


Jack F6AJW/P
JA d'août 2014, presque île
de Trévignon/29 en
IN87BT

Je vous prie de m'excuser
pour ce numéro d'Hyper
quelque peu réduit, mais
des impératifs ne m'ont
laissé que peu de temps
ce mois-ci. J'en profite
pour vous adresser mes
meilleurs vœux de santé
et bonheur pour 2015.
73 de Jean Paul F5AYE
et de toute l'équipe
Hyper.



SOMMAIRE :

- QUELQUES MESURES SUR DES COMPOSANTS DE RECUPERATION PAR HANS ON4CDU
ET PETER ON4CDQ3
- LES CONDUITS TROPOSPHÉRIQUES PAR MARCUS C.WALDEN GOIJZ.....12

Edition et page 1 Jean-Paul PILLER f5aye@wanadoo.fr	Infos Hyper Jean-Paul PILLER f5aye@wanadoo.fr	Balises Michel RESPAUT f6htj@aol.com
Toplist, meilleures liaisons '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@gmail.com	CR Gilles GALLET f5jgy gi.gallet@voila.fr Jean-Paul PILLER f5aye@wanadoo.fr

Tous les bulletins HYPER sont sur <http://www.revue-hyper.fr/>



Suite à Hyper N° 208, sont nominés !

Un breton :

Etre actif sur cinq bandes, gérer KST, la VDS et le téléphone ... on devient vite "chèvre" !

Un savoyard :

Mêêêêê, t'as pas KST ? non Mêêêêê allo, quoi !

Un normand :

La réception est un peu chevrotante !

Photo souvenir pour mon "Hand Bouc"

Sommet "La bique du Midi"

Un languedocien :

Il est où ton log bouc?

Première fois que je vois une parabole de Seguin



F4BXL/P en QSO démonstration sur 2,3 GHz
(Les chevaux aussi s'intéressent aux hyper)

Quelques mesures sur des composants de récupération par Hans ON4CDU et Peter ON4CDQ

(Traduction rapide par F1CHF)

Le texte original est ici: <http://home.scarlet.be/~pin32100/Microwave%20roundtable/Measur.pdf>

I. Introduction

La grande question qui se pose est :

Tel connecteur, câble, charge, etc. sont-ils bien adaptés pour telle ou telle fréquence ?

Nous allons essayer de répondre à cette question en testant le matériel disponible.

Au laboratoire du K.U.Leuven ESAT-Telemic, nous avons eu accès à un équipement qui monte jusqu'à 50 GHz.

Il est évident que nous n'avons testé que le matériel que nous avons pu nous procurer dans différentes braderies et autres endroits ; il est bien sûr possible qu'un matériel ayant les mêmes connecteurs puisse réagir différemment ! ce n'est pas une bible, mais un bon guide...

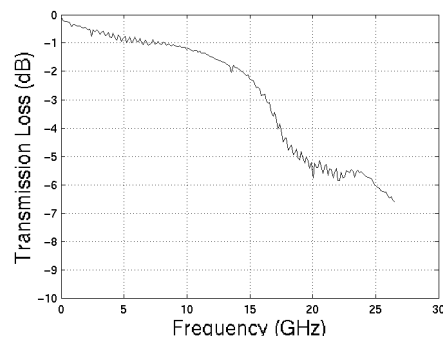
1. Câbles souples

Les câbles souples (RG-316) avec prises SMA sont fréquemment utilisés sur les bandes THF.

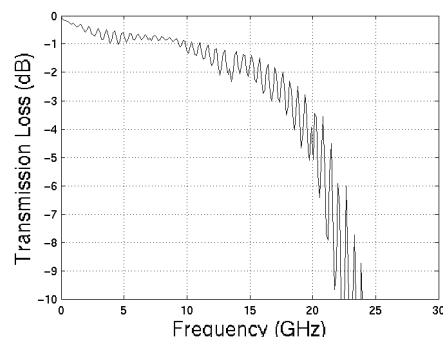
Voici le résultat de la mesure à l'aide d'un analyseur de réseau (network analyser).



Câble avec prises droites, longueur : 26 cm



Câble avec prises coudées, longueur: 17 cm



Note : Plusieurs câbles du même modèle ont été mesurés et ont donné des résultats similaires.

Conclusion : ce type de câble peut être utilisé jusqu'à 5 GHz ; dans le cas d'utilisations non critiques comme l'alimentation d'un oscillateur local sur 10 GHz, l'atténuation doit être prise en compte dans les calculs.

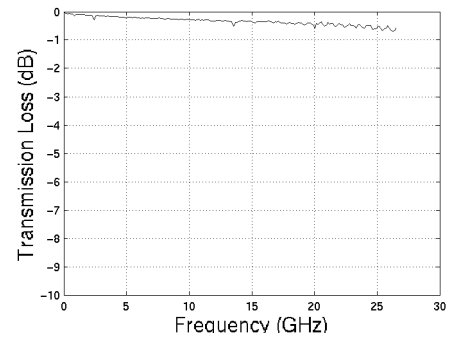
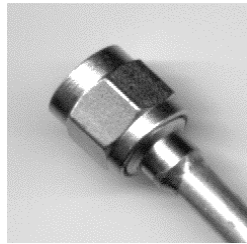
A noter que les câbles équipés avec des prises coudées ont des résultats généralement plus mauvais.

2. Câbles semi-rigides avec prises SMA

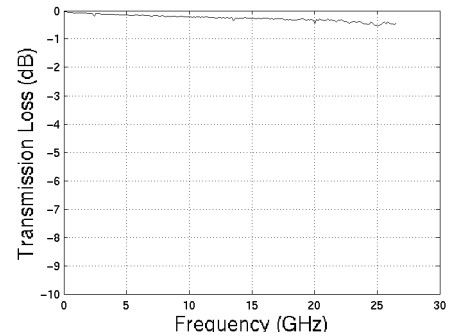
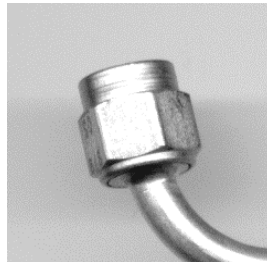
a) Câble 3,58 mm type 0,141 de pouce



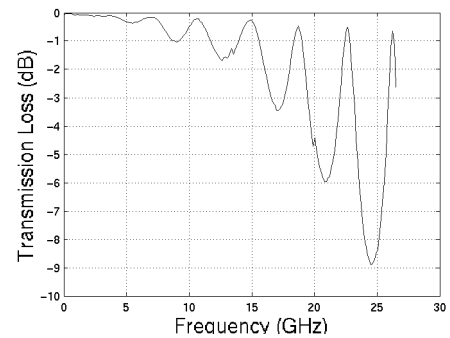
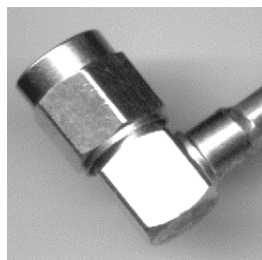
Longueur : 10 cm



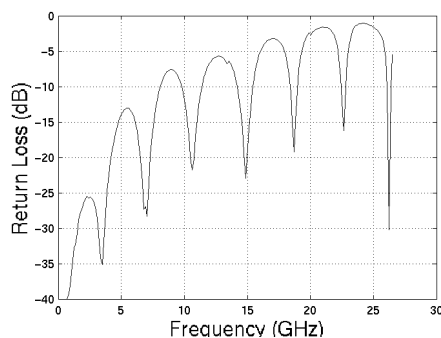
Longueur : 10 cm



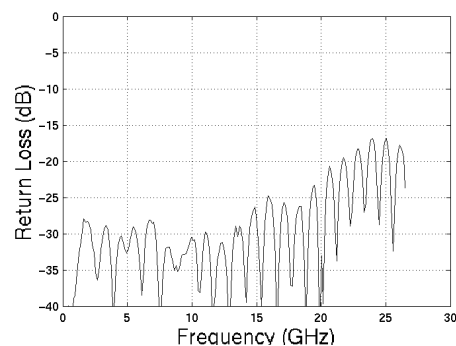
Longueur : 3 cm



Le coefficient de réflexion (S_{11}) de ces câbles est aussi intéressant : il est clair que les pertes de transmission (S_{21}) sur le câble de 3 cm avec connecteur coudeé n'est pas causé par une absorption du câble mais plutôt par une réflexion dans les connecteurs.



S_{11} du câble avec connecteur coudeé



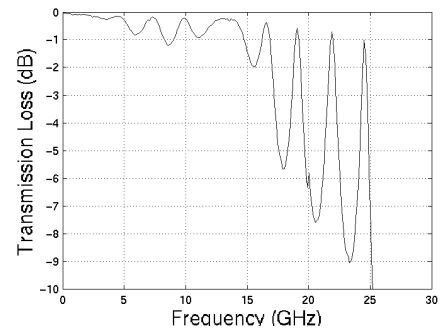
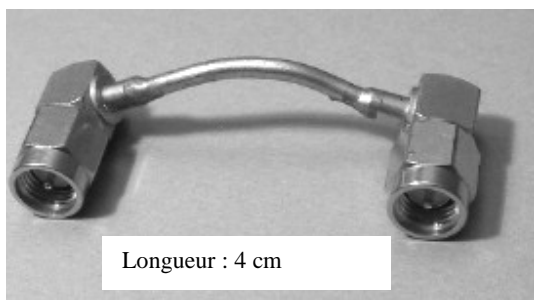
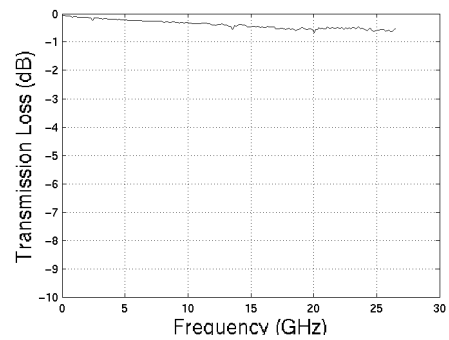
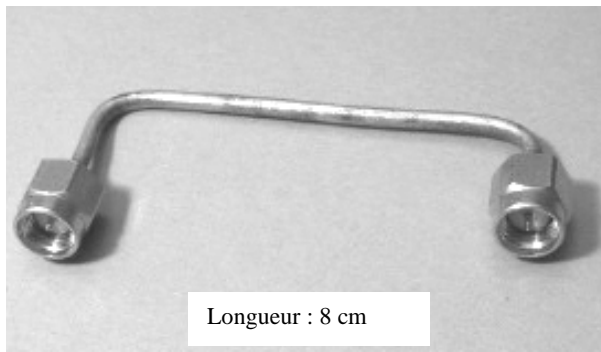
S_{11} du premier câble avec connecteur droit

Comme montré plus haut il y a une grande différence entre les prises droites et les coudeés.

Conclusion : les câbles semi-rigides avec des prises droites provoquent (hélas) des pertes mais les câbles semi-rigides équipés de prises coudeés donnent des résultats très variables aux fréquences

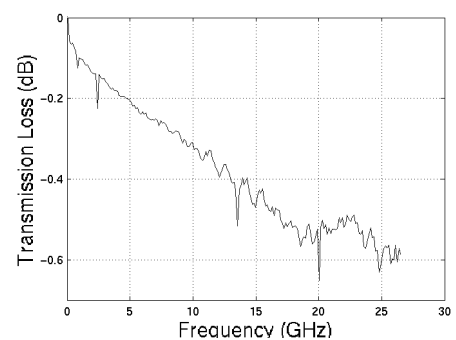
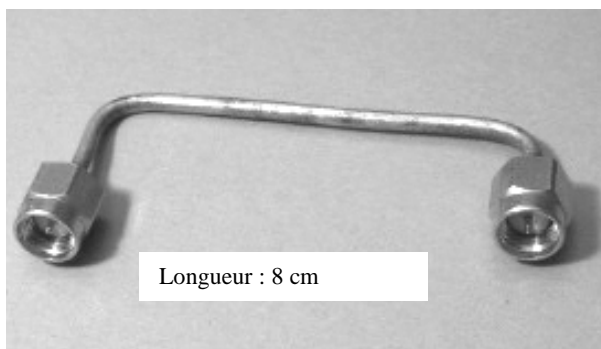
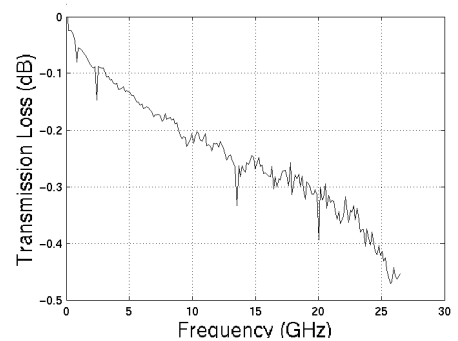
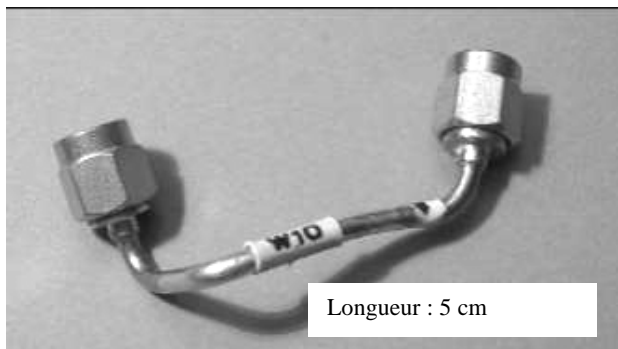
hautes et de ce fait ne sont pas recommandés pour un usage au dessus de 5 GHz.
Ces variations peuvent entraîner des difficultés dans les réglages et empêchent une certaine reproductivité des montages surtout lors de changement de câbles.

b) Câble 2,18 mm type 0,086 de pouce

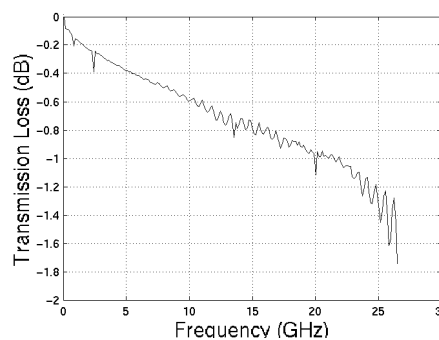
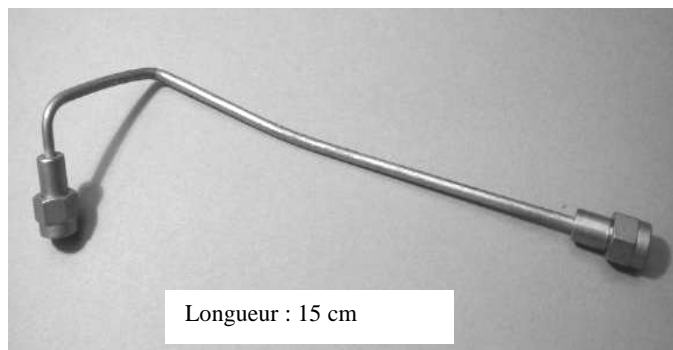
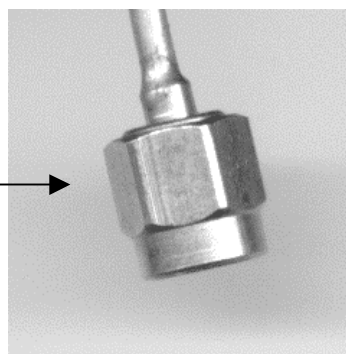


Conclusion : Il n'y a pas de grosses différences dans les mesures lorsque du câble semi-rigide fin est utilisé. Les conclusions données pour le câble semi-rigide de 0,141 pouce (3,6 mm) sont valables pour les deux types.

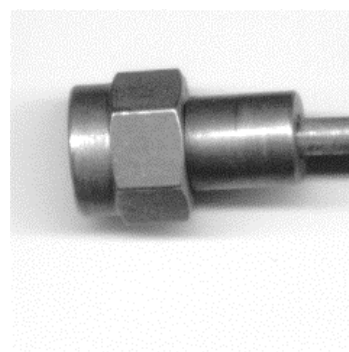
Quelques mesures complémentaires sur des câbles avec connecteurs droits.



Les deux câbles précédents ont le même type de connecteur.

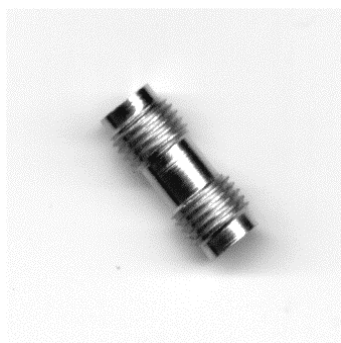


Conclusion : bien que les prises SMA soient spécifiées à 18 GHz, les connecteurs droits peuvent être utilisés jusqu'à 24 GHz pour les besoins amateurs. Les connecteurs soudés sont supérieurs aux connecteurs sertis.



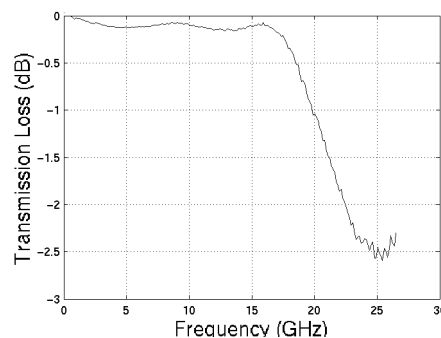
3. Adaptateurs droits

a) Adaptateur droit femelle / femelle



Adaptateur plaqué nickel.

Conclusion : peut être utilisé jusqu'à 18 GHz pour les applications non critiques. Non recommandé pour le 24 GHz.

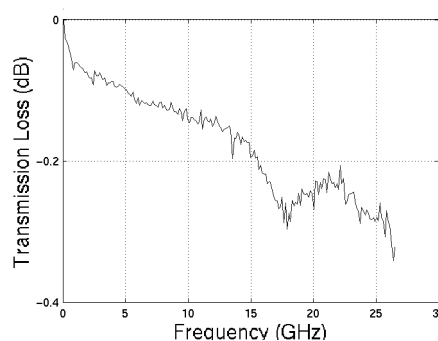


b) Traversée de cloison (adaptateur droit femelle)



Adaptateur plaqué or.

Conclusion : très bon adaptateur, aucun problème jusqu'à 24 GHz.

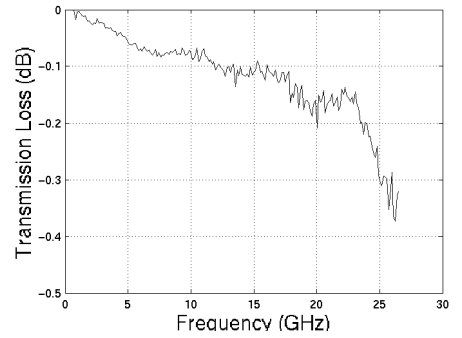


c) Adaptateur droit mâle/mâle

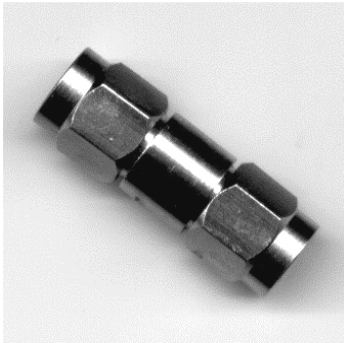


Adaptateur mâle/mâle acier inox

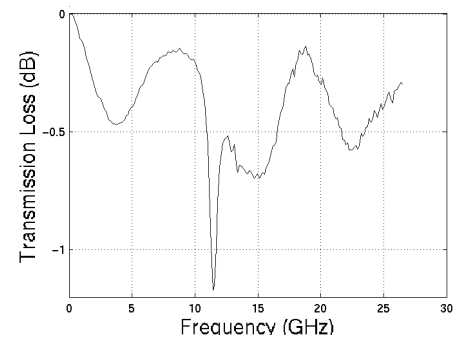
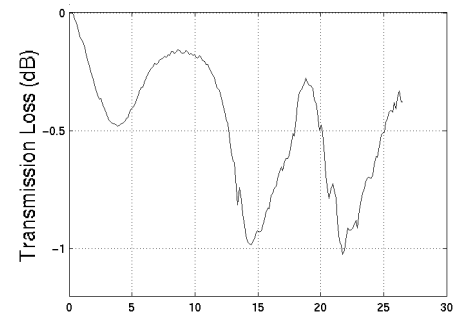
Conclusion: très bon adaptateur, aucun problème jusqu'à 24 GHz.



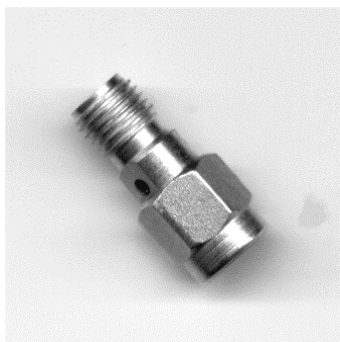
Adaptateur mâle/mâle plaqué nickel. Plus long que le précédent.



Conclusion : il vaut mieux éviter de l'utiliser !

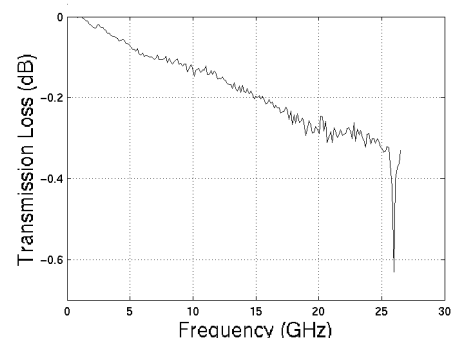


d) Adaptateur droit mâle/femelle



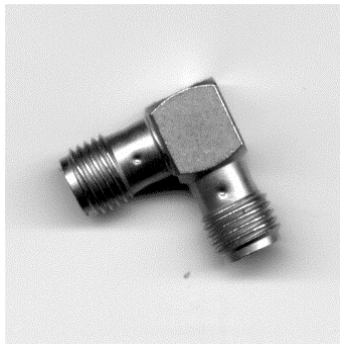
Adaptateur plaqué or d'occasion.

Conclusion : très bon adaptateur, aucun problème jusqu'à 24 GHz. On voit une résonance sur une fréquence supérieure à 25 GHz.



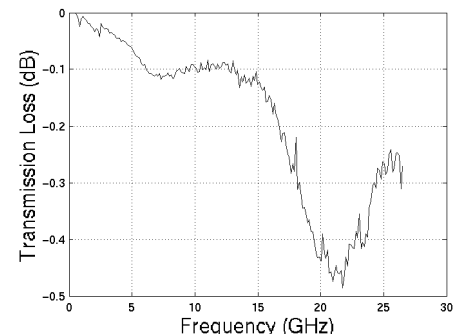
4. Adaptateurs en L

a) Adaptateur femelle/femelle



Adaptateur plaqué OR d'occasion.

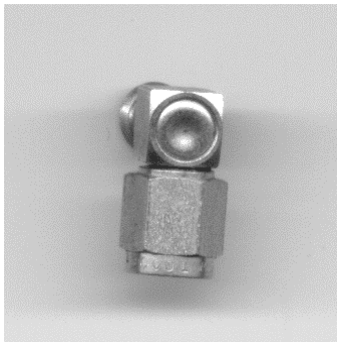
Conclusion : tout à fait correct pour un adaptateur soudé !



b) Adaptateur mâle/femelle

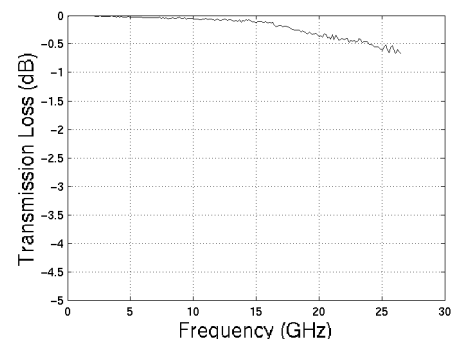
Note : l'échelle des graphiques est différente.

Les mesures suivantes montrent des différences tout à fait importantes dans le comportement entre les prises mesurées. Les photographies détaillées de certains de ces adaptateurs montrent les petites différences.



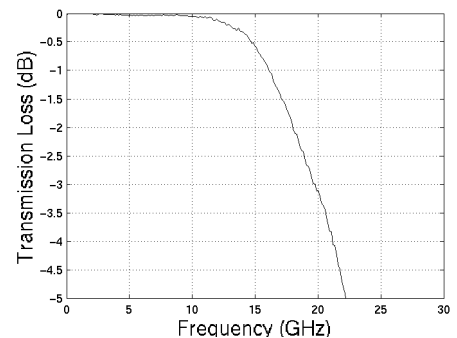
Adaptateur plaqué or d'occasion.

Conclusion : tout à fait correct et peut être utilisé sur 24 GHz lorsqu'un connecteur coudé est nécessaire.



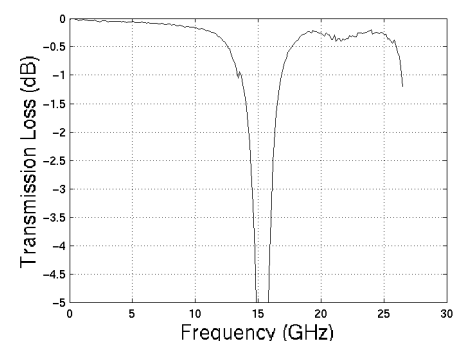
Adaptateur plaqué or d'occasion.

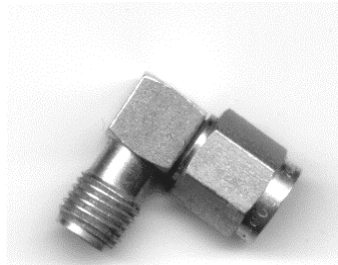
Conclusion : l'aspect est peu différent par rapport à l'adaptateur ci-dessus mais le comportement est complètement différent ! Cet adaptateur ne doit pas être utilisé sur 24 GHz !



Adaptateur plaqué or d'occasion.

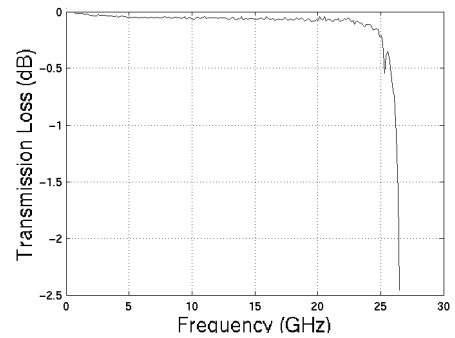
Conclusion : une résonance juste au dessus de 15 GHz.





Adaptateur plaqué or
d'occasion.

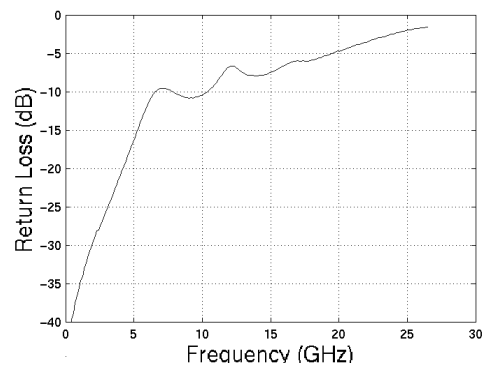
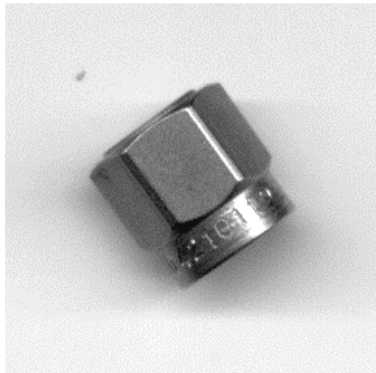
Conclusion : une belle pièce
utilisable pour du 24 GHz.



Conclusions finales pour les adaptateurs en L : Il y a une grande différence de comportement entre ces adaptateurs. Aucune relation directe entre la forme et les résultats ; nous n'avons pas assez de matériels pour tout vérifier. Pour du 10 GHz ces adaptateurs en L peuvent être utilisés, mais pour du 24 GHz il est conseillé de faire vos achats et vos tests vous-mêmes !

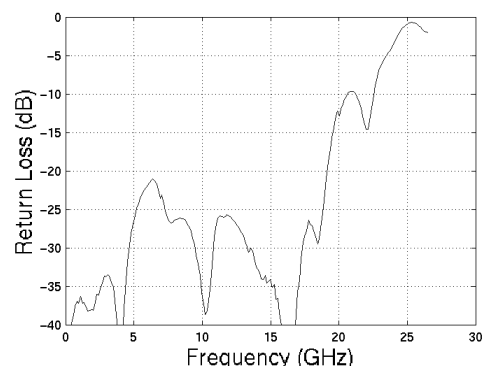
5. Charges

a) Occasion, acier inox, petite charge SMA



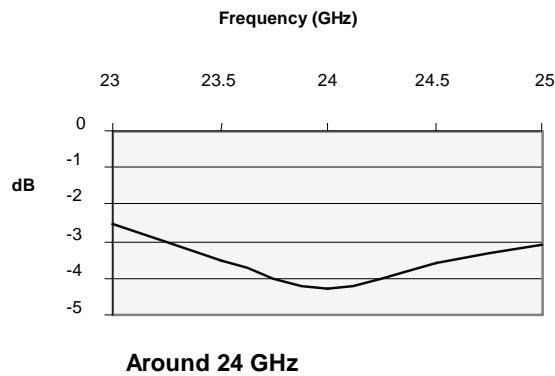
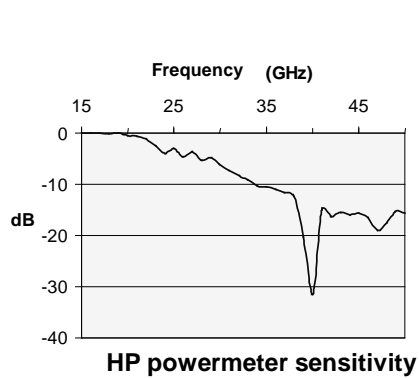
La photographie montre une charge ordinaire, très souvent vendue dans les brocantes. Cette charge existe dans différents modèles. Pour une personne non initiée c'est très difficile de distinguer quel est le bon modèle ! La charge actuellement mesurée est certainement valable pour les fréquences « basses » et ne doit pas être utilisée au dessus de 5 GHz.

b) Charges professionnelles



Au dessus de 18 GHz le "return loss" est supérieur à -20 dB. Normal ! Ces charges avec connecteur type N ne doivent pas être utilisées au dessus de 18 GHz ou alors il faut admettre certaines dégradations !

6. Sonde de mesure de puissance type HP8484A



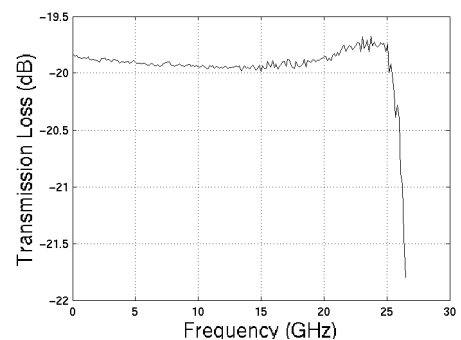
La sonde HP8484A est spécifiée jusqu'à 18 GHz. Utilisée à 24 GHz, la sensibilité est inférieure de 4 dB mais reste utilisable jusqu'à 35 GHz. Au dessus de 35 GHz il apparaît des phénomènes de résonance qui faussent la mesure.

7. Atténuateurs

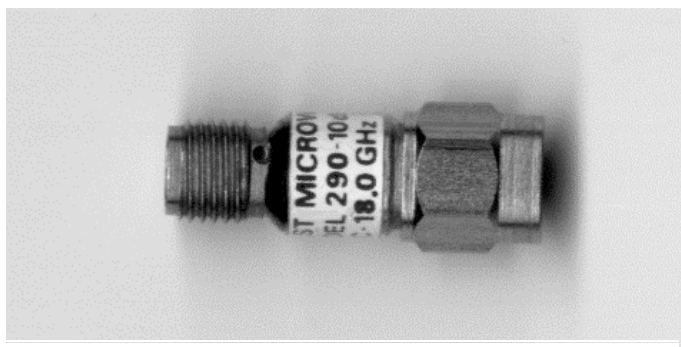
Un certain nombre de mesures ont été effectuées sur des atténuateurs spécifiés jusqu'à 18 GHz. Deux mesures sont données ici.



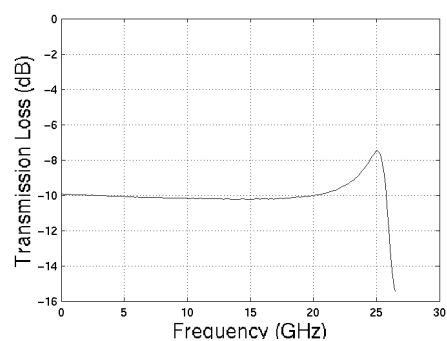
Atténuateur Narda



Conclusion : cet atténuateur peut être utilisé jusqu'à 24 GHz sans problème



Midwest Microwave 10 dB attenuator model 290

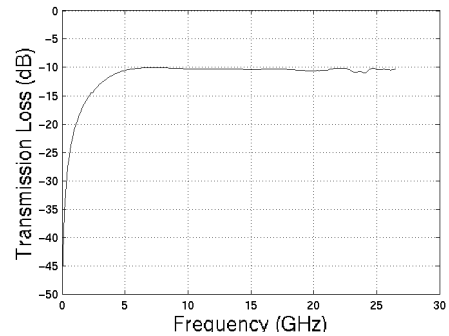
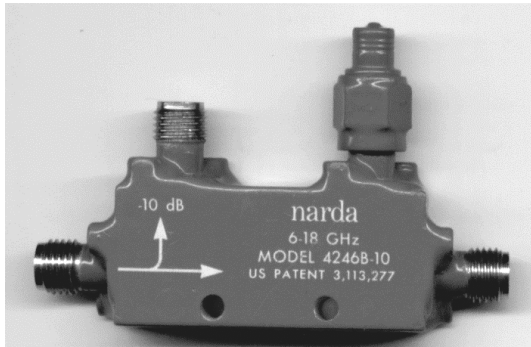


Conclusion : le graphique montre une déviation importante au dessus de 18 GHz due aux résonances internes.

Conclusion générale : Si vous voulez utiliser des atténuateurs en dehors des fréquences préconisées, il est bon de les calibrer préalablement sur ces fréquences !

8. Coupleur

Coupleur Narda 10 dB. Impeccable jusqu'à 24 GHz.



III. Conclusions

En général, l'utilisation de connecteurs SMA à 10 et éventuellement à 24 GHz est possible.

Evitez les angles à 90 degrés, aussi bien pour un adaptateur en L ou un connecteur.

Si vous regardez les données constructeurs, ils ne fournissent que rarement les caractéristiques pour ce type de matériel !

Les connecteurs de type N de bonne qualité peuvent être utilisés jusqu'à 18 GHz. A trouver dans les braderies ! On en récupère sur certains équipements de tests.

(Note du traducteur : regardez bien la tulipe intérieure de la N et comptez le nombre de segments ; six segments indiquent une prise de qualité).

Les conduits troposphériques par Marcus C.Walden G0IJZ

L'aspect pratique par les équations et l'analyse des données de radiosondage

Marcus C. Walden, G0IJZ marcuswalden@ieee.org

Cet article a été initialement publié en anglais dans la revue RadCom (éditions d'octobre et de novembre 2014).

Traducteurs : Hervé Sizun et Guy Gervais F2CT. Avec l'aimable autorisation du Dr. Marcus Walden G0IJZ et du RSGB.

Introduction

Les distances de propagation en VHF, UHF et sur les fréquences micro-ondes se limitent généralement juste au-delà de la ligne d'horizon (la ligne d'horizon radioélectrique). Elles dépendent toutefois des paramètres du système (gains des antennes, niveau de puissance émise, sensibilité du récepteur), de l'affaiblissement dû à la configuration sol, de la présence d'obstacles (bâtiments, arbres, etc.) et de l'affaiblissement atmosphérique. Des liaisons trans-horizons sont toutefois régulièrement établies. Mais pour surmonter les pertes importantes dues à la diffraction et/ou à la diffusion troposphérique les systèmes utilisent généralement des puissances d'émission élevées, des gains d'antenne importants, des récepteurs très sensibles et des modulations à faible niveau de signal. Cependant, en présence d'un conduit troposphérique, les ondes radioélectriques peuvent, à ces fréquences, se propager bien plus efficacement sur de longues distances, bien au-delà de l'horizon. Le conduit troposphérique est une forme de propagation anormale (terme généralement utilisé dans le langage radar). Pour les utilisateurs professionnels du spectre radioélectrique, la propagation anormale peut engendrer des problèmes d'interférences entre différents systèmes [3] ou causer de faux échos sur les écrans radar [13]. Toutefois, pour les radioamateurs, un conduit troposphérique représente une opportunité d'augmenter les distances de communication en VHF, UHF et sur les fréquences micro-ondes qu'ils exploitent.

Le but de cet article est de présenter quelques équations de base qui permettent d'identifier et de caractériser les conduits troposphériques (la profondeur du conduit, l'angle critique, la fréquence critique minimale) à partir de données de radiosondage facilement disponibles. Avec cette information, il est non seulement possible de comprendre pourquoi certaines liaisons radioélectriques fonctionnent mais également pourquoi d'autres ne fonctionnent pas. Il est même possible, sous certaines conditions météorologiques, d'obtenir une alerte précoce ou en temps réel (mais sans garantie de succès) de la présence d'un conduit en examinant en temps réel les données de radiosondage d'autres stations météorologiques relativement proches.

Cet article n'a pas la prétention d'examiner les processus physiques et météorologiques complexes qui génèrent les conduits troposphériques. Une excellente introduction est décrite dans un récent article publié dans le magazine RadCom par Jim Bacon G3YLA [2]. Une description plus détaillée peut être obtenue dans des ouvrages dédiés aux radioamateurs tels que ARRL UHF/Microwave Experimenter's Manuel [1], Microwave Handbook [7] ou dans la littérature académique et professionnelle (par exemple Propagation of radiowaves [3]). Là où des équations sont données, une référence est fournie pour les lecteurs intéressés qui souhaitent explorer le sujet par eux-mêmes.

Deux études de cas de récents phénomènes de conduits troposphériques importants sont présentées. L'analyse des données de radiosondage et les simulations des affaiblissements de propagation montrent comment cette information peut être utilisée pour acquérir une expérience pratique sur les phénomènes de conduit.

Indice et coïndice de réfraction

La densité de l'air diminue avec l'altitude au-dessus du sol. Par conséquent, les passagers des avions de ligne doivent être pressurisés et les montagnards de haute altitude ont parfois besoin d'oxygène supplémentaire. De cette variation de la densité de l'air en fonction de l'altitude il découle une variation de l'indice de réfraction de l'air en fonction de l'altitude. Il en résulte que les trajectoires des ondes radioélectriques se courbent au fur et à mesure qu'elles se propagent dans l'atmosphère. La connaissance de l'indice de réfraction nous permet de comprendre l'importance de la réfraction dans l'atmosphère. Dans des conditions atmosphériques «normales», l'horizon pour les ondes radioélectriques est supérieur à l'horizon optique en raison de leur réfraction dans l'atmosphère. C'est comme si le rayon de la Terre était plus grand qu'il n'était en réalité (la règle des 4/3 du rayon terrestre est généralement utilisée dans les études de propagation).

Comme la valeur de l'indice de réfraction n dans l'air est très proche de l'unité (soit approximativement 1,0002 à 1,0004), il est plus commode d'utiliser le coïndice N . Il est donné par la relation mathématique [4]:

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (1)$$

Bien que le coïndice N soit sans dimension, les unités N sont utilisées.

Le coïndice dépend de la pression atmosphérique P (mbar), de la température absolue T ($K = ^\circ C + 273,15$) et de la pression partielle de vapeur d'eau e (mbar). Il est donné par la relation [4]:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (2)$$

Le premier terme de l'équation (2) est la composante sèche, tandis que le second est la composante humide. Les conduits troposphériques se produisent généralement quand il y a des inversions de température, mais c'est le changement de la teneur en humidité de l'air au niveau du conduit qui a le plus d'influence sur la variation du coïndice avec l'altitude.

La pression partielle de vapeur d'eau e peut être reliée à l'humidité relative RH (en %) selon la relation suivante [15]:

$$e = \frac{6.1121RH}{100} \exp \left[\frac{17.502(T - 273.15)}{T - 32.18} \right] \quad (3)$$

Pour calculer le coïndice de réfraction à différentes altitudes, les paramètres atmosphériques à ces altitudes doivent être connus et, heureusement, peuvent être facilement obtenus à l'aide de radiosondes.

Les radiosondes

Les radiosondes sont des capteurs à bord de ballons météorologiques pour mesurer durant leur ascension les paramètres atmosphériques tels que la pression, la température et l'humidité. Les données de mesure sont transmises au sol via une liaison radio de télémétrie. Généralement les lancers de ballon sont effectués deux fois par jour, à 0000 UTC et 1200 UTC.

S'il est possible de recevoir des signaux «locaux» de radiosondage, les données mondiales de radiosondage (y compris les données archivées) sont facilement disponibles via le site web de l'Université du Wyoming [14]. A titre d'exemple, la figure 1 montre les premières lignes de données mesurées obtenues via ce site pour une radiosonde lancée du centre météorologique de Nottingham. Pour l'étude présentée ici, la pression atmosphérique (PRES), la température de l'air (TEMP) et de l'humidité relative (RELH) sont utilisées.

L'une des limitations des données de radiosondage est la faible résolution verticale (c'est-à-dire que les mesures sont largement espacées en altitude). Cela signifie que les détails finement structurés peuvent ne pas être visibles sur le radiosondage [3]. En outre, certains conduits peuvent être de courte durée de telle sorte que les heures typiques de lancement des radiosondages ne coïncident pas avec leur existence [1]. Malgré ces limites, les données de radiosondage ont toute leur importance.

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1008.0	117	9.8	5.2	73	5.53	265	9	282.3	297.8	283.2
1007.0	125	9.8	4.8	71	5.38	266	10	282.4	297.5	283.3
1000.0	185	9.4	4.5	71	5.31	277	18	282.6	297.5	283.5
998.0	202	9.4	4.6	72	5.34	280	20	282.7	297.8	283.6
997.0	210	9.4	4.6	72	5.36	281	20	282.8	297.9	283.7
993.0	243	9.1	4.5	73	5.33	285	22	282.8	297.8	283.7
977.0	378	7.7	3.9	77	5.22	280	25	282.7	297.4	283.6

Figure 1: Exemple de données de radiosondage à Nottingham obtenues auprès de l'Université du Wyoming [14]

Indice de réfraction modifié

Les ondes radioélectriques qui se propagent dans un conduit troposphérique suivent la courbure de la Terre, comme si la Terre était plate (c'est-à-dire si elle avait un rayon infini). Dans ces circonstances, il est plus commode dans les études des conduits d'utiliser un autre terme appelé l'indice de réfraction modifié M , qui est relié au coïndice N par la relation [3]:

$$M = N + 157h \quad (4)$$

où h est l'altitude (km). M est également sans dimension mais les unités M sont utilisées pour plus de commodité.

La figure 2 compare le coïndice N et l'indice de réfraction modifié M en fonction de l'altitude dans le cas d'un conduit théorique ; l'avantage d'utiliser l'indice de réfraction modifié M est évident. En l'absence d'un conduit troposphérique, la pente de la courbe de l'indice de réfraction modifié est positif (c'est-à-dire qu'elle monte vers la droite). Toutefois, si un conduit est présent, la pente est négative (c'est-à-dire qu'elle monte vers la gauche), ce qui peut être vu immédiatement sur le graphique de l'indice de réfraction modifié. Cette partie de l'atmosphère est connue comme la couche de piégeage et a une épaisseur T . La variation de l'indice de réfraction modifié sur la couche de piégeage est donnée par ΔM . Le conduit troposphérique réel s'étend depuis la partie supérieure de la couche de piégeage, jusqu'à l'altitude où la valeur de l'indice de réfraction modifié est égale à celle dans la partie supérieure de la couche de piégeage. La profondeur du conduit, donnée par D , ne peut pas être facilement extraite de la courbe de l'indice de réfraction, ce qui illustre l'avantage d'utiliser à la place l'indice de réfraction modifié.

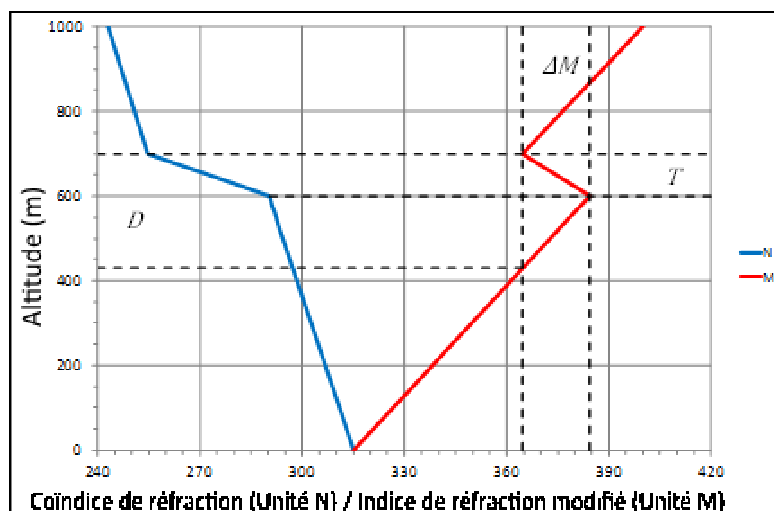


Figure 2: Exemple de courbes du coïndice N et de l'indice de réfraction modifié M en fonction de l'altitude montrant la couche de piégeage et le conduit

La connaissance de ces paramètres du conduit nous aide à comprendre les autres caractéristiques du conduit et potentiellement comment nous pourrions mieux les utiliser. L'existence d'un conduit n'est pas nécessairement et clairement mise en évidence sur le graphique du coïndice ; bien que l'épaisseur de la couche de piégeage soit déterminée, l'épaisseur du conduit n'est pas définie.

Sur le graphe de l'indice de réfraction modifié, nous voyons clairement si nous avons affaire à une couche de surface (conduit de surface) ou à une couche élevée (conduit en altitude). Parfois, la couche élevée peut être suffisamment épaisse pour former un conduit s'étendant jusqu'à la surface de la Terre (couche élevée, conduit de surface), mais parfois pas (couche élevée, conduit en altitude).

La figure 3 montre le profil de l'indice de réfraction modifié observé à Larkhill à partir des données du radiosondage réalisé à 0600 UTC le 9 Juillet 2013. Ce profil particulier montre de multiples conduits en altitude au-dessous de 2000 m. Le sommet du conduit le plus bas est à 392 m d'altitude et était suffisamment large pour former un conduit de surface.

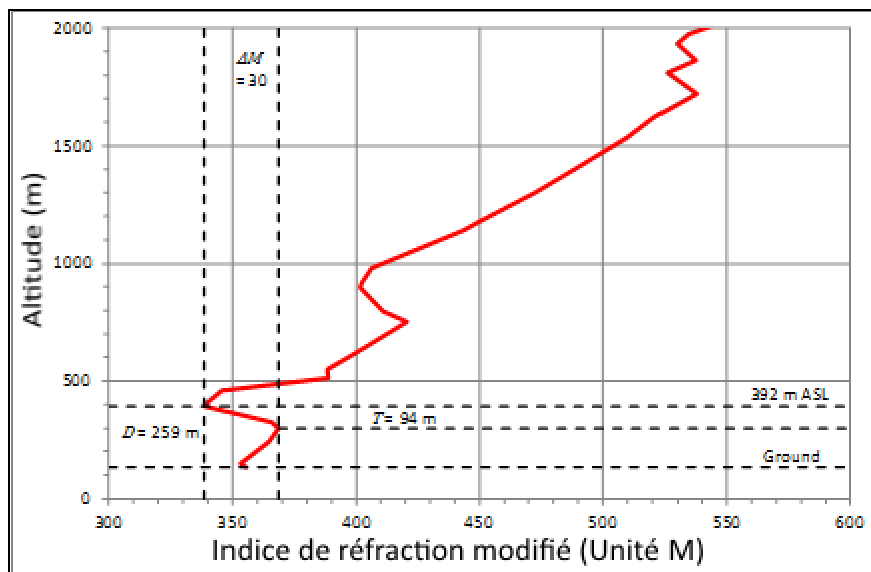


Figure 3: Profil de l'indice de réfraction modifié observé à Larkhill à partir des données du radiosondage réalisé à 0600 UTC le 9 Juillet 2013

Il semble y avoir un conduit peu profond directement au-dessus de la surface du sol, mais cela pourrait être un artefact des calculs car les mesures d'humidité réalisées près de la Terre ne sont pas toujours très fiables [13]. En conséquence, aux fins de cette analyse, ce «conduit» est ignoré et le conduit avec son sommet à 392 m est considéré comme le plus bas.

Les types de conduits troposphériques [3]

Les conduits troposphériques se forment de différentes façons en raison de la diversité des processus météorologiques dans l'atmosphère. Nous distinguons les conduits de surface et les conduits en altitude en fonction des processus météorologiques mis en jeu.

Les conduits de *subsidence* sont des conduits en altitude qui se sont formés durant des conditions anticycloniques (c'est-à-dire en présence de haute pression atmosphérique). L'air froid est réchauffé lors d'une compression adiabatique lorsqu'il descend dans l'atmosphère pour former une inversion de température.

Les conduits d'advection se rapportent aux mouvements à grande échelle de masses d'air. Par exemple, de l'air chaud et sec du continent passant par advection au-dessus de l'air plus froid et plus humide au-dessus de la mer. Les conduits d'advection sont généralement des conduits de surface.

Les conduits de rayonnement sont formés au cours de la nuit lorsque la chaleur s'échappe du sol et produit une inversion de température. Les conduits de rayonnement sont détruits par le chauffage solaire après le lever du soleil.

Les conduits d'évaporation sont des conduits de surface très fins qui se forment et existent la plupart du temps sur les océans et autres grandes étendues d'eau.

L'angle critique

Comme mentionné ci-dessus, la valeur de l'indice de réfraction dans l'atmosphère est très proche de l'unité, les ondes radioélectriques sont peu réfractées sur une courte distance. Pour un couplage efficace à l'entrée d'un conduit troposphérique, l'onde incidente doit attaquer le conduit avec un angle inférieur à l'angle critique θ_{crit} (degrés) donné par la relation [8]:

$$\theta_{crit} = 0.0573\sqrt{2\Delta M} \quad (5)$$

L'angle critique sera inférieur à 1° pour la plupart des conduits typiques. Pour le profil du conduit représenté sur la figure 3, l'angle critique du conduit dont le sommet est à 392 m est égal à ~ 0,4 °. Pour des angles d'incidence supérieurs à l'angle critique, les trajectoires ondes radio, bien que courbées, ont tendance à traverser le conduit. Une partie de l'énergie RF sera réfléchi par le conduit, mais la quantité sera faible et dépendra de la puissance et de la profondeur du conduit. L'amplitude du coefficient de réflexion ρ est donnée par la relation [8]:

$$|\rho| \leq \frac{\left(\frac{\theta_{crit}}{\theta}\right)^2}{8\pi\delta \sin \theta} \ll 1, \quad \theta > \theta_{crit} \quad (6)$$

où θ est l'angle d'incidence (degrés) et δ est la profondeur de canal en terme de longueurs d'onde ($\delta = D / \lambda$). (La référence [8] définit les angles en radians, alors que nous utilisons ici les degrés. L'équation (5) a été ajustée pour les degrés. Cependant, cet ajustement n'est pas nécessaire pour l'équation (6) car c'est une fonction d'un rapport d'angles).

Les liaisons radioélectriques terrestres ne seront généralement pas affectées de manière significative par des conduits élevés à des altitudes supérieures à ~ 1 km parce que les ondes radioélectriques attaquent le conduit suivant un angle différent de zéro en raison de la courbure de la Terre [3]. Cependant, les radioamateurs, depuis le sommet de montagnes ou de collines, enthousiastes du programme de diplômes SOTA (Summits On The Air) pourraient bien profiter de l'existence de conduits élevés en supposant qu'ils soient au voisinage de l'altitude du conduit. A l'inverse, ils pourraient ne pas en bénéficier si le conduit est basé en surface et s'ils sont trop situés au-dessus.

Longueur d'onde maximale / Fréquence minimale

L'intensité ou la puissance d'un conduit est donnée en fonction de la longueur d'onde maximale λ_{max} (m) piégée à l'intérieur du conduit donnée par la relation [13]

$$\lambda_{max} \cong \frac{2}{3} CD\sqrt{\Delta M} \quad (7)$$

où C est une constante et D est la profondeur de conduit (m). Pour des conduits élevés, la valeur de C est égale $5,66 \times 10^{-3}$, tandis que pour des conduits de surface la valeur de C est $3,77 \times 10^{-3}$.

A la longueur d'onde maximale correspond une fréquence minimale f_{min} (MHz) qui est simplement donnée par la relation:

$$f_{min} = \frac{300}{\lambda_{max}} \quad (8)$$

De cette manière, la propagation des ondes radioélectriques dans un conduit est analogue (mais pas exactement) à la propagation dans un guide d'ondes de transmission.

L'équation (7) ayant été déterminée de manière empirique, la longueur d'onde de coupure, à savoir la fréquence minimale, n'est pas nettement définie. Par conséquent, les signaux à basses fréquences pourraient être encore guidés. En outre, le conduit n'est pas parfait, ce qui signifie que l'énergie à des fréquences plus élevées s'échappe du conduit [3].

Même si une fréquence est trop faible pour être prise en considération par le conduit, des réflexions partielles des ondes radioélectriques sur les couches de piégeage peuvent apparaître (en raison de la variation brusque de l'indice de réfraction), améliorant ainsi les conditions de propagation par rapport à des conditions normales. En général, les conduits présentent moins d'importance aux fréquences inférieures à ~ 500 MHz, alors que les réflexions tendent à être moins importantes au-dessus de ~1 GHz [9].

Des équations (7) et (8), nous comprenons que l'énergie HF à des fréquences micro-ondes est plus susceptible de se propager via les conduits troposphériques qu'en UHF, qui à son tour est plus susceptible de se propager qu'en VHF. Pour permettre la propagation à 144 MHz, un conduit troposphérique doit être profond et la couche de piégeage doit présenter une grande variation de son indice de réfraction modifié (les paramètres D et ΔM doivent avoir des valeurs importantes).

Par exemple, le profil du conduit représenté sur la figure 3 indique que le conduit de surface est suffisamment épais pour supporter la propagation jusqu'à ~ 84 MHz. En revanche, les conduits d'évaporation sont peu profonds et, par conséquent, ont tendance à affecter davantage les fréquences micro-ondes plus élevées [3].

Dans notre prochain numéro, l'auteur étudiera deux cas concrets, à savoir les liaisons GM0USI/P-F2CT/P sur 10 GHz et GB3SEE-G4BAO sur 24 GHz.

On trouvera ci-dessous les références des livres et articles dont l'auteur fait référence dans cette étude.

Bibliographie

- [1] American Radio Relay League, *The ARRL UHF/Microwave Experimenter's Manual*, ARRL, 1990.
- [2] J. Bacon, G3YLA, "Getting started with Tropo propagation", *RadCom*, pp. 40-43, October 2013
- [3] L. W. Barclay, *Propagation of Radiowaves*, Second Edition, IEE, 2003.
- [4] B. R. Bean and E. J. Dutton, *Radio Meteorology*, National Bureau of Standards Monograph 92, 1966.
- [5] John Cooke, GM0USI, "That Tropo Record: IO76XA to IN93IH", *Scatterpoint*, pp. 24-25, August/September 2012.
- [6] COST 210 Final Report, "Influence of the atmosphere on interference between radio communications systems at frequencies above 1GHz", *EUR 13407 EN*, Commission of the European Communities, 1991.
- [7] M. W. Dixon, G3PFR, *Microwave Handbook*, Volume 1, RSGB, 1989.
- [8] H. T. Dougherty and E. J. Dutton, "The Role of Elevated Ducting for Radio Service and Interference Fields", NTIA Report 81-69, March 1981.
- [9] M. P. M. Hall, *Effects of the troposphere on radio communication*, IEE, 1979.
- [10] M. Levy, *Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation*, IEE, 2000.
- [11] Make More Miles on VHF, <http://www.mmmonvhf.de/tr.php?year=2012&month=09&day=15>
- [12] R. Staples, G4HGI, "VHF/UHF", *RadCom*, pp. 58-60, September 2013.
- [13] J. D. Turton, D. A. Bennetts, and S. F. G. Farmer, "An introduction to radio ducting", *Meteorological Magazine*, vol. 117, pp. 245-254, 1988.
- [14] University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science, Upper Air Soundings: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [15] J. L. Volakis, *Antenna Engineering Handbook*, Fourth Edition, McGraw-Hill, 2007.
- [16] J. Worsnop, G4BAO, "GHz Bands", *RadCom*, pp. 62-63, September 2013.

