

Comment ça marche ?

Les transmissions radio-numériques

8 - L'étalement de spectre (1)

Par le radio-club F6KRR

Après avoir vu le canal de transmission et le canal de propagation, nous allons aborder les procédés utilisés pour contrer les effets des évanouissements sélectifs en commençant par l'étalement de spectre par sauts de fréquence.

Principe général

Dans l'organisation standard d'un réseau de transmission (cas des radioamateurs, de la VHF marine, etc.) chaque liaison bilatérale occupe un canal particulier. Or, pour diverses raisons (brouillage, fading sélectif stable, etc.) le canal qui nous est dévolu peut être "bouché", c'est-à-dire inexploitable ⁽¹⁾. L'étalement de spectre permet de contrer ce phénomène. Il y a deux façons de faire de l'étalement de spectre. La première utilise la technique du "saut de fréquence". En français on parle "d'EVasion de Fréquence" (EVF) et les anglos-saxons de "Frequency Hopping Spread Spectrum" (FHSS).

Etalement de spectre par saut de fréquence (FHSS)

Pour comprendre son principe, commençons par un exemple en transmission analogique sous forme d'une fable radioamateur.

Prenons 10 opérateurs dans un radio-club qui veulent faire une liaison phonie avec 10 opérateurs d'un autre radio-club. Pour cela, ils utilisent 10 E/R sur 10 canaux BLU consécutifs (10×3 kHz).

Si aucun autre OM ne s'installe dans la bande des 10 canaux, tout se passe bien, tout le monde se comprend. Si un malotru vient faire un "tune" dans un canal, les pauvres opérateurs qui occupent celui-ci vont voir leur communication interrompue. Alors ? Désolé pour eux ! ils n'avaient qu'à tirer le bon numéro (de canal)... Pour éviter cela, il suffit d'organiser autrement le réseau.

Découpons les signaux BF de chaque opérateur en tranches de temps (slots) de 100 ms. Ensuite chaque émetteur va émettre ses slots en utilisant successivement les dix canaux par "saut de fréquence". Naturellement le "tour" de chaque émetteur sera déterminé de façon qu'il n'y ait aucune collision (un seul émetteur par canal à un instant donné). Nous obtenons le diagramme de la figure 1 (réseau ramené à 6 pour simplifier).

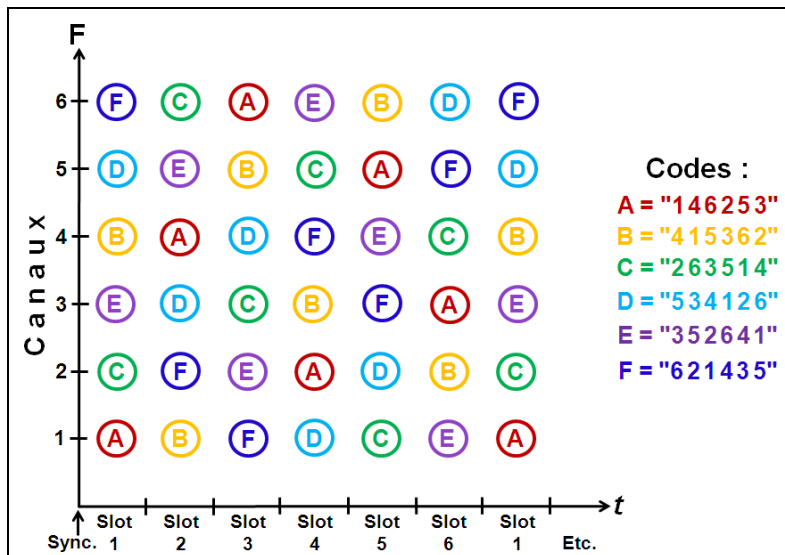


Figure 1 : Partage du spectre grâce à la technique du saut de fréquence

Nous voyons bien que si par exemple le canal n° 3 est QRM, chaque liaison ne sera affecté que le sixième du temps, ou le trentième si 30 canaux ⁽²⁾. Alors leur phonie ne sera perturbée qu'un court instant, soit 100 ms toutes les trois secondes (30 canaux). Désagréable, mais pas incompréhensible (merveilleux cerveau).

Mais tout ceci a un prix. En effet, le système ne peut fonctionner qu'en réseau car il faut qu'il soit synchronisé, ce qui nécessite un "maître" du réseau et l'occupation d'un canal dédié. Les codes peuvent être affectés par le Maître à la prise de COM ou précédemment par un autre moyen (distribution de clefs secrètes). Un autre avantage du système concerne la confidentialité. Celui qui n'a pas une bonne clef ne peut rien décoder. On peut ainsi donner des droits différents selon les acteurs du réseau en limitant leur connaissance des différentes clefs en service ⁽³⁾. On peut augmenter la confidentialité en allongeant les clefs, sans perte d'orthogonalité, comme montré sur la figure 2.

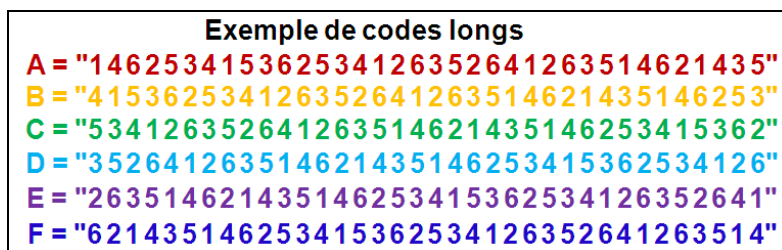


Figure 2 : Exemple de codes longs

On voit bien qu'il n'y a toujours qu'un seul canal occupé à un instant donné. La longueur des clefs n'est limitée que par le temps maximum permis entre deux synchronisations pour des raisons techniques. La synchronisation est plus facile quand la loi est connue, comme pour le WiFi par exemple.

Plusieurs réseaux peuvent cohabiter avec des lois orthogonales (pas les mêmes canaux aux mêmes instants). Le nombre de sauts par seconde peut aller de quelques unités à plusieurs milliers.

FHSS en numérique

En numérique, la durée de stationnarité sur une fréquence correspond à la transmission d'un "paquet" plus ou moins long de données ⁽⁴⁾. C'est alors que le FHSS prend tout son intérêt. En

effet, le numérique permet la redondance dans la transmission d'informations. On peut par exemple transmettre un paquet de données deux fois, sur deux fréquences différentes et à des moments différents. Il y a beaucoup moins de risques que les deux canaux soient bouchés au même moment. Le prix à payer est la division du débit par deux et une augmentation du retard de traitement.

Le numérique permet aussi de moyenniser les erreurs dues à la propagation. Le bénéfice ne pourra être obtenu qu'avec un codage particulier des données. Nous aborderons cela plus tard. Dans le prochain "Comment ça marche", nous verrons l'autre manière de faire de l'étalement de spectre par séquençement direct.

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".

Notes.

- (1) Quel OM n'a pas eu à demander un QSY pour cause de QRM ?*
- (2) Le FHSS est d'autant plus efficace que le nombre de canaux d'étalement est important. La limite en HF et VHF est principalement donnée par la largeur de bande du système antennaire (ROS maxi) et la constance de la propagation (retard, affaiblissement) à l'intérieur de cette bande.*
- (3) Ce système est utilisé par le "Militaire tactique" depuis des décennies, en analogique et en numérique. Il a aussi l'avantage d'être difficile à "gonioter", un émetteur isolé ne restant qu'un très court instant sur une fréquence.*
- (4) Un FHSS "naturel" est obtenu avec une modulation nFSK pour laquelle il y a un saut de fréquence à chaque symbole. Ici ce ne sont pas les avantages du FHSS qui sont recherchés, mais une constance de la sensibilité, quel que soit n. Le prix à payer (par les autres usagers) est une augmentation de n fois la bande occupée.*