

Etude de l'ionosphère par utilisation opportuniste d'une modulation DRM

Ionospheric study using an opportunistic DRM modulation

Philippe Maliet, Hervé SIZUN

Association Observation Radio Pleumeur Bodou
ABRET COSMOPOLIS 22000 Pleumeur Bodou, France
(philippe.maliet, herve.sizun,)@wanadoo.fr

Résumé

Le but de cet article est de présenter une technique d'investigation de l'ionosphère basée sur la réception d'une liaison fixe de radiodiffusion numérique à la fréquence de 6.085 MHz en utilisant les propriétés de la démodulation DRM (Digital Radio Mondiale) comme une sonde opportuniste de l'ionosphère. Les outils d'analyse utilisés sont les logiciels Dream et SpectrumLab. Les observations sont réalisées à la fois en bande étroite (2Hz) et en large bande (10 kHz). Ils sont présentés sous forme de dopplergramme. Différents événements caractéristiques de l'ionosphère sont mis en évidence tant en bande étroite (crochet d'ouverture et de fermeture de la liaison, diffusion, absorption, ondes de gravité) qu'en large bande (fading sélectif, diffusion, absorption). Différents exemples caractéristiques sont présentés.

Abstract

The aim of this article is to introduce a technology of investigation of the ionosphere based on the reception of a numerical broadcasting fixed link at 6.085 MHz using the DRM (Digital Radio Mondiale) modulation properties as an opportunistic ionospheric sounder. The analysis used tools are Dream and SpectrumLab software. Observations are accomplished at the same time in narrow band (2Hz) and in broad band (10 kHz). They are present by dopplergram. Different ionospheric characteristic events are observed in narrow band (typical figures at the opening and at the closing of the link, scattering, absorption, gravity waves) and in large band (selective fading, scattering, absorption). Different typical examples are presented.

Mots clés: ionosphère, modulation DRM, dopplergramme.

Key words: ionosphere, DRM modulation, dopplergram.

1. Introduction

L'ionosphère est la région de la haute atmosphère où les charges (positives et négatives) existent en quantité suffisante pour influencer la trajectoire des ondes radioélectriques et permettent ainsi des communications radioélectriques entre deux points à la surface de la Terre. Ces charges résultent d'une ionisation des constituants de l'atmosphère par les rayons solaires.

Afin de mieux connaître les caractéristiques de l'ionosphère et de ses différentes couches (D, E, F), différents moyens de sondage ont été mis en place (sondage en contre bas ou oblique), sondage vertical en contre haut, sondage par rétrodiffusion, sondage par diffusion incohérente).

Le but de cet article est de présenter une technique d'investigation de l'ionosphère en utilisant la réception d'une liaison fixe de radiodiffusion numérique à la fréquence de 6.085 MHz en utilisant les propriétés de la démodulation DRM (Digital radio Mondiale) comme une sonde opportuniste de l'ionosphère. Les outils d'analyse utilisés sont les logiciels Dream et SpectrumLab. Les observations sont réalisées à la fois en bande étroite (2Hz) et en large bande (10 kHz). Ils sont présentés sous forme de dopplergramme. Différents événements caractéristiques de l'ionosphère sont mis en évidence tant en bande étroite (crochet d'ouverture et de

fermeture de la liaison, diffusion, absorption, ondes de gravité) qu'en large bande (fading sélectif, diffusion, absorption).

2. L'expérimentation

2.1 La liaison étudiée

La liaison utilisée s'étend entre Ismaning-Allemagne (48°13'11"N, 11°04'47"E) et Keranstraou-Ploumilliau-France (48°42'18"N, 3°32'06"O). La distance entre l'émetteur et le récepteur est approximativement égale à 1120 km (cf figure 1).

L'émetteur émet une puissance de 50 kW à la fréquence de 6.085 MHz. La réception du champ radioélectrique d'une telle liaison est conditionnée à la réflexion de l'onde sur l'ionosphère à mi-distance (cas d'un seul bond). Cette réflexion nécessite une concentration électronique suffisante.

La fréquence de l'onde permettant une telle liaison doit se situer entre la fréquence maximale utilisable (MUF) et la fréquence minimale utilisable (LUF). En dehors de cette bande la liaison est interrompue (absorption par la couche D, traversée de la couche F). La fréquence de l'onde reçue est légèrement différente de la fréquence émise par suite des mouvements des couches à l'intérieur de l'ionosphère : c'est l'effet doppler.

A ces effets, dus aux gradients de grande échelle et aux irrégularités de moyenne et de petite échelle de la concentration électronique (ondes de gravité) s'ajoutent des fluctuations de phase et d'amplitude du signal reçu appelés scintillations.



Figure 1 : Représentation géographique de la liaison étudiée : Ismaning-Keranstraou

2.2 Digital Radio mondiale

C'est une norme de radiodiffusion numérique pour les ondes courtes, moyennes et longues ($f < 30$ MHz) permettant une très large couverture (plusieurs milliers de km). Le système récepteur est léger et simple : récepteur compact, antenne filaire). Elles offrent de nombreux avantages par rapport à la radiodiffusion analogique traditionnelle : amélioration de la qualité du son, identification des stations reçues, puissance émise plus faible, etc [1].

La largeur de bande du récepteur est de 10 kHz. Les débits varient de 8Kbits/s à 20 Kbits/s voire à 72 Kbits/s en couplant plusieurs canaux.

Pour la transmission, la modulation utilisée est une constellation (Quadrature amplitude modulation) selon un codage OFDM (Orthogonal frequency Division Multiplexing). Elle permet une excellente robustesse du signal par rapport aux échos destructifs de la propagation. Le principe consiste à obtenir une importante densité spectrale en répartissant le flux total du signal numérique sur de nombreuses sous-porteuses modulées individuellement en QAM. D'autre part les phases de ces sous porteuses sont orthogonales entre elles dans le but de renforcer la diversité du signal par rapport aux échos de propagation. La figure 2 montre d'une part la comparaison des spectres transmis entre la radio analogique et le son codé en DRM et d'autre part les effets des évanouissements sélectifs correspondants. En analogique un creux dans la bande passante peut rendre le son incompréhensible.

En DRM le signal est transmis avec redondance sur toutes les sous-porteuses et avec un code correcteur d'erreur de façon à pouvoir le corriger en cas de creux de la bande passante, d'interférences négatives ou de décalages de fréquence par effet Doppler. Des signaux pilotes très stables et non modulés servent de références à la détermination des sous-porteuses. La mesure de leurs perturbations est ici exploitée à l'analyse de l'ionosphère.

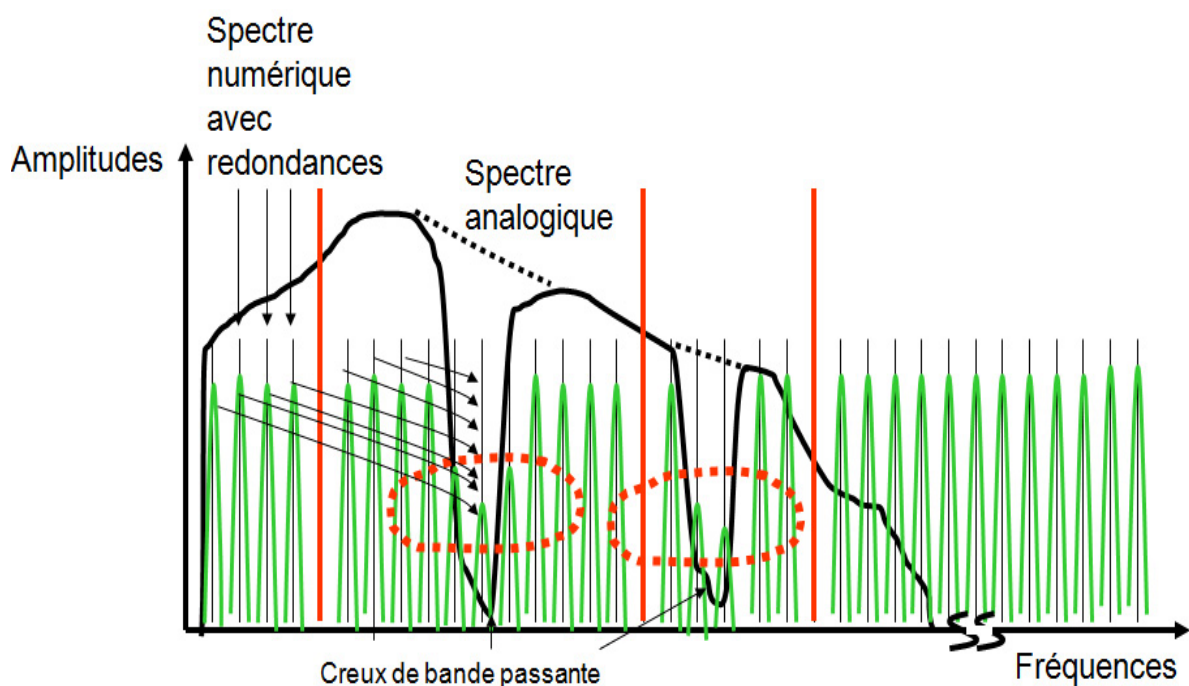


Figure 2 : Spectre transmis et effets des évanouissements sélectifs sur la réception

2.3 Les logiciels utilisés

2.3.1 Le logiciel DREAM

C'est un logiciel Opensource qui permet d'extraire les principales caractéristiques du signal DRM (détermination de la station, extraction des codes physique et logique, détermination des signaux pilotes, ..., etc) [2]. Les signaux pilotes à 750, 2250 et 3000 Hz sont des références très stables, d'amplitudes de niveau plus élevé, non modulées en amplitude qui lui servent de calage au décodage. Ce signal pilote sert de signal d'entrée à la carte son. La mesure de leurs perturbations sert de mesure à voir les mouvements et les transformations de l'ionosphère à travers le logiciel spectrumlab.

2.3.2 Le logiciel Spectrumlab

Le logiciel spectrumlab est un analyseur de spectre et permet l'analyse fréquentielle de la composition des signaux reçus, déformés lors de leur passage dans l'ionosphère. Le signal d'entrée est

numérisé à l'aide d'une carte son [3]. En sortie il restitue sous forme graphique le niveau du signal dans le plan temps fréquence. La figure 3 donne une vue générale de l'écran de présentation des résultats et de la fenêtre de configuration.

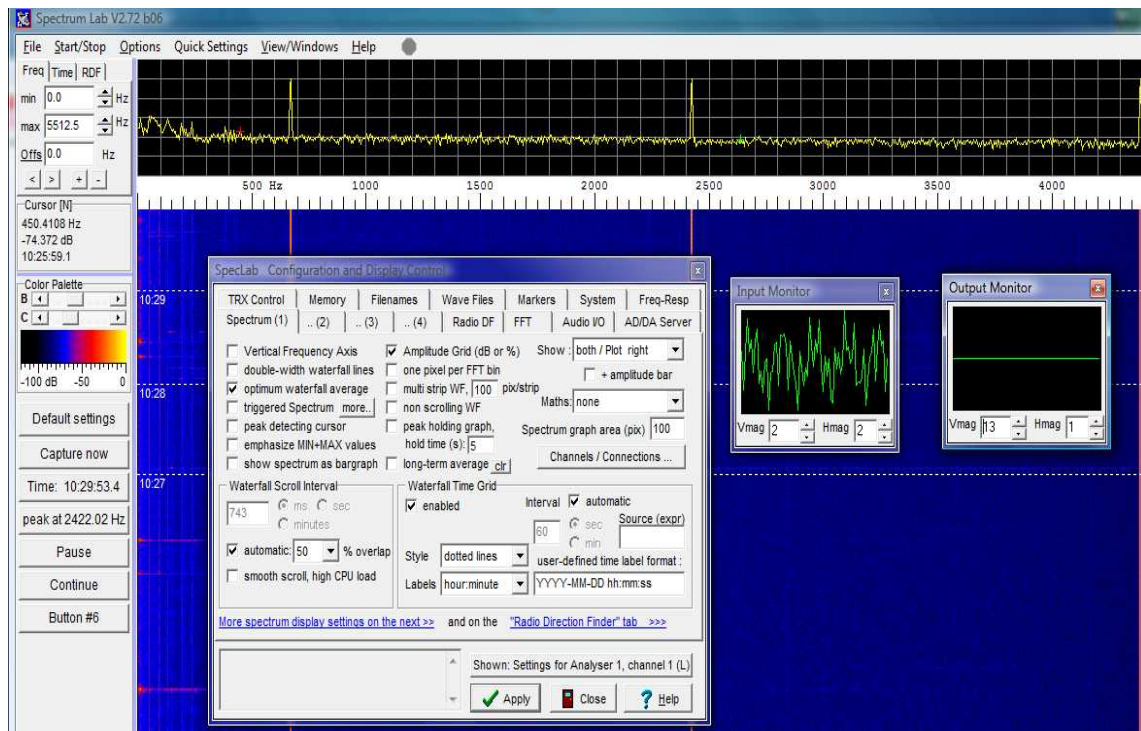


Figure 3 : le logiciel spectrmlab : écran de présentation et de configuration

2.4 Le récepteur

La figure 3 donne une représentation schématique du récepteur. Il est constitué d'un système de réception bande étroite (2 Hz) afin d'enregistrer les ondes de gravité, les dérives de fréquences (élévation et descente des couches ionosphériques) et d'un système large bande (10 kHz) afin d'enregistrer les évanouissements sélectifs, les battements de chemins multiples, les transitions jour/nuit, etc. Ces différents enregistrements donnent une représentation temporelle de la surface réfléchissante de l'onde électromagnétique assurant la liaison radioélectrique.

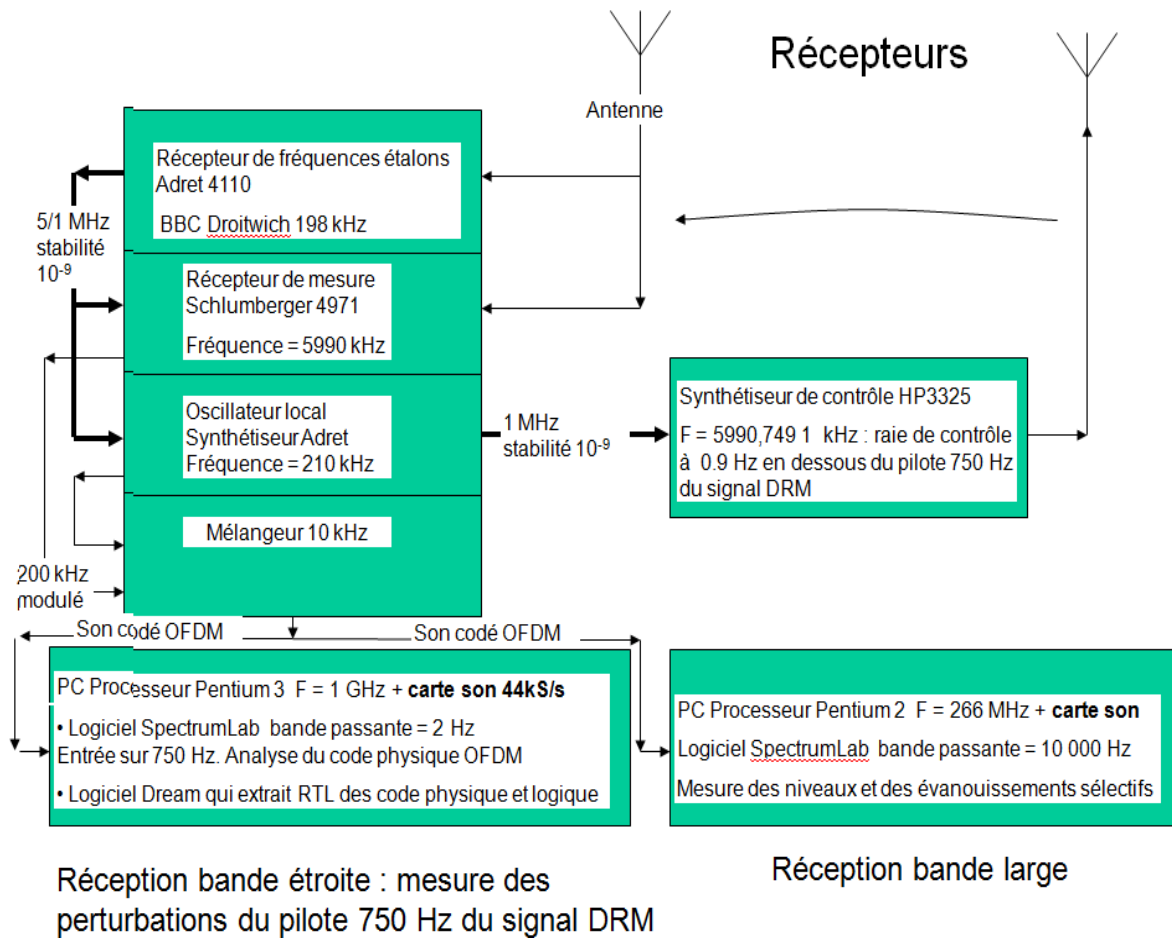


Figure 4 : Représentation schématique du récepteur

3. Résultats

Nous présentons quelques résultats typiques observés en bande étroite (2Hz) et en large bande (10 KHz).

3.1 Réception en bande étroite

Les exemples présentés ci-dessous représentent l'intensité du signal reçu dans le domaine temps (unité : 5 mn) fréquence (2 Hz). L'analyse du spectre en bande étroite (dopplergramme) permet de mettre en évidence les mouvements ascendants et descendants et leurs variations des couches réfléchissantes des différentes ondes radioélectriques permettant la liaison. Ces mouvements et ces variations de hauteurs sont consécutives respectivement à l'ionisation du milieu créée par le soleil et au passage d'ondes de gravité [4]. Les figures 5 et 6 donnent des exemples de crochet d'ouverture et de fermeture de la liaison. Leurs formes résultent de la composition de l'onde ordinaire, de l'onde extraordinaire et éventuellement de l'onde de Pédersen. On peut mettre en évidence le rôle de l'ionisation et du champ magnétique dans la séparation de l'onde ordinaire de l'onde extraordinaire.

Les figures 7 à 12 donnent différents exemples d'oscillations traduisant différentes interactions du passage de l'onde électromagnétique à travers le milieu de propagation : absorption (interruption de la liaison), diffusion, variation de phase, passage d'onde de gravité, présence de trajets multiples, phénomènes complexes, ..., etc.

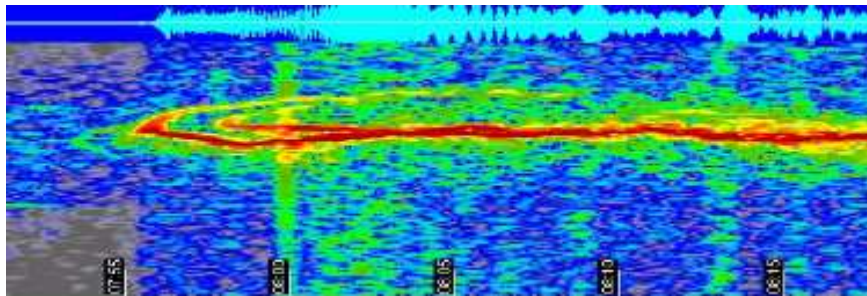


Figure 5 : Evénement caractéristique : crochet d'ouverture (matin)

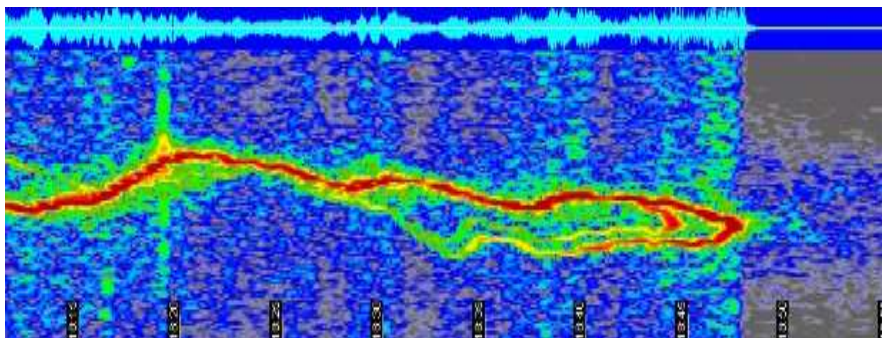


Figure 6 : Evénement caractéristique : crochet de fermeture (matin)

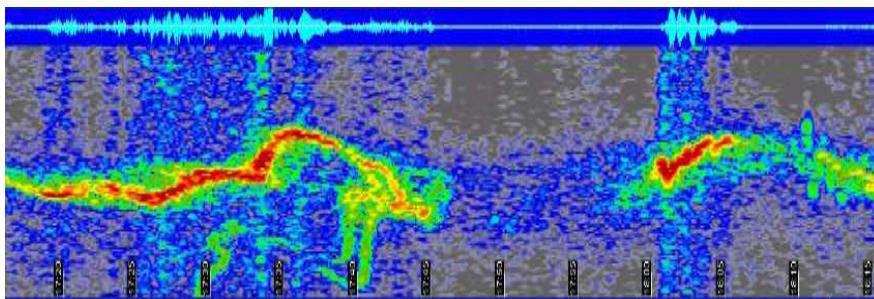


Figure 7 : Evénement caractéristique : absorption

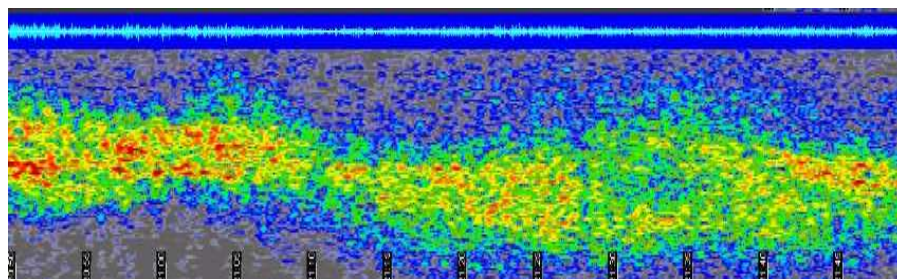


Figure 8 : Evénement caractéristique : Diffusion

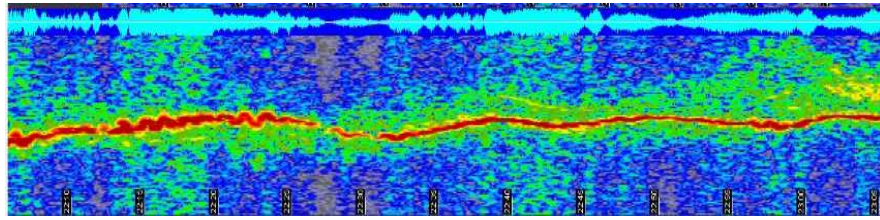


Figure 9 : Evénement caractéristique : variation de phase

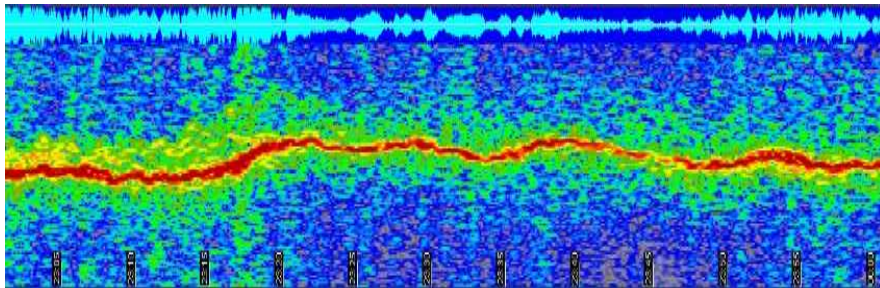


Figure 10 : Evénement caractéristique : passage d'une onde de gravité

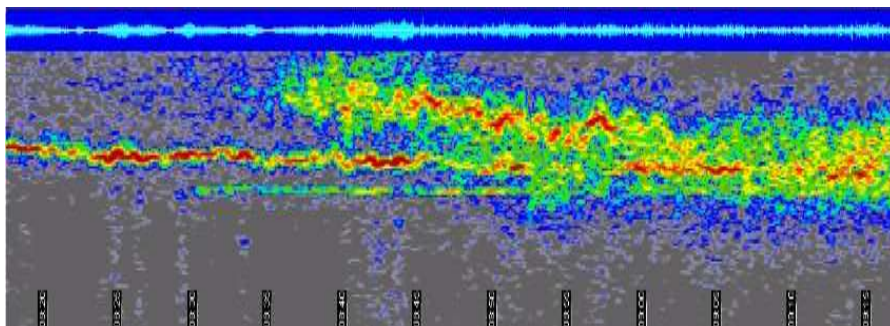


Figure 11 : Evénement caractéristique : Trajets multiples

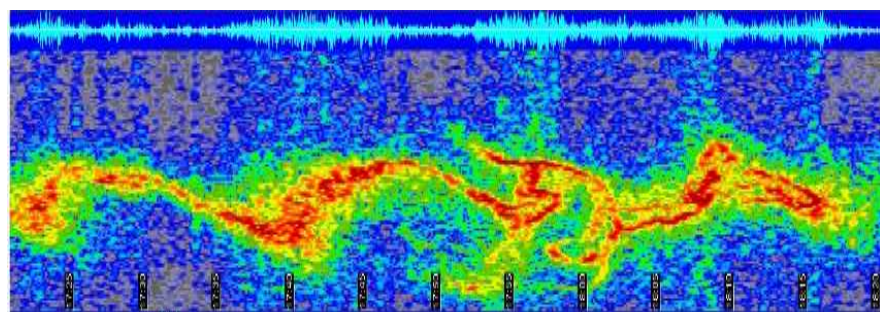


Figure 12 : Evénement caractéristique : phénomène complexe

3.2 Réception en large bande

Les exemples présentés ci-dessous représentent l'intensité du signal reçu dans le domaine temps (unité : 1 mn) fréquence (10 kHz). A l'instar des reflets du soleil sur les rides à la surface de la mer, ces spectrogrammes représentent les variations de l'intensité du signal dues à la déformation de la couche réfléchissante. L'analyse du spectre en large bande (10 kHz) permet de mettre en évidence les évanouissements sélectifs, les battements de

chemins multiples, les transitions jour/nuit, etc. Les figures 13 et 14 donnent des exemples de fading sélectif avec fréquence croissante et décroissante observé lors d'un crochet d'ouverture (matin) et de fermeture (soir). La figure 15 montre un exemple type observé lors de diffusion. Les figures 16, 17 et 18 montrent des exemples observés lors de phénomènes plus complexes montrant la dynamique de la surface réfléchissante des ondes électromagnétiques assurant la liaison radioélectrique.

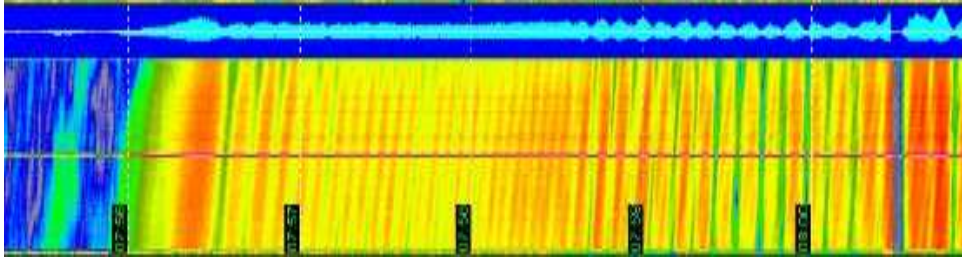


Figure 13 : Fading sélectif avec fréquence croissante lors d'un crochet d'ouverture (matin)

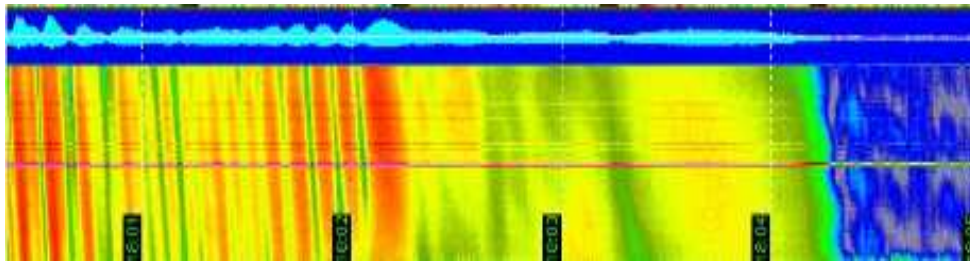


Figure 14 : Fading sélectif avec fréquence décroissante lors d'un crochet de fermeture (soir)

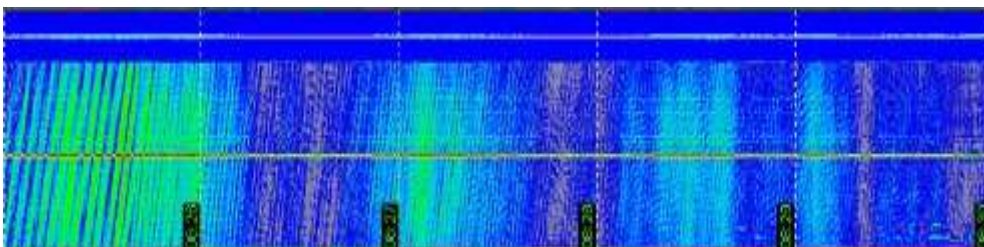


Figure 15 : Événement caractéristique : Diffusion

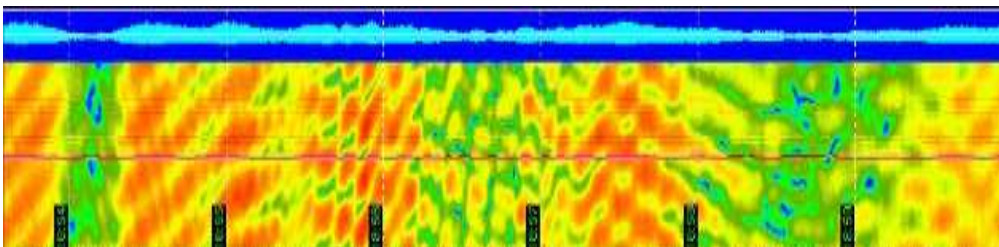


Figure 16 : Événement caractéristique : événement complexe

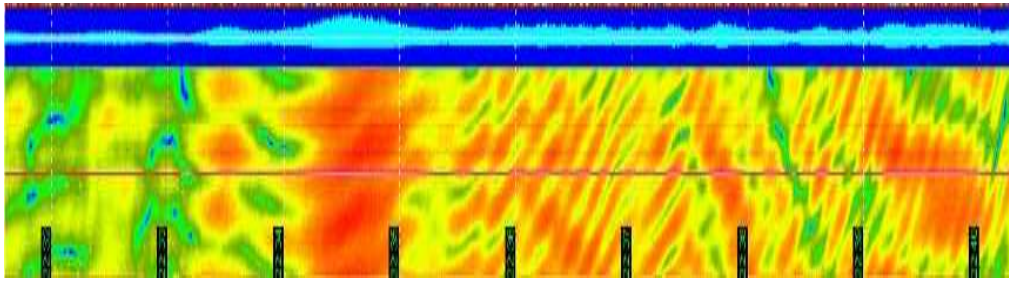


Figure 17 : Evénement caractéristique : événement complexe

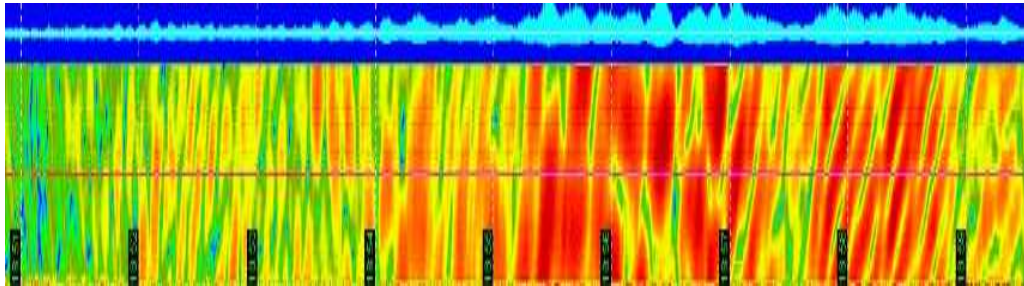


Figure 18 : Evénement caractéristique : événement complexe

4. Conclusion

L'analyse des variations de fréquences observées sur une liaison DMR permet de mettre en évidence outre les heures d'ouverture et de fermeture de la liaison les mouvements ponctuelle (bande étroite) ou surfacique (large bande) de la surface de réflexion de l'onde résultant de la dynamique temporelle de l'ionosphère.

La technique utilisée n'est pas nouvelle. La nouveauté réside d'une part dans l'aspect grand public de l'expérimentation par l'utilisation de matériel de type amateur (recyclage de matériel de laboratoire, exploitation de la carte son, utilisation de logiciels libres, ..., etc. et d'autre part dans l'utilisation d'un émetteur de radiodiffusion DRM à la place d'une sonde déterministe. C'est l'aspect opportuniste de l'expérimentation.

Les activités futures porteront plus particulièrement sur les aspects suivants : Simulation sur le logiciel « spectrumlab » des différents phénomènes (battements à plusieurs fréquences, superposition de signaux dont les fréquences se séparent différemment, ...etc.), la comparaison des simulations et des phénomènes observés et la valorisation dans l'enseignement des radiocommunications comme illustration d'un canal de radiocommunication réel très aléatoire.

5. Références bibliographiques

- [1] DRM: http://fr.wikipedia.org/wiki/Digital_Radio_Mondiale
- [2] Dream: http://apps.sourceforge.net/mediawiki/drm/index.php?title=Main_Page
- [3] SpectrumLab : <http://www.qsl.net/dl4yhf/spectral1.html>
- [4] H. Sizun; « Perturbations ionosphériques itinérantes de moyenne échelle, étude et recherche de leur source », Thèse, Rennes, 1979.