

## Goniométrie pour la localisation des Boîtes Noires

Par Jean-Paul YONNET  
ADRASEC 38 / FILVT@yahoo.fr

Pré-étude théorique réalisée par l'ADRASEC 38 pour la FNRASEC (Fédération Nationale des Radioamateurs au Service de la Sécurité Civile) suite à la demande de la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles.



Quand un avion tombe dans l'eau, les balises à ultrasons de ses deux enregistreurs de bord se mettent en marche automatiquement. Ces balises émettent sur 37,5 kHz, et il faut les récupérer le

plus rapidement possible. Nous allons étudier comment les compétences développées par l'ADRASEC 38 pour les transmissions sous-terre d'une part et pour la radiogoniométrie portable d'autre part peuvent être mises à profit pour développer un système de radio goniométrie pour les balises à ultrasons des Boîtes Noires.

**I - Les compétences de l'ADRASEC 38 :** L'une des missions principales de l'ADRASEC 38, c'est la recherche des balises aviation sur 121,5 MHz dans le cadre des plans SATER. Pour cela, ses membres ont développé des compétences importantes dans le domaine de la conception de moyens portables pour pouvoir faire la recherche sur le terrain. L'ADRASEC 38 a d'autre part été confrontée au problème des transmissions sous terre pour les secours en spéléologie. Pour assurer les transmissions entre la surface et le fond, elle a développé un système original de transmission appelé « système NICOLA » (NDLR : voir Rasec Infos de janvier 2004), fonctionnant en très basse fréquence sur 87 kHz. Ce système équipe maintenant de très nombreuses équipes de secours spéléo. En conséquence l'ADRASEC 38 possède déjà de nombreuses compétences pouvant servir à la mise au point un système portable de radiogoniométrie pour les balises des Boîtes Noires. Cependant ces compétences se situent dans le domaine radioélectrique. Cette association n'a jamais travaillé dans le domaine marin et la détection des ultrasons.

**II- Les particularités du milieu sous –marin :** Même si la goniométrie à partir d'un système mobile ou embarqué peut ressembler à une recherche classique sur le terrain, ce milieu présente de nombreuses différences. Tout d'abord, les signaux émis par les Boîtes Noires sont des ultrasons à 37,5 kHz. Ce ne sont pas des ondes électromagnétiques classiques. Pour capter ces ultrasons, il faut passer par un transducteur qui va transformer ces vibrations sonores en signaux électriques. Ces capteurs existent, ce sont des hydrophones. Leur bande passante est de l'ordre de 10 Hz à 50 kHz, elle est donc bien adaptée pour notre application. Ensuite pour faire de la radiogoniométrie, il faut analyser des déphasages ou des différences de niveau dans les signaux reçus. Un des paramètres de dimensionnement est la longueur d'onde. La célérité du son dans l'eau est de 1500 m/s à +/- 20 m/s en fonction de la température et de la pression. Pour 37,5 kHz, la

longueur d'onde est voisine de 4 cm. Enfin le milieu sous marin n'est pas un milieu homogène pour la propagation des ondes. Les différences de température en particulier rendent le milieu inhomogène, avec un comportement qui est assez proche de celui de strates horizontales. De plus, la propagation des ondes subit dans ce milieu des phénomènes de réflexion et de réfraction.

En ce qui concerne les balises des Boîtes Noires, nous manquons d'informations sur le type de modulation de la fréquence 37,5 kHz, et sur le cycle de fonctionnement de la balise.

**III- La goniométrie portable :** La première famille de méthodes de goniométrie, la plus simple, consiste à suivre l'intensité du signal lors d'un déplacement dans une zone où on entend la balise. Quand le signal est maximum, on se trouve au droit de la balise. On peut même analyser le gradient du signal autour du maximum pour déterminer la distance entre la balise et la trajectoire du système de mesure. On obtient la localisation de la balise et son image par rapport à la trajectoire. C'est ainsi que fonctionne le système d'écoute par satellite SARSAT pour les balises 121,5 MHz. C'est aussi de cette façon que fonctionne la recherche des victimes d'avalanche par ARVA sur 457 kHz. Il semble qu'une méthode analogue soit utilisée en recherche sous marine en laissant dériver des bouées équipées d'hydrophones. Si ces méthodes sont assez rapides pour un satellite qui fait le tour de la terre en 2h, elles peuvent être beaucoup plus laborieuses quand les déplacements sont lents comme dans le milieu aquatique par exemple. La deuxième famille de méthodes de radiogoniométrie est basée sur une mesure angulaire de direction. C'est ce qui est le plus utilisé comme méthode de recherche terrestre des balises 121,5 MHz lors des plans SATER. A partir du point de mesure, on détermine directement la direction du signal. Pour localiser la source, soit on fait plusieurs mesures à partir de points différents et la source est située à l'intersection des directions mesurées, soit on suit la direction mesurée et on se laisse « tirer » par le signal jusqu'à la balise.

En milieu sous- marin, on peut très bien imaginer à la fois des systèmes embarqués permettant de mesurer une direction depuis le point de mesure ou depuis un point immergé en dessous du point de mesure mais aussi des systèmes équipant des engins sous-marins capables de les tirer directement vers les balises. Les principales méthodes de goniométrie utilisées pour la mesure angulaire sont :

- les ensembles « antenne directive – atténuateur – récepteur »
- les systèmes de type « Homing »
- les systèmes de type « TDOA »
- les systèmes de type « Doppler »

Nous allons voir comment faire pour transposer ces méthodes de radiogoniométrie directionnelles à la goniométrie sous-marine. Dans l'analyse qui suit, les annotations ont la signification suivante : @ : partie nouvelle à développer, \*\* : partie existante ou qui peut être réalisée très simplement par transposition de partie existante

**a- Les antennes directives en goniométrie sous – marine :** @ Avec un réseau d'hydrophones dont la position géométrique est telle que tous les signaux s'ajoutent en intensité et en phase, il est possible de réaliser des antennes directives. C'est un domaine qui est à explorer. On doit pouvoir réaliser des systèmes de réception qui ont une bonne directivité, de quelques dizaines de degrés, ainsi qu'une grande sensibilité.

**b- Le « Homing » en goniométrie sous –marine :**  
C'est un système très performant capable de donner une précision de quelques degrés. Un Homing fonctionne avec une antenne commutée « gauche-droite », dont le diagramme de rayonnement dans chaque direction est en forme de cardioïde. Il faut : @ - un système de captage des signaux de type « gauche-droite », \*\* - un système de pilotage de l'antenne en amont du récepteur et de traitement des signaux en aval du récepteur, \*\* - un récepteur très sélectif sur 37,5 kHz, avec démodulation AM

**c- Le TDOA en goniométrie sous –marine :** Le sigle TDOA signifie "Time Difference Of Arrival". C'est un système très performant qui fonctionne par différence de phase entre deux signaux captés par des récepteurs légèrement décalés. Il faut : @ - un système de captage des signaux à deux capteurs, \*\* - un système de pilotage de l'antenne en amont du récepteur et de traitement des signaux en aval du récepteur, \*\* - un récepteur très sélectif sur 37,5 kHz, avec démodulation FM

**d- Le Doppler en goniométrie sous –marine :** Le Doppler fonctionne par commutation des signaux reçus par des capteurs placés en cercle. C'est un système qui fonctionne par différence de phase entre les signaux captés. Il faut : @ - un système de captage des signaux à plusieurs capteurs en cercle, \*\* - un système de pilotage de l'antenne en amont du récepteur et de traitement des signaux en aval du récepteur, \*\* - un récepteur très sélectif sur 37,5 kHz, avec démodulation FM

#### IV- Programme de travail

Cette analyse permet de voir que les principaux domaines à explorer sont ceux des hydrophones et la façon de les utiliser dans leur milieu. Il faut ensuite vérifier que le principe de goniométrie angulaire est possible sur les signaux de Boîtes Noires. Dans l'affirmative, il faut étudier de près comment coupler les hydrophones pour pouvoir réaliser soit des capteurs directifs, soit des capteurs à deux éléments commutés

pour le Homing ou le TDOA, soit des capteurs en cercle pour le Doppler. La longueur d'onde de 4 cm est assez courte, ce qui devrait donner des capteurs assez compacts. Par exemple pour une antenne Homing, l'écartement idéal des deux hydrophones est de l'ordre du centimètre ou de quelques centimètres seulement. Les informations que nous avons pu recueillir sont incomplètes en ce qui concerne la modulation de la porteuse à 37,5 kHz et le cycle de fonctionnement de la balise. Il faut aussi étudier de beaucoup plus près la propagation des ondes dans le milieu sous-marin. En particulier il faut étudier les réflexions et les réfractions pour s'assurer que les méthodes de goniométrie directive peuvent fonctionner. Pour les ondes hertziennes, nous sommes habitués en milieu montagnard à tous ces phénomènes de propagation et nous arrivons à nous en sortir. Espérons qu'il en sera de même dans le milieu sous-marin. Quant aux autres éléments, pratiquement tous existent ou peuvent exister avec quelques adaptations. Toutefois il faudra rendre compatible ces matériels avec le milieu aquatique ...

**Remerciements :** L'auteur souhaite remercier particulièrement le LMN (Laboratoire du Magnétisme du Navire) pour les informations qu'il lui a fournies pour ce rapport.

**Références :** [1] « Les Boîtes Noires », Université de Lausanne, Rapport sous la direction de M. Usunier, janvier 2002, 27p, [2] « Transmitter Hunting », J D Moell & T N Curlee, TAB Books Inc, 1987, Annexes : L'environnement grenoblois

L'ADRASEC 38 peut trouver sur le site grenoblois de nombreuses compétences pour l'aider à traiter cette étude. En particulier à l'ENSIEG (l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble), deux laboratoires sont spécialisés dans les études marines et sous-marines: le LMN (Laboratoire de Magnétisme du Navire) et le LIS (Laboratoire Image Signal). L'auteur de cette pré-étude est chercheur au CNRS et enseignant à l'ENSIEG. D'autres laboratoires comme le LETI du CEAG peuvent aussi apporter leurs conseils. La localisation à Grenoble de toutes ces compétences dans la détection sous- marine peut surprendre, cela provient en particulier des travaux de Louis Néel.