



THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

pour le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1
Mention : Traitement du Signal et Télécommunications
Ecole doctorale (MATISSE)

présentée par

Papa Moussa NDAO

préparée à l'unité de recherche (IETR-CPR)
(Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes)
(Communication, Propagation, et Radar)

**Système MIMO de
transmission numérique
à haut débit en gamme
HF (3 à 30 MHz)**

**Thèse soutenue à Rennes
le 11 Juillet 2011**

devant le jury composé de :

Pascal CHEVALIER
Professeur, CNAM Paris / président

Jean-Pierre CANCES
Professeur, Université de Limoges / rapporteur

Jérôme LEMASSON
Maître de conférences, Université de Bretagne-Sud
Lorient / examinateur

Dominique LEMUR
Maître de conférences, Université de Rennes 1 /
examinateur

Yvon ERHEL
Professeur, Université de Rennes 1, détaché aux
Ecoles de Saint-Cyr Coetquidan / directeur de thèse

Résumé : ce travail décrit la conception d'un système MIMO de transmission numérique à longue portée empruntant le canal ionosphérique. Exploitant la gamme HF (3-30 MHz) le démonstrateur propose une solution originale où la diversité des polarisations émises remplace la diversité spatiale classique, délicate à mettre en œuvre pour des raisons d'encombrement dans un contexte de longueurs d'onde décamétriques. Dans une première phase, une modélisation de la propagation ionosphérique permet d'évaluer la capacité théorique de plusieurs architectures MIMO sous l'hypothèse de canaux déterministes sélectifs en fréquence. Une solution satisfaisante, réalisant un compromis entre augmentation du débit numérique et complexité, est identifiée : il s'agit d'une architecture MIMO (2,2) où l'émission génère deux polarisations circulaires complémentaires. Une deuxième partie décrit le protocole choisi pour la transmission dans un contexte de forme d'onde mono-porteuse et présente les simulations de l'ensemble des traitements en réception : synchronisation des blocs de données, estimation du canal, égalisation dans le domaine fréquentiel, décodage. La troisième partie du travail consiste à assembler et tester le démonstrateur au Laboratoire dans une version où les traitements en réception sont implantés en temps différé. Enfin, le système complet est mis en œuvre sur des transmissions radio d'une portée d'environ 300 km. Ces expérimentations valident le concept de MIMO HF à diversité de polarisation en mettant en évidence un débit numérique atteignant 25.6 kbits/s et restant compatible avec une bonne qualité de service. Cette valeur dépasse significativement les standards connus (4.8 à 9.6 kbits/s).

Abstract : this work is dedicated to the design of a MIMO system for long range digital transmission through the ionospheric channel. Within the HF band (3-30 MHz), the system is based on an original solution for which the classical space diversity, uneasy to set up in a context of decametric wavelengths, is replaced with the diversity of the transmitted polarizations. In a first step, a modelisation of ionospheric propagation is carried out to compute the theoretical capacity of several MIMO architectures under the assumption of deterministic frequency selective channels. An acceptable solution, appearing as a balanced trade off between performances and complexity, is identified : it consists in a (2,2) MIMO architecture transmitting to complementary circular polarizations. In a second part, the data block format and the selected single carrier waveform are described. All modules of signal processing at the receiver are then tested : block detection, channel estimation, frequency domain equalisation, decoding. The third step consists in the set up of the global system and the realization of preliminary tests in the laboratory in an off-line mode version of the signal processing. Finally, the operational transmission system is tested on an approximately 300 km long radio link. This experiments validate the concept of diversely polarised HF MIMO as they underline a transfer rate reaching up to 25.6 kbps with a good quality of service. This value significantly exceeds the common standards (4.8 to 9.6 kbps).

Mots clés : Ionosphère, MIMO, Communications Numériques, diversité de polarisation