

Comment ça marche ?

Les modes numériques radioamateurs

8 – Mode HAM-DRM

Par le radio-club F6KRK

L'HAM-DRM est un mode de transmission de fichiers numériques dérivé du système de radiodiffusion DRM (Digital Radio Mondiale). Il a été adapté par HB9TLK pour "entrer" dans un canal BLU radioamateur. Ce faisant, il a perdu son caractère "transmission audio en temps réel" nécessitée par la radiodiffusion. En pratique, les radioamateurs l'utilisent pour transmettre des images, ce qui en fait ainsi une sorte de "Digital SSTV". Pour les termes et les procédés techniques rencontrés dans cet article, se référer aux précédents "Comment ça marche" sur les transmissions numériques^[1].

La radiodiffusion DRM

C'est dans les années 90 qu'a commencé l'étude d'une transmission numérique de l'audio dans un canal de radiodiffusion AM, pour les gammes GO-PO-OC. L'amélioration attendue était de passer d'un canal mono à un canal stéréo avec ajout d'informations diverses (nom de la station, nom du programme, etc.) qui existent pour la radio FM, mais ici, dans un canal de 9 kHz seulement. Cela se fera avec une nette amélioration du codage audio (réduction du débit numérique).

Techniquement la modulation choisie est du type nQAM avec n=16 ou 64^[2] accompagnée d'un multiplexage du type OFDM^[3]. Le nQAM a été choisi pour sa meilleure tenue aux bruits divers et l'OFDM pour son occupation spectrale optimale. Par ailleurs, l'OFDM est associée à une redondance temporelle des données, ce qui améliore la résistance aux évanouissements sélectifs (fading rapide), en particulier pour les mobiles^[4].

L'HAM-DRM

L'HAM-DRM utilise le principe DRM, mais avec une occupation spectrale de 2,5 kHz maximum pour "entrer" dans un canal BLU standard OM. Naturellement cela se fait au détriment du débit, mais c'est sans importance pour les radioamateurs car ce mode est surtout utilisé pour transmettre un fichier informatique et le temps est secondaire. Il y a bien eu quelques tentatives pour transmettre en HF de la phonie en temps réel, mais sans concurrencer la phonie analogique⁽¹⁾.

Caractéristiques techniques générales (DRM et HAM-DRM)

La DRM est une sorte de boîte à outils permettant de "fabriquer" de multiples variantes. Pour celles-ci les paramètres sont transmis dans un fichier d'information baptisé "FAC". En conséquence, le protocole HAM-DRM peut évoluer au gré du concepteur. Nous n'avons pas pu récupérer les caractéristiques complètes des systèmes les plus utilisés : "HAM-DRM" de HB9TLK et "EASY-PAL" de VK4AES. Voici donc les caractéristiques générales récupérées

sur la norme ETSI concernant la DRM avec les spécificités amateurs glanées çà et là sur le Web ⁽²⁾.

- Modulation : 4QAM, 16QAM et 64QAM
- Facteur de crête : 10 à 11 dB (AM = 6dB)
- Vitesse de modulation de 37,5 Bds à 60 Bds
- Multiplexage : de **29** à **57** canaux **COFDM** ⁽³⁾ (voir figure 1). Trois canaux étant réservés pour la référence en fréquence et en amplitude, il reste **26** à **54** canaux disponibles pour les données
- Débit de **52** (2×26) à **324** (6×54) bits par symbole.
- Occupation spectrale à -20 dB : de 200 Hz à 2,3 kHz ou 2,5 kHz
- Scrambling (embrouillage) des données ⁽⁴⁾ : polynôme $P(x) = x^9 + x^5 + 1$ ^[5]
- FEC par code Reed-Solomon de rapport ¼ à ¾ ^[6].
- Contrôle des données : CRC16 CCITT V41 (diviseur = "8811h")
- Entrelacement temporel : code paramétrable entre 0,7 et 2,4 s
- Code de dissémination (dans les canaux OFDM) paramétrable
- Longueur des trames : de 15 à 24 symboles
- Temps de garde : de 1/9^{ème} à 11/14^{ème} de la durée nominale du symbole

Nombre de porteuses OFDM

Mode	A	B	E
2,3 kHz	53 (50)	45 (42)	29 (26)
2,5 kHz	57 (54)	51 (48)	31 (28)

Figure 1 : Nombre de porteuses OFDM selon le mode et la largeur de bande, (nn) = Nbre de canaux utiles

Temps de garde

Dans la DRM originale, le temps de garde est prévu pour une propagation par multitrajets. Pour l'HAMDRM, il sert à contrer les variations du temps de propagation à l'intérieur du filtre BLU, beaucoup plus sélectif que les filtres des récepteurs AM conventionnels. Pour comprendre l'effet de l'ajout d'un temps de garde, nous allons nous aider de la figure 2.

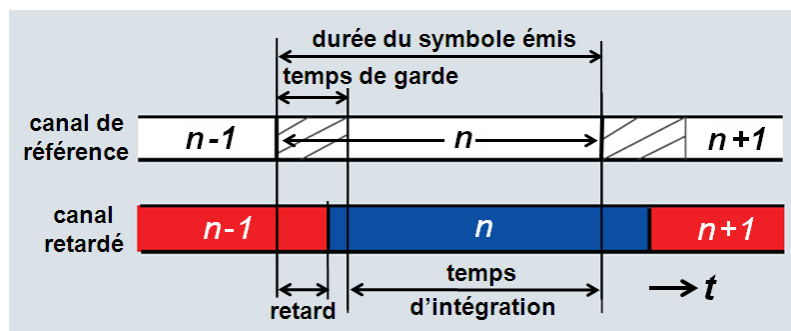


Figure 2 : Mécanisme du temps de garde pour contrer les retards de propagation

Nous y voyons trois symboles successifs pour deux canaux OFDM : le canal qui sert de référence de temps et un autre canal qui subit un retard de propagation (noté "retard") par rapport au premier.

Noter que le temps d'intégration est la durée que doit avoir un symbole pour que les canaux soient orthogonaux (le "O" de l'OFDM). Si un canal subit un retard de propagation, à la réception chaque symbole contiendra une partie du symbole précédant avec un recouvrement égal à "retard". Cela aura pour effet de diminuer le rapport S/B et d'augmenter les erreurs. Si à l'émission nous prolongeons la durée du symbole, on voit sur la fig. 2 qu'à la réception le temps d'intégration ne contiendra qu'un seul symbole tant que le canal n'aura pas subi un

retard plus important que le temps de garde. Le prix à payer est une augmentation de la durée des symboles et donc une diminution du débit.

Organisation des trames

En HAM-DRM elles ne comprennent que deux parties : la FAC et le MSC.

La FAC fournit au récepteur l'information pour décoder le signal utile : mode, bande passante, entrelacement, le type de services (audio, image, texte, binaire, etc...), le nom et la taille du fichier à transmettre, plus l'indicatif OM. La FAC n'est pas entrelacée dans le temps de façon à permettre un décodage rapide des informations de contrôle. Par ailleurs, elle n'est transmise que sur les canaux centraux pour éliminer les "effets de bord" du filtre BLU.

Le MSC contient les données à transmettre. Il est entrelacé dans le temps afin de résister aux aléas de la transmission. Son taux de transfert dans les modes radioamateurs varie de 997 bits par seconde (mode E) à 6277 bits par seconde (mode A).

Voir sur la figure 3 le déroulement d'une séquence de 20 symboles en mode E.

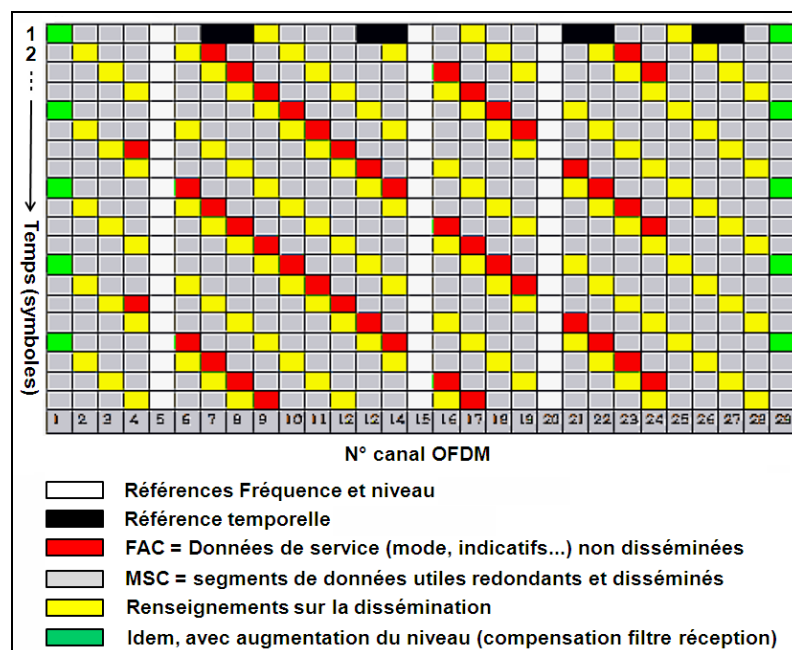


Figure 3 : Séquence de 20 symboles en mode E (d'après un dessin de F6GIA^[7])

La taille des segments de données dépend de la modulation : 2 bits par symbole pour du 4QAM, 4 bits pour du 16QAM et 6 bits pour du 64QAM, multipliés par le nombre de symboles et le nombre de canaux utiles OFDM.

Les logiciels utilisés par les radioamateurs permettent de générer à la demande une identification en CW (Morse) toutes les 10 secondes sur 300 Hz pendant la transmission des données, et/ou à la fin de la transmission sur 800 Hz.

Exigences concernant le transceiver

Utiliser le mode BLU+.

La linéarité de l'émetteur devra être d'autant meilleure que le "*n*" du *n*QAM est élevé, multiplié par le facteur de crête. Dans ce domaine, la DRM est plus exigeante que l'AM ou la BLU. En conséquence, on n'utilisera pas l'ALC HF pour réguler la puissance de sortie, ni un ALC BF. Le niveau de sortie émetteur sera ajusté à la sortie du modem pour obtenir une puissance moyenne égale à 40% maximum de la puissance PeP.

En réception on conservera la CAG correspondant à une transmission phonie analogique, compte tenu de la propagation. La syntonisation se fera à partir du Waterfall, en faisant

coïncider les raies des porteuses sur les repères du graticule qui matérialisent la fréquence de réception.

Voir sur la figure 4 une occupation spectrale HAM-DRM en émission et son spectre (waterfall) en réception ⁽⁵⁾.

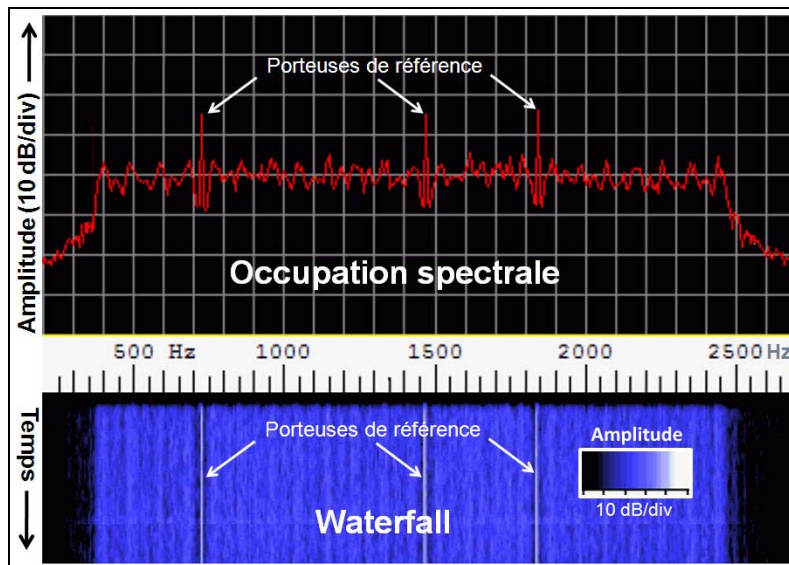


Figure 4 : Densité spectrale d'un signal HAM-DRM et spectre fréquence/amplitude/temps/ (waterfall) en réception (d'après une copie d'écran du logiciel "Easy-Pal)

Conclusion

Nous espérons avoir éclairé l'OM sur le fonctionnement technique de l'HAM-DRM. Comme nous l'avons déjà dit, il est très difficile de se procurer des informations exactes sur ses caractéristiques détaillées et il se peut qu'il y ait quelques erreurs, sans importance pour la compréhension du principe général.

Annexe : HAM-DRM ?

Cette annexe pour ceux qui voudraient aller plus loin après avoir assimilé les "Comment ça marche" sur les transmissions numériques ^[1].

Pour une application radioamateur, on peut se demander pourquoi utiliser le principe du DRM pour transmettre des fichiers numériques en HF. En effet, les conditions de propagation que rencontrent les amateurs en HF ne justifient pas un système aussi complexe. Nous n'avons pas d'évanouissements sélectifs rapides car le trafic à partir d'un mobile en déplacement nous est interdit. Par ailleurs en propagation ionosphérique, la bande de cohérence en HF est largement supérieure à 2,5 kHz.

Peut-être que ce choix résulte de la chronologie historique :

C'est HB9DLK, sans doute fasciné par le DRM, qui a eu l'idée de l'adapter au monde radioamateur. Comme il n'y a eu que lui pour se lancer dans l'aventure et que son système fonctionnait apparemment bien, il est devenu un standard. Mais la véritable démarche aurait dû être celle-ci : trouver un système qui permette de transmettre un fichier informatique en un minimum de temps avec une sensibilité raisonnable, dans un canal BLU "effectif" radioamateur, c'est-à-dire en tenant compte de notre canal de transmission en HF (matériel, propagation et bruit de bande). Il n'est pas dit que le nQAM + l'OFDM auraient été les meilleurs choix. La modulation GMSK du D-STAR semblerait plus appropriée (voir le précédent "Comment ça marche"). Mais ceci est une opinion, pas une certitude démontrée.

La Rubrique "Comment ça marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (<http://www.f6krk.org>). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@orange.fr".

Bibliographie

[1] Série des "Comment ça marche ?" sur les transmissions numériques, parue dans R-REF de juin 2018 à mars 2020. Se reporter aux numéros suivants :

[2] "Trans-Num (4)", octobre 2018

[3] "Trans-Num (9)", mars 2019

[4] "Trans-Num (7)", janvier 2019

[5] "Trans-Num (11)", mai 2019

[6] "Trans-Num (14)", septembre 2019

[7] F6GIA, (f6gia@wanadoo.fr), "L'hamDRM, c'est quoi ?"

Notes

- (1) *Pour les radioamateurs, on ne voit pas beaucoup l'intérêt d'une transmission numérique de la parole en HF. Par ailleurs, la DRM ne s'est pas imposée dans la radiodiffusion GO-PO-OC qui devient obsolète. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous "récupérons" de plus en plus de bandes en HF (mais il faut se "bagarrer" pour défendre nos bandes aux fréquences supérieures).*
- (2) *Avec beaucoup de mal car bien souvent les auteurs ne semblent pas vraiment savoir de quoi ils parlent.*
- (3) *Le "C" de l'expression "COFDM" signifie que le multiplexage OFDM subit un codage particulier pour le rendre plus robuste aux variations du temps de propagation à l'intérieur du canal de transmission (filtrage + multi-trajets).*
- (4) *Le but est de supprimer les longues suites de bits identiques, ce qui augmente la fréquence de coupure basse du spectre (élimination de la composante continue) et égalise la densité spectrale (diminution du facteur de crête)^[2].*
- (5) *La démodulation s'effectue à l'aide d'une FFT complexe dont les coefficients sont représentatifs des canaux OFDM. L'occupation spectrale et le Waterfall s'obtiennent en prenant les modules des coefficients de la FFT (intégration sur plusieurs symboles).*