

Antenne G5RV = antenne multibande ?

Version initiale : 2008-11

Mise à jour : 2024-08

Introduction

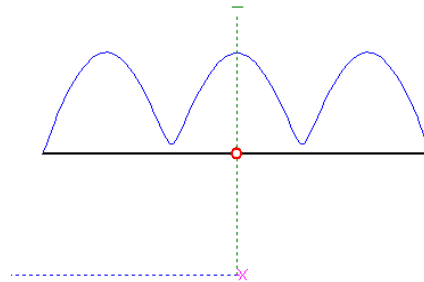
L'antenne pour bandes décadiques du type G5RV est très populaire chez les radioamateurs. Son concepteur est un radioamateur anglais Louis Varney G5RV (SK). L'idée de départ était de proposer une antenne monobande simple à réaliser et permettant d'obtenir du **gain** (donc une certaine directivité) sur la bande des 20 mètres. La solution technique retenue consiste à alimenter en son centre une antenne filaire fonctionnant en « 3 x 1/2 ondes » pour la bande considérée.

Je vous propose d'analyser le fonctionnement de cette antenne à partir de simulations réalisées à l'aide des logiciels **MMANA** (antenne) et **TLD** (ligne de transmission).

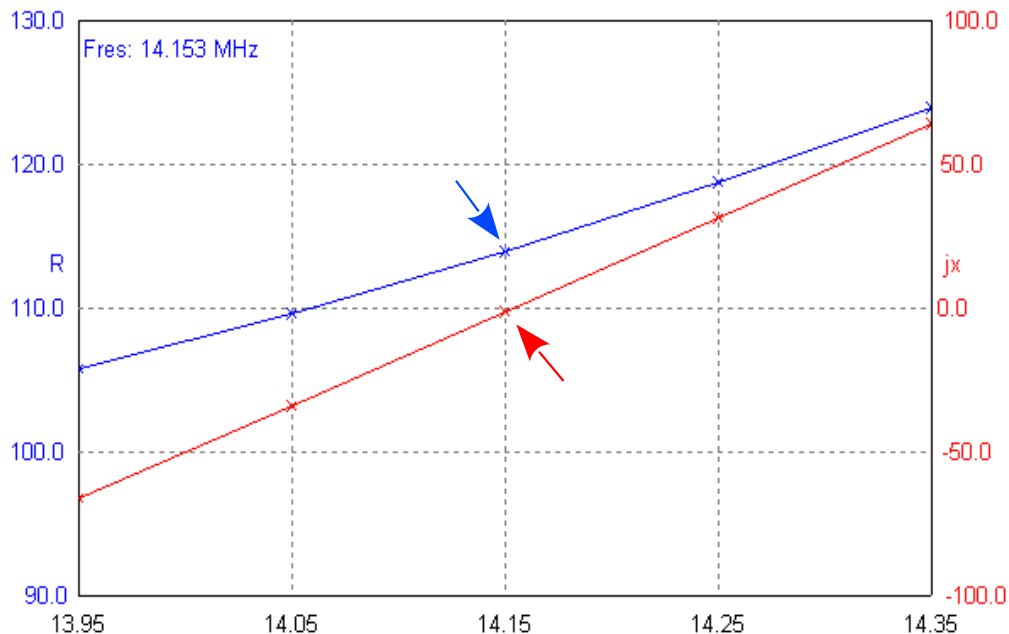
1) Analyse du fonctionnement

La simulation sur MMANA concerne une antenne de longueur 2 x 15,77 m située **arbitrairement** à 12 m de hauteur par rapport à un « sol parfait ». La fréquence de **résonance en 3/2 ondes** est de **14,150 MHz**.

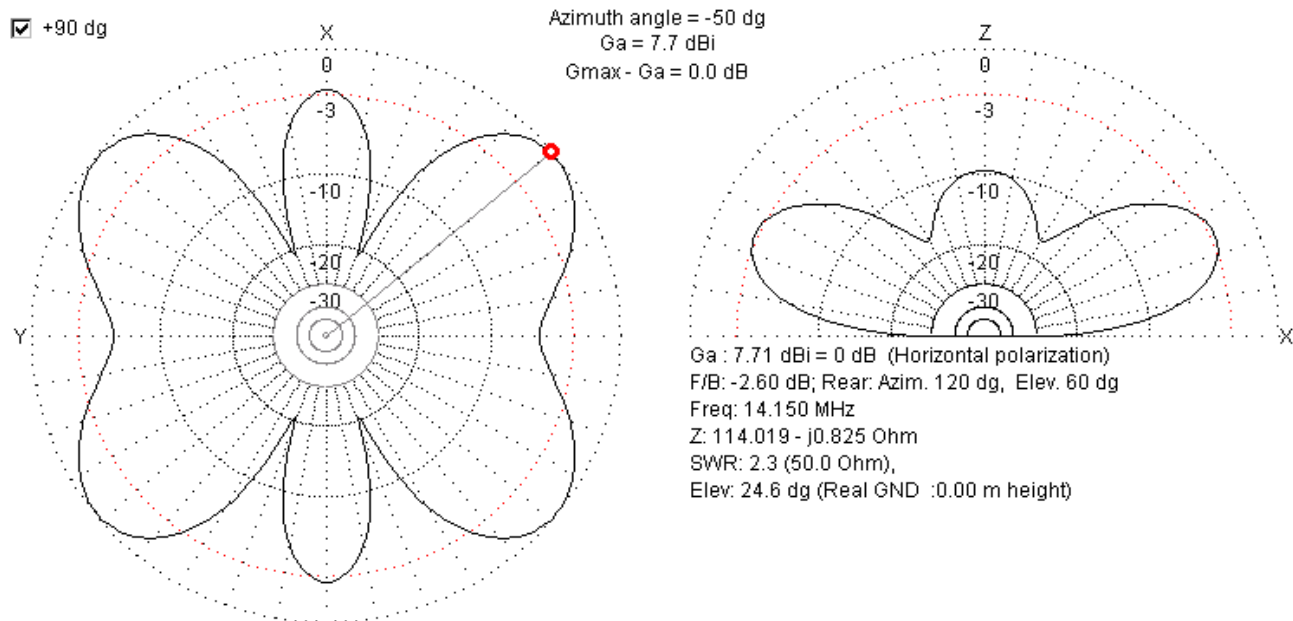
L'antenne est symbolisée par le trait noir horizontal. Le cercle rouge indique le point d'alimentation situé au centre de l'antenne. La courbe en bleu montre la répartition de l'amplitude du courant ; on retrouve bien un fonctionnement en 3/2 ondes. Le point



d'alimentation correspond à un maximum (ou « ventre ») de courant de façon à obtenir une faible impédance. Les courbes ci-dessous permettent de déterminer la fréquence de résonance de l'antenne (F_{res}). Cette fréquence correspond ici à une impédance dont la partie réelle R (**résistance**) est de l'ordre de 114 ohms et une partie imaginaire jX (**réactance**) nulle ; elle se situe ici exactement à 14,153 MHz. On peut préciser aussi que cette antenne présentera en son centre une résonance à 4,53 MHz (1/2 onde) et 23,62 MHz (5/2 ondes) mais ces fréquences ne correspondent pas à des bandes radioamateurs.



Au niveau rayonnement nous obtenons les diagrammes en azimut et site suivants :



Le tracé de gauche représente le diagramme de rayonnement en azimut (l'antenne est confondue avec l'axe « Y » qui a subi ici une rotation de 90°). L'antenne présente un gain maximum dans 6 directions. Le petit cercle rouge indique un azimut pour lequel on obtient un maximum (7,7 dBi). A remarquer aussi que le gain chute de l'ordre de -20 dB dans 4 directions. Le tracé de droite représente le diagramme de rayonnement en « site ». Le gain maximum est disponible pour un angle d'élévation (ou angle de départ) d'environ 25°. Pour information la même antenne simulée en « V inversé » avec ses extrémités à 4 m du sol présente un diagramme de rayonnement en site qui se replie à la verticale. Pour le trafic DX il faudrait un angle de départ de 10° ce qui nécessiterait d'installer l'antenne horizontalement au moins à 20 mètres du sol.

2) Alimentation de l'antenne G5RV

Son concepteur a imaginé une alimentation par ligne bifilaire dont la longueur **est égale à une ½ onde pour le 14 MHz**. Pour une fréquence donnée la propriété d'une ligne de longueur équivalente à une ½ onde (et multiples) est de présenter en sortie la valeur de l'impédance située en entrée et ceci quelle que soit l'impédance caractéristique de la ligne. Comme il n'y pas d'adaptation entre l'impédance caractéristique de la ligne et l'impédance de l'antenne à la résonance, cette ligne ½ onde fonctionnera en régime d'ondes stationnaires. Ce dernier point n'est pas gênant car les pertes sont généralement très faibles pour une ligne bifilaire. On retrouvera donc au bas de la ligne bifilaire une impédance de l'ordre de 110 ohms qui sera « l'image » de l'impédance présentée au centre de l'antenne. Tout ceci n'est valable que pour le 14 MHz. En dehors de cette bande l'antenne présentera des impédances « diverses et variées » et la ligne d'alimentation ne fonctionnera pas forcément en ½ onde.

3) Longueur de la ligne bifilaire

A l'aide du logiciel TLD (*Transmission Line Details* auteur AC6LA) nous allons déterminer la longueur d'une ligne bifilaire du type 'window ladder line' 450 ohms. Pour **14,150 MHz** la longueur de **ligne en ½ onde** est de 9,64 m, le coefficient de vélocité étant de 0,91. On vérifie facilement que si l'on charge cette ligne par la valeur d'impédance que présente l'antenne à la résonance (ici 114 ohms) on retrouve à l'autre extrémité une impédance identique. Les pertes totales dans la ligne bifilaire (conductivité + diélectrique + ROS) sont négligeables : 0,07 dB (équivalent à 1,6 Watts perdus pour 100 Watts injectés). A partir de maintenant on peut se poser la question de l'intérêt pratique de la ligne d'alimentation demi-onde. Une longueur de 9,64m n'est généralement pas suffisante pour rejoindre la station, Il serait alors judicieux d'utiliser une ligne bifilaire 450 ohms en 2 x ½ ondes soit 19,28 m. Dans ce cas les pertes totales sont encore négligeables (0,14 dB).

Dans la plupart des descriptions d'antenne G5RV il est suggéré d'utiliser du câble coaxial pour prolonger la ligne bifilaire. En pratique ce passage d'une ligne symétrique à asymétrique ne pose pas ici de réels problèmes mais on peut prévoir un système de symétrisation du type « choke balun » réalisé à l'aide de quelques spires de câble coaxial.

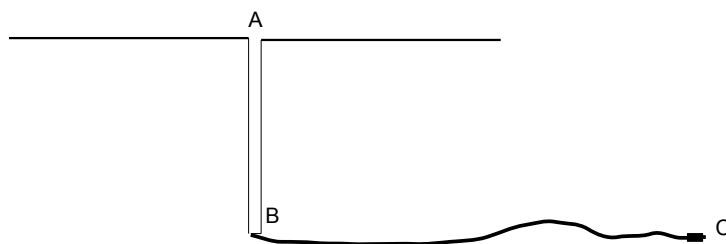
Ajoutons par exemple 10 mètres de câble coaxial 50 ohms (RG213 diamètre 11 mm) à la suite de la ligne bifilaire 450 ohms. Pour la bande 14 MHz, et du fait de la valeur de l'impédance présente au bas de la ligne bifilaire, le ROS dans le câble coaxial sera de 2,45 et les pertes totales de 0,35 dB (7,65 Watts perdus pour 100 Watts injectés). Au niveau du *transceiver* une simple boîte d'accord (externe ou interne) permettra d'obtenir une adaptation d'impédance vers 50 ohms « purement résistifs ».

Une autre possibilité, pour une utilisation **strictement monobande**, serait d'utiliser une ligne d'alimentation ¼ d'onde d'impédance caractéristique de **75 ohms**. Le rôle de cette ligne ¼ d'onde sera de **transformer l'impédance** au centre de l'antenne en une impédance très proche de **50 ohms**. On connectera à la suite un câble coaxial 50 ohms de longueur quelconque.

Exemple de transformateur ¼ d'onde (100 ohms vers 50 ohms) pour 14,150 MHz : 4,45 m de câble 75 ohms RG11 (coefficient de vélocité 0,84), ROS dans le câble 75 ohms = 1,5, pertes 0,07 dB.

4) Utilisation en multibande

L'antenne G5RV est dans son principe essentiellement monobande mais, bien évidemment, la tentation est grande de faire fonctionner ce doublet 2 x 15 mètres sur d'autres bandes radioamateurs ! De plus, en théorie, rien ne s'oppose à utiliser une antenne en dehors de ses fréquences de résonance.



Le logiciel MMANA permet d'estimer l'impédance au centre de l'antenne (Z au point A). A l'aide du logiciel TLD nous pouvons analyser l'action de la ligne bifilaire sur les valeurs d'impédances au point B. Connaissant l'impédance en B il est ensuite facile d'estimer, toujours avec TLD, l'impédance au point C ainsi que le ROS (SWR) et les pertes dans le câble coaxial.

Longueur ligne bifilaire (A-B) : 9,64m (type ladder line 450 ohms)

Longueur câble coaxial (B-C) : 10 m (type RG213)

- Les impédances Z (en ohms) sont indiquées en notation « complexe » c'est à dire sous la forme $R + jX$.
R correspond à la partie purement résistive et j X à la réactance (inductive si valeur positive et capacitive si valeur négative).
- L'indication de pertes dans les lignes correspond à la somme des pertes dues à la conductivité, au diélectrique et au ROS.

Fréquence (MHz)	Z au point A	Z au point B	Pertes ligne bifilaire (dB)	ROS au point B	Z au point C	ROS au point C	Pertes câble coaxial (dB)
1,825	$1,37 - j 1504$	$1 - j 538$	4,8	--	$0,45 - j 63$	86	13
3,650	$22 - j 356$	$15 + j 63$	0,46	8,8	$24 - j 85$	8,2	0,15
7,050	$663 + j 1229$	$70 - j 130$	0,06	6,8	$25 + j 66$	5,9	0,71
10,120	$1329 - j 2093$	$97 + j 481$	0,18	50	$827 + j 525$	23	3,35
14,153	$114 - j 0$	$115 - j 0$	0,07	2,3	$23,7 - j 8,9$	2,19	0,32
18,120	$4108 + j 1017$	$84 - j 383$	0,16	37	$19 + j 114$	16,8	3,59
21,200	$215 - j 795$	$67 + j 234$	0,21	18	$62 - j 172$	11,3	2
24,900	$253 + j 457$	$118 + j 48$	0,09	2,8	$19,5 - j 5$	2,59	0,49
28,200	$2365 - j 1267$	$2582 - j 968$	0,16	59	$14,5 + j 98$	17	5,4
29,500	$689 - j 1290$	$229 - j 702$	0,18	48	$789 - j 94$	16	4,7

N.B: pour rappel, il ne s'agit que de simulations (avec ses limites, particulièrement pour MMANA) afin de prévoir le comportement de l'antenne. Le ROS est calculé par rapport à 50 ohms.

Analyses :

C'était prévisible, seule la bande des 20 mètres (14 MHz) permet d'obtenir **simultanément** un ROS (relativement) peu relevé et des pertes faibles dans le câble coaxial. Sur 3,5 MHz et 7 MHz le ROS dans le câble est élevé néanmoins les pertes globales sont tolérables. Sur 24,9 MHz l'antenne se rapproche d'une résonance en 5 ½ ondes et la ligne bifilaire a ici, par hasard, une action bénéfique sur la transformation d'impédance. Le ROS par rapport à 50 ohms est de 2,6 donc acceptable. Pour la bande des 10 mètres les pertes et le ROS sont élevés. A remarquer aussi que la bande 160 mètres est inutilisable l'antenne doublet étant ici trop courte. Pour justifier un fonctionnement sur 160 mètres, certains vendeurs d'antennes type G5RV suggèrent de réunir les 2 conducteurs de la ligne d'alimentation (au point C) de façon à faire fonctionner l'ensemble ligne - doublet comme une sorte d'antenne « en T » ; il faudra alors disposer d'un excellent plan de sol (« prise de terre HF ») ou d'un système de « contrepoids ».

Sur les autres bandes le ROS dans le câble coaxial est très élevé ce qui a pour conséquences de provoquer des pertes supplémentaires qui s'ajoutent à l'atténuation normale du câble. De plus, un câble coaxial fonctionnant avec un ROS élevé aura une tenue en puissance moindre (surtension ou surintensité dans le câble ce qui peut vite devenir critique en cas de « fortes » puissances). Si l'on avait utilisé un câble coaxial de faible diamètre (par exemple RG 58) ces pertes seraient encore plus accentuées. En ce qui concerne la ligne bifilaire, on constate que les pertes de 3,5 à 29 MHz sont toujours faibles.

Pour mémoire une atténuation de 1 dB dans une ligne correspond à une perte de puissance de 20 % , 2 dB → 37% , 3 dB → 50% , 4 dB → 60% , 5 dB → 68% , 6 dB → 75 % et 10 dB → 90%.

Une vision optimiste des atténuations consiste à dire que 6 dB de pertes (N.B. : puissance divisée par 4) correspondent à un « point S » en moins chez le correspondant (pour autant que son S-mètre soit étalonné). De toutes façons si seulement quelques watts sont rayonnés par l'antenne il sera sûrement possible de faire des QSO ; il ne s'agit pas d'un miracle mais de trafic en mode QRP !

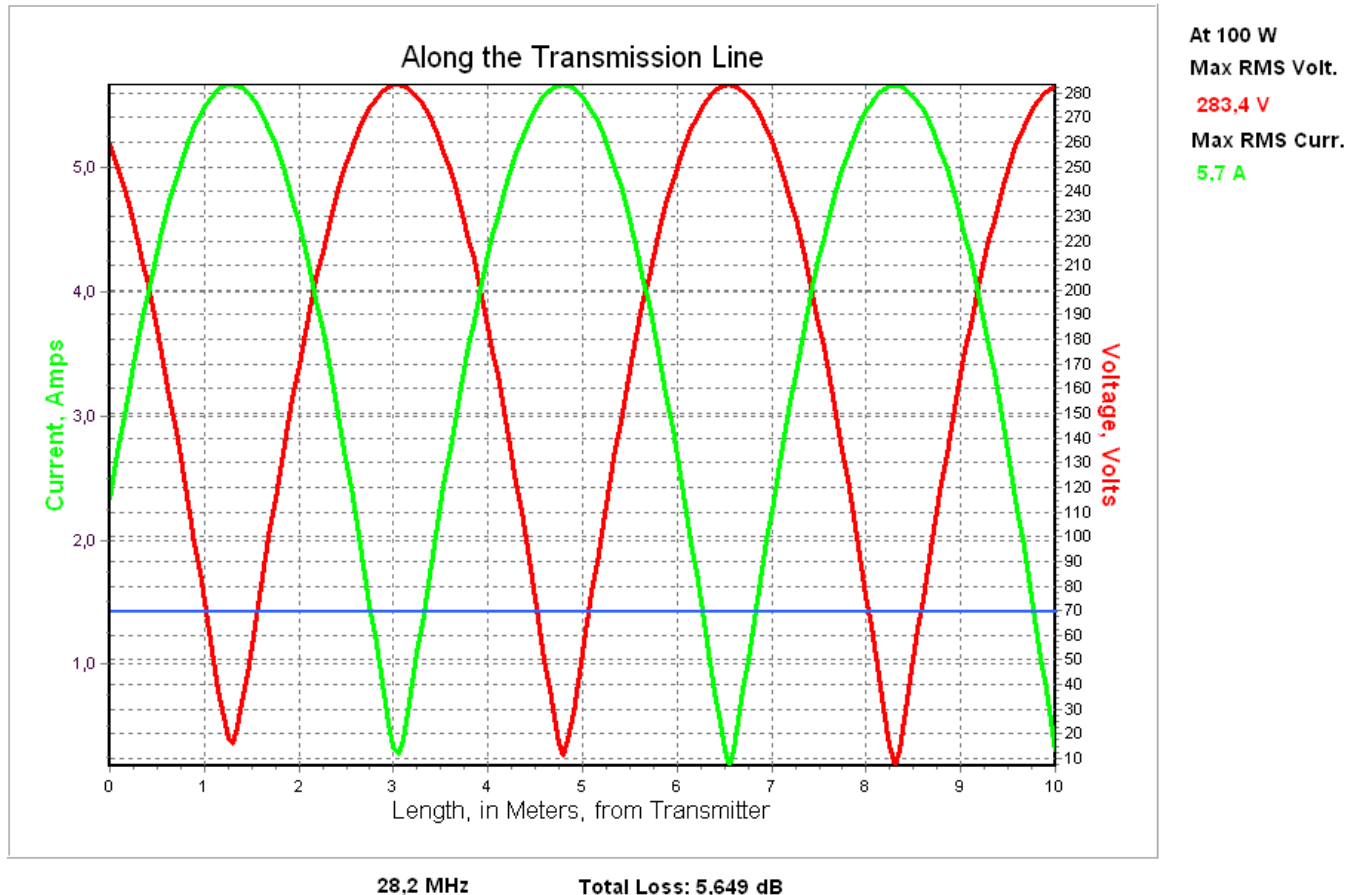
5) Ondes stationnaires dans le câble coaxial

La recopie d'écran ci-dessous illustre la répartition des **ondes stationnaires** (courant et tension) le long des 10 mètres du câble coaxial RG-213 à la fréquence de 28,200 MHz (cas le plus défavorable). La puissance injectée (porteuse continue) est de 100 Watts .

(Simulation effectuée à l'aide de l'utilitaire TLW auteur N6BV , CD ARRL Antenna Book).

RG-213 (Belden 8267)

Load: 2582 - j 968 SWR = 58,78



Dans notre cas l'impédance de charge de la ligne coaxiale (câble RG-213 longueur 10 mètres) est égale à l'impédance présente au bas de la ligne bifilaire de l'antenne G5RV ($Z = 2582 - j 968$ pour la fréquence de 28,2 MHz).

Constations :

Du fait de la forte désadaptation entre l'impédance de charge et l'impédance caractéristique du câble coaxial, on observe que l'amplitude du **courant HF** (ou de la **tension HF**) n'est plus constante le long de la ligne coaxiale (fonctionnement en régime d'onde quasi-stationnaire). A un maximum d'amplitude de courant HF correspond un minimum de tension et inversement. Le long de la ligne les minimums (ou maximums) de tension (ou de courant) sont espacés d'une 1/2 longueur d'onde c'est à dire 3,5 m pour un coefficient de vélocité égal à 0,66.

Si l'impédance de charge était égale à $50 + j 0$ ohms (amplitude du coefficient de réflexion = 0 donc ROS = 1) le courant HF aurait une valeur pratiquement constante tout le long des 10 mètres de ligne (1,4 A eff. environ pour 100 Watts transmis) ; idem en ce qui concerne la tension (70 V eff. pour 100 watts).

Dans notre cas le ROS calculé « côté charge » est de 59. Du fait des pertes, le ROS vu en entrée de ligne sera égal à 17. Pour une puissance moyenne de 100 Watts le courant HF pourra présenter des valeurs max. de l'ordre de 5,7 A eff. et la tension pourra atteindre 283 V eff. (= 400 volts crête, le diélectrique « polyéthylène plein » du RG-213 supporte une tension de l'ordre de 3 kV).

6) Adaptation d'impédance en multibande

Si l'on désire un fonctionnement multibande avec, dans certains cas, un ROS élevé et des pertes dans le câble coaxial il faudra impérativement utiliser une boîte d'accord au point **C** de façon à présenter une impédance de 50 ohms purement résistive au *Transceiver* HF. En fonction du type de circuit utilisé pour réaliser cette adaptation d'impédance (généralement circuits en **L**, **Pi** ou **T**) les pertes dues au circuit de couplage peuvent varier. Il faut se méfier du circuit en **T** largement utilisé dans les boîtes d'accord manuelles. Le circuit en **T** (C-L-C) permet de réaliser facilement la fonction abaisseur / élévateur d'impédances parfois au prix d'un mauvais rendement dans certaines conditions de réglages.

7) Quand le «marketing» passe par là

Ne vous laissez pas impressionner par les publicités :

G5RV «double-size»	=	douplet 2 x 30 m + ligne	19,35 m	=	Monobande	3/2 λ	40 mètres
G5RV «full-size»	=	douplet 2 x 15 m + ligne	9,64 m	=	Monobande	3/2 λ	20 mètres
G5RV «half-size» ou «junior !»	=	douplet 2 x 7,5 m + ligne	4,80 m	=	Monobande	3/2 λ	10 mètres (28,5 MHz)

8) Amélioration du fonctionnement multibande

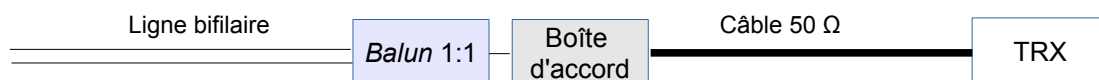
Si l'on souhaite optimiser le fonctionnement en multibande d'une antenne G5RV, plus particulièrement sur les bandes hautes, il faudra l'utiliser comme une classique « *center fed* » alimentée **uniquement** par une ligne bifilaire symétrique à faible pertes.

Il faudra donc remplacer le câble coaxial, **source potentielle de pertes**, par une **ligne bifilaire** et prévoir une boîte d'accord du type symétrique. C'est une solution technique bien connue et qui a fait ses preuves depuis des décennies. C'est d'ailleurs cette solution que préconisait déjà Louis Varney G5RV lors de la toute première description de l'antenne dans le «RSGB bulletin» de juillet 1958.

9) Boîte d'accord et lignes symétriques

La littérature concernant les boîtes d'accord symétriques est abondante. Citons par exemple les systèmes utilisant des circuits couplés (*link coupled*) et ses nombreuses variantes. Ce type de circuit a un excellent rendement, par contre l'utilisation en multibande nécessite parfois plusieurs manipulations (accord série ou parallèle, commutations plus ou moins complexes au niveau des inductances etc.).

Si l'on souhaite utiliser une boîte d'accord asymétrique il faudra y adjoindre un *balun* du type « 1:1 intensité » (*current balun*) correctement dimensionné au niveau puissance. La liaison entre le *balun* et la boîte d'accord sera la plus **courte** possible et en câble coaxial de 11 mm de diamètre. L'utilisation d'un *balun* « diviseur » du type 4:1 n'est pas forcément appropriée si les impédances présentées en bout de ligne bifilaire sont déjà de faibles valeurs.



En ce qui concerne les boîtes d'accord internes des TRX récents, ne pas oublier que la plage d'adaptation est souvent limitée à ROS maximum de 3 pour 50 Ω ce qui est très insuffisant pour accorder une « *center fed* » multibande.

Une solution technique intéressante, mais plus complexe à réaliser, consiste à utiliser une boîte d'accord comportant un double circuit en T, L, ou Pi (un circuit par branche de la ligne bifilaire) associé à un « *balun* 1:1 » placé en sortie (dans ce cas le *balun* fonctionne par rapport à une impédance de 50 ohms purement résistive). Pour une recherche sur la « toile » utilisez par exemple le mot clé *balanced line tuner*, les articles sur ce sujet étant le plus souvent en anglais ...

Pour certaines bandes de fréquences il se peut qu'une adaptation d'impédance soit difficile à obtenir. Dans ce cas il faut retoucher légèrement la longueur de ligne au risque de déplacer le problème sur une autre bande (!). Il n'existe pas une longueur magique de ligne bifilaire permettant d'obtenir une adaptation d'impédance simple pour **8 bandes** décamétriques.

Conclusion

Au risque d'insister, il faut bien comprendre que les longueurs spécifiques de « 2 x 15 » mètres pour l'antenne et de 9,64 m pour la ligne bifilaire **ne sont liées qu'à un fonctionnement optimisé monobande 3/2 ondes pour la bande 20 mètres**. L'antenne G5RV pourra fonctionner d'une manière plus efficace en multibande à condition de remplacer le câble coaxial par une ligne bifilaire associée à une boîte de couplage « ad hoc ».

Pour être complet il faudrait analyser bande par bande le diagramme de rayonnement de l'antenne (*). La longueur initiale en configuration « 2 x 15 m » permet un fonctionnement relativement correct sur 80 et 40 mètres. Sur ces bandes le diagramme de rayonnement a tendance à envoyer la HF « vers le zénith » (propagation NVIS ?) ce qui est normal pour une antenne située à une dizaine de mètres de hauteur. Sur les fréquences supérieures à 14 MHz le diagramme de rayonnement présentera de nombreux lobes.

(*) Cf. http://f6css.free.fr/download/G5RV_4NEC2.pdf