

RENÉ REULOS

**Antennes à polarisation circulaire et antennes
à cavité résonnante**

Annales de l'université de Grenoble, tome 23 (1947-1948), p. 359-369

http://www.numdam.org/item?id=AUG_1947-1948__23__359_0

© Annales de l'université de Grenoble, 1947-1948, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales de l'université de Grenoble » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

ANTENNES A POLARISATION CIRCULAIRE

ET

ANTENNES A CAVITÉ RÉSONNANTE

par René REULOS (Grenoble).

I

L'ONDE A POLARISATION CIRCULAIRE

DANS LA RADIO-DÉTECTION

L'onde à polarisation circulaire présente des avantages évidents. Sa structure symétrique qui ne possède aucun plan privilégié, s'adapte très rationnellement aux dispositifs de révolution tels que les miroirs paraboloidaux, ce qui permet d'utiliser effectivement toute leur surface, et d'obtenir un meilleur pouvoir directif.

Si le milieu traversé ou les surfaces réfléchissantes ont une structure défavorisant une des composantes de l'onde, l'autre composante sera toujours reçue quelle que soit l'orientation de son plan de polarisation, propriété intéressante dans la radio-détection, et qui permet en outre d'utiliser de tels dispositifs à l'étude des propriétés analysantes des milieux traversés. Enfin, un dispositif émettant une onde tournant dans un certain sens ne peut pas recevoir l'onde tournant en sens inverse, propriété qui peut être mise à profit dans certains cas particuliers.

Je fus amené à étudier dès 1938, le moyen d'obtenir des ondes centimétriques à polarisation circulaire, en vue d'expériences suggérées par des théories physiques récentes. M. GURTON, Directeur du

Laboratoire National de Radio-Électricité, m'ouvrit très aimablement ses portes et mit à ma disposition ses paraboloides et ses nouveaux magnétrons SFR de 25 watts sur la longueur d'onde de 16 centimètres. Lorsque la guerre arriva, j'étais en possession de deux moyens pour arriver au but que je m'étais assigné, soit :

Obtenir un « pinceau » à polarisation circulaire, bien défini et non divergent, utilisant tout le rayonnement de l'émetteur élémentaire et analogues aux « pinceaux » lumineux des projecteurs optiques.

L'un utilisait un paraboloides qui n'était pas de révolution : le « *paraboloïde spiroïdal* » (fig. 1), alimenté directement par une

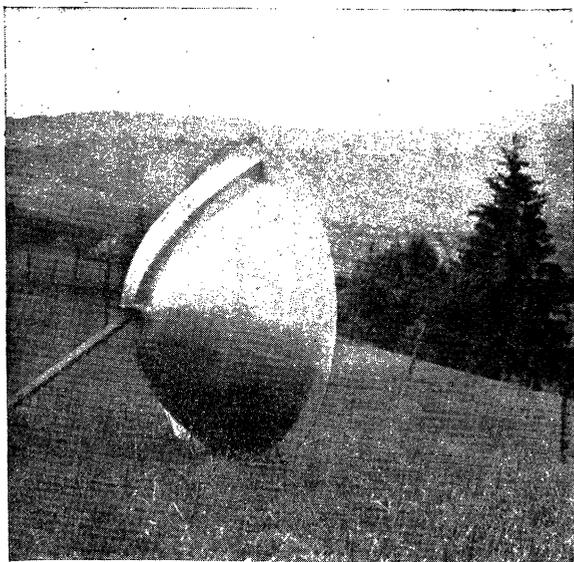


Fig. 1.

antenne monophasée, le déphasage étant assuré par la forme hélicoïdale du réflecteur.

L'autre transformait une onde à polarisation rectiligne en une onde à polarisation circulaire, à l'intérieur d'un guide d'onde, dont la section présente deux axes de symétrie, le déphasage étant assuré par la différence de vitesse des deux composantes de l'onde incidente suivant le grand axe et le petit axe.

Ces deux dispositifs sont inclus dans un brevet français, n° 2482, déposé secrètement, au début de l'année 1940.

LE PARABOLOÏDE SPIROÏDAL

Le paraboloïde spiroïdal est la surface engendrée par une parabole de foyer et d'axe fixe, dont la distance focale varie proportionnellement à l'angle que fait le plan de la parabole génératrice, avec un plan de référence passant par l'axe (fig. 2).

Au bout d'un tour complet, un redan vient raccorder mécaniquement les deux « spires » voisines, pour assurer la rigidité du réflecteur.

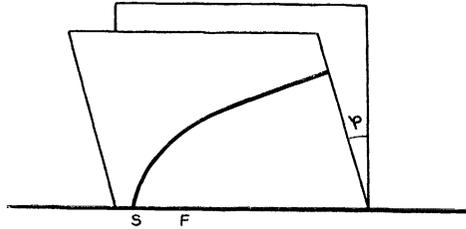


Fig. 2.

Les sections de la surface par un plan passant par l'axe sont donc des paraboles (fig. 3), les sections par un plan perpendiculaire à l'axe sont des spirales d'Archimède (fig. 4).

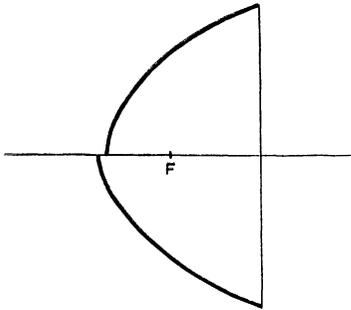


Fig. 3.

L'antenne est disposée au foyer commun de toutes les paraboles suivant l'axe commun de celles-ci, elle est accordée sur une longueur d'onde correspondant au pas du miroir, de façon que la distance focale FS s'accroisse d'une demi-longueur d'onde pour un tour complet. Cette quantité varie donc entre les limites

$$f_1 \text{ et } f_2 = f_1 + \frac{\lambda}{2}$$

La disposition axiale de l'antenne dirige au mieux son rayonnement sur la surface du miroir qui est utilisée au maximum. Il n'y a donc pas de rayonnement direct en raison du diagramme bien connu de l'antenne unifilaire, et toute l'énergie de l'oscillateur est utilisée.

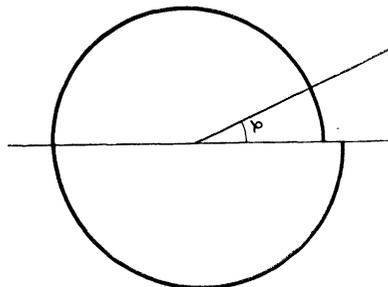


Fig. 4.

Quant aux polarisations, elles se composent efficacement et d'une manière rationnelle. En effet, les ondes élémentaires envoyées par

les tranches opposées du miroir, dans la direction de l'axe de celui-ci, atteignent un plan perpendiculaire à l'axe avec une différence de marche égale à une demi-longueur d'onde, mais, comme d'autre part, leurs deux directions forment un angle π , *les champs sont donc en phase* et se raccordent suivant l'axe au lieu de « s'affronter » comme cela se produirait avec un dispositif de révolution.

De plus, cette différence de phase variant proportionnellement à l'angle φ , le champ électrique reste constant et *tourne avec la vitesse* ω . La discontinuité géométrique n'entraîne de ce fait aucune discontinuité physique dans la composition des phases, les ondes provenant des deux tranches voisines ainsi raccordées, présentant une différence de marche égale à une longueur d'onde.

La guerre me détournant des expériences projetées, j'ai songé à utiliser les ondes décimétriques à polarisation circulaires sur les appareils de *détection électromagnétique*.

J'ai commencé à réaliser le paraboloïde spiroïdal, bien qu'il soit d'une réalisation plus difficile que le guide, parce qu'il pouvait s'adapter immédiatement sur le radar de la S. F. R. et améliorer ses possibilités.

Il fallait toutefois trouver un ouvrier capable d'emboutir avec précision un prototype d'une forme délicate à réaliser. M. GAUTHIER, Directeur du Service de Recherches à la Société Alais, Froges et Camargue, le fit réaliser aimablement dans ses ateliers de Chambéry. Le travail fut exécuté à deux exemplaires, au millimètre près, par un habile tôlier, M. DELABORDE. Ce réflecteur, accordé sur la longueur d'onde de 10 centimètres, devait être alimenté par le magnétron M. 10, de la S. F. R., qui venait de sortir. Il était donc réalisé avec une précision de $\lambda/100$ (alors qu'on se contente souvent de $\lambda/30$). La figure 1 représente le miroir une fois terminé aux environs de Chambéry (on aperçoit au fond la Dent du Chat).

Mon projet intéressa la Marine Nationale qui mit à ma disposition les crédits pour la réalisation d'un radio-détecteur à magnétron, sur ondes de 10 centimètres, à polarisation circulaire.

Ces miroirs connurent des vicissitudes. Emmenés au cours de l'avance allemande, à Grenoble, puis dans la direction de Bordeaux dans l'espoir de les embarquer, la route nous fut coupée et nous nous arrêtàmes à Uzès. Placés sur la voiture, ils étaient pris pour

une coupole blindée, terrorisèrent les populations et nous suscitèrent des difficultés de la part des gendarmes. Nous n'eûmes finalement d'autres ressources que de les ramener dans leur lieu d'origine et de les cacher. L'un fut dissimulé dans un grenier, l'autre immergé dans le Lac du Bourget.

La fig. 5 représente un projet de relai utilisable en télévision. Le parabolôïde est intéressant par suite de son peu de profondeur et de son alimentation par l'arrière. Il est caréné en forme de sphère ou d'ellipsoïde à l'aide d'un « équateur » métallique et de deux sommets dialec-triques, jouant le rôle des vitres bombées dans les phares « aérodynamiques », afin de diminuer la prise du vent.

En radiodétection, il nécessite l'emploi de deux miroirs, s'enroulant en sens inverse. Cet inconvénient est bien restreint depuis qu'on sait produire avec une puissance suffisante des ondes de 3 centimètres et même plus courtes. L'encombrement et le poids dus au miroir supplémentaire sont alors peu importants devant l'encombrement et le poids total de l'appareil. Par contre, la solution des deux miroirs présente l'avantage non négligeable d'éliminer totalement l'interaction directe de l'émetteur sur le récepteur, et de permettre ainsi le fonctionnement simultané des deux appareils, disposition utile pour certaines applications.

Il reste la question de fabrication. Si la forme hélicoïdale représente une difficulté dans la réalisation d'un prototype, il n'en est plus de même lors d'une fabrication en série, par emboutissage ou shupage, une fois que la matrice est réalisée.

Seule l'expérience permettra de le comparer aux dispositifs poursuivant le même but. Réalisé avec une avance considérable, il restera de toutes façons le premier aérien directif pour ondes rotatives centimétriques.

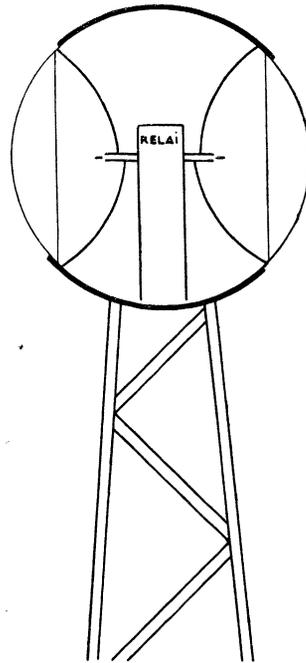


Fig. 5.

LE DÉPHASAGE DANS UN GUIDE D'ONDE

Le deuxième dispositif comportait une source ondulatoire à *champ tournant*. Cette source était *considérée* comme un oscillateur polyphasé, somme d'oscillateurs monophasés (deux par exemple) alimentés par *un seul générateur monophasé*, la différence de phase *s'obtenant en faisant parcourir des trajets de durées inégales aux énergies de haute fréquence alimentant les deux oscillateurs*. Pour la réalisation, on pouvait évidemment créer cette différence de marche en employant deux feeders : un rectiligne, l'autre enroulé en hélice (ligne à propagation ralentie), mais il m'avait semblé que le guide d'onde était plus adapté aux hyperfréquences, et je m'étais arrêté à la solution consistant à effectuer le déphasage dans un seul et même *guide d'onde*, en utilisant la propriété des guides de pouvoir *propager des ondes de même fréquence à des vitesses différentes*. On a en principe le choix entre les trois ondes fondamentales E_0H_0 et H_1 , mais les deux premières ne s'y prêtent guère à cause de leur structure trop symétrique qui ne permet pas une polarisation circulaire. Reste l'onde H_1 polarisée rectilignement, dont la vitesse de propagation est influencée très curieusement par *la forme de la section du tube*. En effet, à la suite des travaux de SOUTHWORTH⁽¹⁾, M. LÉON BRILLOUIN avait montré⁽²⁾ que l'onde appelée alors H_1 se propage dans un guide rectangulaire à des vitesses différentes suivant que le champ magnétique est parallèle au grand ou au petit côté. Plus précisément, la longueur du côté parallèle au champ électrique est sans effet sur la vitesse de propagation, alors que celle-ci est influencée par la dimension du côté parallèle au champ magnétique. Elle augmente à mesure que le côté diminue, pour devenir infinie pour une dimension limite dite « de coupure » au-dessous de laquelle l'onde ne peut plus se propager.

Ainsi, deux ondes H_1 de même fréquence, d'intensités égales ; polarisées à angle droit, l'une parallèlement au grand côté du rectangle, l'autre parallèlement au petit côté, se propagent à des vitesses inégales et prennent une différence de phase qui va en augmentant pour atteindre 45° au bout d'un certain parcours facile à calculer d'après les indications de M. BRILLOUIN. La polarisation qui était rectiligne à l'entrée, parallèle à la bissectrice des côtés, est devenue

(1) G. C. Southworth, *Bell Syst. Tech. Journal*. Avril 1936.

(2) Léon Brillouin, *Revue Générale de l'Électricité*, 22 août 1936.

circulaire, le champ électrique et le champ magnétique restent constants en intensité et tournent à la fréquence de l'onde. *Le problème était résolu.*

Des résultats analogues sont obtenus avec un guide de section légèrement ovale, pourvu que cette section présente deux plans de symétrie orthogonaux. Le cylindre à section elliptique est également accessible au calcul⁽³⁾.

Pratiquement, le guide rectangulaire et le guide à section ovale donnent des résultats comparables. Pour transformer cette onde en onde plane, le plus simple est certainement de la laisser sortir dans une antenne dialectrique, ou dans un cornet dont on améliore le pouvoir directif par une lentille électromagnétique à cellules carrées ou hexagonales.

A peine plus compliqué que le paraboloïde spiroïdal, le dispositif basé sur le déphasage dans un guide d'onde présente l'avantage d'émettre aussi bien l'onde tournant dans un sens que l'onde tournant en sens inverse, par simple rotation d'un quart de tour de la sonde excitatrice autour de l'axe du tube. Il en résulte que le même appareil recevra l'onde écho (qui tourne en sens inverse) à condition de disposer la sonde réceptrice *orthogonalement* à la sonde émettrice, mais décalée bien entendu de une longueur d'onde sur l'axe du tube pour éviter un chevauchement impossible à réaliser. Ces deux sondes étant orthogonales sont *sans réaction l'une sur l'autre* ce qui permet le *fonctionnement simultané de l'émetteur et du récepteur*, avantage qui se trouve inclus dans le principe même du dispositif et sur lequel a insisté M. Walter Wan ROBERTS⁽⁴⁾ qui en a compris tout l'intérêt,

Au début de l'année 1943, j'ai pu faire parvenir en Amérique, un rapport sur mes travaux sur les ondes à Polarisation Circulaire, préfacé par le Professeur Charles FABRY. Ce texte, acheminé par les soins de l'Ambassade des Etats-Unis a été transmis au deuxième Bureau du Ministère de la Marine. Je n'ai pas su quelle suite lui a été donnée, mais aux Etats-Unis où les services de documentation fonctionnent très sérieusement, il est probable que les techniciens en ont eu connaissance. Il faut toutefois attendre jusqu'en 1946 la description d'un aérien à polarisation circulaire (basé sur ce principe du déphasage dans un guide d'onde)⁽⁴⁾. Depuis, des dispositifs

⁽³⁾ Léon Brillouin, n° 94 du *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, oct. 1938.

⁽⁴⁾ Walter Van Roberts, « Rotary wave Radar » *Electronics*. Juillet 1946.

hélicoïdaux ont été proposés ⁽⁵⁾. On a maintenant l'impression que les ondes à polarisation circulaire ont éveillé l'intérêt. Il est même possible que l'on voie s'élargir leur champ d'application.

II

ANTENNES A CAVITÉ RÉSONNANTE

L'antenne classique est constituée par un réseau de fils conducteurs qui a pour but de guider l'énergie haute fréquence, de la source aux différentes parties du réseau, et de dissiper cette énergie dans l'espace par rayonnement. Toutes les parties de l'antenne concourent généralement au rayonnement, ce qui n'est pas toujours un avantage, et on s'est efforcé parfois d'enrouler certains conducteurs pour supprimer leur rayonnement tout en leur conservant l'impédance voulue. De plus, la faible surface du fil entraîne une résistance ohmique, qui est loin d'être négligeable.

Ayant eu l'occasion, dès 1939, de m'intéresser au problème des ondes dirigées, j'ai eu l'idée de séparer nettement les fonctions alimentation et rayonnement d'une antenne, et de constituer celle-ci par un caisson résonnant dont une face porte des oscillateurs disposés aux mailles d'un filet tracé sur la paroi considérée, ces oscillateurs étant alimentés par l'onde circulant à l'intérieur du caisson. Les caissons et guide d'onde ne rayonnent pas et c'est là le moyen de réaliser le but poursuivi.

Des antennes construites sur ce principe sont évidemment destinées aux ondes centimétriques ou décimétriques, toutefois, le faible encombrement d'un caisson comparé à un cornet ou à un miroir, permettrait d'utiliser les caissons pour des longueurs d'onde pour lesquelles les autres dispositifs directifs sont vraiment trop encombrants.

On sait qu'un caisson métallique, c'est-à-dire à parois conductrices, peut être le siège d'ondes stationnaires. Les lignes de force des champs électrique et magnétique dessinent alors des cellules de tourbillons tout à fait analogues aux tourbillons cellulaires d'origine thermique observés dans les fluides. Les oscillateurs puiseront donc l'énergie en des points homologues, nœuds d'intensité du champ électro-magnétique.

Le caisson le plus simple est d'abord le tube cylindrique fermé

⁽⁵⁾ Harold A. Wheeler, Helical Antennas for circular polarization.

aux deux bouts. Il peut donner lieu à un grand nombre de régimes différents, mais ce sont les régimes fondamentaux qui sont les seuls intéressants, et en particulier les ondes E_0 et H_1 décrites dès 1936 par M. G. C. SOUTHWORTH. Ces ondes se retrouvent d'ailleurs dans l'étude déjà citée de M. LÉON BRILLOUIN sur les tubes à section rectangulaire.

Le parallélépipède rectangle est d'une réalisation et d'un calcul facile. Les cellules vibratoires peuvent appartenir à des régimes variés. La figure 6 donne l'aspect des régimes fondamentaux. Les traits pleins représentent les lignes de force du champ électrique, les pointillés représentent celles du champ magnétique.

Les oscillateurs peuvent être de petites antennes demi-ondes appelées (assez improprement) doublets, alimentées au moyen de sondes ou boucles et puisant l'énergie dans le caisson à la manière d'une racine. Ce dispositif a l'avantage de tirer partie de presque

tous les régimes vibratoires, et même de pouvoir redresser la polarisation, mais nous avons vu tout de suite qu'il serait plus élégant de *laisser sortir l'énergie par de simples ouvertures pratiquées dans la paroi du caisson*. Ces ouvertures ou fenêtres peuvent être allongées, en forme de fente, elles sont alors nécessairement placées perpendiculairement, au courant électrique circulant dans la paroi afin de se *polariser* tel un diélectrique ou un aimant dans lequel on a pratiqué un trait de scie.

Ainsi, ce n'est pas seulement le tracé des lignes de force du champ électrique qu'il importe de connaître, mais surtout celui des lignes de courant circulant dans la paroi, de sorte que, sauf dans les cas simples, une étude expérimentale du dispositif est préférable.

De toutes façons, la longueur d'onde à l'intérieur du caisson est généralement supérieure à celle de l'onde de même fréquence dans

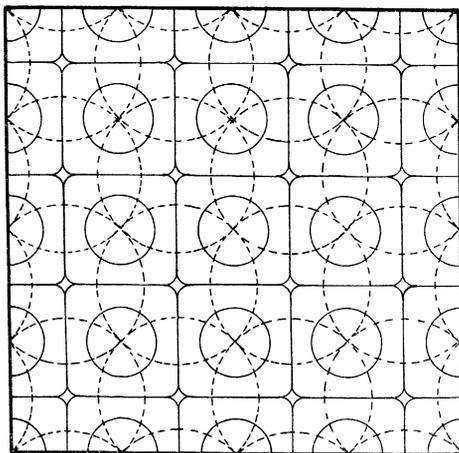


Fig. 6.

— lignes de force du champ électrique.
 lignes de force du champ magnétique.

l'espace libre, de sorte que la distance entre les fenêtres pourra être supérieure à cette longueur d'onde, d'où la formation éventuelle

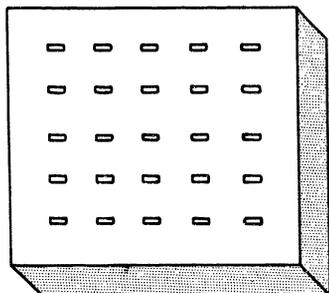


Fig. 7.

dans le diagramme de rayonnement de feuilles latérales que l'on supprimerait lorsqu'on le juge nécessaire, en bordant la fenêtre par un rayonnement qui aurait pour effet d'accroître la directivité des oscillateurs élémentaires et, par ce fait, de supprimer les feuilles jugées indésirables. Le même résultat serait atteint beaucoup plus efficacement par l'emploi d'antennes dialectriques.

La figure 7 représente un caisson parallélépipédique, alimenté en son milieu, sur sa paroi antérieure. Il est remarquable par son peu d'encombrement.

La figure 8 représente un réseau linéaire disposé sur un tube cylindrique ; il donne

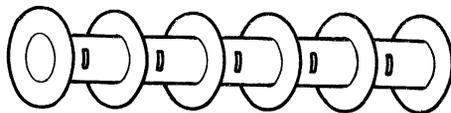


Fig. 8.

une portion d'onde cylindrique, transformable en onde plane dans un cylindre à section parabolique.

La figure 9 représente un réseau d'antennes dialectriques alimentées par un caisson résonnant.

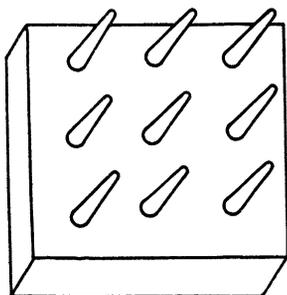


Fig. 9.

On peut aussi donner au caisson la forme d'un cylindre plat à section elliptique, alimenté en un de ses foyers.

La figure 10 représente un caisson conique, fermé par une calotte sphérique, dont le centre est le sommet du cône. Il est alimenté

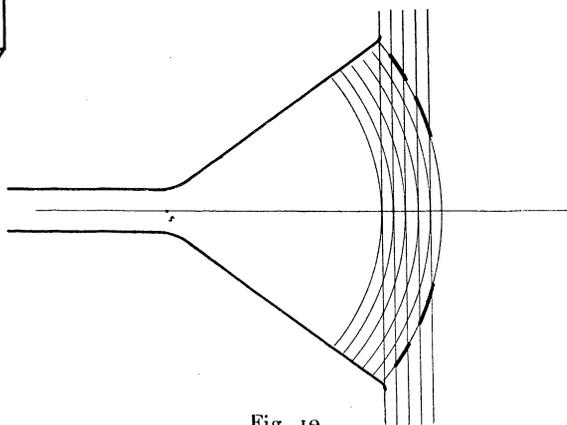


Fig. 10.

Il est alimenté

en son sommet par un guide, c'est donc un cornet dont l'embouchure est fermée. Les fenêtres sont disposées sur des cercles concentriques. Elles peuvent être réunies et former des zones analogues aux cibles de tir. La fenêtre centrale est circulaire, l'écartement des zones est tel que les ondes élémentaires qui s'échappent, se composent utilement dans la direction de propagation. On les obtient donc en coupant la sphère par des plans perpendiculaires à l'axe du dispositif et distants d'une demi-longueur d'onde, le premier de ces plans étant tangent à la sphère. Il s'agit là de dimensions extrêmes des zones ouvertes. On ne peut qu'améliorer la définition du faisceau en les rétrécissant un peu, c'est-à-dire en élargissant les zones réfléchissantes de part et d'autre de leur section moyenne. On serait tenté de comparer ce dispositif aux écrans zonés de l'optique. Il y a cependant des différences profondes car les écrans zonés sont plans et ont des zones *opaques* tandis que le dispositif décrit est en réalité un caisson résonnant à parois réfléchissantes.

Les dispositifs décrits sont calculables sans grande difficulté, ils ne diffèrent que par la forme du résonateur. Seul, l'usage permettra de les sélectionner. Ils sont séduisants par leur simplicité, leur réalisation facile, et certains modèles, par leur peu de profondeur.

Conçus dès 1940 en vue de la défense du territoire, ces dispositifs ne purent être réalisés sous le contrôle de l'occupant. Toute publication eut été imprudente, tel fut également l'avis du Doyen FORTRAT qui s'exprima en termes voilés dans la note qu'il adressa au Centre National de la Recherche Scientifique, en juillet 1941, et dont il a révélé le sens par la suite ⁽⁶⁾.

Le brevet était prêt dès 1940. Son dépôt fut différé par suite de l'invasion. Après l'Armistice, il était à craindre que le secret des brevets ne puisse être sauvegardé. Ce n'est qu'en 1943, lorsque cette menace était pratiquement écartée et le débarquement attendu, que le brevet fut enfin déposé, sous le n° 481.328.

Après la libération, invité à Londres à la « Radiolocation Convention », j'ai appris que le principe de l'émission par fentes avait été découvert à peu près simultanément par nos amis anglais ⁽⁷⁾ et réalisé sous le nom de « Slot Aerial », ce qui confirmait mon intuition.

(Parvenu aux Annales le 8 mars 1948.)

⁽⁶⁾ Attestation du 13 mai 1946.

⁽⁷⁾ H. G. Booker.