

## RAPPORT 1022-1

**SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES MULTIÉMETTEURS UTILISANT UN SYSTÈME  
DE TRANSMISSION QUASI SYNCHRONE (SIMULCAST)  
DANS LE SERVICE MOBILE TERRESTRE**

(Question 67/8)

(1986-1990)

Le présent rapport comprend deux Parties: A et B. La Partie A traite des considérations techniques de la transmission quasi synchrone (simulcast) et la Partie B contient une application de ces techniques pour la transmission numérique dans le service mobile terrestre.

**PARTIE A****CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES DE LA TRANSMISSION  
QUASI SYNCHRONE (SIMULCAST)****1. Introduction**

Les systèmes multiémetteurs dans lesquels le même message est transmis au même moment sur le même canal radioélectrique par plusieurs émetteurs (systèmes dits quasi synchrones ou «simulcast») doivent être l'objet de soins particuliers. Ces systèmes sont utilisés:

- lorsqu'il s'agit de couvrir une zone de service de grande étendue à l'aide d'émetteurs de moyenne puissance, auquel cas les zones de couverture des émetteurs se chevaucheront légèrement;
- lorsqu'une couverture totale est nécessaire, par exemple, dans le cas de certains systèmes d'appel unilatéral sans transmission de parole. Dans ce cas, il se produira un chevauchement important des couvertures des émetteurs utilisés pour fournir la diversité nécessaire pour pallier l'effet d'écran (évanouissement lent).

*Note.* - On n'obtient aucun avantage de diversité contre les évanouissements dus aux trajets multiples.

Les systèmes radioélectriques multiémetteurs à transmission quasi synchrone peuvent être classés en trois catégories:

- systèmes à décalage des fréquences porteuses [Hattori et Hirade, 1978],
- systèmes à décalage des signaux [Hattori et Ogoe, 1980; Hattori et autres, 1982], et
- systèmes à décalage des indices de modulation [Adachi, 1979].

Il est nécessaire d'étudier ces méthodes afin de déterminer la qualité de transmission qu'elles permettent d'obtenir dans des conditions d'évanouissement et leurs possibilités d'application dans les radiocommunications avec les mobiles.

Les paramètres suivants sont importants:

- la différence entre les fréquences porteuses des émetteurs;
- la différence de synchronisme de la modulation aux émetteurs, due aux différents retards dans les lignes téléphoniques et les circuits de modulation;
- les différences dans la profondeur de modulation et la réponse en fréquence.

## 2. Taux d'erreur, dans les émissions numériques, aux récepteurs en déplacement

Avec un petit écart ( $< 10$  Hz) de fréquence porteuse et un synchronisme précis de modulation ( $< 0,2$  bit/période), le TEB au récepteur en déplacement, dans des conditions d'évanouissements de Rayleigh, dans un système multiémetteurs, est à peu près le même qu'avec un seul émetteur, pour un niveau de signal reçu donné, ainsi que le montre la Fig. 1 (cas d'une modulation de fréquence directe de la porteuse HF). La Fig. 2 montre des distributions d'erreur typiques [French, 1980].

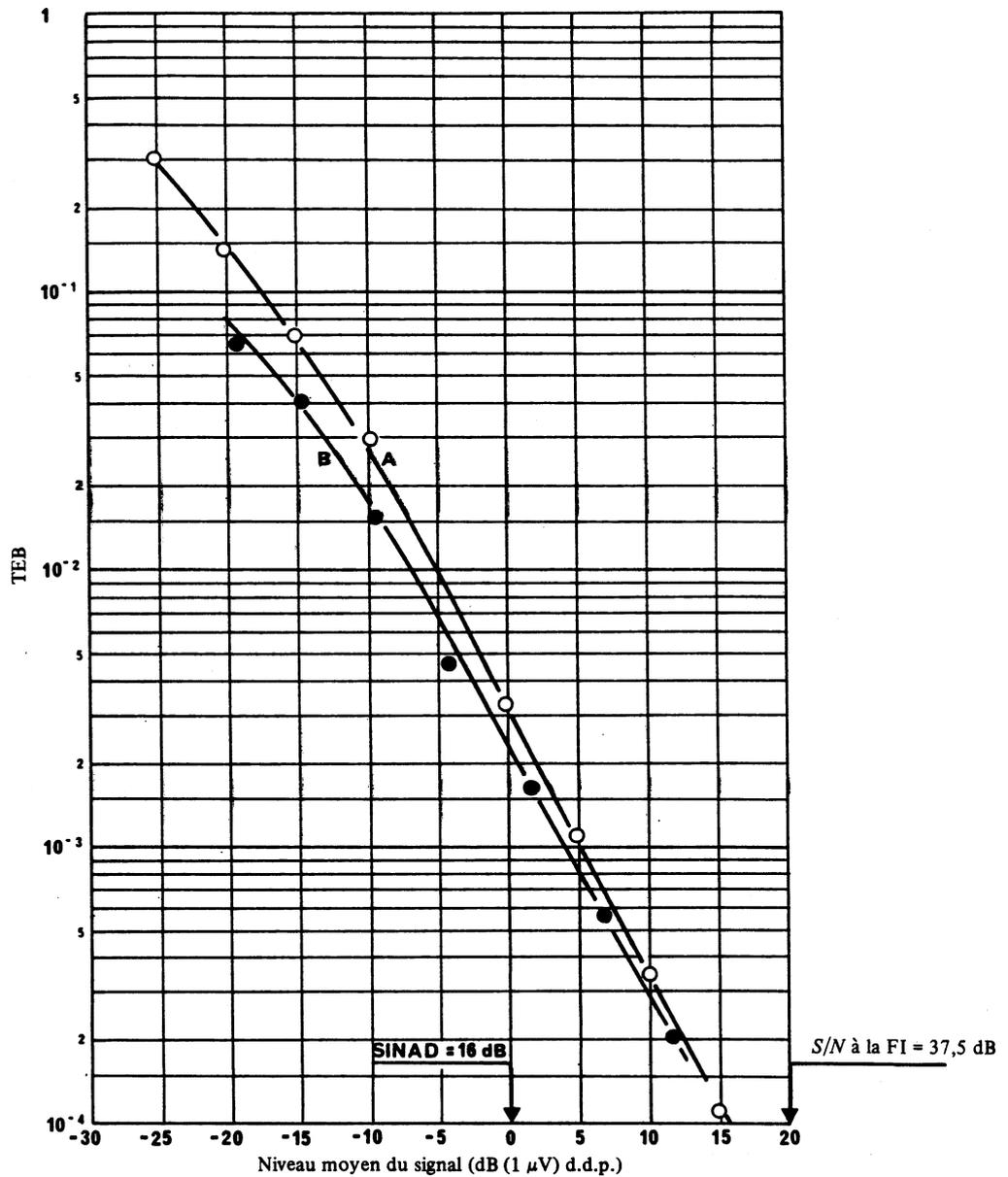


FIGURE 1 – TEB au récepteur en déplacement, modulation de fréquence directe à 1200 bit/s

SINAD = 12 dB à 0,5 μV d.d.p.

Courbes A: deux émetteurs  
B: un émetteur

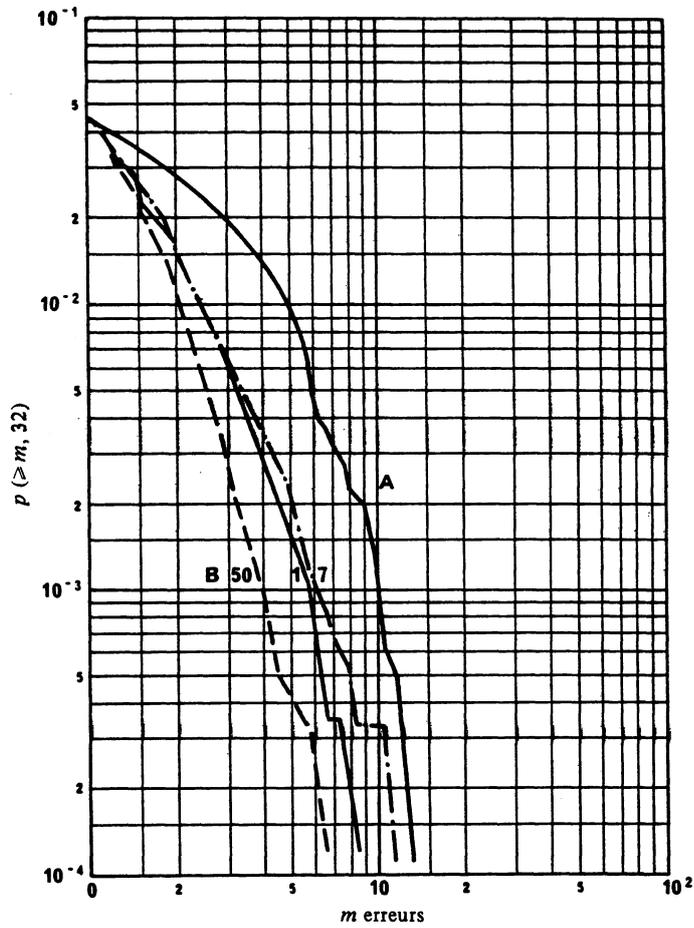


FIGURE 2 – Distribution des erreurs au récepteur en déplacement,  
modulation de fréquence directe à 1200 bit/s

$$\text{TEB} \approx 3 \times 10^{-3}$$

Courbes A: un émetteur

B: différence entre fréquences porteuses,  $\Delta f_c$



Afin d'éviter un TEB excessif provenant d'une différence de synchronisme de la modulation, cette différence doit être inférieure à 0,3 bit/période avec une modulation en fréquence de la porteuse comme le montre la Fig. 3. Avec une modulation numérique de la sous-porteuse, cette différence doit être faible par rapport à la période de la sous-porteuse.

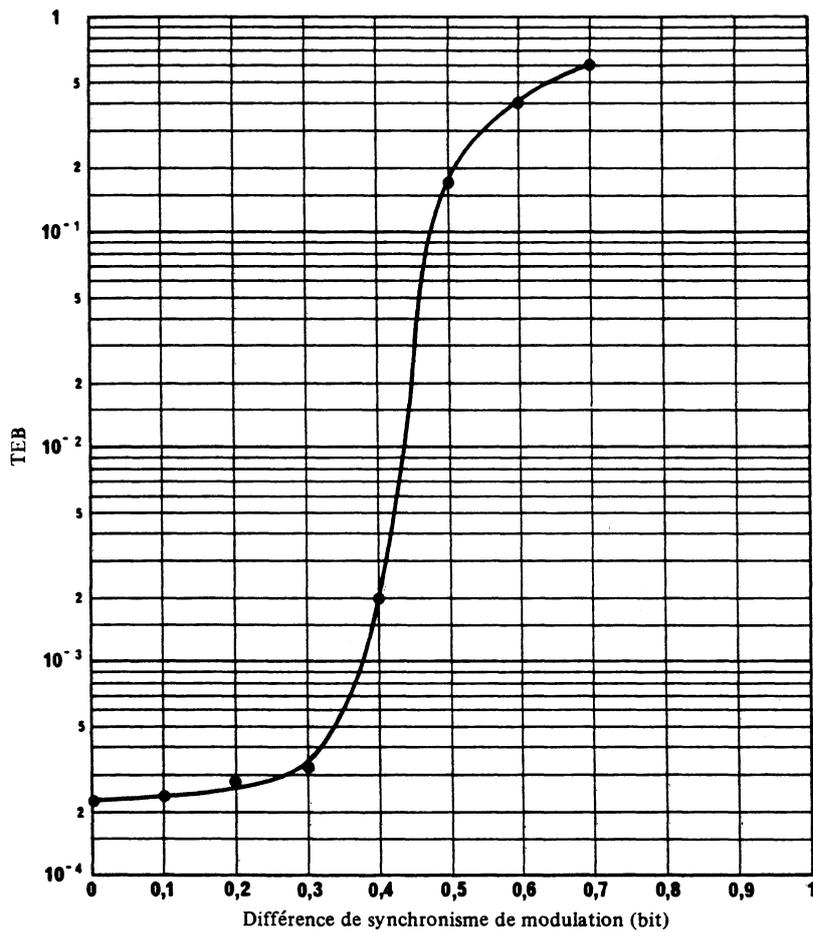


FIGURE 3 – TEB au récepteur en déplacement,  
en fonction de la différence de synchronisme de modulation,  
modulation de fréquence directe à 1200 bit/s

$$\Delta f_c = 7 \text{ kHz}$$

En augmentant la différence entre fréquences porteuses jusqu'à environ le débit binaire, on réduit le TEB de deux ordres de grandeur (voir la Fig. 4) [French, 1980]. Dans le cas de débits binaires plus élevés, la différence entre fréquences porteuses entraîne une réduction de l'efficacité de l'utilisation du spectre.

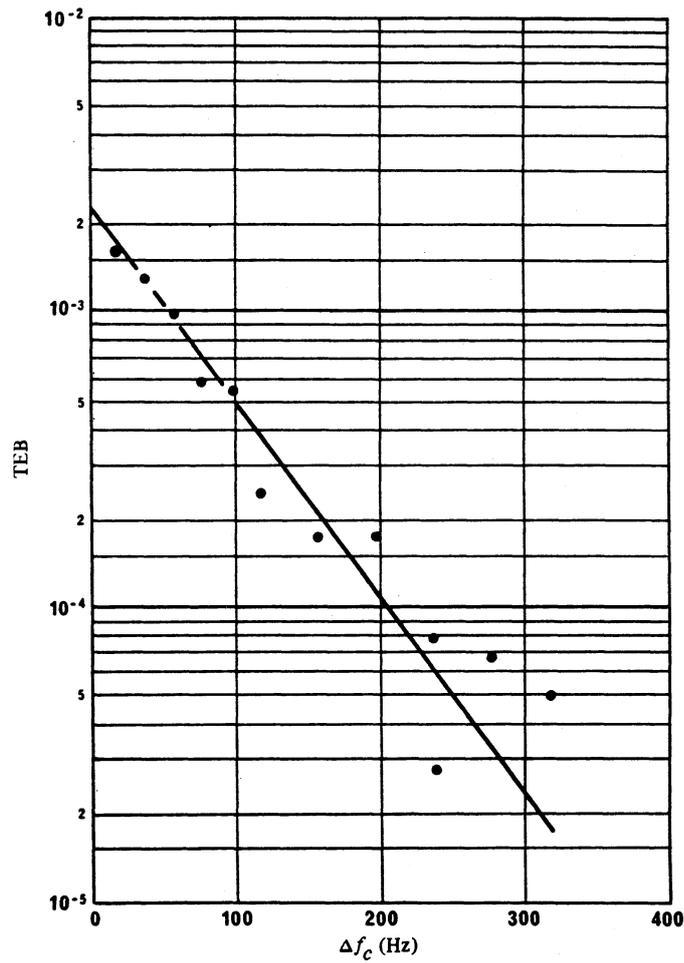


FIGURE 4 - TEB en fonction de la différence entre fréquences porteuses, modulation de fréquence directe à 300 bit/s

Les Fig. 5 à 9 montrent les résultats d'essais effectués en laboratoire sur les méthodes de décalage des fréquences porteuses, des signaux et des indices de modulation. La Fig. 5 montre que chaque méthode permet d'obtenir une amélioration de qualité (effet de diversité) supérieure à 10 dB, lorsque les niveaux équivalents moyens des deux signaux reçus sont combinés.

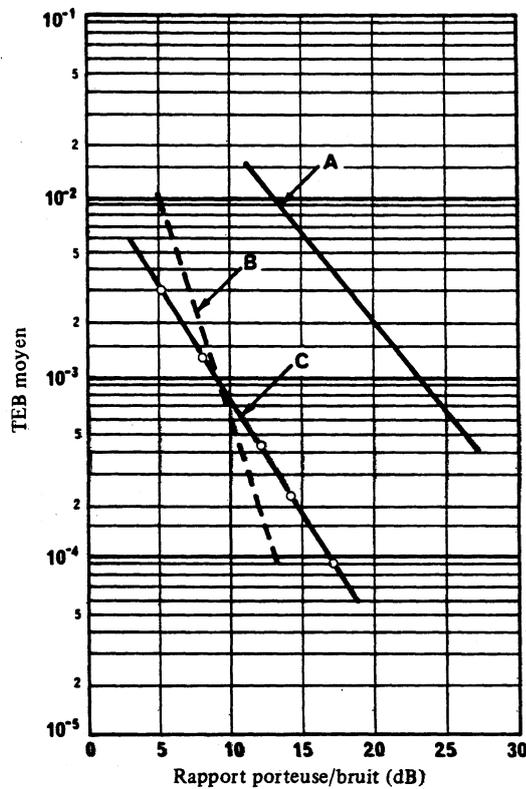


FIGURE 5a – TEB en fonction du rapport porteuse/bruit, méthode du décalage des fréquences porteuses et méthode du décalage des signaux

Code Manchester à 300 bit/s, modulation de fréquence directe

Courbes A : un seul émetteur ( $\Delta f_D = \pm 3$  kHz)

B : deux émetteurs avec décalage de fréquence porteuse ( $\Delta f_C = 1$  kHz,  $\Delta f_D = \pm 3$  kHz)

C : deux émetteurs, avec décalage de signal ( $\Delta f_d = \pm 3,5$  kHz,  $\Delta f_{dh} = \pm 1$  kHz)

Fréquence Doppler maximale: 40 Hz

Coefficient de corrélation croisée: 0

$\Delta f_C$  : différence entre fréquences porteuses

$\Delta f_D$  : excursion de fréquence maximale

$\Delta f_d$  : excursion de fréquence moyenne, méthode du décalage des signaux

$\Delta f_{dh}$  : excursion de fréquence correspondant à l'amplitude de crête de l'onde sinusoïdale ( $= \Delta f_D - \Delta f_d$ )

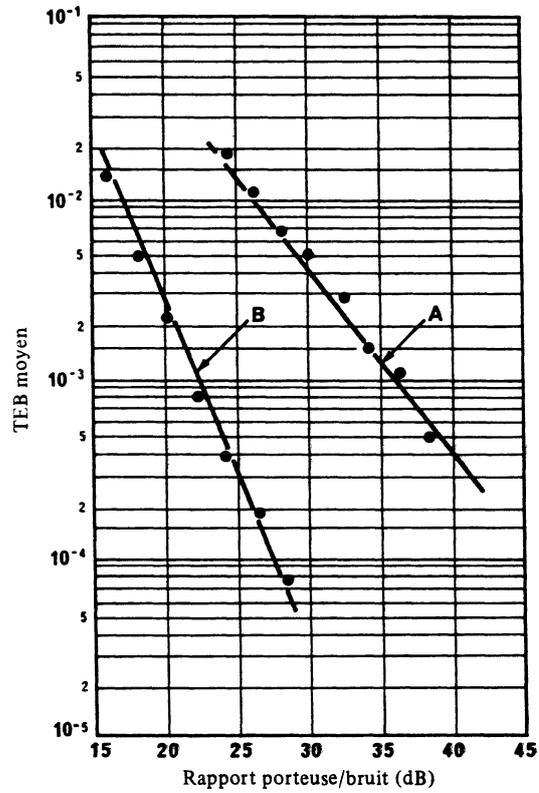


FIGURE 5b – TEB en fonction du rapport porteuse/bruit, méthode du décalage des indices de modulation

Code Manchester différentiel à 600 bit/s,  
modulation de fréquence directe

Courbes A: un seul émetteur (indice de modulation  $\beta = 9,7$ )

B: deux émetteurs, en décalage d'indice de modulation  
(indices de modulation:  $\beta_1 = 11,7$ ,  $\beta_2 = 9,7$ )

●: résultat d'expérience

Fréquence Doppler maximale: 40 Hz

Coefficient de corrélation croisée: 0

En cas de fluctuation des fréquences porteuses, l'amélioration due au décalage des fréquences varie fortement entre 0 et 2 kHz, comme le montre la Fig. 6 (trait pointillé). Le décalage des signaux permet d'obtenir des résultats supérieurs et plus stables, représentés par le trait plein de la Fig. 6.

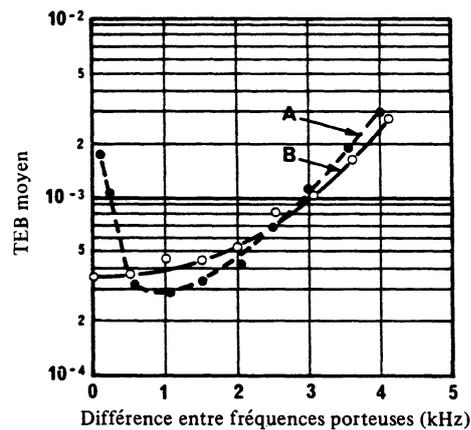


FIGURE 6 - TEB en fonction de la différence entre fréquences porteuses

Courbes A : méthode du décalage des fréquences porteuses  
( $\Delta f_D = \pm 3,5$  kHz)

B : méthode du décalage des signaux  
( $\Delta f_d = \pm 3,5$  kHz,  $\Delta f_{dh} = \pm 1$  kHz)

Fréquence Doppler maximale: 40 Hz

Débit binaire de la transmission:  $f_b = 300$  bit/s

L'amélioration qui résulte de l'effet de diversité est inversement proportionnelle au déphasage des signaux de modulation. La relation qui existe entre le déphasage et l'amélioration obtenue est la même pour les méthodes de décalage des fréquences et de décalage des signaux. De plus, dans l'un et l'autre cas, la valeur admissible est d'environ  $60^\circ$  (durée: 0,16 bit) comme le montre la Fig. 7.

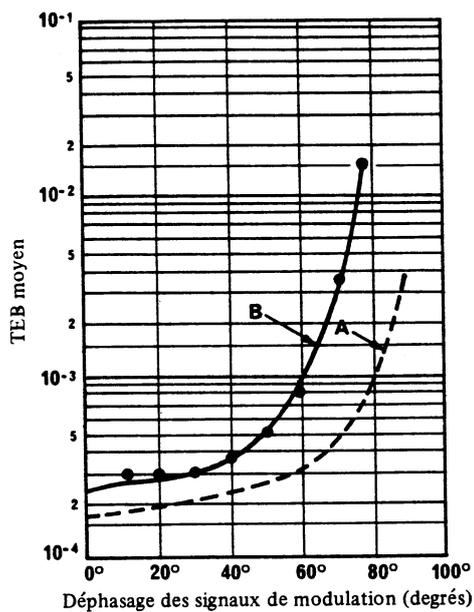


FIGURE 7 – Effet du déphasage des signaux de modulation sur le TEB obtenu

Courbes A: méthode du décalage des fréquences porteuses ( $\Delta f_C = 1$  kHz,  $\Delta f_D = \pm 3$  kHz)

B: méthode du décalage des signaux ( $\Delta f_d = \pm 3,5$  kHz,  $\Delta f_{dh} = \pm 1$  kHz)

Débit binaire de la transmission:  $f_b = 300$  bit/s

Fréquence Doppler maximale: 40 Hz

Coefficient de corrélation croisée: 0

Lorsque l'on décale les indices de modulation, le TEB diminue d'un ordre de grandeur et la différence optimale des valeurs d'indice est égale à 2, comme on peut le constater à la Fig. 8.

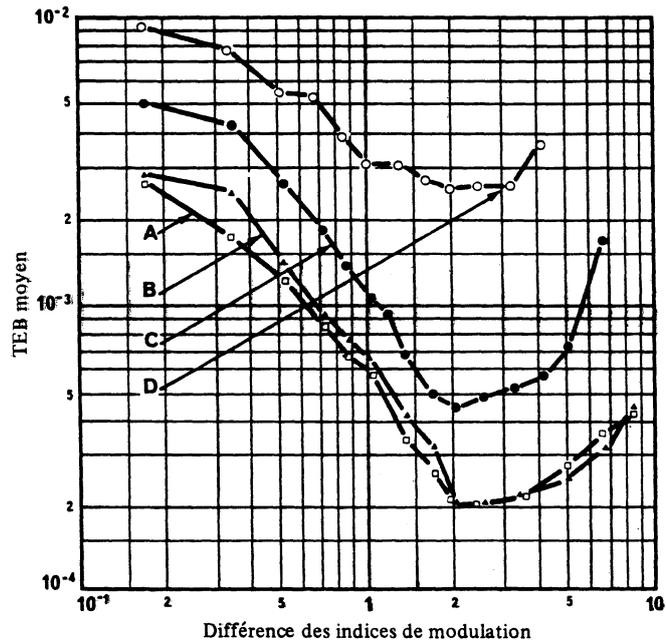


FIGURE 8 – TEB obtenu avec la méthode du décalage des indices de modulation, code Manchester différentiel 600 bit/s, modulation de fréquence directe

L'indice de modulation de l'un des deux émetteurs est fixé à:

Courbes A:  $\beta_1 = 13,3$

B:  $\beta_1 = 11,7$

C:  $\beta_1 = 8,3$

D:  $\beta_1 = 5$

Rapport porteuse/bruit: 26 dB

Différence des indices de modulations:  $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$  ( $\beta_1 > \beta_2$ )

Coefficient de corrélation croisée: 0

La Fig. 9 montre que la méthode du décalage des signaux présente l'avantage d'assurer uniformément un bon effet de diversité sur une large gamme de déphasages des signaux sinusoïdaux superposés. Il en résulte une qualité uniformément bonne dans l'ensemble des zones de chevauchement de cellules voisines lorsque l'on déphase les stations de base d'une valeur de  $60^\circ$ . Au Japon, l'utilisation de méthodes de décalage des fréquences porteuses et des signaux dans les systèmes téléphoniques du service mobile terrestre, donne des résultats positifs.

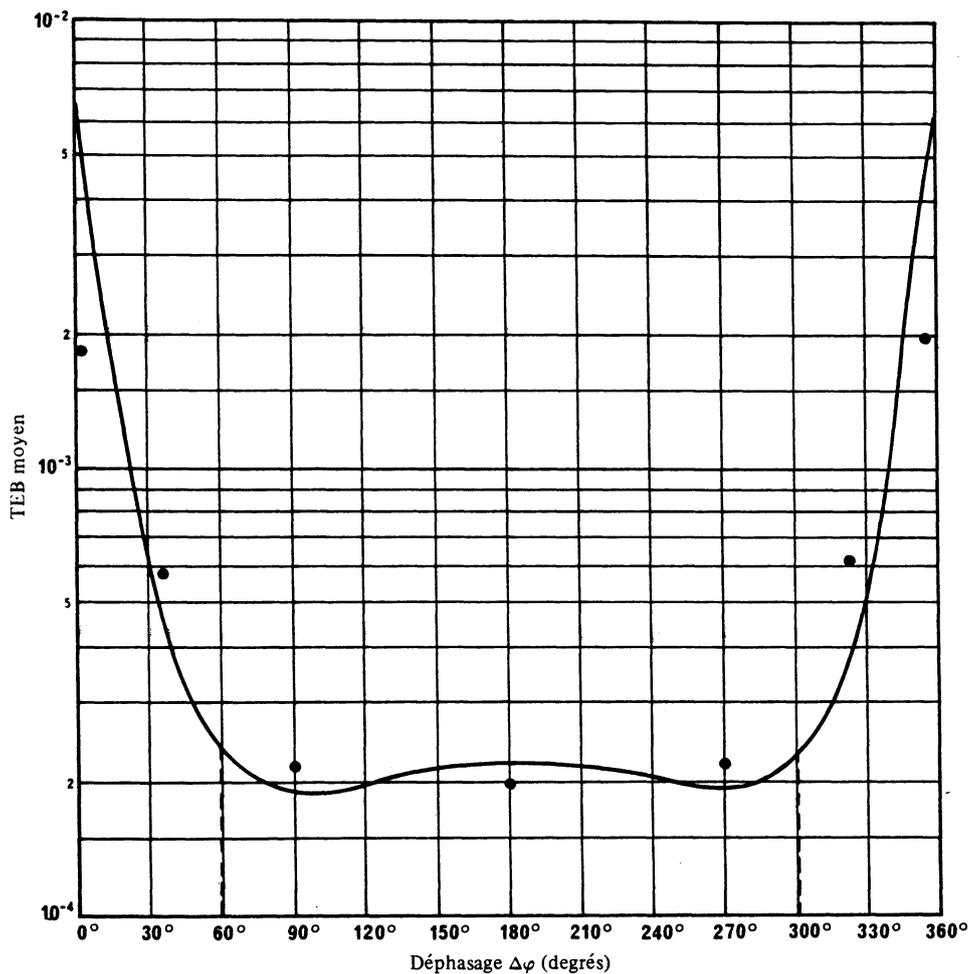


FIGURE 9 – Effet du déphasage de deux ondes sinusoïdales superposées

Méthode du décalage des signaux ( $\Delta f_d = \pm 3,5$  kHz,  $\Delta f_{dh} = \pm 1$  kHz)

Débit binaire de la transmission:  $f_b = 300$  bit/s

Fréquence Doppler maximale: 40 Hz

Coefficient de corrélation croisée: 0

### 3. Taux d'erreur, dans les émissions numériques, aux récepteurs en stationnement

Les signaux stables émis par deux émetteurs qui parviennent à un récepteur en stationnement subiront du brouillage causé par le battement des porteuses. Il en résultera une variation périodique de l'amplitude du signal résultant, à la fréquence de la différence des porteuses. Le TEB mesuré en fonction des niveaux absolus et relatifs des deux signaux reçus, comparé à la valeur théorique, est représenté à la Fig. 10 dans le cas de la modulation d'amplitude (sous-porteuse à MDF rapide à 1200 bit/s). Des résultats du même genre sont représentés à la Fig. 11 dans le cas de la modulation de fréquence (sous-porteuse à MDF rapide à 1200 bit/s).

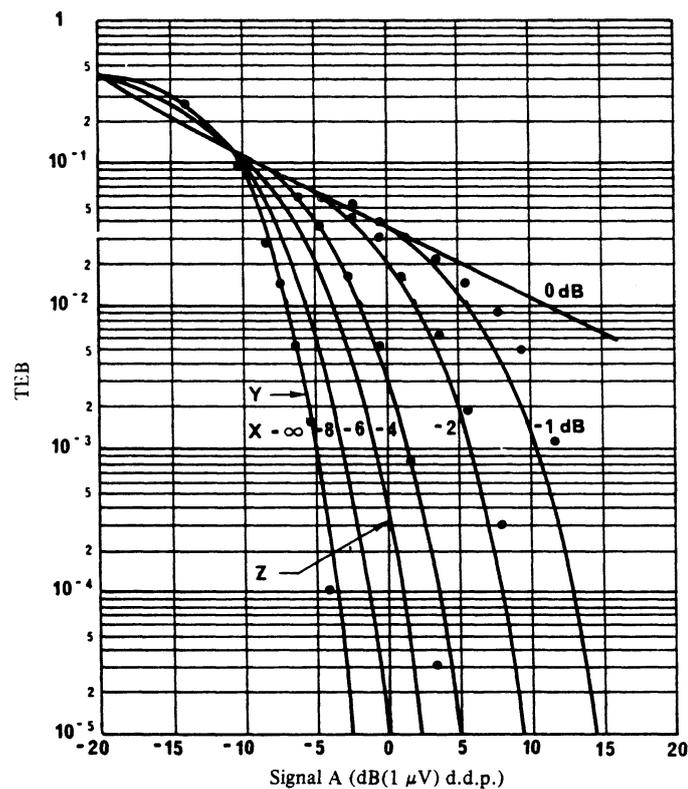


FIGURE 10 – TEB au récepteur en stationnement, modulation d'amplitude quasi synchrone

SINAD = 12 dB à -6,5 dB

$\Delta f_c = 2$  Hz

X: niveau du signal B par rapport à A

Y: A seul

Z: théorie

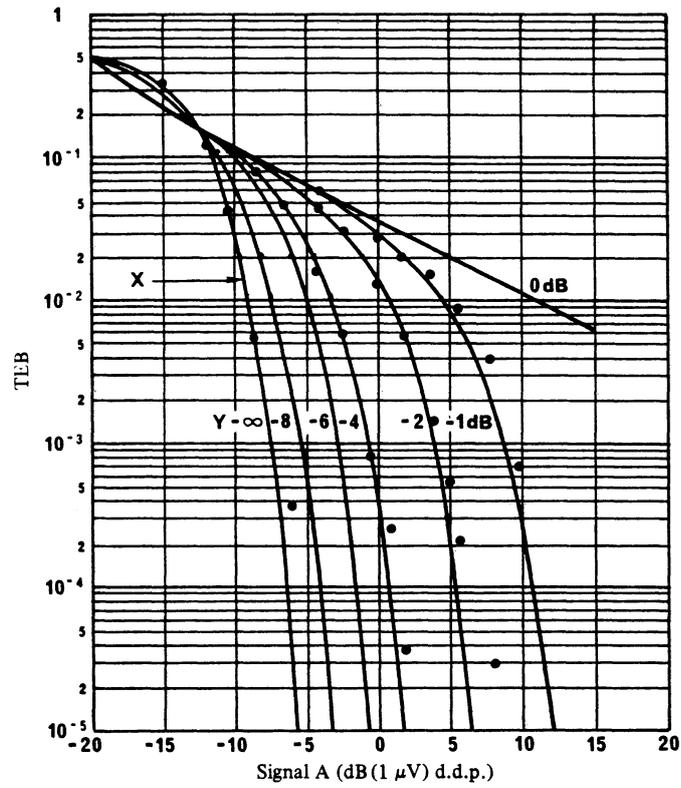


FIGURE 11 – TEB au récepteur en stationnement,  
modulation de fréquence quasi synchrone

SINAD = 12 dB à -9 dB

$\Delta f_c = 2$  Hz

X: A seul

Y: niveau du signal B par rapport à A

Le taux moyen d'erreur sur les mots, calculé sur un grand nombre de récepteurs stationnaires, dans des conditions d'évanouissements à distribution de Rayleigh, est représenté à la Fig. 12 en comparaison avec une exploitation à l'aide d'un seul émetteur, pour des mots de code de 64 bits et une différence de 1,8 Hz entre porteuses. A des niveaux plus bas du signal ( $< 12$  dB( $1 \mu\text{V}$ )) la qualité de fonctionnement est meilleure avec le deuxième émetteur ( $\approx 2,5$  dB) mais elle décroît d'environ 4,5 dB si le niveau des signaux est plus élevé. Pour des différences entre fréquences porteuses plus importantes, 18 Hz (voir la Fig. 13) et 180 Hz, la qualité de fonctionnement décroît entre 5 et 10 dB [French, 1982].

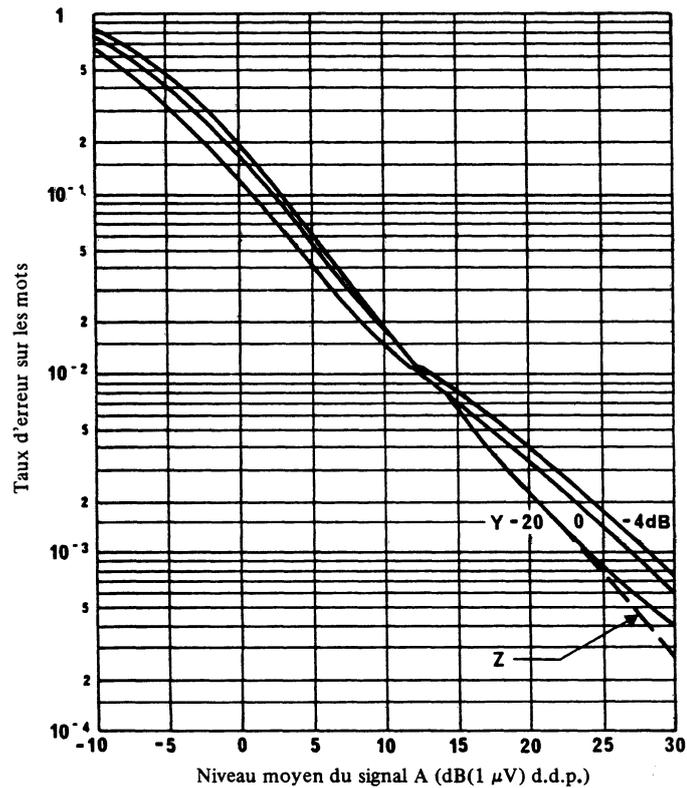


FIGURE 12 – Taux moyen d'erreur sur les mots, modulation d'amplitude

$$\Delta f_c = 1,875 \text{ Hz}$$

$$f_h = 1200 \text{ bit/s}$$

Mots de 64 bits

Y: moyenne relative du signal B

Z: A seul

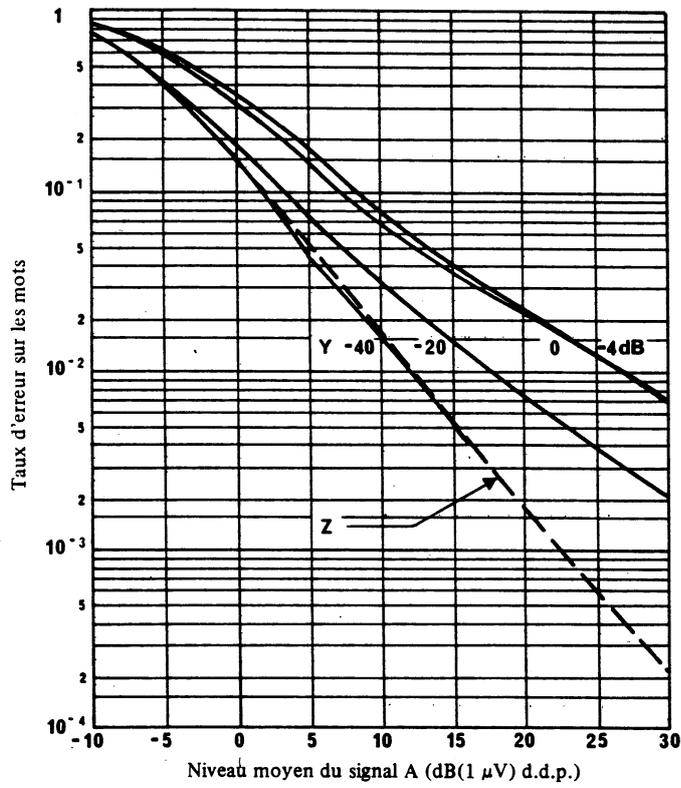


FIGURE 13 – Taux moyen d'erreur sur les mots, modulation d'amplitude

$\Delta f_c = 18,75$  Hz

$f_b = 1200$  bit/s

Mots de 64 bits

Y: moyenne relative du signal B

Z: A seul

## PARTIE B

APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE TRANSMISSION QUASI SYNCHRONE (SIMULCAST)  
POUR LA TRANSMISSION NUMÉRIQUE DANS LE SERVICE MOBILE TERRESTRE1. Introduction

Les systèmes radiotéléphoniques du service mobile terrestre utilisant des techniques cellulaires analogiques sont soit en place, soit en cours d'installation dans de nombreuses parties du monde. Les communications de données par ces systèmes cellulaires font l'objet d'une demande croissante. Actuellement, les fournisseurs de tels systèmes étudient de nouveaux concepts pour des solutions à long et à court terme permettant de tenir compte des applications de données dans leurs réseaux.

Un projet de système à fréquence unique a été étudié et a fait l'objet de simulations pour la transmission de données sur les canaux radioélectriques du service mobile terrestre. Ce système à fréquence unique fonctionne sur une voie duplex réservée aux utilisations de données. La liaison mobile vers station de base est utilisée en partage par tous les utilisateurs de données du système [Hafez et autres, 1987] d'après un schéma ALOHA à intervalles de temps [Kleinrock et Tobagi, 1975]. La liaison station de base vers mobile transmet les paquets de données aux mobiles, ainsi que l'information de base de temps nécessaire pour réguler le flux de trafic sur la liaison mobile vers station de base. Dans la transmission station de base vers mobile, le même paquet de données est transmis simultanément à partir de tous les emplacements de cellules. Ce schéma, sous sa forme la plus simple, n'exige pas de transferts. Une application potentielle du concept à fréquence unique consiste en un recouvrement sur les systèmes cellulaires existants par l'intermédiaire d'un protocole étendu.

2. Conclusions

Le critère de qualité, exprimé en temps de propagation en fonction du débit, avec le nombre de cellules comme paramètre, est illustré sur la Figure 14. On peut faire, à ce sujet, deux observations:

- 1) Il existe une forte corrélation du temps de propagation/débit entre les résultats calculés et les résultats des simulations. De plus, on observe une meilleure qualité dans les données simulées.
- 2) Le débit de la voie dans le sens mobile vers station de base augmente presque linéairement avec le nombre de cellules du système, pour autant que la voie station de base vers mobile n'ait pas atteint la saturation. En cas de saturation, des voies dans le sens stations de base vers mobile ou une intelligence supplémentaires peuvent être fournies au système. Par exemple, avec un temps de propagation moyen de six (6) intervalles de temps, le débit dans le sens mobile vers la station de base des systèmes à 37, 61, 91 et 127 cellules est respectivement de 2,7, 4,2, 5,9 et 8,1 plus élevé que celui d'un système équivalent à fréquence unique.

3. Etudes ultérieures

Un complément d'étude est nécessaire pour les systèmes "simulcast" à fréquence unique, portant sur les points suivants:

- a) débit binaire optimal sur la liaison station de base-mobile;
- b) stratégie optimale en matière d'emplacement et d'acheminement des paquets.

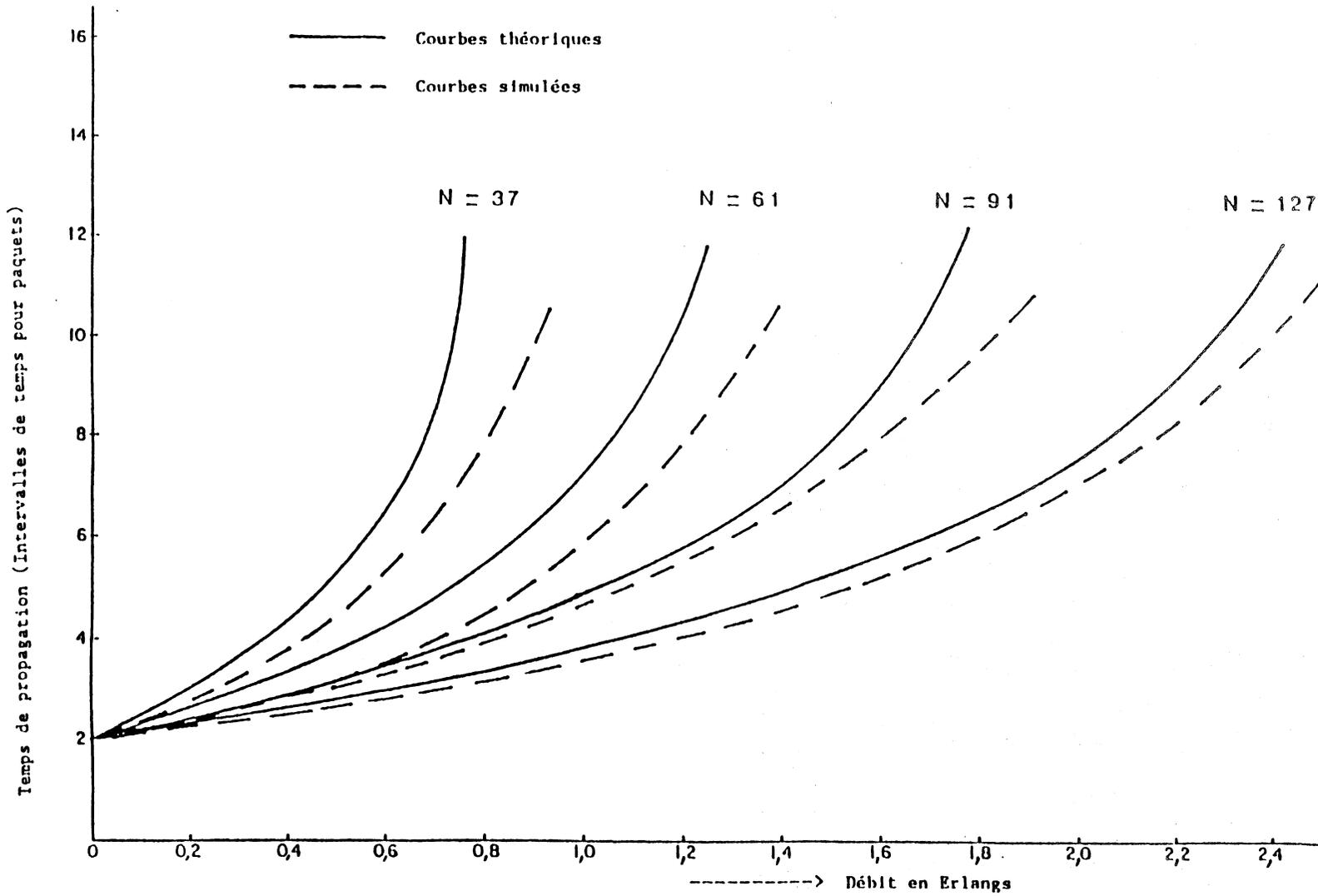


FIGURE 14

Temps de propagation/débit calculé et simulé en fonction du nombre de cellules

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADACHI, F. [novembre 1979] Transmitter diversity for a digital FM paging system, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT-28, 4.
- FRENCH, R. C. [septembre 1980] Common channel multi-transmitter data systems. *Radio and Electron. Engr.*, Vol. 50, 9, 439-446.
- FRENCH, R. C. [juin 1982] Multi-transmitter data systems – performance with stationary receivers. *Radio and Electron. Engr.*, Vol. 52, 6, 277-282.
- HAFEZ, H.M., NEHME, G.H. et TOWAIJ, S.J., "Spectrum Utilization Efficiency for Simulcast Data Transmission Over Land Mobile Radio Channels", 37th IEEE Veh. Tech. Conference, p. 523-527, Tampa, Floride, 1-3 juin 1987.
- HATTORI, T. et HIRADE, K. [novembre 1978] Multi-transmitter digital signal transmission by using offset frequency strategy in a land-mobile telephone system, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT-27, 4.
- HATTORI, T. et OGOSE, S. [mai 1980] A new modulation scheme for multi-transmitter simulcast digital mobile radio communication, *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT-29, 2.
- HATTORI, T., KANEKO, K. et NAGATSU, T. [février 1982] Multi-transmitter simulcast digital signal transmission system using waveform offset strategy, *Rev. Elec. Comm. Lab.*, Vol. 30, 2.
- KLEINROCK, L. et TOBAGI, F.A., "Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-23, N° 12, p. 1400-1416, décembre 1975.
-