

Quelques fonctionnements particuliers du Doppler et de ses antennes pilotées

Jean-Paul YONNET

F1LVT

F1LVT@yahoo.fr

www.F1LVT.com

Généralisation du fonctionnement

Quand vous regardez le boîtier du Doppler, comme celui du Doppler Montréal, vous voyez en fait un système capable de générer 4 signaux de pilotage à 500 Hz, de sortir le signal à 500 Hz dans la BF, d'analyser la corrélation entre ces signaux et de l'afficher sur une rose des vents. Avec le Doppler Montréal, vous êtes capables de faire le zéro de direction avec n'importe quel déphasage, ce qui n'est pas le cas avec d'autres Doppler. Le boîtier Doppler est en fait un « Générateur – Corrélateur ».

En fonctionnement en véritable Doppler, il faut un seul fouet actif et une démodulation FM des signaux reçus pour obtenir le signal modulé à 500 Hz. Le système Doppler, capable de mesurer une direction par variation de fréquence, c'est l'association du « Générateur – Corrélateur » avec une démodulation FM. Nous l'appellerons « Doppler FM ». C'est le fonctionnement de base.

Mais il existe d'autres types de fonctionnement avec ce « Générateur – Corrélateur », par exemple :

- avec plusieurs antennes actives,
- avec un récepteur en démodulation AM,
- avec une antenne à 5 fouets, etc.

Certains de ces types de fonctionnement ne sont pas du tout conventionnels ni respectueux du principe du « Doppler FM ».

Les dispositifs que nous allons décrire sont issus de réflexions sur le système Doppler, et de l'approfondissement de la compréhension du fonctionnement des antennes pilotées. Ils ont tous été testés avec le Doppler Montréal ; mais attention ils ne fonctionnent pas forcément avec d'autres types de Doppler qui ne sont pas aussi adaptatifs. Le fonctionnement a été validé mais pas toujours optimisé car c'est un travail important pour chaque cas.

Le boîtier Doppler Montréal utilisé pour les essais est le modèle standard, sans aucune modification. Les systèmes qui ont été adaptés à ce Doppler Montréal concernent les antennes pilotées et les modes de démodulation du récepteur associé.

Quelques rappels du fonctionnement

En fonctionnement normal, que nous appelons « Doppler FM », le boîtier du Doppler Montréal pilote les diodes PIN du commutateur par des signaux de niveau TTL, c'est-à-dire [0V – 5V]. Dans le fonctionnement de base, ces signaux sont à 5V pendant 1,5 secondes, et passent à 0V pendant 0,5 seconde. Le cycle fait 2 secondes ; la fréquence de base est à 500 Hz.

Ces signaux au niveau TTL sont ensuite amplifiés et inversés par un circuit de type MAX234 ou MAX235 (Figure 1).

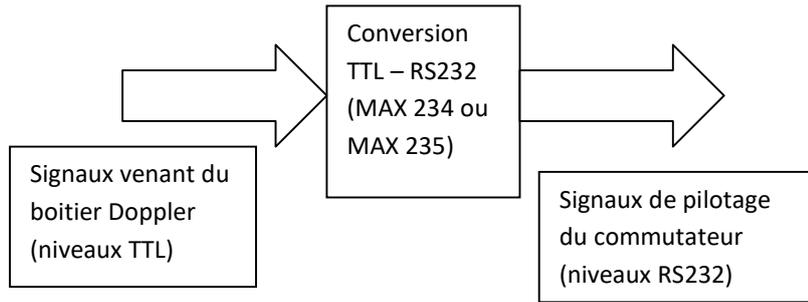


Figure 1 : Signaux de pilotage des antennes. Ces signaux sortent au niveau TTL du boîtier Doppler, puis ils sont amplifiés et inversés par un circuit de type MAX234 ou 235.

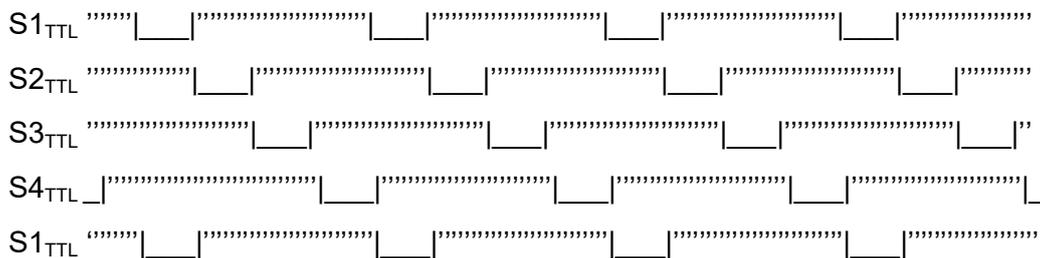


Figure 2 : Les signaux de commande des antennes en sortie du boîtier Doppler. C'est du niveau TTL, c'est-à-dire que le niveau haut est à 5V et le niveau bas à 0V.

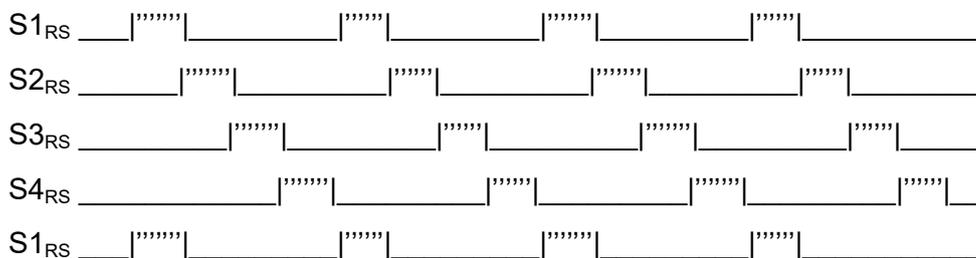


Figure 3 : Les signaux de commande des antennes. Ce sont les signaux TTL inversés et amplifiés par le circuit MAX 235 (ou équivalent) C'est du niveau RS232, c'est-à-dire que le niveau haut est à +~8V et le niveau bas est à -~8V. L'échelle verticale n'est pas respectée.

Les Figures 2 et 3 montrent les chronogrammes de ces signaux. En sortie du boîtier Doppler, les niveaux TTL ont une amplitude de 5V, ce sont S1_{TTL} à S4_{TTL}. Après l'étage d'amplification et d'inversion, ces niveaux ont une amplitude de +/- ~8V (niveaux RS232). Ce sont les signaux S1_{RS} à S4_{RS}.

Quand les signaux S_{RS} sont à +8V, les diodes PIN conduisent et le fouet correspondant est en fonctionnement. Quand les signaux S_{RS} sont à -8V, les diodes PIN sont bloquées et isolent le fouet correspondant. Dans le fonctionnement de base, on a un seul signal S_{RS} au niveau haut (+8V) et tous les autres sont au niveau bas (-8V) (Figure 4).

	Fouet 1	Fouet 2	Fouet 3	Fouet 4
Phase 1	1	0	0	0
Phase 2	0	1	0	0
Phase 3	0	0	1	0
Phase 4	0	0	0	1
Phase 1'	1	0	0	0

Figure 4 : Fonctionnement de base, avec un seul fouet en fonctionnement

Lors de la construction de l'antenne, il faut mettre les diodes PIN de telle façon qu'elles conduisent le signal d'un fouet tout en isolant le signal des 3 autres. C'est le fonctionnement de base du Doppler, appelé « Doppler FM ».

Si les diodes PIN sont inversées ou si les signaux TTL sont inversés, on a un fonctionnement à 3 fouets sur 4.

Première partie : Fonctionnement en démodulation FM

Fonctionnement en FM à 3 fouets sur 4

	Fouet 1	Fouet 2	Fouet 3	Fouet 4
Phase 1	0	1	1	1
Phase 2	1	0	1	1
Phase 3	1	1	0	1
Phase 4	1	1	1	0
Phase 1'	0	1	1	1

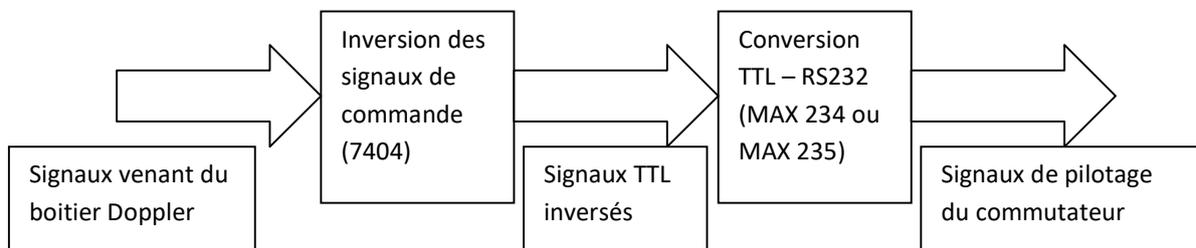


Figure 5 : Inversion des signaux de commande des diodes PIN en intercalant un circuit 7404

Le fonctionnement à 3 fouets sur 4 correspond à une antenne manquante qui tourne. Le signal reçu est un peu plus important car 3 fouets sont actifs au lieu d'1. Mais le bruit de commutation est aussi important qu'en vrai « Doppler FM ».

Cette inversion des signaux de commutation des diodes PIN peut être obtenue plus ou moins volontairement en inversant le sens des diodes PIN du commutateur lors de la construction, ou des signaux TTL du boîtier Doppler. On peut aussi inverser volontairement les niveaux TTL en intercalant un circuit de type 7404 par exemple, qui contient 6 inverseurs (Figure 5).

Un Doppler très complet comme le Montréal Doppler fait tout seul ces inversions. Il a 8 sorties d'antennes, prévues pour un fonctionnement à 4 antennes ou à 8 antennes. En fonctionnement à 4 antennes, les sorties 1 à 4 fonctionnent en créneaux positifs (créneaux de 5V par rapport au repos à 0V) et les sorties 5 à 8 fonctionnent en créneaux inversés (créneaux à 0V par rapport au repos à 5V). Une erreur sur les connexions de ces sorties peut conduire à un fonctionnement en 3 sur 4.

Fonctionnement en FM avec 2 fouets consécutifs sur 4

Ce mode de fonctionnement est plus original. Les fouets actifs sont successivement les n° 1 et 2 simultanément, puis 2 et 3, 3 et 4, 4 et 1, etc. On a toujours 2 fouets consécutifs actifs et 2 fouets passifs, et c'est cet ensemble « 2 + 2 » qui tourne.

	Fouet 1	Fouet 2	Fouet 3	Fouet 4
Phase 1	1	1	0	0
Phase 2	0	1	1	0
Phase 3	0	0	1	1
Phase 4	1	0	0	1
Phase 1'	1	1	0	0

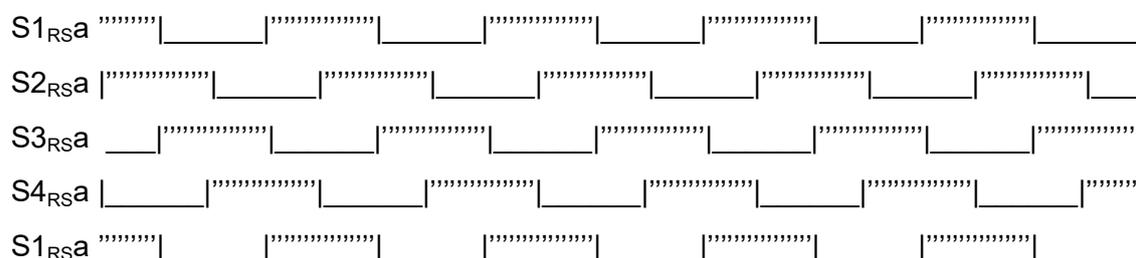


Figure 6 : Les signaux de commande des antennes avec 2 antennes actives consécutives sur 4

Au lieu de faire une brusque commutation d'un fouet actif, il y a toujours un fouet qui reste connecté lors de la commutation, et la même chose pour les fouets isolés. La conséquence c'est qu'il semble y avoir moins de ruptures brusques de la conduction par les diodes PIN, principal responsable des bruits HF. Cela reste à valider expérimentalement.

Pour obtenir cette addition des signaux de commutation des diodes PIN, il suffit d'ajouter les signaux TTL juste avant leur amplification par un circuit RS232. Cette addition peut être effectuée par un circuit de type 7432 par exemple (Photos 1 & 2).

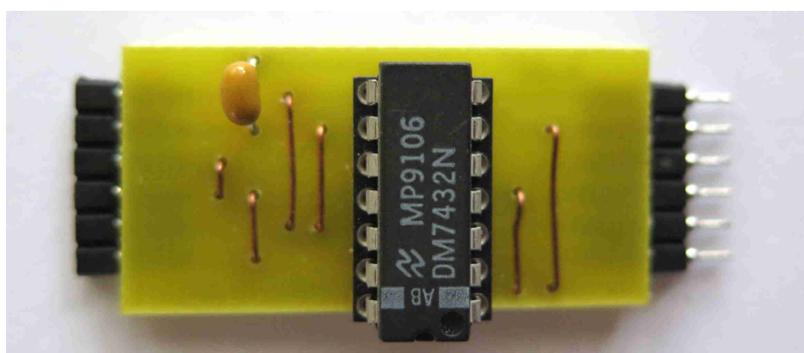


Photo 1 : Module additionnel avec un circuit 7432 inséré dans la ligne TTL pour le fonctionnement en 2 sur 4

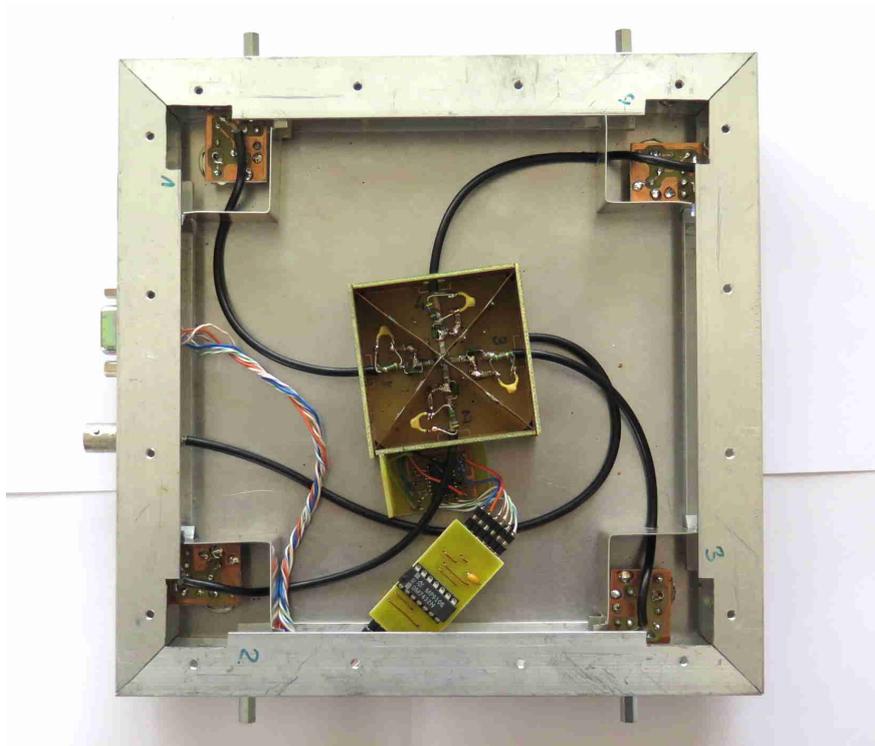


Photo 2 : (a) Module en fonctionnement dans la base d'une antenne Doppler

Seconde partie : Fonctionnement avec une démodulation différente

Fonctionnement avec une démodulation AM

Comme nous l'avons expliqué précédemment, un Doppler fonctionne en FM. Même si la modulation de la porteuse est en AM, il faut démoduler le signal en FM pour faire fonctionner le Doppler. C'est la rotation du signal de la porteuse qui génère le signal Doppler qui est une variation de fréquence, que cette porteuse soit modulée en AM ou en FM.

Alors si on démodule une porteuse en AM, qu'est-ce qui se passe ? Si on place l'ensemble des fouets passifs et du fouet actif pour constituer une antenne directive tournante, on va pouvoir mesurer la variation d'amplitude. La rotation de cette antenne directive à 500 Hz va se traduire par une modulation d'amplitude à la fréquence de rotation. La démodulation AM de cette modulation d'amplitude à 500 Hz au synchronisme avec la direction de l'émetteur permet d'afficher la direction. On n'a plus un « Doppler FM », mais un fonctionnement en « Générateur – Corrélateur » du même boîtier Doppler.

Les antennes en démodulation AM n'ont rien à voir avec celle du « Doppler FM ». Alors que dans celles du Doppler FM les brins sont espacés de $0,20$ à $0,22 \lambda$ (un peu moins que le quart d'onde). La meilleure directivité pour une démodulation AM est obtenue pour un espacement plus réduit.

D'autres phénomènes apparaissent dans les fouets $\frac{1}{4} \lambda$. Juste à $\frac{1}{4} \lambda$ l'impédance est résistive, et elle passe de capacitive à inductive de part et d'autre de $\frac{1}{4} \lambda$.

Nous avons effectué beaucoup d'essais sur ce type de fonctionnement particulier, car il est important pour la recherche des **balises 121.500 MHz**. La modulation de ces balises est proche de la porteuse hachée, de la CW. Comme il n'y a pas de véritable porteuse, le fonctionnement en « Doppler FM » est perturbé par ce hachage. Le fonctionnement en « Corrélateur AM » est plus efficace en l'absence de porteuse.

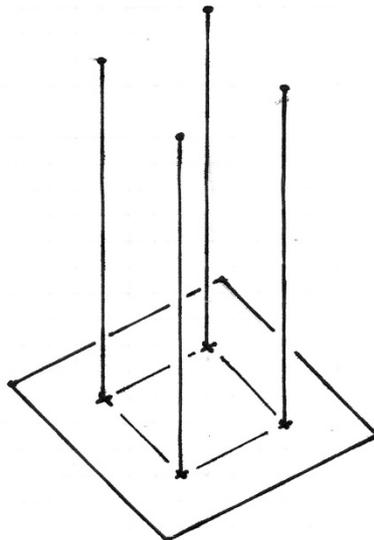


Figure 7 : Antenne pour la radiogoniométrie sur les balises aviation 121,500 MHz. Sur le plan de masse, l'antenne fonctionne avec 4 fouets de 75 cm espacés de 25 à 30 cm.

De même pour les modulations sans porteuse comme la BLU ou la DSB. La localisation en « Doppler FM » fonctionne très mal, alors qu'elle peut être effectuée « en Corrélateur AM ». Le fait de démoduler en AM oblige à utiliser une antenne à 4 fouets adaptée, qui est différente de l'antenne utilisée pour le fonctionnement en « Doppler FM ».

En pratique, en directivité AM, l'écartement des fouets consécutifs doit être autour de $0,10 \lambda$ à $0,15 \lambda$. Ce n'est pas vraiment critique. Il faut aussi que les brins soient un peu plus longs que $\frac{1}{4} \lambda$. Pour 121,500 MHz, $\lambda = 2,50$ m, $\frac{1}{4} \lambda = 62$ cm, on peut utiliser par exemple 4 fouets de 75 cm espacés de 25 à 30 cm (Figure 7).

Dans cette configuration en directivité AM, un fouet actif, c'est-à-dire relié au récepteur, est entouré par des fouets passifs, isolés du récepteur. Il faut un plan de masse de largeur suffisante ($\frac{1}{4} \lambda$) autour des fouets. Avec des embases magnétiques, en particulier en VHF, le plan de masse est réalisé par le toit du véhicule. En UHF, si on utilise une plaque support, on peut agrandir cette plaque par des tiges métalliques tout autour de cette plaque.

Fonctionnement avec une antenne à 5 fouets et démodulation AM

Les brusques sauts de position du fouet actif génèrent des perturbations HF. Nous avons étudié différentes solutions pour les réduire ou les supprimer. Une solution originale consiste à réaliser une antenne avec un fouet central toujours relié au récepteur et en faisant tourner autour des fouets actif et inactifs. La commutation n'est faite que sur les fouets périphériques, qui sont soit isolés soit à la masse. Cela donne une directivité à l'antenne, qui permet d'obtenir une variation de l'amplitude du signal (Figure 8).

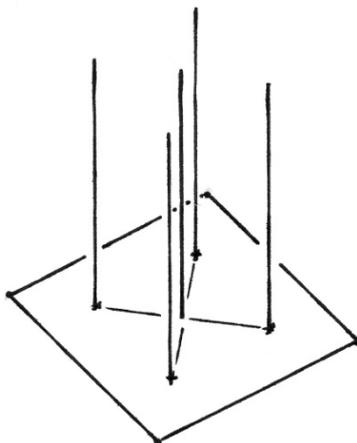


Figure 8 : Antenne pilotée à 5 fouets avec démodulation AM

Des essais ont montré que cette solution à 5 fouets fonctionne très bien. Les bruits HF de commutation sont pratiquement inexistantes, mais la sensibilité est un peu plus réduite qu'avec le système conventionnel. Globalement c'est une très bonne solution.

Comparé avec tous les systèmes précédents, l'antenne à 5 fouets fonctionne de façon complètement différente. Dans les autres systèmes les fouets sont soit reliés au récepteur soit isolés, mais ils ne sont jamais à la masse. Dans une antenne à 5 fouets, les fouets sont soit isolés, soit reliés à la masse. Les fouets reliés à la masse vont constituer le réflecteur derrière le fouet central, et le fouet isolé constitue un élément directeur.

Différentes configurations de cette antenne ont été testées (Photo 2). Ce qui semble fonctionner le mieux, c'est de faire tourner 3 fouets à la masse simultanément qui vont constituer le réflecteur derrière le fouet central, l'autre fouet étant isolé. C'est un cas où le fonctionnement à 3 fouets sur 4 est très intéressant.

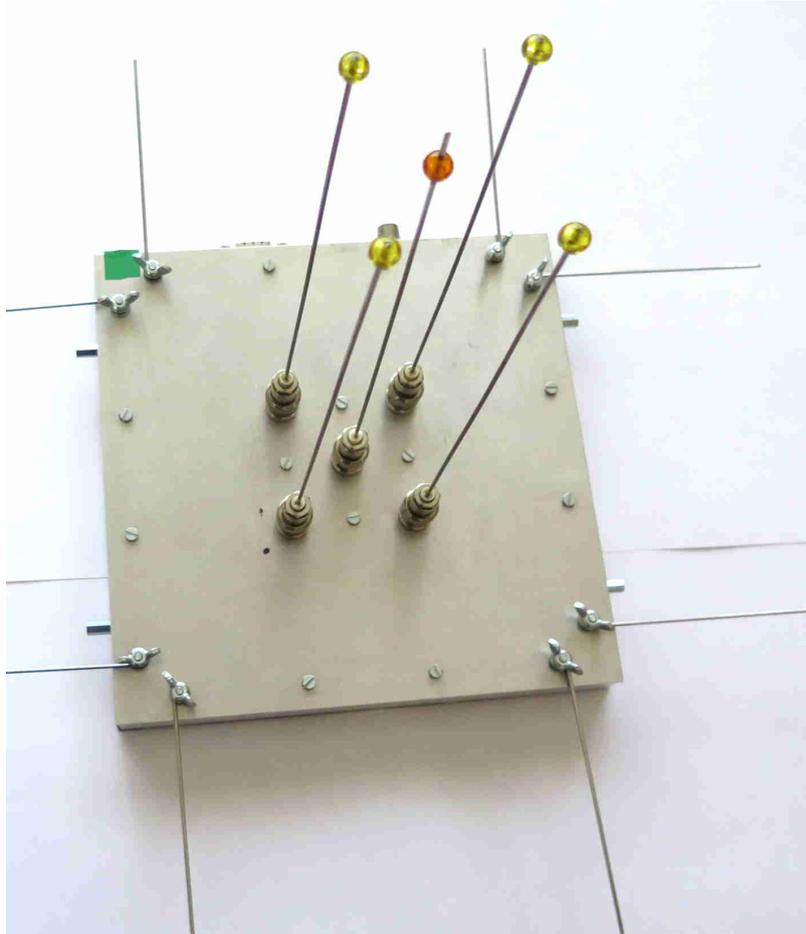


Photo 2 : Antenne pilotée à 5 fouets avec démodulation AM

Synthèse

Nous sommes partis du fonctionnement de base du « Doppler FM », bien adapté à la localisation des signaux radioélectriques avec porteuse. Quelle que soit la modulation de la porteuse, en AM, en FM, en PSK ou autres, il faut que le récepteur du Doppler fonctionne en **démodulation FM**. Le Doppler détecte la variation de fréquence liée à la rotation de l'antenne, démodulée en FM.

Nous avons vu que dans ce mode de fonctionnement en « Doppler FM », il existe plusieurs variantes avec 1 fouet actif sur 4, 3 fouets actifs sur 4 ce qui est pratiquement identique, ou 2 fouets sur 4.

Ce qui est plus original, c'est le fonctionnement avec une démodulation AM. Le boîtier du Doppler peut être vu comme un générateur de signaux quadriphasés à 500 Hz, qui inclut un système permettant de faire la corrélation entre les signaux reçus et qui est capable d'afficher la direction sur une rose des vents à 36 LED. La démodulation AM permet de regarder la variation d'amplitude des signaux reçus et de déterminer la direction. Ce n'est plus du Doppler avec une variation de fréquence. Ce mode AM permet de localiser des signaux sans porteuse, ou avec une porteuse hachée. L'antenne est assez différente de celle du « Doppler FM » ; à fréquence identique les 4 fouets sont plus longs et plus resserrés sur l'embase.

Pour les balises 121,500 MHz, ce mode de fonctionnement avec son antenne adaptée et sa démodulation AM est une solution qui marche très bien.

Nous avons présenté aussi une antenne à 5 fouets dans laquelle les commutations sont isolées du fouet relié au récepteur. Ce système réduit beaucoup les bruits de commutation. Il reste à optimiser l'antenne.

Ces fonctionnements particuliers montrent que ces antennes pilotées pour la radiogoniométrie sont un très vaste sujet d'études. C'est un champ grand ouvert ...

Nous n'avons présenté ici que quelques voies qui ont chacune donné lieu à une construction de prototype. Tous les systèmes présentés ont été testés, mais pas forcément optimisés. Il reste encore du travail de conception, de mesure, et d'optimisation à faire dans ce domaine.