

RECHERCHE ET SITUATION D'UNE STATION ÉMETTRICE

GENERALITES

LES émetteurs-amateurs connaissent bien certains règlements des P.T.T. à propos des émissions qualifiées de « pirates » et qui proviennent d'une station fonctionnant sans licence : l'amende — plus la confiscation de l'appareil — est au bout de l'expérience ! D'ailleurs, l'amateur ne se risque pas à émettre sans autorisation...

La recherche et la situation des stations émettrices se fait par triangulation au moyen de radiogoniomètres, sorte de récepteurs professionnels associés avec un système de collecteurs d'ondes qui renseignent sur la provenance de l'onde captée. Ces équipements sont souvent implantés dans des camions qui assurent une localisation précise de la station. Un autre aspect — moins coercitif — de la

radiogoniométrie est son application dans le radioguidage et la radio-navigation, techniques qui ont pour fonction de guider ou d'orienter un mobile.

DEFINITION DE LA RADIOGONIOMETRIE

La radiogoniométrie fait donc partie intégrante d'un grand nombre d'applications scientifiques basées sur l'exploitation d'une onde captée et des cartes géographiques.

La goniométrie est assez ancienne puisqu'utilisant les seules propriétés de la boussole. Comme son nom peut l'indiquer aux hellénistes, cette technique consiste à mesurer des angles sur le terrain par rapport à une direction déterminée, par exemple le Nord géographique repéré par la boussole. Il s'agit dans ce cas de l'AZIMUT.

Se déplaçant — en principe — sur un plan, la notion d'angle de SITE, par rapport à l'horizontal n'intervient que très rarement, à moins que le point se fasse à bord d'un avion !

La goniométrie et les appareils qui en découlent peuvent, dans une certaine mesure, donner ce « point » géographique au lieu de la mesure, si l'on possède un élément de comparaison quelconque, une montagne par exemple, (voir Fig. 1), si son lieu est connu avec précision. La radiogoniométrie répond aux mêmes critères, seulement l'élément de comparaison est un émetteur d'ondes radio-électriques à propagation orthodromique (suivant des cercles concentriques). Ceci présente l'avantage évident d'un repérage de jour comme de nuit, en mer, en l'air ou sur terre. La direction fixe sera, soit la ligne Nord-Sud donnée encore par la boussole, soit la trajectoire du déplacement pour un

mobile (voir Fig. 2). Cette dernière remarque nous fait entrevoir d'ores et déjà une application plus ou moins directe d'une radio-navigation; toutefois, il ne faut entendre dans cette application que le fait de se guider par voie radio-électrique et non le fait d'une télécommande. Ce cas peut découler des mêmes phénomènes, mais les moyens sont quelquefois différents.

Dans l'exemple indiqué figure 1, la visée optique ou radio-électrique ne peut déterminer le point géographique que si l'on connaît exactement la trajectoire du mobile; ce « point » est obtenu par l'intersection des trois droites caractéristiques, si le déplacement est lui-même linéaire, ou par la tangente au point considéré.

En réalité le cas général se traduit par la recherche de la position géographique d'un lieu quelconque, isolé de tous systèmes de repérage usuels. Le meilleur

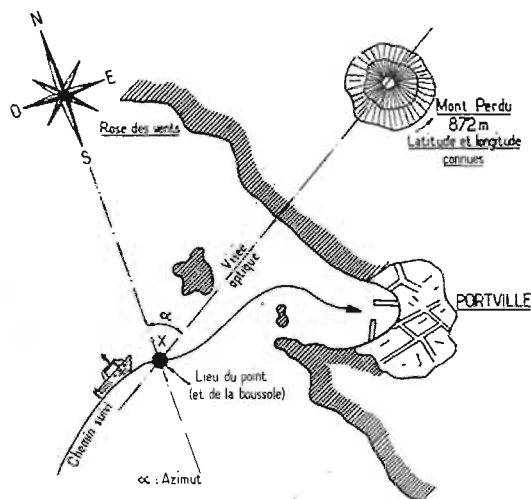


Fig. 1. — Principe du relevé de pont par visée optique et mesure de l'azimut.

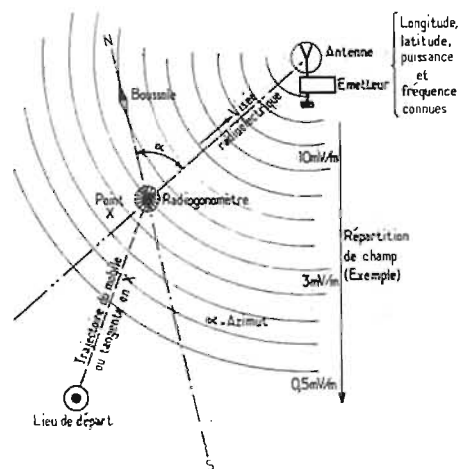


Fig. 2. — Utilisation du radiogoniomètre.

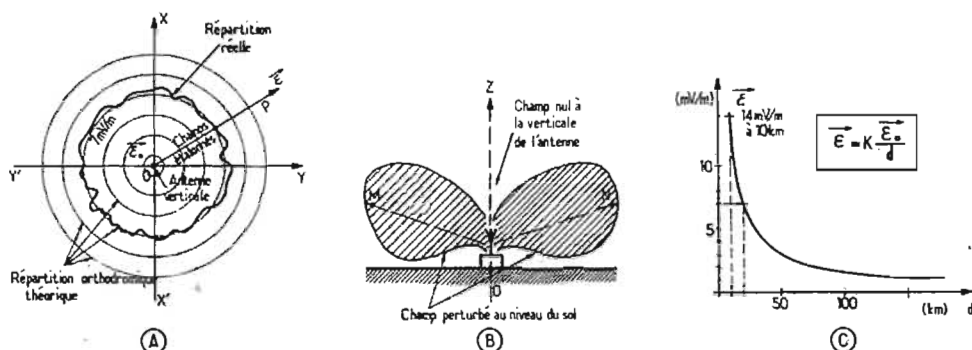


Fig. 3. — Caractéristiques de rayonnement d'une antenne verticale (pylone). A — Plan horizontal; B — Plan vertical; C — Répartition du champ en fonction de la distance.

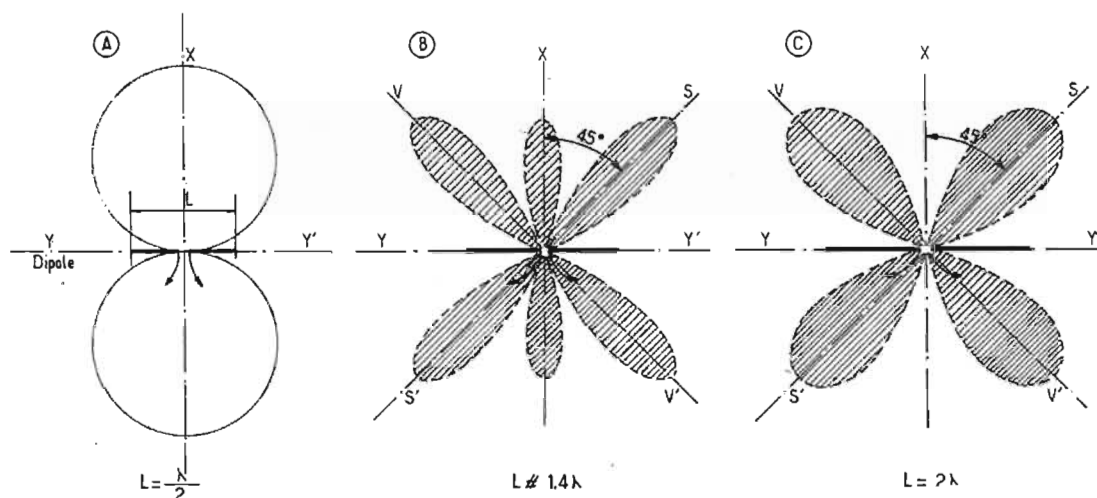


Fig. 4. — Diagramme de rayonnement d'un dipole de différentes longueurs.

exemple consisterait en la détermination de la situation d'un navire en mer.

Deux cas peuvent alors se présenter : ou bien l'on recherche la position du navire par la réception de son émission, ou bien c'est le navire lui-même qui recherche sa position par la réception d'émetteurs pilotes dont la situation géographique est parfaitement connue.

L'ensemble de ces problèmes relève d'une technique générale qui pourrait s'appeler « Radioguidage ». Le premier exemple consistant en la « Radiogoniométrie ». Quant au second, il s'agit de la « Radio-navigation » classique.

Nous allons montrer les moyens électroniques qui sont à la disposition de ces domaines et leurs applications. Ils utilisent les propriétés des antennes et des cadres qui s'orientent vers les émetteurs connus. La radiogoniométrie est

définie comme étant une mesure d'angles par repérage radio-électrique d'émissions fixes ou mobiles, elle met à profit la « directivité » de certains collecteurs d'onde dont le diagramme de rayonnement est particulier. Il s'agit en effet d'une prédominance dans la réception pour une direction déterminée. Cela se traduit par un maximum de signal. Toutefois ce maximum étant toujours assez flou, on imagine souvent des dispositifs qui permettent le repérage au moyen d'un minimum de signal. Certaines astuces, comme le « lever de doute » parachèvent ce repérage. Considérons ces différents cas en vulgarisant la notion de rayonnement directif.

DIRECTIVITE D'UNE ANTENNE VERTICALE

Une antenne verticale disposée

à l'entrée d'un récepteur convenablement adapté ne présente aucun caractère directif dans le plan horizontal. Elle capte autant d'énergie dans tous les sens, ou matérialise ce phénomène par des cercles concentriques à l'antenne (voir Fig. 3 A). En fait la réalité fait apparaître des irrégularités inhérentes à la configuration du sol. Dans le plan vertical le phénomène est plus complexe car il convient de tenir compte de la proximité du sol. Ainsi, l'antenne, verticalement, dans son axe OZ, ne peut théoriquement pas capter le signal. Il en est de même au voisinage du sol, donc suivant le plan $XX'-YY'$. Cela se traduit par conséquent par deux quarts de cercle presque toujours déformés disposés de part et d'autre de l'antenne (voir Fig. 3 B), dans la représentation suivant le plan vertical.

En réalité si nous pouvions représenter le diagramme de directivité en trois dimensions, cela se traduirait par une couronne très

déformée entourant dans son axe l'antenne verticale. La conséquence pratique de tout ceci apparaît aisément : l'antenne recevra le maximum d'énergie suivant un plan légèrement incliné au-dessus de l'horizon, et circulant autour de l'antenne (axes OM et ON). On devra en tenir compte dans les estimations des dispositions d'émetteur.

Du point goniométrique, ce système présente peu ou prou de caractère directif et ne pourra être employé dans ce but sous cette forme. Par contre, la loi de variation du champ étant parfaitement connue (voir Fig. 3 C) on peut éventuellement apprécier les distances à l'émetteur dès lors que sa puissance est définie et qu'aucun obstacle ne vient s'interposer dans la propagation. Des combinaisons d'antennes de ce genre peuvent créer des principes de réception particuliers mais auparavant il convenait de préciser le comportement physique de l'une d'entre elles.

CAS D'UN DIPOLE ISOLE DANS L'ESPACE

Il s'agit de deux antennes disposées bout à bout au lieu d'une antenne coupée en son milieu. Il résulte d'un agencement particulier du dispositif précédent. Toutefois son comportement étant assez caractéristique il convient d'en signaler les particularités.

En effet, suivant la longueur du dipôle la directivité change totalement; elle se présente sous forme de deux cercles situés de part et d'autre du dipôle pour une longueur totale égale à la moitié de la longueur d'onde reçue; de quatre lobes lorsque cette longueur est double de la longueur d'onde; il peut même apparaître des lobes supplémentaires pour des longueurs intermédiaires (voir Fig. 4 A-B-C).

Bien entendu, en trois dimensions ces lobes apparaissent sous forme d'un volume composé de une ou plusieurs couronnes enchevêtrées. Du point de vue mathématique la tension induite dans n'importe quel type de collecteur d'ondes a pour expression :

$$e = h_{\text{eff}} \vec{E}$$

avec

e : tension reçue dans l'aérien.

h_{eff} : hauteur effective de l'aérien.

$\vec{E}$: composante électrostatique du champ E.M.

La hauteur effective découle des dimensions et de la position dans l'espace du collecteur d'onde. En général pour un dipôle $\lambda/2$ on a :

$$\# h_{\text{eff}} \frac{2 h_{\text{recte}}}{\pi} = \frac{\lambda}{\pi}$$

L'application goniométrique n'est pas encore apparente; toutefois de telles antennes peuvent repérer assez facilement des directions correspondant à l'axe où se situe l'émetteur recherché. Il subsiste néanmoins des doutes quant à l'exacte direction car, si le repérage s'effectue sur un maximum, on ne saura pas si l'émetteur est en avant ou en arrière de l'antenne, ou si l'on repère sur un minimum il y aura, là aussi, autant de solution qu'il y aura d'extinction de signal.

Là encore il faudra ajouter des dispositifs auxiliaires amenant le perfectionnement du « lever de doute » (voir plus loin).

CAS DU CADRE

Les cas précédents sont plus spécialement réservés à la réception

tion des ondes courtes et moyennes (fréquence supérieure à 10 MHz). Ils captaient par ailleurs la composante électrostatique du rayonnement. Pour les ondes longues (ou moyennes proches), il est plus commode d'utiliser les cadres intéressant la composante électromagnétique de l'onde émise. Le diagramme de rayonnement ou lieu géométrique des points dans l'espace où le champ reçu est constant, affecte la forme d'une couronne, pour un cadre circulaire seulement comme pour le dipôle élémentaire de $\lambda/2$ de longueur. Toutefois sa disposition dans l'espace est différente puisque dans le plan horizontal les deux cercles se trouvent dans l'axe du cadre (Fig. 5 A).

Si l'on considère de plus près le problème, on peut remarquer que la directivité précédente se rapporte également à la composante électrostatique de l'onde; ce qui, pour le mathématicien veut dire que le cadre est sensible aux deux composantes :

La F.E.M. induite peut être calculée assez commodément puisqu'elle résulte des lois de Maxwell appliquées au bas du cadre.

Elle s'exprime par la relation suivante pour le champ électrique :

$$e = \frac{2 \pi N S}{\lambda} \cdot E \sin \theta \cdot \sin \cot$$

où

e : est la tension reçue en volt

S : la surface du cadre en m^2 .

N : Le nombre de spires de l'enroulement.

θ : L'angle de la perpendiculaire au cadre avec la direction de l'émetteur.

$\cot$: La pulsation du phénomène vibratoire.

Quant au champ magnétique il détermine un courant découlant de la Loi de BIOT et SAVART d'expression :

$$I = \frac{\mu H R}{2 \pi N}$$

ou

I : est le courant induit dans l'enroulement.

μ : la perméabilité du milieu.

H : l'amplitude instantanée du champ magnétique.

R : Le rayon du cadre circulaire

N : Le nombre de tours de l'enroulement.

Toutefois, le courant induit n'est pas comparable à l'amplitude de la tension car il décroît très vite à mesure que l'émetteur s'éloigne du cadre.

Dans tous les cas pratiques « I » est négligeable et l'on ne retient que la force électromotrice « e ».

Ce qu'il faut retenir dans l'expression mathématique de la F.E.M. c'est que l'application de la formule en fonction de θ dénombre la nature du diagramme de directivité du cadre. C'est une preuve pratique qu'il convient de ne pas négliger.

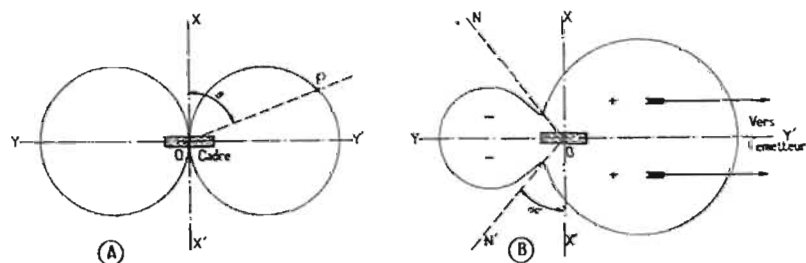


Fig. 5. — Diagramme de rayonnement théorique :
A — Pratique — B — d'un cadre

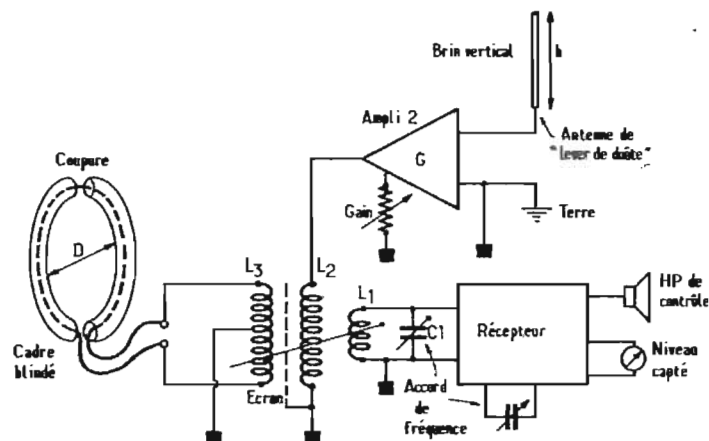


Fig. 6. — Principe du radiogoniomètre.

Les conclusions technologiques propres à la radiogoniométrie sont les mêmes que pour le dipôle en précisant toutefois que l'émetteur est dans le plan du cadre pour une réception sur un maximum de signal et dans un plan normal sur un minimum. Il reste là encore, à « lever le doute ».

CONCEPTION D'UN RADIOGONIOMETRE

Nous avons donc à notre disposition les trois systèmes élémentaires précédents pour réaliser un radiogoniomètre. Il convient d'imaginer des combinaisons de circuits et d'ensembles ayant pour base l'un ou l'ensemble des trois types d'aérien.

La première idée qui nous vient à l'esprit est d'utiliser le dipôle ou le cadre pour capter l'énergie, l'antenne élémentaire fixée au sol ne pouvant pas en elle-même donner des débouchés pour notre domaine.

Prenons par exemple le cadre et considérons l'un des défauts du système; c'est en effet une imperfection qui apporte la solution au problème.

Lors d'un emploi d'un cadre on avait souvent remarqué et depuis fort longtemps qu'il était impossible d'obtenir une annulation complète du signal lorsqu'on mettait le cadre en croix. Il subsistait un minimum qui était dû à l'effet d'antenne du cadre, les brins de ce dernier constituant autant d'antennes « élémentaires ». Or, comme la phase de la tension induite s'inverse lorsqu'on effectue une rotation du cadre de 180°, cela veut dire que chaque lobe, dans la représentation verticale présente des polarités différentes. Si l'effet d'antenne s'ajoute à l'effet propre au cadre comme l'effet d'antenne n'a pas de sens privilégié, il en résultera une disproportion des deux lobes comme l'indique la figure 5 B.

La conséquence apporte la solution au problème du lever de doute puisqu'automatiquement la direction de l'émetteur se trouve à peu près indiquée par le gros lobe.

Il va de soi qu'on ne peut pas se limiter à cette solution boiteuse, aussi la suite logique au perfectionnement sera un dosage judicieux de l'effet d'antenne. Ceci se fait en ajoutant au cadre une antenne extérieure. Il s'agit du radiogoniomètre à cadre orientable et à « lever de doute ».

Si le système précédent est séduisant pour les ondes longues,

il est fort peu efficace pour les ondes courtes; aussi, on leur préfère l'emploi d'antennes combinées sous forme de réseau appelé réseau YAGI, du nom de son auteur, ou assemblées par paires comme dans l'aérien ADCOCK.

Dans les premiers cas on recherche le maximum de tension recueillie en disposant le réseau dans la direction de l'émetteur, quant au second cas, on recherche au contraire un minimum.

Il existe également d'autres systèmes plus complexes mais tous découlent plus ou moins de ces trois principes, les différences étant des perfectionnements.

RADIOGONIOMETRE A CADRE ORIENTABLE

Cet appareil de conception ancienne est toujours employé soit sous la forme actuelle soit sous plusieurs formes améliorées. Il comporte toujours un dispositif de « lever de doute ».

La figure 6 résume le principe de fonctionnement du système. Il se compose d'un cadre à basse impédance blindé (pour annuler tout effet d'antenne) couplé à un circuit L_1 par l'intermédiaire d'un enroulement primaire L_3 , le branchement est symétrique et, pour éviter les influences du circuit accordé, ou intervalle entre primaire et secondaire un écran électrostatique.

Le même circuit accordé est aussi couplé par L_2 avec la sortie d'un amplificateur à gain variable et dont l'entrée est attaquée par une antenne verticale omnidirectionnelle (n'ayant aucun caractère directif dans le plan horizontal).

Le diamètre « D » du cadre dépend de la longueur d'onde à capter. Il peut atteindre plusieurs mètres dans les dispositifs fixes. De même, la hauteur « h » du brin vertical peut être constituée par une nappe de fils tendus entre deux points fixes ou même un simple pylône.

Cette dernière éventualité n'est valable que pour des longueurs d'ondes très importantes ($\lambda = 3\,000$ à $10\,000$ m) et se rencontre surtout dans les systèmes de radio-navigation. DECCA, OMEGA, etc. Pour les fréquences plus fortes le brin vertical est souvent superposé au cadre lui-même.

DIRECTIVITE

Si l'on effectue un relevé de directivité en évaluant la tension reçue aux bornes du circuit accordé L_1, C_1 , en fonction de l'angle pris par le cadre, vis-à-vis d'un émetteur fixe de position, on remarque que le diagramme constitué apparaît sous différentes formes caractéristiques suivant la tension issue de l'antenne. Cette tension est réinjectée dans le cir-

cuit accordé et son amplitude est ajustée à l'aide du réglage du gain.

Ainsi lorsque la tension reçue par le cadre dépasse celle captée par l'antenne, nous sommes encore dans le cas d'un effet d'antenne accentué (voir Fig. 7 B).

Si nous augmentons volontairement la tension issue de l'antenne de telle manière qu'elle devienne supérieure à celle captée par le cadre, le phénomène se modifie complètement. En observant le diagramme de la figure 7 A, nous voyons que nous rapprochons progressivement du cas de l'antenne seule.

En conditionnant judicieusement le gain de l'amplificateur d'antenne, on peut obtenir une annulation complète du lobe arrière (Fig. 7 C), le diagramme ainsi constitué est celui d'une courbe cardioïde. Il est assez facile de construire théoriquement cette courbe particulière. On superpose tout d'abord les diagrammes respectifs du cadre et de l'antenne en s'arrangeant pour que les deux cercles relatifs au cadre soient inscrits dans le cercle de l'antenne.

Après avoir choisi une direction privilégiée (celle de l'émetteur), on attribue des « phases » aux lobes du diagramme du cadre; le lobe le plus rapproché de l'émetteur est choisi en phase avec le cercle de l'antenne. Il en résulte que le lobe « aérien » du cadre est en opposition de phase avec le cercle exinscrit.

Cette vue de l'esprit des phases respectives des tensions captées par le cadre et par l'antenne va nous permettre la construction de la cardioïde.

Du centre O, nous pouvons dresser des rayons coupant les trois cercles. Chaque intersection détermine des directions OA, OB, OC, OD, etc.

Avec l'aide des « points sèches » nous additionnons les vecteurs relatifs aux cercles en phase et nous retranchons les cercles en oppositions, c'est ainsi que nous obtenons les vecteurs résultants Oa, Ob, Od, etc., les points obtenus a, b, d, etc., sont les lieux géométriques d'une conique appelée cardioïde d'expression :

$$\rho = a(1 + \cos \alpha)$$

$$\text{avec } \rho = OM, a = ON$$

$$\text{et } \alpha = \text{azimut}$$

La conclusion goniométrique de cette construction est assez évidente. 2 solutions nous sont offertes.

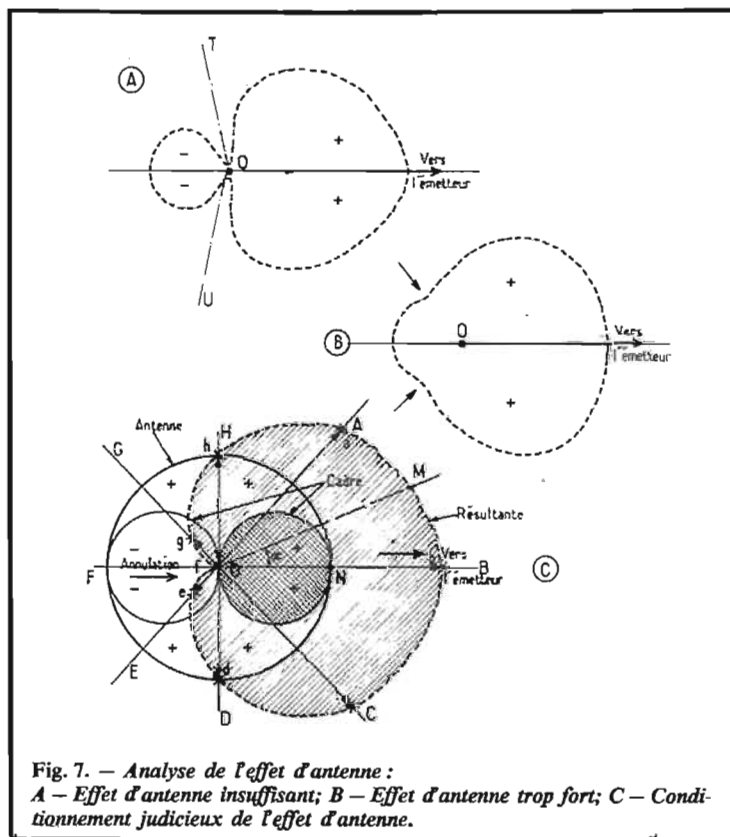


Fig. 7. — Analyse de l'effet d'antenne : A — Effet d'antenne insuffisant; B — Effet d'antenne trop fort; C — Conditionnement judicieux de l'effet d'antenne.

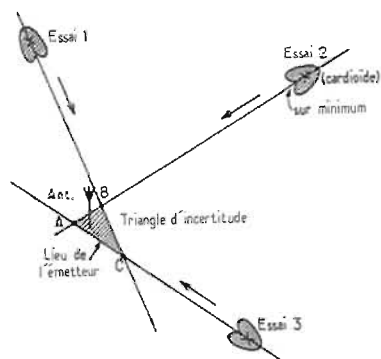


Fig. 8. — Méthode de recherche d'un émetteur par triangulations successives.

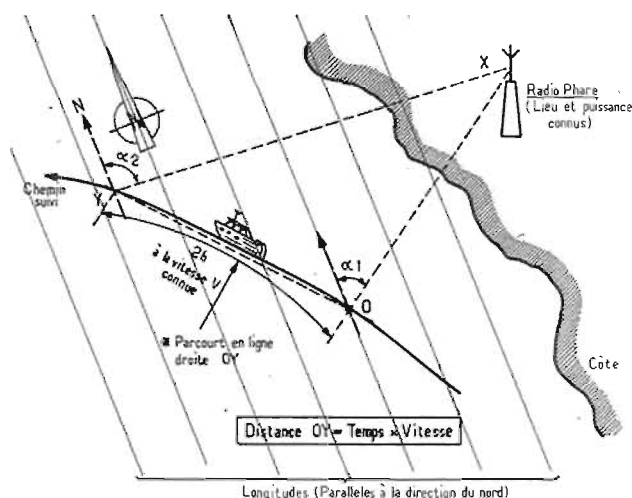


Fig. 9. — Moyen de repérage sommaire du lieu d'un mobile se déplaçant linéairement à vitesse constante.

1 — La direction de l'émetteur nous sera donnée par le maximum de signal reçu.

2 — Le cas précédent n'étant pas pratique, le maximum étant très flou, on lui préfère le réglage sur l'extinction du signal qui est beaucoup plus pointu. Dans ce cas, la direction de l'émetteur est évidemment inversée.

EMPLOI DU RADIOGONIOMETRE

En pratiquant autour de la station au moins 3 essais, on circonscrit facilement la zone où elle émet (Fig. 8); le triangle ainsi repéré définit une nouvelle zone d'essai ou une seconde triangulation est encore possible. De proche en proche, on arrive assez vite à trouver la station. — Inversement, pour relever le point où la vitesse d'un mobile, il suffit de chercher la direction de la station — alors connue — à deux instants

différents. D'après les angles que donne la radiogoniométrie par rapport au Nord, on situe facilement avec un rapporteur, le lieu et le déplacement inconnu par rapport aux longitudes : figure 9.

Il est évident que cette méthode est sommaire et que les radio-navigateurs utilisent des moyens plus précis et plus élaborés. Le procédé de base reste toutefois valable. Malgré la méthode employée, la précision est parfois insuffisante. Il se produit en effet, des erreurs d'angles provenant de la non accuité du minimum. Il se monte quelquefois à plusieurs degrés.

En dehors de cette erreur systématique, il faut également signaler les erreurs de site dues à la présence d'obstacles entre l'émetteur et le système d'aériens (ondes à propagation non orthodromique); les erreurs côtières pour les navires, produites par la réfraction des ondes hertziennes au voisinage de

la côte (erreur se traduisant par 5 à 10° maximum d'écart de site); l'erreur de nuit due à la présence d'ondes réfléchies sur les couches ionisées; l'erreur due à l'effet Heligttag, etc.

De toutes les erreurs citées hormis l'erreur systématique, la plus gênante est sans nul doute l'erreur de nuit, que dans certains cas et pour certaines fréquences, (bande de 100 à 500 m), occasionne des différences de sites de plusieurs dizaines de degrés. Ce défaut ne peut être totalement évité, même en changeant complètement de système (RADIOGONIOMETRIE ADCOCK).

Pour les ondes moyennes il est actuellement possible de réduire notablement la dimension des cadres. On utilise pour ce faire des barreaux de ferroxcube sur lesquels on enroule du fil en spires jointives constituant directement le circuit accordé. Le cadre est à haute impédance ce qui nécessite

des précautions draconiennes contre l'effet d'antenne (blindage rigoureux). L'amélioration réside surtout dans le fait que la zone d'extinction est très pointue diminuant l'erreur systématique à moins de 3°. Ceci ne s'explique que par le fait des faibles dimensions, réduisant au maximum l'effet d'antenne. La forme allongée des inductances agit également dans ce sens; le diagramme de rayonnement n'est pas exactement cardioïdale mais davantage ovoïde de chaque côté le « creux » est néanmoins très sélectif à l'arrière.

Roger Ch.-HOUZÉ
Professeur à l'E.C.E

Bibliographie — Cours sommaire de Radiocommunication, articles du même auteur dans « Radio et TV » et dans « Electro-Science »; revues disparues à ce jour.

tradelec

présente
de nouveaux

COMPOSANTS PROFESSIONNELS

229, RUE VERCINGÉTORIX,
75014. PARIS.
TEL: 533-00-40.



Documentation sur demande

TRANSDUKTOR TRANSFORMATEURS TOREÏDAUX

MODULES AMPLIFICATEURS SANKEN



Modules de puissance intégrés - à circuit hybride pour toutes applications Audio et Servo-mécanismes

4 modèles: 10W - 20W - 30W - 50W