

Comment parler aux sous-marins

Pour qu'un sous-marin nucléaire, si peu repérable soit-il, soit pleinement efficace, il faut pouvoir toujours garder le "contact" avec celui-ci. Ne serait-ce que pour lui dire que la guerre a commencé ! Cette évidence théorique ne va pas de soi dans les faits, car les techniques actuelles de liaison radio au sol et en l'air ne sont pas utilisables sous l'eau. Pour remédier à ce handicap, les Américains ont récemment mis au point le système ELF, fonctionnant aussi sous les mers.

■ Aujourd'hui, la super-forteresse volante *Enola Gay*, qui vint survoler Hiroshima, ne serait plus en mesure d'assurer une telle mission : elle serait détectée du plus loin par les radars de surveillance et abattue par des missiles sol-air autoguidés. Il n'est pas même très sûr que les actuels bombardiers à réaction puissent atteindre leur cible, et cela pour les mêmes raisons. La bombe atomique emportée par avion n'est plus considérée comme un facteur de dissuasion imparable.

En principe, les fusées intercontinentales ont pris le relais ; elles sont moins vulnérables à la défense adverse, du moins pour l'instant, mais les missiles antimissiles sont chaque année plus fiables, plus destructeurs et plus précis. Si les fusées à grande portée comptent toujours comme une pièce essentielle de l'arsenal nucléaire, elles ne suffisent pas à elles seules pour assurer la certitude d'une force dissuasive inattaquable.

La riposte la plus dure à parer en cas de conflit total vient finalement, non plus des airs, mais de la mer : c'est le sous-marin lanceur de missiles nucléaires. Les USA et l'URSS en ont toute une flottille ; la France et l'Angleterre en possèdent aussi quelques-uns. C'est dire qu'il ne s'agit pas d'un objet tellement répandu, et la vérité oblige à préciser qu'il revient infiniment plus cher qu'un bombardier ou qu'un silo de lancement enterré sous des mètres de béton.

En contrepartie, le sous-marin a un immense avantage : il est bien caché sous l'eau et la mer est vaste. Quand il est en plongée il n'est pas repérable par les radars des avions ; il est évidemment invisible pour tous les procédés optiques, et il ne peut être détecté que par des moyens

acoustiques. Encore faut-il être là pour entendre le bruit des hélices ou le friselis de l'eau glissant sur la coque. Autant dire que, pour l'instant, il constitue une base de lancement pratiquement non repérable.

Dans un certain sens, c'est donc l'arme de dissuasion absolue contre toute attaque nucléaire et, de ce fait, il est vital pour l'amirauté de pouvoir communiquer à tout moment avec les sous-marins. C'est d'ailleurs là que se situe la faille d'un système qui pourrait constituer l'arme parfaite. Mais la perfection n'est pas de ce monde, et depuis le jour où le premier sous-marin est entré dans l'eau, le problème des liaisons entre la terre et le bâtiment n'a jamais eu de solution techniquement satisfaisante. Le sous-marin habite le monde du silence et par certains côtés, ce silence est bien gênant.

Pour le rompre, les Américains viennent de prendre la décision de mettre en chantier le projet ELF ; il s'agit d'un système très affiné qui devrait permettre aux plus hautes autorités de l'US Navy de contrôler à tout moment leur flottille de sous-marins atomiques porteurs de fusées nucléaires. En fait, c'est la dernière phase d'un débat qui durait depuis des années entre le Département de la défense et les responsables du gouvernement.

Le problème qui se posait, et qui est tout aussi valable en France, vient de ce que seul le président peut décider de la riposte nucléaire ; il faut donc que cette décision puisse être transmise immédiatement au sous-marin, ce qui, dans l'état actuel des techniques, est très difficile. Autant il est simple d'atteindre par radio un avion, où qu'il soit dans le ciel, ou une base de lancement, autant il est peu commode de

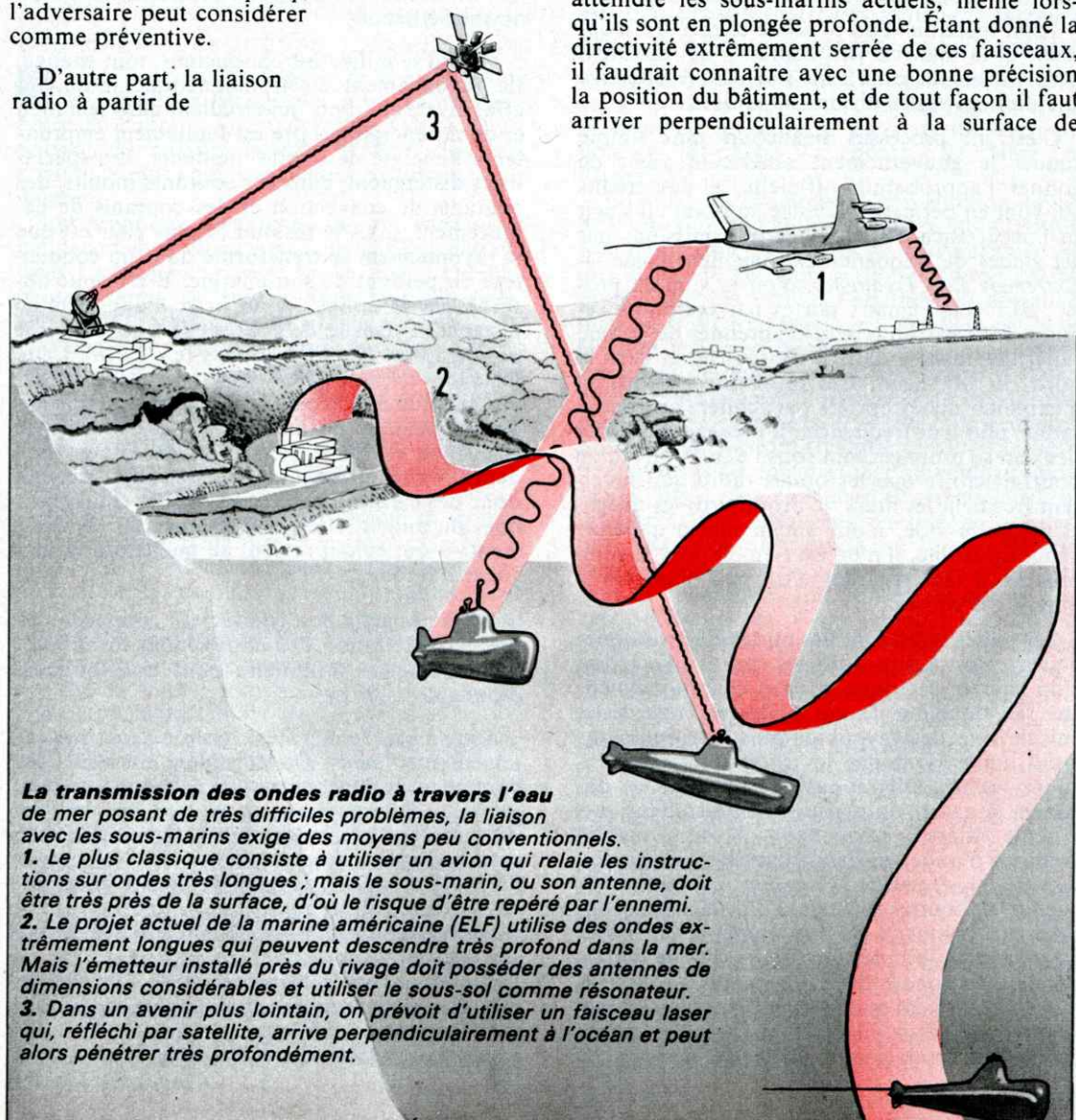
joindre un sous-marin, et cela pour une raison simple : les systèmes habituels de liaison radio ne sont plus valables pour le milieu marin.

Pour l'instant, on a donc recours à une formule batarde qui consiste essentiellement à prendre un avion comme relais. Le sous-marin doit, lui, traîner une bouée, ou une antenne flottante au voisinage de la surface. Les directives sont envoyées à l'avion qui les retransmet en direction de la bouée d'où elles arrivent au sous-marin par un fil téléphonique. Le gros inconvénient du procédé, c'est que le bâtiment vient naviguer près de la surface, et qu'il est donc plus repérable. Il en va bien évidemment de même pour l'antenne qui peut être décelée aussi, soit directement, soit indirectement par le sillage qu'elle laisse à la surface de l'océan. Dans tous les cas, cette détection rend le sous-marin vulnérable à une attaque que l'adversaire peut considérer comme préventive.

D'autre part, la liaison radio à partir de

l'avion doit se faire sur de grandes longueurs d'onde pour que le signal atteigne l'antenne à travers quelques mètres d'eau. Or, sur les grandes ondes, le signal peut être facilement brouillé, ou même interrompu par les effets électromagnétiques à longue distance d'une explosion atomique. De ce fait, il y a plus de vingt ans que les spécialistes des télécommunications s'efforcent de trouver d'autres voies.

Parmi les nombreuses solutions qui ont été envisagées, certaines font dès maintenant l'objet d'études et d'expériences, mais leur mise au point semble encore très lointaine. Ainsi, certains chercheurs ont pensé à utiliser des faisceaux laser de teintes diverses. L'expérience a montré que le bleu-vert peut pénétrer à des profondeurs considérables dans la mer, et un faisceau laser de cette couleur, modulé en fonction du message à transmettre, pourrait facilement atteindre les sous-marins actuels, même lorsqu'ils sont en plongée profonde. Étant donné la directivité extrêmement serrée de ces faisceaux, il faudrait connaître avec une bonne précision la position du bâtiment, et de tout façon il faut arriver perpendiculairement à la surface de



La transmission des ondes radio à travers l'eau de mer posant de très difficiles problèmes, la liaison avec les sous-marins exige des moyens peu conventionnels.

1. Le plus classique consiste à utiliser un avion qui relaie les instructions sur ondes très longues ; mais le sous-marin, ou son antenne, doit être très près de la surface, d'où le risque d'être repéré par l'ennemi.
2. Le projet actuel de la marine américaine (ELF) utilise des ondes extrêmement longues qui peuvent descendre très profond dans la mer. Mais l'émetteur installé près du rivage doit posséder des antennes de dimensions considérables et utiliser le sous-sol comme résonateur.
3. Dans un avenir plus lointain, on prévoit d'utiliser un faisceau laser qui, réfléchi par satellite, arrive perpendiculairement à l'océan et peut alors pénétrer très profondément.

l'eau. Pour cela le faisceau serait, soit lancé par un satellite, soit émis depuis une station au sol et réfléchi ensuite vers l'océan par un satellite.

C'est là un procédé intéressant, difficile à répéter et à brouiller, mais qui nécessite encore de nombreux essais. En fait, sa mise au point risque d'être fort longue, puisque les spécialistes estiment que la méthode ne deviendra pas opérationnelle avant la fin du siècle.

Un autre procédé, plus curieux, fait appel aux courants électriques qui circulent naturellement dans la haute atmosphère. Il s'agit plus précisément de moduler ces courants oscillants à très basse fréquence pour engendrer des signaux radiodétectables sur toute la Terre. Le Pr Anthony Ferraro, de l'université de Pennsylvanie, qui a longuement travaillé sur cette méthode, affirme qu'il a été possible au début de l'année de modifier ce courant ionosphérique au-dessus de la Norvège et d'observer les modifications depuis son lieu de recherche aux USA.

Il s'agit toutefois d'un procédé encore très nouveau, et la maîtrise des courants qui circulent dans l'ionosphère ne sera sans doute effective que dans quelques dizaines d'années.

C'est un processus beaucoup plus simple auquel le gouvernement américain vient de donner l'approbation officielle, et les crédits qui vont en permettre la mise au point ; il s'agit en l'occurrence d'assurer les transmissions par des ondes de fréquence extrêmement basse — *Extremely Low Frequency*, d'où le nom du projet : ELF. Les signaux portés par ces ondes seraient émis par un réseau d'antennes de grande superficie installé dans le Wisconsin et dans le nord du Michigan. Cet ensemble permettrait d'exploiter une propriété particulière aux ondes radio : plus leur fréquence est basse, et plus elles peuvent se propager loin sous l'eau. A priori, on pourrait croire que les ondes radio qui traversent très bien les murs, le brouillard, les nuages et même le vide, n'ont aucun mal à traverser l'eau. En réalité, il n'en est rien, et pour le comprendre il faut regarder d'un peu plus près la nature des choses.

Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques ; c'est-à-dire formées par l'association d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Le domaine de ces ondes est très vaste, puisqu'il va des rayons gamma aux émissions radio, en passant par les radiations de la lumière visible. D'un bout à l'autre de ce domaine, la nature du rayonnement est identique, et seule diffère la fréquence — et donc aussi la longueur d'onde, les deux étant liées par la relation : $f \times l =$ vitesse de la lumière. Les hautes fréquences et courtes longueurs d'onde correspondent aux rayons X ou à la lumière, les basses fréquences et grandes longueurs d'onde correspondent aux ondes des radars, puis à celles des radios. Toutes ces ondes étant de nature électromagnétique, leur interaction avec le milieu qu'elles ont à traverser va dépendre des caracté-

ristiques électriques et magnétiques de ce milieu.

Sans vouloir nous étendre sur la propagation des ondes électromagnétiques, nous pouvons toutefois rappeler que, si elles se propagent à distance quasiment infinie dans le vide, il n'en va pas du tout de même dans la matière. La théorie complète mène à des systèmes d'équations aux dérivées partielles dont la solution est fort délicate. Il n'est pas question d'en discuter ici, même sommairement, à moins de vouloir entamer un traité d'électricité, ce qui nous sortirait du sujet. Nous ne ferons que considérer très brièvement les résultats les plus simples : tout d'abord, l'expérience montre que la propagation d'une onde varie beaucoup selon que le milieu à traverser est isolant ou conducteur. Dans le premier cas, et on parle de diélectriques, la transmission est assez bonne ; ceci explique que la radio puisse être écoutée dans une maison (les murs sont isolants), au milieu d'une forêt, ou même dehors.

Quand le milieu est conducteur, tout change. Le rayonnement électromagnétique induit en effet divers courants qui circulent dans le milieu et dont l'énergie propre est fatalement empruntée à l'énergie de l'onde incidente. Les spécialistes distinguent, dans ces courants induits, des courants de convection et des courants de déplacement, mais le résultat le plus clair est que le rayonnement se transforme dans un conducteur en perdant de son énergie. Il est donc absorbé par le milieu, et au bout d'une certaine distance la densité de courant se trouve divisée par "e", base des logarithmes ($e = 2,718$). Cette distance "d", appelée épaisseur de pénétration, est telle que $d^2 = 2/p.c.f.$, "p" étant la perméabilité magnétique du milieu, "c" sa conductivité électrique et "f" la fréquence de l'onde incidente. Cette épaisseur de pénétration dépend donc des caractéristiques électriques et magnétiques du milieu, et de la fréquence du rayonnement — ou, ce qui revient au même, de sa longueur d'onde.

Dans un métal bon conducteur comme le cuivre, la pénétration des ondes radio est infime : un dixième de millimètre pour une longueur d'onde de 1 000 m.

Dans l'eau de mer, les choses ne sont pas tellement meilleures. On considère souvent l'eau comme un isolant ; cela est sans doute vrai pour de l'eau chimiquement pure, mais ne l'est pas du tout dans le cas des océans. Quantité de sels y sont dissous, ce qui fait de l'eau de mer un électrolyte, ou conducteur de deuxième espèce — par opposition aux métaux, conducteurs de première espèce. En fait, l'eau de mer n'est pas un excellent conducteur comme le cuivre ou l'aluminium, mais la présence de sels dissous entraîne celle de molécules chargées, dites ions, qui assurent quand même le passage du courant. Et pour les ondes radio, l'océan n'est donc

(suite du texte page 172)

LIAISONS SOUS-MARINES

(suite de la page 96)

pas du tout un isolant. Si ses propriétés magnétiques sont faibles, sa conductivité électrique ne l'est pas ; la profondeur de pénétration est donc limitée, et elle dépend, comme nous l'avons vu plus haut, de la longueur d'onde.

Les ondes métriques ne s'enfoncent que de quelques millimètres, les ondes décamétriques que de quelques centimètres. Pour atteindre 50 cm, il faut déjà une longueur d'onde de 1 000 m, qui sur un poste de radio classique se trouve dans la zone des grandes ondes. Or les sous-marins naviguent à plusieurs dizaines de mètres au minimum, et en plongée profonde ils sont à 200 m. Pour arriver à traverser de telles épaisseurs d'eau de mer, il faut quitter les grandes ondes et passer aux très grandes ondes, lesquelles correspondent aux très basses fréquences. On peut en juger facilement en remarquant que, pour pénétrer d'une vingtaine de mètres, il faut une longueur d'onde de 30 000 m, soit 30 km. On est loin de notre émetteur national dont les grandes ondes font à peine 2 km. Et on est tout aussi loin des profondeurs auxquelles un sous-marin est vraiment à l'abri.

A l'heure actuelle, c'est pourtant le seul moyen de rester en communication avec les sous-marins. Ainsi, pour en revenir aux USA, la marine utilise toujours des très grandes ondes. Au point de départ, un émetteur installé sur le rivage envoie les messages à un avion qui reste en permanence à bonne altitude au-dessus de l'océan et retransmet les signaux à la flottille sous-marine. Bien entendu, l'avion (un Hercules C 130) suit un programme de vol aléatoire au-dessus de l'Atlantique pour éviter toute interception. D'autre part, pour pouvoir émettre sur les très grandes ondes, il lui faut traîner derrière lui une antenne longue de 10 km... par chance le ciel est vaste ! Le sous-marin n'est d'ailleurs pas tellement mieux loti. Pour être en mesure de recevoir les ondes très longues, il lui faut croiser à vitesse réduite dans une zone bien définie, et remorquer une bouée submersible pour la réception du message.

Celle-ci, véritable sous-marin miniature, se maintient à une profondeur correspondant à la pénétration des très grandes ondes utilisées, soit une douzaine de mètres sous l'eau. Ce remorquage interdit au bâtiment de naviguer à haute vitesse, de virer de bord très rapidement et de plonger très profond. Il est donc sérieusement limité dans ses possibilités. Dans les périodes où il doit quand même aller vite, par exemple pour rejoindre sa zone de patrouille, le sous-marin doit traîner une antenne dans une sorte de bouée isolante longue de près de 60 m. Entre cette bouée et le bâtiment lui-même, un fil

conducteur, qui sert en même temps de câble de remorquage, s'étire sur plus de 500 m. Grâce à cela, le submersible peut rester à grande profondeur tout en tirant une antenne qui reste proche de la surface.

Mais, malgré toutes les précautions prises, cette antenne, bien qu'immergée, peut être repérée soit par sa masse ou son volume, soit par son sillage. Des avions de surveillance équipés de radars, de détecteurs infrarouges et de détecteurs sonores peuvent y parvenir. C'est pour éviter ce gros inconvénient que le système ELF a été mis en projet. Les essais ont montré qu'un sous-marin tirant une antenne derrière lui, et naviguant à la fois très vite et très profond, peut parfaitement recevoir ces émissions à fréquence extrêmement basse dans toutes les zones où il est destiné à opérer. Le seul ennui du procédé réside dans la quantité d'informations qui peut être apportée en peu de temps sur une fréquence aussi faible ; il faut en effet moduler l'onde porteuse et plus celle-ci est grande, plus le message tient de place en longueur. La vitesse de défilement de l'onde étant constante, le temps pris pour lire le message croît en proportion. En pratique, aucune information un peu compliquée ne peut être transmise dans un temps très bref.

Pour pallier cet ennui, la marine a établi un catalogue de 17 000 messages dont chacun peut être codé en 3 lettres seulement. S'il est nécessaire de tenir de plus longs discours, on peut toujours demander au bâtiment d'envoyer une antenne près de la surface conformément à l'ancien système. Encore faut-il qu'il n'y ait aucun danger à faire cette opération.

Le projet ELF, dans sa forme primitive, fut imaginé par un physicien grec, N. Christofilos. Celui-ci avait remarqué que si une bombe atomique explosait à quelques centaines de kilomètres du sol, à l'endroit où les lignes de force du champ magnétique terrestre se rejoignent, les particules de haute énergie libérées par l'explosion se trouveraient piégées dans le champ ; elles formeraient alors autour du globe une enveloppe de rayonnements capable de rompre les systèmes de défense des missiles. La seule parade à ce risque, pour le physicien grec, consisterait à utiliser des ondes de très basse fréquence qui entreraient en résonance dans une vaste cavité, limitée en haut par l'ionosphère et en bas par le sol. On sait que l'ionosphère, cette couche électrisée qui surplombe l'atmosphère à 70 km d'altitude, réfléchit fort bien les grandes ondes — ce qui permet aux émetteurs de ce type d'être reçus sur tout le pays sans avoir besoin du moindre relais.

La longueur d'onde retenue pour le projet est de 4 000 km ; on est évidemment très au-delà de France-Inter (1,829 km). Mais pour rayonner sur des fréquences aussi basses, il faudrait normalement des antennes de plusieurs centaines

(suite du texte page 174)

LIAISONS SOUS-MARINES

(suite de la page 172)

de kilomètres. La réalisation poserait des problèmes à peu près insolubles, mais en fait on peut tourner la difficulté en utilisant comme composant de l'antenne une partie du sous-sol, à condition que celui-ci convienne. Les recherches géologiques montrèrent que cela était possible dans le cas du soubassement rocheux qui part du Canada et s'étend au sud dans le Wisconsin et le nord du Michigan. Après plusieurs études grandioses mais ruineuses, d'ailleurs arrêtées en 1979, le projet actuel, plus modeste, va relier la première station expérimentale de Clam Lake à la base de Sawyer de l'US Air Force.

A Clam Lake, il y a déjà deux antennes longues de 23 km montées sur des pylônes selon deux axes nord-sud et est-ouest. La seconde station, qui sera montée au nord-ouest à 260 km de la première, comprendra trois antennes, elles aussi enterrées, et longues d'une cinquantaine de kilomètres. Pour la plus grande, elles seront installées le long des routes déjà existantes. Bien sûr, ce projet est très en dessous du dessin initial qui prévoyait 10 000 km d'antennes courant sous le terrain à 1,50 m de profondeur, et alimentées par une centaine d'émetteurs eux aussi enterrés. Par son immense superficie, ce système aurait été à l'épreuve de toute attaque atomique, mais il avait l'inconvénient de dépendre pour son énergie des grandes centrales électriques locales qui, elles, étaient vulnérables.

Le projet actuel réclame beaucoup moins de courant, et les expériences ont prouvé qu'il était tout à fait valable. Ainsi, les essais faits avec une ligne à haute tension de 70 km permettant d'émettre sur une longueur d'onde de 5 000 km ont montré que les signaux étaient parfaitement reçus à 1 500 km de là.

Le nouveau système émettant sur 4 000 km est aussi à l'abri des pulsations électromagnétiques libérées par les explosions atomiques, ce qui n'est pas le cas des liaisons radio utilisant les fréquences habituelles. Qui plus est, les émissions à 75 Hz sont parfaitement reçues sous la couche glaciaire qui couvre l'océan Arctique, chose particulièrement importante pour les sous-marins. On pourra donc les joindre quand ils naviguent sous le pôle Nord qui leur offre, en toutes circonstances, et plus spécialement en temps de guerre, une protection à peu près totale. La riposte nucléaire en cas d'attaque sera donc pratiquement imparable, puisque le sous-marin n'aura plus besoin de venir au ras des flots, où il est repérable, pour recevoir les ordres de mission.

Renaud de La TAILLE ■