

A propos du doublet pleine onde "CCD Antenna"

Robert BERRANGER, F5NB

Lors d'un passage au radioclub, en consultant un ancien tome 2 de l'ouvrage "Antenna Compendium" de l'ARRL, je suis tombé sur un article concernant cette antenne proposée alors par un OM "UK". Une lecture rapide et un examen des figures m'a convaincu que cet aérien était à classer dans la catégorie des "fausses bonnes idées". Vous comprendrez pourquoi en lisant cet article qui a été écrit dans un but avant tout pédagogique.

Présentation du problème.

La "CCD-antenna" est une antenne filaire du type doublet pleine-onde alimentée au centre. Elle est prévue pour être montée horizontalement. Si ce n'était que cela, ses performances seraient bien connues. En effet son gain en espace libre serait de 3,76 dBi, soit 1,61 dBd. Sa résistance de rayonnement serait de 196 Ω et son impédance d'alimentation serait de l'ordre de quelques milliers d'Ohms, dépendant du diamètre du fil (nous sommes à l'anti-résonance). Nous avons sur la figure 1 le gain et la résistance de rayonnement liés au doublet alimenté au centre en fonction de sa longueur physique.

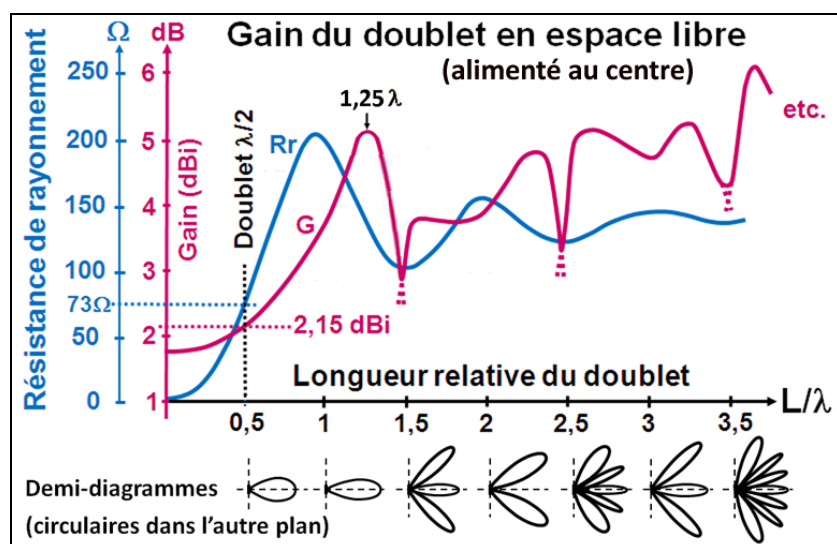


Figure 1 : Gain et résistance de rayonnement du doublet en fonction de sa longueur

Notez que concernant les antennes, toutes les études comparatives se font en espace libre. En effet, à proximité du sol, les résultats dépendent de la hauteur de l'aérien et de la nature du sol, deux paramètres indépendants de l'antenne. On notera également qu'avec une longueur de λ , son gain n'est pas encore à son maximum pour une directivité à un seul lobe.

Alimentation du doublet pleine onde

L'impédance d'alimentation du doublet pleine onde étant élevée et le rendement des émetteurs modernes étant maximal pour des impédances de charge faibles il est nécessaire de prévoir un système d'adaptation à faibles pertes. Le plus simple est celui utilisé par l'antenne Zeppelin, soit une ligne à fils parallèles d'une longueur électrique $\lambda/4$. Pour la Zeppelin, la ligne n'est connectée que par un fil à l'extrémité d'un doublet demi-onde. L'autre extrémité de la ligne est soit "laissée en l'air", soit connectée à un contrepois filaire de longueur $\lambda/4$ (mieux). On peut

aussi y connecter un deuxième brin rayonnant d'une longueur identique au premier, soit $\lambda/2$. Nous avons alors notre antenne de longueur λ . Avec un diamètre de fil adéquat son impédance peut être de 4000Ω et avec une ligne $\lambda/4$ de 450Ω , l'impédance ramenée à son extrémité est de $50,6 \Omega$, valeur parfaite pour y connecter un coaxial 50Ω avec entre les deux, un tansfo "balun" 1/1.

Mais si pour moi cette solution semble la meilleure, ce n'est pas l'avis de tout le monde et un OM a imaginé une autre solution qui d'après lui emporte tous les suffrages.

Le doublet pleine onde "CCD antenna"

"CCD" veut dire "Controlled Current Distribution". Son concepteur dit qu'en contrôlant le courant dans chaque partie du doublet on peut tout avoir : le gain et l'adaptation. Voici le principe en image :

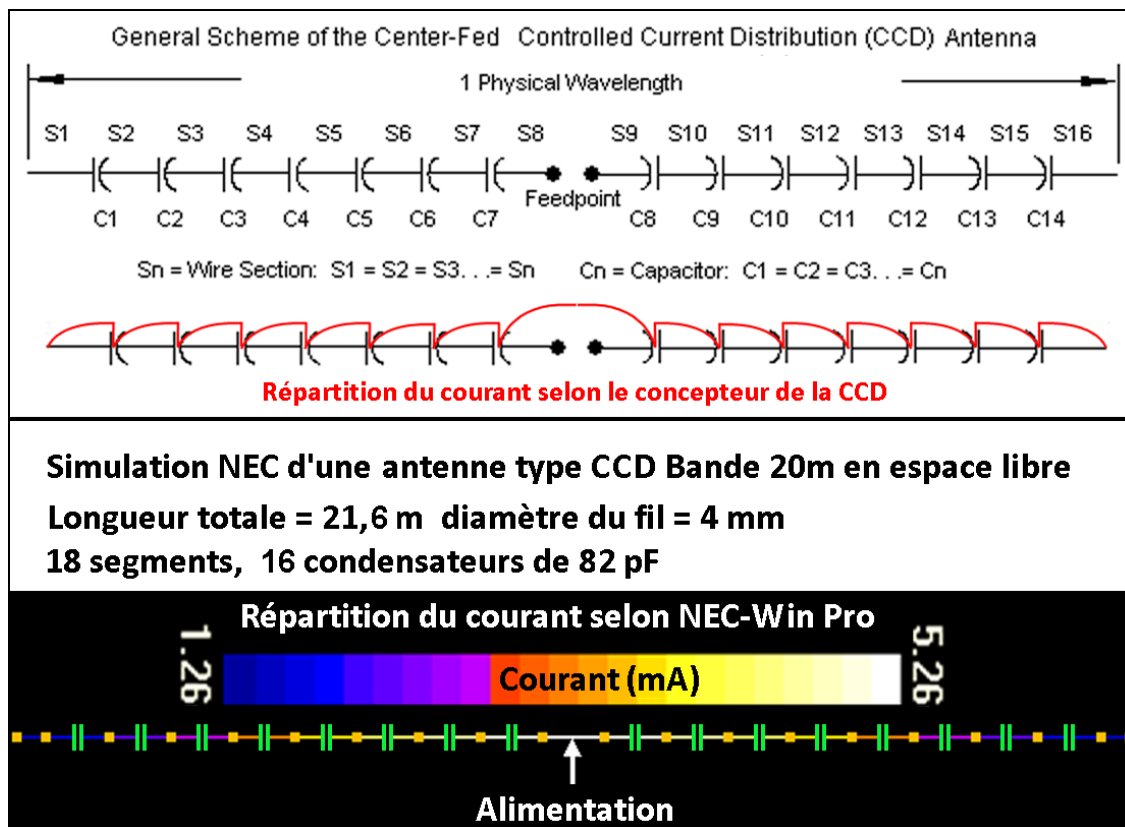


Figure 2 : Schéma de principe de l'antenne CCD et répartition réelle du courant

En haut, nous avons le schéma de principe avec en dessous la répartition du courant le long de l'antenne selon son concepteur. C'est ce graphique qui m'a fait bondir. En effet, ceci est impossible. En réalité, pour ce nombre de condensateurs, la distribution du courant est en pseudo triangle, comme montré par le simulateur NEC-Win Pro et la figure 4 de l'annexe B. Cette distribution entraîne une petite diminution du gain qui passe de 3,76 dBi pour un doublet standard à 3,17 dBi pour la CCD, soit une diminution du gain de 0,59 dB. En augmentant le nombre de segments et de condensateurs on se rapprocherait d'une répartition cosinusoidale et du gain de 3,76 dBi.

Noter que NEC place l'alimentation et insère les composants réactifs **au milieu** d'un segment, ce qui nous oblige ici à mettre deux demi-segments en bouts de dipôle pour avoir une géométrie conforme.

Montée à 10 mètres au dessus d'un sol standard, il faudrait raccourcir notre CCD de 2×21 cm (-2%) pour garder la résonance et la même impédance avec un gain maximum de 8,38 dBi à 30° d'élévation.

En supprimant les condensateurs, il faut rallonger notre dipôle de 2% pour garder la résonance à 14,2 MHz avec $Z = 4200 \Omega$. Alors le gain maxi est de 8,83 dBi à 30° d'élévation, soit 0,45 dB de **mieux** ! Comme on le voit, **même** en présence du sol, la CCD a un gain inférieur au dipôle standard et elle a le même "angle de départ" (ce qui est évident).

Alors, quel pourrait être l'avantage de ce système ? Pour apporter une possible réponse nous allons utiliser l'abaque de Smith afin de mesurer sa largeur de bande.

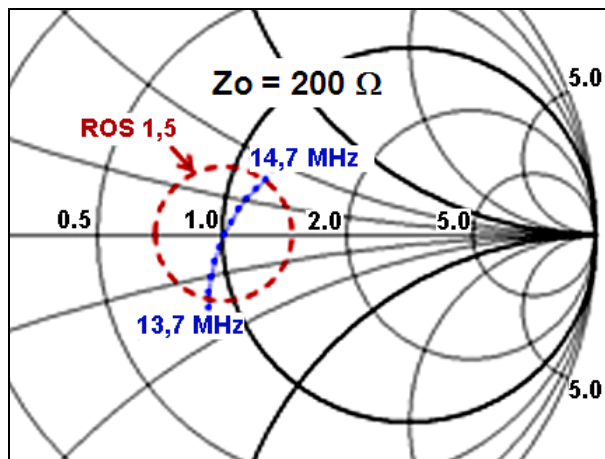


Figure 3 : Largeur de bande pour ROS <1,5 d'une CCD bande 20m avec 16 condensateurs

A 14,2 MHz, nous avons une excellente largeur de bande de 1 MHz pour un ROS inférieur à 1,5, valeur acceptable pour un câble coaxial et pour la plupart des émetteurs (d'autant qu'ils ont maintenant une boîte d'accord intégrée). Transposée pour la bande 80m, cela nous fait encore une largeur de bande de 250 kHz, tout à fait suffisante.

Conclusion

Si l'on tient absolument à avoir une meilleure largeur de bande, alors on peut se lancer dans la fabrication de cette "usine à gaz" antennaire. Mais se rappeler que cela se paiera par un moindre gain et une diminution de la fiabilité, vu le nombre élevé de connexions et le poids accru de l'aérien, plus une difficulté de mise au point. Pour moi le jeu n'en valant pas la chandelle, cela reste un "exercice de style", une "conquête de l'inutile". Je terminerai en citant cette remarque ironique qui est courante dans les bureaux d'études pour des cas similaires : "Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ?".

Pour joindre l'auteur : f5nb@orange.fr

Annexe A : Rôle des condensateurs en série

D'abord un rappel fondamental (très simplifié) sur le fonctionnement des antennes filaires. Une antenne est un transducteur entre deux mondes : celui du courant alternatif (I) et celui du champ électromagnétique propagé (EM). Il y a également un monde non désiré concernant les pertes caloriques (R).

L'équation du système est la suivante (e = énergie) : $e(I) = e(EM) + e(R)$.

Le rendement (η) du système est égal à : $\eta = e(EM) / e(I)$. Ici on supposera un rendement unité ($e(R) = 0$) alors $e(EM) = e(I)$.

Soit une antenne quelconque que l'on découpe en petites parties assimilées chacune à un segment de droite parcouru par le courant moyen dans ce segment, nous avons :

Domaine du rayonnement.

On calcule le courant moyen pour chaque segment (amplitude et phase).

Pour chaque direction de propagation on tient compte de la direction relative de chacun des segments pour calculer sa contribution au rayonnement total dans cette direction. Les résultats permettent de déterminer un diagramme de rayonnement.

Le rayonnement dépend donc de deux paramètres : la géométrie de l'antenne (direction de ses segments) et la répartition du courant (amplitude/phase) pour chacun de ses segments.

C'est ce procédé qui est employé dans les simulateurs du type "NEC" (méthode des moments).

Domaine du courant alternatif.

Se rappeler que le courant circule dans un circuit forcément fermé, même avec un dipôle ouvert. En effet le circuit se referme par la capacité entre les deux brins du dipôle.

La phase du courant dans un segment dépend du retard lié à la distance filaire de ce segment depuis l'alimentation. L'amplitude du courant de chaque segment peut varier en fonction de la distance de ce segment par rapport à l'alimentation. Il s'agit d'une distance électrique liée à la phase du courant par rapport à la longueur d'onde de la fréquence de travail.

L'amplitude du courant comme sa phase varient continûment. Il n'y a pas de sauts brusques (*c'est pourquoi le diagramme attribué au concepteur de la CCD de la fig. 2 est faux*).

A l'intérieur des circuits réactifs que l'on insère entre les segments, que ce soit une bobine ou un condensateur, le courant est constant, seule la phase est modifiée : retard de phase pour une bobine et avance de phase pour un condensateur. Ainsi la longueur électrique de l'antenne (exprimée en angle de phase pour lequel $\lambda=360^\circ$) peut être différente de sa longueur physique (exprimée en lambdas).

Quand la longueur électrique prend des valeurs multiples de 90° (ce qui correspond à n quarts d'ondes) on constate que l'antenne est à la résonance électrique, quelle que soit sa longueur physique. En conséquence, **la résonance électrique d'une antenne n'a aucune incidence sur son rayonnement** qui lui, dépend de sa géométrie.

C'est ainsi que pour la CCD Antenna on peut avoir une antenne doublet de longueur physique λ avec le diagramme de rayonnement associé tout en ayant une longueur électrique de $\lambda/2$. Cette longueur électrique est obtenue en "raccourcissant" la longueur électrique naturelle du doublet par insertion de condensateurs procurant des avances de phases réduisant ici de moitié le déphasage total dans le système.

Avec des bobines l'effet serait inverse en transformant par exemple une longueur électrique de $\lambda/10$ (égale à la longueur physique) en longueur électrique $\lambda/4$. On a un exemple applicatif avec l'antenne fouet HF "rallongée" par une self au centre (pour trafic en mobile).

Noter que, comparés aux bobines, les condensateurs ont l'avantage d'avoir très peu de pertes.

Même si l'on n'a pas tout compris avec ces explications (le problème est complexe et ne peut être résumé en quelques lignes), retenir qu'elles conduisent à cette affirmation :

L'impédance d'une antenne (et par suite son ROS) n'a aucune influence sur son rayonnement. C'est un problème purement électrique d'adaptation à l'émetteur pour lui permettre de sortir un maximum de puissance avec le meilleur rendement.

Annexe B : Pourquoi la CCD Antenna a-t-elle moins de gain qu'un simple dipôle?

C'est parce qu'elle n'a pas la même directivité (rappel : Gain = Directivité × rendement). Voir sur la figure 4 les distributions de courants qui déterminent la directivité.

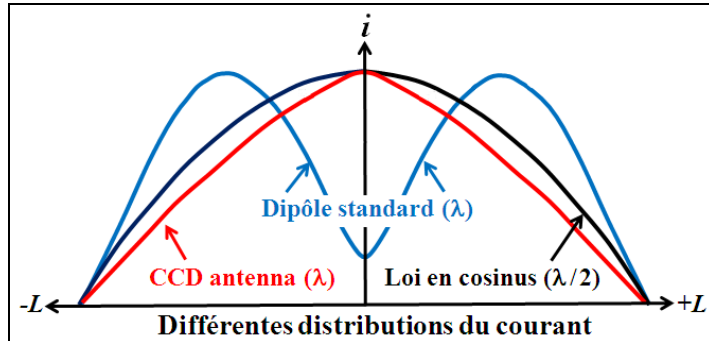


Figure 4 : Distributions du courant dans différents dipôles alimentés au centre

Pour un doublet standard $\lambda/2$, la distribution cosinusoidale du courant entraîne un gain de 2,15 dBi. Avec une distribution triangulaire (par exemple pour un doublet très raccourci), le gain est de 1,76 dBi, soit moins 0,39 dB. Or ici, le gain de la CCD est encore inférieur de 0,59 dB. Cela résulte du fait que les variations de phase le long du doublet ne sont pas les mêmes (trop long à développer).

Annexe C : Variations sur le principe de la CCD

En me relisant à tête reposée je me suis posé la question de savoir s'il était bien nécessaire d'avoir autant de condensateurs (certains auteurs parlent de plus de 40). Pour ma part j'avais fait mes simulations avec 16 condensateurs. J'ai alors fait des essais avec huit, quatre et deux. Voir sur la figure 5 les dispositions des éléments et les résultats de simulation.

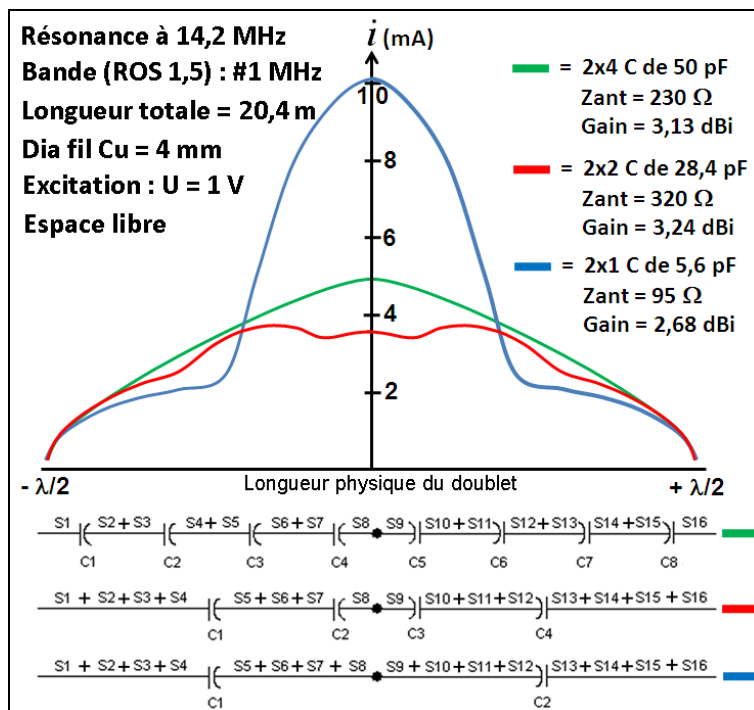


Figure 5 : Résultats des tests en réduisant le nombre de condensateurs de 16 à 8, 4 et 2.

Avec huit condensateurs au lieu de seize, il y a peu de changement. Avec deux, on part dans les choux. Mais avec quatre, le gain est meilleur au prix d'une augmentation de l'impédance antenne. Pour l'alimentation, on pourrait utiliser 2 câbles coaxiaux en parallèle : l'un de 50 Ω et l'autre de 75 Ω , les gâines étant réunies aux deux bouts et restant flottantes (isolées). Les âmes seraient connectées à chaque brin. On construit ainsi une ligne parallèle de 125 Ω de **longueur électrique $\lambda/4$** . Impératif : l'alimenter à travers un balun 1/1. Ici, l'impédance ramenée serait de 49 Ω et on pourrait compléter la liaison à l'émetteur avec un simple câble coaxial de 50 Ω .

Il faudrait avoir du temps pour trouver le meilleur système car nous avons trois paramètres : la longueur physique du dipôle, les valeurs des condensateurs qui peuvent être différentes (par paires) et leurs emplacements (symétriques). J'ai pris quand-même un peu de temps pour voir ce que l'on aurait avec 4 condensateurs en se fixant une impédance d'antenne de 200 Ω , plus facile à alimenter qu'avec 320 Ω . Voici le design de cette CCD :

L = 21,18 m, 17 segments (alimentation au milieu du N°9). + deux demi-segments (cf. fig. 2).

C = 22 pF au milieu des segments 7 et 11 (au lieu de 8 et 10)

C = 20 pF au milieu des segments 3 et 15 (au lieu de 4 et 14)

J'ai obtenu les résultats suivants (même fréquence de résonance de 14,2 MHz) :

Zant = 200 Ω (identique).

Gain = 3,14 dBi, soit -0,03 dB.

Et tout cela en réduisant de 14 à 4 le nombre de condensateurs !

En continuant mes essais avec NEC, j'en suis arrivé à cette loi qui demanderait confirmation : Concernant un doublet de longueur physique λ alimenté au centre, en partant d'une impédance antenne de l'ordre de 4000 Ω (G = 3,76 dBi), plus on diminue cette impédance par un procédé du genre "CCD" et plus le gain diminue. **En aucun cas, on ne pourrait l'augmenter.**

Par ailleurs, les résultats prouvent qu'il n'est pas nécessaire d'employer une flopée de condensateurs puisqu'ici, en passant de 14 à 4, on n'a diminué le gain que de 0,03 dB. Alors, oui, c'était vraiment une "fausse bonne idée".

Annexe D : Dipôle pleine onde alimenté au quart

Et si on alimentait au quart un doublet pleine onde standard (méthode "long-fil") ? J'ai fait l'essai et voici les résultats :

Nous avons quatre lobes de rayonnement écartés de 34° de la perpendiculaire du doublet (idem le doublet avec L = 2 λ alimenté au centre de la fig.1). Résultats :

Espace libre :

L = 20,75 m dia 3 mm (résonance à 14,2 MHz)

Zant = 90 Ω

Gain = 3,06 dBi à $\pm 34^\circ$

Rapport AV/AR = 1,05 dB

A 8 m au dessus d'un sol moyen :

L = 20,75 m dia 3 mm (résonance à 14,2 MHz)

Zant = 105 Ω

Bande à ROS 1,5 = 400 kHz (au lieu de 1 MHz pour la CCD)

Gain = 6,75 dBi à $\pm 43^\circ$ et à 36° d'élévation

Rapport AV/AR = 1,27 dB

Noter qu'à une hauteur de 10 m l'élévation baisserait de 6° et le gain augmenterait de 1 dB, mais l'impédance baisserait à 100Ω . Ici avec 105Ω , l'adaptation est facile avec un câble coaxial quart d'onde (électrique) de 75Ω (ROS = 1,07 pour $Z_{TX} = 50 \Omega$). On voit que la hauteur au dessus du sol modifie plus ou moins tous les paramètres. C'est pourquoi en pratique la mise au point se termine souvent à la pince coupante.

Annexe E : L'antenne CCD dans la littérature

Après avoir écrit cet article, par curiosité j'ai fait des recherches sur le Web. C'est ainsi que j'ai pu charger une version plus récente de l'ouvrage "Antenna Compendium" tome 2, de même que le tome 3. La partie sur la CCD écrite par l'OM "UK" a été remplacée par une version plus complète (méthode de fabrication et évocation succincte de la "Zeppelin") écrite par deux OM "US".

Dans les avantages ils donnent "un plus grand gain" et un rayonnement DX meilleur qu'un dipôle λ standard pour une disposition plus proche du sol, ce qui n'est pas possible. Ils annoncent par ailleurs une plus large bande, ce qui est vrai.

Dans les inconvénients ils parlent de la complexité de sa fabrication (ce qui est vrai aussi).

Dans le tome 3 du "Compendium", en plus de cet article, un autre OM US chiffre les performances en trouvant un gain pour notre CCD de -0,4 dB par rapport au dipôle standard, ce qui est une valeur réaliste. Mais il n'en tire aucune conséquence sur l'inintérêt de cet aérien.

En faisant mes recherches sur le Web, je n'ai trouvé nulle part un écrit qui explique le fonctionnement exact de la CCD. Par contre j'ai trouvé un excellent article de W4RNL qui recoupe mes valeurs et donne une appréciation sur ce type d'antenne identique à la mienne :

"A quoi bon se casser la tête pour la fabriquer puisqu'un simple dipôle fonctionne mieux".

Par ailleurs, on trouve des OM fabricants d'une CCD qui sont très contents des résultats de leurs réalisations (excellents DX). En effet, quand vous avez passé beaucoup de temps à fabriquer un objet aussi complexe, celui-ci ne peut avoir que des performances à la hauteur de vos efforts (par expérience personnelle, je reconnais que c'est difficile de rester impartial).