

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les antennes.

Comment recevoir l'énergie électromagnétique ?

Il existe deux solutions :

Récupération du champ électrique

Si l'antenne émission est verticale, il suffit de tendre un conducteur parallèle à celui-ci, donc vertical et de longueur $\lambda/2$. Les électrons soumis au champ \vec{E} seront soumis à une force $\vec{F} = -e\vec{E}$ vont provoquer au centre de cette antenne réception un courant électrique de même fréquence que celle de l'émetteur. C'est la solution adoptée en RC.

Récupération du champ magnétique

Il suffit de présenter une (ou plusieurs) spire(s) dans laquelle (lesquelles) il y aura un courant induit. Cette solution est employée dans les cadre ferrites de récepteur PO/GO de récepteurs de radiodiffusion AM. Cette solution n'est pas intéressante en RC en raison de l'encombrement de la spire, sauf en goniométrie pour la recherche de modèles égarés et équipés d'une balise.

En réception, notre antenne $\lambda/2$ convient donc très bien pour les applications mobiles. Mais pour donner le meilleur d'elle-même, il faut qu'elle soit parallèle à l'antenne émission, ce qui est très rarement le cas sur nos modèles.

Antenne

«monopôle $\lambda/4$ »

Alimenter l'antenne $\lambda/2$ au centre n'est pas toujours facile, donc il existe une astuce qui consiste à remplacer le brin inférieur $\lambda/4$ par un plan de masse (en théorie de dimension infinies) lequel est capable de remplacer le brin manquant (Voir fig. 19). Cette antenne «monopôle $\lambda/4$ » est aussi appelée «antenne fouet» ou «verticale au sol». Ce plan de masse est parfois appelé «contreponds d'antenne». Dans nos émetteurs RC, ce plan de masse est constitué :

- Par le boîtier métallique de l'émetteur quand celui-ci n'est pas en vulgaire matière plastique. Heureusement, certains fabricants sérieux ont pris soin de peindre l'intérieur du boîtier à l'aide de produit conducteur.
- Un peu par le pilote lui-même, puisque le corps est conducteur d'électricité.
- Par le sol qui n'est pas très loin.

Pour le récepteur, se sont la masse du circuit imprimé (petites dimensions) et les connexions électriques vers l'accus et les servos qui fournissent le brin manquant. On comprend ainsi que tout allongement des fils allant aux servos (rallonges d'ailerons) puisse provoquer une réduction de portée par

- Modification des longueurs du contreponds donc de l'accord en fréquence
- Rayonnement important des parasites des servos qui polluent l'antenne et son contreponds.

Gérard Magret



visualisée en trait rouge. Cette représentation du courant met en évidence le rôle très important du plan de masse qui conditionnent le fonctionnement correct des deux monopôles $\lambda/4$. Elle sera utile pour examiner le raccourcissement du $\lambda/4$.

Remarque importante

L'antenne $\lambda/4$ utilisée en RC possède une directivité telle que si l'on pointe l'antenne vers le modèle l'énergie rayonnée est minimale : environ 100 fois moins en puissance.

Donc, en cas de problème, lever l'émetteur (dégagement maximum du sol) et orienter l'antenne perpendiculairement au modèle. Cela peut sauver un modèle en limite de portée (expérience vécue sur un avion dont l'antenne était sectionnée au ras du récepteur).

L'usage de ferrites près du récepteur sur les rallonges permet dans ce cas d'éliminer ce problème

Résumé des caractéristique de l'antenne «dipôle $\lambda/4$ »

- Longueur $l = \lambda/4$ avec $\lambda = c/F$
- Bande passante faible : 10 % de F
- Impédance d'entrée $R = 36 \text{ Ohm}$
- Excellent rendement, environ 90 %
- Directivité = «demi pomme»
- Gain par rapport à l'isotrope : $2 \times 1.64 = 3,28$

Ensemble RC avec antennes émission et réception monopôle $\lambda/4$

La fig. 19 représente en vert les diagrammes d'émission et de réception théoriques (répartition relative de l'énergie dans l'espace). En pratique, les creux sont un peu moins marqués. L'amplitude des courants dans les antennes (représentation simplifiée par rapport à la fig. 13) est

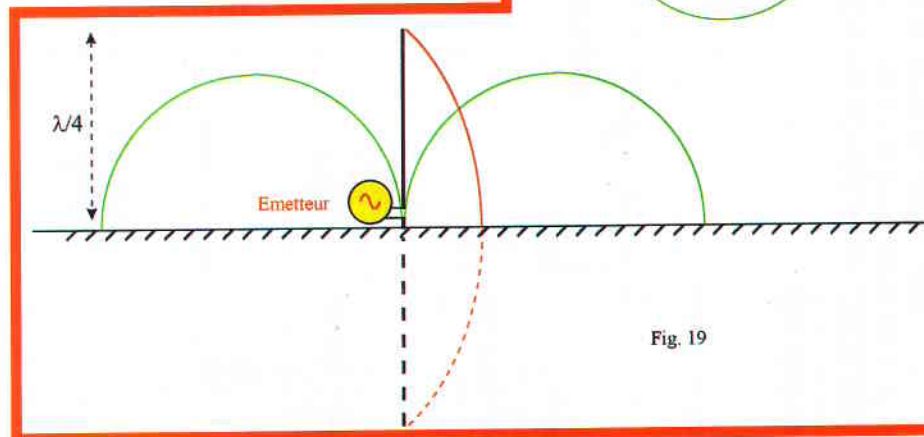
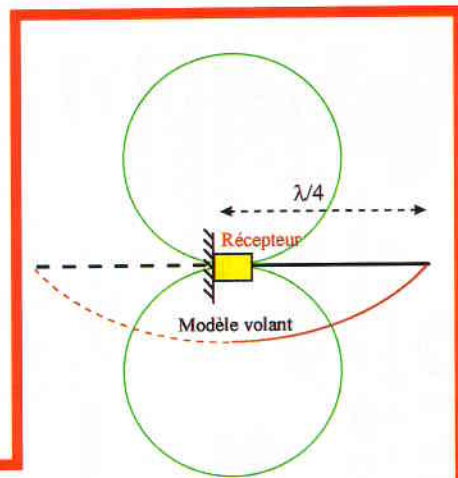


Fig. 19

Raccourcissement des antennes

Pour des raisons d'encombrement, il est parfois nécessaire de réduire la longueur du brin $\lambda/4$. Le plan de masse n'intervient pas, il s'adapte. Soit h cette nouvelle longueur.

Nous avons vu qu'à 41,100 MHz, le brin $\lambda/4$ doit mesurer impérativement 1,82 m. Or, visiblement, nos antennes émission (respectivement. réception) font 1,25 m (respectivement. 90 à 50 cm). Donc nous avons affaire à des antennes déjà raccourcies !

La théorie prévoit que si l'on coupe un monopôle $\lambda/4$ qui fait maintenant une longueur $h < \lambda/4$, et bien il ne va plus vouloir résonner (on le savait déjà) sur la fréquence $F = c/\lambda$. Son impédance réelle de 36 Ohms va baisser et présenter de plus une partie capacitive notée Z_c . Si l'on veut que ce brin $h < \lambda/4$ résonne sur la fréquence $F = c/\lambda$, il faut intercaler à la base une self de valeur $Z_l = Z_c$ pour contrer l'effet capacitif

Self à la base, notre brin va résonner mais la répartition en courant est moins favorable que pour le cas $\lambda/4$: une grande partie de courant (hélas, celle du ventre) est dissipée en chaleur dans la self qui ne rayonne quasiment pas. La conséquence est une réduction des performances de cette antenne raccourcie par rapport à l'antenne $\lambda/4$: diminution du gain (et du rendement). La conséquence directe est une réduction de portée. En première approximation, si on divise la longueur par r soit $h = 1/r \cdot \lambda/4$, alors la portée sera également divisée par r .

Ensemble RC avec antennes émission et réception

«monopôle $\lambda/4$ raccourcis»

La fig. 20 met en évidence la réduction des performances. La partie centrale du ventre de courant (où le rayonnement est maximum) est «engloutie» dans la self qui ne rayonne pas.

Par ailleurs, les diagrammes de rayonnement sont globalement plus «petits» qu'à la fig. 19, le gain a chuté. Il existe la possibilité de mettre la self au milieu du brin $\lambda/4$ là où le courant n'est pas maximum, donc d'améliorer le rendement de l'antenne. C'est le cas en 27 MHz où la self au centre de l'antenne télescopique est bien visible.

En 41 MHz, autant pour l'émetteur que pour le récepteur, la self à la base est intégrée dans le filtre d'antenne donc invisible directement.

En 72 MHz, on se rapproche quasiment du cas $\lambda/4$.

Dans le cas où l'on veut opérer un raccourcissement (supplémentaire) de l'antenne de réception, il faut s'attendre à une réduction inévitable de portée. Il faut en toute rigueur réaliser les deux opérations suivantes :

- 1) Intercaler entre l'entrée du récepteur et la base de l'antenne une self,
- 2) Reprendre les réglages de filtre d'antenne.

L : valeur de la self en Henry
 F : fréquence en Hertz
 h : longueur de l'antenne en mètre
 $\lambda = c/F$ en mètre : 7,29 m en 41 MHz,
 4,15 m en 72 MHz

cot = cotangente en degrés

Le tableau suivant permet d'envisager les cas usuels possibles en radiocommande

	F = 41 MHz $\lambda/4 = 1,82$ m	F = 72 MHz $\lambda/4 = 1,03$ m
h = 90 cm	1,6 μ H	0,2 μ H
h = 70 cm	2,2 μ H	0,5 μ H
h = 50 cm	3,4 μ H	0,9 μ H
h = 30 cm	5,8 μ H	1,8 μ H
h = 10 cm	18 μ H	5,7 μ H

Vues les valeurs relativement élevées de $\lambda/4$, nos antennes sont quasiment toutes raccourcies en 41 MHz (un peu moins ou très peu en 72 MHz). La self de la base est intégrée dans le filtre d'antenne. En théorie, il ne faut donc rajouter que la valeur supplémentaire de self.

Exemple : En 41 MHz, on possède un récepteur muni d'une antenne 90 cm que l'on veut raccourcir à 30 cm. Pour 90 cm, le filtre d'antenne fournit les 1,6 μ H. Pour 30 cm, il faut au total 5,8 μ H. La self à rajouter à la base doit fournir la différence soit 5,8 - 1,6 = 4,2 μ H

Le tableau fournit donc une base de départ pour l'expérimentation.

Reprise du filtre d'antenne

Munie de sa self à la base l'impédance de l'antenne est purement résistive. Mais de 36 ohms pour $\lambda/4$, elle va tendre vers 0 ohms pour des valeurs très courtes. Donc, pour optimiser le transfert d'énergie vers le récepteur, il faut reprendre le filtre d'antenne (généralement deux pots HF ajustables avec capacités fixes).

Cette méthode est en principe très bien détaillée par les concepteurs de montages RC. En résumé, on branche un oscilloscope sur le dernier étage analogique (fréquence intermédiaire 455 kHz en général), on éloigne l'émetteur en limite portée (antenne repliée ou émetteur chargé par une ampoule pour limiter les distances) pour ne pas saturer les amplis et on reprend les noyaux du filtre d'antenne pour avoir l'amplitude maximum.

Conclusion : Raccourcir une antenne réception est une opération quelque peu délicate. Elle s'accompagne d'une inévitable réduction de portée.

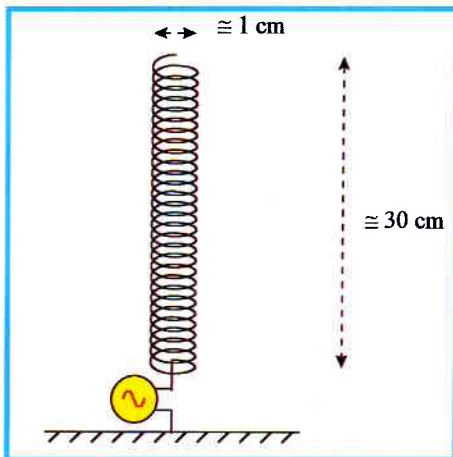
Antennes «courtes» pour émetteur

Certains fabricants proposent en accessoire une antenne dite «courte» qui fait environ 25 à 30 cm de long pour un diamètre 1 cm. Cette antenne est souple

et l'on peut apercevoir sous la gaine protection le fil enroulé en spirale.

Il s'agit de l'antenne dite «fouet spiralé». Moins encombrante que le «monopôle $\lambda/4$ », elle peut le remplacer avec toutefois une réduction des performances.

La fréquence de résonance dépend du diamètre et du nombre des spires, ainsi que de la nature du support isolant. L'expérience montre (en remplacement d'un monopôle $\lambda/4$ non raccourci) qu'une longueur totale de $\lambda/2$ enroulé en spirale à pas constant convient en première approche. Toutefois, le réglage de la résonance et l'adaptation à l'impédance de l'émetteur est affaire de spécialiste, surtout si elle remplace un «monopôle $\lambda/4$ raccourci».



Les pertes dans le conducteur sont relativement importantes, à cause de la longueur totale du fil, d'une part. D'autre part, en haute fréquence, le courant ne circule qu'à la surface des métaux (effet pelliculaire), donc la situation est défavorisée par rapport à l'antenne télescopique classique constituée de tubes.

Dans le cas de nos ensembles RC, la réduction de portée par rapport à une antenne télescopique classique est de 30 % environ.

Son usage est donc déconseillé :

- En milieu agressif : d'autres émetteurs sur des canaux voisins (vous serez défavorisé).
- Si vous risquez d'avoir besoin d'une grande portée : trou en vol de pente par exemple.

Peut-on calculer théoriquement la portée de nos ensembles RC ?

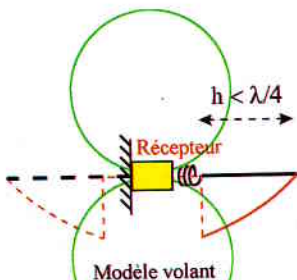
Il existe de nombreuses théories modélisant la propagation des ondes électromagnétiques. Deux équations relativement simples peuvent être appliquées dans le cas RC.

Portée sol/air

L'émetteur est normalement tenu au sol par le pilote, et le modèle en l'air. Il s'agit des conditions normales d'utilisation. La propagation est dégagée de tout obstacle : le récepteur ne reçoit que l'onde directe. Nous pouvons appliquer la formule de modélisation dite «Propagation en espace libre».

$$Pr = Pe \cdot Ge \cdot Gr \cdot \frac{1}{\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2}$$

Fig. 20



Calcul de la self à la base

Dans le cas des antennes fouets à fils fins (1 mm de diamètre), la valeur de la self pour le raccourcissement des $\lambda/4$ est donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{63}{F} \cot\left(360 \frac{h}{\lambda}\right)$$

Pr = puissance reçue par le récepteur en Watt
 Pe = puissance émission en Watt
 Ge = gain isotrope de l'antenne de l'émetteur (sans unité)
 Gr = gain isotrope de l'antenne du récepteur (sans unité)
 D = distance entre l'émetteur et le récepteur en mètres
 $\lambda = c/F$ en mètres

Les constructeurs d'ensembles de radiocommande ne sont guère locaux sur les performances radio. Aucune mention de la puissance HF émise, encore moins du gain des antennes, quelquefois le seuil de fonctionnement du récepteur (2 à 5 μ V). On peut toutefois prendre les valeurs moyennes d'un ensemble milieu de gamme :

Exemple
 Pe = 250 mW
 Pr = (5 μ V)² / 50 Ohms = 0.5 10⁻¹² W = 0,5 pW
 Ge = Gr = 1/10, valeur moyenne dans différentes directions, relativement faible due :
 - Aux mauvaises orientations relatives des antennes (elles devraient être parallèles)
 - Au raccourcissement des antennes: $h < \lambda/4$
 - Aux mauvais plans de masses (nécessaire pour le monopôle $\lambda/4$)
 Un rapide calcul nous donne
 D = 39 km en 41 MHz
 D = 22 km en 72 MHz

Ces valeurs en apparence élevés laissent penser que nous sommes optimistes sur les valeurs du gain des antennes : elles dépendent fortement de la qualité du matériel (constructeur) et du soins apporté à l'installation à bord du modèle

Portée sol/sol

L'émetteur et le modèle sont au sol. Dans cette configuration, le récepteur reçoit l'onde directe de l'émetteur mais aussi les ondes réfléchies par le sol. Lorsque le modèle est très bas, les ondes réfléchies sont en opposition de phase avec l'onde directe. Ces différentes ondes interfèrent entre elles au niveau de l'antenne réception. La conséquence est une réduction importante de la puissance reçue, donc de la portée par rapport au cas d'espace libre (portée sol/sol) vu précédemment.
 Nous pouvons appliquer la formule de modélisation dite «Terre plate» applicable en l'absence d'obstacles sur le sol et sur une terre parfaitement conductrice :

$$Pr = Pe \cdot Ge \cdot Gr \frac{(He \cdot Hr)^2}{D^4}$$

He = hauteur de l'antenne émission en mètres
 Hr = hauteur de l'antenne réception en mètres

Exemple : Avec les mêmes valeurs Pe = 0,25 W et Pr = 0,5.10⁻¹² W, si nous prenons He = Hr = 1 m, nous obtenons D = 265 m. en 41 ou 72 MHz. En pratique, la portée est un peu supérieure (typiquement 500 m) du fait que le sol n'est pas parfaitement conducteur (hypothèse de la formule)

Remarques importantes

Dans le cas Sol/Air, la puissance reçue par le récepteur varie en 1/D² et dans le cas Sol/Sol en 1/D⁴. Imaginons que vous atterrissez et que vous survolez relativement près un émetteur dont la fréquence est à 10 kHz de la vôtre. Le récepteur de votre modèle «voit» votre émetteur 10 fois plus loin donc le reçoit 10⁴ moins fort (modèle de terre plate). Si en plus votre antenne émission est dirigée vers le modèle, vous pouvez perdre jusqu'à 100 = 10² en puissance rayonnée par rapport à l'émetteur survolé. Au total, votre émetteur est reçu 106 fois moins fort que l'émetteur survolé sur le canal adjacent (10 kHz à côté). Et bien, dans ces conditions, l'émetteur à 10 kHz de votre fréquence va vous brouiller. En effet, le récepteur atteint ses limites de filtrage : rapport de puissance 10⁶ pour 10 kHz d'espacement. Les filtres parfaits n'existent pas !

On peut aussi imaginer un cas similaire de brouillage par intermodulation du troisième ordre (IM3) lorsque votre émetteur (41,100 par exemple) est loin et que votre récepteur survole deux émetteurs (41,060 et 41,080 ou 41,120 et 41,140 par exemple). Pour éviter ces deux types de brouillages ; les pilotes doivent rester groupés. De ce fait, votre récepteur n'ira pas «renifler» les autres émetteurs.

Quelles sont les portées réelles de nos ensembles RC ?

Pour obtenir les valeurs de portée dans diverses configurations de vol de nos modèles, nous avons fait les mesures sur le terrain avec deux ensembles RC «milieu de gamme», un en 41 MHz, l'autre en 72 MHz, de fabricants différents.
 Les émetteurs sont munis chacun de leur antenne télescopique standard.
 Les récepteurs sont à simple changement de fréquence.
 Chaque ensemble de réception est à bord d'un planeur 2 axes dont l'installation radio est classiquement soignée : l'antenne court au fond du fuselage dans une gaine collée, longeant les deux cordes à piano de transmission des commandes fixées sur le côté du fuselage (distance 2 à 5 cm). Cette configuration n'est pas idéale, mais on a pris soin d'éloigner au maximum l'antenne des cordes à piano métalliques. Ne pas descendre en dessous des distances mentionnées !
 Dans le tableau suivant, l'émetteur est toujours tenu normalement par le pilote au sol en évitant de pointer l'antenne vers le modèle, l'antenne réception est toujours horizontale, position de vol du modèle.

	41 MHz	72 MHz
1 Test sol/sol Emetteur tenu avec antenne connectée et rentrée : 1 seul brin rayonnant Récepteur à un 1 m de hauteur du sol	70 m	70 m
2 Test sol/sol Emetteur tenu avec antenne totalement déployée Récepteur à un 1 m de hauteur du sol	500 m	600 m
3 Atterrissage « trou » vol de pente Emetteur tenu sur le rebord de la pente, altitude 200 m, antenne totalement déployée Récepteur à un 1 m de haut du sol au trou	1,5 km	2,0 km
4 Vol normal portée sol/air Emetteur tenu antenne totalement déployée Récepteur en vol	Estimée à 3 ou 4 km	

Remarques

- Globalement, les deux ensembles RC, sur deux bandes différentes, ont les mêmes performances et il est parfaitement possible de les dépasser avec des récepteurs plus sensibles.
 - Les conditions du test 2 (un terrain parfaitement dégagé sur plus de 500 m) sont difficiles à obtenir. Eviter cependant habitations ou lignes électriques. Ici il y avait quelques buissons.
 - Les conditions du test 4 sont très difficiles à mettre en



œuvre. La valeur affichée est donc estimée après concertation.

- Si l'on rentre complètement l'antenne de l'émetteur (un seul brin), la puissance rayonnée est environ 100 fois plus faible qu'antenne complètement déployée. Pour l'anecdote, il est parfaitement possible de piloter un modèle (un planeur par sécurité) à 200 m d'altitude antenne émission rentrée (1 brin). Expérience vécue.
 Si l'on pointe l'antenne de l'émetteur vers le modèle, dans certaines configurations défavorables de l'antenne réception (horizontale et vue dans sont prolongement), il peut y avoir réduction d'un facteur 100 sur la puissance reçue. Réduction prévisible de la portée d'un facteur 10.

En conclusion : ce qu'il faut retenir

Avant le premier vol et régulièrement : essai de portée sol/sol

Le modèle est tenu horizontalement à 1 m de haut (par l'avant pour dégager l'antenne) par un aide ou posé sur un support non métallique, terrain dégagé. L'antenne de l'émetteur est connectée mais complètement repliée (1 seul brin rayonnant), pas d'émetteurs allumés sur les canaux voisins : on doit obtenir 50 à 80 m de portée.

L'émetteur

- La puissance radio est maximum perpendiculairement à l'axe de l'antenne : ne jamais la pointer vers le modèle en cas de difficultés. Sinon réduction de puissance jusqu'à 100 fois et réduction de portée jusqu'à 10 fois.

- Les antennes courtes (fouets spiralés) réduisent la portée de 30 % globalement. A n'utiliser que si vous êtes seul et que vous n'avez pas besoin de la portée maximum.

Le récepteur

- Dans tous les cas, l'antenne doit être bien tendue pour respecter sa longueur électrique.
 - Placée horizontalement : c'est la disposition la plus défavorable, donc éviter autant que possible les longs cheminement auprès de fils conducteurs (corde à piano métalliques ou longeron carbone).

- Ne montez pas l'antenne à l'intérieur d'un fuselage renforcé au carbone (cage de Faraday)

- Une disposition avec coude inférieur à 90 degré (extérieur du fuselage par exemple) évite les «trous»

de propagation lorsque les antennes émission et réception sont alignées et éloignées.

- Ne modifiez pas la longueur de votre antenne : la raccourcir électriquement est une opération délicate qui conduit inévitablement à une réduction de portée

- Eloignez au maximum le récepteur des moteurs électriques et variateurs et faire le test de portée moteur en marche

En groupe

- Les pilotes doivent rester groupés en un lieu commun de pilotage.

- Autrement dit, votre récepteur ne doit jamais survoler des émetteurs proches tout en étant éloigné de votre : risque de brouillage sur canaux adjacents ou par intermodulation