

LIAISON DE TELEPHONIE A SPECTRE
ETALE DANS LA GAMME HF

A. FERRAND et J.P. VAN UFFELEN

T.R.T. Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques
B.P. 21 92352 LE- PLESSIS-ROBINSON CEDEX - FRANCE

RESUME

Les contre-mesures électroniques font peser des menaces de plus en plus importantes sur les radiocommunications qui sont d'une très grande importance pour les Etats Majors.

Nous présentons dans cette communication un système de transmission dans la gamme HF dont la protection repose sur sa discrétion et sa résistance au brouillage. Il a la particularité d'utiliser une modulation d'amplitude analogique associé à un étalement de spectre par codage.

Des équipements ont été réalisés pour les transmissions à courte portée. Les essais sur une liaison réelle ont montré d'une part la validité des techniques de synchronisation et d'autre part les limitations dues à l'encombrement spectral important observé dans la gamme HF.

SUMMARY

The electronic counter measures are more and more serious threats for the radiocommunications which are very important for the headquarters.

This presentation deals with an HF transmission system with protections based on low probability of interception and jamming resistance. Its particularity is the use of analog amplitude modulation with direct sequence spread spectrum.

The realized equipments are dedicated for short range transmission. The experiments have proved the efficiency of the synchronisation process and the performance restrictions due to the high level of HF spectral density.

1 - INTRODUCTION

La protection des radiocommunications vis-à-vis des contre-mesures électroniques est un objectif majeur pour les applications militaires. Parmi les menaces potentielles, le brouillage et l'interception sont les plus fréquentes. Pour protéger les radiocommunications, les systèmes mettent en oeuvre les techniques de dispersion d'énergie, la réduction de la densité spectrale et le chiffrement des liaisons.

L'étalement de spectre par codage permet de réduire la densité spectrale du signal émis, donc d'augmenter sa discrétion et sa protection contre les brouilleurs.

Cette technique est habituellement mise en oeuvre avec une transmission numérique. Nous décrivons ici une application à la radiotéléphonie analogique dans la gamme HF (3-30 MHz), bénéficiant ainsi des avantages de l'étalement de spectre par codage en évitant le recours à un vocodeur.

2 - HYPOTHESES DE TRANSMISSION

L'objectif retenu pour cette application est la discrétion des communications à courte distance, pour lesquelles la propagation se fait par onde de sol. La composante ionosphérique qui peut exister selon la fréquence utilisée est considérée comme perturbatrice et atténuée par le traitement effectué sur le signal reçu.

Cette étude a été menée avec le soutien de la Direction des Recherches Etudes et Techniques DRET.

Au point de vue bruits et brouillages non volontaires le canal HF large bande se caractérise par un encombrement spectral important et une répartition non uniforme de la densité d'énergie (1).

Pour se prémunir de ces brouilleurs et obtenir une discrétion importante, une bande d'étalement élevée a été retenue (5 MHz). Afin d'analyser les performances de cette liaison vis-à-vis de l'encombrement spectral, l'équipement réalisé dispose de trois bandes d'étalement (1,25 ; 2,5 et 5 MHz).

3 - PRINCIPES RETENUS

Le signal haute fréquence modulé en amplitude par la phonie est modulé par inversion de phase par le code d'étalement. Le spectre du signal composite est donné par la convolution des spectres. Avant d'être émis le signal est filtré pour limiter son spectre au lobe principal.

La modulation d'amplitude permet d'avoir une émission permanente (à la différence de la modulation BLU) et d'utiliser la porteuse étalée comme référence pour faciliter la synchronisation du code local.

Pour accroître la protection de la liaison nous avons utilisé des codes de grande longueur. Pour s'affranchir du recours à une référence horaire et réduire le temps de prise de synchronisation le choix de la structure des codes s'est porté sur des codes composites.



La démodulation du signal à spectre étalé est effectuée par mélange du signal reçu avec la réplique locale du code d'étalement préalablement synchronisée. Cette opération comprime le spectre du signal reçu qui peut alors être traité par la chaîne de démodulation d'amplitude du récepteur.

4 - CODAGE

La protection de la communication repose sur l'ignorance par l'adversaire du code d'étalement utilisé ; il est donc nécessaire que celui-ci soit de grande longueur et qu'il en existe un grand nombre.

Le code utilisé est un code composite obtenu par concaténation de deux codes de signature respectifs X et Y. Le code résultant possède une signature Z telle que :

$$Z = (XY_0, XY_1, XY_2 \dots XY_n)$$

avec

$$Y = (Y_0, Y_1 \dots Y_n)$$

Ce principe permet d'obtenir un code de grande longueur tout en réduisant le temps moyen de synchronisation puisque l'acquisition de celle-ci se fait tout d'abord sur le code Y puis sur X.

Pour disposer d'un grand nombre de codes, permettre le changement fréquent des codes et un adressage par le codage (CDMA), les codes utilisés sont tous deux des codes de GOLD (2, 3, 4) en choisissant une grande longueur pour celui qui est synchronisé le premier.

La longueur des codes a été adaptée en fonction de la longueur de la bande d'étalement. Ce qui a conduit à retenir trois jeux de codes de signature Z1, Z2 et Z3 dont les caractéristiques sont données par le tableau 1.

Étalement	Longueur	
	Y	X
± 2,5 MHz	1023	63
± 1,25 MHz	511	63
± 0,625 MHz	255*	63

TABEAU 1

* Il s'agit d'une séquence pseudo-aléatoire de longueur maximale.

5 - SYNCHRONISATION

La synchronisation de la réplique locale du code d'étalement est effectuée en deux étapes :

- recherche,
- maintien et poursuite.

5.1. Recherche

Le traitement de recherche de synchronisation met en jeu :

- une recherche systématique par essai et décalage de chaque phase du code de signature Y,
- un corrélateur pour le code de signature X.

Le décalage du code Y suit deux lois linéaires entrelacées avec lesquelles il prend successivement des valeurs positives et négatives croissantes.

La synchronisation est détectée par mesure de l'énergie dans un filtre étroit de bande égale à 37 Hz.

Une non détection entraîne un changement de phase du code Y tandis qu'une détection est suivie d'une étape de confirmation par trois détections successives (5). La phase du code X est définitivement fixée et le code de signature Y est remplacé par le code de signature Z = XY correctement synchronisé.

5.2. Maintien de la synchronisation

Lorsque la synchronisation des codes est acquise, celle-ci doit être maintenue par un dispositif qui permet de compenser les dérives dues à la stabilité relative des pilotes. Ce problème est résolu par une boucle d'asservissement dite à Avance-Retard (6). Pour réduire la complexité de la chaîne de réception, une boucle légèrement modifiée a été mise en oeuvre qui n'utilise qu'une voie auxiliaire de réception supplémentaire (Cf. figure 1). Par ailleurs, une surveillance permanente de la synchronisation est réalisée permettant de déclarer toute perte éventuelle de synchronisation et de relancer une procédure de recherche.

5.3. Temps de synchronisation

Avec la procédure de recherche retenue, le temps moyen d'acquisition est égal à :

$$\bar{T}_{acq} = \frac{1}{2} L_y T_a + T_c$$

L_y est la longueur du code de signature Y, T_a est le temps d'analyse d'une phase du code Y qui est lui-même égal au temps de transmission d'un code complet :

$$L_x L_y T$$

T est l'inverse de la vitesse de modulation.

T_c est le temps nécessaire à la confirmation de la synchronisation

$$\bar{T}_{acq} : \left(\frac{1}{2} L_x L_y^2 + 3 L_x L_y \right) T$$

Soit 13,6 s

6 - DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS

La chaîne de transmission à spectre étalé se compose des équipements suivants.

6.1. Emission (Figure 2)

- . Le générateur des codes d'étalement,
- . Un émetteur HF 50 W modifié par adjonction d'un modulateur par inversion de phase à l'entrée de l'amplificateur de puissance. La liaison utilisant l'onde de sol, la fréquence d'émission a été limitée à 7,5 MHz.

6.2. Réception

Un récepteur (figure 3) comprenant deux chaînes en fréquence intermédiaire, l'une dite principale est utilisée pour la démodulation du signal, la seconde dite auxiliaire permet le maintien de la synchronisation. La compression du spectre est effectuée par des mélangeurs placés en tête de chacune des chaînes de réception. Ce qui permet d'éviter l'entrée de l'énergie des brouilleurs dans le récepteur.

Un équipement de traitement de signal (figure 4) composé des fonctions suivantes :

- Génération des codes d'étalement,
- Recherche de synchronisation,
- Maintien et poursuite de la synchronisation,
- Détection de la perte de synchronisation.

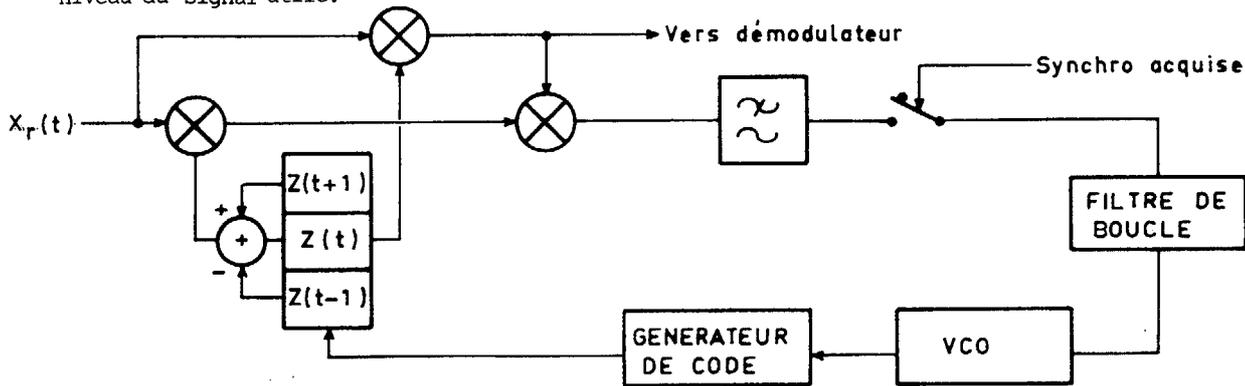
8 - PERFORMANCES

Des essais en laboratoire ont permis de confirmer les performances attendues d'un tel système.

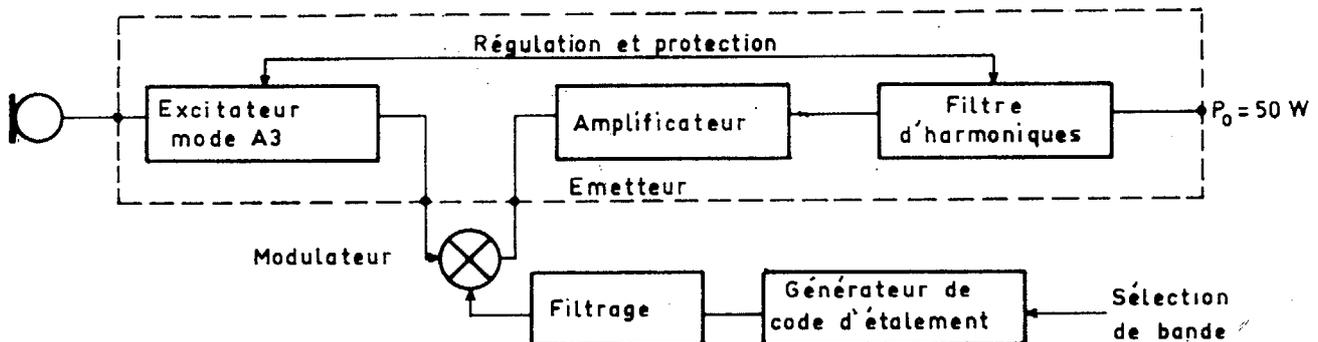
- Temps moyen de synchronisation :
 - . 13,6 s avec un étalement de $\pm 2,5$ MHz,
 - . 7 s avec un étalement de $\pm 1,25$ MHz,
 - . 3,5 s avec un étalement de $\pm 0,625$ MHz.
- Gain de traitement égal à 30 dB avec le taux d'étalement le plus important.

Des essais sur une liaison de 6 km ont montré que le nombre et la puissance des brouilleurs de la gamme HF limitaient les performances du système, par le niveau de bruit ramené dans la bande utile par la compression du spectre. Ce niveau de bruit est égal à la puissance de bruit dans la bande d'étalement divisée par le facteur d'étalement. Le rapport signal à bruit se trouve alors dégradé. Cette dégradation est importante si la bande d'étalement est partagée avec des émetteurs de radio-diffusion.

Les photos 5a et 5b montrent les relevés du spectre de l'encombrement spectral au lieu de réception. La photo 5a correspond à la liaison sans étalement de spectre, la photo 5b montre la liaison avec l'étalement de spectre (bande de $\pm 0,625$ MHz autour de 7,1 MHz), le signal utile a disparu dans le bruit. On peut observer sur ces 2 photos que les brouilleurs les plus puissants dans la bande d'étalement ont un niveau supérieur de plus de 20 dB par rapport au niveau du signal utile.



SYNCHRONISATION FIGURE 1



EMISSION FIGURE 2

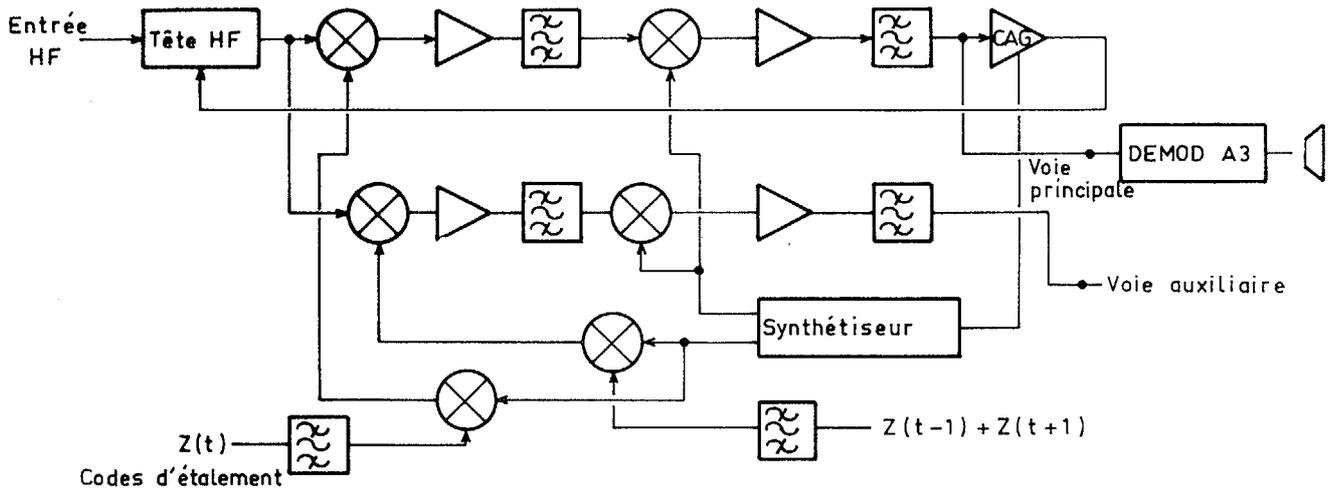
9 - CONCLUSIONS

Ce matériel a montré la faisabilité d'une liaison à spectre étalé dans la gamme HF. Cependant pour en améliorer les performances lorsque l'encombrement spectral devient important, ce système doit être complété par un dispositif d'élimination de brouilleurs à bande étroite.

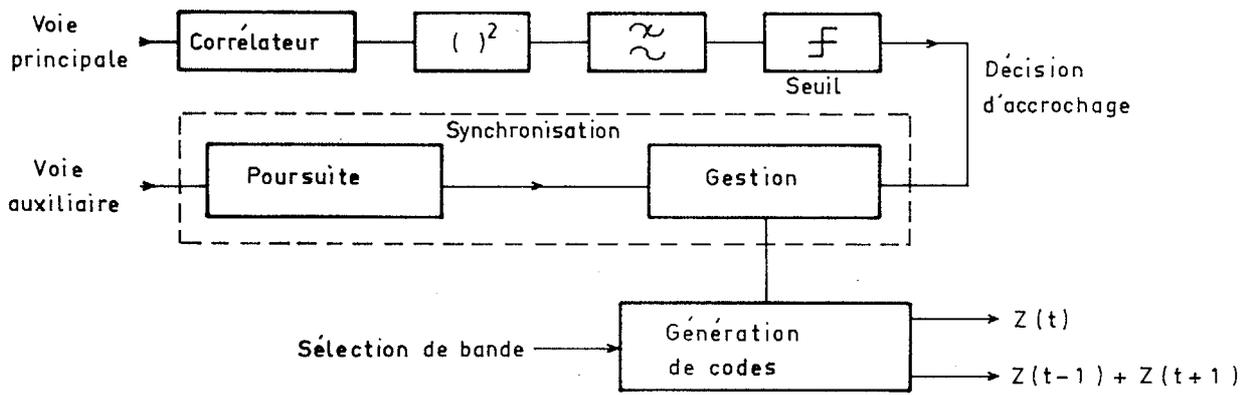
Une autre évolution consiste à le doter de la capacité de transmission ionosphérique; à cette fin, il faut adjoindre un traitement correcteur adaptatif permettant d'élargir la bande de cohérence du canal large bande.

Références :

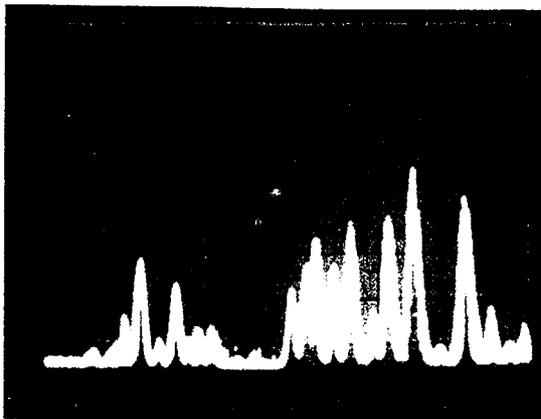
- (1) C. GOUTELARD : "Attribution des fréquences dans la gamme des ondes décimétriques pour les systèmes soumis aux contre-mesures électroniques". Veme Symposium ARFA Frequency provision for ECM resistant communication systems. Déc 1986.
- (2) R. GOLD : "Optimal Binary Sequences for Spread Spectrum Multiplexing" IEEE Trans on Information Theory - October 1967.
- (3) R. GOLD : "Maximal Recursive Sequences with 3 - Valued Recursive Cross Correlation Functions". IEEE Trans on Information Theory, January 1968.
- (4) J.K. HOLMES : "Coherent Spread Spectrum Systems" Wiley and Sons, 1982.
- (5) P.M. HOPKINS : "A unified analysis of Pseudonoise Synchronisation by envelope Correlation" IEEE Trans on communications, Vol com-25, August 1977.
- (6) J.J. SPIKER : "Delay-lock Tracking of binary Signals", IEEE Trans on Space and Electronics and Telemetry, Vol. SET-9, March 1963.



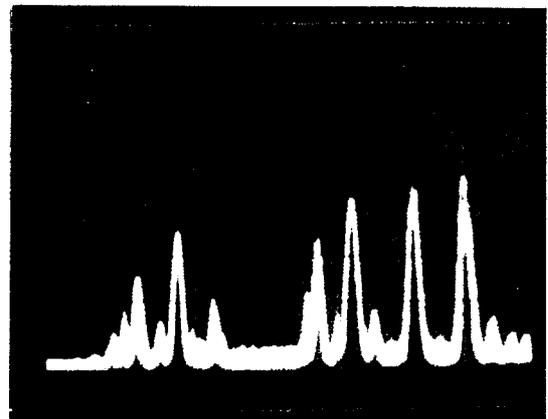
RECEPTEUR HF. FIGURE 3



TRAITEMENT DE SIGNAL FIGURE 4



Emission non étalée.
La raie centrale à 7,1 MHz correspond à cette émission



Emission étalée sur $\pm 0,625$ MHz.

(100 KHz/cm)

Photo 5a

Photo 5b