

Empilement d'antennes

Distances optimales et effets induits, simulés avec le logiciel EZNEC 7 Pro+



Avant-propos !

Des défauts ou des erreurs sont toujours possibles, dans mes réalisations ou mes descriptions.

Les personnes qui désirent utiliser les données ou les modèles que je met à disposition, le font à leurs risques et périls.

Je n'assume aucune responsabilité, quelle qu'elle soit.

Si vous constatez une erreur, merci de me le signaler.

Je m'efforce toujours d'apporter les solutions les plus appropriées et les corrections nécessaires.

Vous pouvez m'écrire à [hb9hlh\(at\)gmail.com](mailto:hb9hlh@gmail.com)

Florian Buchs, HB9HLH , décembre 2022

Empilement d'antennes

Généralement pour empiler des antennes directives, de longueurs égales ou supérieures à 10 éléments (yagis) ou 2.2λ , il est possible d'utiliser la formule de DJ9BV / DL6WU.

Formule :

$$D = W / (2 * \sin(B / 2))$$

où

D = distance d'empilement, verticale ou horizontale

W = longueur d'onde, dans les mêmes unités que D

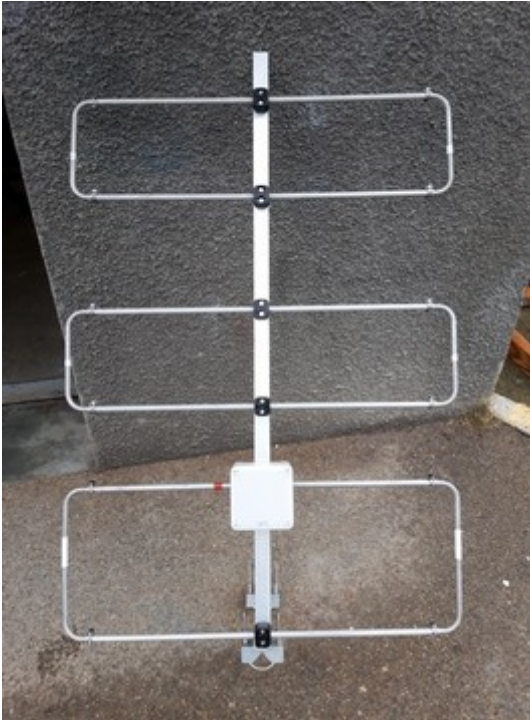
B = angle de rayonnement à -3 dB.

Liens intéressants sur le sujet :

<http://www.ifwtech.co.uk/g3sek/stacking/stacking2.htm>

<http://www.ifwtech.co.uk/g3sek/diy-yagi/ve7bqh.htm>

Objectif : Optimiser la distance d'empilement pour 2 antennes Moxon 6 éléments, 144.300 MHz.

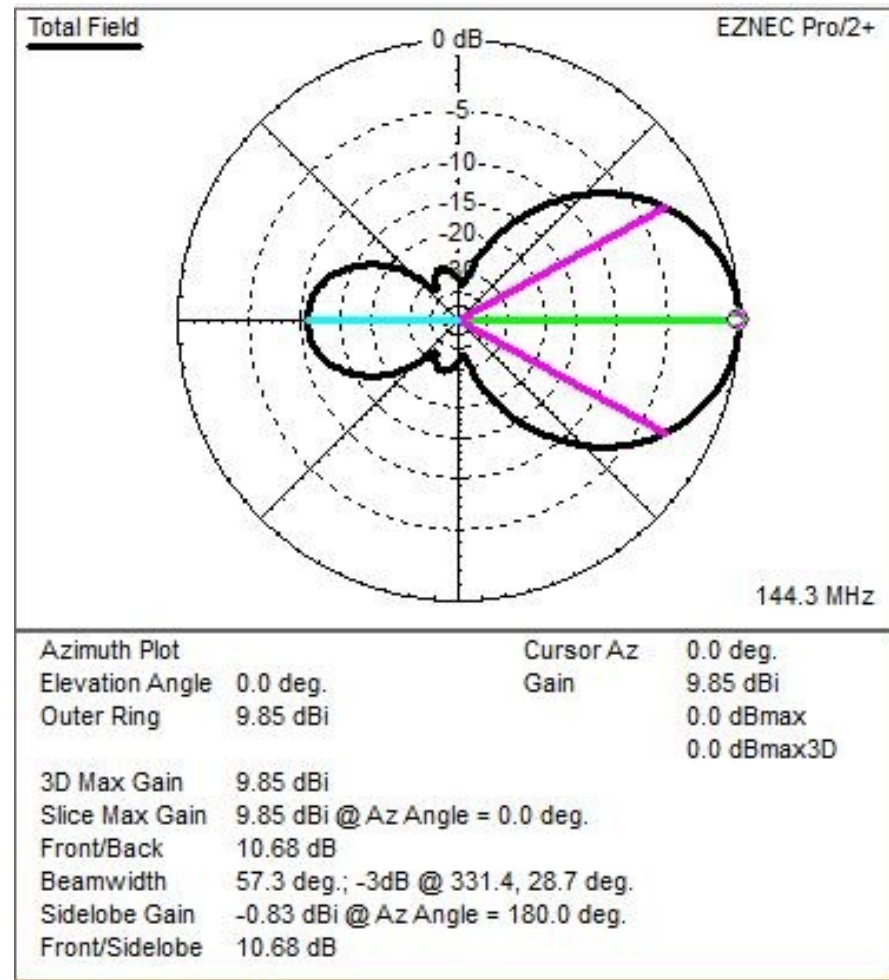
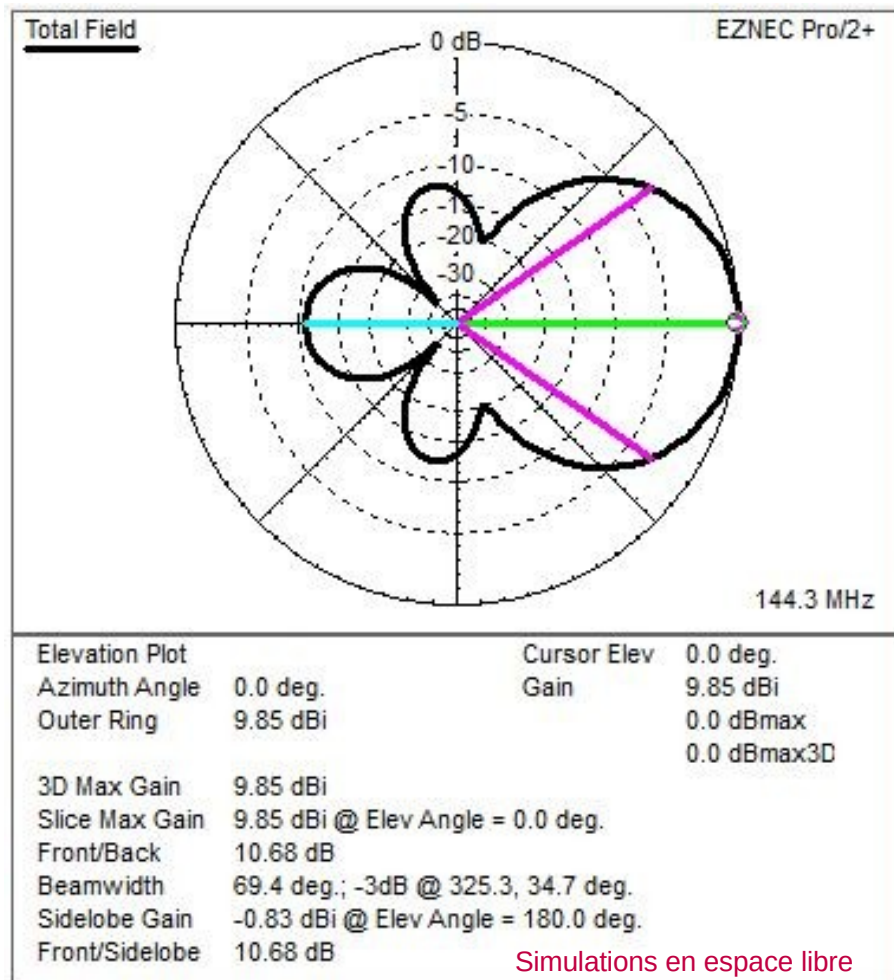


La formule de DJ9BV / DL6WU n'étant pas conseillée dans cet exemple, la solution est une simulation à l'aide d'Eznec.

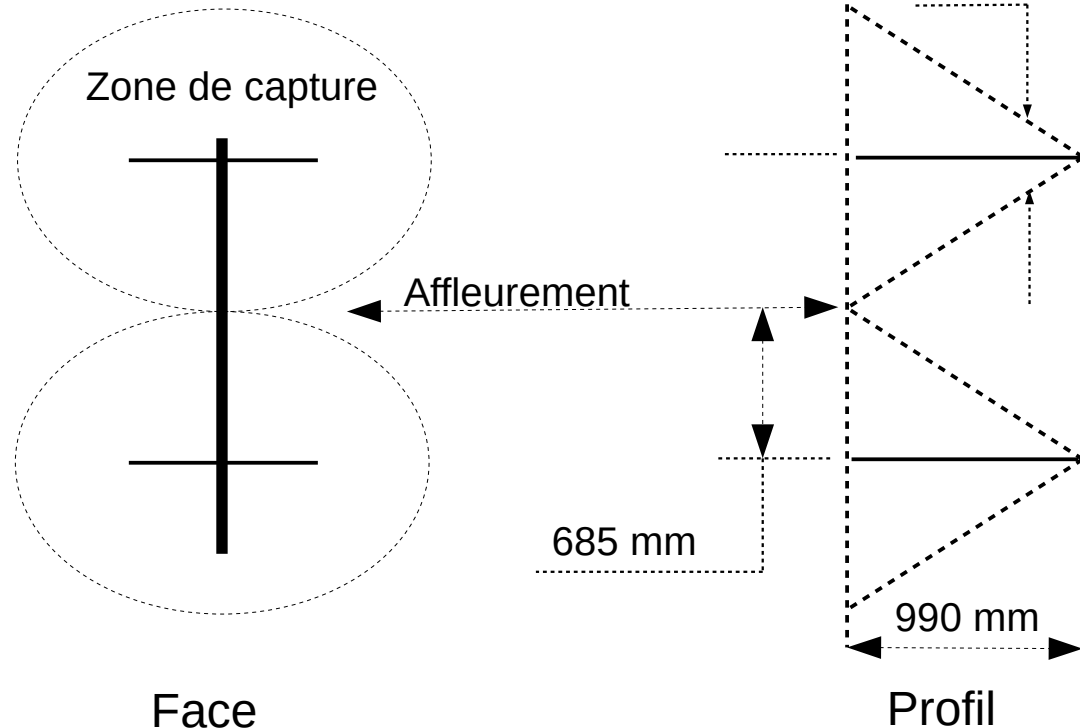


Caractéristiques de l'antenne :

HB9HLH , décembre 2022



Idéalement , quand on empile des antennes, on s'arrange pour que les zones de capture ne se chevauchent pas.



L'angle d'ouverture vertical du modèle est de 69.4° à -3dB . La distance du premier au dernier élément est de 990 mm.

La distance d'affleurement (théorique) est de :

$$\text{tg}(69.4^\circ/2) \times 990 = 685.5 \text{ mm.}$$

La hauteur d'empilement est de $685.5\text{mm} \times 2 = 1371 \text{ mm}$, pour respecter le non chevauchement des zones de capture.

C'est ce que nous allons voir.

Test 1. Hauteur par défaut donnée par la fonction «stack».
menu Eznec : Wires → Wire → stack

Stack

Ok

Cancel

First wire to stack 1

Last wire to stack 19

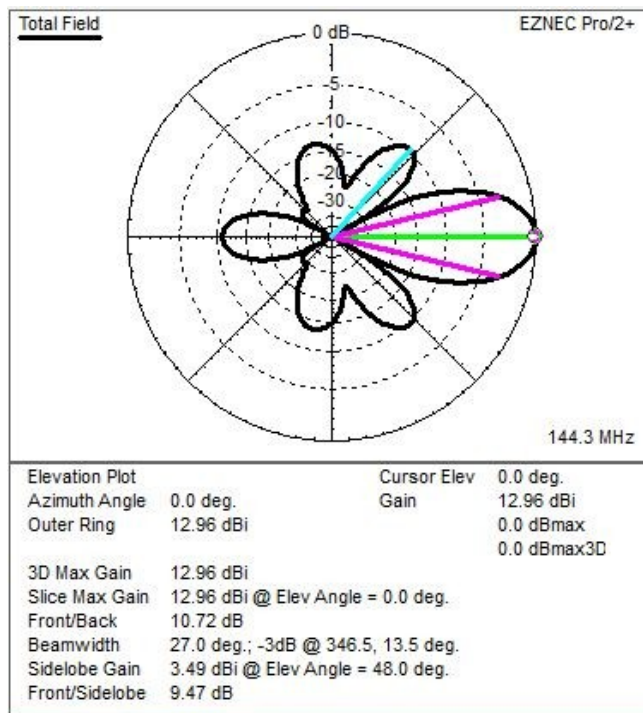
Place in list above wire 20

Stacking distance (mm) 2077.56

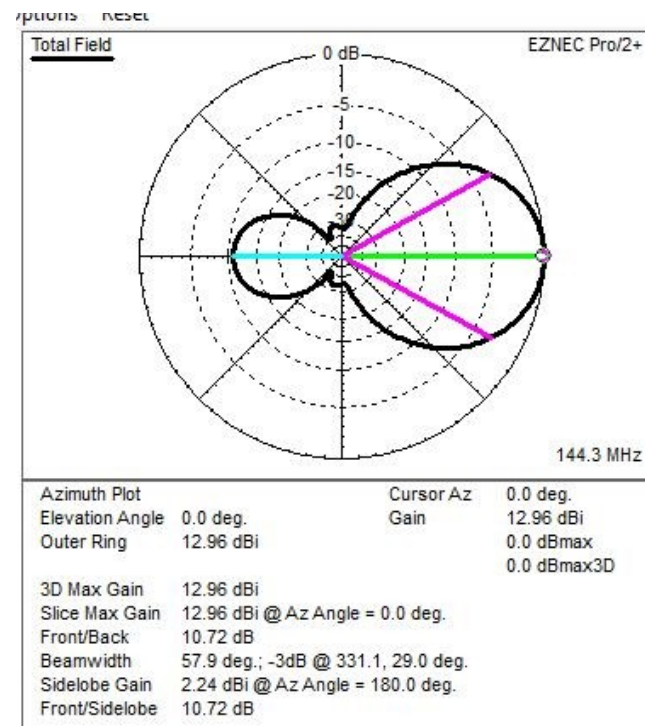
Hauteur d'empilement suggérée : 2,08 m soit $1 \cdot \lambda$

Test 1. menu Eznec : Wires → Wire → stack 2077 mm

Résultats :



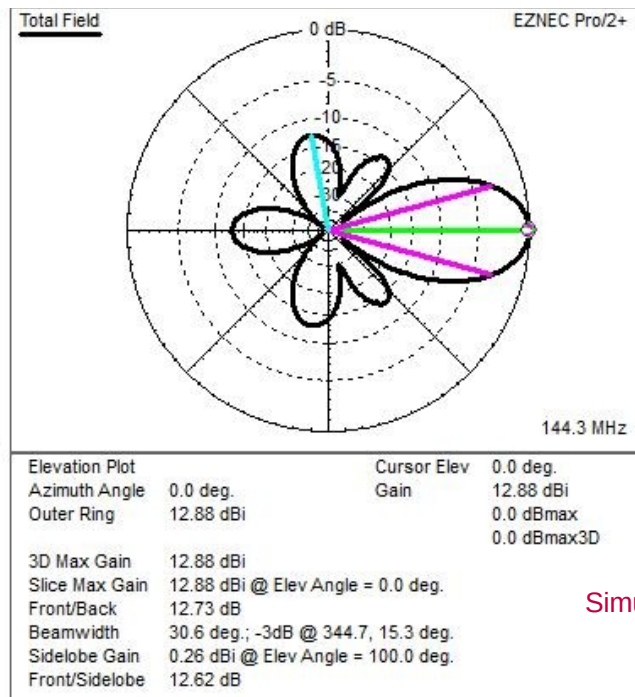
Simulations en espace libre



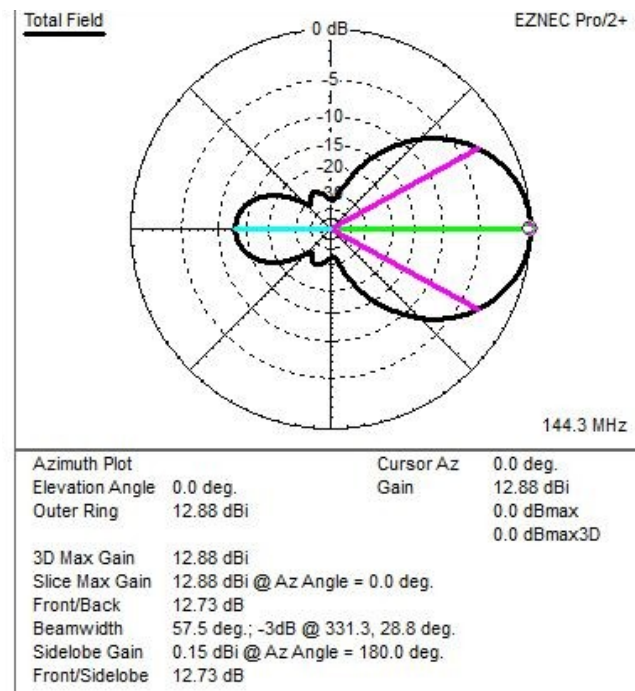
L'angle d'élévation à -3 dB passe de 69.4 ° à 27°. Le rapport avant- arrière ne change pratiquement pas. Les lobes parasites augmentent nettement. Le gain augmente d'environ 3 dB. Le gain est à 12.96 dBi.

Test 2. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1800 mm

Résultats :



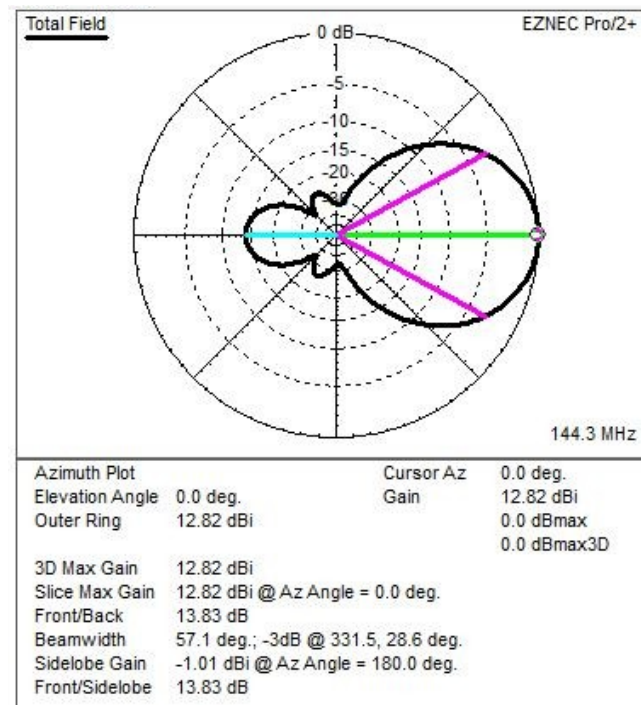
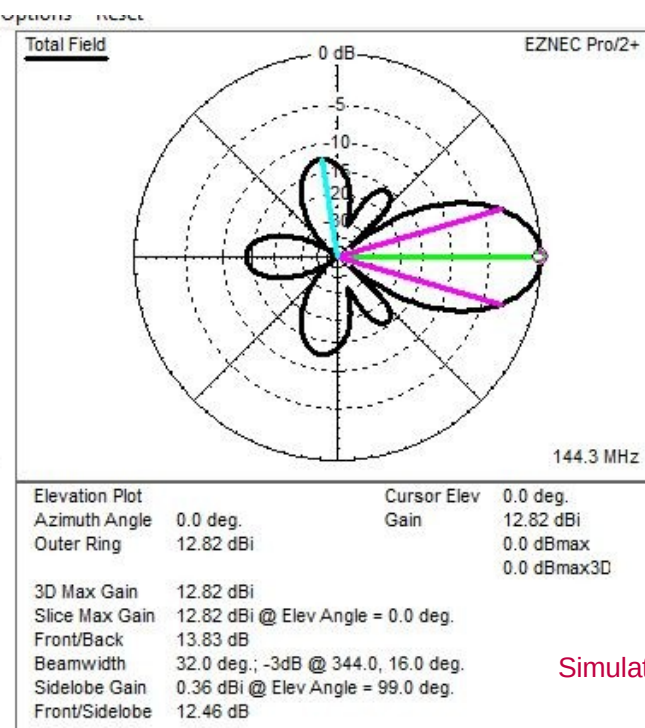
Simulations en espace libre



L'angle d'élévation à -3 dB passe de 69.4° à 30.6°. Le rapport avant- arrière passe de 10.72 à 12.73 dB. Le premier lobe parasite s'affaiblit de 3.49 à 0.26 dB. Le gain diminue de 12.96 à 12.88 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal diminue très peu, de 57.9° à 57.5°.

Test 3. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1700 mm

Résultats :

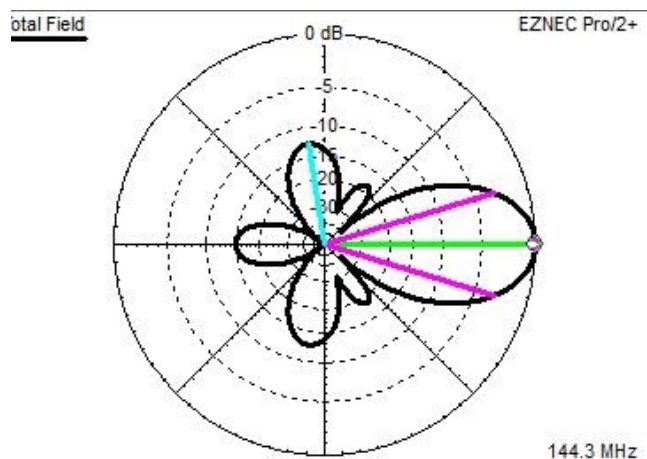


Simulations en espace libre

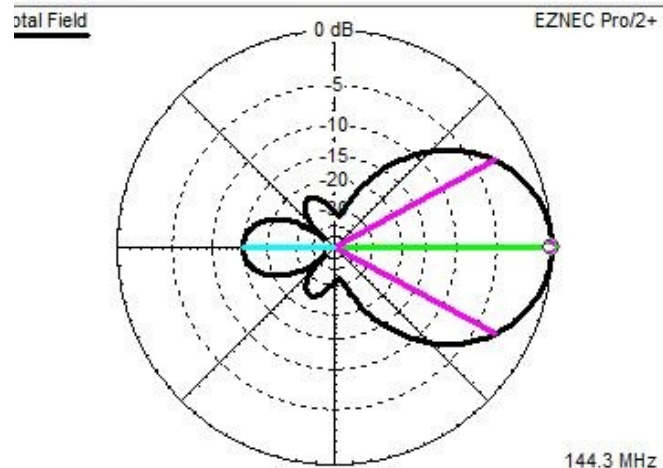
L'angle d'élévation à -3 dB passe de 30.6 ° à 32°. Le rapport avant- arrière passe de 12.73 à 13.83 dB. Le premier lobe parasite passe de 0.15 à -1.01 dB. Le gain baisse encore de 12.88 à 12.82 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 57.5° à 57.1°.

Test 4. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1600 mm

Résultats :



Elevation Plot		Cursor Elev	0.0 deg.
Azimuth Angle	0.0 deg.	Gain	12.74 dBi
Outer Ring	12.74 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	12.74 dBi		
Slice Max Gain	12.74 dBi @ Elev Angle = 0.0 deg.		
Front/Back	14.83 dB		
Beamwidth	33.6 deg.; -3dB @ 343.2, 16.8 deg.		
Sidelobe Gain	0.16 dBi @ Elev Angle = 99.0 deg.		
Front/Sidelobe	12.58 dB		



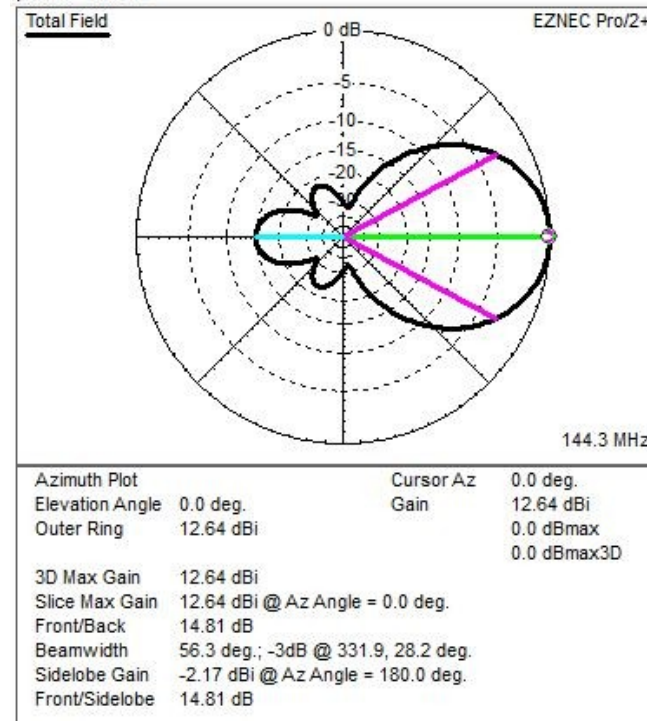
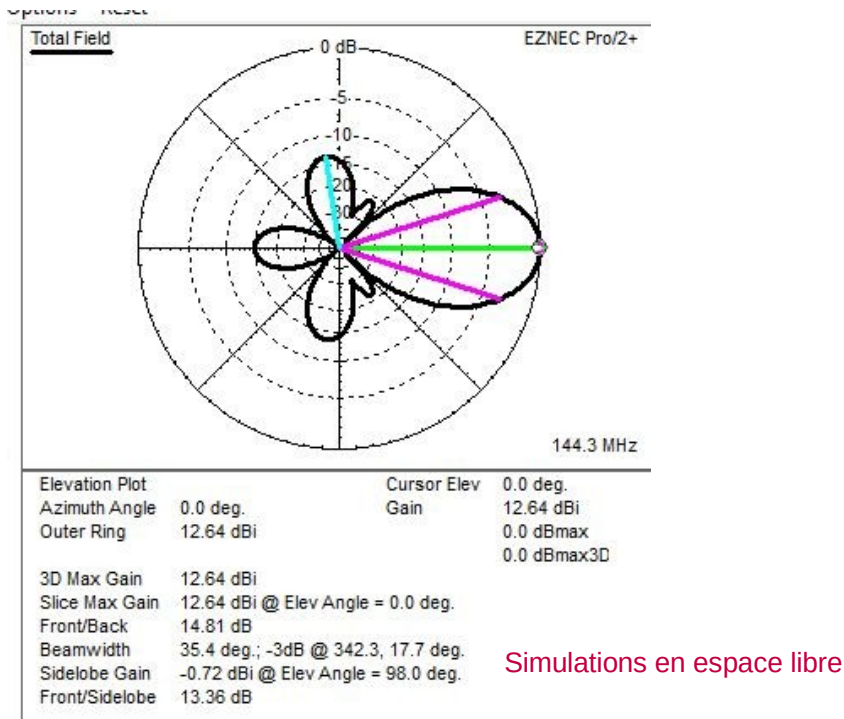
Azimuth Plot		Cursor Az	0.0 deg.
Elevation Angle	0.0 deg.	Gain	12.74 dBi
Outer Ring	12.74 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	12.74 dBi		
Slice Max Gain	12.74 dBi @ Az Angle = 0.0 deg.		
Front/Back	14.83 dB		
Beamwidth	56.7 deg.; -3dB @ 331.7, 28.4 deg.		
Sidelobe Gain	-2.09 dBi @ Az Angle = 180.0 deg.		
Front/Sidelobe	14.83 dB		

Simulations en espace libre

L'angle d'élévation à -3 dB passe de 30.6 ° à 33.6°. Le rapport avant- arrière passe de 13.83 à 14.83 dB. Le premier lobe parasite passe de -0.01 à -2.09 dB. Le gain baisse encore de 12.82 à 12.74 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 57.5° à 56.7°.

Test 5. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1500 mm

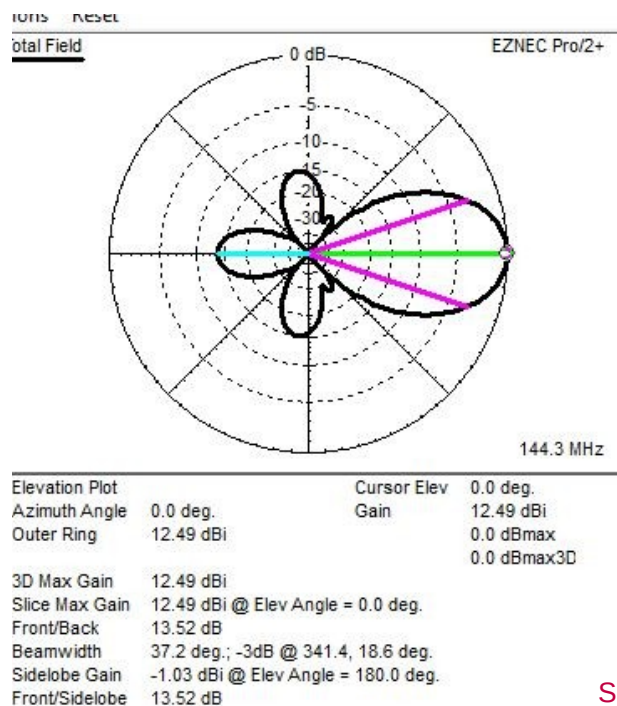
Résultats :



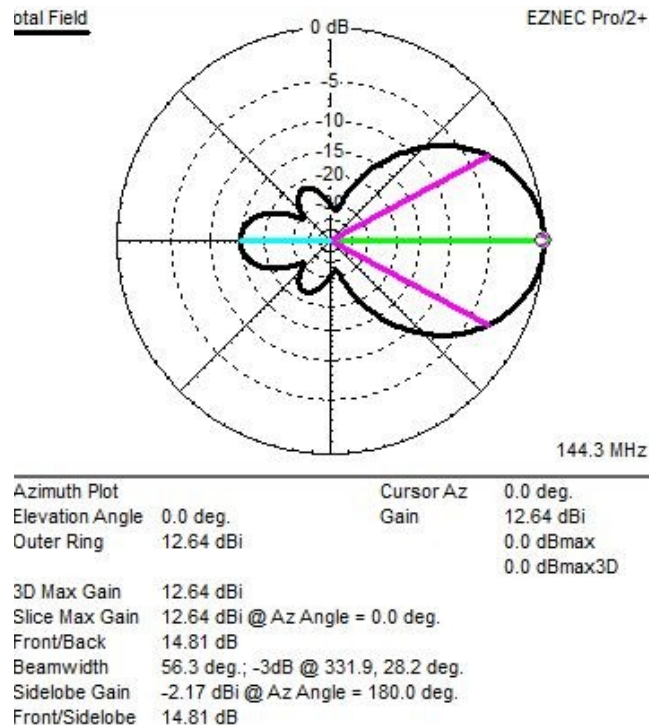
L'angle d'élévation à -3 dB passe de 33.6 ° à 35.4°. Le rapport avant- arrière passe de 14.83 à 14.81 dB. Le premier lobe parasite passe de -2.09 à -2.17 dB. Le gain baisse encore de 12.74 à 12.64 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 56.7° à 56.3°.

Test 6. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1400 mm

Résultats :



Simulations en espace libre

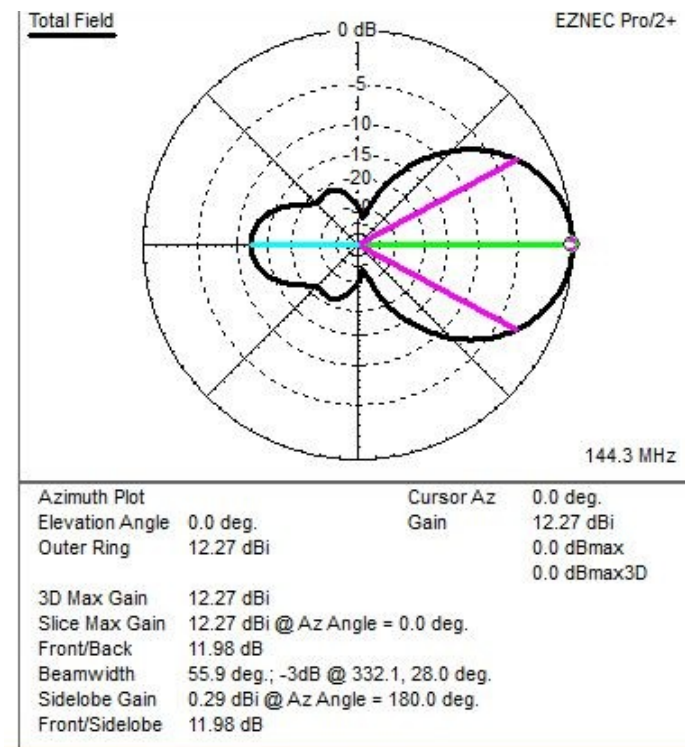
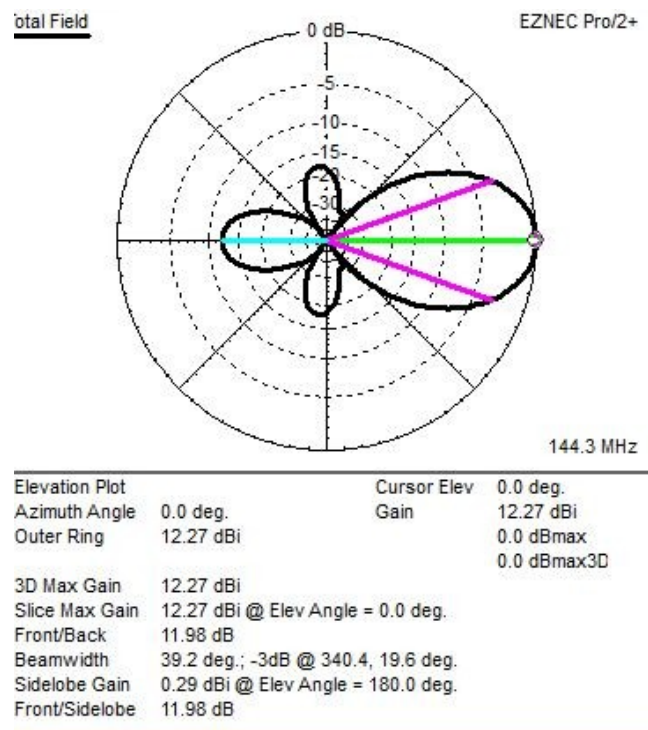


L'angle d'élévation à -3 dB passe de 35.4 ° à 37.2°. Le rapport avant- arrière reste à 14.81 dB. Le premier lobe parasite reste à -2.17 dB. Le gain baisse encore de 12.74 à 12.64 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 56.7° à 56.3°.

Test 7. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1300 mm

Résultats :

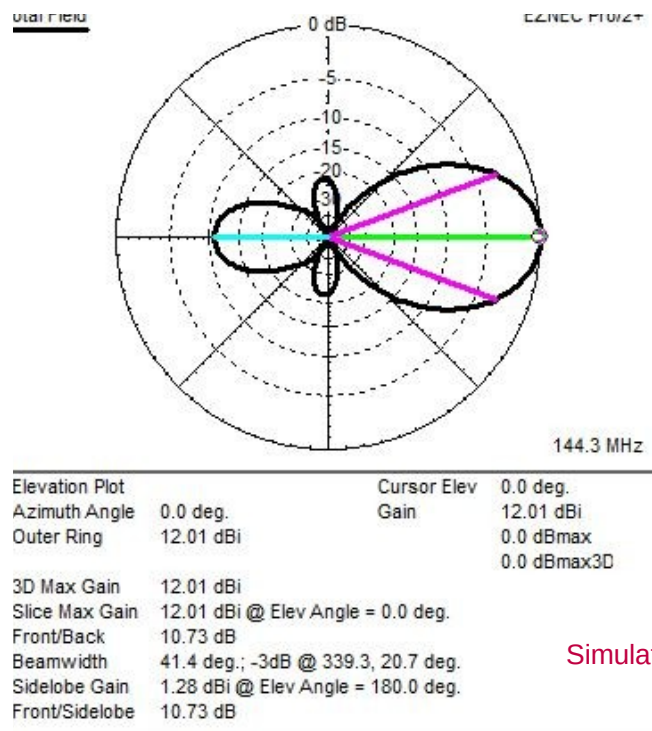
Simulations en espace libre



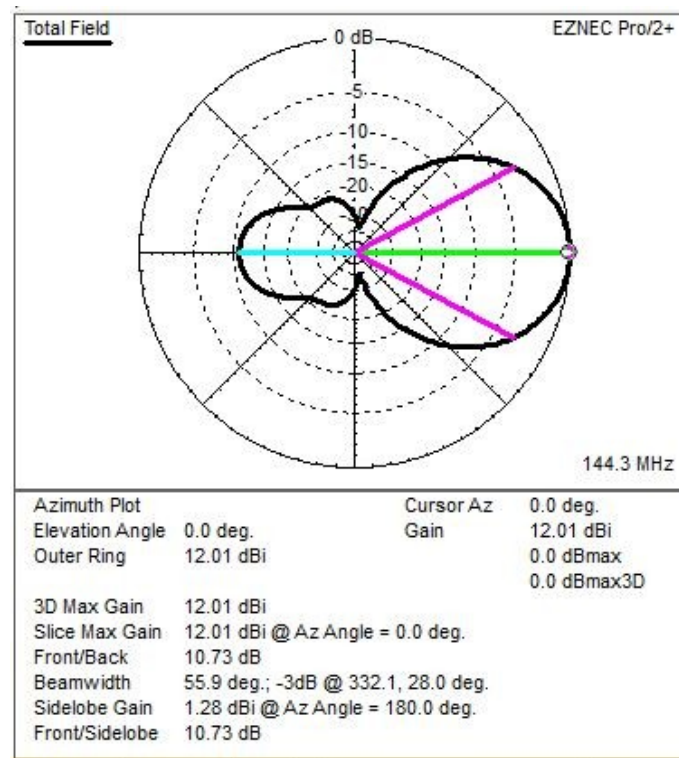
L'angle d'élévation à -3 dB passe de 37.2 ° à 39.2°. Le rapport avant- arrière diminue de 14.81 à 11.98 dB. Le premier lobe parasite augmente de -2.17 à 0.29 dB. Le gain baisse encore de 12.64 à 12.27 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 56.3° à 55.9°.

Test 8. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1200 mm

Résultats :



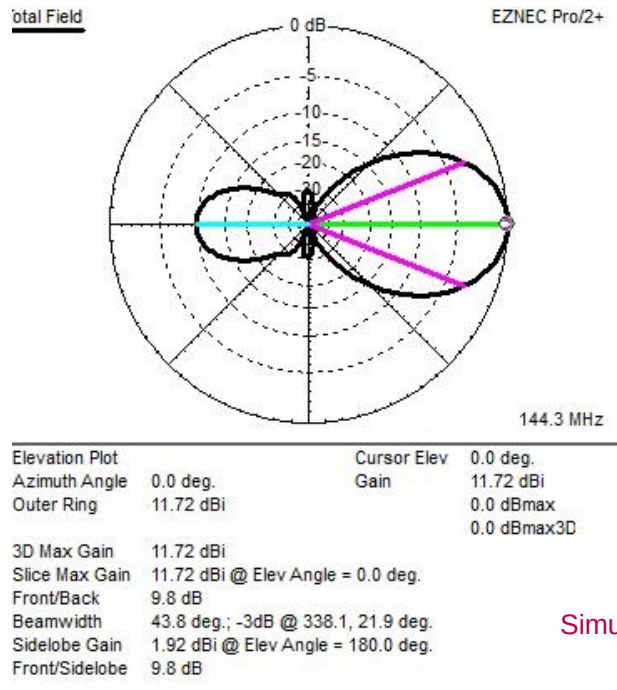
Simulations en espace libre



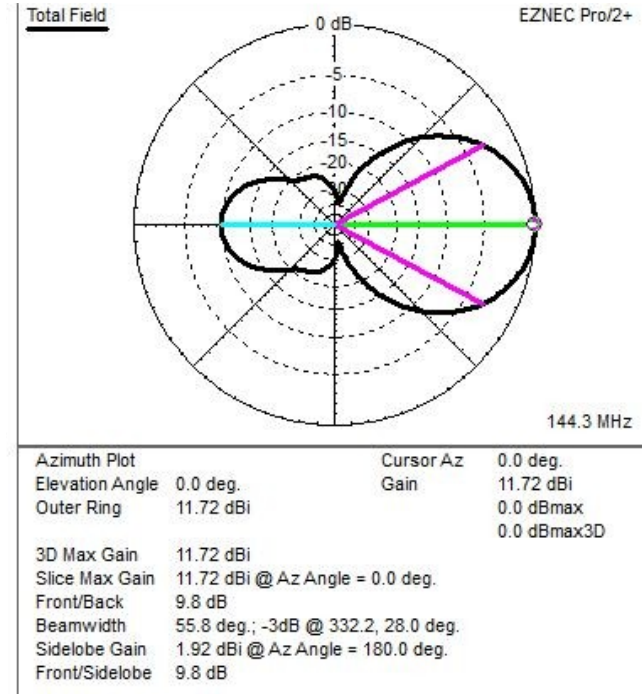
L'angle d'élévation à -3 dB passe de 39.2 ° à 41.4°. Le rapport avant- arrière diminue de 11.98 à 10.73 dB. Le premier lobe parasite augmente de 0.29 à 1.28 dB. Le gain baisse encore de 12.64 à 12.27 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 56.3° à 55.9°.

Test 9. menu Eznec : Wires → Wire → stack 1100 mm

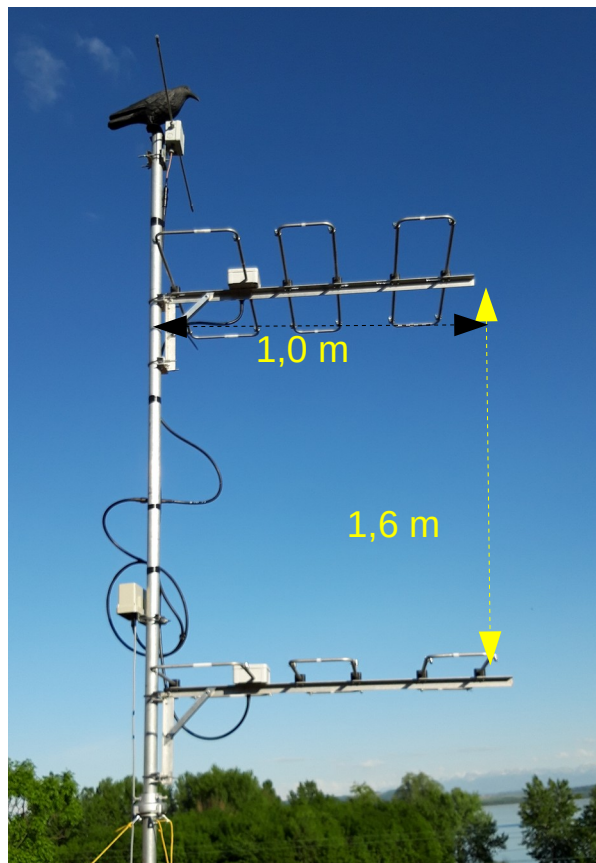
Résultats :



Simulations en espace libre



L'angle d'élévation à -3 dB passe de 41.4 ° à 43.8°. Le rapport avant- arrière diminue de 10.73 à 9.8 dB. Le premier lobe parasite augmente de 1.28 à 1.92 dB. Le gain baisse encore de 12.27 à 11.72 dBi. L'angle d'ouverture du plan horizontal passe de 55.9° à 55.8°.



	Hauteur «stack»	1 ^{er} lobe parasite	Angle -3dB Azimut	Angle -3dB Elévation	Rapport Av. - Ar.	Gain max.
Test n° 1	2.08 m	El. 3.49 dB Az. 2.24 dB	57.9°	27.0°	10.72 dB	12.96 dBi
Test n° 2	1.80 m	El. 0.26 dB Az. 0.15 dB	57.5°	30.6°	12.73 dB	12.88 dbi
Test n° 3	1.70 m	El. 0.36dB Az.-1.01dB	57.1°	32.0°	13.03 dB	12.82 dBi
Test n° 4	1.60 m	El. 0.16 dB Az. -2.9 dB	56.7°	33.6°	14.83 dB	12.74 dBi
Test n° 5	1.50 m	El. -0.72 dB Az.-2.17 dB	56.3°	35.4°	14.81 dB	12.64 dBi
Test n° 6	1.40 m	El. -1.3 dB Az.-2.17 dB	56.3°	36.2°	13.52 dB	12.64 dBi
Test n° 7	1.30 m	El. 0.29 dB Az. 0.29 dB	55.9°	39.2°	11.98 dB	12.27 dBi
Test n° 8	1.20 m	El. 1.28 dB Az. 1.28 dB	55.9°	41.4°	10.73 dB	12.01 dBi
Test n°9	1.10 m	El. 1.92 dB Az. 1.92 dB	55.8°	43.8°	9.8 dB	11.72 dBi

La distance calculée de 1,371 m, pour que les zones de capture ne se chevauchent pas, est très proche des 1.40 m du test n° 6, dont les valeurs sont acceptables .



Empilement d'antennes non similaires.

Objectif :

Simuler les effets de la proximité sur
les caractéristiques des antennes.

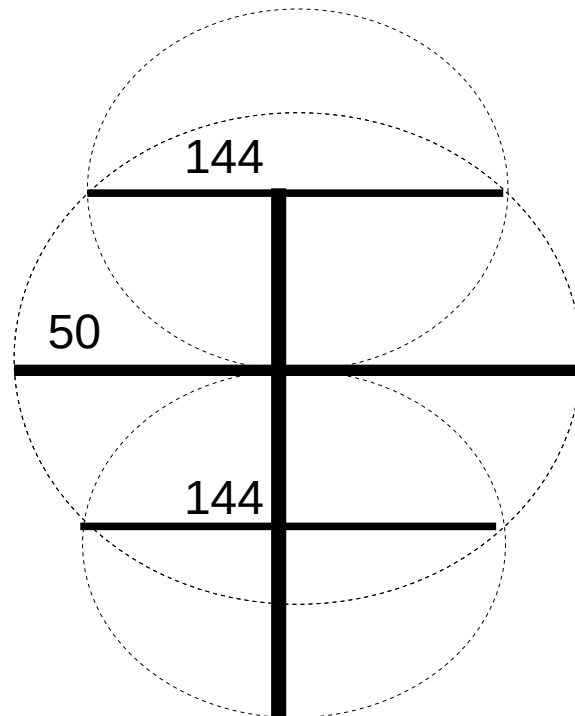
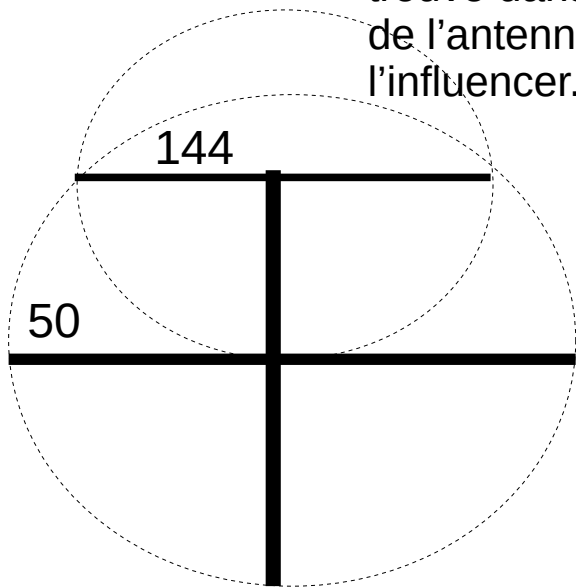
Modélisation :

Moxon 4 él. 50MHz intercalée entre
les 2 antennes testées précédemment

Quand on empile des antennes différentes, et que les zones de capture se chevauchent les caractéristiques de chacune sont affectées.

Ici, l'antenne 144 MHz n'est pas affectée. Par contre elle se trouve dans la zone de capture de l'antenne 50 MHz et devrait l'influencer.

Toutefois , comme sa surface est faible par rapport à celle de 50 MHz , c'est peut-être acceptable.

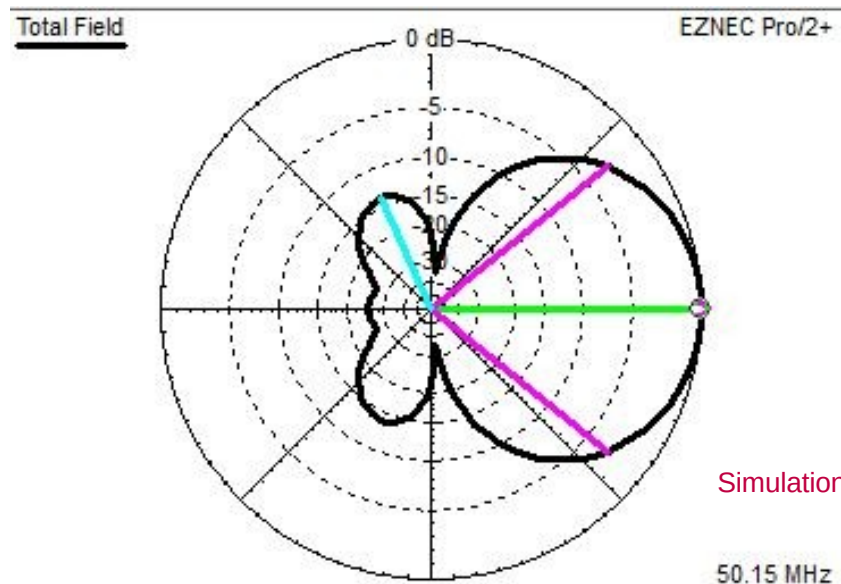


La place sur le mât n'est jamais suffisante. L'implantation de l'antenne 50MHz au niveau de la zone d'affleurement des antennes 144 MHz est séduisante. Est-ce applicable ? Eznec va nous le dire.

Lien intéressant sur le sujet :

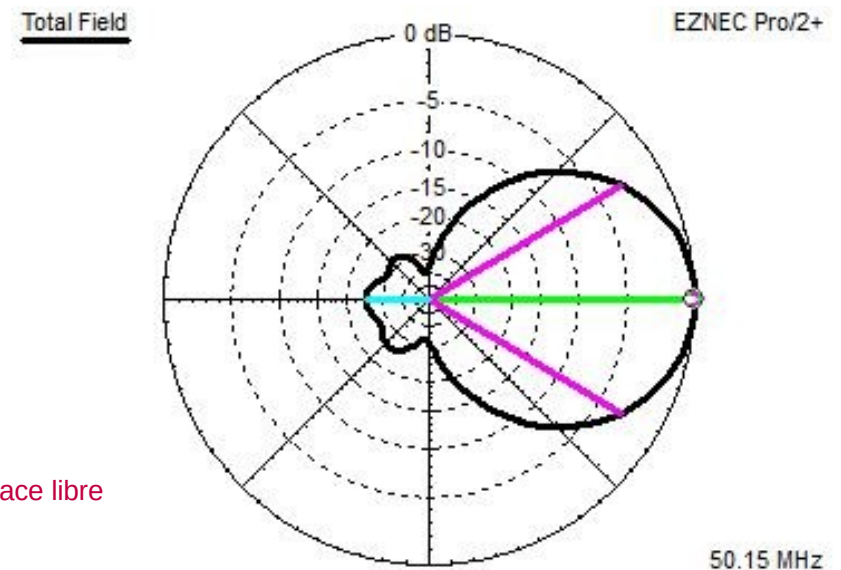
<http://www.f4azf.com/stackings-of-dis-similar-ants/>

Caractéristiques de l'antenne 50MHz, seule :



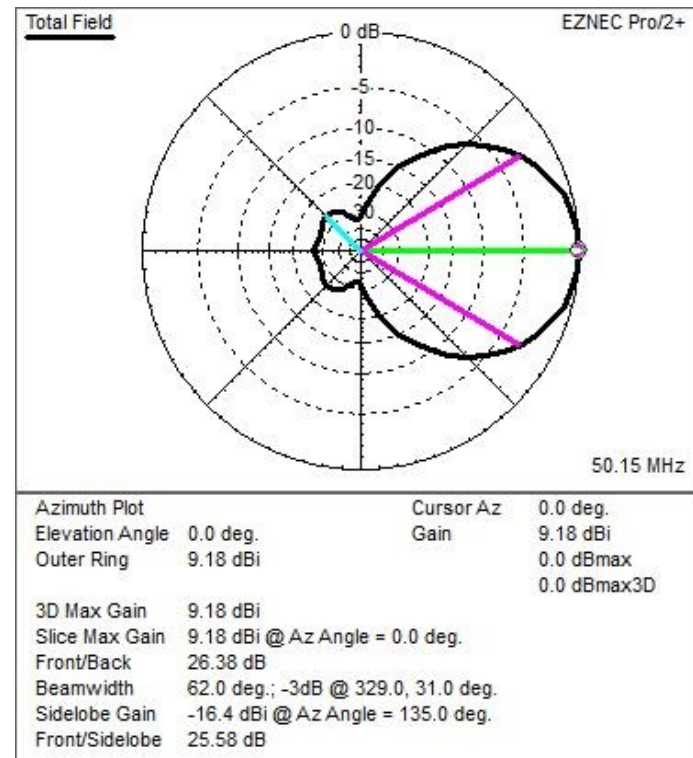
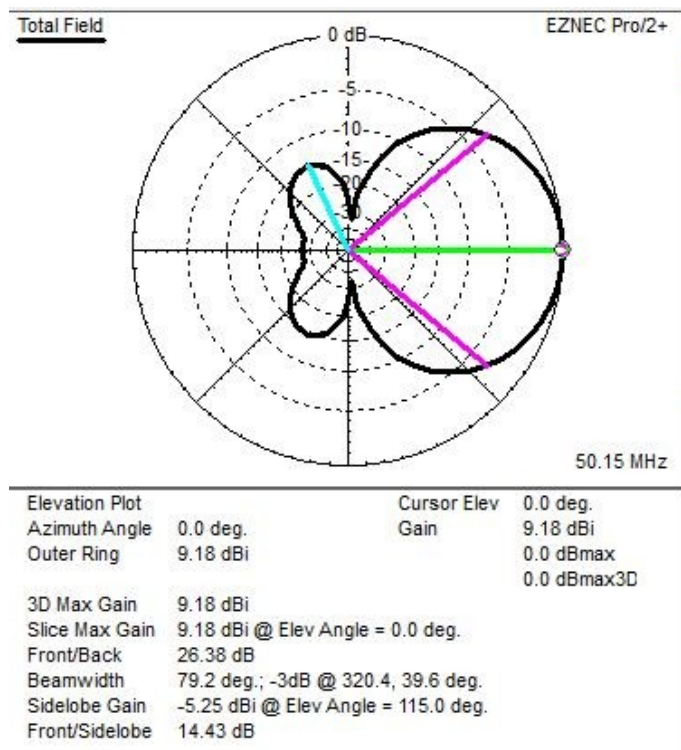
Simulations en espace libre

Elevation Plot		Cursor Elev	0.0 deg.
Azimuth Angle	0.0 deg.	Gain	9.31 dBi
Outer Ring	9.31 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	9.31 dBi		
Slice Max Gain	9.31 dBi @ Elev Angle = 0.0 deg.		
Front/Back	24.73 dB		
Beamwidth	77.7 deg.; -3dB @ 321.1, 38.8 deg.		
Sidelobe Gain	-4.43 dBi @ Elev Angle = 114.0 deg.		
Front/Sidelobe	13.74 dB		



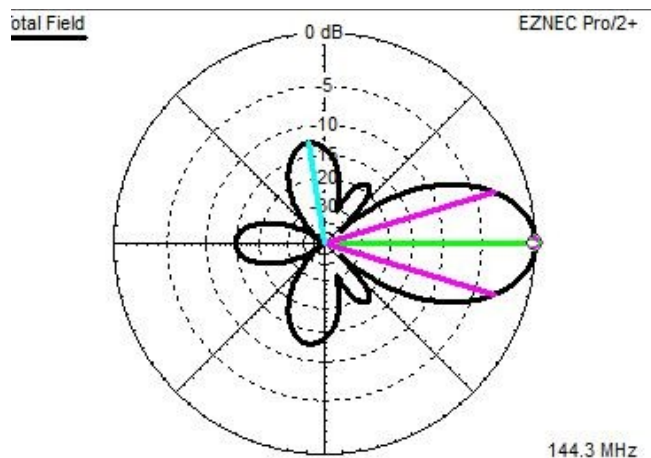
Azimuth Plot		Cursor Az	0.0 deg.
Elevation Angle	0.0 deg.	Gain	9.31 dBi
Outer Ring	9.31 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	9.31 dBi		
Slice Max Gain	9.31 dBi @ Az Angle = 0.0 deg.		
Front/Back	24.73 dB		
Beamwidth	61.7 deg.; -3dB @ 329.1, 30.8 deg.		
Sidelobe Gain	-15.42 dBi @ Az Angle = 180.0 deg.		
Front/Sidelobe	24.73 dB		

Caractéristiques de l'antenne 50MHz placée entre celles de 144 MHz :



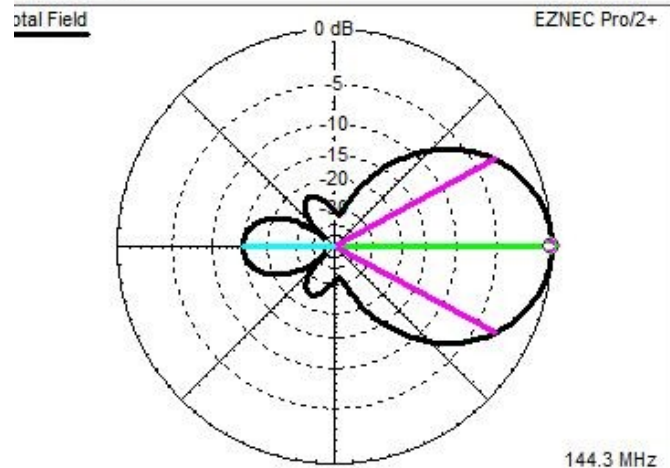
Simulations en espace libre

Caractéristiques des antenne 144 MHz empilées à 1.6 mètre



Elevation Plot	Cursor Elev	0.0 deg.
Azimuth Angle	Gain	12.74 dBi
Outer Ring		0.0 dBmax
		0.0 dBmax3D
3D Max Gain		12.74 dBi
Slice Max Gain		12.74 dBi @ Elev Angle = 0.0 deg.
Front/Back		14.83 dB
Beamwidth		33.6 deg.; -3dB @ 343.2, 16.8 deg.
Sidelobe Gain		0.16 dBi @ Elev Angle = 99.0 deg.
Front/Sidelobe		12.58 dB

Simulations en espace libre

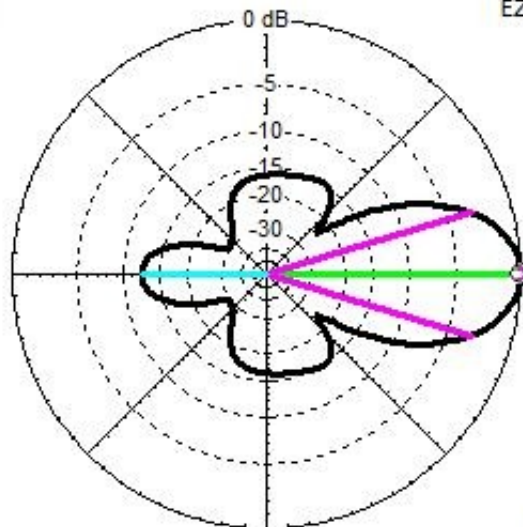


Azimuth Plot	Cursor Az	0.0 deg.
Elevation Angle	Gain	12.74 dBi
Outer Ring		0.0 dBmax
		0.0 dBmax3D
3D Max Gain		12.74 dBi
Slice Max Gain		12.74 dBi @ Az Angle = 0.0 deg.
Front/Back		14.83 dB
Beamwidth		56.7 deg.; -3dB @ 331.7, 28.4 deg.
Sidelobe Gain		-2.09 dBi @ Az Angle = 180.0 deg.
Front/Sidelobe		14.83 dB

Caractéristiques des antenne 144 MHz empilées avec l'antenne 50 MHz intercalée à mi-hauteur.

Total Field

EZNEC Pro/2+



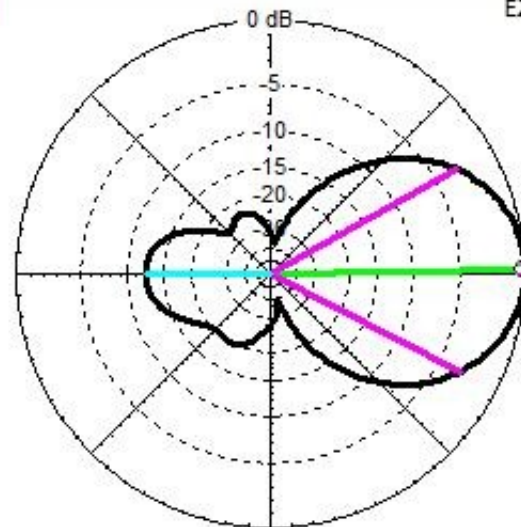
144.3 MHz

Elevation Plot		Cursor Elev	0.0 deg.
Azimuth Angle	1.0 deg.	Gain	12.64 dBi
Outer Ring	12.64 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	12.64 dBi		
Slice Max Gain	12.64 dBi @ Elev Angle = 0.0 deg.		
Front/Back	12.23 dB		
Beamwidth	33.4 deg.; -3dB @ 343.3, 16.7 deg.		
Sidelobe Gain	0.41 dBi @ Elev Angle = 180.0 deg.		
Front/Sidelobe	12.23 dB		

Simulations en espace libre

Total Field

EZNEC Pro/2+



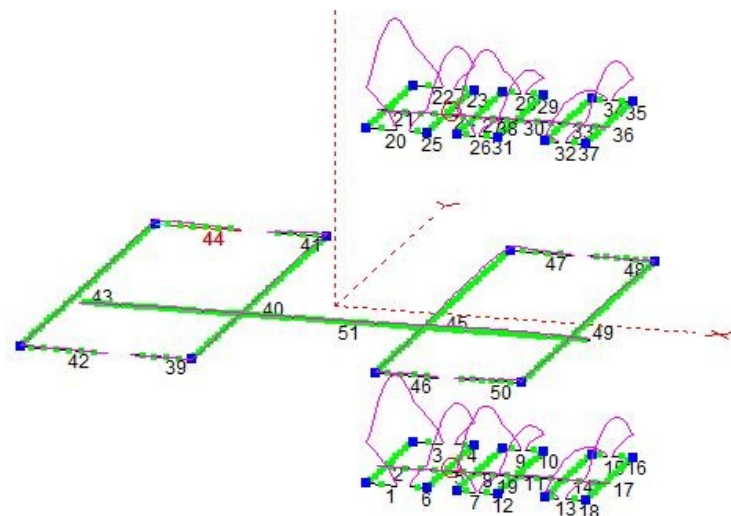
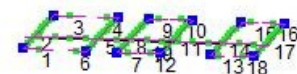
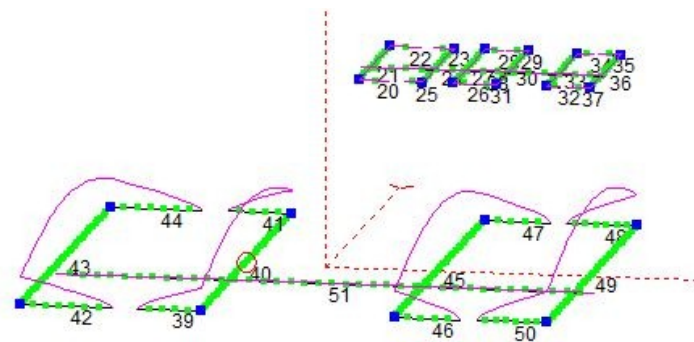
144.3 MHz

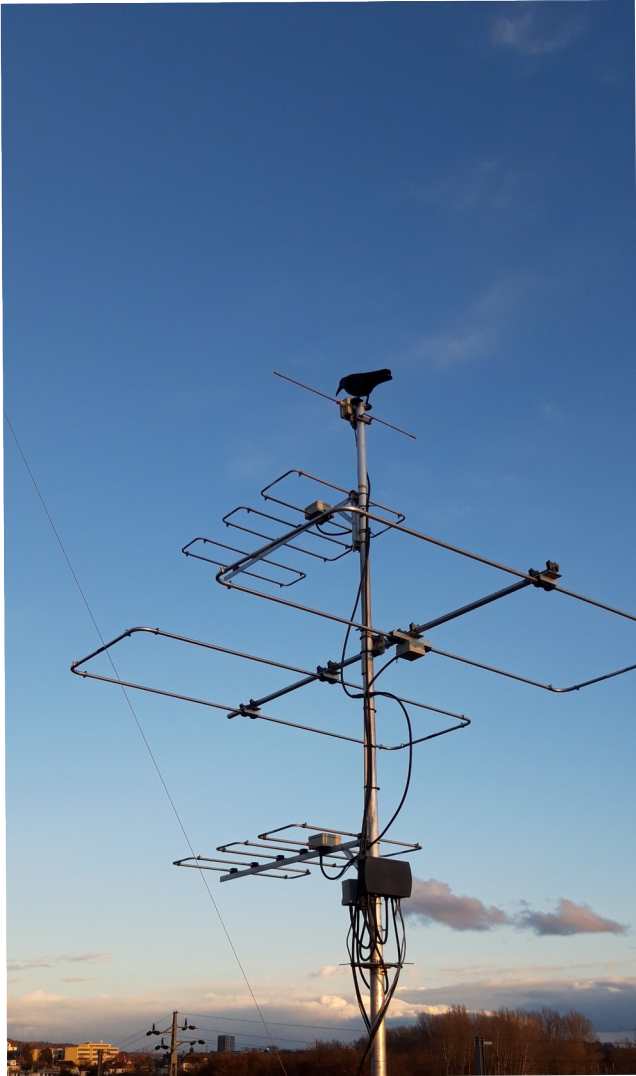
Azimuth Plot		Cursor Az	1.0 deg.
Elevation Angle	0.0 deg.	Gain	12.64 dBi
Outer Ring	12.64 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	12.64 dBi		
Slice Max Gain	12.64 dBi @ Az Angle = 1.0 deg.		
Front/Back	12.23 dB		
Beamwidth	56.6 deg.; -3dB @ 332.7, 29.3 deg.		
Sidelobe Gain	0.42 dBi @ Az Angle = 180.0 deg.		
Front/Sidelobe	12.22 dB		

La simulation montre que l'antenne 50MHz intercalée à la hauteur d'affleurement des 2 antennes 144MHz, n'a qu'une faible influence.

	Antenne	1 ^{er} lobe parasite	Angle -3dB Azimut	Angle -3dB Elévation	Rapport Av. - Ar.	Gain max.
Libre	50 MHz	El.-4.43 dB Az.-15.42 dB	61.7°	77.7°	24.73 dB	9.31 dBi
Intercalée	50 MHz	El.-5.25 dB Az.-16.4 dB	62.0°	79.2°	26.38 dB	9.18 dbi
Libre	2x144MHz	El. 0.16dB Az.-2.09 dB	56.7°	33.6°	14.84 dB	12.74 dBi
Intercalée	2x144MHz	El. 0.41 dB Az. 0.42 dB	56.6°	33.4°	12.23 dB	12.64 dBi

Perte de gain à 50 MHz -0.13 dBi
à 144 MHz -0.10 dBi





Les antennes Moxon sont faciles à construire, compactes et très résistantes. Les seules qui résistent aux tempêtes. C'est pourquoi je les ai adoptées.



Merci pour votre attention !

Sources :

Rothammels Antennenbuch -11. Auflage

www.ifwtech.co.uk/g3sek/stacking/stacking2.htm

www.ifwtech.co.uk/g3sek/diy-yagi/ve7bqh.htm

www.f4azf.com/stackings-of-dis-similar-ants/

Eznec Pro/2 ver.7.0

Et tant d'autres que j'ai oublié !

HB9HLH , décembre 2022