

Panoplie de Noeuds Papillons.

Antennes pour radioamateurs.

Partant du livre de Les Moxon (G6XN, 1977) et des publications du DARC (notamment de DJ4VM, 1958) j'ai conçu et réalisé une série d'antennes pour les bandes 6, 2 et 0.7 mètre. En dix ans d'utilisation je n'ai jamais été déçu par leur efficacité, ayant pu les « peaufiner » de 1998 à 2002 avec les nombreux simulateurs d'antennes qui apparaissaient de plus en plus réalistes, je vais donc vous décrire la 5NP07, 5 pour 5 éléments, NP pour noeud papillon, 07 pour 0.7 mètre, donnant au passage quelques détails sur les autres modèles. C'est du concept radioamateur pour les radioamateurs : modèles déposés toutes exploitations commerciales sont donc interdites.

Coup d'oeil sur la gamme:

Sur 6 mètres on aura qu'une trois éléments (3NP6) alors que sur 2 mètres il existe une 3NP2 (bôme de 110 cm. hors tout), une 4NP2 (bôme de 170 cm.), une 5NP2 et enfin sur 70 cm. on a une 5NP07 puisque la bôme ne fait que 95 cm. hors tout (mais une 4NP07 ou une 3NP07 peut être intéressante pour le portable).

Bien sûr aucune performance n'a été sacrifiée pour obtenir ces dimensions comme on le verra plus loin, ainsi les avantages des boucles, de la colinéarité et même quelques aspects de la « nouvelle électromagnétique » (et oui la science évolue ! Et nous avançons dans les couplages capacitifs !) donnent ici de très bons résultats. Les plus récentes recherches sur la façon dont une antenne rayonne montrent entre autre que la directivité (« gain ») sera plus grande si ses éléments sont suffisamment éloignés (Yagi à grand espacement d'antan). Cela conduit irrémédiablement à des antennes de grandes dimensions (bôme sensiblement égal à $\lambda/2$) et l'on doit alors restreindre le nombre d'éléments pour obtenir des dimensions acceptables. Pour ne pas perdre en efficacité il faut donc que chaque élément soit supérieur en gain au dipôle (comme F9FT a pu le faire avec son dipôle replié dans certains modèles)..... C'est ainsi que je suis arrivé à la forme de noeud papillon.

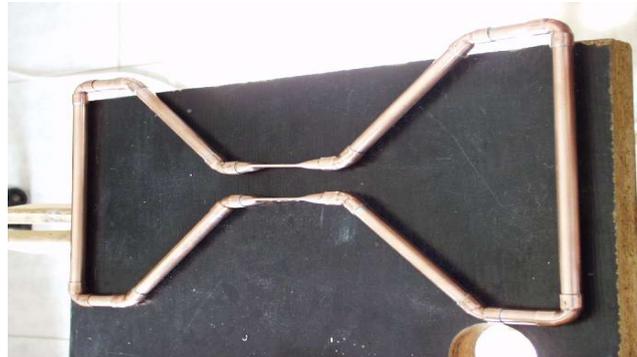
Les résultats pratiques (c'est à dire les mesures !) semblent même supérieurs à ceux obtenus avec les logiciels dont la formulation néglige trop les couplages capacitifs (comme NEC2 par exemple).

Tout d'abord un coup d'oeil sur une réalisation (1999) en aluminium pour 435 Mhz.



Nous verrons plus loin que les réalisations en cuivre (style « plombier ») sont plus faciles à réaliser et donnent de meilleurs résultats.

Car la grande variété de types d'aluminium que l'on rencontre dans le commerce, les TRES grandes différences de conductivité entre ces aluminiums (rapport de 1 à 4), la grande difficulté à le souder et enfin son oxydation plus nuisible, fait que le cuivre bien qu'il soit plus lourd reste intéressant pour des dimensions inférieures à 2 mètres.



Radiateur 435 Mhz en construction.

L'antenne 3NP2 horizontale.

C'est une trois éléments d'espacement $\lambda/4$, chaque élément est constitué de 2 boucles d'une longueur d'onde en Δ avec un zeste de couplage capacitif et d'emprunts aux fractales. Elle est alimentée directement par un coaxial 50Ω et comme c'est un élément fermé il n'est pas nécessaire de symétriser l'alimentation. Ayant entendu tant de choses sur la symétrisation des antennes je fais remarquer ici que la 3NP2 a deux axes de symétrie géométrique, électriquement elle est symétrique en polarisation verticale lorsqu'elle se trouve à 2Δ du sol, mais il n'y a plus de symétrie électrique en polarisation horizontale.

Pour obtenir une polarisation verticale il suffit de faire pivoter de 90° le montage ci dessous, les performances augmentent alors un peu de par la meilleur symétrie de l'antenne vis à vis du sol.

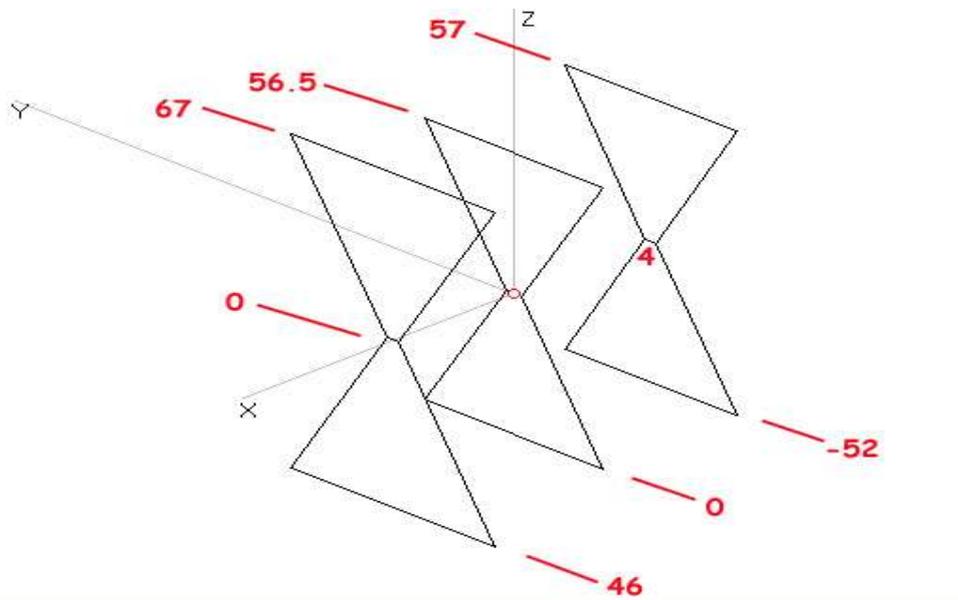


Schéma d'une 3NP2 en polarisation horizontale.

La bôme peut être métallique (j'utilise souvent du profilé carré de 40x40 en duralumin) ou en matériau isolant (polypropylène, fibre de verre, fibre de carbone). La présence de cette bôme est négligeable sur les caractéristiques de ce type d'antenne.

Lorsque le boom est isolant les liaisons centrales du réflecteur et du directeur sont assurées par des boulons acier inox ou tiges filetées laiton (rappel: à l'intérieur d'un système rayonnant il est préférable d'utiliser de la visserie amagnétique , surtout à proximité d'éléments inductifs).

Comme nous l'avons vu les éléments peuvent être en cuivre ou en aluminium avec une correction des dimensions due aux caractéristiques électriques très variables des différents grades d'aluminium (du simple au triple pour la résistivité par exemple). Mais après adaptation des dimensions au tube utilisé on ne perd que 0.2 dbi sur l'antenne en cuivre.

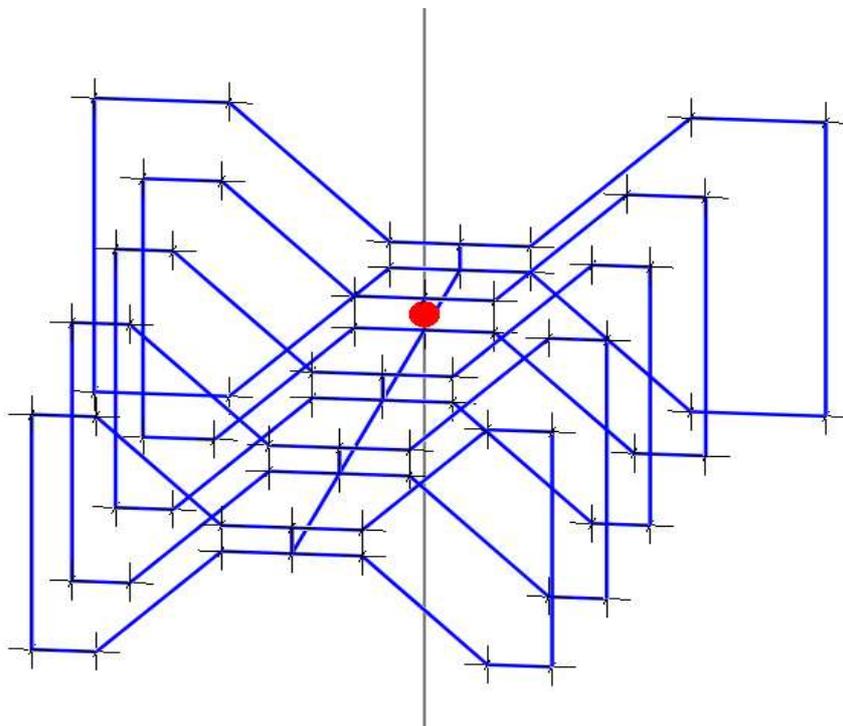
La 5NP07 en simulation.

Je dispose d'une bonne vingtaine de logiciels de simulation dont plus de la moitié font appel à l'algorithme de NEC (ou de MININEC) : EZNEC3, MMANALYSER, NEC4WIN95RM, ANTENNA MODEL, ANTENNA SOLVER, MULTINEC, NECWIN+, EXPERT MININEC, 4NEC2+, NEC.XLS, SUPERNEC d'autres ont une structure différente : EMMCAP, MMP1, WIPL-D, ANTENNA CONCEPT.

Ces logiciels sont de bon outils pour dégrossir un projet , mais ils ont (ceux à base de NEC) par définition des limitations très gênantes pour la conception d'antennes pratiques, surtout en décimétrique :

- L'hypothèse initiale d'utilisation de « fil fin », en faite un filament, bien que corrigée par des adjonctions au programme reste un lourd handicap avec lequel il faut jongler.
- La formulation des calculs favorise les couplages inductifs ce qui conduit à deux autres limitations : impossibilité d'avoir des conducteurs // rapprochés et encore moins coaxiaux, les couplages capacitifs sont pratiquement ignorés et en dépit de corrections « l'effet soll » (et les superpositions) n'est pas réaliste.
- Les angles aigus ne sont pas « recommandés ».

Les résultats des simulations varient d'un logiciel à l'autre et il est nécessaire d'avoir une bonne dose d'expérience pour aller au bout d'un projet solide. Je prendrais une simulation bien dégrossie mais pas parfaitement finalisée pour vous permettre de voir ces aspects quelques fois décevants.

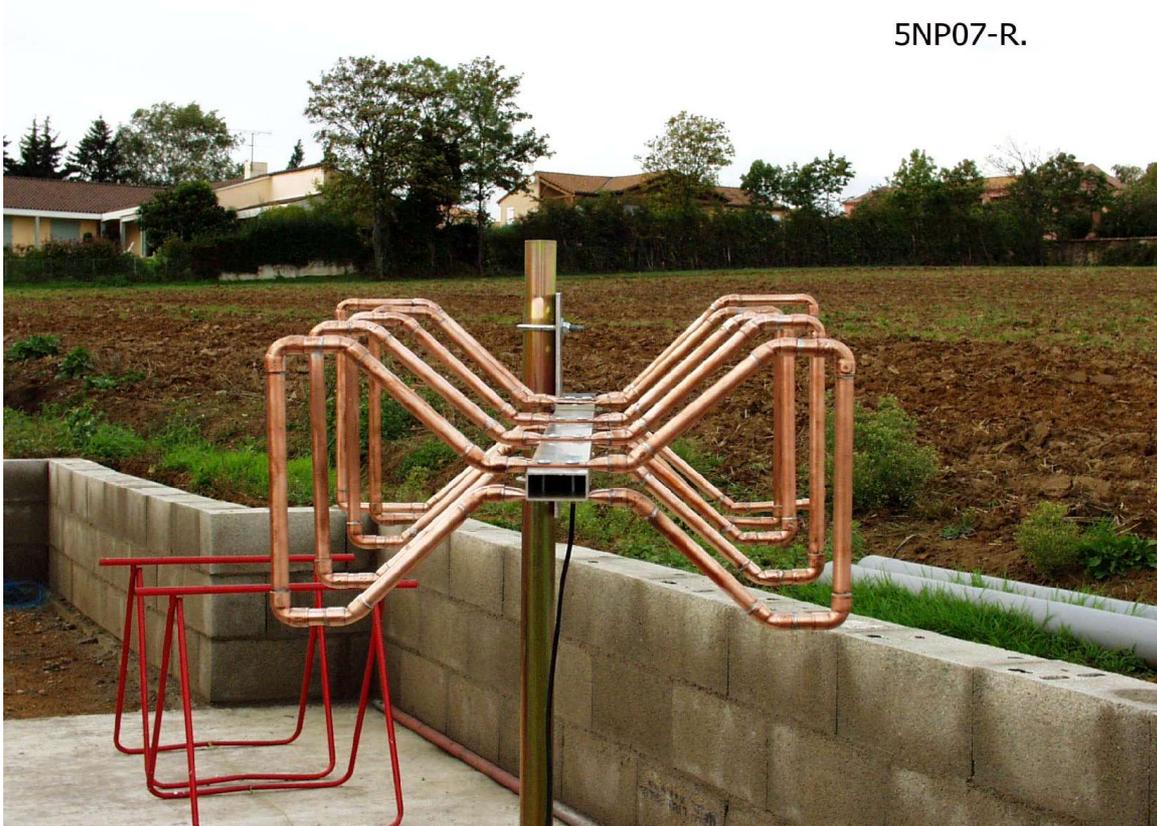


Volet Géométrie de l'antenne Simulée(5NP07-R vertical).

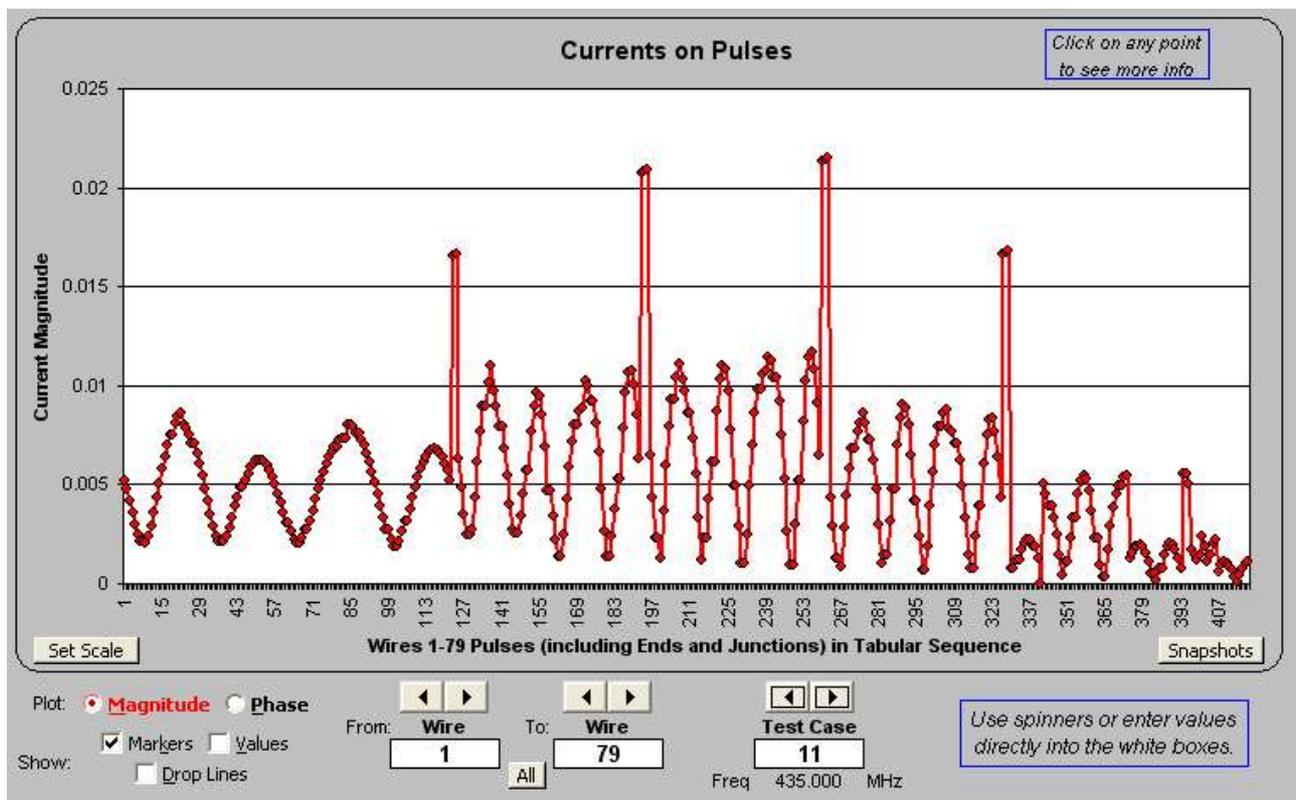
On voit ici une forme différente de réalisation (5NP07-R) : pour conserver un angle de 45° (distribution des courants dans chaque boucle et donc phase) L'extrémité des « deltas » à été mise au carré. Cette forme permet un montage style « plombier » facile mais plus onéreux de par l'achat de nombreux coudes.

La vue de cette version avant peinture :

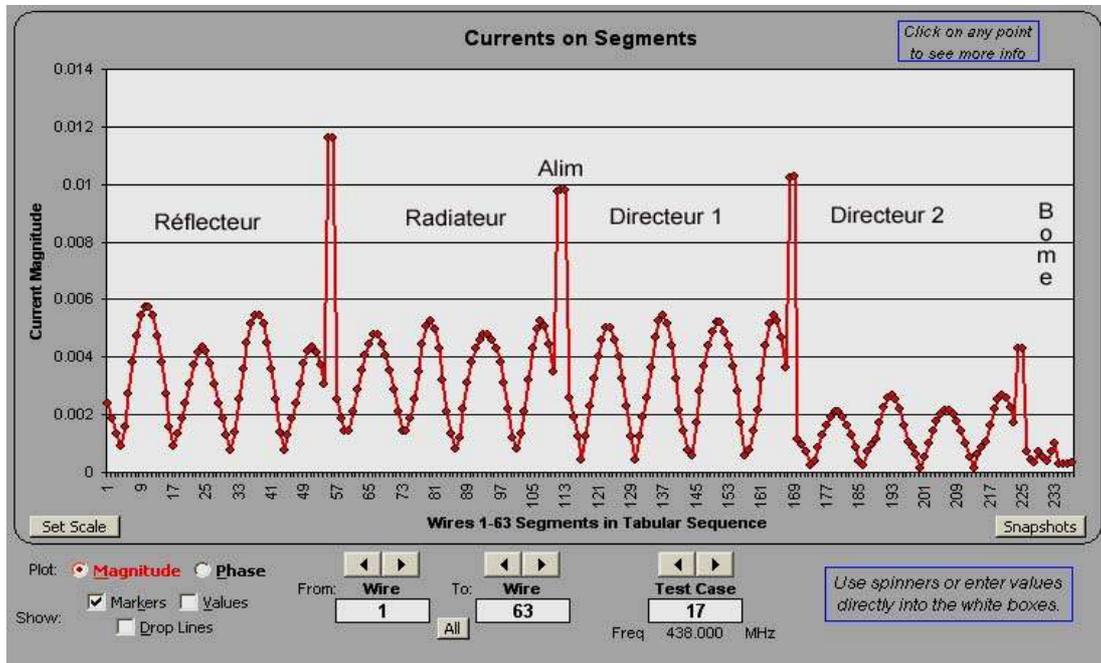
5NP07-R.



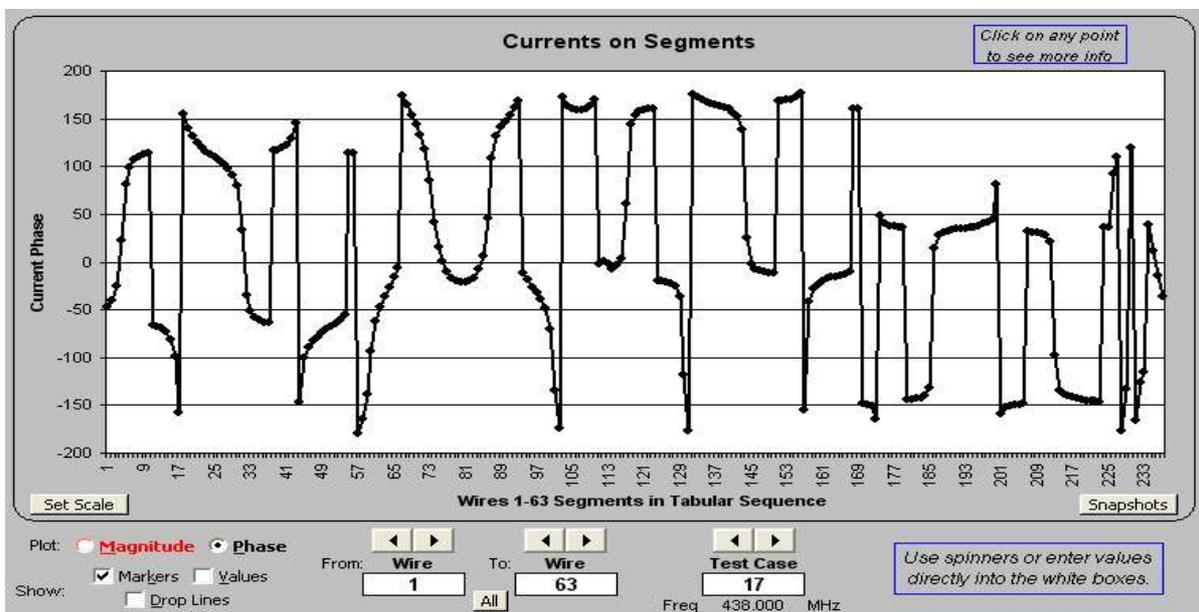
Analyse de simulation - Répartition des courants(selon MULTINEC).



Notez tout d'abord les cinq pics de courant produit par couplage capacitif au niveau des 2 segments de l'alimentation ou du centre de chaque éléments. Notez aussi que le cinquième pic (segments 396-397) est nettement diminué, que la répartition des courants est d'ailleurs irrégulière sur l'ensemble du 3ème directeur, ce qui indique un défaut de conception. Le réflecteur a aussi des irrégularités, voyez ci dessous la répartition des courants d'une 4NP07 finalisée.



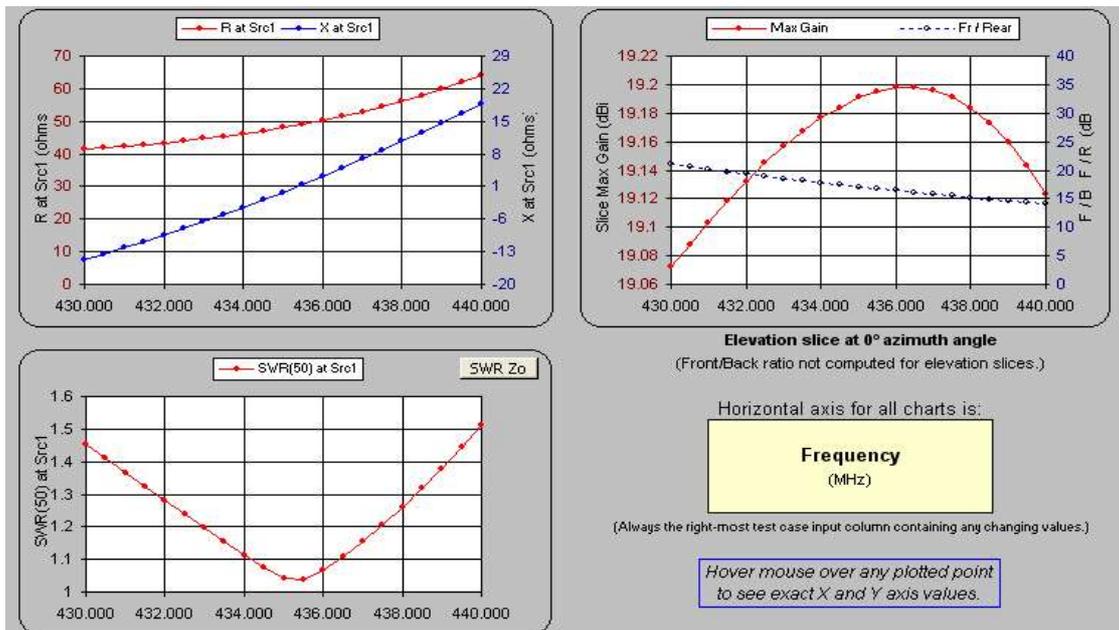
La courbe de phase doit aussi être régulière :



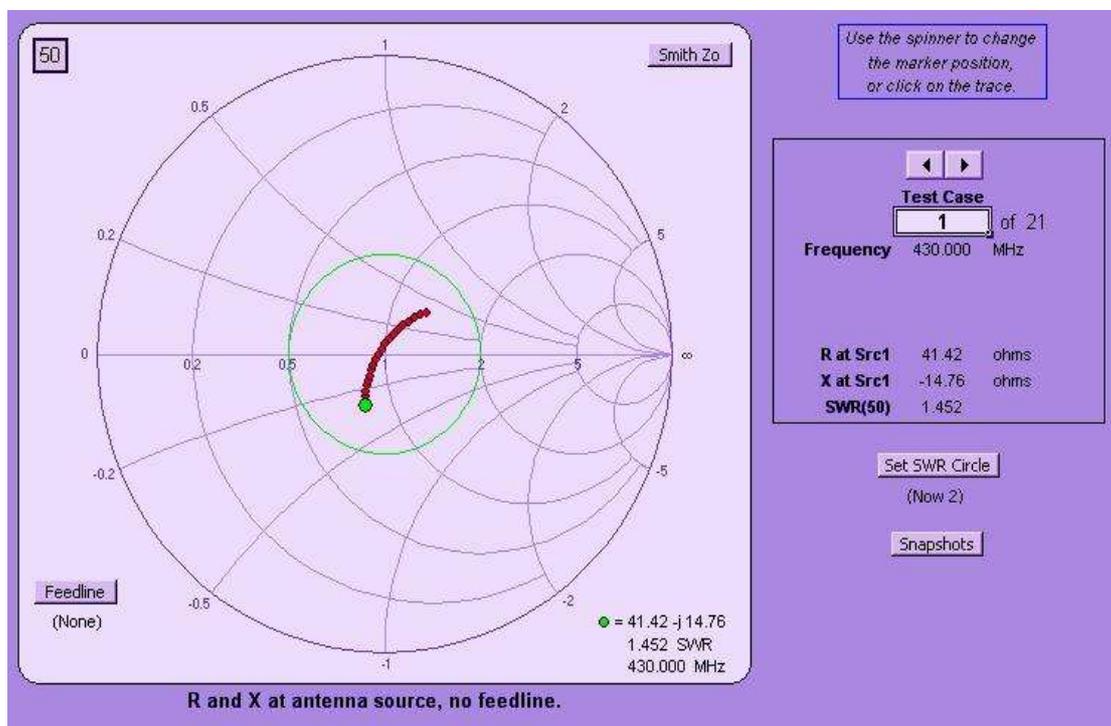
Il faut intervenir sur le rapport des cotés de chaque boucle tout en gardant le périmètre ad hoc pour une résonance de l' antenne au milieu de la bande.

La répartition des courants est la première chose à régler dans un projet sinon on s'écarte très vite de ses objectifs en prenant des chemins sans issue.

Dans l'étape suivante de la simulation on s'occupe de l'impédance complexe de l'antenne, c'est cette impédance qui nous permettra en pratique de mettre l'antenne au point avec un appareil de mesure, si possible un analyseur vectoriel dont le prix devient abordable.



C'est surtout la courbe en haut à gauche ($R + jX$) qu'il faut obtenir entre des limites acceptables et avec pente douce et régulière. C'est souvent l'endroit où l'on modifie l'écartement entre les éléments, et l'on est reparti pour un tour !! L' abaque de Smith permet à ceux qui savent l' utiliser d'aller plus vite au but.

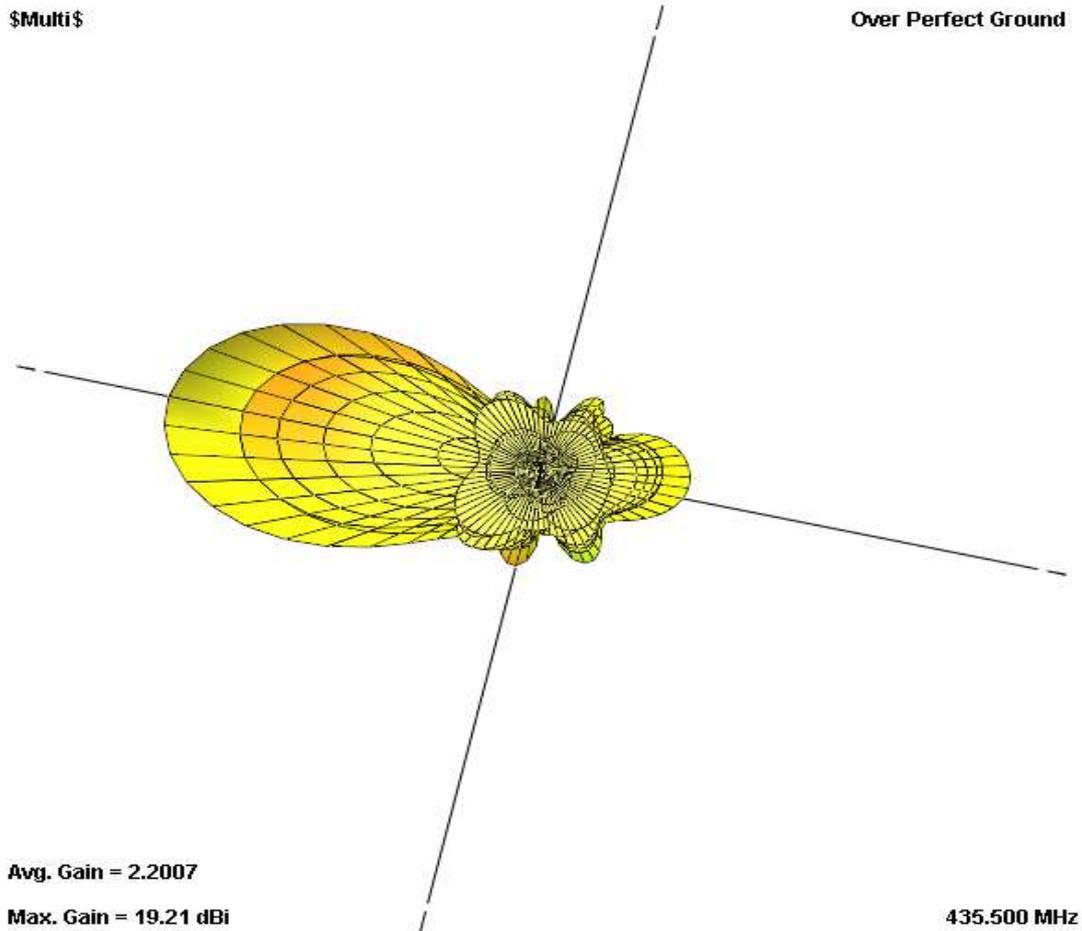


Certains logiciels permettent d'optimiser (ce n'est pas un « miracle ») le projet, c'est une aide bien sûr, mais il faut redoubler de prudence dans l'utilisation de ces calculs bien souvent régressifs si vous ne voulez pas obtenir ---> le projet ne comporte plus de défaut lorsqu'il est égal à zéro !

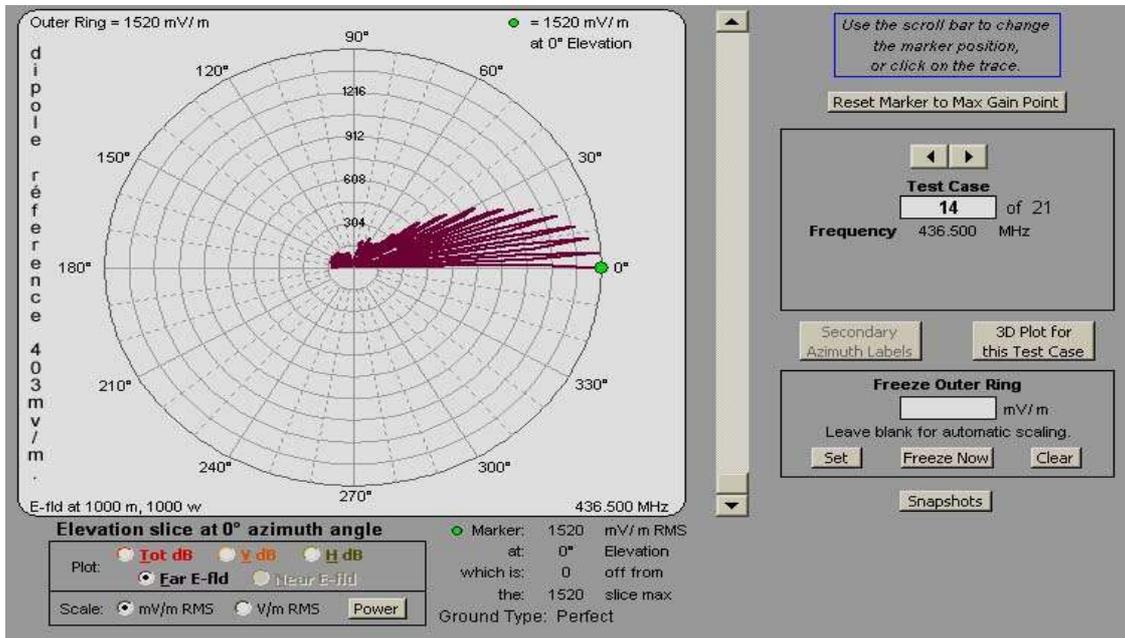
Lorsqu' avec un peu de patience vous touchez au but et s'il vous reste un peu de masochisme examinez la courbe suivante, elle permet de juger du bon « équilibre » de votre antenne.



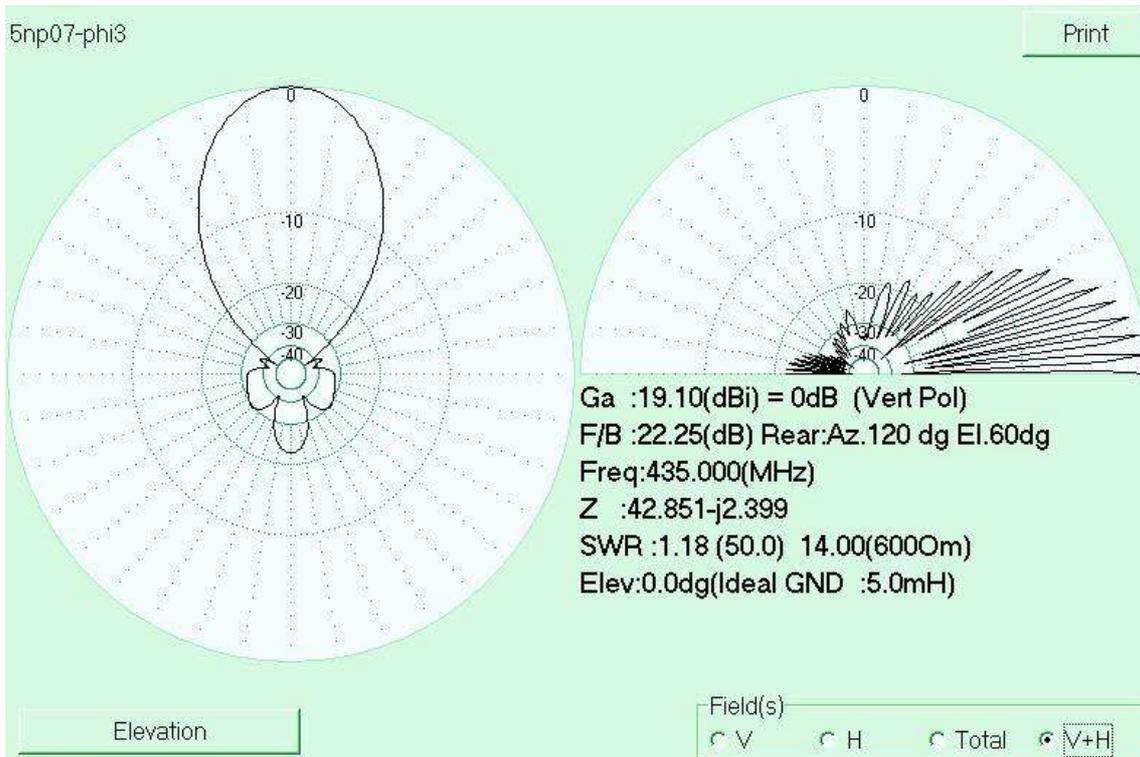
La référence (en noir) est une polynomiale du 3ème ordre.
 Viennent ensuite les courbes de satisfaction :



Je préfère celle qui suit car elle permettra des contrôles sur le terrain (avec un champ-mètre) :



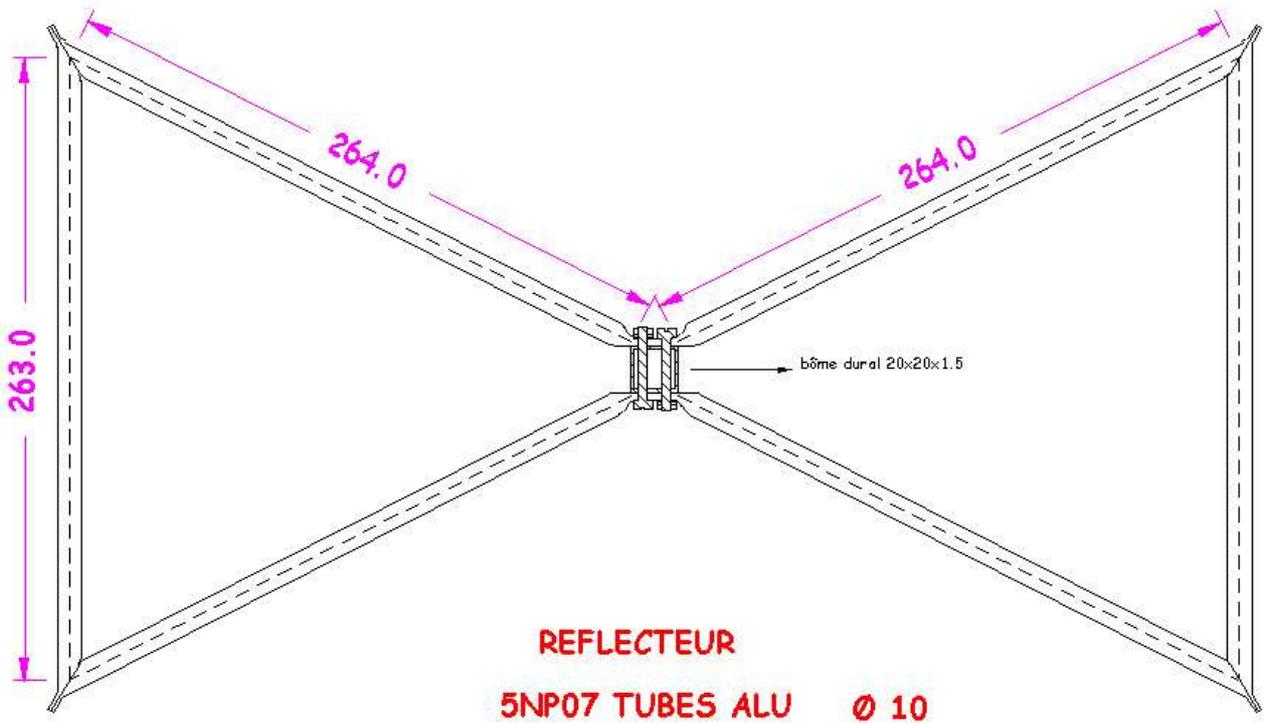
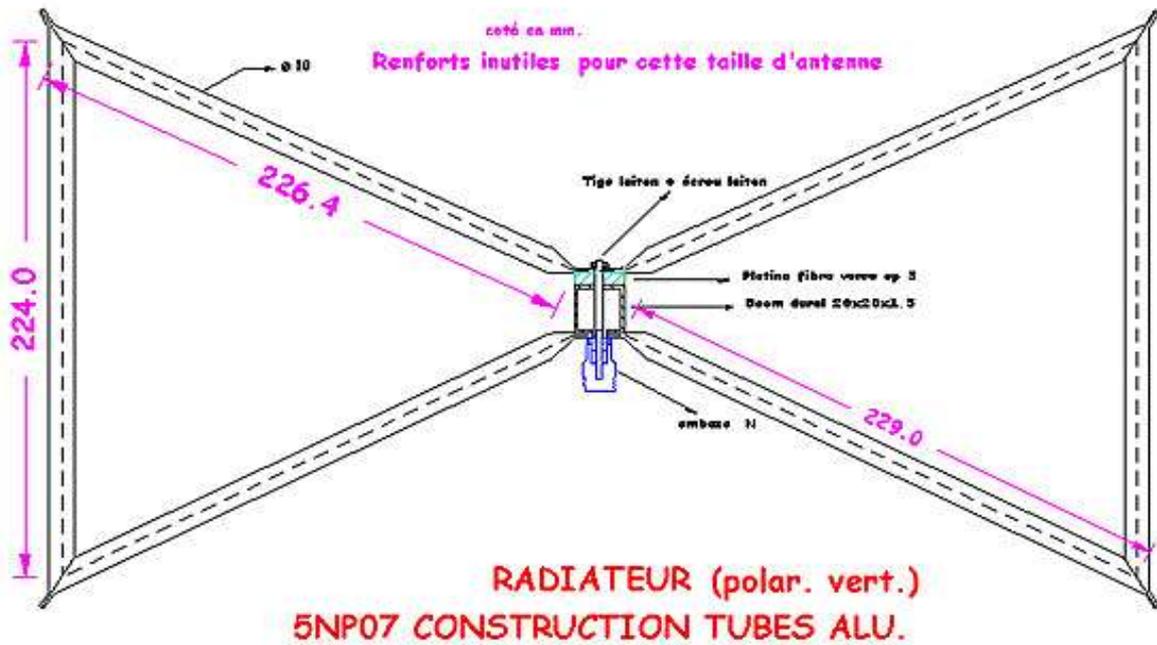
Le gain en directivité par rapport au dipôle est donc $20 \log (U_a^m / V_d^m) = 11.5 \text{ db}$. Ce que confirme le logiciel dans le diagramme suivant :

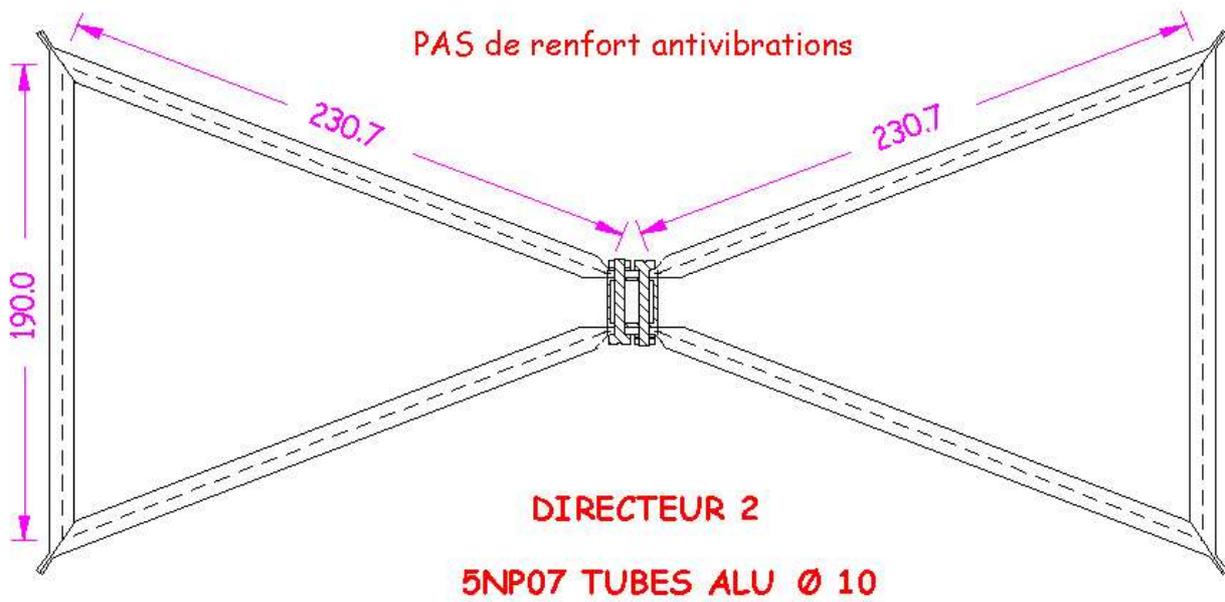
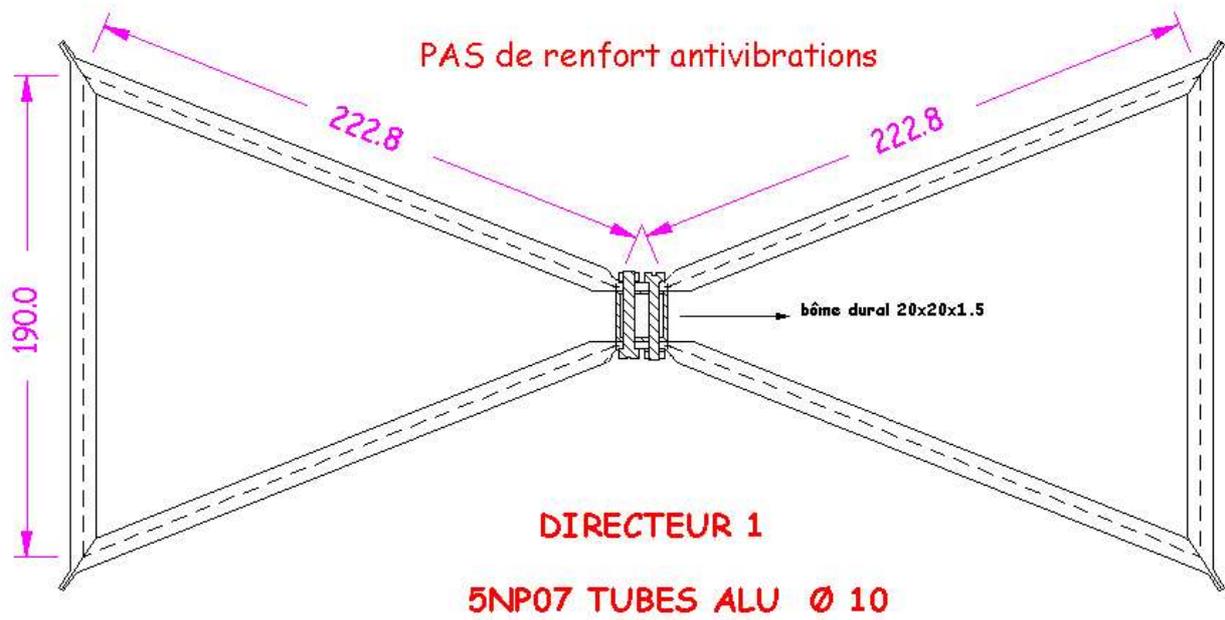


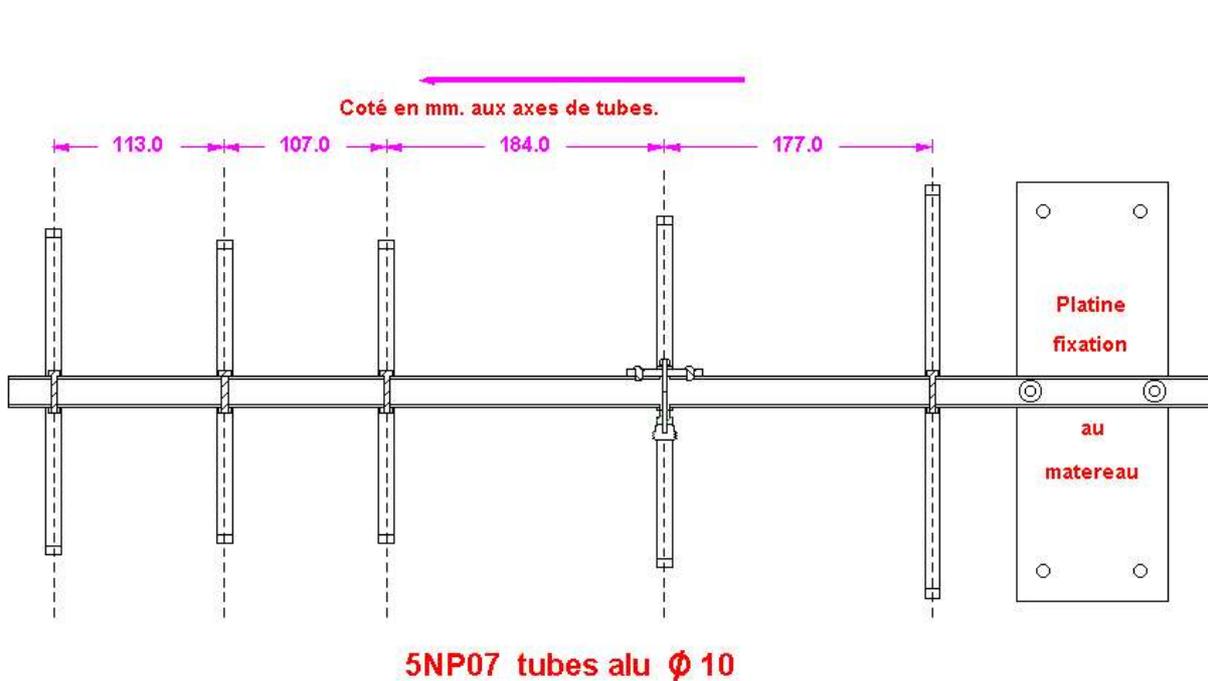
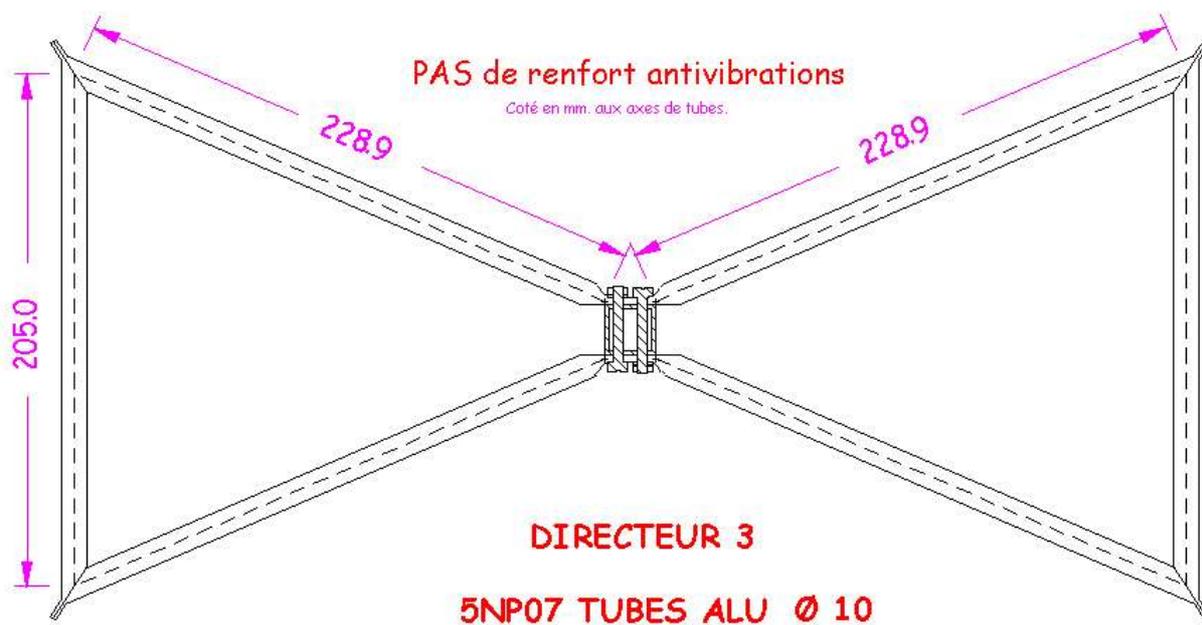
En conclusion de la simulation je redrai l'adage bien connu : cent fois sur le métier remet ton ouvrage cela t'évitera de gaspiller du matériel à l'aveuglette.

Réalisation Pratique .

Parmi la bonne vingtaine d'antennes réalisées (avec de légères variantes) voici les détails de réalisations de la version la plus simple, faisable en alu ou en cuivre (petites différences de dimensions).



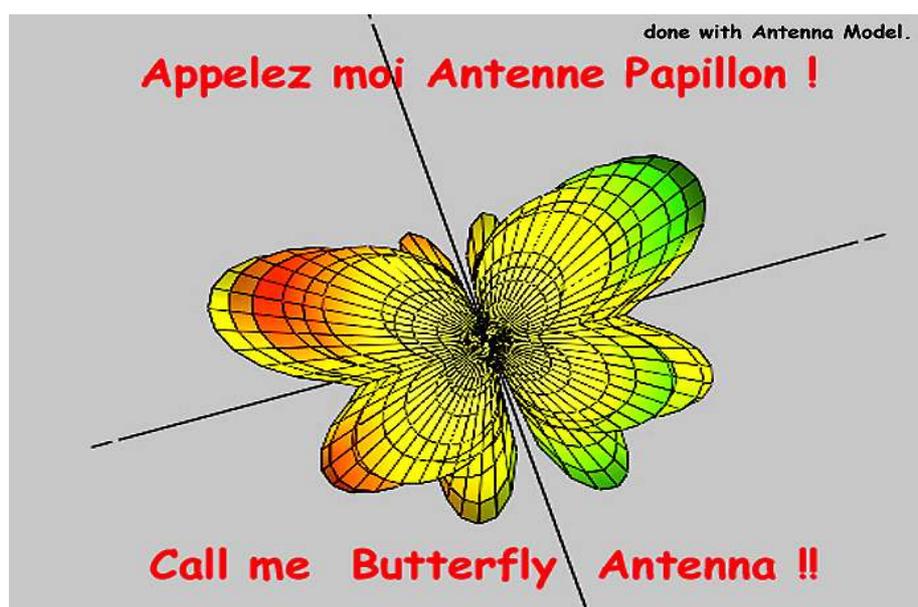




Une 5NP07-T et une 4NP2-R à huit mètres du sol , le moment de vérité !!



73 et BONNES REALISATIONS.



***** δp *****