

Quel récepteur faut-il utiliser pour pouvoir décoder les trames des balises 406 MHz ?

Jean-Paul YONNET
F1LVT / ADRASEC 38
F1LVT@yahoo.fr
www.F1LVT.com

De nombreuses ADRASEC s'équipent en décodeurs de trames pour afficher les informations contenues dans les trames des balises 406 MHz. Les premiers décodeurs ont été réalisés à partir du montage de F6HCC [1]. Plus récemment, le décodeur « 4 lignes » a été mis au point. Cette dernière génération affiche les principales informations utiles sur un afficheur à 4 lignes de 20 caractères [2].



Photo 1 : Système autonome de réception et décodage des trames des balises 406

Le décodeur de trames 406 de la Photo 1 est relié à un récepteur AOR AR8000. Le récepteur a été modifié pour créer une prise « Discriminateur » qui sort par un Jack 2,5 mm sur la face supérieure (à côté du volume). Le système « récepteur + décodeur » est entièrement autonome. Le récepteur fonctionne grâce à ses 4 accumulateurs R6. Quant au décodeur, il est équipé d'un accumulateur 9V qui lui permet de fonctionner sans alimentation extérieure. L'ensemble est très facilement transportable, dans un sac à dos par exemple ; il permet de décoder partout les trames 406 MHz.

L'intérêt majeur de l'utilisation de ces décodeurs, c'est de pouvoir avoir accès directement et immédiatement aux informations contenues dans les trames reçues. Normalement ces informations cheminent de la balise 406 vers un des satellites COSPAS SARSAT, puis du satellite vers le centre de contrôle (FMCC / CNES Toulouse), puis du FMCC au RCC qui déclenche le plan SAR, puis du RCC à la Préfecture qui prévient les ADRASEC (Figure 1).

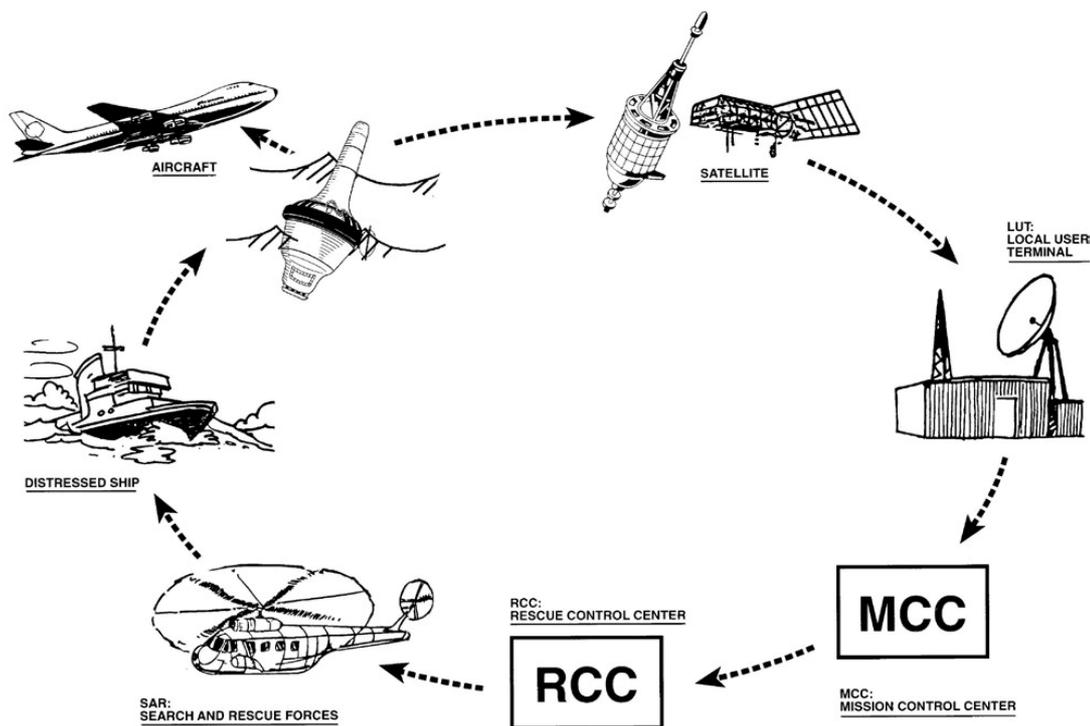


Figure 1 : Cheminement de l'alerte (Sce <http://www.ncirossallpointfleetwood.co.uk/EPIRB--and--S-A-R-T>)

Équipé avec un décodeur de trames, vous pouvez écouter la bande 406 MHz (4 fréquences) et entendre soit le test des balises soit le déclenchement d'une balise en détresse. Si ce dernier cas se produit, vous pouvez identifier la source et même la localiser immédiatement si la trame contient la position. Sur un aéroport ou un aérodrome, vous pouvez identifier l'avion qui fait des tests. Si le signal de la balise est très atténué et non exploitable par les satellites, vous pouvez toujours le décoder à proximité. Ces quelques exemples montrent la grande variété des utilisations.

Mais le décodeur de trames ne fait pas tout. Il doit être précédé d'un récepteur calé sur les fréquences 406 MHz (Photo 1). Ce récepteur démodule le plus souvent la modulation numérique (PSK) comme si c'était de la FM (NBFM). Nous allons étudier cette partie de la chaîne de réception, et montrer la nécessité d'utiliser un récepteur adapté aux signaux numériques, ou bien de modifier un récepteur pour permettre la réception des signaux numériques. Nous allons d'abord essayer de comprendre comment fonctionne le système des balises 406 MHz.

Le système COSPAS SARSAT

Pour pouvoir décoder correctement les trames des balises 406 MHz, il faut utiliser un récepteur calé sur la fréquence des balises : 406,025 MHz, 406,028 MHz, 406,037 MHz, 406,040 MHz, et bientôt 406,049 MHz [3].

Pourquoi avoir choisi un pas de 3 kHz entre les fréquences et pourquoi avoir sauté la moitié des canaux possibles ? En fait le système doit pouvoir gérer actuellement plus d'un million de balises et bientôt deux millions dans le monde. Un pas très serré de 3 kHz permet de multiplier les canaux possibles. Ce plan est bien adapté pour les GEOSAR, les satellites COSPAS - SARSAT en position géostationnaire.

Pour les LEOSAR, les satellites COSPAS – SARSAT en orbite polaire qui font la localisation par effet Doppler, le décalage en fréquence dû à la vitesse du satellite est de l'ordre de 9 kHz. Par exemple une balise qui émet sur 406,037 MHz va être reçue par les satellites LEOSAR en approche sur 406,046 MHz et la fréquence en éloignement sera de 406,028 MHz. Cette excursion recouvre certains canaux voisins. Les mesures de position sur les courbes de variation de fréquence sont grandement facilitées par la non-utilisation de certains canaux voisins. Cela permet de mieux comprendre les intervalles entre certains canaux.

La modulation des balises est du type PSK (Phase Shift Keying). La phase saute de +/- 1,1 radians (60°) en fonction des transitions entre les « 1 » et les « 0 ». La plupart des systèmes PSK utilisent une variation de phase de +/- 90° , c'est-à-dire que la phase subit des sauts de 180° (cas du BPSK). Le modulateur est relativement simple à réaliser. Alors pourquoi avoir utilisé une variation de phase non conventionnelle de 120° (+/- 60°) pour les balises de détresse ? Avec cette modulation, l'excursion en fréquence est plus réduite, ce qui permet d'utiliser ce pas de 3 kHz.

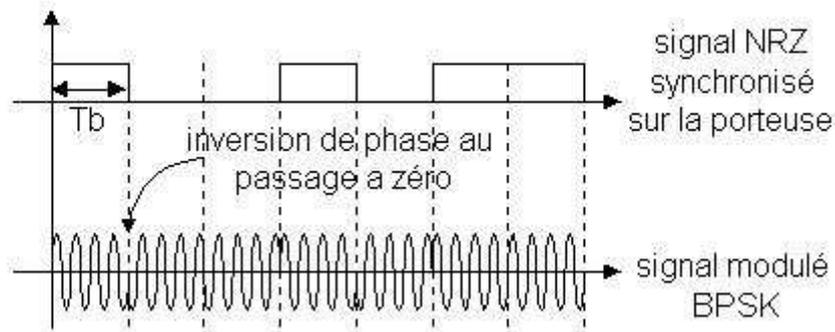


Figure 1 : Saut de phase de la modulation PSK (cas du BPSK – Sce Ph Dondon, ENSEIRB)

La vitesse de transmission est de 400 bauds, et la trame est transmise en code Manchester biphasé. En conséquence les sauts de phase vont être espacés soit de 2,5 ms soit 1,25 ms. Les trames sont constituées de 112 bits (trames courtes) ou 144 bits (trames longues).

Quand on analyse tous les choix qui ont été faits, on voit que tout a été conçu pour permettre l'utilisation d'un très grand nombre de balises. Mais revers de la médaille, la modulation présente une excursion réduite. On peut aussi noter qu'avec une trame d'une demi-seconde toutes les cinquante secondes, le système d'écoute commence à être saturé avec une centaine de balises en fonctionnement simultanément. C'est pour cela qu'il faut trouver et arrêter rapidement les balises en fonctionnement. C'est aussi pour cela qu'il faut limiter l'utilisation des balises d'exercice sur fréquence réelle. Même si elles sont clairement identifiées dans le système et ne déclenchent pas les secours, elles peuvent participer à la saturation du système.

Pour éviter que deux balises transmettent leur trame en même temps et se brouillent entre elles, l'intervalle de 50s est aléatoire entre 47,5 s et 52,5 secondes. De cette façon, si deux balises transmettent leur trame en même temps, la transmission sera décalée lors des trames suivantes.

A notre connaissance, cette modulation PSK à 400 bauds n'est utilisée que par les balises de détresse 406 MHz et par les balises ARGOS de suivi de bateaux, d'animaux ou de bouées météo (fréquences 400 à 401,700 MHz). Le système ARGOS comme le système COSPAS SARSAT ont été optimisés pour les transmissions numériques par satellites.

Une dernière remarque sur la position transmise dans la trame 406. La position codée dans la balise est donnée par pas de 4 secondes, soit le 1/900 ième de degré. Au niveau de la France, cette discrétisation correspond à un pas de 123 m Nord et 87 m Est. Sur le décodeur, quand la position est affichée en « dd,dddd », la discrétisation correspond au troisième chiffres après la virgule ; un quatrième chiffre n'a aucune signification. Il peut aussi y avoir des erreurs sur la mesure du GPS (ciel mal dégagé par exemple), ainsi que des problèmes d'arrondis ou de troncature lors de la transformation des données à l'encodage ou au décodage. Globalement quand on décode une position de balise 406, la probabilité est élevée que la balise soit à moins de 100 m de ce point, et très élevée qu'elle soit à moins de 150m.

Comment recevoir les trames 406

Il faut d'abord se caler sur la bonne fréquence. Le pas de 3 kHz n'est pas le pas standard de nos récepteurs. Deux cas présentent :

-- soit on peut se caler sur la fréquence exacte. C'est possible avec certains récepteurs large bande appelé aussi « scanners ». En général, si le récepteur peut capter la BLU, il fonctionne avec un pas réduit, donc il peut être calé sur toutes les fréquences exactes des balises. Citons par exemple le Yupiteru 7100 (Photo 2), qui date de quelques années et qui reste un excellent récepteur. Il peut balayer très rapidement les 4 ou 5 fréquences des balises 406. Les 160 ms de la porteuse avant l'envoi de la trame sont suffisantes pour arrêter le balayage et se mettre en écoute. Globalement ce récepteur est une excellente solution, très bien adaptée pour notre utilisation.



*Photo 2 : Récepteur à balayage Yupiteru 7100
et émetteur-récepteur Puxing 777 (il faut utiliser la version UHF)*

-- soit on utilise un récepteur fonctionnant au pas de 5 kHz comme la plupart de nos émetteurs-récepteurs, et on se cale au plus près. C'est un peu moins bon, mais ça fonctionne encore. Il faut que la modulation de la balise soit compatible avec la largeur de la bande passante du récepteur. A ce sujet, certains TX bas de gamme comme le PUXING 777 UHF fonctionnent très bien en réception des signaux numériques (Photo 2). Ce sont les spécialistes de l'écoute des radiosondes qui ont révélé les performances de ces TX et leur bonne sensibilité. Leur filtrage limité permet de bien recevoir les signaux numériques, et leur coût est modéré (de l'ordre de 50 €). Mais attention aux différentes versions, certaines ne sont pas modifiables pour leur ajouter une sortie discriminateur (Annexe II).

Ensuite il faut que la chaîne de réception soit bien adaptée aux signaux numériques, ce qui n'est pas le cas d'un récepteur classique qui est optimisé pour le son de la voix. Le haut-parleur ne retransmet que les fréquences dans la bande 300 Hz – 3000 Hz. La dernière FI (fréquence intermédiaire) est suivie par le démodulateur FM. Cette fonction est souvent réalisée par un circuit intégré spécialisé. La sortie démodulée est suivie par un filtre passe-bande avant d'être amplifiée et envoyée sur le haut-parleur.

Les récepteurs que nous utilisons couramment sont prévus pour faire de la démodulation NBFM (Narrow Band Frequency Modulation). Les sauts de phase démodulés en FM donnent des signaux impulsionnels alternativement positifs et négatifs. Dans un récepteur classique, ces impulsions sont écrasées par le filtre qui suit le démodulateur, avant d'être envoyées dans le haut-parleur. Un premier filtre corrige la préaccentuation ; c'est un filtre passe bas avec une fréquence de coupure autour de 2 kHz qui coupe les fréquences plus hautes avec une pente de 20dB/décade. Un second filtre est un filtre passe bande qui ne laisse passer que les fréquences utiles, c'est-à-dire la bande 300 -3000 Hz. Le signal très riche en harmoniques de rang élevé des pics est en grande partie atténué par ces filtres. Ce sont ces impulsions écrasées qui sont disponibles sur le Jack de l'écouteur (sortie BF). Dans certaines conditions, on arrive à faire fonctionner un décodeur de trames connecté à la prise écouteur du RX, mais c'est difficile et souvent très décevant.

La solution consiste à ajouter au récepteur une sortie spécialement adaptée aux signaux numériques. Certains l'appellent la sortie « Discriminateur ». C'est tout simplement une sortie connectée directement à la sortie démodulée du circuit intégré démodulateur FM. Comme elle est connectée avant le filtrage, on récupère les impulsions caractéristiques des transmissions numériques. Il y a un site remarquable sur le sujet, c'est <discriminator.nl> [4]. On y apprend que seul deux récepteurs possèdent cet équipement en série, l'AOR 8200 et l'ICOM IC-PR1000. Il faudrait aussi ajouter l'Alinco DJ-X11 à cette liste, qui a une sortie Discriminateur directe sur jack audio pilotable par menu, mais l'utilisation en sortie Discriminateur supprime la sortie audio. Attention, certains TX comme les BAOFENG ne peuvent pas être équipés d'une sortie Discriminateur car ils fonctionnent en SDR (Software Defined Radio) et la sortie non filtrée n'est pas directement accessible.

Pour tous les récepteurs non équipés, c'est-à-dire la plupart des récepteurs, il faut créer cette sortie Discriminateur en ajoutant une liaison avec le CI (Circuit Intégré) démodulateur FM. Pour ne pas perturber le fonctionnement du circuit cette liaison est effectuée grâce à une résistance de 10 kΩ en série. On peut aussi ajouter un condensateur série pour couper la composante continue, mais ce n'est pas obligatoire. Sur la coque extérieure du récepteur, il faut ajouter un connecteur (prise Jack 2,5 ou 3,5 mm par exemple) ; c'est souvent difficile sur les petits TX portables. Pour les récepteurs non référencés sur le site <discriminator.nl> [4], il faut identifier et localiser le CI démodulateur FM, et rechercher sur le site la sortie du signal. C'est très souvent dans un angle du CI, ce qui facilite la soudure de la résistance de liaison.

La seule dérogation à l'installation de la sortie Discriminateur, c'est pour les TX équipés avec une sortie Packet 9600 bauds. Cette sortie particulière fonctionne très bien pour recevoir les signaux numériques. Nous utilisons régulièrement des TX bibandes mobiles comme les Kenwood TM-D700 et TM-V71 (Photo 3) pour la réception des signaux des balises. Le câble de liaison est un cordon modifié de souris informatique avec un connecteur rond et vert (voir Annexe I). Ces 2 TX Kenwood (le TM-D700 et le TM-V71) ne sont que des exemples, il en existe de nombreux autres qui sont équipés de cette sortie Packet 9600 bauds, surtout dans la catégorie des bibandes mobiles ou UHF mobiles.



Photo 3 : Le Kenwood TM-V71 est un exemple de TX équipé d'une sortie 9600 bauds permettant la connexion directe à un décodeur de trames.

La prise Discriminateur (ou la sortie Packet 9600 bd) sort un signal à un niveau à peu près constant, quel que soit le réglage du volume. On peut adapter le niveau d'entrée du décodeur de trames à ce signal pour conserver la sensibilité maximale. Le système « Récepteur + Décodeur » ainsi réalisé est très fiable. Il n'en est pas de même quand on utilise la sortie BF dont le niveau dépend du réglage du volume sonore !

Visualisation des signaux de sortie du récepteur

Même sans oscilloscope, on peut visualiser facilement les signaux numériques. Par exemple les enregistrements des Figure 2 et 3 ont été réalisés avec un récepteur Yupiteru 7100 (modifié par l'addition d'une prise « sortie Discriminateur » avec une résistance de 10 k Ω en série) et avec le logiciel Audacity.

Dans un premier temps, le signal de la sortie Haut-Parleur a été visualisé par connexion directe sur un PC (entrée ligne). Le signal obtenu lors de la réception d'une trame 406 a été enregistré avec Audacity. En dilatant l'échelle du temps, on voit apparaître des pics alternativement positifs et négatifs, qui font de 300 à 500 mV d'amplitude (Figure 2). L'intervalle entre 2 pics correspond soit à 1,25 ms, soit à 2,5 ms (transmission en 400 bauds). Ce sont ces intervalles qui contiennent l'information de la trame.

On peut constater que les signaux sont déformés. On retrouve les pointes qui correspondent aux changements de phase, mais certaines pointes sont réduites, et il apparaît des signaux supplémentaires plus arrondis en particulier lors des grands intervalles de 2,5 ms (Figure 2). Ces signaux supplémentaires peuvent générer des informations parasites rendant la lecture de la trame impossible. Et le niveau de tous ces signaux dépend du réglage du volume ...

Dans un second temps, nous avons connecté le PC à la sortie « Discriminateur » et visualisé les signaux. Bien qu'il s'agisse exactement de la même trame, écoutée avec le même récepteur, le résultat est assez différent (Figure 3). On obtient cette fois-ci une série de pics très bien marqués, dont l'amplitude ne dépend d'aucun réglage. L'écartement des pics successifs, soit 2,5 ms soit 1,25 ms, est très facile à analyser pour le décodeur de trames 406. Ce sont ces intervalles qui contiennent l'information.

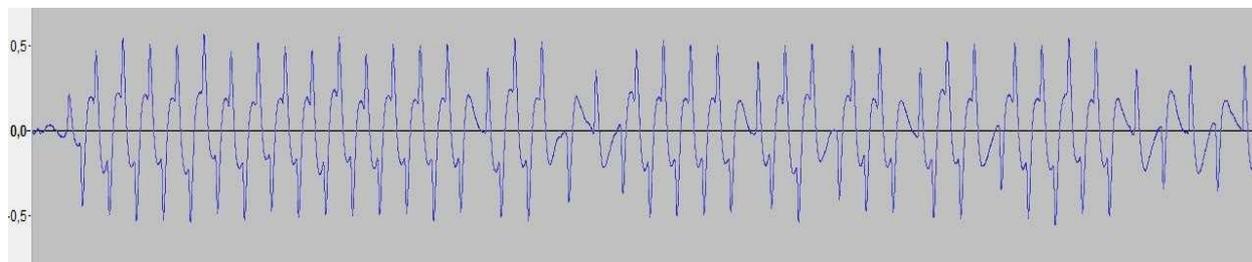


Figure 2 : Enregistrement sur la sortie Haut-Parleur avec Audacity

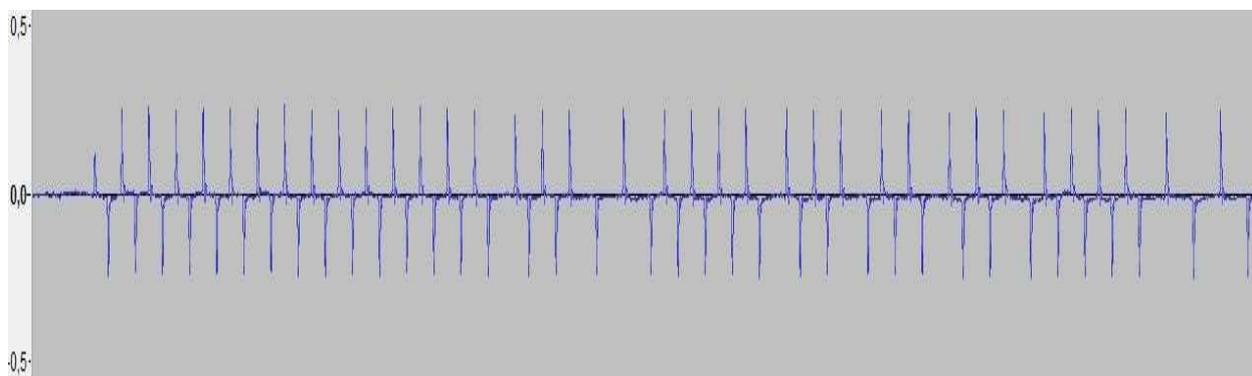


Figure 3 : Enregistrement de la même trame par la sortie Discriminateur

La Figure 4 montre le spectre du signal qui sort par le Haut-Parleur. On voit clairement le fondamental à 400 Hz ; c'est normal pour une transmission à 400 bauds. Les harmoniques les plus importantes sont les harmoniques impaires : 3 (1200 Hz), 5 (2000 Hz), 7 (2800 Hz), etc. Ces harmoniques sont de plus en plus atténuées en montant en fréquence. Par exemple l'harmonique 13 (5200 Hz) est atténué de 40 dB par rapport au fondamental.

La même analyse fréquentielle peut être effectuée sur la sortie Discriminateur. Le spectre de fréquence (Figure 5) montre que les harmoniques ont un niveau beaucoup plus élevé. Par exemple l'harmonique 13 est n'atténué que de 11 dB par rapport au fondamental ; la sortie Discriminateur, sans passer par les filtres de sortie, permet de gagner 30 dB sur cette fréquence. Cette richesse en harmoniques est caractéristique des signaux avec des fronts raides.

Même sans oscilloscope, ces résultats montrent qu'on peut analyser facilement les signaux BF avec un ordinateur et certains logiciels gratuits comme Audacity. Les résultats sont très probants. Par la sortie Haut-Parleur, les signaux sont déformés et avec un niveau variable par le volume, et donc difficile à régler sans visualisation. Arriver au bon réglage pour le niveau d'entrée du décodeur est très difficile voire impossible. En comparaison, les signaux de la sortie Discriminateur sont des pointes bien propres. Grâce à leur niveau constant et indépendant du volume, l'adaptation au décodeur est facile à réaliser. C'est la seule solution pour travailler correctement.

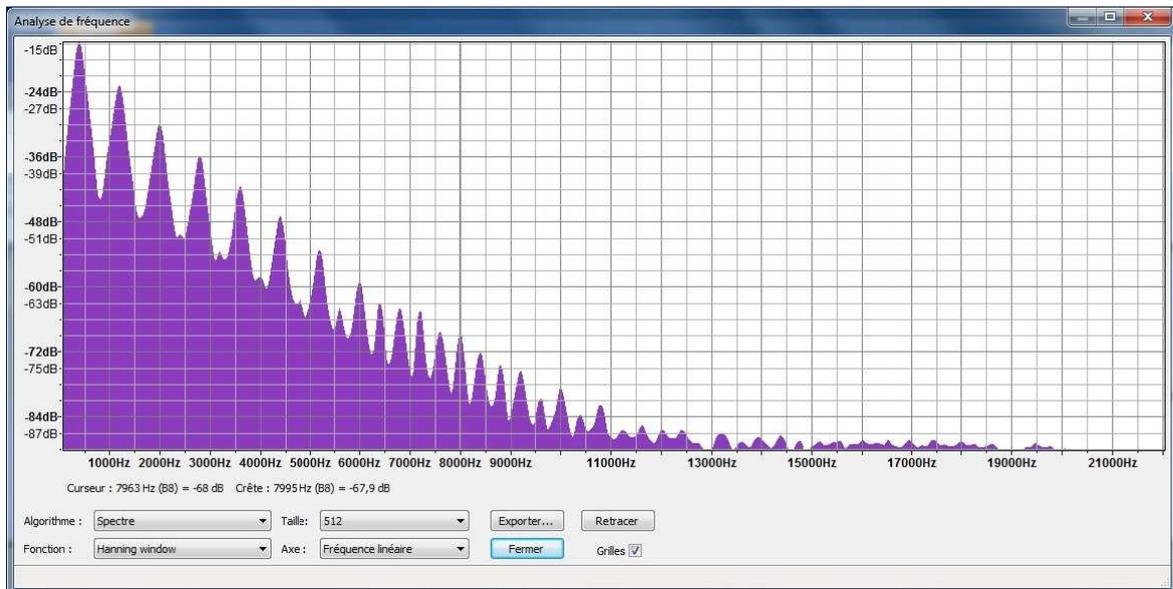


Figure 4 : Analyse fréquentielle du signal de la trame sur le sortie Haut-Parleur

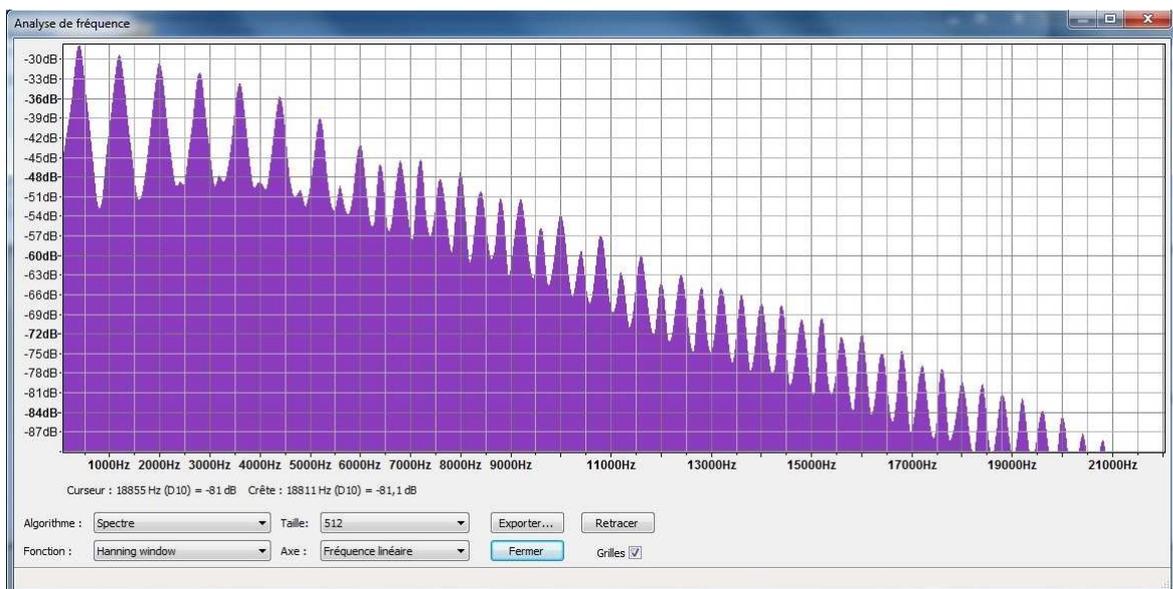


Figure 5 : Analyse fréquentielle du signal de la trame sur le sortie Discriminateur

L'expérience des autres

Un domaine assez voisin de celui de l'écoute et du décodage des balises 406 MHz, c'est celui des radiosondes, appelées aussi RS. Ces radiosondes émettent dans la bande autour de 401 – 405 MHz (donc juste à côté des balises à 406 MHz), et les signaux transmis sont des signaux numériques à 4800 bauds, que beaucoup de chasseurs de radiosondes décodent avec le logiciel Sonde Monitor. Le savoir-faire sur les radiosondes est tout à fait transposable pour l'écoute des balises 406 MHz. Le site <radiosondes.eu> [5] est une mine d'informations, en particulier sur les récepteurs utilisables pour écouter et décoder les radiosondes. Sur le site, pour chaque récepteur ou émetteur-récepteur testé, les commentaires permettent de connaître lesquels sont réellement utilisables pour la réception des signaux numériques, donc adaptés au fonctionnement avec un décodeur de trames 406.

Synthèse

Si on veut pouvoir décoder les trames des balises 406 MHz avec une bonne fiabilité, il faut proscrire la sortie par le Jack BF (prise casque). Il faut soit utiliser la sortie Packet 9600 bauds si elle existe, soit installer une sortie dite Discriminateur. Cette installation n'est pas toujours facile à réaliser, mais c'est incontournable. C'est la seule façon de réaliser un système efficace pour le décodage des trames des balises 406 MHz.

Quant à la fréquence de réception, il est préférable de se caler exactement sur la fréquence à écouter, mais un réglage légèrement décalé de 1 ou 2 kHz (à cause d'un pas de 5 kHz) permet de recevoir et de décoder les signaux 406 tant que la largeur du filtre de réception est compatible avec les signaux numériques à recevoir.

Références

[1] Site F6HCC :

<http://f6hcc.free.fr/decodargos.htm>

[2] Décodeur « 4 lignes » :

<http://f1lvt.com/files/321-Decodeur406-Part1.81.pdf>

<http://f1lvt.com/files/322-Decodeur406-Part2-V2.123.pdf>

<http://f1lvt.com/files/325-ConstructionDecodeur4Lignes-V3.133.pdf>

[3] Liste des fréquences :

<http://f1lvt.com/files/231-Frequences-406-V3.68.pdf>

https://www.cospas-sarsat.org/images/stories/SystemDocs/Current/cs_t012_oct_2013.pdf

[4] Installation d'une sortie discriminateur :

<http://www.discriminator.nl/index-en.html>

[5] Radiosondes :

<http://www.radiosonde.eu/RS08/RS08F04.html>

Annexe I

Comment faire le cordon de liaison entre un TX Kenwood avec une sortie 9600 bauds et un décodeur de trames.

Ce cordon a été testé avec un Kenwood TM-D700 et avec un TM-D71. Il est probablement utilisable avec tous les TX Kenwood de la même gamme.

Matériel :

- Une vieille souris de récupération avec un connecteur cylindrique vert (c'était la norme il y a 10 ans, avant les souris avec prise USB).
- Une fiche Jack 3,5 mm mono

Construction du cordon de liaison :

- Etape 1 : Couper le cordon au ras de la souris.
- Etape 2 : Souder une fiche Jack 3,5 mm mono sur les deux fils concernés du câble de la souris (partie inférieure de la Figure A1).

Utilisation du câble

Connecter le câble sur la prise Data du TX à une extrémité et sur l'entrée du décodeur de trames de l'autre. Il ne reste plus qu'à régler la sortie Data sur 9600 bauds dans le menu.

Configuration de la broche du câble de communications des données

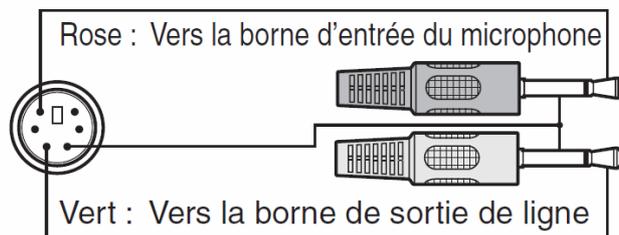


Figure A1 : Liaison avec la prise Data du TX (doc Kenwood)

Bilan : voilà un cordon de liaison pas cher et très facile à réaliser.

Annexe II

Attention aux PUXING non modifiables

Quand vous achetez un récepteur d'une marque bien connue, c'est en principe du matériel pour lequel vous pouvez trouver la documentation technique, et le réparer en cas de besoin. Il n'en est pas de même quand vous achetez du matériel chinois comme les TX PUXING. Il existe des schémas qui circulent sur le net, mais les TX sont régulièrement modifiés sans aucun avertissement. Récemment la technologie utilisée dans les TX PUXING 777 a été changée sans aucun préavis ni signalisation.

Les derniers PUXING 777 fonctionnent en SDR, avec un circuit RDA1846, exactement comme les BAOFENG UV3R et UV5R (Photo A2). Sauf que BAOFENG affiche clairement le système utilisé alors que PUXING change le sien sans prévenir. En SDR, vous n'avez plus accès à la sortie discriminateur. Donc ces PUXING de dernière génération ne sont pas utilisables en réception de signaux numériques comme le PSK.

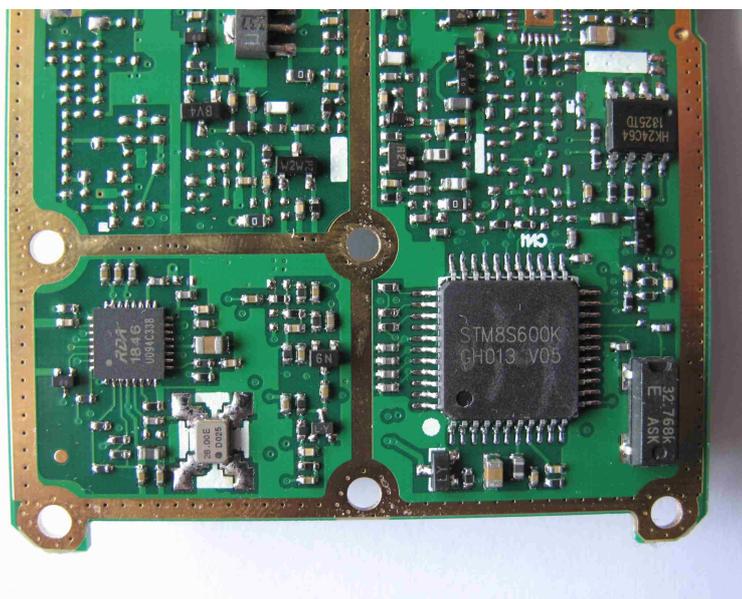


Photo A2 : Carte interne d'un PX 777 récent (400-470 MHz – 2012FP0105 - n°de série 121215A4657). Les deux circuits sont le RDA 1846 (récepteur SDR tout intégré) et le STM8S (microcontrôleur). Il est impossible de lui ajouter une sortie « discriminateur ».

Bilan : quand vous achetez un TX en Chine par Ebay, vous ne le payez pas très cher mais c'est la surprise quand vous déballez le paquet. En général ça fonctionne correctement, mais vous n'avez aucune garantie sur les modifications éventuelles du matériel, et sur les utilisations non prévues dans la documentation.