Radiogoniométrie

Steve Desrosiers VE2VEQ

Décembre 2014

Table des matières

1. Introduction
2. Équipements
3. Principes physiques utilisés
4. Techniques de recherche
5. Technique de relevé radiogoniométrique
6. Radiogoniométrie Sportive (Concours ARDF)
7. Les erreurs sur la mesure
8. Le Doppler
9. L'interférométrie
10. Littératures & DVD
11. Références

Introduction

Définition

La radiogoniométrie est la détermination de la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique (signal radio) par rapport à une direction de référence.

Applications

La radiogoniométrie a deux applications principales :

- Pour la navigation (radio navigation)
- Pour localiser un émetteur (radio localisation)

Radio navigation

- La radiogoniométrie d'un émetteur fixe et connu (une radiobalise) permet de déterminer un lieu de position pour le récepteur.
- Une position peut être déterminée en relevant au moins deux émetteurs fixes.
- Autres paramètres pouvant être déduits:
  - La direction
  - La distance
  - La vitesse

Radio localisation

La radiogoniométrie d'une émission radio permet de localiser cet émetteur soit:

- en utilisant plusieurs récepteurs à des positions différentes
- par calcul en fonction de la vitesse de déplacement du récepteur.

Autres appellations

- Autres appellations françaises:
  - Chasse à l'émetteur
  - Chasse au renard
  - Radiogoniométrie sportive
  - Radio orientation
- Autres appellations anglaises:
  - Fox Hunting
  - Radio telemetry
  - Hidden transmitter hunting
  - Radio Direction Finding (RDF)
  - Amateur Radio Direction Finding (ARDF)
  - VHF Direction Finder (VDF)
  - Automatic Direction Finder (ADF)
  - Doppler Direction Finder (DDF)
  - Directwave Direction Finding (DWDF)
  - Shywave Direction Finding (SWDF)
  - Airborne Radio Direction Finding (ARDF)
  - Bunny Hunting
  - T-Hunting
  - Transmitter Hunting
  - Radio orienteering
  - Radio tracking
  - Radio sport
  - Bunny chasing
  - Jammer Hunting
  - Turkey Hunt
  - Maverick Hunt
  - Fox Oring

Équipements

Équipements requis

- Un radio récepteur avec un indicateur audible ou visuel (S-Mètre) de la force de signal
- Une antenne directionnelle
- Un atténuateur pour réduire le signal radio
- Un émetteur radio (balise) comme source de signal

  (appelé aussi « Fox Box » ou « T-Box »)

Équipements optionnels

- Carte topographique
- Boussole
- Crayon
- Papier
- Ordinateur
- Autres équipements jugés de circonstance
  (véhicule, gant, vêtement, soulier, lampe de poche, lunch, équipements de réserve, sac à dos, podomètre, etc.)

Compétences personnelles recommandées

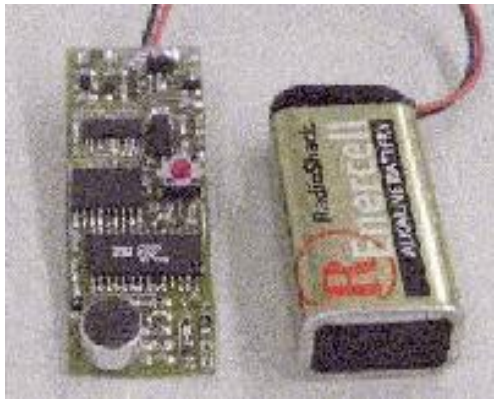
- Connaissance de la propagation VHF & HF
  - En ligne directe, mais...
  - Parcours multiples (particulièrement dans les milieux urbains)
  - Réflexions (peuvent être accentuées ou nous tromper)
  - Masqué par le terrain ou les objets
  - L'effet du corps (avec radio portatif et une antenne portable)
- Méthodique et patient
  - Garder un log
  - Dessiner les azimuts sur une carte
  - Fonctionner à angle droit
  - Utiliser le terrain à votre avantage
- Connaissance en navigations
  - Comment lire une carte topographique
  - Comment utiliser une boussole
  - Comment calculer la déclinaison magnétique
  - Comment tracer un azimut sur une carte

Émetteur radio (balise)

Deux possibilités:

- Un contrôleur branché à un radio émetteur
  - PicCon de Byonics, 66$ US
- Un appareil tout en un: contrôleur et émetteur
  - Micro-Fox 15 VHF de Byonics, 10 à 15 mW, 100$ US
  - MICROFOX HF de OK2BWN, 50 mW, 90$ CAD
  - SquawkBox VHF de Doppler DF Instruments, 50 mW, 119$ US

PicCon



SquawkBox

MICROFOX HF

Micro-Fox 15

Atténuateurs

L’atténuateur est inséré entre l’antenne et le radio.

Il existe deux sortes d'atténuateur pour réduire le signal radio:

- Atténuateur passif
- Atténuateur actif

Atténuateur passif

- Ne nécessite aucune alimentation
- Petits atténuateurs portatifs disponibles

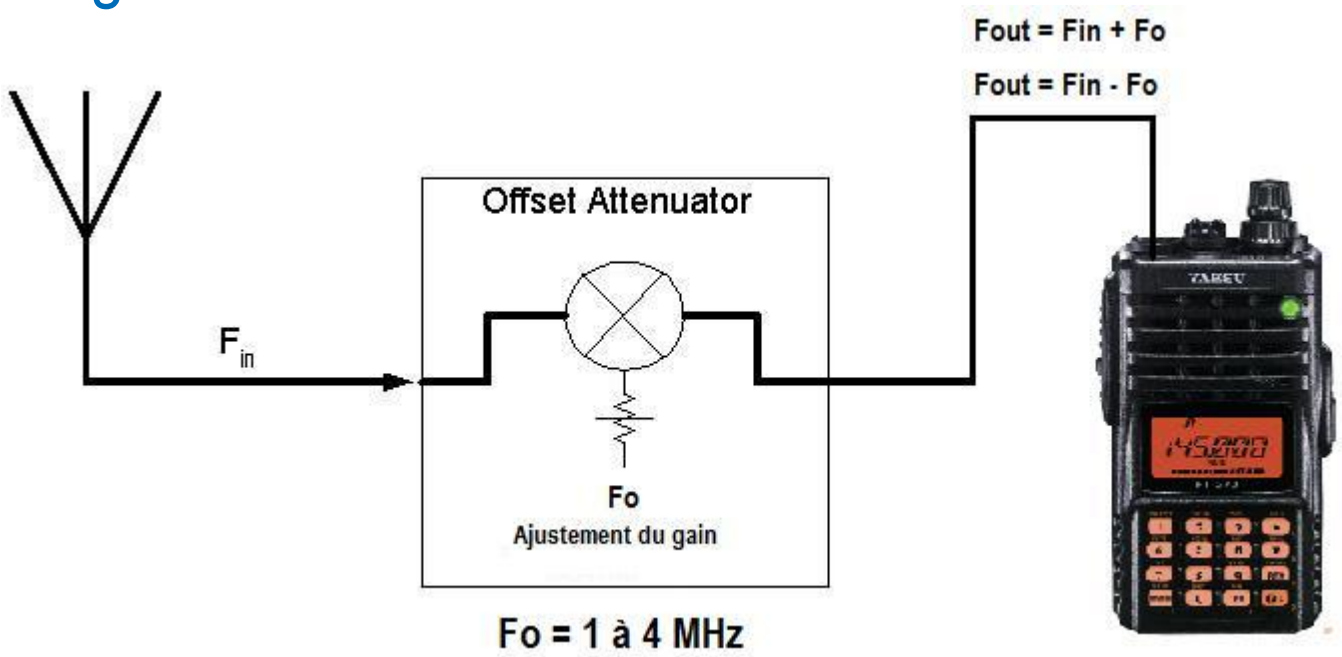
- Le « MFJ-762 Attenuator » de MFJ Enterprises Inc.
  Atténuation maximale de 81 dB (pas de 1 dB)
  Puissance maximale d'entrée de 250 mW (500 MHz max.)

Atténuateur actif

- Circuit électronique nécessitant d'être alimenté
- Appelé aussi « **offset attenuator** »
- Utiliser lorsque le signal reçu est très fort
- Le radio n'étant pas bien blindé, le signal peut se propager à l'intérieur même si un atténuateur est présent
- Au lieu d'agir directement sur la fréquence du signal entrant, il ajuste l'atténuation sur une fréquence décalée (offset)
- Le radio doit donc se syntoniser sur la fréquence décalée
- La fréquence du signal entrant ne peut donc pas interférer car le radio n'est pas sur cette fréquence

Atténuateur actif

Un « offset attenuator » comprend un oscillateur local (Fo) et un mélangeur

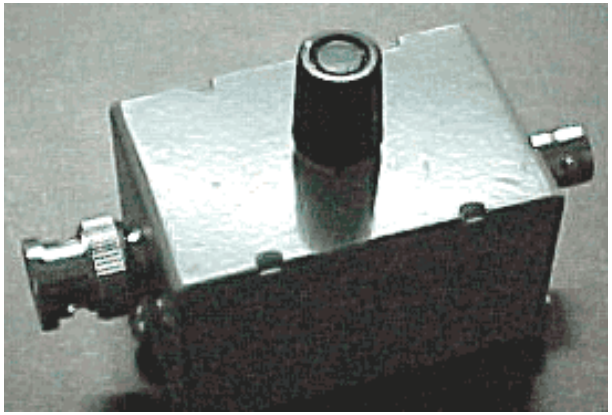


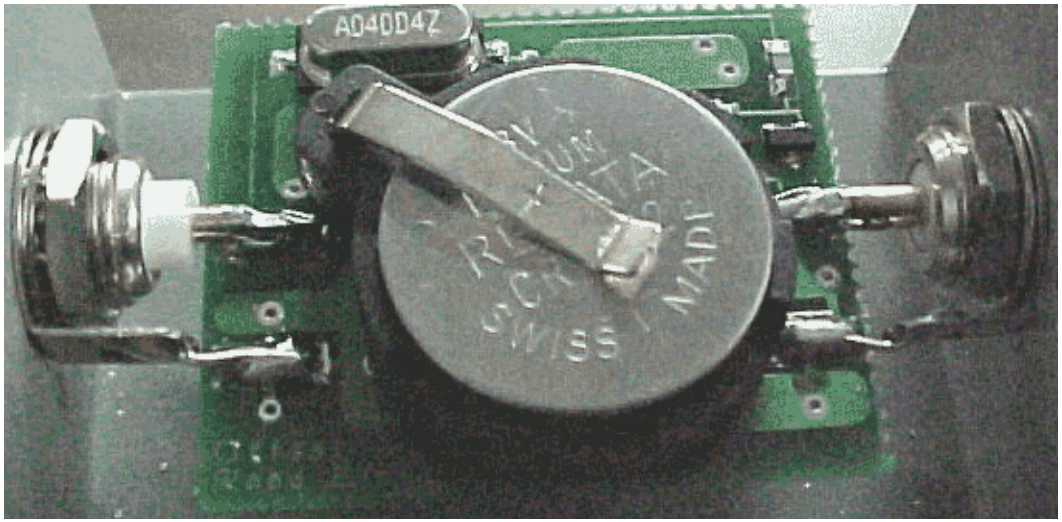
Exemple : **Fout1 = 146.565 + 2.0 = 148.565 MHz**
Fout2 = 146.565 - 2.0 = 144.565 MHz

Atténuateur actif

Le « Offset Fox Hunt Attenuator » de Arrow Antenna

- Oscillateur à 4 MHz relié, avec le signal d'entrée, à un mélangeur (mixer)
- La lecture du signal se fait à + ou - 4 MHz de la fréquence émise par la source
- Boitier métallique pour un meilleur blindage
- Plage de fréquence: 23 à 500 MHz
- Atténuation >100 dB
- Prix: ≈60$ US





www.arrowantennas.com

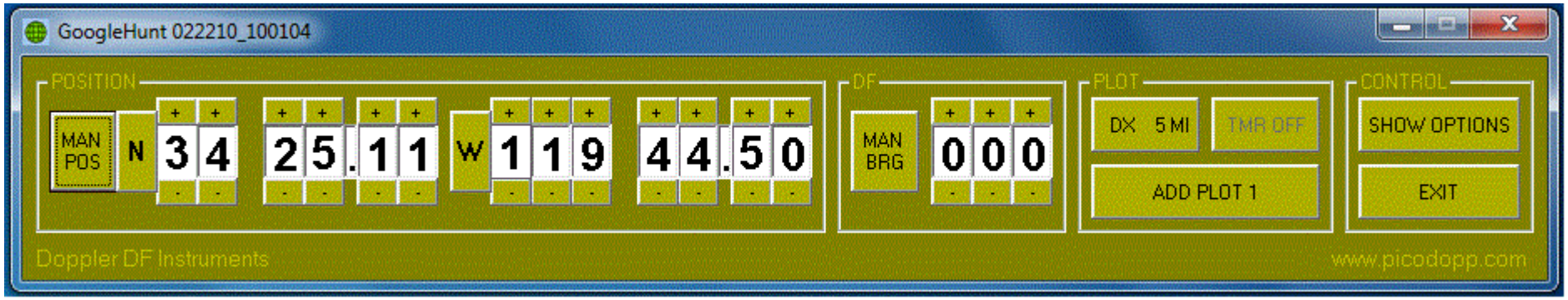
Attention: Ne pas transmettre lorsque l'atténuateur est branché au radio!

Autres trucs pour atténuer un signal

- Utiliser son corps comme écran (« body shield »)
- Utiliser un guide d'onde
- Utiliser une petite antenne portative
- Fermer la main sur l'antenne portative
- Pas d'antenne
- Antenne bidon
- Syntoniser légèrement à côté de la fréquence (5 ou 10 kHz)
- Syntoniser une harmonique de la fréquence
  (pour le 2m, la 3^{e} harmonique est dans la bande de 70 cm)
- Créer un vide entre le récepteur et l'antenne (« Gap attenuator »)
- Utiliser une polarisation d'antenne différente de celle de l'émetteur

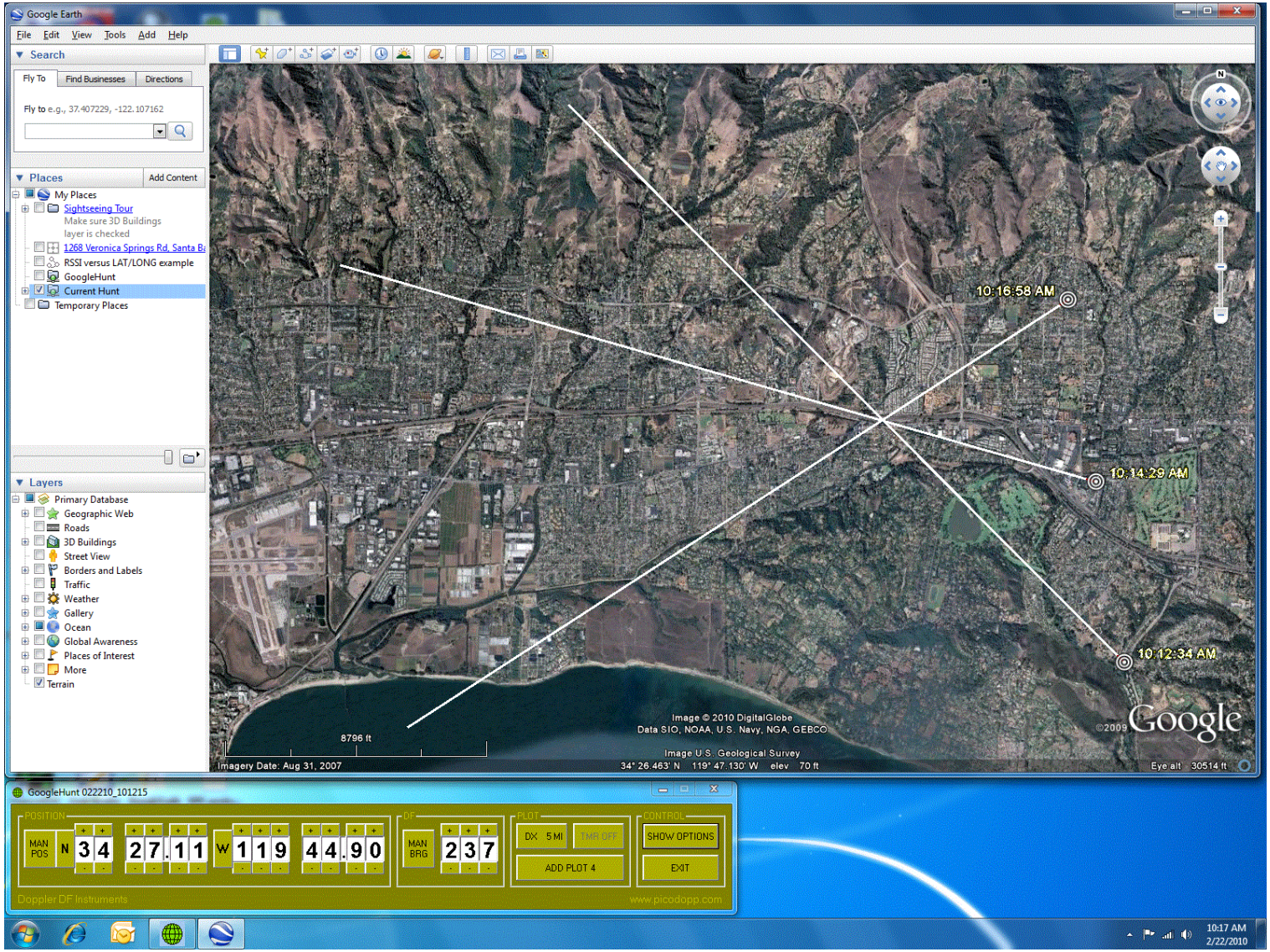
Logiciel GoogleHunt

- Conçu par Bob Simmons WB6EYV (décembre 2009)
- Gratuit & compatible avec Google Earth (via fichiers .KML)
- Peut afficher jusqu'à 100 vecteurs
- Fonctionnement manuel ou avec l'appareil Doppler
  « Radio Direction Finder (RDF) DF2020T »
- Archivage automatique des fichiers créés



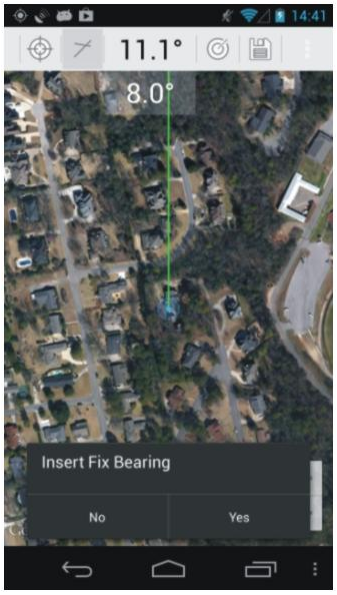
www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/GH_MORE.htm

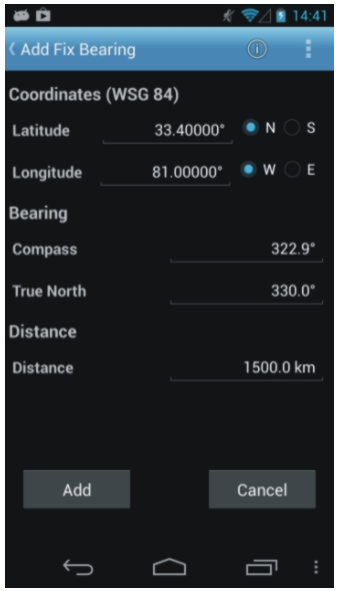
Exemple de GoogleHunt avec Google Earth



Logiciel SigTrax (Signal Tracking)

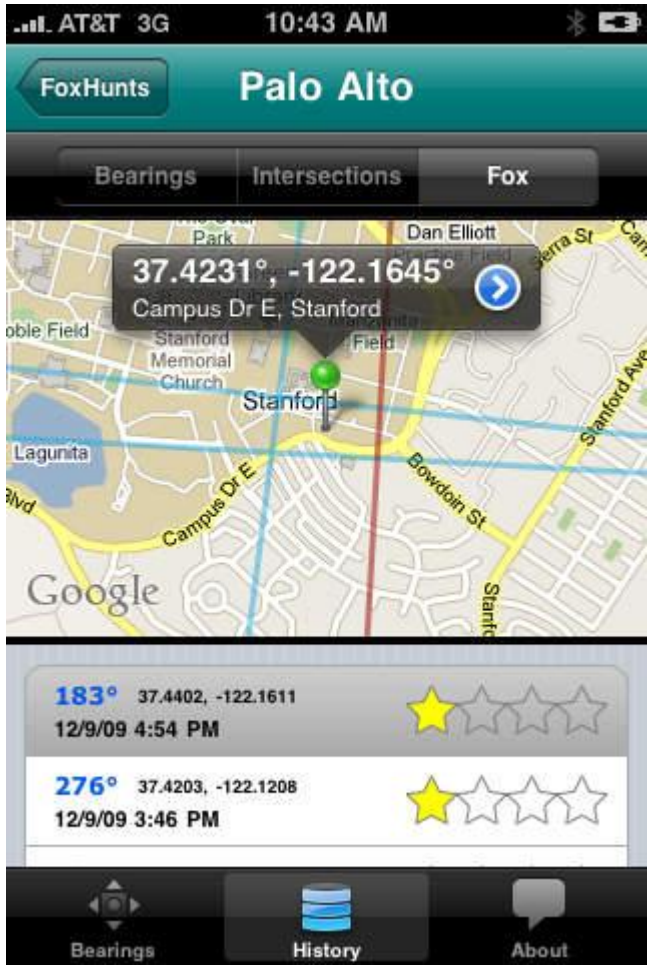
- Non gratuit (≈ 4$)
- Application pour Android et IOS
- Vecteur créé en utilisant le GPS et la boussole
- Permet l'entrée manuelle des vecteurs
- Supporte les formats Lat/Long, UTM et MGRS





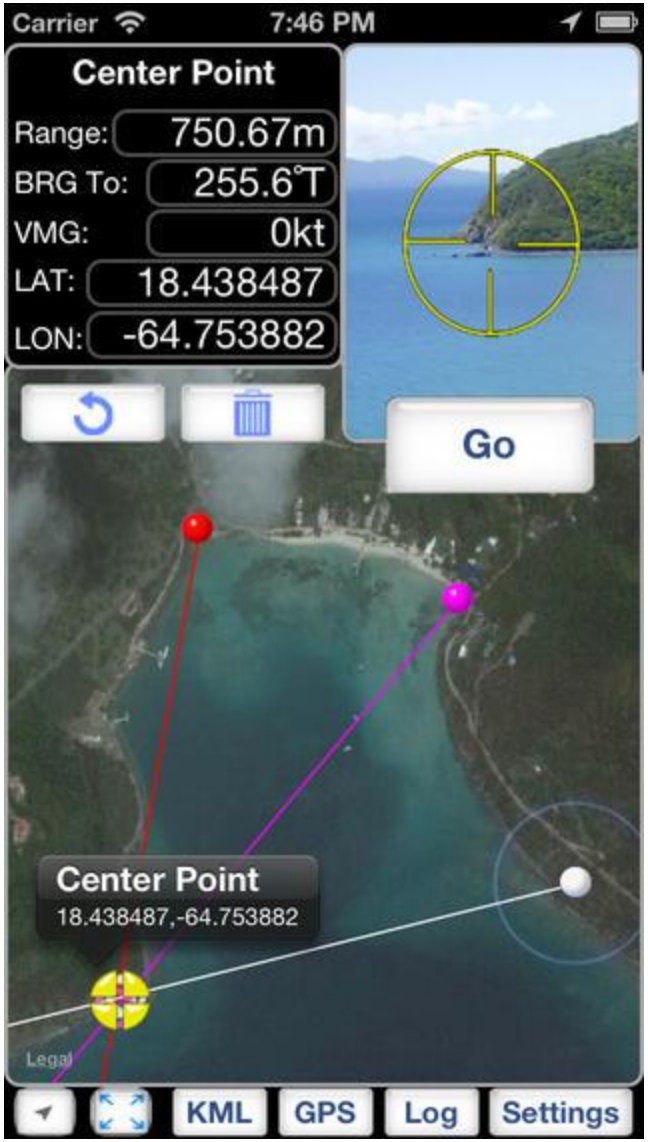
Logiciel FoxHunt & FoxHunt Pro

- FoxHunt est gratuit
- FoxHunt Pro ≈ 7$
- Application pour iPhone
- Pointer le iPhone dans une direction, presser le bouton à l'écran et votre position avec son azimut sont enregistrées en utilisant le GPS et la boussole. Répéter pour les autres localisations. La triangulation se calcule et s'affiche.



Logiciel Triangulex

- Prix: 0.99$
- Application pour iPhone et iPad
- Utilise la boussole magnétique pour prendre de multiples observations d'un objet éloigné (ou d'une direction donnée) pour trianguler sa position
- Utiliser pour la radio navigation



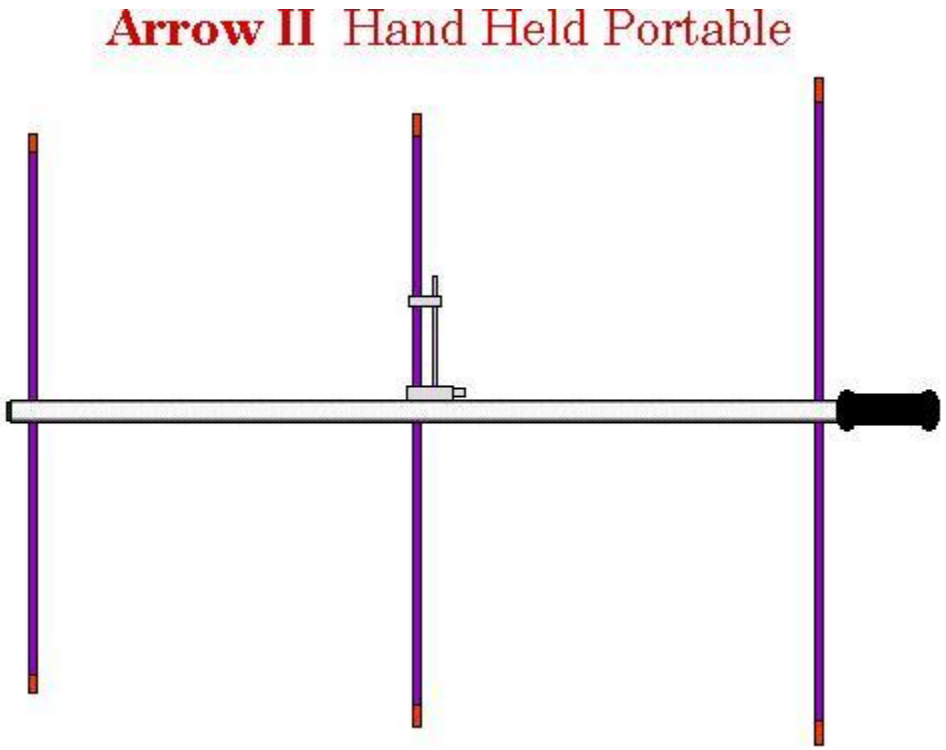
Antennes directionnelles

Quelques antennes directionnelles utilisées pour la triangulation:

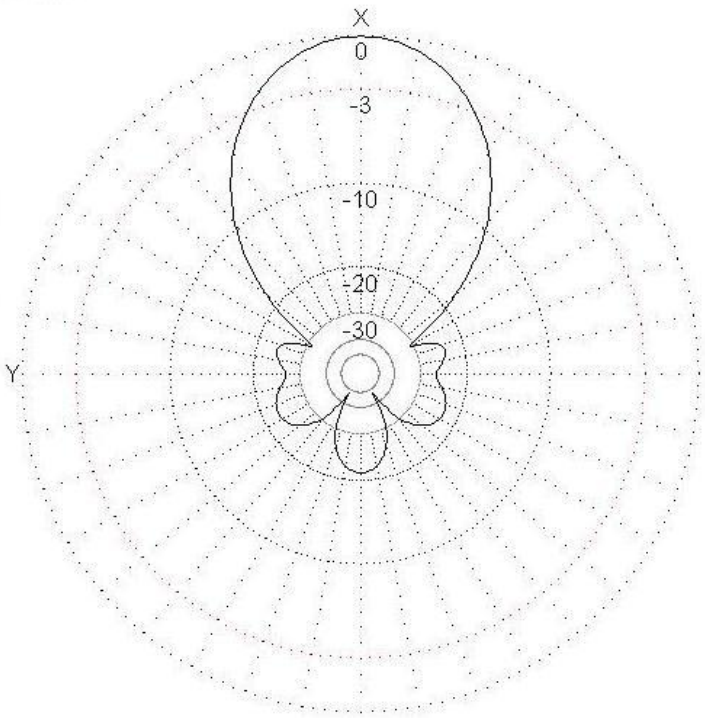
- Antenne Yagi
- Antenne Loop
- Antenne Quad
- Antennes verticales déphasées
- Antenna-switching (TDOA)
- Antennes cardioïdes

Antenne Yagi

Avec une antenne Yagi, on cherche la direction où le signal reçu est le plus fort.



www.arrowantennas.com



Antenne Yagi avec « Gamma match »

Attention aux antennes Yagi utilisant un Gamma match:

- Le Gamma match introduit une distorsion dans le patron de radiation de l'antenne
- La symétrie du patron est déformée sur le côté où le Gamma match est localisé
- Par rapport à l'axe du bras de support de l'antenne, il provoque une déviation de la mesure de l'ordre de 5º à 6º du côté opposé au Gamma match, lorsque utilisé en polarisation horizontale
- L'erreur sur la direction du signal est pratiquement nul en polarisation verticale

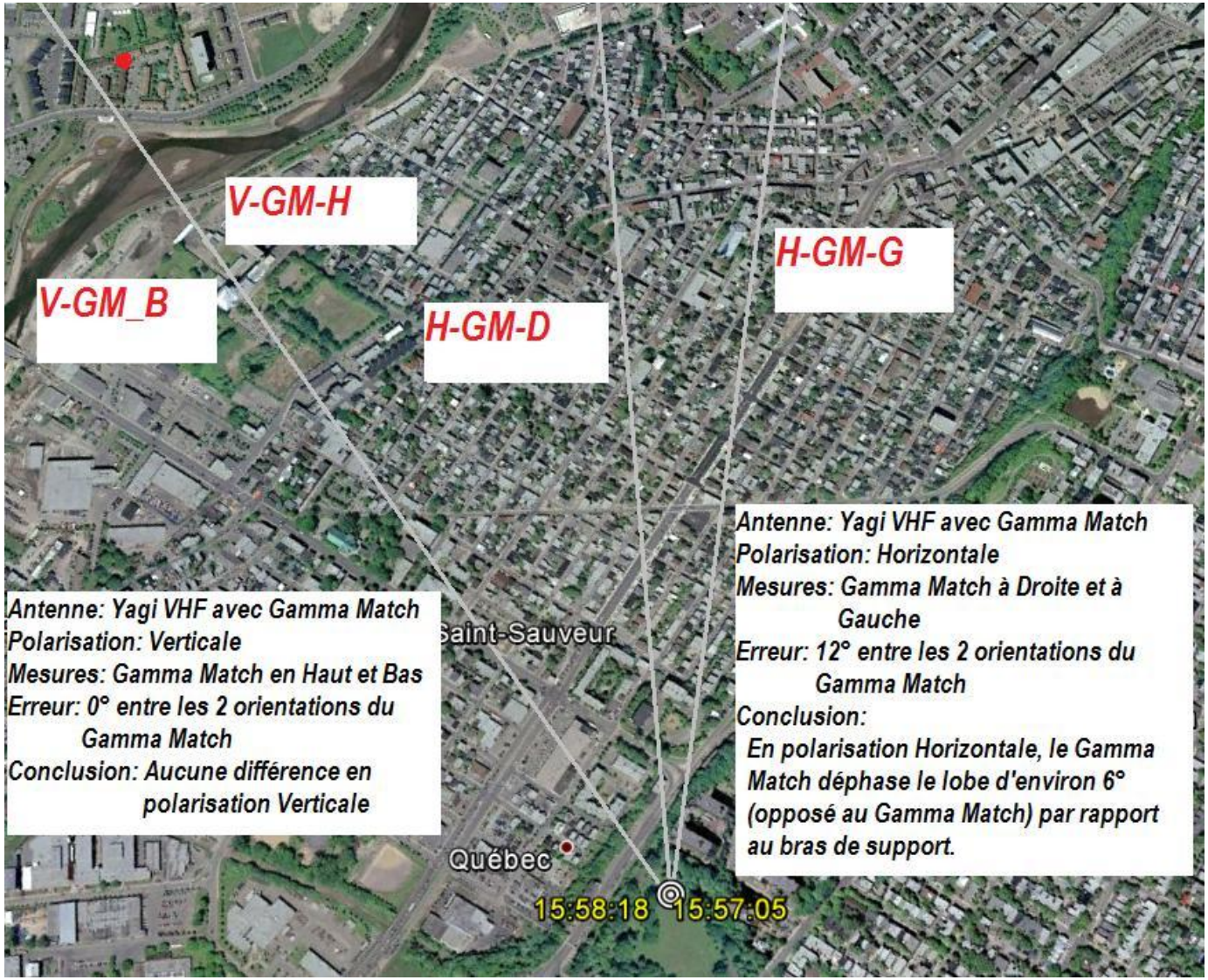
Cette déformation du patron de radiation n'est pas observable avec un "T" match, Delta match et autres systèmes de couplage d'impédance.

Antenne Yagi avec « Gamma match »

Le **point rouge** indique la position de la source du signal.

V-GM-B et **V-GM-H** : Mesures avec l'antenne en polarisation verticale.

H-GM-D et **H-GM-G** : Mesures avec l'antenne en polarisation horizontale.



Antenne Yagi avec le « MK4 Sniffer »

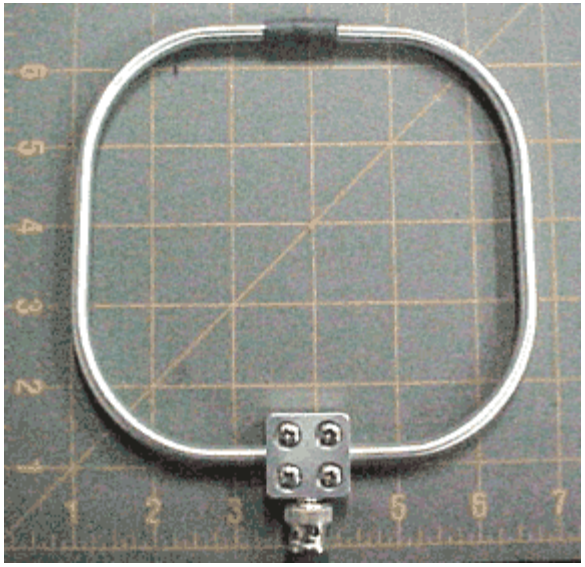
- Conçu par Bryan Ackerly VK3YNG
- Bandes 120 à 123 MHz et 143 à 150 MHz
- Ajuste automatiquement l'atténuation selon la force du signal (Max: 135 dB; Pas: 15 dB)
- Un **0** indique un maximum de sensibilité (loin de la source)
- Un **9** indique un signal fort (proche de la source)
- Permet de se concentrer sur la recherche de la source du signal
- Disponible en UHF (par plage de 10 MHz)
- Prix: ≈200$ CAD (incluant les frais postaux)
- www.foxhunt.com.au (et www.rdfantennas.com)

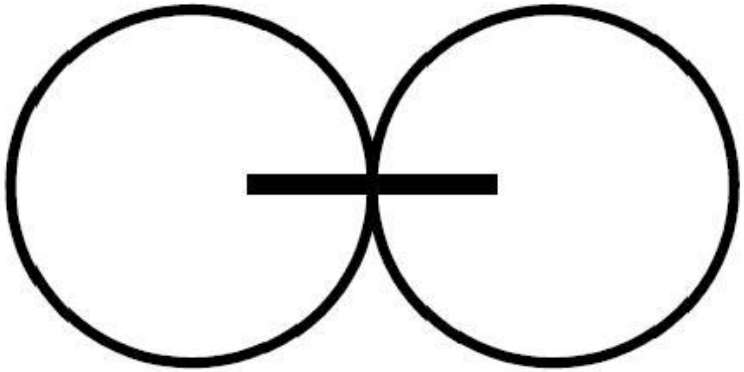
Antenne Loop

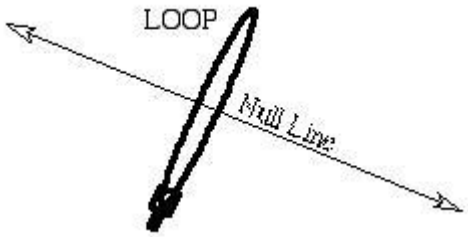
Avec une antenne Loop, on cherche la direction où le signal reçu est le plus faible.

- Précision de ± 5º
- Peu affectée par les réflexions
- Si le signal est faible, l'antenne Yagi est recommandée

www.arrowantennas.com







Attention: Certaines Loop pour le Fox Hunting ne résonnent pas en transmission!

Antenne Loop : MK4 Sniffer / Offset Attenuator

Antenne Loop avec le « Offset Fox Hunt Attenuator » de Arrow Antenna.

Au lieu d'augmenter, le signal sonore diminue lorsqu'on pointe en direction de la source du signal.

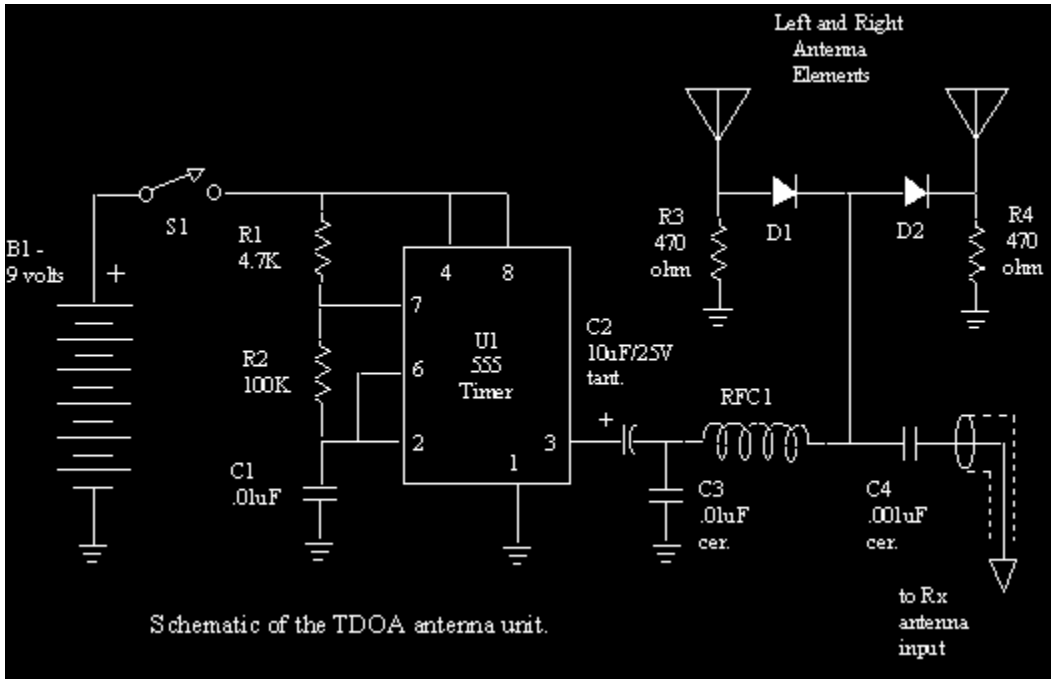
Antenne Loop avec le « MK4 Sniffer » de Bryan Ackerly VK3YNG.

Antenna-switching (TDOA)

- Appelée aussi « Antenne TDOA » (« Time Difference Of Arrival »).
- L'antenne TDOA produit un Tone audio qui change selon qu'elle s'éloigne ou s'approche de la direction de la source du signal transmis.
- Le Tone audio correspond à la fréquence de commutation (« switching ») des deux antennes verticales.
- La fréquence de commutation est normalement située entre 400 Hz et 1000 Hz.

Antenna-switching (TDOA)

La « antenna-switching » utilise deux antennes dipôles et un circuit électronique pour produire un TDOA (« Time Difference Of Arrival »).

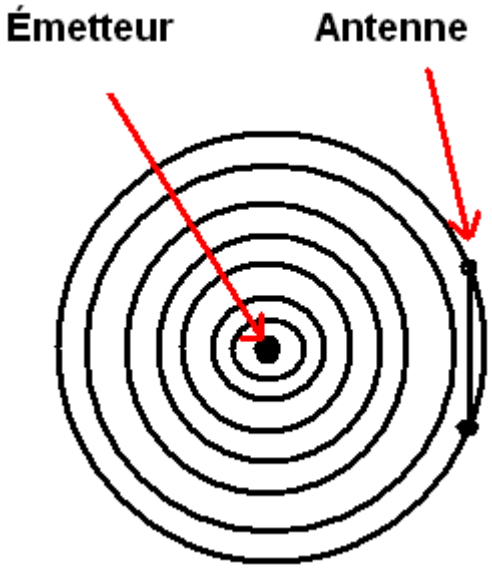


La fréquence de « switching » des antennes doit se situer dans la plage des fréquences audio de façon à générer un Tone qui puisse passer au travers des amplificateurs audio du radio.

Antenna-switching (TDOA)

Principe de fonctionnement

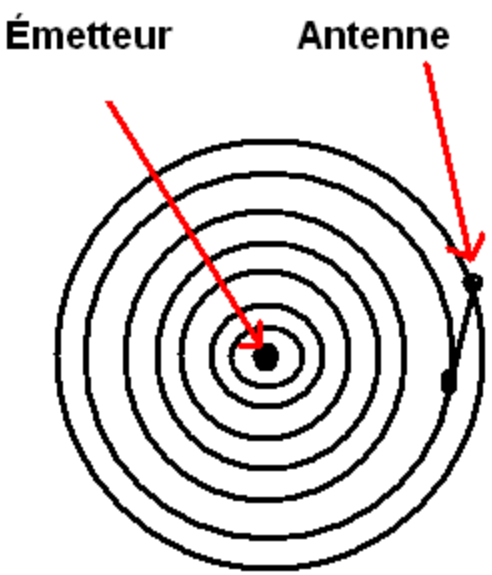
Les 2 dipôles à distance égale de la source



En phase

(aucun Tone audible)

Les 2 dipôles à distance inégale de la source



Hors de phase

(Tone audible perceptible)

Antenna-switching (TDOA)

Méthode d'utilisation

- Sélectionner la fréquence de recherche sur le radio FM récepteur
- Un Tone se fait entendre en même temps que le signal de la source
- Tournez l'antenne tranquillement
- Lorsque le Tone devient nul (silencieux), la direction de la source du signal est droit devant (ou derrière à 180º)

Antenna-switching (TDOA)

Avantages:

- Permet de trouver la direction rapidement
- Facile à utiliser

Désavantages:

- Détection de 2 directions nulles
- Difficilement utilisable avec la présence de parcours multiples
- Doit avoir un signal convenable (pour bien entendre le Tone) avec peu de bruit statique

Antenna-switching (TDOA)

RAINBOWKITS SDF-1

- Disponible en kit
- Fréquences: 100 MHz à 500 MHz
- Possibilité de contrôle audio du Tone
- Se branche sur notre radio au connecteur d'antenne
- Requiert une batterie de 9V
- Prix: ≈50$ US

www.rainbowkits.com/kits/sdf-1p.html

Antennes cardioïdes

Pour le HF:

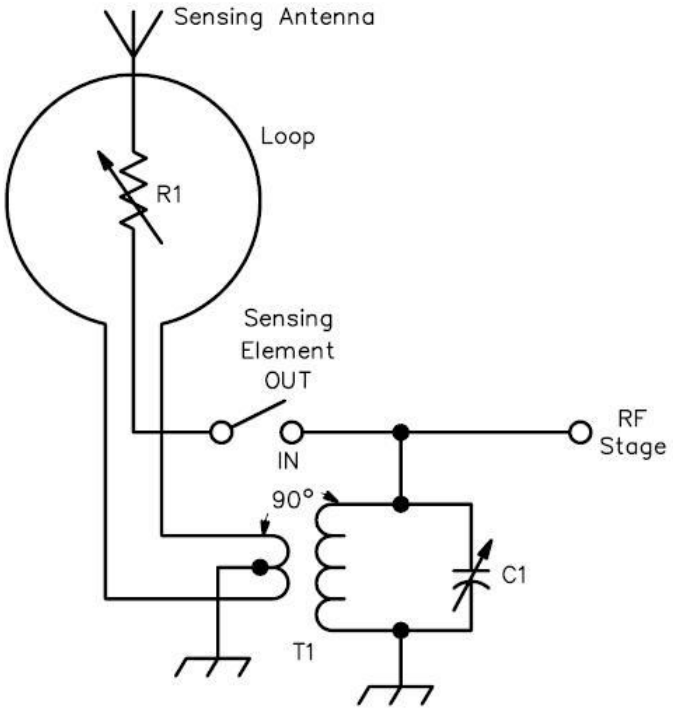
- Une boucle magnétique (Loop) avec une antenne verticale « Sensing antenna »
- Une antenne construite autour d'un bâton de ferrite (magnétique) avec une antenne verticale « Sensing antenna »

Pour le VHF:

- Deux dipôles demi-onde, espacés de ¼ λ et alimenté à 90º hors de phase
- L'antenne ZL spéciale

Une Loop avec une « Sensing antenna »

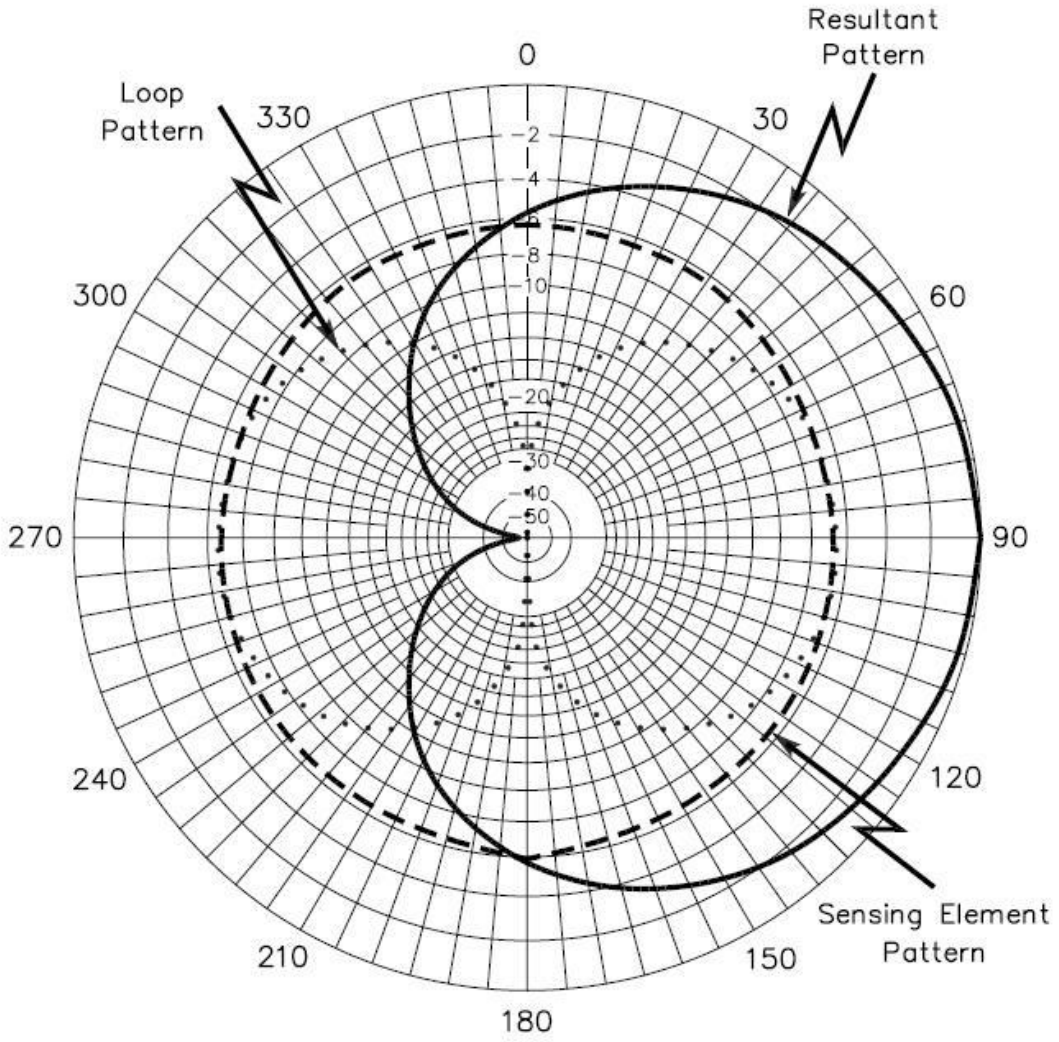
- Une Loop combinée avec une antenne verticale (« Sensing Antennas ») produit un patron de radiation cardioïde.
- L'antenne magnétique de type Loop est plus encombrante et plus lourde l'antenne magnétique de type ferrite, mais plus sensible.



Une Loop avec une « Sensing antenna »

Le nulle de la cardioïde:

- il est à 90º du nulle de la loop
- il n'est pas très prononcé



Une Loop avec une « Sensing antenna »

En pratique, pour détecter la direction du signal:

- on commence avec la Loop seulement
- on détermine la direction du signal où il est nul
- on ajoute l'antenne verticale
- on détermine laquelle des 2 directions nulles est valide (la bonne direction sera celle où le signal est le plus faible)

Pour cette raison, un commutateur est normalement utilisé pour activer ou non l'antenne verticale.

Antenne verticale avec ferrite symétrique

Ferrite symétrique combinée avec une antenne verticale (« Sensing Antennas ») pour produire un patron de radiation cardioïde avec nul étroit.

Exemple: SUPERFOX 3.5GX de OK2BWN Radio Sports Equipment:

- Bonne sensibilité et sélectivité
- Atténuation max 120 dB (pas de 15 dB)
- Faible poids (350g) et petite taille
- Fréquence: 3.48 à 3.71 MHz
- Prix: ≈260$ CAD (sans les accessoires)

SUPERFOX 3.5GX

www.ok2bwn.cz

Deux dipôles demi-onde, espacés de ¼ λ et alimenté à 90º hors de phase

- Le nulle de la cardioïde est assez prononcée.
- La pointe de la cardioïde est située dans la direction de l'élément ayant le plus grand décalage (soit dans l'exemple celui au bout de la ligne du 161º).
- Si vous maintenez l'antenne en face de votre corps, l'orienter de sorte que le nulle pointe vers vous, ajoutant ainsi au nulle l'atténuation provoqué par votre corps.

La formule pour positionner le « T » du BNC:

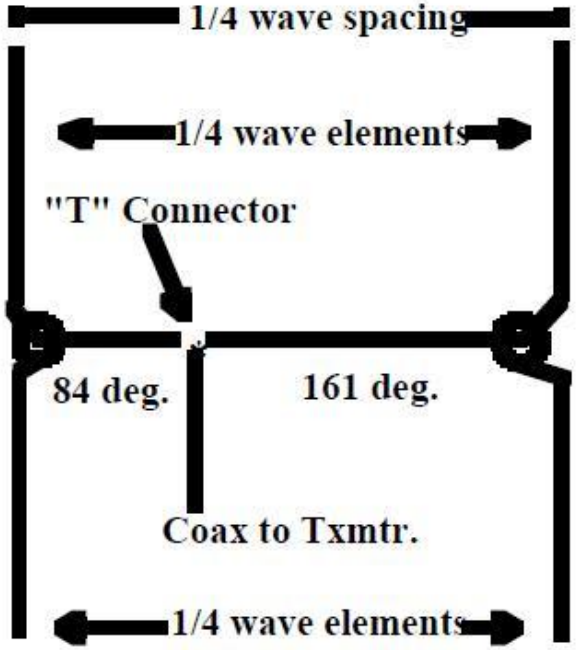
L(pouce) = [984 x VF x Nº] / [F(MHz) x 360º]

où N est le degré électrique et VF le facteur de vélocité du coax utilisé.

Si la fréquence est 146.565 MHz, Nº à 84º et du RG-58 est utilisé, alors la distance L du 84º sera:

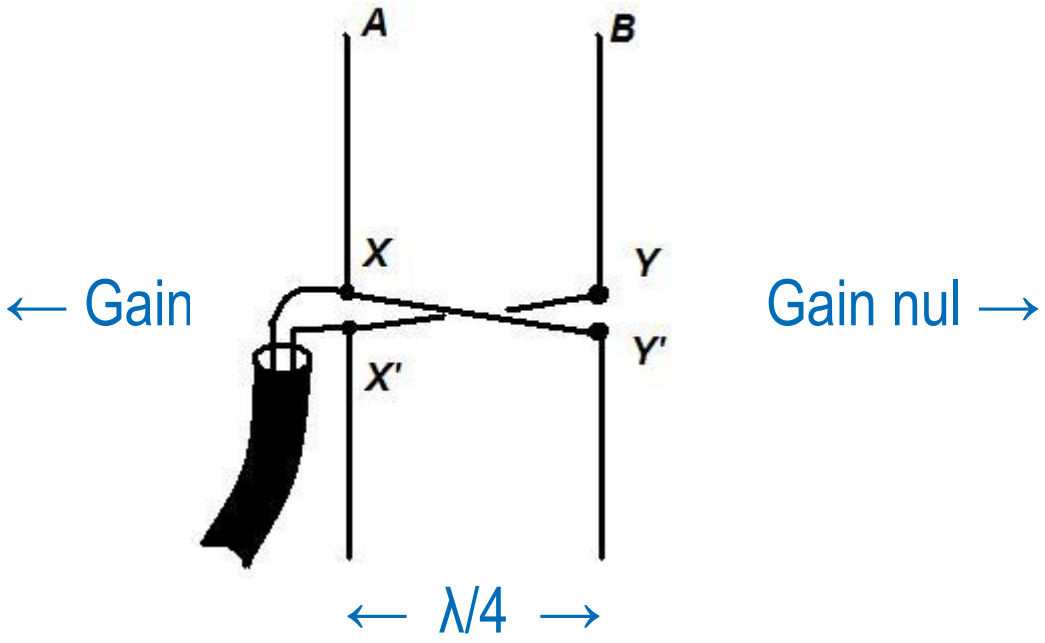
L = [984 x 0.66 x 84º] / [146.565 x 360º]

L = 12.4 pouces



L’antenne ZL spéciale

- Les deux éléments demi-onde sont alimentés de telle manière que les ondes émises par les 2 doublets s'annulent dans une direction et non dans l'autre.



L’antenne ZL spéciale

- Pour le côté droit, l'énergie radiée en B est en opposition de phase avec celle de A à cause du croisement de la ligne. L'antenne ne rayonne pas du côté droit.

- Pour le côté gauche, l'onde émise en A est en phase avec B si les doublets sont distancés de λ/4.

  En effet, l'onde émise par B a parcouru λ/4 sur la ligne et λ/4 de B vers A sous forme radioélectrique, soit un total de λ/2. Mais à cause du croisement de la ligne, la phase du signal est inversé, ce qui est équivalent à un parcours supplémentaire de λ/2. Le total est alors λ, donc en phase avec l’onde émise en A.

Antennes directionnelles

En résumé:

- Les antennes Loop, cardioïdes et « switching » (TDOA) ont l'avantage d'avoir un nul très étroit dans leur patron de radiation, mais ils n'ont pas un gain suffisant pour déterminer adéquatement l'azimut de la source lorsque celle-ci est éloignée.
- Les antennes Quad et Yagi ont une bonne sensibilité, mais l'azimut mesuré est un peu large et difficile à résoudre.

Principes physiques utilisés

Principes physiques utilisés

Les radiogoniomètres utilisent l'un ou l'autre des trois principes physiques suivants:

1- Réponse d'amplitude

A) Directe

- Utilise la force du signal pour déduire sa direction
- Exemples:
  - Yagi
  - Loop
  - Antenne avec un patron de radiation cardioïde

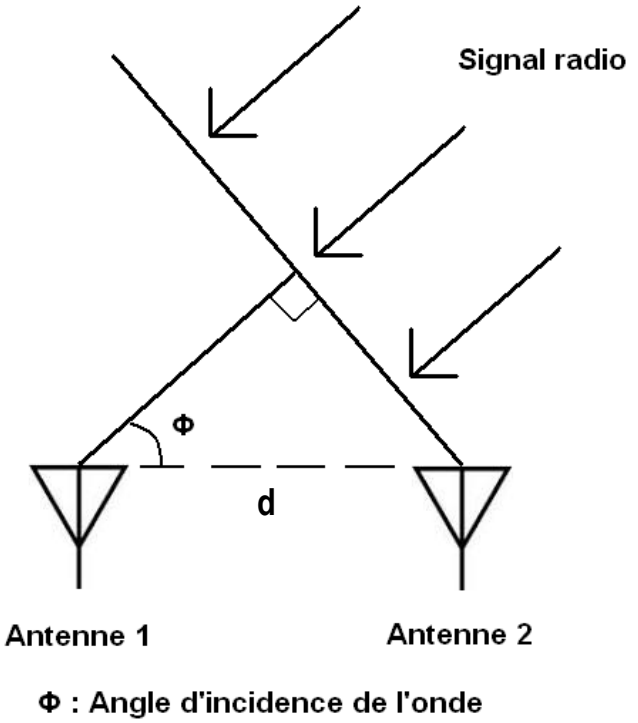
B) Comparative

- Utilise le rapport d'amplitudes mesurés avec plusieurs antennes
- Donne une information instantanée de la direction

Principes physiques utilisés

2- Délai temporel

- Utilise au moins 2 antennes séparées
- L'onde, arrivant sous un certain angle, sera détectée par une antenne avant l'autre
- Exemple: « Antenna-switching », appelée TDOA (« Time Difference Of Arrival »)



Φ : Angle d'incidence de l'onde

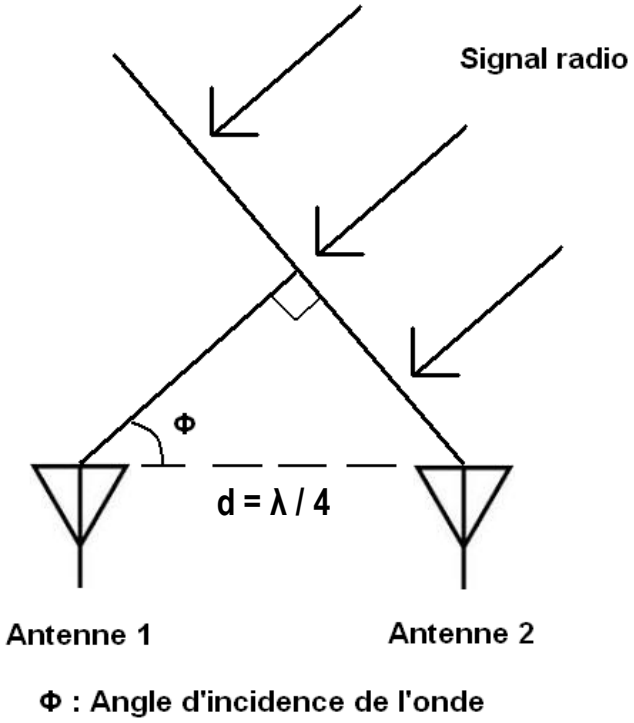
$\Delta t = d \cdot \cos \Phi / C$

où $C = 300 \times 10^6$ m/s

Principes physiques utilisés

3- Délai de phase

- Utilise au moins 2 antennes séparées
- Le délai temporel produit un délai de phase entre les signaux mesurés par les antennes
- La distance entre les antennes est ajustée à une fraction précise de la longueur d'onde
- Exemples:
  - Doppler
    - ✓ acquisition des signaux commutés
    - ✓ mesures séquentielles
  - Interféromètre
    - ✓ acquisition des signaux en parallèle
    - ✓ mesures instantanées



Techniques de recherche

Techniques de recherche

Les radiogoniomètres utilisent essentiellement l'une ou l'autre des technologies suivantes:

- La directivité de l'antenne
- Le Doppler
- L'interférométrie

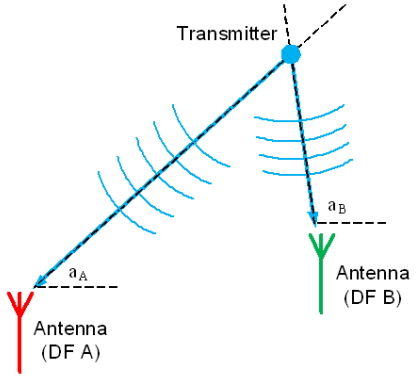
En pratique, l'utilisation de plus d'une technologie peut être requise lors des activités de DF (« Direction Finding »).

Techniques de recherche

- Une variété de méthodes peuvent être utilisées pour localiser un radio émetteur caché en utilisant la directivité d'une antenne.
- Les plus connues sont:
  - La méthode par triangulation
  - La méthode dite « Following the null »

La méthode par triangulation

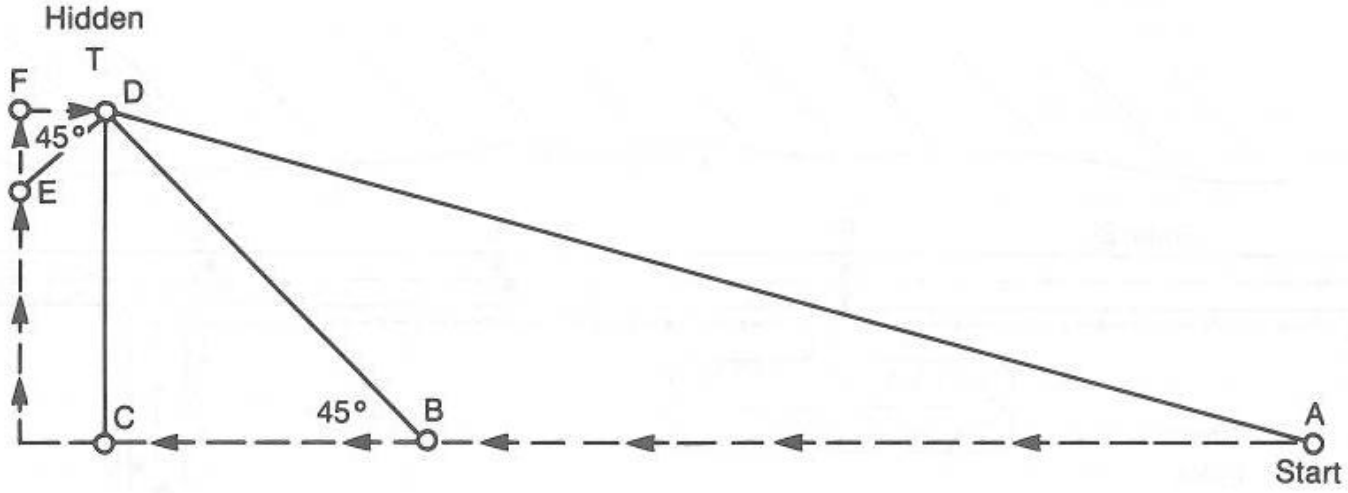
- C'est la méthode la plus populaire
- Utilise les notions de base de la trigonométrie
- Elle peut être exécutée:
  - seule
  - ou avec plusieurs personnes



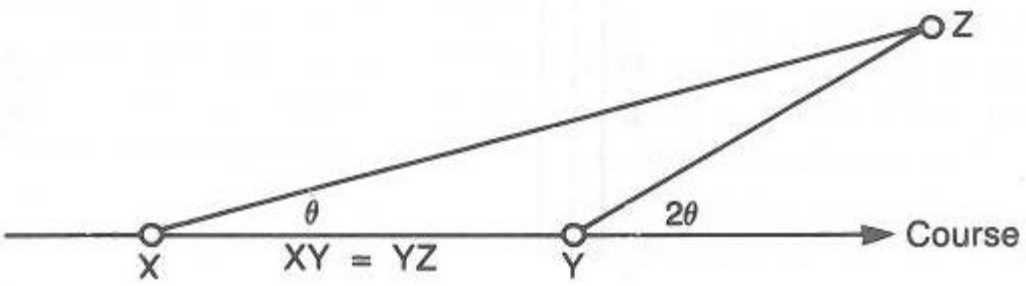
- Quelques consignes à retenir:
  - Toujours garder le contact avec le signal, pour prévenir les réflexions
  - A la première direction trouvée, une 2e peut aussi être localisée à 180º
  - Pointer la direction où le signal est le plus fort (en faisant un balayage de 360º)
  - Pour lever les imprécisions de mesure, utiliser plus de 2 points de repères
  - Cette méthode peut nécessiter d'être exécutée plusieurs fois lorsqu'on s'approche de la source du signal
  - Attention aux réflexions, à la diffraction et au réflecteur

La méthode par triangulation

- Méthode « 45/90 »

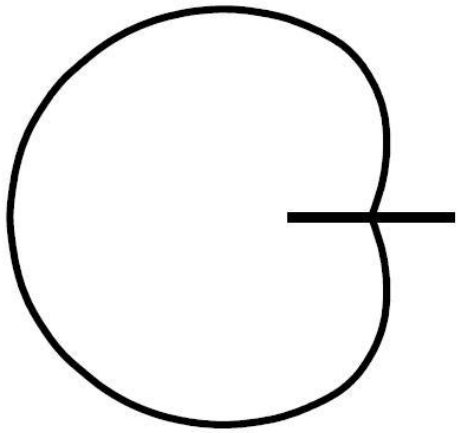


- Méthode « doubler l'angle sur l'arc »

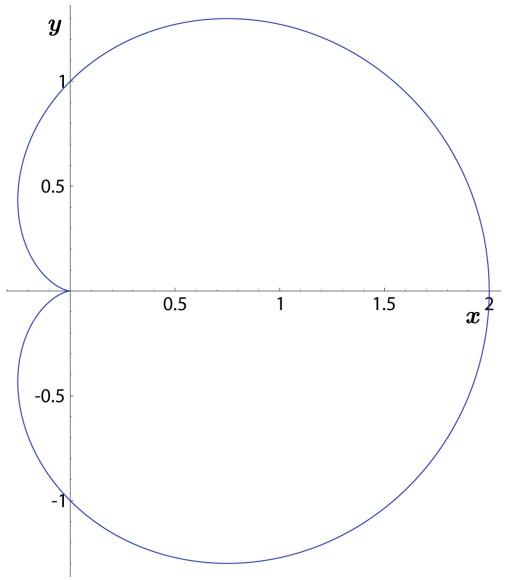


La méthode dite « Following the null »

- La méthode « following the null » utilise généralement une antenne ayant un patron de radiation cardioïde (en forme de cœur).



←Nulle→



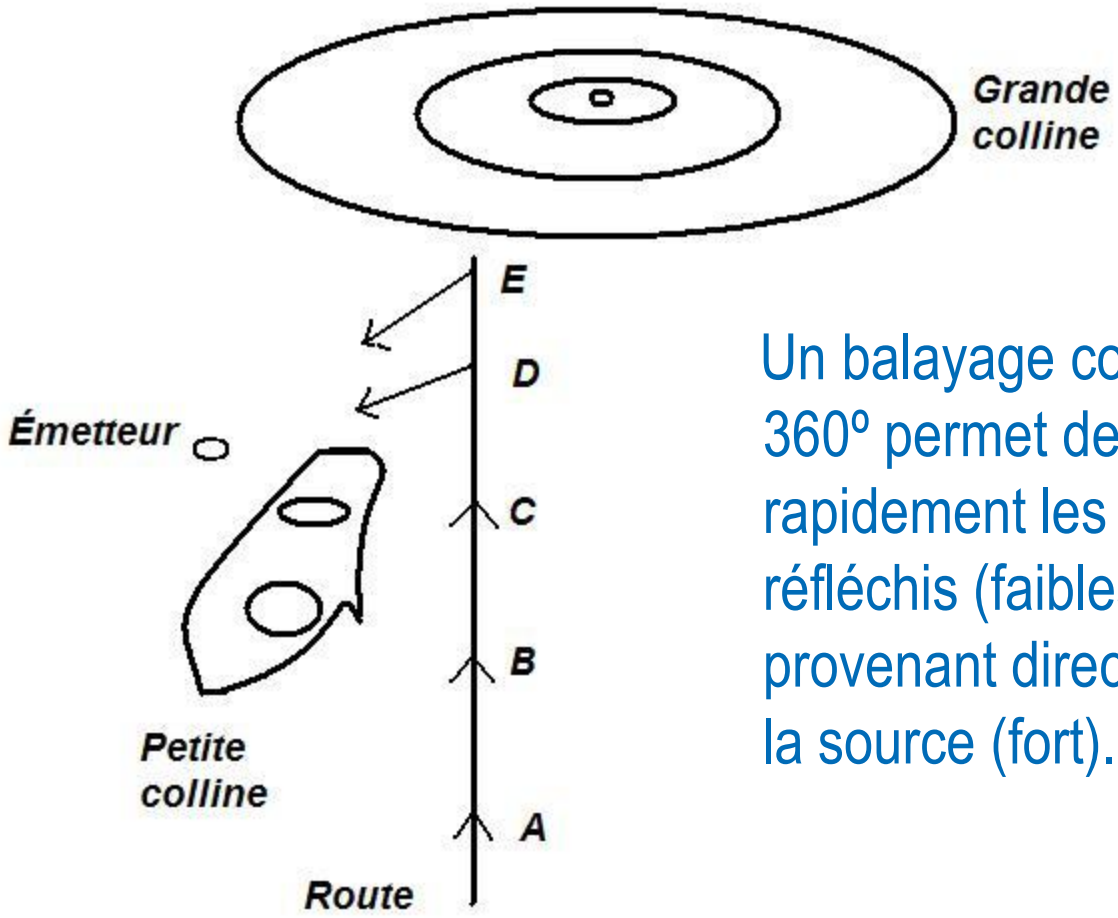
- La direction du signal sera dans le sens où sa réception est nulle.

La méthode dite « Following the null »

- Avec les antennes Yagi et Loop, on trouve toujours 2 directions de la provenance du signal, l'une étant à 180º de l'autre.
- Avec une antenne cardioïde, une seule direction est trouvée.
- Pour utiliser cette méthode efficacement, le signal doit être clairement reçu.
- On suit continuellement le signal dans la direction où il est nul.

Exemple #1 : Réflexion

Le signal radio réfléchit sur la grande colline.



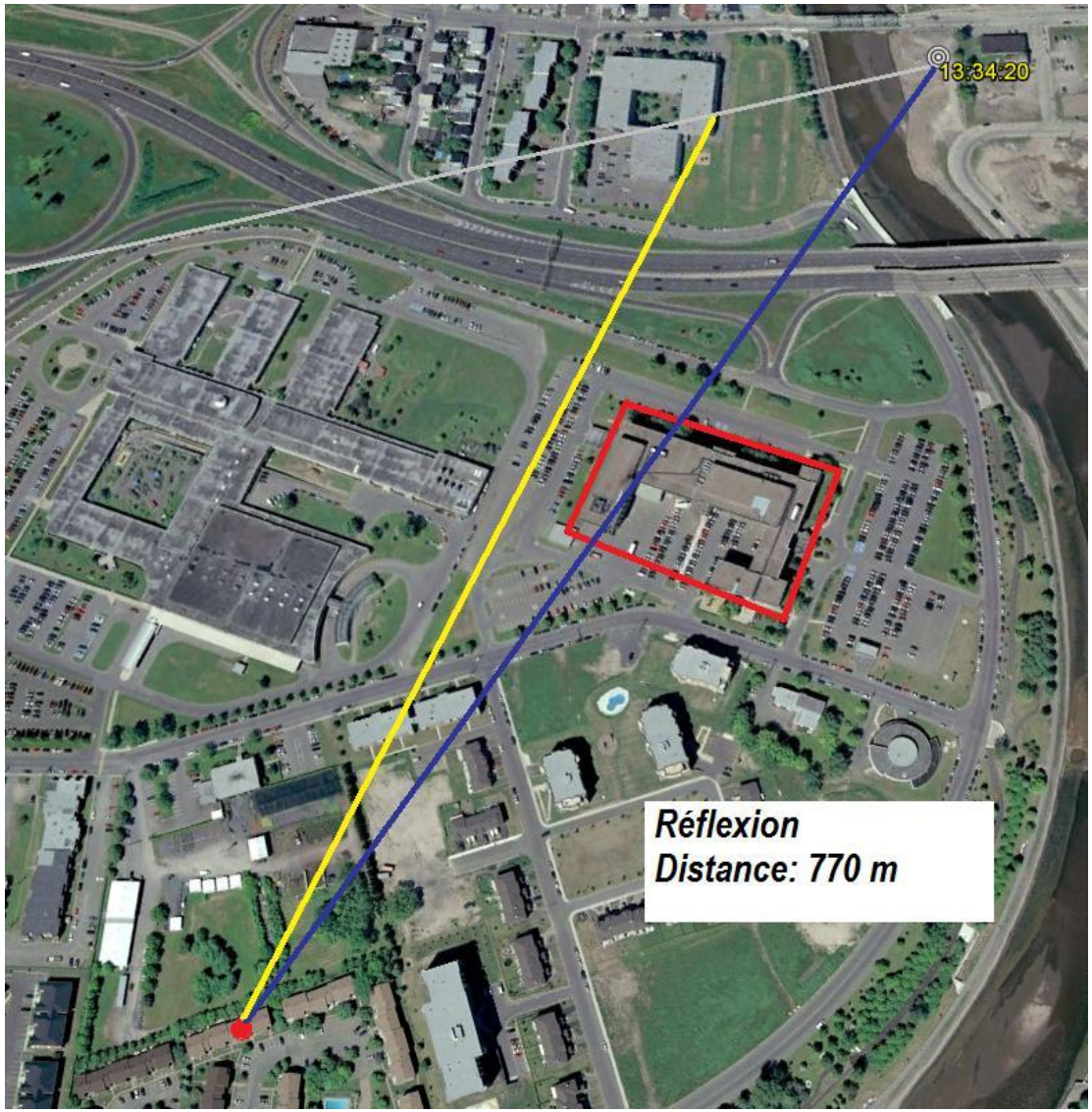
Un balayage continu en 360º permet de détecter rapidement les signaux réfléchis (faibles) du signal provenant directement de la source (fort).

Exemple #1 : Réflexion (suite)

Le **point rouge** indique la position de la source du signal.

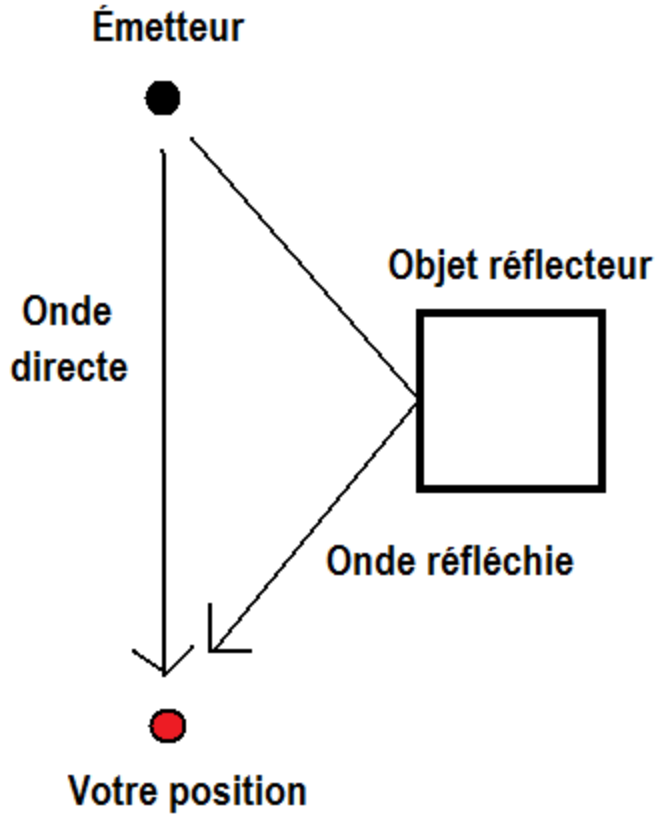
Le signal réfléchit sur la bâtisse grise (ligne **jaune**).

Le signal direct (ligne **mauve**) est atténué par la bâtisse encadrée en **rouge**.



Exemple #2 : Réflexion « Multipath »

Le signal provient de plusieurs directions.

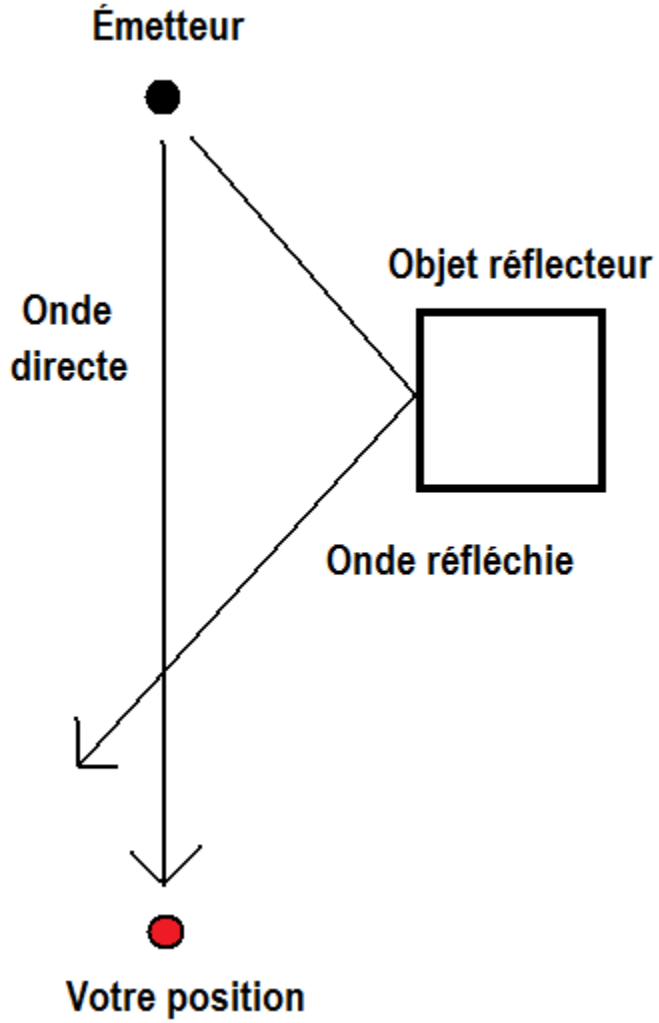


Une bonne antenne directive sera capable de distinguer les signaux réfléchis du signal provenant directement de la source.

Mais la largeur du faisceau de l'antenne directive peut ne pas être assez étroite pour bien permettre cette distinction.

Et si les signaux réfléchis sont de même force que le signal de la source, il sera difficile de le distinguer des signaux réfléchis.

Exemple #2 : Réflexion « Multipath » (suite)

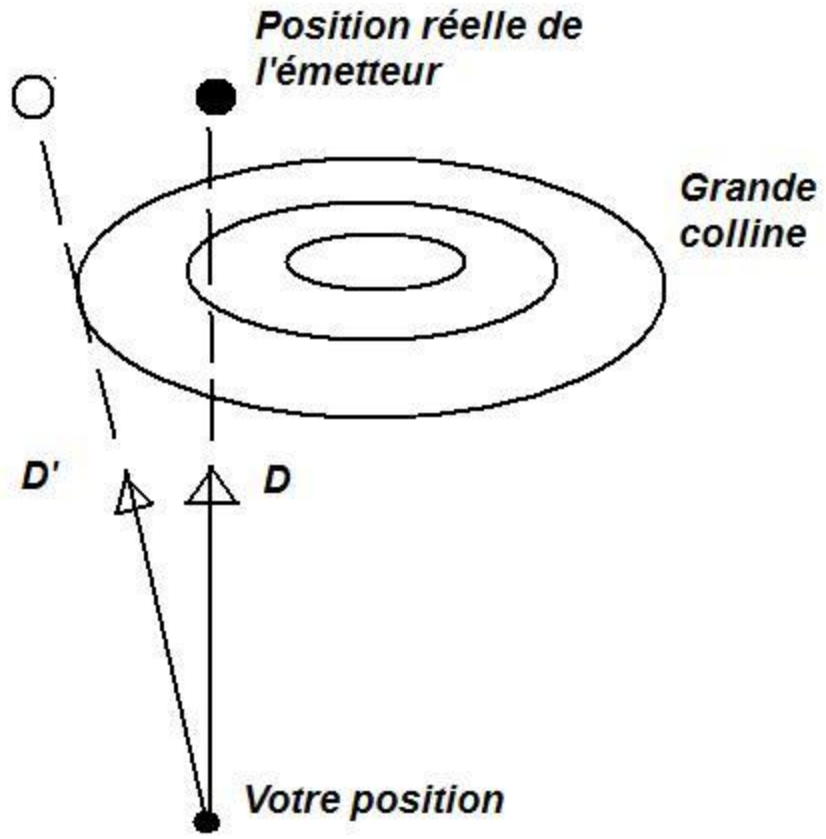


Après s'être déplacé d'une certaine distance, le signal réfléchi ne parvient plus au receveur. Seul le signal de la source est reçu. Sa direction peut alors être déterminée.

Exemple #3 : Diffraction

L'émetteur est masqué par une colline importante. Le signal est fortement atténué mais reste détectable, les ondes contournant l'obstacle.

La forme de l'obstacle et la position de l'émetteur font de sorte que le signal semble provenir de la direction D', alors que la direction réelle est D.

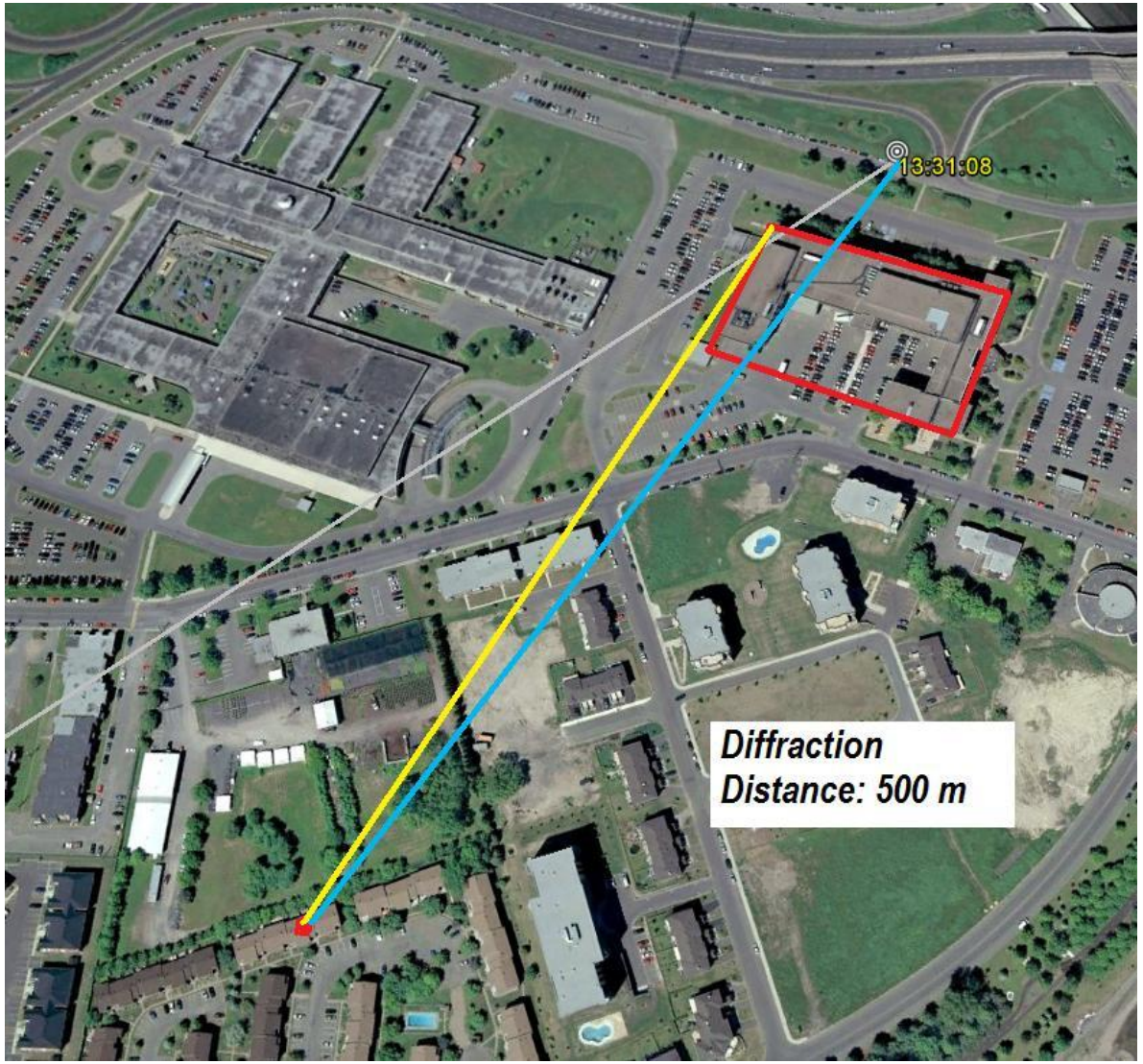


Exemple #3 : Diffraction (suite)

Le **point rouge** indique la position de la source du signal.

Le signal en **jaune** provoque une diffraction au coin de la bâtisse.

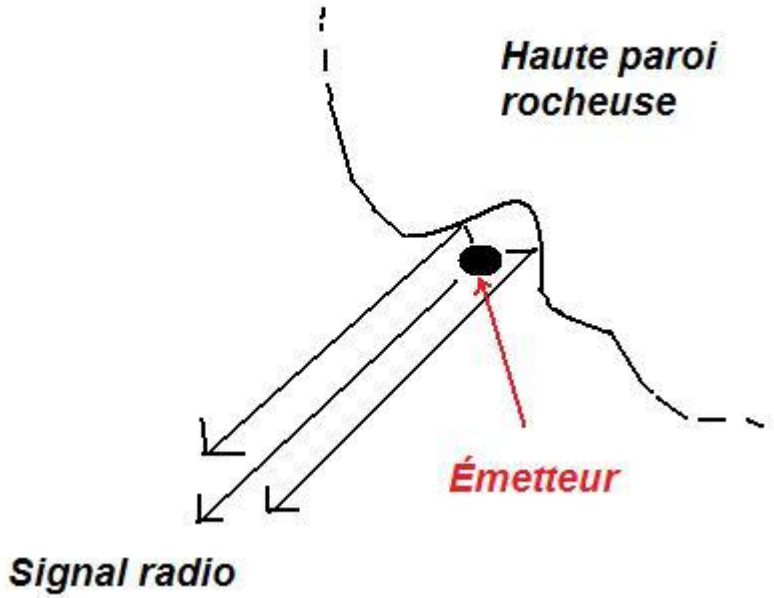
Le signal direct (ligne **bleu**) est atténué par la bâtisse encadrée en **rouge**.



Exemple #4 : Réflecteur

L'émetteur est placé devant un haut bâtiment, une paroi rocheuse ou un talus.

La surface réfléchit les ondes émises et le signal émis s'en trouve renforcé, laissant croire que l'émetteur est beaucoup plus proche qu'il ne l'est en réalité.



Technique de relevé radiogoniométrique

Technique de relevé radiogoniométrique

Étape 1 : Bien se localiser

1. Trouver un endroit dégagé si possible à 360º, surplombant les environs.
2. S'éloigner des édifices ou de toutes autres structures pouvant réfléchir le signal radio.
3. Garder une certaine distance des objets métalliques pouvant faire dévier la mesure prise avec la boussole.
4. Passer à l'étape 2.

Technique de relevé radiogoniométrique

Étape 2 : Détermination d'une fenêtre du signal

1. Ajuster le « Squelch » du radio au niveau le plus bas, sans être complètement ouvert. S'il est complètement ouvert, il sera difficile de savoir où se situe les limites de la « fenêtre » du signal, le bruit étant trop entremêlé avec le signal.
2. Effectuer un balayage de l'antenne sur 360º.
3. Ajuster l'atténuation afin de pouvoir trouver des zones de silence lors du balayage.
4. Trouver une position où le signal se fait entendre uniquement en face et en arrière de vous.
5. Passer à l'étape 3 si le point 4 est réussi. Sinon, changer de position et recommencer au point 2.

Technique de relevé radiogoniométrique

Étape 3 : Optimisation de la fenêtre du signal

1. Effectuer un balayage gauche-droite de l'antenne sur un arc de cercle compris entre 90º et 180º.
2. Ajuster l'atténuation pour faire de sorte que les limites gauches et droite de la fenêtre du signal soient les plus rapprochés possibles sur l'arc de cercle balayé.
3. Passer à l'étape 4 lorsque la fenêtre de captation du signal est optimisée.

Technique de relevé radiogoniométrique

Étape 4 : Trouver les repères physiques

1. Effectuer un balayage gauche-droite de l'antenne sur un arc de cercle légèrement supérieur à celui trouvée à l'étape 3.
2. Trouver un repère physique de où commence la fenêtre du signal à gauche : a) Balayer jusqu'à la zone de silence à gauche et revenez vers la fenêtre du signal. b) Repérer un point physique sur le terrain où le signal commence à se faire entendre.
3. Suivre la même procédure que le point 2 pour déterminer un repère physique de où commence la fenêtre du signal à droite.
4. Une fois que les 2 points de repère physique sur le terrain sont déterminés, passer à l'étape 5.

Noter qu'il peut y avoir un phénomène d'hystérésis dans la logique du Squelch avec le radio. Il est donc important d'avoir la même procédure pour déterminer les 2 points de repères à gauche et à droite de la fenêtre du signal. Ici, ces points de repère se prennent lorsque le signal se fait entendre.

Technique de relevé radiogoniométrique

Étape 5 : Mesure de la direction du signal

1. Sur l'arc de cercle où sont localisés les 2 points de repère physique, trouver le point milieu. Noter un autre repère physique sur le terrain où se situe ce point milieu.
2. Avec une boussole, déterminer l'azimut du point de repère physique trouvé au point 1.
3. Appliquer la déclinaison magnétique de l'angle trouvé au point 2 et tracer sur une carte sa direction (ou entrer les données de position et de direction dans le logiciel GoogleHunt).

Technique de relevé radiogoniométrique

Variantes

- Supprimer le « Squelch » du radio.
- Lorsque la force du signal indiquée au S-mètre du radio est la plus forte, l'antenne directive pointe vers la source du signal.
- Plus on progresse vers la source du signal, plus le signal sera fort.
- Ajuster manuellement l'atténuation de manière à ce que le S-mètre indique toujours la moitié de l'échelle.
- Avec l'expérience, il peut être possible d'estimer votre distance de la source en observant l'atténuation appliquée.

Radiogoniométrie Sportive

(Concours ARDF)

Radiogoniométrie sportive

Principalement 2 bandes radio amateur sont utilisées en radiogoniométrie sportive:

- Bande de 80 mètres
- Bande de 2 mètres

Avant que la bande de 2 mètres ne gagne en popularité vers la fin des années 1960, la bande de 10 mètres était aussi utilisée dans les concours ARDF.

Le Royaume-Uni organise encore de nos jours des compétitions sur la bande de 160 mètres.

Radiogoniométrie sportive

Bande de 80 mètres

- C'est la bande préférée des débutants et ceux sans expériences
- Idéal pour initier les jeunes
- Très peu affectée par les réflexions sur les édifices ou les montagnes
- Le compétiteur trouve le bon cap à suivre, puis il choisit la meilleure route à l'aide la carte, et part à la course
- Utilise un équipement petit et léger, dont les relevés azimuts peuvent être d'une grande précision
- Équipement relativement simple à construire et assez peu coûteux
- Activité se déroulant le jour, l'onde de sol est le mode de propagation principal du signal source
- Plage de fréquences utilisées: **3.5 MHz** à **3.7 MHz**

Radiogoniométrie sportive

Bande de 2 mètres

- Nécessite une bonne connaissance de la propagation VHF
- RDF plus difficile à cause des réflexions
- Le signal VHF peut réfléchir sur des édifices, des collines et des montagnes
- Équipement plus compliqué à réaliser, et plus coûteux
- Équipement plus encombrant et lourd
- Davantage une compétition axée sur le raisonnement qu'une compétition de course
- La fréquence officielle fixée par l'IARU (région 2) pour la chasse à l'émetteur est **146.565 MHz**. Pour l'Europe, **144.500 MHz**.

Les erreurs sur la mesure

Les erreurs sur la mesure

Les erreurs sur la mesure des azimuts sont inévitables.

L'imprécision dépend de plusieurs facteurs qui peuvent s'ajouter:

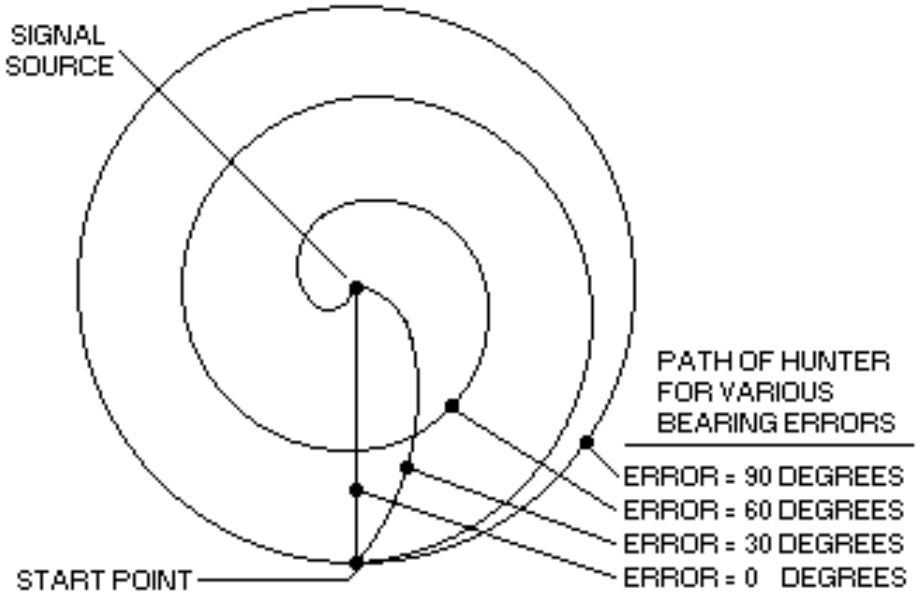
- opérateur inexpérimenté
- mauvaise utilisation de la boussole
- boussole manquant de fiabilité ou perturbée par des masses magnétiques proches
- l'axe électrique de l'antenne (lobe principal) différent de l'axe mécanique (boom)
- antenne peu directive
- présence de réflexion sur le relief
- repères approximatifs lors de la détermination de la fenêtre du signal

Les erreurs sur la mesure

Heureusement, quelque soit l'imprécision de la mesure, si celle-ci est inférieure à 90º, les recherches finiront toujours par converger vers la source du signal.

FIGURE 5 : BEARING ERROR TOLERANCE

HOMING / HUNTING SITUATIONS ARE EXTREMELY TOLERANT OF ERRORS IN D/F BEARINGS



Différentes approches en spirale, selon le degré d'erreur des mesures successives des azimuts.

Les erreurs sur la mesure

Erreur sur la distance de la source du signal, en fonction de l'imprécision de l'angle sur l'azimut mesuré, en utilisant la méthode de recherche par triangulation.

Angle d'erreur (degrés)	Distance de la source			Distance à bout de bras (65 cm)
	1 km	2 km	3 km	
1°	17 m	35 m	52 m	1.1 cm
2°	35 m	70 m	105 m	2.2 cm
3°	52 m	105 m	157 m	3.4 cm
4°	70 m	140 m	210 m	4.5 cm
5°	87 m	175 m	262 m	5.7 cm
6°	105 m	210 m	315 m	6.8 cm
...	...	...	...	...
10°	176 m	352 m	530 m	11 cm

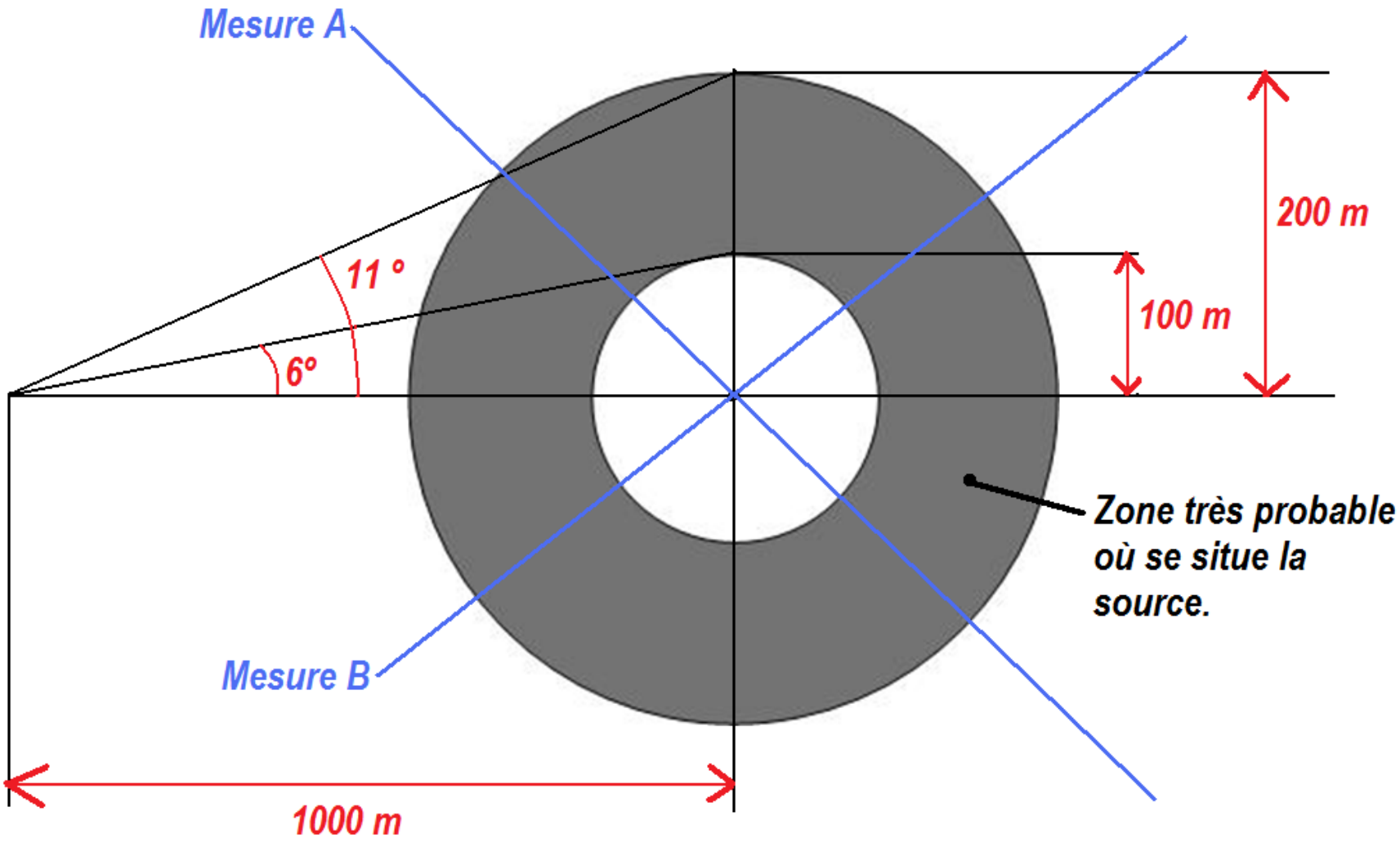
Les erreurs sur la mesure

Hypothèses sur la précision des mesures des azimuts:

- La mesure d'angle n'est pas plus précise que ± 6º. Donc pour chaque km, on additionne une erreur de ±100 m du point d'intersection (soit ±10%).
- La mesure d'angle réalisée par le chercheur a une précision égale ou inférieure à ± 11º (soit ±20%).

  Donc pour chaque km, on additionne une distance approximative de ±200 m du point d'intersection dans laquelle la source est susceptible d'être localisée.

Les erreurs sur la mesure



Les erreurs sur la mesure

- L'hypothèse posée est qu'il est peu probable que la source soit localisée dans le cercle intérieur.
- Dans la condition où le chercheur ne peut suivre le signal de la source en permanence, la zone **grise** identifie la zone où le chercheur devrait se positionner pour réaliser sa prochaine triangulation afin de favoriser l'optimisation de ses déplacements et de son temps de recherche.

Les erreurs sur la mesure

Le **point rouge** indique la position de la source du signal.

La source du signal est située à la frontière du **cercle noir** identifiant la zone où il serait peu probable de retrouver la source.

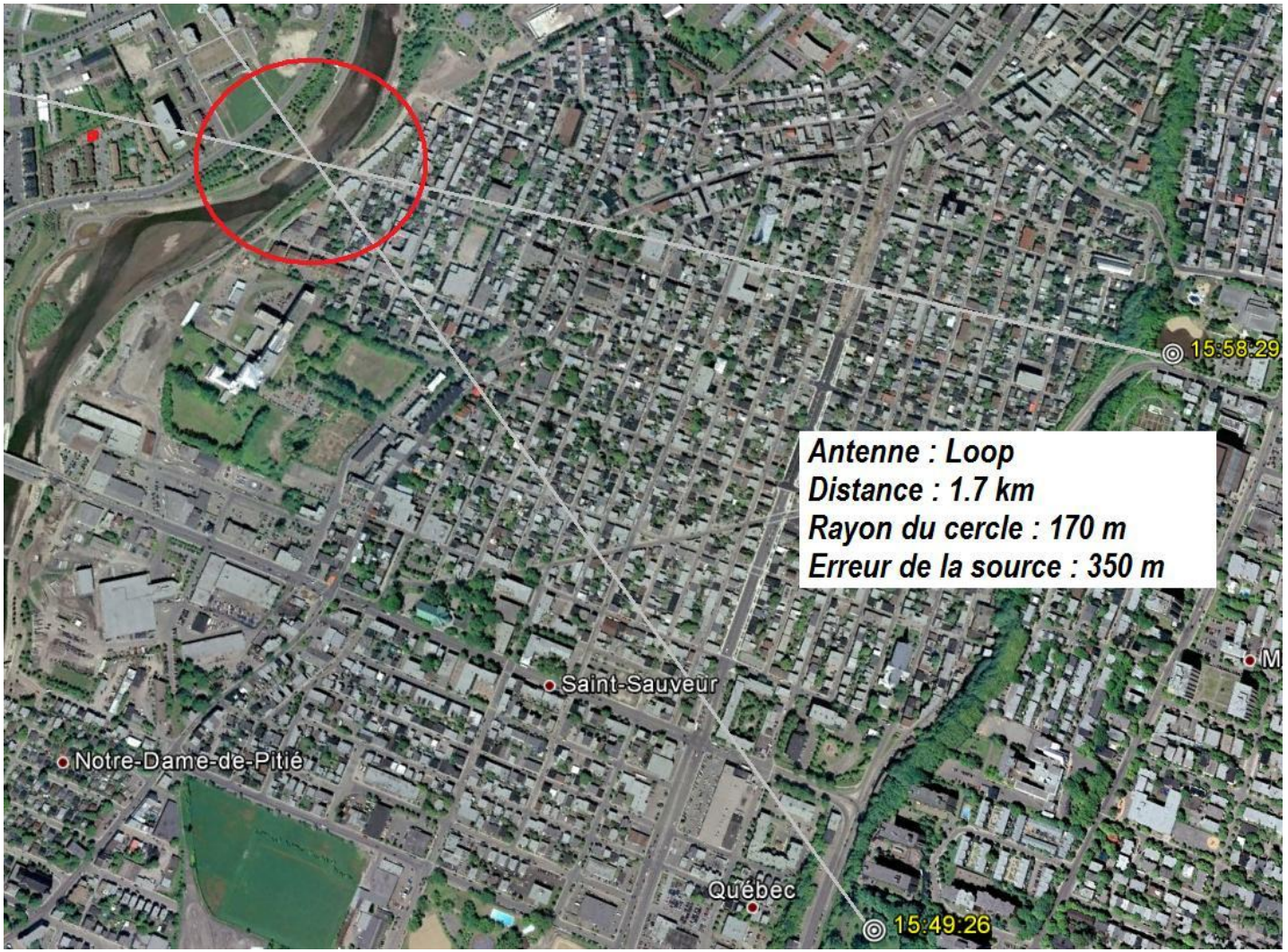
Mesures réalisées avec un antenne Loop et un atténuateur actif.

Les erreurs sur la mesure

Le **point rouge** indique la position de la source du signal.

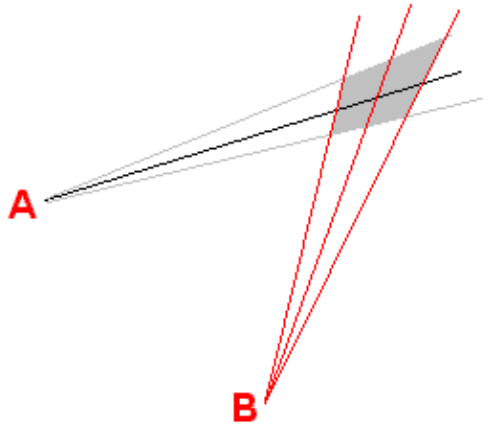
La source du signal est à l'extérieur du **cercle rouge**, mais à la frontière d'un cercle du double de son rayon.

Mesures réalisées avec un antenne Loop et un atténuateur actif.



Les erreurs sur la mesure

- En principe la source aurait toutefois une certaine probabilité de se trouver dans le losange formé par l'intersection des 2 relevés complétés de leur tolérance à ±6º.
- Plus l'angle formé par les 2 relevés sera proche de 90º, plus la surface du losange sera réduite.

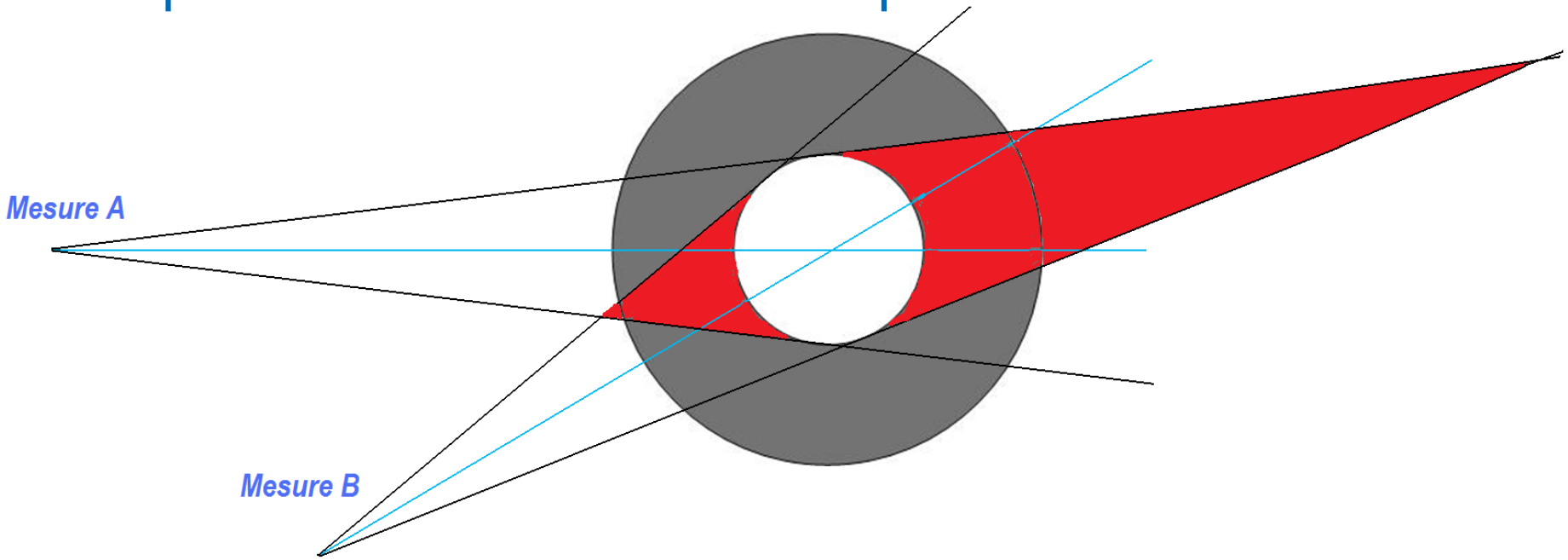


Les erreurs sur la mesure

- Le losange crée une zone **rouge** dans la zone **grise** de positionnement où la source risque d'être localisée.
- Cette zone **rouge** devient plus importante si l'angle entre les 2 relevés est faible.
- Avec l'hypothèse que la source a peu de chance d'être dans le cercle situé à l'intérieur de la tolérance, les 2 prochains relevés devraient alors être pris dans la section de la zone **grise** qui n'interfère pas avec la zone **rouge**.

Les erreurs sur la mesure

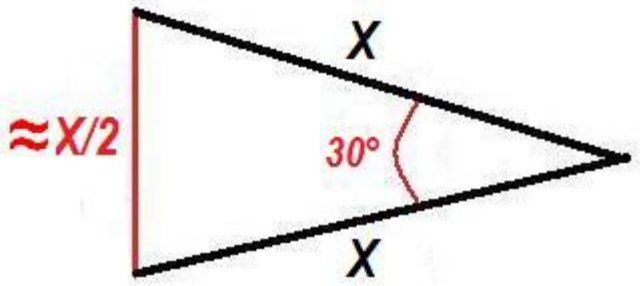
- La zone **grise** identifie l'emplacement de la prochaine triangulation.
- La zone **rouge** dans la zone **grise** identifie la probabilité où la source risque d'être localisée.



Les erreurs sur la mesure

Résumé des principales observations d'une triangulation réalisée avec 2 relevés:

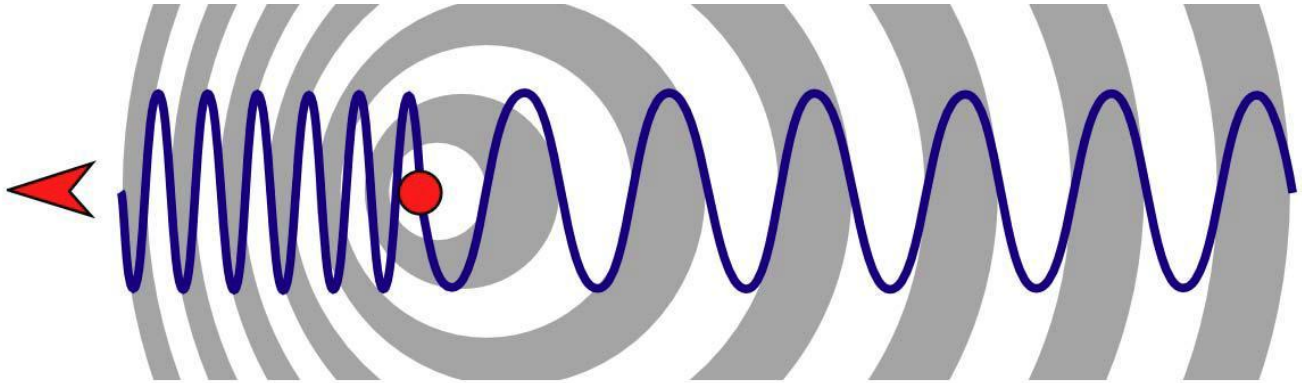
- La position au point d'intersection des 2 relevés n'est pas plus précise que ±10%. Mais elle peut être inférieure à ±20%.
- La localisation réelle de la source du signal est souvent située légèrement au-dessus du point d'intersection des 2 relevés. Cette probabilité est d'autant plus grande si l'angle entre les 2 relevés est faible.
- Pour une triangulation efficace, l'angle entre les 2 relevées devrait être ≥30º. Idéalement, 90º.



Le Doppler

Le Doppler

- L'effet Doppler est le décalage de fréquence entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie en fonction du temps.
- Exemple de la sirène d'un véhicule d'urgence. Le son est différent selon:
  - que l'on est dans le véhicule (l'émetteur est immobile par rapport au récepteur)
  - que le véhicule se rapproche du récepteur (le son est plus aigu)
  - ou qu'il s'en éloigne (le son est plus grave).



Le Doppler

- Le radiogoniomètre de repérage à effet Doppler est constitué d'un groupe de 4 antennes alimentées électroniquement les unes après les autres pour déterminer la direction de la station émettrice.
- La détection est très rapide, de sorte que ce système est très pratique pour la détection des transmissions courtes.
- Pointe immédiatement dans la bonne direction (pas de 2e direction à 180°).

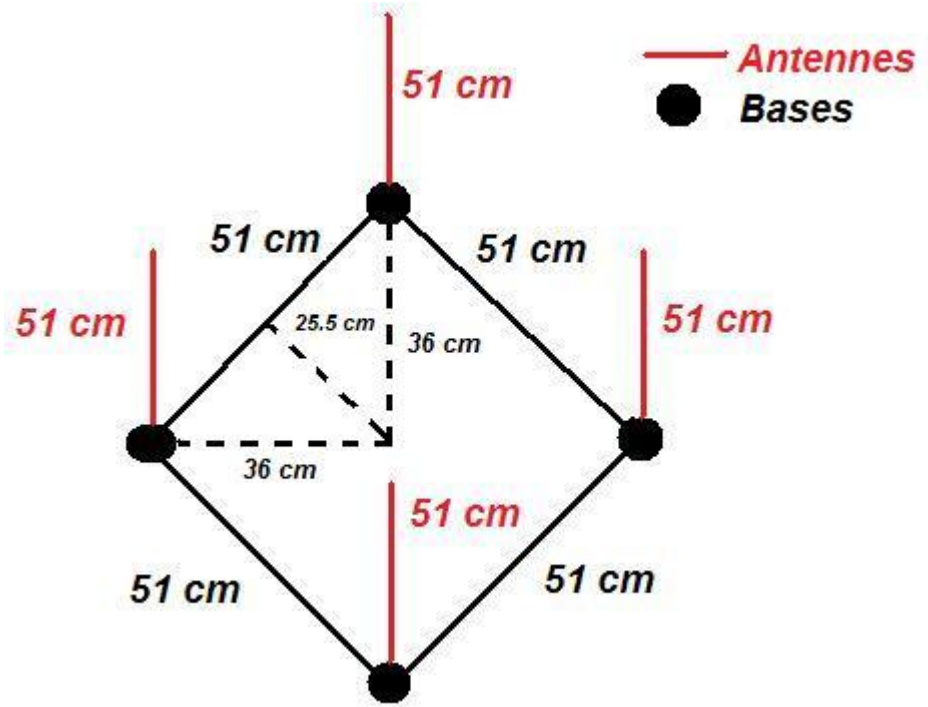
Cette technique est aussi appelée Quasi Doppler ou Pseudo Doppler.

Certains appareils commerciaux utilisent parfois jusqu'à 8 antennes.

Le Doppler

- Les 4 antennes doivent être des quarts de longueur d'onde.
- La distance entre les 4 antennes doit être de ¼ λ.
- Voici un exemple de disposition d'antennes à la fréquence 146 MHz.

  (¼ λ = 300 / (146 x 4) ≈ 51 cm ≈ 20 pouces)



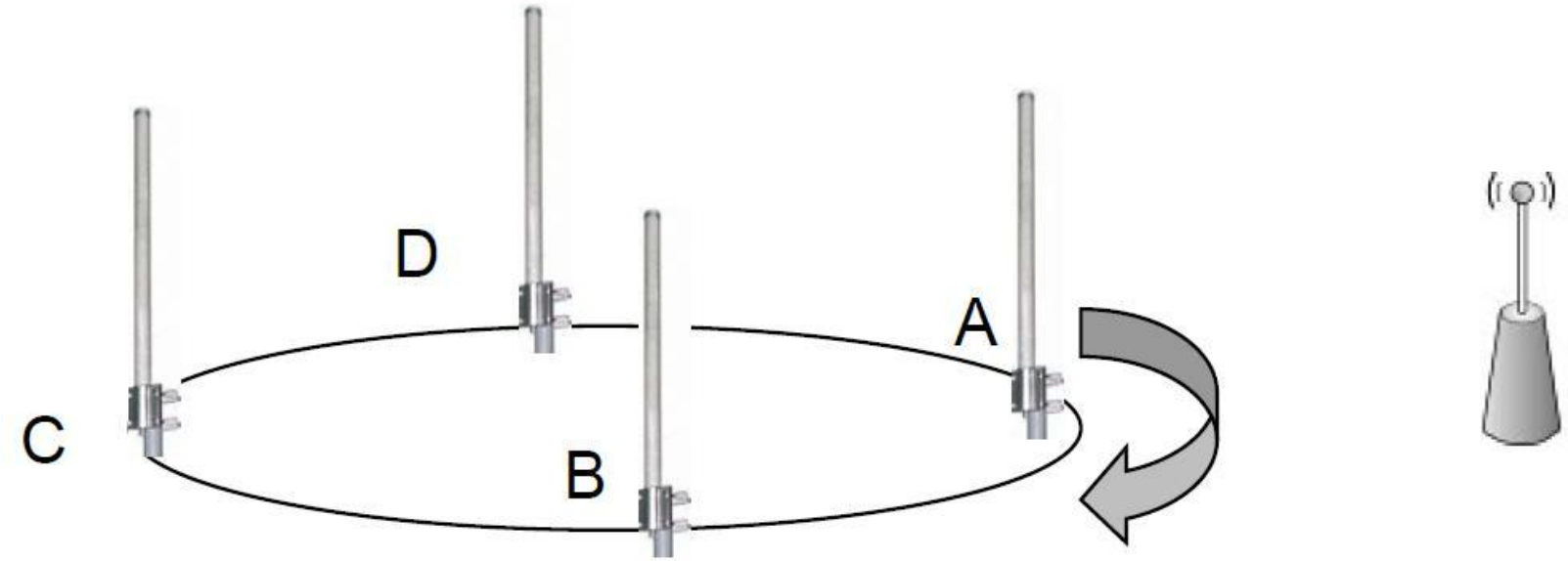
Les antennes peuvent être légèrement plus basses qu'un ¼ λ, mais pas plus hautes.

La position des bases sur le carré doit être précise à l'intérieur de 1 pouce. Utiliser au besoin un « patron » pour les positionner.

Le Doppler

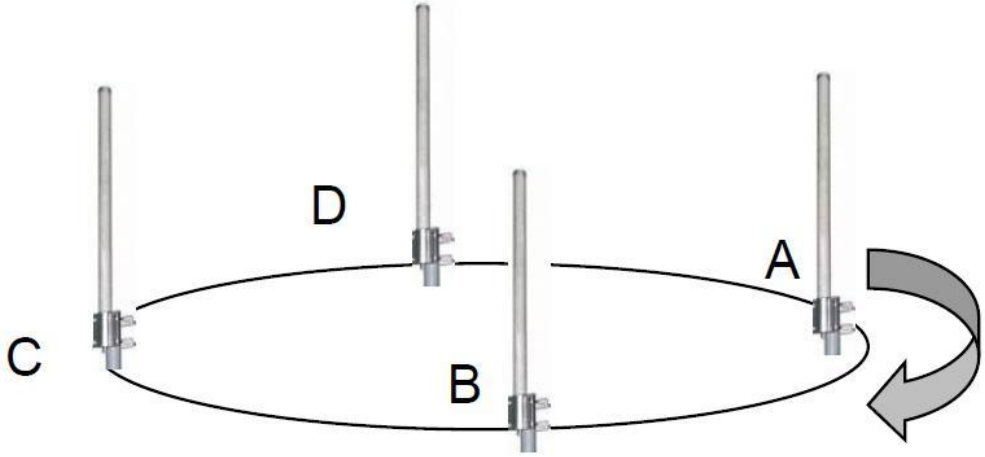
Principe de fonctionnement

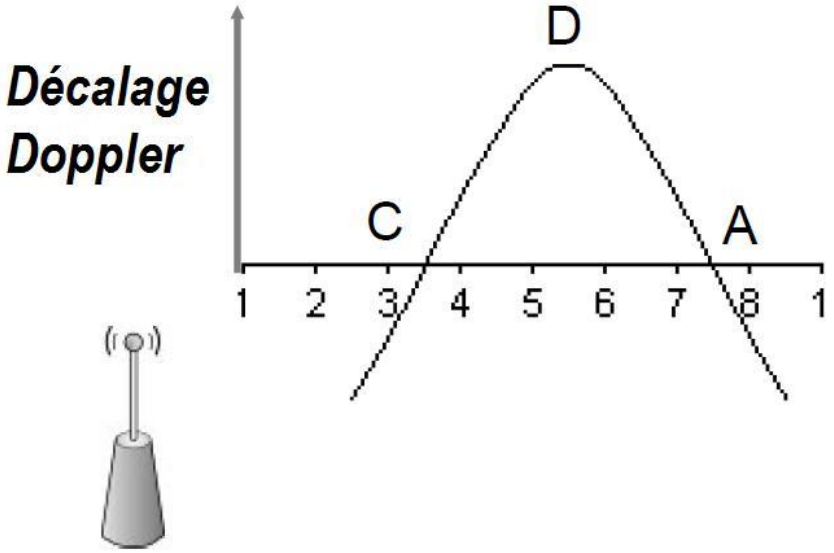
- Imaginer une simple antenne posée sur un disque tournant.
- Comme le disque tourne, l'antenne s'éloigne et s'approche du transmetteur.
- Aux positions A et C, l'antenne est relativement stationnaire par rapport au transmetteur, donc aucun décalage de fréquence.
- Aux postions B et D, les décalages de fréquence seront maximum.
- Une mesure continue du décalage de la fréquence donnera une courbe sinusoïdale.



Le Doppler

- En faisant une mesure continue du décalage de la fréquence autour du disque, on obtient une mesure sinusoïdale du décalage Doppler de la fréquence, avec 2 zéros passant par A et C (ie où il n'y a pas de décalage Doppler).
- Le deuxième passage par zéro (pente négative) est le point le plus proche du transmetteur.
- La courbe sinusoïdale a la même fréquence que la vitesse de rotation angulaire de l'antenne.





Le Doppler

Le décalage Doppler de la fréquence est donné par la formule suivante:

$$dF = (w \times R \times Fc) / C$$

Où:

dF: Décalage Doppler de la fréquence (en Hz)

w: Vitesse angulaire de rotation en radian par seconde (2x¶xFr)

R: Rayon de la rotation de l'antenne (en mètre)

Fc: Fréquence du transmetteur (en Hz)

C: Vitesse de la lumière

Le Doppler

La formule simplifiée du décalage Doppler de la fréquence:

$$dF = (Fc \times R \times Fr) / 1879.8$$

Où:

dF: Décalage Doppler de la fréquence (en Hz)

Fc: Fréquence de la porteuse du signal reçu (en MHz)

Fr: Fréquence de rotation (en Hz)

R: Rayon de la rotation de l'antenne (en pouce)

Exemple: Pour le RDF KN2C DF2020T, la fréquence de commutation des antennes (Fr) est de 430 Hz. Calculons le décalage Doppler de la fréquence (dF) avec un système monté pour détecter la fréquence 146 MHz, donc R=14 pouces (soit ≈36 cm).

dF = (146 MHz x 14 pouces x 430 Hz) / 1879.8

dF ≈ 468 Hz

Donc la fréquence oscillera entre 145.999532 MHz et 146.000468 MHz.

Le Doppler

Un « Doppler Direction Finder » (DDF) peut être utilisé pour suivre les signaux suivants:

- FM analogique
- FM numérique
- VHF/UHF FM
- VHF/UHF AM
- TV analogique
- Porteuse continue (CW)
- Et n'importe quel signal ayant une porteuse

Le DDF n'est pas adapté pour traquer:

- des signaux SSB
- des signaux n'ayant pas de porteuse
- du bruit à large bande (RFI)
- des impulsions courtes (comme des arc de lignes électriques 60Hz)

Le Doppler

DDF1 - Doppler Direction Finder Kit, de Ramsey

www.ramseyelectronics.com

- Inclus les 5 bases magnétiques pour antennes
- 16 LEDs
- Alimentation 12 Vcc
- Fréquence: 130 à 1000 MHz
- Sortie RS232 pour PC
- Scan rate: 500 Hz
- Valide pour les signaux FM, AM et CW
- Prix: 170$ US en kit
  270$ US monté et testé
- Article paru dans la revue QST de mai 1999

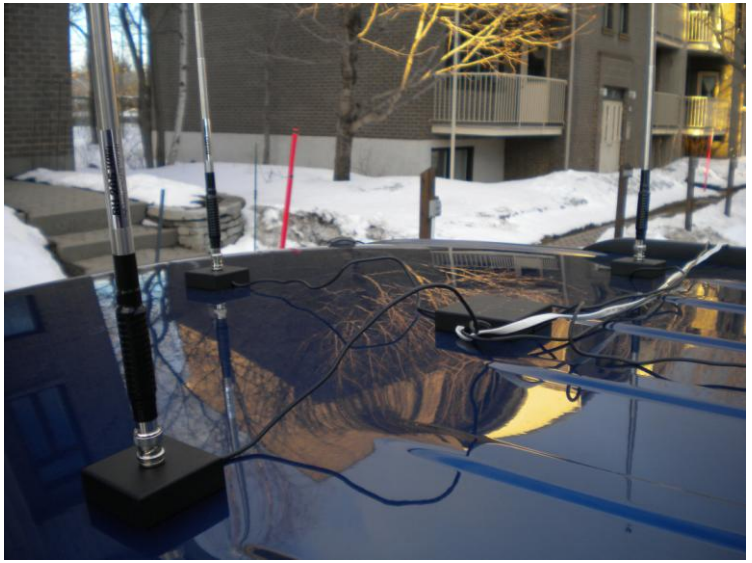
Le Doppler

Radio Direction Finder KN2C DF2020T Doppler

http://kn2c.us/

- Multi-affichage: Numérique et 36 LEDs
- 5º de précision (à 1σ)
- Entrée GPS
- Sortie RS232 pour PC
- Alimentation 12 - 28 Vcc
- Fréquence: 100 à 1000 MHz
- Compatible avec le logiciel GoogleHunt (Navi2020) et DoppSite
- Compatible avec logiciels APRS
- Scan rate: 430 Hz
- Prix: 300$ US (sans le GPS)

Le Doppler



Le Doppler

L'exemple sur la diapositive suivante montre 6 mesures prises en voiture avec le système **Doppler RDF KN2C DF2020T** et le logiciel **GoogleHunt** autour de la source du signal (**point rouge**).

3 vecteurs sont valides et 3 sont mauvais

Les 3 vecteurs valides convergent à environ 65 m de la source du signal, donnant une précision d'environ 7º.

Concernant les 3 mesures qui ne sont pas valides:

- le vecteur **17:59:58** est une réflexion sur une bâtisse qui est trop prêt de la voiture.
- le point **17:53:03** sans vecteur a été généré à cause de la vitesse de la voiture qui était inférieure à 5 km/h.
- le vecteur **17:56:49** a été généré alors que la mesure du RDF était instable à cause des multiples réflexions dans le secteur.

Le Doppler

17:57:19
17:59:58
17:56:49
17:59:27
Distance : 520 m
Erreur : 65 m
Précision du DF : 7°
17:53:03
17:54:46

Le Doppler

L'exemple sur la diapositive suivante montre plusieurs mesures prises en voiture dans le secteur de la source du signal.

- Les mesures ont été prises avec le système **Doppler RDF KN2C DF2020T** et le logiciel **GoogleHunt**.
- La source du signal se situe dans la zone de convergence des vecteurs.
- Les mesures invalides provoquées par la réflexion et la diffraction ont été retranchées pour mieux identifier la zone de convergence.

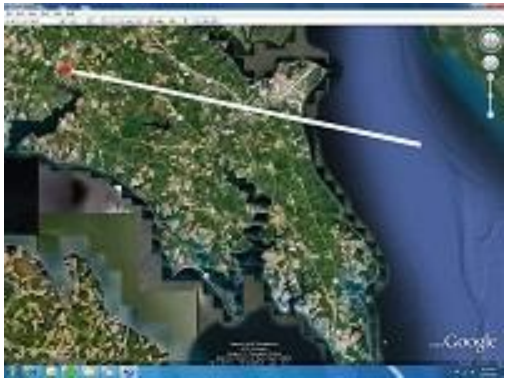
Le Doppler

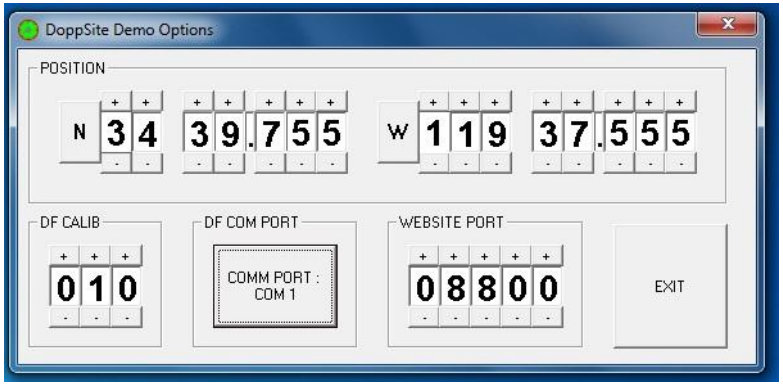
7:38:50 PM
La Cite-Limoilou
7:37:46 PM
7:20:23 PM
7:39:48 PM
7:23:46 PM
Les Rivières
7:26:16 PM
7:28:17 PM
7:29:14 PM
7:32:45 PM
Notre-Dame-de-Pitié
7:32:14 PM
Saint-Sauveur
Montcalm
Québec

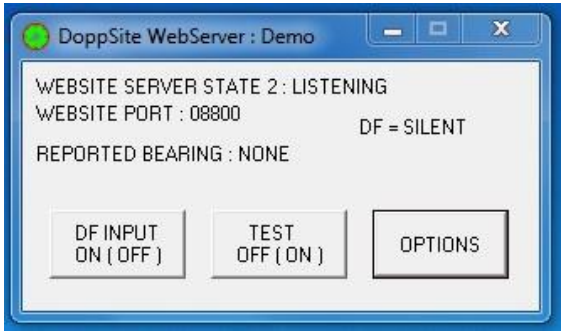
Le Doppler

Logiciel DoppSite

- Conçu par Bob Simmons WB6EYV
- Pour station fixe
- Fonctionnement en réseau DF possible (via Internet)
- Compatible avec le système Doppler « *Radio Direction Finder (RDF) DF2020T* »
- Affichage dans GoogleEarth (vecteurs de 20 miles max)
- Version DEMO (simulation) disponible
- Commande par courriel (avec position lat/long du site)
- Compatible avec l'antenne BaseDopp
- Prix: 99$ US www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/DD_MORE.html







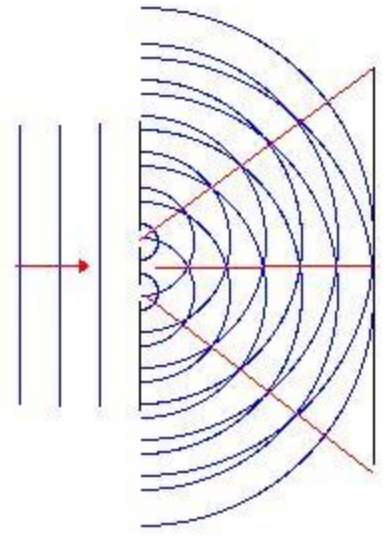
L'interférométrie

L'interférométrie

- L’interférométrie consiste à comparer deux (ou plusieurs) signaux et à examiner le décalage de phase entre ces signaux.
- Elle peut être considérée comme l'addition de deux ondes qui vont s'additionner ou se soustraire en fonction de leurs amplitudes et de leur différence de phase.
- L'interférométrie exploite les interférences intervenant entre plusieurs ondes entre elles.

Exemple de vagues passant au travers de 2 fentes dans un bassin d'eau. La diffraction va créer des vagues curvilignes qui vont s’interférer de l’autre côté du bassin.

L’interférométrie de ce système consistera à analyser les interférences créées pour en déterminer les métriques recherchés.



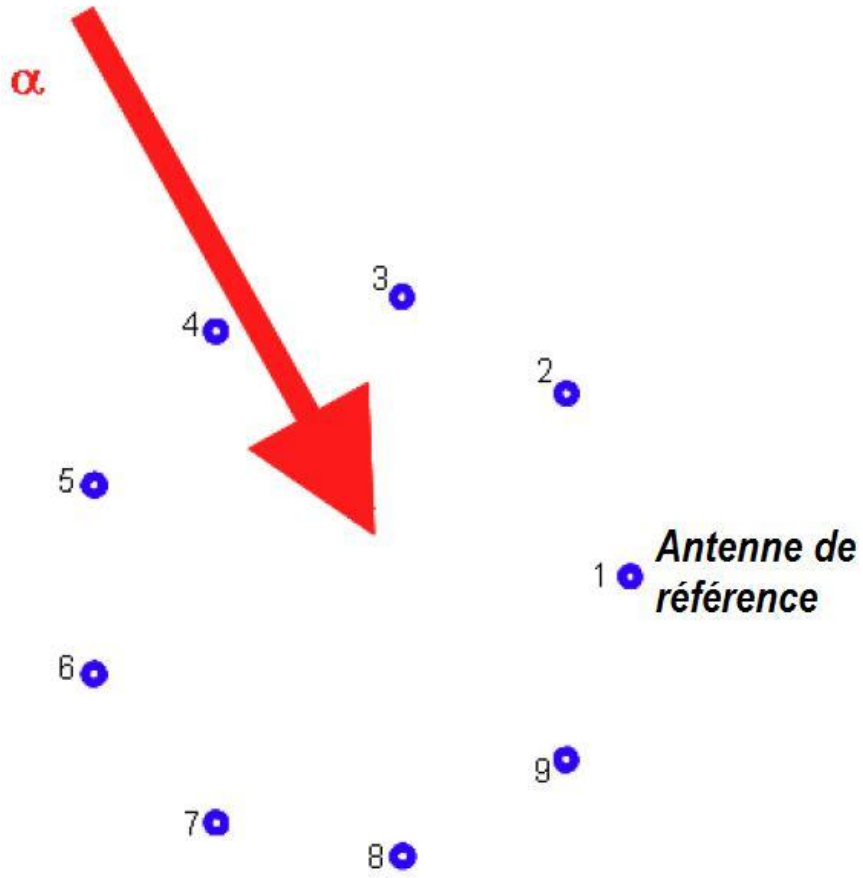
L'interférométrie

L’interférométrie appliquée au DF

- Grande immunité contre les réflexions comparé aux autres techniques de DF.
- Mesure d'élévation possible.
- Peut couvrir une large plage de fréquence (> 1 GHz).
- Plus précis que le Doppler (typiquement <1º).
- Plus rapide que le Doppler car les sorties des antennes sont échantillonnées simultanément plutôt que séquentiellement.
- Pointe immédiatement dans la bonne direction (pas de 2e direction à 180º).
- L’interférométrie est utilisée dans les appareils commerciaux de haute technologie.

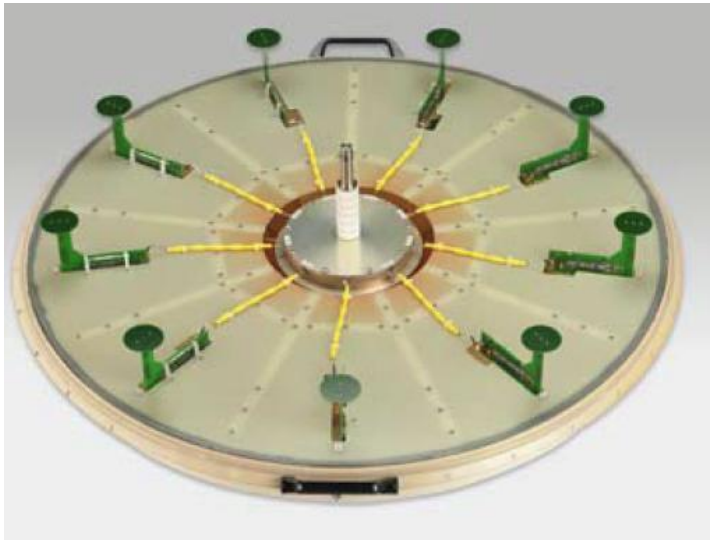
L'interférométrie

- L'interféromètre calcule les azimuts à partir des différences de phase des signaux reçus à chacune des antennes.
- Ces antennes sont normalement positionnées sur un cercle dont l'une servira de référence.
- Pour chaque antenne, la différence de phase relative à l'antenne de référence est calculée.
- Ces mesures de phase sont ensuite soumis à un calcul de corrélation avec une matrice d'angle de phase de référence pour déterminer où la corrélation est maximale.
- Cette valeur maximale correspondra à l'angle (α) incident du signal.



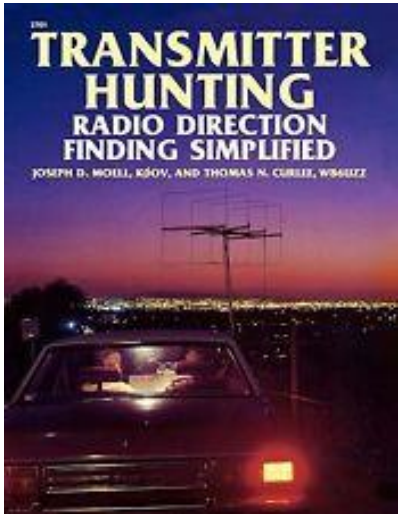
L'interférométrie

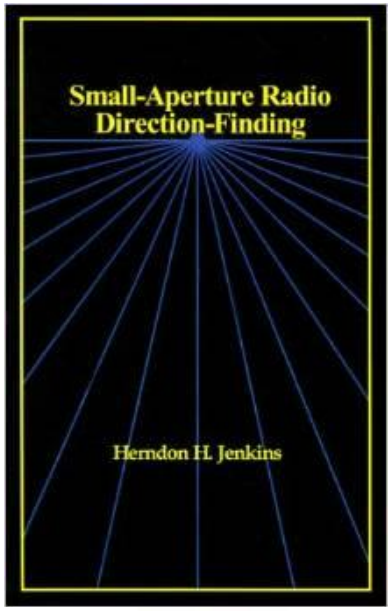
- Le nombre d'antennes utilisées peut varier entre 5 et 9.
- Ces antennes sont normalement encapsulées lors d'une utilisation avec un véhicule.

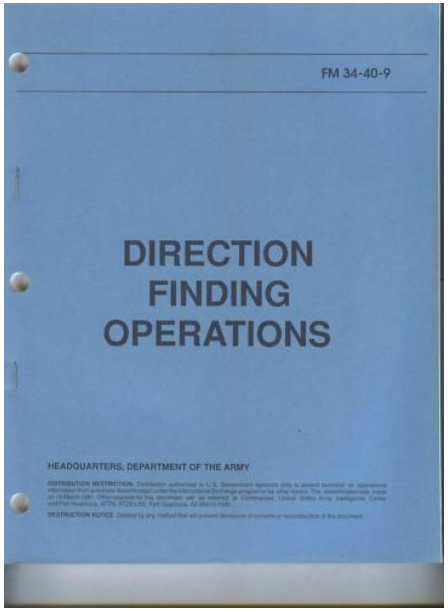


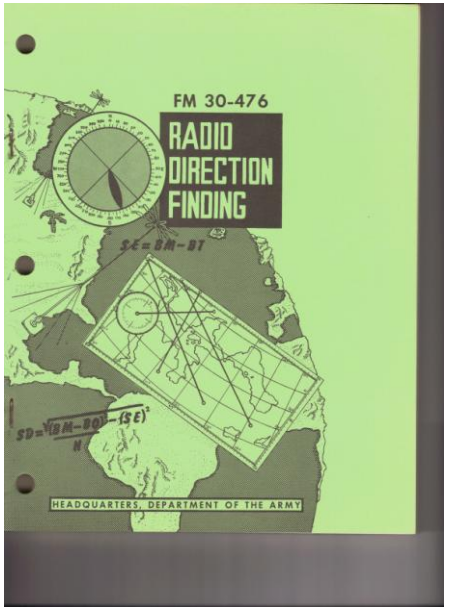
Littératures & DVD

Livres









DVD

Références

JOSEPH D. MOELL, "Transmitter Hunting: Radio Direction Finding Simplified", TAB Books, 1987, 323 p.

ANDRÉ DUCROS (F5AD), "Les antennes, théorie et pratique", 3e édition, Editions elector, 2008, 468 p.

The ARRL Antenna Book, 21th Edition, by American Radio Relay League

The ARRL Antenna Book, 17th Edition, by American Radio Relay League

Revue QST de l'ARRL, May 1999

http://kn2c.us/

http://www.arrowantennas.com/

http://www.byonics.com/piccon/

http://www.qsl.net/n6bg/piccon/

http://www.byonics.com/dsp-rdf/

http://ve2ums.ca/chasse/index.html

http://www.qsl.net/ve2hls/Equipements.htm

http://www.qsl.net/ve2fqh/radiogonio/index.htm

http://www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/GH_MORE.htm

http://www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/PICODOPP.htm

http://www.qsl.net/nz0i/projects/attenuator/attenuator.html

http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM15/RM15a/RM15a.html

http://theroadshowarc.com/pages/TDOA

http://webhome.idirect.com/~griffith/tdoa.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Loop_antenna

http://www.ramseyelectronics.com/cgi-bin/commerce.exe?preadd=action&key=DDF1

http://www.denisowski.org/

http://www.foxhunt.com.au

https://www.rainbowkits.com/

http://www.ok2bwn.cz/indexe.php

http://www.qsl.net/ve2emm/

http://www.rdfantennas.com/index.php

http://www.foxhunt.com.au

http://www.ve2ums.ca/chasse/

http://www.homingin.com/