

## Une petite balise 406 de test (1/3)

Conception d'un montage simple, qui émet en UHF des trames de balise 406

F1LVT  
Jean-Paul YONNET  
ADRASEC 38  
[F1LVT@yahoo.fr](mailto:F1LVT@yahoo.fr)

Le problème des balises 406 d'exercice est récurrent depuis plusieurs années. Dans les ADRASEC, nous avons besoin de balises de quelques watts pour l'entraînement sur le terrain. Il nous faut aussi des balises de faible puissance (quelques milliwatts) pour tester les chaînes de réception et être sûr que tout fonctionne correctement.

Le montage réalisé reproduit très fidèlement la modulation des balises 406. Il permet de transmettre des trames sur une fréquence UHF avec une puissance de l'ordre du milliwatt (Photo 1). Le montage est piloté par quartz, ce qui permet de choisir facilement la fréquence d'émission. Avec un quartz standard, l'oscillateur peut fonctionner sur 432 MHz. C'est un montage bien adapté pour faire des essais, et tester le décodage des trames reçues par un récepteur radio.



*Photo 1 : Balise 406 de test, sortant une puissance du mW, dont la fréquence est modifiable par changement d'un quartz*

La construction est simple. Le système démarre du premier coup sans aucun réglage. Tous les composants sont bon marché, faciles à trouver et à assembler.

La suite de cette réalisation consistera bien évidemment à amplifier le signal pour émettre quelques watts, et de construire une balise d'exercice sur notre bande radioamateur UHF.

### Les balises de test et d'exercice

Beaucoup d'OM se sont équipés avec des décodeurs de trames, mais ils sont dans l'impossibilité de les tester en vraie grandeur. Les seuls tests possibles consistent à écouter

des trames enregistrées numériquement comme celles qui sont disponibles sur le site de F6HCC [1], ou bien à utiliser le générateur de trames développé avec un PIC 16F88 [2]. Avec ces dispositifs, le son est envoyé directement dans le décodeur de trames. Mais pour pouvoir tester la chaîne complète de réception radio, c'est-à-dire le récepteur 406 MHz associé au décodeur, il faut pouvoir disposer d'une balise de test.

Les balises d'exercice, pour l'entraînement des équipes de recherche sur le terrain, sont difficiles à utiliser. Dans le système COSPAS - SARSAT, ces balises d'exercice ont été prévues. Mais comme elles sont sur les mêmes fréquences que les balises réelles, elles posent de gros problèmes : elles sont détectées par les satellites et localisées comme les autres balises de détresse. Dans la trame, un codage spécial indique que c'est une balise d'exercice (bit 37 à 40) [3]. En France, quand le FMCC de Toulouse reçoit le signal d'une balise exercice, il ne retransmet pas l'alerte. Mais les balises d'exercice occupent les mêmes moyens de réception par satellite et de localisation que les véritables balises de détresse. C'est pourquoi, il est impératif de demander l'autorisation au FMCC avant toute utilisation d'une telle balise d'exercice.

En pratique il n'existe que très peu de balises d'exercice. Les fabricants de balises ne sont intéressés que par les grandes séries, et réaliser des balises d'exercice les conduit à modifier des balises de série et à les reprogrammer. Le prix de vente est souvent de l'ordre de deux fois le prix d'une balise de série ! Actuellement seul les RCC sont équipés de telles balises. Début 2013, la DGAC devrait faire l'acquisition de balises d'exercices pour les aéroports et une quinzaine seront affectés à la FNRASEC, soit approximativement une balise d'exercice par zone. Mais comme c'est expliqué au paragraphe précédent, l'utilisation des ces balises d'exercice sur fréquences réelles doit être limitée et déclarée.

Pour réaliser une balise, les constructeurs fabriquent généralement leur système à partir de composants ou de modules. Certains de ces modules contiennent l'oscillateur 406 et le modulateur PSK, et même l'amplificateur de puissance (Photo 2). Mais leur prix est prohibitif pour une fabrication en petites séries, de l'ordre de 150 à 200 €. C'est un peu cher pour la construction de balises d'exercice. De plus, la fréquence est imposée par le module.



*Photo 2 : Module qui équipe certaines balises 406 (Sce A. RF)  
Le module intègre l'oscillateur 406 TCXO, le modulateur PSK et l'amplificateur 5W.*

La modulation des balises 406 est très particulière. Il s'agit de PSK, c'est-à-dire de modulation par changement de phase, avec une variation de phase et de  $\pm 1,1$  radian, soit environ  $\pm 60$  degrés. Généralement le PSK est du type BPSK ; c'est-à-dire une modulation très robuste et simple à réaliser avec deux phases séparées de 180 degrés. La modulation des balises 406 est plus complexe à synthétiser. Elle est utilisée dans les balises 406 car cette variation de phase réduite occupe une largeur de bande plus faible que du BPSK. La modulation particulière des balises 406 leur est propre ; il n'y a que très peu de systèmes qui utilise cette excursion réduite.

La transmission FM a été testée avec succès pour faire une balise d'exercice. Elle consiste à utiliser un générateur de trames et à envoyer le signal sur l'entrée microphone

d'un émetteur UHF. Ce système permet de réaliser une balise de quelques watts. Mais la modulation est de type FM ; ce n'est pas du tout la même modulation que celle des balises, même si les deux peuvent être démodulées en FM.

En résumé, dans nos ADRASEC, pour pouvoir tester nos décodeurs derrière un récepteur, nous avons besoin de balises ayant la même modulation que les balises 406, mais pouvant émettre sur nos fréquences (bande 430 - 440). Le montage que nous avons réalisé est un émetteur qui transmet sur nos bandes UHF, qui est piloté par quartz (donc qui peut être mis sur différentes fréquences), et qui est modulé en PSK  $\pm 1,1$  radian. Sa puissance est de l'ordre de 1 mW, ce qui lui permet d'être entendu à plusieurs centaines de mètres avec un quart d'onde. Le montage est entièrement réalisé avec des composants très bon marché et des techniques de fabrication très basiques pour pouvoir être facilement reproduit.

## La modulation

Les documents COSPAS SARSAT décrivent la modulation avec précision. La trame commence par 160 ms de porteuse avec une phase nulle, puis la modulation est effectuée par déphasage de  $\pm 1,1$  radian (voir Figure 1)

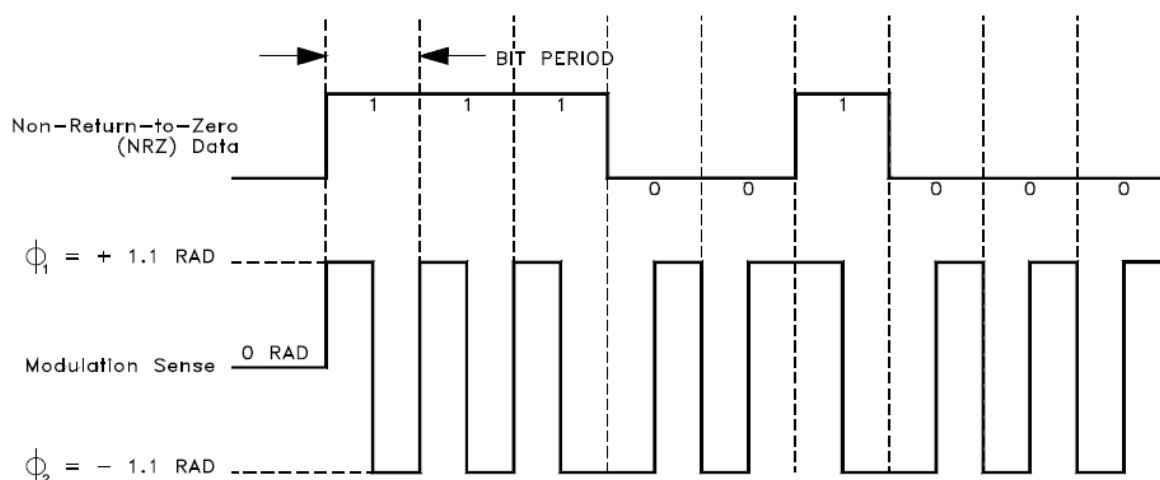


Figure 1 : Modulation PSK à  $\pm 1,1$  radian (doc COSPAS-SARSAT)

Pour réaliser cette modulation, nous avons besoin de trois sources UHF déphasées à  $+1,1$  radian,  $0$  radian, et  $-1,1$  radian, et de pouvoir basculer de l'une à l'autre. Différentes techniques ont été envisagées, mais certaines atténuent les signaux en les déphasant. Après différents essais, le déphasage par ligne à retard est une solution simple et efficace. Pour réaliser très facilement ce retard, on peut faire circuler le signal UHF dans un câble coaxial.

A 406 MHz, la longueur d'onde fait 74 cm. En tenant compte des coefficients de vitesse dans le câble (0,66), le signal est déphasé de 1,1 radian après avoir parcouru de 85 mm dans un câble RG174. En réalisant un oscillateur qui alimente successivement deux lignes de 85 mm chacune, en prenant comme référence zéro la phase entre ces deux lignes, la phase est à  $+1,1$  radian avant la première ligne, et à  $-1,1$  radian après la deuxième ligne (Figure 2). Il suffit maintenant de prélever le signal à partir de l'un de ces 3 points pour obtenir  $0$ ,  $+1,1$  radian, ou  $-1,1$  radian. Cette commutation est réalisée par trois diodes PIN pilotés par les signaux de modulation.

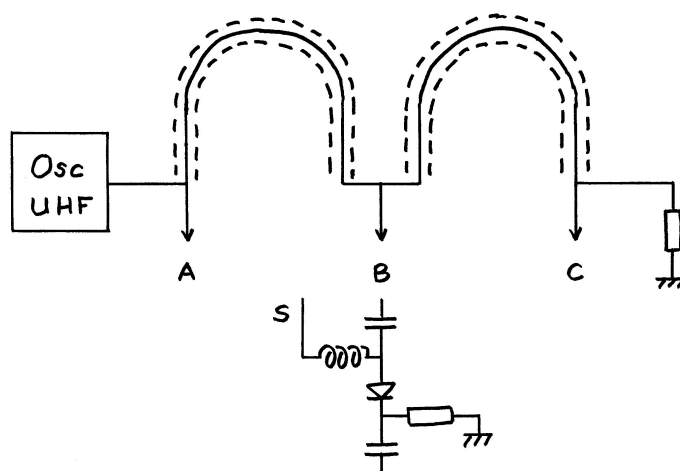


Figure 2 : Schéma de principe du modulateur

En prenant le signal alternativement sur les points A, B ou C (Figure 2), on transmet le signal en phase (point B pendant les 160 ms de la porteuse) ou décalé de + 1,1 radian (point A) ou - 1,1 radian (point C) pendant la transmission de la trame. La commutation des signaux est réalisée par une diode PIN, commandé par le signal S qui provient du générateur de trames. Sur la Figure 2, une seule diode a été représentée sous le point B, mais le montage final comporte 3 diodes, associées respectivement aux points A, B, et C.

### L'oscillateur

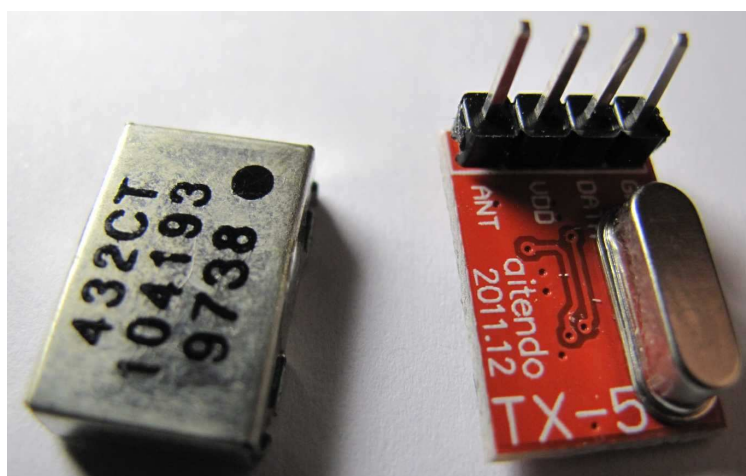


Photo 3 : VCO 432 MHz et module 432,920 MHz piloté par quartz

Nous avons fait nos premiers essais avec un VCO, c'est-à-dire un oscillateur piloté en tension capable de couvrir de 400 à 450 MHz. Expérimentalement, le VCO « 432CT » (Photo 3) couvre la bande 398 – 457 MHz. Associé au modulateur, le système fonctionne tout à fait correctement, mais la fréquence obtenue n'est pas parfaitement stable. Elle varie légèrement dans le temps, et elle est sensible aux paramètres extérieurs. Dans notre premier prototype avec un VCO, nous avons été obligés de laisser en permanence la porteuse pour pouvoir la retrouver avec un récepteur. Ensuite quand le RX était calé sur la fréquence de la porteuse, on arrivait sans problème à démoduler la trame.

Une autre solution simple consiste à utiliser les émetteurs prévus pour la banque ISM, sur 432,920 MHz. On trouve des émetteurs pas chers, dont l'oscillateur est contrôlé par un filtre à onde de surface (filtre SAW). Changer la fréquence est très difficile, car il faudrait trouver un filtre SAW pour la nouvelle fréquence.

En cherchant sur Internet, nous avons trouvé des émetteurs sur 433,920 MHz avec un oscillateur dont la fréquence est contrôlée par quartz (Photo 3). Ces systèmes sont capables de sortir une puissance maximale de 10 dBm (10 mW). La fréquence est donnée par un quartz marqué 13,560 MHz. Prenez votre calculette, et vous pouvez vérifier immédiatement que le montage multiplie la fréquence du quartz exactement par 32.

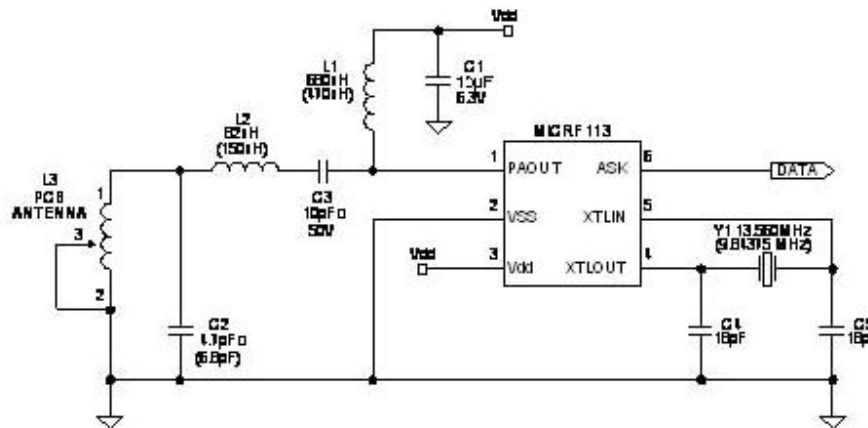


Figure 3 : Schéma électrique des modules 433 construits autour d' MICRF113

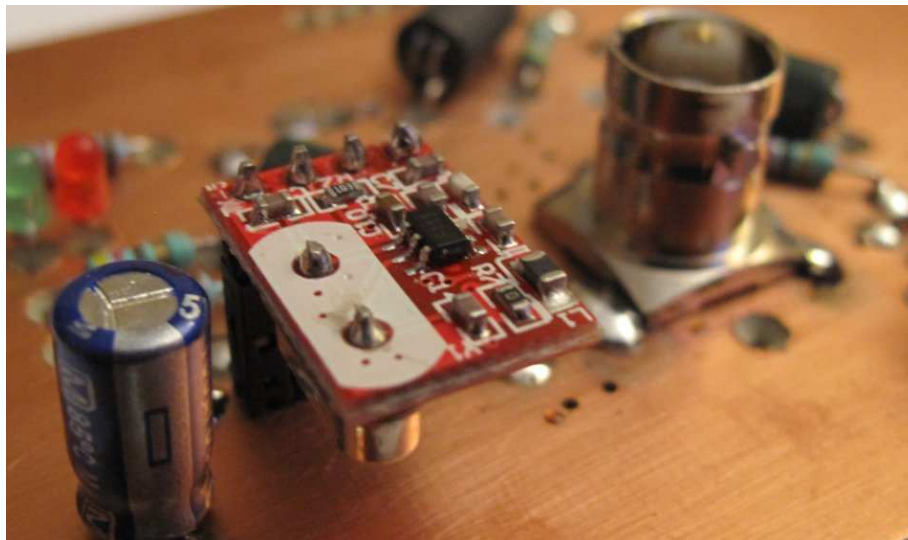


Photo 3 : Le module 433,920 MHz piloté par quartz, monté sur la balise de test

Ces émetteurs sur 433,920 MHz sont destinés au marché des systèmes de transmission sans fil : serrure automobile, télécommande des climatisations, interrupteurs commandé à distance, etc. Les modules que nous avons utilisés sont construits autour d'un circuit intégré MICRF113 qui multiplie par 32 la fréquence d'un quartz. Ils peuvent fonctionner de 300 MHz à 450 MHz, et donc sur les 2 fréquence de télécommande 315 et 433,920 MHz. La modulation est en ASK /OOK (modulation d'amplitude en tout ou rien). La figure 3 montre le schéma électrique de ces modules UHF. Autour du MICRF113, le nombre de composant est assez réduit. Plutôt que d'utiliser le circuit intégré et de souder les composants autour, dans le but de réaliser un montage facilement reproductible, nous avons utilisé directement un module tout assemblé.

Les essais avec ce type d'émetteur ont été très concluants. La fréquence d'émission mesurée varie légèrement d'un module à l'autre. Cela provient de la dispersion des quartz. (la fréquence de l'émetteur est donné à +/- 50 kHz). La balise de test fonctionne très bien, avec une puissance de l'ordre du milliwatt. Si vous mettez une antenne accordée en quart d'onde sur le montage, vous obtenez une portée de plusieurs centaines de mètres. Comme la fréquence est bien stable, le système fonctionne très bien en balise, avec le passage en

émission juste au moment de la transmission de la trame. Il n'y a plus besoin de laisser la porteuse en permanence comme avec un VCO.

### Le choix de la fréquence

La fréquence utilisée, 433,920 MHz, est largement utilisée par d'autres systèmes de transmission numérique. En particulier en zone urbaine, on peut entendre de nombreuses transmissions sur cette fréquence qui peuvent perturber les tests de sensibilité.

Comme le système est piloté par un quartz, il suffit de changer le quartz de notre montage pour le caler sur une autre fréquence. Pour obtenir exactement 406,000 MHz, il faudrait un quartz résonnant sur 12,6875 MHz. Pour 406,040 MHz, la fréquence du quartz est de 12,68875 MHz. Mais pour une utilisation en balise de tests, il vaut mieux se placer sur une fréquence autre que la fréquence réelle. Nous avons étudié quelles étaient les fréquences standard pour trouver des quartz pas chers sur des fréquences voisines (voir Tableau I).

Quartz (MHz)	Fréq Balise (MHz)	Ecart (MHz / %)
12,000	384,000	22 / - 5,4
12,288	393,216	12,8 / - 3,2
13,000	416,000	10 / + 2,5
13,500	<b>432,000</b>	26 / + 6,4
13,560	433,920	27,920 / + 6,6

*Tableau I : Fréquences standard entre 12,000 et 13,560 MHz, et fréquences UHF obtenues. Pour obtenir exactement 406,000 MHz, il faut un quartz sur 12,6875 MHz*

La fréquence standard qui donne l'émission la plus proche de 406 est fournie par un quartz 13,000 MHz ; la fréquence de l'oscillateur est alors de 416,000 MHz. L'écart de fréquence est de 10 MHz, soit 2,5 %. Mais il faut faire très attention à ne pas perturber cette fréquence lors des essais.

Pour une balise d'exercice, nous devons nous placer dans la bande radioamateur 430 - 440 MHz. La fréquence standard **432,000 MHz** semble bien adaptée pour notre application, avec un quartz à 13,500 MHz (Photo 4). L'écart de fréquence est 6,4 %.

Le plan de bande autour de la fréquence 432,000 MHz est très précis :

Bande 431,625 – 431,975 : entrées relais UHF au pas de 25 kHz -- 431,950 : entrée RU14 -- 431,975 : entrée RU15 Bande 432,000 – 432,150 : CW -- 432,000 – 432,025 : EME -- 432,032 – CW Sécurité Civile -- 432,082 - CW Sécurité Civile dégroupement
--

Pour gêner le moins possible les autres transmissions autour de 432,000 MHz, la fréquence **431,990 MHz** semble être la mieux appropriée (c'est-à-dire dans la bande 431,985 – 431,995 MHz). Cette fréquence paraît suffisamment éloignée de la fréquence d'entrée du RU15 pour ne pas gêner le relais (15 kHz) et suffisamment éloignée de la bande CW (10 kHz).



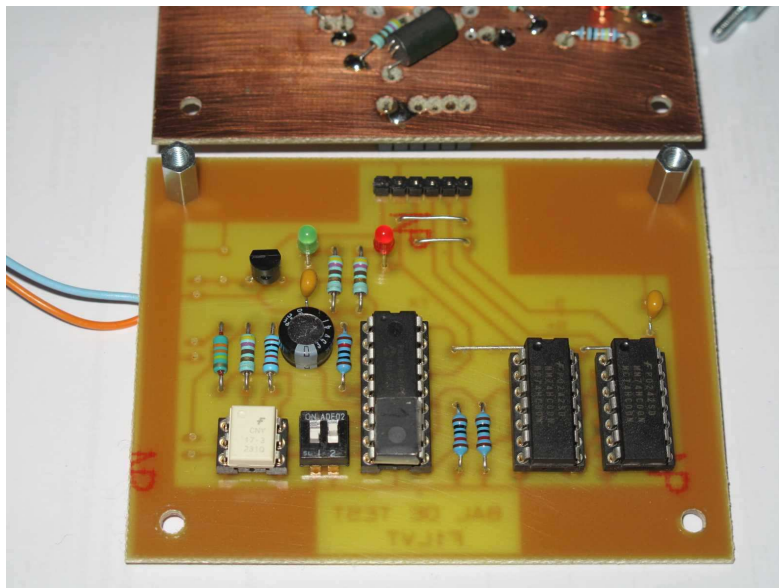


*Photos 4 : Les quartz 13,500 MHz permettant de caler la balise sur 432,000 MHz ou sur 431,990 MHz*

Pour pouvoir modifier légèrement la fréquence, nous avons ajouté un condensateur ajustable de 20 pF entre le quartz et la masse, en parallèle avec le condensateur situé juste au dessus de la pin de masse du module. La fréquence est ainsi devenue réglable en continu de ( $f_q - 6k$ ) à ( $f_q - 22kHz$ ).

Par exemple avec un quartz donnant la fréquence de base  $f_q = 432,005$  MHz, en ajoutant un condensateur ajustable, la plage de fréquence est continument réglable de 431,983 MHz à 431,999 MHz. On peut ainsi caler le montage sur **431,990 MHz** sans aucune difficulté. Les quartz taillés pour 13,500 MHz conviennent très bien pour notre montage.

### La trame



*Photo 5 : La carte de génération de la trame et de pilotage du modulateur*

Il faut générer une trame permettant de piloter le modulateur. Cette fonction est réalisée par un PIC 16F88. C'est exactement le même PIC que celui décrit dans les montages précédents, qui permet de transmettre une trame toutes les 6 secondes ou 50 secondes, cette trame pouvant être une trame de type « Exercice » ou bien de type « Test ». Tous ceux qui ont déjà ce microcontrôleur programmé peuvent le réutiliser pour construire cette balise.

Dans le montage, le PIC est entouré par quelques composants (Photo 5). Un optocoupleur permet de relier un GPS pour avoir la position GPS dans la trame transmise. Les 2 interrupteurs permettent de programmer la temporisation et le type de trames. Les signaux qui sortent du PIC sont mis en forme par 2 circuits logiques de type 74HC00.

### Test du montage

Toute une série de tests a été réalisée sur le système. La visualisation des signaux montre que la puissance d'émission est de l'ordre de 1 mW (entre 1 et 1,5 mW). En sous-échantillonnant, on arrive à visualiser clairement la modulation de phase.

Quant aux essais de transmission, la démodulation des signaux par un décodeur de trames fonctionne très bien. Le système transmet la position GPS dans la trame. Globalement c'est un excellent montage pour tester la chaîne de réception 406, il reproduit parfaitement la modulation des balises 406.

Le coût du système est très raisonnable. L'élément le plus cher est l'oscillateur : 5,50 euros port compris acheté à l'unité, et 3 euros par quantité. Les quartz sont faciles à trouver : 5,20 euros par paquet de 50 ! Le PIC 18F88 est envoyé programmé pour 5 euros par mon fournisseur habituel [4], avec un indicatif intégré du type ADXXYY (AD pour ADRASEC, XX est le numéro du département et YY le numéro d'ordre dans le département). Quant aux autres composants, ce ne sont que des composants très standard et bon marché.

### Vers une balise plus puissante

Les points communs entre notre montage et une balise commerciale, ce sont l'envoi d'une trame similaire, la même modulation, et la transmission dans la bande UHF. Les différences, ce sont la puissance, la fréquence et la stabilité en fréquence.

La fréquence dans la bande UHF (431,990 MHz) ne perturbe absolument pas le système COSPAS SARSAT. La balise peut être utilisée très librement ce qui est un avantage considérable.

Pour que les satellites puissent localiser la balise par effet Doppler, il faut que la fréquence soit très stable. Il faut donc que l'oscillateur soit contrôlé en température, de type TCXO. Mais pour nos besoins, pour tester un récepteur ou pour une balise d'entraînement en bande radioamateur, la stabilité en fréquence d'un oscillateur à quartz classique est largement suffisante. Il n'y a pas de localisation par satellite à effectuer.

Quant à la puissance, le montage présenté dans cet article est capable de sortir un milliwatt, alors qu'une balise commerciale émet 5 watts en 406 MHz. En fait, la puissance de notre montage est largement suffisante pour tester une chaîne de réception. Et si on a besoin de quelques watts, il suffit d'amplifier l'émission, par exemple avec un module hybride UHF.

### Références

[1] Site web F6HCC

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

[2] F1LVT, « Générateur de trames de balise 406 MHz pour la vérification du fonctionnement de décodeurs de trames, et pour la construction de balise d'exercice ».

[http://www.adrasec38.fnrarsec.org/crbst\\_5.html](http://www.adrasec38.fnrarsec.org/crbst_5.html)

[3] Cospas Sarsat « SPECIFICATION FOR COSPAS-SARSAT 406 MHz DISTRESS BEACONS », C/S T.001, Issue 3 – Revision 10, October 2009

<http://www.cospas-sarsat.org/fr/cospas-sarsat-documentation/documents-systeme-cs/serie-cs-t000-technique>

[4] Pour les PIC programmés 18F88, contacter l'auteur en lui précisant le numéro du département. Il vous renverra un PIC programmé avec un indicatif du type « AD $\alpha\beta\chi\delta$  ».