

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 16 au 21 JUIN 75

COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES

B. GRANDVAUX ET A. ROY

Attachés aux services techniques de l'armement
Ingénieurs à la D.C.A.N. TOULON Laboratoire de Détection Sous-Marine Le Brusac (Var)

RESUME

Des mesures de gains d'antennes ont été effectuées par grands fonds sur un groupement expérimental et par petits fonds sur une antenne linéaire, en présence de bruit ou de réverbération prédominant. Les gains observés sont comparés aux gains théoriques et interprétés en termes de cohérence spatiale des signaux et des champs de bruit ou de réverbération. Quelques conclusions intéressantes peuvent être tirées mais des mesures complémentaires sont nécessaires.

SUMMARY

Antennas gains measurements had been carried out in deep water, on an experimental antenna, and shallow water, in situations where noise or reverberation is predominant. Observed gains are compared to theoretical gains and interpreted in terms of spatial coherence of signals and noise or reverberation fields. Some interesting conclusions can be drawn up but further measurements are needed.



COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES

1. INTRODUCTION :

La recherche de performances sans cesse plus élevées, tant pour les sonars actifs que passifs et tant par grands fonds (plaines abyssales) que par petits fonds (plateaux continentaux) a tout naturellement conduit ces dernières années à augmenter les dimensions des antennes, en particulier pour les antennes de réception. Dès lors il devenait important de vérifier dans quelle mesure des grandes antennes placées dans un milieu aussi imparfait que le milieu marin conservaient leurs performances théoriques. Cette question reste valable d'ailleurs qu'il s'agisse d'antennes classiques dites "additives" ou d'antennes dites "optimales" utilisant au mieux leur environnement et qui doivent de par la nature fluctuante de cet environnement être "adaptatives".

Le présent exposé ne fait qu'aborder ce vaste sujet en ce sens qu'il rassemble dans un but de synthèse des éléments très disparates et qu'il limite leur interprétation au cas des antennes additives.

On y trouvera réunis, d'une part des mesures de gains d'antennes par grand fond sur une antenne expérimentale rectangulaire et par petits fonds sur un réseau linéaire d'hydrophones ; d'autre part des résultats de mesures de cohérence spatiale du signal et de la réverbération par petits fonds.

2. MESURES DE GAINS D'ANTENNE PAR GRANDS FONDS :

2.1. L'antenne :

L'antenne est un groupement plan mouillé par 100 mètres d'immersion sur la tombée du talus continental.

Les hydrophones sont groupés en tronçons de lignes, lignes et panneaux qui permettent de former des antennes linéaires horizontales et des panneaux verticaux de différentes dimensions.

2.2. Méthode de mesure :

Les mesures ont été effectuées dans la période du 15 au 25 Janvier 1974 avec le concours du bâtiment "ARMOISE" comme source sonore. Il s'agit de mesures de gains d'antenne en présence de bruits (et non pas réverbération) qui ont été conduites en deux phases :

Phase 1 : mesure des sensibilités absolues des éléments (tronçon de ligne, ligne, panneau) sur signal seul (grand rapport signal sur bruit) en champ lointain. La source utilisée est "l'ARMOISE" navigant au gouvernail actif à 600 t/mn exploitée dans une bande 1/3 d'Octave autour de 315 Hz. Le bruit rayonné dans ces conditions a été mesuré sur le polygone du Brusco et vérifié sur un hydrophone omnidirectionnel du polygone du Cap Ferrat pendant la période d'essais. Quelques éléments ont été vérifiés à 1 000 et 2 000 Hz à titre de contrôle de la réponse en fréquence qui est en fait bien plate dans la bande utile.

Phase 2 : mesure du niveau de bruit seul sur tous les éléments en période de trafic faible. Pendant toute la durée des mesures, le bruit sur un tronçon de référence est enregistré en permanence afin d'effectuer les corrections nécessaires pour des petites variations de bruit dans le temps ou d'interrompre les mesures pendant le passage d'éventuels bruiteurs. Les mesures sont faites dans des bandes 1/3 d'Octave centrées sur 315, 630, 1 250, 2 000 et 2 500 Hz.

L'analyse consiste à calculer les niveaux de bruits acoustiques à partir des sensibilités mesurées et à calculer les gains d'antenne en niveaux de bruit par rapport au plus petit élément de la base que l'on suppose avoir toujours son gain théorique.

Les gains d'antenne ainsi calculés sont ensuite comparés aux gains théoriques en fonction de L/λ pour les éléments de ligne (L longueur de l'élément linéaire) et de S/λ^2 pour les éléments de surface (S surface du panneau).



COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES

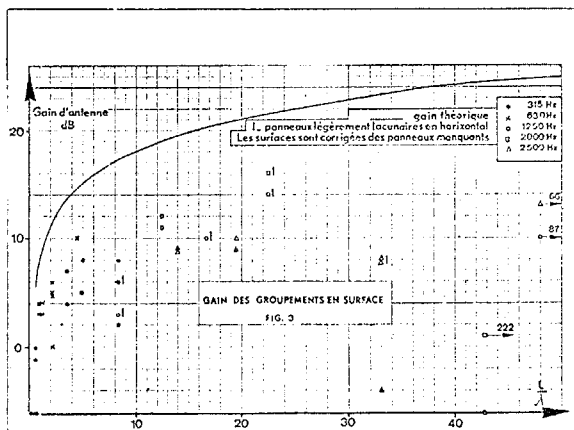
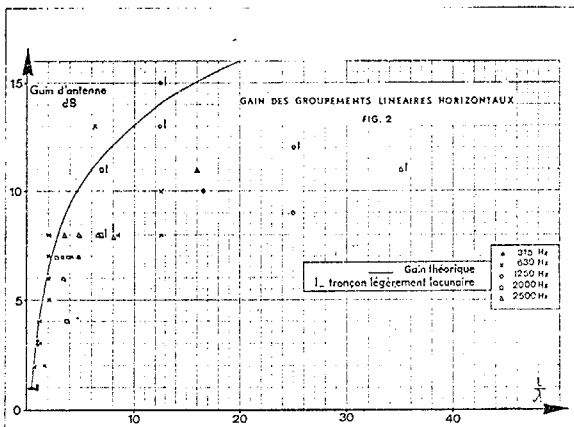
2.3. Résultats :

Les résultats de ces mesures sont rassemblés sur les figures (2) pour les éléments linéaires et (3) pour les panneaux. On y constate :

- que le gain des éléments linéaires horizontaux reste assez voisin du gain théorique.

- que le gain des panneaux verticaux est toujours très faible vis-à-vis du gain théorique.

En schématisant, on peut dire que l'antenne ne gagne que par sa dimension horizontale.



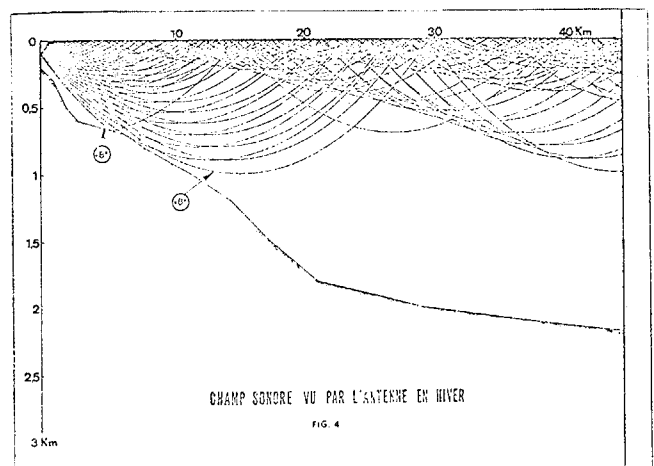
2.4. Interprétation :

Il est possible, grâce aux deux phases de la mesure de tenter une interprétation des résultats en terme de cohérence spatiale du signal et d'isotropie du champ de bruit.

La sommation des tronçons élémentaires pour former les groupements est faite de telle sorte que pour des signaux identiques d'amplitude A en phase sur tous les capteurs et d'amplitude (électrique) A , on ait en sortie de groupement une amplitude A , c'est-à-dire que si la sensibilité des tronçons est S_T , la sensibilité du groupement est aussi S_T . Or la comparaison des mesures de sensibilité (phase 1) indique :

- pour les groupements linéaires une dégradation moyenne de 2 à 3 dB ce qui est l'ordre de grandeur du manque à gagner sur le gain d'antenne. Il est donc vraisemblable que c'est la perte de cohérence spatiale des signaux qui est en majeure partie responsable de la dégradation constatée.

- pour les groupements en panneaux verticaux la sensibilité montre une dégradation de 5 à 7 dB alors que le manque à gagner sur le gain d'antenne est la plupart du temps de plus de 10 dB. Pour ces panneaux la dégradation s'explique donc par le cumul de la mauvaise cohérence spatiale (surtout verticale) et de la non isotropie du champ de bruit. La figure (4) qui représente le champ sonore vu par l'antenne dans les conditions hiver montre d'ailleurs que l'énergie sonore recueillie est comprise dans un faisceau de $\pm 8^\circ$ environ (les autres trajectoires étant rapidement amorties par les réflexions successives sur le fond) ; donc, si comme on peut le supposer le bruit basse fréquence est un bruit d'origine lointaine il a tout naturellement une structure anisotrope c'est-à-dire une cohérence spatiale propre à diminuer sensiblement le gain de l'antenne.





COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES

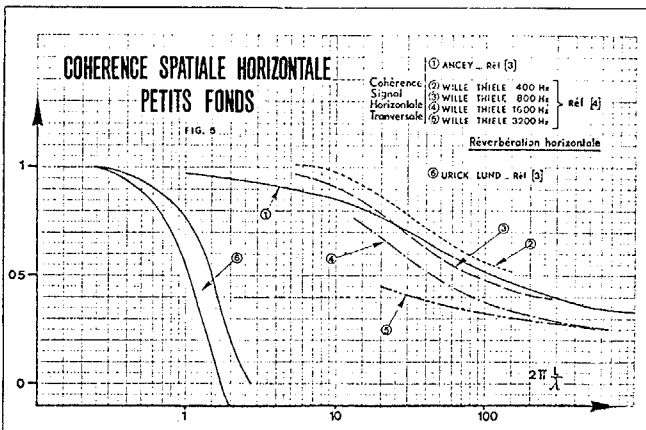
Des mesures de cohérence spatiale de bruit sur divers tronçons de la base sont actuellement en cours de dépouillement au Centre d'Etude des Phénomènes Aléatoires et Géophysiques de Grenoble. On peut espérer qu'elles viendront étayer ces résultats qui notons le ont été confirmés par des expérimentations en saison d'Eté.

3. COHERENCE SPATIALE ET GAINS D'ANTENNES LINEAIRES PAR PETITS FONDS

A l'inverse de ce que nous venons de rapporter pour l'antenne grand fond il s'agit ici de gains d'antenne en situation de réverbération prédominante dont d'un problème spécifique des systèmes actifs et non plus d'écoute passive comme c'était le cas précédemment.

3.1. Cohérence spatiale horizontale :

La figure (5) rassemble des résultats de mesure de cohérence spatiale horizontale (dans une direction perpendiculaire à la direction propagation) pour des signaux transmis sur une grande distance d'une part et de la réverbération d'autre part. Comme on peut le voir, il s'agit de résultats d'origines très diverses qui correspondent donc à des conditions d'environnement très différentes.



Des résultats plus récents [Ref. 6] notamment en ce qui concerne la cohérence des signaux indiquent d'ailleurs que celle-ci peut être fort différente suivant le lieu et la saison.

Ces observations permettent d'affirmer que dans ce domaine il n'existe pas non plus de loi universelle et que de nombreuses mesures seront encore nécessaires si l'on veut mieux cerner le problème et préciser l'éventail des variations possibles.

En nous limitant pour l'immédiat à ces données disponibles, nous avons calculé leur incidence sur le gain d'une antenne linéaire horizontale.

La cohérence étant définie figure (5) par le coefficient de corrélation normé entre les signaux reçus sur deux capteurs i et j de l'antenne espacés de la distance L_{ij} le gain de l'antenne additive formée par l'ensemble de capteurs est [Ref. 7] pour des signaux de même énergie sur tous les capteurs :

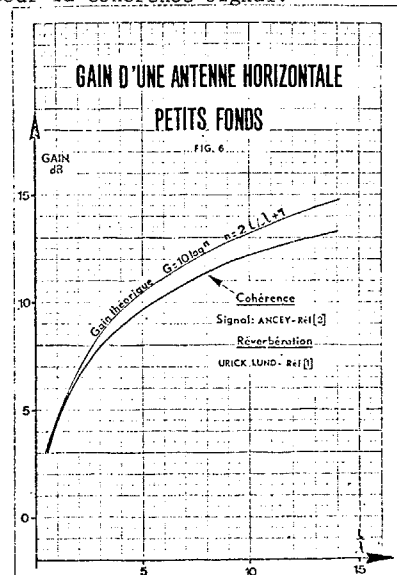
$$(1) \quad G = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{s \ ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{n \ ij}}$$

expression dans laquelle $\rho_{s \ ij}$ et $\rho_{n \ ij}$ sont respectivement les coefficients de corrélation normés du signal et du parasite (bruit ou réverbération - ici réverbération).

La figure (6) donne les gains d'antenne G calculés dans ces conditions en fonction de la longueur relative d'antenne L/λ pour des capteurs espacés en $\lambda/2$. Ils sont comparés au gain théorique :

$$(2) \quad G_{th} = 10 \log n \quad n = 2 \frac{L}{\lambda} + 1$$

de l'antenne placée dans un environnement où la cohérence signal est parfaite ($\rho_{s \ ij} = 1$) et où les parasites sont parfaitement décorrélés ($\rho_{n \ ij} = 0$). Les calculs ont été faits en prenant la courbe de M. ANCEY [Ref. 3] pour la cohérence signal.

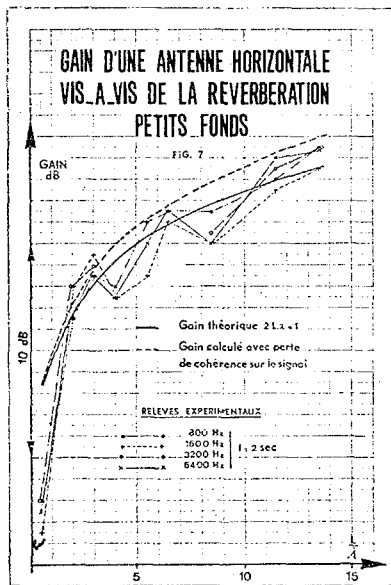




COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES

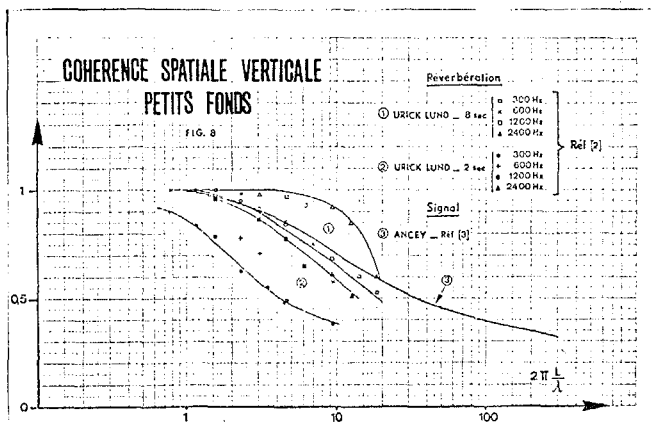
On observe que pour un L/λ de 15 ce qui est déjà considéré comme une antenne assez grande en sonar basse fréquence la dégradation de performance reste faible ce qui était assez intuitif au vu des courbes de la figure (6).

La figure (7) compare à ces valeurs calculées des valeurs mesurées sur le plateau continental atlantique en Septembre 1974 à l'aide d'une antenne linéaire de longueur 28 mètres comportant 70 hydrophones dont les espacements varient en 4 paliers formant ainsi 4 antennes de $L/\lambda = 13,5$ centrées sur des fréquences de 800, 1 600, 3 200 et 6 400 Hz avec une répartition de capteurs en $\lambda/2$. Les gains mesurés sont à interpréter en valeur relative uniquement. Ils suffisent néanmoins à confirmer que la courbe $G(L/\lambda)$ a bien l'allure calculée précédemment.

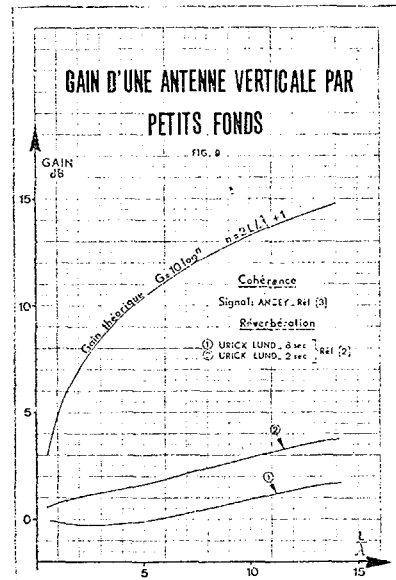


3. 2.. Cohérence spatiale verticale :

De même que précédemment la figure (8) rassemble des résultats épars de cohérence spatiale des signaux et de réverbération mesurés cette fois sur des antennes verticales.



Une particularité apparaît alors en ce qui concerne le parasite réverbération à savoir l'influence notable du paramètre "temps de réverbération" (temps qui s'écoule entre l'émission et l'intervalle temporel pendant lequel on effectue la mesure de corrélation). Alors qu'en cohérence horizontale ce paramètre n'a pas d'influence, en vertical on constate que la cohérence de la réverbération est d'autant meilleure que le temps de réverbération est grand. Corrélativement d'après la formule (1) le gain d'antenne est d'autant plus faible que le temps de réverbération est grand c'est ce qu'on observe sur la figure (9).

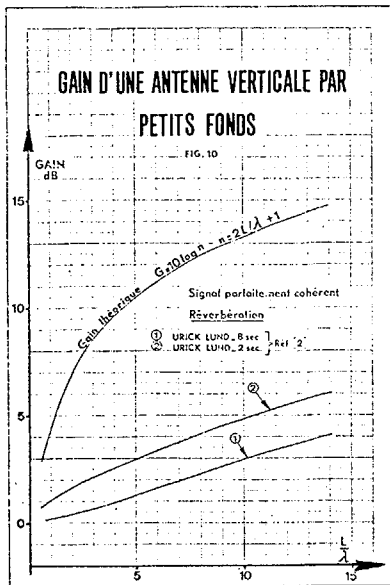


Si l'on remarque également que la cohérence du signal est plus mauvaise qu'en horizontal, on ne s'étonne plus alors que les gains d'antenne soient extrêmement réduits.

Sur la figure (9) la courbe de gain pour le temps de réverbération 8 secondes ne commence à croître que pour des valeurs de L/λ de l'ordre de 6. Ceci correspond à un angle d'ouverture de lobe de $8^\circ (\pm 4^\circ)$, ce qui signifie qu'en pratique tout se passe comme si la réverbération à 8 secondes arrivait sur des sites limités à $\pm 4^\circ$.

La figure (10) enfin montre ce que serait le gain de l'antenne si le parasite gardait la même cohérence donnée par la figure (8) mais si le signal était lui parfaitement cohérent.

COHERENCE SPATIALE DES SIGNAUX ET DES BRUITS
INFLUENCE SUR LES GAINS D'ANTENNES ACOUSTIQUES



Dans ce cas en effet le gain est donné par la relation :

$$(2) \quad G = 10 \log \frac{n^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \rho_{n \quad ij}}$$

On voit alors par comparaison à la figure (9) que dans la dégradation du gain au temps de réverbération 2 secondes (portée sonar 1,5 kilomètre) les parts jouées par la cohérence du parasite et la décorrélation du signal sont à peu près du même ordre de grandeur alors qu'au temps de réverbération 8 secondes (portée sonar 6 kilomètres) la part jouée par la cohérence du parasite est nettement prépondérante.

Toutes ces interprétations n'ont qu'une valeur qualitative étant donné que les mesures sur lesquelles elle s'appuient ne proviennent pas des mêmes conditions d'environnement. Il n'en est pas moins certain que plus la portée visée est élevée moins la directivité en site est payante. Il resterait à confirmer que cette conclusion reste vraie en présence de bruit prédominant et à étayer le tout par des mesures simultanées de gain et de cohérence dans un environnement donné.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.J. URICK - G.R. LUND
JASA 47/3 part 2 (p. 909 - 911)
"Horizontal coherence of explosive reverberation".
- [2] R.J. URICK - G.R. LUND
JASA 47/1 part 2 (p. 342 - 349)
"Vertical coherence of shallow water reverberation".
- [3] R. ANCEY
Colloque GRETSI Nice 7 - 12 Mai 1973 (p. 423 - 441)
"Cohérence spatiale de signaux acoustiques propagés par petits fonds".
- [4] P. WILLE - R. THIELE
JASA 50/1 part 2 (p. 348 - 353)
"Transverse horizontal coherence of explosives signals in shallow water".
- [6] P. WILLE - R. THIELE
Conservation privée.
- [7] R.J. URICK
"Principle of underwater sound for engineers"
Mac Graw Hill Book Co 1967.