

# NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

919



NICE du 16 au 20 MAI 1983

\*  
SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE D'UN  
SONAR DETECTEUR D'OBJETS  
SIMULATION OF SEA BOTTOM IMAGES PRODUCED BY A DETECTOR SONAR

Jean LE GALL

THOMSON CSF/DASM - Rte du Conquet - 29283 BREST CEDEX  
(FRANCE)

THOMSON CSF, ASM Division-Rte du Conquet-29283 BREST CEDEX  
(FRANCE)

## RESUME

La simulation des images du fond marin obtenues à l'aide d'un sonar détecteur d'objets a pour principal objectif, le développement d'algorithmes de traitements vidéo (intégration, normalisation, extraction d'échos ...).

Lors du dernier colloque GRETSI, un modèle permettant de simuler des images fixes avait été présenté.

Depuis, le modèle a été précisé, suite à des traitements statistiques complémentaires, pour simuler des séquences d'images.

On présente ici le modèle statistique obtenu.

Le support de l'image (réverbération du fond et bruits électriques ...) a été modélisé par une loi de Weibull non stationnaire et corrélée, dont les paramètres évoluent en fonction de la distance et du type de fond. Le modèle prévoit la convolution par le lobe de l'antenne et la durée de l'impulsion émise. La corrélation interimages observée sur certains fonds est simulée à partir d'une carte de réverbération moyenne du fond marin générée préalablement.

Les échos ont été modélisés par une loi du type Weibull-Rice où les deux composantes (réverbération-bruit et échos de cibles) peuvent être prises en compte.

Le réalisme du modèle est mis en valeur par la présentation d'images successives simulées.

## SUMMARY

The main purpose of simulation of sea bottom images obtained by means of an object detecting sonar is to develop video processing algorithms (integration, normalization, echo extraction).

A model which enables fixed images simulation has been presented at the last GRETSI symposium. This model has been improved since, thanks to complementary statistical analysis, to simulate images sequences.

The statistical model obtained is described in this paper.

The image background (bottom reverberation and electric noises ...) has been modeled by means of a non stationary and correlated Weibull distribution, whose parameters depends on distance and sea bottom type. The model provides for the convolution of the antenna directivity function and of the emitted pulse duration. The inter-image correlation observed on some sea bottoms is simulated with the help of an average reverberation map of the sea floor, generated before hand.

Echoes have been modeled by a Weibull-Rice distribution, where both components (reverberation-noise and targets echoes) can be taken into account.

The model realism is emphasized by the presentation of successive simulated images.



SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

### 1 - INTRODUCTION :

La détection d'objets posés sur le fond marin est souvent difficile pour un opérateur humain.

Afin d'aider l'opérateur dans sa tâche de détection, on envisage d'utiliser des algorithmes de traitements vidéo qui utiliseront les propriétés statistiques de la réverbération de fond, du bruit et des échos, et qui seront testés sur des données simulées avant d'être embarqués.

Tout ceci montre l'intérêt de la modélisation et de la simulation des images du fond marin obtenues à l'aide d'un sonar détecteur.

On présente ici le modèle obtenu à partir d'une analyse statistique d'images réelles obtenues à l'aide d'un sonar détecteur d'objets et la simulation des images.

Le modèle précédemment proposé [1] a été précisé ; de plus, on ne se limite pas à la simulation d'images fixes, mais on présente la simulation de séquences d'images.

### 2 - MODELISATION DES IMAGES :

#### 2.1. - Données réelles :

Des images du fond marin obtenues à l'aide d'un sonar détecteur d'objets ont été enregistrées en rade de Brest. Divers fonds marins ont été observés : fonds uniformes repérés A, fonds accidentés avec des zones rocheuses repérés B (fig. 1, 2, 3, 4).

L'image produite par le sonar détecteur comporte 20 voies couvrant un secteur de 30°. La portée est de plusieurs centaines de mètres.

Le signal émis est une onde modulée linéairement en fréquence.

Après formation des voies à la réception, régulation de la puissance moyenne, le signal est détecté puis intégré. Il est ensuite échantillonné et multiplexé pour former le signal vidéo.

Pour les besoins de l'enregistrement, le signal vidéo est ensuite codé sur 8 bits et enregistré en parallèle avec les signaux de synchronisation utiles, à l'aide d'un enregistreur magnétique ENERTEC MT 5529 équipé en enregistrement haute densité.

En temps différé, les images sont acquises par un ordinateur MITRA 125 pour être traitées en vue d'établir un modèle.

#### 2.2. - Analyse statistique des images :

On a calculé successivement les moyennes, écarts-types, histogrammes de fenêtres d'images, de manière à étudier l'évolution de ces caractéristiques en fonction de la distance ou du type de fond. A partir de ces valeurs, on a déterminé une loi de probabilité adaptée.

On a également déterminé les fonctions de corrélation temporelle d'une voie, de corrélation intervoies sur une image et sur des images successives.

##### 2.2.1. - Moyenne, écart type, histogramme :

Les images ont été découpées en sous-images dans le sens de la distance.

Dans chacune de ces sous-images, on a composé une population pour l'estimation des paramètres à partir des échantillons de l'ensemble des 20 voies ; afin d'assurer une indépendance des échantillons temporels, on a sous-échantillonné en temps.

La fenêtre comprend alors 20 voies de 50 échantillons. La population comporte donc 1 000 échantillons.

Les moyennes  $\bar{m}$  et écarts types  $\sigma$  ont été estimés en utilisant les formules :

$$\bar{m} = \frac{1}{N} \sum X_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{m})^2}^{1/2}$$

On a porté sur les figures 5 et 6, les évolutions des moyennes, écarts types et valeurs minimales pour des images correspondant aux deux variétés de fonds observés.

On note la relative stabilité de la valeur moyenne aux alentours de 11, du fait de la régulation par la C.A.G.

Cependant, des fluctuations existent et sont plus accentuées à courte distance et sur un fond difficile.

L'existence d'une valeur minimale non nulle qui croît avec la distance est explicable par la régulation du signal dont les fluctuations sont plus importantes à courte distance.

L'écart type décroît avec la distance et est plus important sur un fond marin accidenté. Cependant à grande distance l'écart type tend vers la même valeur quel que soit le type de fond marin. Ceci indique que la réverbération de fond est alors négligeable et que la régulation s'effectue sur le bruit électrique.

Les variations de l'écart type montrent que l'image est non stationnaire : la distance et le type de fond modifient la statistique du signal.

Les histogrammes ont également été calculés et ont permis d'approcher la loi de probabilité de la population expérimentale par une loi de probabilité théorique.

##### 2.2.2. - Loi de probabilité :

Plusieurs lois théoriques ont été testées comme précédemment [1] : loi de Rayleigh, loi Gamma, loi log-normale, loi de Gauss, loi de Weibull.

On a utilisé le test de "goodness of fit" du  $\chi^2$ .

Les valeurs de ce test sont :

$$Z_s(\chi^2) = \sum_{r=1}^{N_c} (H_e(r) - H_t(r))^2 / H_t(r)$$

où  $H_e$  = histogramme expérimental

$H_t$  = histogramme théorique

$N_c$  = nombre de classes

La loi de Weibull a donné les meilleurs résultats ; la densité de probabilité a l'expression suivante :

$$p(x) = \left(\frac{x}{q}\right)^{p-1} \left(\frac{p}{q}\right) \exp\left[-\left(\frac{x}{q}\right)^p\right] \quad x \geq 0$$

Cependant la loi obtenue est non stationnaire :  $p$  et  $q$  évoluent avec la distance et le type de fond (fig. 7 et 8).

On précise que l'on a considéré que la partie du signal située au-dessus de sa valeur minimale :  $x = 0$  correspond donc à la valeur minimale.



SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

Sur les exemples présentés, on obtient sensiblement

$$\text{Fond A} \quad \begin{cases} q \text{ décroissant} & 5 \leq q \leq 8 \\ 2 \leq p \leq 3 \end{cases}$$

$$\text{Fond B} \quad \begin{cases} q \text{ décroissant} & 7 \leq q \leq 11 \\ 1 \leq p \leq 2,5 \end{cases}$$

Ainsi sur un fond accidenté où la détection des objets est plus difficile,  $q$  est plus élevé et  $p$  est plus faible ; l'écart type est alors plus élevé. Comme la moyenne est réglée à 11, quel que soit le type de fond, le taux de fausse alarme est plus élevé sur un fond accidenté.

Des essais ont été réalisés sur d'autres images. Il a ainsi été possible de classer les fonds marins en trois catégories, caractérisées par  $p$  et  $q$

| $p$                     | $q$                    |
|-------------------------|------------------------|
| 2 $\longrightarrow$ 3   | 8 $\longrightarrow$ 5  |
| 1,5 $\longrightarrow$ 3 | 10 $\longrightarrow$ 5 |
| 1 $\longrightarrow$ 3   | 12 $\longrightarrow$ 5 |

$a \longrightarrow b$  :  $a$  = valeur moyenne à courte distance  
 $b$  = valeur moyenne à grande distance

### 2.2.3. - Fonctions de corrélation :

Les calculs de fonction de corrélation temporelle, de corrélation intervoies, de corrélation inter-images ont été effectués sur des sous-images de longueur 1 000 lignes.

#### 2.2.3.1. - Corrélation temporelle :

La fonction de corrélation temporelle est caractérisée par un pic à l'origine relativement fin. A partir de plusieurs essais, on a déterminé une moyenne d'une durée de corrélation  $\tau_c$ .

La durée de corrélation est voisine de la durée de l'impulsion émise et est légèrement plus élevée sur un fond accidenté ; la base de la fonction de corrélation est également plus marquée quand le fond est difficile. Ceci montre que sur un fond marin uniforme, la corrélation est apportée par la durée de l'impulsion émise, alors que sur un fond accidenté, une corrélation supplémentaire est apportée par le fond marin.

#### 2.2.3.2. - Corrélation intervoies :

La corrélation intervoies est faible sur un fond uniforme ( $\approx 0,1$ ) et peut être expliquée par le lobe de réception du sonar.

Sur un fond accidenté, elle est plus importante à courte distance ( $\approx 0,3$ ) puis décroît avec la distance pour atteindre à grande distance des valeurs comparables à celles du fond uniforme.

#### 2.2.3.3. - Corrélation interimages :

Le coefficient de corrélation  $r_i$  entre la même voie, de deux images successives est plus élevé quand le fond est accidenté.

On a ainsi obtenu en moyenne :

- fond uniforme :  $r_i = 0,2$

- fond accidenté :  $r_i = 0,7$

Une explication est que, pour un fond accidenté, on retrouve le même relief sur les images successives.

On a noté également la décroissance de la corrélation interimages quand l'écart entre les images augmente.

### 3 - SIMULATION DES IMAGES :

L'image du fond marin obtenue à l'aide d'un sonar est constituée de la réverbération de fond, du bruit et des échos présents sur le fond.

On a vu qu'il était possible de modéliser le support de l'image, c'est à dire l'ensemble constitué par la réverbération de fond et le bruit électrique par une loi de Weibull corrélée et non stationnaire.

La modélisation des échos est par contre différente.

Il a donc paru judicieux de simuler séparément le support de l'image et les échos et de réaliser l'intégration en fin de chaîne de simulation.

Cette méthode offre l'avantage de pouvoir rajouter des échos de cibles sur un support préalablement simulé. De plus, elle autorise une modélisation différente des chaînes de réception pour le support et les échos et donc une simplification éventuelle de la chaîne de réception pour le support, d'où une économie de temps calcul.

On présente ci-après un synoptique du modèle de la simulation (fig. 9).

Les trois composantes de l'image  $y$  apparaissent nettement, la réverbération de fond  $I_R$  et le bruit  $I_B$  donnent naissance au support de l'image  $I_W$  ; les échos  $I_E$  viennent ensuite s'ajouter vectoriellement à  $I_W$  pour former l'image sonar  $I_S$ .

On peut remarquer que le modèle se rapproche beaucoup de la chaîne effective du sonar ; ceci tient essentiellement au fait que la loi de Weibull qui modélise le support de l'image (réverbération + bruits) est générée à partir de lois gaussiennes  $\sqrt{2}$ .

En effet, si  $x$  et  $y$  sont deux nombres gaussiens indépendants à moyenne nulle,  $W = (x^2 + y^2)^{1/2}$  est un nombre weibullien. Il est ainsi possible de réaliser sur  $x$  et  $y$  tous les traitements linéaires de la chaîne sonar, le caractère gaussien étant alors conservé.

#### 3.1. - La réverbération de fond $I_R$ :

La réverbération de fond est la réponse au signal émis des microcibles tapissant le fond marin.

Elle dépend donc du fond marin, de la forme du signal émis et de la chaîne de réception du sonar.

Pour rendre réaliste la simulation d'images successives et traduire en particulier le fait que sur un fond accidenté les détails de terrain apparaissent d'une image à l'autre (ceci se manifestant d'ailleurs par une corrélation interimages), on a prévu d'établir une carte de réverbération moyenne du fond marin à observer lors de la séquence d'images. Ainsi on assure une cohérence entre les images successives sur ce type de fond marin.

La réverbération de fond  $I_{CF}$  à l'entrée de la chaîne de réception du sonar est la somme de la réverbération moyenne  $I_C$ , résultant de la mise au format sonar de la carte du fond, et des fluctuations de la réverbération  $I_F$ , décorrélées d'image à image.

$$I_{CF} = I_C + I_F$$

La carte, les "images"  $I_C$  et  $I_F$  sont constituées de nombres complexes dont les parties réelles et imaginaires sont gaussiennes à moyenne nulle, indépendantes entre elles. Cependant, les parties réelles et imaginaires peuvent être autocorrélées pour traduire



SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

l'existence d'une corrélation sur le fond marin.

Les poids respectifs de  $I_C$  et  $I_F$  dépendent de l'importance de la corrélation interimages désirée. Quand la corrélation interimage n'existe pas (cas du fond uniforme), on prendra :

$$I_C = 0 \text{ (ou } \overline{\sigma_C} = 0)$$

$I_{CF}$  présente les caractéristiques statistiques suivantes :

- moyenne nulle

- variance  $\sigma_{CF}^2 = \sigma_C^2 + \sigma_F^2$

- corrélation  $= r_{CF}(\Delta x, \Delta y, \Delta t)$

$\Delta x$  = azimuth,  $\Delta y$  = distance après correction de l'avance du bateau,

$\Delta t$  = temps (images successives)

$$r_{CF}(0,0,0) = 1$$

$$r_{CF}(\Delta x, \Delta y, \Delta t) = \frac{\sigma_C^2 r_C(\Delta x, \Delta y)}{\sigma_C^2 + \sigma_F^2}$$

où  $r_C(\Delta x, \Delta y)$  est la corrélation de la carte qui dépend des corrélations interimages et intervalles désirées.

L'"image" complexe  $I_R$  est enfin obtenue à partir de  $I_{CF}$  par un filtrage spatial par le lobe en réception de l'antenne et un filtrage temporel par la durée de l'impulsion émise.

On précise cependant qu'on n'a pas jugé utile de filtrer la réverbération de fond par le lobe de l'antenne de réception, dans le programme de simulation, quand on traite des fonds accidentés pour lesquels la réverbération de fond est déjà corrélée.

### 3.2. - Le bruit $I_B$ :

Pour simplifier, on ne tient compte que des bruits électroniques.

$I_B$  est une "image" complexe

$$I_B = I_{BX} + jI_{BY}$$

$I_{BX}$  et  $I_{BY}$  sont gaussiens à moyenne nulle et variance

$$\sigma_B^2$$

On admet que  $I_B$  est décorrélé temporellement et de voie à voie.

### 3.3. - Le support de l'image $I_W$ :

Le support de l'image  $I_W$  suit une loi de Weibull.

$I_W$  est une image réelle obtenue à partir des parties réelles et imaginaires gaussiennes de l'image complexe  $X + jY$ , elle-même obtenue par des traitements linéaires sur les images complexes de réverbération de fond  $I_R$  et de bruit  $I_B$ .

Tout d'abord on calcule  $I_{RB}$ , somme des images  $I_R$  et

$I_B$  :

$$I_{RB} = I_R + I_B$$

On peut considérer  $I_{RB}$  comme le signal complexe que l'on obtiendrait après une démodulation complexe en sortie de formation de voies.

L'importance relative de  $I_R$  et  $I_B$  dépend du contraste "réverbération de fond sur bruit électronique".

$I_{RB}$  est ensuite filtrée temporellement, : filtrage passe-bas du premier ordre.

La constante de temps est le double de la constante de temps de l'intégration effectivement réalisée dans le sonar (après détection). Ceci est dû au fait que dans la simulation, on a choisi de réaliser l'intégration avant détection (donc sur des nombres gaussiens) pour ne pas perturber la loi de probabilité.

Pour calculer  $I_W$ , on dispose alors d'une image complexe  $I = \{X + jY\}$  dont les parties réelle  $X$  et imaginaire  $Y$  sont gaussiennes, à moyenne nulle, de variances  $\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 = \sigma_I^2$  et indépendantes entre elles.

Pour chaque point de l'image on calcule :

$$W = (X^2 + Y^2)^{1/P}$$

où :

$p$  = facteur de forme de la loi de Weibull

$q$  = facteur d'échelle de la loi de Weibull -

$$q = (2\sigma_I^2)^{1/P}$$

On a vu que  $p$  et  $q$  évoluent avec la distance.

La moyenne et la variance de  $W$  sont alors respectivement :

$$m_W = q \cdot \Gamma(1 + 1/p)$$

$$\sigma_W^2 = q^2 [\Gamma^2(1 + 2/p) - \Gamma^2(1 + 1/p)]$$

où  $\Gamma(\cdot)$  est la fonction Gamma.

### 3.4. - Les échos $I_E$ :

Le signal renvoyé par les objets subit le même traitement que la réverbération de fond, à savoir :

- filtrage par le lobe de l'antenne,
- intégration sur la durée de l'impulsion émise,
- filtrage passe-bas  $F(p) = \frac{1}{1+2RCP}$

- détection linéaire.

$I_{E1}$  est une image complexe constituée des coefficients de réflexion des objets.

$$I_{E1} = X_{E1} + jY_{E1}$$

En tout point hors de l'objet :  $X_{E1} = Y_{E1} = 0$

Sur l'objet trois cas ont été envisagés :

a) coefficient de réflexion réel, constant sur tout l'objet :

$$X_{E1} = E_1$$

$$Y_{E1} = 0$$

b) coefficient de réflexion complexe, constant sur tout l'objet mais fluctuant d'image à image avec une statistique gaussienne à moyenne nulle et de variance  $\sigma_{E1}^2$  pour  $X_{E1}$  et  $Y_{E1}$ .

c) coefficient de réflexion complexe, constant sur une ligne mais fluctuant de ligne à ligne et d'image à image avec une statistique gaussienne à moyenne nulle et variance  $\sigma_{E1}^2$  pour  $X_{E1}$  et  $Y_{E1}$ .

$E_1$  et  $\sigma_{E1}$  sont déterminés à partir du contraste "écho sur réverbération de fond".

On réalise ensuite les traitements sonar et on calcule le module de l'écho.

SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

3.5. - L'image sonar  $I_S$  :

Le calcul de  $I_S$  comporte deux étapes :

- intégration des échos sur le support de l'image,
- régulation de la valeur moyenne.

L'écho (E) est intégré au support de l'image (W) en calculant le module de  $W + E e^{j\varphi}$  où W est un nombre weibullien, E l'écho et  $\varphi$  une phase uniformément répartie entre 0 et  $2\pi$ .

Si E est stable (cas a)  $I_{W_E}$  est localement une variable Weibull-ricéenne [3].

Si E fluctue,  $I_{W_E}$  suit localement une loi plus complexe, issue d'une loi de Weibull (w) et de Rayleigh (E) ; E suit en effet une loi de Rayleigh, car il est obtenu en calculant le module d'un nombre complexe dont les parties réelle et imaginaire suivent une loi gaussienne.

Si l'écho occupe toute la cellule d'analyse, on fera  $w = 0$  ; localement, l'image suit alors une loi de Rayleigh.

On a vu au cours de l'analyse statistique que l'image weibullienne était stable autour de 11.

Or, la moyenne de  $I_W$  et ainsi de  $I_{W_E}$  est :

$$m = q \cdot \Gamma(1 + 1/p).$$

Comme p et q évoluent le long de l'image, m est différente de 11 ; elle est d'ailleurs toujours inférieure.

Il est donc nécessaire de compenser le signal d'une valeur égale à  $\beta = 11 - q \Gamma(1 + 1/p)$

3.6. - Détermination des niveaux de réverbération de fond, de bruit et d'échos :

Les niveaux des composantes de l'image à l'entrée de la simulation, soient  $\sigma_{CF}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_E$ , sont déterminés à partir des expressions des niveaux de réverbération de fond, de bruit et d'écho en sortie de formation de voies et des gains des différents traitements réalisés.

3.6.1. - Niveau de réverbération de fond :

Le niveau moyen de réverbération de fond à la sortie de la formation de voies est à la distance  $\rho$  :

$$(N_R)_{dB/volt} = S - 2H(\rho) + R_F(\rho) + 10 \log A(\rho) + 10 \log D_S(\rho) D_S'(\rho) + (S_H)_{voie}$$

où S est le niveau sonore d'émission, 2H la perte de propagation aller-retour,  $R_F$  l'index de réverbération du fond,

A l'aire de la cellule d'analyse,  $D_S$  et  $D_S'$  les directivités en site à l'émission et à la réception, et  $(S_H)_{voie}$  la sensibilité hydrophonique de l'antenne compte tenu de la formation de voies.

3.6.2. - Niveau d'écho :

Le niveau d'un écho en sortie de formation de voies est :

$$(N_E)_{dB/volt} = S - 2H + T + 10 \log D_S \cdot D_S' + (S_H)_{voie}$$

où T est l'index de l'écho.

L'index de l'écho permet de caractériser la réponse de la cible au signal émis.

On considère deux cibles :

- sphère de rayon a : pour une sphère rigide, l'index de réflexion est voisin de :

$$T = 10 \log \frac{a^2}{4}$$

Si a = 50 cm, on obtient  $T = -12$  dB

- cylindre de longueur L, de rayon a :

L'expression de l'index est plus complexe dans le cas du cylindre. On a considéré une modélisation du cylindre rigide impénétrable, où intervient l'angle entre l'axe du cylindre et la direction de l'émission-réception [4].

3.7. - Moyens mis en oeuvre :

La simulation a été réalisée hors temps réel sur un ordinateur MITRA 125 couplé à un processeur vectoriel AP 120 B.

Afin d'optimiser l'utilisation du processeur vectoriel, on a distingué les calculs vectoriels, réalisés sur les n composantes d'un vecteur, des autres calculs.

Le processeur vectoriel, qui possède une architecture et un logiciel adapté aux calculs vectoriels effectués tous les traitements répétitifs sur les vecteurs de données. Le vecteur élémentaire est ici la ligne image.

Les images calculées sont stockées sur bandes magnétiques ordinateurs, puis transférées sur bandes magnétiques de l'enregistreur MT 5529 pour visualisation sur une console sonar en temps réel.

3.8. - Exemples :

On présente deux exemples pour lesquels les fonds marins observés sont différents :

On a simulé un avancement du bateau porteur dans l'axe de l'image avec une vitesse  $V = 2$  m/s.

On a également simulé deux alignements de cibles sphériques (partie gauche de l'image) et cylindriques (partie droite). Dans chaque alignement, les cibles sont espacées de la même distance.

L'orientation de chaque cylindre par rapport à l'axe de l'image est différente, de sorte que l'index de réflexion est différent.

3.8.1. - Exemple 1 - Fond uniforme (fig. 10 et 11) :

- réverbération de fond : - décorrélée d'image à image  
- loi de Lambert :  
 $R_F = -12 + 20 \log \sin \theta$  dB  
où  $\theta$  est la rasance

- bruit électrique : - le contraste réverbération sur bruit, exprimé en dB décroît linéairement avec la distance.

- loi de Weibull : - p croît linéairement de 2 (loi de Rayleigh) à 3,  
- q décroît linéairement de 7,5 à 5 le long de l'image.

L'observation des images simulées montre l'uniformité du fond marin, l'existence d'un "lissage" de l'image à grande distance où le bruit est prédominant, dû à l'intégration, sur plusieurs lignes réalisée pour la présentation et à la décorrélation du bruit.





SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

3.8.2. - Exemple 2 - Fond accidenté (fig. 12 et 13) :

Réverbération de fond :

- Corrélée d'image à image; à courte distance (100m), on désire une corrélation interimage de 0,5 et une corrélation intervoies de 0,3 : la longueur de corrélation sur le fond marin (carte) est de ce fait voisine de 10 m.
- Loi de Lambert  $R_{F_{dB}} = -12 + 20 \log \sin \theta$

Bruit électrique :

Le contraste réverbération sur bruit, exprimé en dB décroît linéairement avec la distance.

Loi de Weibull :

- p croît linéairement de 1 (loi exponentielle) à 3,
- q décroît linéairement de 11 à 7, le long de l'image.

Le relief "accidenté" du fond marin ressort nettement pendant les 2/3 de l'image ; le bruit électrique est ensuite prédominant.

Sur les deux images extraites de la séquence, on retrouve le même relief, légèrement décalé du fait de l'avance du bateau.

4 - CONCLUSION :

Des images du fond marin, vues par un sonar détecteur ont été simulées.

Le degré de réalisme des images simulées permet de valider le modèle de simulation, établi à partir d'une analyse statistique des images réelles et où apparaissent les trois composantes de l'image (réverbération de fond, bruit, échos) ainsi que les traitements appropriés.

La méthode de simulation exposée est ainsi applicable pour la production d'images sonar dans un simulateur, dans la mesure où ceci peut être réalisé en temps réel.

De plus, il est possible à partir du modèle statistique de développer des algorithmes de traitement d'échos [ 5 ], dont la mise au point est réalisée à partir des images simulées.

Il constitue donc un outil puissant permettant de valider différents types de traitements du signal.

BIBLIOGRAPHIE :

[ 1 ] D. BILLON - J. JOSEPH - J. LE GALL

"Simulation des images du fond marin obtenues par un sonar détecteur ou classificateur d'objets" - Huitième colloque sur le traitement du signal et ses applications  
Nice - Juin 1981 - p. 947 - 953

[ 2 ] W.J. SZAJNOWSKI

"The generation of correlated Weibull clutter for signal detection problems"  
IEEE Transactions on AES - Vol. AES-13 - n° 5 - Sept. 1977 - p. 536 - 540

[ 3 ] NILSSON - GLISSON

"On the derivation and numerical evaluation of the Weibull Ricean distribution"  
IEEE Transactions on AES - Vol. AES 16 n° 6  
Nov. 80- p.864 - 867

[ 4 ] A. DE QUAY

"Calcul du diagramme de rétrodiffusion d'un cylindre droit parfait"  
Revue du CETHEDEC - 2e trimestre 1980 - p. 275

[ 5 ] H.A. REEDER

"Computer utilization of sequential hypothesis testing for detection and classification of sonar signals"  
Tracor Inc. Austin-Texas - Déc. 1967 -  
ADA 066 663

SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

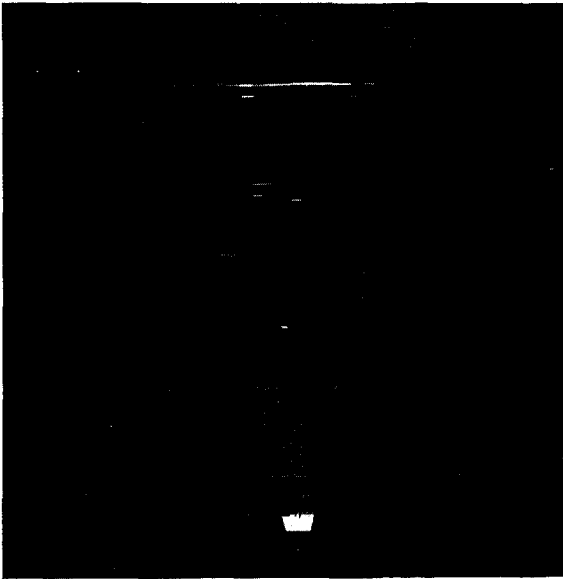


FIG. 1 - IMAGE REELLE - FOND UNIFORME (A)

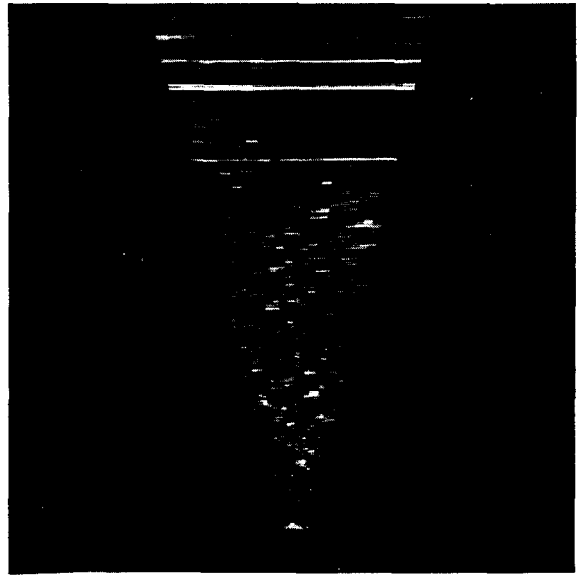


FIG. 2 - IMAGE REELLE - FOND ACCIDENTE (B)

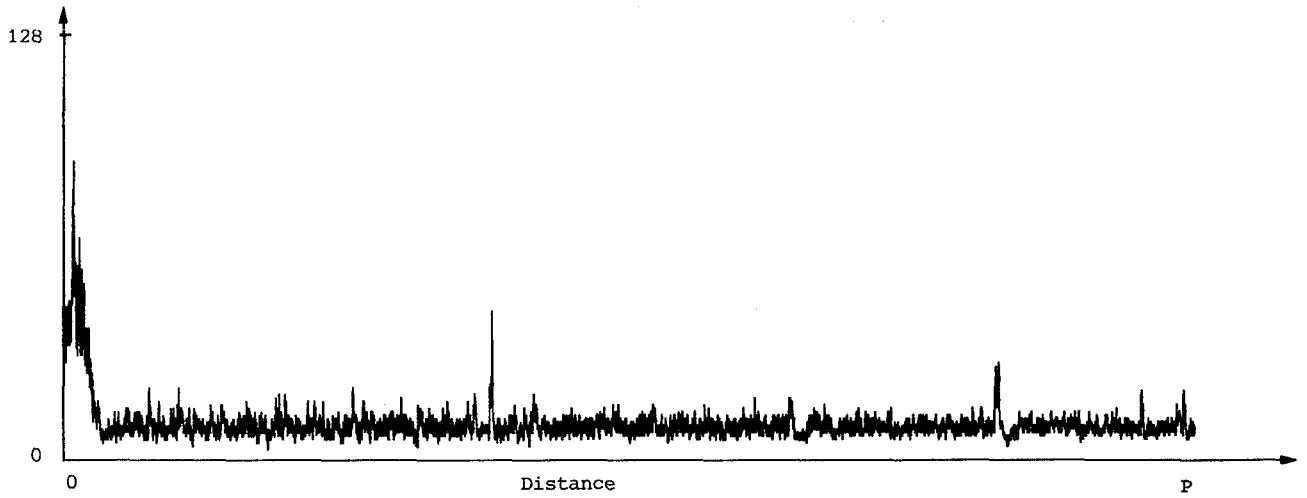


FIG. 3 - SIGNAL DE VOIE - FOND A

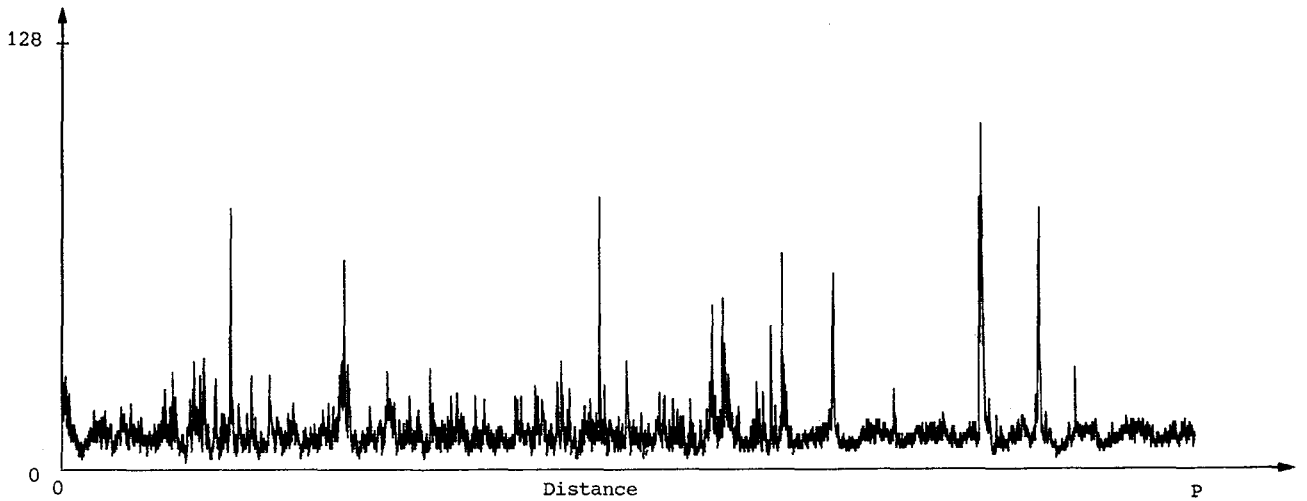


FIG. 4 - SIGNAL DE VOIE - FOND B



SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

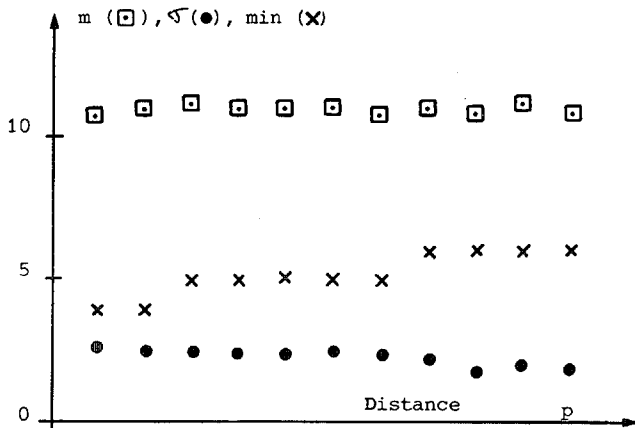


FIG. 5 - MOYENNE, ECART TYPE, VALEUR MINIMALE FOND A

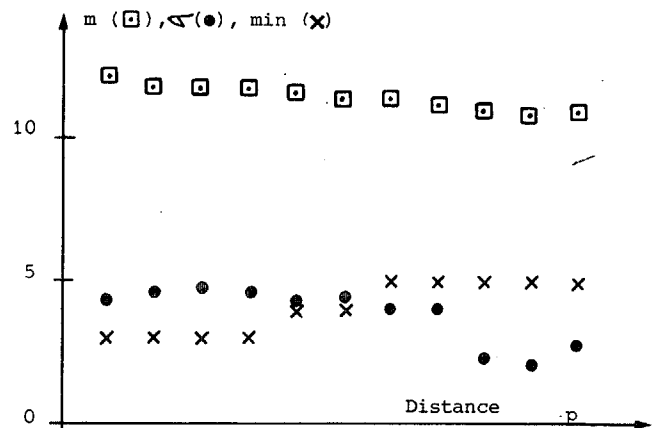


FIG. 6 - MOYENNE, ECART TYPE, VALEUR MINIMALE FOND B

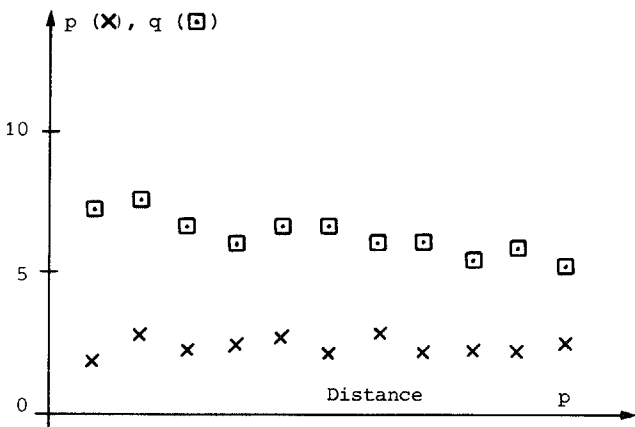


FIG. 7 - PARAMETRES DE LA LOI DE WEIBULL p, q FOND A

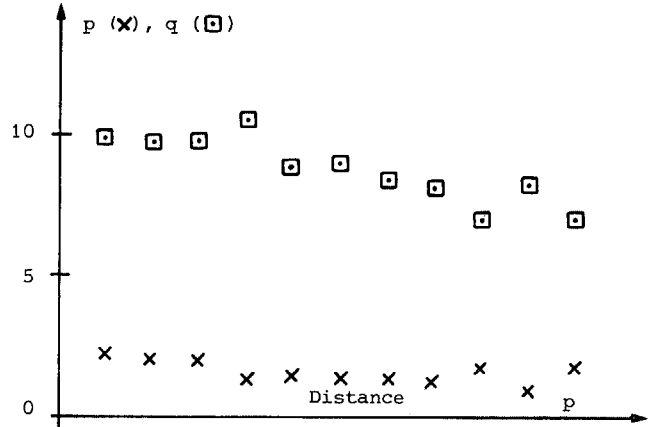


FIG. 8 - PARAMETRES DE LA LOI DE WEIBULL p, q FOND B

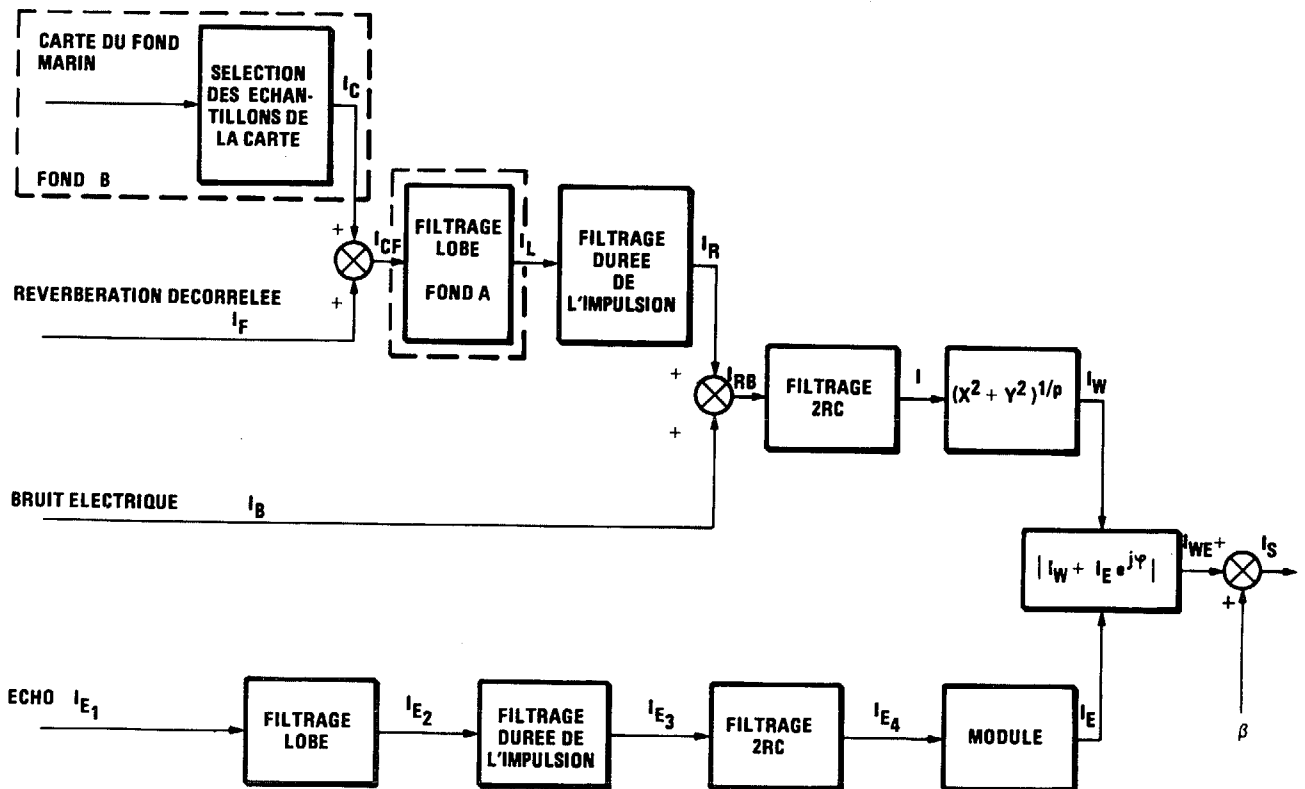


FIG. 9 - SYNOPTIQUE DE LA SIMULATION



SIMULATION DE SEQUENCES D'IMAGES DU FOND MARIN OBTENUES A L'AIDE  
D'UN SONAR DETECTEUR D'OBJETS

---

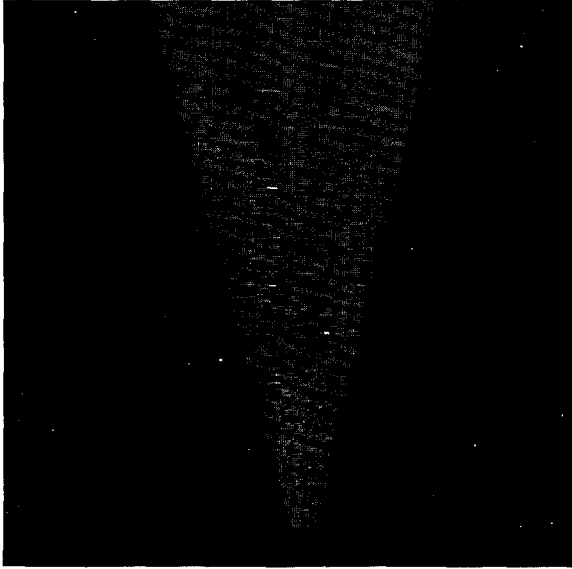


FIG. 10 - IMAGE SYNTHETIQUE 1 - FOND A

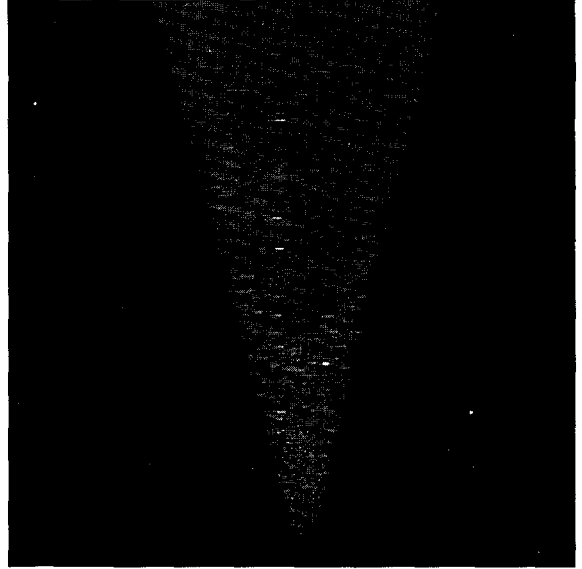


FIG. 11 - IMAGE SYNTHETIQUE 2 - FOND A

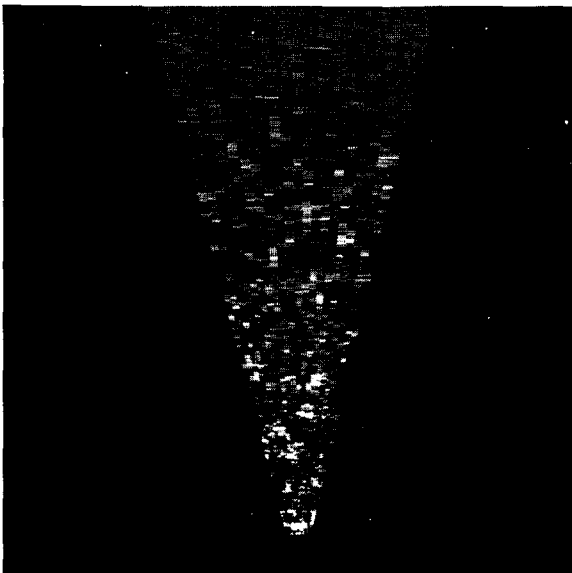


FIG. 12 - IMAGE SYNTHETIQUE 1 - FOND B

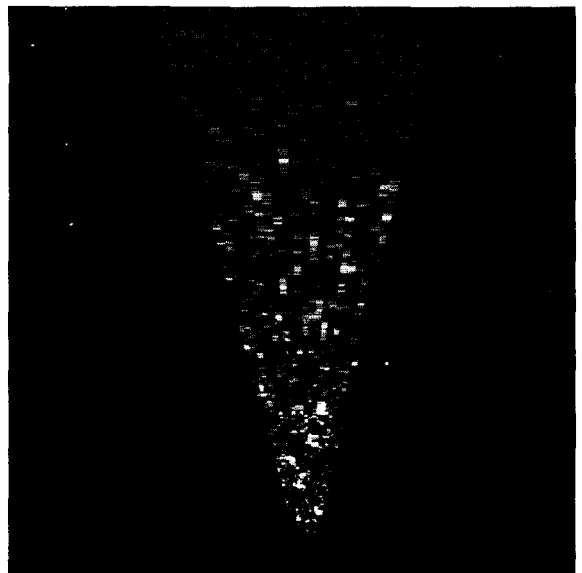


FIG. 13 - IMAGE SYNTHETIQUE 2 - FOND B

