

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75



EVOLUTION DES SYSTEMES SONARS

Ingénieur Principal de l'Armement F. LEFAUDEUX

Direction des Constructions et Armes Navales de TOULON
Laboratoire de Détection Sous-Marine du BRUSC

RESUME

On passe en revue les tendances actuelles en matière de conception des systèmes de détection sous-marine, en essayant de dégager les supports théoriques sur lesquels ces développements s'appuient et les domaines de connaissance théorique, technique ou technologique qui sont ou seront critiques pour l'évolution des sonars, dans les prochaines années et dans lesquels des progrès de nos connaissances seront les bienvenus.

SUMMARY

We are giving a brief survey on the present tendencies in sonar system design. We try to put forward the theoretical background on which those designs rely and the specific theoretical, technical or even technological fields which are or will be of paramount importance for the future sonar systems developments and in which some progress would be welcome.



La grande presse se fait parfois l'écho de prétendus progrès spectaculaires dans le domaine de la détection sous-marine. Ainsi, il y a deux ans environ, des propos plus lyriques que techniques, de V. ANDERSON au PUGWASH, amplifiés par la presse ont créé quelques remous. Plus récemment - l'été dernier - l'interprétation, donnée par le journaliste FAROOQ HUSSAIN dans "New Scientist" du 15 août 1974, des conférences sur l'acoustique sous-marine présentées au Huitième Congrès d'Acoustique de LONDRES, tendait à faire croire que l'eau était soudain devenue aussi transparente que l'air.

Que des progrès en portée et en précision des systèmes sonars aient été réalisés ces dernières années n'est pas niable, que d'autres restent possibles dans les années qui viennent est, sinon sûr, du moins espéré ou ce colloque n'aurait pas de raison d'être. Cependant, nous connaissons tous, ici, suffisamment bien les contraintes physiques du milieu marin, pour savoir qu'il ne se laisse pénétrer que lentement, grâce à beaucoup de travail, une longue patience et une grosse dépense d'énergie.

Le milieu est sans discontinuités, il ne saurait guère y en avoir dans l'évolution des performances des systèmes sonars.

FAROOQ HUSSAIN reprochait au Congrès d'Acoustique de LONDRES de s'être beaucoup préoccupé, avec le plus grand sérieux apparent, de la détection des bancs de poissons dans le Chenal de BRISTOL. De nombreuses sessions du présent colloque lui laisseraient sans doute la même impression, telle est en effet la règle du jeu de ce genre de réunion. Moins hypocrite-ment que nos amis anglais, nous avons cependant ici prévu une session clairement consacrée aux systèmes sonars, comme il fallait s'y attendre le nombre de conférenciers inscrits pour cette session n'est pas très élevé ; il serait hâtif d'en conclure qu'aucun effort n'est poursuivi en FRANCE dans ce domaine, et vous êtes un certain nombre, dans cette salle, à être payés pour le savoir.

Etant chargé de la conférence de synthèse, vous attendez sans doute de moi que je me livre à quelques exercices de chiromancie ; c'est effectivement ce que je vais tenter de faire.

L'objectif naturel de toutes les recherches entreprises dans le domaine de la détection sous-marine est, bien entendu, l'augmentation des portées.

On peut citer également comme objectifs souhaitables, l'amélioration de la précision et le perfectionnement des aides à la classification.

L'augmentation des portées ne peut s'obtenir que grâce à une augmentation des gains en rapport signal à bruit des différentes parties du sonar, nous en discuterons ci-dessous ; parallèlement, compte tenu des caractéristiques d'amortissement de l'eau de mer, la tendance vers l'emploi de fréquences de plus en plus basses doit se poursuivre ; enfin, le débit informationnel des sonars, déjà fort élevé, doit continuer à croître. Ceci au plan physique.

Au plan technologique, l'évolution très rapide ces dernières années, en particulier dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, est très difficile à extrapoler, aucun palier n'est, semble-t-il, en vue et on peut espérer que, comme par le passé, les sonaristes trouveront assez aisément sur le marché des solutions technologiques permettant la réalisation de leurs dernières découvertes théoriques.

Reprenons, dans ces hypothèses, les éléments constitutifs d'un sonar.

- Antennes.

Avec le projet CORMORAN, nous sommes sans doute à la borne supérieure des antennes rigides mobiles. L'augmentation des dimensions ne peut s'envisager que dans deux voies :

- les antennes souples pour les systèmes mobiles,
- les antennes immobiles (ce qui ne veut pas dire fixes) pour les antennes rigides.



EVOLUTION DES SYSTEMES SONARS

En dehors des problèmes de traitement abordés plus bas, les antennes posent encore de nombreux problèmes acoustiques et technologiques ; je n'en parlerai pas ici car ne ressortant pas du traitement du signal. Je dirai simplement, parce que les vérités premières doivent être répétées fréquemment, que la qualité de l'antenne est fondamentale pour tout sonar, comme l'oeil est fondamental pour la vue.

- Emission.

Du point de vue puissance, on se rapproche inexorablement des limites imposées par les sources de puissance disponibles à bord des porteurs, même nucléaires, ainsi que des limites imposées par la transmission de cette puissance à l'antenne. Au plan de la technologie, les émetteurs à redresseurs contrôlés conserveront sans doute leur place dans la plupart des applications, les amplificateurs linéaires reprenant pied dans certaines applications spécifiques.

- Traitement d'antenne.

L'effort de recherche poursuivi en FRANCE depuis de nombreuses années dans le domaine des antennes adaptatives, tant actives que passives, doit progressivement aboutir au niveau des applications opérationnelles avec comme support de réalisation, soit les technologies digitales type LSI, soit les dispositifs de type CCD.

Cependant, même dans le domaine théorique, tout n'a probablement pas encore été dit. Si les antennes synthétiques, si prometteuses en radar, ne semblent pas devoir présenter beaucoup d'intérêt en sonar - compte tenu du rapport défavorable entre vitesse de propagation de l'onde et vitesse du porteur, d'autres voies d'évolution sont ouvertes au sonar, en particulier celle des très grandes antennes. Ces très grandes antennes posent des problèmes théoriques ardues, créés essentiellement par la mauvaise cohérence spatiale des champs de signaux et de bruits, mauvaise cohérence créée par l'inhomogénéité (ou turbulence) du milieu et accessoirement par les déformations aléatoires de l'antenne. Un traitement brutal conduit, dans ces conditions, à un gain d'antenne asymptotique à $5 \log n$ alors que ce gain est de $10 \log n$ en

théorie classique. Certains traitements permettent-ils de se rapprocher du $10 \log n$ malgré l'incohérence des champs ? Certaines études faites en astronomie à propos d'interférométrie optique permettent de penser que oui.

L'hypothèse réaliste, comme quoi les cibles lointaines sont ponctuelles, devrait autoriser la mise en oeuvre de traitements adaptatifs efficaces (c'est-à-dire, se rapprochant du $10 \log n$), ceci même en première détection, car il existera très souvent des cibles fortes, angulairement voisines de la direction explorée et permettant la "mise au point" instantanée de l'antenne.

- Filtrage temporel.

Un certain espoir avait été mis, il y a quelques années, dans le filtrage optique, cet espoir a été jusqu'à présent déçu. Les solutions électroniques (essentiellement digitales actuellement), et électroacoustiques ont très nettement accru leur avance et il est douteux que l'optique puisse se présenter comme une alternative attrayante d'ici plusieurs années. Les filtrages temporels adaptatifs sont encore peu utilisés, bien que la théorie existe, au moins partiellement. Il est possible qu'ils se développent pour certaines applications ; cependant, dans l'état actuel de nos connaissances, les gains à en attendre semblent en moyenne marginaux.

- Normalisation.

Il s'agit là d'un baptême nouveau du vénérable C A G. De nouveaux "estimateurs de bruit seul" ont été imaginés ces dernières années. Ils demandent tous - qui s'en étonnerait - une puissance de calcul nettement supérieure à celle nécessaire au C A G classique, certains font intervenir des tests logiques, d'où l'utilisation de technologies informatiques pour leur réalisation. Leur emploi devrait s'étendre à tous les nouveaux sonars.

Sur le plan théorique, la situation est actuellement un peu bloquée, car, si nous savons pertinemment que nos bruits ne sont pas station-

naires, nous sommes, par contre, bien en mal de les décrire de façon suffisamment précise par un ou des modèles utilisables par les théoriciens.

Or, si l'hypothèse bruit stationnaire est claire, la non stationnarité est une notion floue. Les algorithmes non paramétriques constituent une issue possible. Certaines études actuelles sont à cet égard encourageantes.

- Traitement des informations.

Le débit informationnel des sonars actuellement en service ou en cours de développement, celui, encore plus grand, des sonars futurs, exige un premier tri automatique des informations du sonar, avant présentation à l'opérateur ou aux opérateurs, ce premier tri doit être plus ou moins poussé selon les circonstances. Dans ce domaine, la pratique est quelque peu en avance sur la théorie. La seule base théorique solide est celle des tests séquentiels de WALD, mais elle suppose, dans sa forme la plus élémentaire, des tirages successifs de la même fonction aléatoire ; or, si nous pouvons déjà avoir quelques scrupules à l'admettre pour le bruit (non stationnaire !), il est certain que cette hypothèse n'est pas vraie pour le signal (s'il y en a), car le but se déplace en distance et en azimut entre deux tirages (traduire entre deux émissions successives en sonar actif, deux périodes d'intégration ou deux filtrages en sonar passif) et le signal qu'il produit peut s'être notablement modifié (variation d'inclinaison et de vitesse radiale, caractère de filtre aléatoire du milieu).

Je préfère ne pas décrire les algorithmes, au demeurant fort variés, utilisés. Ils feraient frémir tout bon logicien et théoricien, or, je ne voudrais pas me les aliéner.

Disons seulement qu'ils sont les fruits des noces alchimiques des possibilités - et des limitations - de l'informatique avec les intuitions et la pratique des sonaristes expérimentaux. Si ces enfants sont parfois viables, ils n'en restent pas moins du ressort de la tératologie plus que de celui de nos disciplines habituelles.

Ces algorithmes assurent la sélection des "événements" intéressants, c'est-à-dire, susceptibles d'être des buts, leur association dans le temps en "pistes". En général, seules les pistes ayant une probabilité non négligeable de représenter la trajectoire de buts sont présentées pour classification finale aux opérateurs.

Accessoirement, dans un certain sens, mais cependant nécessairement, car elles sont utilisées dans les différents algorithmes de tri et de filtrage des événements et des pistes, des mesures fines des paramètres des buts et des pistes sont effectuées. Ces mesures peuvent être présentées à l'opérateur sous une forme ou une autre en tant que critères de classification, et, s'il s'agit de paramètres cinématiques, transmises directement en aval, sans l'intermédiaire de recopie manuelle, aux systèmes de traitement des données tactiques et éventuellement aux armes (l'utilisation guerrière de ce genre de système restant une hypothèse vraisemblable à ne pas perdre de vue). Dans le domaine des mesures aussi tous les problèmes théoriques ne sont pas résolus, la qualité de nombre d'estimateurs reste à être évaluée, le choix des meilleurs estimateurs - dans des conditions réelles - à faire.

- Classification.

Le problème de la classification se pose, tant en sonar actif, qu'en sonar passif.

Le terme de classification doit d'abord être précisé. En fait, son acception est plus ou moins extensive et la frontière avec le concept d'identification parfois floue.

La dichotomie sous-marin \longleftrightarrow non sous-marin est manifestement du domaine de la classification.

La dichotomie ami \longleftrightarrow ennemi est généralement considérée comme étant du domaine de l'identification.

Le classement des bâtiments de surface en différentes catégories (commerce petit ou gros, guerre petit ou gros, etc...) par un sous-marin



EVOLUTION DES SYSTEMES SONARS

est le plus souvent considéré comme étant de la classification.

On voit que le problème peut, dans certains cas, ne pas être simple.

Il est cependant fondamental, la portée des armes modernes interdisant de plus en plus d'y aller voir de suffisamment près pour étayer la détection par une classification faite par d'autres moyens que le sonar.

Contrairement à une idée trop répandue, l'informatique ne fournit pas une solution mais un moyen. Comment utiliser ce moyen au mieux ? La question reste très largement posée, même si, ici et là, apparaissent des algorithmes non dénués d'efficacité (c'est-à-dire, plus performants que le simple tirage à pile ou face). Jusqu'à présent la théorie de la reconnaissance des formes, parfaite dans des espaces abstraits créés plus ou moins sur mesure, n'a guère osé s'aventurer dans nos espaces concrets prétendus trop vulgaires, mais en fait hérissés d'embûches et de chausse-trappes.

Pas mal d'imagination reste à déployer dans ce domaine, je le reconnais, peu engageant (car il ne suffit pas de chercher pour trouver).

- Identification.

Je cite cette fonction pour mémoire, on le comprendra aisément après ce qui a été dit de la classification.

- Interface système opérateur.

On aborde là un sujet qui est à la frontière du traitement du signal et fait appel à des connaissances complémentaires, ergonomie, psychologie appliquée, etc...

Les problèmes à résoudre dans le cas d'une aide informatique à l'opérateur sont sans doute moins cruciaux que ceux rencontrés antérieurement dans ce domaine en sonar classique. Cependant ils sont nouveaux. En particulier, l'utilisation de l'informatique associée à des consoles graphiques performantes permet d'envisager et de proposer une très grande diversité de types de représentations visuelles parmi lesquelles un choix doit être fait.

Au plan technologique, les applications sonars demandent assez fréquemment un niveau de performance des consoles supérieur à la moyenne, il y a aussi parfois des problèmes de mémoire de masse des images.

L'audio, sur laquelle tout a été dit et redit, reste toujours un moyen important, mais ne paraît pas devoir beaucoup évoluer.

- Fonctions d'assistance aux opérateurs.

Les systèmes sonars sont des systèmes très complexes, travaillant dans un environnement physique complexe et très variable, les situations tactiques sont elles-mêmes très variées. Les sonars sont très généralement conçus de telle sorte que certains de leurs paramètres puissent être ajustés au mieux à la situation extérieure, une telle liberté est dangereuse si on ne fournit pas simultanément aux opérateurs des critères de réglage. Les fonctions d'assistance devront se développer dans les années à venir, une première étape en cours est le tracé de champs sonores et les prédictions de portée dans la réverbération, en fonction des paramètres affichés, mais on est encore loin de solutions globalement satisfaisantes.

Viennent se greffer sur cette question les problèmes de reconfiguration du système en cas d'avaries partielles. On tend en effet, actuellement, à rechercher des organisations de système au moins partiellement redondantes, telles que dans presque tous les cas de première panne, le système garde une partie au moins de ses performances. Il faut alors ipso facto prévoir des aides au choix des solutions de reconfiguration les plus adaptées aux circonstances extérieures. Ce problème, qui ne doit pas être confondu avec celui de la maintenance, n'est encore qu'effleuré.

PROBLEMES GENERAUX DE CONCEPTION DES SYSTEMES SONARS.

On a traité ci-dessus essentiellement de l'évolution fonctionnelle des sonars, en relation avec les progrès du traitement du signal.



Mais le responsable d'un projet de sonar est sollicité par bien d'autres problèmes.

Le premier est celui du choix des paramètres fondamentaux du système dans le sens le plus large : choix entre actif et passif, mobile ou fixe, de coque ou remorqué, etc. . . .

Il va de soi que ce choix n'est pas du ressort exclusif du sonariste, il a cependant à y participer, en particulier en fournissant à la Recherche Opérationnelle des données techniques de performances réalistes, à l'Architecte Naval des données sur les contraintes d'installation, aux Organismes Opérationnels des données sur les contraintes d'emploi tactique, etc. . . .

Le sonariste doit ensuite s'intéresser aux problèmes de fiabilité et de maintenance, éventuellement aux problèmes de reconfiguration rapide du système sonar en cas de panne partielle.

Là aussi l'informatique n'est pas une solution mais un moyen. Son introduction, ainsi que celle des technologies digitales en général, oblige à revoir de fond en comble l'organisation interne du système sonar. D'après discussions ont lieu pour le choix de l'architecture à retenir pour tel ou tel système, on les verra réapparaître dans les années à venir, à propos de presque tous les développements nouveaux, tant que des règles de conduite, suffisamment générales et objet d'un large consensus n'auront pas été trouvées : mais cela ne sera guère possible avant que n'apparaisse une certaine stabilisation (hypothétique) des technologies.

Enfin, et en fait dans le prolongement des discussions sur l'architecture évoquées ci-dessus, un certain effort de réflexion est engagé sur le concept de "sonar modulaire", l'idée, probablement utopique dans ses conséquences extrêmes, étant de définir non seulement des fonctions ou des sous-fonctions communes à toute une gamme de sonars, mais de les développer sous forme d'éléments de construction interchangeables et offrant une liberté d'assemblage suffisante pour réaliser rapidement de nouveaux systèmes ou modifier des systèmes existants

en fonction, soit des progrès de nos connaissances, soit de l'évolution des besoins opérationnels.

CONCLUSION.

Pendant les années 50, un Ingénieur de l'Armement (du Génie Maritime, à l'époque), en service au Laboratoire de Détection Sous-Marine du BRUSC, a quitté le Laboratoire au bout d'un an environ, il s'était en effet convaincu qu'en matière de sonar, tout était dit et qu'aucun progrès n'était plus envisageable. Je ne sais pas si nous avons fait beaucoup de progrès depuis, mais nous sommes, par contre, sûrs que de nombreux progrès dans différents domaines sont encore possibles et même souhaitables. On veut espérer que, compte tenu de l'importance croissante prise par les océans dans le domaine économique et dans celui de la défense nationale, au moins une partie d'entre eux verront le jour.

Dans le domaine militaire, il me paraît opportun de citer une déclaration récente de l'Amiral RICKOVER :

"All weapons of war are expensive. Cheap weapons will not win us a war. And if we cannot win a war, there is no sense in spending money on weapons at all".

Il a omis une hypothèse encore plus pessimiste : la possibilité réelle de dépenser beaucoup d'argent pour acquérir de mauvaises armes. La devise d'I. B. M. était, il y a une dizaine d'années, et est peut-être encore "THINK". Il y a toujours eu une compétition guerrière entre les nations, il serait hors de propos ici d'aborder les problèmes éthiques, moraux et spirituels que posent cette compétition ; je veux seulement faire remarquer que cette compétition a d'abord été une compétition d'effectifs humains, elle a été ensuite essentiellement une compétition portant sur la quantité des armements, elle est maintenant, de plus en plus, une compétition portant sur leur qualité.



EVOLUTION DES SYSTEMES SONARS

Un armement doit incorporer, pour être compétitif, de plus en plus d'innovations et de matière grise de qualité. La crédibilité de la défense, c'est-à-dire, dans une certaine mesure la possibilité de n'avoir point à faire la guerre, est à ce prix.

-=-