

## LE RADAR DE NAVIGATION.

---

Par le Professeur HUGON,  
du M.D.N., Paris.

---

### Sommaire.

L'auteur, professeur en chef d'hydrographie au Ministère de la Défense Nationale à Paris, fait un bref historique du radar, rappelle les principes qui sont à la base de la technique du radar, en indique les propriétés, les tares et les récents perfectionnements. Il traite ensuite de l'exploitation du radar: comment se présente le paysage « radar », comment s'interprète la lecture de ce paysage, et il fait état des controverses actuelles au sujet de l'établissement des cartes radars.

### Samenvatting.

De verslaggever, hoofdprofessor van hydrographie bij het Ministerie van Landsverdediging te Parijs, geeft een kort historisch overzicht van de radarwetenschap, wijst terug op de grondbeginselen van de radartechniek, en geeft er de eigenschappen en tekortkomingen van weer evenals de laatste verbeteringen. Hij bespreekt verder de uitbating van de radar: hoe het radarlandschap er uitziet, hoe de lectuur van dit landschap dient vertolkt, en hij geeft ten slotte een relaas van de tegensprekelijke beschouwingen die het opmaken van radarkaarten thans nog verwekt.

### Summary.

The lecturer, chief professor of hydrography at the Ministry of National Defence in Paris, gives a brief historic relation of the radar problem, remembers the fundamental principles of the radar technic, shows on its proprieties and deficiencies as well as on the last improvements. Then he entertains us of the use of the radar: how looks the radar landscape, how to give an interpretation of this landscape and finally he relates the actual controversies about the manner of setting up a radar chart.

\* \* \*

Dès l'origine le radar fut essentiellement un appareil de combat orienté vers la mesure de deux éléments fondamentaux, la **direction** et la **distance**. En même temps il repré-

sentait hors de toute visibilité un moyen de **détection**, d'où son nom abrégé de l'expression « Radio détection and range ». Il devait ensuite parvenir avec le progrès à indiquer une troisième coordonnée qui était le **site** ou l'**altitude** et ainsi se qualifier pour la veille anti-aérienne.

Enfin, avec l'écran panoramique ou « P. P. I. » (Plan Position indicator), il devait acquérir les qualités d'un système de Télévision, qui, en donnant une représentation polaire de l'espace entourant le navire, devaient le recommander plus encore à la prédilection du navigateur qui souhaite avant tout « voir sur son avant » et en faire le seul système de navigation radio-électrique qui, comme l'observation visuelle opère dans l'avenir.

Nous ne nous éloignerons pas du cadre déjà large du Radar « de surface » ou de navigation en évitant tout développement vers les radars à fonction spéciale, veille aérienne, conduite de la chasse, direction de tir, etc. En fait, le Radar qualifié de « veille combinée » dans la Marine (PBVC et GBVC), permet également la navigation et la veille-aériennes. Il y a lieu toutefois de remarquer que les radars de navigation modernes, avec leur pouvoir discriminateur de moins de 50 m., leur précision en distance du même ordre et leur sûreté de détection à très courte distance, permettent à la fois le repérage d'un but rapproché (tel qu'une vedette rapide ou un « schnorckel »), la conduite plus qu'honnête d'un tir d'artillerie moyenne sans visibilité et une veille souvent plus sûre que la veille visuelle.

**Principe et limitation.** — Nous supposons connu le principe du Radar qui est celui du sondage par écho appliqué aux ondes de longueurs inférieurs à 10 mètres.

Le procédé consiste à « arroser » un but, à partir d'une antenne émettrice appelée souvent projecteur et d'en recueillir l'écho sur une antenne réceptrice qui est souvent la même. La direction est celle du projecteur, la distance est mesurée par le temps écoulé entre le départ de l'onde du

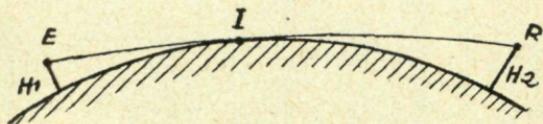


Fig. 1.

projecteur et son retour, c'est le double de la distance à l'obstacle. Il résulte immédiatement de cette conception élémentaire que « l'arrosage » permanent des obstacles par ondes continues, moyennes ou longues n'est pas possible. En effet :

a) La trajectoire n'est relativement simple qu'avec les ondes de fréquences supérieures à 30 mégacycles. Elle se compose au ras de la mer de 2 chemins recourbés par la réfraction : le chemin direct et le chemin réfléchi à la surface de la mer.

Plus la fréquence est élevée et moins ces ondes dites « raides » sont affectées par la réfraction. Si la trajectoire était rectiligne et unique, la portée serait celle que l'on appelle portée géographique ou visuelle. Pour le radar et des conditions de réfraction moyennes, si  $H_1$  est la hauteur d'émetteur,  $H_2$  la hauteur de but, ce dernier commencera à être « vu » par le radar à une distance  $D$  telle que (fig. 1) :

$$D \text{ milles} = 2,3 ( \sqrt{H_1} \text{ mètres} + \sqrt{H_2} \text{ mètres} ).$$

b) Il y a nécessité, pour « concentrer » la puissance et réaliser une finesse élevée d'analyse dans le sens directionnel, d'émettre, dans un pinceau généralement à section **elliptique**, d'ouverture horizontale faible. Or, les conditions générales de diffraction des mouvements vibratoires énoncent que la largeur du faisceau est proportionnelle à la longueur d'onde et inversement proportionnelle à la dimension linéaire de l'aérien. Pour éviter l'encombrement et la fragilité d'une antenne développée dans la superstructure d'un navire, on est conduit à l'emploi des ondes centimétriques (fig. 2).

D'autres raisons militent en faveur de ce choix pour le radar de surface que les Allemands ont tardé à faire lors de la dernière guerre : la distance maximum est inversement proportionnelle à la racine de la longueur d'onde, le « gain » du pouvoir réfléchissant d'un but de surface est de

$$KA$$

la forme  $\frac{KA}{\lambda^2}$ ,  $A$  étant la surface réfléchissante et  $\lambda$  la longueur d'onde.

Enfin, les ondes qui atteignent un but flottant ou fixe, de faible dimension, au ras de la mer proviennent à la fois du

rayonnement direct et du rayonnement réfléchi sous incidence rasante, la réflexion sur une mer calme et lisse des ondes en polarisation horizontale atteignant près de 90 %

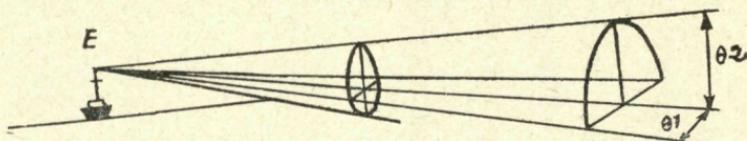


Fig. 2.

du rayonnement direct. Ces ondes réfléchies sur la mer atteignent un point de l'espace où elles sont soit **en phase**, soit **en opposition** de phase avec les ondes directes (fig. 3).

Le rapport du champ total reçu par B au champ incident direct a pour valeur.

$$\frac{H}{H_0} = 2 E_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (AIB - AB).$$

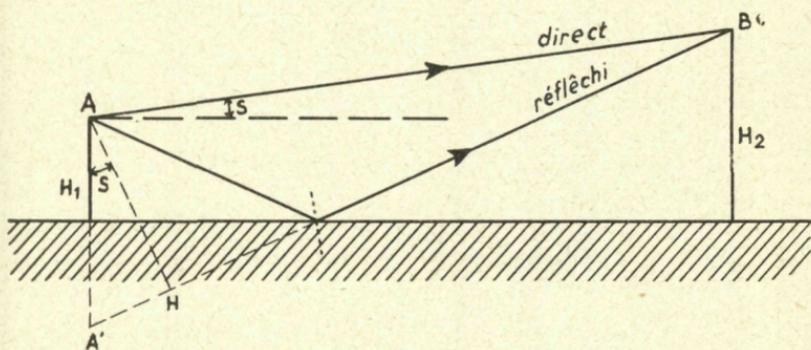


Fig. 3.

Il y a en premier lieu une inversion de phase de 180° à la réflexion puis une différence de phase  $\Delta\varphi$  proportionnelle à la différence de chemin (AIB — AB) qui est périodique avec l'altitude  $H_2$  du but B :

$$\frac{H}{H_0} = 2 E_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} \frac{H_1 \times H_2}{D}$$

Le diagramme du rayonnement est formé de « lobes »

allongés dont le plus bas est celui qui présente le plus d'intérêt pour la navigation (fig. 4) ne serait-ce que parce qu'avec la même puissance d'émission il permet en quelque sorte de presque doubler la portée. Or, ce lobe se rapproche de la mer lorsque la fréquence augmente, sa hauteur est sensible-

$$D\lambda$$

ment :  $h'_1 = \frac{D\lambda}{4h}$ ; aussi un objet de 3 m. 75 est ainsi détec-

table à 5 milles sur un radar de 3 cm. alors qu'avec un radar de 10cm., il faudrait un hauteur de 12 m. 50.

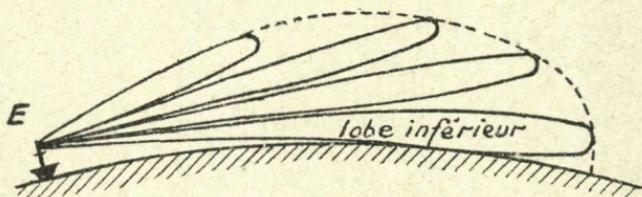


Fig. 4.

Les fréquences actuelles des radars de navigation se situent entre 3.000 et 10.000 mégacycles, soit 10 cm. et 3 cm. de longueur d'onde. Des considérations d'absorption atmosphérique et des difficultés de réalisation d'oscillateurs de faibles dimensions et de forte puissance ont limité l'évolution aux longueurs d'ondes de 1 cm.

c) Pour mesurer rigoureusement l'intervalle écoulé entre le départ d'une onde et son retour après réflexion sur le but, il faut identifier exactement cette onde. Sinon le rayonnement réfléchi interférerait de façon confuse avec le faisceau d'émission et le phénomène stationnaire qui en résulterait serait indéchiffrable. Enfin, la puissance considérable émise par les oscillateurs serait « insoutenable » avec continuité. Pour toutes ces raisons la plupart des radars ont utilisé le système à **impulsion** qui consiste à émettre avec une cadence donnée — suffisamment lente pour que le train ait le temps d'aller et de revenir à la distance maximum — des trains d'impulsions à haute fréquence découpés par un oscillateur à **ondes carrées**. Ainsi le radar américain SF de veille combinée émet 400 fois par seconde des impulsions de durée 1 micro-seconde sur une fréquence de 3.000 mégacycles. Le

rapport entre la durée du train d'onde et l'intervalle est donc de 2.500.

De nombreuses recherches et quelques réalisations encore en cours se sont orientées dans la voie du radar à **modulation de fréquence**.

**Les différentes formes de présentation.** — Dans tous les cas, on sait qu'un écran de forme circulaire, formant le fond d'un tube cathodique et doué d'une certaine luminescence sous l'effet du choc des électrons, reçoit les éléments de l'exploitation : azimut et distance. Un faisceau électronique synchrone du trajet de l'impulsion dans l'espace libre balaye périodiquement, à la cadence de l'émission, une base de mesure qui apparaît sous la forme d'un trait lumineux sur le fond de l'écran. Le retour de l'écho sur le récepteur provoque à l'instant correspondant du balayage un phénomène lumineux, tache ou « pip » dont la position par rapport à des échelles calibrées procure l'indication cherchée.

On connaît en matière de radar de surface les divers types de présentation.

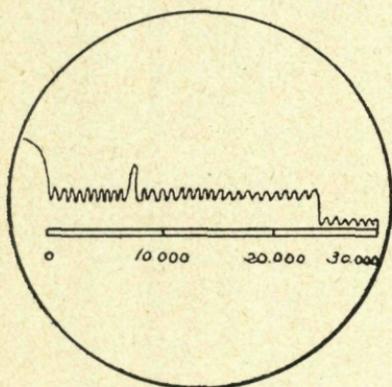


Fig. 5. — Echelle de distance.

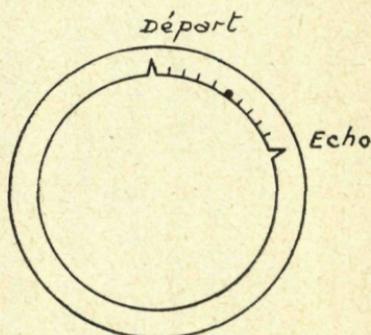


Fig. 6. — Ecran type J.

L'échelle du type A présente une base linéaire rectiligne qui peut être étalonnée en distance ou mesurée à l'aide d'un repère électronique commandé par un cadran de distance. Ce repère peut être une « marche » de la base de distance (fig. 5).

Dans le type J, le balayage se fait suivant la circonférence

de l'écran et non suivant un diamètre, ce qui accroît l'échelle dans la proportion de 1 à 3 pour un même temps de balayage. Les signaux de départ et de retour sont des crochets de déviation radiales de la base. Ce système est utilisé dans les Radars destinés à des mesures très précises de distance tels que le « Shoran » appliqué en hydrographie et dans le guidage des aéronefs (fig. 6).

Laissant de côté les écrans type B qui présentent deux coordonnées rectangulaires, azimut-distance ou site en raison de l'appropriation plus aérienne et militaire de ces indicateurs, nous en venons à la présentation la plus répandue en matière de navigation, celle qui a recueilli le plus de suffrages, parce qu'avec son affichage continu de tous les buts par deux coordonnées polaires « **azimut-distance** », l'image

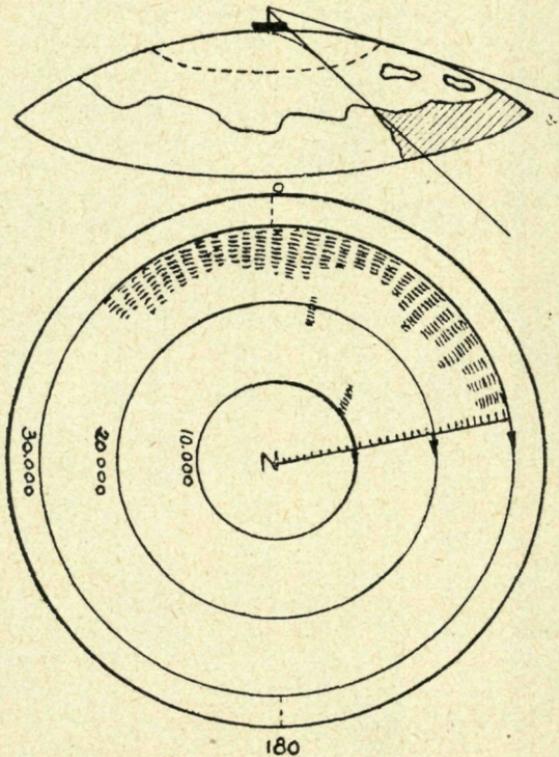


Fig. 7.

donnée par son écran se rapproche le plus d'une carte en coordonnées azimutales équidistantes et pour de faibles distances, de la carte marine. Aussi, avec l'écran panoramique, sans préjudice de toute mesure précise des deux coordonnées, une sorte de télévision a été réalisée qui permet à un observateur entraîné d'apprécier d'un coup d'œil ses possibilités de navigation. Le balayage de l'espace en azimut par l'antenne émettrice commande le balayage circulaire de l'écran par l'intermédiaire d'une bobine de déflexion tournant autour du col du tube cathodique. En même temps, à chaque départ d'impulsion, le faible spot lumineux créé par le faisceau électronique, décrit un rayon de l'écran, à partir du centre. L'application à la grille du tube, d'un voltage d'écho, sensibilise fortement le spot en un point de l'écran bien déterminé par la distance d'une part et par l'azimut d'autre part, par le moyen d'un curseur asservi à l'antenne le long d'une couronne concentrique à l'écran (fig. 7).

L'agglomération d'échos provenant d'obstacles continus tels que ceux d'une falaise par exemple procure une image caractéristique du paysage et des obstacles entourant le navire. Cette image est souvent méconnaissable pour un profane, la réflexion sur un objet complexe produit des phénomènes analogues à ceux du **scintillement** dans le cas d'un faisceau lumineux qui balaye des surfaces différemment orientées. C'est souvent en faisant **jouer** le pointage du projecteur que l'on obtient des échos plus nets.

**Bref historique du radar.** — Dans sa forme militaire, le radar a été mis au point à la suite de dépenses et d'efforts considérables, dans les pays belligérants, sous la pression des nécessités guerrières de 1939 à 1945. Depuis la fin des hostilités, il a acquis dans les pays anglo-saxons, en même temps que des qualités supérieures de précision et de sûreté, celles qui en font un outil commercial, simple d'utilisation, léger et peu encombrant et d'un prix de revient accessible à l'armement.

Dès avant 1939, des projets avaient été étudiés en France, en Allemagne, en Angleterre et aux Etats-Unis. Malgré l'orientation persistante de la doctrine officielle vers les « barrages électro-magnétiques » qui ne résistèrent pas à l'épreuve des hostilités, il y a lieu de signaler la réalisation en France, en 1935, du détecteur Ponté SFR qui, installé

sur la « Normandie » en 1936, explorait l'espace en direction à l'aide de deux projecteurs paraboliques de 75 cm. de diamètre émettant des ondes de 16 cm. sur des faisceaux très larges (40°). Malgré des performances séduisantes : détection d'un navire à 7.000 m., d'une bouée à 1.500 m., le besoin d'un oscillateur à haute fréquence et à puissance considérable restait à satisfaire puisque la puissance rayonnée ne dépassait pas quelques dixièmes de watt, alors que les radars de veille actuels supportent plus de 1.000 kw. appliqués.

Dès 1935, en Angleterre, sous l'impulsion de Sir Watson Watt, la réalisation de tels oscillateurs permettait l'installation entre 1936 et 1938 d'une chaîne de cinq stations de radars de veille dans l'estuaire de la Tamise. La mise au point du magnétron à cavités résonantes devait peu après révolutionner le problème, permettre l'accès aux grandes puissances et surtout conduire les Anglais aux ondes centimétriques pour lesquelles, à ressources communes avec les Américains, ils créèrent, en 1941, les premiers radars de surface pour avions ASV (Air Surface Vessel). Dès 1940, d'ailleurs, leurs batteries de D.C.A. côtières étaient en partie équipées de radars métriques de direction de tir.

Dès lors, ce fut avec des moyens prodigieux en personnel et en matériel que les Américains reprirent la question qui devait les mener à l'équipement massif de milliers de navires et d'avions en radars spécialisés : interception, veille aérienne, direction de tir, surface, D.C.A., etc.

Les Allemands, attardés à la résolution de questions de portée et de veille aérienne, s'orientaient avec les types « Freya » vers d'énormes antennes; ayant réussi à fabriquer des magnétrons suffisants en 1941, ils persistèrent dans le domaine des ondes de 1 mètre à 0 m. 50 avec le « Würzburg » pour la D.C.A., le « Hohentviel » pour la détection de surface, mais ce ne fut qu'en 1944, ayant capturé un « H<sub>2</sub>S » sur un avion allié, qu'ils découvrirent les perspectives des ondes centimétriques avec le « Rotterdam » sur 9 cm. Mais leurs mécomptes s'étaient déjà accumulés dans ce domaine au point de vue de la guerre maritime et, devenus très habiles dans la détection des émissions radars par leurs sous-marins, ils devaient longtemps ignorer la bande centimétrique qui les détectait.

**Structure du principe d'un système radar.** — Un système

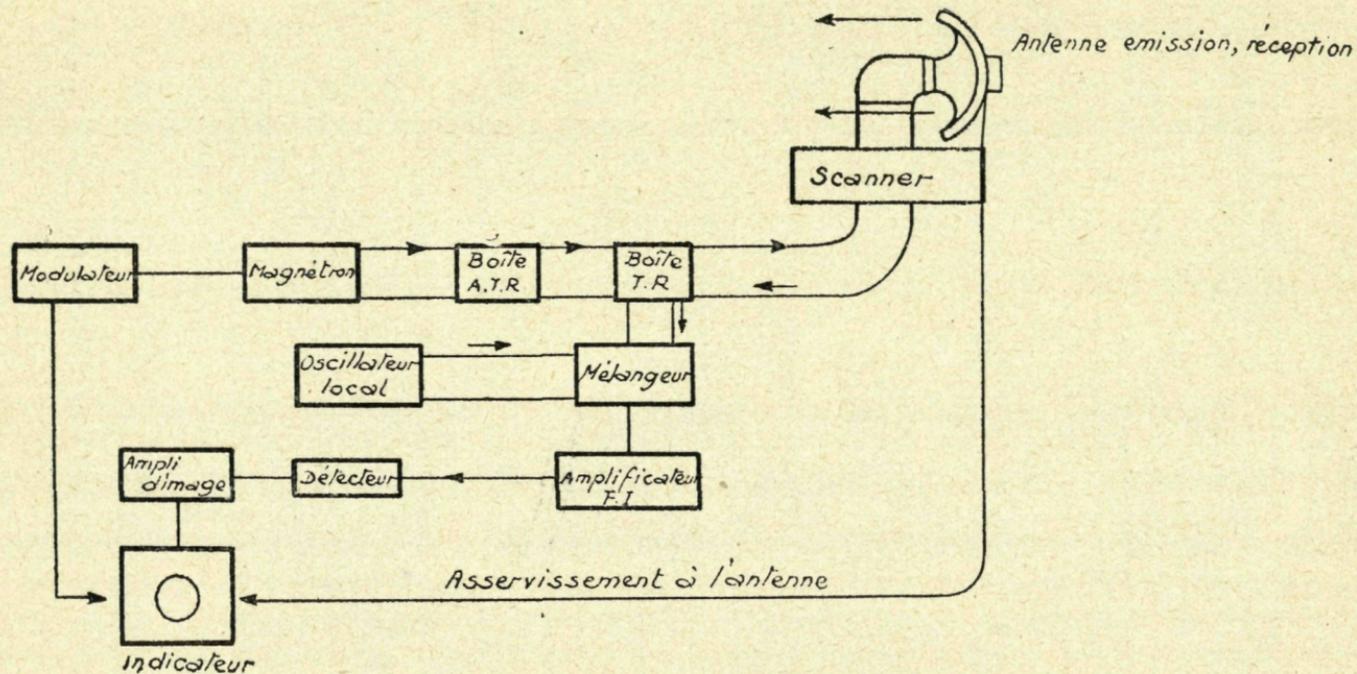


Fig. 8. — Schéma de principe d'un radar.

Radar élémentaire comporte un certain nombre d'organes fondamentaux que nous énumérerons en suivant le trajet d'une impulsion type de 1 micro-seconde de durée, répétée plusieurs centaines de fois par seconde, sur une fréquence d'environ 3.000 mégacycles par exemple ( $\lambda = 10$  cm.) (fig. 8).

Une onde carrée, issue de l'amplificateur d'impulsion passe par le **modulateur** ou manipulateur électronique qui la transforme en une impulsion à haut voltage et la transmet au filament du **magnétron** pour le rendre oscillant pendant 1 micro-seconde. Cette oscillation traverse les 2 commutateurs T. R. (Transmission-réception) et A. T. R. (anti T. R.) qui sont des cavités résonantes amorcées par des électrodes à gaz dès que le magnétron opère. Pendant cette période, la boîte T. R. relie l'antenne à l'émetteur et isole au contraire le circuit de réception, le commutateur A. T. R. assure le passage de l'impulsion sans retour ni perte. Entre les impulsions, à l'état inerte, la boîte T. R. relie le mélangeur à l'antenne et la boîte A. T. R. isole le magnétron de l'antenne de façon à éviter toute perte du signal très faible reçu au retour.

L'impulsion parvient donc périodiquement à l'antenne qui distribue son énergie suivant un faisceau conique balayant l'horizon suivant le mouvement du projecteur. En période de réception, l'antenne joue le rôle de collecteur d'écho et transmet le signal reçu au **mélangeur** qui est une superhétérodyne particulière dont le rôle est d'abaisser la fréquence de l'écho à une valeur intermédiaire qui se prête à l'amplification. Ainsi, si l'onde reçue est à une fréquence de 3.000 mégacycles, elle se trouve mélangée à une oscillation de 3.030 mégacycles et c'est une oscillation de 30 mégacycles qui se trouve amplifiée par l'ampli à **fréquence intermédiaire**. Traversant le **détecteur à cristal** qui le démodule, le signal passe dans l'amplificateur d'image (Vidéo) qui le transmet aux plaques de déflexion du tube de l'oscillographe. A ce schéma élémentaire, il convient d'ajouter tous les organes de synchronisation, de mise en place et d'étalonnage qui ont pour rôle d'assurer les « marches de temps », déclenchement et contrôle des balayages synchronisation des échelles électroniques de calibrage, asservissement du balayage en direction de l'écran au mouvement de l'antenne. Les organes animateurs de ces « marches de temps » sont des oscillateurs de référence à

cristal qui débitent des ondes carrées, lesquelles sont ensuite transformées en ondes « en dents de scies » par des multi-vibrateurs. Le déclenchement de ces marches se fait par des commutateurs électroniques qui sont généralement des diodes à gaz.

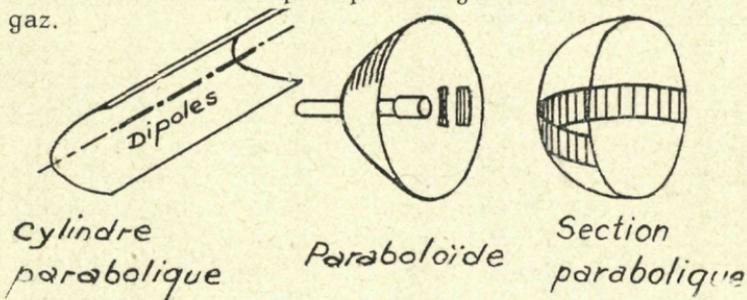


Fig. 9.

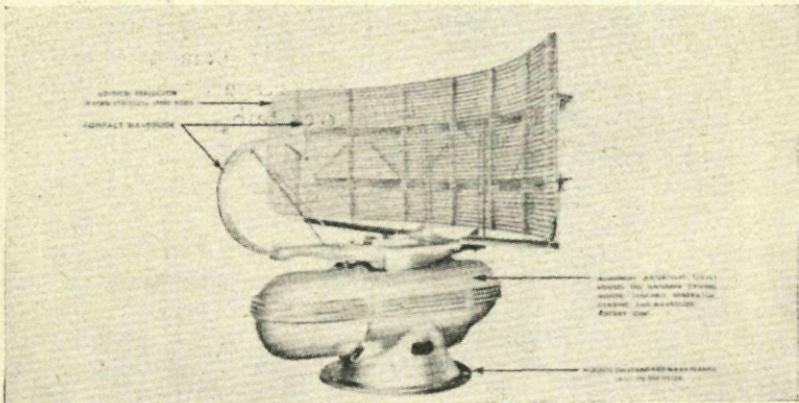


Photo 1. — L: bloc antenne. Moteur d'antenne du rada de navigation R. C. A. (3 cm.).

Les éléments du radar se complètent par « l'antenne », qui est le plus souvent émettrice-réceptrice. Pour le radar de surface utilisé en navigation, elle fut à l'origine composée d'un dipôle excitateur et d'un paraboloïde de révolution réflecteur; actuellement les éléments excitateurs des radars à ondes centimétriques sont des « cornets » et les éléments réflecteurs, des éléments de paraboloïde ou des cylindres paraboliques en tôle unie ou formés de lattes métalliques (antenne en grillage) (fig. 9) (Photo 1).

**Les qualités, les tares et les progrès récents.** — Les performances exigibles d'un radar de navigation participent de l'aménagement de certains facteurs extérieurs et intérieurs dont les besoins sont le plus souvent contradictoires. Le temps écoulé depuis la fin des hostilités a vu à la fois la révélation généralisée des possibilités de radar, l'accroissement continu des exigences à son endroit de la part des utilisateurs et une progression lente, mais également continue de ses perfectionnements techniques.

1<sup>o</sup> La **portée** est certainement une des qualités maîtresses d'un radar; cependant, pour le radar de navigation elle est honorable et suffisante si l'on peut repérer des buts de 20 m à 25 milles. Or, en principe, pour la doubler, il faudrait multiplier la puissance de crête émise par 16. Ceci est vrai à la fois en espace libre et au ras de la mer dans le lobe inférieur favorable; pour les lobes supérieurs il faudrait multiplier la puissance par 196.

La portée est également inversement proportionnelle à la racine de la longueur d'onde; c'est l'intérêt des ondes centimétriques de quasi doubler la distance par réflexion sur la mer. En réalité, à la fois, l'**émetteur**, le **récepteur** et le **but** sont en jeu. Bien des radars de navigation révèlent une certaine faiblesse d'image aux grandes distances, surtout lorsqu'ils donnent à cette image une grande finesse et une grande précision aux courtes distances.

Un élément qui joue évidemment un rôle primordial c'est ce que l'on appelle le **signal minimum détectable** au récepteur considéré; c'est la puissance minimum, supérieure à l'énergie du **bruit de fond** bien connu des auditeurs de radio et qui se traduit ici par une herbe parasite. Celle-ci est faible aux ondes centimétriques, mais ce signal minimum détectable est proportionnel à la bande passante (5 ou 6 mégacycles), cette largeur de fréquence que le radar doit accueillir sans déformation. Plus les impulsions sont raides et courtes, plus large doit être cette bande passante et plus élevé est le bruit de fond. Or, comme on le verra plus loin et comme on le devine, plus les impulsions sont courtes, plus fines seront les touches du pinceau, à courte distance, sur les obstacles et plus précis seront à la fois la mesure et le dessin. Il y a donc antagonisme, si bien que ce qu'il faut considérer c'est plutôt la puissance par impulsion de durée  $\theta$ , soit  $Pt \times \theta$ ,

plutôt que la puissance de crête  $P_t$  et surtout la puissance moyenne.  $P_m = P_t \times n \times \theta$  si  $n$  est la cadence de répétition. largeur du pulse

Le rapport  $\frac{P_t}{\text{largeur du pulse}}$  est appelé **cycle de travail**; il doit être abaissé en employant des impulsions courtes à cadence lente. On parvient dans certains radars de navigation modernes à conserver, à toute distance une valeur constante à ce rapport en employant à **courte distance** une cadence d'impulsion élevée (2000 p/s) avec une impulsion courte (0 m.s., 2) de façon à obtenir une bonne précision et, à **grande distance** une cadence relativement lente (800 p.s.) avec une impulsion d'1 m. s. Tel est le radar américain R. C.A. de 3 cm. sorti en 1947.

2<sup>o</sup> **La discrimination et la précision en distance.** — Ce sont deux performances jumelles. Elles conduisent à réduire la durée de l'impulsion puisque pour séparer deux buts alignés, il faut qu'un intervalle supérieur à la 1/2 impulsion, les sépare. Or 1 micro-seconde s'étale sur 300 m. et la demi-impulsion correspond à 150 m. On utilise en radar de navigation, à **courte distance**, des impulsions de 0 m.s. 2 qui permettent des lectures à 30 m. près si les échelles électroniques sont bien calibrées. C'est évidemment une précision plus que suffisante en matière de navigation d'atterrissage. Elle est tout juste acceptable dans un chenal.

3<sup>o</sup> **La discrimination et la précision en direction.** — Celle-ci est liée à l'ouverture du faisceau dans le sens horizontal, c'est-à-dire au rapport  $\frac{\lambda}{d}$ ,  $d$  étant la dimension de l'aérien.

On l'apprécie entre les directions de  $\frac{1}{2}$  puissance du lobe principal de rayonnement (fig. 10). Pour séparer deux objets situés à la même distance et vus sous un angle de 2°, il faudrait passer d'une antenne de 1 m. 50 sur 3 cm. à une antenne de 3 m. 60 sur 10 cm.; or, à 1 mille, cela représente un écartement d'environ 60 mètres, il en résulte que les apparences des paysages sur 3 et 10 cm. (1), sont très différents, sur l'écran panoramique. Si la longueur de l'impulsion et l'ouverture du faisceau sont bien « **balancés** » l'image d'un but ponctuel aura

(1) Voir les photographies au chapitre « Exploitation du radar ».

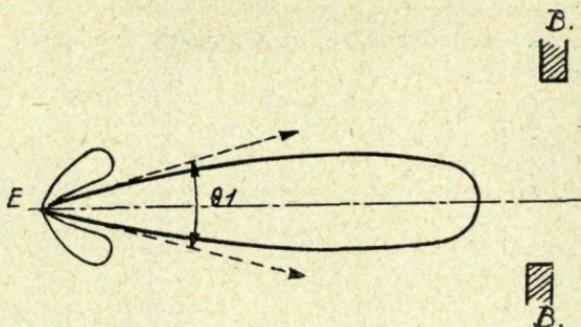


Fig. 10.

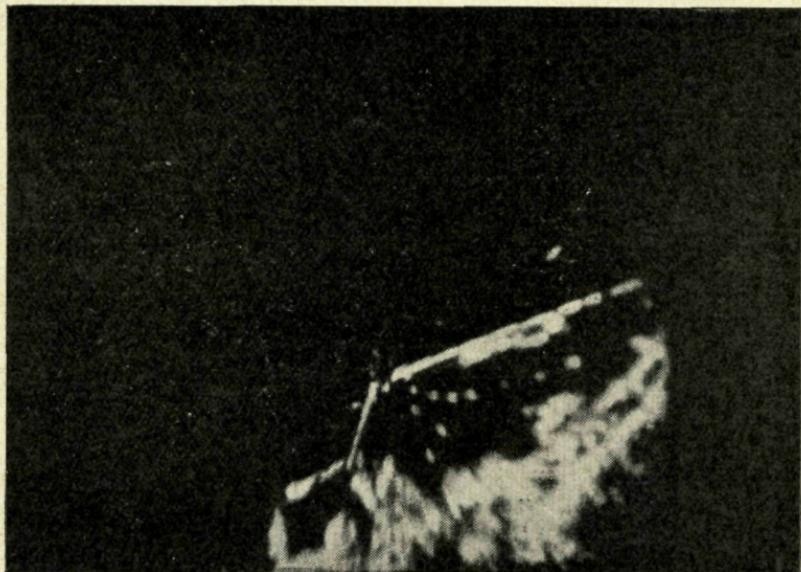


Photo 2. — Le port de Brest, par radar L. R. de 3 cm. (Echelle 1,5 miles).

la forme d'un disque comme dans la vue directe. Si la longueur d'onde est trop forte, l'image est étirée dans le sens circulaire.

La polémique qui a longtemps opposé les Américains partisans du 10 cm. et les Anglais partisans du 3 cm. est à peu près close par la fabrication définitive de radars de 3 cm.

aux Etats-Unis. C'est vraiment la longueur d'onde appropriée à un dessin du paysage radar voisin de l'image de la carte et surtout du trait de côte (photo 2). Le radar SF de veille combinée qui équipe la plupart de nos navires de guerre, a un faisceau de 12°; il permet d'apprécier le relèvement à 2° près, mais ses images sont d'autant plus étirées dans le sens circulaire que le balayage en direction accentue cet étirement comme dans tout radar.

Les radars d'avion H<sub>2</sub>S américains destinés au bombardement à faible altitude, utilisent une longueur d'onde de 1 cm. 25; l'aspect de l'image est évidemment très satisfaisant, mais cette longueur d'onde est la plus critique pour l'absorption par les météores.

4° **La Distance minimum.** — Elle est très importante pour un radar de navigation qui prétend à la navigation dite « portuaire » ou de « chenalage ». Cette distance dépend évidemment en premier lieu de la hauteur de l'antenne émettrice et de l'ouverture verticale du faisceau. En outre, elle est limitée par le temps nécessaire au récepteur pour reprendre sa sensibilité après la fin du train d'onde d'émission. Pour 50 mètres, ce temps serait de  $\frac{1}{3}$  de micro-seconde. Longtemps un obstacle à la réduction de l'aire « de paralysie », ce temps est actuellement réduit à des valeurs négligeables par des procédés de blocage du récepteur. Enfin, elle dépend aussi de l'étalement de l'impulsion qui empêche tout accueil d'écho sur toute sa longueur. La réduction de la durée du « pulse » à 0,2 micro-seconde permet de réduire le rayon de cette zone à moins de 30 m. (fig. 11).

**Les tares résiduelles.** — a) **Lobes secondaires.** — Les antennes directives émettent un « lobe » principal de rayonnement et des lobes secondaires parasites dont on est parvenu à réduire l'amplitude à des valeurs négligeables (7/100). On a ainsi éliminé des causes d'erreurs de direction à courte distance.

b) **Le renvoi de la mer.** — Si la mer lisse et plane est un réflecteur presque parfait, son agitation à courte distance produit une effervescence d'échos parasites qui « noient » les échos des buts matériels et étendent souvent l'aire de paralysie jusqu'à plus de 3 milles aux longueurs d'ondes supérieures à 3 cm. On réduit cet effet nuisible par diminution du **gain**, ce qui est une arme à double tranchant si l'on veut déceler une bouée par exemple. Deux dispositifs permettent



un certain remède: le S.T.C. (Sensitivity Time Control) qui abaisse la sensibilité du récepteur pour des objectifs rapprochés sans altérer la réponse à grande distance.

le F.T.C. qui disperse les effets de réflexion de surface en diminuant les échos temporaires (Fast Time Control) et laissant subsister les échos durables.

La manipulation de ces deux artifices demande un certain entraînement et leur effet n'est jamais décisif.

c) **L'absorption atmosphérique.** — Les petites longueurs d'onde sont les plus absorbées ou atténuées. S'il n'y a pas de différence appréciable entre les comportements du 10 et du 3 cm., la longueur d'onde la plus arrêtée est celle de 1 cm. 25.

Il y a absorption moléculaire par les gaz de l'air et en particulier par l'oxygène, mais surtout diffraction et souvent réflexion caractérisée par les gouttes d'eau en suspension dans l'air et d'autant plus que ces gouttes ont des dimensions qui se rapprochent de la longueur d'onde. La brume, la pluie, la neige ne donnent des apparences caractérisées d'écho que si la densité de l'eau est suffisante pour créer des surfaces réfléchissantes. La bruine, surtout lorsqu'il y a ionisation de la couche nuageuse, peut être un réflecteur massif.

d) **La perte d'analyse ou « scanning loss ».** — Du fait du mouvement de l'antenne, l'arrosage du but est discontinu. Il faut que la vitesse de rotation, l'ouverture du faisceau et la cadence des impulsions soient aménagées de façon telle qu'un nombre suffisant d'impacts (5 à 10 en moyenne) frappe le but à chaque faisceau. L'antenne braquée fixement sur un but évite cette perte et la luminosité de l'image s'en ressent. La vitesse de rotation de l'antenne, d'abord élevée dans les radars de navigation de 1945 et 1946, tend à être ramenée à des valeurs inférieures à 20 tours-minute en raison des progrès effectués en matière de rémanence des couches luminescentes des écrans.

e) **Le roulis.** — On a renoncé à la complication de la stabilisation gyroscopique des antennes au roulis dans les radars commerciaux de navigation. Cette stabilisation est réalisée sur les radars militaires de direction de tir. Pour éviter de « manquer » au roulis certains buts éloignés, l'ouverture verticale du faisceau a été maintenue très large par rapport à l'ouverture horizontale, soit de 15 à 20° au-dessus

et au-dessous de l'horizontale pour une ouverture horizontale de 2°.

f) **Les pannes et dérèglages.** — Un radar est accordé lorsque la différence entre la fréquence du magnétron et celle de l'oscillateur local formant superhétérodyne est constante et égale à la fréquence intermédiaire. Sur les appareils anciens, il était toujours possible de rectifier manuellement cet accord en agissant sur l'oscillateur local de façon à intensifier un écho choisi sur l'écran. Les appareils modernes disposent d'un étage mélangeur à cristal où les deux fréquences sont constamment comparées et les écarts de sortie appliqués à l'oscillateur local jusqu'à annulation de la différence. Ce dispositif automatique A. F. C. est appelé « Contrôle automatique de la fréquence ».

Enfin, un autre appareil appelé « Echo Box » est destiné à s'assurer à volonté du bon fonctionnement du récepteur. C'est le plus grand souci du navigateur qui, par temps de brume, face à écran vide, conserve une inquiétude persistante sur l'efficacité de son radar.

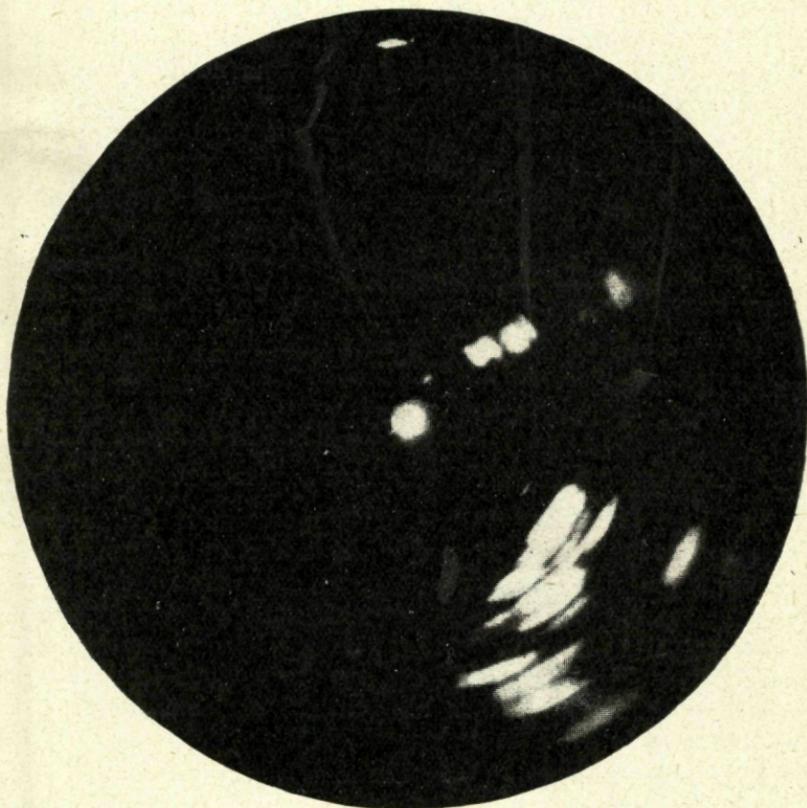
« L'Echo Box » est un système d'interrogation artificielle du récepteur Radar qui, placé à proximité immédiate de l'antenne d'émission emmagasine l'énergie de l'impulsion transmise dans une cavité résonante et cette impulsion terminée, la restitue au récepteur du Radar qui la détecte sous la forme d'un trait radial sur l'écran panoramique. La longueur de ce trait, qui correspond au temps pendant lequel il reste visible au-dessus du bruit de fond est une indication précise à la fois de la puissance d'émission et des capacités de détection de l'ensemble récepteur indicateur.

**Les faux échos.** — 1° Les lobes secondaires des Radars déjà anciens provoquent autour du centre de l'écran panoramique, dans le voisinage de terre, l'apparition de « traînages » circulaires sur de longs secteurs. Cet effet est particulièrement sensible sur le radar SF de 10 cm. à projecteur parabolique; il est très atténué sur les radars modernes à lobes secondaires réduits. Le remède consiste souvent à réduire le gain.

2° **Doubles échos.** — Des réflexions successives sur la mer ou sur des obstacles sont quelquefois cause de doubles échos à des distances doubles de l'écho normal.

3<sup>o</sup> **Echos de superstructure.** — Un projecteur Radar, dont le champ n'est pas entièrement dégagé, peut intercepter dans son balayage des mâts, des mâts de charge ou des superstructures et donner des échos parasites à des gisements fixes. On neutralise les appareils ou superstructures mal placées en les garnissant de tôle ondulée qui reflète l'énergie hors de l'antenne réceptrice.

4<sup>o</sup> **Echos et atténuations atmosphériques.** — L'atténuation, c'est-à-dire la réduction de portée, résulte surtout de l'absorption moléculaire de l'énergie par la vapeur d'eau ou des gouttes de faibles dimensions; la réflexion qui se traduit par des faux échos est le fait des gouttes d'eau de forte taille,



*Photo 3. — Effet massif d'écho parasite, Entrée détroit de Gibraltar.  
Radar de 10 cm. Echelle : 8 miles.*

de la pluie épaisse, de la grêle ou de la neige. Des nuages froids et bas contenant de l'eau en surfusion sont également capables d'échos qui sont généralement peu massifs. C'est à l'expérience de l'observateur qu'il appartiendra de les éliminer.

Les longueurs d'onde inférieures à 3 cm. sont surtout affectées, mais il peut arriver exceptionnellement que l'on observe des échos massifs sur des nuages ionisés au ras de l'eau sur 10 cm. (Photo 3).

**Les perfectionnements actuels.** — Compte tenu des remèdes indiqués aux « tares » les plus notoires du radar de guerre, la production commerciale est parvenue depuis quatre ans aux progrès suivants :

— Fabrication de radars de surface de 3 cm. avec une impulsion de  $1/4$  de micro-seconde environ, une portée de 30 à 40 milles avec une puissance de crête de 15 à 30 kw.

— Précision et discrimination en distance inférieure à 50 m., distance minimum de 30 m. (le récent Radar Decca indique 20 yards), discrimination en direction de  $1^\circ$  avec un pinceau de  $1^\circ,8$  d'ouverture en moyenne.

— Introduction de dispositifs F. T. C. et S. T. C. permettant de réduire le renvoi de la mer.

— Présentation d'échelles électroniques de mesure de distance commandées par un cadran et donnant la distance à 40 m. près, environ. La démultiplication se fait sur 3 ou 4 échelles allant de  $1/30.000 = 2$  milles à  $1/800.000 = 50$  milles sur un écran de 25 cm. de diamètre et permet de passer instantanément d'un aspect à l'autre.

— Faculté de « dilater » particulièrement certains secteurs de l'écran, permettant l'examen d'une zone déterminée (fig. 12).

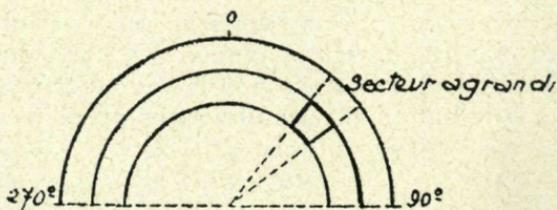


Fig. 12.

— Augmentation de la sensibilité et de la rémanence des couches de fond du tube cathodique.

— Possibilité d'un examen direct de l'écran en plein jour par l'emploi du « Dark Trace Tube » au chlorure de potassium dont les échos apparaissent en noir sur fond clair (fig. 13).

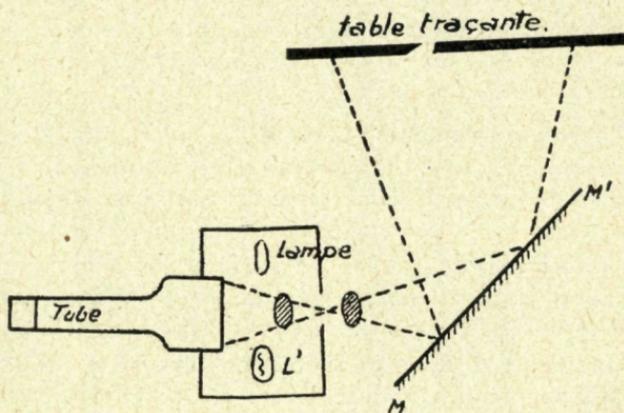


Fig. 13. — Ecran au K. C. L. Skiatran.

— Introduction de divers accessoires utiles à l'exploitation : agrandissement de l'aspect visuel de l'écran par des loupes, répéteurs de 30 cm. de diamètre sur la passerelle, asservissement de l'écran à un compas gyroscopique permettant la lecture directe du relèvement et enfin systèmes de projection de la carte inscrite sur un micro-film, sur la surface de l'écran, de façon à permettre la navigation par « superposition ».

## L'EXPLOITATION DU RADAR.

Les qualités réfléchissantes des « paysages radar ». — Dans les performances à attendre d'un radar de navigation, il y a lieu de tenir compte au premier chef du pouvoir réfléchissant du but « arrosé » par le rayonnement radar.

On dit que le but admet des **directions privilégiées** si certains petits éléments de sa surface, de dimensions voisines de la demie onde, sont orientés naturellement de façon à renvoyer l'impulsion incidente vers l'émetteur, soit par réflexion di-

recte, soit par réflexion totale. C'est heureusement le cas des murailles des coques de navire sensiblement verticales. Sinon, la sûreté de détection exige d'attaquer un but avec des longueurs d'onde, pas trop différentes de sa dimension linéaire. C'est le cas de la veille aérienne où les avions sont recherchés avec des ondes métriques.

Comme la surface « interrogée » se conduit à son tour comme une antenne émettrice qui renvoie l'énergie captée, on définit le « gain » de cette antenne et celui-ci est inversement proportionnel au carré de la longueur d'onde. C'est donc encore dans le domaine des ondes centimétriques que l'on trouvera au ras de la mer la meilleure puissance de réception.

L'aspect de l'écho examiné minutieusement varie d'ailleurs par « scintillement » comme en vision directe lorsque la surface « interrogée » subit des fluctuations, c'est-à-dire avec le mouvement, soit de l'émetteur, soit du but, comme dans le cas du roulis d'un navire ou, dans de plus fortes proportions, avec le mouvement des hélices d'un avion.

D'une façon générale, c'est l'inclinaison de la surface par rapport au faisceau radar qui, en modifiant la surface effective de réflexion du but, reste l'élément prépondérant. Une surface lisse mal présentée sur le faisceau d'axe horizontal du radar marin, sera peu ou pas détectée; au contraire, une surface **rugueuse**, c'est-à-dire composée de plans élémentaires discontinus donnera presque toujours un écho par scintillation. Une étroite analogie se rencontre en réflexion lumineuse avec les réflecteurs prismatiques à facettes disposés sur les bords des routes en vue de renvoyer la lumière des phares d'automobiles.

**Influence de la nature de la surface.** — Les surfaces métalliques ou recouvertes de peinture métallique ont des pouvoirs réfléchissants qui résultent de leur conductibilité par un effet d'induction de surface, c'est-à-dire par mise en mouvement des électrons du métal et rayonnement direct. Dans les surfaces di-électriques, c'est le déplacement des charges statiques élémentaires qui provoque l'activité de petits oscillateurs indépendants, dont le rayonnement est fonction de la constante di-électrique  $K$  de l'obstacle et de la longueur d'onde. La mer calme peut être considérée comme

un plan réfléchissant presque parfait, mais ce n'est que pour un radar à incidence presque normale qu'elle donne une réflexion récupérable à la verticale. C'est ainsi que pour des radars d'avion du type H<sup>2</sup>S, elle donne à la verticale une image brillante, comme d'ailleurs des rivières et des nappes d'eau entourées des taches sombres de la terre. Les incidences rasantes des faisceaux des radars de surface provoquent au contraire la dispersion de l'écho de la mer, hors de l'antenne réceptrice et l'écran reste sombre, sauf le cas de clapotis qui illumine la zone centrale.

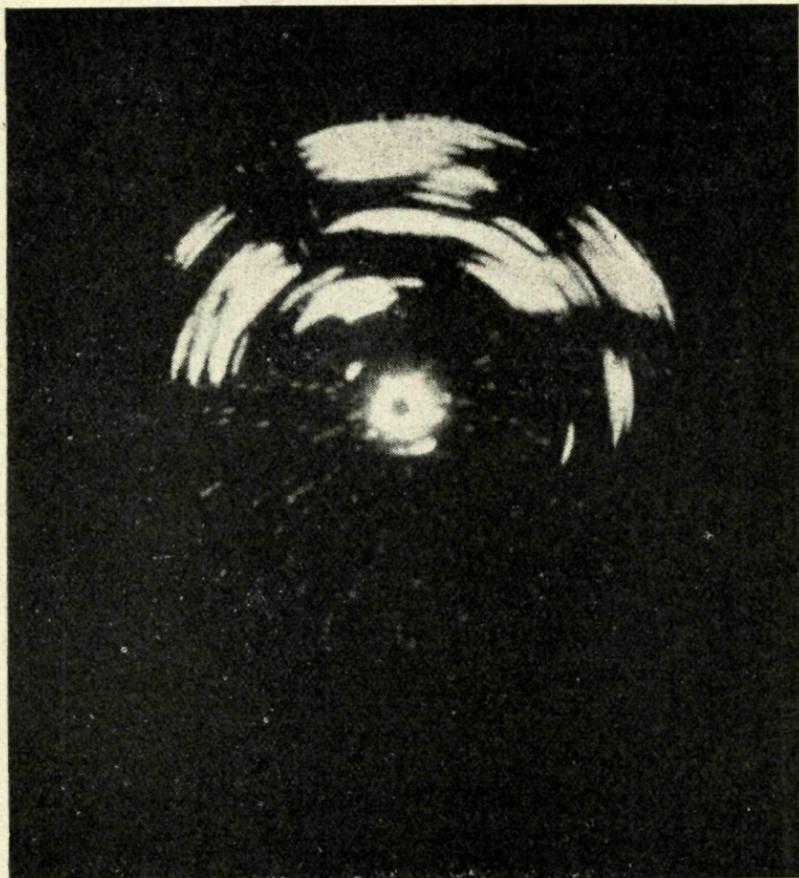
Les buts métalliques, dans la détection de surface sont donc en principe plus actifs que les buts isolants, mais l'influence du profil de la surface arrosée est presque toujours prépondérante. Les navires en fer, les bouées métalliques, les tourelles en ciment armé seront généralement de bons réflecteurs sous incidence normale. Il existe cependant des exemples d'excellents échos obtenus sur des voiles hautes ou des navires en bois.

**Les revêtements anti-radar.** — Ceux-ci ont été utilisés avec des succès variables par tous les belligérants et en particulier par les Allemands. Ils peuvent être de deux sortes, lorsqu'ils recouvrent une surface lisse, de dimensions très supérieures à la longueur d'onde :

1<sup>o</sup> Les peintures ou revêtements qui permettent l'extinction ou l'atténuation de l'écho par interférence de l'onde incidente avec l'onde qui, après pénétration dans le revêtement, est réfléchi vers l'émetteur avec un certain déphasage déterminé à l'avance pour réaliser cette extinction.

2<sup>o</sup> Les revêtements qui neutralisent la réflexion par extinction progressive de l'onde incidente dans des couches de conductibilité croissantes, c'est-à-dire par absorption d'énergie. Les Allemands ont utilisé ainsi des couches de 7 à 8 cm. d'épaisseur au ferro-carbonyl séparées par de la mousse de caoutchouc sur les superstructures de leurs sous-marins. L'absorption était excellente sur une bande de 4 à 13 cm. de longueur d'onde.

**L'aspect du « paysage radar ».** — De par la position de son antenne et l'orientation quasi-horizontale du faisceau d'exploration, l'écran panoramique donne d'un paysage côtier une vue intermédiaire entre l'aspect de la carte (qui, quel que soit son canevas, se rapproche d'une projection horizon-



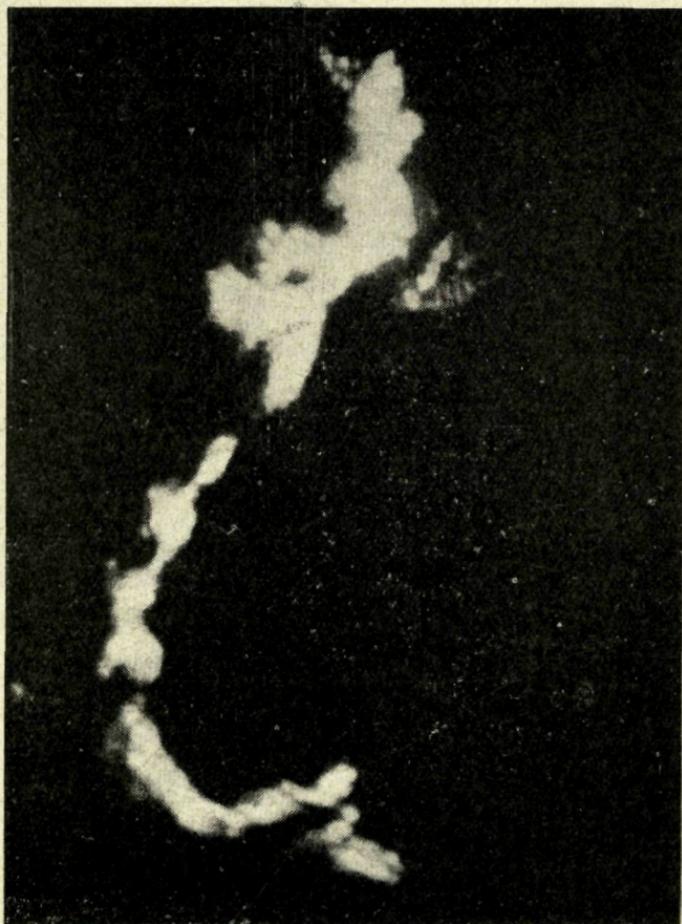
*Photo 4. — Entrée de Toulon, vue d'un radar de 10 cm. Position T5.  
On remarque à la fois les lacunes dues au relief de l'arrière-pays, et  
la déformation du trait de côte.*

tales) et celui d'une vue de côte directe. Son aspect changera donc essentiellement comme un paysage suivant le point de vue et l'orientation des plans réfléchissants par rapport à l'émetteur-récepteur. Il y aura donc des **ombres portées** et des **lacunes** sur des profils d'inclinaison défectueuse ou faible.

**Le trait de côte.** — La ligne de séparation entre une côte escarpée et la mer qui reflète sans re-rayonner vers l'émetteur apparaît sur l'écran, sous la forme d'échos plus ou moins

continus et constants suivant la nature et l'escarpement de la côte, par rapport à l'incidence sensiblement horizontale du faisceau radar. Pour une côte dentelée, il y aura des affaiblissements, des renforcements et même des lacunes, si les rivages sont bas et de faible pente. Les phénomènes d'écran et d'ombre portée sont identiques à ceux qui interviennent dans la vue directe suivant la position du point de vue.

Il faudra se garder de tirer des certitudes précises de la



*Photo 5. — Radar L. R. de 3 cm. L'anse de Bertheaume.  
On peut remarquer la fidélité du trait de côte.*

mesure des distances au radar sur un écho provenant de l'arrière-pays, car on ne sait en quel point de la pente moyenne de la colline ou de la montagne, s'est formé cet écho.

Enfin, si l'ouverture du faisceau est très marquée dans le plan horizontal, ce qui se produit avec des longueurs d'ondes supérieures à 3 cm. si l'antenne n'est pas très développée, les profils extrêmes en azimut ne seront pas fidèles en général. L'écran prend une physionomie « en coup de pinceau » qui défigure les profils des caps et des îles et fausse les mesures de direction. Or, c'est l'image du trait de côte, plus fidèle avec le radar de 3 cm., qui permet l'identification par comparaison avec la carte (photo 5).

**Le relief.** — Le relief apparaît moins nettement sur les écrans de radar d'avions dont l'axe du faisceau se rapproche de la verticale. Des lignes continues de relief sont cependant repérables lorsque la face des accidents de terrain est orientée normalement à la direction du radar du navire. Tout se passe un peu comme si l'écran présentait l'image d'un modèle réduit du paysage éclairé par une source située dans le même plan horizontal, au centre de l'écran. Il y aura, avant tout, de larges zones obscures lorsque la pente de l'arrière-pays sera assez faible pour détourner de l'émetteur le renvoi du faisceau réfléchi. Enfin, si la « rugosité » de la végétation ordinaire est très satisfaisante aux longueurs d'onde inférieures à 3 cm., elle est bien moindre que celle des bois ou des rochers aux longueurs d'onde de 10 cm.

**Les constructions.** — Malgré leur profil vertical, les agglomérations construites seront d'une identification assez décevante en raison de l'étroitesse de leurs pinceaux de re-rayonnement dans les direction privilégiées. Il y aura ainsi de fortes fluctuations d'intensités avec la position du point de vue : les lignes de murs ou de bâtiments parallèles pourront cependant ressortir si l'on diminue suffisamment le « gain ».

La pratique d'un pilotage sans visibilité imposerait l'identification facile des amers ou des marques caractéristiques situées en bordure de côte. Malheureusement, ces amers ressortent beaucoup moins sur la côte, qu'au milieu de la zone obscure formée par une mer calme.

Les estuaires, les routes parallèles à la côte, les lacs seront apparents en noir sur fond clair et les constructions réfléchissantes telles que les digues et les quais s'identifient par

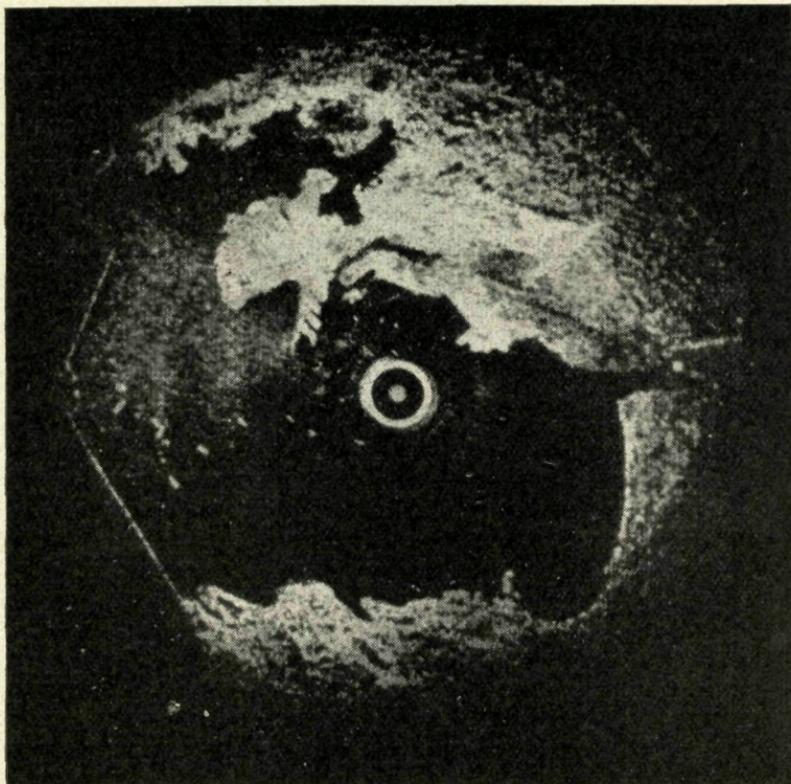


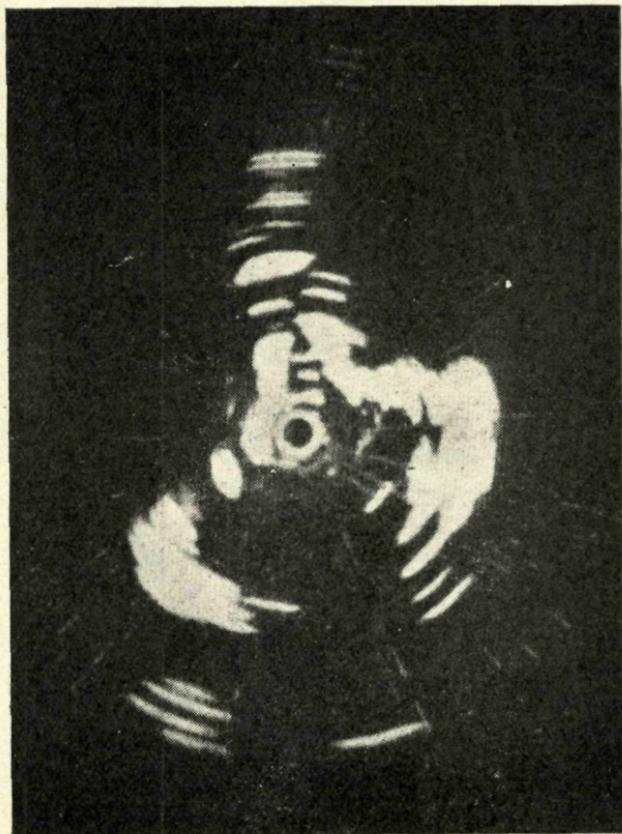
Photo 6. — Radar H s Colon = 1 cm, 25. Baie de Colas (Panama).

des taches claires de forme géométrique, surtout sur le radar à axe vertical des avions. Dans le radar de surface à axe horizontal, les surfaces verticales des falaises, des digues, des grands navires admettront toujours des incidences privilégiées. Au cours d'un rapide balayage horizontal, l'écho subira un effet de renforcement au passage du pinceau normal, ainsi qu'il en est — quoique en mouvement inversé — d'une vitre que l'on déplace à la lumière. L'identification sera donc facilitée en suivant ce balayage avec le gain minimum et en arrêtant le balayage de l'horizon sur la position de reflet maximum (photo 6).

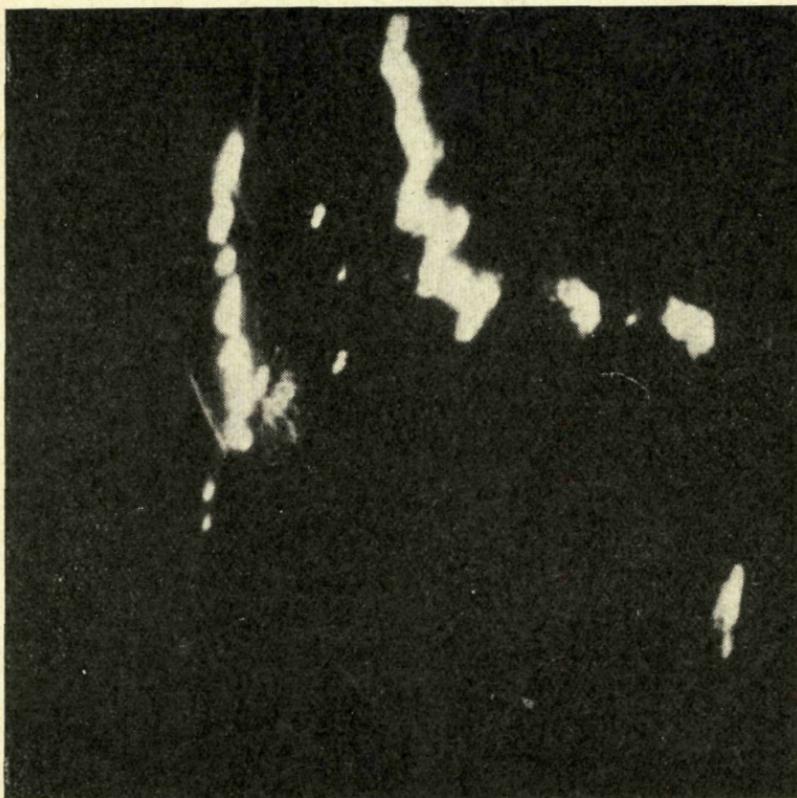
**Procédé de reconnaissance du « paysage radar ».** — Il existe pour atteindre ce but deux procédés, la comparaison

et la **superposition**. Le premier système consiste à comparer l'aspect de l'écran à des photographies de l'écran radar prises en des points différents des grands axes d'atterrissage. Si l'on dispose de ces «  **carnets de détection**  », on peut en user comme des anciennes vues de côte directes, mais alors qu'il n'y a qu'une lumière visuelle, chaque radar doit être accompagné de ses vues de côte radar particulières, appropriées à sa longueur d'onde propre (photos 7 et 7bis).

Le deuxième système est certainement le plus séduisant,



*Photo 7. — Radar S. F. de 10 cm. Entrée du Goulet de Brest. On distingue les 3 balises : Les Fillettes, la Basse-Goudron, la Roche Neugam dans l'axe. (Echelle 8 miles.)*



*Photo 7bis. — Radar L. R. de 3 cm. Même paysage (Echelle 3 miles).*

parce qu'il est continu et parce qu'il permet non seulement l'identification, mais aussi le repérage. Il est applicable aux radars à haute définition de 3 cm parce que l'aspect du trait de côte sur l'écran se rapproche de son image sur la carte; on peut le réaliser, soit en projetant l'écran sur la carte par un système de miroirs (fig. 14), soit en superposant à l'écran une image projetée de la carte.

La faible luminosité de l'écran panoramique a été longtemps un obstacle à une projection satisfaisante de son image sur la carte. Dans certains écrans au chlorure de potassium (fig. 13), type « Dark trace », les échos apparaissent en noir sur fond clair et l'observation de cet écran peut alors se faire

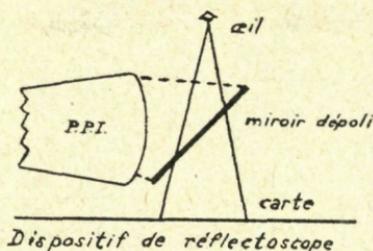


Fig. 14.

en plein jour, en un coin de passerelle, sans l'intervention d'un masque ou d'un cabinet noir.

Le dispositif perfectionné appelé R.C.P. (Radar Chart Projector) consiste à projeter directement par un système optique à échelle variable, un micro-film de la carte intéressée sur l'écran lui-même. Le verre dépoli où se fait la superposition est solidaire du bloc de l'indicateur et l'on peut y pointer au crayon les positions relatives intéressantes. L'installation est complétée par un mécanisme permettant le déplacement continu, soit du micro-film soit de l'écran lui-même, pour tenir compte des mouvements relatifs du navire. Un tel accessoire, dont la complexité n'est pas prohibitive, permet au cours d'une navigation d'atterrissage ou dans la

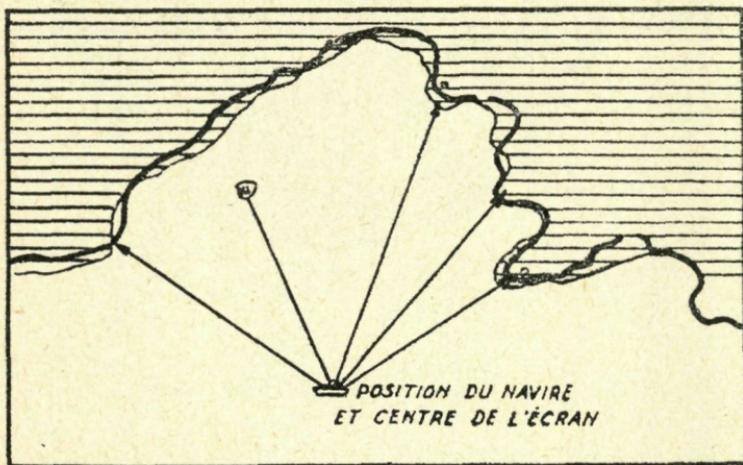


Fig. 15.

# VUES DE CÔTES RADAR (S.F.1)

*Grande échelle 16.000 yards*

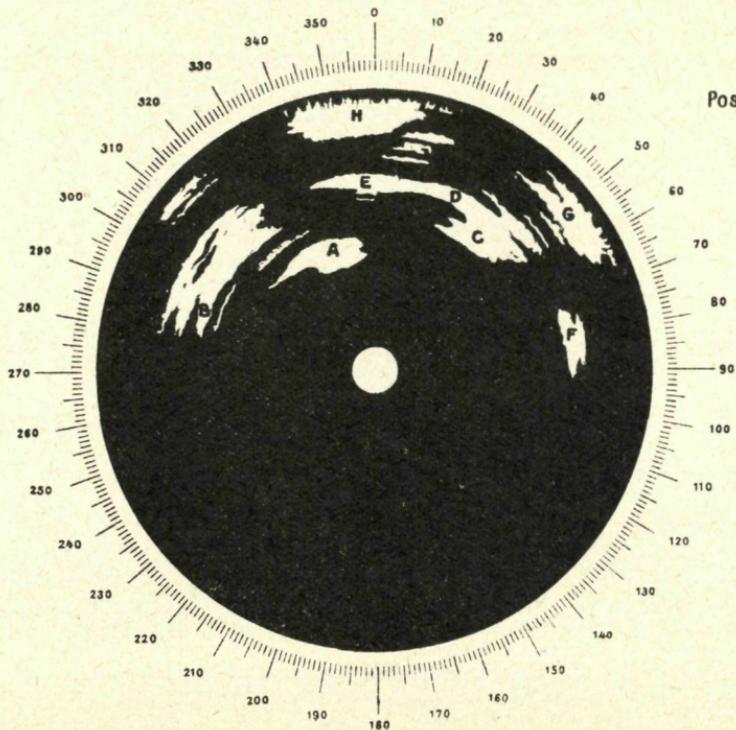


Photo 8.

# CÔTE SUD DE FRANCE

*Axe Central Toulon*

Position *T<sub>5</sub>* : à 158° et 29 milles du  
semaphore de la Croix des Signaux

## LÉGENDE

- A. *Cepet*
- B. *Sicid*
- C. *Colle Noire*
- D. *Carquairane*
- E. *Cap Brun*
- F. *Giens*
- G. *Mont Paradis*
- H. *Faron*

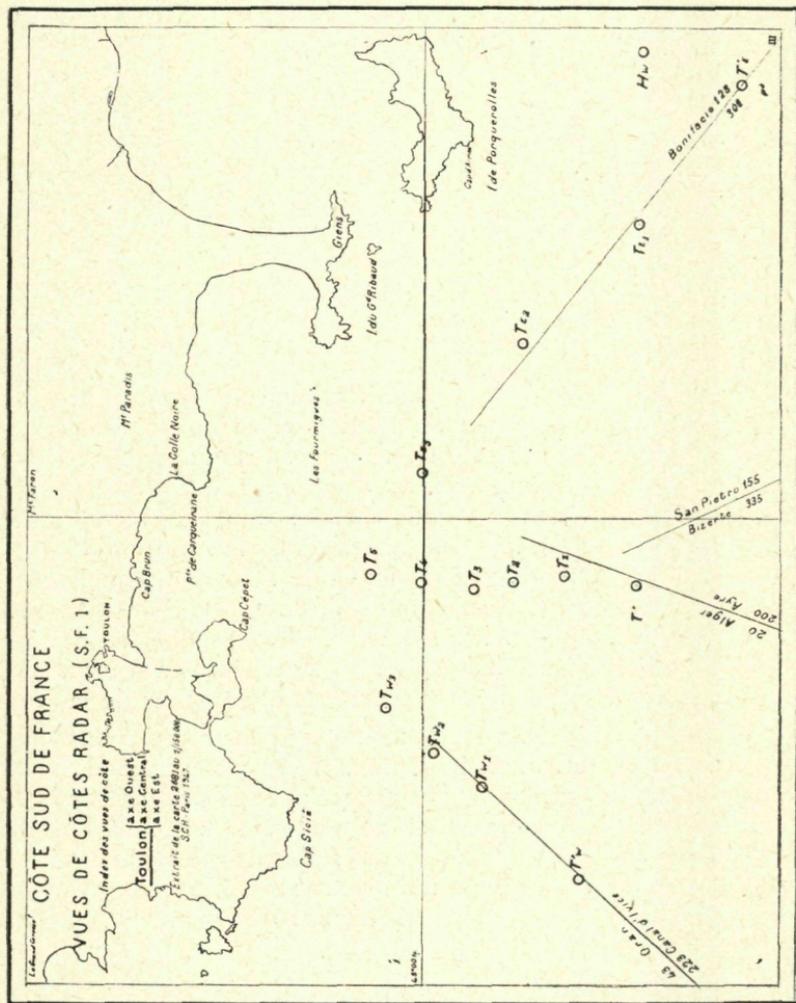


Photo 8bis.

montée d'un chenal, une véritable télévision de la route suivie par le navire avec un enregistrement instantané des positions par rapport aux amers. Si l'on fait coïncider un certain nombre d'amers marqués sur la carte avec leurs échos apparus sur l'écran, le centre de celui-ci représente la position du navire (fig. 5).

**Les vues de côte.** — On ne saurait trop conseiller aux utilisateurs de radars de navigation de ne jamais manquer une occasion, de dresser pour leur usage, et pour l'appareil qu'ils emploient, de brefs croquis ou de prendre des vues photographiques aux points intéressants des axes d'atterrissages qu'ils fréquentent normalement. Les directives qui doivent présider au choix de ces points de prospection peuvent se résumer de la façon suivante :

1<sup>o</sup> Recherche des apparences caractéristiques de l'écran panoramique. Il y a lieu de tenir compte des réactions les plus probables ou les plus éprouvées du relief le plus proche de la côte. Certains accidents de ce relief devront être recherchés, suivis et pris sous certains angles favorables qui procureront sur l'écran des taches de forme originale. Ainsi en est-il de la montagne de la Colle Noire, ou du Bec de l'Aigle sur la côte Sud de France, de la pointe Saint-Mathieu aux abords de Brest. De même, les bouées, balises et tourelles doivent être étudiées et recherchées en ce qu'elles procurent souvent des échos puissants et détachés de la côte.

En un mot, l'aspect **statique** d'un paysage est en premier lieu à considérer, en second lieu, il est nécessaire de tenir compte de la variation de cet aspect avec la position, c'est-à-dire de l'aspect **cinématique** du paysage. Il tombe sous le sens que à grande distance, les faibles échelles de l'écran donneront des apparences de bonne qualité **statique** mais peu changeantes avec le déplacement du navire.

2<sup>o</sup> Garantie d'une large sécurité par temps de visibilité réduite. Les différents « point de vue » devront être choisis à bonne distance des dangers de façon à réserver toutes les possibilités de manœuvre et à déborder largement sur les zones de brouillage dues au « renvoi de la mer ».

3<sup>o</sup> Tenir compte des exigences les plus courantes de la navigation normale c'est-à-dire donner aux intervalles des différents « points de vue » une valeur compatible à la fois

avec la discrimination par variation d'apparence, avec une certaine continuité, et enfin avec les possibilités des autres moyens de repérage par temps de brume, et avec la sonde, en particulier.

**Utilisation.** — En cas d'incertitude d'atterrissage, le processus rationnel de l'utilisation d'une série de vues de côte radar pourra comprendre deux phases : (Photo 8 et 8bis).

a) Identification de l'axe d'atterrissage ou prise de contact sur une station à petite échelle;

b) Progression précise sur l'axe et approche de la côte en établissant une certitude à la suite de coïncidences répétées et caractérisées entre la vue de côte et l'écran radar.

Comme l'on peut s'y attendre, les marées de grande amplitude jouent un certain rôle dans l'aspect des paysages radars. Leur influence s'exerce à la fois sur la distance maximum de détection, sur l'aspect des paysages rapprochés et bien souvent sur l'image du trait de côte, surtout lorsque la pente de cette côte est faible et se prête à de profondes rentrées de la mer.

En conclusion, des « vues de côtes radar » dressées pour un radar de navigation de performances et de caractéristiques moyennes, sont très précieuses et efficaces dans leur utilisation pour un grand nombre d'appareils voisins en ce qui concerne l'identification; elles ne se prêtent pas normalement à la mesure des éléments qui procurent le point.

**Les cartes radars.** — La discussion n'est pas close sur la forme la plus adaptée à donner à la carte. Différents projets ont été entrepris puis mis au point aux Etats-Unis, en Angleterre, sans parvenir à triompher de toutes les critiques.

Les controverses s'exercent plus sur le nombre et la nature des indications à faire figurer sur cette carte, que sur le système de projection que, en matière de navigation de surface, on ne conçoit guère sous une autre forme que celle de la carte marine. Il paraît acquis que ce document ne doit pas être une représentation intermédiaire permettant de passer ensuite à l'exploitation du navigateur.. Ainsi, la carte radar doit obligatoirement porter tous les renseignements d'usage des cartes marines : sondes, feux, dangers, courants, etc... Il s'agirait donc de la surcharger des indications propres à l'usage du radar, c'est-à-dire, d'y faire figurer, en bordure de la côte, et dans le voisinage immédiat, des symboles traduisant la valeur réfléchissante d'un relief particulier, laquelle —

on ne doit pas l'oublier — varie avec le point de vue, et y ajouter encore les positions des « réflecteurs » artificiels les plus notoires.

Enfin, pour des performances très différentes de radars, il faudrait, en fait, une carte pour chaque type. Toutefois, on l'a déjà dit, la fidélité des images obtenues avec les radars de navigation modernes est telle que la confrontation entre le document et la carte est toujours possible.

Avec la longueur d'onde de 3 cm. des ouvertures horizontales de faisceaux inférieures à 2° et des longueurs d'impulsion de  $\frac{1}{4}$  de micro-seconde, les déformations en balayage concentrique sont très réduites, la tache qui représente un but ponctuel est souvent déformée dans le sens radial, ce qui ne rend pas méconnaissable le trait de côte.

**Le type de canevas.** — Le système qui se rapprocherait le plus de l'apparence du panorama radar sur un écran P.P.I., serait une projection appelée *azimutale équidistante* qui, à partir d'un point central conserve les azimuts et les distances. On peut admettre que, s'il s'agit toujours de cartes à grande échelle (de l'ordre de 1/50.000 environ) la position du point central n'est pas absolument impérative, mais on se rend compte alors que pour les faibles distances en jeu, la différence des canevas de l'écran et de la carte n'est pas d'une importance considérable.

Les projections coniques conformes, telles que celles de Lambert, sont évidemment plus fidèles sur un faible espace, mais, la différence n'est pas tellement sensible dans la comparaison avec l'écran panoramique. À la latitude de 50° la distorsion totale d'une projection de Mercator comparée avec un écran P.P.I. balayé sur 80 milles est une fraction 1,3 % du balayage; la distorsion correspondante d'une projection conique est évidemment inférieure au 1/10 de cette valeur, mais sur un balayage de vingt milles, qui représente une honnête portée radar, la distorsion du canevas de Mercator est relativement négligeable.

Aussi, l'on peut accorder les besoins du navigateur avec les exigences de la précision, en adoptant le canevas commun de la carte marine.

**Les indications de la carte.** — Si, la carte radar peut être employée directement pour y reporter les éléments de distance et d'azimut observés sur l'écran, son but final est certainement de servir à la superposition directe à l'aide d'un

procédé optique. C'est donc une carte à grande échelle destinée à être lue dans une lumière atténuée où les marques doivent ressortir nettement.

Un certain nombre de symboles conventionnels désignant les réflecteurs les plus courants, artificiels ou non, ont été récemment adoptés aux Etats-Unis pour figurer sur les cartes spéciales. Ils ont apparu sur un certain nombre de cartes expérimentales, au 1/40.000, de la côte Ouest de Californie, dressées par le service du « Coast and Geodetic Survey » des Etats-Unis, concurremment avec l'emploi de teintes différentes, destinées à caractériser la valeur réfléchissante du terrain (terrain cultivé, bois, roches, falaises, etc...).

L'emploi de teintes différentes pour identifier le relief, préconisé à l'origine par les cartographes Anglais, semble depuis avoir cédé le pas à celui de hachures rayonnantes dans le sens de la pente.

Il semble que les lignes de niveau des contours de relief, qui figurent sur les cartes à grande échelle, du littoral français, éditées par l'Institut Géographique National, sont mieux appropriées, pour représenter les contours réfléchissants des hauteurs, parce qu'elles indiquent directement le **gradient** de la pente qui conditionne les surfaces privilégiées de la réflexion radar. C'est la notion de ce **gradient**, qui permettra de présumer de l'étendue des lignes réfléchissantes du paysage, même si l'on tente de souligner, par un trait plus fort ces contours privilégiés; il faudrait comme on le sait, tenir compte du point de vue : il suffit finalement de considérer comme réfléchissante la direction qui coïncide avec la ligne

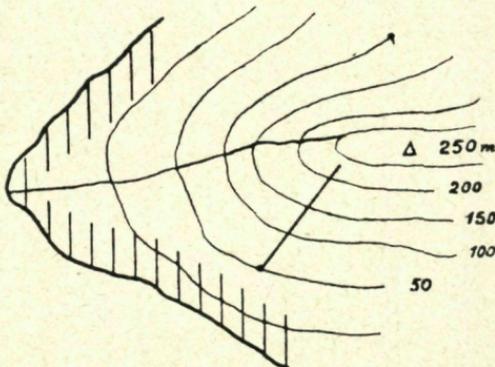


Fig. 16.

de plus grande pente, lorsque le gradient est suffisant (fig 16).

La couleur a cependant été conservée pour faire ressortir le trait de côte : dans la plupart des spécimens des cartes radars parues à ce jour, la ligne de côte a été soulignée en teignant le bord du rivage d'une couleur bleue.

**La carte radar anglaise n° 2649.** — Au cours de l'année 1949, l'Amirauté anglaise a édité, pour essai, une carte n° 2649 destinée à l'exploitation radar, tout en conservant à cette carte les attributs d'une carte de navigation ordinaire. Elle représente, en Manche, une zone comprise entre les parallèles 48°50' N. et 51° N. et les méridiens 1°00' W. et 7°35' W., c'est-à-dire, la partie S. W. de la côte anglaise et la presqu'île du Cotentin, à l'échelle du 1/393.000. De nombreux avis sur son efficacité furent sollicités et une discussion d'experts fut instituée sur les améliorations à apporter à sa présentation.

Les conclusions et les remarques tirées de cette épreuve furent les suivantes :

1° Il y a lieu de souligner à la fois par un trait fort la ligne de côte et la ligne d'altitude de 60 mètres la plus voisine de la mer. Si, en effet, le radar a une portée de 30 milles, il est utile de remarquer que cette élévation correspond à

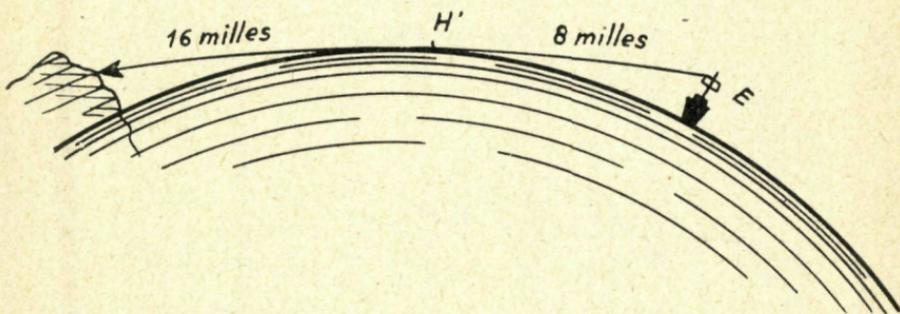


Fig. 17.

un horizon distant de 16 milles et que l'horizon du projecteur du radar est en moyenne à 8 ou 9 milles. Ainsi la ligne des hauteurs de 60 mètres pourra être détectée à la portée maximum (fig. 17).

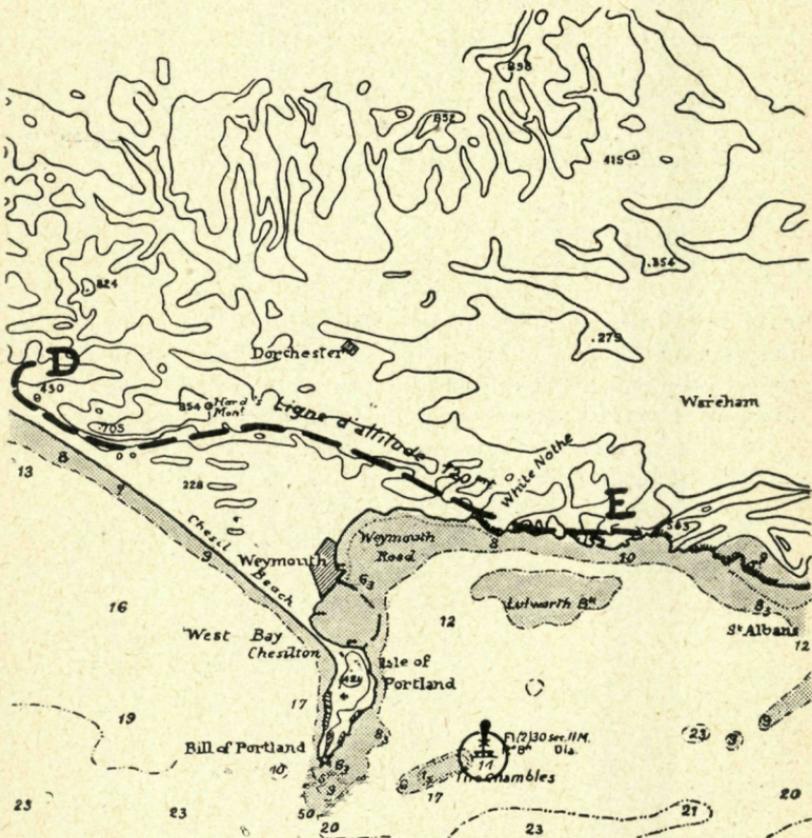
2° Seule l'indication exacte du gradient d'une pente, per-

met à grande distance de reconnaître l'origine d'un écho.

3° A grande distance, le radar tend à souligner les étendues et les limites horizontales du relief, contrairement à l'oeil humain qui accuse les accidents verticaux de ce relief.

4° Il y a lieu de multiplier les indications de réflecteurs particuliers en bordure de côte, sauf si la côte est basse et de faible inclinaison.

5° Les échos de l'arrière-pays ne peuvent être intéressants,



Extrait de la carte radar de l'Amirauté Britannique  
N° 2649

Fig. 18.

qu'à grande distance et leur exploitation est presque toujours sans précision.

6° Il faut, avant tout, éviter de surcharger la carte et faire un choix entre les indications à conserver, tant du point de vue radar, que du point de vue de la navigation en général, et il paraît impossible de conserver les unes et les autres dans leur totalité. En particulier, il n'est pas nécessaire d'indiquer à côté d'un amer radar, sa distance maximum de détection.

On a reproduit, ci contre, une faible portion de la carte radar n° 2649 représentant la Baie de Portland près de Weymouth. On peut se rendre compte qu'elle comporte peu d'indications particulières à l'exploitation radar. Les fonds inférieurs à 10 brasses sont teintés en bleu, la ligne des hauteurs supérieures à 120 mètres a été soulignée par un fort trait tireté parce qu'il représente la prolongation des lignes de falaises bordant la côte méridionale de l'Angleterre (Carte fig. 18).

En résumé l'établissement d'une carte vraiment efficace pour l'exploitation radar ne pourrait se faire, qu'à la suite d'une longue période d'observations directes qui seul permettrait de déterminer les amers réfléchissants, les ombres portées, les lacunes et les renforcements d'échos. Faut de ces documents empiriques le navigateur pourra s'accommoder, dans l'exploitation directe, et même dans la superposition — qui nécessite un écran asservi au Nord vrai, — d'une carte normale portant les lignes de niveau du relief.