

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 en anglais) 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) en bande L : 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, brouillages divers... 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.

Les fréquences BF fondamentales sont 400 et 800 Hz.

Puissance HF : 5W, en polarisation RHCP ou Linéaire. Les fréquences affectées sont actuellement réparties en 19 canaux, de A à S, au pas de 3 kHz, entre 406 et 406,100 MHz.

La fréquence 406,022 MHz est attribuée aux balises orbitographiques, et de références.

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

<https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T012-FEB-2018.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 : 1 544,5 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 : GPS GLONASS etc.

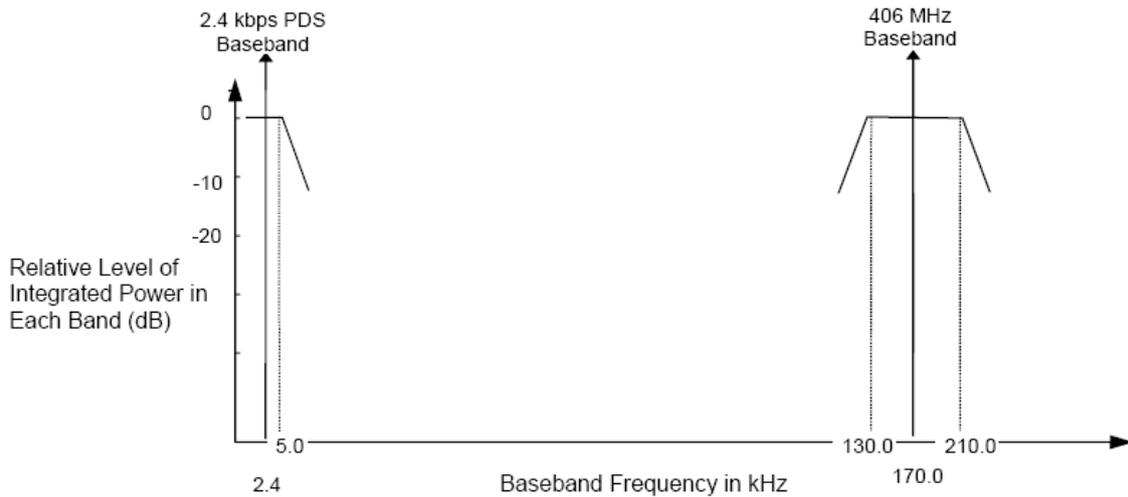
SIGNAUX LEOSAR :

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 (Bandes des 137 MHz et 1 600/1 700 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 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

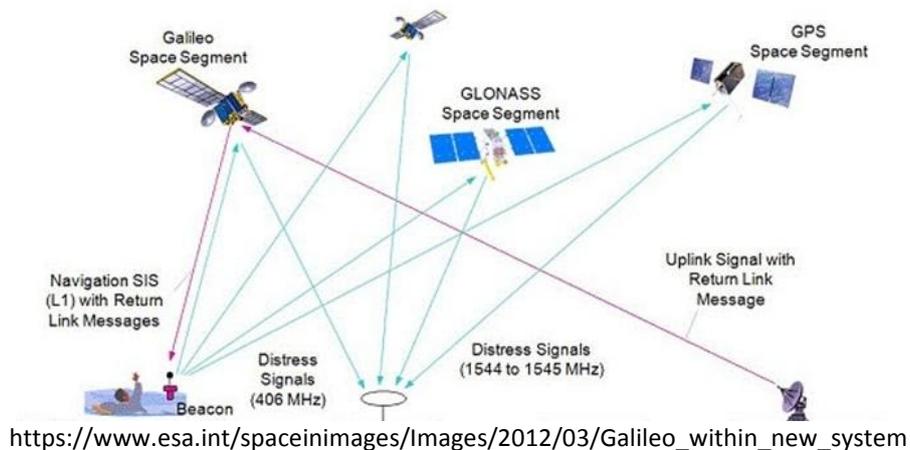
Page 27 figure 3-8 Document CS-T003-DEC-2016

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 aux signaux continus 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, et de spectre inversé.

SIGNAUX MEOSAR :

Les signaux MEOSAR sont retransmis par différents satellites de radionavigation à orbites moyennes (Galileo, GPS, GLONASS 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 et DMR parfaitement audibles, 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.



SIGNAUX GEOSAR :

Bien que la réception des satellites géostationnaires semble la plus simple, je constate que depuis plusieurs années de recherches je n'en ai décelé aucun !...Peut être à cause de l'antenne de réception qui est en LHCP. 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 : (Logiciel MUTIPSK)

SARSAT 10 – 1 544,500 MHz +/- Doppler

<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

GALILEO 18 – 1 544,0933 MHz

<10:13:54> <RX> 16/01/19 10:13:54 UTC - EPIRB (MPSK V.4.36) [BF=1000 Hz]
Balise de position sans UIN détecté le 16/01/19 10:24:52 UTC
Type de message: autotest / long
Protocole: localisation
Enregistré en: Emirats Arabes Unis (MID=470)
Protocole de test de localisation national (1111)
Numéro de série: 17476
Données de position fournies par: appareil de navigation externe
Appareil auxiliaire de radio-localisation 121,5 MHz: non
Position (+/- 2''): 24°25'48"N 54°26'44"E (24.4300°N 54.4456°E)
Données complémentaires: 21 (010101)
<10:24:52>

GALILEO 14 – 1 544,0722 MHz

UIN (?): 9B62197CA703500 détecté le 16/01/19 15:23:21 UTC
Type de message: détresse / court
Protocole: utilisateur
Enregistré en: Danemark (MID=219)
Protocole d'orbitographie
Données orbitographiques: 2197CA703500 (1000011001011111001010011100000011010100000000)
Balise activée manuellement
Pas de champ de données non-protégé

UIN (?): A79EEE26E32E1D0 détecté le 16/01/19 15:23:54 UTC
Type de message: détresse / court
Protocole: utilisateur
Enregistré en: Canada (MID=316)
Protocole utilisateur de test
Données de test: 2EE26E32E1D0 (1011101110001001101110001100101110000111010000)
Balise activée manuellement
Pas de champ de données non-protégé

GLONASS K-2– 1 544,8843 MHz

UIN (?): 9A22BE29630F010 détecté le 20/01/19 13:42:33 UTC
Type de message: détresse / long
Protocole: utilisateur
Enregistré en: Chypre (MID=209)
Protocole d'orbitographie
Données orbitographiques: 2BE29630F010 (1010111110001010010110001100001111000000010000)

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 Discriminateur pour le décodage des signaux numériques, posséder des filtres FI commutables (dont un 1 000 Hz), un AFC/CAF, et une analyse spectrale interne ou externe.

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

Il est pratiquement illusoire d'espérer décoder les bursts sans pouvoir les visualiser, vu qu'ils sont aléatoires, d'intensité variable, sur 5 fréquences minimum probables, et 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. (inclus à MPSK pour les LEOSAR) et projection du cône de réception.

L'antenne :

Partie très importante du système, puisqu'elle doit détecter des signaux extrêmement faibles, en provenance d'horizons différents.

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

La tête HF est simplement constituée de 3 spires de fil rigide, bobinés à droite (la parabole inverse le sens de la polarisation), sur un diamètre de 58mm, placées 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 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. Il dispose de filtres de bande adaptés, et d'un coût raisonnable.

De multiples essais ont été effectués en vue de trouver un système d'antenne omnidirectionnelle afin d'éviter la gestion de la poursuite des satellites, et permettre de se concentrer uniquement sur la recherche des émissions situées entre 1 544 -1 545 MHz. Ce système devant offrir en plus, la possibilité de visualiser l'activité sur la bande, en vue de déceler la présence des différents satellites LEO, MEO, GEO, grâce à l'analyse de spectre. Fonction que ne permet pas l'antenne directive, puisqu'elle ne favorise qu'une direction. Ne pas oublier qu'il ne s'agit dans ces essais, absolument pas de performances à grandes distances. (Environ +2000 km quand même autour du site de réception).

L'idée première consistait à utiliser une antenne QFH/GPS de récupération sur une radiosonde SGP92, et à en inverser le sens de rotation. Le GPS fonctionnant sur 1 575,425 MHz en RHCP, il suffit d'ôter le filtre de bande pour couvrir la bande 1 544 -1 545 MHz. De plus cette antenne est munie d'un préamplificateur performant. Les résultats étaient bons mais sans plus. Les conclusions étaient pratiquement les mêmes avec une antenne Wheel Antenna (4 lopes).

A noter qu'une antenne QFH/GPS, d'origine radiosonde, et donc en RHCP, placée devant un réflecteur parabolique, ne voit pas sa polarisation inversée, contrairement à une antenne hélicoïdale.

La seconde idée a consisté à utiliser une antenne patch GPS de radiosonde DFM06, également sans filtre. Une seule soudure à enlever, et le patch à décoller minutieusement !. (Le filtre GPS n'est pas intégré au patch). Ce patch, carré de 18 mm de côté, dispose de son plan de sol, et, monté devant un préamplificateur donne de bons résultats, pour la réception des satellites INMARSAT en polarisation RHCP.

UIN (?): 9C9D0AAA21D0037 détecté le 05/04/18 17:06:14 UTC

Type de message: autotest / long

Protocole: utilisateur

Enregistré en: France (MID=228)

Protocole utilisateur de test

Données de test: 10AAA21D0037 (010000101010101010001000011101000000000110111)

Données de position fournies par: appareil de navigation interne

Position (+/- 2'): 43°36'N 001°28'E (43.6000°N 1.4667°E)

Les paraboles selon 6ACU ! :

A la suite de ce dernier essai fort encourageant quant aux résultats, j'ai testé ce procédé devant une parabole de 90cm, orientable, et j'ai pu constater que l'ensemble fonctionnait aussi bien, si ce n'est un peu mieux que l'antenne hélicoïdale à 3 spires en LHCP. Au cours de cet essai, et en suivant un LEOSAR, il est arrivé un moment où la parabole visait le zénith, et donc se trouvait en position horizontale. Alors sont apparus sur l'analyseur de spectre d'autres satellites en bas de bande, correspondant à la gamme des MEOSAR GALILEO. L'antenne devenant omnidirectionnelle !

J'ai donc repris l'idée première qui consistait en cas de réussite, à coupler 4 antennes QFH afin d'augmenter le gain global du système antennaire, et par conséquent le niveau des signaux reçus. Ce sont donc 4 patchs GPS de provenance radiosondes DFM06, qui ont été placés arbitrairement à 40 cm d'une parabole 60 cm. Le niveau des signaux a pratiquement doublé, rendant la réception et le décodage nettement plus faciles. Les MEOSAR sont aussi mieux reçus. Des réglages plus fins sur la parabole restent à effectuer aux beaux jours !.

Un nouveau test a été réalisé avec une parabole « prime focus » de 1,84 m de diamètre, simplement posée directement à même le sol. La même tête 4 patchs que précédemment a été utilisée. Les résultats ne se sont pas fait attendre : des signaux conséquents et parfaitement décodables sur les MEOSAR GALILEO, et LEOSAR. Mais à l'usage, il est apparu que l'importante directivité de cette parabole, limitait la zone de réception.

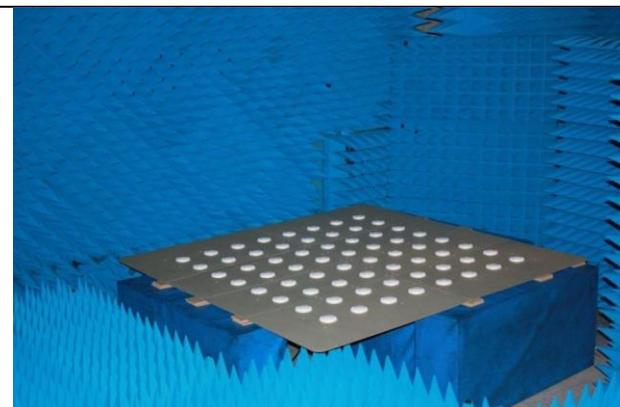
NOTA :

Il serait préférable d'utiliser des antennes prime-focus, mais il est plus aisé de trouver des paraboles offset...

Le patch, carré en céramique de 18 mm de côté, illumine une parabole de 60 cm de diamètre, placée horizontalement à 1 m du sol. Il permet de visualiser l'activité sur toute la bande SARSAT en polarisation LHCP, sur 360°. L'environnement est relativement dégagé de tout obstacle. L'acquisition et la perte des satellites LEO sont conformes aux cônes de réception calculés par les logiciels de poursuite (ORBITRON et MPSK sont utilisés). Une hélice de 3 spires donne sensiblement les mêmes résultats qu'un seul patch, mais est moins sélective vis-à-vis de la RHCP.



Faute de mieux, une « offset TV » de 60 cm de diamètre est utilisée.



Antenne professionnelle de réception MEOSAR, composée de 64 patchs :

<https://www.thalesgroup.com/fr/worldwide/espace/magazine/meolut-next-une-nouvelle-approche-de-search-and-rescue-par-satellite>

<https://www.thalesgroup.com/fr/monde/espace/news/meolut-next-confirme-en-2017-un-niveau-de-performance-sans-equivalent>

<https://www.thalesgroup.com/fr/monde/espace/news/meolut-next-passe-avec-succes-les-tests-cospas-sarsat>



Parabole prime-focus :

Diamètre 1,84 m, profondeur 25 cm, et la tête se trouve pour essai à 80 cm à la verticale du centre.

Un test supplémentaire a donc été mené avec une parabole offset TV de dimensions intermédiaires : 95 cm. Le gain est évidemment moins important, mais la zone de réception s'est agrandie. C'est cette version, moins encombrante qui sera désormais utilisée, à même le sol.



Parabole offset :

Dimensions 86 x 95 cm, profondeur 8,5 cm, et la tête se trouve pour essai à 40 cm à la verticale du centre approximatif. Un ajustement sera nécessaire.

Il est fortement recommandé de pratiquer un trou d'évacuation des eaux de pluie, ou de fonte des neiges, au centre du réflecteur.

La photo ci-contre donne une idée, pour déterminer simplement le centre géométrique du réflecteur, en vue de l'évacuation des eaux.

A propos des patchs GPS :

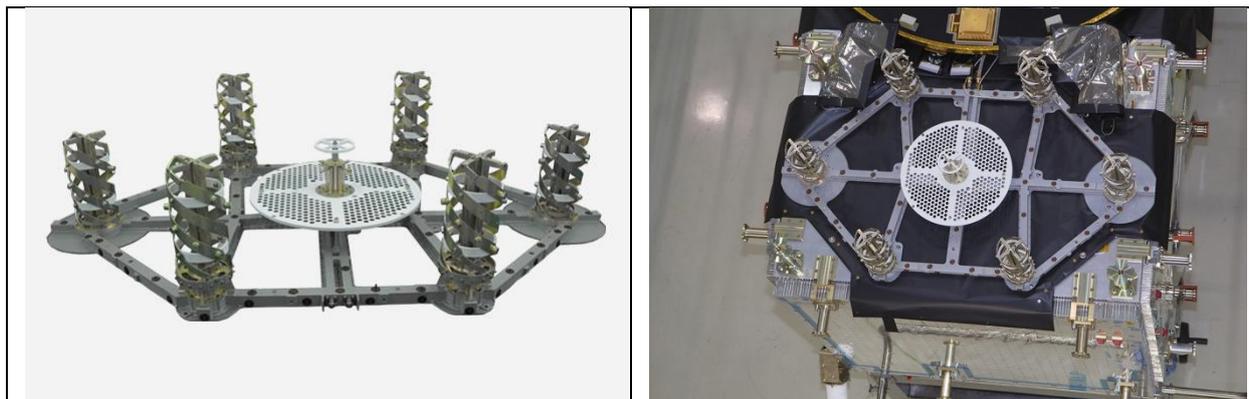
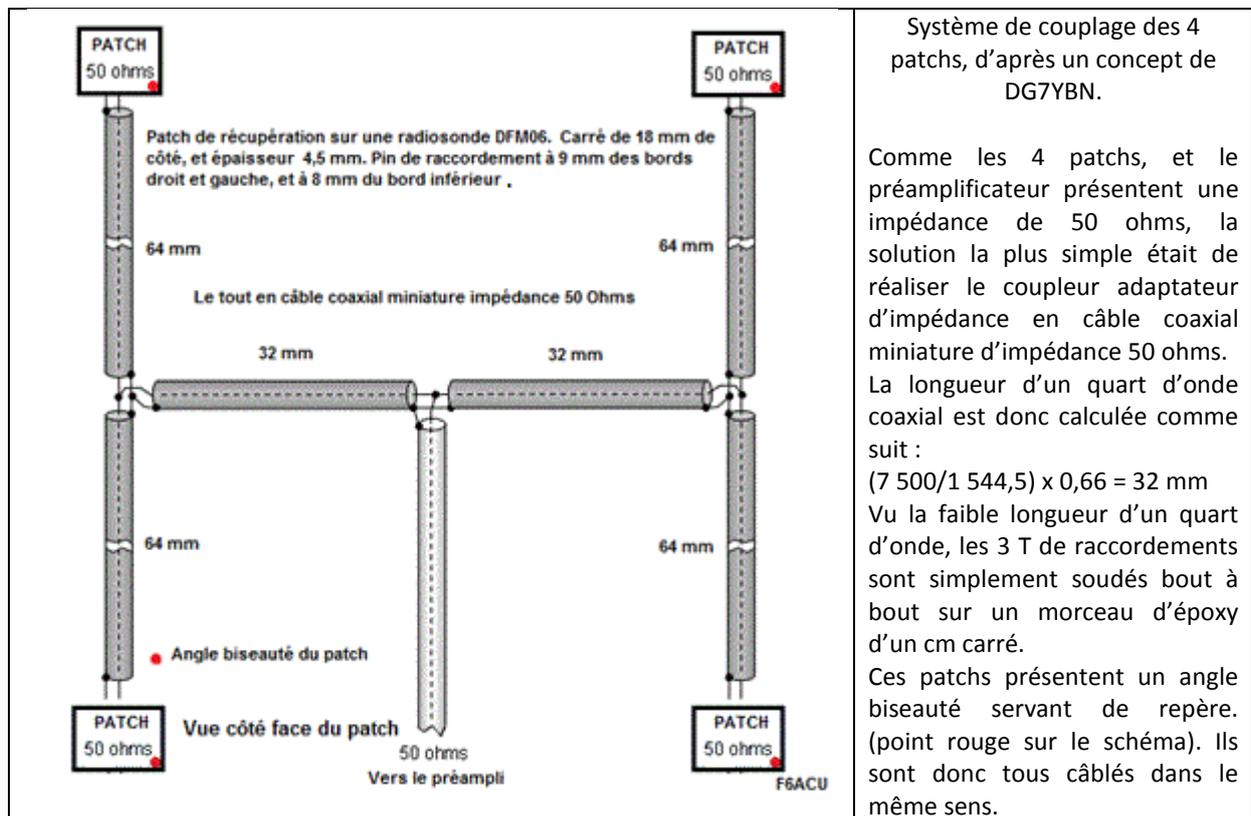
Ceux que nous trouvons sur différentes réalisations commercialisées (récepteurs GPS, radiosondes, trackers etc...) sont constitués de deux surfaces métalliques carrées de 18 ou 25 mm de côté, superposées, et séparées par une dalle en céramique d'environ 4 mm d'épaisseur et de dimensions sensiblement plus grandes que ces carrés. Une de ces surfaces est le côté actif de l'antenne, et l'autre le plan de masse. La « pin centrale » (plutôt excentrée), est soudée sur la surface active. Elle traverse la céramique ainsi que le plan de masse, tout en étant électriquement isolée. L'âme du câble coaxial de raccordement est soudée sur la pin, et la tresse est soudée sur le plan de masse.

C'est du moins de cette façon simplifiée qu'elles sont utilisées avec succès en réception LHCP à 1 544.500 MHz.

En observant de près la façon dont ces patchs sont montés sur les récepteurs GPS, radiosondes, trackers et autres applications, il s'avère que le plan de masse du patch est collé sur une surface métallisée légèrement plus grande et qui se trouve être la masse du circuit imprimé du montage. La colle isole électriquement la surface de masse du CI de celle du patch, et la tresse du coaxial est soudée sur la surface de masse du CI. Il y a donc couplage capacitif entre le plan de masse du patch, et celui du CI.

Ceci dans le cas d'une utilisation normale du patch GPS, donc en polarisation RHCP.

Mais cette dernière configuration ne convient absolument pas pour recevoir les satellites SARSAT, en LHCP, devant une parabole. Ils sont tout juste soupçonnés. Je n'ai pas trouvé d'explication, si ce n'est que la bande passante de ce patch se trouverait élargie lorsque la tresse de masse lui est directement connectée, et/ou que sa fréquence de résonance diminue (différence entre 1 575,425 MHz/GPS et 1 544,500 MHz/SARSAT) ?



Antenne professionnelle de réception MEOSAR :

http://www.unoosa.org/pdf/icg/2016/wgb_intersessional/wgb1.pdf

(l'idée de coupler des antennes QFH, mais en LHCP, ne serait donc pas si mauvaise !).

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 quels qu'ils soient. En cause la faiblesse des signaux, affectés de l'effet Doppler. Il est beaucoup plus simple de démoduler les émissions illégales des LEOSAR, et surtout des MEOSAR ! L'antenne la plus performante est donc la parabole, et son système de poursuite. Puis, vient l'antenne omnidirectionnelle qui permet avec un récepteur panoramique, de visualiser l'activité sur la bande. Par contre, elle ne permet que le décodage des signaux d'un LEOSAR, ou MEOSAR se trouvant dans un rayon de 2000 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 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 balises orbitographiques implantées dans le monde, servant à étalonner les orbites des satellites.

Une de ces balises est située dans les Pyrénées. On trouve également quelques signaux non identifiés, mais surtout une forte prédominance d'émissions illégales en mode FMN avec ou sans appels sélectifs, et en modes numériques dont le DMR ! Ce qui rend pratiquement inefficace la fonction « scanning » des récepteurs.

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 (1101001110001010101011010100001001001001000000)

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 !

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 : 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 SARSAT. (ou 1 544,1 MHz./ 1 544,9 MHz, fréquences centrales des bandes MEOSAR).

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 et 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 son entrée HF 10,7 MHz, de visualiser ces 80 kHz. Cette solution permet de se concentrer uniquement sur les 80 kHz relayant la bande 406 MHz.

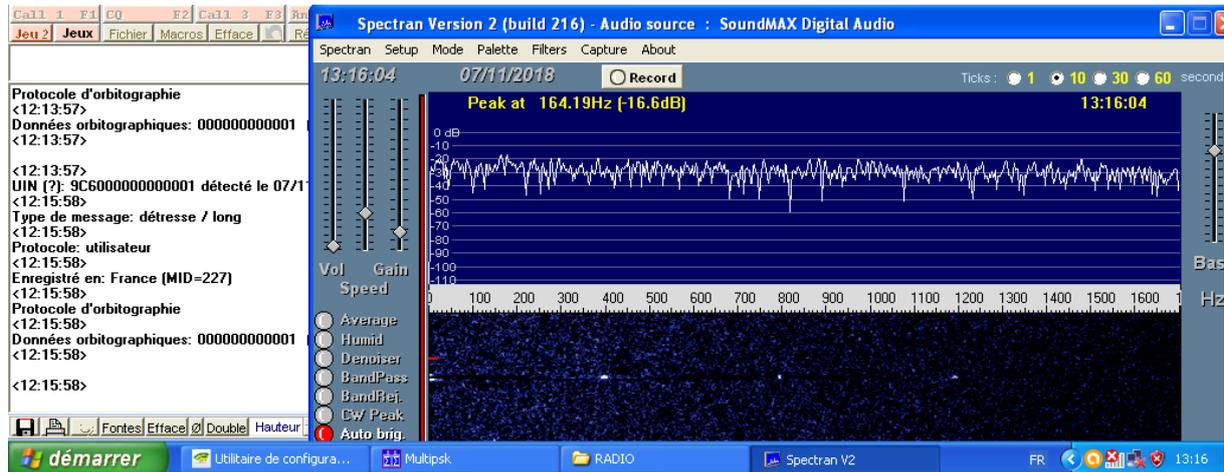
Si ce récepteur ne dispose pas d'un CAF, mais d'une possibilité de scanning, ce qui est le cas le plus fréquent, il suffit alors de programmer les fréquences de départ balayage 1 544,55 MHz, et fin de balayage 1 544,68 MHz, (qui semblent convenir pour la réception des 5 LEO), et choisir le mode CW ou BLU de façon à le rendre sensible à la présence d'une faible et brève porteuse. Le balayage (si possible CYBER SCAN), sera programmé dans le sens dégressif : en effet l'acquisition des satellites LEO s'effectue toujours à partir de la fréquence la plus haute.

Enfin, et si le récepteur principal dispose d'une prise « REMOTE » RS232 ou autre USB, il pourra être piloté directement par le logiciel de poursuite de satellites, au même titre que les rotors (El/Az). C'est de loin la meilleure des solutions, et de plus, bien plus précise. C'est le logiciel qui calcule la dérive de fréquence à appliquer au Rx (grâce aux TLE, qui nécessitent une mise à jour régulière). La mise en mémoire de la fréquence 1 544,633 MHz semble convenir pour les 5 x LEO.

Le scanning est aussi valable pour les MEOSAR : à condition de programmer les fréquences limites des segments MEOSAR, soit 100 kHz à balayer. En pratique 1 544,05 à 1 544,17 MHz suffisent, sauf qu'en pratique le scanner se bloque sans cesse sur les nombreuses porteuses des émissions/conversations en mode FMN et DMR des innombrables utilisateurs indéclicats. Ce qui en rend l'utilisation pratiquement impossible...

Afin de diminuer les pertes à la réception, il conviendrait d'utiliser un convertisseur de fréquence (abaisseur) directement à la sortie antenne 1 544,5 MHz amplifiés, et de véhiculer ce signal, en bande VHF, via un câble coaxial de bonne qualité (coax TV SAT noir), sur un récepteur VHF. (Ex : modification d'un convertisseur de réception bande AMAT de 1 296 MHz vers 1 544,5 MHz, ou METEOSAT bande 1 600 MHz).

Enfin, et en vue d'améliorer la « propreté » et le décodage des signaux BF, la carte « DérivAudio » de F1LVT : <http://www.f1lvt.com/>, devrait rendre le décodage plus aisé.



Visualisation des fréquences BF 400 et 800 Hz (et H3, vu le niveau BF), sur la réception d'un « burst », et son décodage avec le logiciel MULTIPSK sur la fréquence de 1 544,0725 MHz d'un MEOSAR/GALILEO.

<p>Gènes provoquées par les émissions non autorisées dans la bande 1 544 / 1 545 MHz :</p> <p>Extrait de l'analyse du spectre d'un MEOSAR/GALILEO relevé sur la sortie FI 10,7 MHz du récepteur, converti sur 60,7 MHz et injecté dans la clé SDR.</p> <p>Le récepteur est centré sur 1 544,078 MHz : 60,7MHz</p> <p>Au centre le spectre normal, ou presque : les « pointillés » sont les signaux des balises retransmis par le satellite. A gauche une porteuse DMR interrompue : conversation.</p> <p>A droite une conversation en FMN, et à nouveau une porteuse DMR (faible).</p> <p>Au dessus et en dessous, 2 puissantes porteuses DMR anéantissent complètement les signaux des balises.</p> <p>La couleur des raies est fonction de la force des signaux reçus.</p>	
--	--

GALILEO 11 – 1 544,0778 MHz

<08:41:10> <RX> 25/01/19 08:41:10 UTC - EPIRB (MPSK V.4.38.1) [BF=1000 Hz]

UIN: A008375C34D34D1 détecté le 25/01/19 08:41:28 UTC

Type de message: détresse / court

Protocole: utilisateur

Enregistré en: Malte (MID=256)

EPIRB - Protocole utilisateur maritime (MMSI sur 6 chiffres ou indicatif radio sur 6 caractères)

Identifiant MMSI: 917000

Numéro de balise du vaisseau: 0

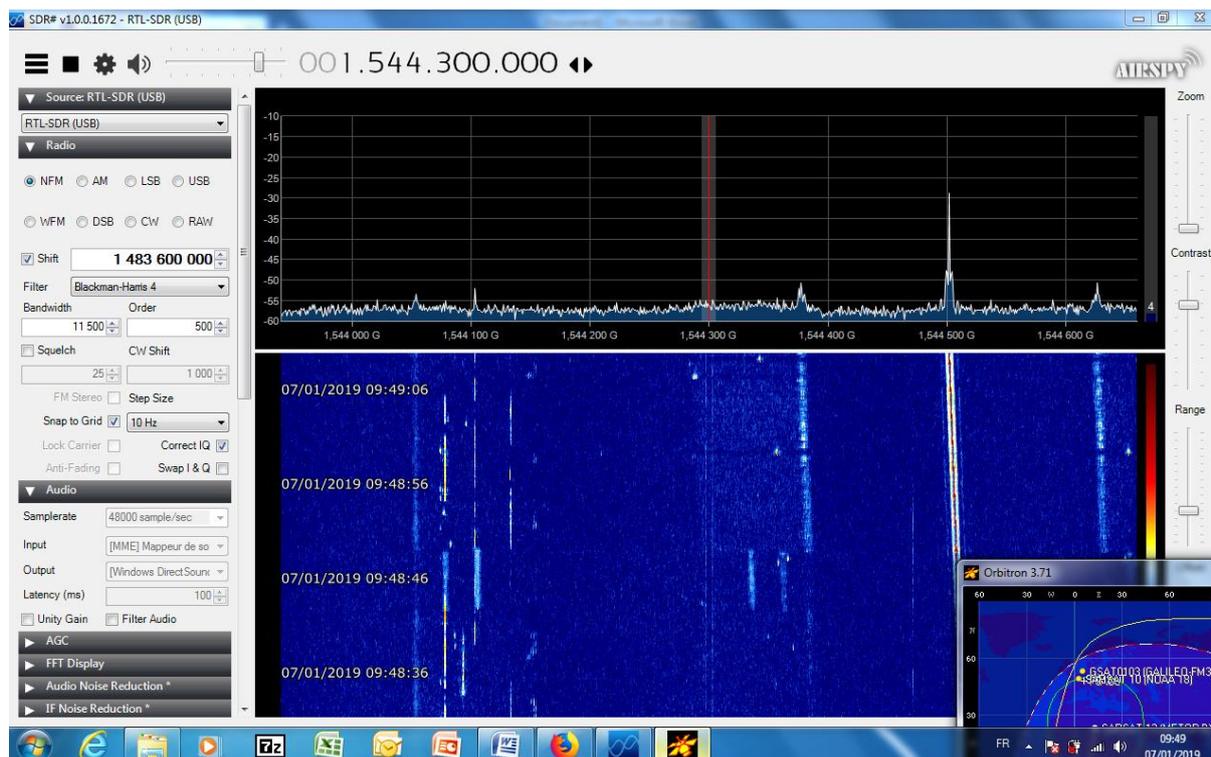
Appareil auxiliaire de radio-localisation: 121.5 MHz

Balise activée manuellement ou automatiquement

Pas de champ de données non-protégé

<08:41:28>

Réception conjointe d'un LEOSAR et d'un MEOSAR : (GALILEO) :



Ci-dessus : relevé du spectre entre 1 544,000 MHz et 1 544,600 MHz, avec 1 544,300 MHz comme fréquence centrale, le 07/01/2019 à 09H49 locales, antenne LHCP :

A gauche le satellite MEOSAR GALILEO FM03, à droite le satellite LEOSAR SARSAT 10.

En bas, à droite la position de ces satellites ;
(Zoomer pour les détails !).

On peut remarquer que GALILEO est effectivement centré sur 1 544,100 MHz, les raies verticales bleu-ciel sont des porteuses DMR en infraction, la plus à gauche est quasi permanente. Elles semblent être des relais DMR, parfaitement décodables. Les raies verticales fines et blanches correspondent à des communications également en phonie, mais en modulation de phase, tout à fait intelligibles, et également en infraction avec le Règlement des Radiocommunications.

Enfin les « pointillés » plus ou moins blancs se trouvent être les signaux « utiles », c'est à dire les pulses des balises de détresse retransmis par les satellites...

La couleur de ces signaux est liée à leur niveau de réception à bord du satellite.

L'effet doppler est pratiquement imperceptible.

Dans ces conditions il n'est pas possible d'utiliser la fonction « scanning » d'un récepteur pour explorer automatiquement la bande.

A droite, on remarque de suite la porteuse caractéristique sur 1 544,500 MHz, (affectée de l'effet doppler et modulée à + 5 kHz, par un signal à 2.4 kbps), du LEOSAR, et ses bandes latérales à plus et moins 170 kHz, et d'une largeur de 80 kHz. L'inclinaison est le reflet de l'effet doppler, fortement marqué sur les LEOSAR.

Sur ce relevé, on note que certains signaux retransmis rigoureusement au même instant par ces 2 satellites se retrouvent avec des intensités différentes : pulses et émissions radiotéléphoniques... En effet suivant leurs positions les satellites reçoivent les mêmes émetteurs « terrestres » avec des niveaux différents, ou, l'un reçoit donc retransmets, et l'autre pas.

On retrouve les mêmes éléments avec les MEOSAR GPS/GLONASS, centrés sur 1 544,900 MHz.

Ils apparaissent moins nombreux vu qu'il n'existe que 2 satellites GLONASS en LHCP, et que les GPS plus nombreux sont en RHCP.

Il arrive même que l'on puisse recevoir les mêmes émissions au même moment sur les 2 MEOSAR en extrémités de bande, et un ou deux LEOSAR autour de 1 544,500 MHz. La bande apparaît alors bien chargée...

Conditions de réception :

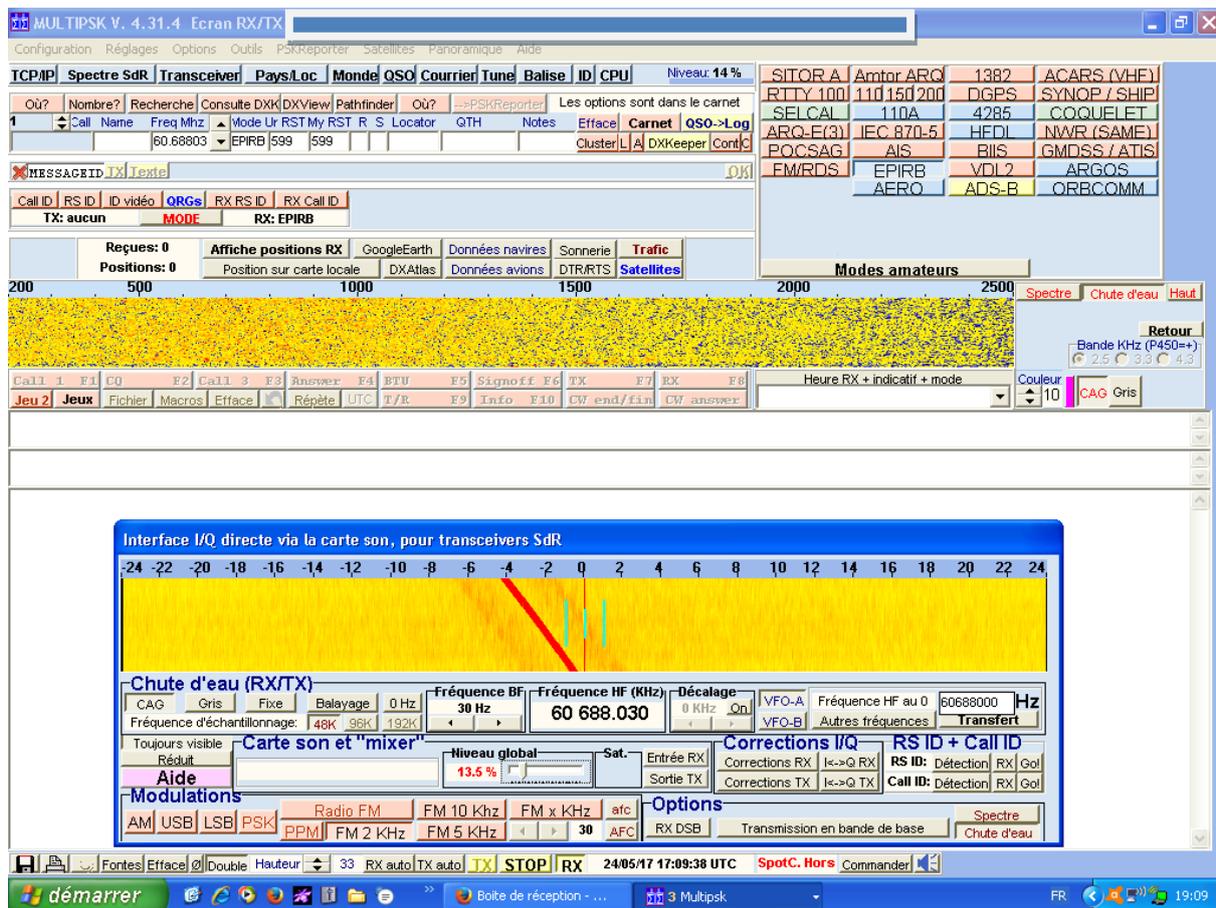
- Antenne LHCP 4 patches/GPS RHCP, coupleur, devant une parabole 95cm posée horizontalement sur le sol.
- Préamplificateur NOELEC : 1 500,000 MHz à 1 580,000 MHz
- 30 m de câble coaxial 17PATC - 75 ohms (noir)
- Récepteur AOR calé sur 1 544,300 MHz, sortie FI 10,7 MHz, filtre BF 1 kHz.
- Etage changeur de fréquence : entrée FI 10,7 MHz, mélangeur MD108, OL PDIP 50 MHz, sortie 60,7 MHz
- Clé SDR RTL SDR 2832U et R820T calée sur 60,7 MHz, Bp 0,900001MSPS.
- Logiciel MULTIPSK.
- Ciel chargé, chutes de neige.

CONSTATS :

- Bien que le système COSPAS SARSAT soit activé en permanence, il existe de longues périodes de silences radioélectriques...
- Un passage de LEOSAR dure approximativement 13 mn, mais seulement 8mn en moyenne sont exploitables avec une parabole de 60 cm.
- 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 -60 kHz sur 13 mn, avec une parabole en tracking.
- Le niveau des signaux varie en permanence (propagation, rotation des satellites ?, ou lobes de l'antenne de réception ? etc...).
- La propagation des ondes sur 1.5 GHz est fluctuante, malgré qu'il s'agisse de satellites en vue directe.
- Certains passages de LEOSAR offrent de meilleurs signaux que d'autres (propagation ou antenne d'émission des satellites en partie cachée par rapport à l'antenne de réception ?).
- Les LEOSAR se présentent de jour au Nord EST et se dirigent vers le SUD OUEST. Vers 1630 TU ils se présentent au SUD EST et montent vers le NORD OUEST.
- Un passage de MEOSAR (Galileo) dure sensiblement entre 30 mn et plus d'une heure, suivant la trajectoire du satellite par rapport à la station de réception, et tout ce temps est pratiquement exploitable avec une parabole de 95 cm de diamètre, posée à même le sol.
- La réception des MEOSAR semble la plus intéressante : Doppler extrêmement lent, donc passages plus longs et zone de couverture des satellites nettement plus importante que celle des LEOSAR, ce qui entraîne des réceptions plus aisées sur une antenne omnidirectionnelle, mais nécessite de disposer d'un couple : antenne / préampli performant. De plus l'activité est plus intense que celle des LEOSAR.
- Les MEOSAR se présentent à l'OUEST et décrivent lentement une sinusoïde axée sur l'équateur pour disparaître à l'EST.
- Pour les tests et réglages, les fréquences de 1 544,071 à 074 MHz + ou - Doppler (bande MEOSAR-GALILEO) et 1 544,884 MHz + ou Doppler (bande MEOSAR-GLONASS) sont très actives, car elles retransmettent entre autres émissions, celles de la balise orbitographique française, toutes les trente à cinquante secondes.
- Les MEOSAR GPS/GLONASS, émettent avec des polarisations différentes, et seulement deux GLONASS sont en service. L'activité LHCP en bout de bande apparaît donc moins importante.
- L'accord du récepteur sur la fréquence d'une balise à décoder est à 100 Hz près, avec un filtre à 1 kHz.

GALILEO 19 – 1 544,087 MHz

UIN: 9D064AD8A61C755 détecté le 18/01/19 14:43:15 UTC
Type de message: autotest / long
Protocole: utilisateur
Enregistré en: Royaume Uni (MID=232)
ELT - Protocole utilisateur aviation (identifiants de l'avion)
Identifiant d'enregistrement de l'avion: G-LTZY
Numéro ELT spécifique: 1
Appareil auxiliaire de radio-localisation: 121.5 MHz



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 le rendre compatible avec la clé SDR RTL, et pilotée par le logiciel MULTIPSK V.431.4. On distingue nettement la porteuse dérivante, affectée de l'effet doppler.

Il est possible de n'utiliser que la clé SDR, et le logiciel MULTIPSK. Celui-ci offrant les possibilités de corrections Doppler, poursuite des satellites LEOSAR, et scanning, et bien sur gestion de cette clé.

CONCLUSION :

Expérimentation passionnante au vu des problèmes techniques rencontrés, et aussi divers que variés, qui nécessitent quelques astuces techniques, parfois peu communes, afin de tenter de les résoudre. Il est évident qu'il ne s'agit que d'une expérience de réceptions « Amateur », et non d'une application dédiée. D'autres façons de procéder dans le domaine AMATEUR doivent exister, notamment en matière d'antennes, aussi il serait fort intéressant de pouvoir échanger avec des spécialistes de ces domaines.

REMERCIEMENTS :

A tous les Oms qui m'ont aidé par leur assistance matérielle, et sans lesquels rien n'aurait été aisément réalisable :
 DJ9VF, F6DFB, F4FKB, FOEZA, radiosondes diverses, F6BGR, F6FTI mélangeur et convertisseur spécifique, F6DPW mesures d'antennes et paraboles, F6CTE logiciel MULTIPSK et adaptations.

73, et bonnes écoutes,
 F6ACU+

REFERENCES :

<https://www.cospas-sarsat.int/fr>

https://www.cospas-sarsat.int/images/WhatsNewPics/BILAN_OPERATIONNEL_FMCC_-_2017.pdf

https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2258-2012-PDF-F.pdf

<https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T012-FEB-2018.pdf>

<https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T016-FEV-2018.pdf>

<http://www.sarsat.noaa.gov/index.html>

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

<http://www.f1lvt.com/>

<https://www.thalesgroup.com/fr/worldwide/espace/magazine/meolut-next-une-nouvelle-approche-de-search-and-rescue-par-satellite>

<https://www.thalesgroup.com/fr/monde/espace/news/meolut-next-confirme-en-2017-un-niveau-de-performance-sans-equivalent>

<https://www.thalesgroup.com/fr/monde/espace/news/meolut-next-passe-avec-succes-les-tests-cospas-sarsat>

http://www.unoosa.org/pdf/icg/2016/wgb_intersessional/wgb1.pdf