

Les premières transmissions de « télégraphie sans fil », comme on disait alors, furent réalisées à l'aide d'antennes raccourcies.

À l'époque des longueurs d'ondes kilométriques, l'intérêt que pouvait présenter l'accord de l'antenne n'était pas passé inaperçu. Toutefois, le mode de vibration d'un conducteur nécessitant la moins grande longueur de ce dernier, pour une fréquence donnée, était celui de la vibration en quart d'onde; mais le quart de la longueur d'onde utilisée représentait une dimension prohibitive dans la plupart des cas! C'est pourquoi l'on chercha les moyens capables de procurer une sorte d'allongement fictif du système rayonnant.

L'antenne à vibration en quart d'onde, dite aussi antenne Marconi (fig. 1), est bien connue. Elle se compose d'un conducteur vertical A T, relié à la terre à sa base T. La distribution de l'intensité H.F. comprend un nœud d'intensité au sommet A et un ventre au niveau de la prise de terre T. Inversement, la répartition des tensions H.F. y montre un point nul (un nœud de vibration) en T, et un maximum (soit un ventre E) au sommet A.

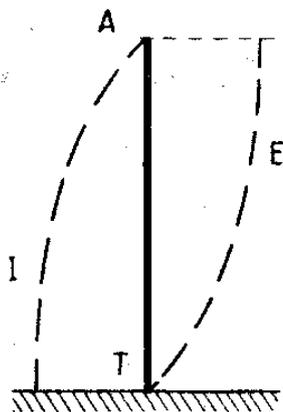


Fig.1 - L'antenne quart d'onde avec les répartitions classiques de l'intensité et de la tension.

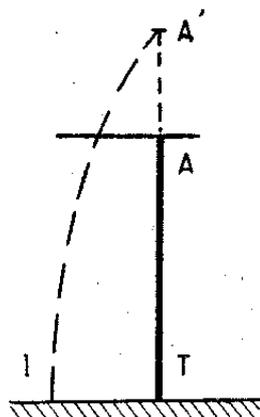


Fig.2 - Une capacité terminale augmente la hauteur de l'antenne quart d'onde.

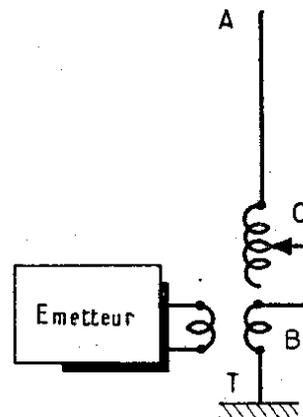


Fig.3 - une bobine d'antenne C permet d'accorder une antenne de dimension insuffisantes devant la longueur d'onde utilisée.

Si l'on connecte des « prolongements conducteurs » au point A, sous forme d'un fil horizontal (antenne en L, en T) ou d'une nappe de fils (fig. 2), l'intensité n'est plus nulle en A et si l'on extrapole sa courbe jusqu'au nœud d'intensité fictif, on voit que le système de « capacité terminale » ajouté au sommet A· de l'antenne, a procuré les mêmes effets que si le fil primitif avait subi une extension verticale jusqu'en A'. Ce moyen d'augmenter artificiellement la hauteur efficace d'une antenne est toujours demeuré classique.

Une autre méthode « d'apport de longueur manquante », pour la mise en résonance de l'antenne (mais n'assurant aucun accroissement fictif de hauteur), fut celui de la bobine d'antenne. Le couplage de l'émetteur étant assuré en B (fig. 3), la « bobine d'antenne » C, sur laquelle on pouvait prendre un nombre de tours convenable, autorisait un « allongement » artificiel de l'antenne.

Cependant, l'usage d'ondes de plus en plus courtes, à l'égard desquelles les antennes courantes se trouvaient « à bonne mesure », fit quelque peu tomber dans l'oubli ces deux derniers procédés, mais il n'en reste pas moins vrai que tous deux ont gardé leur pleine valeur technique.

Le problème est souvent celui de l'amateur émetteur désireux de trafiquer sur la bande 3,5 MHz, par exemple, sans disposer des 40 mètres nécessaires pour tendre un brin accordé demi-onde ... Nous traiterons plus loin cette éventualité.

Du circuit oscillant à l'antenne accordée

Prenons un classique circuit accordé en parallèle (fig. 4 a), dont le condensateur ne possède que deux lames séparées par un espace d'air. Ecartons ces deux armatures. La fréquence de résonance de l'ensemble va croître. Augmentons cet écartement jusqu'au moment où l'ensemble prend la disposition rectiligne de la figure 4 c. Nous avons cette fois une antenne du type demi-onde, chargée en son milieu par une inductance L et possédant, en ses extrémités, deux « capacités terminales » C et C'. De ce fait, la répartition de l'intensité au long de cette antenne prend l'allure indiquée par la courbe en pointillé, 'comme si le conducteur mesurait une longueur A' B'. La fréquence de résonance demi-onde en devient notablement plus basse que celle d'une antenne $\lambda/2$, dont la longueur A B serait égale à CC'. Bien entendu, des éléments représentés par la figure 4 c, on a la faculté d'ôter; soit la bobine L, soit les deux capacités terminales C et C', ou bien encore le tout à la fois, chacune de ces suppressions, entraînant un effet de raccourcissement.

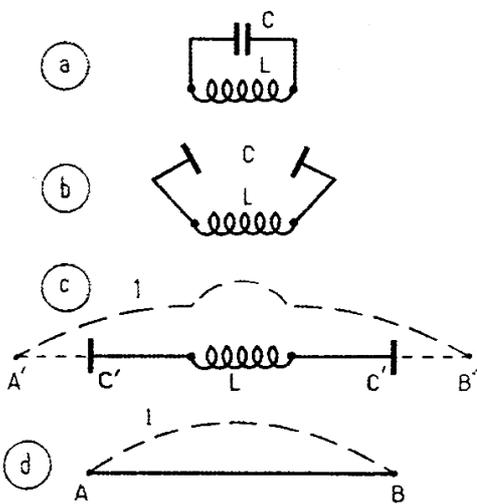


Fig. 4 En «déployant» un circuit accordé (en parallèle), on arrive à la forme d'une antenne demis onde.

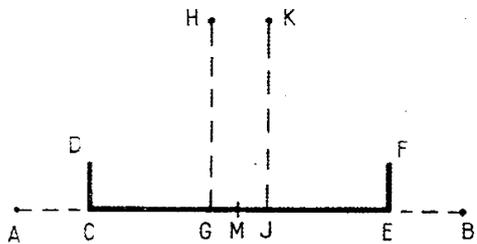


Fig. 5 Les « surfaces terminales ne doivent pas être étendues au point de transformer l'antenne en une ligne ou un condensateur, lesquels ne rayonnent plus.

Inversement, en partant de l'antenne $\lambda/2$ de la figure 4 d, il est permis de songer à l'apport d'éléments inductifs et capacitifs en vue de raccourcir un aérien trop encombrant. Cependant, il est alors bon de savoir quels sont les effets pratiques de ces adjonctions, ce que l'on peut en attendre, ce qu'il est impossible de leur demander, et dans quelle mesure elles sont acceptables. Supposons, en effet, que nous cherchions à raccourcir l'antenne $\lambda/2$, A B de la figure 5, grâce à l'emploi de capacités terminales. On peut imaginer, dans un cas extrême, les dites « capacités terminales » formées par les fils GH et JK, connectés aux deux bouts d'une antenne réduite à la longueur G J ; mais on voit que cette disposition transformerait l'antenne en une ligne bifilaire, dont le parallélisme des conducteurs empêcherait le rayonnement. Il existe donc une limite raisonnable au-dessous de laquelle on ne peut raccourcir l'aérien, par exemple celle qui correspondrait au tracé D C M E F.

Remarquons aussi que dans ce cas de l'antenne repliée sous forme de deux fils parallèles, l'impédance au milieu du système tombe à une valeur faible. La ligne ne rayonnant plus, l'explication de cette baisse se trouve dans la disparition du terme « résistance de rayonnement ».

Nous verrons par la suite que l'usage des bobines auxiliaires présente des frontières impossibles à transgresser

Ce que l'on peut attendre des capacités terminales

Signalons que les dispositifs établissant des capacités terminales aux extrémités de l'antenne risquent toujours d'alourdir ces dernières, fait susceptible de se montrer gênant lorsque l'aérien est du genre rotatif, avec des éléments uniquement maintenus en leur milieu. Ce point ne devra pas se trouver perdu de vue.

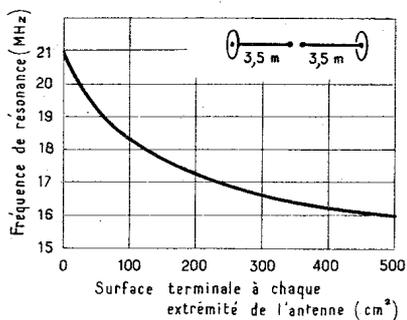


Fig. 6 – Effet produit par diverses surfaces terminales sur la fréquence de résonance d'un dipôle 2x3,5 m

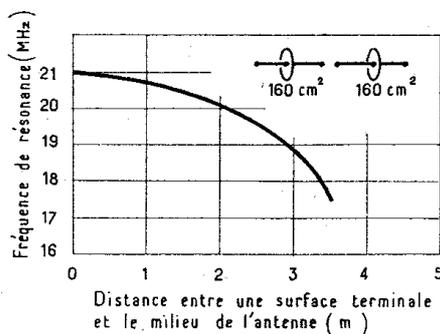


Fig. 7 – variation de la fréquence de résonance d'un dipôle 2x3,5 m quand on déplace, le long de ses deux moitiés, deux surfaces conductrices de 180 cm²

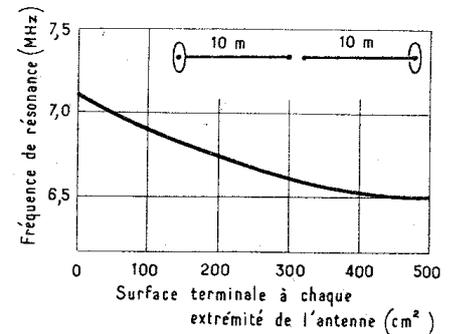


Fig. 8 – Effet de surfaces terminales sur un dipôle de 2x10 m.

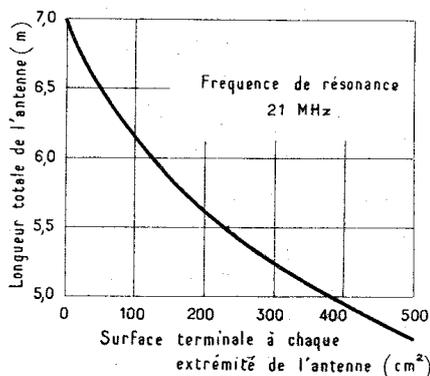


Fig. 9 – Cette courbe montre le raccourcissement possible d'une antenne résonnant sur 21 Mhz, en fonction des surfaces terminales fixées à ses extrémités.

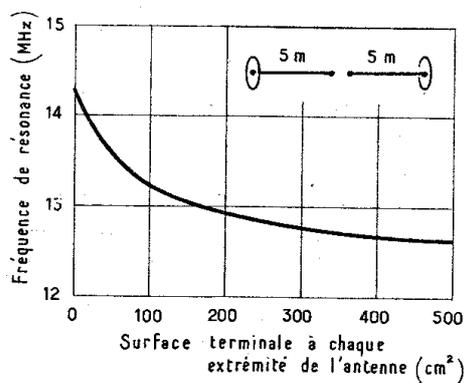


Fig. 10 – Effet de surfaces terminales sur un dipôle de 2x5 m.

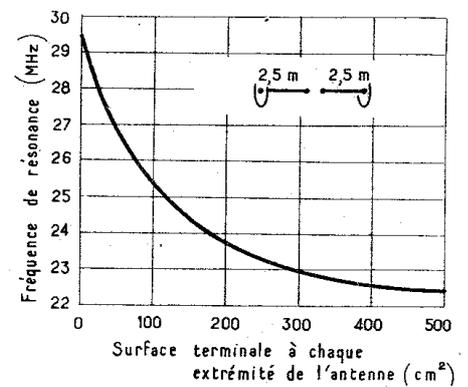


Fig. 11 – Effet de surfaces terminales sur un dipôle de 2x2,5 m.

Les figures 6 à 11 montrent le résultat d'essais et mesures ont été effectuées sur différentes antennes. Considérons tout d'abord la bande 21 MHz. Les essais furent réalisés sur une antenne dipôle de 7 mètres de long. Au point d'alimentation (centre) fut intercalé un impédancemètre d'antenne, alimenté en H.F. par la sonde d'un oscillateur «grid dip (ou bien entendu un analyseur d'antenne)

En fixant aux extrémités de l'antenne des plaques métalliques de surface croissante, il fut relevé la courbe de la figure 6, représentant l'abaissement de la fréquence de résonance en fonction de l'augmentation des « surfaces terminales ». Cette courbe présente un maximum de pente en son début, de sorte qu'à partir d'un certain point, l'accroissement des « surfaces terminales » perd beaucoup de son intérêt (tout en introduisant des problèmes mécaniques gênants).

Ces surfaces furent également déplacées au long de chaque moitié d'antenne (tout en maintenant leur symétrie, cela va de soi), et la courbe de la figure 7 fut obtenue, ne laissant aucun doute sur le fait que les capacités terminales méritent bien leur nom, puisque c'est lorsqu'elles sont connectées aux extrémités de l'antenne que leur effet est le plus important.

Au passage, mentionnons l'essai de capacités terminales sur une antenne de deux fois 10 mètres. La courbe de la figure 8 résume les résultats des mesures et il en ressort que l'effet des dites capacités s'y révèle beaucoup moins brutal que pour l'antenne travaillant sur 21 MHz.

La courbe de la figure 9, définit, pour une fréquence constante de 21 MHz, le raccourcissement de la longueur totale de l'antenne, selon les surfaces conductrices connectées à ses extrémités.

Il faut préciser qu'il n'est pas indispensable que cette « surface terminale » soit une surface plane. De même qu'à l'égard des ondes courtes, de simples grillages se montrent de parfaits réflecteurs, il est possible d'ajouter (même assez largement) ces surfaces. On leur a parfois donné une forme « en roue de bicyclette », c'est-à-dire en les limitant à quelques conducteurs disposés selon les rayons d'un cercle.

Les figures 10 et 11 précisent respectivement l'action des capacités terminales sur des antennes de 2 x 5 m et 2 x 2,50 m. D'autre part, à titre documentaire, ce dernier aérien vibrant seul sur 29,4 MHz, soit une longueur d'onde de 10,20 m, nous déduisons de la figure 11 que deux « surfaces terminales » de 200 cm² portent la fréquence à 23,6 MHz, soit une longueur d'onde de 12,70 m. L'accroissement de longueur d'onde de 12,70 - 10,20 = 2,50 m correspond à 1,25 m pour la demi-onde, c'est-à-dire, en tenant compte du coefficient de correction (de l'ordre de - 5 %), à 1,18 m de fil; autrement dit, ces surfaces terminales de 200 cm² auront représenté 0,59 m de conducteur, à chaque moitié de l'antenne.

Cet exemple montre que deux surfaces terminales de dimensions fort acceptables sont susceptibles d'intervenir dans une proportion de 20 à 25 % sur le raccourcissement de l'antenne.

L'examen comparatif des figures 6, 8, 10 et 11 confirmera que l'action des capacités terminales prend une importance d'autant plus grande que l'antenne demi-onde est prévue pour une fréquence plus élevée.

Avant de clore ce paragraphe, voyons encore l'un de ses corollaires d'ordre pratique : comment doit-on arrêter le fil dans les isolateurs terminaux d'une antenne accordée ?

Bien entendu, la solidité de l'attache est chose primordiale; il n'existe pas d'autre moyen que de passer le fil dans le trou de l'isolateur, de le ramener en arrière et de faire quelques tours de son extrémité libre autour du fil arrivant au dit isolateur (fig. 12). Tant que le fil est neuf, un bon contact existe en C et la torsade, ainsi que la boucle, forment une sorte de petite surface terminale contribuant au classique «effet de bouts » de l'antenne, dont on tient compte notamment par la non moins classique réduction d'environ 5 % de la longueur du fil par rapport à la demi-longueur d'onde.

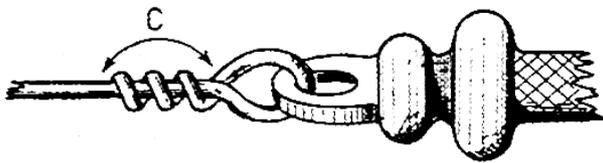


Fig. 12 – Il est sage de souder tous les arrêts de fils d'antenne car l'oxydation peut faire disparaître progressivement le contact en C

Toutefois, l'oxydation du fil risque, au cours du temps, de rendre le contact précaire en C, la boucle tendant à se retrouver incorporée dans la longueur du fil, comme si celui-ci était isolé. Sans doute cette modification est-elle petite, mais elle peut ne pas se montrer négligeable lorsque l'antenne est courte. On prendra donc toujours le soin de faire une soudure au point C, sur le fil neuf.

Ce que l'on peut attendre des inductances

Nous avons vu que les capacités ou surfaces terminales offraient un maximum d'efficacité quand elles se trouvaient placées aux extrémités de l'antenne.

Inversement, la place de choix pour l'inductance se situe au ventre d'intensité.

Certains réalisateurs ont parfois décrit des aériens munis de bobines, celles-ci étant placées, soit aux deux bouts d'un dipôle, soit à l'extrémité libre d'une antenne verticale $\lambda/4$. Il s'agissait, sans nul doute, d'empirisme, ces accessoires n'intervenant, surtout en ces points, que par leur apport de capacité terminale.

Afin de dégager quelques enseignements pratiques de l'insertion d'éléments inductifs dans une antenne, nous avons repris notre impédancemètre associé à la sonde de « grid dip ». Tout d'abord, branchant aux bornes Z_x du premier deux fils de 2,50 m, nous avons, après que la classique vibration en $\lambda/2$ des fils rectilignes eût été retrouvée, enroulé les conducteurs sous la forme d'une hélice (ou, si l'on préfère, d'un boudin) de 35 mm de diamètre.

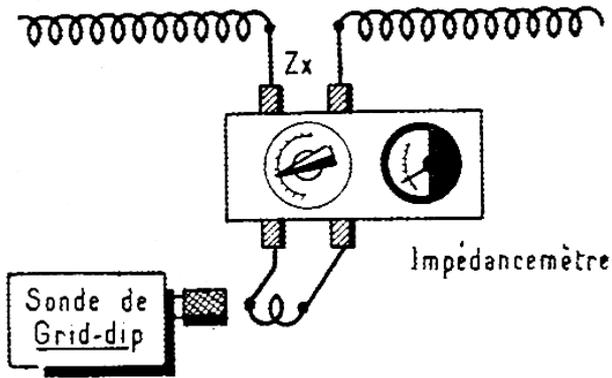


Fig. 13 – Essais sur un dipôle 2 x 2,5 m, dont les deux moitiés sont enroulées en hélice. L'impédancemètre et l'oscillateur grid dip » fournissent les mesures de la fréquence de résonance et de l'impédance au milieu du système.

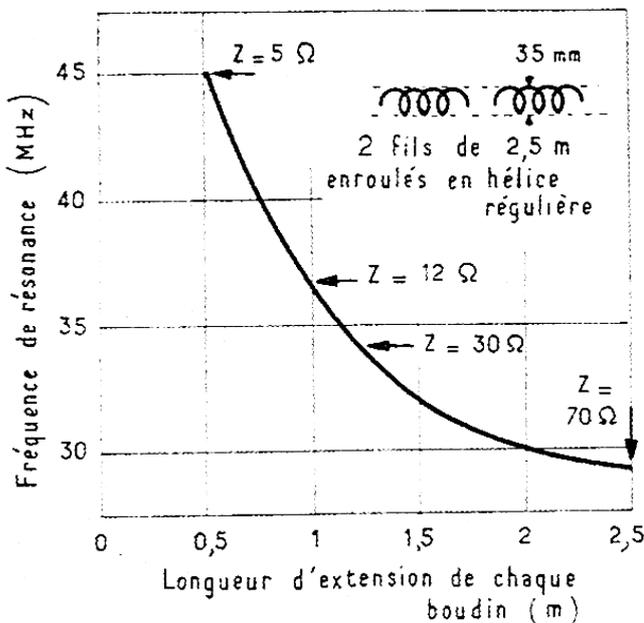


Fig. 14 – Les deux fils rectilignes de 2,5 m d'un dipôle sont enroulés en une hélice (diamètre 35 mm) que l'on comprime progressivement. Cette courbe montre l'élévation de la fréquence de résonance, e, fonction de la longueur occupée par chacun des deux boudins.

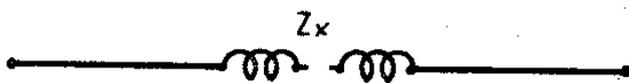


Fig. 15 – Un dipôle peut encore être raccourci grâce à l'interception de bobines auprès de sa coupure médiane.

parler de lignes, car il n'y existe aucune répartition symétrique d'ondes stationnaires et des phénomènes complexes s'introduisent par suite de la capacité entre les fils se faisant vis-à-vis. D'autre part, si l'on pousse ce repliage de chaque moitié d'antenne jusqu'au cas limite de la figure 17 (sans utilité pratique, puisque le rayonnement serait annulé), on peut admettre que chacune des dites moitiés prendrait l'aspect d'une ligne quart d'onde. Partant du dipôle rectiligne de 2 x 2,50 mètres vibrant en $\lambda/2$ sur une onde de l'ordre de 10 mètres, on arriverait ainsi à deux lignes $\lambda/4$ de 1,25 m de long, vibrant sur une onde voisine de 5 m ... soit sur une fréquence double de la précédente (toutes réserves faites à l'égard des perturbations que peut provoquer le branchement de l'impédancemètre aux points de haute impédance apparaissant en Z_x)

Le montage étant celui de la figure 13, les deux boudins (maintenus à égalité, cela va de soi), furent plus ou moins étendus. Cela nous permit de relever la courbe de la figure 14 et cette dernière révèle qu'un fil enroulé en une hélice régulière, résonne selon un compromis entre sa longueur véritable et la longueur occupée par l'hélice. On voit notamment que si le doublet rectiligne 2 x 2,50 m vibre bien (en $\lambda/2$) sur une onde proche de 10 mètres, le même fil disposé en deux hélices d'un mètre d'extension, ne vibre pas (en $\lambda/2$) sur une onde de 4 mètres, ainsi que le ferait un doublet rectiligne 2 x 1 m, mais sur 37 MHz, soit une longueur d'onde de 8,10 m, intermédiaire entre 4 et 10 mètres!

La figure 14, indique les valeurs d'impédance au milieu du système, notées au cours des essais. L'abaissement de l'impédance provient, c'est évident, de la perte progressive des propriétés rayonnantes de l'antenne (autrement dit de la diminution de la résistance de rayonnement) à mesure que l'on « comprime » l'hélice.

En dehors de la disposition du conducteur en hélice régulière d'un bout à l'autre du doublet, il existe l'insertion de bobines au milieu d'un dipôle rectiligne. Ce procédé présente une certaine efficacité, mais il présente aussi un gros risque, dont nos lecteurs vont juger.

Partant des deux fils rectilignes de 2,50 m (fréquence de résonance 29,4 MHz, en $\lambda/2$), nous y avons formé une spire (diamètre 35 mm), de part et d'autre de la coupure médiane (toujours reliée aux bornes Z_x de l'impédancemètre). La fréquence de résonance est passée à 26,5 MHz. Avec 2, puis 3 spires, elle descendait successivement à 25, puis 24 MHz, l'impédance se tenant alors vers 65 Ω.

Avec deux fois 5 spires jointives (le fil étant isolé), un fait singulier survenait : la fréquence de résonance s'élevait brusquement à 41 MHz et l'impédance devenait supérieure à 500 Ω. Avec deux fois 10 spires, on avait 32 MHz et plus de 1000 Ω ! Que fallait-il en déduire ? Très simplement qu'à partir d'une certaine valeur d'inductance, la bobine prend le pas sur l'élément rectiligne; c'est alors sa fréquence de résonance que l'on mesure, en même temps que l'impédance de la sorte de « bouchon » qu'elle forme.

On comprend donc avec quelle prudence il faudra faire usage du procédé d'insertion de bobines au milieu d'une antenne doublet, ou à la base d'une antenne quart d'onde, et de combien de contrôles il sera sage d'entourer l'opération.

Dans un même ordre d'idées, il est permis de remplacer chacune des bobines par un pliage en « épingle à cheveux », de part et d'autre du milieu de l'antenne (fig. 16). On ne peut

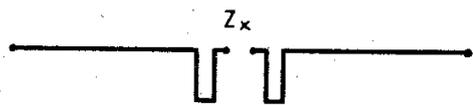


Fig. 16 – les bobines sont susceptibles d’êtres remplacées par des «épingles à cheveux»

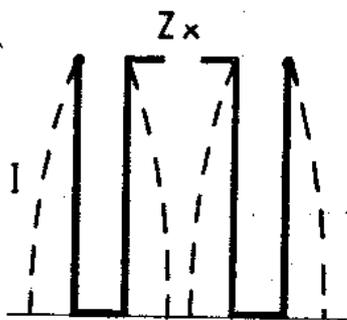


Fig. 17 – Sans toutefois en venir au cas de deux lignes $\lambda/4$!!

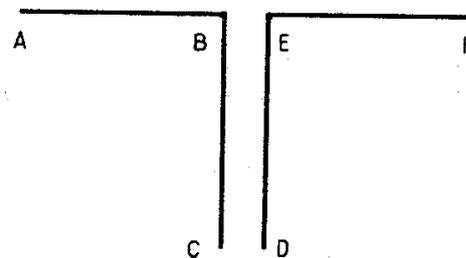


Fig. 18 – Si on manque de place, l’antenne Lévy raccourcie apportera la meilleur des solutions au trafic sur le bande des 3,5 MHz, ainsi qu’on le verra dans le texte.

Cela explique, en outre, pourquoi la mesure de l’impédance en Z_x est susceptible de donner, en pareil cas, une valeur fort élevée.

L’efficacité d’une self dépend de sa position par rapport au régime d’ondes stationnaires sur le fil, elle est maximale au ventre d’intensité. On serait tenté de placer la bobine au milieu du dipôle ou à la base d’une verticale ou d’un long fil, et cela se fait couramment. Malheureusement, l’intensité du courant HF chute considérablement après qu’il ait traversé une bobine et un compromis peut être trouvé, en insérant chaque bobine environ au milieu de son demi-brin rayonnant, sans perdre de vue, néanmoins, que pour obtenir un allongement égal, son inductance devra, à cet emplacement, être plus grande qu’elle ne le serait si elle était près du centre du dipôle.

Mais il n’empêche que ce procédé demeure d’une application pratique beaucoup plus délicate et plus rapidement limitée que celui de la capacité terminale; il ne devra jamais être mis en oeuvre sans que l’on dispose des moyens de contrôle nécessaires (impédancemètre d’antenne et « grid-dip » comme source de H.F.), ni sans que l’on pratique des vérifications et mesures bien ordonnées.

On choisi le bobinage qui a le maximum d’inductance pour une longueur de fil minimale : la self « carrée », définie par des dimensions voisines pour son diamètre et sa longueur. Pour éviter toute possibilité de résonance, à la manière du circuit bouchon d’une trappe, on réduit la capacité répartie en ne bobinant pas en spires jointives.

Le tableau ci-dessous donne, en fonction de L, longueur réelle du dipôle – en mètres, la valeur Y – en mm, commune au diamètre et à la longueur de chaque bobine.

L (en m)	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Y (en mm)	153	143	134	128	123	115	110	103	97

Ces données conduisent à une résonance voisine de celle d’une demi-onde naturelle, sur la bande des 80 m. mais l’impédance, au centre du doublet raccourci est toujours inférieure à celle du doublet naturel.

Le cas de la bande 3,5 MHz

L’émission sur la bande 3,5 MHz pose souvent un problème, car il n’est pas fréquent de disposer d’un espace suffisant pour tendre un brin rayonnant demi-onde de 40 m de long.

L’excitation en Marconi d’une antenne quelconque, c’est-à-dire en vibration quart d’onde, fait intervenir une prise de terre dans le trajet des courants H.F. Il en résulte, dans la majeure partie des cas, des « échappées » de H.F. empruntant les voies les plus diverses pour provoquer des brouillages chez les auditeurs de radiodiffusion et téléspectateurs voisins, d’autant plus que l’antenne rayonne alors depuis sa sortie de l’émetteur, gaspillant toute l’énergie H.F. la quittant dans sa partie basse, non dégagée et, de plus, une puissance est perdue dans la résistance de prise de terre, obligatoire pour ce genre d’antenne.

En dehors de cette formule d’antenne Marconi, simple en apparence, mais peu intéressante dans le fond, il reste uniquement celle de l’antenne Lévy raccourcie, celle-ci n’offrant que des avantages.

Le rendement de l’antenne Lévy raccourcie ne commençant à baisser que lorsque la longueur de la partie rayonnante devient inférieure au quart de la longueur d’onde, il faudra pouvoir installer au moins un fil de 20 mètres, coupé en son milieu (fig. 18).

Si l’espace disponible impose un raccourcissement draconien, il est possible d’associer selfs d’allongement et capacités terminales, surtout lorsque l’espace disponible est très restreint, et l’alimentation de toute antenne symétrique peut se faire suivant le mode « lévy », ce qui permet de ne pas trop s’occuper de la fréquence de résonance naturelle de l’antenne.

Un exemple est donné fig. 19, ou les capacités terminales sont obtenues par deux fils obliques de même longueur et perpendiculaire au brin rayonnant.

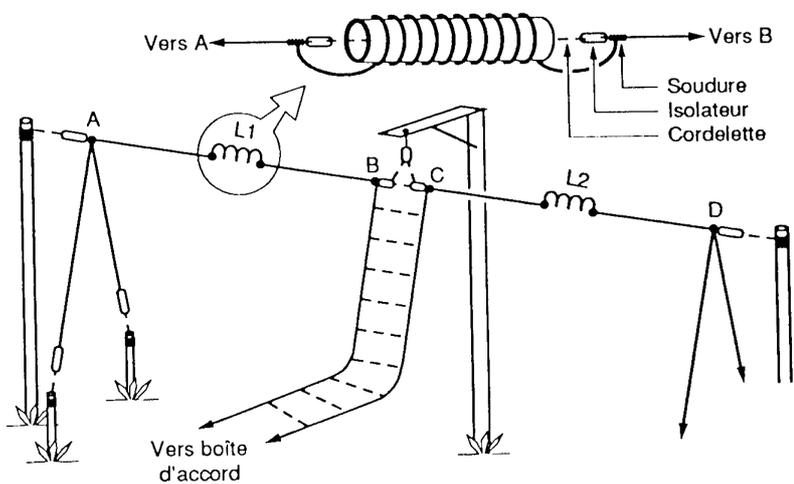


Fig. 19 – Lévy avec selfs et capacités terminales.

Les inductances ne sont pas critiques, il importe seulement que les bobines soient semblables, et insérées à la même distance des isolateurs terminaux.

Dans le cas d'une installation extérieure, il est bien évident que les bobines doivent être protégées des intempéries en les installant dans un tube protecteur.

Alimentée par une ligne à bifilaire, son accord se fera à la base par un circuit d'accord parallèle ou série à l'aide d'un coupleur pour antenne Lévy (figure 20)

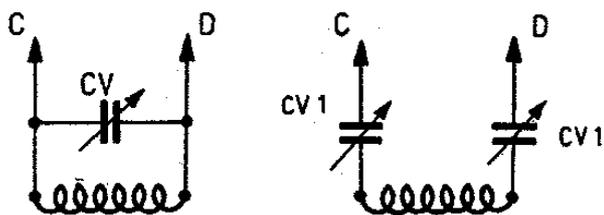


Fig. 20 – Plusieurs modes de couplage de cette antenne à l'émetteur sont à choisir selon l'impédance au point d'alimentation (ne sont représentés ici que le principe des circuits d'accord d'antenne d'un coupleur utilisant le principe du Mac Coy).

Le couplage de l'antenne Lévy est abordé sur les sites :

<http://bts.uba.be>

<http://users.skynet.be/on5hq>

A propos de fils parallèles

Au passage, nous remarquerons toute la différence qui existe entre les feeders parallèles d'une antenne Lévy (fig. 18) et les « épingles à cheveux » que nous figurions en 16 et 17. En effet, dans le premier cas, les ondes stationnaires présentent toujours une répartition symétrique de leurs ventres et noeuds, en opposition de phase, sur les fils parallèles. Si cette ligne accordée est aussi une sorte d'« épingle à cheveux », il y existe un équilibre annulant son rayonnement, et si on l'allonge, on y trouvera de nouveaux ventres et noeuds d'intensité sans que ceux-ci cessent d'être symétriques.

Par contre, sur les « épingles à cheveux » de la figure 16, aucune symétrie dans la distribution des ondes stationnaires ne se produit sur les deux fils. Il s'agit donc d'un allongement de conducteur, sans plus, et nous avons vu ce que devient le comportement de l'« épingle à cheveux » dans le cas de la figure 17 !

Dans l'antenne Lévy, les feeders sont, en somme, une « épingle à cheveux » unique, donc toujours symétrique et capable de compléter la longueur qui manque à la partie rayonnante, sans que l'on ait à se soucier de ce qui peut exister en B et E, en matière de répartition d'ondes stationnaires.

Ultimes réflexions et conclusion

Il est permis de se demander jusqu'à quel point il est possible de raccourcir une antenne sans que le rendement de celle-ci s'en ressente de manière appréciable. En général, les qualités rayonnantes d'une antenne ont moins tendance à baisser lorsque l'on obtient le raccourcissement à l'aide de capacités terminales que si l'on use d'inductances placées au milieu d'un dipôle ou à la base d'une antenne $\lambda/4$.

Une antenne Lévy raccourcie de moitié par rapport à la demi-onde (par exemple, de 2 x 5 m de partie rayonnante, pour travailler sur 7 MHz), ne place pas son possesseur en état d'infériorité, même dans le trafic DX.

Dans un autre ordre d'idées, il y a des cas où l'antenne Lévy, raccourcie par rapport au doublet, est l'unique ressource en raison des restrictions de l'espace disponible. Or, cette unique ressource est loin d'être un pis-aller étant donné que ce type d'antenne demeure toujours accordable depuis son couplage à l'émetteur, ce qui peut fort bien lui conférer, même dans cette forme raccourcie, un rayonnement supérieur à celui de quelque autre antenne « taillée pour la bande » mais sans retouche d'accord accessible.

Cependant, l'établissement d'une antenne raccourcie, simple ou à plusieurs éléments, ne doit pas être uniquement fondé sur des calculs, les bases de ceux-ci se montrant souvent imprécises. Les mesures sont indispensables car, seules, elles donneront des résultats vrais. Pour les conduire à bien, il suffit d'un ,impédancemètre d'antenne et d'un oscillateur « grid dip » (ou d'un analyseur d'antenne) .

N.B. Cet article est inspiré de celui de F3LG paru dans la revue « Toute la radio » de décembre 1959 , ainsi que l'ouvrage de F9HJ : Les antennes bandes basses 160 – 30 m, et retravaillé par ON5HQ.