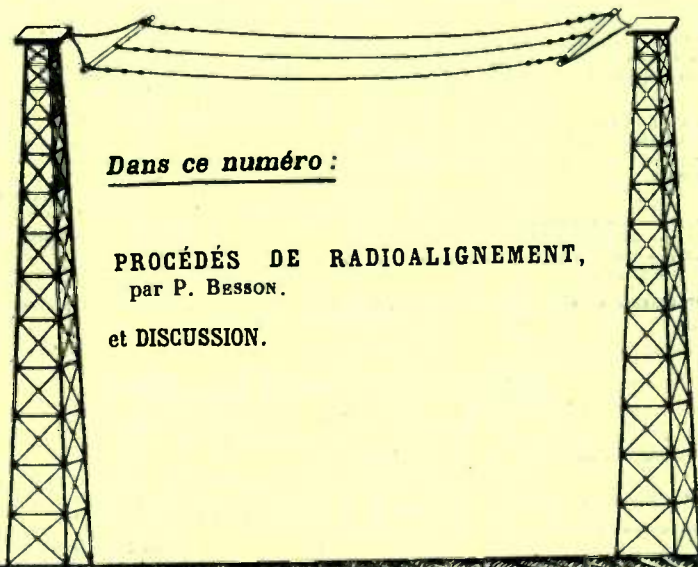


L'ONDE ELECTRIQUE

RADIOÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

(Télégraphie, Téléphonie, Télévision, etc...)



Dans ce numéro :

PROCÉDÉS DE RADIOALIGNEMENT,
par P. BESSON.
et DISCUSSION.

PUBLIÉ MENSUELLEMENT PAR LA SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

E. CHIRON, Editeur, 40, rue de Seine - PARIS (vr°)

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue mensuelle publiée par les Amis de la T. S. F.

ABONNEMENT D'UN AN
France..... 60 fr.
Étranger { tarif faible . 70 fr.
 { tarif fort... 80 fr.

Etienne CHIRON
ÉDITEUR
40, rue de Seine - PARIS
CHÈQUES POSTAUX: PARIS 53-25

PRIX
DU NUMÉRO : 6 fr.
Tél. : LITTRÉ 47-49

SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T.S.F.

Adresser la correspondance administrative et technique au

Secrétariat de la S. A. T. S. F.

Bureau 216

26, rue de la Pépinière - PARIS (8°)

Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte.

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 1 franc par revue à toute demande.

Paiement des cotisations à

M. COLMANT, trésorier

4, rue Alfred, Clamart (Seine)

Compte de chèques postaux n° 697-38

EXTRAIT DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société des Amis de la T. S. F. a pour but :

- 1° De contribuer à l'avancement de la radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent ;
- 2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion des questions concernant la radiotélégraphie et tout ce qui s'y rattache.

Elle s'interdit toute ingérence dans les entreprises industrielles ou commerciales quelconques, autres que celles qui concernent son administration propre.

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, — dont certains en qualité de membres bienfaiteurs ou de membres donateurs, — et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société, il faut :

1° Adresser au président une demande écrite appuyée par un membre de la Société ;

2° Être agréé par le Bureau de la Société.

Tout membre titulaire qui aura pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives une subvention annuelle d'au moins 1000 francs, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, auront fait don à la Société, en dehors de leur cotisation, d'une somme de 300 francs au moins, seront inscrits en qualité de donateurs.

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique.

Cette publication leur est adressée gratuitement. Toutefois les membres résidant à l'étranger doivent verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir le supplément des frais postaux, somme qui sera déterminée par le Bureau.

MONTANTS DES COTISATIONS

Les cotisations annuelles sont ainsi fixées :

Particuliers 50 fr.
Sociétés ou collectivités 200 fr.

Les cotisations peuvent être rachetées moyennant le paiement immédiat de quinze annuités.

La cotisation des membres titulaires âgés de moins de 21 ans, en cours d'études ou de préparation professionnelle, peut, sur leur demande être ramenée à 30 francs

Les membres résidant à l'étranger doivent verser en plus, pour couvrir le supplément de frais postaux, la somme de 15 fr.

Cette somme sera diminuée de moitié si le pays de leur résidence a adhéré à la Convention de Stockholm (se renseigner à la Poste).

L'envoi de la carte de membre tient lieu de reçu de la somme envoyée. En cas de non admission d'un candidat, la somme versée lui est retournée.

PROCÉDÉS DE RADIOALIGNEMENT⁽¹⁾.

par P. BESSON,

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

SOMMAIRE. — Après avoir rappelé le principe général des systèmes de radioalignement à enchevêtrement, l'auteur expose les avantages d'un procédé particulier de radioalignement de cette catégorie, qu'il a proposé en février 1929 et qui a fait l'objet d'essais effectués au voisinage du port de La Pallice, avec le concours du Service des Phares et Balises.

Le système en question, particulièrement adapté à la signalisation maritime, permet d'éviter toute confusion et d'obtenir une stabilité de l'axe et une précision de repérage très élevées.

Après avoir indiqué comment les mêmes principes peuvent être utilisés pour produire des radioalignements employant des émissions modulées à des fréquences différentes et actionnant des lames vibrantes à la réception, l'étude se termine par l'application de procédés analogues au balisage de secteurs et à la réalisation de radiophares tournants.

I. — INTRODUCTION.

On sait qu'on appelle « poste de radioalignement » un émetteur radioélectrique qui permet de baliser une ligne droite et de signaler au navigateur ou à l'aviateur muni d'un récepteur approprié, s'il se

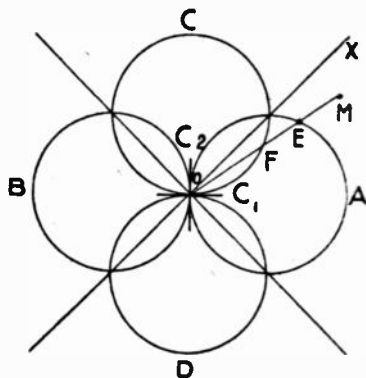


Fig. 1.

trouve d'un côté ou de l'autre de cette ligne. Le plus ancien des systèmes de radicalignement est probablement le dispositif à deux cadres perpendiculaires l'un à l'autre. Ce système bien connu (2)

(1) Communication faite à la Société des Amis de la T. S. F. le 22 avril 1931.

(2) R. Mesny. *Usage des cadres et radiogoniométrie* ; page 200.

P. David. Les procédés radioélectriques pour le guidage des navires et des aéronefs. *Onde Electrique*, 1930, p. 213.

utilise un premier cadre C_1 dont le diagramme de rayonnement est constitué par les circonférences A et B et un second cadre C_2 dont le diagramme de rayonnement est constitué par les circonférences C et D (fig. 1).

L'émission du cadre C_1 consiste en une lettre Morse constamment répétée, A par exemple, les silences de la manipulation étant remplis par des émissions du second cadre, qui, si le premier émet des lettres A, émettra alors des lettres N « enchevêtrées » dans les lettres A.

Sur l'axe OX, le poste récepteur percevra également fort les deux émissions et entendra, par conséquent, un trait continu. A droite de cet axe, dans la direction OM, par exemple, les lettres A seront

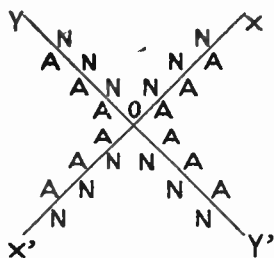


Fig. 2.

perçues avec une intensité proportionnelle à OE, les lettres N avec une intensité plus faible, proportionnelle à OF. On entendra donc des lettres A, et l'inverse se produira à gauche de l'axe où l'on entendra des lettres N. Le système permet ainsi de baliser deux axes perpendiculaires l'un à l'autre, X'OX et Y'OY (fig. 2).

Le procédé de l'« enchevêtrement » qu'il utilise paraît avoir été indiqué pour la première fois par Scheller dans un brevet allemand de 1907.

Le système à cadres a fait récemment l'objet d'intéressants essais, tant en France (1) qu'aux Etats-Unis (2), et d'importants perfectionnements lui ont été apportés.

On peut remarquer que ce procédé n'est qu'un cas particulier

(1) Le Radiophare de Bobigny pour la Navigation aérienne. *L'Aéronautique* mai-juin 1930.

Radiophare d'Aérodrome. *Bulletin de la Société Française Radiélectrique*, décembre 1930.

(2) Kear et Jackson. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, décembre 1929.

Diamond. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, décembre 1929.

d'un système général de radiobalisage à enchevêtrement, dont le principe va être exposé ci-dessous.

II. — PRINCIPE GÉNÉRAL DU RADIOBALISAGE A ENCHEVÊTREMENT.

Considérons un premier poste émetteur situé en un point A et possédant la courbe de rayonnement polaire C_1 , et un second poste émetteur situé en un point B et possédant la courbe de rayonnement polaire C_2 (fig. 3). Faisons émettre par le poste A un même signal

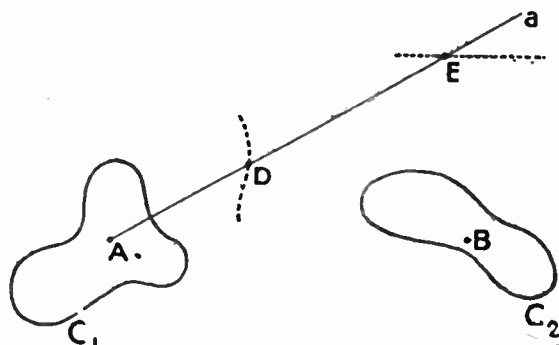


Fig. 3.

constamment répété, et remplissons les intervalles de la manipulation par des émissions du poste B, ayant rigoureusement la même longueur d'onde que le poste A (1).

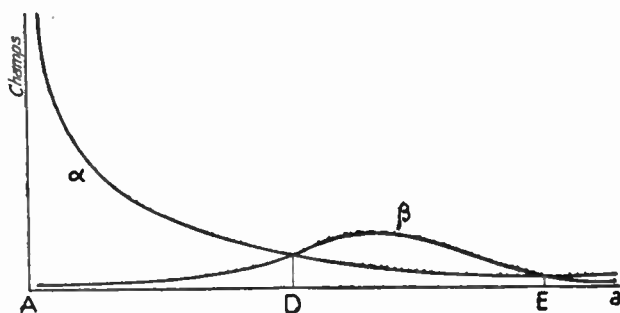


Fig. 4.

Si l'on examine ce qui se passe sur l'une quelconque des droites Aa passant par A, on voit que l'intensité du champ de rayonnement

(1) On pourrait également envisager des émissions sur des longueurs d'onde différentes, la route balisée dépendant alors de l'accord du récepteur. Mais la mise en pratique d'un tel système ne paraît pas pouvoir procurer toute la sécurité nécessaire pour le balisage maritime.

produit par le poste A décroît en raison inverse de la distance à l'émetteur et peut être représentée par la courbe α de la fig. 4. L'intensité du champ produit par le poste B peut, elle, être représentée par une courbe telle que β . Il existe ainsi, dans le cas de la fig. 3, deux points, D et E, de la droite Aa, où l'on perçoit un son continu. Entre A et B, on entend les signaux de A ; entre D et E on entend les signaux de B ; au delà de E, on perçoit, de nouveau, les signaux de A.

Lorsqu'on fait tourner la droite Aa autour de A, les points D et E décrivent des trajectoires qui constituent les chemins balisés. En combinant convenablement, d'une part, le choix des emplacements des postes A et B, d'autre part, la forme des courbes polaires de rayonnement, on peut obtenir ainsi le balisage de routes de formes à peu près quelconques : sur la route à suivre, le récepteur entend un son continu, d'un côté il perçoit les signaux de l'un des postes, de l'autre côté, ceux de l'autre poste. Pour réaliser des émetteurs possédant des courbes polaires de rayonnement variées, on fera appel aux divers systèmes radiateurs bien connus ayant des propriétés directives (cadres, rideaux d'antennes, assemblages d'antennes et de cadres, assemblages de deux ou plusieurs antennes situées à des distances non négligeables par rapport à la longueur d'onde émise, et alimentées avec des différences de phases déterminées, etc...).

Tel qu'il vient d'être exposé dans toute sa généralité, le principe de radiobalisage par enchevêtrement a d'ailleurs surtout un intérêt théorique. Pratiquement, les anomalies de propagation des ondes et la difficulté de maintenir longtemps la constance de la puissance des postes émetteurs, viendraient modifier la valeur des champs à la réception et produire des déplacements inadmissibles des routes balisées. C'est donc seulement dans des cas très particuliers et pour des balisages spéciaux à faible distance, qu'il pourra être appliqué avec des stations émettrices assez rapprochées l'une de l'autre. Dans chaque cas, on aura à déterminer géométriquement les courbes polaires de rayonnement en fonction des chemins à baliser et des emplacements possibles des postes émetteurs.

Nous nous bornerons à indiquer les deux cas particuliers suivants :

1° Deux postes à rayonnement circulaire, de puissance égale (fig. 5) :

Les postes étant situés en A et B, ce dispositif permet de baliser la droite XOY perpendiculaire au milieu de la ligne AB. Les manipulateurs des deux postes doivent naturellement être commandés au

moyen d'une ligne électrique reliant les deux stations. Ce dispositif pourrait être utilisé en particulier lorsqu'il n'est pas possible de placer le poste de radioalignement sur la ligne à baliser. C'est le

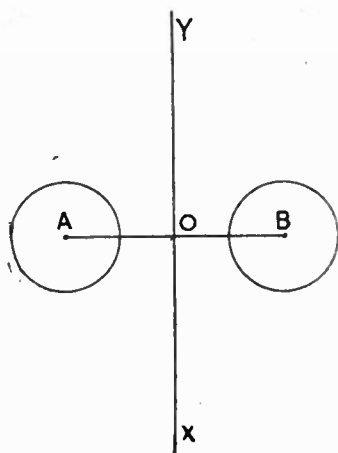


Fig. 5.

cas du balisage d'un détroit tel que celui de la fig. 6. Deux postes A et B, à rayonnement circulaire, reliés par un câble sous-marin, syn-

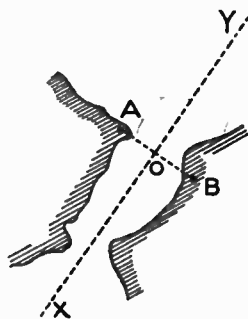


Fig. 6.

chronisant leurs manipulateurs, pourraient ainsi signaler l'axe XOY par le système à enchevêtrement.

2° Deux postes à rayonnement circulaire de puissances différentes (fig. 7).

Les champs de rayonnement des postes A et B décroissant en raison inverse de la distance, le lieu des points tel que les émissions

des deux postes y soient perçues également fort, n'est autre que le lieu des points tels que le rapport de leurs distances aux postes A et B ait une valeur déterminée, égale au rapport des rayons des deux circonférences de rayonnement. On sait que ce lieu est une circonférence qui entourera le poste de puissance la plus faible. Ce dispositif permet ainsi de réaliser le balisage d'un arc de cercle, ou d'une cir-

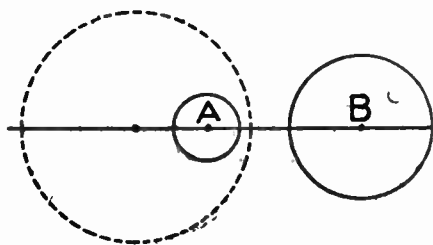


Fig. 7.

conférence complète. A l'intérieur de cette circonférence, on entendra les signaux du poste A, à l'extérieur on entendra les signaux du poste B, et, sur la circonférence, on entendra un son continu.

Un tel procédé pourrait être appliqué au balisage d'un aérodrome circulaire, bien que la nécessité de placer le poste A, de faible puissance, sur l'aérodrome, constitue un gros inconvénient.

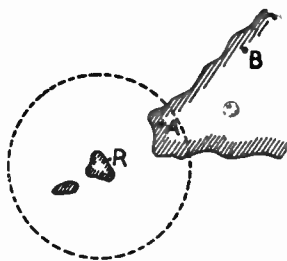


Fig. 8.

Il pourrait, de même, être appliqué à l'établissement d'une « zone de protection » autour d'un écueil R, voisin d'un cap (fig. 8). Le poste émetteur A, de faible puissance, serait placé près de l'extrémité de ce cap, le second poste B étant situé plus à l'intérieur des terres. En doublant le cap, les navires percevraient d'abord les signaux émis par le poste B, puis un trait continu quand ils traverseraient la circonférence limitant la zone de protection, et, ensuite, les signaux émis par le poste A. Ils devraient naviguer de façon à ne jamais franchir le trait continu.

Un grand nombre d'autres cas particuliers pourraient être étudiés, permettant de baliser des chemins de formes variées. Ils ne présentent, en général, qu'un intérêt purement théorique par suite de la difficulté déjà signalée de maintenir les puissances rayonnées constantes et d'éviter les irrégularités de propagation des ondes. Aussi, les dispositifs réellement pratiques de radiobalisage par enchevêtrement, sont-ils ceux où les postes émetteurs sont confondus et qui ne permettent alors de baliser que des lignes droites.

Le principe de ces dispositifs est alors le suivant (1) (fig. 9) :

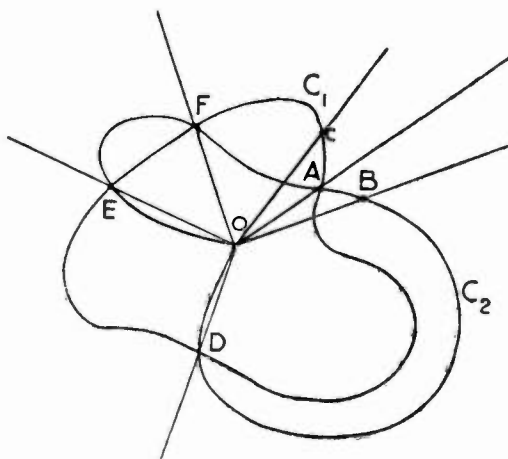


Fig. 9.

En un point O se trouve un poste émetteur transmettant une lettre de l'alphabet Morse, A par exemple, avec un système rayonnant possédant la courbe de rayonnement C_1 , et transmettant la lettre complémentaire, N dans le cas considéré, avec un système rayonnant possédant la courbe de rayonnement C_2 . Dans toute direction telle que OA, passant par un point d'intersection des courbes de rayonnement C_1 et C_2 , les deux émissions sont perçues également fort, et, comme les signaux des lettres N viennent s'enchevêtrer exactement entre ceux des lettres A, on entend un trait continu. A droite de l'axe OA, dans la direction OB, par exemple, l'émission de C_2 est perçue plus fort que celle de C_1 et l'on entend des lettres N. A gauche de l'axe OA, dans la direction OC, les signaux de C_1 sont perçus plus fort que ceux de C_2 , et l'on entend des lettres A. Le sys-

(1) A. Blondel, P. Besson, Le balisage radioélectrique des alignements, *La Technique Moderne*, 1^{er} avril 1931.

tème permet ainsi de baliser toutes les directions OA, OD, OE, OF, obtenues en joignant le centre O aux divers points d'intersection des deux courbes de rayonnement polaires C_1 et C_2 (1).

Afin de se rendre compte des propriétés des divers systèmes qui utilisent ce principe, il est nécessaire d'examiner tout d'abord ce que l'on doit entendre par *portée* et par *précision* d'un tel radioalignement.

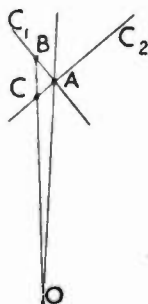


Fig. 11.

1° *Portée*. — Soit (fig. 11) O le poste d'émission, C_1 et C_2 les courbes de rayonnement polaires, OA l'axe balisé. Le son continu entendu sur cet axe a une intensité proportionnelle à OA. Si le récepteur

(1) Les mêmes principes de balisage (avec stations émettrices séparées ou confondues) pourraient d'ailleurs être appliqués avec des émetteurs d'ondes lumineuses ou sonores (aériens ou sous-marins). Dans le cas des ondes sonores

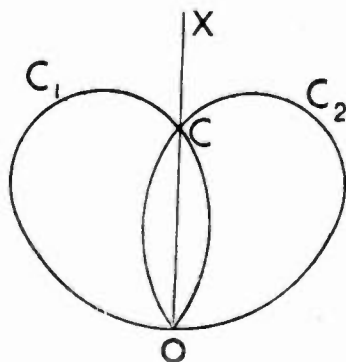


Fig. 10.

aériennes, qui présentent l'avantage d'être perceptibles par temps de brume sans récepteur spécial, on pourrait, par exemple, utiliser deux émetteurs dénommés « nautophones », analogues à de gros haut-parleurs électromagnétiques, et disposés de façon à posséder les courbes de rayonnement polaires C_1 et C_2 (fig. 10). En alimentant alternativement en courant de fréquence musicale l'un et l'autre appareil, on produirait le balisage de l'axe OX.

s'éloigne en suivant l'axe, ce son décroît, puis disparaît. Même alors, les navigateurs peuvent, à la rigueur, utiliser le radioalignement, car, s'ils s'écartent suffisamment à droite de l'axe, ils perçoivent les signaux émis avec la courbe de rayonnement C_2 , et sans contre-manipulation. S'ils s'écartent suffisamment à gauche, ils perçoivent, de même, les signaux émis avec la courbe de rayonnement C_1 . Néanmoins, l'utilisation du radioalignement est alors difficile et, en particulier, les navires qui se trouvent exactement sur l'axe et qui ne perçoivent aucun son, ne sont pas prévenus d'une interruption de fonctionnement du poste. Il est donc logique de considérer que la portée du radioalignement est la distance à laquelle le son continu sur l'axe est encore perceptible avec le récepteur dont on dispose. Toutes choses égales d'ailleurs, cette portée varie donc comme la grandeur de OA . Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que, dans certains cas, le radioalignement ne sera pas utilisable jusqu'à sa limite de portée. La précision angulaire restant sensiblement constante, la précision linéaire, de part et d'autre de l'axe décroît, quand on s'éloigne du poste émetteur, et, avant la limite de portée, elle peut être réduite à une valeur telle qu'elle soit insuffisante pour les besoins de la navigation.

2^e Précision. — Le navigateur qui s'écarte de l'axe perçoit d'autant plus rapidement les signaux émis que la différence des rayons vecteurs OB et OC est plus grande. Toutes choses égales d'ailleurs, la précision sur l'axe est donc d'autant plus élevée que les courbes de rayonnement C_1 et C_2 se coupent sous un angle plus aigu. Cette précision dépend d'ailleurs aussi du récepteur et pourra être accrue en étudiant spécialement celui-ci. En général, une augmentation de puissance du poste émetteur n'augmente pas la précision de repérage de l'axe. Si le son perçu à la réception est trop faible, l'oreille devient insensible aux petites variations d'intensité que constitue la manipulation d'une lettre. S'il est trop fort, l'oreille sera assourdie et incapable d'apprécier ces variations. Il y a donc une intensité moyenne qu'il faut obtenir par le réglage de la sensibilité du récepteur et à partir de laquelle la faculté de l'oreille d'apprécier de petites variations du volume du son est maxima. Un accroissement de puissance de l'émetteur produira donc un accroissement de la portée, mais nullement une augmentation de la précision sur l'axe, l'angle d'intersection des deux courbes de rayonnement polaires n'étant pas modifié.

Le principe général qui vient d'être exposé a fait jusqu'ici l'objet d'applications particulières dont la première a été celle des cadres croisés décrite ci-dessus et dont nous citerons deux autres exemples :

1° *Dispositif à deux antennes pour ondes courtes.* — M. Blondel (1) a proposé d'utiliser, comme premier radiateur, un système de deux antennes placées à une distance l'une de l'autre, non négligeable par rapport à la longueur d'onde, alimentées avec une certaine différence de phases, et possédant, par conséquent, des propriétés directives. Le second radiateur peut être alors constitué, par les mêmes antennes, alimentées avec une autre différence de phases, de façon à modifier la courbe de rayonnement du système.

Si l'on considère, par exemple, deux antennes distantes d'une demi-longueur d'onde et alimentées en phase, on obtient l'une

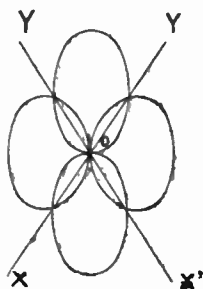


Fig. 12.

des courbes de rayonnement polaire de la fig. 12 ; avec une alimentation en opposition de phases, on obtient l'autre courbe. On peut ainsi produire le balisage de deux axes XOY et X'OY'. En faisant varier la distance des antennes et les différences des phases d'alimentation, on peut réaliser, par ce procédé, un grand nombre de systèmes de radio-alignements.

2° *Dispositif à rideaux d'antennes.* — M. Blondel (2) a également proposé d'utiliser comme premier radiateur un rideau d'antennes produisant une émission dirigée, soit sur ondes courtes, soit sur ondes très courtes de 5 à 10 mètres de longueur, et comme second radiateur un second rideau d'antennes identique au premier, mais faisant avec celui-ci un certain angle. Dans ces conditions, les courbes polaires de rayonnement prennent les formes des courbes C₁ et C₂ de la figure 13, et on obtient le balisage d'un axe OX avec une précision particulièrement grande, puisque les courbes de rayonnement peuvent se couper sous un angle très faible, moyen-

(1) Sur les procédés de repérage d'alignements par les ondes hertziennes. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 7 mars 1927.

(2) Brevet belge 327.725 (4 juillet 1925). Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1927, tome 184, page 564.

nant un réglage convenable. Il est naturellement nécessaire d'interrompre les divers circuits de la seconde antenne quand on émet sur la première, et réciproquement, afin d'éviter toute réaction parasite qui viendrait modifier les courbes de rayonnement.

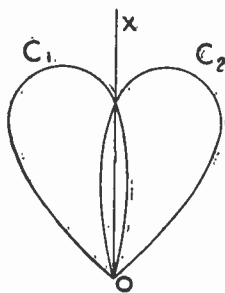


Fig. 13.

3° *Dispositif à association cadre-antenne.* — Enfin, nous avons proposé (1) un dispositif dit « à association cadre-antenne » ou « à cardioïdes symétriques », utilisant, comme radiateur d'ondes, une antenne et un cadre, et qui est particulièrement adapté à la signalisation maritime.

Il faut remarquer, en effet, que celle-ci exige des radio-alignements possédant des qualités spéciales en ce qui concerne la stabilité et la précision de l'axe. Alors que la navigation aérienne peut se contenter souvent d'axes dont la direction se modifie légèrement d'un jour à l'autre, suivant le réglage du poste émetteur, le moindre déplacement de l'axe balisé sera, en général, inacceptable pour la signalisation maritime. En outre, la précision de repérage devra être plus grande que pour les applications à la navigation aérienne. Pour celle-ci, une précision de quelques degrés peut être suffisante. Dans bien des cas, au contraire, par suite des largeurs des chenaux et des distances auxquelles on doit placer le poste de radioalignement, la navigation maritime aura besoin d'une précision inférieure au degré. Enfin, il est naturellement essentiel d'éviter toute confusion entre plusieurs axes que pourrait signaler à la fois le poste émetteur.

Par contre, il suffira souvent de réaliser une portée relativement faible, de 20 à 30 kilomètres au maximum, et ce n'est que tout à fait exceptionnellement qu'il pourra être nécessaire d'installer des

(1) P. Besson. *Rapport sur un dispositif permettant l'essai d'un grand nombre de systèmes de balisage par ondes électromagnétiques* (19 février 1929).

postes de radioalignement audibles à 100 ou à 200 kilomètres, comme ceux de la navigation aérienne.

Ainsi, les trois qualités à rechercher pour les radioalignements maritimes sont, par ordre d'importance :

- 1° Absence de confusion entre plusieurs axes balisés ;
- 2° Stabilité absolue de l'axe ;
- 3° Précision de repérage de l'axe aussi grande que possible.

Enfin, une autre considération qui intervient dans le choix des types de radioalignements utilisables pour la signalisation en mer, est celle des dispositifs récepteurs nécessaires. Beaucoup de navires et, en particulier, les plus petits, ne peuvent, en effet, se munir d'appareils spéciaux pour la réception des signaux de radioalignements, soit par suite de leur prix, soit par faute de place. Or, presque tous les bateaux possèdent des récepteurs de télégraphie sans fil, permettant la réception des ondes modulées de la gamme 300-3.000 mètres de longueurs d'onde. Il est donc intéressant, pour que les radioalignements puissent être reçus immédiatement par tous ces navires, d'utiliser des ondes modulées, situées par exemple dans la gamme réservée aux radiophares (285-315 kilocycles par seconde, 1.050-950 mètres de longueur d'onde).

Le système à association cadre-antenne, qui va être décrit de manière détaillée, répond à ces diverses conditions et, convenablement installé, il permet de réaliser des radioalignements très stables, très précis, ne pouvant donner lieu à confusion et pouvant être reçus par tous les récepteurs radioélectriques habituels des bateaux.

III. — ÉTUDE DU SYSTÈME A ASSOCIATION CADRE ANTENNE.

A. — Principe.

Considérons un cadre émetteur C (fig. 14) dont le diagramme de rayonnement polaire est constitué par les deux circonférences tangentes C' et C'' . Si on choisit comme origine des phases, la phase du rayonnement sur la circonférence C' , la phase sur la circonférence C'' sera π . Ajoutons au rayonnement du cadre le rayonnement d'une antenne A dont le diagramme de rayonnement polaire est la circonférence G. Si la phase de ce rayonnement est la même que celle du rayonnement du cadre sur la circonférence C' , le radiateur constitué par le cadre et l'antenne, aura une courbe de rayonnement polaire qui s'obtiendra en ajoutant les rayons vecteurs des courbes C' et G, du côté de C' , et en retranchant les rayons vec-

teurs des courbes C' et G du côté de C'' . On obtient ainsi la cardioïde bien connue C_1 . Si, maintenant, on inverse l'antenne A , de façon à donner à son rayonnement la même phase qu'au rayonnement du cadre du côté de C'' , le rayonnement total s'obtiendra en ajoutant les rayons vecteurs des deux courbes, du côté de C'' , et en les

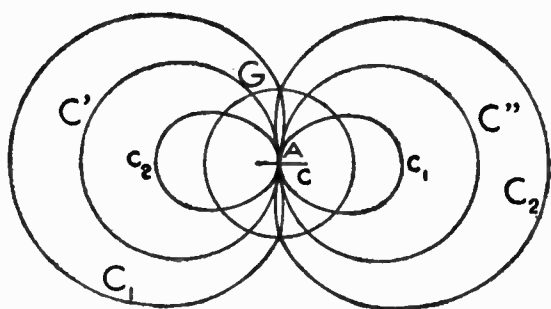


Fig. 14.

retranchant du côté de C' , ce qui donne la cardioïde C_2 , symétrique de C_1 par rapport à la perpendiculaire au milieu du cadre. Pour plus de clarté, les deux cardioïdes C_1 et C_2 ont été représentées de

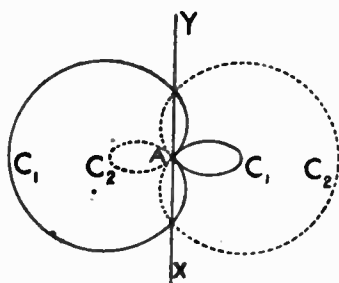


Fig. 15.

nouveau sur la figure 13, et l'on voit immédiatement que, si l'on manipule un premier signal constamment répété avec le radiateur correspondant à C_1 , et si l'on remplit les intervalles de la manipulation par des émissions du radiateur correspondant à C_2 , on obtient un système de balisage à enchevêtrement qui signale l'axe unique XAY. La manipulation sera ainsi simplement produite en inversant la bobine d'alimentation de l'antenne, le cadre étant constamment parcouru par le même courant.

En réglant convenablement le rapport des champs du cadre et de l'antenne, on peut réaliser des cardioïdes se coupant sous des angles

extrêmement aigus, ce qui permet d'obtenir une grande précision de repérage de l'axe. En outre, le système présente des qualités particulières de stabilité, la direction de l'axe étant indépendante de la fréquence de l'onde émise, de l'accord du cadre et de l'accord de l'antenne (1).

B. — Combinaison des champs de l'antenne et du cadre.

Nous allons examiner maintenant, de façon plus précise, ce qui se passe lorsqu'on associe une antenne à un cadre pour réaliser un radiateur d'ondes possédant une courbe de rayonnement polaire en forme de cardioïde.

Cherchons d'abord quelle est la phase du champ de rayonnement d'un cadre de dimensions faibles par rapport à la longueur d'onde émise, en prenant comme origine la phase du champ de rayonne-

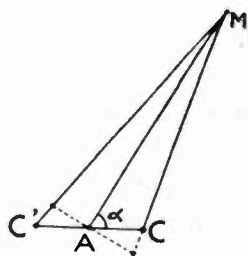


Fig. 16.

ment d'une antenne verticale placée au milieu du cadre et parcourue par le même courant que l'un de ses côtés verticaux.

La fig. 16 représente une projection, sur un plan horizontal, de l'antenne A et du cadre dont les côtés verticaux sont C et C'. Dans une direction AM faisant l'angle α avec AC, le champ utile du cadre est la résultante des champs produits par ses côtés C et C', agissant comme deux antennes parcourues par des courants de phase 0 dans C et π dans C'. Soit $CC' = d$ et $AM = r$. Le champ en M, dû à l'antenne A parcourue par le même courant que le côté C du cadre étant de la forme $\frac{K}{r}$, le champ dû à C aura alors pour grandeur

(1) Nous avons appris récemment que la Société Loth avait également étudié un dispositif de radio-alignement analogue, sans que nous ayons eu mutuellement connaissance de nos travaux.

$$H = \frac{K}{r - \frac{d \cos \alpha}{2}}$$

et pour phase

$$\omega = - \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda}$$

et le champ dû à C' aura pour grandeur

$$H' = \frac{K}{r + \frac{d \cos \alpha}{2}}$$

et pour phase

$$\omega' = \pi + \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda}$$

La composition de ces deux champs fournira le champ utile total dû au cadre. Soit R sa grandeur et φ sa phase. On trouve aisément

$$R = K \sqrt{\frac{1}{\left(r + \frac{d \cos \alpha}{2}\right)^2} + \frac{1}{\left(r - \frac{d \cos \alpha}{2}\right)^2} - \frac{2 \cos \frac{2\pi d \cos \alpha}{\lambda}}{\left(r + \frac{d \cos \alpha}{2}\right)\left(r - \frac{d \cos \alpha}{2}\right)}}$$

et

$$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{2r}{d \cos \alpha} \operatorname{tg} \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda}$$

A grande distance, la valeur de R se réduit à

$$R = \frac{2K}{r} \sin \frac{\pi d \cos \alpha}{\lambda} \quad \text{ou sensiblement} \quad R = \frac{2K}{r} \frac{\pi d}{\lambda} \cos \alpha$$

qui correspond au diagramme de rayonnement à deux circonférences tangentes, dont il a été fait état.

Quant à la valeur de φ , elle reste alors constante et égale à

$$-\frac{\pi}{2} \quad \text{pour} \quad -\frac{\pi}{2} < \alpha < +\frac{\pi}{2} \quad \text{et à} \quad +\frac{\pi}{2}$$

pour

$$+\frac{\pi}{2} < \alpha < +\frac{3\pi}{2}$$

Dans tous les azimuts autour du poste émetteur, les champs de rayonnement de l'antenne et du cadre s'ajoutent géométriquement pour constituer le champ total. Le maximum de précision dans la détermination de l'axe balisé sera atteint si ces champs s'ajoutent et se retranchent en phase au voisinage immédiat de cet axe. Soit alors (figure 17-a) OA le champ du cadre. Le champ de l'antenne devra être O'B pour l'une des positions du manipulateur-inverseur, et O'C pour l'autre. Les champs résultants seront O₁D et O₁E

(fig. 17-*b*). Au contraire, si le champ de l'antenne n'est pas en phase avec le champ OA du cadre (fig. 18-*a*), et peut, par exemple être représenté par O'B pour l'une des positions du manipulateur et par O'C pour l'autre, les champs résultants seront O₁D et O₁E (fig. 18-*b*), O₁D étant inférieur au champ résultant correspondant de la fig. 17-*b*.

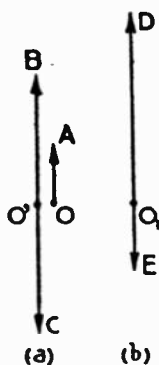


Fig. 17.

tandis que O₁E sera supérieur au champ résultant correspondant de cette figure. La précision est alors moindre, puisqu'il faut s'écarter davantage de l'axe pour obtenir une même différence entre les

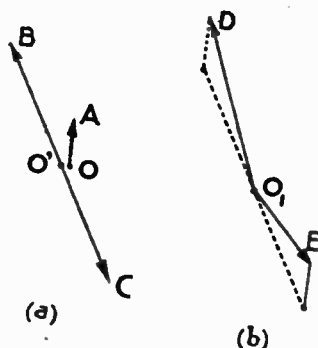


Fig. 18.

deux champs résultants. En même temps, le déphasage du champ-antenne sur le champ-cadre, a pour effet de modifier la forme de la cardioïde, le champ résultant ne s'annulant dans aucune direction. Tout ceci est d'ailleurs sans influence sur la direction même de l'axe, mais réduit seulement la précision avec laquelle on peut le repérer.

On a vu plus haut que le champ de rayonnement du cadre était déphasé de $\frac{\pi}{2}$ sur le champ de rayonnement d'une antenne placée au centre du cadre et qui serait parcourue par un courant en phase avec celui circulant dans l'un des côtés verticaux de ce cadre. Si l'on veut que les champs de l'antenne et du cadre soient successivement en phase et en opposition, il faut donc que le courant dans l'antenne soit déphasé de $\frac{\pi}{2}$ sur le courant dans l'un des côtés du cadre, résultat d'ailleurs bien connu. On peut parvenir à réaliser ce déphasage par différents procédés qui vont être examinés.

C. — *Obtention du déphasage optimum.*

Le premier procédé qui se présente à l'esprit pour obtenir le déphasage de $\frac{\pi}{2}$ des courants dans l'antenne et dans le cadre, alimentés tous deux par couplage à un même circuit oscillant, consiste à accorder l'un des radiateurs et à désaccorder l'autre. Dans le radiateur accordé (que ce soit le cadre ou l'antenne), le courant sera en phase avec la force électromotrice induite, dans l'autre radiateur il sera déphasé de $\frac{\pi}{2}$ sur cette force électromotrice et, tous les couplages étant faibles, les courants dans les deux radiateurs seront donc bien déphasés de $\frac{\pi}{2}$ entre eux.

On verra plus loin que l'obtention d'une bonne précision exige un courant antenne faible par rapport au courant cadre. On accordera donc ce dernier sur l'onde émise et on désaccordera l'antenne, qui sera accordée sur une onde beaucoup plus courte (dans certains essais effectués, la longueur d'onde émise étant de 960 mètres, le cadre était accordé sur cette onde, et l'antenne sur 185 mètres environ). Le schéma de principe est alors celui de la fig. 19, où SC représente un circuit oscillant dont les oscillations sont entretenues, par exemple, par une lampe à 3 électrodes, où S_1 est la bobine de couplage du cadre Ca, C_1 et C_2 les condensateurs d'accord, S_2 la bobine de couplage de l'antenne A, T la prise de terre. La manipulation s'effectue en inversant les connexions de la bobine S_2 au moyen d'un inverseur mû par un petit moteur.

Au lieu d'employer une antenne séparée, on peut utiliser l'« effet antenne » du cadre lui-même, par exemple en reliant à la terre,

par la bobine de self S_2 , le point milieu de la bobine de self S_1 . L'effet produit est naturellement le même que précédemment.

Enfin, les bobines S_1 et S_2 peuvent être réunies en une seule bobine, en reliant alors à la terre un point de S_1 différent de son milieu. Au lieu de produire l'inversion de la bobine de couplage d'antenne, la manipulation pourra s'effectuer dans ce cas en réu-

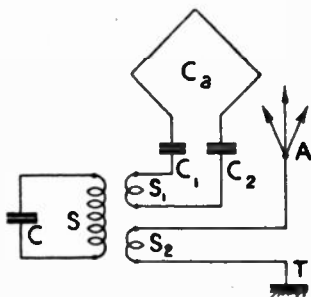


Fig. 19.

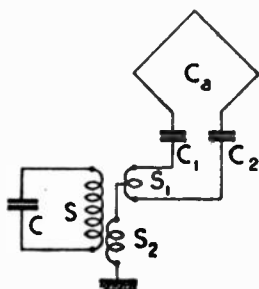


Fig. 20.

nissant alternativement à la terre au rythme des signaux, deux points symétriques de la bobine S_1 , et, en particulier, ses deux extrémités. On arrive ainsi au schéma très simple de la fig. 21,

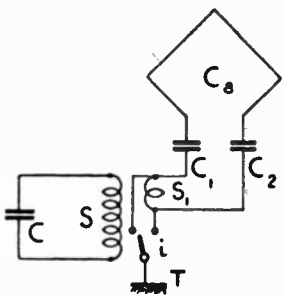


Fig. 21.

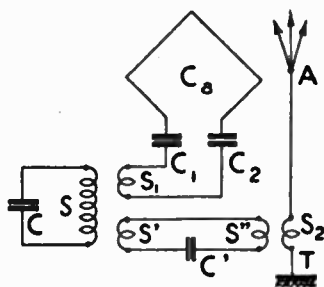


Fig. 22.

où i est un commutateur à deux positions, mû par un petit moteur et produisant la manipulation.

Le déphasage de $\frac{\pi}{2}$ entre les courants du cadre et de l'antenne, pourrait également être produit par un circuit intermédiaire accordé, faiblement couplé au circuit SC, d'une part, et à l'antenne, d'autre part, cette dernière étant alors accordée sur la longueur d'onde émise. C'est le montage représenté schématiquement par la fig. 22, où $S'CS'$ figure ce circuit intermédiaire. La manipulation pourra s'effectuer en inversant soit S' , soit S' , soit S_2 .

Enfin, on peut, dans le montage précédent, se servir du cadre accordé lui-même comme circuit intermédiaire, en couplant l'antenne, également accordée, non plus au circuit SC, mais directement au circuit du cadre. C'est le montage bien connu utilisé dans

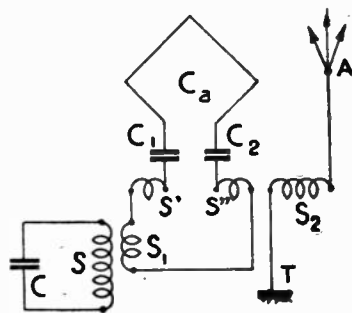


Fig. 23.

de nombreux dispositifs de lever de doute en radiogoniométrie (1), et que représente la fig. 23, où S' et S'' sont deux bobines de self-induction intercalées sur le circuit du cadre et couplées à S_2 .

D. — Organes d'accord du cadre

Le cadre sera, en général, couplé au circuit oscillant par une bobine de self-induction, et accordé par un ou plusieurs condensateurs. En vue de conserver la symétrie du système, on utilise souvent deux condensateurs placés de part et d'autre de la bobine de couplage.

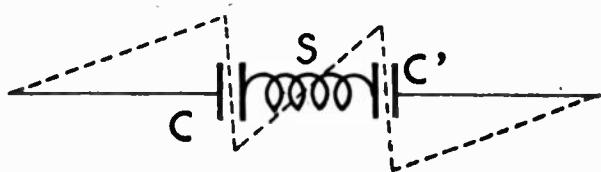


Fig. 24.

Si l'on représente le cadre développé suivant une ligne horizontale (fig. 24), avec sa bobine de couplage S et ses deux condensateurs d'accord C et C' , la répartition des tensions aura la forme indiquée par la ligne pointillée, les tensions élevées par rapport au sol se trouvant près de C et de C' , c'est-à-dire dans les parties situées au voisinage de la terre. On a constaté que, pour réduire autant que

(1) R. Mesny, *Usage des Cadres et Radiogoniométrie*, page 65.

possible tout « effet antenne » du cadre, il était intéressant d'éloigner au contraire du sol les parties du cadre portées à de hautes tensions. Ceci a été réalisé, en particulier aux États Unis, en utilisant un seul condensateur d'accord placé à la partie supérieure du cadre et supporté par le pylône. On obtient alors la répartition des tensions de la fig. 25. Ce montage a été également essayé dans le cas du

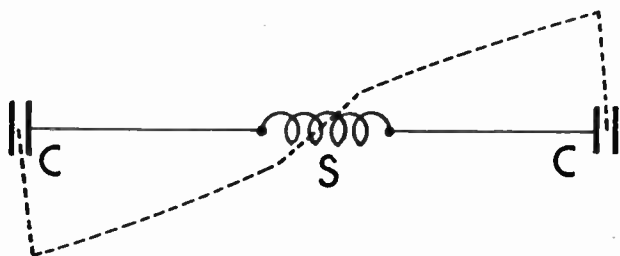


Fig. 25.

dispositif de radioalignement à association cadre-antenne, mais il présente alors un inconvénient, car il rapproche de l'extrémité supérieure de l'antenne les parties du cadre portées à des tensions élevées, ce qui peut produire un léger déplacement de l'axe balisé, si le courant dans le cadre n'est pas exactement déphasé de $\frac{\pi}{2}$ sur

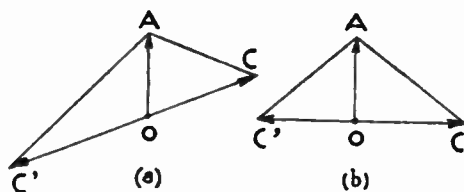


Fig. 26.

le courant dans l'antenne. Dans ce cas, en effet, si l'on représente la tension au sommet de l'antenne par le vecteur OA (fig. 26-a), la tension de l'extrémité supérieure du cadre, située à droite du condensateur d'accord, peut être représentée par OC, pour l'une des positions du manipulateur-inverseur, et par OC', pour l'autre position. Dans cette seconde position, la tension entre l'extrémité de l'antenne et cette partie du cadre (représentée par C'A) est supérieure à cette même tension dans la première position du manipulateur (représentée par CA). L'effet inverse se produit pour l'extrémité du cadre située à gauche du condensateur d'accord. Il en résulte que le courant passant par capacité de l'antenne au cadre

est plus grand dans la moitié gauche que dans la moitié droite de ce dernier, pour l'une des positions du manipulateur inverseur, et est, au contraire, moins grand pour l'autre position, ce qui produit un léger déplacement de l'axe.

Si le réglage était parfait et si la tension au sommet de l'antenne était alors déphasée exactement de $\frac{\pi}{2}$ sur les tensions au sommet du cadre, les vecteurs représentant ces tensions auraient la disposition de la fig. 26-b, et les deux courants seraient rigoureusement égaux.

Pour éviter tout déplacement de l'axe en cas de dérèglement du

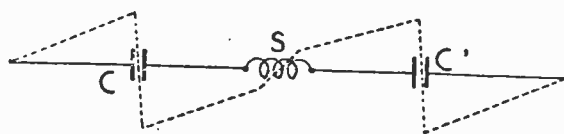


Fig. 27

poste émetteur, il est donc intéressant de ne pas placer le condensateur d'accord du cadre au sommet de celui-ci. La disposition optimale consisterait à placer deux condensateurs d'accord au milieu des deux brins montants du cadre, réalisant ainsi la disposition de la fig. 27. Les parties du cadre portées à des tensions élevées seraient

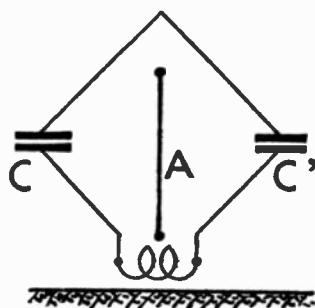


Fig. 28.

alors éloignées du sol, ce qui réduirait l'effet antenne, et éloignées également du sommet du cadre, ce qui assurerait une bonne stabilité de l'axe.

Pratiquement, les condensateurs C et C' pourraient être disposés aux sommets des petits pylônes qui supportent le cadre, à l'emplacement figuré sur la fig. 28. En outre, il serait bon d'éloigner

suffisamment l'extrémité supérieure de l'antenne de l'extrémité supérieure du cadre, afin de réduire le couplage par capacité des deux organes. La hauteur effective de l'antenne étant toujours grande par rapport à celle du cadre, on peut, sans inconvénient, utiliser une antenne fixée à un niveau inférieur au niveau du sommet du cadre, comme l'indique la fig. 28.

E. — Précision.

Comme on l'a signalé précédemment, la précision dépend de l'angle sous lequel se coupent les deux cardioïdes, et, par conséquent, du rapport des champs de l'antenne et du cadre.

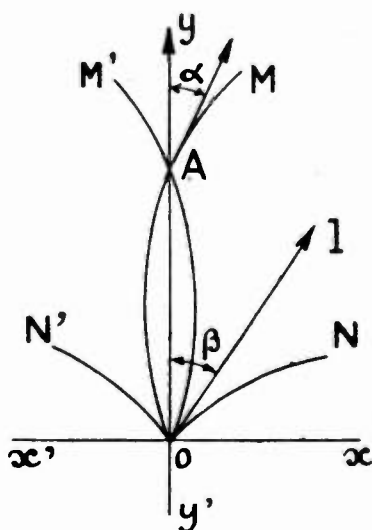


Fig. 29.

Soit r le rayon de la circonférence représentant la courbe de rayonnement polaire de l'antenne, R le diamètre de l'une des deux circonférences tangentes qui constituent la courbe de rayonnement polaire du cadre, 2α l'angle sous lequel se coupent les deux cardioïdes.

Représentons (fig. 29) les axes rectangulaires Ox , Oy , et les deux cardioïdes se coupant en A . En désignant par t l'angle que fait avec Ox le rayon vecteur d'un point courant, on trouve pour équations de la cardioïde OAM , en coordonnées cartésiennes :

$$\begin{aligned} x &= r \cos t + R \cos^2 t, \\ y &= r \sin t + R \cos t \sin t. \end{aligned}$$

En A, pour $t = \frac{\pi}{2}$, on a

$$\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{R},$$

d'où

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{R}.$$

Calculons également en fonction de $\frac{r}{R}$ l'angle β que fait avec la direction Oy de l'axe balisé, la direction Ol dans laquelle on entend l'une des émissions sans contre-manipulation.

Pour cette direction $\cos t = \frac{1}{R}$, et comme t et β sont complémentaires

$$\beta = \operatorname{arc} \sin \frac{r}{R}.$$

Soit maintenant 2γ l'angle d'indétermination total de l'axe balisé. La précision de repérage de cet axe sera γ de part et d'autre de celui-ci. On peut essayer de déterminer approximativement γ en fonction de α , en se basant sur le fait suivant : d'après la plupart des expérimentateurs qui ont utilisé le système de balisage à cadres croisés perpendiculaires entre eux, la précision de repérage de l'axe est d'environ 1° de part et d'autre de celui-ci (1). On a, d'ailleurs, dans le cas des cadres perpendiculaires, $\alpha = 45^\circ$. Représentons alors à plus grande échelle la partie de la figure 29 voisine du point A (fig. 30). Le point O est hors des limites de la figure, vers le bas. Les cardioïdes peuvent être remplacées par les droites EAE' et DAD', se coupant sous l'angle 2α . Les courbes de rayonnement polaires, dans le cas des cadres croisés perpendiculaires, peuvent être remplacées par les droites perpendiculaires entre elles BAB' et CAC', l'angle $\widehat{BOC}$ représentant l'angle d'indécision total ($\widehat{BOC} = 2\gamma$). $\widehat{DOE}$ sera alors l'angle d'indécision total dans le cas du balisage avec les cardioïdes ($\widehat{DOE} = 2\gamma$). En effet, les résultats obtenus avec les cadres perpendiculaires montrent que l'oreille commence à percevoir la manipulation lorsque les champs, à la

(1) P. David. Les procédés radioélectriques pour le guidage des navires et des aéronefs, *Onde électrique*, mai 1931, page 216.

P. Franck A propos des radiophares tournants conjugués, *Onde électrique*, décembre 1930, page 534.

Radiophare d'aérodrome. *Bulletin de la Société française radioélectrique*, décembre 1930, page 193.

réception, deviennent respectivement OC' et OB . Dans le cas des cardioïdes, l'oreille commencera donc à percevoir la manipulation quand ces champs seront OE' et OD , d'un côté, OD' et OE , de l'autre. On peut ainsi calculer γ ; on a, en tenant compte de ce que $FA = FB$:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{DF}{OF} = \frac{DF}{FA} \cdot \frac{FA}{OF} = \operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{tg} 1^\circ,$$

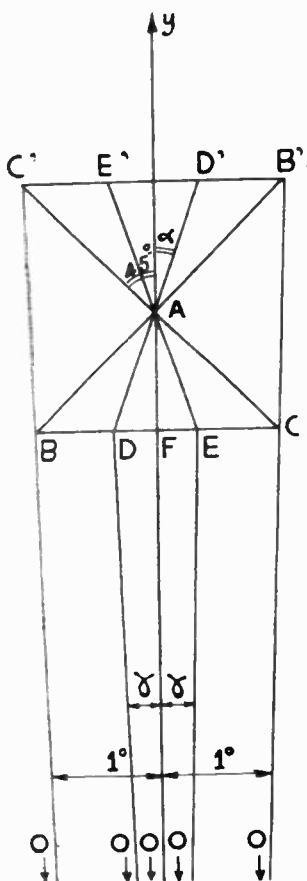


Fig. 30.

ou, en observant que γ est petit et en l'exprimant en minutes :

$$\gamma = 60 \operatorname{tg} \alpha = 60 \frac{r}{R}.$$

La précision sera donc d'autant plus grande que le rapport $\frac{r}{R}$ sera plus petit. Mais, il faut observer que l'énergie à mettre en jeu.

pour une portée donnée, croîtra également avec l'inverse de ce rapport.

Si l'on remarque que les surfaces polaires de rayonnement de l'antenne et du cadre dans l'espace sont deux demi tores, l'un à axe vertical et dont le rayon de l'équateur est r , l'autre à axe horizontal et dont le rayon de l'équateur est R , l'énergie rayonnée par

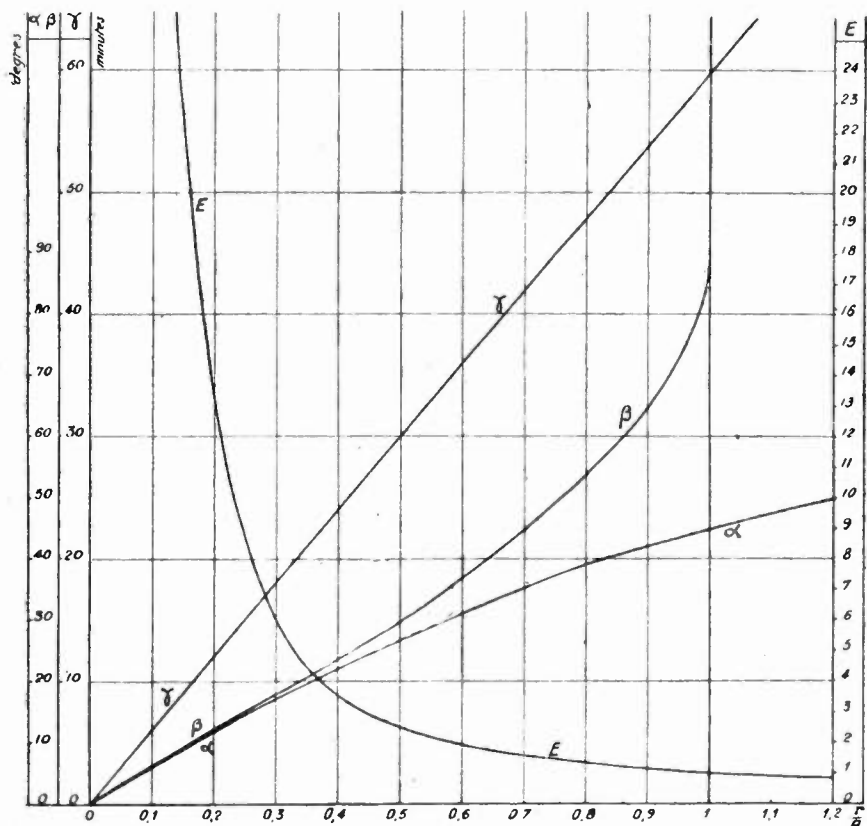


Fig. 31.

l'antenne peut être représentée par Kr^2 , celle rayonnée par le cadre par KR^2 . L'énergie rayonnée totale est donc $K(r^2 + R^2)$. A portée du radioalignement constante ($r = \text{constante}$), cette énergie croît avec $\frac{R}{r}$ comme $1 + \left(\frac{R}{r}\right)^2$.

Quant à l'énergie à mettre en jeu dans le système radiateur pour obtenir l'énergie rayonnée nécessaire, elle dépend naturellement du rapport des résistances totales aux résistances de rayonnement du cadre et de l'antenne.

Sur la figure 31, on a représenté, en fonction des valeurs du rapport $\frac{r}{R}$ portées en abscisses, les valeurs correspondantes des angles α (angle de l'une des cardioïdes avec l'axe balisé), β (angle de l'axe balisé avec l'un des axes où ne se produit pas de contre-manipulation), γ (précision en minutes de part et d'autre de l'axe), et de E (énergie rayonnée totale à portée constante, l'énergie rayonnée quand $\frac{r}{R} = 1$ étant prise pour unité).

La détermination du rapport $\frac{r}{R}$ peut se faire expérimentalement très facilement sans effectuer de mesures de champs. Il suffit, en effet, de déterminer l'angle β que fait l'axe balisé avec l'axe sur lequel les signaux sont perçus sans contre-manipulation. Ce second axe n'est pas repérable avec une précision aussi grande que l'axe balisé, mais, néanmoins, avec une indétermination suffisamment faible pour que β puisse être connu à 1 ou 2° près. On en déduit alors $\frac{r}{R}$ en utilisant la courbe de la figure 31.

F. — Stabilité.

Nous allons examiner maintenant ce qui se produit dans le cas où l'accord du radiateur est accidentellement modifié, ou dans le cas d'une variation de fréquence du poste émetteur.

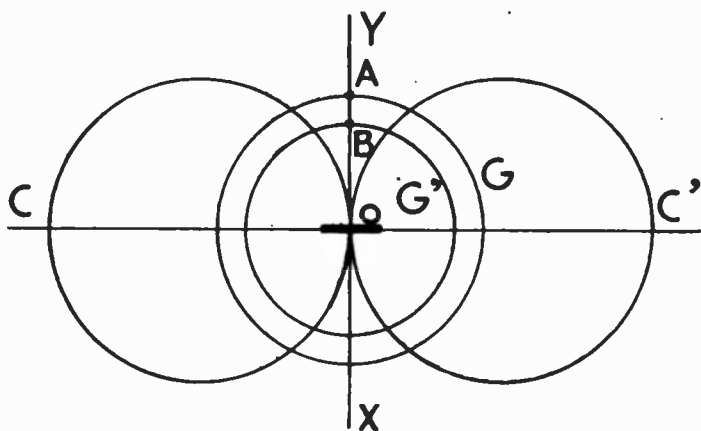


Fig. 32.

1° *Variation de l'accord de l'antenne.* — Soit (fig. 32), C et C' les circonférences de rayonnement du cadre, G celle de l'antenne.

Si l'accord de l'antenne est modifié de façon à réduire le courant qui parcourt celle-ci, la circonférence G est remplacée par une circonférence telle que G' . Les deux cardioïdes sont modifiées et leur point d'intersection se déplace de A en B , en restant toujours sur la normale au plan du cadre. En même temps, l'angle sous lequel les cardioïdes se coupent devient plus aigu. On obtient donc une précision plus grande et une portée plus faible du radioalignement, qui garde une direction rigoureusement fixe.

2° *Variation de l'accord du cadre.* — L'effet produit est le même : la précision et la portée du radioalignement sont modifiées, la direction restant fixe.

3° *Variation de la fréquence de l'émetteur.* — Les amortissements des circuits du cadre et de l'antenne étant différents, cette variation de fréquence correspond à une variation relative des rayons des circonférences C , C' , d'une part, et G , de l'autre, ce qui modifie encore la précision et la portée du radioalignement, sans changer sa direction.

Ainsi, dans tous les cas de dérèglement possibles, et sous réserve que la capacité entre l'antenne et le cadre soit faible, comme on l'a indiqué au paragraphe précédent, la direction du radioalignement est toujours la normale au plan du cadre ; les deux courbes de rayonnement polaires peuvent se modifier, mais leur point d'intersection se déplace sur cette normale.

Pour que la stabilité du radioalignement soit bien assurée, il est seulement nécessaire que les deux conditions suivantes soient remplies :

1° La direction de rayonnement nul du cadre doit être fixe, ce qui exige que le cadre soit bien compensé et ne présente pas d'effet antenne variable d'un jour à l'autre.

L'expérience nous a montré qu'il pouvait être dangereux à cet égard, dans les radioalignements maritimes, de réunir à la terre le point médian de la bobine de couplage, pour améliorer cette compensation, ainsi que cela a été fait parfois. Si, en effet, il se produit ensuite une dissymétrie dans la bobine (par dépôt d'humidité entre deux spires, par exemple), un courant important circule dans les connexions reliant le milieu de la bobine à la terre, et produit un effet antenne considérable. Dans le cas, au contraire, où on laisse le cadre isolé, une telle dissymétrie a seulement pour effet de déplacer le point au potentiel nul sur la bobine de couplage, mais sans créer d'effet antenne sensible. Si, pour des raisons particulières, on désire réunir le point médian à la terre, il est, en tout cas, avanta-

geux de faire cette liaison par l'intermédiaire d'une résistance ohmique sans self, de valeur élevée, qui, en cas de déséquilibre, réduit l'intensité du courant. La présence de l'antenne placée au voisinage du cadre, est d'ailleurs une raison supplémentaire de ne pas réunir directement la prise médiane du cadre à la terre, ce qui augmente le courant passant par capacité de l'antenne au cadre, puis du cadre à la terre, et ce qui accroit, en conséquence, les risques de déplacement de l'axe par l'effet indiqué ci-dessus au paragraphe « Organes d'accord du cadre ».

2° Les courants dans l'antenne, correspondant aux deux positions du manipulateur-inverseur, doivent être égaux et opposés l'un à l'autre. Il y a lieu d'éviter, en particulier, tout couplage parasite par capacité entre la bobine de couplage de l'antenne et la bobine du circuit oscillant qui lui transmet le courant de haute fréquence. Ceci peut être réalisé en plaçant la bobine de couplage sous un écran convenablement coupé pour éviter les courants de Foucault (1).

IV. — ESSAIS EFFECTUÉS A LA PALLICE.

Des essais du système de radioalignement à association cadre-antenne ont été effectués, depuis juillet 1930, avec le concours du Service des Phares et Balises, au voisinage du port de La Pallice. Les appareils utilisés avaient été construits au Service Central des Phares, avec la collaboration de MM. Baujoin, Ingénieur, et Libouban, Radioélectricien. Ils ont été installés et mis en œuvre à La Pallice avec l'aide du Service maritime des Ponts et Chaussées de la Charente-Inférieure, et, en particulier, de MM. Petit, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Couzin, Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat, et Aégas, Radioélectricien.

Ces appareils d'expérience étaient montés, en grande partie, avec des pièces servant à la construction des radiophares.

A. — *Matériel utilisé.*

Le matériel utilisé comprenait :

1° Un groupe générateur constitué par un moteur à essence entraînant un alternateur à fréquence musicale et une dynamo à courant continu 110 volts, excitant l'alternateur et alimentant le moteur du manipulateur automatique.

(1) Par contre, si l'on désire déplacer l'axe d'un côté ou de l'autre de la normale au plan du cadre, on peut utiliser des prises différentes sur la bobine de couplage, ou ajouter en série avec l'antenne une résistance, sur l'une seulement des deux positions du manipulateur-inverseur.

2° Un poste émetteur, divisé en deux cabines, pouvant fonctionner soit en auto-oscillateur, soit avec maître-oscillateur. Le schéma du poste monté avec maître-oscillateur est représenté sur la figure 33. Il comprenait :

a) Une lampe oscillatrice L_1 dont le filament était chauffé par un courant de fréquence musicale produit par le transformateur Tr_1 alimenté par l'alternateur. Les oscillations étaient entretenues, sur une longueur d'onde de 960 mètres. La plaque de la lampe était alimentée en courant continu à 1.500 volts, produit par élévation et redressement d'une partie du courant de l'alternateur

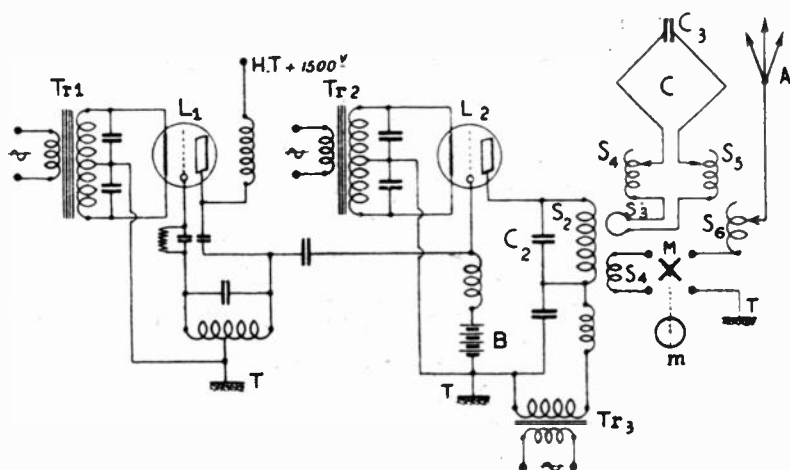


Fig. 33.

à fréquence musicale. Cette lampe oscillatrice était enfermée dans un blindage en laiton et permettait d'obtenir une fréquence d'onde stable, en évitant, en même temps, toute modulation de fréquence ;

b) Une lampe amplificatrice L_2 dont le filament était également chauffé à l'aide d'un transformateur à fréquence musicale Tr_2 , et dont la grille était convenablement polarisée au moyen d'une batterie d'accumulateurs B. Sur le circuit plaque de cette lampe était monté un circuit oscillant S_2C_2 , couplé, d'une part, au cadre par la bobine S_3 , et, d'autre part, à l'antenne par la bobine S_4 . L'alimentation plaque de la lampe amplificatrice se faisait en courant de fréquence musicale à haute tension par le transformateur Tr_3 , ce qui produisait une émission modulée.

Le cadre était accordé par des bobines de self-induction S_1 et S_5 et

par un condensateur C_3 placé au sommet, ou par des condensateurs placés près des bobines de self-induction.

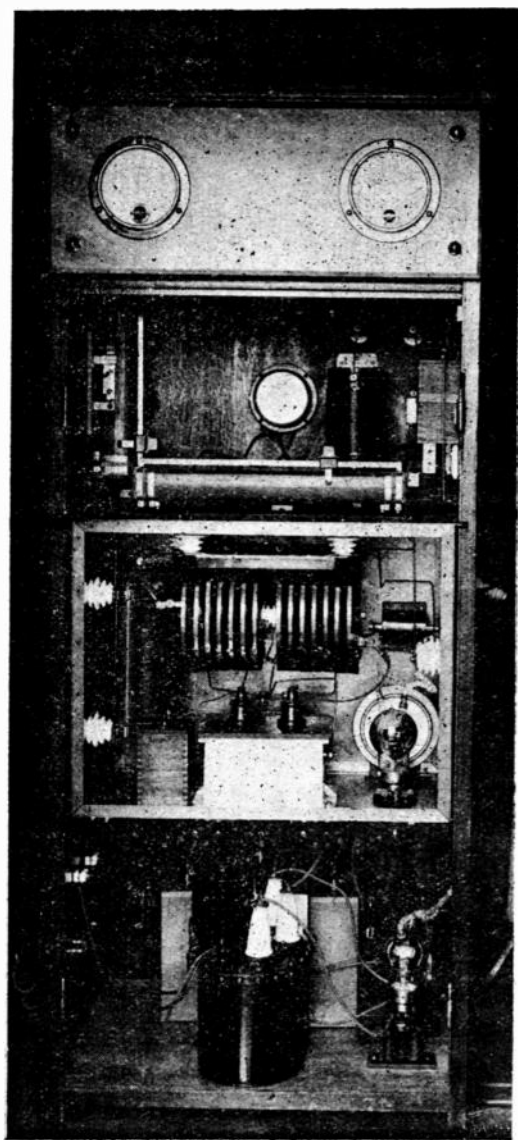


Fig. 34.

Sur le circuit de l'antenne pouvait être intercalée une bobine de self-induction S_6 . Le manipulateur-inverseur M , mû par le moteur m ,

inversait périodiquement la bobine d'alimentation S_4 , au rythme des signaux.

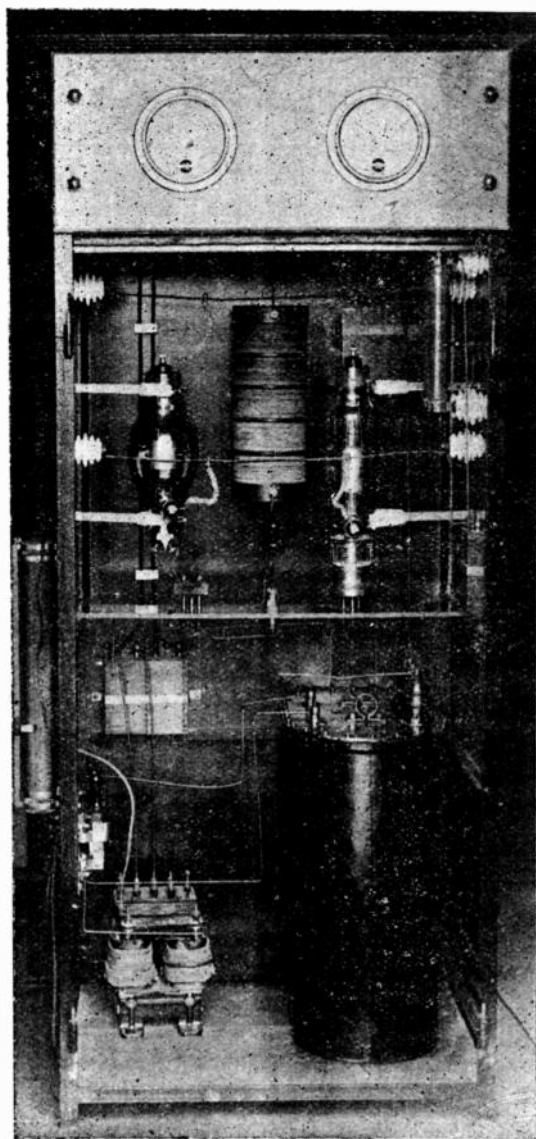


Fig 35.

Le poste pouvait également être monté en auto-oscillateur en supprimant alors la lampe L_1 et intercalant sur le circuit de la

grille de la lampe L_2 une bobine de self-induction couplée à la bobine de self-induction S_2 du circuit plaque.

La photographie 34 représente la cabine oscillatrice. On aperçoit, à la partie inférieure, la lampe redresseuse (lampe SIE, type A_2 spécial) produisant la tension plaque continue de 1.500 volts avec son transformateur de chauffage, placé dans l'huile, et, derrière lui, le filtre du courant plaque.

Au-dessus, se trouve la cage de Faraday en cuivre, renfermant la lampe oscillatrice, du même type que la lampe redresseuse, avec le circuit d'accord (bobines de self-induction et condensateurs), la bobine de choc d'alimentation de plaque et le condensateur shunté de grille.

Au-dessus de la cage de Faraday, est disposé le potentiomètre réglant la polarisation de grille de la lampe amplificatrice, le condensateur de liaison, la bobine de choc de grille et le voltmètre mesurant la valeur de la polarisation négative.

Contre la paroi gauche de la cabine se trouvent l'interrupteur et les rhéostats de chauffage des lampes.

Enfin, le panneau de marbre supérieur porte le voltmètre de chauffage et le milliampèremètre placé sur le circuit plaque de la lampe oscillatrice.

La photographie 35 représente la cabine amplificatrice qui renferme, à sa partie inférieure, le transformateur de tension plaque pouvant fournir des tensions variées, de 2.000 à 4.000 volts, le transformateur de chauffage de la lampe amplificatrice, les interrupteurs d'alimentation des deux transformateurs. Au milieu de la cabine sont disposés deux types de lampes amplificatrices, interchangeables à volonté (lampes Philips TA 4/250, à gauche, et TA 3/250, à droite). Au fond se trouve la bobine de choc d'alimentation plaque, à droite les résistances de grille, et, en haut de la cabine, sur le panneau de marbre, le voltmètre de chauffage et le milliampèremètre du circuit plaque. Sur la paroi gauche de la cabine sont disposés les rhéostats de chauffage.

Les bobines de self-induction, le condensateur d'accord du circuit plaque de la lampe amplificatrice et les diverses bobines de couplage et d'accord de l'antenne et du cadre étaient montés sur une table voisine, de façon à pouvoir être facilement modifiés suivant les essais à effectuer.

La photographie 36 représente le manipulateur-inverseur (construit sur nos dessins par les Etablissements Delagrangé), avec son moteur d'entraînement, son réducteur de vitesse, la came produi-

sant la manipulation et le système des leviers basculants portant des contacts et produisant l'inversion convenable de la bobine de couplage d'antenne. Ces contacts, qui avaient été particulièrement

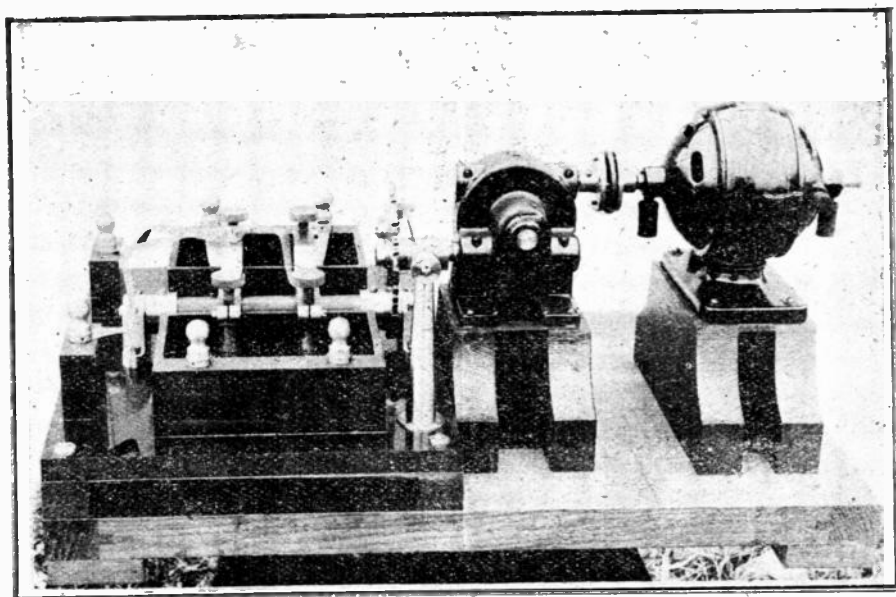


Fig. 36.

étudiés pour permettre la rupture brusque des courants de haute fréquence, pouvaient être immergés dans l'huile, précaution qui s'est d'ailleurs montrée superflue.

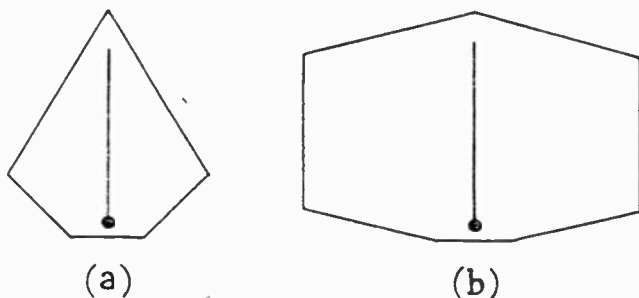


Fig. 37.

3° Un pylône en bois de 18 mètres de hauteur portant une antenne unifilaire tendue suivant son axe et un cadre qui avait d'abord la forme indiquée sur la figure 37 (a) et qui, en vue d'augmenter son

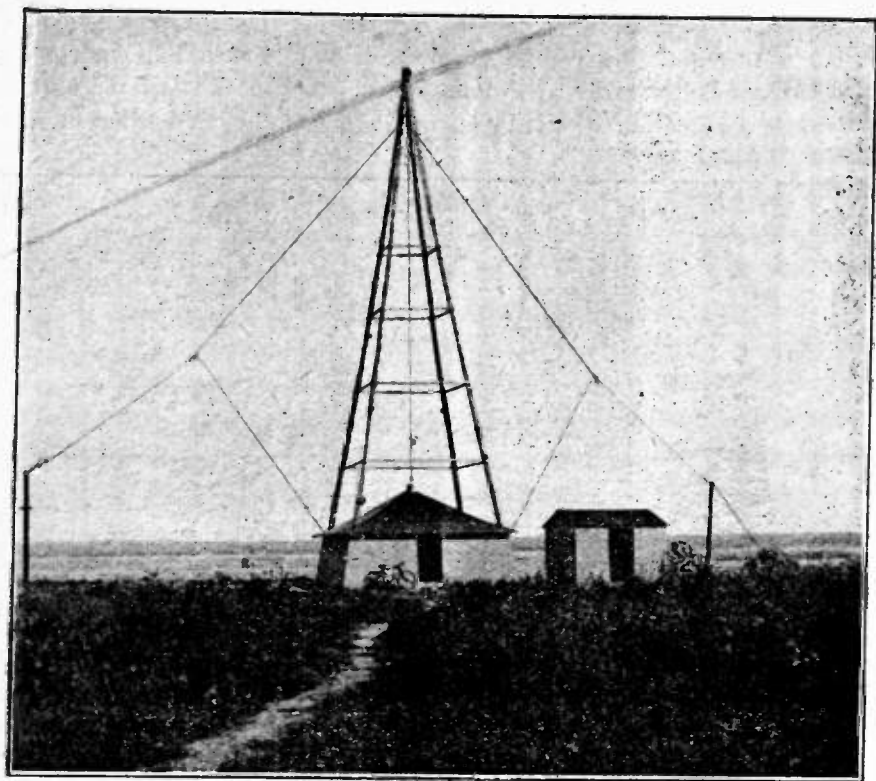


Fig. 38.

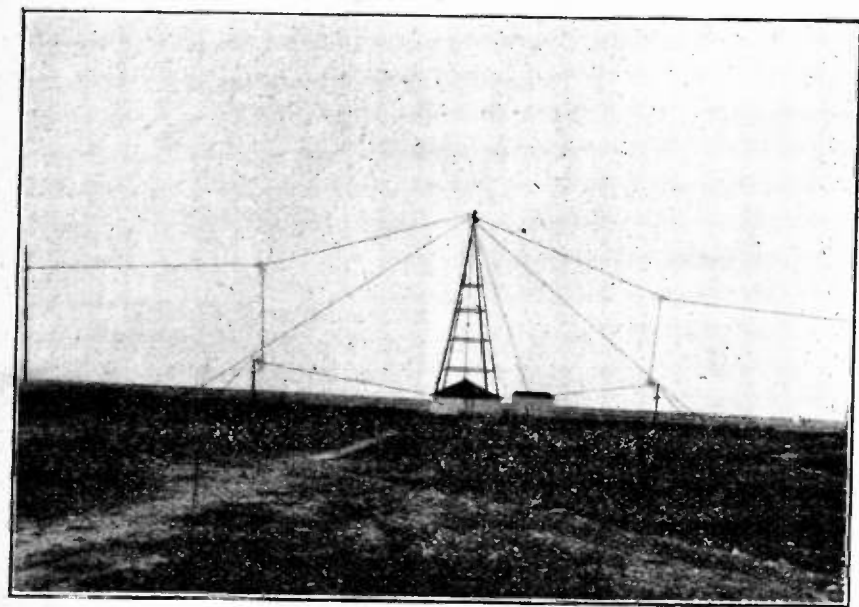


Fig. 39.

rayonnement, a été ensuite modifié de façon à recevoir la forme de la figure 37 (b). Le condensateur d'accord du cadre pouvait être placé, si on le désirait, au sommet du pylône.

La photographie 38 représente la première installation de la Pallice (juillet 1930) et la photographie 39, la seconde installation (octobre 1930). Sur les deux clichés, on aperçoit le pylône, le cadre et l'antenne, la cabane renfermant les appareils, et, à côté, une petite cabane renfermant le groupe générateur.

Plusieurs types de récepteurs ont été utilisés au cours des essais, en particulier un récepteur ordinaire à 4 lampes dont une lampe

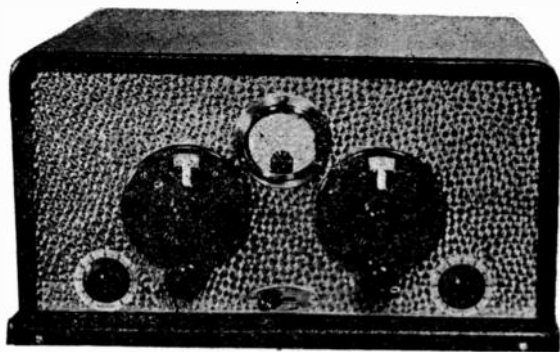


Fig. 40.

haute fréquence et une détectrice à réaction, et un récepteur du type OL5 du Service des Phares, comportant deux lampes haute fréquence à grille écran, une lampe détectrice et une lampe basse fréquence).

La photographie 40 représente une vue extérieure de ce récepteur ; la photographie 41 représente une vue intérieure, les divers blindages étant partiellement enlevés.

Les récepteurs qui donnent les meilleurs résultats avec les postes de radioalignement à enchevêtrement, sont naturellement ceux qui sont les plus sensibles à une petite variation de l'intensité du signal de part et d'autre de l'intensité moyenne de réception. A cet égard, un poste comme le premier dont il est question ci-dessus, dans lequel on est obligé d'utiliser une réaction poussée pour obtenir une bonne sensibilité, donne des résultats inférieurs à ceux fournis par un poste n'employant pas de réaction, puisque l'utilisation d'une réaction poussée a pour effet de tendre à égaliser l'intensité des signaux à la réception. Les indications au sujet de la

précision du radioalignement données plus loin concernant néanmoins le premier récepteur, le second poste, qui n'était pas disponible au moment où ont été effectuées les mesures les meil-

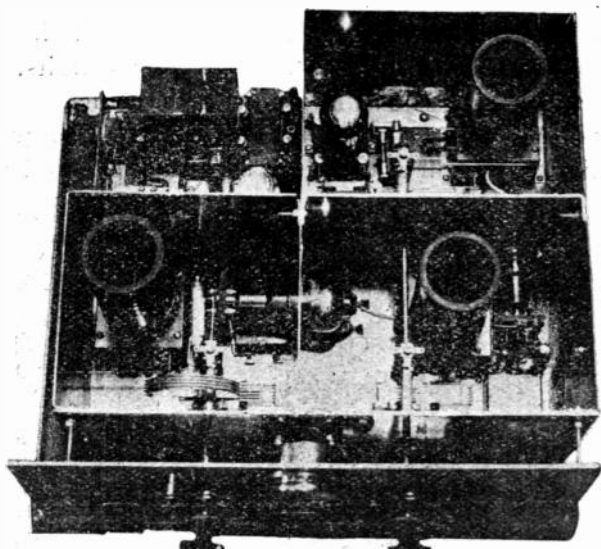


Fig. 41.

leures, pouvant, par conséquent, conduire à des résultats encore supérieurs.

B. — *Résultats obtenus.*

Les premiers essais effectués à La Pallice ont permis de constater que les postes émetteurs possédaient bien les courbes de rayonnement polaires en cardioïdes symétriques prévues par la théorie et de vérifier l'influence des variations des phases des courants de l'antenne et du cadre. La puissance mise en jeu dans le cadre a varié d'une vingtaine de watts à 250 watts, la puissance dans l'antenne étant de l'ordre de 0,5 à 5 watts, au maximum. L'effet du rapport de ces puissances sur la précision, a été vérifié et trouvé conforme aux prévisions de la théorie.

L'état de la mer à l'époque des essais n'a pas permis de poursuivre ceux-ci jusqu'à une distance très grande de La Pallice. A dix-huit kilomètres de ce port, les signaux étaient encore aisément audibles et la portée du radioalignement paraissait dépasser largement cette limite.

La stabilité de l'axe s'est montrée excellente au cours des essais successifs. La précision dépendait du rapport de la puissance dans l'antenne à la puissance dans le cadre. De l'ordre de $1/4$ de degré de part et d'autre de l'axe, au début des essais, elle a ensuite augmenté pour atteindre, dans certains cas, moins de 5 minutes d'angle seulement de part et d'autre de l'axe. Les zones d'indécision ont pu être mesurées avec précision au moyen de bouées mouillées spécialement et qui permettaient de repérer la position du bateau. A une distance de 12 kilomètres, par exemple, avec un certain réglage du poste émetteur, on a trouvé une largeur totale de l'axe de 10 mètres, ce qui correspond à une indécision angulaire de une minute et demie de part et d'autre de l'axe balisé.

C. — Effet de la présence du bateau.

La très grande précision réalisée dans les radioalignements dont il vient d'être question, a permis de mettre nettement en évidence l'effet dû à la présence du bateau (coque, mâts, haubans, etc...) qui, lorsque le navire se trouve à une petite distance du poste de radioalignement, peut produire un léger déplacement de l'axe balisé.

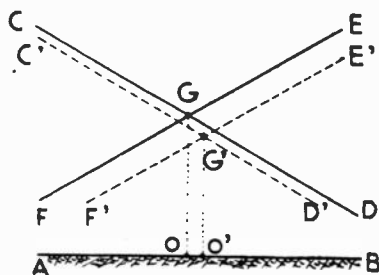


Fig. 42.

Soit (fig. 42) AB la surface de la mer et, en l'absence de navire à proximité, soit O la position de l'axe balisé, perpendiculaire au plan de la figure. Les champs électriques correspondant à l'une des positions du manipulateur inverseur (lettre A, par exemple), portés en ordonnées et complétés à partir de la ligne de référence AB, peuvent alors être représentés très sensiblement par la droite CD. De même, les champs électriques correspondant à l'autre position du manipulateur inverseur (lettre N) peuvent être représentés par la droite EF, ces deux droites se coupant naturellement en G, sur la verticale de O.

Examinons d'abord le cas d'un navire se trouvant exactement

en O et qui serait absolument symétrique par rapport à ce point. l'antenne de réception étant une antenne unifilaire verticale placée au milieu du navire. Les haubans situés au voisinage de cette antenne forment écran et réduisent le champ électrique reçu. Par contre, la coque tend à augmenter ce champ (1). Suivant le navire, il pourra donc y avoir, au total, une augmentation ou une diminution de l'intensité du champ, l'axe gardant sa position fixe, puisque, par suite de la symétrie, le champ de la lettre A sera modifié dans les mêmes proportions que celui de la lettre N.

Supposons maintenant que tout ne soit pas symétrique à bord du navire, ou que l'antenne ne soit pas placée exactement au milieu du bateau. Soit, par exemple un navire N portant une antenne de réception *a*, et situé par rapport à O comme l'indique la fig. 43.



Fig. 43.

Au moment de la manipulation de la lettre N, les parties avant du navire se trouvent placées dans un champ électrique plus intense qu'au moment de la manipulation de la lettre A. L'influence du rerayonnement de ces parties avant sur l'antenne sera donc plus grande pour la lettre N que pour la lettre A. Suivant les cas, ce rerayonnement pourra augmenter ou réduire le champ en O. Il s'en suivra que la droite EF viendra, par exemple en E'F' et que la droite CD viendra en C'D', l'axe étant ainsi déplacé de O en O'.

Pour les bateaux qui ont servi jusqu'ici aux essais (baliseurs « Léonce Reynaul » et « Paul Leferme »), et avec une antenne unifilaire placée à l'arrière du navire, l'axe a toujours été déplacé dans le sens de la marche du bateau. Le déplacement, perceptible à faible distance du poste de radioalignement, diminue lorsqu'on s'éloigne du poste et que les inclinaisons des droites EF et CD deviennent telles que le champ ne varie pas sensiblement sur la longueur de la coque du bateau.

Ces déviations sont naturellement maxima si le navire se présente par le travers. S'il suit l'axe, au contraire, elles deviennent très faibles, l'ensemble du bateau et de l'antenne se présentant alors symétriquement par rapport à l'axe. Cette considération réduit

(1) R. Mesny, *L'usage des cadres et radiogoniométrie*, p. 167.

l'inconvénient de ce déplacement de l'axe : dans le cas d'un radioalignement balisant une passe étroite, les navires commenceront à suivre l'axe à une distance assez grande de la passe, et ils auront leur cap sensiblement dans sa direction au moment du passage dangereux.

De nombreux essais ont été effectués avec des types d'antennes variés, en particulier des antennes unifilaires verticales placées à l'avant, à l'arrière et au milieu du navire. des antennes en T et des antennes en L renversé, avec descente soit à l'avant, soit à l'arrière, en vue d'examiner s'il ne pouvait pas se produire, dans certains cas, des déviations dues à la forme de l'antenne réceptrice, et telles qu'elles rendraient l'utilisation du balisage impossible. De telles déviations n'ont jamais été constatées dans les essais effectués jusqu'ici.

D. — *Essais sur ondes courtes.*

Etant donné l'encombrement de la bande de fréquences actuellement réservées aux radiophares sur ondes longues, des essais ont été effectués pour déterminer si le système de radioalignement à association cadre-antenne donnait également de bons résultats sur ondes courtes. Ces essais ont eu lieu sur la longueur d'onde de 165 mètres, avec un poste émetteur à quatre lampes E4, utilisant comme radiateur d'onde un petit cadre triangulaire à une spire, et une antenne unifilaire verticale de quelques mètres seulement. Les résultats ont été analogues à ceux obtenus sur ondes longues, les brouillages étant d'ailleurs considérablement réduits. La précision était toutefois un peu inférieure, car la valeur du rapport des champs de l'antenne et du cadre était plus grande dans les essais sur ondes courtes que dans ceux sur ondes longues.

Il serait possible, sur ondes courtes, de remplacer le cadre émetteur fermé par un système de deux antennes ouvertes convenablement espacées, ce qui aurait l'avantage de produire un rayonnement supérieur et d'augmenter la précision du radioalignement, mais la stabilité de l'axe ne serait plus alors assurée en cas de déréglage de ces antennes, comme on l'a indiqué précédemment.

E. — *Utilisation d'un signal lumineux à la réception.*

Dans certains cas, l'écoute des radioalignements à l'oreille (au casque ou au haut-parleur) peut être gênante. Des essais ont donc été effectués pour remplacer la perception auditive par une perception visuelle. On a utilisé dans ce but une lampe au néon alimentée par

les courants sortant de l'amplificateur basse fréquence du récepteur. De bons résultats ont été obtenus, la lampe donnant des éclats correspondant à la lettre A d'un côté de l'axe, à la lettre N, de l'autre côté, et s'allumant de façon continue lorsqu'on se trouve sur l'axe.

D'autres systèmes d'avertisseurs visuels utilisant des dispositifs à relais et allumant des lampes de couleurs différentes, sont d'ailleurs en étude.

F. — Poste de radioalignement de grande puissance.

Dans le cas d'un poste de radioalignement de grande puissance, dont le courant antenne aurait une valeur assez élevée, une difficulté pourrait provenir du manipulateur-inverseur qui couperait mal ce

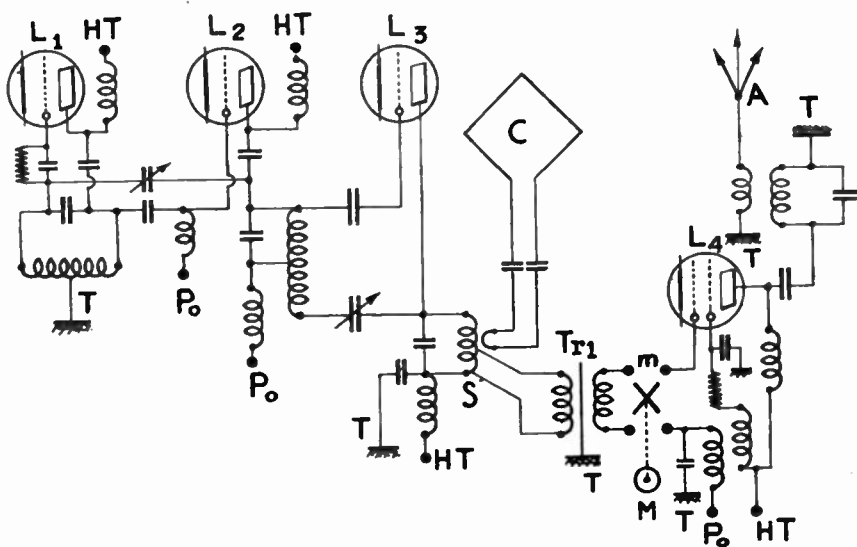


Fig. 44.

courant de haute fréquence. On peut s'en affranchir facilement en intercalant une lampe à trois électrodes sur le circuit d'alimentation de l'antenne. Une tension de haute fréquence prélevée sur le circuit oscillant alimentant le cadre est alors appliquée, dans un sens ou dans l'autre, à la grille de cette lampe dont le circuit plaque renferme le circuit accordé couplé à l'antenne. La polarisation de grille de la lampe a une valeur négative telle qu'il ne puisse naître aucun courant électronique, et que le seul courant qu'ait à couper le manipulateur-inverseur soit le faible courant dû à la capacité grille-filament de la lampe. Dans un poste en étude, la lampe utilisée pour ce couplage est une lampe d'émission à grille-écran, ce qui réduit

encore les réactions paras les des circuits de l'antenne sur les circuits du cadre. La figure 44 représente le schéma de principe de ce poste. L_1 est une première lampe constituant le maître-oscillateur fixant la fréquence, L_2 la lampe d'un étage amplificateur-séparateur sans courant de grille, évitant toute réaction sur la fréquence du maître-oscillateur, L_3 la lampe d'un étage amplificateur de puissance alimentant le cadre suivant les dispositions déjà indiquées. La tension de haute fréquence prise aux bornes d'une partie de la bobine de self-induction alimente un transformateur Tr_1 dans lequel un écran convenablement disposé élimine toute capacité de couplage entre les enroulements primaire et secondaire. La tension naissant aux bornes du secondaire de ce transformateur est appliquée dans un sens ou dans l'autre entre la grille et le filament de la lampe à grille écran L_4 , dont la polarisation de grille est réglée à la valeur convenable. Le circuit plaque de cette lampe renferme le circuit accordé habituel, convenablement couplé à l'antenne.

V. — APPLICATION AUX SYSTÈMES A MODULATIONS DIFFÉRENTES.

A — Principe.

Le dispositif à cadres croisés a reçu, en particulier aux États Unis, d'autres applications sous une forme un peu différente de celle qui a été décrite jusqu'ici.

Dans ces applications, des émissions continues sont effectuées simultanément sur les deux cadres, et avec la même longueur d'onde, mais avec des fréquences de modulation différentes. A la réception, les courants de basse fréquence sortant du récepteur alimentent deux électro-aimants agissant sur deux lames vibrantes accordées respectivement sur les deux fréquences de modulation. Lorsqu'on se trouve sur l'axe balisé, les amplitudes de vibration des deux lames sont égales. Lorsqu'on se trouve d'un côté ou de l'autre de l'axe, l'une des lames prend une amplitude supérieure à celle de l'autre (1).

Ce système a l'avantage de donner immédiatement des indications visuelles, et il a été appliqué surtout à bord des avions, de façon à mettre sous les yeux des pilotes un indicateur de route signalant directement de quel côté de l'axe balisé se trouve le récepteur.

(1) Dellinger, Diamond et Dunmore, *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 24 mai 1930.

Diamond et Kear, *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, juin 1930.

B. — *Application au système d'association cadre-antenne.*

Bien que le dispositif à association cadre-antenne, qui a été décrit ci-dessus, n'utilise qu'un seul système rayonnant, il peut être combiné de façon à mettre en œuvre des émissions modulées à fréquences différentes et des lames vibrantes à la réception (1).

Considérons, par exemple, le montage de la figure 45 dans lequel deux lampes amplificatrices identiques L_1 et L_2 ont leurs grilles com-

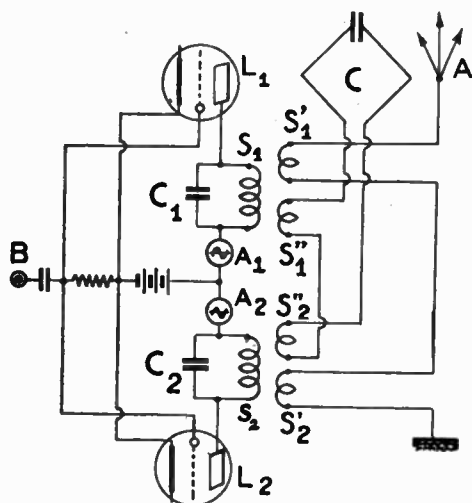


Fig. 45.

venablement excitées par les oscillations d'un oscillateur non représenté et relié à la borne B. Les circuits des plaques de ces lampes renferment des circuits accordés, S_1C_1 et S_2C_2 , et des sources de courant alternatif A_1 et A_2 de fréquences f_1 et f_2 , produisant la modulation basse fréquence des oscillations de S_1C_1 à la fréquence f_1 et de S_2C_2 à la fréquence f_2 . L'antenne A est couplée au circuit S_1 par la bobine S'_1 et au circuit S_2 par la bobine S'_2 , enroulée dans le même sens que S'_1 . Le cadre C est couplé à S_1 par une bobine S''_1 , et à S'_2 par une bobine S''_2 , enroulée en sens inverse de S'_1 .

Le courant dans S_1 peut se décomposer en un courant porteur de fréquence F et en deux bandes latérales de fréquences $F - f_1$ et $F + f_1$ (fig. 46 a). De même, le courant dans S_2 peut se décomposer en un courant porteur de fréquence F et en deux bandes latérales de fréquences $F - f_2$ et $F + f_2$ (fig. 46 b). Le courant dans l'antenne comprend ainsi un courant porteur de fréquence F

(1) P. Besson, Brevet n° 706.446, 20 novembre 1930.

et des bandes latérales de fréquences $F - f_2$, $F - f_1$, $F + f_1$ et $F + f_2$ (fig. 46 c).

Quant au courant dans le cadre, il ne comprend pas de courant porteur de fréquence F , puisque les deux tensions de cette fréquence induites dans les bobines S'_2 et S'_1 s'opposent l'une à l'autre, mais

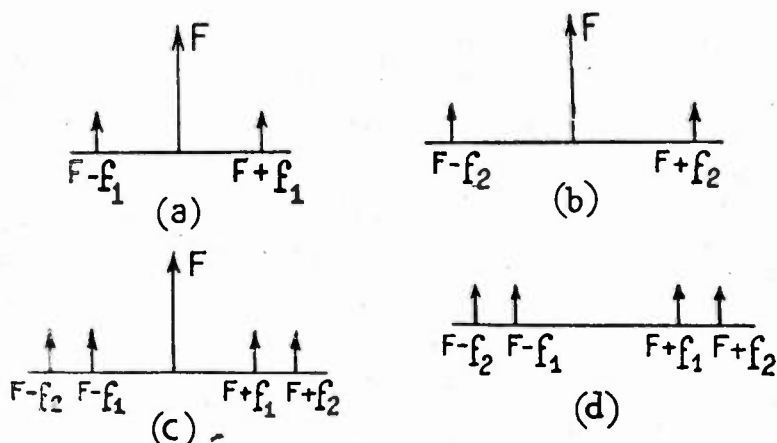


Fig. 46.

il comprend seulement deux courants de fréquences $F - f_1$ et $F + f_1$, qui sont déphasés de $+\frac{\pi}{2}$ sur les courants corres-

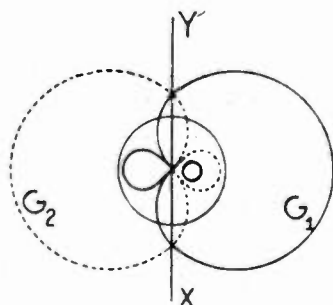


Fig. 47.

pondant dans l'antenne, si celle-ci n'est pas accordée et si le cadre est accordé, et deux autres courants de fréquences $F - f_2$ et $F + f_2$, qui sont, eux, déphasés de $-\frac{\pi}{2}$ sur les courants correspondant dans l'antenne (fig. 46 d). On voit ainsi que l'onde porteuse est radiée par l'antenne seule, avec une courbe de rayonne-

ment circulaire, que les bandes de modulation correspondant à la fréquence f_1 sont radiées avec une courbe de rayonnement constituée par la cardioïde G_1 , par exemple, (fig. 47), et que les bandes de modulation correspondant à f_2 , sont radiées avec une courbe de rayonnement constituée par la cardioïde symétrique G_2 . Ainsi, dans la direction XOY de l'axe balisé, les deux modulations sont reçues également fort et les lames vibrantes prennent des amplitudes égales. Dans les directions différentes, l'une des modulations est reçue plus fortement que l'autre et les lames prennent des amplitudes inégales, indiquant de quel côté de l'axe se trouve le poste récepteur.

Au lieu d'inverser les bobines S'_1 et S'_2 du cadre, on aurait pu inverser les bobines S'_1 et S'_2 de l'antenne. On aurait alors supprimé l'onde porteuse dans l'antenne et on l'aurait conservée dans le cadre. Les bandes latérales de modulation auraient toujours été radiées avec les courbes de rayonnement polaires G_1 et G_2 de la figure 47, mais l'onde porteuse aurait été radiée avec une courbe de rayonnement polaire constituée par deux circonférences tangentes (diagramme du cadre). Dans ces conditions, le poste n'émettrait pas d'onde porteuse dans la direction de l'axe, mais seulement les bandes latérales. Il serait alors nécessaire d'utiliser à la réception des lames vibrantes accordées, non plus sur les fréquences f_1 et f_2 , mais sur les fréquences $2f_1$ et $2f_2$. Par suite de l'absence d'onde porteuse, l'intensité de la réception sur l'axe serait d'ailleurs réduite. On peut, en outre, remarquer que, l'énergie dans le cadre devant être beaucoup plus grande que l'énergie dans l'antenne si l'on veut obtenir une bonne précision du radioalignement, il est avantageux de supprimer l'onde porteuse dans le cadre et non dans l'antenne.

Le dispositif qui vient d'être décrit présente l'inconvénient de produire un déplacement de l'axe si les deux lampes L_1 et L_2 ne sont pas identiques, et, en particulier, si le coefficient d'amplification de l'une d'elles vient à varier. On peut s'affranchir de cette cause de déplacement en opérant les modulations de basse fréquence, non plus sur les circuits des plaques des deux lampes, mais directement sur des circuits accordés intercalés entre le poste émetteur et les deux radiateurs, antenne et cadre. On peut utiliser, entre autres, le montage de la figure 48. Une lampe L entretient des oscillations dans le circuit accordé SC. Ces oscillations sont transmises à l'antenne par une bobine de couplage S_1 et au cadre par deux circuits accordés $S_2C_2S'_2$ et $S_3C_3S'_3$, les connexions de S_2 et de S_3

étant inversées. Les bobines S'_2 et S'_3 sont couplées à une bobine S' intercalée dans le circuit du cadre.

D'autre part, sur le circuit intermédiaire $S_2C_2S'_2$ et sur le circuit de l'antenne sont disposés deux modulateurs M_1 et M'_1 , synchrones, modulant les courants à la fréquence f_3 . Sur le circuit intermédiaire $S_3C_3S'_3$ et sur le circuit de l'antenne, sont disposés deux autres modulateurs M_2 et M'_2 , synchrones, modulant les courants à la fréquence f_2 . Ces modulateurs peuvent être constitués soit par des condensateurs tournants, soit par des bobines de self-induction en

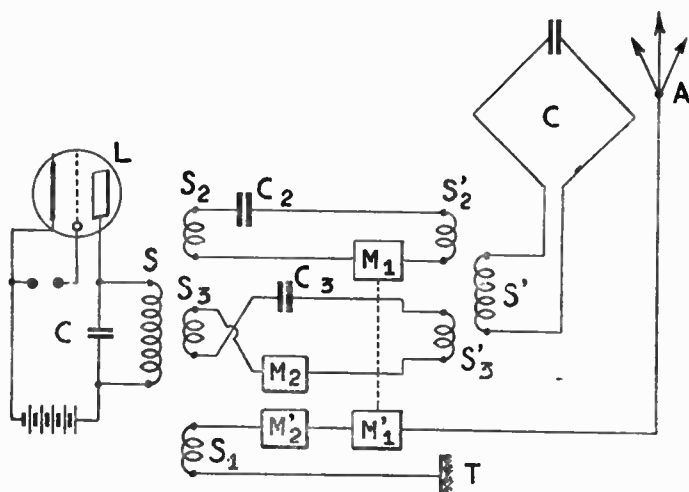


Fig. 48.

forme de variomètres, variables par rotation et entraînés par des moteurs, soit par un dispositif de couplage variable avec des circuits absorbants accordés ou non, soit par des tikkers, des résistances variables, etc...

L'effet produit est alors le même que précédemment : l'onde porteuse est supprimée dans le cadre et conservée dans l'antenne, les bandes latérales de modulation sont radiées avec des courbes de rayonnement constituées par les deux cardioïdes symétriques de la figure 47. Le montage présente l'avantage de rendre la position de l'axe indépendante des caractéristiques des diverses lampes utilisées dans le poste émetteur.

VI. — APPLICATION AU BALISAGE DE SECTEURS.

A. — Principe.

Une disposition à laquelle on a souvent recours pour le balisage lumineux est celle des feux à secteurs, dont la lumière est colorée

en rouge ou en vert dans des secteurs d'amplitude angulaire déterminée. Cette disposition peut être utilisée pour signaler une passe ou pour couvrir un danger.

Les principes de l'enchevêtrement peuvent être appliqués à la réalisation de postes émetteurs de radiobalisage permettant au récepteur qui perçoit un certain signal, de savoir s'il se trouve dans tel ou tel secteur déterminé.

En manipulant, par exemple, l'une des lettres complémentaires avec un radiateur possédant la courbe de rayonnement en cardioïde C (fig. 49) et l'autre lettre avec l'antenne possédant la courbe de rayonnement C', on perçoit à la réception un son continu si l'on se

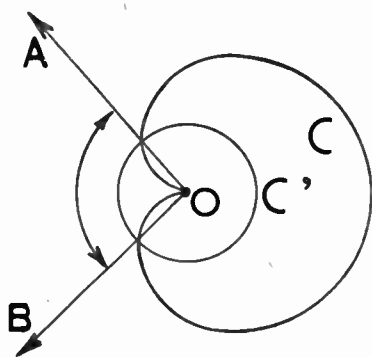


Fig. 49.

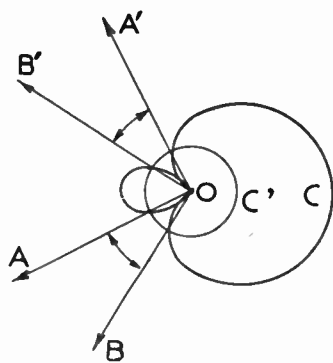


Fig. 50.

trouve sur les lignes OA et OB, on entend l'une des lettres si l'on se trouve dans le secteur AOB, et l'autre lettre si l'on est hors de ce secteur. On réalise ainsi le balisage d'un secteur dont l'amplitude peut être réglée à volonté. En utilisant la cardioïde de la figure 50 et une antenne, on réalise, de même, le balisage de deux secteurs d'amplitude égale. Enfin, en utilisant comme courbes de rayonnement polaires des cardioïdes convenablement disposées, des cadres ou des antennes, on peut réaliser le balisage de secteurs de dispositions à peu près quelconques. Dans chaque cas, il est facile de déterminer géométriquement, en traçant les courbes de rayonnement, quelles sont les combinaisons qui donnent la précision la meilleure pour le repérage des limites des secteurs.

B. — Essais effectués.

Diverses dispositions ont été essayées à La Pallice, en particulier celle qui consiste à utiliser comme premier radiateur le cadre seul

et comme second radiateur l'association cadre-antenne, de façon à réaliser le balisage indiqué par la figure 51, et celle qui consiste à utiliser comme premier radiateur l'association cadre-antenne à laquelle venait s'ajouter un effet antenne du cadre, et comme second radiateur la même association avec l'antenne inversée. On a obtenu ainsi, par exemple, le balisage d'un secteur de 130° avec une précision, à la limite du secteur, de l'ordre du demi-degré.

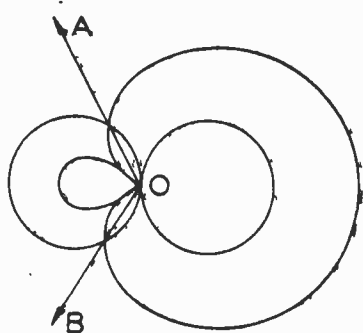


Fig. 51.

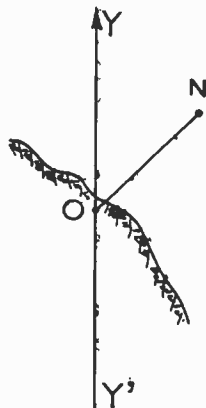


Fig. 52.

VII. — APPLICATION AUX RADIOPHARES TOURNANTS.

D'une façon générale, un système de radioalignement à enchevêtrement peut servir à réaliser un radiophare tournant si, par un moyen quelconque, on donne un mouvement de rotation à l'axe balisé, en faisant partir cet axe du nord, par exemple, et en le faisant tourner à une vitesse connue.

Soit O la position du poste de radioalignement (fig. 52). Un navire, s'il se trouve en N, entend la lettre A au début de l'émission, lorsque le radioalignement a la direction OY. Au moment où le radioalignement vient à passer par N, la lettre perçue change. Connaissant la vitesse de rotation de l'axe, il suffit donc de mesurer le temps qui s'écoule entre le début de l'émission et le changement de lettre pour pouvoir déterminer le gisement du point N par rapport au point O. On peut d'ailleurs commander par un même moteur le manipulateur du poste de radioalignement et le dispositif produisant la rotation de l'axe, de telle façon que, pendant la manipulation d'une lettre, l'axe tourne d'un angle connu (1° par exemple). Dans ces conditions, il suffit de compter le nombre des lettres entendues jusqu'au moment où la lettre perçue change, pour connaître le relè-

vement du navire. Le système ainsi réalisé est à l'abri de toute erreur due à une variation accidentelle de la vitesse de rotation de l'axe.

La rotation de l'axe balisé s'obtiendra, de préférence, par des moyens électriques et, en particulier, par le système bien connu dû à Bellini et Tosi, qui consiste à remplacer un grand cadre tournant, difficile à réaliser, par deux cadres fixes perpendiculaires entre eux, reliés à deux bobines de couplage de petites dimensions, également perpendiculaires entre elles, et au milieu desquelles tourne une bobine alimentée par le poste émetteur.

Avec le système à association cadre-antenne, il suffit de disposer de deux cadres fixes perpendiculaires et d'une antenne placée au milieu des cadres, pour réaliser un tel radiophare tournant (1). Le gisement est déterminé sans aucune ambiguïté, la lettre perçue au début de l'émission indiquant dans quel secteur de 180° se trouve le récepteur, et le nombre de lettres entendues avant le changement de lettre indiquant l'angle que fait la droite joignant le bateau au radiophare avec la direction du nord géographique. Pour éviter le comptage d'un trop grand nombre de lettres, des tops supplémentaires, ou un changement de la note de modulation, peuvent être effectués toutes les 10 lettres, par exemple.

Un tel radiophare tournant est actuellement en cours d'installation, pour essais, à La Pallice.

VIII. — CONCLUSIONS.

La méthode générale de radiobalisateur utilisant à l'émission la combinaison d'un cadre et d'une antenne périodiquement inversée, permet ainsi de réaliser de nombreux dispositifs possédant les qualités principales exigées par la signalisation maritime : stabilité et précision. Cette dernière n'est obtenue qu'au prix d'une augmentation de l'énergie mise en jeu, mais cette énergie reste néanmoins faible par rapport à celle de signaux d'autres types, en particulier des signaux sonores, dont la portée est cependant très inférieure à celle des signaux radioélectriques dont il s'agit. Ces derniers, dont l'utilisation à bord n'exige qu'un poste récepteur très simple, tel qu'en possèdent la plupart des navires, feront sans doute prochainement l'objet de diverses réalisations et contribueront ainsi à améliorer le balisage des côtes, principalement par temps de brume.

P. BESSON.

(1) Brevet 706-146

DISCUSSION

M. BOURGONNIER. — Au cours de sa conférence très documentée et particulièrement intéressante M. Besson, a décrit un système de radio-alignement à enchevêtrement analogue au système américain à cadres croisés, et basé sur l'emploi d'un rayonnement cadre antennne.

Ainsi que l'a signalé le conférencier, alors que lui-même décrivait le dit système dans un rapport à son administration, en date du 19 février 1929, la Société Loth, après des recherches et expériences en 1928 et 1929, déposait un brevet couvrant en particulier ce dispositif le 14 octobre 1929, sans que nous ayons mutuellement connaissance de nos travaux.

On pourrait s'étonner par suite que nous n'ayons pas encore fait nous-mêmes de communication à ce sujet, le système cadre antenne présentant, d'après M. Besson, des avantages manifestes sur le système à cadres croisés. La raison en est que ces avantages n'existent que pour le cas particulier des radio-alignements à très faibles portées pour la navigation maritime, alors que nous avons étudié le système cadre antenne en vue des usages normaux, tels que ceux de l'aviation ou de la signalisation côtière à une distance de l'ordre de grandeur de 100 milles.

Voici ce qu'il nous paraît utile d'ajouter aux renseignements très complets fournis par M. Besson.

La précision d'un radio-alignement à enchevêtrement sur l'axe balisé, c'est-à-dire le plus petit écart angulaire de part et d'autre de cet axe permettant de percevoir la prédominance de l'un des signaux enchevêtré sur l'autre dépend de l'angle sous lequel se coupent les diagrammes de rayonnement correspondant aux deux signaux, ou plus exactement du rapport r des deux rayons vecteurs de ces diagrammes ayant pour angle polaire celui qui correspond à la perception de signaux distincts.

Pour une réception excellente le rapport r peut être très voisin de 1 ; d'après nos résultats expérimentaux, une différence de 5 % entre les rayons vecteurs permet de déceler facilement les signaux à poste fixe avec un récepteur non saturé. Mais dans le cas de réception en avion, une différence de 10 et même 12 % paraît nécessaire.

Le service des recherches de l'aéronautique a d'ailleurs fait une étude systématique de cette question, et M. Fromy a donné à ce sujet des précisions intéressantes.

Il est facile, partant d'une valeur donnée de r de comparer la précision des systèmes cadre antenne et cadres croisés.

1° Considérons une antenne dont le rayon du diagramme de rayonnement est A , associée à un cadre dont le diagramme est composé de deux cercles de diamètre C . Soit ε l'angle que font les rayons vecteurs ρ_1 correspondant au premier signal et ρ_2 correspondant au deuxième signal avec l'axe de balisage (axe de rayonnement nul du cadre). On a évidemment (en valeur absolue)

$$\left| \frac{\rho_1}{\rho_2} \right| = \frac{A + C \sin \varepsilon}{A - C \sin \varepsilon}.$$

Si ε est l'angle d'incertitude définissant la précision, nous aurons :

$$\left| \frac{\rho_1}{\rho_2} \right| = r,$$

d'où

$$\sin \varepsilon = \frac{A}{C} \frac{r - 1}{r + 1}.$$

Il est plus commode de rapporter $\sin \varepsilon$ à la valeur x du rapport de l'intensité du champ sur l'axe balisé à l'intensité maximum.

On a
$$x = \frac{A}{A + C},$$

et
$$\sin \varepsilon = \frac{x}{1 - x} \frac{r - 1}{r + 1}.$$

Considérons deux cadres ayant même rayonnement et faisant entre eux un angle φ . Soit ε' l'angle que font les deux vecteurs ρ'_1 et ρ'_2 définis comme ρ_1 et ρ_2 font avec l'axe de balisage.

Nous avons

$$\left| \frac{\rho'_1}{\rho'_2} \right| = \frac{\sin(\varphi + \varepsilon')}{\sin(\varphi - \varepsilon')} = \frac{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varepsilon'}{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varepsilon'}.$$

Si ε' est l'angle définissant la précision

$$\left| \frac{\rho'_1}{\rho'_2} \right| = r,$$

d'où

$$\operatorname{tg} \varepsilon' = \frac{r - 1}{r + 1} \operatorname{tg} \varphi.$$

En prenant comme unité l'intensité du champ maximum l'intensité du champ sur l'axe de balisage est égale à $\sin \varphi$. Soit x' la valeur de $\sin \varphi$.

On a
$$\operatorname{tg} \varepsilon' = \frac{x'}{\sqrt{1 - x'^2}} \frac{r - 1}{r + 1}.$$

Si l'on porte sur un même diagramme (fig. 4) les valeurs de ε en fonction de x et de ε' en fonction de x' pour des valeurs données de r

(3, 10 et 15 %). On voit immédiatement que pour une même valeur des rapports des champs $\alpha = \alpha'$ le système à cadres croisés donne une meilleure précision que le système cadre antenne; réciproquement pour une même précision le système cadres croisés donnera un plus fort pourcentage de champ sur l'axe balisé que le système cadre antenne.

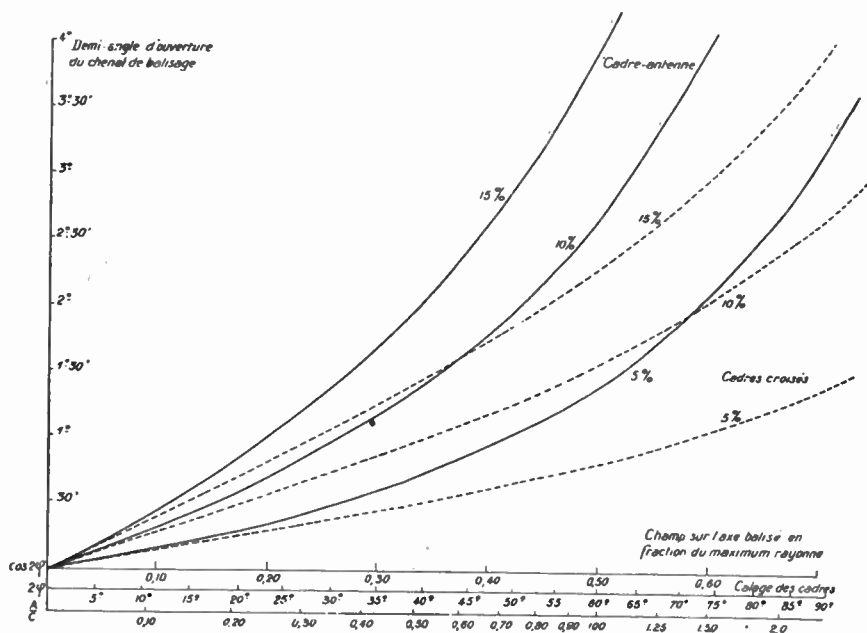


Fig. 1.

M. Besson, en recherchant une très grande précision (de l'ordre de quelques minutes) a pallié partiellement à cet inconvénient, car il s'est placé dans le cas où les courbes de précisions des deux systèmes tendent à se confondre. D'autre part, la réalisation de cadres croisés faisant entre eux un très petit angle (moins de 10° pour obtenir les mêmes résultats) paraît assez délicate et n'aurait certainement pas la simplicité et la stabilité du système cadre antenne.

Voici maintenant quelques indications sur les expériences que nous avons effectuées au centre d'études de Vaux-sur-Seine.

Nous rappelons que contrairement à ce qu'a fait M. Besson, nous nous sommes toujours placés dans les cas où l'effet antenne avait une valeur analogue à celle de l'effet cadre et en particulier dans le cas où l'amplitude maxima de l'effet cadre était égale à l'amplitude A de l'effet antenne.

Ceci pour une double raison :

1° parce que ce rapport des amplitudes C et A correspondait à une bonne utilisation de l'énergie sur le chenal tracé pour le but que nous nous proposons.

2° parce que le diagramme résultant en cardioïde présentait un seul minimum, était facile à vérifier et permettait de s'assurer aisément de la stabilité du système émetteur.

En effet, ayant eu à effectuer pour la mise au point du « Guidage sans câble » de nombreux essais sur des émetteurs à cadre, nous nous sommes souvent heurtés au début à de nombreuses difficultés pour obtenir de bons diagrammes et une bonne stabilité d'émission;

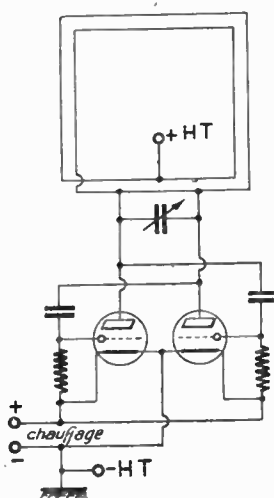


Fig. 2.

ces deux conditions: stabilité et diagrammes théoriques allant d'ailleurs de pair. La déformation des diagrammes était due à un effet antenne « parasite » qui venait s'ajouter à l'effet cadre.

Cet effet antenne (quelquefois dirigé) n'est pas toujours très facile à compenser, surtout dans un cadre tournant dont les différents éléments, occupant des places différentes dans le temps par rapport à des objets fixes, d'où effet antenne variable et ce qui est le cas souvent dans des installations d'expériences faites avec un minimum de frais, variable également avec les conditions atmosphériques, en particulier avec l'humidité.

On remédie à tous ces inconvénients en réalisant un montage complètement symétrique électriquement et géométriquement.

Voici deux schémas de montage de cadres émetteurs qui nous ont

donné d'excellents résultats, comme diagramme et comme stabilité (fig. 2 et 3).

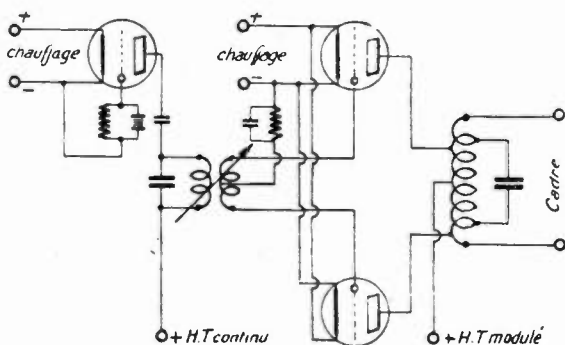


Fig. 3.

2 est le schéma d'un émetteur à auto-excitation.

3 est le schéma d'un émetteur stabilisé par quartz.

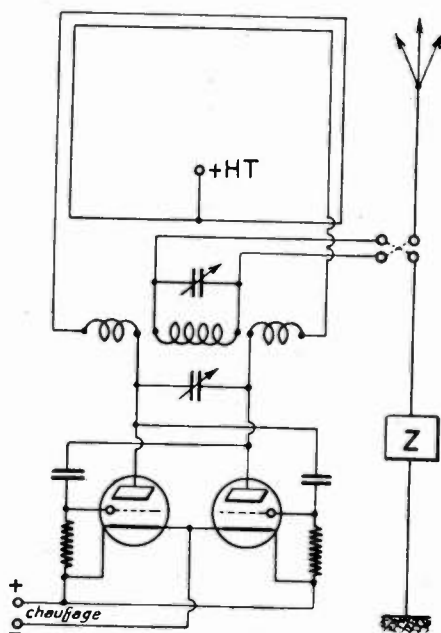


Fig. 4.

L'hétérodyne à quartz était en cage de Faraday.

M. Besson a signalé que pour que les champs de l'antenne et du

cadre soient en phase ou en opposition de phase il faut que, le courant dans l'antenne soit déphasé de $\pm \frac{\pi}{2}$ par rapport aux courants circulant dans les bras verticaux du cadre.

Parlant des cadres constitués comme indiqué ci-dessus, le déphasage était obtenu dans nos essais en couplant une antenne accordée sur le cadre lui-même. Le schéma devenait alors celui indiqué figure 4.

L'expérience nous a alors confirmé nos prévisions, savoir :

1° que le déphasage obtenu est bien de $\pm \frac{\pi}{2}$ quand les accords sont bien réalisés;

2° que la stabilité de l'ensemble ainsi constitué est très bonne si on emploie un inverseur d'antenne de bonne qualité.

En agissant sur la longueur de l'antenne les opérateurs ont alors amené l'effet antenne à avoir la même valeur que l'effet cadre.

Les diagrammes relevés dans les deux positions de l'inverseur ont alors bien donné les deux cardioïdes symétriques prévues.

Dans ces conditions, la largeur angulaire de l'alignement réalisé était d'environ 3° au total (1°5 de part et d'autre de la droite théorique) pour une écoute à terre correspondant d'après des essais signalés plus haut, à une différence d'intensité des signaux d'environ 5 0/0 ($r = 1,05$).

Ces chiffres sont en bon accord avec les résultats théoriques donnés par le diagramme de la figure 1.

C. BOURGONNIER et J. BLANCARD.

M. FROMY. — M. Bourgonnier ayant fait allusion aux essais effectués au Service des Recherches de l'Aéronautique pour déterminer les caractéristiques pratiques optima et la précision possible des radiophares du type à enchevêtrement, je crois qu'il peut être intéressant d'en résumer les conclusions essentielles.

Ces essais ont été conduits plus particulièrement au laboratoire en vue de déterminer l'influence sur la qualité de l'écoute et la facilité de lecture des facteurs fondamentaux suivants :

- a) Le taux de modulation, ou rapport relatif de la différence entre les deux réceptions à leur valeur moyenne.
- b) Les caractéristiques des signaux émis.
- c) L'intensité de la réception.

L'expérience a été faite avec un courant musical, de fréquence

1.000, en faisant varier l'intensité de réception de R_1 à R_9 , et le taux de modulation de 1 à 30 0/0. Les signaux émis ont été successivement des F et L à la cadence de manipulation habituelle, puis des points et traits à une cadence de l'ordre de la seconde.

Enfin la modulation pouvait être réalisée, soit sans coupure par simple variation de l'amplitude, soit avec une coupure très brève entraînant au passage d'une émission à l'autre, une suppression de l'écoute comme en effectue en pratique la commutation des émissions. Les résultats d'essais méthodiques ont conduit aux conclusions suivantes :

1° La présence des coupures de commutation est avantageuse pour les taux de modulation élevés, car elle scande les signaux et facilite de ce fait la lecture.

Par contre, pour les modulations faibles, c'est-à-dire dans la zone utile près de la route balisée, elle est très nuisible; l'oreille reçoit un choc à chaque coupure et perçoit mal les variations d'intensité; elle lit alors la lettre aux chocs et la traduction du signal est complètement faussée par un effet d'auto-suggestion qui fait entendre à volonté l'une ou l'autre des deux lettres.

Cet effet entraîne en pratique une diminution factice du chenal et un déplacement apparent dans le sens du mouvement de l'opérateur.

Les coupures de commutation sont donc à proscrire tant que l'on utilisera le contrôle à l'oreille, surtout pour les manipulations rapides.

2° Sans coupures de commutation, l'oreille est plus sensible aux manipulations rapides (F et L) qu'aux manipulations lentes (points et traits) parce qu'elle perçoit surtout les contrastes.

3° La sensibilité de l'oreille est maxima pour une réception de force moyenne (R_5 à R_7); en-dessous on perçoit mal le signal, au-dessus on est assourdi.

4° En se plaçant dans les meilleures conditions, le taux de modulation limite perceptible à l'oreille est de l'ordre de 5 0/0.

Dans ces conditions la largeur angulaire totale du chenal pour un radiophare à deux cadres croisés rectangulaires serait de l'ordre de 3 degrés environ.

Des essais ont été effectués en vol sur un radiophare de ce type, présentant des coupures de commutation et ont confirmé dans l'ensemble les résultats obtenus en laboratoire. Ils ont fourni un chenal d'une largeur moyenne de 2 à 3 degrés environ, mais avec des décalages de l'ordre du degré dans le sens de la marche de l'avion.

Il est à noter que les chenaux de largeur angulaire faible (2°) ont

été obtenus à grande distance; au contraire, *en se rapprochant du radiophare*, on a obtenu des relèvements allant jusqu'à 10 degrés. On peut trouver à ce résultat deux causes principales. Tout d'abord à faible distance, la réception devient puissante et il se produit une sorte de saturation du récepteur qui a pour effet de réduire le taux de modulation, donc la précision. En second lieu, à grande distance, la réception devient faible et la détection s'effectue suivant une loi voisine de la loi du carré de l'amplitude; il en résulte un avantage en faveur des crêtes et une amélioration du taux de modulation.

En exploitant systématiquement cet effet à l'aide d'amplificateur de crête (lampe à forte polarisation négative de grille), on a pu en laboratoire abaisser la limite de perception auditive à des taux inférieurs à 0,1 0/0.

L'expérimentation pratique a montré que, sous sa forme actuelle le principe de repérage adopté dans les radio-phares à enchevêtrement peut rendre des services appréciables. Toutefois, l'écoute à l'oreille demande de la part de l'opérateur une attention soutenue et est assez fatigante, en sorte que, pratiquement, le contrôle de la route ne peut pas être continu. Il en résulte que la précision obtenue est très suffisante et qu'il n'y a pas lieu pour le moment de chercher à réduire la largeur du chenal.

Cette question se posera, au contraire, avec un intérêt réel, lorsque l'on aura réalisé des traducteurs automatiques à lectures directes ou à indications visuelles qui permettront un contrôle permanent de la route suivie sans fatigue pour l'opérateur. C'est dans cette voie qu'il convient de chercher des solutions nouvelles.

FROMY.