

5. La Delta LOOP, une antenne de secours

Par François, HB9BLF

Mon activité trafic radio se passe essentiellement sur 144MHz, et en saison de sporadique E sur le 50MHz. Dans le quartier où j'habite, je n'ai pas beaucoup de place pour monter des antennes. Les antennes pour 2m et 6m sont montées sur le mât utilisé pour les activités en portable, derrière la maison.

Le problème est que les bandes VHF sont parfois bien calmes. Le 144MHz est le plus souvent désertique, sauf en fin de journée et le dimanche matin ; le 50MHz est actif entre mai et mi-août sous nos latitudes, en dehors des maximas solaires. La bande 40M est par contraste tout le temps active. Si une démonstration de notre hobby est demandée, il n'y a qu'à se pointer sur cette bande et on est sûr de pouvoir faire ou au moins entendre quelque chose.

J'ai choisi de monter une antenne de type « Delta-LOOP » pour la bande des 40 mètres. Les caractéristiques de cette antenne sont les suivantes :

- Un fil en forme de triangle avec un seul point de fixation en hauteur ; les 2 autres points sont en bas. Un seul mât suffit. Elle est plus simple à monter qu'un dipôle.
- Point d'alimentation dans un des coins du bas du triangle → pas besoin de monter le câble d'antenne en haut (autre avantage par rapport au dipôle).
- Le diagramme de rayonnement ressemble à celui d'une antenne verticale.
- Impédance entre 50Ω et 100Ω. SWR facile à compenser avec une boîte d'accord

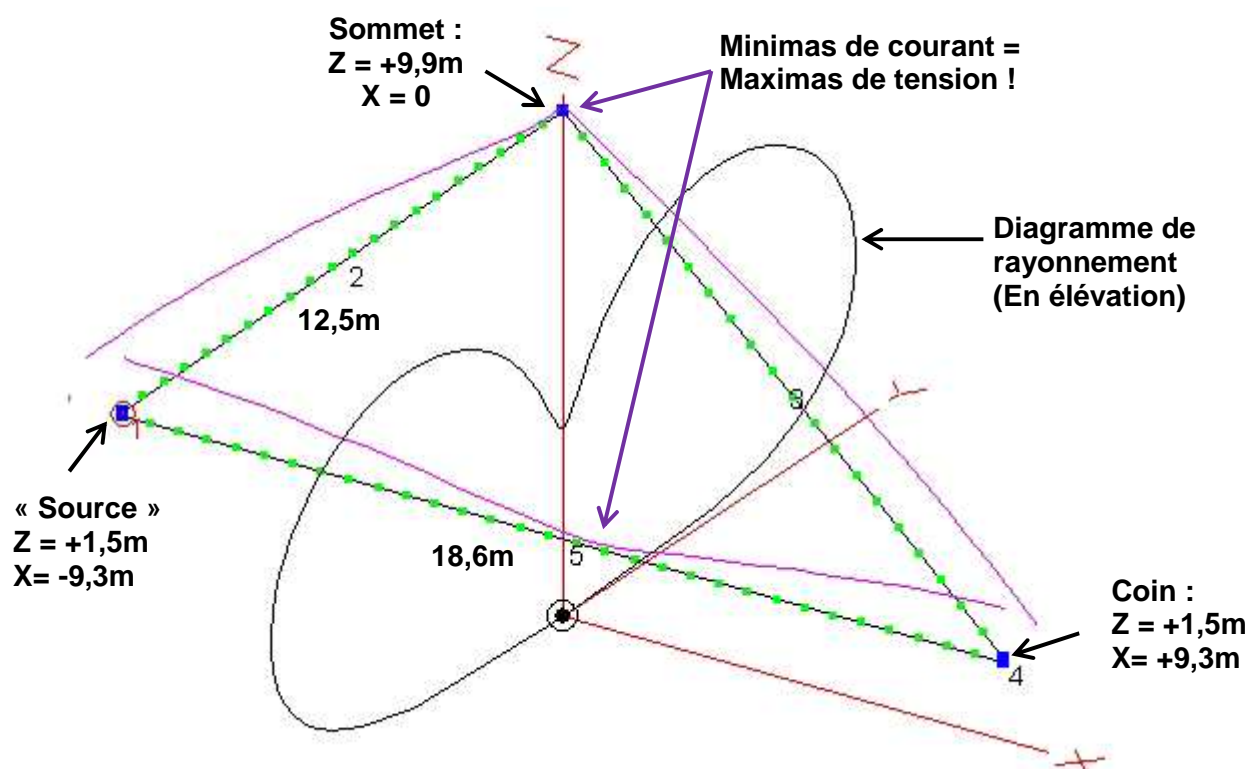


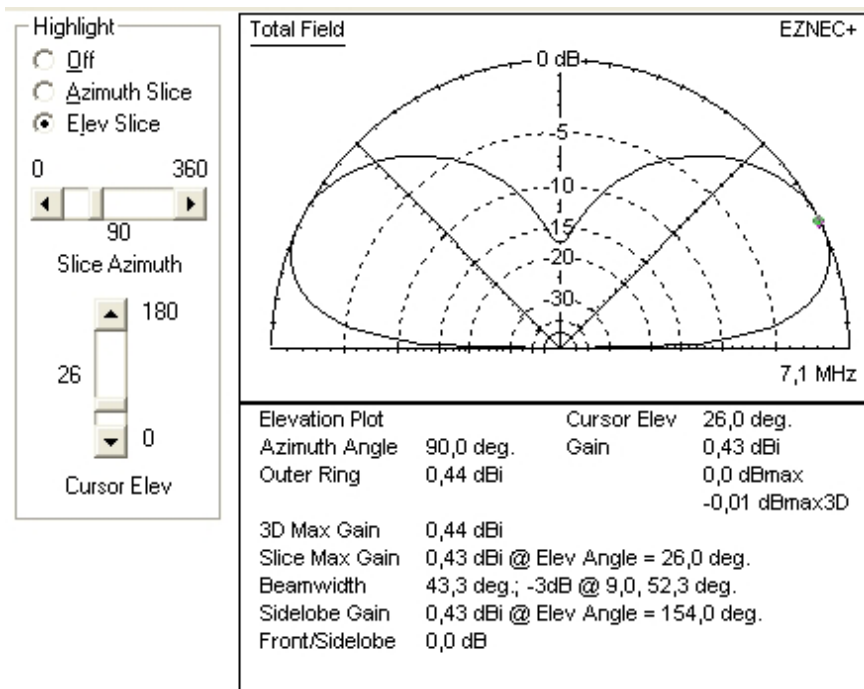
Fig. 1 : Exemple de Delta-LOOP pour la bande 40 mètres

Ci-dessus, le schéma d'une delta-LOOP classique pour la bande des 40 mètres. Elle a la forme d'un triangle isocèle (Segments 2 et 3 de mêmes longueurs 12m50) ; la partie horizontale est ici à 1m50 du sol (longueur 18,6m). Le câble d'antenne est branché au point no 1 (Source).

Dans cet exemple le haut de la LOOP est croché à 9m90 de haut.

La simulation avec le programme EZNEC donne une fréquence de résonance centrée sur $f_0 = 7,1\text{MHz}$, avec une impédance de $R_{ANT} = 92\Omega$ (Mesurée au point « source »). Le facteur de qualité vaut $Q = 19$ ce qui donne une bande passante $\Delta f = f_0/Q = 370\text{kHz}$. La simulation est faite avec un sol de qualité moyenne (champ d'herbe).

Sur le dessin de la page précédente, les traits en mauve indiquent l'intensité du courant le long du fil ; les minimas de courants correspondent à des maxima de tension. Il faut tenir les maxima de tension éloignés d'autres parties métalliques ou de branches d'arbres (danger de claquages avec la puissance...).



Le gain est maximal dans les directions perpendiculaires au plan de la LOOP, selon l'axe « Y »

Le diagramme de rayonnement principal en élévation est dessiné en noir sur la figure 1. Il est répété à la figure 2, ci-contre.

Le gain maximum (0,4dBi) est pour un angle d'élévation de 26 degrés.

Le rayonnement est minimum à la verticale (Gain=-17dBi)

Fig. 2 : diagramme de rayonnement vertical (azimut 90°)

Ce diagramme de rayonnement ressemble à celui d'une antenne verticale. On peut en déduire que le champ émis est en polarisation verticale.

A la figure 3, le diagramme de rayonnement dans les directions parallèles au plan de l'antenne indique un gain plus faible. Avec 26 degrés d'élévation, le gain vaut :

- -3,5dBi en direction du coin (azimut 0°)
- -4,8dBi en direction de la source (point d'alimentation, azimut 180°)

Dans cet exemple, la Delta-LOOP a été installée à hauteur minimale.

Le tableau de la page suivante donne les caractéristiques de cette antenne pour différentes hauteurs par rapport au sol. Le gain monte légèrement avec la hauteur, mais surtout le lobe de rayonnement vertical s'aplatit.

La figure 4 est le diagramme vertical avec l'élément horizontal à 10m de haut (Sommet à 18,4m !). Cet exemple n'est pas très réaliste, mais intéressant : on voit apparaître des petits lobes secondaires pour un angle d'élévation de 50°. Par contre, le diagramme de rayonnement s'aplatit vers le bas avec un maximum pour un angle de 18°, ce qui est favorable pour le DX.

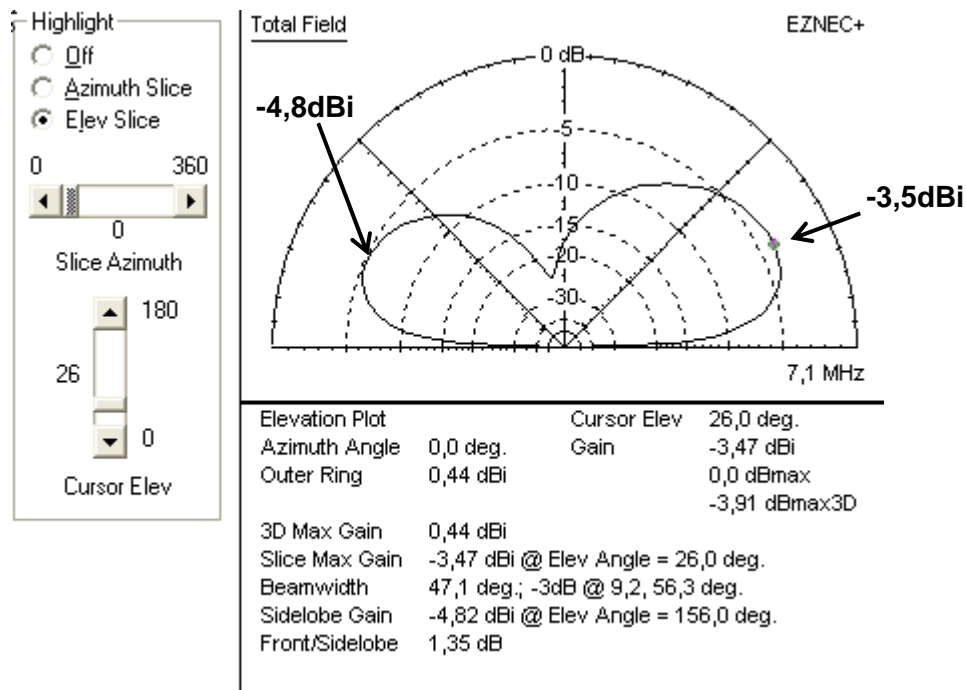
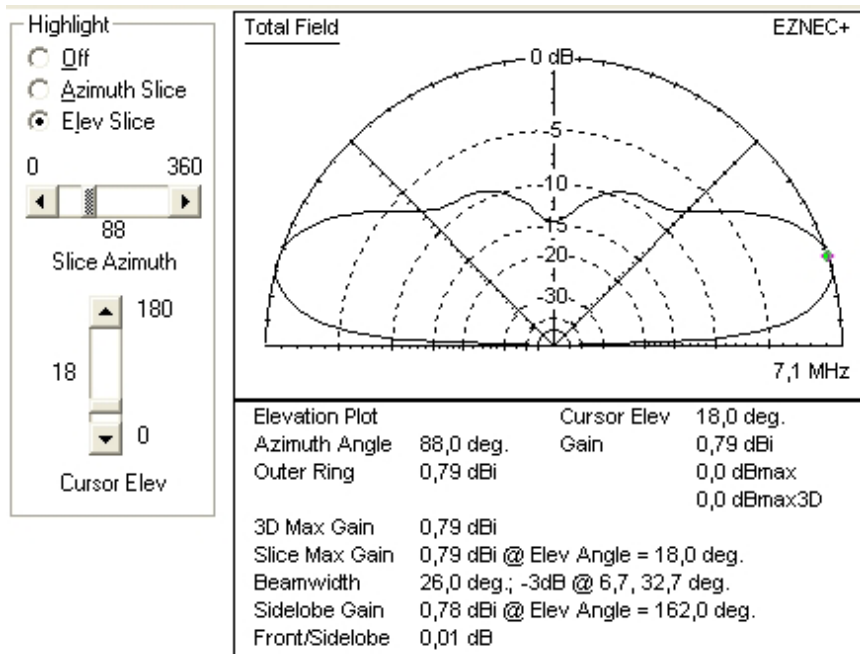


Fig. 3 : diagramme de rayonnement vertical (azimuts 0° et 180°)

Fréquence de résonance, gains et impédance en fonction de la hauteur au sol

Hauteur Sol	Résonance f_{RES}	Impédance R_{ANT}	Facteur Q	Angle d'élévation optimal	Gain max selon angle azimutal		
					0°	90° /270°	180°
1,5m	7,10MHz	92Ω	19	26°	-3,5	+0,45	-4,85
2,5m	7,15MHz	83Ω	21	24°	-3,2	+0,7	-4,8
3,5m	7,17MHz	77Ω	23	24°	-3,1	+0,8	-4,7
5m	7,18MHz	70Ω	26	22°	-3,1	+0,9	-4,6
7m	7,19MHz	62Ω	29	20°	-3,2	+0,9	-4,45
10m	7,18MHz	56Ω	34	18°	-3,4	+0,8	-4,3



Le facteur Q augmente avec la hauteur au sol → la résonance de la Delta LOOP devient alors plus « pointue »...

Fig. 4 : diagramme de rayonnement avec hauteur au sol maximale (10m)

Conclusion : comme avec toutes les antennes, plus elle est placée haute, meilleur sera le résultat (plus c'est haut, plus c'est beau, sauf peut-être pour les voisins...)

L'antenne Delta-LOOP peut aussi fonctionner sur les fréquences multiples de sa résonance principale (20M, 15M et 10M). Mais, qu'en sera-t-il des performances ? La figure 5 montre la même antenne, opérant sur 14MHz. Il y a maintenant 4 minimas de courant (en violet) au lieu de 2 sur la bande 40M.

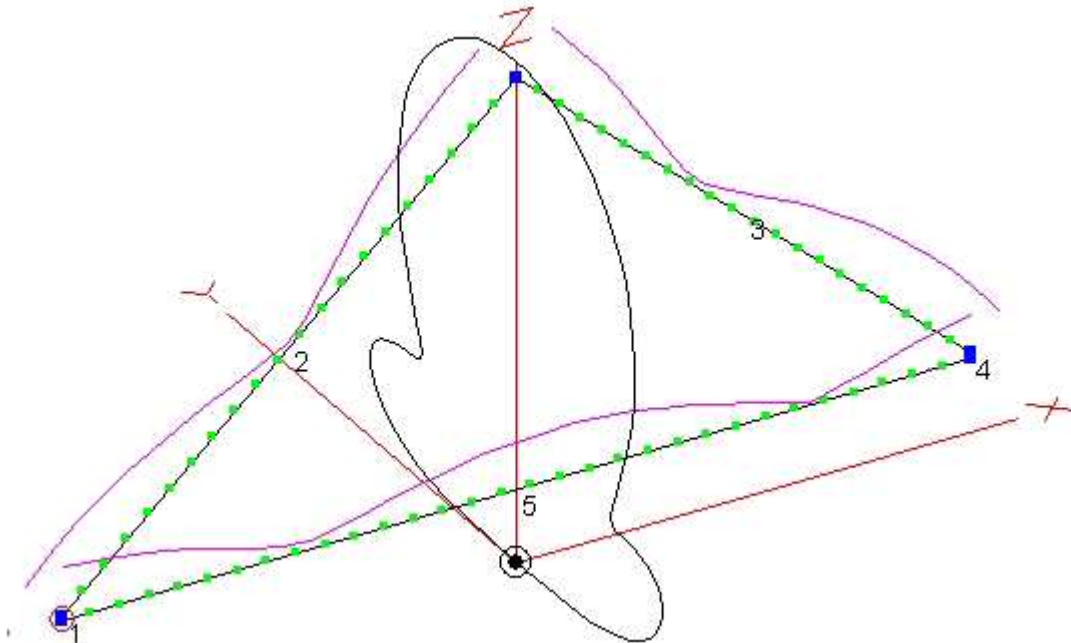


Fig. 5 : La Delta-LOOP 40M utilisée sur 14MHz

Le diagramme de rayonnement dans la direction perpendiculaire à l'antenne montre un gain max de +0,5dBi à la verticale. Les 2 petits lobes de rayonnements qui partent « à plat » (angle d'élévation de 22°) ont un gain maximum de -10dBi.

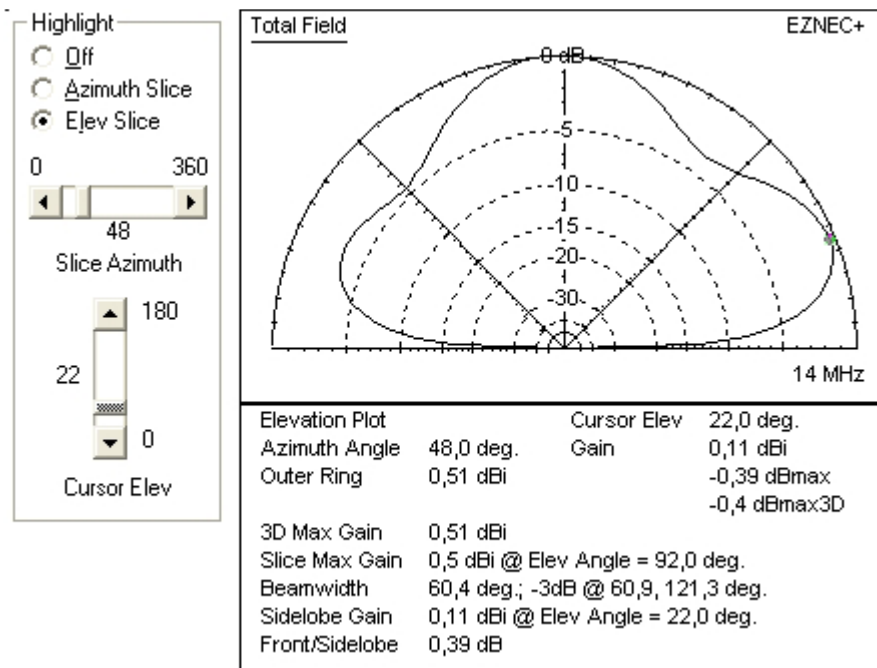


Fig. 6 : Gain max de la Delta-LOOP 40M utilisée sur 14MHz

La figure ci-contre est pour l'azimut ($\approx 45^\circ$) qui donne le gain maximal avec un départ « à plat ».

Le gain maximal vaut 0,1dBi.

On a un 2^{ème} maximum de l'autre côté, avec un gain autour de -3dBi.

Cette antenne résonne sur $f_{RES} = 13,88MHz$ avec une impédance valant $R_{ANT} = 130\Omega$.

Elle a un SWR de 3 à 14,0MHz (facile à compenser avec une boîte d'accord)

Sur 14MHz, cette antenne est ce que l'on appelle un « chauffe-nuage ». Il vaudrait mieux construire une 2^{ème} delta-LOOP plus petite et plus haute pour le 14MHz, qu'essayer d'en utiliser une qui est taillée pour le 7MHz.

Exemple de réalisation pratique

L'exemple donné ci-après fonctionne chez moi depuis cet hiver. Son design est adapté au terrain à disposition ; ce n'est donc pas un exemple à suivre absolument...

La LOOP est crochée sous l'antenne 144MHz, à 9m50 de haut. Elle a une forme asymétrique (terrain disponible oblige...) et penchée ; le point d'alimentation à gauche est à $\Delta X = 6m40$, $\Delta Y = 3m20$ du mât d'antenne, et le point opposé à droite est à $\Delta X = 11m10$, $\Delta Y = 3m20$ du mât.

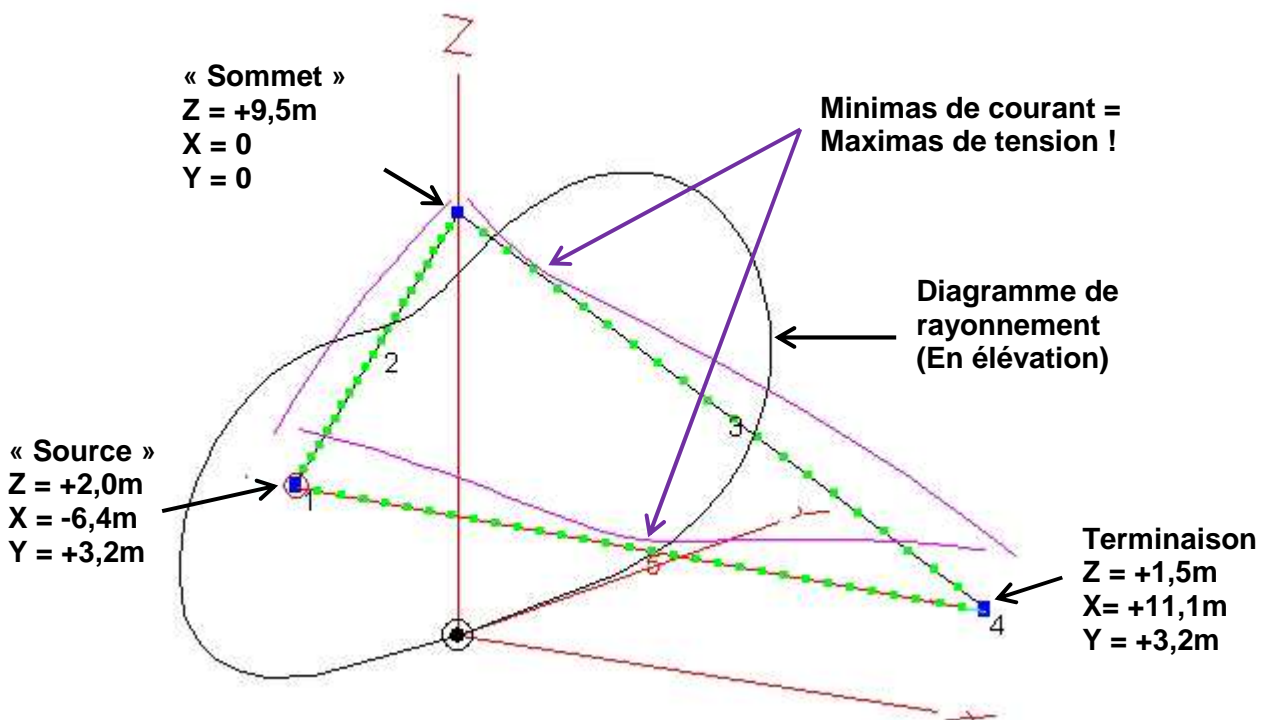


Fig. 7 : Plan de la Delta-LOOP 40M utilisée chez HB9BLF

Comme cette LOOP est penchée et asymétrique, les diagrammes de rayonnement s'en ressentent. Le maximum est obtenu comme pour la description de base dans la perpendiculaire au plan de la LOOP, mais avec un minima moins net à la verticale.

Voir les figures 8 et 9 à la page suivante. Le plan de la LOOP étant oblique, la polarisation résultante n'est pas purement verticale.

La figure 11 est une photo de l'antenne, faite depuis le point no 4 (terminaison). Son sommet est croché à l'aide d'une poulie sous la 13EL LFA utilisée pour le 144MHz. Le point d'alimentation est à l'opposé, à droite de la place de parc.

La figure 10 montre le point d'alimentation avec sa boîte d'accord, et le côté opposé du triangle qui est tendu à travers une petite poulie et une cordelette avec une sardine plantée dans le terrain.

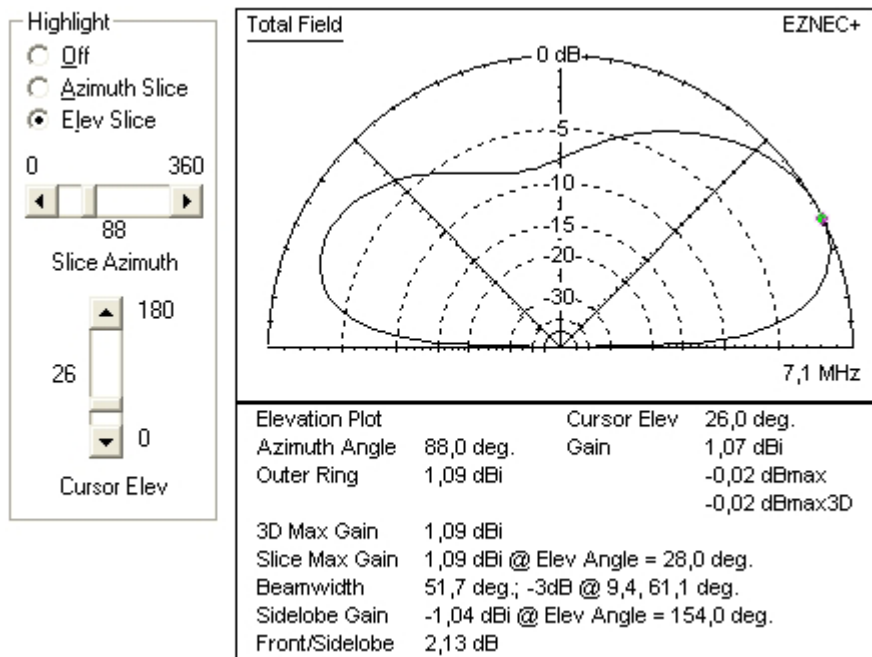


Fig. 8 : Diagramme de rayonnement (élévation) dans la direction perpendiculaire à la LOOP

Gain maximal de +1,1dBi, dans la direction de l'axe Y (Est, JA), et d'environ -2dBi dans la direction opposée (PY).

Le minimum de rayonnement n'est plus exactement sur l'axe vertical et il est aussi moins prononcé

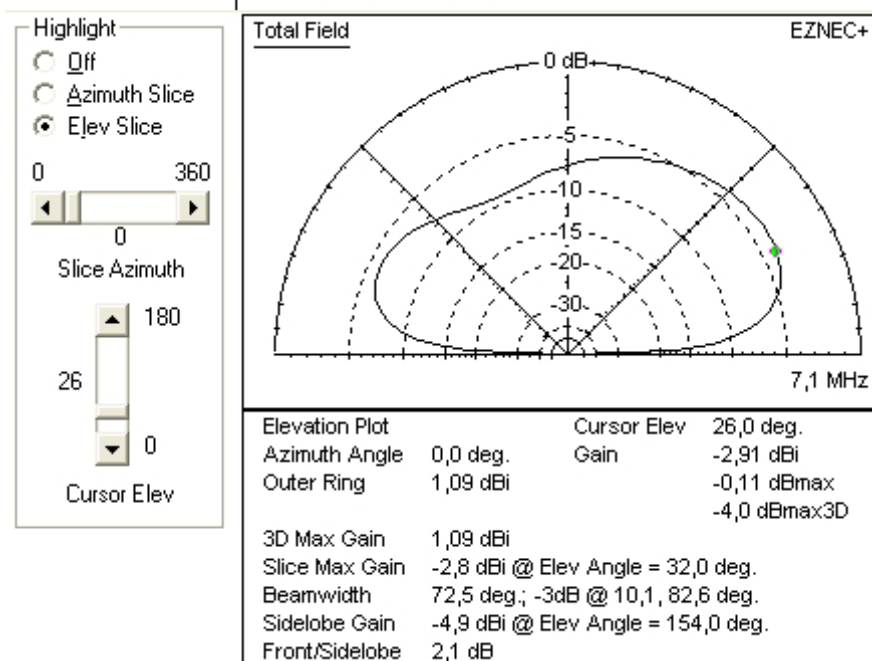


Fig. 9 : Diagramme de rayonnement (élévation) dans la direction parallèle au plan de la LOOP

Gain maximal de -2,9dBi dans la direction de l'axe X (Sud-Est), mais de -6dBi dans la direction opposée (USA)



Fig. 10 : Point d'alimentation (source avec boîte d'accord) et terminaison

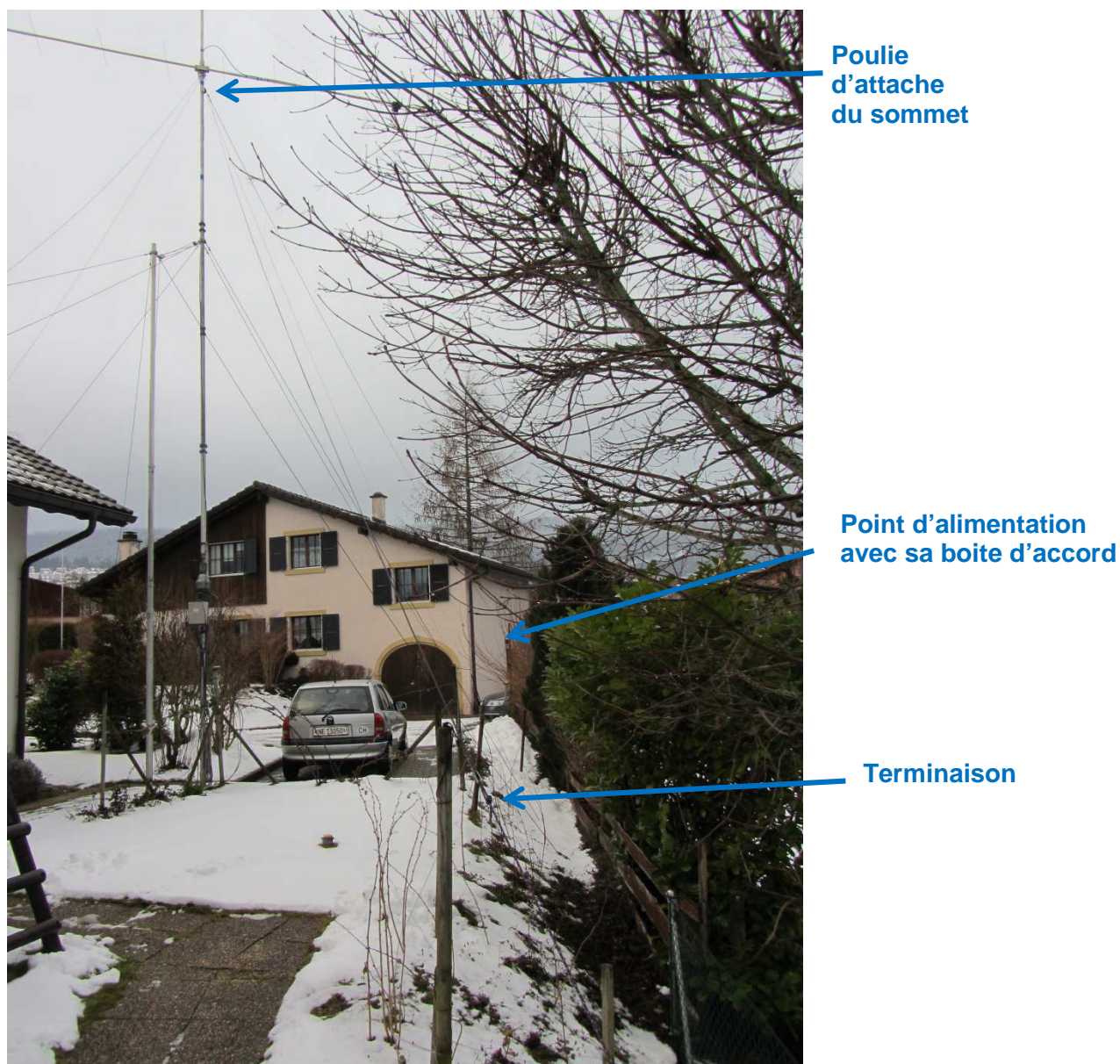


Fig. 11 : Vue de l'antenne

Les premiers essais ont été faits avec un couplage direct au câble d'antenne sans circuit d'adaptation d'impédance. Le résultat fut un SWR entre 2 et 3 sur la bande. Ce n'est pas étonnant, car la simulation de l'impédance avec EZNEC donnait vers 100Ω .

Une mesure d'impédance fine avec l'analyseur de réseau donnait $R_{ANT} = 108\Omega$ pour une fréquence de résonance $f_{RES} = 7,16MHz$. On peut ramener cette impédance à 50Ω avec un circuit de correction ayant un condensateur et une inductance.

Le schéma final du circuit est donné à la figure 12. C1 et L2 assurent la transformation $108\Omega \rightarrow 50\Omega$. Les selfs LA et LB sont en série avec la LOOP, pour le réglage fin de la résonance ; la self LA est court-circuitée par un relais (télécommandé depuis la station) pour travailler dans le haut de la bande (entre 7,1 et 7,2MHz).

J'avais d'abord raccourci la LOOP pour recentrer la résonance, mais hélas juste un peu trop. La self LB a été ajoutée pour compenser ce que j'avais coupé en trop...

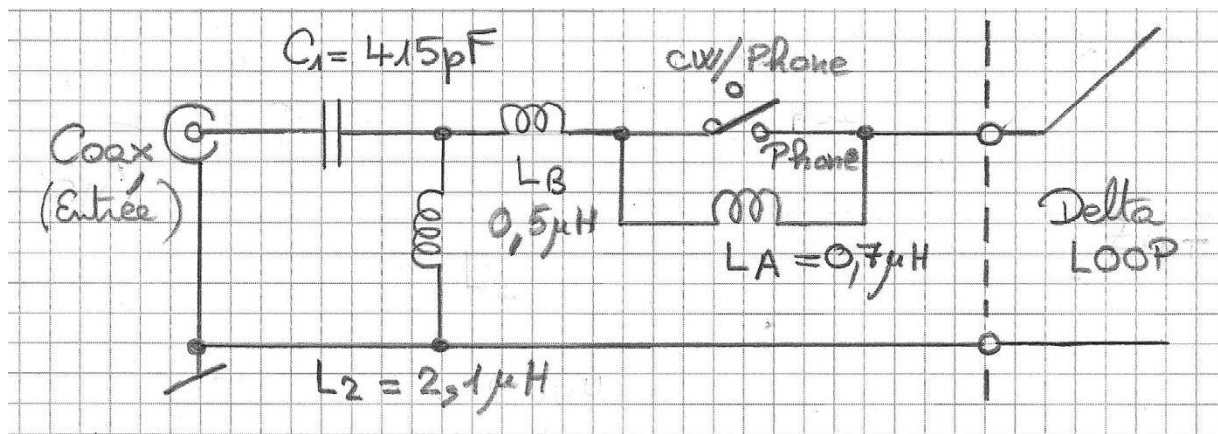
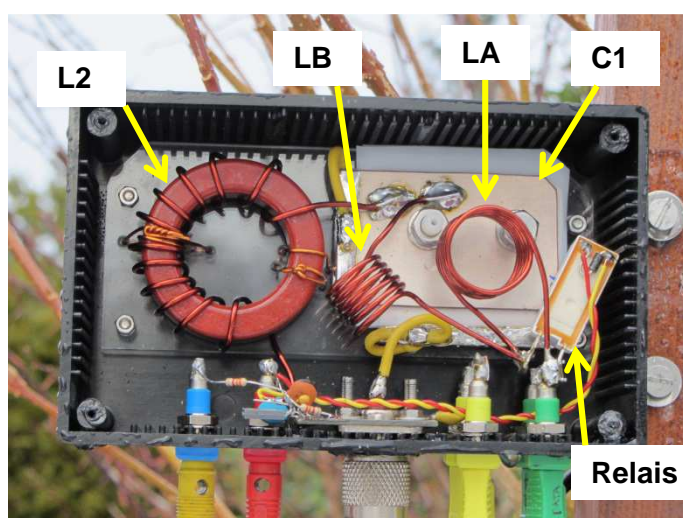


Fig. 12 : Schéma de la boîte d'accord



Eléments

- C1 : 415pF réalisé en 3 couches avec isolation par feuille téflon de 0,22mm d'épaisseur ; surface = 45x44mm (x3). Capacité par unité de surface : $\Delta C / \Delta S = 0,07 \text{ pF} / \text{mm}$
- L2 : 2,1μH. 12 spires fil émaillé de diamètre env. 1,5mm bobine sur $\frac{3}{4}$ d'un tore T200/2 (Amidon)
- LA : 0,7μH ; 7 spires $\varnothing=20\text{mm}$, distance entre spires = 3mm
- LB : 0,45μH ; 6 spires $\varnothing=18\text{mm}$, distance entre spires = 3mm

Fig. 13 : Vue du circuit d'adaptation d'impédance

Le condensateur C1 est fait avec 4 plaques d'époxy cuivrées sur les 2 cotés et argentées ; elles sont reliées deux à deux. L'isolation entre plaques est réalisée par des feuilles de téflon, d'épaisseur 0,22mm. Les plaques sont serrées les unes contre les autres par 2 vis nylon.

A l'époque, j'avais utilisé des feuilles de cuivre au lieu des plaques d'époxy cuivrées ; le problème était que ces plaques n'étaient pas assez plates, ce qui diminuait la capacité par unité de surface et donnait des valeurs de capacités moins bien répétitive et contrôlées qu'avec des plaques de PCB bien rigides et planes.

La figure 14 à la page suivante est un graphique permettant de dimensionner les inductances LA et LB.

La figure 15 est la mesure du SWR de l'antenne avec sa boîte d'accord. Il faudrait encore augmenter un chouia LB pour centrer la résonance sur 7,05MHz avec le relais ouvert, mais bof...

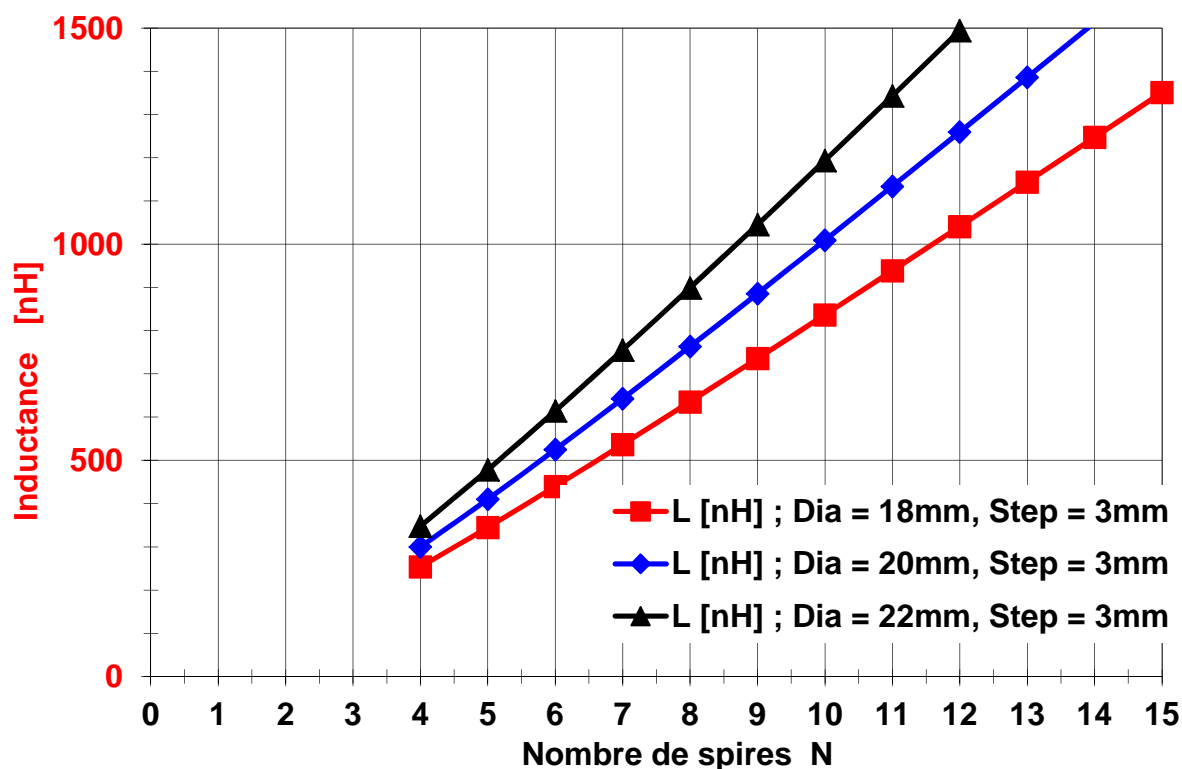


Fig. 14 : Graphe pour calcul des inductances LA et LB

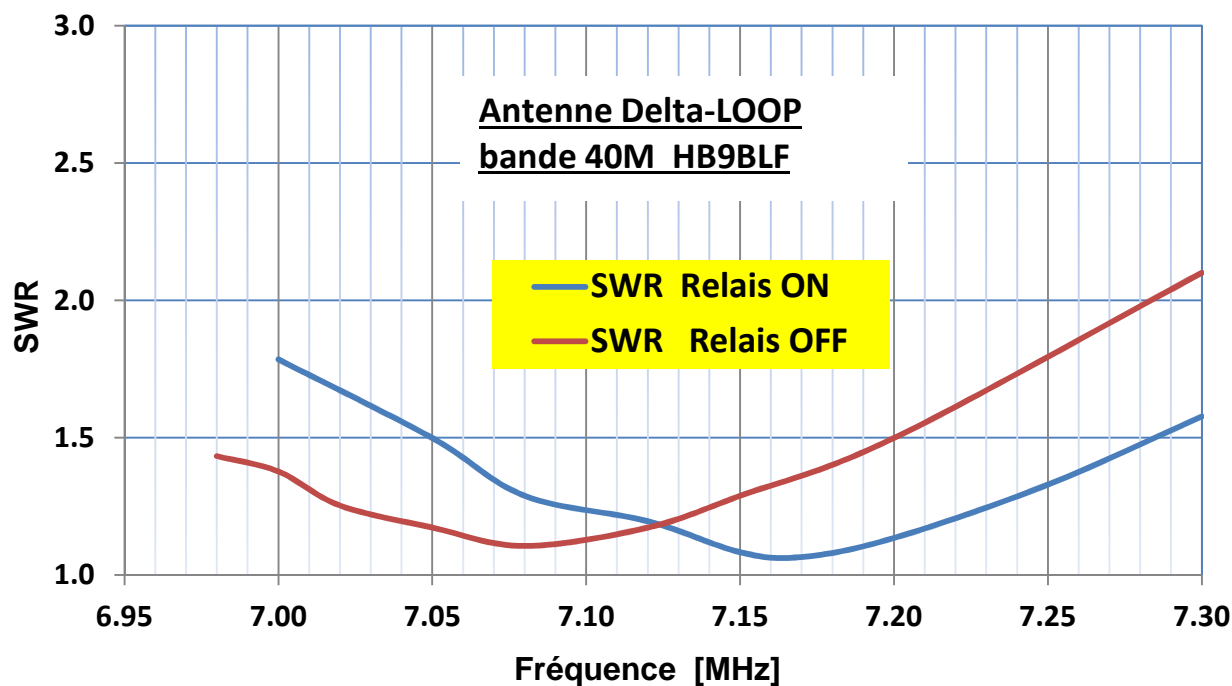


Fig. 15 : LOOP bande 40 mètres chez HB9BLF ; SWR

Cette antenne m'a permis de faire quelques DX cet hiver en CW avec les 150W de mes drivers à Mosfets. En SSB c'était plus difficile, surtout sur les USA qui est la direction qui donnait le gain minimum de l'antenne (voir fig. 9).

La Delta-LOOP est une antenne simple mais efficace. Il faut essayer de la placer le plus haut possible, mais même relativement basse elle donne des résultats acceptables.