

Analyse du fonctionnement de l'antenne G5RV à l'aide du simulateur 4NEC2

F6CSS version 2017-10-28

1) Introduction

L'antenne G5RV* est une antenne du type doublet (2 x 15 m) fonctionnant en 3/2 ondes pour la bande radioamateur des 20 mètres (14 MHz). Cette antenne peut être classée dans la famille des antennes filaires « alimentées au centre » (ou *center fed* en anglais). Une première analyse du fonctionnement [[Lien](#)] a été faite à l'aide du logiciel MNANA-GAL. En complément, l'utilisation de 4NEC2 permet de réaliser des simulations sur une bande de fréquences HF (3 à 30 MHz) et de comparer plusieurs conditions de fonctionnement.

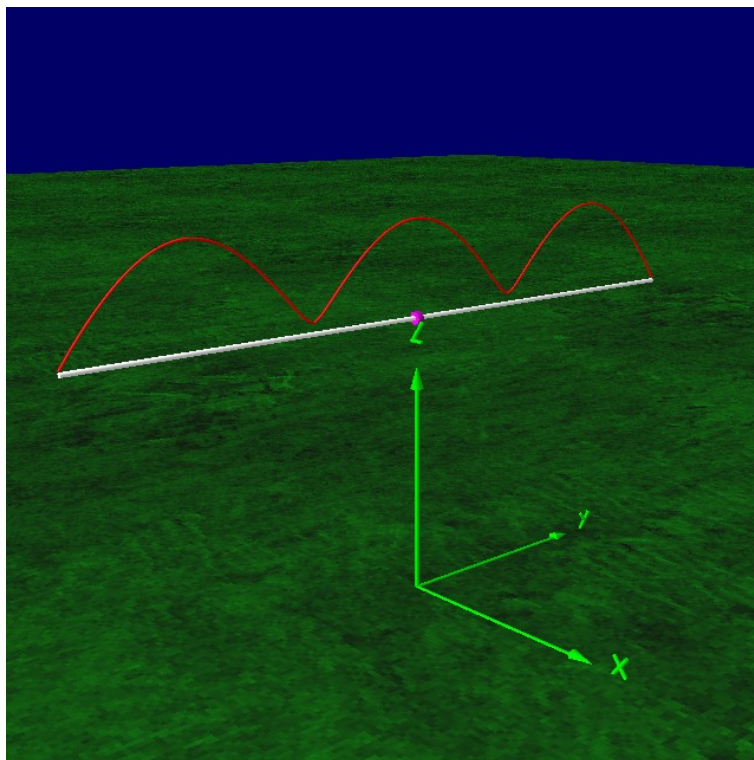


Fig.1

Conditions de simulation :

Fréquence de résonance 3/2 onde : 14,150 MHz

Longueur antenne : 2 x 15,73 m

Hauteur antenne : 12 m

Conducteur : cuivre , diamètre 3 mm

Sol : *real ground / moderate / 0.003 / 4*

Moteur NEC : nec2dXS

La figure 1 illustre la variation d'amplitude du courant HF le long de l'antenne pour une résonance en 3/2 ondes. L'alimentation de l'antenne s'effectue en son centre, point où l'intensité du courant est maximale ce qui correspond à une impédance minimale.

* Indicateur radioamateur de son concepteur, Louis Varney 1911-2000.

2) Fréquences de résonance du doublet 2 x 15 m

La détermination des fréquences de résonance s'effectue généralement en observant l'évolution de l'impédance au centre de l'antenne (*exemple de tracé en annexe 1, variation de la résistance R et de la réactance X*). Le simulateur 4NEC2 calcule également à partir des valeurs d'impédance un ROS* (*Rapport d'Onde Stationnaire*). Afin de localiser **d'une manière simple** les différentes fréquences de résonance, nous allons analyser les courbes de ROS. Une résonance correspondra à une valeur minimale**. Dans ce cas, l'impédance est relativement faible et purement résistive (réactance $X = 0$).

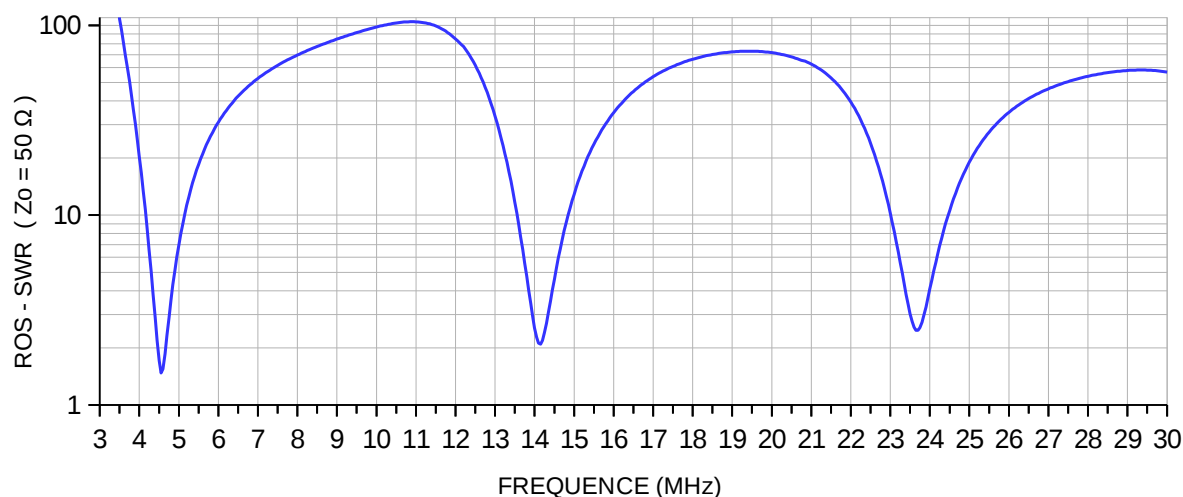


Fig. 2

L'analyse de 3 à 30 MHz (fig. 2) de la variation du ROS permet de mettre en évidence trois fréquences de résonance. La première se situe vers 4,55 MHz ce qui correspond au fonctionnement en 1/2 onde. On trouve ensuite la résonance en 3/2 ondes sur 14,150 MHz et une résonance 5/2 ondes vers 23,6 MHz. Une valeur de ROS égale à 2,1 ($Z_0 = 50 \Omega$) pour la fréquence 14,150 MHz est parfaitement normale du fait que l'impédance au centre de l'antenne est de l'ordre de « $105 + j0 \Omega$ » pour cette fréquence.

3) Antenne et ligne d'alimentation 1/2 onde

L'alimentation de l'antenne G5RV s'effectue par une ligne bifilaire dont la longueur électrique sera équivalente à une **1/2 onde pour 14,150 MHz**. La propriété d'une ligne de transmission accordée en 1/2 onde (et multiples) pour une fréquence donnée, est de présenter « en sortie » la valeur d'impédance présente « en entrée ». Autrement dit, à 14,150 MHz nous retrouvons au bas de la ligne l'impédance présente au centre de l'antenne (*dans notre cas 105Ω*).

Cette ligne bifilaire fonctionne en « régime d'onde stationnaire » avec un ROS relativement élevé ($ROS=4,3$ avec $Z_0 = 450 \Omega$) puisque son impédance caractéristique n'est pas adaptée à la valeur de l'impédance de l'antenne. Ce fonctionnement en régime d'onde stationnaire ne constitue par un inconvénient majeur, les pertes à 14 MHz étant pratiquement négligeables pour ce type de ligne.

*) Le ROS est calculé en fonction de l'impédance caractéristique de la ligne de transmission (exemple $Z_0 = 50 \Omega$).

**) A condition que la partie réelle de l'impédance ne varie pas trop rapidement en fonction de la fréquence. Cette particularité s'observe plus aisément sur un abaque de Smith. Dans la simulation proposée, la réactance s'annule à 14,150 MHz alors qu'un ROS minimal est relevé à 14,140 MHz.

La fig. 3 montre la variation du ROS au centre de l'antenne (tracé bleu) et au bas de la ligne bifilaire (tracé rouge). D'un point de vue simulation, 4NEC2 utilise une modélisation de ligne sans pertes (Cf. « TL card » NEC2). L'impédance caractéristique de la ligne bifilaire est de 450 Ω .

Remarque : dans la suite de ce document on considérera que « l'entrée de ligne » ou le « bas de ligne » correspond au point rouge du schéma ci dessous.

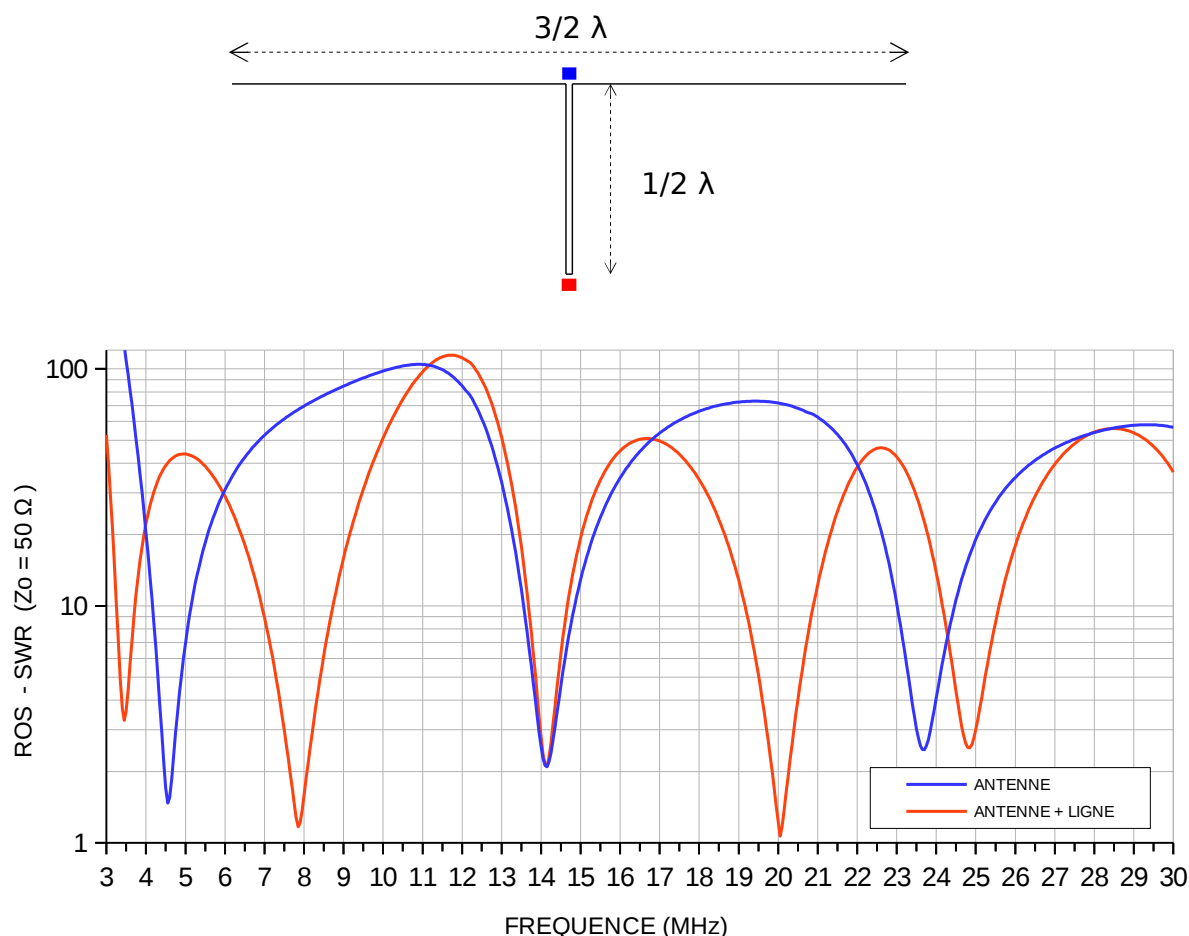


Fig. 3

La courbe bleue a été analysée précédemment et met en évidence les 3 fréquences de résonance de l'antenne. La courbe rouge permet de connaître le ROS au point d'alimentation de la ligne bifilaire. **Aux environs de 14,150 MHz les deux courbes se superposent**, la ligne d'alimentation fonctionne bien en 1/2 onde. On retrouve en entrée de ligne pratiquement la même impédance qu'au centre de l'antenne, ce qui se traduit évidemment par des valeurs de ROS identiques. On peut déjà conclure que l'antenne G5RV est, dans son principe, **une antenne mono-bande** radioamateur (14 MHz).

En dehors d'un fonctionnement 1/2 onde pour 14 MHz, la ligne bifilaire se comportera comme un transformateur d'impédance. A noter que la longueur de cette ligne **ne présente pas d'optimisation particulière** pour d'autres bandes radioamateur. En fonction de la fréquence, on trouvera en entrée de ligne diverses valeurs d'impédances et parfois des résonances (cf. 3,4 MHz / 7,85 MHz / 20,05 MHz et 24,80 MHz).

L'exploitation de l'antenne G5RV nécessitera obligatoirement un système d'adaptation d'impédance (boîte de couplage) afin d'être compatible avec l'impédance de charge recommandée pour l'émetteur. En fonction de la fréquence il faudra « jongler » avec des valeurs d'impédances plus ou moins élevées et plus ou moins réactives.

Cet ensemble antenne - ligne pourra éventuellement être utilisé comme une antenne du type « center fed ». Certaines résonances sont relativement proches des bandes radioamateur (cf. 3,4 / 7,85 et 24,8 MHz) ce qui peut faciliter l'adaptation d'impédance.

La figure 4 est une représentation de l'impédance en entrée de ligne sous la forme R (résistance), X (réactance) et |Z| (module de l'impédance). Les résonances (*intensité maximale du courant*) sont localisées là où les valeurs de réactance X sont nulles et les valeurs R minimales. Les anti-résonances (*intensité minimale du courant*) sont localisées pour des valeurs nulles de X et pour les valeurs maximales de R.

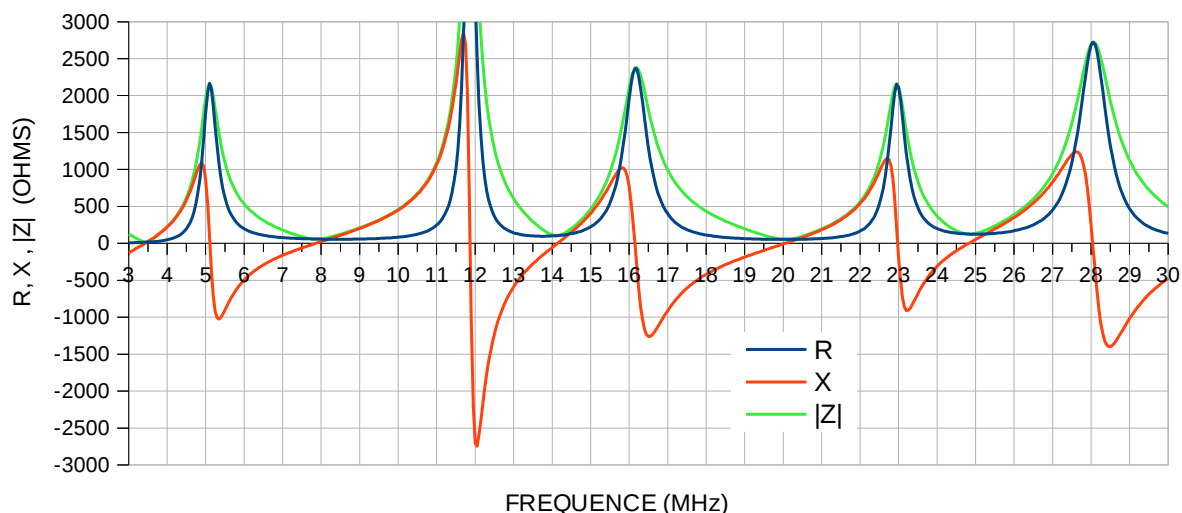


Fig. 4

De 3 à 30 MHz, l'ensemble **antenne + ligne bifilaire 450 Ω** fait apparaître 5 fréquences de résonance et 5 fréquences d'anti-résonance. Parmi les fréquences de résonance une seule correspond directement à une bande radioamateur, il s'agit de celle située à 14,150 MHz.

3) Résonances et Impédance caractéristique de la ligne 1/2 onde

La figure 5 permet d'analyser l'influence de l'impédance caractéristique de la ligne bifilaire sur le ROS et les fréquences de résonances. Les simulations ont été effectuées pour trois valeurs d'impédances caractéristiques couramment utilisées en HF.

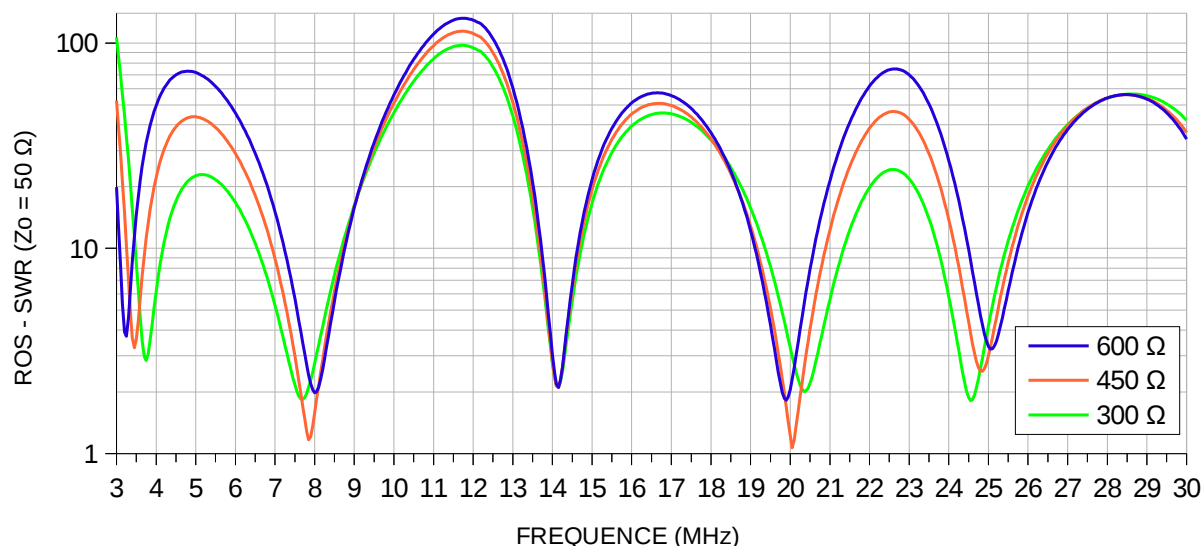


Fig. 5

Les lignes fonctionnant en 1/2 onde, on retrouve une superposition quasi parfaite des tracés autour de 14,150 MHz. La ligne 300 Ω « déplace », légèrement, les résonances vers les bandes radioamateurs (Cf. résonances à 3,75, 7,7 et 20,4 MHz). Vers 10, 18 et 28 MHz, le ROS reste extrêmement élevé quelle que soit la valeur de l'impédance caractéristique.

En pratique, la ligne 600 Ω est très souvent réalisée en prolongeant à partir de l'isolateur central les fils conducteurs de l'antenne. Ces deux fils, constituant la ligne d'alimentation, sont maintenus parallèles à l'aide d'entretoises isolantes disposées à intervalles réguliers. La valeur du coefficient de vélocité pour ce type de ligne est proche de 1 (diélectrique air) ; les pertes sont très faibles ce qui autorise en fonctionnement avec un ROS élevé et la tenue en puissance est excellente. L'espacement entre les conducteurs étant relativement important (jusqu'à une dizaine de cm) et il faudra éviter le « vrillage » de la ligne.

La ligne 450 Ω est constituée de deux conducteurs parallèles maintenus espacés à l'aide d'un isolant. L'isolant est régulièrement ajouré sur sa longueur (en anglais *window line* ou *window ladder line*). La largeur de ligne est égale à 23,8 mm et le coefficient de vélocité est de l'ordre de 0,9. Ce type de ligne bifilaire est très utilisé du fait qu'il s'agit d'un bon compromis entre dimensions physiques et caractéristiques électriques.

La ligne 300 Ω symétrique existe pour des utilisations en réception FM/TV (câble *twin lead*) mais également en version spéciale « émission HF ». Dans ce dernier cas, les conducteurs et l'isolant (pouvant être ajouré) sont dimensionnés pour transporter de la puissance en HF. La largeur de ligne est de 11 mm seulement ce qui peut être avantage d'un point de vue pratique. Le coefficient de vélocité est de l'ordre de 0,88 et les pertes sont légèrement supérieures à celles d'une ligne 450 Ω .

4) Alimentation par câble coaxial

Nous avons vu que la ligne bifilaire (1/2 onde à 14 MHz) permet de « recopier » l'impédance correspondant à la résonance 3/2 onde de l'antenne au bas de cette ligne. Dans la description initiale de l'antenne G5RV, la ligne bifilaire était prolongée par un câble coaxial d'impédance caractéristique 75 Ω et de longueur quelconque. L'intérêt principal d'un câble coaxial par rapport à une ligne bifilaire est de simplifier le cheminement vers le local hébergeant les équipements radio*. Pour la bande des 20 mètres, et seulement pour cette bande, ce câble 75 Ω fonctionnera avec un ROS inférieur à 1,5.

Les réalisations actuelles d'antenne G5RV utilisent du câble coaxial 50 Ω . Le tableau ci-après permet de connaître, en fonction de la fréquence et du ROS, les pertes amenées par une longueur de 10 mètres de câble standard du type RG213U (diamètre 10,3 mm).

Fréq. (MHz)	ROS (50 Ω)	Pertes câble (dB) L = 10 mètres	Pertes additionnelles ROS (dB)	Total pertes (dB)	Total pertes %
3,65	7,3	0,119	0,19	-0,31	6,88
7,1	7,4	0,115	0,492	-0,647	13,8
10,12	60	0,182	3,299	-3,481	55,1
14,15	2,1	0,214	0,051	-0,265	5,9
18,1	32	0,242	2,658	-2,9	48,7
21,250	18	0,262	1,555	-1,818	34,2
24,95	2,7	0,285	0,145	-0,430	9,4
28	54	0,303	4,401	-4,704	66,1

Dès que le câble coaxial fonctionne avec un ROS élevé, les pertes sont relativement importantes (*et une « boîte d'accord » côté émetteur ne changera rien au problème*). En fonction de la puissance nominale de l'émetteur, on pourra accepter (ou pas) de perdre un certain pourcentage de puissance. On peut toutefois remarquer qu'à 3,65 MHz et 7,1 MHz, les pertes dans le câble coaxial sont tolérables. Rappelons qu'une atténuation de -3 dB correspond à une diminution de 50 % de la puissance. En cas de ROS élevé, il ne faudra pas négliger non plus les pertes dues à la boîte d'accord surtout si cette dernière comporte un circuit en « T » (C L C).

* En option il est possible d'insérer un « current balun 1:1 » ou un « choke balun » pour assurer la connexion entre la ligne symétrique et la ligne asymétrique (câble coaxial).

4) Simulation d'une ligne bifilaire « réelle »

Le « moteur de simulation » NEC2 ne comporte pas la modélisation des lignes de transmission avec pertes. Le programme 4NEC2 utilise uniquement le modèle de ligne idéal de NEC2 (*TL card*) et n'ajoute aucune extension permettant de simuler ces pertes en fonction de la fréquence. Le modèle de ligne idéal est suffisant quand il s'agit de modéliser, par exemple, des lignes de couplages entre éléments d'antennes. A titre de curiosité, une ligne symétrique 1/2 onde de l'antenne G5RV a été simulée simplement à l'aide de deux conducteurs parallèles (*ligne à air*, conducteur cuivre diamètre 3mm ; la distance entre les conducteurs a été optimisée dans une simulation annexe afin d'obtenir l'impédance caractéristique de 450 Ω).

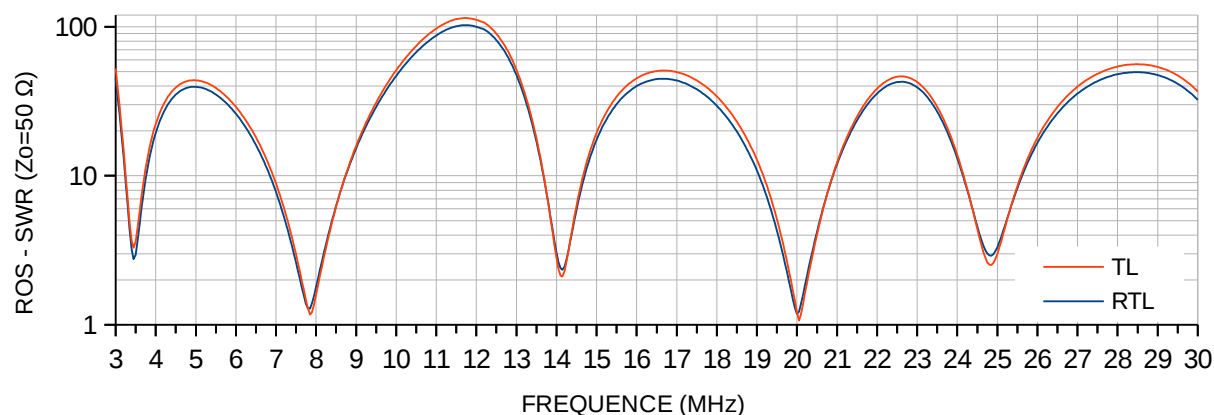


Fig. 6

Le tracé de la figure 6 montre le résultat du calcul du ROS vu en « entrée de ligne » de l'antenne G5RV dans le cas de l'utilisation du modèle de ligne idéal (tracé « TL ») et du modèle « réel » simulé (tracé « RTL »). Ces deux tracés sont pratiquement confondus ce qui démontre que la ligne « réelle » se comporte bien comme une ligne 450 Ω .

La visualisation « 3D » de l'ensemble antenne – ligne (fig.7), permet d'observer la répartition **du courant** (représentation graphique « **amplitude – phase** ») et de mettre en évidence le fonctionnement 3/2 ondes de l'antenne et 1/2 onde de la ligne ($F_{rés.} = 14,150$ MHz). En ce qui concerne la ligne bifilaire, le courant dans chaque conducteur est d'amplitude égale et de phase opposée.

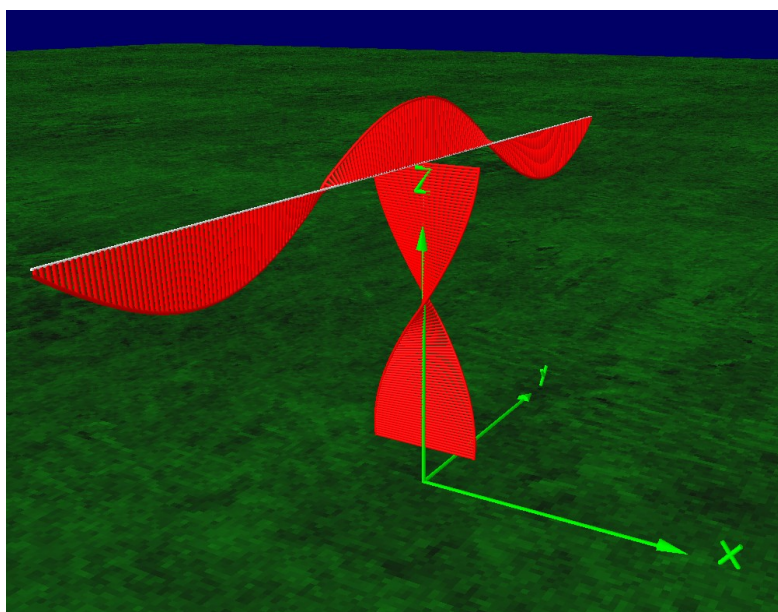


Fig. 7

La figure 8 montre **les variations de l'amplitude du courant HF** le long de l'antenne et le long de la ligne. Cette représentation graphique permet d'illustrer la présence d'une onde stationnaire propre au fonctionnement de l'antenne à la résonance, et d'une onde stationnaire au niveau de la ligne d'alimentation (*N.B. non rayonnante*).

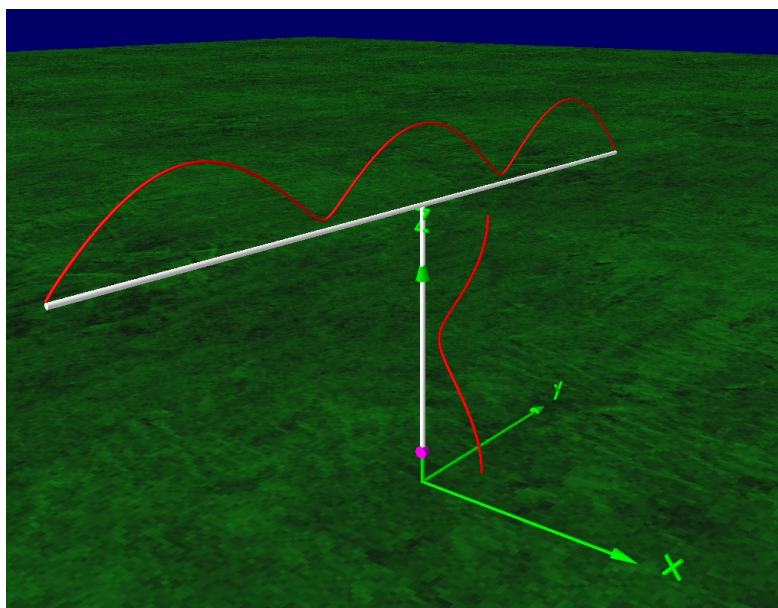


Fig. 8

Le courant HF présente une amplitude maximale au centre de l'antenne ainsi qu'au bas de la ligne d'alimentation 1/2 onde ($F = 14,150$ MHz). Pour ces deux points, l'intensité du courant étant maximale l'impédance est minimale ($105 \Omega + j0$). La ligne bifilaire fonctionne en régime d'onde stationnaire avec un ROS de l'ordre de 4,3 (ROS exprimé par rapport à l'impédance caractéristique de 450Ω).

4) Antenne en « V inversé » et diagramme de rayonnement

Pour des raisons de commodité d'installation, l'antenne G5RV est souvent mise en place dans une configuration du type « V inversé ». Un comparatif avec une antenne montée horizontalement sera effectué pour les bandes décadiques radioamateurs 80 m, 20 m et 10 m (cf. figure 9). A l'aide de quelques simulations, nous allons voir l'influence de cette configuration sur le diagramme de rayonnement au moyen de l'utilitaire d'affichage « 3D » présent dans 4NEC2. Cette représentation multi-couleurs du diagramme de rayonnement en « champ (électromagnétique) lointain », permet de localiser les angles (*site et azimuth*) pour lesquels le gain est maximal ou minimal.

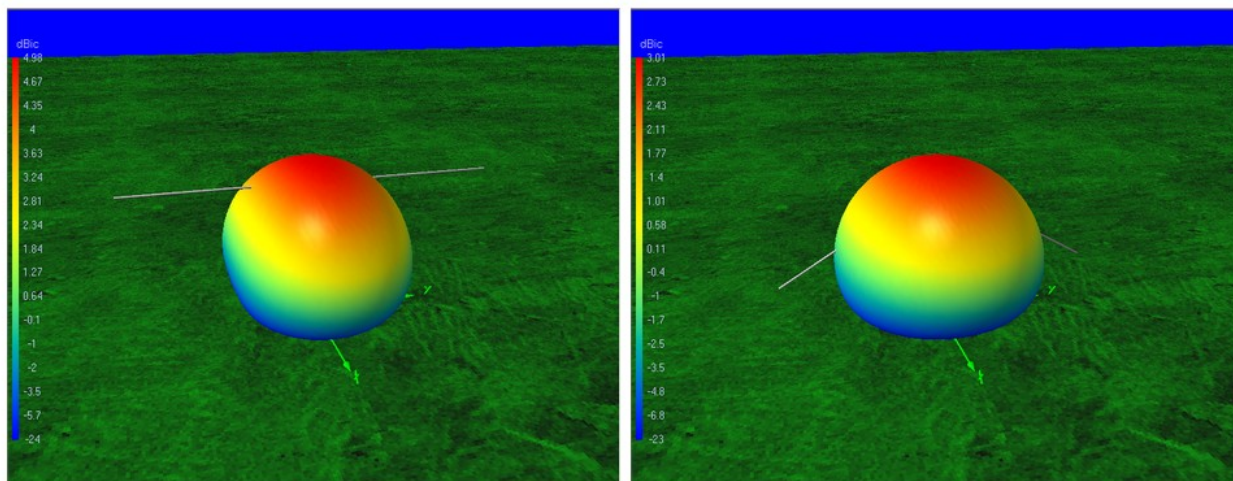
En montage horizontal, l'antenne est à 12 mètres au dessus du sol. En montage en « V inversé » le centre est à 12 mètres et les extrémités à 4 mètres.

Pour la bande des 80 mètres les deux diagrammes de rayonnement sont relativement omnidirectionnels. La hauteur de l'antenne étant faible par rapport à la longueur d'onde, le maximum de gain se situe à un angle de 90° par rapport au sol.

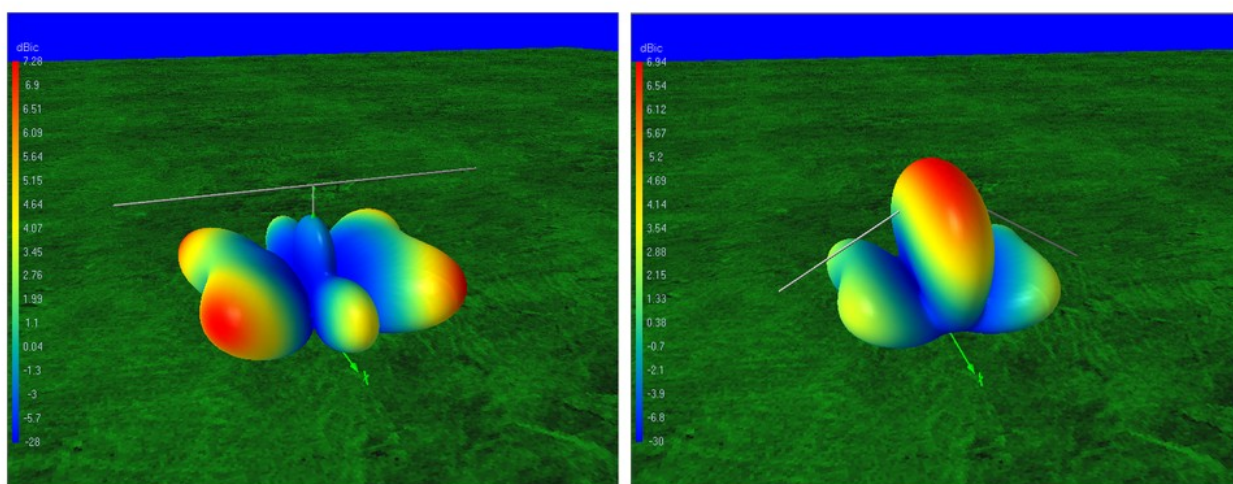
Dans le cas du 14 MHz, on retrouve sur la figure de gauche le diagramme de rayonnement classique d'une antenne 3/2 ondes installée à une hauteur proche d'une 1/2 onde par rapport au sol. L'antenne présente du gain dans six directions avec des angles de départ favorables aux liaisons à grande distance (DX). Par contre le montage « V inversé » fait apparaître une directivité importante à la verticale de l'antenne et une diminution de gain au niveau des lobes à faible angle de départ.

En ce qui concerne le 28 MHz, l'interprétation des résultats est moins évidente du fait de la présence de nombreux lobes. Les zones en bleu et bleu foncé correspondent à des directions où le gain peut être négatif (atténuation) ; ces zones sont plus fréquentes dans la configuration en « V inversé ».

3,5 MHz



14 MHz



28 MHz

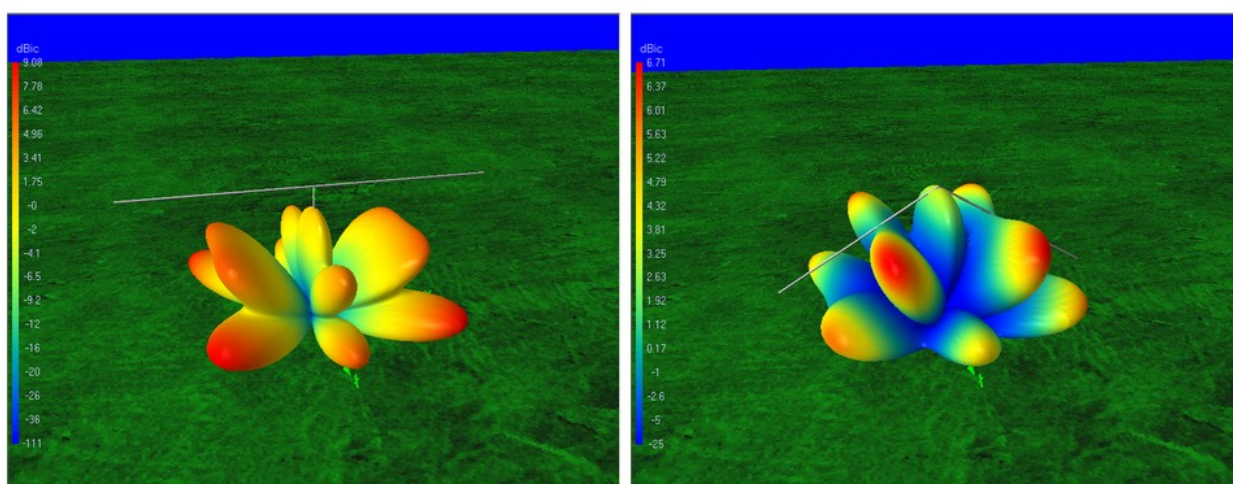


Fig. 9

5) Antenne G5RV et variantes.

Le principe de l'antenne G5RV 3/2 ondes a été décliné pour différentes bandes :

Antenne G5RV et appellations « technico-commerciale »	Dimensions	Résonance	Ligne d'alimentation
« Senior », « double size »	« 2 x 30 m »	7 MHz (3/2 ondes)	1/2 onde 7 MHz
« Full size »	« 2 x 15 m »	14 MHz (3/2 ondes)	1/2 onde 14 MHz
« Junior », « half size », « mini »	« 2 x 7,5 m »	28 MHz (3/2 ondes)	1/2 onde 28 MHz

La figure 10 représente la variation du ROS de 5 à 55 MHz au bas de la ligne bifilaire pour le modèle « 2 x 7,5 m ». On retrouve ici une résonance spécifique à 28,150 MHz (ROS = 2,1). Au même titre que la version « 2 x 15m », une version « 2 x 7,5 m » nécessitera obligatoirement une boîte d'accord pour un fonctionnement en multibande. A noter que du fait de ses dimensions, l'antenne ne sera réellement exploitable qu'à partir de la bande 40 mètres et qu'une utilisation vers 50 MHz (bande des 6 mètres) est envisageable.

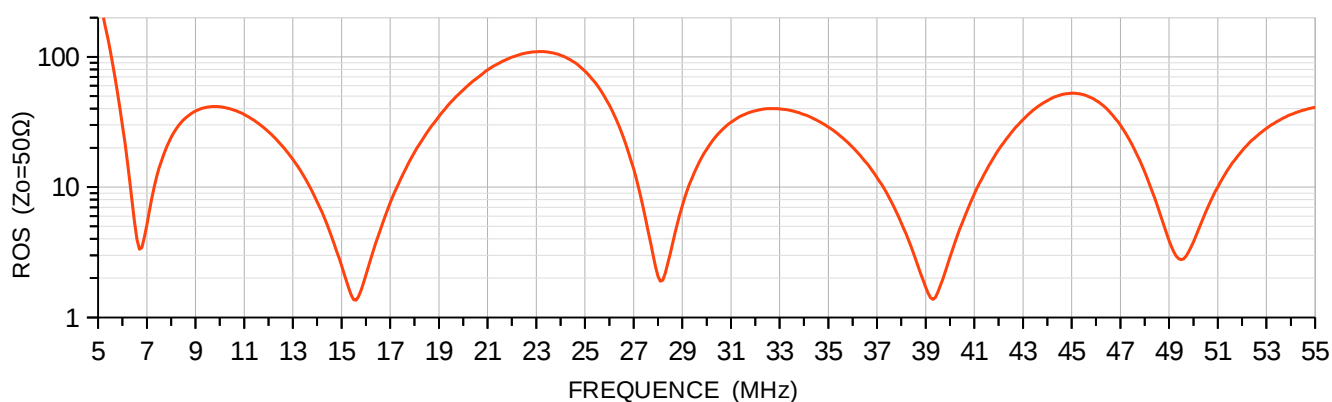


Fig.10

Il est possible d'étendre le fonctionnement du modèle « 2 x 7,5 m » à la bande 80 m, en ajoutant à chaque extrémité de l'antenne une inductance de 80 μH et un brin rayonnant de 2,53 m. Cette configuration permet de créer une résonance supplémentaire aux alentours de 3,6 MHz (cf. fig. 11, ROS « au bas » de la ligne bifilaire).

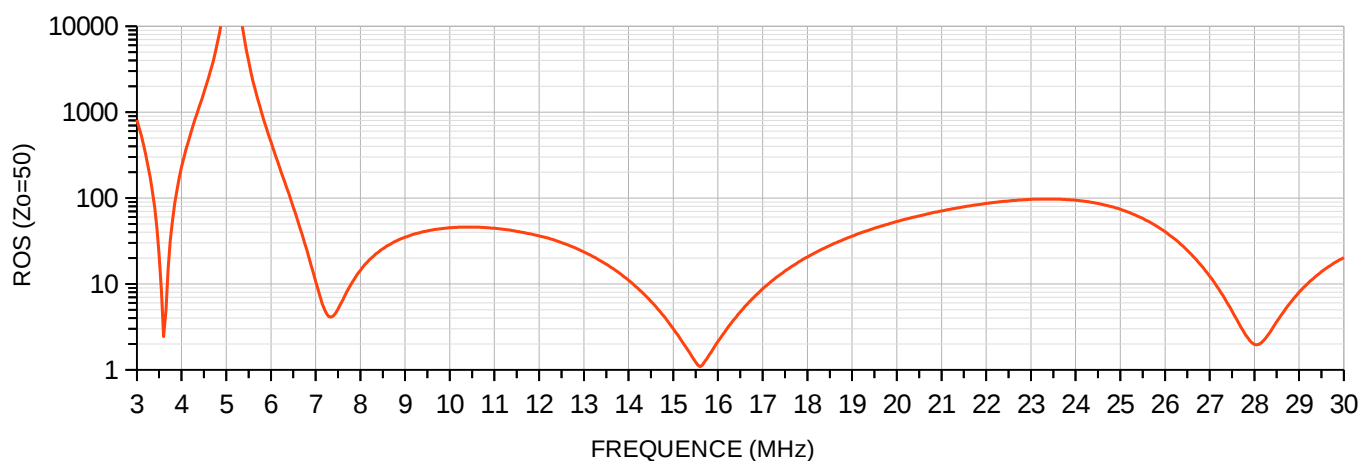


Fig.11

6) Antenne ZS6BKW

L'antenne ZS6BKW* est parfois présentée comme une optimisation de l'antenne G5RV. Plus précisément il s'agit d'une antenne filaire alimentée en son centre (*center-fed*) dont les dimensions ligne + antenne ont été optimisées afin d'obtenir des valeurs minimales de ROS ($Z_0=50\Omega$) pour un maximum possible de bandes radioamateur. La recherche d'un niveau de « ROS acceptable » sur plusieurs bandes de fréquence a pour but de prolonger la ligne bifilaire par un câble coaxial 50Ω et d'utiliser la boîte d'accord intégrée dans certains modèles de *transceivers* (ROS max = 3). Les dimensions de l'antenne ZS6BKW sont égales à $2 \times 14,20$ m.

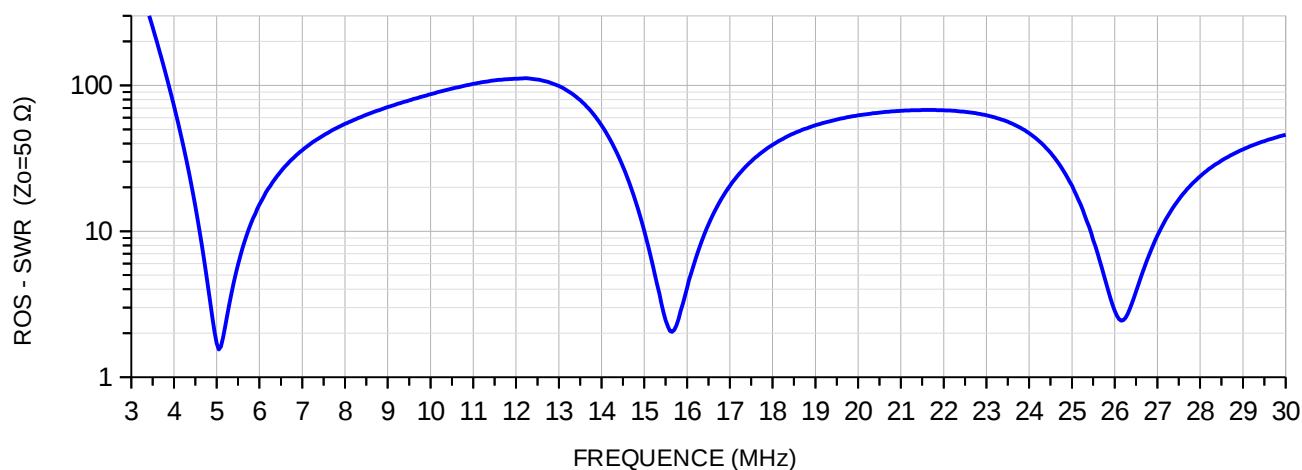


Fig.12

La figure 12 correspond au ROS de l'antenne seule de 3 à 30 MHz. On retrouve trois fréquences pour lesquelles le ROS passe par un minimum (résonances 1/2, 3/2 et 5/2 ondes). La figure 13 représente les valeurs de ROS au bas de la ligne bifilaire d'une antenne ZS6BKW placée horizontalement à 12 mètres du sol.

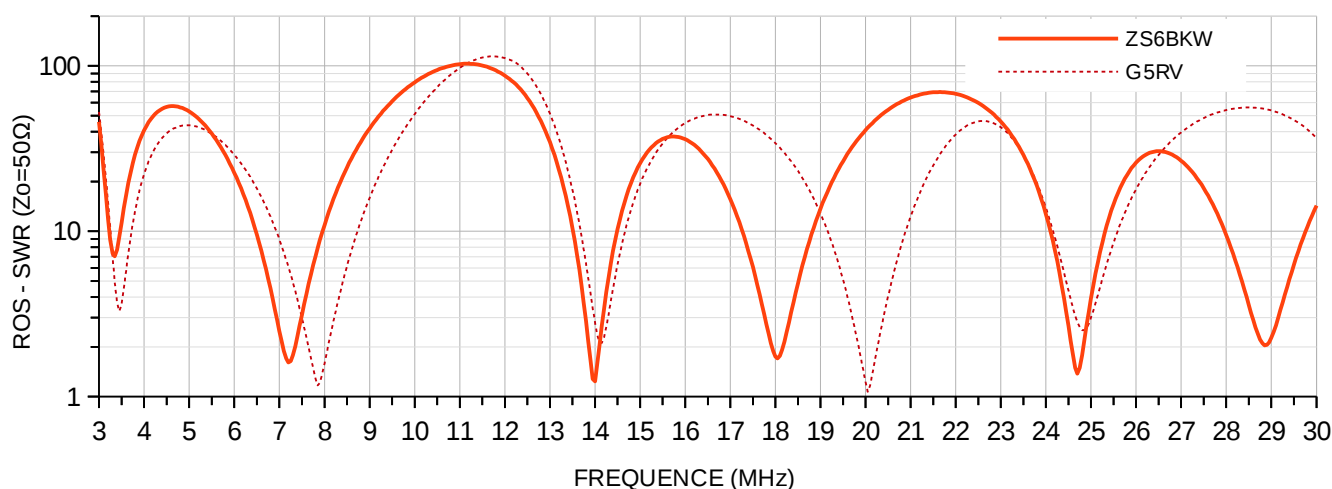


Fig.13

La ligne d'alimentation ($Z_c=450\Omega$, $L=13,60$ m avec $K=1$) joue ici un rôle de transformateur d'impédance optimisé et permet d'obtenir des résonances « ligne + antenne » aux alentours de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 18 MHz, 24 MHz et 29 MHz. Cette ligne bifilaire, à faibles pertes, fonctionne en régime d'ondes stationnaires. A titre de comparaison, le tracé en pointillé correspond au ROS de l'antenne G5RV. Ces deux antennes présenteront un ROS élevé pour les bandes 10 et 21 MHz. Pour la bande 3,5 MHz l'antenne G5RV présente un ROS inférieur à celui de l'antenne ZS6BKW.

* Système d'antenne multibande proposé par Brian Austin, indicatif radioamateur G0GSF (ex ZS6BKW).

Le comparatif G5RV/ZS6BKW ne doit pas se limiter simplement qu'aux valeurs de ROS. La figure 14 montre une représentation « 3D » du diagramme de rayonnement de ces antennes pour la bande 20 mètres. Pour être complet il faudrait procéder à une analyse bande par bande des diagrammes de rayonnement (cf. Annexes 2 et 3).

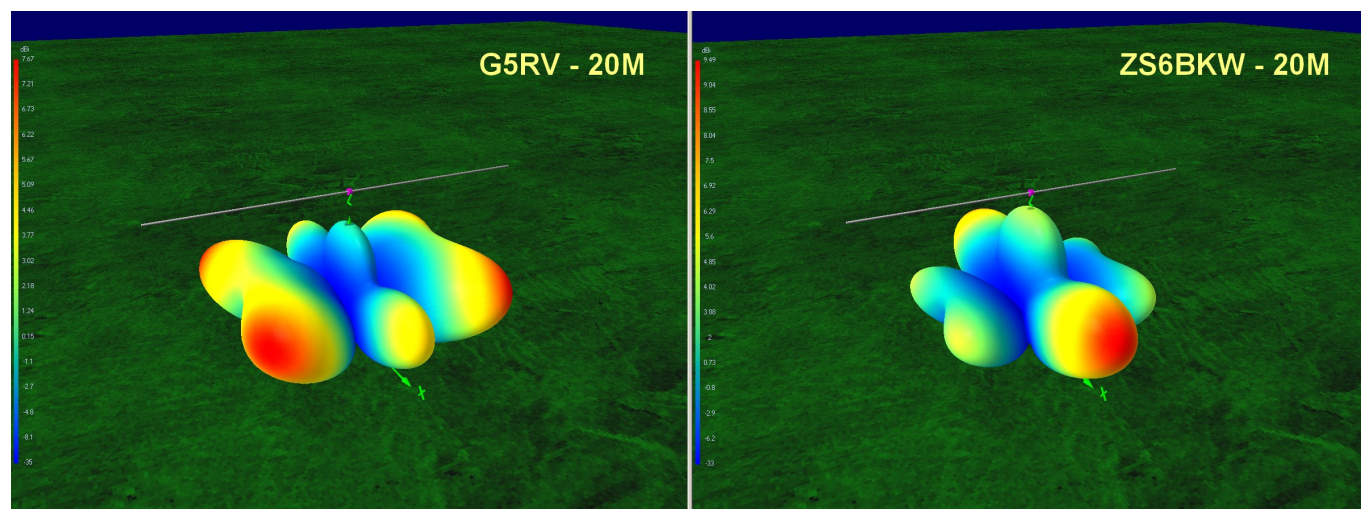


Fig.14

7) Conclusion

L'antenne G5RV est une antenne filaire simple et économique, prévue pour fonctionner d'une manière optimale sur la bande des 20 mètres à condition d'être placée horizontalement à une hauteur d'au moins 10 mètres.

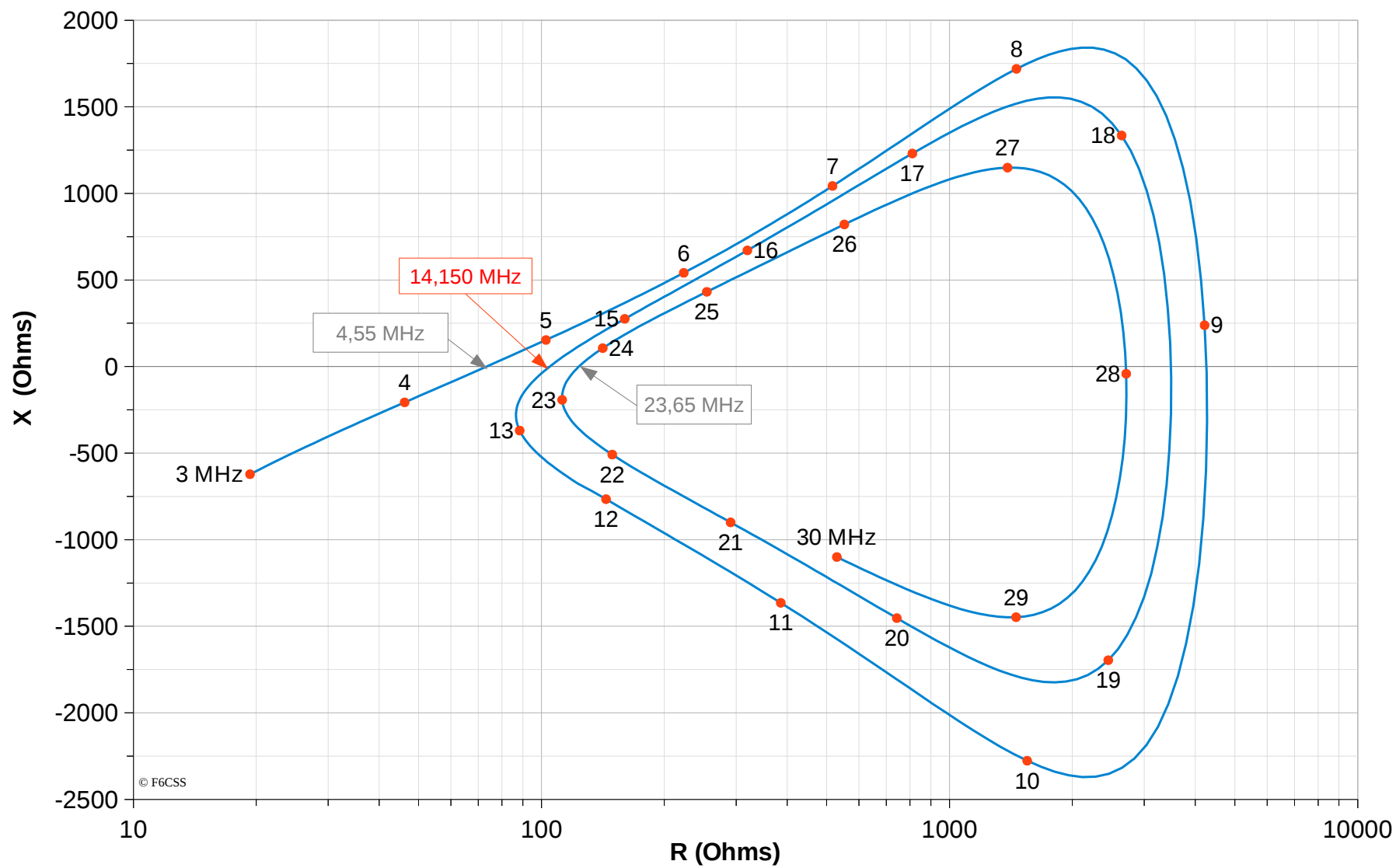
Sur cette bande, la ligne bifilaire d'alimentation peut être prolongée par un câble coaxial fonctionnant avec un ROS inférieur à 3. Il sera techniquement envisageable de faire fonctionner l'antenne G5RV en multibande si l'on tolère des pertes dans le câble coaxial, notamment pour les bandes hautes.

Il sera évidemment possible de supprimer la ligne coaxiale et éventuellement de rallonger la ligne bifilaire. Dans ce cas, l'antenne sera considérée comme une classique « *center-fed** » que l'on associera, de préférence, à une boîte d'accord optimisée pour les lignes symétriques.

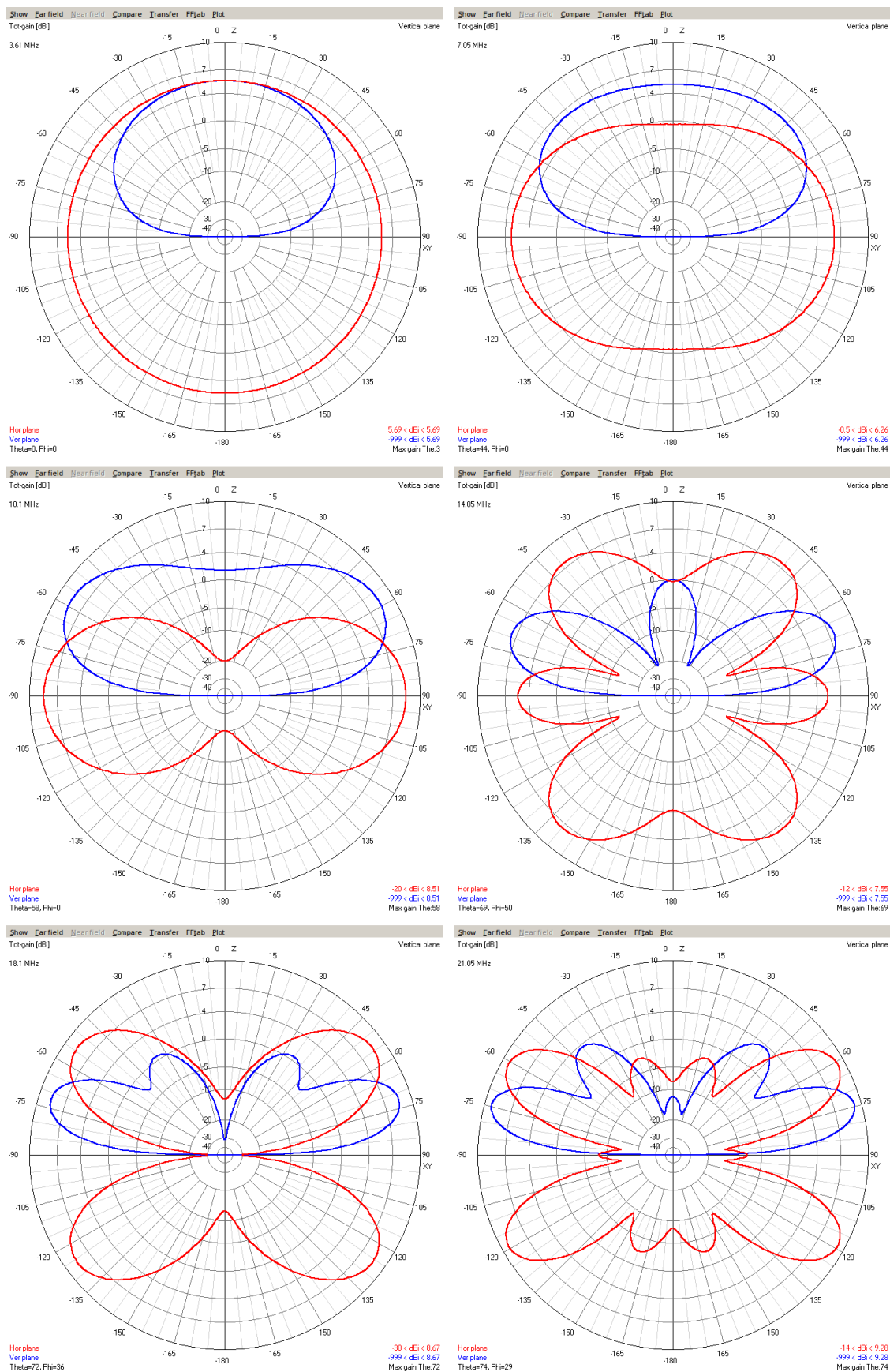
* Bien qu'étant très célèbre chez les radioamateurs Français, il ne sera pas fait référence ici à l'antenne filaire du type Lévy dont l'historique précis et les caractéristiques techniques exactes font l'objet de controverses et de débats animés dans les forums Internet :-)

Annexe 1

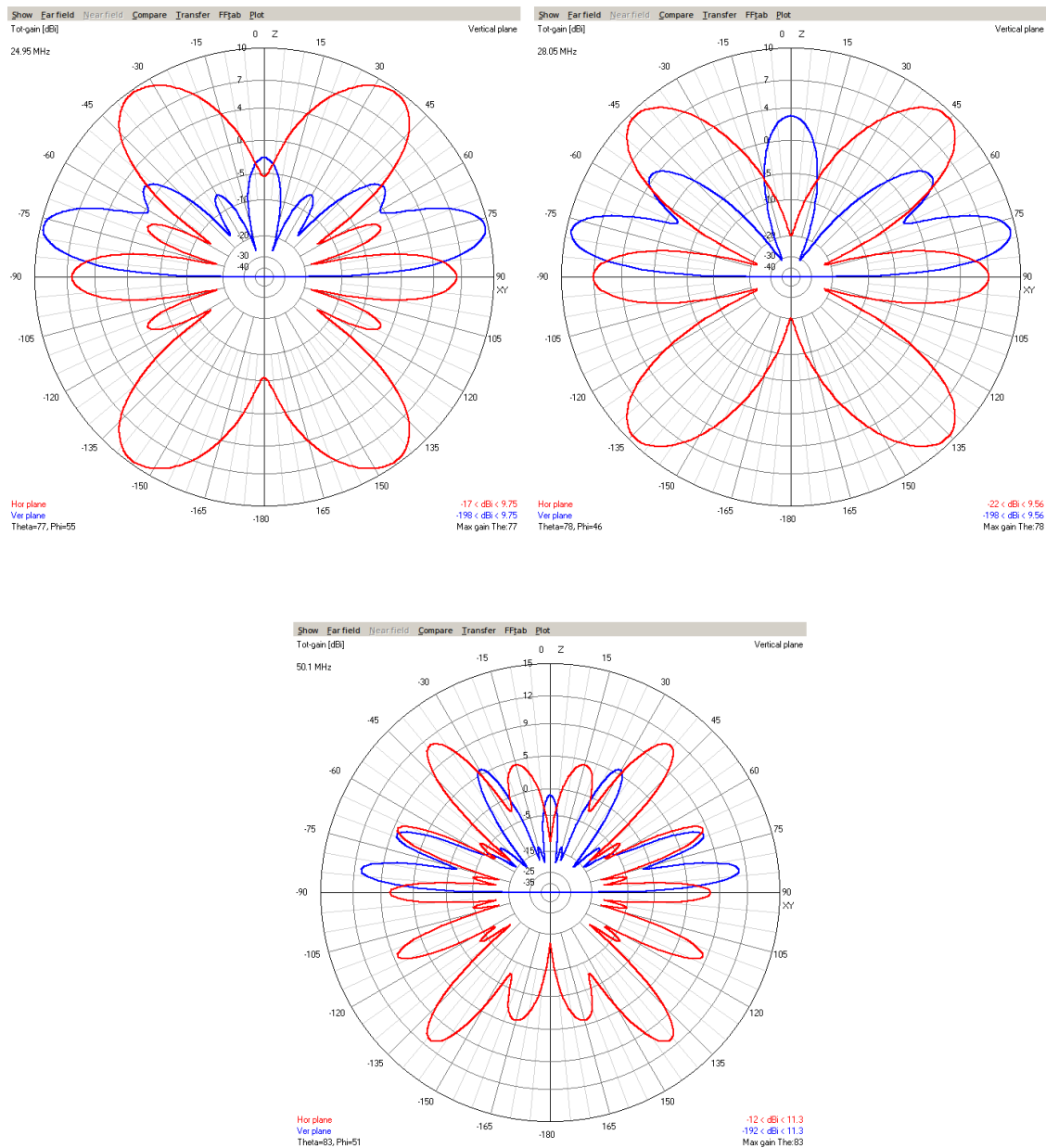
Antenne G5RV : impédance au centre de 3 à 30 MHz (hauteur 12 m)



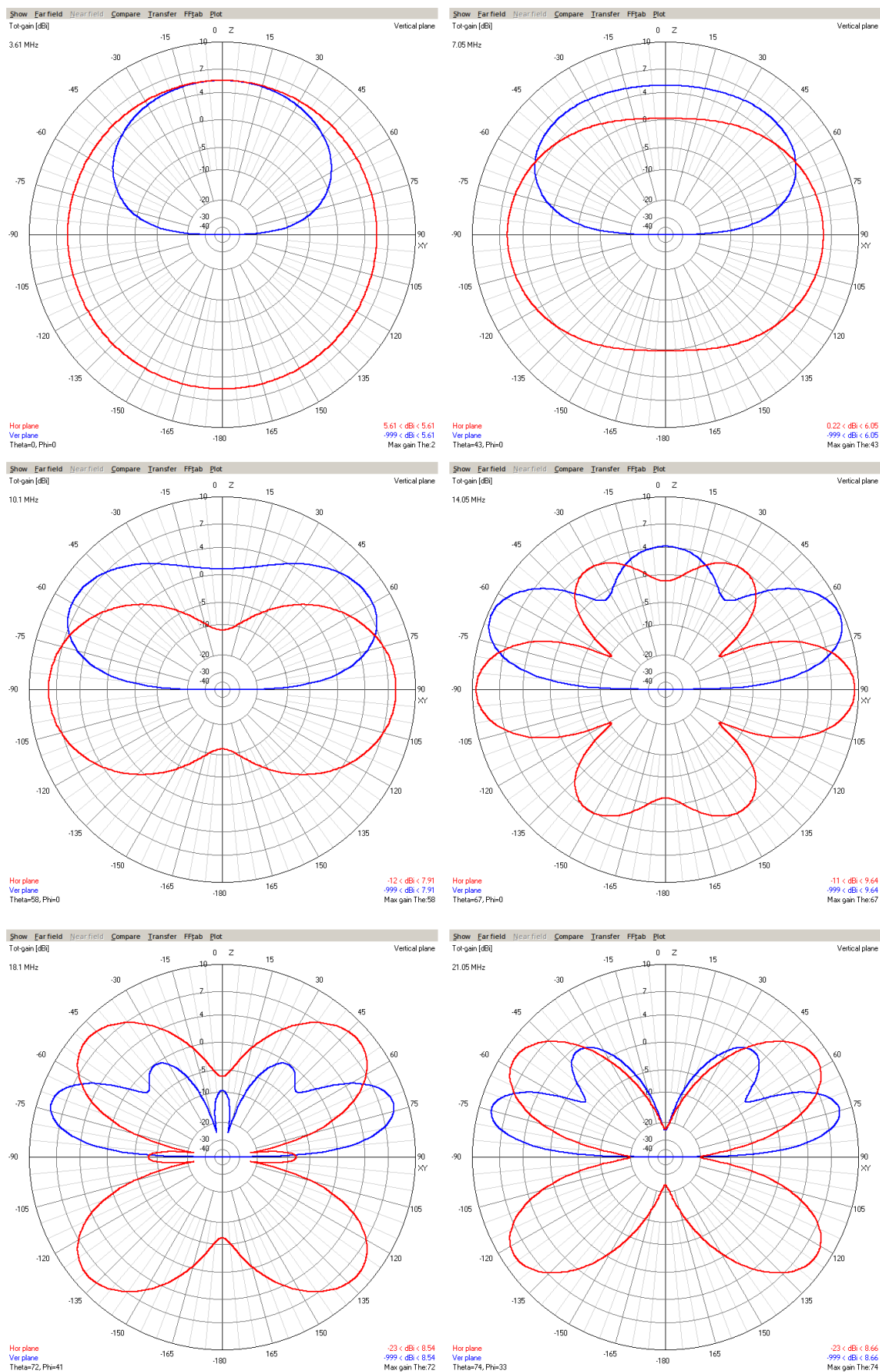
ANNEXE 2a : Antenne G5RV diagrammes de rayonnement bandes 80 à 15 m.



ANNEXE 2b : Antenne G5RV diagrammes de rayonnement bandes 12 , 10 et 6 m.



ANNEXE 3a : Antenne ZS6BKW diagrammes de rayonnement bandes 80 à 15 m.



ANNEXE 3b : Antenne ZS6BKW diagrammes de rayonnement bandes 12 , 10 et 6 m.

