

RAPPORT 899-1

**SYSTÈMES DE MODULATION PERMETTANT UNE UTILISATION TRÈS ÉCONOMIQUE
DES FRÉQUENCES POUR LE SERVICE MOBILE TERRESTRE**

(Question 7/8; Programme d'études 7B/8)

(1982-1990)

1. Système Lincompex (système à compresseur et extenseur couplés)**1.1 Introduction**

Le système Lincompex a été mis au point pour améliorer la qualité de transmission de la parole dans le service radiotéléphonique à ondes décamétriques. Les caractéristiques de l'équipement Lincompex pour le service téléphonique fixe et le service mobile maritime à ondes décamétriques, telles qu'elles sont spécifiées dans les Recommandations 455 et 475, sont tout à fait satisfaisantes pour l'exploitation de la radiotéléphonie à ondes décamétriques.

L'encombrement des bandes d'ondes métriques attribuées aux services mobiles terrestres pose un grave problème dans de nombreux pays, en raison de l'expansion rapide du service téléphonique mobile terrestre dans des zones géographiques d'étendue limitée. La technique de la bande latérale unique constitue sans aucun doute le meilleur moyen pour réduire à un minimum la largeur de bande occupée; toutefois, cette technique, dans sa forme classique, permet difficilement de faire face aux conditions de propagation propres du service mobile terrestre, par exemple les évanouissements rapides et les niveaux élevés de bruit impulsif dans les zones urbaines.

Le système Lincompex possède des propriétés qui permettent de se protéger contre les effets de ces phénomènes.

D'une manière générale, le système Lincompex peut être utilisé dans le service téléphonique mobile terrestre, moyennant quelques perfectionnements de ses caractéristiques fondamentales en ondes décamétriques.

1.2 Amélioration des caractéristiques du système Lincompex pour le service mobile terrestre

Pour pouvoir faire face aux conditions de propagation propres au service téléphonique mobile terrestre, on avait apporté les perfectionnements suivants à l'équipement utilisé dans les essais qui ont été faits au Japon [Kadokawa et autres, 1981].

- Pour réduire l'effet Doppler ainsi que l'influence de l'erreur de fréquence, on avait porté à 6 Hz/dB la sensibilité de la modulation de fréquence dans la voie de commande (soit une valeur trois fois plus grande que celle utilisée dans les bandes d'ondes décamétriques: 2 Hz/dB).
- Pour compenser les effets des évanouissements profonds et rapides, on a divisé par 3 environ les durées d'établissement et de retour du compresseur et de l'extenseur; d'autre part, le temps d'établissement du régulateur anti-fading était 10 fois plus petit environ que dans le Lincompex pour ondes décamétriques; la limite inférieure de la gamme de ce régulateur était étendue d'environ 15 dB. Le niveau dans la voie de commande était porté à la même valeur que celui de la voie de conversion.
- Pour améliorer la qualité de la parole transmise, on utilisait un circuit de préaccentuation dont la caractéristique était de 6 dB/octave.

1.3 Résultats des essais

Les essais pratiques effectués au Japon ont fourni des résultats satisfaisants. Le Tableau I récapitule les résultats obtenus pour le champ moyen correspondant à plusieurs notes d'évaluation.

TABLEAU I - Valeurs mesurées du champ moyen nécessaire pour chaque note

Note	Appréciation générale	Champ en dB(μ V/m)		
		Lincompex	MF	BLU
5	excellent	41	47	(¹)
4	bon	25	30	37
3	assez bon	18	22	24
2	médiocre	18	16	19
1	inutilisable	(²)	(²)	(²)

(¹) Non observé.

(²) Non mesuré.

Pour les notes de 3 à 5, le système Lincompex soumis aux essais a donné la même qualité de transmission de la parole, bien que le champ soit inférieur d'environ 5 dB à celui du système MF. Les personnes qui évaluaient la qualité de la parole ont estimé que le système Lincompex n'était guère affecté par les évanouissements et que la protection contre le bruit urbain était presque la même que dans le système MF.

En ce qui concerne la sélectivité pour le signal adjacent, on remarque que le rapport du niveau du signal brouilleur au niveau du signal utile est supérieur à 70 dB pour un espacement de 6 kHz entre les fréquences.

1.4 Travaux futurs

Il y a lieu de poursuivre les études afin d'améliorer les caractéristiques techniques et de réduire encore la séparation entre canaux.

Les administrations sont invitées à faire diligence pour étudier le problème de la réduction de l'espacement entre canaux dans le service mobile terrestre à ondes métriques.

Il faut considérer d'autres facteurs qui influent directement sur la réduction possible de cet espacement par le système Lincompex. En particulier, il faut une très grande stabilité de fréquence pour pouvoir obtenir les résultats indiqués. Si l'on veut, dans les conditions actuelles, obtenir cette stabilité de fréquence, il faut prévoir des dépenses importantes, ainsi qu'une augmentation notable des dimensions des équipements portatifs et de certains équipements mobiles.

2. Système BLU (Yougoslavie)

2.1 Introduction

Depuis plus de 5 ans, des milliers d'appareils BLU à ondes métriques ont été utilisés en Yougoslavie [CCIR, 1974-78] dans le service mobile terrestre.

On a comparé les méthodes de modulation BLU et MF en effectuant des essais, tant en laboratoire que sur le terrain, avec des émetteurs-récepteurs dont chacun fonctionnait selon les deux méthodes. Les parties réception des deux types d'appareil avaient les mêmes étages d'entrée et leurs parties émission étaient munies des mêmes amplificateurs de puissance linéaires. Pour les deux méthodes de modulation, la tension de polarisation de l'amplificateur de puissance était réglée séparément.

2.2 Caractéristiques des appareils

Les caractéristiques des émetteurs-récepteurs sont résumées dans le Tableau II.

TABLEAU II – Caractéristiques des émetteurs-récepteurs

Partie émission

	Puissance de sortie RF (W)	Largeur de bande	Traitement des signaux vocaux
MF	2, 6, 20	excursion de fréquence ± 5 kHz	préaccentuation
BLU	2, 6, 20	2,4 kHz	écrêtage à 20 dB

Partie réception

	Sensibilité	Largeur de bande FI	Traitement des signaux vocaux
MF	1 μ V/20 dB SINAD	16 kHz/6 dB	désaccentuation
BLU	1 μ V/20 dB SINAD	2,4 kHz/6 dB	

2.2.1 Stabilité en fréquence

On utilisait des oscillateurs à quartz à compensation de température (TCXO), qui ont pour avantages de consommer peu de puissance, de prendre instantanément leur température de régime et d'être peu encombrants.

L'intervalle de variation de la fréquence en fonction de la température était de $\pm 1 \times 10^{-6}$ (entre -30°C et $+60^\circ\text{C}$). Ce degré de stabilité suffisait pour qu'on obtienne des communications BLU fiables jusqu'à 100 MHz.

2.3 Résultats des essais

2.3.1 Consommation de puissance

En matière d'émetteurs-récepteurs portatifs, les facteurs les plus importants sont le poids, le volume et la consommation de puissance. Les comparaisons sont fondées sur une égale puissance de sortie aux radiofréquences, en BLU et en MF. Le Tableau III permet de comparer directement les consommations de puissance, respectivement en MF et en BLU, dans le même appareil.

TABLEAU III – Comparaison de la consommation de puissance d'émetteurs MF et BLU

Modulation/ émission	Puissance de sortie RF	Consommation de puissance (W)		Niveau des produits d'intermodulation (dB)
		Amplificateur de puissance final ⁽³⁾	Emetteur	
MF	20 W_{eff}	36	52	
BLU-I ⁽¹⁾	20 W puissance en crête	22	36	-30
BLU-II ⁽²⁾	20 W puissance en crête	14	22	-30

$f = 37$ MHz

(1) BLU-I: essais à deux tonalités selon spécifications du CCIR.

(2) BLU-II: signaux vocaux de caractéristiques moyennes, avec rapport d'écrtage de 20 dB.

(3) L'amplificateur RF de puissance final est optimisé séparément pour la BLU et la MF.



La Fig. 1 permet de comparer les consommations de puissance mesurées dans les trois cas considérés, en fonction de la puissance à la sortie radiofréquence.

On voit qu'un appareil MF consomme plus du double qu'un appareil BLU, pour une même puissance de sortie radiofréquence.

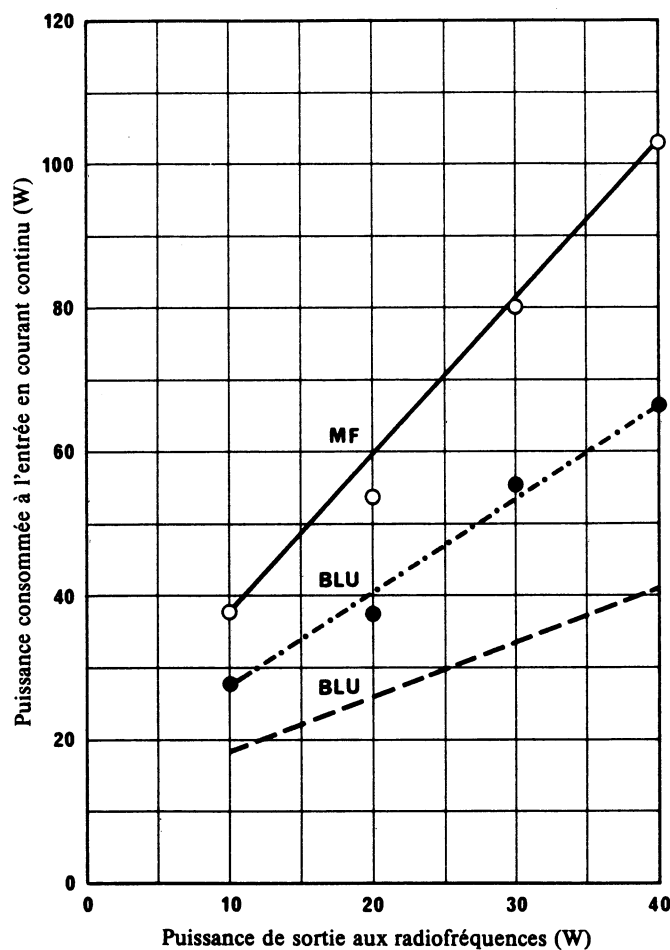


FIGURE 1 - Comparaison des puissances consommées dans les différents cas considérés, en fonction de la puissance de sortie RF

— MF
 - BLU 2 tonalités
 - - - - - BLU signaux vocaux moyens

Niveau des produits d'intermodulation: -30 dB
 $f = 37$ MHz

2.3.2 Portée maximale

Pour comparer les rendements des méthodes de modulation MF et BLU, on a employé la méthode d'essai de l'intelligibilité sur la base de l'indice de netteté des logatomes. Chaque essai complet portait sur 2000 logatomes.

Il ressort des résultats des essais, qui apparaissent à la Fig. 2, que dans les conditions correspondant à la portée maximale, les émetteurs MF doivent fournir à leur sortie RF une puissance supérieure de 6 à 10 dB à celle d'un émetteur BLU.

Les nombreux essais effectués sur le terrain montrent que, en bout de portée, une puissance de crête de 2 W en modulation BLU donne une même qualité acceptable de communication qu'une puissance de 20 W en MF à la sortie radiofréquence.

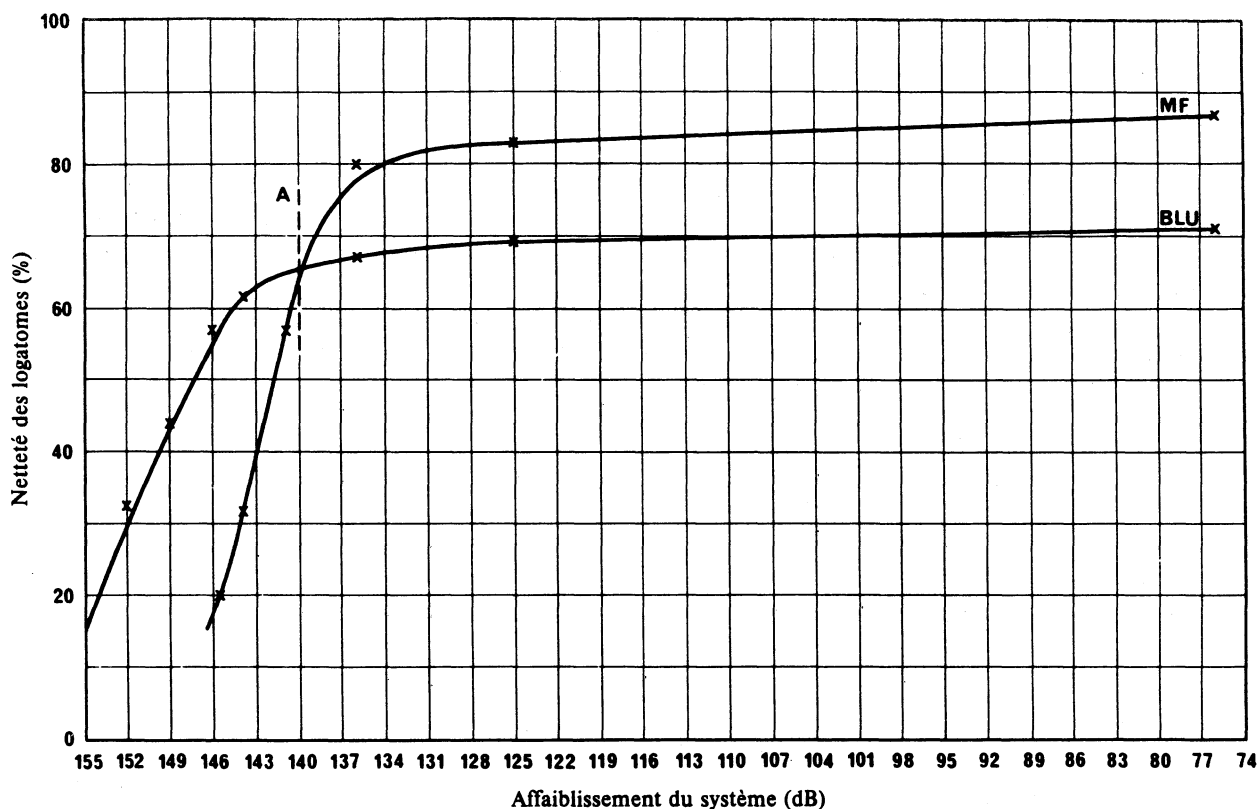


FIGURE 2 – *Indice de netteté des logatomes en fonction de l'affaiblissement du système*

A: sensibilité du récepteur en MF et en BLU: $1 \mu\text{V}/20 \text{ dB SINAD}$

en MF: puissance 2 W à la sortie RF

en BLU: puissance en crête 2 W à la sortie RF et rapport d'écrêtage de 20 dB

2.4 Conclusions

Il importe de consacrer encore des études approfondies aux différents points suivants:

- sélectivité à l'égard des canaux adjacents;
- brouillage dans le même canal, d'un signal BLU sur un signal BLU et d'un signal BLU sur un signal MF;
- méthodes de traitement des signaux vocaux;
- immunité à l'égard du bruit impulsif.

3. Systèmes BLU (Royaume-Uni)

3.1 Introduction

On a étudié au Royaume-Uni la possibilité de recourir à des systèmes à bande latérale unique (BLU) pour atténuer l'encombrement du spectre dans les bandes utilisées par les services mobiles terrestres au-dessous de 500 MHz et divers essais ont été menés en laboratoire et en exploitation, pour évaluer la qualité de différents systèmes BLU par rapport aux systèmes MA et MF existants.

3.2 Systèmes BLU

Pour respecter les spécifications relatives à la commande automatique du gain (CAG) dans le cas des systèmes BLU destinés au service mobile terrestre où le signal reçu subit des évanouissements rapides, un signal continu doit être émis avec la bande latérale des signaux vocaux pour maintenir la CAG.

Ce signal continu peut être fourni par l'un des systèmes suivants:

- une porteuse-pilote,
- une tonalité se situant à l'intérieur ou à la limite de la bande passante audio,
- une sous-porteuse de commande lincompex,
- une sous-porteuse de données.

Au Royaume-Uni, les études ont été orientées sur les deux premiers de ces systèmes, en utilisant des signaux-pilotes compris dans la gamme de -10 à -20 dB par rapport à la puissance en crête de modulation.

La largeur de bande radioélectrique est tributaire de la largeur de bande audio requise et du type de signal-pilote employé; mais en général, elle n'est pas supérieure à 3000 Hz dans le service mobile terrestre.

La CAG à contre-réaction, utilisant le signal-pilote comme référence, peut être employée à des fréquences pouvant atteindre 200 MHz environ. Pour les applications aux ondes décimétriques, on peut avoir recours à une CAG à contre-réaction associée à une CAG avec réaction vers l'avant.

3.3 *Espacement des canaux et tolérance de fréquence*

Une tolérance de fréquence globale pour le système de 500 Hz permettra d'utiliser des espacements de 5 kHz entre les canaux.

Pour des raisons d'ordre économique, il est avantageux d'employer une station de base à grande stabilité, avec tolérance de fréquence faible, pour pouvoir laisser une tolérance de fréquence plus large (proche de ± 500 Hz) aux stations mobiles plus nombreuses.

3.4 *Brouillage impulsif*

Des expériences ont montré qu'un récepteur BLU opérant avec une largeur de bande FI de 3 kHz n'est pas anormalement sensible au bruit impulsif [Gosling et autres, 1979]. Bien que les impulsions typiques du bruit d'allumage soient, dans une grande mesure, étirées par le filtre étroit du récepteur BLU, l'énergie totale à la sortie du filtre diminue d'autant. Des comparaisons pratiques avec un équipement MF à espacement de 25 kHz dans un environnement à niveau de bruit élevé, ont montré que l'effet subjectif du bruit d'allumage est à peu près le même [Wells, 1978].

3.5 *Brouillage dans le même canal*

Des essais subjectifs ont fait apparaître que, dans les conditions d'exploitation réelles d'un service radioélectrique mobile, les effets du brouillage dans le même canal - dans le cas d'un système BLU avec canaux à espacement de 5 kHz - sont très proches de ceux que l'on constate avec les systèmes MF de 25 kHz [Garner, 1980]. Dans les deux cas, un rapport signal/brouillage de l'ordre de 16 dB est nécessaire pour obtenir une qualité de réception correspondant à la note 3 selon le Tableau II au § 1.4 du présent Rapport.

La gamme des notes subjectives, correspondant aux divers rapports de brouillage dans le même canal, est donnée aux Fig. 3a, 3b et 3c pour divers niveaux de signal utile et de décalage de la porteuse. Ces courbes sont basées sur des essais subjectifs effectués au Royaume-Uni [Garner, 1980], pour lesquels on a utilisé le même type de modulation pour les signaux utiles et pour les signaux brouilleurs. Le signal utile était à la fréquence voulue et le signal brouilleur était émis à une fréquence décalée de 75 Hz pour le système BLU et de 500 Hz pour le système MF, ce qui a été considéré comme aboutissant au résultat le plus défavorable pour chacun de ces systèmes.

D'autres essais subjectifs, menés par le Ministère de l'Intérieur (Home Office) du Royaume-Uni, ont démontré que, dans presque toutes les conditions, l'équipement MF à 25 kHz offrait une meilleure qualité de fonctionnement dans le même canal que l'équipement BLU, MF à 12,5 kHz ou MA à 12,5 kHz. Toutefois, dans les régions urbaines et suburbaines, l'équipement BLU n'avait pas une qualité de fonctionnement nettement inférieure à l'équipement MF à 25 kHz et dans toutes les conditions, l'équipement BLU avait un comportement au moins aussi bon que l'équipement MF ou MA à 12,5 kHz.

3.6 *Compatibilité avec les signaux de commande existants*

Si un signal-pilote est utilisé pour la commande automatique de fréquence, la plupart des systèmes de signalisation normaux peuvent être employés.

3.7 *Essais d'évaluation par les utilisateurs*

Les résultats d'un essai d'évaluation effectué au Royaume-Uni dans des conditions typiques du service mobile préutilisant la parole [Barnes, 1981] ont montré, compte tenu de l'évaluation faite par les utilisateurs, qu'il est possible d'utiliser un équipement BLU à 5 kHz sans aucune perte de qualité ou d'intelligibilité par rapport à un équipement à 12,5 kHz. De plus, dans certains cas où le champ est élevé, la qualité des systèmes BLU serait supérieure à celle des systèmes MF existant à 25 kHz.

Néanmoins, on a considéré que dans presque toutes les conditions, l'équipement MF à 25 kHz fournirait en général un service de meilleure qualité.

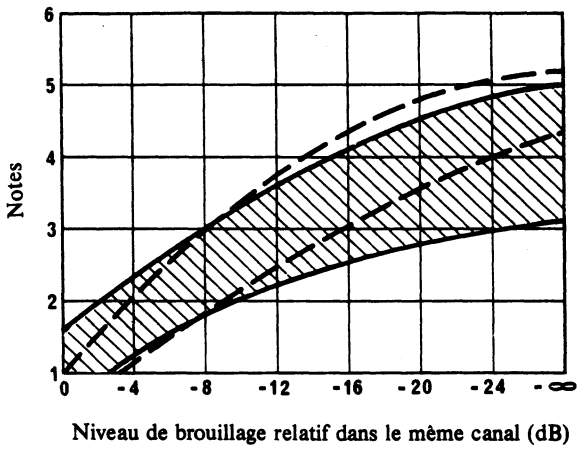


FIGURE 3a

— : BLU
 - - - : MF
 Signal utile: 10 μ V
 Décalage de la porteuse: zéro

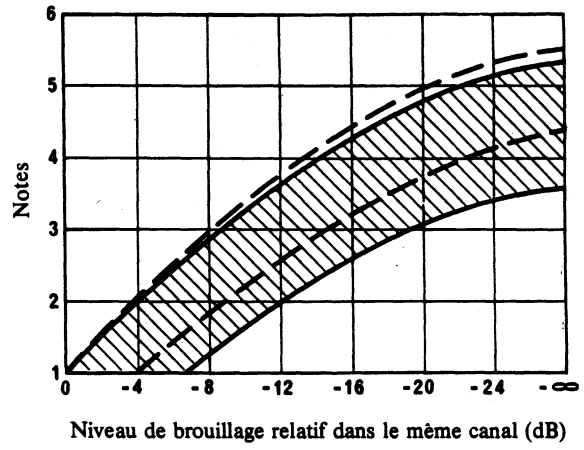


FIGURE 3b

— : BLU
 - - - : MF
 Signal utile: 3 μ V
 Décalage de la porteuse: 75 Hz en BLU
 500 Hz en MF

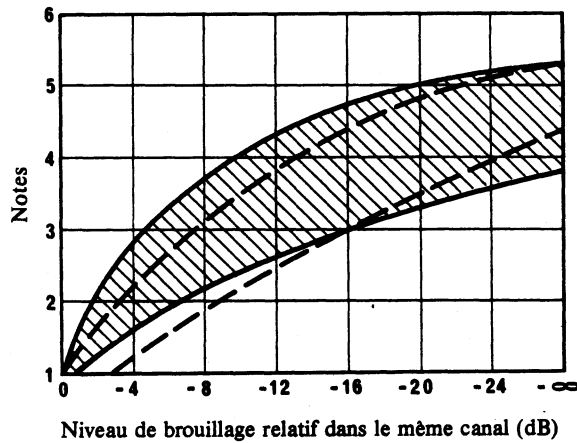


FIGURE 3c

— : BLU
 - - - : MF
 Signal utile: 10 μ V
 Décalage de la porteuse: 75 Hz en BLU
 500 Hz en MF

4. Système BLU (Etats-Unis d'Amérique)

4.1 Introduction

On a fait, aux Etats-Unis, des expériences de laboratoire sur l'utilisation d'émetteurs à bande latérale unique avec compression-extension d'amplitude (ACSB) pour les radiocommunications mobiles à ondes métriques. Les émetteurs ACSB utilisent à la fois la compression-extension d'amplitude et le traitement des signaux vocaux, avec préaccentuation et désaccentuation des fréquences vocales. Ce système est comparé ici avec les récepteurs MF et MA.

4.2 Essais concernant le brouillage dans la même voie (modulation par tonalité et modulation par la parole)

Les essais ont porté sur des récepteurs des types suivants:

- appareils ACSB pour émissions de la classe 3K00 R3E avec un extenseur 4:1 et une désaccentuation de 12 dB par octave;
- appareils MF d'une largeur de bande de 25 kHz pour émissions de la classe 16K0 F3E avec désaccentuation de 6 dB par octave;
- appareils MF d'une largeur de bande de 12,5 kHz pour émissions de la classe 11K0 F3E avec désaccentuation de 6 dB par octave;
- appareils MA pour émissions de la classe 6K00 A3E.

On a mesuré, comme spécifié dans la Publication 489 de la CEI, la sensibilité de référence de chaque récepteur, en rapportant les mesures à un facteur de bruit invariable de 10 dB. Les sensibilités de référence des quatre récepteurs étaient les suivantes:

dB (μ V) à l'entrée du récepteur

ACSB	- 6,0
MF avec bande de 25 kHz	- 12,5
MF avec bande de 12,5 kHz	- 15,0
MA	- 3,0

La Fig. 4 représente la variation de la caractéristique SINAD en fonction du niveau du signal utile à l'entrée de chacun des récepteurs, entre -20 et +10 dB (μ V). Il n'est pas sûr que ces courbes indiqueraient bien la qualité des récepteurs si le signal modulant était autre qu'une tonalité de niveau constant.

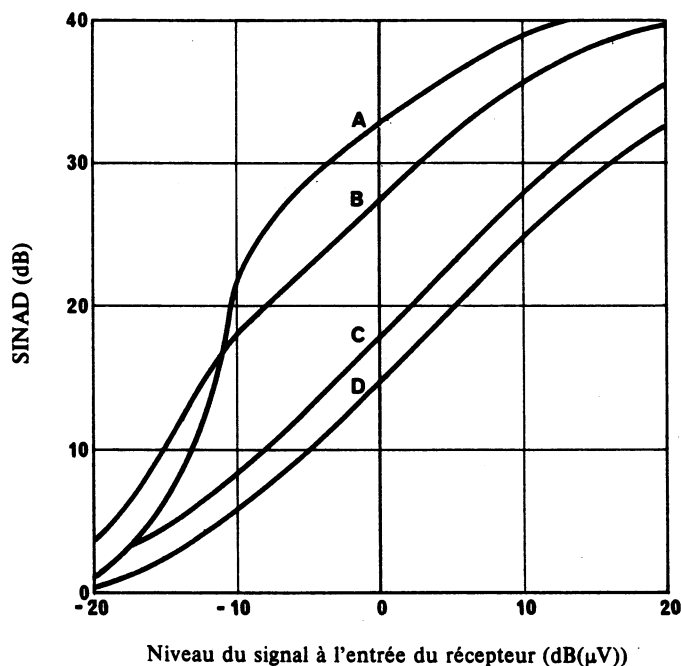


FIGURE 4 - Sensibilité du récepteur

A: MF - 25 kHz
 B: MF - 12,5 kHz
 C: ACSB
 D: MA

Des essais de brouillage dans le même canal, avec modulation par la parole, ont été exécutés sur trois des quatre récepteurs.

Dans ce cas, la marge de protection s'exprimait par la valeur minimale qu'il fallait donner au rapport (dB) de la puissance moyenne du signal utile à la puissance moyenne du signal brouilleur pour éviter une dégradation de la qualité de la parole. On modulait le signal utile par des extraits d'une émission de journal parlé en anglais, et le signal brouilleur par des phrases tirées de cours de l'Université de Harvard et lues par une femme.

On réglait le niveau des signaux comme décrit ci-dessus, après avoir fait passer chacun d'eux par son propre simulateur d'évanouissements. Pendant chaque essai, le signal utile était réglé à un niveau constant, et l'on invitait les participants à régler le signal brouilleur au niveau le plus haut qu'ils pouvaient admettre sans percevoir une dégradation de la qualité de la parole. La Fig. 5 représente la moyenne des résultats ainsi obtenus avec une équipe de cinq participants.

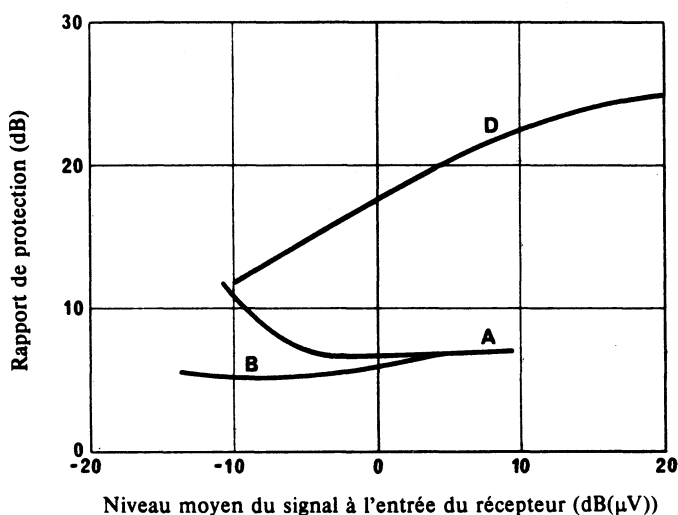


FIGURE 5 — Rapport de protection dans le même canal (modulation par la parole; évanouissements du type Rayleigh)

- A: MF - 25 kHz
- B: MF - 12,5 kHz
- C*: ACSB
- D: MA

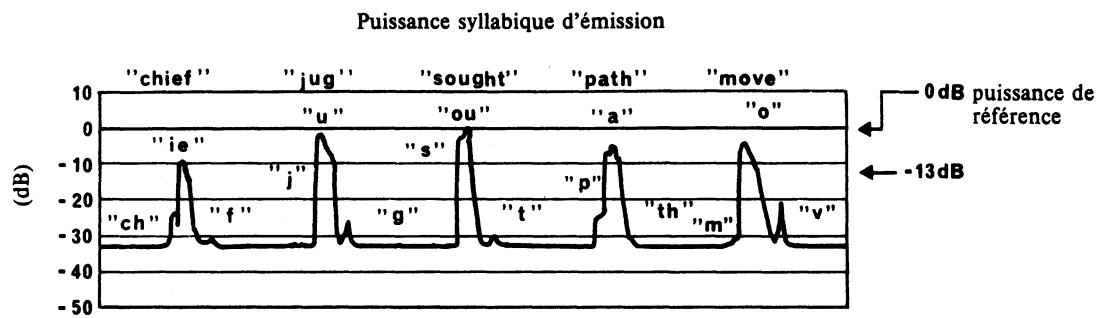
* Les résultats complets des essais des récepteurs ACSB ne sont pas encore disponibles et seront ajoutés ultérieurement.

4.3 Essais sur le signal utile modulé par la parole (récepteur ACSB)

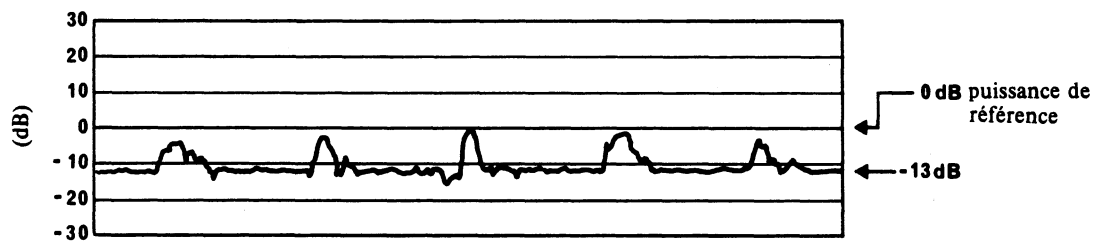
La Fig. 6 montre comment la préaccentuation, la désaccentuation et la compression-extension d'amplitude améliorent le rapport signal/bruit de certains types de syllabes, par comparaison avec un signal BLU émis et reçu sans traitement des signaux vocaux.

Il a été difficile d'effectuer des mesures significatives des caractéristiques de fonctionnement des émetteurs ACSB en utilisant des méthodes d'essai objectives normales, car ces méthodes ne tiennent pas toujours compte du traitement des signaux vocaux. Des essais subjectifs (essai avec mots rimés) ont indiqué que les caractéristiques de l'ACSB sont supérieures à celles qui sont mises en évidence par des essais objectifs. De telles conclusions doivent être interprétées avec prudence.

Les expériences semblent prometteuses. La mise au point et les essais en service se poursuivent aux Etats-Unis.

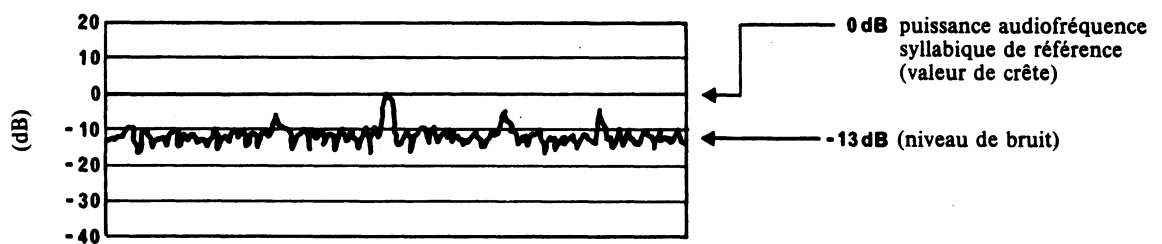


a) BLU

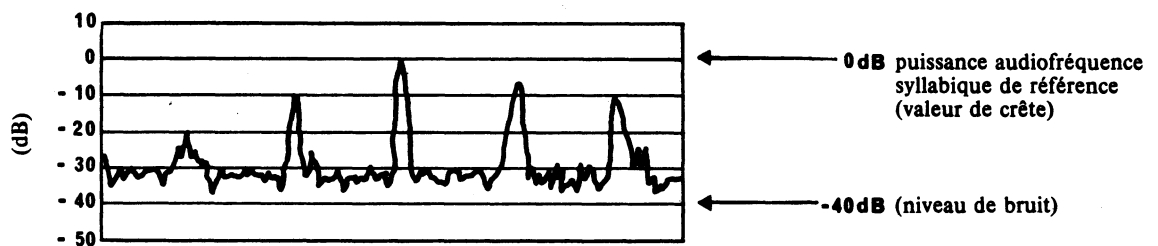


b) ACSB

Signaux de sortie audiofréquence du récepteur avec bruit inférieur de 13 dB à la puissance de référence 0 dB



c) BLU



d) ACSB

FIGURE 6 - Caractéristiques de fonctionnement des émetteurs BLU et ACSB pour des mots d'essai de langue anglaise, en l'absence d'évanouissements par trajet multiple

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARNES, D. M. [juillet 1981] A subjective evaluation of single-sideband radio for use in private land mobile radio services – initial trials. IERE Conf. Proc.
- GARNER, P. J. [avril 1980] Co-channel and quasi-synchronous characteristics of SSB. IEE Conf. Comms. 80. Communications equipment and systems. Conf. Publ. N° 184, 174-177, Birmingham, Royaume-Uni.
- GOSLING, W., McGEEHAN, J. P. et RICHARDSON, J. H. [septembre 1979] SSB as an optimum modulation for land mobile radio. IERE Conf. Proc. N° 44.
- Kadokawa, Y., Tsukada, F., Tanaka, K. et Kobayashi, T. [avril 1981] SSB Lincompex transmitter and receiver for land mobile communication. 31st Vehic. Tech. Conf. of the IEEE, pp 149-154.
- WELLS, R. [juillet 1978] SSB for VHF mobile radio at 5 kHz channel spacing. IERE Conf. Proc. on Radio Receivers and Associated Systems, N° 40, Southampton, Royaume-Uni.
- Documents du CCIR*
[1974-78]: 8/382 (Yougoslavie, (République socialiste fédérative de)).

BIBLIOGRAPHIE

- BELANGER, R. L. [1971] A double-sideband limiting radio frequency speech processor... US Naval Postgraduate School, Monterey, Etats-Unis d'Amérique.
- CCIR [1978] Rapport 509-2. Qualité de transmission et techniques de modulation pour les services de radiocommunication et de radiorepérage par satellite à destination des aéronefs et des navires. Vol. VIII, 289-302.
- FRENCH, R. C. [août 1979] The effect of fading and shadowing on channel re-use in mobile radio. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT28, 3.
- GIBSON, R. W. et WELLS, R. [27 mars 1979] The potential of SSB for land mobile radio. 29th Annual Conference of the IEEE Vehicular Technology Society, 27-30 March, Arlington Heights, Ill., Etats-Unis d'Amérique. Conf. Record, Session 2A: New communication techniques and technologies – II, 90-94.
- GOSLING, W. [février 1979] Single-sideband as a contribution to spectrum efficient civil land mobile radio. Intelcom 79, Dallas, Etats-Unis d'Amérique. Horizon House International.
- ITO, S. et MATSUZAKA, Y. [novembre 1978] 800 MHz band land mobile telephone system – overall view. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT27, 4, 205-211.
- LUSIGNAN, B. B. [juillet 1980] The use of amplitude compandored SSB in the mobile radio bands: Final Report. Communication Satellite Planning Centre, Report N° 31 (Stanford University). Etats-Unis d'Amérique.
- MIKULSKI, J. J. [1979] Technology and spectrum efficiency. Intelcom 79, Dallas, Etats-Unis d'Amérique. Horizon House International.
- PONTIUS, B. [avril 1981] Linear amplifier tests for SSB mobile radio. 31st Vehic. Tech. Conf. of the IEEE, IEEE Catalogue 81CH1638-6, Library of Congress Catalogue Card 75-643443.
- WALA, P. [mars 1980] Rhyme test performance of ACSB, narrowband and FM radios. Communication Satellite Planning Centre, Report N° 28.