Journées scientifiques d'URSI-France
« Propagation et Télédétection »
24 et 25 Mars 2009

Apport de la diversité d'antennes en réception pour les liaisons ionosphériques HF

Pascal Chevalier(1), François Pipon(1), Gilles Rogerieux(1), Didier Landi(2)

(1) *Thales-Communications, EDS/SPM, 160 Bd Valmy, 92704 Colombes*
(2) *CTSN, Avenue de la Tour Royale, BP 40915, 83050 Toulon cedex*

Les radiocommunications ionosphériques HF (3 – 30 Mhz) permettent l'établissement de liaisons à grande distance (plusieurs milliers de kilomètres) par réflexion des ondes sur les couches de l'ionosphère. Elles constituent une alternative aux liaisons satellites militaires et civiles sans nécessité d'infrastructures externes coûteuses, d'où leur intérêt. Toutefois, la congestion spectrale élevée de la bande HF conjointement à l'étalement temporel important du canal ionosphérique HF, pouvant atteindre plusieurs ms, limitent la bande et donc le débit actuel des liaisons HF à des valeurs maximales comprises entre 9.6 et 19.2 Kbits/s. L'essor futur des radiocommunications HF se basera sur le développement de nouveaux services tels que la transmission multimédia ou IP, lesquels nécessitent un accroissement des débits de transmission avec un objectif de 64 Kbits/s dans les prochaines années. Dans ce but, plusieurs solutions sont envisageables. Une solution réside dans l'augmentation de la puissance d'émission mais celle-ci se heurte rapidement à des problèmes de coût voir de risques pour la santé. L'accroissement de la bande de transmission répond aussi à cet objectif, mais avec une augmentation du risque, déjà important (essentiellement de part les propriétés de la HF à couvrir de grandes distances), de la gestion du spectre et de ses interférences co-canal. Enfin, l'enrichissement des constellations ou l'utilisation de formes d'onde multi-porteuses (OFDM) requiert l'amélioration du bilan de liaison à portée constante.

Dans ce contexte, l'utilisation de plusieurs antennes en réception, couplées à un traitement d'antennes judicieux, constitue une solution très prometteuse aux problèmes posés par la montée en débit des liaisons HF. En effet, le traitement d'antennes permet, à puissance émise et à bande passante constante, non seulement une amélioration du bilan de liaison par exploitation d'une diversité spatiale et/ou de polarisation en réception mais également un accroissement de la robustesse des liaisons face aux interférences, que celles-ci soient volontaires (brouillage hostile) ou involontaires (bruits industriels, atmosphériques ou liés à la congestion spectrale élevée). Cette amélioration du bilan de liaison permet donc non seulement l'augmentation des débits de transmission, mais aussi la fiabilisation des liaisons, une diminution de la puissance émise ou encore une gestion plus souple de l'allocation de fréquences.

Depuis le début des années 90, de nombreux traitements d'antenne dits spatio-temporels (ST) [1] ont été proposés pour lutter conjointement contre les effets néfastes induits par la propagation à multitrajets et contre les interférences. Ces traitements ST ont engendré le concept de modem ST, robuste aux interférences co-canal et capable de lutter conjointement contre les fading « plat » et « sélectif en fréquences » induits par la propagation à multitrajets. Les modems ST les plus performants sont mis en œuvre à partir d'une séquence d'apprentissage insérée dans chaque burst ou trame de la liaison, permettant également la prise de synchronisation de la liaison. On parle alors de modems ST informés, par opposition aux modems ST autodidactes dont la mise en œuvre s'affranchit de l'utilisation d'une telle séquence. Parmi les modems ST informés, celui proposé dans [2] présente un excellent compromis performances – complexité, y compris pour des séquences d'apprentissage courtes, c'est-à-dire de quelques dizaines de symboles. La mise en œuvre de ce modem ST requiert une prise de synchronisation multi-capteurs, robuste aux interférences, telle que celle proposée dans [3].

L'objectif de cette contribution est de présenter une synthèse des résultats relatifs à l'évaluation expérimentale du gain sur le bilan de liaison apporté par le traitement d'antenne en réception pour des liaisons ionosphériques HF de type STANAG 4285, brouillées et non brouillées, entre des points distants de 400 Km (Cholet – Gennevilliers) et de 900 Km (Toulon – Coulommiers). La forme d'onde 4285 est une forme d'onde mono-porteuse dont les symboles utiles sont modulés en QPSK et dont les symboles de synchronisation, au

nombre de 80 par trame, sont modulés en BPSK. Le débit de transmission est de 2400 bits/s. Le modem ST utilisé en réception est une légère variante de celui introduit dans [2] alors que la technique de synchronisation utilisée est celle présentée dans [3]. Les antennes élémentaires considérées sont des cadres croisés A et B polarisés orthogonalement (Figure 1) à partir desquels les sorties A + jB et A – jB peuvent être construites. Plusieurs réseaux d'antennes sont considérés et correspondent à des réseaux à N = 2, 3 ou 4 sorties respectivement à diversité d'espace, à diversité de polarisation et à diversité d'espace et de polarisation. Le réseau est à diversité d'espace si toutes les sorties considérés sont identiques et disposées à des endroits différents de l'espace (par exemple les sorties A + jB de plusieurs cadres croisés différents). Le réseau est à diversité de polarisation si des sorties polarisées différemment sont considérées pour une même antenne à cadres croisés (ex : sorties A + jB et A – jB d'une même antenne). Le réseau est à diversité d'espace et de polarisation si des sorties polarisées différemment de plusieurs cadres croisés différents sont utilisées (ex : sortie A + jB de l'antenne 1 et sortie A – jB de l'antenne 2).

Pour N = 2 sorties et un taux d'erreurs symbole de 0.01 sans codage, des gains de l'ordre de 4 dB sur le bilan de liaison sont obtenus pour une réception à diversité d'espace alors qu'ils peuvent atteindre jusqu'à 9 dB pour une réception à diversité de polarisation. Pour des réseaux à N = 4 sorties, exploitant les diversités d'espace et de polarisation, ces gains sont de l'ordre de 13 dB. Ces résultats sont illustrés par la figure 2 qui montre l'évolution du Taux d'erreurs binaires (TEB) en sortie de traitement en fonction du rapport signal sur bruit pour différentes configurations du réseau de capteurs et pour une liaison Cholet – Gennevilliers. Les sigles FASRFN et FASRFPA sont deux variantes d'un même traitement ST qui seront présentées dans l'article final. Les courbes en trait continu rouge et bleu sont relatives à l'exploitation de N = 4 sorties couplant diversités d'espace et de polarisation. De même, la figure 3 montre les mêmes variations que celles de la figure 2 mais pour une liaison brouillée pour laquelle le brouilleur est 28.5 dB au dessus du signal utile. Cette figure montre une liaison passante dès que N = 2, une augmentation des performances avec le nombre de sorties considérées et lorsque la diversité de polarisation est exploitée. D'autres résultats sont présentés dans l'article pour des liaisons Toulon – Coulommiers.

Les résultats présentés démontrent en vraie grandeur tout l'intérêt d'un traitement d'antenne en réception pour les liaisons ionosphériques HF ainsi que les meilleures performances obtenues avec la diversité de polarisation par rapport à la diversité d'espace.

Références

[1] A.J. PAULRAJ, C. PAPADIAS, "Space-Time Processing for wireless communications", *Signal Processing Magazine*, Vol 14, N° 6, pp. 49-83, Nov 1997.

[2] F. PIPON, P. CHEVALIER, P. VILA, J.J. MONOT, "Joint spatial and temporal equalization for channels with ISI and CCI - Theoretical and experimental results for a base station reception", *Proc. IEEE SP Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, SPAWC, Paris (France), pp. 309-312, April 1997.

[3] P. CHEVALIER, F. PIPON, J.J. MONOT, C. DEMEURE, "Smart antenna for the GSM system: experimental results for a mobile reception", *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, Phoenix (USA), pp 1572-1576, May 1997.

Figure 1 – *Antenne à 2 cadres croisés*

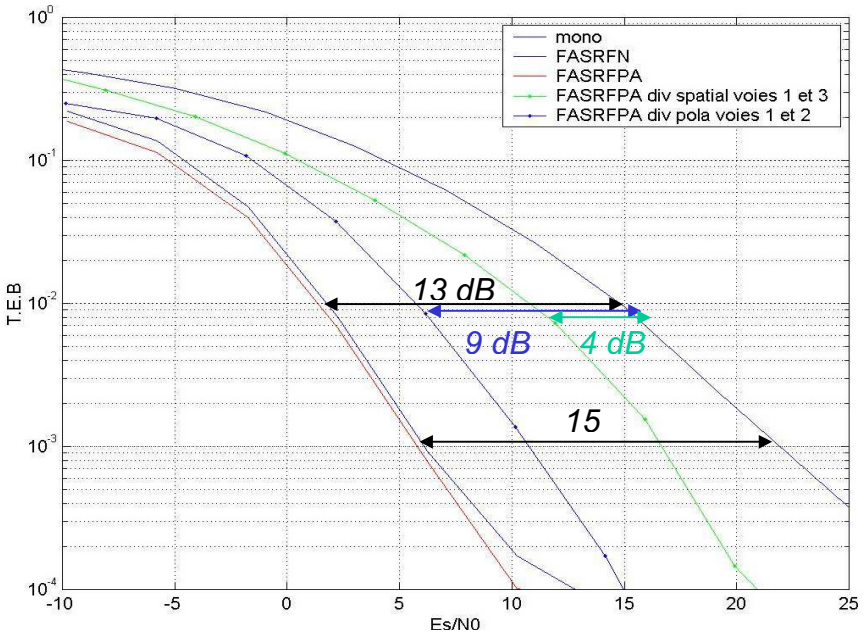

Figure 2 – *Taux d'erreurs binaires en fonction du Eb / N0 – Liaison non brouillée N = 1, 2, 3, 4*

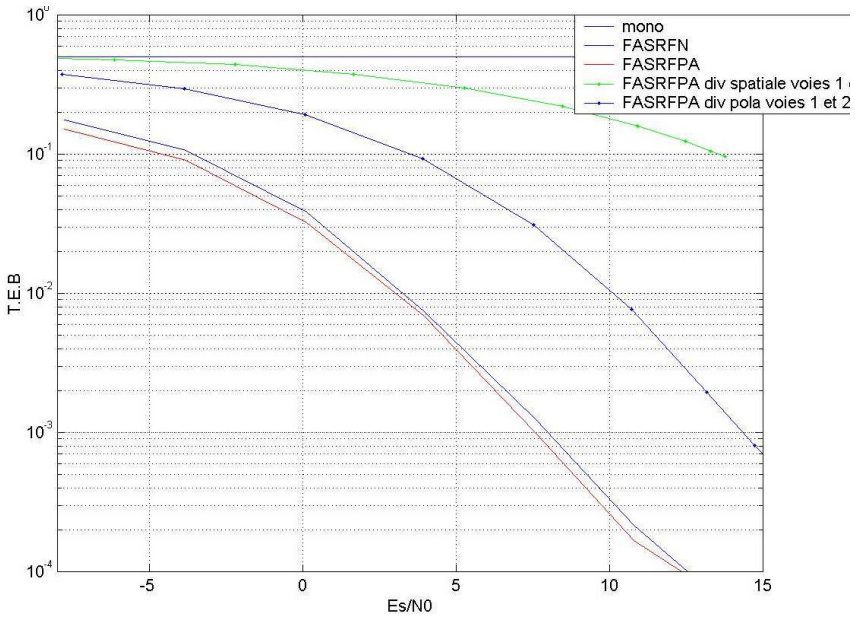

Figure 3 – *Taux d'erreurs binaires en fonction du Eb / N0 – Liaison brouillée – J/S = 28 dB, N = 1, 2, 3, 4*