

# Performance du QPSK sur un réseau micro-cellulaire à large bande avec modélisation gaussienne de l'effet du profil de délai

Assia Semmar, étudiante 3<sup>e</sup> cycle

Dr Michel Lecours, directeur de recherche

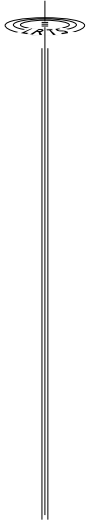
Dr Huu Tuê Huynh, co-directeur de recherche

*Abstract: The fading caused by the multipath and the effect of delay spread affect digital communications channels by introducing intersymbol interferences. ISI appears when the root-mean-squared (rms) delay spread is significant in comparison to the transmitted bits duration and results in an irreducible error probability. We develop in this work the performance of digital radio-communications with QPSK modulation. The Bit Error Rate, which is taken as performance criterion, is determined through two different approaches: in the first approach, the effect of interference is estimated by gaussian approximations [1,2] and a second approach is based on the Fourier-Bessel series method [3].*

*Résumé: Les évanouissements causés par les trajets multiples et l'effet du profil de délai dégradent les canaux de communications numériques en introduisant des interférences intersymboles. Ces phénomènes se manifestent quand la valeur quadratique moyenne du profil de délai est significative par rapport à la durée des symboles transmis et se traduisent par l'apparition d'un niveau de probabilité d'erreur irréductible. On analyse dans ce travail la performance des systèmes de communications radio-mobiles numériques en modulation QPSK. Comme critère de performance, on prend le taux d'erreur par symbole qu'on détermine par deux approches différentes. La première repose sur une approche gaussienne des interférences intersymboles [1,2]. La deuxième s'appuie sur la méthode des séries de Fourier-Bessel [3].*

## Modèle du canal

Le canal radio d'intérieur, opérant aux bandes UHF, micro-onde ou millimétriques, est un canal multiparcours [4] dont chaque parcours est caractérisé par son amplitude  $r_n$ , son délai de propagation  $\tau_n$  et son déplacement de phase  $\phi_n$ , où  $n$  est l'indice du parcours en question. Le canal est considéré comme un filtre linéaire variant dans le temps ayant comme réponse impulsionnelle:  $h(t) = \sum_n r_n(\tau_n) \exp(j\phi_n) \delta(t - \tau_n)$ . le signal reçu est donné par:  $r(t) = s(t) \otimes h(t) + n(t)$  où



$s(t)$  représente le signal à la sortie du modulateur et  $n(t)$  représente le bruit blanc additif gaussien (AWGN) de densité spectrale  $N_0/2$ .

### Profil de délai

Pour définir la performance du canal, on a opté pour les modèles exponentiel et de Maxwell pour décrire le profil de délai dans les canaux à évanouissements de Rice et de Rayleigh respectivement. Les deux modèles sont définis comme suit.

$$p_E(\tau) = \exp(-\tau/D) \quad (1)$$

$$p_M(\tau) = e^{-(\tau/t_m)} \exp\left\{-\left(\frac{\tau}{t_m}\right)^2\right\}$$

où  $D$  est l'écart-type du profil de délai et  $t_m$  représente le temps d'arrivée du signal ayant la puissance maximale définie comme:  $t_m = D\sqrt{2/(3-8/\pi)}$

### Approximation Gaussienne

La probabilité d'erreurs est déterminée en prenant comme hypothèse que le bruit et les interférences sont des variables aléatoires indépendantes non corrélées et ont une densité de probabilité gaussienne de moyenne nulle. On obtient comme probabilité d'erreur par symbole:

$$P_e \approx \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\gamma}{1+F\gamma}} \quad (2)$$

où  $\gamma$  représente le rapport signal à bruit.  $F$  est un facteur de fading qui dépend du modèle de profil de délai utilisé, du nombre moyen des interférences  $\nu$  et de l'écart-type de délai normalisé  $\mu = D/T$ .  $T$  est la durée de symbole.

La figure 1 donne l'évaluation de la probabilité d'erreur en fonction du rapport signal à bruit pour différentes valeurs du facteur d'évanouissements. En l'absence des interférences, la performance se réduit au résultat classique d'un canal à évanouissements non sélectif en modulation QPSK. On remarque que plus le rapport signal à bruit est grand, plus l'effet des interférences intersymboles est important; l'effet du bruit gaussien devient alors négligeable et  $P_e$  se réduit à la probabilité d'erreur irréductible:  $P_I = \operatorname{erfc} \sqrt{1/F}$  qui ne dépend que de  $F$ . On peut dire, dans ce cas, que  $P_I$  est un bon estimé de  $P_e$ .

La figure 2 illustre la probabilité d'erreur irréductible pour les deux modèles de puissance de profil de délai en fonction de la valeur quadratique moyenne normalisée du délai. On constate que, pour un même nombre de signaux interférents, la présence de la composante en ligne de vue influe positivement sur  $P_I$  en donnant une meilleure performance au système. Les résultats de la figure 2 montrent aussi que, pour un même  $\mu$ , la probabilité d'erreur irréductible dépend fortement de la puissance du profil de délai considérée. En effet  $P_I$  est meilleure pour le canal de Rice que pour le canal de Rayleigh.

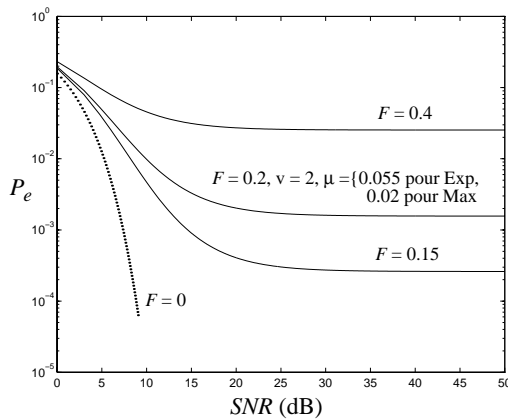


Fig. 1 Probabilité d'erreurs moyenne par symbole en QPSK pour différentes valeurs de  $F$

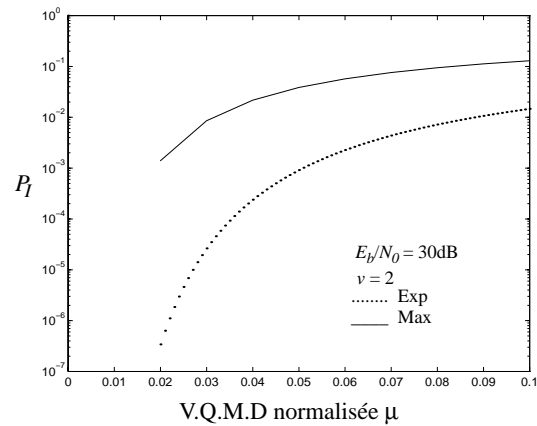


Fig. 2 Probabilité d'erreurs irréductible pour les deux canaux de Rice et de Rayleigh

### Méthode des séries de Fourier-Bessel

L'évaluation de la probabilité d'erreur via cette technique repose sur la connaissance de la fonction caractéristique des interférences intersymboles et de celle du bruit Gaussien [3]:

$$P_e = \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^M \frac{\Phi[(2m-1)\pi/2l]}{2m-1} \sin[(2m-1)\pi d/2l] \quad (3)$$

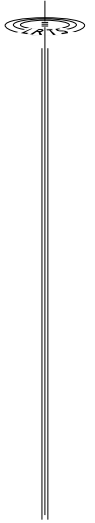
où  $\Phi(\cdot)$  représente la fonction caractéristique des interférences intersymboles et du bruit gaussien.  $M$  est choisi de façon à ce que la série de Fourier-Bessel converge, la valeur de  $l$  considérée doit assurer une erreur négligeable dans  $P_e$  et  $2d$  représente la distance entre deux points adjacents de la constellation considérée.

La figure 3 donne le taux d'erreurs par symbole en fonction du rapport signal à bruit pour différentes valeurs de  $\alpha$ , où  $\alpha$  est un paramètre liant le niveau de puissance de la composante principale à celui de la première composante retardée. Les résultats indiquent que le paramètre  $\alpha$  a une grande influence sur la performance du système. En effet plus le niveau des ISI est faible comparativement à celui du signal principal, meilleure est la performance.

La figure 4 nous montre que la probabilité d'erreurs irréductible augmente avec le nombre moyen des interférents. La performance s'améliore quand la valeur de l'écart-type de délai est très faible relativement à la durée de symbole.

### Conclusion

Une comparaison des résultats obtenus avec les deux approches nous permet de conclure que l'approximation gaussienne est assez limitée dans sa précision. Cette dernière peut être considérée comme outil de calcul de la probabilité d'erreur pour les cas où le facteur de fading



est supérieure à 0.5. Pour les autres cas, il est nécessaire de considérer la technique des séries de Fourier-Bessel qui ne nécessite pas des hypothèses simplificatrices.

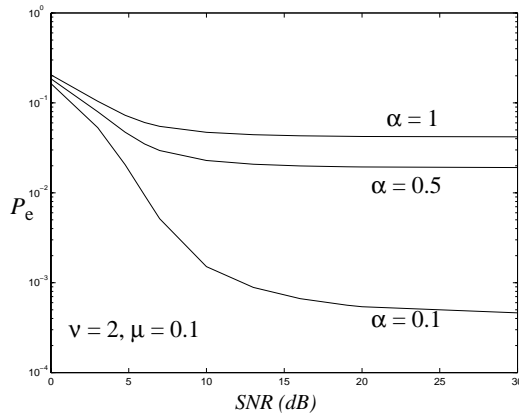


Fig. 3 Probabilité d'erreur moyenne par symbole pour différentes valeurs de  $\alpha$ .

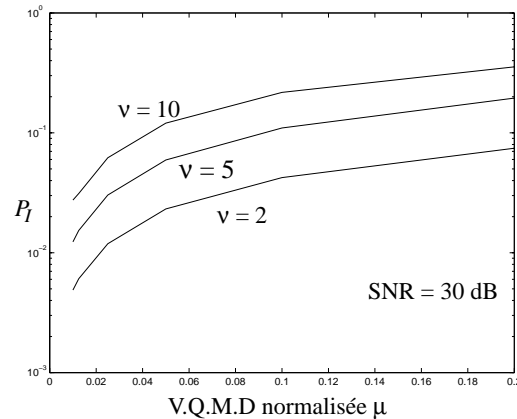


Fig. 4 Probabilité d'erreur irréductible pour différentes valeurs de  $v$ .

### Références:

- [1] X. D. Wang, M. Lecours, "The Effects of Delay Spread on a FH-FSK Spread Spectrum Mobile Radio System Over Frequency-Selective Fading Channels", *IEEE Trans. Comm.*, Vol 42, no 2/3/4, pp 1312-1324, Février/Mars/Avril 1994.
- [2] B. Solaiman, A. Glavieux and A. Hillion, "Error Probability of Fast Frequency Hopping Spread Spectrum with BFSK Modulation in Selective Rayleigh and Rician Fading Channels", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 38, no 2, pp. 233-240, Février 1990.
- [3] J. S. Bird and D. A. George, "The use of the Fourier-Bessel series in calculating error probabilities for digital communications systems", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-29, No. 9, sep. 1981.
- [4] A. A. M. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation", *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, Vol. SAC-5, No. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [5] A. Semmar, M. Lecours, H. T. Huynh, "Performance of coherent QPSK communications over frequency-selective fading channels for broadband PCS," *Can. J. Elect. & Comp. Eng.*, Vol. 22, No. 2, p. 51-54, Apr. 1997.