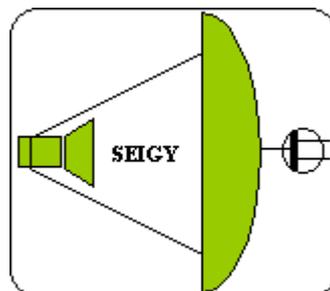


A la fin du mois **1ère JA 2013** réservée au 24 GHz et bandes supérieures.



**CJ2013 : 6 avril 2013**

Salle de réunion de 11H00 à 12H00 point sur la revue "Hyper", les "Journées d'Activité Hyperfréquences" et vos idées sur la promotion de notre activité.

73 Jean Paul F5AYE

← Photo de la diode MA4E1318 (utilisée comme mixer 76 GHz) prise au microscope par Jean François F4BAY

**SOMMAIRE :**

INFOS PAR ALAIN F1RYW .....2  
 CONCOURS DE REALISATION PAR GILLES F5JGY .....4  
 QUELQUES IDEES SUR LA PARTICULARITE DES GUIDES D 'ONDES PAR JEAN-PAUL F8IC .....4  
 UTILISATION DES RESISTANCES CMS EN HF, VHF, UHF ET SHF PAR ANDRE F9HX .....7  
 PLVCXO VERSION 2 PAR DOM F6DRO & DF9IC .....9  
 L'ATTENUATION ATMOSPHERIQUE EN MILLIMETRIQUES ET SUB-MILLIMETRIQUES PAR JEAN-FRANÇOIS F4BAY .....12  
 RETRO PAR ANDRE F9HX .....16

Edition et page 1 Jean-Paul PILLER f5aye@wanadoo.fr	Infos Hyper Alain PERRACHON f1ryw2@wanadoo.fr	Balises Michel RESPAUT f6htj@aol.com
Toplist, meilleures 'F' Eric MOUTET f1ghb@cegetel.net	J'ai lu pour vous Jean-Paul RIHET f8ic jean-paul.rihet@orange.fr	Abonnement PDF Yoann SOPHIS f4dru@yahoo.com
Balisethon Yoann SOPHIS f4dru@yahoo.com	1200 et 2300 Mhz J.P MAILLIER-GASTE f1dbe95@yahoo.fr	CR's Gilles GALLET f5jgy gi.gallet@voila.fr Jean-Paul PILLER f5aye@wanadoo.fr

Tous les bulletins HYPER à <http://www.revue-hyper.fr/>  
 L'abonnement 2013 à HYPER PDF pour l'année complète (D'Avril 2013 à Avril 2014)  
 PDF : Don au Balisethon de 5 Euros minimum, laissé à l'appréciation du lecteur.

## HYPER



Pour cette année les dates à retenir sont les 10&11 avril, toujours Porte de Versailles Paris Expo.

Pour obtenir votre badge visiteur gratuit, allez sur le lien : <http://www.microwave-rf.com/>

### **Vu chez Rohde & Schwarz :**

Les représentants de la marque (Jim Lukes et Judy Pourazima) ont annoncé une nouvelle ligne d'oscilloscopes, combinant un analyseur de spectre et un PC, à voir surtout le QSJ.

### **Vu sur le site URE :**

Nos amis espagnols débordent d'activité :

Le 15 février, EA7FGJ écrivait :

Cet après-midi, Enrique EA2SX et Josemi EA2TZ ont installé une nouvelle balise sur la bande des 23 cm.

Pour la période d'essai, la balise utilisera l'indicatif de Josemi et l'émission se fera sur 1296,855 MHz avec 2 watts dans une antenne yagi 10 éléments dirigée NNE.

Les coordonnées géographiques sont 43°14,66'N et 1°50,95'W en locator IN93BF ASL est de 635m.

Nos deux amis apprécieront vos rapports d'écoute.

### **D'autre part :**

Manuel EA3FLX prépare une balise sur 13 cm. En attendant l'OCXO la fréquence de cette balise est 2320,820 +/- 10 KHz.

Elle est en test à son QRA en JN01UF71MW et le locator définitif sera JN01UG48AW

A suivre et merci de lui envoyer vos rapports d'écoute.

EA8RCP, la section URE de Santa Cruz de la Palma, a annoncé le 25 février, la mise en place d'une nouvelle balise sur 23 cm réalisée, en grande partie par Albertos Victor EA8AB, malheureusement je n'ai pas plus d'informations actuellement.

## EME

### **Expéditions :**

#### **En Polynésie**

Un petit retour sur l'équipe d'OM allemands qui activera le Samoa, du 4 au 18 avril 2013.

DL9MS a rejoint cette équipe et s'occupera des opérations EME sur 144, malheureusement pour nous, l'ouverture pour l'Europe centrale ne se fera qu'à partir du 08 avril.

Pour tout savoir sur **5W0M** : <http://5w0m.hkmann.de/>

#### **En Afrique**

PE9DX, PA3CEE et PE1L qui se rendront, du 12 au 26 Avril, au Ghana pour activer l'indicatif **9G5EME**, ont enfin obtenu leurs visa d'entrée.

Sur 144 même configuration que pour les expéditions en Ouganda et en Gambie. C'est-à-dire 400 W dans 2x8 Xpol yagi, accompagné d'un préamplificateur WA2ODO.

Si tout se déroule correctement, une petite installation sur 70 et 23 cm est prévue

Le planning théorique sera le suivant :

144 MHz 14 au 24 avril

1296 MHz le 19 avril

144 MHz le 20 avril pour le contest

432 MHz le 21 avril

144 MHz du 22 au 27 avril, très bonnes conditions du 22 au 24 pour les stations plus QRP. Etant donné que les coupures électriques sont fréquentes, en Afrique, il sera bon de vérifier les horaires ; éventuelles modifications sur ; <http://www.emelogger.com/ghana/>

### **Balise EME**

Eddy, du team ON0EME, a annoncé l'arrêt de la balise 1296, suite à quelques soucis avec la logique de celle-ci.

## **INFOS DANS LES REGIONS**

Le 02/03/2013 12:15, F6ETI a écrit :

Au cas où vous la cherchiez, la balise 10 GHz corrézienne semble (à nouveau) en panne. Je compatis, ce n'est pas vraiment le meilleur moment de l'année pour les mainteneurs de balises.

De notre côté nous avons récupéré F5ZBA lors de mon déplacement dans le 23 pour le CdF SSB, merci à Eric F8ALX qui a bravé les -4° pour grimper au pylône. Le PA est HS ; à suivre...

### **Peut-être un début d'activité ?**

Le 27 février, Eric et Michel ont écrit :

Bonsoir Eric; en fait j'ai des doutes sur ces "spots" cluster et je n'ai toujours pas eu confirmation de la part de SQ8ISS...

En tout cas ce soir la tropo est excellente via la Manche et la mer du Nord:

SM7WSJ 144425.0 F5XAN/B JO67WI JO10EQ 519 1743 27 Feb France

SM7WSJ 144300.0 F8IQS JO67WI IN99RI hrd cq 1955 27 Feb France

73 de Michel F6HTJ

-----  
Dans [hyperfr@yahoogroupes.fr](mailto:hyperfr@yahoogroupes.fr), F1GHB a écrit :

Info dx cluster relayée par F6HTJ et F5EFD ( Merci Michel et Maurice ! )

SQ8ISS 144409.0 F5ZSF 57 1647 17 Feb France

Réception tropo depuis la Pologne KO11LD 1900 km ODX !

Voir : [http://millimeterwave.free.fr/Balises\\_Lannion\\_F.htm](http://millimeterwave.free.fr/Balises_Lannion_F.htm) 73s Eric

### **On dirait qu'il va bientôt avoir beaucoup de monde sur 47 GHz :**

Extraits du réflecteur [hyperfr@yahoogroupes.fr](mailto:hyperfr@yahoogroupes.fr):

Content d'avoir motivé la foule, mais restons modeste sur la quantité par sur la qualité ! Pas de travaux pour moi CDF HF REF, juste ce qu'il faut. 73 de Jean-Louis F1HNF/49

Ici également travaux sur le 47 GHz , collage du CI, ensuite, au tour de la MA4E 1318 pour avoir une balise. Merci Jean-Louis pour m'avoir motivé , indirectement, à reprendre le 47 .73 André F1PYR

Salut à vous, Ici soleil mais mistral qui se renforce, alors travaux d'intérieur, mise en boîte du 47 GHz (au sens propre du terme) 73 Michel F1FIH

## CJ2013, 6 avril, n'oubliez pas votre montage

...pour le Concours de réalisations !

Organisé, comme les années précédentes, pour le plaisir des yeux de tous les visiteurs, et qui, j'espère, servira de support à bien des échanges techniques.

Nous vous demanderons de déposer votre montage favori sur le stand, accompagné d'une présentation (schéma synoptique, explication du fonctionnement, mesures éventuelles...) avant 10 heures : il sera enregistré, placé, et une surveillance est assurée. Une source d'énergie (220 V) sera disponible, et la présentation dynamique des réalisations par leur auteur est encouragée.

Expo jusqu'à 16 heures, où vous pourrez récupérer votre « bébé », et la proclamation des résultats aura lieu avant l'apéritif traditionnel en fin d'après-midi, après délibération du jury.

Un certificat de participation sera délivré pour chaque montage exposé et un diplôme attribué à chaque « primé ».

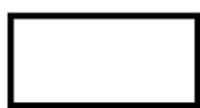
Le challenge sera sans prétention, mais compte bien inciter les réalisateurs à présenter, échanger, et par suite, motiver de nouvelles réalisations, dans tous les domaines de la radio.

A vous retrouver nombreux le 6 avril à CJ, pour le plaisir de tous !

73 de Gilles, F5JGY et l'organisation de CJ.

## QUELQUES IDEES SUR LA PARTICULARITE DES GUIDES D'ONDES PAR JEAN-PAUL F8IC

### Deuxième partie



guide rectangulaire



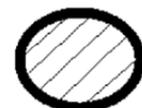
guide rond



guide coaxial



guide bifilaire



guide diélectrique



guide triplaques



guide à ailettes



guide à ailettes antipodale



guide micro-ruban ou strip-line

Guides figure 1

Figure 1 illustrant les propos de la 1ère partie de l'article sur le N° 189

## Les diverses sortes d'appellation des guides d'onde rectangulaires ( c'est-à-dire souvent employés par le passé sur des dispositifs tels les radars d'où sont issues les hyperfréquences) .

Voici les appellations les plus courantes des guides d'onde rectangulaires:

1) IEC ( lié à ISO et ITU) (international)

153 IEC-R

2) US RG-(...) U Cuivre ou laiton Alu Magnésium Argentés

3) USEIA WR- (...)

4) GB ( RCSC) WG(..)

5) France WRJ (..) CCTU GU(..)

Les appellations IEC font l'objet de normes et de documents qui rappellent les brides utilisées pour les guides rectangulaires d'une part, les guides ronds d'autre part. On trouve ces documents sur internet et je les rappelle en bibliographie.

Les pertes sur les guides US ou autres sont fonction des matériaux utilisés mais aussi d'un coefficient K qui est le suivant (en multiplicateur direct dans l'équation des pertes en dB/mètre) :

Cuivre = référence = 100

Cuivre argenté ( mince) = 82

Cuivre amélioré argenté (épais) = 91

Laiton avec beaucoup de zinc ( brut) = 24

Laiton avec peu de zinc ( brut) = 40

Aluminium = 60

Magnésium = 37

Argent ou argenture épaisse polie = 106 donc meilleure que le cuivre et c'est normal .

On voit que les pertes dans un guide en mauvais laiton sont quatre fois plus élevées qu'un guide cuivre, attention pour la chasse aux dB sur les entrées entre LNA et parabole ! L'état interne des parois du guide (polies ou non), la qualité des flasques de connexion (voir plus loin) sont aussi des facteurs de pertes, sans compter les insectes et autres visiteurs intempestifs à surveiller de très près !

Les guides d'appellation française sont en général associés aux bandes de service, par exemple les guides L sont valables pour le 1200 MHz, les MS pour le 2300 MHz, la bande S étant un peu au dessus, et la SC encore au dessus ; enfin la X comprend notre 10 gigahertz.

J'espère que ces appellations, toujours en service pour les bandes de fréquences, le sont toujours pour les guide d'origine « Fr ».

Comme dit, les professionnels utilisent souvent dans les hyperfréquences au-delà de 50 GHz des guides rectangulaires, les OM pour cause de cornet cylindrique rayonnant, souvent des guides circulaires plus faciles à mettre en œuvre. Dans ce cas, se pose le problème des brides qui sont ou pas normalisées, au gré de l'utilisateur, mais avec des inconvénients possibles : les pertes ou des modes mal maîtrisés .

Dernier mot sur les guides : dans les fréquences élevées des hypers, il arrive que l'usinage de guides de très petites dimensions ou leur polissage pose problème ; il est parfois utilisé des « guides surdimensionnés » où l'on pèse les avantages et inconvénients (pertes) avant utilisation. Parfois, sur des récupérations, ne pas en conclure une fréquence d'utilisation en fonction des dimensions du guide !

## Quelques idées sur les brides.

Les brides servent à lier entre eux les tronçons de guide et sont sources de pertes pour plusieurs raisons : mauvais alignement entre deux tronçons, sur certaines brides on y pallie par des pions, système valable à condition que ceux-ci soient bien en place et/ou ajustés par des centrages circulaires ; pertes par des flasques présentant des défauts de planéité ; on y pallie par des flasques rodés et parfaitement plans ou par des pièges en  $\lambda/4$  dans l'épaisseur du flasque.

On peut monter une bride avec piège sur une bride sans piège, le piège étant d'un seul côté en général. Il existe aussi des brides avec joints pour pressurisation du guide et des joints spéciaux pour ces brides pressurisées. La pressurisation en air ou azote sec apporte une tension de claquage dans le guide plus élevée qu'à la pression atmosphérique ou locale (cas des avions par exemple) ; pour les OM méticuleux ou EMEistes un guide pressurisé à l'air sec ou azote sec voit ses pertes diminuer et se stabiliser en cas d'humidité ambiante.

Comme il est possible de faire réaliser pour les matériels professionnels des guides avec des brides adaptées soit aux conditions d'utilisations, soit aux spécifications telles que masse, encombrement, montage etc ; il n'est pas exclu de trouver des brides non normalisées ou dérivées de brides normalisées. J'en possède quelques spécimens !

### Bibliographie :

- 1 ) Microwave engineers' handbook Artech House, INC
- 2) Les guides d'ondes : un tableau issu de VHF communication reproduit dans les proceedings de CJ 1994 page 24.
- 3) « Suivez le guide ...F1BJD » dans le bulletin Hyper n°3 septembre 96 : un tableau des guides courants et leurs dimensions et « les guides d'ondes » par F5CAU bulletin Hyper n°32 de février 1999. D'autres sont peut-être à voir dans la liste du bulletin ?
- 4) Diverses dimensions de profilés du commerce pour guides millimétriques par F1GHB dans le n°127 du bulletin Hyper de juin 2007.
- 5) Propagation guidée EGEM Pasquet Hermès Lavoisier (beaucoup d'équations, mais des idées à creuser pour expliquer des phénomènes parfois ...inexplicables !)
- 6 ) Diverses vues extraites du net sur les brides ou flanges en hyperfréquences > 50 GHz par exemple, faire les recherches par « images » .
- 7) Si les guides à « ailettes » vous intéressent, de la doc sur internet en recherche sur guides ailettes ou guides à ailettes antipodales se trouve avec un peu de recherche (universités ou professeurs).

# UTILISATION DES RESISTANCES CMS EN HF, VHF, UHF et SHF par André F9HX

## 2eme partie

Un autre effet tend à faire croître la résistance avec la fréquence : l'effet de peau (effet pelliculaire). Cela pénalise surtout les couches épaisses atteignant 20  $\mu\text{m}$  alors que celle des couches minces est de l'ordre du micron. L'épaisseur conductrice équivalente est de l'ordre micron pour le cuivre à 5 GHz et de 5 microns pour le manganin. Cela veut dire que l'augmentation de résistance est négligeable jusqu'à cette fréquence pour les seules couches minces.

La figure 8 donne la courbe d'une résistance 0402 spéciale pour 20 GHz.

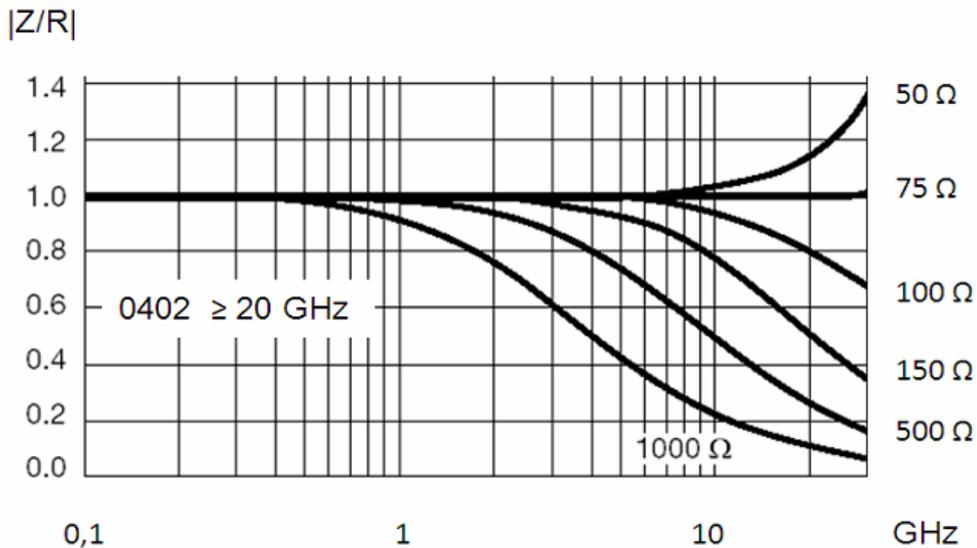


Figure 8. Tenue en fréquence CMS 0402 spéciale pour 20 GHz

### Une application : charge 50 $\Omega$ $\leq$ 10 GHz

Grâce à mon ami F1EER, voici une charge maison valable jusqu'à notre bande 10 GHz. Elle est réalisée avec une embase SMA normale 18 GHz et deux résistances CMS 0805 de 100  $\Omega$  couche épaisse (figure 9). Des « stubs » ont été judicieusement placés pour obtenir les meilleurs résultats.

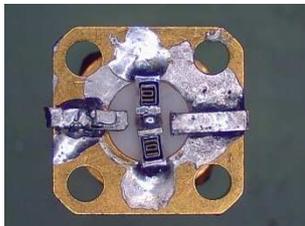


Figure 9. Charge 50  $\Omega$

La quasi neutralité de ce type de CMS pour cette valeur permet d'obtenir les résultats donnés par la figure 10 relevés avec un R&S Vector Network Analyzer ZVA67 67 GHz.

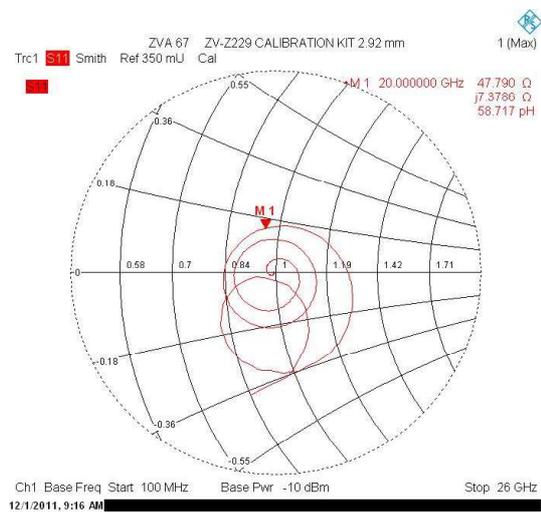


Figure 10. Charge 50  $\Omega$  SMA amateur

Pour comparaison, une charge professionnelle non identifiée est caractérisée par la figure 11. Dans les deux cas, la puissance maximale permanente est de 0,5 watt et peut atteindre 1 W pendant quelques minutes.

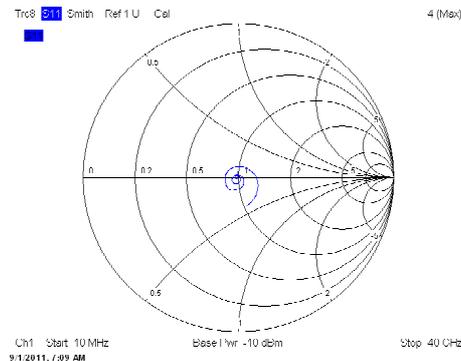
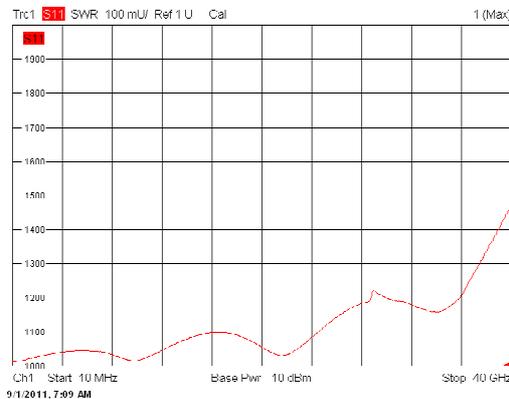


Figure 11. Charge 50  $\Omega$  SMA professionnelle

## Conclusion

Pour obtenir des performances certaines en SHF, il est préférable d'utiliser des résistances CMS à couche mince et, mieux, des modèles spécialement conçus pour cet usage. Cependant, comme le montre l'exemple de charge 50  $\Omega$  « maison », il est possible d'obtenir des résultats acceptables à 10 GHz.

En pratique, j'utilise des chips à 1 % sans trop savoir s'il s'agit de couche épaisse ou mince. Les résultats peuvent donc être très imprévisibles.

## Références

- [1] Bien connaître les condensateurs céramiques, pour bien les utiliser du courant continu aux SHF, F9HX, Radio-REF 2/2012
- [2] Fixed Resistors, Data Handbook, Philips, 1994
- [3] <http://talkingelectronics.com/ChipDataEbook-1d/html/SM-Resistors.html>
- [4] Résistances en VHF et UHF, F9HX, Radio-REF 1 et 2/1995
- [5] Fundamentals Passive Components and their EMC Characteristics, Lars-Olov Johansson, Compliance Engineering European Edition, September/October 1998
- [6] SMD Resistors Beyond UHF, W. Laurich, Beyschlag GmbH
- [7] High Frequency (up to 20 GHz) Chip Resistors, Vishay, [www.vishay.com](http://www.vishay.com)
- [8] Frequency Response of Thin Film Chip Resistors, Vishay, 4/02/2009

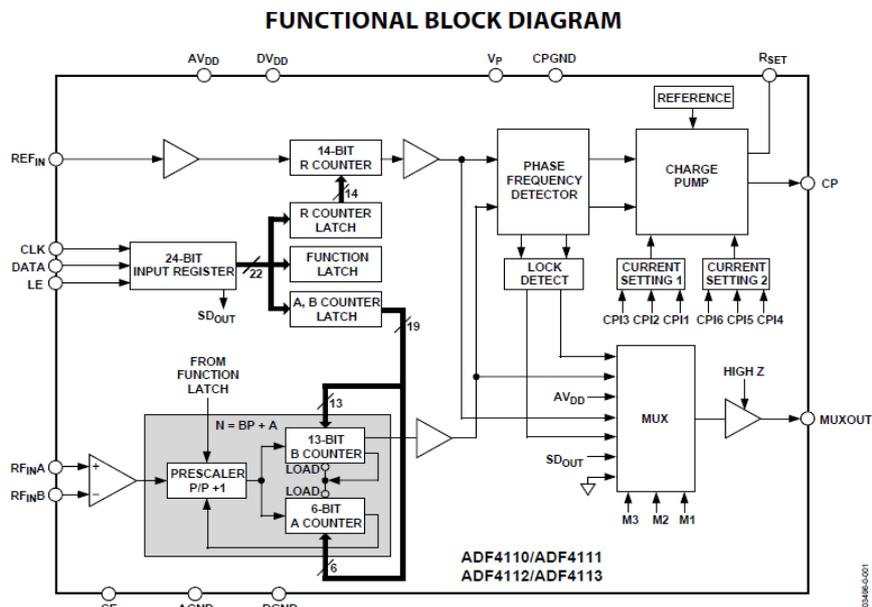
# PLVCXO Version 2 par Dom F6DRO & DF9IC

Après avoir conclu avec succès l'étude et la réalisation du PLVCXO destiné à être utilisé en OL de station<sup>1</sup>, je me suis lancé dans une autre étude cette fois-ci dans le but d'obtenir des fréquences précises pour les balises. Pour ceci, le synthétiseur fractionnaire ADF4157<sup>2</sup> semblait idéal. Mais les mesures sur le prototype m'ont fait déchanter. Si, en observant le signal à l'analyseur et au fréquencemètre à 100 MHz tout semblait fonctionner, en écoutant l'harmonique 96, je me rendis compte que le 4157 était très proche du verrouillage, mais pas verrouillé, et l'absence d'un signal "LOCK" stable sur la sortie "MUX" le confirmait. Après plusieurs semaines à se battre avec le prototype: impossible d'arriver à quelque chose. D'autres testeurs en DL rencontraient le même problème. Je décidais donc de m'orienter vers une autre solution, en attendant de trouver la raison pour laquelle le 4157 ne fonctionne pas avec le PLVCXO.

## ADF4110 utilisé sur les balises :

Il me vint à l'idée d'essayer de triturer les registres de l'ADF4110 pour obtenir des fréquences les plus proches possibles des fréquences balises. Comme les fractions sont impossibles, toutes les fréquences rondes ne sont pas possibles, mais une erreur de 100 ou 200 Hz est acceptable. Afin de préserver les excellentes caractéristiques en bruit de phase, je décidais de continuer à utiliser le même filtre de boucle, et la même fréquence de comparaison aux alentours de 2 kHz. Cette solution présente malgré tout l'inconvénient de ne pouvoir moduler ces balises qu'en A1, le FSK n'étant pas directement réalisable simplement.

## Exemple d'utilisation sur 10 GHz :



Fréquence désirée : 10368,820 MHz

$F_{out}/96 = 108,00854166666666$

$F_{out} = (F_{ref}/R) * (BP + A)$

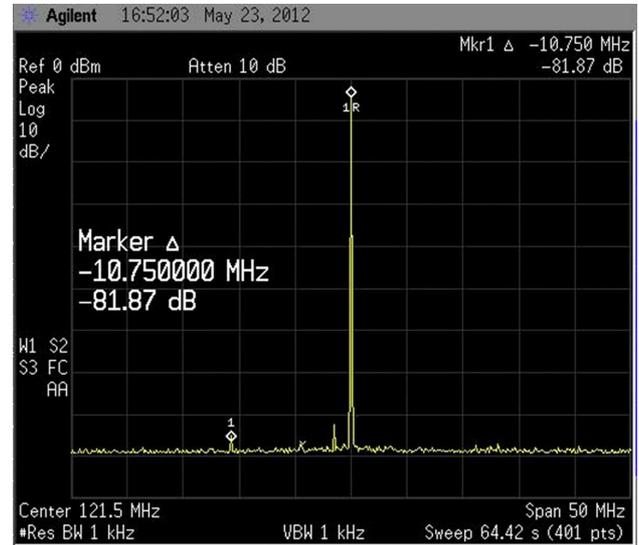
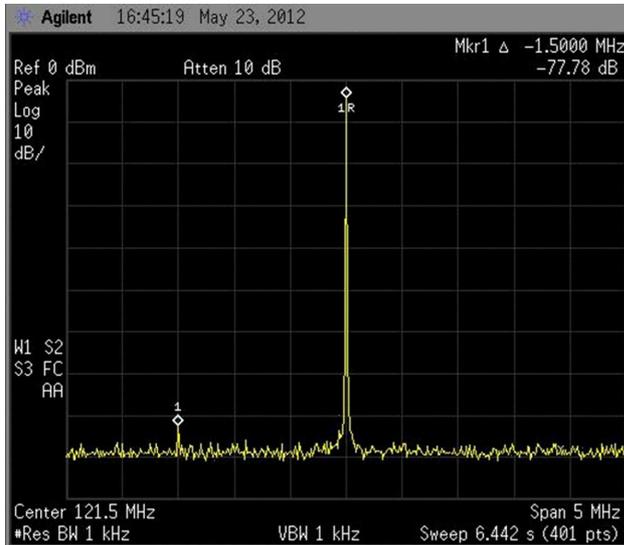
Après quelques calculs :

R= 3746 (référence 10 MHz) A= 632 B=12 P=64

Fréquence obtenue = 10368,8201

## Prototype de test :

Dès le premier essai, le verrouillage est obtenu sur la fréquence désirée. Puis un essai global a été réalisé avec deux multiplicateurs derrière, un vers 2592 MHz et un deuxième vers 10368 MHz. Surprise : quelques raies espacées de 1 MHz autour de la fréquence de sortie sont présentes, qu'on ne voit pas sur la sortie du PLVCXO à 108 MHz. Oh, rien de catastrophique, environ -70dBc, mais j'aimerais mieux les réduire un peu plus. En fait ce qui se passe, c'est que ces raies existent bien autour de la fréquence 108 MHz, mais qu'elles sont de niveau très faible. Pour les observer, il faut utiliser un filtre d'analyse de 100 Hz et donc une vitesse de balayage faible. Une fois la chaîne de multiplication débloquée par la porteuse principale désirée, elles sont amplifiées par ladite chaîne, avec une loi plus ou moins imprévisible, car le phénomène est non linéaire.



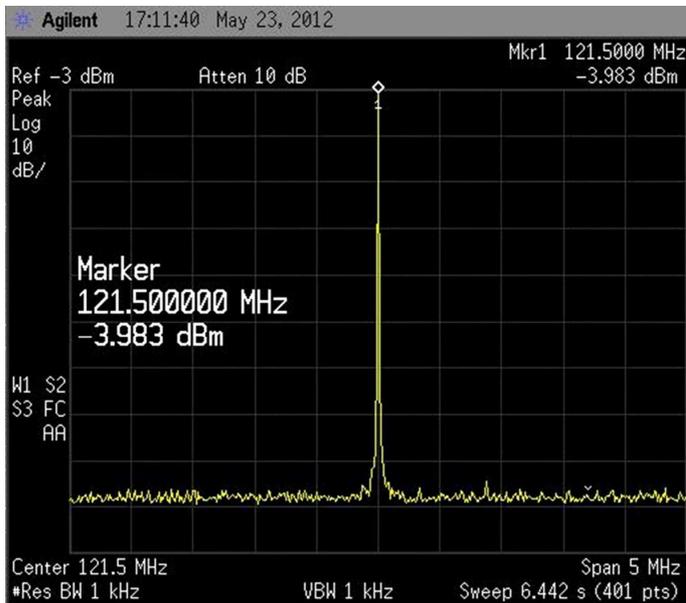
Ci-dessus à gauche, spectre autour de la porteuse sur un PLVCXO 121,5 MHz, le produit à 120MHz est aux alentours de -80 dBc. A droite, à large bande, les autres produits harmoniques du 10 MHz sont là aussi, mais plus faibles.

Un autre problème s'est fait jour : si le test à -25°C donne entière satisfaction, il n'en est pas de même à température élevée : autour des 50 degrés, le PLVCXO décroche, non pas à cause de la PLL qui ne fonctionnerait plus, mais à cause d'une baisse importante du niveau de sortie à forte température. Il fallait donc résoudre ces problèmes cruciaux pour une balise. Pour information, avec le PLVCXO utilisé en station fixe, même avec le transverter en plein soleil les jours de grande chaleur, je n'ai jamais rencontré de problème.

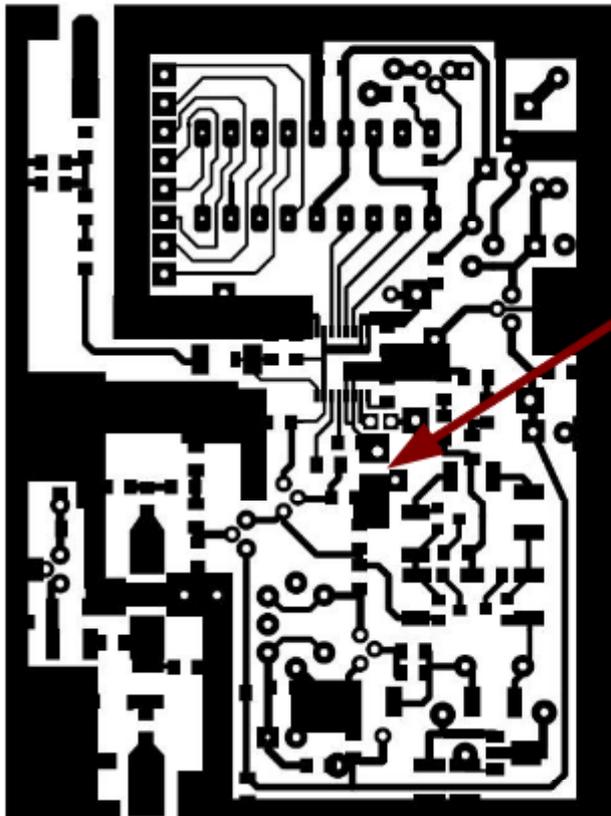
## Améliorations apportées :

### -Produits à +/- 1 et 2 MHz :

Pour résoudre le problème, il faut savoir d'où il provient. Après de longues recherches, il s'avère que le problème en question n'est pas du tout dû à la PLL, ni à une ré-injection par les alimentations. Ce qui se passe, c'est que le 10 MHz qu'on rentre dans l'ADF4110 est immédiatement passé dans un étage chargé de le transformer en signal carré avec de beaux fronts raides. Mais ce processus crée aussi des harmoniques du 10 MHz et en particulier les harmoniques 9, 10, 11, 12 qui sont proches de la fréquence de sortie désirée. Ces harmoniques sont rayonnées par l'ADF (et non pas conduites sur les alimentations) et se réinjectent dans l'oscillateur. Ce phénomène est faible, mais parfaitement visible en sortie si on y regarde de très près.



Après modification, les produits harmoniques ont diminué de 10 dB. Voir ci-dessous la modification à appliquer sur le circuit imprimé du PLVCXO.



Couper pavé de masse et réaliser une traversée coté ADF4110

En explorant la façon dont les harmoniques se réinjectent dans l'oscillateur, j'ai pu trouver un point qui semblait critique, c'est un pavé sur lequel la masse entre l'ADF et celle des capas d'accord de l'oscillateur est commune. En séparant les deux masses une amélioration a été obtenue ; on approchait les  $-80$  dBc en sortie 10 GHz, ce qui me semble suffisant. Pour une balise 1 W, le produit est à  $0,01\mu\text{W}$ .

-Comportement en température :

Après quelques recherches, le point de polarisation du transistor oscillateur a été modifié pour l'utiliser à courant plus faible (la résistance de source passe de 100 ohms à 220 ohms). Cette

modification a un autre impact positif : la puissance de sortie du système augmente de plusieurs dB, ce qui améliore d'autant la réjection des produits non désirés, qui sont désormais à -85/-90 dBc.

Un essai avec un MPF820 à la place du J310 sur l'oscillateur améliore aussi le comportement en température, mais ceci demande à être confirmé ; le MPF820 n'est peut-être pas obligatoire.

Un OL de balise pouvant être soumis à des variations de température considérables, d'autres améliorations ont été apportées.

Un thermostat sur le quartz est utilisé systématiquement (40 degrés ou plus, avec, bien sûr, le quartz correspondant).

L'isolation vis à vis de l'extérieur est également soignée. Le boîtier Shubert est inséré dans un boîtier en plastique, dont l'intérieur a été tapissé d'isolant couche mince ; le Shubert est immobilisé dans la boîte à l'aide de plastique à bulles. Le boîtier plastique est ensuite lui-même inséré dans une enceinte isolante réalisée en polystyrène extrudé.

Dans ces conditions, une variation de température entre -30 degrés et +80 degrés est sans effet sur les performances, hormis une très légère variation de la puissance de sortie du système.

1)[http://www.ham-hyper.com\\_rubrique technique](http://www.ham-hyper.com_rubrique_tech)

2)[http://www.df9ic.de/doc/2008/weinheim\\_2008/weinheim08\\_baken.pdf](http://www.df9ic.de/doc/2008/weinheim_2008/weinheim08_baken.pdf)

## L'atténuation atmosphérique en millimétrique et sub-millimétrique par Jean-François F4BAY

### Introduction

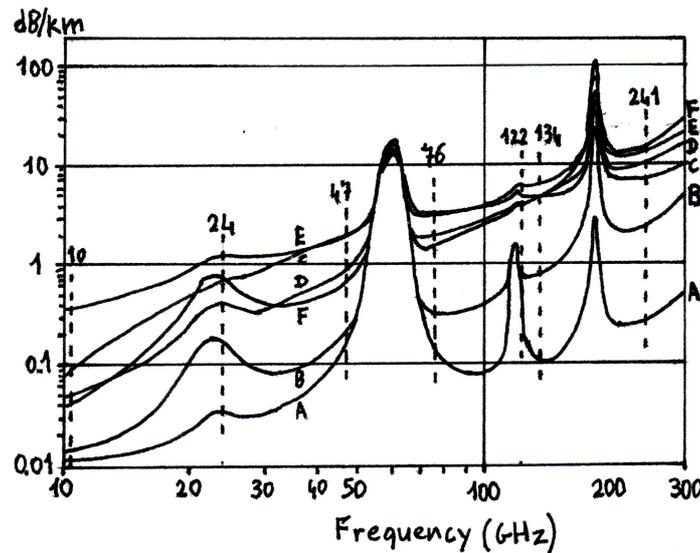
Lors de leur propagation, les ondes électromagnétiques peuvent subir différents phénomènes : réfraction atmosphérique, réflexions (ionosphère, sol) etc. En millimétriques et au-delà, les molécules contenues dans l'atmosphère interagissent directement avec l'onde. Chaque molécule se comporte comme un dipôle électrique (une charge positive associée à une charge négative) ou comme un dipôle magnétique (un petit aimant). Au passage de l'onde le champ électrique (ou magnétique) exerce une force oscillante sur la molécule et la met en mouvement (en rotation ou en vibration). De l'énergie est alors dissipée en chaleur et l'onde s'atténue au fur et à mesure de sa propagation. Cet effet est particulièrement intense si la fréquence de l'onde correspond à une des fréquences de résonance de la molécule.

Dans l'atmosphère de la terre deux molécules influencent principalement la propagation en millimétriques et au-delà : la molécule d'eau H<sub>2</sub>O et la molécule d'oxygène O<sub>2</sub>. La première possède un important « moment dipolaire » électrique à cause de sa forme en V et possède de nombreuses résonances de rotation. La deuxième n'a pas de moment dipolaire électrique mais possède des résonances magnétiques à des fréquences particulières (voir ci-dessous). Les autres molécules de l'atmosphère n'ont pas de moment dipolaire (azote, CO<sub>2</sub>) ou sont présentes en concentration trop faible pour avoir une influence notable sur la propagation (SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>...).

### Atténuation aux fréquences inférieures à 300 GHz

La figure 1 représente l'atténuation atmosphérique de 10 à 300 GHz pour des conditions météorologiques variées et pour une propagation horizontale. On constate tout d'abord un pic important autour de 60 GHz qui reste très intense (10 à 20 dB/km) quelles que soient les conditions. Il s'agit d'un pic correspondant à la molécule O<sub>2</sub>, l'atténuation ne dépend donc pas

de l'humidité ambiante, par contre elle peut varier avec l'altitude, la pression partielle d'oxygène diminuant lorsque l'on s'élève [1].



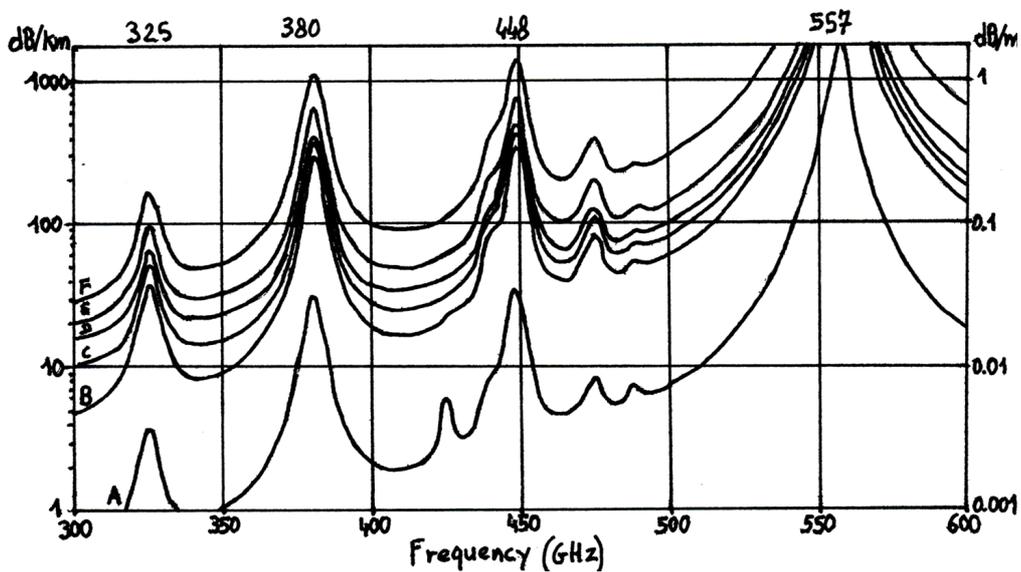
**Fig. 1 : Atténuation atmosphérique de 10 à 300 GHz pour différentes conditions météo.**  
**Légende (température, humidité relative) A : -10°C, 30%, neige ; B : 20°C, 44% ; C : 22°C, 50%, pluie 4 mm/heure ; D : 20°C, 60%, brouillard visibilité 100 m ; E : 43°C, 30%, tempête de sable visibilité 10 m ; F : 35°C, 90%.**

On remarque ensuite un pic autour de 120 GHz qui est également dû à O<sub>2</sub>, il s'agit en quelque sorte de l'harmonique 2 du pic à 60 GHz qui est toutefois nettement moins intense (quelques dB/km). Les deux autres pics (22 et 183 GHz) sont dus à H<sub>2</sub>O. On plus de ces pics en observe une atténuation « large bande » qui augmente avec la fréquence et qui est liée à H<sub>2</sub>O puisqu'elle varie fortement avec l'humidité.

Quelles sont les conséquences pour les bandes OM ? La bande 24 GHz est située très proche du pic H<sub>2</sub>O, l'atténuation dépend fortement des conditions : de quelques 0,01 à 1 dB/km. Les bandes 47 et 76 GHz sont situées de part et d'autres du pic O<sub>2</sub> mais sont suffisamment éloignées pour ne quasiment pas subir son effet. L'absorption varie de quelques 0,1 à quelques dB/km. La bande 122 GHz est très proche du deuxième pic O<sub>2</sub>, même par temps très sec, l'atténuation ne sera pas inférieure à 0,5 dB/km. La bande 134 GHz est proche de la précédente mais ne subit pas l'absorption de O<sub>2</sub>. La bande 241 GHz se situe dans une fenêtre, l'atténuation varie de quelques 0,1 à 15 dB/km dans le pire cas.

### Et au-delà de 300 GHz ?

La figure 2 représente l'atténuation atmosphérique de 300 à 600 GHz pour différentes conditions météorologiques et pour une propagation horizontale. Tous les pics sont dus à H<sub>2</sub>O: 325, 380, 448 et 557 GHz. D'autres pics plus faibles sont également visibles. On constate que les pics sont beaucoup plus intenses que ceux de la figure précédente. Les pics à 380 et 448 GHz correspondent à 30 dB/km (0,03 dB/m) par temps sec et peuvent atteindre 1 dB/m par temps très humide (courbe F, climat tropical). Le pic à 557 GHz a une atténuation de l'ordre de 1 dB/m même par temps très sec, à cette fréquence le DX est très limité ! Entre ces pics de belles fenêtres existent toutefois autour de 340, 410 et 480 GHz. Par conditions « tempérées » elles présentent des atténuations de l'ordre de 15, 25 et 50 dB/km respectivement. Par temps sec on a 1, 2 et 6 dB/km, des liaisons sont donc envisageables.



**Fig. 2 : Atténuation atmosphérique de 300 à 600 GHz pour différentes conditions météo.**  
**Légende (température, humidité relative) A : -10°C, 30%, neige ; B : 20°C, 44% ; C :**  
**22°C, 50%, pluie 4 mm/heure ; D : 20°C, 60%, brouillard visibilité 100 m ; E : 43°C,**  
**30%, tempête de sable visibilité 10 m ; F : 35°C, 90%.**

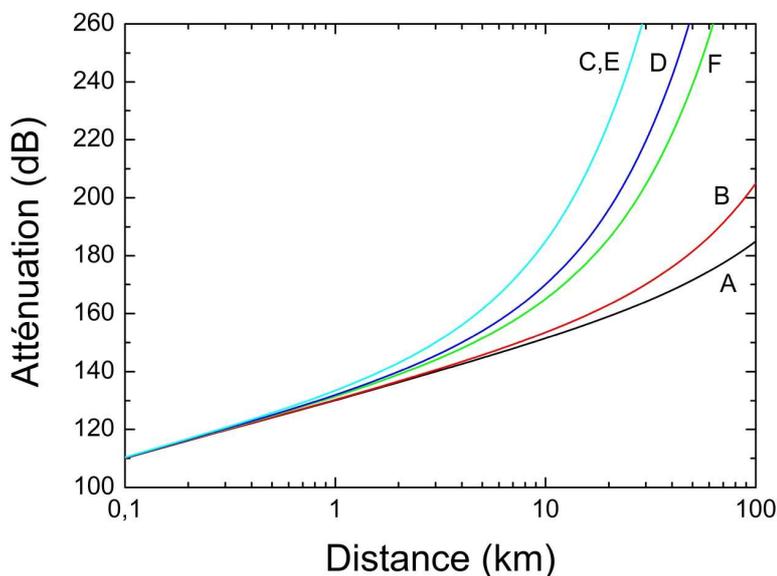
### Calculs de bilans de liaison en tenant compte de l'atténuation atmosphérique

Pour un émetteur et un récepteur en vue directe l'un de l'autre et en l'absence de phénomènes de réfraction (atmosphère homogène), l'atténuation de trajet en dB peut être calculée par la formule suivante :

$$L_{dB} = 92,4 - G_e - G_r + 20 \log f + 20 \log d + Ad$$

Dans cette formule  $G_e$  et  $G_r$  sont le gain des antennes d'émission et de réception en dB,  $f$  est la fréquence en GHz,  $d$  la distance en km et  $A$  l'absorption atmosphérique en dB/km. Si on laisse de côté le gain des antennes on peut tracer l'atténuation à fréquence fixe en fonction de la distance.

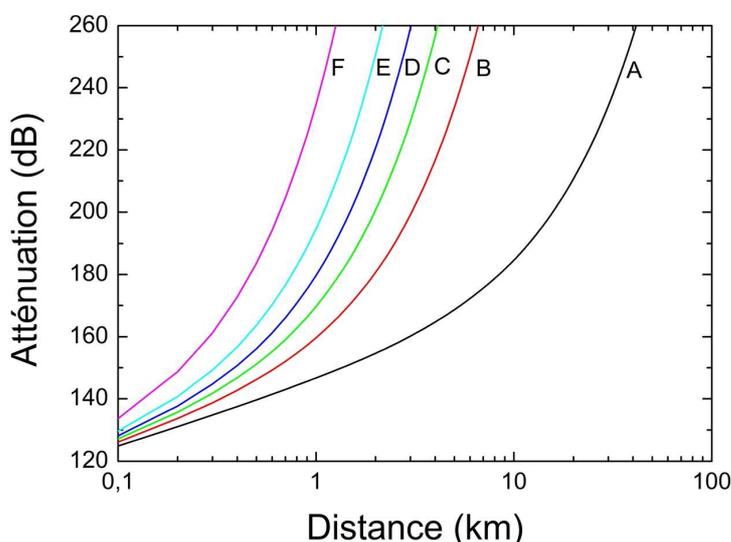
**Exemples :** la figure 3 représente l'atténuation à 76 GHz dans les différentes conditions de la figure 1.



**Fig. 3 :**  
**Atténuation**  
**en fonction de**  
**la distance à**  
**76 GHz.**

Dans un article récent [2] DL2AM indique qu'à 76 GHz avec -23 dBm (5  $\mu$ W) à l'émission, il était au ras du bruit en réception pour une atténuation de 110 dB, soit un plancher de -133 dBm. Si on suppose que l'on dispose de deux antennes de gain 40 dB ce qui peut être facilement réalisé à cette fréquence [3], l'atténuation totale de trajet peut être au maximum de  $110+40+40 = 190$  dB. Grâce à la figure 3, on trouve que cela correspond à 67 km pour 20°C et 44 % d'humidité (courbe B), et à 11 km par temps pluvieux (courbe C). Si on suppose que l'on dispose de +17 dBm (50 mW) à l'émission, on a 40 dB de marge en plus soit 230 dB, ce qui augmente la portée à largement plus de 100 km par temps sec mais seulement à 21 km par temps pluvieux.

La figure 4 représente l'atténuation à 410 GHz dans les différentes conditions de la figure 2. Etant donné les atténuations, il semble difficile d'envisager des liaisons à plus de 100 km mais si l'on imagine disposer de 0 dBm (1 mW) à l'émission, d'un récepteur ayant un NF de 8 dB et d'antennes ayant un gain de 50 dB, des atténuations de trajet de l'ordre de 230 dB doivent être possibles.



**Fig. 4 : Atténuation en fonction de la distance à 410 GHz.**

D'après la figure 4, cela correspond à 28 km par -10°C et 30 % d'humidité (courbe A) et à 5 km par temps plus classique sous nos latitudes soit (20°C, 44 % d'humidité, courbe B). Même dans les pires conditions (climat tropical), une portée d'au moins un km est possible.

### **Conclusions et perspectives pour la montée en fréquence**

Les bandes millimétriques permettent des liaisons à plusieurs centaines de km aux fréquences inférieures à 100 GHz. Les performances sont facilitées par la disponibilité de nouveaux MMIC. Le record actuel à 76 GHz est de 228 km (DL2AM/DJ5AP en 2011). A 241 GHz des distances de 30 km à plus de 200 km sont possibles suivant les conditions. Le record actuel est détenu par WA1ZMS/W4WWQ en 2008 avec 114,4 km. A 410 GHz des liaisons « en dehors du labo » sont possibles : quelques km à quelques dizaines de km. Le record actuel à 403 GHz est de 1,4 km (WA1ZMS/W4WWQ en 2004). Là encore les MMIC devraient permettre de repousser les limites. Ces distances ne sont toutefois théoriquement possibles que si les différents problèmes inhérents à ces fréquences sont maîtrisés : stabilité des fréquences, bruit de phase des oscillateurs, pointage des antennes etc. Enfin remarquons pour terminer que les bandes au-delà de 300 GHz ne sont pas allouées mais des demandes ont été

effectuées, la situation pourrait évoluer car les applications de ces fréquences « térahertz » (1 THz = 1000 GHz) sont actuellement en train de se diversifier. Les fenêtres de transmission sont en particulier utilisées par les radioastronomes.

F4BAY, Jean-François Lampin

## Références

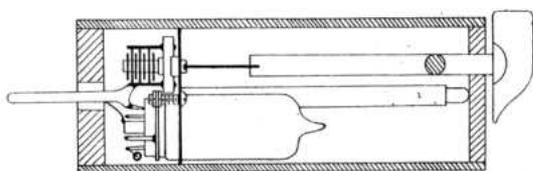
[1] F4BAY, Absorption atmosphérique aux fréquences millimétriques, HYPER N°23, Mai 1998, page 16.

[2] Philipp Prinz, DL2AM, DX and measurements on 76 and 122 GHz, DUBUS 2/2012.

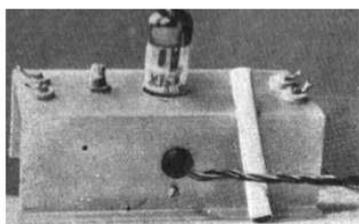
[3] F4BAY, Illumination d'une lentille grâce au cornet 76 GHz dual-mode, HYPER N°180, Avril 2012, page 11.

## RETRO par André F9HX

*Dans le musée de F9HX*



Grid-Dip 435 Mc/s  
≈ ondemètre obligatoire !  
Radio-REF 12/1955  
6J6 oscillateur symétrique  
ligne  $\lambda/4$   
étalonnage : fils de Lecher



*Le musée de F9HX*

Un nouvel étage d'entrée pour récepteur VHF

Radio-REF mai 1952

12AT7/ECC81 double triode grilles à la masse

Entrée et sortie 300  $\Omega$  (twin-lead)

Utilisation : bande 2 mètres

