

INFLUENCE DU PROGRES DE LA NAVIGATION AERIENNE SUR LA NAVIGATION MARITIME.

Par Giuseppe SIMEON,
Professeur de Navigation à l'Institut Universitario Navale di Napoli

Sommaire.

Les méthodes de navigation initialement appliquées par le marin furent par la suite transposées dans la technique de la navigation aérienne. La nécessité d'obtenir des informations rapides en vol à grande vitesse, les conditions exceptionnelles dans lesquelles se meut l'avion, tout ceci devait conduire à de multiples améliorations. Et finalement les méthodes de navigation maritime devaient tirer leur propre bénéfice de cette évolution dans l'exploitation des équipements et des calculs. Le rapporteur montre comment cette évolution se produisit aussi bien dans le domaine de la navigation à l'estime que dans celui de la navigation astronomique. Pour terminer, il fait apparaître comment les méthodes de radionavigation, qui trouvèrent une application immédiate en aéronautique, devaient se montrer également d'une utilité appréciable à bord des navires.

Samenvatting.

De navigatiemethodes oorspronkelijk door de zeeman toegepast werden later in de luchtvaarttechniek overgebracht. De noodzakelijkheid hier vlugge informaties te bekomen bij het vliegen op grote snelheid, de uitzonderlijke condities waarin het vliegtuig zich beweegt, dit alles moest tot menigvuldige verbeteringen leiden. En ten slotte zouden de zeevaartmethodes ook hun voordeel hieruit trekken zowel op het gebied der navigatie op de gissing als op dit der astronomische navigatie. Om te eindigen, laat de verslaggever uitkomen hoe de radionavigatiemethodes die een onmiddellijke toepassing vonden bij de luchtvaart later ook een niet te verwaarlozen nut moesten opleveren aan boord der schepen.

Summary.

The navigation methods initially applied by the seafarer were afterwards transposed in the technics of airnavigation.

The necessity to get here rapid informations while flying at high speed, the exceptional conditions in which moves the plane, all this must lead to various technical improvements. And finally the maritime navigation methods took their own benefits of this evolution in the use of fittings and calculations. The lecturer points out how this evolutions came forward as well regarding to the gissing navigation as to the astronomical one. And to end he makes evident how the methods of radionavigation who got an immediate application on aircrafts appeared to be also of an appreciable utility on board of ships.

Si l'on jette une coup d'œil rétrospectif sur les débuts de la navigation aérienne, débuts qui remontent au commencement de ce siècle et qui vont jusque après la première guerre mondiale, on s'aperçoit que la navigation à l'estime, la seule qui pouvait être employée alors, fut transposée telle quelle du navire à bord des aëromobiles et que l'on transféra avec elle l'instrument sur lequel elle se base c'est-à-dire le compas magnétique. Mais on ne tarda pas à constater, pour les raisons que nous détaillerons plus avant et qui sont dues à la construction particulière du compas de marine, que ce dernier ne répondait pas aux conditions du vol ce qui fit naître, chez les pilotes, la conviction erronée qu'il était impossible de naviguer au compas.

Plus tard, l'autonomie des aëromobiles augmentant, on appliqua à la navigation aérienne les méthodes de la navigation astronomique. Ici encore les premiers instruments pour mesurer la hauteur des astres rappellent de très près le sextant marin.

Puis, après la réalisation d'un système convenable de protection des moteurs, on installa à bord des aëromobiles le radiogoniomètre qui, à l'époque, constituait pour la navigation maritime l'une des conquêtes les plus intéressantes et les plus avancées de la science moderne.

De ce que l'on vient de dire il résulte, de toute évidence, et il ne pouvait en être autrement, que c'est chez l'homme de mer que l'aviateur a puisé les règles de l'art de naviguer. On doit pourtant reconnaître que la navigation aérienne a eu, a et aura encore une influence bienfaisante sur la navigation maritime. C'est ce que nous tâcherons de mettre en

évidence au cours de cet exposé où l'on considère d'abord la navigation à l'estime, puis la navigation astronomique et, enfin, la radionavigation.

* * *

Le progrès de la navigation aérienne est déterminé par les plus grandes exigences que celle-ci pose, exigences dues au milieu exceptionnel dans lequel opère l'aviateur, aux conditions inconstantes du moyen par lequel il se déplace et à la grande vitesse de l'aéromobile. Les données nécessaires à la conduite de la navigation doivent être rapidement recueillies et élaborées; les instruments dont on se sert doivent être d'une construction appropriée aux conditions du vol, d'une précision suffisante et d'une lecture aisée.

Dans la navigation à l'estime, ainsi que nous le disions plus haut, l'instrument fondamental employé est le compas magnétique, le seul possible à bord des aéromobiles, où l'on ne peut évidemment pas installer le compas gyroscopique qui, pour les navires, présente de sensibles avantages sur le compas magnétique. Il y a quantité de compas pour aéromobiles : depuis les compas ordinaires jusqu'aux télécompas, depuis les compas électriques aux compas gyromagnétiques, depuis les compas à induction jusqu'à ceux à rayons cathodiques, mais tous sont essentiellement basés sur l'action du champ magnétique terrestre.

Si l'on ne considère que les compas ordinaires, qui dans leurs parties constituantes sont pareils aux compas de marine, il faut remarquer quelques détails de construction qui les différencient nettement de ces derniers. Considérant que l'aéromobile est soumis à des vibrations continuelles dont la transmission aux appareils de bord n'est guère opportune, il convient, pour mieux combattre l'effet perturbateur de ces vibrations que dans les compas ordinaires d'aviation on intervertisse les positions du pivot et de la chape par rapport au compas de marine. Et effectivement, dans les compas de marine le pivot est porté par la cuvette et la chape par l'équipage magnétique formé par l'ensemble des aiguilles, tandis que dans les compas ordinaires d'aviation on a la disposition inverse. Pour expliquer cette différence dans la disposition il suffit de tenir compte que dans les compas d'aviation le rayon du fond de la chape est presque quatre

fois plus grand que le rayon relatif à la pointe de pivot et que la différence entre les deux rayons est de beaucoup supérieure à l'amplitude maximum, égale à un peu plus de $1/10$ de millimètre, d'une seule vibration capable de déranger la position d'équilibre de l'équipage magnétique. Donc, la chape qui vibre parce qu'elle est portée par la cuvette, peut glisser légèrement sous la pointe du pivot sans que celui-ci aille heurter les parois de la chape.

Lorsque l'amplitude des vibrations dépasse une certaine limite de tolérance, les vibrations deviennent anormales et, dans ce cas, elles peuvent produire des effets de rotation sur le pivot et, par conséquent, sur l'équipage magnétique. Si, au contraire, la chape était portée par l'équipage magnétique, comme dans le compas de marine, les vibrations du pivot seraient presque entièrement transmises à l'équipage magnétique qui perdrait sa tranquillité, facteur essentiel dans les compas d'aviation.

Les compas ordinaires de vol, comme d'ailleurs les compas des navires, sont tous à liquide, liquide dont le rôle est d'agir sur l'amortissement d'éventuelles oscillations de l'équipage magnétique. Si l'on compare un de ces compas à un compas à liquide employé en marine, on remarque une différence substantielle. Dans l'un comme dans l'autre compas, l'élément sensible constitue un système pendulaire suspendu librement en un point et qui s'oriente sous l'action combinée du champ magnétique terrestre et de celui créé par les masses ferreuses du bord. Mais dans le compas d'aviation le centre de suspension de l'élément sensible — rose—équipement magnétique — coïncide presque avec le centre de poussée ou centre de gravité de la masse du liquide déplacé. En outre le centre de gravité de l'élément sensible est à une très faible distance du centre de poussée. On réalise cette condition en rendant très léger l'élément sensible qui est dépourvu de tout flotteur, Cette disposition a été particulièrement étudiée en vue de réduire au possible l'effet nuisible des vibrations normales de vol.

Mécaniquement les vibrations se traduisent par des accélérations imprimées à la cuvette du compas et qui engendrent des forces d'inertie appliquées au centre de gravité de l'élément sensible et d'autres forces dues à l'action de la masse liquide environnante sur le liquide déplacé et qui sont appli-

quées au centre de poussée. Si l'on considère une seule accélération, la force d'inertie appliquée au centre de gravité et la force appliquée au centre de poussée peuvent être considérées comme égales et de signe contraire lorsque les deux centres coïncident parce que, dans ce cas, l'élément sensible ne subit aucun déplacement relativement à la cuvette. Si au contraire les deux centres ne coïncident pas, comme dans les compas de marine pourvus d'un flotteur dont le rôle, vu que ces compas sont à fort moment magnétique et de ce fait à élément sensible très lourd, est d'amoinrir le frottement entre pivot et chape, les deux forces, dont question plus haut, donnent lieu à un couple, qui fait s'éloigner l'élément sensible de sa position d'équilibre et qui, par conséquent lui imprime encore un mouvement d'oscillation autour de sa direction d'orientation normale.

Les compas ordinaires d'aviation ont encore la particularité d'être apériodiques. Chez eux, l'élément sensible, déplacé de sa position d'orientation, y retourne sans accomplir un nombre plus ou moins grand d'oscillations mais avec un mouvement pratiquement presque direct.

Comme on le sait, la période d'oscillation T d'un compas liquide est donnée par l'expression :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{4K^2}{-4MHK - R^2}}$$

où K est le moment d'inertie de l'élément sensible autour de l'axe vertical passant par son centre,

M le moment magnétique des aiguilles,

H la force d'orientation,

R le couple résistant du support liquide, très approximativement proportionnel à la vitesse avec laquelle l'élément sensible se meut dans ce liquide.

Dans le compas de vol K est relativement grand, tandis que le dénominateur de la fraction figurant sous le signe de racine est très petit. C'est pourquoi T prend des valeurs remarquables sans qu'il soit nécessaire de réduire la valeur du moment magnétique. C'est pourquoi encore on exploite l'action de freinage du moyen liquide, action qui atteint son maximum lorsque, dans son oscillation, l'élément sensible vient à passer par la direction de la force d'orientation, en

munissant l'équipage magnétique de fils très minces disposés radialement.

De la discussion que l'on vient de faire on peut conclure que les compas magnétiques d'aviation ordinaires possèdent dans une mesure tout à fait satisfaisante les deux qualités essentielles de sensibilité et de tranquillité.

Déjà on a transposé quelques détails constructifs de ces derniers compas aux compas de marine. Et quelques compas de ce genre ont été montés, avec des résultats satisfaisants, sur des navires très rapides où l'effet perturbateur des vibrations sur un compas normal devient important et nuisible. Nous croyons même qu'il faudrait employer sur tous les navires le compas d'aviation à lecture horizontale parce que, étant donné la légèreté de l'élément sensible et la qualité d'être apériodiques, ces compas n'ont pas besoin d'un système d'aiguilles à fort moment magnétique. Par conséquent, l'effet nuisible de l'induction des aiguilles sur les compensateurs de la déviation quadrantale se réduit sensiblement ce qui donne le grand avantage de pouvoir obtenir une compensation presque stable de la dite déviation, valable pour tous les endroits navigables de la terre et nécessaire sur les navires marchands qui font de grands déplacements en latitude.

A propos de l'emploi du compas magnétique ordinaire à bord des aéromobiles et des navires, il convient de remarquer que, à bord des navires, le compas est le seul instrument que l'on consulte pour se diriger, tandis que sur les aéromobiles le compas n'est considéré comme un instrument de direction que si ses indications sont contrôlées par des instruments qui, par rapport à lui, sont plus rapides et plus aptes, tels que l'indicateur de virage et l'indicateur de direction gyroscopique ou directionnel gyroscopique. Cela se justifie parce que l'élément sensible, suspendu pendulairement, se ressent des accélérations en accostage, qui sont les plus fréquentes et qui, vu la haute vitesse de l'aéromobile, sont d'un ordre de grandeur bien supérieur à celles qu'on peut avoir sur un navire. Il s'ensuit que l'élément sensible peut facilement sortir de sa position horizontale, subissant ainsi l'effet des forces verticales du champ magnétique terrestre et du champ magnétique du bord, et le compas donne alors

des déviations instantanées qui faussent beaucoup la valeur du cap indiqué.

C'est précisément dans le but de faire du compas l'instrument unique pour se diriger en vol qu'on a réalisé les compas gyromagnétiques et les compas à induction magnétique terrestre. Ces instruments portent dans leur corps un gyroscope qui stabilise horizontalement ou en direction l'élément sensible. Le compas peut ainsi en toute circonstance donner le cap réel que suit l'aéromobile. Mais ces compas ne présentent pas des avantages réels si on les emploie sur les navires.

Tandis que pour les navires il y a des zones défendues à la navigation — en pratique on considère une latitude navigable ne dépassant pas 60° ou 65° — les aéromobiles peuvent aller n'importe où. La possibilité d'abrégier sensiblement la durée du vol dans les parcours entre points appartenant à l'hémisphère nord placés à des latitudes relatives élevées, a donné une grande importance à la région polaire arctique que l'on a déjà souventes fois survolée.

La conduite de la navigation dans cette région se fait selon la méthode suivie par l'Aviation des Etats-Unis, laquelle ne recourt plus guère au compas magnétique — dont le fonctionnement est précaire comme, du reste, celui du compas gyroskopique — mais qui emploie le directionnel gyroskopique et contrôle le cap à l'aide de l'astrocompas.

Dans une de nos études, parue en 1939, nous avons démontré que si l'on se dirige à l'aide d'un directionnel gyroskopique — qui n'est, somme toute, qu'un gyroscope tout à fait libre appliquant le principe de l'inertie ou rigidité gyroskopique — et s'il n'est pas désorienté par les frottements du système, on parcourt sur la surface terrestre une courbe de chasse. Si l'on considère que la précession apparente du gyroscope, due à la rotation terrestre, est fonction du sinus de la latitude, et que les frottements du système donnent lieu à une précession qui dans un directionnel gyroskopique à fonctionnement électrique peut être considérée comme constante, dans la région polaire qui s'étend entre 80° et 90° de latitude, le directionnel gyroskopique sera affecté par une précession totale presque constante, c'est-à-dire que la direction de référence, qui est l'axe du rotor, varie uniformément dans le temps, si dans la zone la convergence des méridiens est négligeable.

En cette hypothèse et si l'on considère l'axe du rotor initialement dirigé selon le méridien du point de départ, la trajectoire suivie en se guidant au moyen d'un directionnel gyroscopique appartient sur la sphère à une courbe fermée, courbe qui sur le plan devient un cercle à grand rayon de courbure.

Dans une étude (qui est en train de paraître) sur l'utilisation du directionnel gyroscopique comme instrument de navigation à l'estime nous avons trouvé que les variations de la latitude $\Delta\varphi$ et de chemin μ , subies par le mobile sur lequel est installé le directionnel, sont données respectivement par

$$\Delta\varphi = \frac{V}{\omega} [\sin(\alpha_0 + \omega t) - \sin \alpha_0]$$

$$\mu = \frac{V}{\omega} [\cos \alpha_0 - \cos(\alpha_0 + \omega t)]$$

tandis que le changement en longitude $\Delta\lambda$ s'obtient par l'intégration de l'expression différentielle suivante :

$$d\lambda = V \sec \left\{ \varphi_0 + \frac{V}{\omega} [\sin(\alpha_0 + \omega t) - \sin \alpha_0] \right\} \sin(\alpha_0 + \omega t) dt$$

qui peut être exécutée par séries. Dans les relations que nous venons d'indiquer ci-dessus, V est la vitesse du mobile, α_0 l'angle d'orientation de son axe longitudinal avec le méridien de départ, ω la vitesse constante de précession du directionnel, t le temps compté à partir de l'instant du départ, φ_0 la latitude de départ.

Les variations $\Delta\varphi$, μ , $\Delta\lambda$ donnent les expressions connues en navigation loxodromique dans le cas limite de $\omega = 0$.

La méthode que nous avons conseillée peut être utilisée à n'importe quelle latitude, tant sur les aéro-mobiles que sur les navires, en ayant cependant soin de limiter convenablement le parcours entre le point de départ et le point d'arrivée, de façon qu'entre les deux extrémités de ce parcours on puisse considérer comme valable la condition de la précession constante du gyroscope.

Pour la résolution graphique des problèmes de navigation à l'estime, ainsi que de tous les autres qui se présentent géné-

ralement en navigation, on n'éprouve pas le besoin, en mer, de se servir de la carte conique sécante isogone de Lambert, laquelle, en navigation aérienne, est aujourd'hui considérée comme fondamentale. Cette carte, qui rectifie les orthodromies avec une grande approximation, a été récemment introduite dans la Marine des Etats-Unis.

* * *

C'est en navigation astronomique que l'influence du progrès de la navigation aérienne sur la navigation maritime est de toute évidence.

La nécessité de résoudre en vol le problème de la droite de hauteur avec toute la précision voulue mais aussi dans le plus bref délai possible, vu la remarquable vitesse de l'aéromobile qui transporte rapidement l'observateur à une grande distance du point où s'effectue la mesure de la hauteur d'un astre, a conseillé des simplifications dans les calculs, simplifications qui sont aujourd'hui adoptées aussi dans la pratique de la navigation maritime.

Pour la détermination des éléments de la droite de hauteur il est indispensable de connaître l'angle horaire et la déclinaison de l'astre observé et la latitude estimée. On a cherché, avant tout, à abrégier autant que possible le calcul de l'angle horaire.

On ne pouvait atteindre une certaine simplification et une plus grande sûreté du calcul de l'angle horaire qu'en procédant de l'une des trois manières ci-après :

1^o) En insérant dans les Ephémérides l'heure sidérale de Greenwich ou angle horaire du point γ à 0 h. de Greenwich pour chaque jour de l'année avec la valeur de la coascension ou, si l'on veut, du supplément à 360 degrés de l'ascension droite de tous les astres observables (Soleil, Lune, planètes et étoiles). On devait donner ce dernier élément, selon l'astre dont il s'agissait, à intervalles déterminés : toutes les deux heures ou plus tôt pour le Soleil et pour la Lune; chaque jour pour les planètes et chaque mois, ou une seule valeur pour toute l'année, quand il s'agit des étoiles. Or, s'il y avait l'avantage de sommer toujours à l'angle horaire du point γ à Greenwich la coascension de l'astre observé, à cause des interpolations qu'il fallait faire pour la recherche de l'angle horaire du point γ et la coascension correspondante à l'heure

moyenne civile de Greenwich de l'observation, le calcul n'en devenait cependant pas plus simple que par la méthode classique.

2^o) En reportant dans les Ephémérides, pour tous les astres, toujours à des intervalles déterminés de temps moyen civil de Greenwich, la somme de l'ascension droite du Soleil moyen et de la coascension de l'astre, avec l'avantage, ici encore, de sommer toujours à l'angle horaire de Soleil moyen à Greenwich, obtenu de l'heure moyenne civile de Greenwich, la somme dont question plus haut qui, étant la seule valeur à tirer des Ephémérides, demandait une seule interpolation.

3^o) En cataloguant dans les Ephémérides, à des intervalles déterminés de temps moyen civil de Greenwich, les angles horaires, rapportés à Greenwich, de tous les astres, angles qui devaient pourtant être interpolés pour l'heure moyenne civile de Greenwich de l'observation.

C'est la troisième manière qui fut immédiatement jugée la plus convenable, parce qu'elle n'exigeait pas d'autres opération que l'interpolation de l'angle horaire de l'astre observé. Et c'est à cette troisième manière que se conformèrent les Ephémérides Aéronautiques compilées la première fois en 1933 par l'Observatoire Naval des Etats-Unis.

Plus tard, et dans le but d'obtenir une sensible réduction du nombre des pages, on préféra, toujours dans les Ephémérides américaines, la troisième manière pour les astres du système solaire (Soleil, Lune et planètes) et la première pour les étoiles. Cette adaptation est encore préférée dans les dites Ephémérides, et depuis presque un an elle est aussi adoptée par les Ephémérides Nautiques éditées par le même Observatoire Naval des Etats-Unis. La différence entre les deux types d'Ephémérides ne réside que dans le pas tabulaire de temps moyen de Greenwich par lequel on fournit les éléments.

A partir de 1952, ainsi qu'on l'a annoncé dans l'édition de cette année, les Ephémérides Nautiques Anglaises de Brown, très connues et très répandues, se conformeront elles-mêmes aux Ephémérides Américaines et aux Ephémérides Aéronautiques Anglaises, en usage, depuis longtemps, dans l'Aviation du Royaume-Uni.

Pendant la dernière guerre mondiale, les Ephémérides Nautiques Japonaises se sont conformées, pour tous les astres,

à la deuxième manière, convenable elle aussi parce qu'elle n'exige, pour le calcul de l'angle horaire, que la connaissance d'un seul élément.

En Italie, dès 1940, l'Institut Hydrographique de la Marine Militaire proposa de modifier dans le sens indiqué plus haut les Ephémérides Nautiques en usage à cette époque; mais à cause de la guerre, les choses en restèrent là. Les mêmes propositions ont été faites en 1946, mais elles ne se sont pas encore réalisées; on espère pourtant que cela se fera dans quelques années.

Les mesureurs de hauteur en vol, à la différence du sextant marin, portent dans leur corps le dispositif qui détermine le plan horizontal passant par l'œil de l'observateur. Cela donne lieu à une précision moins rigoureuse dans la mesure de la hauteur en comparaison de celle qu'on peut obtenir par le sextant marin, étant donné que ce dispositif se ressent des accélérations toujours présentes en vol.

Il faut cependant souligner que les mesureurs de hauteur en usage à l'heure actuelle, presque tous à bulle, ont été sensiblement améliorés en y introduisant un médiateur mécanique des hauteurs, donnant la valeur de la moyenne arithmétique d'un grand nombre de hauteurs mesurées pendant un intervalle de temps relativement bref, c'est-à-dire de l'ordre d'une ou de deux minutes.

Ces mesureurs de hauteur sont utiles même en marine, ainsi que quelques expériences l'ont démontré; mais, à notre avis, pour en rendre l'emploi toujours plus efficace, il faudrait donner à la bulle une plus grande sensibilité.

Pour le calcul rapide des éléments de la droite de hauteur en navigation aérienne, on a conseillé de nombreuses solutions, à savoir, des solutions tabulaires, graphiques, mécaniques et graphico-mécaniques. La pratique a démontré que les solutions tabulaires sont les plus avantageuses, et surtout les tables qui donnent directement la hauteur et l'azimut.

Ces tables trouvent présentement un emploi toujours plus large même en navigation maritime et les meilleures, tant par leur précision que parce qu'elles conviennent à toutes les latitudes comprise entre 0° et 90°, sont les H. O. 214 éditées par le Bureau Hydrographique des Etats-Unis et dont on a tiré les H. O. 218, particulièrement indiquées pour la navigation aérienne.

De même en radionavigation, quelques dispositifs et quelques systèmes, qui trouvèrent une application immédiate dans la navigation aérienne, se sont révélés, par la suite, d'une grande utilité pour la navigation maritime.

Dans ce domaine, le progrès a été déterminé par la nécessité de réaliser des appareils radioélectriques, pour la détermination du point, capables de donner une précision meilleure que celle que l'on obtient en ayant recours au radiogoniomètre ou au radiophare à émission tournante, qui sont restés à peu près tels qu'ils étaient quand ils furent introduits, la première fois, dans la navigation.

Les dispositifs et les systèmes modernes de radionavigation, que l'on étudie et expérimente actuellement en vue d'améliorer leurs performances, sont le radar, les systèmes à lieux de position circulaires et hyperboliques, les radiophares radar à réponse, les radiophares à directions équivaux tournants et ceux à comparaison de phase.

A sa naissance, le radar était un moyen de détection de la présence d'aéromobiles. Son principe de fonctionnement est pareil à celui de l'échomètre ou, mieux, de l'échogoniomètre, employé, ce dernier, pour l'exploration sous-marine. La différence entre le radar — qui peut être encore nommé radio-échomètre — et l'échomètre ne réside, à part l'indicateur qui enregistre les échos revenant d'un obstacle, que dans la nature des ondes à impulsions transmises et reçues, lesquelles sont ultrasonores quand il s'agit de l'échomètre et hertziennes à fréquence très haute quand il s'agit du radar.

Bien qu'il y ait quantité d'indicateurs visuels à rayons cathodiques dont peut être muni le radar, le plus propre à l'emploi dans la navigation maritime — parce qu'il donne une vision panoramique très proche de la réalité, même la nuit et par temps de brouillard dans la zone battue par l'antenne — est celui du type P. P. I., qui, pendant la dernière grande guerre, naquit du besoin d'avoir au même instant la vision de plusieurs aéromobiles, ce qui permet d'intercepter les aéromobiles ennemis. Puisque les images visibles au moyen du P. P. I. sont déformées en fonction des caractéristiques d'émission du radar, de la nature de l'obstacle et de l'influence qu'ont sur la propagation les conditions météorologiques, le radar panoramique en usage en marine a été opportunément complété par des cartes spéciales qui donnent

une représentation des images telles qu'on les voit sur l'écran de l'indicateur. A l'aide d'un système de miroirs, ces cartes peuvent être reproduites et orientées sur l'écran même et on peut ainsi fixer, avec la plus grande précision, la position du navire, qui est définie par le centre de l'écran.

Les systèmes de radionavigation à lieux de position circulaires et hyperboliques sont : l'Oboe (système à réponse), le Gee et le Loran (système à synchronisation d'impulsions) et le Decca (système à comparaison de phase). Tous ces systèmes, y compris le radar, sont indistinctement basés sur la vitesse de propagation des radioondes, élément qu'on peut considérer comme plus stable que la direction de propagation.

Le système Oboe, réalisé en Angleterre pour guider les aéromobiles sur la zone à bombarder, utilise un émetteur d'impulsions, installé au sol ou à bord, et un récepteur et retransmetteur de ces mêmes impulsions, installés respectivement à bord et au sol. Il permet d'obtenir la mesure de la distance bord-terre sur l'indicateur à rayons cathodiques uni au récepteur placé dans l'endroit où se trouve l'émetteur. Le lieu de position qui en dérive est un cercle de hauteur, lorsque le point connu à terre est considéré comme occupé par le point subastral et que la distance mesurée, exprimée en milles, correspond à la distance zénithale exprimée en minutes d'arc d'un astre observé. La portée du système dépend de la longueur (ou de la fréquence) des radioondes employées.

Le système Gee, réalisé également en Angleterre, pour guider, aux grandes altitudes, les aéromobiles de bombardement, utilise deux émetteurs d'impulsions synchronisés installés au sol et un récepteur placé à bord auquel est lié l'indicateur à rayons cathodiques. Il donne la possibilité d'obtenir sur ce dernier la mesure de la différence de distance des deux points à terre. C'est de cette mesure que dérive un lieu de position hyperbolique ayant comme foyers les deux points occupés par les deux stations au sol.

Le système Loran, conçu aux Etats-Unis pour la détermination du point du navire, applique substantiellement le même principe que le système Gee, et il fut employé à ses débuts pour la conduite des aéromobiles à grande distance et à n'importe quelle altitude.

Les deux systèmes Gee et Loran se distinguent par la longueur de l'onde de travail, choisie dans la gamme des ondes

ultra-courtes pour le système Gee et des ondes moyennes pour le Loran. Par conséquent la portée des deux systèmes est différente, celle du système Loran est bien plus grande et c'est pourquoi il a trouvé son emploi sur les navires.

Le système Decca, réalisé en Angleterre presque au début de la guerre et mis au point en une année, fut utilisé, à cause de sa grande perfection dans les moyens parcours, pour guider vers les côtes de la Normandie les bateaux des armées alliées destinées à l'invasion de l'Europe. Ce système, qu'on peut considérer comme le plus simple au point de vue de l'emploi, se base somme toute sur la mesure à bord de la différence de phase de deux radioondes continues émises par deux émetteurs installés au sol en des endroits connus, mesure qui est fonction de la différence de distance des deux stations émettrices au navire. Il a une portée plus grande que le Gee et plus petite que le Loran. Les chaînes Decca qui existent actuellement sont celle de la Tamise et la chaîne Danoise, qui n'est entrée en service que depuis peu d'années.

Le lieu de position obtenu par les systèmes qu'on vient de citer est une branche d'hyperbole. Contrairement à ce qu'on a dans le plan, sur la terre considérée sphérique, les deux branches d'une hyperbole sphérique sont deux courbes fermées et précisément deux ellipses sphériques diamétralement opposées. L'hyperbole sphérique s'identifie avec la courbe d'égale différence de hauteur, lorsque les foyers sont occupés non par les deux stations, mais par les positions des points sub-astraux de deux astres. Puisque la tangente à l'hyperbole sphérique en un point quelconque, tangente qui est un arc de grand cercle, jouit de la même propriété que la tangente à l'hyperbole plane, c'est-à-dire qu'elle est bissectrice de l'angle que forment les lignes réunissant le point avec les deux foyers, la tangente aux environs du point s'identifie avec la bissectrice de hauteur.

L'incertitude du point obtenu dans les systèmes de radio-navigation hyperbolique, dépend, pour une même erreur des deux lignes de position, de l'angle sous lequel se coupent les deux branches d'hyperbole, et pratiquement il y aurait tout avantage à réaliser un système dans lequel les lignes de position se couperaient, en toutes circonstances, toujours sous un angle droit. Ce système est techniquement réalisable si l'on combine les systèmes Oboe et Loran. En effet, si l'on

disposait d'un émetteur d'impulsions à bord et de deux stations au sol — dont l'une reçoit les impulsions et les retransmet dans toutes les directions et par conséquent aussi à la seconde station, qui à son tour les renvoie dans toutes les directions — on pourrait, sur l'écran du tube à rayons cathodiques, lié à un récepteur installé également à bord, enregistrer l'instant du départ d'une impulsion et les instants de la réception des impulsions revenant de la première et de la seconde station. Cela permettrait de définir non seulement la différence des distances entre la position du navire et les deux stations, mais encore la somme de ces distances. La différence donne comme lieu de position une branche d'hyperbole et la somme une ellipse. Les coniques sont homofocales et c'est une propriété bien connue des tangentes conduites par le point d'intersection que celles-ci s'entrecoupent à angle droit.

Le radarphare à réponse, dont on se sert en navigation aérienne, mais qui pourrait être avantageusement employé également en navigation maritime, permet, dans les limites de la portée optique, la mesure de la distance et celle du relèvement. Pour la mesure de la distance, le principe est identique à celui du système Oboe, si ce n'est que l'émission impulsive est faite sur des longueurs d'onde choisies dans la gamme des micro-ondes. Pour la mesure du relèvement, on emploie, au contraire, deux antennes de réception qui, rythmiquement commutées, donnent un diagramme de réception à lobe se déplaçant alternativement d'un côté et de l'autre par rapport à la direction du radar répondeur installé au sol. Il s'ensuit que sur l'écran du tube à rayons cathodiques installé à bord on aura deux images des impulsions de retour qui se développeront sur la même amplitude quand l'aéromobile se dirige vers le radar à terre. On a imaginé d'autres types de radar-phares, moins intéressants dans leur emploi en navigation maritime, mais qui permettent de maintenir l'aéromobile avec la plus grande sécurité sur une direction bien arrêtée.

Le radiophare à direction d'équisignaux tournants ou radiophare Consol, réalisé en Allemagne pour la conduite des aéromobiles de bombardement, est un système radiogoniométrique à grande distance de haute précision. Comme il n'exige pas l'installation à bord d'appareils spéciaux, mais simplement d'un récepteur normal et d'un radiogoniomètre

pour enlever l'ambiguïté du secteur où peut se trouver le navire, il est très indiqué pour la navigation maritime. Un plus large emploi de ces radiophares serait même souhaitable, surtout si l'on pense qu'on pourrait aisément réaliser un dispositif automatique de notation des lignes et des points, signaux qui a présent sont comptés par écoute auditive. Les radiophares Consol existant actuellement ne sont que quatre : deux en Espagne (Lugo et Séville) et deux dans le Nord-Europe (Bushmills en Irlande et Stavanger en Norvège).

Le radiophare anglais à comparaison de phase P.O.P.I. est également très utile en navigation maritime à cause de sa grande précision et de sa grande portée. Il semble, pourtant, que cet appareil n'en soit encore qu'à sa phase expérimentale.

Les possibilités futures des nouveaux systèmes de radio-navigation, quant à leur application sur mer et en vol, dépendent avant tout des résultats qu'on pourra tirer des études, commencées depuis longtemps et qu'il conviendra d'approfondir toujours davantage, des phénomènes complexes de propagation des radio-ondes, surtout de celles de la gamme des ondes médio-courtes, courtes, ultra-courtes et des micro-ondes.

* * *

De tout ce qu'on vient d'exposer, on peut conclure que les deux navigations, aérienne et maritime, sont, en somme, soumises aux mêmes préoccupations et elles ne peuvent par conséquent pas s'ignorer réciproquement. Le progrès de l'une peut être bienfaisant pour l'autre comme on l'a vu. L'inépuisable recherche scientifique à laquelle se livre l'homme, inégalement, mettra au service des deux navigations de nouveaux dispositifs rendant toujours plus sûres les voies du ciel et de la mer, artères qui, tout en mettant en communication entre eux les continents et les pays, contribuent à rendre toujours plus solides les liens culturels et amicaux entre les peuples.