

Essais de réception/décodage des signaux satellitaires COSPAS-SARSAT

f6acu@wanadoo.fr

Ou plus précisément la réception/décodage avec des moyens « Radioamateurs », des signaux émis par les balises de détresse et retransmis par les satellites COSPAS SARSAT : <https://www.cospas-sarsat.int/fr>

En effet, comme nous le savons tous, ou presque, les balises de détresse (ELT, RLS ou EPIRB et PLB) émettent des signaux extrêmement brefs (bursts) dans la bande 406-406,1 MHz.

<https://www.cospas-sarsat.int/fr/tableau--traitement-doppler-leosar/cospas-sarsat-system>

GENERALITES

Ces signaux sont reçus et retransmis sans traitement, directement au sol (stations LUT) dans la bande 1 544 -1 545 MHz, via quelques uns des satellites météorologiques ou de radionavigation qui prennent ainsi le nom de SARSAT x...Ceux-ci sont soit défilants (NOAA 15/SARSAT 7...) : **LEOSAR**, soit géostationnaires (MSG 1...) : **GEOSAR**, soit à orbites basses (Galileo...) : **MEOSAR**.

<https://www.cospas-sarsat.int/fr/tableau-traitement-doppler-leosar/detailed-cospas-sarsat-system-description>

<https://www.cospas-sarsat.int/fr/current-space-segment-status-and-sar-payloads>

Le principe est relativement simple, mais dans la pratique les embûches sont aussi nombreuses que variées ! : Polarisation, poursuite des satellites, effet Doppler, faiblesse des signaux etc...

A/- Les signaux émis par les balises de détresse, et reçus par les satellites :

Une balise de détresse 406 MHz émet des trames de 144 bits à 400 bauds, d'une durée de 440 ou 520 ms toutes les 50 secondes, en modulation de phase à +/- 1,1 radian.

Puissance HF : 5W, en polarisation RHCP ou Linéaire. Les fréquences affectées sont actuellement :

406,025 406,028 406,037 406,040 406,049 MHz.

http://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/cs_t.001_oct_2013.pdf

B/- Les signaux retransmis par les satellites vers la Terre (LUT) :

Les signaux 406 MHz reçus par les satellites sont retransmis vers la Terre en bande L :1544.5 MHz.

La bande 1 544/1 545 est divisée en sous bandes (document cs_r012_oct_2013) :

- 100 kHz centrés sur 1 544,5 MHz s/bde LEOSAR : NOAA METOP.
- 100 kHz centrés sur 1 544,1 MHz s/bde MEOSAR : GALILEO etc.
- 100 kHz centrés sur 1 544,9 MHz s/bde MEOSAR : GLONASS etc.

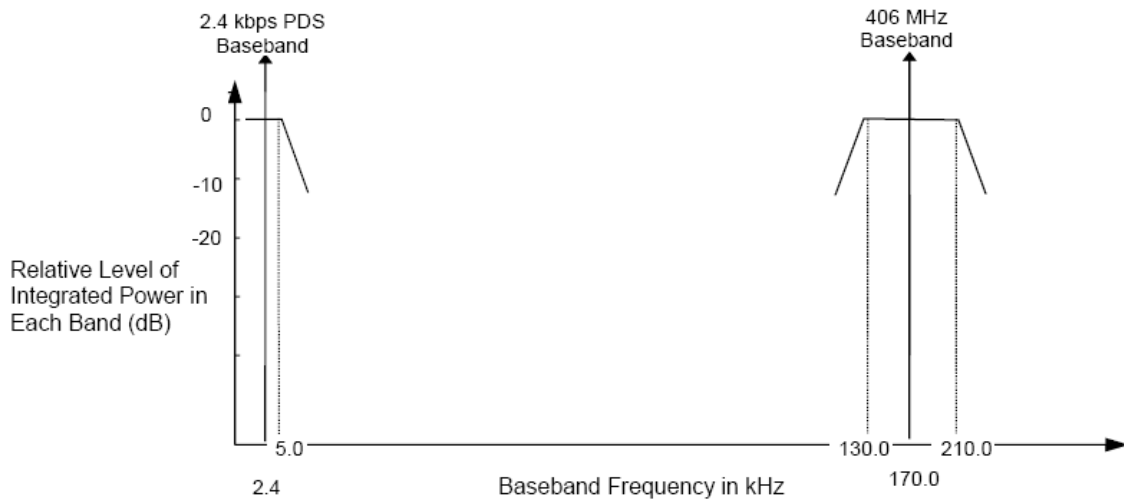
SIGNAUX LEOSAR :

Ce sont les plus classiques, mais ce sont ceux qui posent le plus de problèmes techniques !

Les trajectoires de ces satellites sont donc les mêmes que celles des satellites météo (images) défilants à orbites basses (Bande des 137 MHz).

Les signaux sont émis en modulation de phase BPSK sur 1 544,5 MHz, en polarisation Circulaire Gauche (LHCP), contrairement à la majorité des satellites qui émettent en Circulaire Droite (RHCP) (INMARSAT, IRIDIUM, GPS, METEO etc...). La fréquence porteuse de 1 544,5 MHz, supporte un signal à 2.4 kbps provenant du processeur SARP installé à bord du satellite (numéro d'identification unique de la balise, mesure de la fréquence porteuse reçue et enregistrement de l'heure de réception du signal) d'une largeur de 5 kHz.

Aucun logiciel public ne permet jusqu'alors de d'accéder à ces informations. A 1 544,67 MHz sont retransmis les signaux issus des balises de détresse, sur une largeur de 80 kHz. (Document CS-T003-DEC-2016). Ce sont ces signaux extrêmement brefs et faibles, que nous essaierons de décoder.



Note: Drawing not to scale and bandwidths given are 1 dB bandwidths

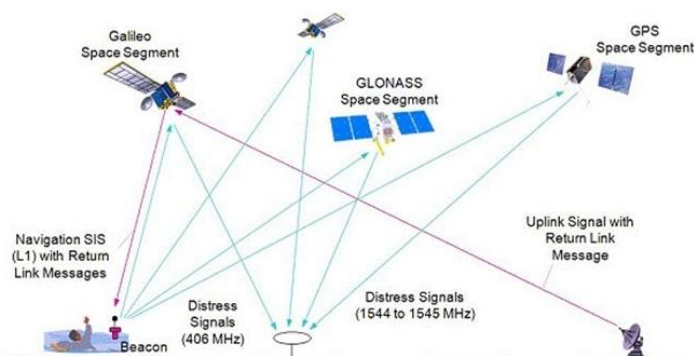
Page 27 figure 3-8 Document CS-T003-DEC-2016

Si la fréquence porteuse à 1 544,5 MHz est assez facilement décelable, il n'en est pas de même pour les « bursts » à 400 Bds, qui sont d'un niveau très nettement inférieur à ceux à 2.4 kbps. De plus, comme ils sont en FMN, ils sont noyés dans le bruit...(en BLU/CW ils sont perceptibles). Pour corser le tout, et comme il s'agit de satellites défilants, ils sont affectés de l'effet DOPPLER, qui apparait comme particulièrement rapide...Ce qui ne facilite aucun réglage ou mise au point.

Comme toute émission d'une porteuse modulée, elle génère deux bandes latérales, et les mêmes signaux sont également présents à 1 544,33 MHz, sur une largeur de bande identique, soit 80 kHz.

SIGNAUX MEOSAR :

Les signaux MEOSAR sont retransmis par différents satellites de radionavigation à orbites moyennes (Galileo, GPS etc...). L'effet Doppler est beaucoup moins marqué qu'avec les LEO, ce qui favorise certains réglages, et notamment ceux relatifs aux antennes de réception au sol. La largeur de bande est par contre de l'ordre de 100 kHz centrée sur 1 544,1 et 1 544,8 MHz. Il n'y a pas de fréquence porteuse. Par contre on y rencontre de nombreuses émissions phonie FMN parfaitement audibles, ou même numériques, provenant d'utilisateurs illégaux, qui ignorent certainement la portée (dans les deux sens du mot) de leurs actes ...A 1 544,1 MHz les signaux sont polarisés en LHCP, et à 1 544,9 MHz ils sont en LHCP pour GLONASS, et RHCP pour GPS.



https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/03/Galileo_within_new_system

SIGNAUX GEOSAR :

Bien que la réception des satellites géostationnaires semble la plus simple, j'ai pu constater que depuis plusieurs années de recherches je n'en ai décelé aucun !...

Les signaux GEOSAR transmis par différents satellites météo dans une bande de 100 kHz centrée sur 1 544,5 MHz, sont polarisés RHCP pour les GOES, et Linéaire pour les MSG.

Exemples de messages reçus :

SARSAT 10

<RX> 17/06/17 16:39:04 UTC - EPIRB (MPSK V.4.31.4) [BF=1000 Hz]

Balise de position sans UIN détecté le 17/06/17 16:45:12 UTC

Type de message: autotest / long

Protocole: localisation

Enregistré en: inconnue (MID=504)

Protocole de réserve (1001)

Numéro de série: 53503

SARSAT 7

UIN (?): 9C634E2AB509240 détecté le 17/06/17 16:53:08 UTC

Type de message: détresse / long

Protocole: utilisateur

Enregistré en: France (MID=227)

Protocole d'orbitographie

Données orbitographiques: 34E2AB509240 (1101001110001010101011010100001001001001000000)

UIN (?): 9C6000000000001 détecté le 17/06/17 17:14:58 UTC

Type de message: détresse / long

Protocole: utilisateur

Enregistré en: France (MID=227)

Protocole d'orbitographie

Données orbitographiques: 000000000001 (0001)

SARSAT 10

<18:17/06/17 18:21:39 UTC - EPIRB (MPSK V.4.31.4) [BF=1000 Hz]

UIN (?): 9D1FCFA7AB0D990 détecté le 17/06/17 18:29:46 UTC

Type de message: détresse / court

Protocole: utilisateur

Enregistré en: Royaume Uni (MID=232)

Protocole utilisateur de test

Données de test: 3CFA7AB0D990 (1111001111101001111010101100001101100110010000)

Balise activée manuellement

Pas de champ de données non-protégé

LA RECEPTION DES SIGNAUX SATELLITAIRES :

Le récepteur :

Il doit pouvoir recevoir la bande 1 544 - 1 545 MHz, être très sensible, avoir une sortie DATA ou Discri pour le décodage des signaux numérisés, posséder des filtres FI commutables, un AFC/CAF, et une analyse spectrale interne ou externe.

Un récepteur SDR paraît tout indiqué, et la simple clé SDR RTL donne déjà de bons résultats.

Il est pratiquement illusoire d'espérer décoder les bursts sans pouvoir les visualiser, vu qu'ils sont aléatoires, d'intensité variable, et sur 5 fréquences probables, de plus affectées du Doppler.

Les logiciels :

Il existe peu de logiciels capables de décoder ces signaux, et MULTIPSK de F6CTE paraît le plus approprié. J'en profite pour remercier F6CTE qui a bien voulu ajouter les modes EPIRB et ARGOS à MPSK, et par la suite l'adapter aux clés SDR RTL ou autres, avec une fonction AFC.

Les décodeurs « home made » devraient également convenir. A voir s'ils affichent toutes les données reçues.

Un logiciel de poursuite de satellites est indispensable, avec mise à jour des TLE. (inclu à MPSK) avec projection de la zone de réception.

Les antennes :

Partie importante du système, puisqu'elles doivent détecter des signaux extrêmement faibles.

L'idéal serait de disposer d'une parabole, la plus grande possible, et orientable en site (160 à 180°), et azimut (360°), ou mieux : pilotée par le logiciel de poursuite des satellites.

La tête HF sera simplement constituée de 3 spires de fil rigide, bobinées à droite (la parabole inverse la polarisation), sur un diamètre de 58mm, placés devant un réflecteur de 200 mm de diamètre.

<http://www.uhf-satcom.com/lband/sarsat/>

Un préamplificateur est indispensable, placé au plus près de ces spires. Un préampli de ligne TV SAT, donne aussi de bons résultats, mais il existe des préamplis à grand gain et faible bruit, nettement plus indiqués (voir ce qui se rapporte à la bande 1 296 MHz du Service Amateur). Actuellement un préampli performant est commercialisé par NOELEC, et présente l'avantage de couvrir la gamme INMARSAT 1 500 – 1 580 MHz, et dispose de filtres de bande adaptés.

Une autre solution moins performante (en fonction de l'usage que l'on veut en faire), est d'utiliser/modifier les antennes GPS de certaines radiosondes météorologiques.

Le GPS fonctionnant sur 1 575,425 MHz, il suffit d'ôter le filtre d'entrée situé juste entre l'antenne et le préampli, pour couvrir la bande SARSAT et au delà.

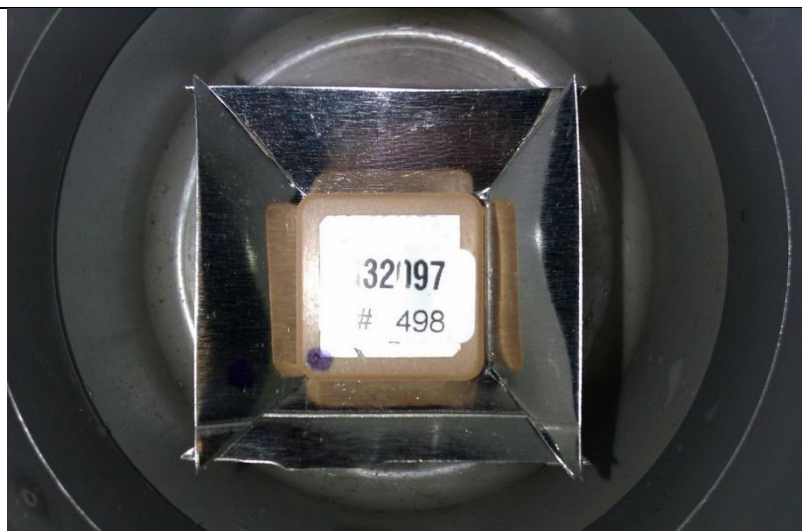
Des essais ont été effectués avec des antennes QFH de radiosondes SGP92, sans grand succès, car ce type d'antenne (RHCP) fonctionne sans plan de sol, et placée devant une parabole ou un réflecteur, ne voit pas sa polarisation inversée. Une antenne a été démontée puis bobinée en LHCP. Utilisée telle quelle elle améliore le niveau des signaux, et permet quelques réceptions. L'utilisation du préampli de ces sondes SGP92 est assez délicate, car le fait d'ôter le filtre 1 575 MHz, le rend très sensible aux auto-oscillations difficiles à maîtriser.



LHCP

RHCP

Un autre essai a consisté à récupérer l'antenne patch d'une radiosonde DFM 06. Une seule soudure à enlever ! et le patch a décoller minutieusement. (le filtre GPS n'est pas intégré au patch). Ce patch carré de 15mm de côté, dispose de son plan de sol, et monté devant un préamplificateur donne de très bons résultats, pour les INMARSAT RHCP. Placé devant un réflecteur parabolique, et installé horizontalement à 1 m du sol, il permet de recevoir en omnidirectionnel, toute la bande SARSAT LHCP.



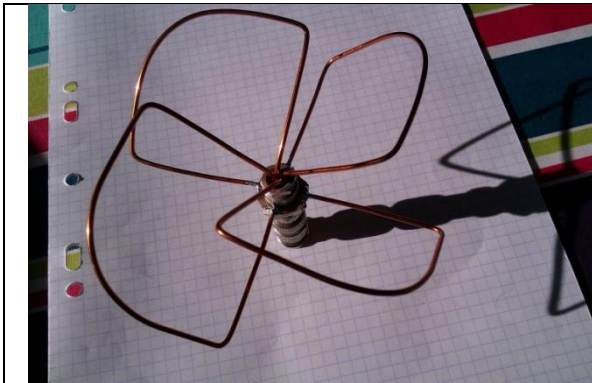
Un cornet a été réalisé, sans que son efficacité ne soit encore prouvée !

Le patch est placé devant une parabole installée horizontalement à 1 m du sol. Il permet de recevoir en omnidirectionnel, toute la bande SARSAT en polarisation LHCP. L'environnement est relativement dégagé de tout obstacle.

L'acquisition et la perte des satellites LEO est conforme aux prévisions faites par les logiciels de poursuite (ORBITRON et MPSK sont utilisés).



Faute de mieux, c'est une offset de 60 cm de diamètre qui est utilisée.



L'antenne Skew Planar Wheel Antenna (4 lobes), réalisée en LHCP donne également de bons résultats, mais avec une perte de signal lorsque le satellite est à la verticale de l'antenne ; ce qui n'est pas particulièrement un handicap, vu la vitesse de déplacement des satellites.

<https://oscarliang.com/make-diy-cloverleaf-antenna/>

COMMENTAIRES TECHNIQUES :

Il est assez facile de recevoir la porteuse 1 544,5 MHz des LEOSAR, mais il n'est pas évident de décoder les émissions furtives des satellites SAR quelqu'ils soient. En cause la faiblesse des signaux, affectés de l'effet Doppler. Il est beaucoup plus simple de démoduler les émissions illégales des MEOSAR !

L'antenne la plus performante est donc la parabole, et son système de poursuite. Ensuite vient l'antenne omnidirectionnelle qui permet avec un récepteur panoramique, de visualiser l'activité de la bande. Par contre, elle ne permet que le décodage des signaux d'un LEOSAR se trouvant dans un rayon de 1500 à 2000 à km autour de son lieu d'implantation, c'est-à-dire là où l'intensité des signaux est la plus importante.

Que l'antenne soit directive ou omnidirectionnelle, un préamplificateur est absolument indispensable.

Le récepteur aussi performant soit-il, devra permettre de visualiser l'activité de la bande ou portion de bande active, afin de repérer manuellement (à l'aide de la souris sur un logiciel SDR) les sources d'émissions furtives, et ainsi les diriger vers le logiciel de réception. C'est assez « sportif », car ces signaux bougent sans cesse vu le doppler, et qu'au sein de la bande de fréquences étudiée, peuvent se trouver d'une façon aléatoire les retransmissions des 5 fréquences affectées aux balises. Il est beaucoup plus aisé d'intercepter les signaux d'une détresse réelle, car ils sont émis/relayés sur une seule fréquence à intervalles réguliers (et affectés du doppler). En temps normal il s'agit de signaux de tests émis par les balises, ou de balises de tests, ainsi que ceux des 6 balises orbitographiques implantées dans le monde, servant à étalonner les orbites des satellites LEO. Une de ces balises est située dans les Pyrénées. On trouve également quelques signaux non identifiés.

Message fréquemment reçu de la balise orbitographique française :

UIN (?): 9C634E2AB509240 détecté le 03/02/18 17:32:33 UTC

Type de message: détresse / long

Protocole: utilisateur

Enregistré en: France (MID=227)

Protocole d'orbitographie

Données orbitographiques: 34E2AB509240 (110100111000101010101010100001001001001000000)

UIN (?): 9C62BE29630F1D0 détecté le 03/02/18 17:34:09 UTC

Type de message: détresse / long

Protocole: utilisateur

Enregistré en: France (MID=227)

Protocole d'orbitographie

Données orbitographiques: 2BE29630F1D0 (1010111110001010010110001100001111000111010000)

Données de position fournies par: appareil de navigation externe

Position (+/- 2'): 114°52'N 030°48'E (114.8667°N 30.8000°E)

<17:34:10>

Nota : la position reçue est assurément volontairement erronée !

A noter que l'interprétation de ces brefs signaux n'est possible qu'à partir du moment où les limites des bandes latérales du satellite étudié, sont nettement marquées sur l'analyse de spectre.

AFFICHAGE DU SPECTRE

Il est possible d'équiper un récepteur couvrant la bande L, ou du moins la bande 1 544-1 545 MHz, d'un adaptateur panoramique : il suffit qu'il dispose d'une sortie FI, le plus souvent à 10,7 MHz, et 1 MHz de largeur de bande minimum. Ce signal sera dirigé sur un analyseur de spectre, ou plus simplement sur un étage changeur de fréquence qui n'est autre qu'un simple convertisseur HF pour clé SDR RTL : entrée antenne 10,7 MHz, et sortie sur une fréquence à choisir dans la gamme couverte par le récepteur (clé) SDR. Ex : entrée antenne 10,7 MHz, OL 50 MHz, sortie SDR 50+10,7=60,7 MHz. Cette dernière fréquence affichée par la clé SDR, correspond à la fréquence affichée par le récepteur, soit 1 544,5 MHz, c'est-à-dire la fréquence centrale de la bande SRSAT.

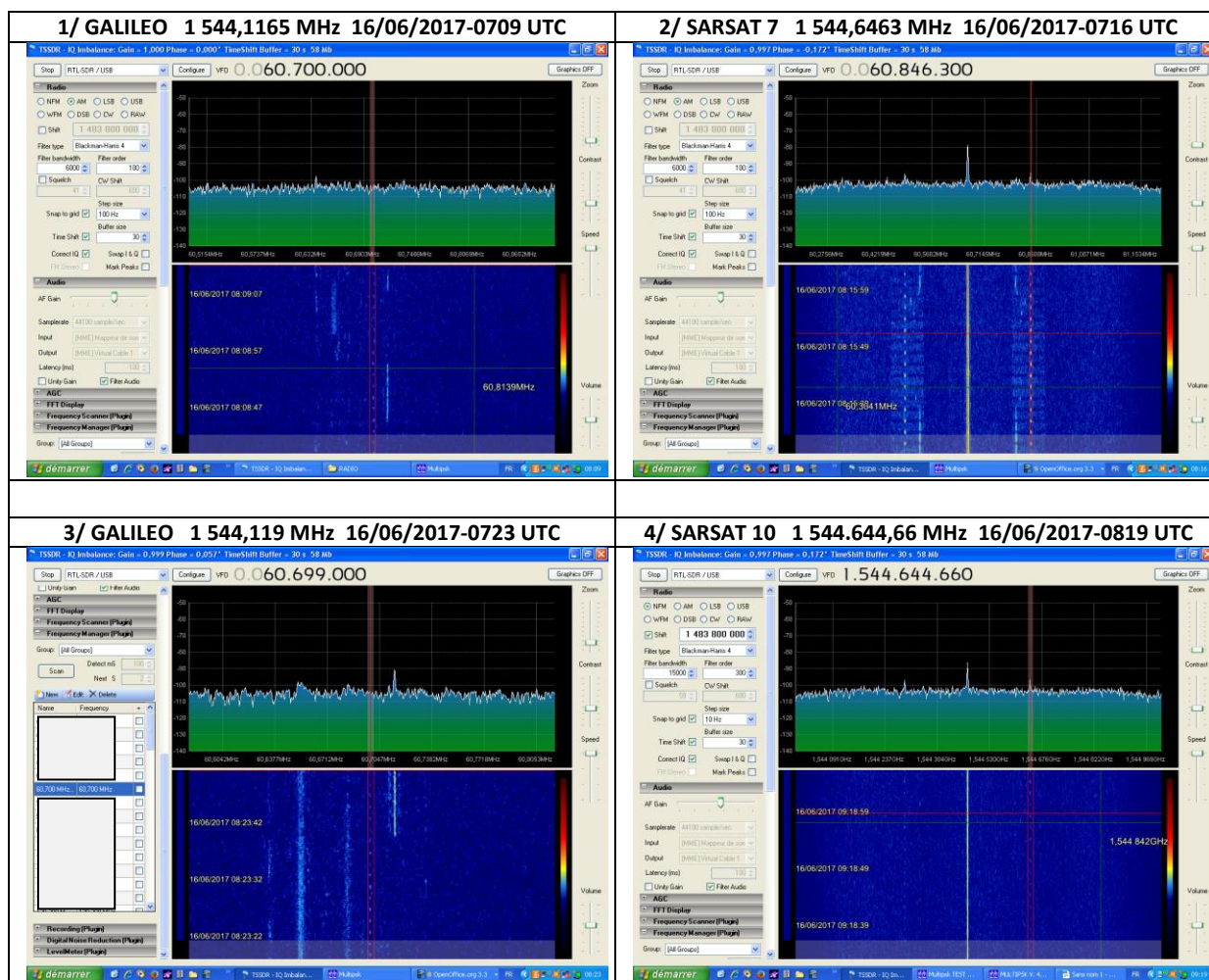
Enfin, pour faciliter la poursuite en fréquence du satellite, et si ce récepteur dispose d'un Contrôle Automatique de Fréquences, il est possible de partager sa sortie FI 10,7 MHz, avec un récepteur HF/FMN ou sortie DATA, calé sur 10,87 MHz (10.7+0.170). Le récepteur principal se verrouille sur la porteuse 1 544,5 MHz du satellite, et le récepteur HF permet de balayer manuellement les 80 kHz centrés sur 10,87 MHz. Dans ce cas c'est ce récepteur annexe qui permet, par sa sortie FI de visualiser ces 80 kHz. Cette solution permet de se concentrer uniquement sur les 80 kHz relayant la bande 406 MHz.

Si ce récepteur ne dispose pas d'un CAF, mais d'une possibilité de scanning, ce qui est le cas le plus fréquent, il suffit alors d'enregistrer en fréquence de départ balayage 1 544,54 MHz, et en fin de balayage 1 544,48 MHz, et choisir le mode CW ou BLU de façon à le rendre sensible à la présence d'une faible porteuse. Le balayage sera programmé dans le sens dégressif : en effet l'acquisition des satellites LEO s'effectue toujours à partir de la fréquence la plus haute.

Cette dernière solution est aussi valable pour les MEOSAR : à condition de programmer les fréquences limites des segments MEOSAR, soit 100 kHz à balayer.

Afin de diminuer les pertes à la réception, il conviendrait d'utiliser un convertisseur de fréquence (abaisseur) directement à la sortie antenne, et de véhiculer le signal converti, en bande VHF, via un câble coaxial sur un récepteur VHF. (Ex : modification d'un convertisseur de réception bande AMAT de 1 296 MHz à 1 544,5 MHz).

RECEPTION D'UNE DETRESSE REELLE :



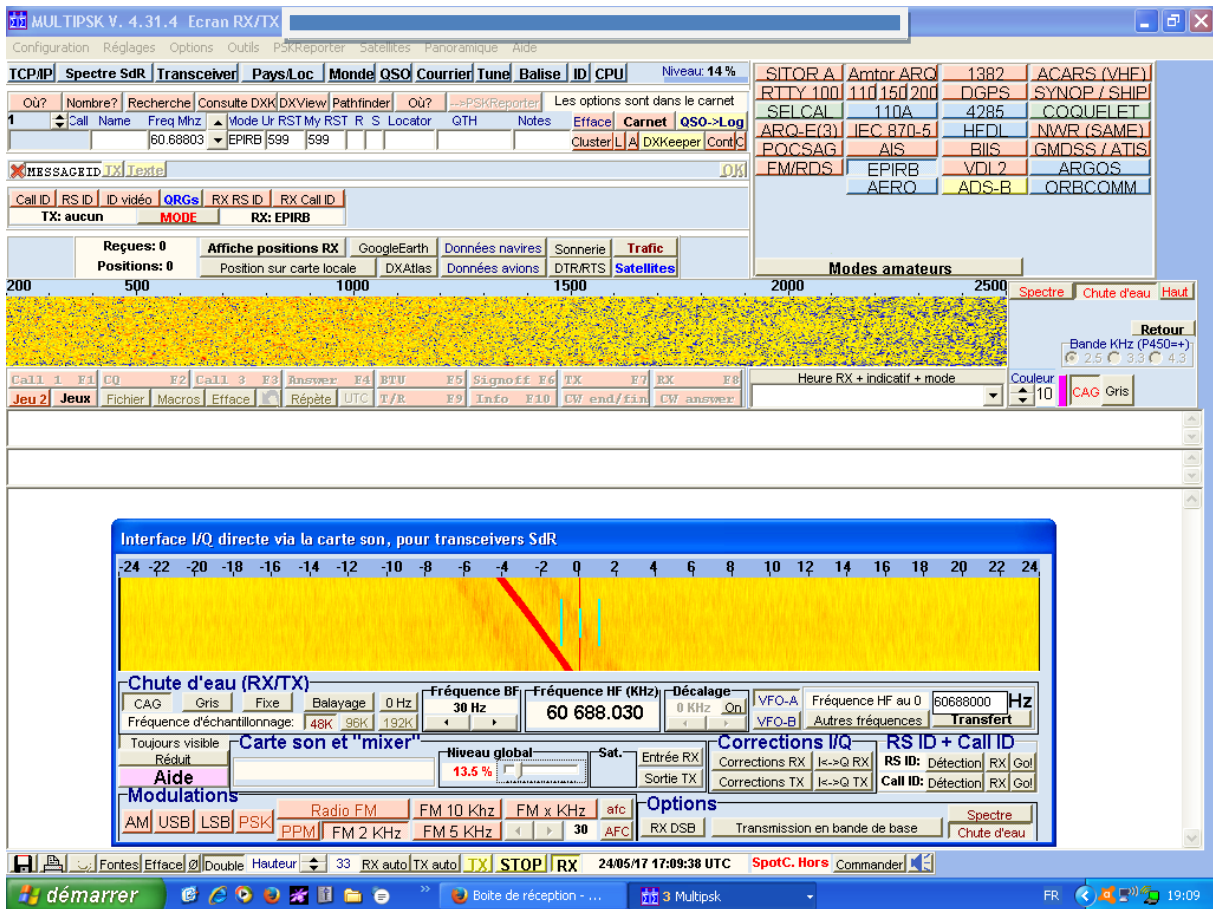
- 1/ Le 16/062017 à 0709 UTC sur 1 544,1165 MHz en provenance d'un satellite. MEOSAR GALILEO, sont reçus des bursts d'une balise de détresse, facilement reconnaissable, entre les deux traits rouge au centre de la copie d'écran. La clé SDR sur la sortie FI du récepteur à 10.7 MHz est calée sur 60,7 MHz. Le décodage n'était pas possible vu la faiblesse des signaux, et de plus dans la précipitation le mode de réception est resté en AM ! Les autres raies verticales correspondent à des émissions en phonie illégales, analogique et numérique.
- 2/ A 0715 UTC, le satellite LEOSAR SARSAT 7 relaye sur la fréquence 1 544,6463 MHz les bursts d'une balise. Le décodage aurait pu être possible si le mode de réception était commuté en FMN ! On distingue nettement les deux bandes latérales de 80 kHz de large de part et d'autre de la porteuse 2.4 kbps sur 1 544,5 MHz.
- 3/ A 0723 UTC, un satellite MEOSAR GALILEO relaye à son tour, sur la fréquence 1 544,1 MHz les bursts d'une balise de détresse. Sur la copie d'écran on distingue d'autres bursts et des traces d'autres signaux ...
- 4/ A 0818 UTC, des signaux sont toujours reçus sur 1 544,64466 MHz du LEO SARSAT 10. On distingue nettement la porteuse modulée à 1 544,5 MHz, mais les signaux sont trop faibles, et on ne dicerne plus les deux bandes latérales. Le décodage n'est plus possible.

Quelques jours plus tard, dans la presse on pouvait lire :

L'armée canadienne a lancé vendredi une mission de sauvetage pour venir en aide à plusieurs voiliers en détresse au milieu de l'Atlantique. Trois balises de détresse (EPIRB) ont été déclenchées. Ces bateaux participent tous à l'Ostar (en solitaire) ou à la Twostar (en double) entre Plymouth (GBR) et Newport (USA), courses organisées par le Royal Western Yacht Club. Sur zone, les concurrents ont essuyé des vents de 50 à 70 noeuds et des creux de 10 à 15 mètres. L'un des concurrent a été secouré(u ?) par le Queen Mary...© LeTélégramme <http://www.letelegramme.fr/voile/en-images/ostar-twostar-50-a-70-noeuds-plusieurs-concurrents-en-detresse-10-06-2017-11549691.php#TbpB1JRKJbTModjE.99>

CONSTATS :

- Bien que le système fonctionne en permanence, il existe de grandes périodes de silences radioélectriques....
- Un passage de LEO dure approximativement 13 mn, mais seulement 8mn en moyenne sont exploitables avec une antenne omnidirectionnelle.
- La fréquence d'acquisition de la porteuse 1 544,5 MHz affectée du doppler, correspond à environ 1 544,54 MHz , et la perte du signal se fait aux environs de 1 544,48 MHz, soit un glissement en fréquence de 375 kHz sur 13 mn .
- Le niveau des signaux varie en permanence (propagation, rotation des satellites ?, ou lobes de l'antenne de réception ? etc...).
- Certains passages de LEO offrent de meilleurs signaux que d'autres (propagation ou antenne d'émission des satellites en partie cachée par rapport à l'antenne de réception ?).



Réception du signal 1 544,5 MHz de NOAA 15, depuis la FI 10,7 MHz du récepteur, et converti sur 60,7 MHz pour être compatible avec la clé SDR RTL, pilotée par le logiciel MULTIPSK V.431.4. On distingue nettement la porteuse affectée de l'effet doppler.

73, et bonnes écoutes
F6ACU+

REFERENCES :

- <https://www.cospas-sarsat.int/fr>
- https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2258-2012-PDF-F.pdf
- <http://www.sarsat.noaa.gov/index.html>
- <http://www.uhf-satcom.com/lband/sarsat/>
- <http://www.f1lv.com/>