

## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION

### EME Earth-Moon-Earth désignée

en français par **radiocommunication Terre Lune** Terre est une discipline fondée sur la propagation d'ondes radios par réflexion sur la Lune utilisé entre plusieurs services de télécommunication.

Les stations radios sur la Terre doivent voir la Lune en même temps en vision pour communiquer.

### Histoire

Note des radiocommunications EME.

La technique a été développée par l'armée américaine peu après la Seconde Guerre mondiale.

Les communications EME en radiotélétype ont eu leur apogée durant une vingtaine d'années.

La première réception d'échos de la Lune a réussi le 10 janvier 1946 depuis le Fort Monmouth dans le New Jersey par John DeWitt Hibbett.

L'application a été suivie dans l'US Navy, dont des connexions en Radiotélétype entre Pearl Harbor et Washington.

Puis en 1953, la première réception réussie de signaux provenant de la Lune par les radioamateurs.

Puis dès 1963, les communications par les satellites artificiels de télécommunications ont progressivement révolutionné ce trafic.

### Technique

Les bandes radios employées sont la bande VHF,

la bande UHF et la bande SHF,

avec une puissance rayonnée de plusieurs millions de watts rayonnées en direction de la Lune obtenue par des antennes à grand gain et un émetteur radio de grande puissance de l'ordre de 500 W à 20 kW.

Ceci est dû à la faible valeur de l'albédo lunaire (environ 12 %) et à l'importance de la distance entre la Terre et la Lune (en moyenne 384 400 km).

Le signal radio nécessaires pour parcourir environ 770 000 km de la Terre à la Lune et de retourner à la Terre arrive en environ 2,5 secondes.

L'affaiblissement de propagation « *Path-loss* » est donc très important de l'ordre de plusieurs centaines de dB.

### Exemple : Bilan de liaison dans la bande 1 296 MHz

avec une puissance de 500 W

en radiotélégraphie,

une température de bruit du récepteur radio de 300 K,

une bande passante de 100 Hz

des antennes paraboliques avec 35 dB de gain à chaque extrémité,

une pour l'émission et une pour la réception radio,

le signal sera de 5 dB au-dessus du bruit.

L'affaiblissement par réflexion sur la Lune est dans cette bande 1 296 MHz par une atténuation 271 dB avec en plus un affaiblissement de propagation de l'ordre de 20 dB pour chaque traversée de nuage sur le parcours antenne d'émission - Lune - antenne de réception.

Et un affaiblissement de propagation supplémentaire de l'ordre de 12 dB en cas de pluie.



La Lune en vue directe des pays  
(sans couverture nuageuse).



Propagation par réflexion sur la Lune  
vers tous pays en vue directe de cet astre  
(sans couverture nuageuse).

## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION

**La première réception d'échos de la Lune a réussi le 10 janvier 1946 depuis le Fort Monmouth dans le New Jersey par John DeWitt Hibbett.**

Il est né le 20 Février 1906 à Nashville, Tennessee, USA.

Il affiche un intérêt précoce pour le génie électrique, la technologie radio spécifiquement.

Il est devenu un opérateur de radio amateur en 1921 et utilisé l'indicatif d'appel **N4CBC**.

En 1924, il a aidé à diriger la conception et l'installation d'un émetteur radio de 100 watts à First Baptist Church à Nashville, qui deviendra dans cette zone, la première station de radio commerciale.

### L'histoire ...

La lune était plus grande que tout objet précédemment détecté par le radar, mais elle était aussi beaucoup plus loin.

La distance moyenne de la Lune est d'environ 380.000 km de sorte que le temps d'un signal radio pour atteindre la Lune est d'environ 1 1/4 secondes et le temps pour le retour est un autre 1 1/4 secondes.

Ainsi, l'écho attendu devait arriver en arrière 2 1/2 secondes après l'impulsion ou le «bang principal» a été transmis.

Jack et son groupe ont commencé à assembler les composants de nombreux radars différents. Ils avaient calculé que seule une combinaison très spéciale d'équipement ferait le travail.

### L'équipement

L'émetteur qu'ils avaient choisi était une unité de 3 kilowatts alors que le récepteur était un type très sensible.

La longueur d'onde de 2,7 mètres, choisie était assez courte, ils ont cru pénétrer dans la couche de l'ionosphère où se trouvent des particules chargées autour de la terre au-dessus de l'atmosphère.

Pour l'antenne ils ont combiné deux antennes radar de l'armée de type SCR-270 faisant un "panneau" réseau de 64 dipôles de demi-longueur d'onde mesurant 12 par 12 mètres et montés sur une tour de 30 mètres au bord d'une falaise.

Ils ont été en proie à des troubles de l'équipement mais finalement vers midi le jeudi le 10 Janvier 1946, comme la lune se levait sur l'Atlantique ils ont détecté leur premier écho ! Ils ont entendu 2 1/2 secondes après l'impulsion transmise et il a montré comme un "bip" sur



Antennes radar de l'armée de type SCR-270

## LES DIFFERENTS PARAMETRES

### Rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit est un indicateur de la qualité de la transmission d'une information. C'est le rapport des puissances entre :  
le signal d'amplitude maximale pour laquelle la distorsion à la sortie reste inférieure à une valeur limite ;

le bruit de fond, information non significative correspondant en général au signal présent à la sortie du dispositif en l'absence d'un signal à l'entrée.

Il s'exprime généralement en décibels (dB).

La plupart du temps, l'information est transmise par un signal électrique.

L'Académie conseille les expressions *rapport signal à bruit* ou *rapport signal sur bruit* ; on utilise aussi parfois l'abréviation *SNR* du terme anglais *signal-to-noise ratio*.

Ce terme dont la définition est précise dans les domaines de l'électronique et des télécommunications s'emploie aussi par métaphore dans un contexte de communication sociale pour qualifier la concision, la pertinence, l'intérêt d'une publication, d'une conférence, etc

### Niveau maximal du signal

Le niveau maximal d'un signal est limité par les capacités techniques du dispositif utilisé. Quand ces limites sont atteintes, les signaux sont transmis avec une déformation involontaire appelée distorsion, qui croît progressivement. On définit le niveau maximal en spécifiant la distorsion maximale admissible.

### Exemple : niveau maximal d'un amplificateur audio :

On définit le niveau maximum d'un amplificateur audio de la façon suivante :

Niveau maximal mesuré sur une charge résistive de 8 Ohms : 25 V efficaces (distorsion harmonique totale < 1 %).

Ces précisions indiquent les conditions de mesure (une charge résistive). Dans un amplificateur, la valeur de la distorsion harmonique augmente progressivement à la surcharge, la valeur choisie est supérieure à celle attendue en fonctionnement normal, tout en restant suffisamment faible.

La caractérisation d'un amplificateur exige plusieurs autres valeurs, ...

On peut améliorer le rapport signal sur bruit d'un dispositif en augmentant la valeur maximale du signal.

Cependant, souvent, à partir d'un certain point les mesures prises pour augmenter la valeur maximale se répercutent aussi sur le bruit de fond du signal.

### Amélioration du rapport signal sur bruit

Les méthodes classiques pour améliorer le rapport signal à bruit sont :

optimiser les processus internes pour réduire les sources de bruit (valeurs et nombre des composants, dessin des circuits) ;

limiter la bande passante strictement à la bande utile par un filtrage électronique ou optique (selon un adage « ouvrir la fenêtre, c'est laisser entrer la poussière ») ;

Dans le cas d'un signal stocké et/ou transmis de manière analogique, on peut augmenter les signaux faibles sans toucher aux signaux forts, pour ne pas provoquer de saturation, par l'opération de compression ;

lors de la restitution, on applique l'opération inverse, l'expansion, ce qui « écrase » le bruit de fond ; c'est par exemple la méthode utilisée par le procédé Dolby NR ;

diminuer la température pour diminuer le bruit thermique ;

réduire les perturbations extérieures par blindage électromagnétique, ou tout autre procédé ;

### Bruit de fond

**Le bruit a une origine interne ou externe au dispositif :**

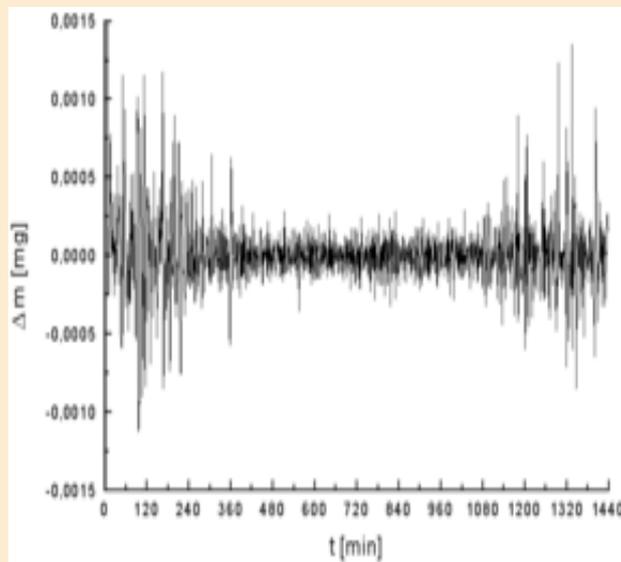
#### Les sources internes

Elles sont souvent dues à des phénomènes microscopiques aléatoires, rencontrés en particulier lors de l'amplification électronique d'un signal : bruit thermique, bruit grenaille, bruit de scintillation (« bruit flicker »), bruit en créneaux, bruit d'avalanche...

#### Les sources externes

Ce sont des perturbations existant en dehors du dispositif et qui y pénètrent soit par défaut d'isolation (voir Compatibilité électromagnétique) soit parce qu'il n'est pas possible de s'en isoler (transmission en milieu ouvert).

**Voir article sur le bruit radioélectrique dans la revue s 29**



**Enregistrement de bruit de mesure d'un appareil d'analyse thermo-gravimétrique mal isolé mécaniquement :**

**le milieu de la courbe montre une baisse du bruit due à la faible activité humaine environnante la nuit**

### Bruit de quantification dans les signaux numériques

La quantification est l'opération qui réduit le nombre de valeurs possibles pour le signal.

#### Exemples de quantification :

La conversion analogique-numérique (conversion A/D), transforme un signal analogique, avec une infinité de valeurs possibles, en une suite de nombres pris dans une collection de valeurs possibles :

avec codage linéaire en nombres entiers sur 16 bits, 65 536 valeurs possibles, régulièrement espacées (cas du disque compact) ;

avec codage Loi A sur 8 bits, 256 valeurs possibles, d'autant plus espacées qu'elles sont grandes (cas de la téléphonie fixe).

La conversion du premier cité dans le deuxième est une quantification.

## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION

### L'affaiblissement de propagation

L'affaiblissement de propagation aussi connu comme **affaiblissement de parcours** ou par son nom anglais de **path loss**, caractérise l'affaiblissement que subit une onde électromagnétique lorsqu'elle parcourt une distance.

Cet affaiblissement est dû à la dispersion de la puissance, mais également aux obstacles rencontrés sur le chemin :

édifices, montagnes, précipitations et autres bloquant, dispersant, réfléchissant ou réfractant le signal.

### Principe

Il est souvent possible de calculer cet affaiblissement de manière assez précise, mais cela suppose de connaître parfaitement la géométrie du lieu de parcours mais aussi l'état de l'atmosphère traversée, ce qui n'est généralement pas réalisable.

### L'affaiblissement peut donc être calculé en utilisant la formule:

$$P \text{ dB} = 10n \log_{10}(d) + \{ -10 \log_{10}(K) + 10b \log_{10}(f) \}$$

P = perte en Décibel

n = exposant d'affaiblissement

d = distance au transmetteur

K et b dépendent des effets comme l'absorption du milieu

f = fréquence utilisée

Le terme entre crochets pouvant être considéré dans les cas les plus simples comme une constante

### Exemple d'une liaison EME

Un signal de 1 kW (+60 dBm) fourni à une antenne de gain de +35 dB pointé vers la lune, avec une antenne de réception de gain de +35 dB pointé aussi vers Lune alimentant un préamplificateur d'antenne faible bruit.

La totalité des gains est de (60 dBm + 35 dB + 35 dB) = 130 dB.

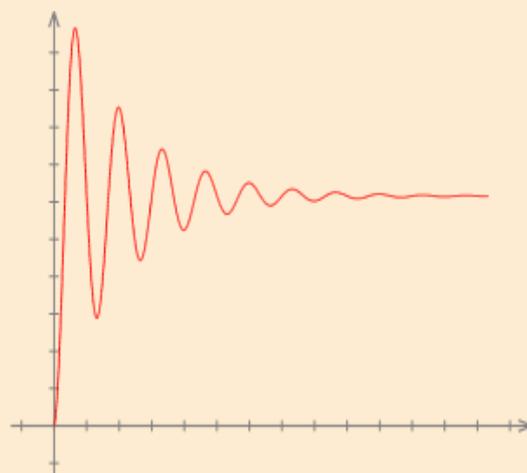
L'atténuation sur la bande 144 MHz est de 252 dB, soit (130 dB - 252 dB) = -122 dBm ;

ce signal de 1 kW (+60 dBm) arrivera :

S4 soit 0,16 μV (50 Ω), -122 dBm, -15 dBμV (50 Ω), 631 aW.

### Sur les bandes VHF/UHF/SHF,

sur les S-mètre le point S9 est réglé pour une puissance de -93 dBm, soit l'équivalent de 5 μV à l'entrée antenne du récepteur, pour une impédance de 50 Ω.



Fréquences	Atténuation en dB
Bande 50,310 à 50,320 MHz	243 dB
Bande 144,000 à 144,160 MHz	252 dB
Bande 222,000 à 222,050 MHz	257 dB
Bande 432,000 à 432,025 MHz	262 dB
Bande 1 296,000 à 1 296,025 MHz	271 dB
Bande 2 320,000 à 2 320,025 MHz	276 dB
Fréquence d'appel 10,368 GHz	289 dB
Fréquence d'appel 24,0482 GHz	306 dB

Tableau de d'affaiblissement électromagnétique par réflexion sur la Lune « EME » et en fonction des fréquences.

### Effet Doppler

L'**effet Doppler**, ou **effet Doppler-Fizeau**, désigne le décalage de fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique ou d'une autre nature) observé entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Si on désigne de façon générale ce phénomène physique sous le nom d'effet Doppler, le terme d'« effet Doppler-Fizeau » est réservé aux ondes électromagnétiques.

Cet effet fut présenté par Christian Doppler en 1842 dans l'article *Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel*, confirmé sur les sons par le chercheur néerlandais Buys Ballot (en utilisant des musiciens jouant une note calibrée sur un train de la ligne Utrecht-Amsterdam), et fut également proposé par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848.

### Exemple

*L'effet Doppler se manifeste par exemple pour les ondes sonores dans la perception de la hauteur du son d'un moteur de voiture, ou de la sirène d'un véhicule d'urgence.*

*Le son est différent selon que l'on se trouve à l'intérieur du véhicule (l'émetteur étant immobile par rapport au récepteur), ou que le véhicule se rapproche du récepteur (le son étant alors plus aigu) ou s'en éloigne (le son étant plus grave).*

*Il faut cependant remarquer que la variation de la hauteur du son dans cet exemple est due à la position de l'observateur par rapport à la trajectoire du mobile.*

*En effet, la vitesse du mobile perçue par l'observateur varie suivant l'angle formé par sa ligne de visée vers le mobile et la trajectoire de celui-ci.*

### Applications

L'effet Doppler est utilisé dans des domaines où la mesure de la vitesse de déplacement d'un milieu ou d'un mobile est requise. On peut citer les applications suivantes.

#### Astronomie

L'effet Doppler est particulièrement précieux en astronomie car il renseigne à la fois sur le mouvement des astres et sur les mouvements de matière à l'intérieur de ces astres.

L'effet Doppler permet de déterminer directement la vitesse radiale d'une étoile.

En effet en étudiant le spectre d'un astre, on constate que les raies spectrales sont décalées en longueur d'onde par rapport aux mêmes raies observées en laboratoire.

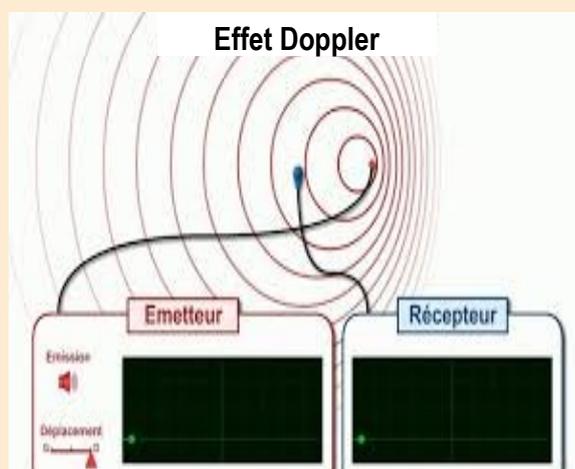
Le décalage d'une raie visible se produit soit *vers le rouge*, ce qui indique que l'étoile s'éloigne, soit *vers le bleu*, si elle se rapproche.

#### Radar

Un radar est un appareil qui émet des paquets d'ondes et écoute ensuite le retour de cible. Si ces cibles se déplacent, un effet Doppler est engendré ce qui permet d'en tirer la vitesse radiale de leur déplacement.

Le radar peut donc être adapté pour utiliser ce principe.

Radar de contrôle routier : la police et la gendarmerie utilisent des radars pour déterminer la vitesse des automobiles. Pour cela ils utilisent un radar dont la fréquence est parfaitement connue. La mesure de la fréquence de l'écho donne la vitesse du véhicule. La technologie moderne permet aujourd'hui d'avoir des radars automatiques et des jumelles laser.



## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION

### Radar météorologique :

On utilise non pas la variation de la fréquence par l'effet Doppler dans un radar météorologique, car celle-ci est trop petite, mais plutôt la variation de la phase entre deux impulsions revenant des précipitations. Ceci est un effet de second ordre Doppler.

Profileur de vents : c'est un radar météorologique pointant verticalement et qui mesure la vitesse de chute et de déplacement horizontal des précipitations.

### Antennes de repérage de radiogoniométrie

Le radiogoniomètre de repérage d'urgence à effet Doppler est constitué d'un groupe de 4 antennes (alimentées électroniquement les unes après les autres pour déterminer la direction de la station en difficulté) sur les fréquences adaptées.

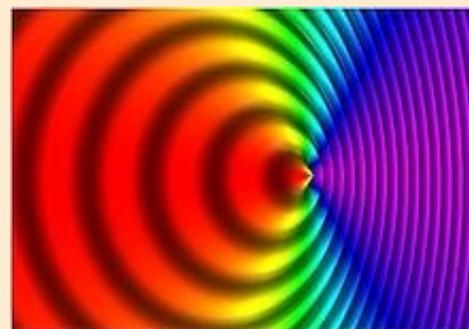
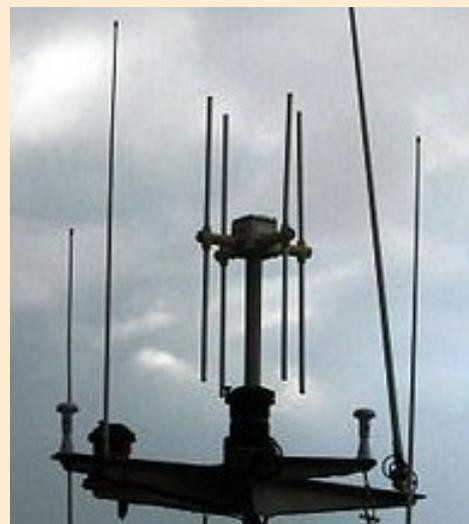
### Effet Doppler pour la lune :

Au lever de la Lune, les signaux arrivant sont décalés d'environ 300 Hz plus haut en fréquence en raison de l'effet Doppler entre la Terre et la Lune.

Puis la Lune arrive jusqu'au zénith, l'effet Doppler se rapproche de 0 Hz.

Au coucher de la Lune, les signaux arrivant sont décalés d'environ 300 Hz plus bas en fréquence en raison de l'effet Doppler entre la Terre et la Lune.

L'effet Doppler par le décalage en fréquence cause des problèmes pour les radiocommunication utilisant des faibles bandes passantes donc la Radiotélétype, la Radiotélégraphie, la téléphotographie, etc.



## Construction d'une station EME par F1MDT

### EME

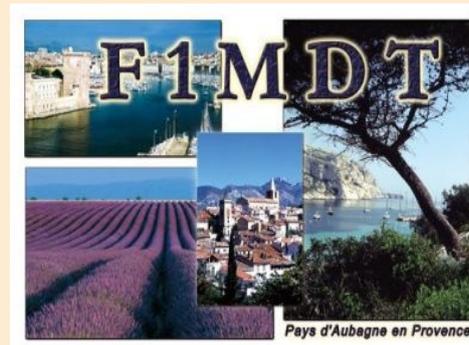
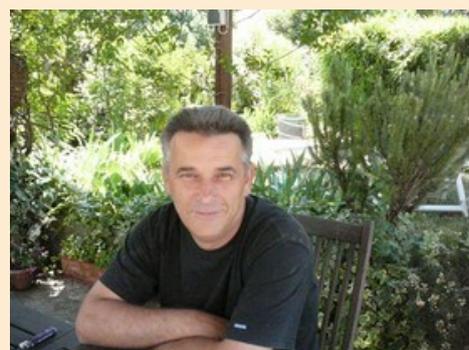
L'EME (Terre-Lune-Terre), est une technique de communication par radio, qui repose sur une émission d'onde radio provenant d'un émetteur basé sur terre en direction de la lune. On se servira de la Lune comme réflecteur pour nous renvoyer le signal transmis par la station émettrice.

### Historique

L'utilisation de la Lune comme un satellite de communication passive a été proposé par M. WJ Bray de l'Office britannique General Post en 1940. Il a été calculé qu'avec de puissante transmission de micro-ondes et d'un récepteur à très faible bruit, il serait possible de recevoir par réflexion de la surface de la lune des signaux micro-ondes émis depuis la Terre.

La technique "Moon bounce" a donc été développée par l'armée américaine après la Seconde Guerre mondiale, avec la première réception d'échos réussie à Fort Monmouth, dans le New Jersey le 10 janvier, 1946 par John H. DeWitt.

Le projet de communication utilisant la Lune comme relais a été suivi par une utilisation plus pratique, avec une transmission télétype entre la base navale de Pearl Harbor (Hawaii) et le siège de la marine américaine à Washington, DC. Depuis, avec l'évolution des technologies de radiocommunication, ce type de transmission nécessitant un matériel lourd fut vite abandonné par les gouvernements.



## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION

### Maintenant

De nos jours, les Radioamateurs utilisent la lune comme un moyen de communication expérimental..

Actuellement, les modes de transmissions utilisées sont la CW (Morse) et digitaux comme le JT65

Les conditions de trafic sortent de l'ordinaire car il faudra posséder d'un peu de place dans son jardin pour installer soit une parabole d'un bon diamètre soit un groupement d'antennes de type Yagi.

La surface au sol prise sera plus ou moins importante en fonction de la fréquence de travail (50, 144, 430, 1296 .... Mhz)

Et pour la partie shack, un bon transceiver, un très bon préampli de réception et un ampli QRO car la lune, c'est loin... 384 000 Kms aller et autant pour le retour.

### Le Projet

#### J'ai choisi d'utiliser la fréquence 1296Mhz,

Une parabole de 2.40m de diamètre.

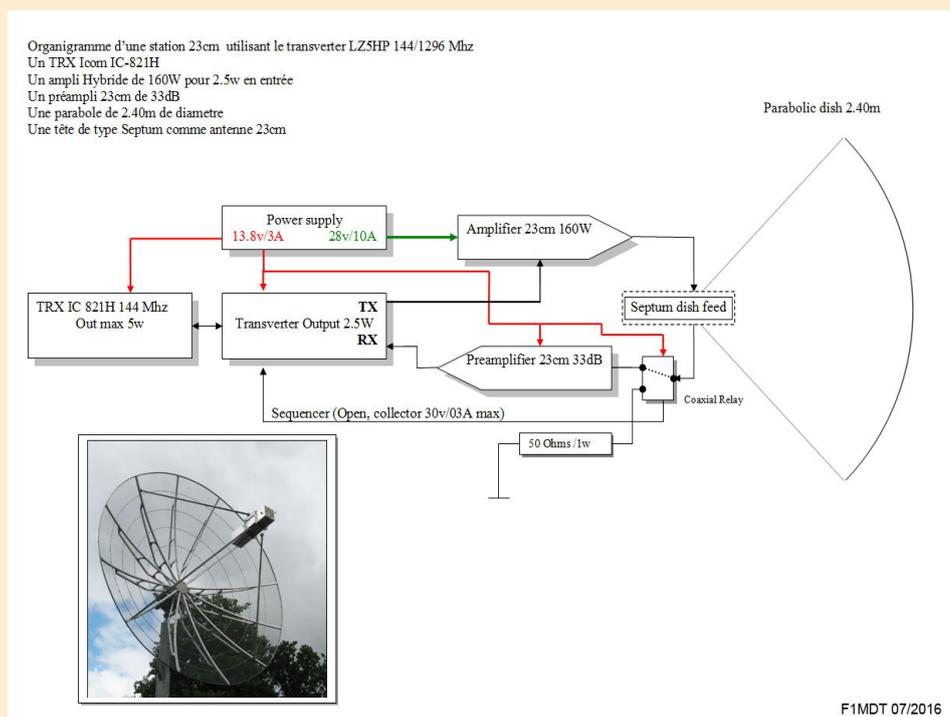
Le transceiver un IC-910H ou un transverter 144/1296Mhz avec un IC-821H

Un ampli de 160 Watts

Un préampli 33dB très faible bruit.

Un rotor site et azimut, un Yaesu G-5500 (trop juste et vite abandonné pour un Spid BIG-RAS)

Pour la poursuite de la lune, le software MoonSked de GM4JJJ



### Partie 1 : le transverter

Le transverter de notre ami Hristiyan (LZ5HP).

Vous aurez toutes les caractéristiques sur son **site** sauf que si vous l'acheté pour la modique somme de 156 Euros + le port, vous aurez la version **V2.3** .

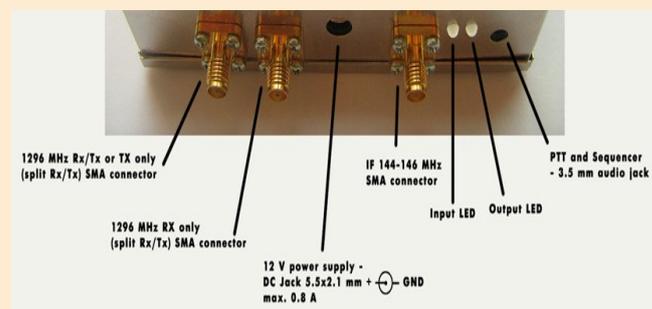
Cette nouvelle version permet aussi de connecter une source de référence de 10Mhz a l'arrière de l'appareil.

Le transverter est prêt a l'emploi, très simple d'utilisation, les réglages et la configuration des jumpers sont bien expliqué dans la doc.

<p><b>Description:</b></p> <p>Transverter for 23cm amateur radio band.</p> <p>The new design v 2.2 of our transverter features better performance and some new functions. Our new transverter's design (v 2.2) offers better performance and some new functions.</p> <p><b>Applicaton:</b></p> <p>Due to its small dimensions and light weight this transverter is suitable for portable or stationary operation.</p>		<p><b>Features</b></p> <p>Emmision Modes: SSB, AM, CW , FM</p> <p>2W output power</p> <p>Low noise figure GaAs HEMT input stage</p> <p>High performance UP / DOWN converters</p> <p>High stability TCXO</p> <p>Internal Tx/Rx switch</p> <p>Split-frequency operation option (selectable, require additional soldering)</p> <p>Internal Directional Coupler</p> <p>PTT can be switched by connecting PTT to ground, by RF power (selectable) or by DC voltage</p>		
Specifications				
General	Min.	Typ.	Max.	Unit
Frequency range RF	1240	1296	1300	MHz
LO Frequency: Normal Mode		1152 (or 1150 / 1154 )		MHz
LO Frequency: Repeater Mode - 28 MHz		1124 / 1122 / 1126		MHz
LO Frequency: Repeater Mode - 6 MHz		1146 / 1144 / 1148		MHz
LO Accuracy at 20°C		+/- 1		ppm
LO temp. stability		+/- 2.5		ppm
Supply Voltage	12		13.8	V
Current Consumption			0.8	A
Dimensions	104 x 114 x 25			mm
Trasnmmitter				
Input Power	0.2		5	W
Output Power	1.8	2.0	2.5	W
Receiver				
Receive Gain , Adjustable	-5		+10	dB
Noise Figure		0.9		dB
Spurious response rejection		-55		dB

## EME, Earth-Moon-Earth

## DOCUMENTATION



[www.sg-lab.com/TR1300/tr1300.html](http://www.sg-lab.com/TR1300/tr1300.html)

### Les premiers essais en émission avec un IC-821H.

Pour avoir 5W maximum en 144Mhz a l'entrée du transverter, j'ai du ouvrir l'ICOM pour modifier sa puissance de sortie au potar de face avant pour un minimum de 4.5W.

Après modif, je passe en émission et j'obtiens bien les 2.5w en 1296Mhz annoncé.

Pour la réception c'est aussi sans problème, test fait avec un préampli a 33dB et la petite antenne HB9CV fourni gracieusement par notre ami Hristyan.

Pour le contrôle et la stabilité de la fréquence, j'ai utilisé le générateur du MiniVNA-Tiny

