

1- DRM pour Radioamateurs.....

Copyrights Daniel FORTIER F1UCG 20-01-2009

L'APRS permettait de transmettre des fichiers numériques à faible débit, le DRM (Digitale Radio Mondiale) fait appel aux dernières techniques de transmission numérique des années 2000 pour transmettre de la radiodiffusion.

Le procédé de transmission est très proche de celui qui permet la transmission de la TNT(télévision numérique terrestre), avec une fiabilité remarquable.

C'est l'aboutissement des recherches engagées pour le D2MAC PAQUETS et la TNT il y a une bonne décennie.

Les radioamateurs ont leur déclinaison l'« HamDRM » adaptée aux bandes passantes réduites des matériels qu'il utilisent : 300 à 3000HZ ainsi qu'a leurs diverses bandes de fréquences : HF, VHF, UHF, etc....

L'« HamDRM » permet de transmettre **des fichiers de données** en utilisant de 29 à 57 porteuses audio simultanées entre 350 et 2750 HZ. Elles sont modulées en phase et amplitude, ce que résume le sigle **COFDM** (coded orthogonal frequency division multiplex).

Avec un débit élevé 0,12 à 0,78 Ko/s : une image ou fichier de 20Ko demande environ 2 minutes de transmission.

La correction des erreurs est très élevée grâce :

au décalage dans le temps des flux de transmission , 400ms ou 2s

à la redondance des porteuses audio, une altération de la bande passante audio a peu d'influence

à une bonne immunité aux parasites ou perturbations brèves (1 seconde est sans effet)

aux corrections « Reed Salomon » qui permettent de réparer les fichiers reçus avec des erreurs.

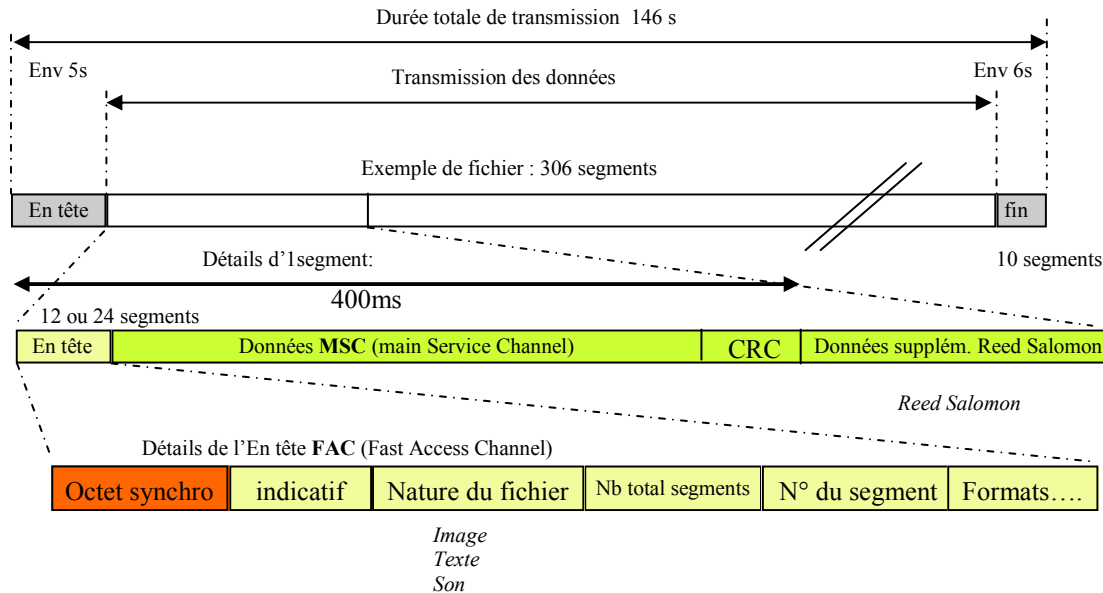
Ces fichiers peuvent transmettre des sons, des données (Word, Excel...), ou des images fixes compressées en MPEG2 (pixellisation).

La compression MPEG4 (reconnaissance de forme) permettra, sous peu, de plus que doubler la vitesse de transmission ou de passer en HD (haute définition).

Nul doute que cette technique numérique va prendre une ampleur considérable dans les années à venir !

2- Un peu de théorie sur le DRM

Exemple de transmission d'une image
De 20Ko en mode B 24 KHZ 16 QAM HI RS2 en tête 24



Codage convolutif FEC augmentant les données par redondance : $a/b = 1/2$ à $2/3$
et entrelacement convolutif: corrélation des octets dans le temps: HI = 2s LO = 400 ms, permet une répartition des erreurs en affaile.
Un parasite ou une coupure brève seront sans effet, de même que l'altération de certaines porteuses!

Intervalle de garde : sélectionner **A B ou E** pour éviter les échos et les effets doppler

Le modulateur travaille avec deux flux:

- les En tête **FAC**: transmises en 4 QAM: 1 amplitude, 4 phases
- Les données **MSC**: transmises en 4 QAM: 1 amplitude fixe, 4 phases $m=2$
16 QAM: 2 niveaux d'amplitude, 12 phases $m=4$
64 QAM: 4 niveaux d'amplitude, 24 phases $m=6$

*Approche du DRM pour les radioamateurs.
FIUCG Daniel Fortier Copyright 11/2008*

Lexique:

DRM= Digitale Radio Mondiale

Segment = ensemble **FAC+MSC**

MSC (main Service Channel) = Données

FAC (Fast Access Channel) = En tête

FEC = Forward Error Correction (redondance)

RS...= codage Reed Salomon

QAM = Quadrature amplitude modulation

C/N= rapport signal à bruit en dB

m= nombre de bits par symbole (bauds)

SR= symbol rate, débit symbole en kbits/s

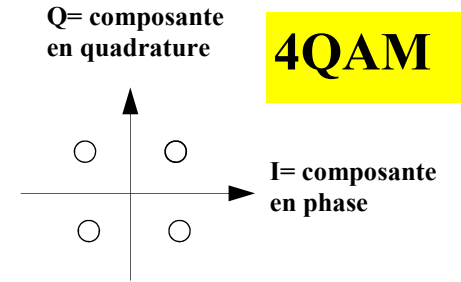
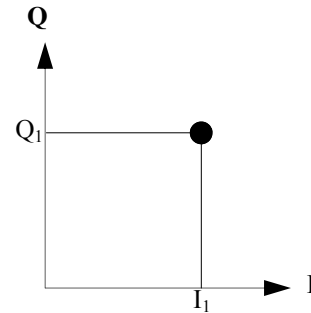
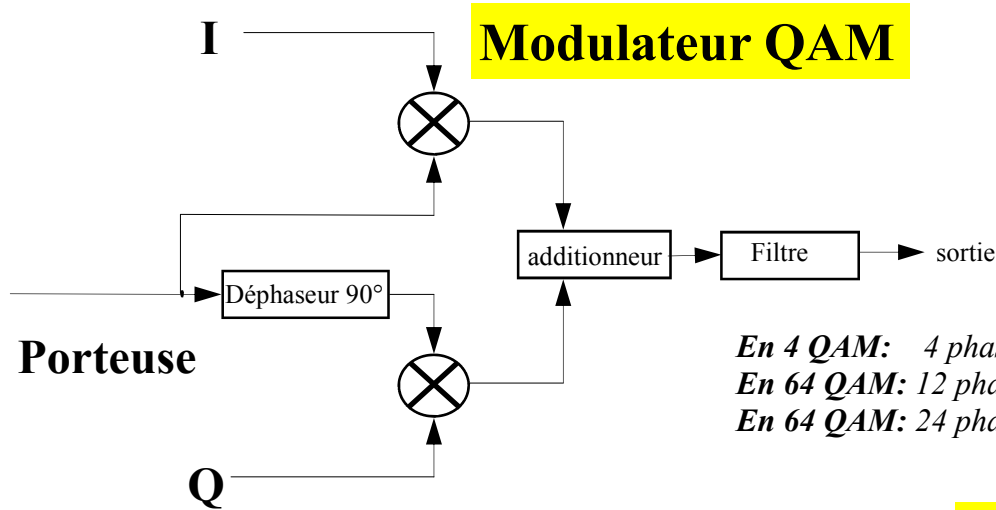
CRC= cyclic redundancy check

$$DBT \text{ ou } DV = SR \times m$$

Bibliographie:

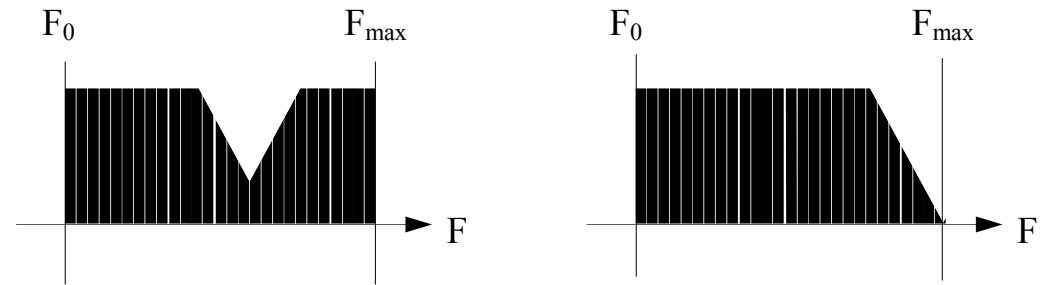
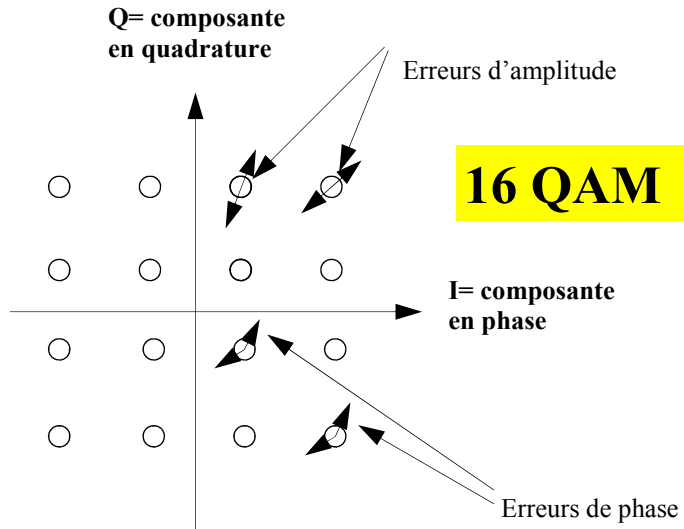
- Site de F6GIA : L'Hamdrn c'est quoi ?
 - Idem: Trafiquer en Hamdrn et EasyPal
 - Publications de PY4ZBZ Roland F5NCB
 - Publications de F6BAZ
 - La Norme ETSI ES 201 980
 - Mes cours: réémission en TNT V6.2006
- Avec la collaboration de
- José Césaire SWL
 - André Mille FITLQ
- ...que je remercie chaleureusement

3- Modulation I/Q, Multiporteuses.....



En 4 QAM: 4 phases/1 amplitude
 En 64 QAM: 12 phases/2 amplitudes
 En 64 QAM: 24 phases/4 amplitudes

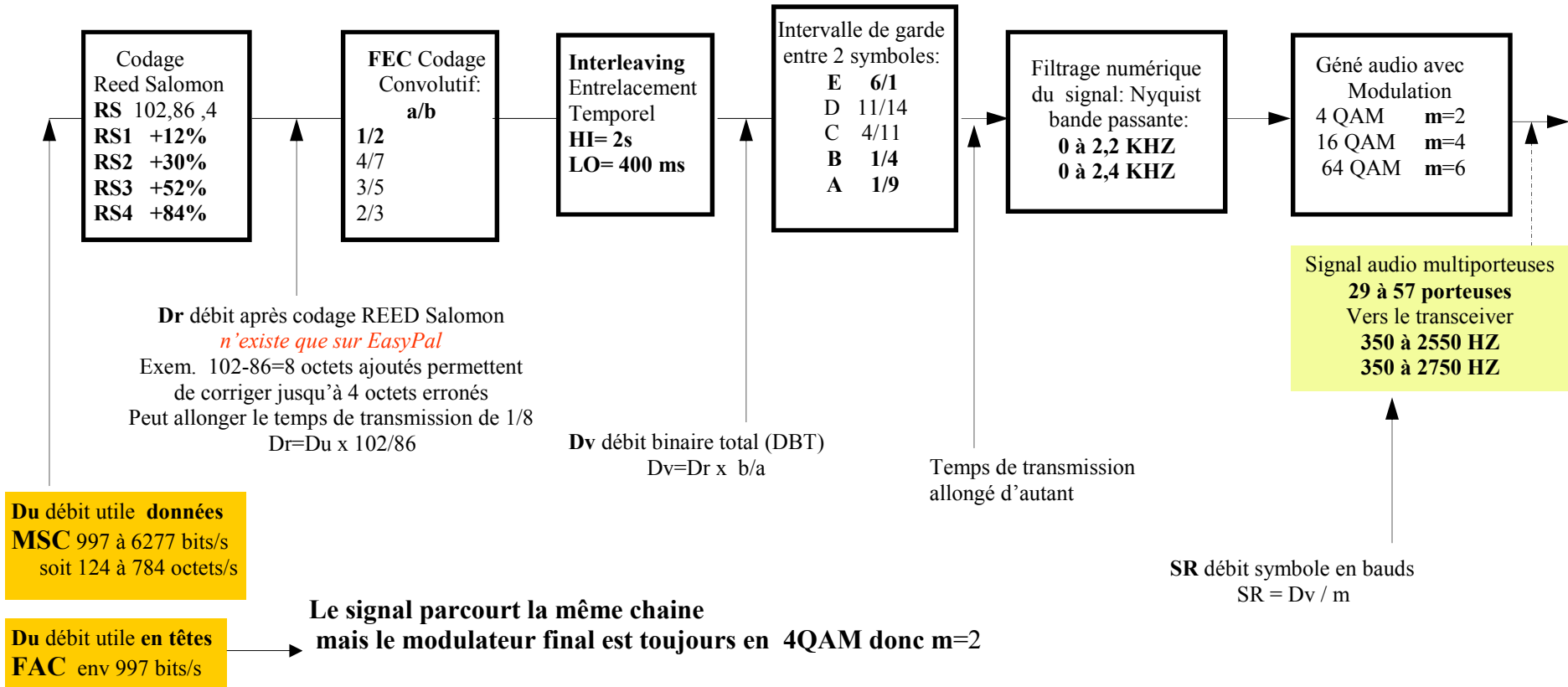
Multiporteuses COFDM



Principaux avantages des multiporteuses COFDM:

- on peut avoir jusqu'à 1/3 du canal altéré sans grand dommage (redundance des sous porteuses)
- on résiste au fading, aux échos en utilisant l'intervalle de garde.
- on résiste aux altérations de fréquence en mobile (effet doppler) et phase
- on résiste bien aux coupures brèves, coup de souffle etc. de moins de 400ms ou 2s (en HI)

4- Synoptique Emission DRM



Corrections Reed Salomon: leur puissance est telle que environ 1/4 de la réception manquante peut être corrigée, il n'est pas rare en décimétrique de recevoir correctement une image de 360 segments avec 81 manquants!

5- Logiciels à télécharger.....

Hamdream pour décoder les radios commerciales DRM

Hampal pour transmettre et recevoir de la phonie en mode DRM

Il peut envoyer des images mais ne décodera pas certaines images d'EasyPal

EasyPal pour transmettre et recevoir images et fichiers en mode DRM

Il propose en TX le Reed Salomon et décode les images d'Hampal (moins évolué)

Digtrx pour effectuer des mesures plus précises sur les signaux DRM OM

Irfan.View logiciel gratuit de traitement d'images nécessaire à EasyPal et Digtrx

Je vous recommande de vous reporter sur l'excellent site de F6GIA, un des pères de l'HamDRM

PC requis pour faire de l'HamDRM: Tour ou portable

- Processeur plus de 800 MHZ en 4 et 16 QAM, env. 1 GHZ en 64 QAM.
- Système d'exploitation mini: Windows XP ou Vista (NT 2000 PRO déconseillé mais opérationnel sous réserves).
- RAM d'au moins 200 MO
- Bonne carte vidéo avec mémoire dédiée si on veut un traitement rapide des images avant envoi et après réception (-ça n'a rien à voir avec les durées TX et RX qui ne dépendent que des paramètres DRM).
- Impératif, ***c'est ce qui est le plus important:*** une bonne carte son (de marque, vitesse d'échantillonnage **96 KHZ**)
Mieux: acheter une mini carte son USB externe réservée pour ce mode et évite d'entendre des sons Windows sur l'air.
Test facile: si l'on ne décode très mal en 64 QAM avec une UC OK, c'est que la carte son est de qualité insuffisante!
- Noter qu'une carte son qui décode l'APRS par logiciel sans modem acceptera en générale le DRM, l'inverse rarement car l'APRS est plus exigeant que le DRM.
- Un port série (COM1) ou à défaut un adaptateur série/USB (PC-tour: voir directement sur la carte mère!)

6- Configuration EasyPal et réglage carte son.....

Indicatif (points to 'INDICATIF (obligatoire)')

Carte son (points to 'Choix de la Carte son')

PORT COM (points to 'Port COM PTT (PTT rts/dtr)')

Accès au volume (points to 'Volume BF Réception')

Corrections Reed Salomon (points to 'Très léger encodage (RS1)')

Bleu → plus agréable (points to the blue theme setting)

N'activer que avec un répéteur DRM « intelligent » (points to 'Initialise la fonction répéteur')

Les images ne passeront pas sur le WEB (points to 'Utilisation du FTP')

Sortir du PC (points to the 'REPT' menu)

Sortir du PC (points to the Volume Control window)

Entrer dans le PC, choisir Line In ou Micro (points to the Recording Control window)

Volume (circled in both windows)

7- Un peu de hard entre le transceiver et le PC.....

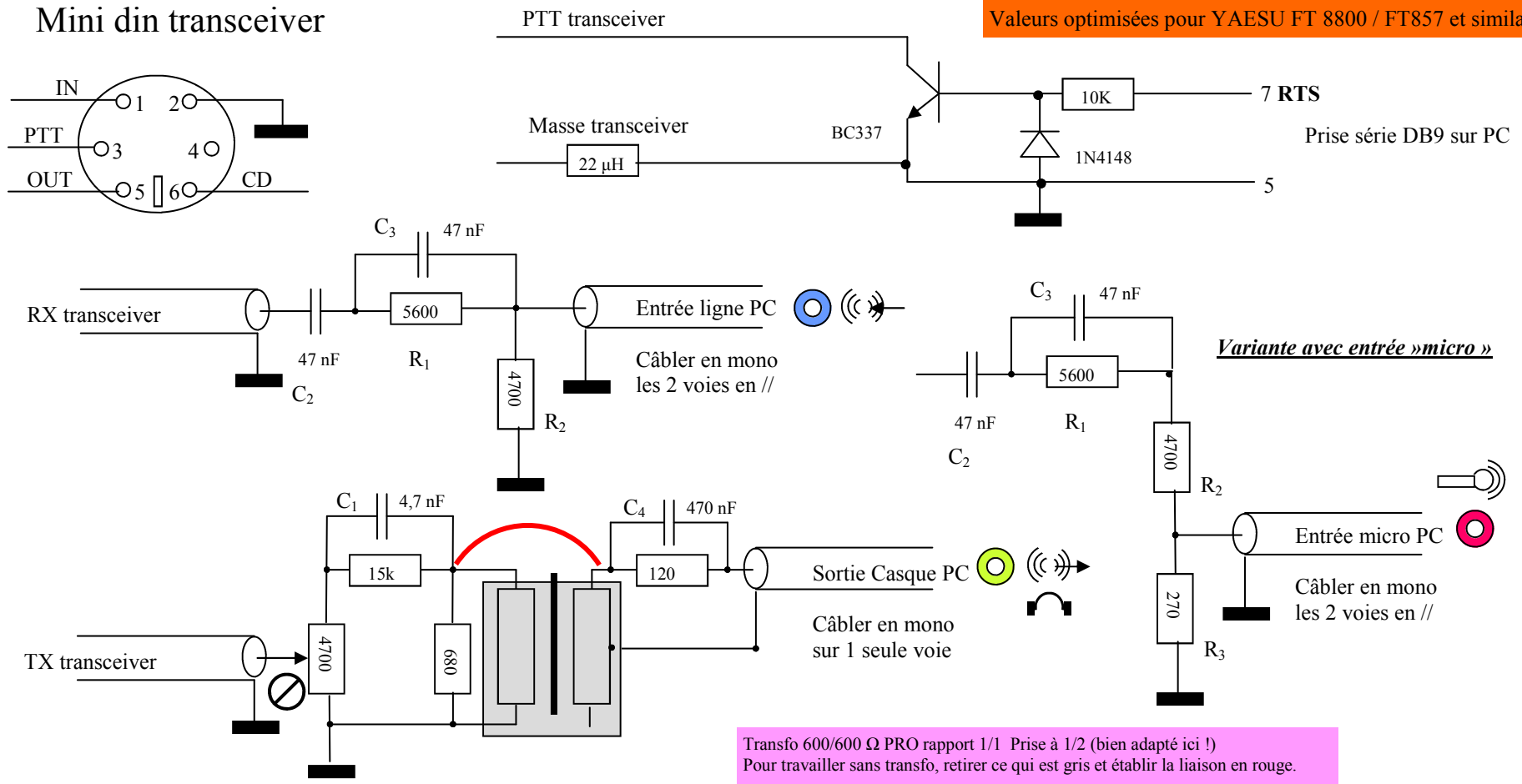
L'interfaçage suivant est suffisant pour une utilisation en VHF/UHF à puissance réduite, les 2 transfos ne sont indispensables qu'en décimétrique car retours RF dangereux. Surtout, pas de filtres audio, notch, DSP, etc. Filtre à quartz le plus large: env 2,7KHZ ! Ajuster avec soin les niveaux audio en TX et RX, les repérer avec soin.

Côté transceiver: toujours préférer la prise dédiée à l'APRS si elle existe (mini din 6BR) les niveaux sont fixes et la qualité optimum.

Entrée audio: indépendante si possible du micro (et bloquant ce dernier).

Sortie audio: la sortie casque ou HP est la plus mauvaise solution car le niveau dépend du niveau d'écoute, dans ce cas mettre toujours un volume réduit.

Mini din transceiver



8- Pendant la Réception.....

Signal audio reçu:
Vert foncé: non considérée comme DRM (des que les FAC ne sont pas reçus)
Vert clair: bon niveau (entre 1/2 et repère)
Rouge: niveau excessif

C/N rapport signal bruit:
Repère 7 dB **maxi 40 dB**
 Attention: L'affichage augmente au début calculs en cours: exemple 6 à 20 dB...!
 Env 5/6 dB minimum en 4 QAM
 Env 8/10 dB minimum en 16 QAM
 Env 18/20 dB minimum en 64 QAM

Nb total de segments à recevoir

Nb de segments bien reçus

Progression de la réception

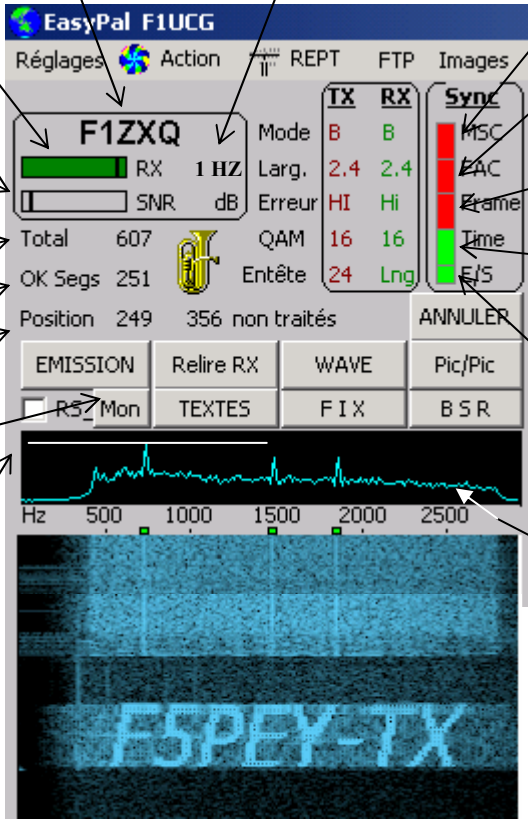
Moniteur pour surveiller la réception en faisant autre chose sur le PC

Niveau audio RX: éviter de monter au sommet ! le niveau visualisé ici est parfaitement correct

Texte type dans le waterfall 8 caractères !

Indicatif OM reçu

**Erreur d'Asservissement aux fréquences porteuses
 Maximum ± 150 HZ
 (Cas de la BLU)**



Meilleur!

MSC (main Service Channel) CRC valide
 Données à débit élevé (4 / 16 / 64 QAM)
 6277 bits/S en mode A
 977 bits/S en mode E

FAC (Fast Access Channel) CRC valide
 Données à accès rapide transmises en 4 QAM et non entrelacées dans le temps. Indicatif, taille, nature, noms des fichiers transmis. Transmission très robuste !

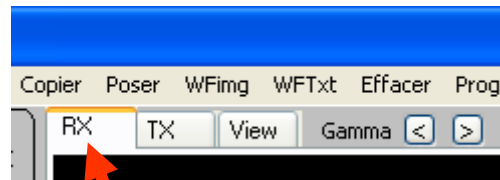
Frame on reconnaît les trames (constituées de 1FAC+ 1MSC)

Time on reconnaît l'octet de synchronisation

E/S Entrée/Sortie
 Présence carte son

Un sommet plat garantit le bon décodage de la majorité des porteuses, si celles-ci ne « ressortent » pas bien, saturation probable!
Correct:
 Le sommet assez plat est à env 1/2 amplitude.

9- Utilisation rationnelle de l'UC ...



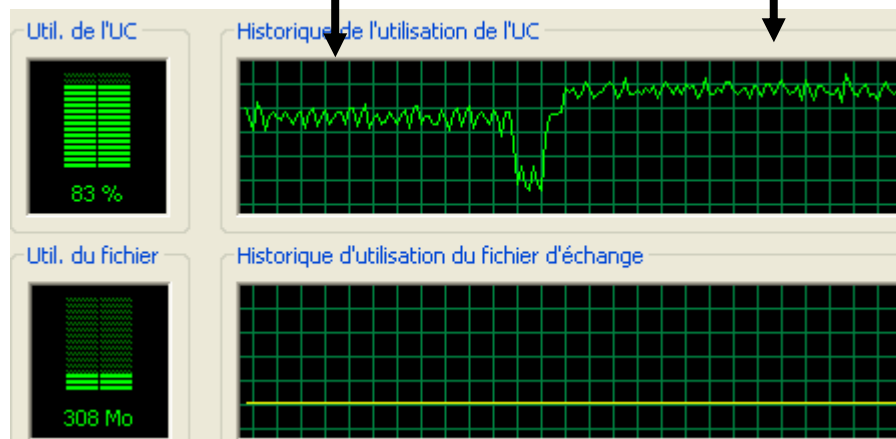
1- Préférer ce mode d'affichage en RX
Car il demande moins au processeur

2- Pour soulager le processeur, décocher dans « Réglages » l'affichage progressif de l'image reçue.

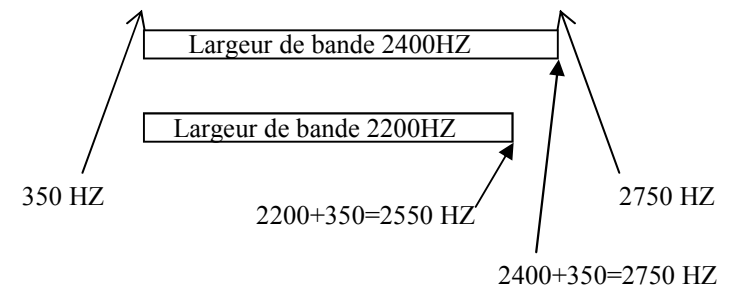
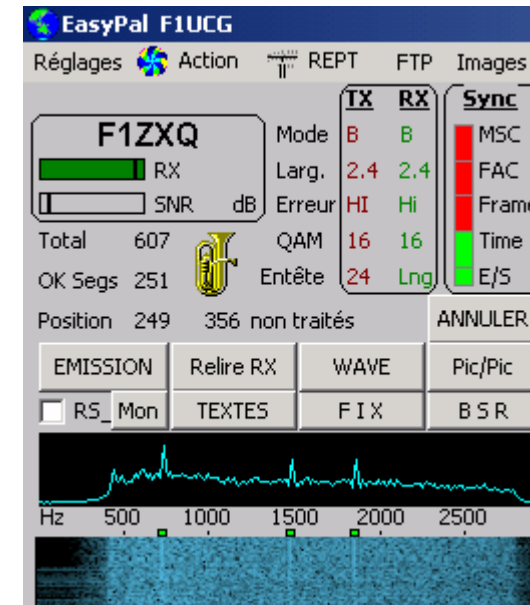
3- Préférer en TX le mode « avec Reed Salomon » exemple ci-dessous avec un processeur 892 MHZ:

Avec Reed Salomon 60/70%

Sans Reed Salomon 81/90%

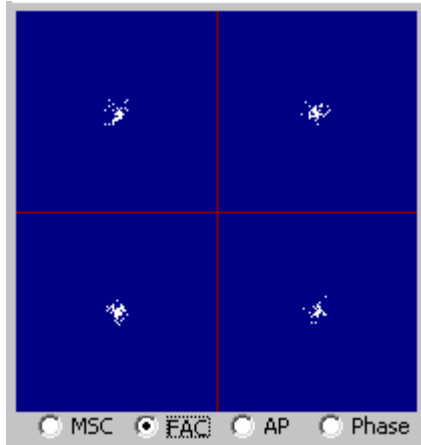


Interprétation bande / Freq reçues...

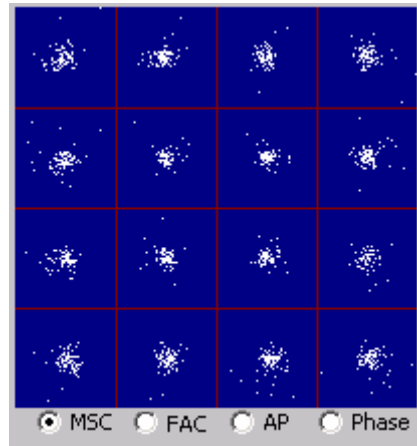


L'émission visualisée est en 2,4 KHZ: Si le haut de bande est altéré, il vaut mieux choisir 2200 HZ et éviter ainsi la perte inutile de porteuses !!!

10- Mesures approfondies en DRM



FAC
4 QAM seul



Ici constellation 16 QAM

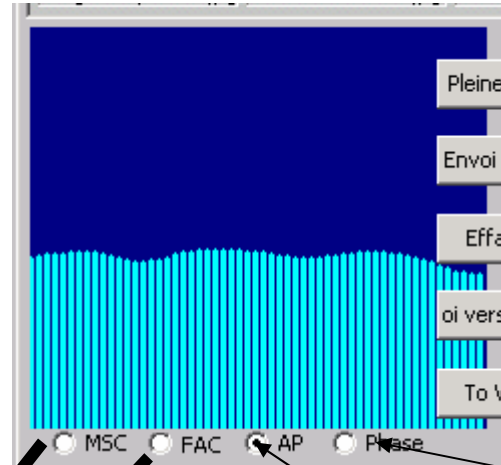
MSC
4/16/64 QAM

CONSTELLATION
Le taux d'erreur augmente avec les points en bordure du quadrillage

Nota:
Avec un PC un peu limite, en 64 QAM, ne pas passer d'une représentation à une autre, ça surcharge le processeur qui s'avère un peu juste et ça peut stopper l'acquisition irrémédiablement :
- se contenter d'un seul paramètre à surveiller et ne pas en changer en cours de réception !!!

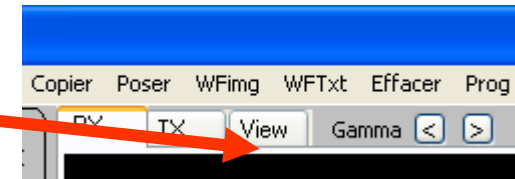


Nota:
Avec un PC très limite, pendant la réception, ne jamais se mettre en View mais en RX: on soulage alors considérablement le processeur : **on s'en rend vite compte dès que les 3 porteurs fixes varient en amplitude comme s'il y avait du fading !!!**



Visualisation amplitude des diverses porteurs
Erreur maxi :
Peu d'effet en 4 QAM
± 25 % (±2dB) en 16 QAM
± 12,5 % (±1dB) en 64 QAM

Visualisation « retard de groupe » (erreurs de phase)
Erreur maxi :
± 45° en 4 QAM
± 11° en 16 QAM
± 6° en 64 QAM



11- Touches utilisées en émission.....

TUBA:

Essai de quelques tonalités en sortie audio
Mais non transmises (car sans ordre PTT)

Jouer un fichier Wave préenregistré
Affichage dans le waterfall.

Renvoyer le message reçu

Emettre

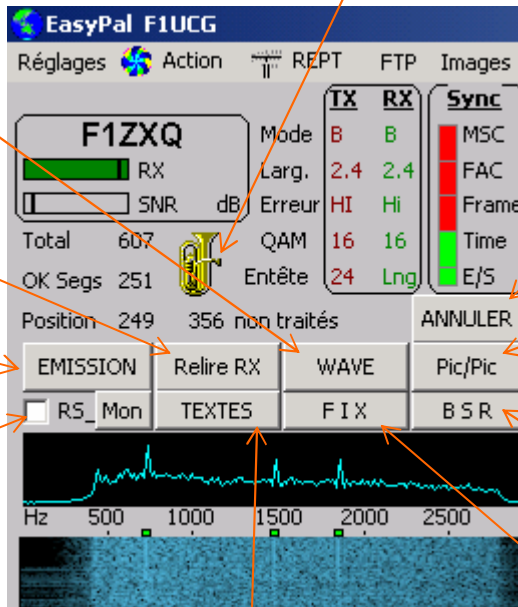
Met fin au processus en cours

Insérer une image ou mini texte dans l'image envoyée. En réception, on pourra afficher différemment ce texte: sur l'image, en waterfall, l'annuler, etc...

Demande de BSR
Binary send request
Transmis en FAC
Demande de réparation de paquets en indiquant les fichiers non reçus

Réponse à un BSR
Transmis en MSC
Contient les réparations à effectuer

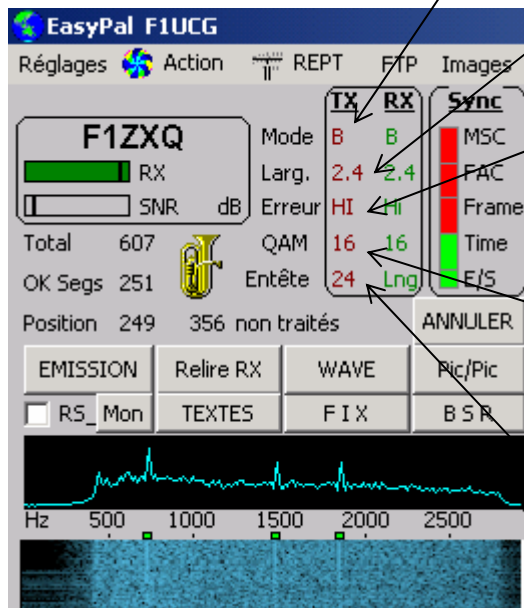
Cocher ici pour activer en TX
L'encodage Reed Salomon
À définir dans « Réglages »
1 très léger
2 léger
3 moyen
4 fort
N'existe que sur EasyPal



Envoi d'un texte superposé à l'image et qui pourra en être dissocié en réception....
On peut éventuellement définir le destinataire (discrétion)

**Attention, Avec Reed Salomon, il ne faut pas utiliser IrfanView perturbé par le « sur » encodage.
Sans Reed Salomon, il faut utiliser IrfanView pour afficher des images incomplètes.**

12- Paramétrer son émission.....



Intervalle de garde (protection des échos par l'espace entre les porteuses)
Le Nb de porteuses varie de 29 à 57
A court: station à station à vue
B moyen: avec relais
E long: en décimétrique

Largeur de bande audio
2,2 KHZ
2,4 KHZ

Entrelacement en temps (Interleaving)
LO 400 mS
HI 2S

Choix du QAM des MSC
4
16
64

Durée en tête (Leadin) en Nb de bits (Facilite la synchronisation en RX)
12
24

Étalonnage taux de modulation TX



Taux de modulation conseillé en FM:

600 KHZ de ΔF à régler pendant la fin de l'envoi des « Tonalités d'accord (Tune) ». On constate en début d'envoi: Pour un niveau « Wav waterfall » de 10: l'indicatif passe à 100% soit à **3,3x (+10 dB)** le niveau des 3 tonalités fixes donc à **2KHZ de ΔF**.

Pour un niveau « Wav waterfall » de 15: l'indicatif passerait à 150% soit à **5x** donc à **3KHZ de ΔF**.

Attention: ces niveaux dépendent :

- 1- de la position du potar. sur l'interface TX
- 2- des réglages « Volume principal » et « Sons Wave » carte son.

Taux de modulation conseillé en AM:

- On constate en début de l'envoi des « Tonalités d'accord (Tune) » pour un niveau normal « Wav waterfall » de 10 que : l'indicatif passe à **95% de Pmax** pour rester dans la zone linéaire BLU de l'émetteur. On affiche alors une puissance **moyenne** d'env **15%** ? ...oui, c'est normal !!! (vérifier à l'oscillo que les pics audio ne sont pas supérieurs au coup de sifflet maxi au micro)

- En fin de l'envoi, les 3 tonalités passent à **9,5% de Pmax** (soit tension CC à l'oscillo = 1/3 du niveau de l'indicatif ou coup de sifflet au micro pour Pmax)

On affiche alors une puissance moyenne d'env. **2,5%**.

13- Traitements images.....

TX en jaune, RX en bleu

compression image en Mpeg2 de 6 à 136K, c'est ces calculs qui sont les plus longs

Envoi fichiers compressés
Si possible .Zip ou <50 Ko

Temps de transmission prévu
Dépendant aussi des autres paramètres

Forte compression
Recommandée
Transmission rapide

Faible compression
ATTENTION
Transmission longue

Valider ici
La compression

Envoi d'images

Foncer l'image reçue

Eclaircir l'image reçue

Bar-graph « Bien reçu en vert, erreurs en rouge »

Date Heure–Nom du fichier TX . type
081103 215049-
Pour envoi à 03/11/08 21h 50mn 49s
Plus éventuellement: rs2 pour Reed Salomon 2

081227212516-yagi 145 placée.rs2

081103215049-Test TX DRM.jp2

F1UCG Test DRM
Opérateur Daniel

14- Envois en TX....

En mode DRM , en vert:

en Waterfall , en jaune:

**Sélection avant envoi d'une image
(Suit une opération de compression .jpg)**

**Envoi fichiers déjà compressés:
Si possible .zip .pdf si possible <50 Ko
(ou des image déjà très compressée)**

**Préparation et envoi en Waterfall
d'une image déjà prête en TX
(image très simple: logo)**

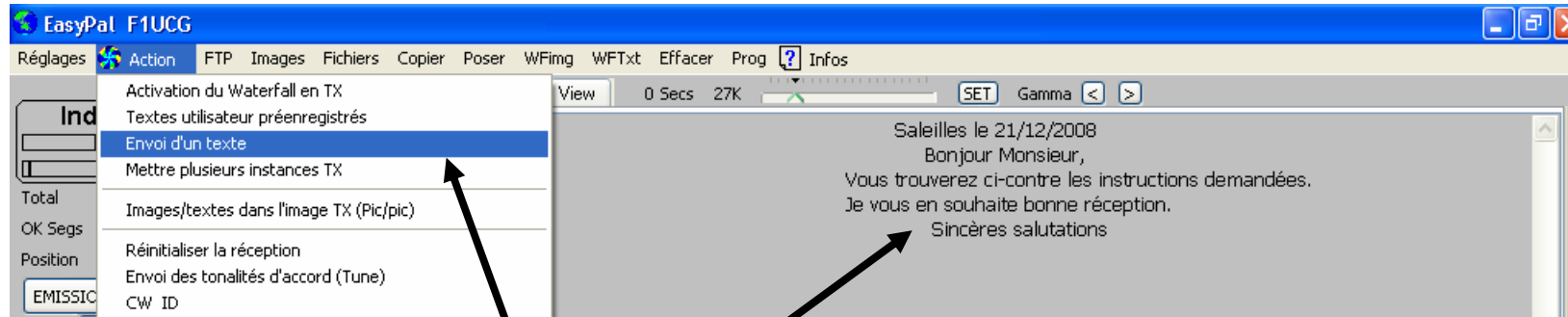
**1-Préparation et envoi à la volée
d'un texte en Waterfall**

2-Enregistrement en .Wav)

**3-Choix des fichiers .Wav préenregistrés
Pour envoi en Waterfall**

Attention, mettre le volume à 10 car à 5 le taux de modul. est quasiment nul !!!
Nota: le waterfall sera transmis à 100% du taux de modul.

15– Envoi d'un texte (entré à la volée ou Word/Excel) en format .txt (bloc notes)



1– Envoi d'un texte rédigé à la volée:

Action

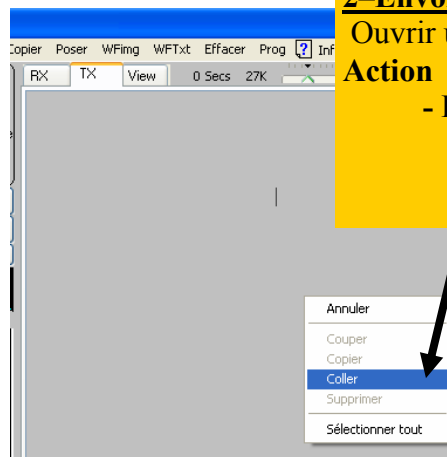
- Envoi d'un texte, l'image devient blanche
Écrire son texte...
- EMISSION, pour l'envoyer.

2–Envoi d'un texte existant:

Ouvrir un document Word/Excel, copier la zone à envoyer

Action

- Envoi d'un texte, l'image devient blanche
- Coller, le texte apparaît sur la page
- EMISSION, pour l'envoyer.



3– Réception

Préparer un document Word /Excel vierge.

Le texte, apparaît sur fond blanc à la place d'une image RX

- Sélectionner tout ou partie , faire copier et coller dans le document vierge
- En cas d'erreur, faire une demande de BSR.
Comme pour une image mal reçue

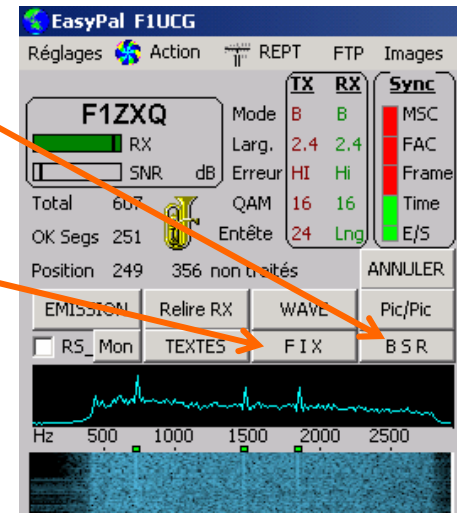
Nota: L'envoi d'une page « Word »de 27 Ko demande env 23 secondes en 16QAM B et RS2

16- Corrections, BSR...

Voir si le fichier affiché correspond bien à celui qui était mal reçu et envoyer donc la demande de BSR

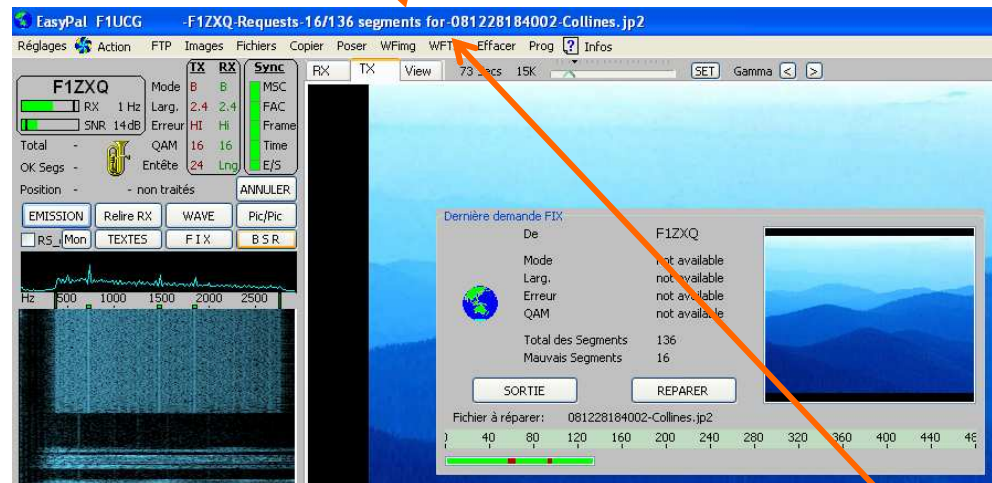
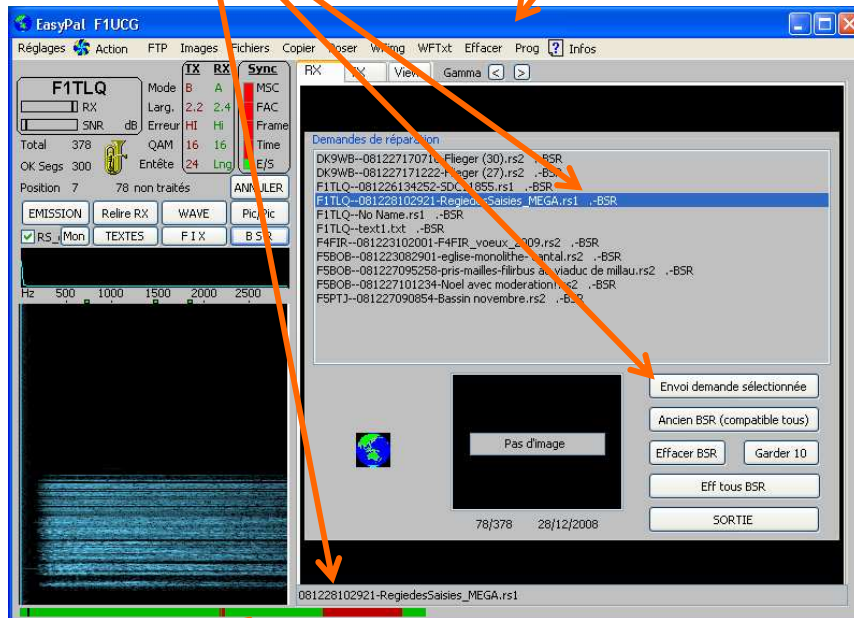
Demande de BSR
Binary send request
Transmis en FAC
Demande de réparation de paquets en indiquant les fichiers non reçus

Fichier FIX, réponse à un BSR
Transmis en MSC car lourd
Contient les réparations à effectuer et uniquement celles demandées.



Dans cette bande peut apparaître:

- This BSR is not for you si l'on en est pas le destinataire.
- You do not have..... si l'on n'a plus le fichier envoyé !
- Indicatif du destinataire Requests... .. si l'on est apte à corriger



La demande ne concernera que les zones non reçues « en rouge », il manque ici 78 segments

Ici, le transpondeur F1ZXQ me demande par BSR un FIX qui concernera deux zones non reçues « en rouge », il manque ici 16 segments sur 136. Il suffit d'appuyer sur REPARER

17- Texte embarqué...

Entrez vos conditions

Il faut avoir une image prête à partir en TX
Par la touche « TEXTE »

- écrire ou choisir un des 3 texte enregistré
- Laisser cette fenêtre devant l'image TX !!!
- Indiquer l'indicatif du correspondant
Qui seul le recevra
- Ne pas en indiquer et tous le recevront.

SORTIE

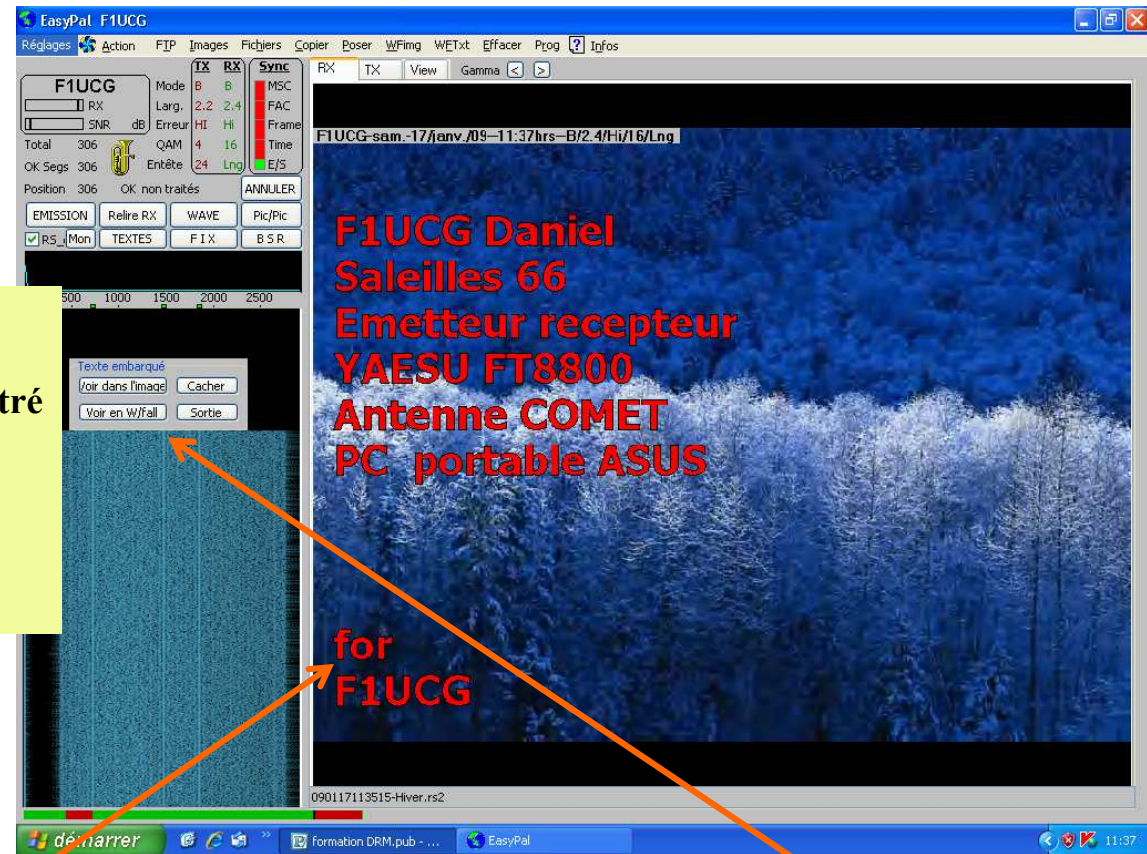
Effacer

Sauver comme Profil 1 Restaurer 1

Sauver comme Profil 2 Restaurer 2

Sauver comme Profil 3 Restaurer 3

F1UCG Entrez l'indicatif du destinataire



En RX le texte s'inscrit sur l'image ou au choix dans le waterfall.
Il est donc dissociable de l'image
Il sort en rouge avec des caractères très lisibles, qualité données num.

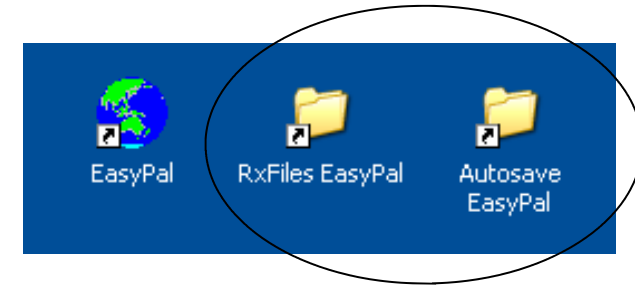
18– Exploitation d'un fichier ou image reçue ...

1- Pour faciliter l'exploitation des fichiers et images reçues, créer deux raccourcis sur le bureau dans « EasyPal » à mettre près d'EasyPal » vers:

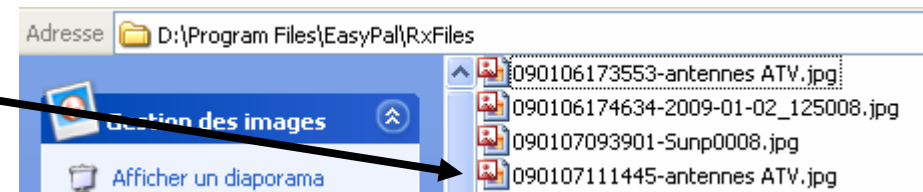
« **RxFiles** » pour les images **.gif** **.jp2**

« **Autosave** » pour les fichiers **.pdf** **.zip** **.txt**

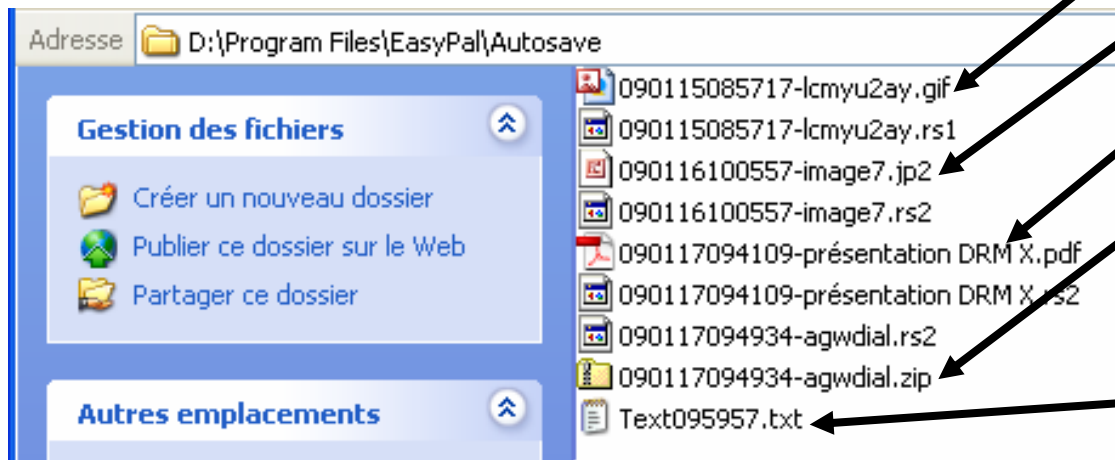
NB: Pour ces derniers, l'image reçue reste noire, seul le nom de fichier apparaît en dessous



2– La dernière image reçue est ici **antennes ATV.jpg**
Cliquer sur le fichier pour l'ouvrir ou le transférer ailleurs aisément.



3– Derniers fichiers reçus



Instructions d'animation d'une image .gif

image .jpg

**Fichier .pdf créé avec « PDF créateur »
s'ouvre avec Adobe Reader**

Fichier .zip s'ouvre instantanément

Fichier .txt (Word/Excel,bloc notes)

- Il s'ouvre avec le bloc notes
- Faire sélectionner tout
- Faire copier
- Ouvrir un document Word /Excel
- Faire coller
- Exploiter normalement le document

19- Exploitation directe de l'image reçue en RX...

Actions directes sur l'image

Copier

Coller

effacer

The screenshot shows the EasyPal F1UCG software interface. The main window displays a received image of a stadium with the text "DRM Daniel" overlaid. A context menu is open over the image, listing various actions: Forcer la montée FTP, Taille actuelle, Copier, Poser, Ajuster les couleurs, Effets, Annuler, Sauver, and Sortie. The menu is annotated with arrows and text boxes explaining the actions: "Copier et poser à l'endroit de son choix." points to the "Copier" and "Poser" options; "Retouches possibles" points to "Ajuster les couleurs" and "Effets"; and "Le logiciel propose de placer l'image dans: « échantillons d'image », Pour accès en lecture, faire:" points to the "Sauver" option, which is followed by a list of storage locations: Poste de travail, Documents partagés, Images partagées, and Échantillons d'image... The software interface includes a menu bar (Réglages, Action, REPT, FTP, Images, Fichiers, Copier, Poser, WFing, WFTxt, Effacer, Prog, Infos), a status bar (RX, TX, View, 110 Secs, 34K, SET, Gamma), and a left sidebar with various controls and a spectrum analyzer.

Après clic gauche sur l'image

Forcer la montée FTP

Taille actuelle

Copier

Poser

Ajuster les couleurs

Effets

Annuler

Sauver

Sortie

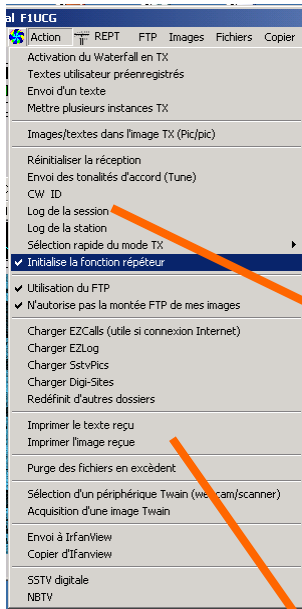
Copier et poser à l'endroit de son choix.

Retouches possibles

Le logiciel propose de placer l'image dans:
« échantillons d'image »,
Pour accès en lecture, faire:

- Poste de travail
- Documents partagés
- Images partagées
- Échantillons d'image...

20– Fonctions secondaires...



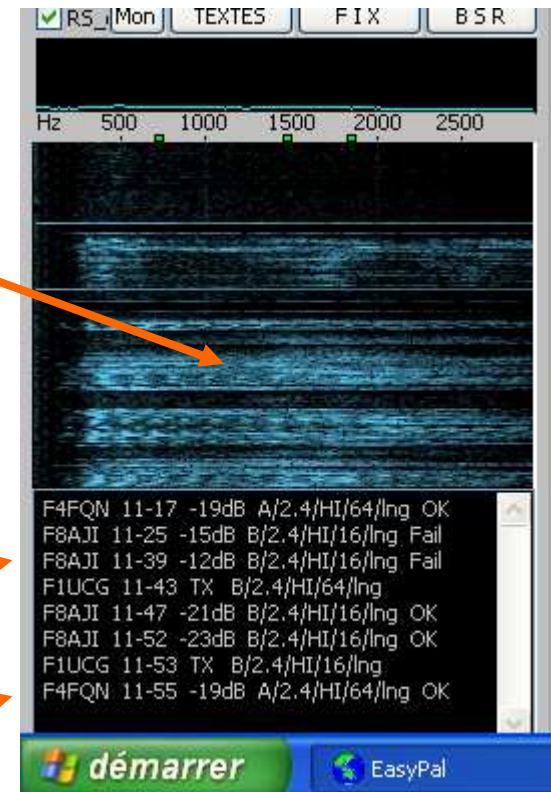
**Pour mieux lire un
texte dans le waterfall**
Cliquer dessus: il s'est stoppé
Cliquer à nouveau pour relancer

Il est intéressant de consulter le **log de la session**
Ou apparaît la liste des documents **TX et RX**

- **Indicatif / heure / min / SNR**
- **OK** document bien reçu
- **Fail** (Failure) document non parvenu
...Au-delà de 9, utiliser l'ascenseur !

Sortie sur imprimante

Dernier reçu



21- Conseils avec plusieurs relais (réseau ADRASEC66).....

Traverser plusieurs relais successifs va altérer:

- Amplitude: après 3 relais dont les bandes passantes sont de 300HZ à 3000HZ à -3 dB
On va obtenir 300HZ à 3000HZ à -9dB car 3+3+3=9 dB !!!
Les ondulations dans la bande vont au pire s'ajouter.
- Erreurs de Phase ou de retard de groupe: celles-ci au pire vont s'ajouter :
- Distorsion et Rapport Signal/bruit, ceux-ci s'ajoutent avec la formule:

$$K_t = \sqrt{K_1 * K_2 * K_3 * K_n}$$

Total

- Les temps de passage en émission s'ajoutent.

Recommandations en UHF/ VHF:

Exclure totalement le 64 QAM, par défaut rester en **16 QAM**.

Passer en **4 QAM uniquement si les FAC passent** et si les MAC sont rejetés: bien observer le bar graph « Sync »

Intervalle de garde: **B** est satisfaisant .

Toujours prendre des en têtes longues soit **24 segments**.

Toujours utiliser le grand Interleaving (Entrelacement en temps) soit **HI=2S**

Toujours utiliser en TX la redondance de données Reed Salomon permettant de solides corrections: soit **RS=2 ou 3**

Surveiller de près les niveaux audio et éviter à tout prix les saturations !

Utiliser L. **2,2KHZ** (+10% de temps de transmission) si les fréquences hautes sont très altérées.

Soigner les correcteurs de bande passante audio en TX et en RX.

Les essais effectués début 2009 sont concluants. Notamment en B/4QAM/HI/RS2 on peut valider des réceptions avec -110 dBμV soit S3, il ne reste qu'à ajouter un système de cryptage des textes sur PC pour être en plus confidentiels.