

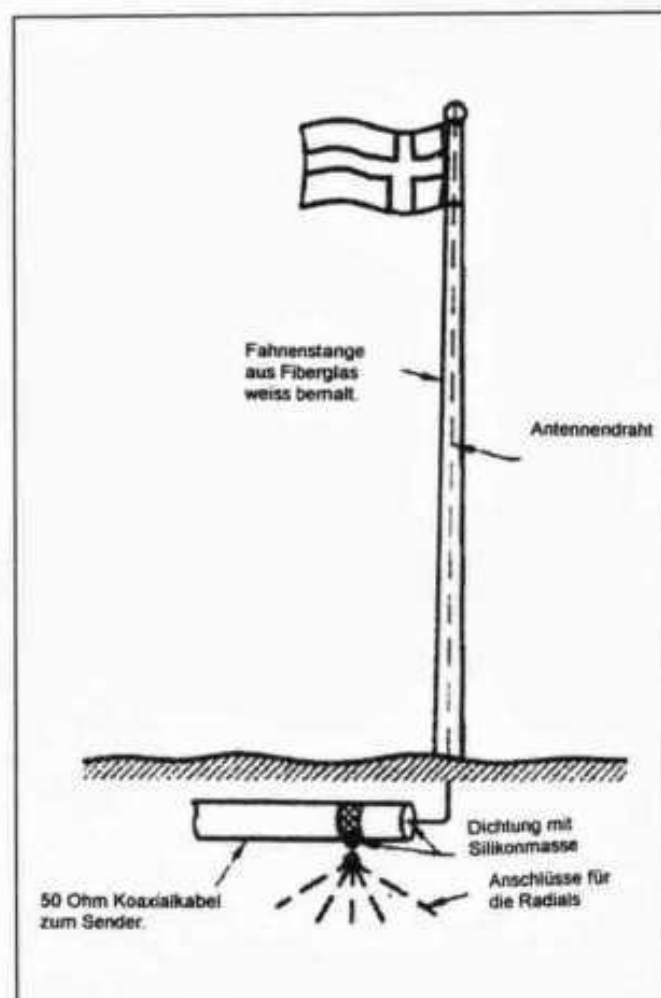


Fahnenstange, perfekt für Deine unsichtbare Antenne!

Es ist klar, dass eine Antenne die Landschaft nicht schmückt, aber auf Deine herrliche Fahnenstange, in welcher Du Deine Antenne versteckt hast, reagiert niemand. Gegen eine Fahnenstange werden Deine Nachbarn keine Klage erheben!

Im Innern der Glasfiberstange wird der Antennendraht befestigt. Radials und Koaxialkabel kannst Du im Boden vergraben. Mit einem ferngesteuerten Antennenabstimmgerät oder mit Traps kannst Du eine Multiband-Vertikalantenne bauen. Viel Glück!

Aus: QTC Amatörradio
 Übersetzt von Hans Bertschi, HB9AQF



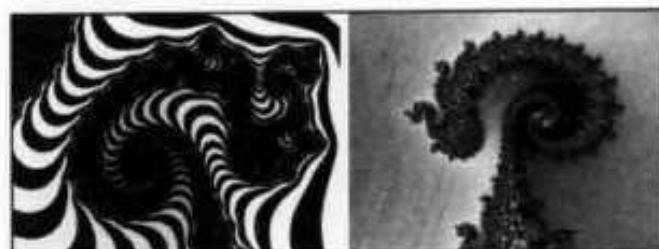
Les antennes fractales: Un concept révolutionnaire

Dr. Angel Vilaseca (HB9SLV), Chemin de Reposoir 20, 1255 Veyrier

Les fractales sont des fonctions mathématiques que l'on associe souvent avec des images générées par ordinateur. Elles sont devenues extrêmement populaires au cours des années 80. En effet c'est dans ces années-là qu'ont coïncidé un événement et un homme. L'événement, c'est le développement de la micro-informatique et la montée rapide en puissance des microordinateurs. L'homme, c'est Benoît Mandelbrot, un mathématicien français de renommée mondiale.

Ordre et chaos

De concept mathématique, les fractales sont devenues, grâce à Benoît Mandelbrot et de nombreux autres chercheurs, un outil permettant, outre de générer de superbes images calculées par ordinateur, de donner une conception générale de l'univers, un principe unificateur de la science.

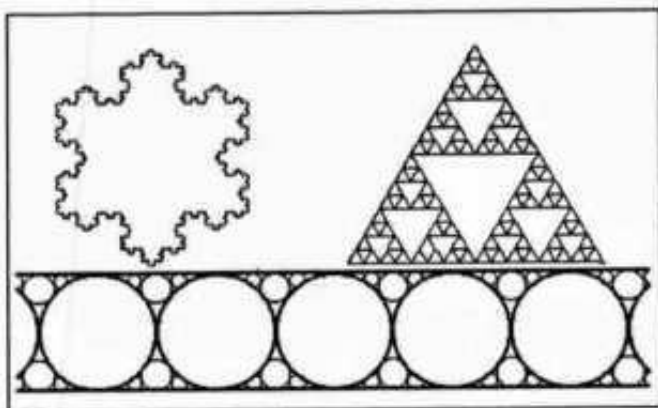


Deux exemples de fractales artistiques.

C'est ainsi qu'elles ont été associées avec la théorie du chaos. Un livre de vulgarisation célèbre a été écrit sur ce dernier sujet au cours des années 80. Il contenait plusieurs concepts frappants, aujourd'hui connus de tous, comme celui du papillon qui bat des ailes en Chine et qui provoque, à la suite d'une chaîne d'événements chaotiques, une tornade dans les Caraïbes, quelque temps plus tard.

Une fractale combine intimement ordre et désordre, comme on peut le voir en observant

attentivement une des images ci-dessus. On peut dire qu'elle est désordonnée à petite échelle, mais ordonnée à grande échelle. Une fractale peut être chaotique, comme sur ces images, ou déterministe. «Déterministe» signifie qu'elle est composée d'un même motif (par exemple un triangle ou un rectangle) que l'on nomme «générateur» et qui est appliqué à des échelles (que l'on nomme «itérations») successives. Le nombre d'itérations tend vers l'infini. Il en faut au moins deux pour que l'on puisse parler d'auto-similarité. Des exemples de fractales sont la courbe de Koch, le triangle de Sierpinski ou le «joint de culasse» de Mandelbrot.



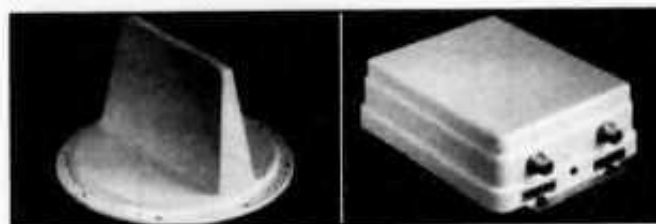
En haut à gauche, la courbe de Koch, en haut à droite le triangle de Sierpinski. En bas, le «joint de culasse» de Mandelbrot.

Le terme «fractal» a été inventé par Benoît Mandelbrot. Il signifie qu'en rupture avec la géométrie euclidienne, on peut démontrer que les objets fractals ont une dimension non entière, c'est-à-dire fractionnelle. Expliquons-nous. En géométrie classique, un point a zéro dimensions, une ligne a une dimension, un plan deux et finalement un volume possède trois dimensions. Eh bien l'on démontre qu'une fractale donnée possède, par exemple $\log 4 / \log 3 = 1,2618$ dimensions ou encore $\log 2 / \log 3 = 0,6309$. On peut comprendre ce point intuitivement. Prenons un triangle de Sierpinski, il s'agit d'une surface. Elle possède donc deux dimensions. La première itération va découper un triangle en creux à l'intérieur du premier et l'on se retrouve avec trois triangles plus petits, mais qui ont toujours deux dimensions. Continuons à appliquer des itérations successives et les surfaces deviennent de plus en plus petites. Si l'on applique une infinité d'itérations, le triangle sera formé d'une infinité de surfaces, infiniment petites. L'aire totale tendra vers zéro, mais malgré cela, le triangle de Sierpinski semble posséder une surface. On démontre mathématiquement que son nombre de dimensions est inférieur à deux.

De la théorie à la pratique

Le sujet de cet article est l'application de la théorie des fractales à la conception d'antennes. Ce n'est pas pour faire moderne! Quelques chercheurs ayant exploré cette voie se sont en effet rendu compte que la théorie des fractales permettait d'obtenir des antennes bien plus performantes, en termes de taille, d'efficacité de rayonnement, de largeur de bande, de faibles lobes latéraux ou de simplicité de réalisation.

Les antennes fractales sont un domaine de développement récent, 4 ou 5 ans seulement. Pour cette raison, on ne trouve encore que peu de descriptions.



Deux réalisations commerciales: antennes FRACTUS de Sistemas Radiantes S.A. destinées aux stations relais de téléphonie cellulaire.

Le domaine paraît tellement prometteur, que dans un environnement radio-électrique en pleine expansion, les développeurs s'empres-sent de prendre un maximum de brevets. Mais avec le temps, il devrait être possible d'obtenir petit à petit les secrets de cette nouvelle race d'antennes. En voici déjà quelques-uns.

Caractéristiques d'une fractale

Pour avoir une idée de ce qu'est une fractale, essayez de répondre à cette question: Quelle est la longueur des côtes de la Corse? C'est une question simple en apparence. Il suffit de prendre une carte de l'île de Beauté, un compas et le tour est joué. Voire!

Admettons que vous utilisiez un écartement entre les deux pointes de votre compas correspondant à 50 Km. Notez la valeur trouvée. Refaites maintenant la mesure avec un écartement correspondant à 5 Km. Comme la côte est composée d'une multitude de caps et de criques, la seconde valeur sera supérieure à la première. Recommencez avec des écartements toujours plus petits, sur des cartes de plus en plus détaillées. A chaque fois la nouvelle valeur est supérieure à la précédente. On en arriverait finalement à une longueur théoriquement infinie.

Eh bien, ce contour théorique de la Corse, on peut dire que c'est une fractale. La ligne

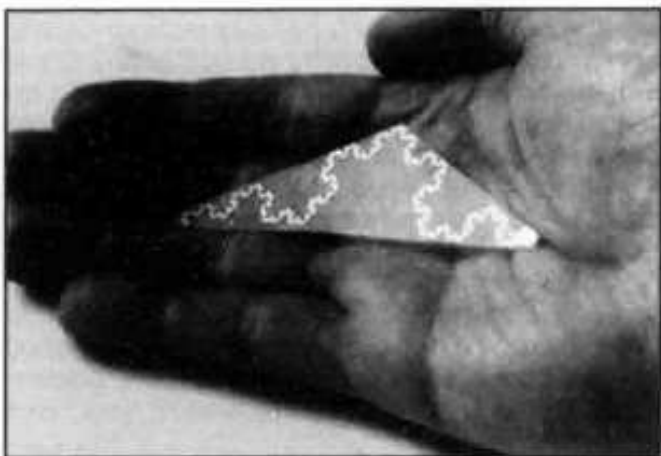
côtière est infiniment dentelée, elle a le même aspect, que l'on en voie 1, 10 ou 100 km. Il en va de même pour un nuage, par exemple. Il existe d'ailleurs aussi des programmes d'ordinateur qui appliquent la théorie des fractales à la génération automatique de paysages. Et croyez-moi, ces paysages synthétiques ont l'air plus vrai que les vrais!



Un paysage fractal réalisé par R. Vanderlippe avec le soft Bryce.

C'est ainsi que l'on en arrive à une caractéristique qui peut être précieuse pour une antenne: C'est qu'elle se comporte avec les ondes de la même manière, que celles-ci mesurent par exemple, 10 cm, 1 m ou 10 mètres, en d'autres termes qu'elle soit à large bande.

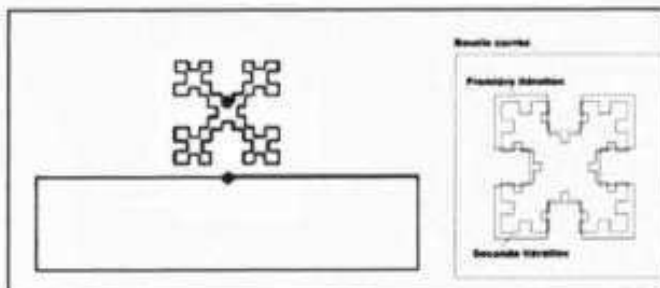
Si l'on utilise, au lieu d'un dipôle rectiligne, un dipôle présentant une forme fractale, on s'aperçoit que celui-ci est constitué d'une multitude de tronçons, de longueurs variées, et chacun rayonnera au mieux dans une certaine fraction du spectre.



Un dipôle à très large bande réalisé selon une courbe de Koch par Nathan Cohen N1IR.

D'autre part, si chacun sait que la distance la plus courte entre deux points est la ligne droite, on vient maintenant de voir que la plus

longue est la ligne fractale! On obtient ainsi des éléments rayonnants repliés, qui donnent des antennes bien plus compactes, avec peu de pertes au niveau du gain ou de l'efficacité de rayonnement.



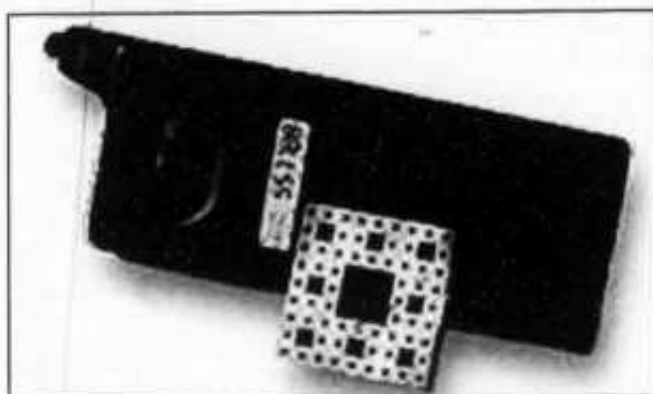
A gauche: Dimensions comparées de deux boucles de mêmes caractéristiques, avant et après fractalisation. A droite: En ajoutant des itérations, on réduit les dimensions de l'élément, pour une fréquence donnée.

Tel Monsieur Jourdain qui faisait de la prose sans le savoir, l'antenne log-périodique, bien connue notamment pour sa grande largeur de bande peut se décrire comme une antenne fractale. Dans ce cas, la théorie des fractales ne s'applique pas au niveau de l'élément, mais à celui de l'architecture générale de l'antenne. Bien qu'elle ait été imaginée des années avant que l'on ne parle de fractales, on constate qu'elle en présente une caractéristique essentielle: l'auto-similarité. C'est une caractéristique qui frappe immédiatement lorsque l'on regarde une image fractale. On voit un même élément répété à l'infini, à des tailles allant de l'infiniment grand à l'infiniment petit. Un peu comme le pot de confiture sur lequel il y a une étiquette avec la photo d'une petite fille qui tient un pot de confiture, sur lequel il y a une étiquette, avec la photo d'une petite fille... etc.

Il est possible de démontrer mathématiquement que pour qu'une antenne fonctionne bien sur une large bande, il faut qu'elle présente un point de symétrie et une auto-similarité, c'est-à-dire que son aspect doit être le même quelle que soit l'échelle à laquelle on la regarde. En d'autres termes, elle doit obéir à la loi des fractales.

Diverses figures fractales bien connues, comme le triangle de Sierpinski ont été mises à contribution en tant qu'antennes. Le point commun de toutes ces structures est leur bon comportement au point de vue de la réactivité, permettant bien souvent de se passer de tout circuit d'accord, avec la simplification de construction que cela implique, la fiabilité et les faibles pertes.

Il est possible de réaliser des structures fractales rayonnantes sur circuit imprimé, pour les hyperfréquences, mais aussi, en raison de leur compacité par rapport à la longueur d'onde d'utilisation, pour les ondes ultracourtes.



Une antenne fractale en circuit imprimé, destinée à être montée à l'intérieur du téléphone portable. Document communiqué par Nathan Cohen N1IR.

Il existe des structures dessinées au trait, mais aussi des antennes constituées d'un plan métallique dans lequel l'on a gravé des trous, selon une distribution fractale.

Le concept d'antenne fractale peut s'appliquer à des antennes seules ou bien à des réseaux d'antennes. Dans le cas de réseaux, la répartition des éléments peut être régulière, comme dans certaines antennes de radar, ou bien irrégulière comme cela a été fait dans certains réseaux de radiotélescopes, qui ont été construits en reliant des installations préexistantes, réparties tout autour du globe.

Un réseau fractal peut combiner la robustesse d'un réseau irrégulier avec l'efficacité d'un réseau régulier et ce, avec un quart seulement des éléments.

Dans le cas d'antennes seules, on peut citer comme exemple les courbes de Koch ou les triangles de Sierpinski.

Ces figures au dessin tortueux comportent de l'inductivité et de la capacité, ce qui rend superflu tout circuit d'adaptation d'impédance et élargit la bande passante, tout en améliorant le rendement.



A gauche, une courbe de Koch et à droite, un triangle de Sierpinski réalisés sur circuit imprimé par l'équipe de Carles Puente de l'Université Polytechnique de Barcelone.

Des antennes ont été récemment commercialisées, qui sont destinées à remplacer avantageusement les antennes caoutchoutées des appareils portables. Certaines sont réalisées au moyen d'un petit circuit imprimé, qui peut être inclus dans le boîtier du portable.

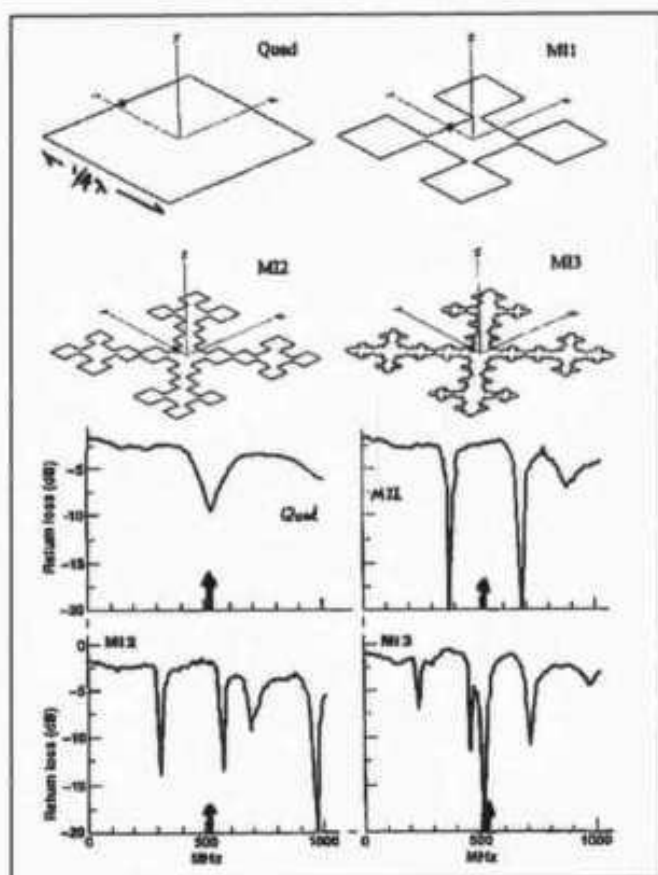
S'il est vrai que les antennes fractales permettent une miniaturisation de l'aérien, il ne faut pas aller au-delà d'une réduction de taille de 2 à 4 fois, sous peine de sacrifier le rendement. De même, comme pour toutes les antennes, il n'y a pas de miracle. Il ne sera bien sûr pas possible d'obtenir quelque chose à la fois de faibles dimensions, possédant une large bande et un gain important. Mais les antennes fractales sont moins mauvaises que les autres de ces points de vue et on peut obtenir d'avantageux compromis entre ces trois caractéristiques.

Il est possible de fractaliser n'importe quel type d'antenne: monopôle, dipôle, hélice, antenne en circuit imprimé, etc. en repliant les éléments selon une figure fractale ou en y introduisant des lacunes.

Dans le cas des antennes en circuit imprimé composées de multiples éléments, le couplage entre ceux-ci est généralement le principal facteur limitant leurs performances et termes de gain et d'adaptation d'impédance. Cet écueil est évité dans le cas des antennes fractales.

Fractalisation expérimentale d'une boucle

Nathan Cohen, N1IR a réalisé l'expérience suivante: il a fabriqué une antenne boucle sur un circuit imprimé carré de 15 centimètres de côté, puis il a fabriqué trois autres antennes fractalisées de mêmes dimensions, mais chaque fois en ajoutant une itération de plus, selon le motif de Koch. Bien entendu, à chaque fois, la longueur totale de la boucle augmente. Cf. le problème de la longueur du littoral corse ci-dessus. Il a ensuite mesuré le retour (proportionnel au TOS) de chacune de ces antennes et il a trouvé que les fréquences auxquelles le TOS était le plus bas (c'est-à-dire que l'impédance est proche en l'occurrence de 50 ohms) se répartissaient selon des pics de plus en plus nombreux et de plus en plus bas en fréquence. Pour l'antenne à trois itérations, par exemple, on obtient un pic utilisable à 0,3 fois la fréquence de la boucle non fractalisée. A noter que les pics ne sont pas à des fréquences sus-ou sous-multiples de la fréquence de départ. On peut constater par la suite que les pics correspondent aussi à des zones où l'impédance est réelle, donc non réactive. Si l'impédance est de 50 ohms et non



Fractalisation d'une boucle réalisée par Nathan Cohen N1IR.

réactive, cela signifie qu'aucun circuit d'adaptation n'est nécessaire à ces fréquences.

Fractalisation d'un dipôle

Dans cet exemple, il ne s'agit pas d'expérimentation, mais de résultats simulés par N1IR avec le soft NEC4.

Au lieu d'une boucle, on prend un dipôle, accordé initialement sur 65 MHz et que l'on fractalise en lui appliquant successivement deux itérations du motif de Koch. Mais cette fois, on balaie beaucoup plus large en fréquence, jusqu'à 5 GHz. Le dipôle rectiligne présente une multitude de pics de faible TOS pour tous les harmoniques de 65 MHz.

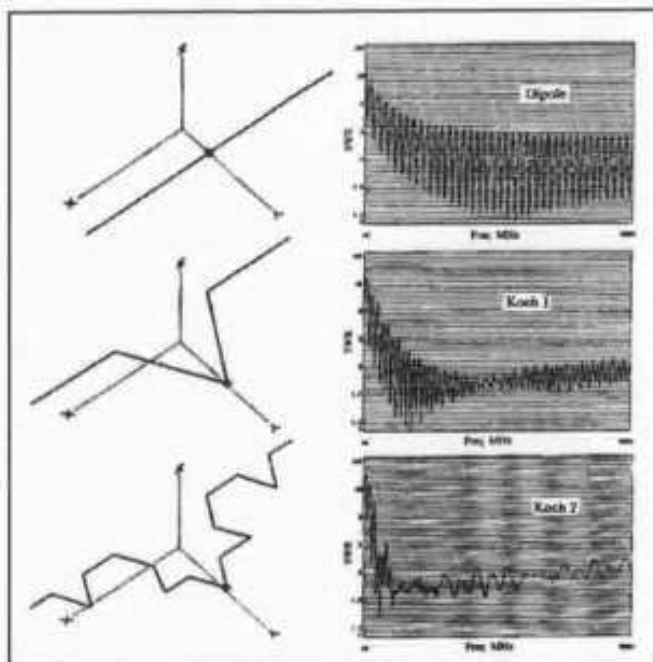
En revanche, les dipôles fractalisés montrent un élargissement et un abaissement des pics. L'impédance optimale, c'est-à-dire pour laquelle l'amplitude des pics est la plus faible, se situe autour des 350 ohms.

On voit donc que la fractalisation permet d'obtenir des antennes de bande passante extrêmement importante.

APPLICATIONS PRATIQUES:

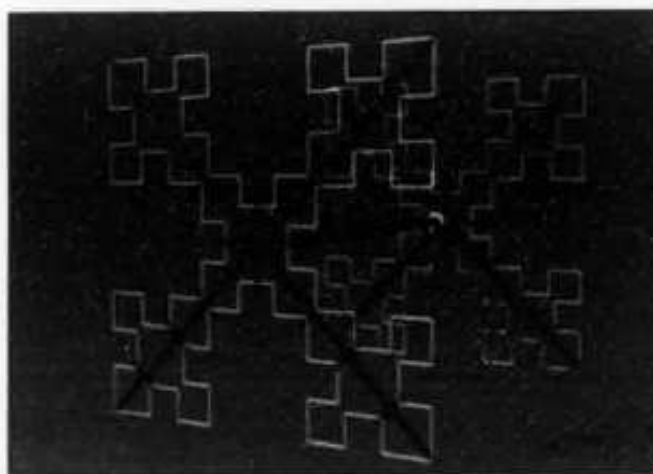
Une antenne de dimensions réduites pour la bande 10 mètres

Une application radio-amateur de la théorie



Fractalisation d'un dipôle réalisée par Nathan Cohen N1IR.

des fractales a été proposée par Nathan Cohen, N1IR sous la forme d'une quad à deux éléments pour la bande des 10 mètres.



La quad deux éléments pour la bande 10 mètres conçue par Nathan Cohen, N1IR.

Elle mesure 1,5 x 1,5 mètres sans perte d'efficacité par rapport à la version non fractalisée. Elle n'a pas besoin de circuit d'adaptation et son impédance est de 50 ohms. On peut donc l'alimenter directement avec le câble coaxial. Avec cette antenne, il a réalisé des contacts depuis les USA avec l'Europe avec 1 Watt et avec le Pacifique, avec 2 Watts. Une version pour le 2 mètres a été mesurée avec un gain de 4 dB et un rapport avant-arrière de 15 dB minimum. La version 2 mètres a une bande passante de 500 kHz pour un TOS inférieur à 2.

Suite dans no 12/00