures de champ faites à 1 m des coffrets des émetteurs radar, dans la cale, ont montré que le rayonnement de ces coffrets était acceptable.

D'autre part, les mesures de champ ont montré que les niveaux enregistrés sur les ponts supérieurs étaient équivalents ou inférieurs aux niveaux mesurés dans la cale.

Les brouillages causés par le radar à l'équipement de bord dépendaient de l'emplacement relatif des antennes. Sur l'*American Alliance*, l'antenne du service maritime par satellite était distante de 9,2 m de l'antenne du radar pour la bande 9, et de 7,4 m de l'antenne pour la bande 10. Une distance moindre obligerait à mettre en œuvre un filtre passe-bas supplémentaire.

4.2 *Brouillages causés aux radars*

La mesure relative aux brouillages que l'équipement terminal de bord du système à satellite pourrait causer aux radars pour les bandes 9 et 10 installés à bord de l'*American Alliance* a montré qu'il n'y a rien à craindre avec un émetteur de bord de 15 W. On a utilisé un réflecteur parabolique de 1,2 m de diamètre alimenté en polarisation circulaire dextrorsum. Le gain d'antenne était de 24 dB à 1559 MHz.

5. **Bruit extra-terrestre**

Le Tableau I donne une vue synoptique des effets exercés sur un système à 1500 MHz par des sources extra-terrestres de bruit radioélectrique.

6. **Bruit atmosphérique causé par absorption**

Un milieu absorbant, comme l'oxygène et la vapeur d'eau dans l'atmosphère, émet un bruit thermique que l'on peut exprimer sous la forme d'une température apparente du ciel. Le Rapport 714 récapitule les renseignements disponibles. A 1600 MHz, la température varie de 80 K à 2 K pour des angles de site allant de 0° à 90°. Pour un angle de site de 10°, la température du ciel est de 10 K environ (voir également le § 5.2 du Rapport 714).

7. **Bruit des récepteurs des stations de navire associées au secteur spatial**

La température de bruit du récepteur d'une station de navire associée au secteur spatial dépend principalement du type de l'étage de préamplification et de l'affaiblissement sur la ligne d'alimentation entre l'antenne et le préamplificateur. Normalement, le préamplificateur devrait être monté immédiatement derrière l'antenne, ce qui réduirait à un minimum l'affaiblissement sur la ligne d'alimentation de cette dernière. Dans cette disposition, un préamplificateur transistorisé permet de limiter à 225 K environ la température de bruit d'un récepteur et un amplificateur paramétrique non refroidi permet de la limiter à 55 K environ.

8. **Bruits artificiels**

Des données ont été recueillies, au port et en mer, sur une dizaine de types de navires [Clarke et autres, 1974]. On a constaté que toutes les sources importantes de bruit électromagnétique dans la bande 9 (1535 à 1660 MHz) ont des bandes de rayonnement plus larges que celle des liaisons envisagées pour les futurs systèmes du service mobile maritime par satellite. Le bruit à large bande était intermittent et de durée généralement beaucoup plus courte que celle d'un élément type du message envisagé pour un système maritime à satellite.

TABLEAU I – Caractéristiques des sources extra-terrestres de bruit radioélectrique à 1500 MHz

Source		Soleil	Lune	Jupiter	Cassiopee	Centre galactique
Dimensions de la source (stéradians)		$1,35 \times 10^{-4}$	$1,07 \times 10^{-4}$	Source ponctuelle	Source ponctuelle	$1,9 \times 10^{-3}$ ($2,6 \times 1,4^\circ$)
Puissance surfacique (W/(m ² ·Hz))		$9,3 \times 10^{-21}$	–	–	$2,2 \times 10^{-23}$	
Température apparente (K)		10^5	250	2×10^3	–	162
Température de bruit de l'antenne (K)	Gain d'antenne 20 dB	107	0,21	< 1	0,24	15
	Gain d'antenne 10 dB	11	$2,1 \times 10^{-2}$	< 10^{-1}	$2,4 \times 10^{-2}$	7
	Gain d'antenne 3 dB	2	$2,1 \times 10^{-3}$	< 2×10^{-2}	$4,8 \times 10^{-3}$	2 (estimation)

Il est apparu que les bruits électromagnétiques les plus forts dans la bande 9 proviennent d'appareils électriques fonctionnant par intermittence dans les ports ou à proximité immédiate. Ces bruits ont généralement un large spectre. Ces brouillages intermittents étaient dus en très grande partie à des bruits impulsifs à large spectre provenant de circuits d'allumage appartenant à des appareils de déchargement, de débarcadère ou de bord. Des bruits analogues ont fréquemment été enregistrés dans les automobiles et les camions sur les routes et les ponts proches des ports et des canaux. Un autre élément du bruit enregistré dans les ports est le bruit ambiant de la ville, dont l'amplitude varie d'un port à l'autre et également selon l'heure du jour. L'amplitude de ce bruit peut varier de 20 dB selon qu'il est mesuré un jour ouvrable ou un jour férié, l'amplitude étant moindre dans le deuxième cas. Se sont manifestés occasionnellement, le navire étant dans un port ou à son voisinage, des niveaux de densité de puissance du bruit de brouillage radioélectrique compris entre 20 et 30 dB au-dessus du niveau de densité de puissance de bruit ambiant du récepteur, celui-ci ayant un niveau de bruit de 3 dB. Une telle élévation du niveau de bruit ambiant apparent pourrait affecter gravement les seuils de fonctionnement sur les trajets. Au-delà de la distance de visibilité radioélectrique directe d'un port quelconque, la sensibilité du récepteur d'un navire, surtout si c'est un navire moderne, ne devrait pas être affectée par les brouillages radioélectriques.

8.1 Brouillages dus aux automobiles sur une autoroute

L'amplitude maximale du bruit provenant du trafic intense de l'autoroute de Brooklyn atteint –150 dB(mW/Hz) environ dans la bande 9. Pour effectuer cet essai, on a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit. Dans certaines conditions, le bruit artificiel provenant de la circulation automobile peut altérer le niveau de sensibilité du récepteur [Clarke et autres, 1974].

8.2 Bruits de chantier naval

On a enregistré dans le chantier naval de Boston, en pleine activité au moment de la mesure, des bruits d'une amplitude maximale très élevée –141 dB(mW/Hz). Il s'agit là de bruits composites: bruits ambiants de la ville et bruits électromagnétiques à large spectre provenant d'appareils industriels. On a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit. Dans certaines conditions, les bruits de chantier naval peuvent altérer les niveaux de sensibilité du récepteur dans la bande 9 [Clarke et autres, 1974].

8.3 *Bruits de débarcadère*

On a noté l'existence, dans tous les ports, de bruits impulsifs à large spectre provenant de circuits d'allumage de moteurs à combustion appartenant à des appareils de déchargement. A Narragansett Bay, à 8 km de Portsmouth, Rhode Island (Etats-Unis d'Amérique), l'amplitude maximale de bruit enregistrée est d'environ -137 dB(mW/Hz) dans la bande de réception du service mobile maritime par satellite. Provenant des grues de bord, on a enregistré des niveaux de bruit de -150 dB(mW/Hz). On a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLARKE, J. M., CANTOR, S. R., WINCHUS, J. J. et CAPORALE, A. L. [décembre 1974] Measurement and analysis of L-band (1535-1660 MHz), electromagnetic (EM) noise on ships. Final Report No. CG-D-50-75. US Department of Transportation, Washington, DC 20590.
- HAAKINSON, E. J. [octobre 1974] Spectrum resource assessment for the 1535-1660 MHz band (Addendum). OT Technical Memorandum 74-165-2, US Department of Commerce, Washington, DC.
- HAAKINSON, E. J. et KIMBALL, H. G. [mars 1974] Spectrum resource assessment for the 1535-1660 MHz band. Phase II - Analysis. OT Technical Memorandum 74-165, US Department of Commerce, Washington, DC.
- RCA [août 1974] In-harbour and at-sea electromagnetic compatibility survey for maritime satellite L-band shipboard terminal. RCA Service Corp. Contract NAS5-24035. National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC.

BIBLIOGRAPHIE

- DUFF, W. G. et WHITE, D. R. J. [1972], EMI Prediction and Analysis Techniques, A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol. 5, Germantown, Maryland, Etats-Unis d'Amérique.

ANNEXE I

INFLUENCE D'UN ÉMETTEUR A ONDES DÉCAMÉTRIQUES
INSTALLÉ A BORD D'UN NAVIRE SUR LE FONCTIONNEMENT
D'UNE STATION TERRIENNE DE NAVIRE

1. *Etude théorique*

Pour déterminer dans quelle mesure les émissions d'un émetteur à ondes décimétriques peuvent influencer le fonctionnement d'une station terrienne de navire, on a pris comme critère le brouillage dont le niveau dépasse le seuil de sensibilité du récepteur de cette station terrienne. On suppose que le seuil de sensibilité correspond au niveau de sensibilité du récepteur calculé pour les fréquences correspondantes, f_{SR} , capables de produire des réponses parasites et qu'il peut s'exprimer par la formule suivante:

$$f_{SR} = \frac{pf_{LO} \pm f_{IF}}{q} \pm \frac{B_R}{2q} \quad (1)$$

où:

- f_{LO} : fréquence de l'oscillateur local (MHz)
 f_{IF} : première fréquence intermédiaire (MHz)
 B_R : largeur de bande à 3 dB sur la première fréquence intermédiaire (MHz)
 p, q : numéro de l'harmonique de l'oscillateur local et du signal brouilleur, respectivement ($p, q = 0, 1, 2, \dots$, etc.)

Le seuil de sensibilité du récepteur aux réponses parasites, à l'entrée du récepteur, $P_R(f_{SR})$, peut s'exprimer par:

$$P_R(f_{SR}) = P_R(f_{OR}) + I \log \frac{f_{SR}}{f_{OR}} + J \quad (2)$$

où:

- $P_R(f_{OR})$: sensibilité fondamentale du récepteur (dBm)
 f_{OR} : fréquence fondamentale du récepteur (MHz)
 I, J : constantes caractérisant, en dB/décade et en dB respectivement, le rejet du récepteur en dehors de la fréquence d'accord.

La puissance du signal brouilleur produit par les émissions à ondes décamétriques à l'entrée du récepteur d'une station terrienne de navire, $P_I(f_{SR})$, est déterminée, pour la fréquence fondamentale et les harmoniques de l'émetteur, par la formule suivante:

$$P_I(f_{SR}) = P_T(f_{OT}) + A \log n + B - L_c \quad (3)$$

où:

- $P_T(f_{OT})$: puissance de la fréquence fondamentale, dBm,
 n : numéro de l'harmonique de la fréquence de l'émetteur (f_{OT}) par rapport à la fréquence de réponse parasite du récepteur (f_{SR}), $n = f_{SR}/f_{OT}$,
 A, B : constantes caractérisant, en dB/décade et en dB respectivement, les niveaux d'émission harmonique du récepteur,
 L_c : perte par couplage (dB), y compris les effets de propagation, de l'antenne de réception et de l'antenne d'émission.

On peut décrire L_c d'une façon plus détaillée en utilisant l'expression suivante:

$$L_c = 10 \log \eta_{af} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi r} + 10 \log \gamma + 10 \log \beta + 10 \log G(\theta, \varphi, \lambda) + 10 \log \eta_r \quad (4)$$

où:

- η_{af} : constante de transfert de la ligne d'alimentation de l'antenne de l'émetteur
 λ : longueur d'onde (pour l'harmonique correspondante) (m)
 r : distance (m) entre l'antenne de la station terrienne de navire et l'antenne de l'émetteur à ondes décamétriques
 $G(\theta, \varphi, \lambda)$: gain de l'antenne de la station terrienne de navire par rapport à l'azimut θ et au site φ
 η_r : rendement de la ligne d'alimentation de l'antenne du récepteur
 β, γ : constantes caractérisant les effets d'obstacles matériels et de défaut d'adaptation de la polarisation d'antenne.

Les formules (1) et (2) ont été appliquées pour calculer le seuil de sensibilité du récepteur aux fréquences des réponses parasites les plus proches des fréquences de fonctionnement de l'émetteur à ondes décamétriques. Les données initiales utilisées dans les calculs étaient les suivantes:

$$\begin{array}{ll} f_{OR} = 1538 \text{ MHz} & f_{LO} = 1351 \text{ MHz} \\ f_{IF} = 187 \text{ MHz} & P_R(f_{OR}) = -139 \text{ dBm} \\ B_R = 8,5 \text{ MHz} & I = -20 \text{ dB/décade} \\ P = 0 & J = 80 \text{ dB.} \end{array}$$

Les résultats du calcul figurent au Tableau II.

TABLEAU II — *Seuils de sensibilité aux réponses parasites*

q	f_{SR} (MHz)	$P_R(f_{SR})$ (dBm)
8	23,37 ± 0,53	-22,6
10	18,70 ± 0,42	-20,7
11	17,00 ± 0,39	-19,9
5	37,40 ± 0,85	-26,7
7	26,71 ± 0,61	-23,8

Les fréquences des réponses parasites indiquées dans le Tableau II sont les premiers sous-harmoniques FI du système de réception de la station terrienne de navire.

A l'aide de la formule (3), on a calculé la puissance de brouillage sur les fréquences des réponses parasites et on l'a comparée avec les valeurs obtenues pour le seuil de sensibilité du récepteur. On a effectué le calcul pour les fréquences de l'émetteur à ondes décamétriques, f_{OT} , capables de causer des brouillages sur les fréquences des réponses parasites du récepteur. Hypothèses: $P_T(f_{OT}) = 1500 \text{ W}$, $A = -70 \text{ dB/décade}$ (voir la Note), $B = -20 \text{ dB}$, pour L_c , on a utilisé un affaiblissement en espace libre sur une distance de 10 m.

Note. — Dans les calculs futurs, la valeur de A peut être prise comme égale à -60 dB/décade sans aucune dégradation de la qualité à la réception.

Les résultats du calcul figurent dans le Tableau III.

TABLEAU III — Puissance de brouillage sur les fréquences des réponses parasites

f_{OT} (MHz)	n	$P_I(f_{SR})$ (dBm)	$P_I(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ (dB)
4,670 ± 0,1062	5	- 27,0	- 4,4
6,2333 ± 0,1417	3	- 9,5	+ 11,2
17,00 ± 0,3864	1	+ 24,7	+ 44,6
8,50 ± 0,1932	2	+ 3,6	+ 23,5
12,4666 ± 0,2833	3	- 15,5	+ 11,2
13,3571 ± 0,3035	2	- 0,3	+ 23,5

TABLEAU IV — Puissance de brouillage à la fréquence fondamentale du récepteur de la station terrienne du navire $P_I(f_{OR})$

f_{OT} (MHz)	n	$P_I(f_{OR})$ (dBm)	$P_I(f_{OR})/P_R(f_{OR})$ (dB)
6,2 à 13,2	248 à 124	- 102 à 82	- 11 à 9

Les valeurs de brouillage ci-dessus concernent seulement les premiers sous-harmoniques de la station terrienne de navire IF. A noter que les formules (2) et (3) ne tiennent pas compte des non-linéarités des composants actifs du récepteur ou de l'émetteur qui peuvent affecter la sensibilité relative ou les niveaux d'émission pour différents harmoniques.

2. Résultats expérimentaux

Pendant la durée de l'expérience, on mesurait les niveaux $(I + N)/N$ afin de déterminer les effets des émissions à ondes décimétriques. Le brouillage était produit par l'émetteur à ondes décimétriques sur les fréquences choisies dans la bande indiquée au Tableau III. Les niveaux de bruit et les niveaux brouillage-plus-bruit ont été déterminés pour une largeur de bande de 20 kHz dans la première voie FI de la station terrienne de navire.

L'antenne de la station terrienne de navire était orientée vers l'antenne de l'émetteur à ondes décimétriques située à une distance de 8,6 m. L'émetteur fonctionnait en classe d'émission A1A et la puissance émise était de 1,5 kW.

On trouvera dans le Tableau V les résultats du traitement des valeurs mesurées de $(I + N)/N$.

TABLEAU V — Rapport $(I + N)/N$ moyen en fonction de la fréquence de fonctionnement de l'émetteur à ondes décimétriques

f_{OT} (MHz)	4,68	6,23	8,35	12,51	13,2	16,75
$(I + N)/N$ (dB)	0	20	18	23	17	16

Les valeurs mesurées du brouillage indiquées au Tableau V ne peuvent être directement comparées aux valeurs calculées du Tableau III. Toute divergence éventuelle résulte de ce que certains facteurs ne sont pas pris en considération dans les calculs du Tableau II, par exemple les effets exercés sur L_c en fonction de la fréquence. On trouvera dans les Rapports 522 et 524 d'autres renseignements sur la prévision des réponses parasites.

Le brouillage dans la voie de réception était un brouillage à bande étroite, son niveau dépendant de l'orientation de l'antenne de la station terrienne de navire par rapport à l'antenne de l'émetteur à ondes décimétriques.

Pendant toute la durée de l'expérience, on a analysé les effets des émissions à ondes décimétriques sur la qualité de la réception de messages téléphoniques et télex à la fréquence $f_{OT} = 12,502$ MHz, qui brouille la fréquence de réception 1537,75 MHz (voie de satellite). On a déterminé les valeurs de $(I + N)/(C + N)$.

Aucune perturbation n'a été enregistrée à la réception des messages télex de référence pour $(I + N)/(C + N) \leq -1$ dB. Il convient de noter que ce rapport peut atteindre 15 dB pour de faibles angles de site.

La qualité de réception du message téléphonique est jugée satisfaisante pour $(I + N)/(C + N) \approx 2$ dB:

où:

I : niveau du signal brouilleur

N : bruit

C : niveau du signal de la porteuse utile

Si la valeur de $(I + N)/(C + N)$ mesurée dans la première voie FI est égale ou supérieure à 5 dB, le brouillage bloque complètement la voie téléphonique.
