

« Homing Toutes Bandes »

Jean-Paul YONNET
F1LVT / ADRASEC 38
F1LVT@yahoo.fr
www.F1LVT.com

Le Homing est un des systèmes les plus efficaces pour faire de la radiogoniométrie. Il fonctionne avec un indicateur Gauche – Droite qui permet de connaître de quel côté provient l'émission. En recherchant le zéro central, on peut déterminer la direction de l'émetteur avec une excellente précision, de quelques degrés seulement. C'est un système bien adapté pour les bandes VHF et UHF, pour lesquelles on peut construire des appareils portables pour la recherche sur le terrain, ou des systèmes embarqués.

Le « Homing Toutes Bandes » fonctionne avec un récepteur associé (Photo 1). C'est la fréquence du récepteur qui détermine la fréquence de travail. Le « Homing Toutes Bandes » est un montage qui s'intercale entre le récepteur et l'antenne. Il envoie les signaux de commutation à l'antenne. Il traite les signaux reçus dans la modulation du récepteur, tout simplement par la prise écouteur jack 3,5 mm. Il pilote un indicateur « Gauche – Droite » qui permet de montrer la direction de l'émission avec une grande précision.



Photo 1 : « Homing Toutes Bandes » avec son récepteur AM séparé

Alors que les Homing du commerce ne peuvent être utilisés que pour les fréquences pour lesquelles ils ont été conçus, le « Homing Toutes Bandes » est d'un emploi beaucoup plus large, avec des performances remarquables. C'est un équipement indispensable pour la recherche des balises, en particulier pour les balises aviation sur 121,500 MHz.

Nous allons développer successivement le principe du « Homing Toutes Bandes », la différence avec le système TDOA [1], la construction des antennes Homing, la construction d'un Homing relativement simple, et enfin une version pilotée par microcontrôleur.

Tous les Homing que nous allons décrire fonctionnent avec un galvanomètre à zéro central pour l'indication Gauche - Droite. Ce type de galvanomètre est devenu très difficile à trouver de nos jours. C'est pour cela que nous avons développé un montage de remplacement, fonctionnant avec un afficheur 2 x 16 piloté par un microcontrôleur. Ce système est décrit dans l'article « Affichage LCD en remplacement d'un galvanomètre à zéro central -- Application au Homing » [2].

Quelques rappels sur le système « Homing »

C'est dans les années 70-80 que sont apparus les premiers Homing spécialement adaptés à la recherche des balises 121,500 MHz. Les « Happy Flyers » avaient mis au point un Homing basé sur un XR2211 qui fonctionnait avec un récepteur séparé. Il fallait sortir le signal juste à la sortie du démodulateur avant filtrage à l'intérieur du récepteur. C'était un montage pour expérimentateurs avertis car il nécessitait de modifier le récepteur et ajuster le niveau de réception.

La société L-Tronics a développé des Homing portables commerciaux adaptés à la recherche des balises de détresse (Photo 2 et 3). Ces appareils, appelés « Little L-Per », fonctionnent avec un récepteur VHF interne à 2 ou 4 fréquences pilotées par quartz. Ces « L-Per » était la référence dans les années 80-90 pour la recherche des balises de détresse aviation.



Photo 2 : Homing "Little L-Per" de L-Tronics (doc L-Tronics)

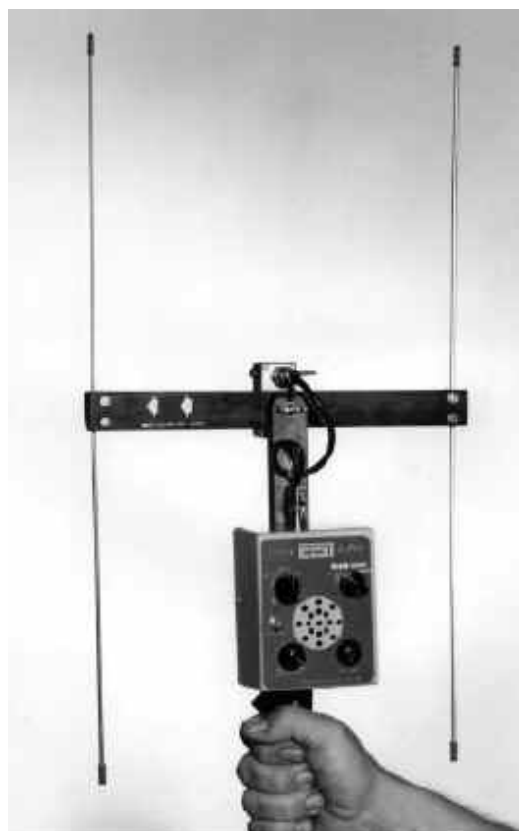


Photo 3 : Little L-Per avec une antenne 243 (doc. L-tronics)

Le « Homing Toutes Bandes » fonctionne sur le même principe, mais avec un récepteur AM externe : l'information est extraite de la BF du récepteur. La fréquence de travail est celle du récepteur externe [1]. Ceci permet de se caler sur n'importe quelle fréquence, d'où son nom de « Toutes Bandes ». Il se présente sous la forme d'un petit boîtier « Homing », un récepteur AM séparé et une antenne à 2 éléments. Vous vous calez sur la fréquence souhaitée, à condition bien évidemment de tailler l'antenne correctement (les antennes ont une bande passante relativement large, de l'ordre d'une octave). Avec le « Homing Toutes bandes », il est maintenant possible de faire facilement du Homing sur n'importe quelle fréquence VHF et UHF.

Dans le « Homing Toutes Bandes », le fait de travailler avec un récepteur extérieur au lieu d'un système intégré complexifie un peu le système. Le seul signal facilement accessible, c'est la sortie Haut-Parleur. Or cette sortie est corrigée en fréquence, puis filtrée pour ne garder que la bande passante utile, c'est-à-dire la BF entre 300 Hz et 3000 Hz. Dans un Homing tout intégré, comme les L-Per, c'est beaucoup plus simple : la BF n'est pas filtrée et on a directement accès au signal qui pilote l'indicateur Gauche - Droite. Dans notre montage, la commutation d'antenne à 200 Hz est située dans la bande qui est coupée par le récepteur (en dessous de 300 Hz), en particulier pour enlever les tonalités sub-audibles comme les CTCSS. Cependant il reste toujours une légère modulation d'amplitude à 200 Hz, atténuée et déphasée. C'est ce signal qui est détecté et traité, permettant de déterminer la direction de l'émetteur avec précision.

Homing et TDOA

Il existe deux systèmes qui se ressemblent beaucoup ; ils sont souvent appelés tous deux « Homing », mais ils fonctionnent de façon assez différente.

Le premier fonctionne en FM ; c'est le TDOA pour « Time Différence of Arrival ». Ces systèmes fonctionnent en commutant 2 antennes espacées d'à peu près d'un quart d'onde, à une fréquence de l'ordre de 500 Hz à 1 kHz, c'est-à-dire au milieu de la bande audible. En présence d'une porteuse, ou d'une émission continue, on entend clairement une tonalité à la fréquence de commutation. Cette tonalité disparaît quand les 2 antennes sont équidistantes. La mesure est effectuée par le déphasage des signaux. Pour que ce système fonctionne correctement, il faut un récepteur avec démodulation FM et avoir une émission avec une porteuse.

Notre montage -- tout comme les Homing « L-Tronics » -- fonctionne avec un récepteur en démodulation d'amplitude (AM et non en FM). L'antenne n'est pas la même que celle du TDOA, même si elle lui ressemble physiquement. Avec un Homing AM, on utilise une antenne directive, qui est commutée alternativement à gauche et à droite à environ 200 Hz. C'est l'amplitude des signaux reçus Gauche - Droite qui est comparée, et affichée sur un indicateur à zéro central. La direction est mesurée par la différence d'amplitude du signal. Il est très bien adapté à la recherche des balises de détresse car leur modulation est très hachée, sans porteuse.

Dans la littérature, on trouve des schémas de TDOA, mais les schémas d'Homing AM sont très rares. On peut citer par exemple les travaux de WB2HOL / Joe Leggio [2], qui a développé un système de type TDOA avec un oscillateur à NE555 et un montage en pont avec un CD4066. On trouve par exemple sur internet le montage TDOA de WA7ARK / Mike Mladejovsky [3] qui utilise un oscillateur suivi d'un diviseur avec un CD4017, et un démodulateur synchrone réalisé avec des interrupteurs intégrés dans un CD4066.

Principe du Homing

L'antenne est réalisée avec 2 dipôles espacés d'un quart de longueur d'onde. Ces 2 dipôles sont pilotés par un signal de commande qui commute 2 diodes PIN. La partie inférieure des dipôles reste toujours reliée à la masse, alors que les 2 brins supérieurs sont alternativement connectés au câble de sortie. Le diagramme de rayonnement de l'antenne présente une forme qui s'apparente à une cardioïde (Figure 1).

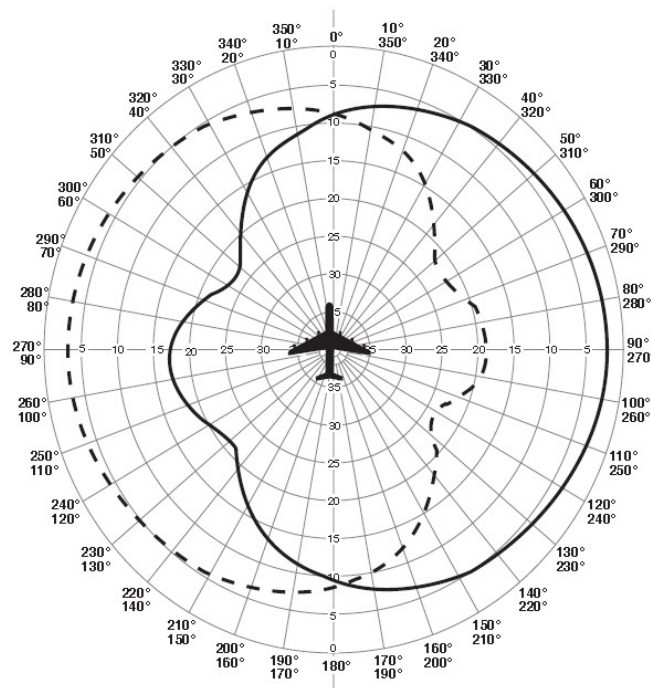


Figure 1 : Diagramme de rayonnement d'une antenne Homing (Sce : doc. Exelisinc)

Si l'émission est sur le côté, par exemple à droite sur la Figure 1, le gain en trait plein sera toujours plus élevé que le gain en trait pointillés, et donc le signal BF aura une amplitude plus élevée. Mais quand l'émission écoutée est dans l'axe, c'est-à-dire exactement devant l'antenne, les 2 gains sont identiques. C'est cette variation d'amplitude qui est détectée pour piloter l'indicateur Gauche – Droite.

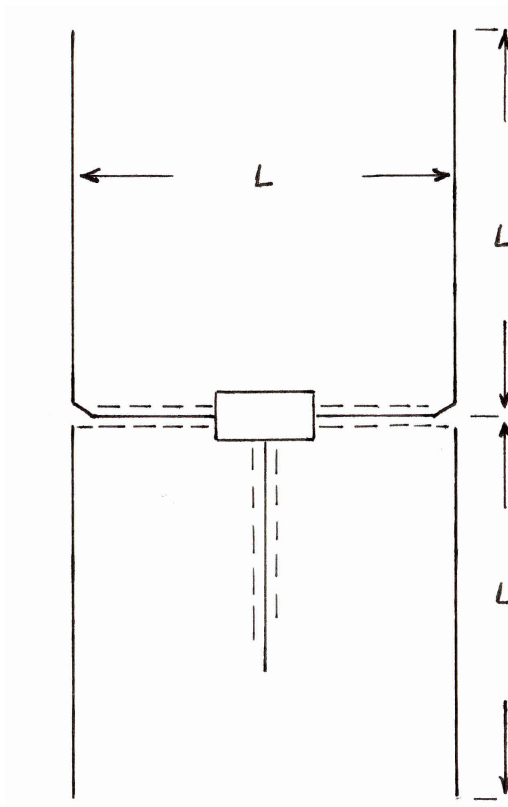
La commutation de l'antenne est effectuée à une fréquence de l'ordre de 200 Hz. La variation de gain tend à être réduite par la CAG, la Correction Automatique de Gain du récepteur AM. Mais la constante de temps de la CAG -- de l'ordre de 0,1 seconde -- n'a pas le temps d'interférer avec la variation d'amplitude donnée par le fonctionnement du Homing.

Antenne Homing



Photo 4 : Antenne Homing sur l'avant d'un hélicoptère

L'antenne homing est réalisée par 2 dipôles, espacés d'un quart de longueur d'onde (Photo 4). Pour la fréquence de 121,500 MHz, le quart d'onde fait 60 cm. Chaque dipôle fait 2 fois 60 cm, et l'espacement entre les dipôles est de 60 cm (Figure 2).



*Figure 2 : Antenne Homing AM. La longueur L est un quart d'onde.
Le câble coaxial entre le boîtier de commutation au centre et chaque dipôle est lui aussi de longueur L . Pour 121,500 MHz, $L = 60$ cm. Pour 430 MHz, $L = 17$ cm.*

Le boîtier de commutation est placé au milieu entre les dipôles, sur l'axe qui tient ces dipôles. A l'intérieur, la commutation est effectuée par 2 diodes PIN et 2 résistances de 470 Ω . Les signaux de commutation sont des créneaux d'amplitude d'environ $\pm 4V$ à vide, générant un courant dans la diode PIN passante et une tension inverse de l'ordre de 4V pour bloquer l'autre diode. Pour ces diodes PIN, nous utilisons des BA243 ou BA244, qui fonctionnent très bien en VHF-UHF (Figure 3).

La liaison entre les dipôles et le boîtier de commutation est effectuée par un petit câble coaxial, par exemple en RG174, dont la longueur fait aussi un quart d'onde c'est-à-dire 60 cm à 121,5 MHz. La moitié de cette longueur de câble est enroulée dans le boîtier de commutation.

Pour avoir le maximum de sensibilité, il faut tailler l'antenne sur la fréquence utilisée. Par exemple pour 121,5 MHz, le quart d'onde fait 60 cm (62 cm plus précisément). A vrai dire, cette antenne fonctionne mal au-dessus de cette fréquence, mais elle fonctionne encore très bien en dessous, à 60 MHz par exemple, avec une sensibilité un peu plus réduite bien évidemment, mais largement suffisante pour donner la bonne direction. De façon simplifiée, une antenne taillée pour la fréquence « f » peut être utilisée entre « f/2 » et « f ». Par exemple une antenne taillée pour 200 MHz fonctionne encore très bien à 100 MHz ou à 121,5 MHz (avec une moins bonne sensibilité), et fonctionne aussi sur toute la bande VHF radioamateur. Une antenne Homing taillée pour 243 MHz (seconde fréquence des balises aviation) fonctionne encore bien sur 121,5 MHz, avec ses 2 dipôles de 2x30 cm espacés de 30 cm ; cette antenne a un encombrement nettement plus réduit et elle est beaucoup plus facile à utiliser en portable qu'une antenne de 2 x 60 cm espacés de 60 cm. C'est pourquoi nous préférons tailler nos antennes VHF sur 243 MHz pour la recherche 121,5 MHz en inclinant les fouets (Figure 4).

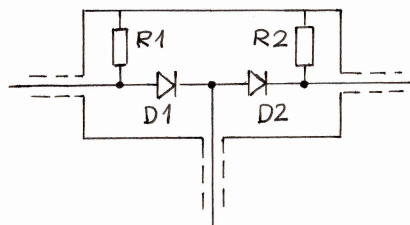


Figure 3 : Boîtier de commutation
D1, D2 : Diodes PIN BA243 ou 244 – R1, R2 : 470 Ω

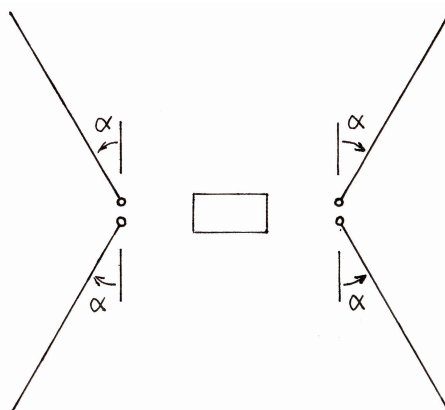
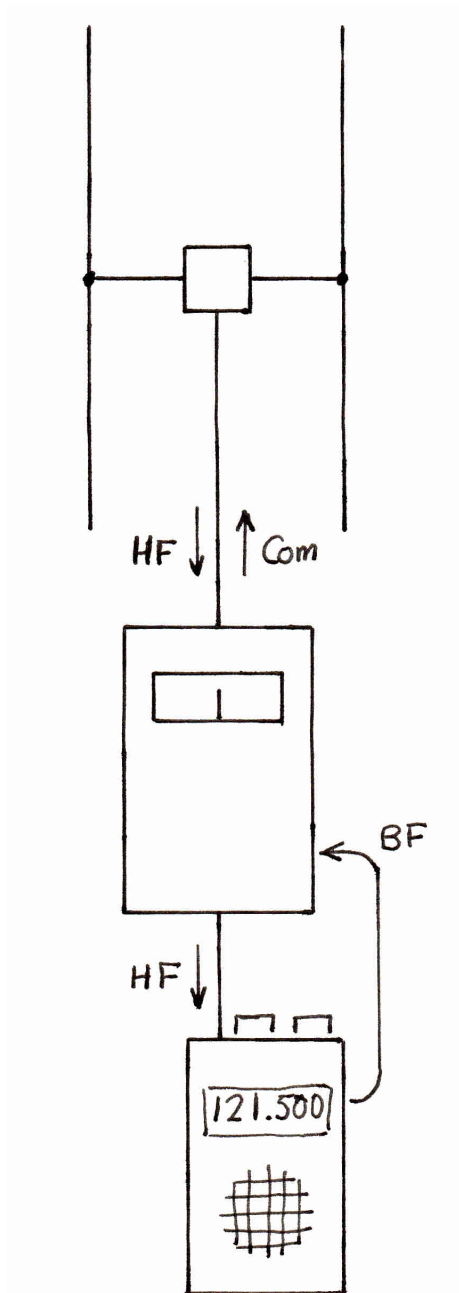


Figure 4 : Antenne Homing raccourcie avec les fouets inclinés d'un angle « α »

Quand on travaille sur la fréquence réelle de l'antenne, les 2 dipôles doivent être verticaux et bien parallèles. Mais quand on fait travailler l'antenne en-dessous de sa fréquence nominale, on peut incliner les fouets des antennes pour augmenter la sensibilité. Cette technique est utilisée sur les Homing L-Tronics récents. Un angle « α » autour de 30° fonctionne très bien (Figure 4). Le principal, c'est de bien conserver la symétrie Gauche – Droite de l'antenne aussi bonne que possible.

Le système complet du « Homing Toutes Bandes »



Antenne Homing

Le boîtier de commutation est au centre



HF : circulation des signaux VHF ou UHF reçus par l'antenne

Com : circulation des signaux de commutation de l'antenne

Boîtier « Homing Toutes Bandes » avec son indicateur Gauche - Droite



Récepteur AM calé sur la fréquence de fonctionnement VHF ou UHF. La BF du récepteur est renvoyée sur le boîtier « Homing Toutes Bandes »



Figure 5 : Les différents éléments du « Homing Toutes Bandes »

Le système complet du Homing est constitué par :

- l'antenne Homing avec ses 2 dipôles et son boîtier de commutation central,
- le récepteur AM calé sur la fréquence à recevoir,
- le boîtier Homing inséré entre l'antenne et le récepteur (Figure 5).

La liaison entre le boîtier Homing et l'antenne est effectuée par un câble coaxial 50 Ω . Ce câble transmet les signaux de commutation à 200 Hz pour l'antenne, et il conduit le signal VHF vers le boîtier Homing et le récepteur AM.

Entre le boîtier Homing et le récepteur, la liaison est effectuée par une connexion directe (ou un câble 50 Ω) pour le signal VHF. Le récepteur démodule en AM ce signal, et la BF est renvoyée vers le boîtier Homing.

Une petite astuce : dans notre système de Homing « Toutes Bandes », le boîtier est alimenté par une pile 9V. Pour éviter de vider la pile, il n'y a pas d'interrupteur sur ce boîtier Homing. La mise en route est effectuée automatiquement par l'introduction de la fiche jack BF du cordon de liaison avec le récepteur.

Pour le récepteur, nous avons utilisé un ICOM IC-Q7. Ses performances en réception sont très bonnes pour une taille aussi réduite. Son faible poids permet de le suspendre sous le boîtier Homing auquel il est relié par un adaptateur SMA – BNC.

Les Photos 5 à 14 montrent cet « Homing Toutes Bandes » avec 2 antennes VHF couvrant de 120 MHz à 250 MHz, ainsi qu'avec une antenne UHF 200 MHz – 450 MHz.

Et la suite ...

Cette partie décrit le principe du « Homing Toutes Bandes » et ses antennes. La construction du boîtier et de sa carte électronique sera développée dans le prochain article sur le « Homing Toutes Bandes ».

Pour bien comprendre les principes de fonctionnement du système Homing, il faut lire par exemple le chapitre 8 intitulé « Homing DF Units » de l'ouvrage de J. MOELL et T. CURLEE « Transmitter Hunting – Radio Direction Finding Simplified » [5].

Le « Homing Toutes Bandes » est un système de radiogoniométrie portable, très bien adapté pour faire de la radiogoniométrie sur le terrain. Il permet de localiser une émission avec une précision de quelques degrés seulement. Que cette émission soit modulée en FM ou en AM, voire sans porteuse, le Homing fonctionne toujours car il fonctionne par variation de niveau. C'est vraiment un système remarquable pour la recherche des balises ou des radiosondes.

Quelques photos de la construction d'un « Homing Toutes Bandes »

Les Photos suivantes montrent la construction d'un « Homing Toutes Bandes », équipé avec des antennes VHF 120 – 250 MHz, ou UHF 200 – 450 MHz



Photo 5 : « Homing Toutes Bandes » avec son antenne 200 MHz (120 MHz – 250 MHz)



Photo 6 : Deux exemples d'antenne Homing repliée, taillée pour 200 MHz (120 MHz – 250 MHz)



Photo 7 : L'antenne Homing VHF avec son boîtier de commutation pour 121 MHz. L'espace des dipôles est de 60 cm.

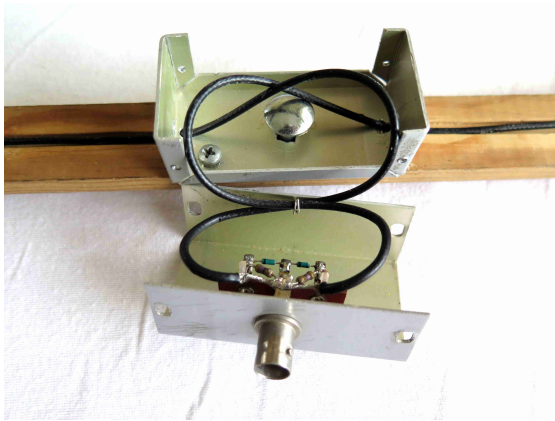


Photo 8 : Le boîtier de commutation d'une antenne Homing VHF. On peut voir les 2 diodes PIN et les 2 résistances soudées sur la prise BNC.

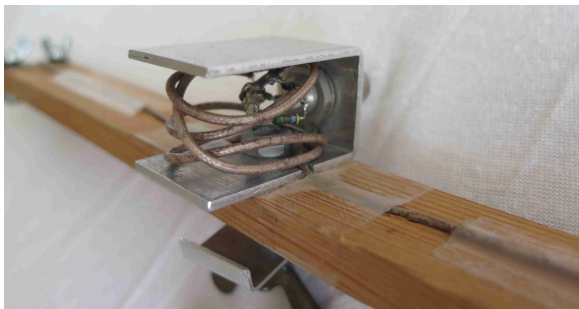


Photo 9 : Boîtier de commutation d'une autre construction d'antenne Homing VHF



Photo 10 : Fouets inclinés de 30° par rapport à la verticale pour améliorer la réponse en bas de bande

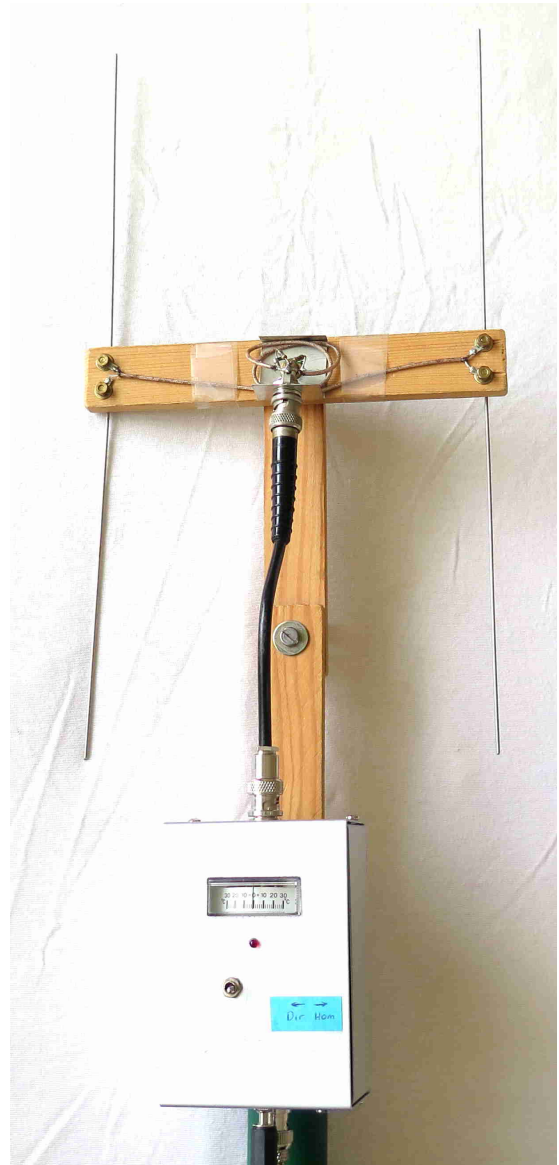


Photo 11 : Homing avec antenne 400 MHz. L'espacement des dipôles est de 17 cm.



Photo 12 : Boîtier de commutation de l'antenne 400 MHz



Photo 13 : Montage du support d'antenne (bras horizontal) sur le mât vertical.

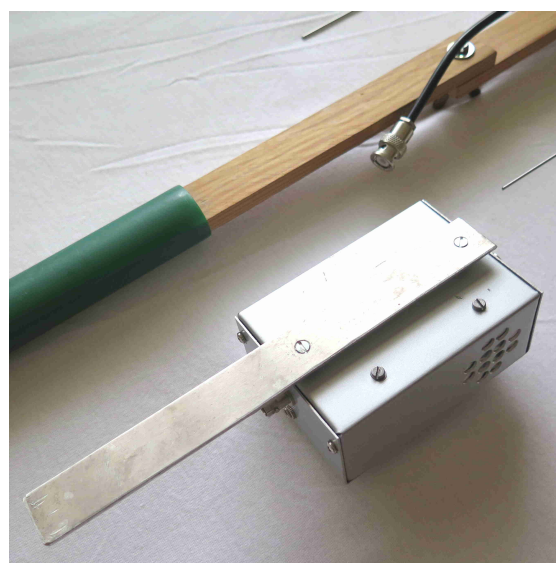


Photo 14 : Fixation arrière du boîtier du « Homing Toutes Bandes »

Références

[1] JPY / F1LVT « Le système TDOA (Time Difference Of Arrival) en radiogoniométrie et sa transformation en Homing »

<http://www.f1lvt.com/files/432-TDOA-Homing.89.pdf>

[2] JPY / F1LVT « Affichage LCD en remplacement d'un galvanomètre à zéro central -- Application au Homing »

<http://www.f1lvt.com/files/433-HomAffLCD.105.pdf>

[3] Joe Leggio / WB2HOL, "SIMPLE Time-Difference-Of-Arrival RDF"

<http://theleggios.net/wb2hol/projects/rdf/tdoa1.htm>

[4] Mike Mladejovsky, WA7ARK, « Switched Capacitor Matched Filter FM DF Circuit »
The Utah Amateur Radio Club: "Homing-type" DF antenna units

http://www.utaharc.org/rptr/ark_df_desc.html

[5] Joseph D. MOELL /K0OV, Thomas N. CURLEE : WB6UZZ, « Transmitter Hunting – Radio Direction Finding Simplified », Chapitre 8 intitulé « Homing DF Units », TAB Books Inc Editor, 1987, p 99 – 119.