

#### 4. Stacking d'antennes VHF UHF ; quelle distance optimale ?

Par François, HB9BLF

Utiliser un groupement d'antennes au lieu d'une antenne unique est une pratique courante sur les bandes VHF et UHF. Cette technique permet d'augmenter le gain dans la direction choisie. On réalise normalement des groupements d'antennes identiques. Le stacking est réalisé dans le plan vertical, le plan horizontal ou même dans les deux. (Exemple : groupement de 4 antennes Yagi identiques « en H »).

Utiliser un groupement de 2 antennes augmente le gain de +3dB par rapport à une seule. Si on veut gagner encore +3dB, alors il faut un groupement de 4 antennes.

On peut dire que chaque fois que l'on double le nombre total des antennes dans un groupement, le gain augmente idéalement de +3dB. Cependant les pertes dans les coupleurs / répartiteurs entre les antennes d'un groupement augmentent aussi et viennent diminuer le gain total espéré. Il faut alors utiliser des câbles à faibles pertes. Le poids et l'encombrement du système limitent rapidement les ambitions.

La question qui se pose quand on réalise un groupement d'antennes est d'utiliser une distance entre antennes (distance de « stacking ») optimale. Une distance trop faible réduit le gain, et une distance trop grande donne le meilleur gain mais des « lobes » de rayonnement parasites non désirables. Existe-t-il une distance de stacking optimale, et combien vaut-elle ?

Il y a des règles empiriques qui définissent la distance optimale entre antennes, en fonction de leur gain ou de la longueur du boom, avec des chiffres différents pour un stacking dans le plan vertical ou dans le plan horizontal. Il faut se méfier de ces chiffres qui peuvent dater un peu...

Le mieux est de déterminer la distance optimale en utilisant un programme de simulation. Je vais décrire ici 2 exemples de calcul de la distance optimale à l'aide de simulations d'antennes avec le programme EZNEC.

- Un groupement vertical de 4x 12EL « DJ9BV » sur 432MHz
- Un groupement vertical de 2x 16JXX2 (16EL) sur 144MHz

##### Groupement 432MHz 4x 12EL « DJ9BV »

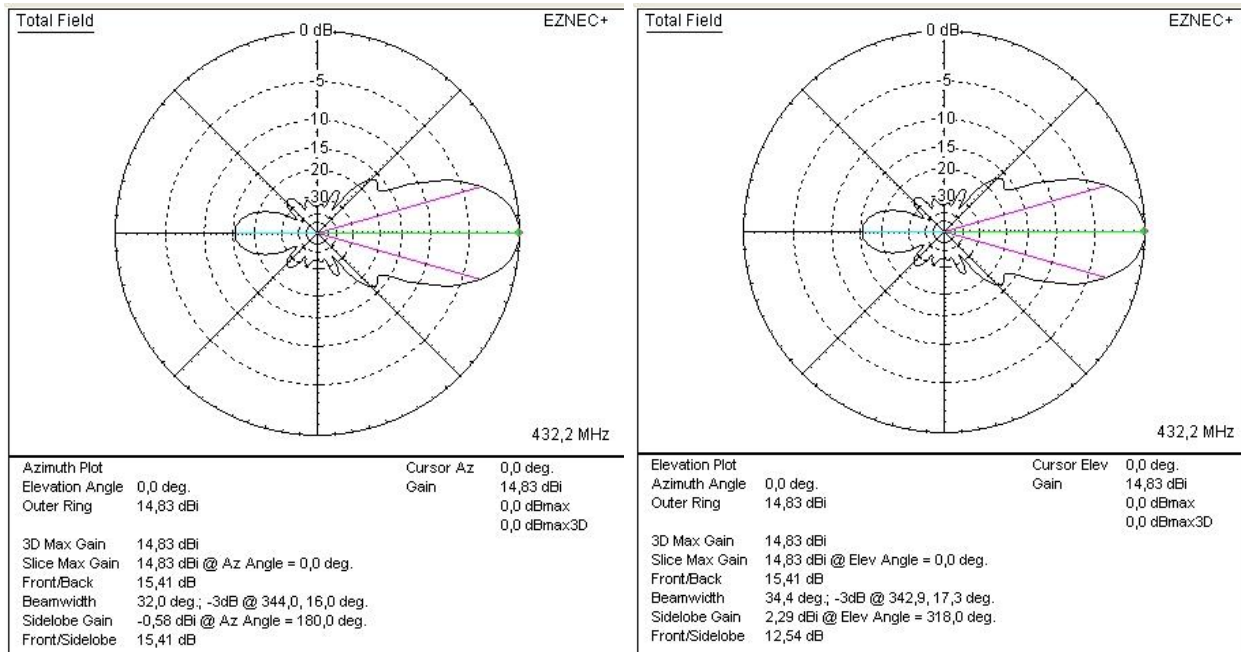
Il a été réalisé par HB9OMZ Patrick. La longueur de boom de chaque antenne est de 2 mètres. Ces antennes ont été utilisées lors du contest VHF-UHF de juillet 2015 au chalet du ski club sous HB9N et par HB9XC lors du contest d'octobre.

Sur la photo ci-contre, on voit en-haut le groupement de 4x 12EL 432MHz stackées verticalement et en-dessous le groupement de 4x23EL 1296MHz stackées en H de Yves.

La figure 1 donne le gain et les diagrammes de rayonnement dans le plan horizontal et dans le plan vertical avec une seule antenne. On a des diagrammes de rayonnement assez propres, avec un gain maximum de **14,8dB**, mais un rapport avant /arrière assez moyen de 15,4dB.

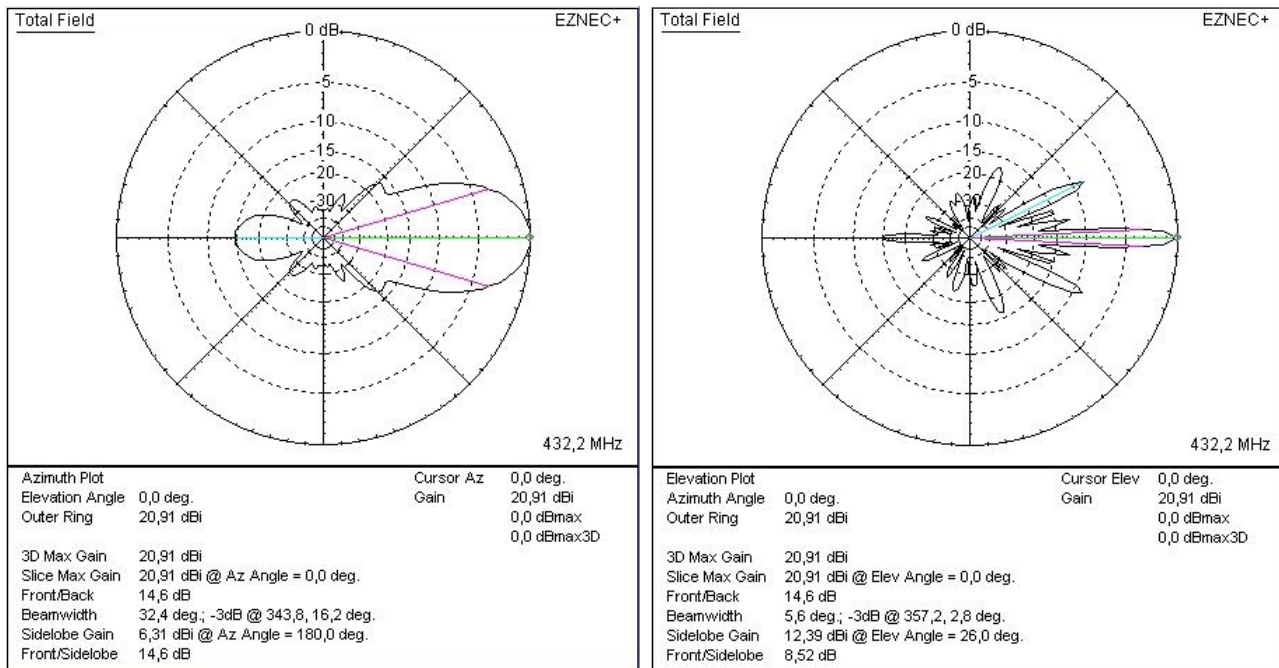


Un rapport avant / arrière pas trop élevé peut être utile pour entendre quand même les stations qui arrivent par l'arrière. Les 2 diagrammes se ressemblent beaucoup, mais c'est un effet du hasard ; c'est probablement dû au nombre restreint d'éléments de cette antenne.



**Fig. 1 : Diagrammes de rayonnement (simulé avec EZNEC) d'une seule antenne 12EL ; à gauche diagramme azimutal et à droite en élévation**

Pour un groupement de 4 antennes superposées, la distance de stacking recommandée entre antennes était de 1,5m (→ hauteur totale du groupement = 4,5 mètres). Une simulation avec EZNEC donne les diagrammes de rayonnement de la figure 2 : Gain maximal **20,9dB** (6dB de plus par rapport à une seule antenne).



**Figure 2 : Groupement de 4x 12EL ; diagramme de rayonnement dans le plan horizontal (à gauche) et dans le plan vertical (à droite)**

Le diagramme de rayonnement horizontal (en azimut) est identique à celui d'une seule antenne, avec un angle d'ouverture (-3dB) de 32°. Le rapport avant arrière est le même (on a aussi « gagné » 6dB sur les signaux arrivant par derrière).

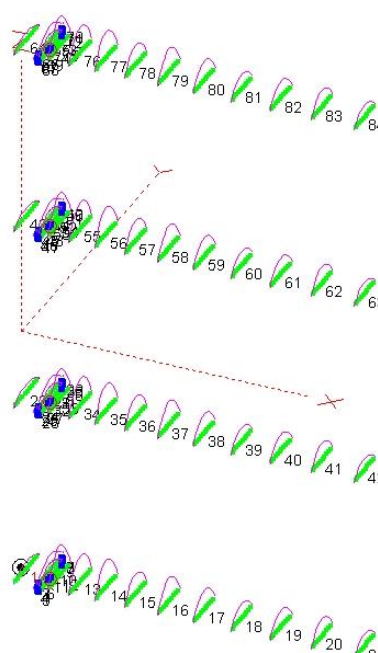
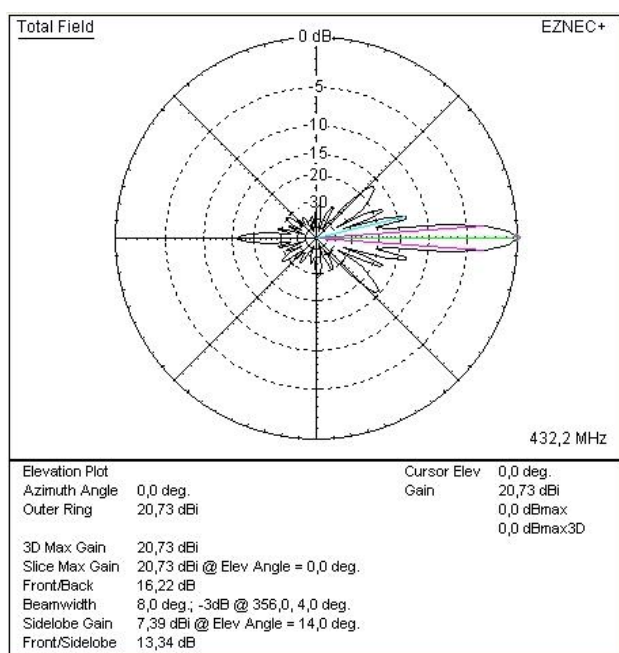
Le diagramme de rayonnement vertical est complètement différent de celui d'une seule antenne ; l'angle d'ouverture vertical est maintenant très étroit, 5.6° ; il est 6 fois plus étroit que celui d'une seule antenne. Cela ne gêne pas car les signaux des correspondants DX arrivent avec un angle d'incidence proche de 0. On voit par contre littéralement « fleurir » les lobes parasites dans le plan vertical.

Les lobes parasites augmentent le bruit de l'antenne en réception. Il serait aussi utile de pouvoir diminuer l'espacement entre antennes pour réduire sa prise au vent.

Avec EZNEC, on peut facilement modifier la configuration et lancer une simulation après l'autre en variant la distance entre antennes. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques du groupement 4x12EL 432MHz avec différentes distances de stacking.

Espace entre antennes [m]	Gain max. [dB]	port avant / arrière [dB]	apport avant / 1 <sup>er</sup> lobe parasite vertical [dB]
<b>1,50</b>	<b>20,90</b>	<b>14,60</b>	<b>8,5</b>
1,40	20,88	14,24	10,3
1,30	20,76	14,13	12,6
1,20	20,87	15,91	12,7
1,15	20,82	16,10	12,95
<b>1,10</b>	<b>20,73</b>	<b>16,22</b>	<b>13,34</b>
1,05	20,62	16,36	13,09
1,00	20,47	16,50	13,21

Une distance de stacking de **1m10** semble optimale. On perd 0,2dB sur le gain max, mais les lobes parasites dans le plan vertical sont fortement réduits, ce qui rendra l'antenne moins bruyante.



**Fig. 3 : Diagramme vertical avec distance optimale de stacking de 1m10 (à gauche) ; vue de l'amplitude des courants sur les différents éléments (à droite)**

Le rapport avant / arrière est aussi légèrement amélioré. On pourrait comprimer encore un peu ce groupement mais le seuil de la douleur est vers 1m05 à 1m00 entre antennes, là où le gain commence sérieusement à se dégrader.

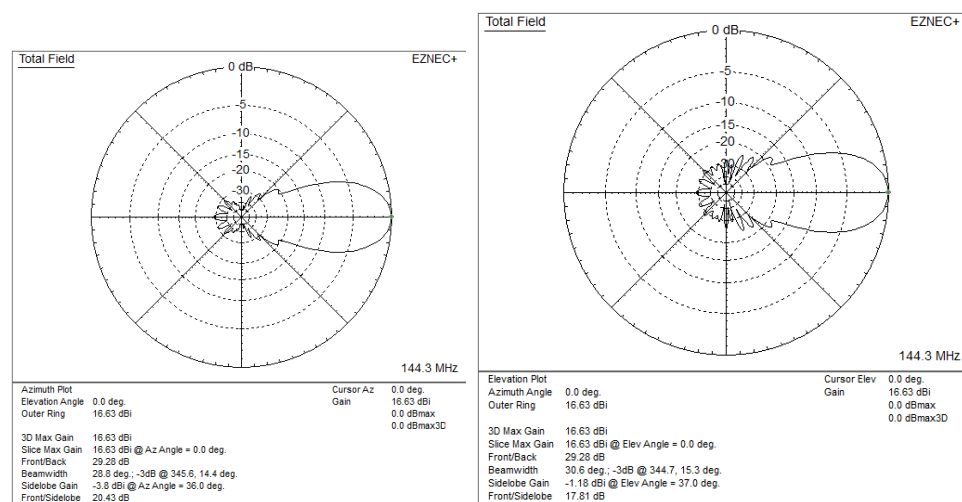
Ce groupement a donné entière satisfaction lors des derniers contest.

### Groupement 144MHz 2x 16EL « JXX » développées par IOJXX

Ces antennes appartiennent à Dominique HB9HLI. Nous les avons utilisées lors de nombreux contest.

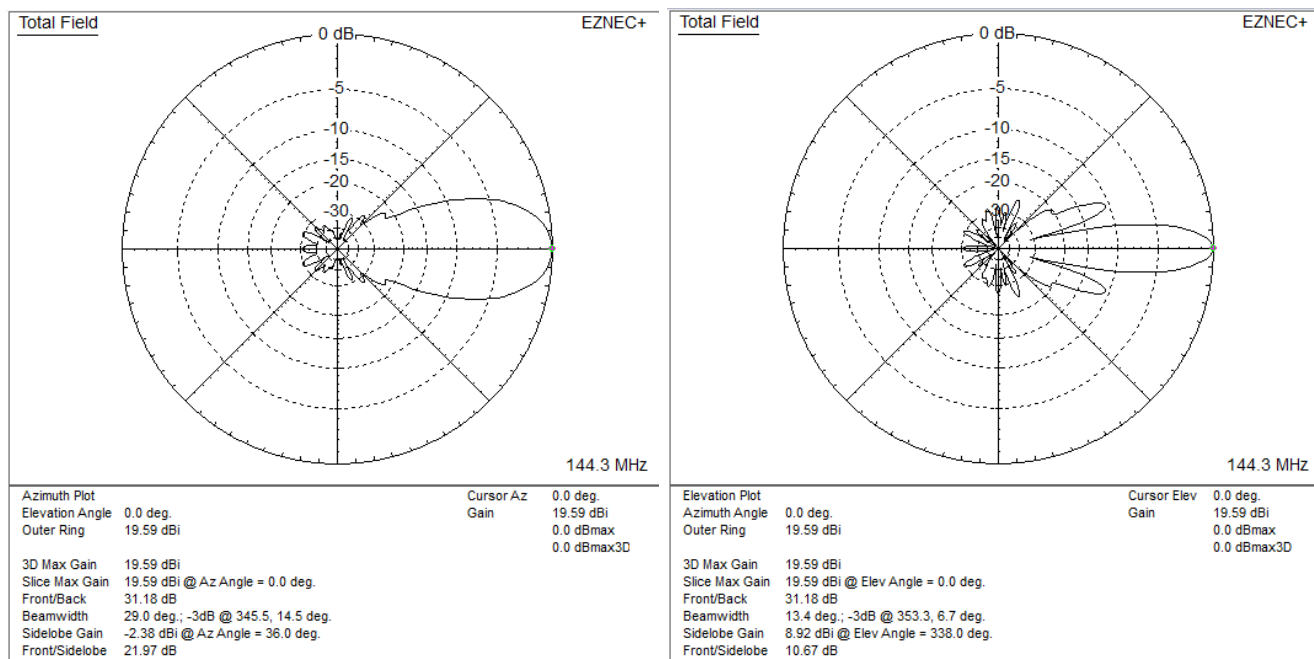
Ce sont des « longs fusils », avec une longueur de boom de 9m50, et un poids non négligeable. Le gain d'une seule antenne vaut **16,6dBi**, et le diagramme de rayonnement est assez propre, avec des lobes parasites réduits. Voir les résultats de simulation avec EZNEC à la figure 4 : la largeur du faisceau (-3dB) vaut 29° dans le plan horizontal et 30° dans le plan vertical.

La distance de stacking recommandée était de 4m10. On voulait les installer sur le mât carré de la SUNE, mais nous avons quelques inquiétudes au sujet du porte-à-faux avec une telle distance en cas de vent fort. D'où l'idée de répéter l'exercice fait avec les antennes 432MHz



**Fig. 4 : antenne 144MHz 16EL de IOJXX ; diagramme de rayonnement dans le plan horizontal (à gauche) et dans le plan vertical (à droite)**

Le résultat de simulation d'un groupement de 2x 16EL IOJXX avec une distance de stacking de 4m10 est à la page suivante. Le gain maximal vaut 19,6dBi (3dB de plus qu'avec une seule antenne). Le diagramme de rayonnement horizontal est identique à celui d'une seule antenne. Par contre le diagramme vertical est bien plus étroit avec une largeur de faisceau de 13°, ce qui ne gêne pas selon les raisons évoquées plus haut.



**Figure 5 : Groupement de 2x 16EL « JXX » espacées de 4m10 ; diagramme de rayonnement dans le plan horizontal (à gauche) et dans le plan vertical (à droite)**

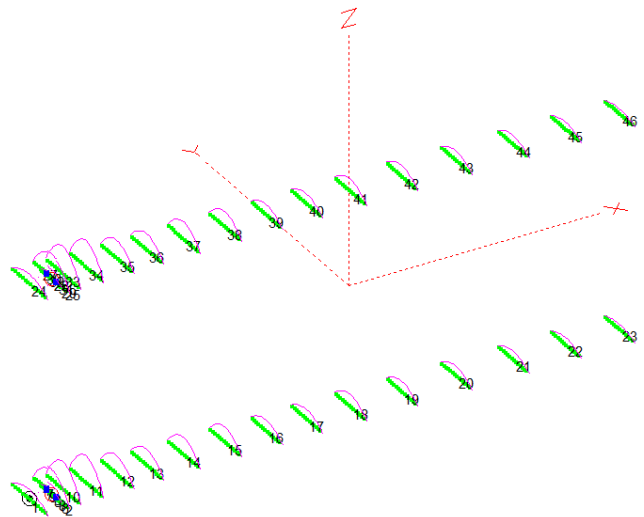
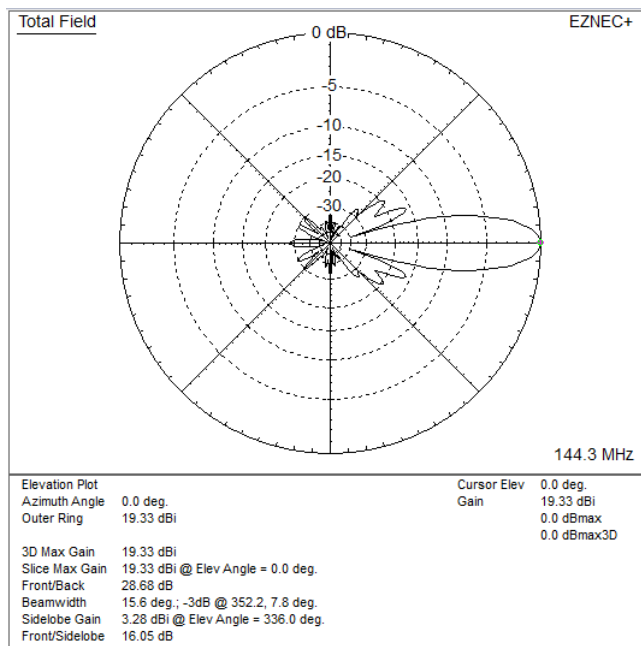
Les premiers lobes parasites verticaux sont seulement atténués par -11dB, ce qui n'est pas très optimal (ces lobes étaient déjà visibles avec une seule antenne, mais ils se confondaient un peu avec le lobe principal et étaient plus faibles, -18dB).

Le tableau suivant donne les résultats de simulation avec différentes distances de stacking.

Espace entre antennes [m]	Gain max. [dB]	Rapport avant / 1 <sup>er</sup> lobe parasite vertical [dB]	Rapport avant / arrière [dB]
4,30	19,63	9,7	31,2
4,20	19,62	10,2	31,2
<b>4,10</b>	<b>19,59</b>	<b>10,7</b>	<b>31,2</b>
4,00	19,57	11,3	31,0
3,90	19,54	11,9	30,7
3,80	19,51	12,5	30,3
3,70	19,47	13,3	29,8
3,60	19,43	14,1	29,3
3,50	19,38	15,0	28,9
<b>3,40</b>	<b>19,33</b>	<b>16,0</b>	<b>28,7</b>
3,30	19,28	17,2	28,6

Une distance de stacking de **3m40** semble optimale. On perd 0,3dB sur le gain max, mais les lobes parasites dans le plan vertical sont réduits (voir la [fig. 6](#) à la page suivante), ce qui réduira le bruit thermique capté par l'antenne.

Et surtout, on réduit l'encombrement vertical et le porte-à-faux fait par l'antenne du haut en cas de vent.



**Fig. 6 : Diagramme vertical avec distance optimale de stacking de 3m40 (à gauche) ; vue de l'amplitude des courants sur les différents éléments (à droite)**

### Conclusion

Il vaut la peine d'optimiser la distance de stacking lors du design de groupements d'antennes, en se servant d'un programme de simulation électromagnétique tel que EZNEC (par exemple, mais il y en a d'autres). Cela permet de réduire l'encombrement, les lobes parasites (donc le bruit en réception) et la prise au vent (porte-à-faux), au prix d'une petite réduction du gain, tout-à-fait acceptable.