

PREMIER COLLOQUE IMAGE
Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ les 23, 24 et 25 Mai 1984

FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR
TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS

THOREAU D.*
RAFINE B., MORIN J.Y.**

*SESA 241 Av. du Prado 13008 MARSEILLE
**DCAN Laboratoire de Détection Sous-Marine 83140 LE BRUSC

RESUME

SUMMARY

Nous considérons qu'un spectrogramme temps-fréquence d'un signal issu d'une antenne acoustique peut être assimilé à une image numérique de dimension finie ($N \times M$) dans laquelle :

- les lignes représentent les spectres engendrés par le bruit parasite et par le signal utile, ce dernier étant caractérisé par des raies fréquentielles ;
- chaque colonne est composée de points statistiquement indépendants sauf si une raie fréquentielle (signal) est présente.

Pour améliorer l'aspect visuel de ce type d'image et donc son interprétation, on y applique un filtrage homomorphique (filtrage bidimensionnel interposé entre une transformation logarithmique et une transformation exponentielle).

Des résultats expérimentaux validés par le tracé de courbes COR permettront de comparer cette méthode à des techniques classiques telles que le "moyennage glissant" et la normalisation.

It will be assumed that a spectrogram (time vs frequency) of signal issued from an acoustic array can be classed as a digital image with a finite dimension $N \times M$.

Each line represents a spectrum. This spectrum is composed with pure frequencies in noise. Each column is composed with statistically independent points unless a ray is detected.

To improve the visual aspect of this kind of image and thus its interpretation, homomorphic filtering is applied. This is a bidimensional filtering set between the logarithmic and exponential transformations.

Experimental results are tested through ROC curves (detection probability vs false alarm probability) will be displayed in order to compare this method with conventional technics such as moving average or normalisation.



FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR
 TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS
 THOREAU D.*
 RAFINE B., MORIN J.Y.**

1 - TRAITEMENT HOMOMORPHIQUE APPLIQUE AUX LOFARGRAMMES

La détection d'un signal [1] dans un bruit n'est possible que s'il existe un certain contraste entre le signal et le champ de bruit.

Ainsi la représentation temps fréquence d'un signal issu d'un sonar passif peut être présentée de la manière suivante :

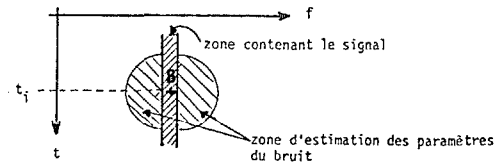


Figure 1.1 : Représentation temps fréquence d'un signal issu d'un sonar passif

avec :

- la zone contenant le signal à détecter,
- B le point appartenant au signal à l'instant t_i ,
- la zone d'estimation des paramètres du bruit.

D'une manière générale on calcule les paramètres locaux du bruit, moyenne et variance, de façon à effectuer une normalisation sur la valeur trouvée au niveau du point B.

Soient \hat{m} et $\hat{\sigma}$ respectivement la moyenne et la variance du bruit calculés dans la zone d'estimation, on appelle alors normalisation de la mesure S faite au point B l'opération suivante :

$$\bar{S} = \frac{S - \hat{m}}{\hat{\sigma}} \quad 1-1$$

A l'examen de la relation 1-1, on peut aisément remarquer qu'à la visualisation (à fortiori à la détection) le contraste du point B de niveau \bar{S} après normalisation dépend fortement de la quantité $\hat{\sigma}$.

En faisant l'hypothèse que le bruit est statistiquement indépendant dans le temps sur ce type de représentation, il est tout à fait raisonnable de penser à réduire cette variance $\hat{\sigma}$ en réalisant un filtrage passe bas, dans la direction verticale de la figure 1.1.

Considérons maintenant la figure 1.1 comme une image numérique de dimension finie (NxM) dans laquelle :

- chaque ligne est un spectre de M points distants l'un de l'autre de par la finesse d'analyse,
- chaque colonne est composée de N points séparés dans le temps de la période de l'analyse spectrale.

Ainsi, forts de cette considération et des remarques précédentes, nous proposons d'améliorer l'aspect visuel de ce type d'image en y appliquant un filtrage bidimensionnel.

Ce filtrage présente les propriétés suivantes :

- d'être non linéaire, soit homomorphique [2] [3] [4] de façon à augmenter le contraste des raies présentes dans l'image ;
- de prendre en compte la directivité des raies dans l'image permettant alors de réduire la variance du bruit, par l'introduction du coefficient de directivité, Cdr, lors de la réalisation du filtre.

Le traitement peut alors être résumé par la figure suivante :

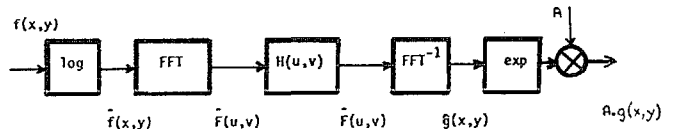


Figure 1.2 : Principe du traitement

Caractéristique du filtre

Compte tenu des contraintes précisées précédemment, le filtre $H(u,v)$ présentera d'une manière générale une partie basse fréquence, une partie haute fréquence et un coefficient de directivité tels, que pour un spectre à deux dimensions $F(u,v)$ avec :

$$F(u,v) = F [(\log (f(x,y)))]$$

$f(x,y)$ étant une représentation temps-fréquence,

nous ayons :

$$H(u,v) = H1(u,v).H2(u,v) \quad 1-2$$

$$H1(u,v) = \gamma_i + \frac{(\gamma_r - \gamma_i)}{(1+0,414 \cdot (D0/D(u,v))^2)^{\frac{1}{2}}} \quad 1-3$$

$$H2(u,v) = \frac{1}{(1+0,414 (D(u,v)/D1))^{\frac{1}{2}}} \quad 1-4$$

$$\text{et } D(u,v) = [u^2 + (v/Cdr)^2]^{\frac{1}{2}} \quad 1-5$$

Définition des paramètres :

- $H1(u,v)$ partie basse du filtre (Butterworth passe-haut),
- γ_i gain pour les fréquences basses,
- γ_r gain pour les fréquences hautes,
- $D0$ fréquence de coupure basse,
- $D(u,v)$ distance spatiale d'un point du plan de Fourier ($F(u,v)$) à l'origine $F(0,0)$,
- Cdr coefficient de pondération dans la direction verticale, soit le coefficient de directivité,
- $n0$ ordre de la partie basse du filtre,
- $H2(u,v)$ partie haute du filtre (Butterworth passe-bas),
- $D1$ fréquence de coupure haute du filtre,

FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR
 TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS
 THOREAU D.*
 RAFINE B., MORIN J.Y.**

- n1 ordre de la partie haute du filtre.

Pour un coefficient de directivité $Cdr = 1$, nous obtenons un filtre qui dans 1/4 du plan de Fourier centré est de la forme représenté en figure 1.3.

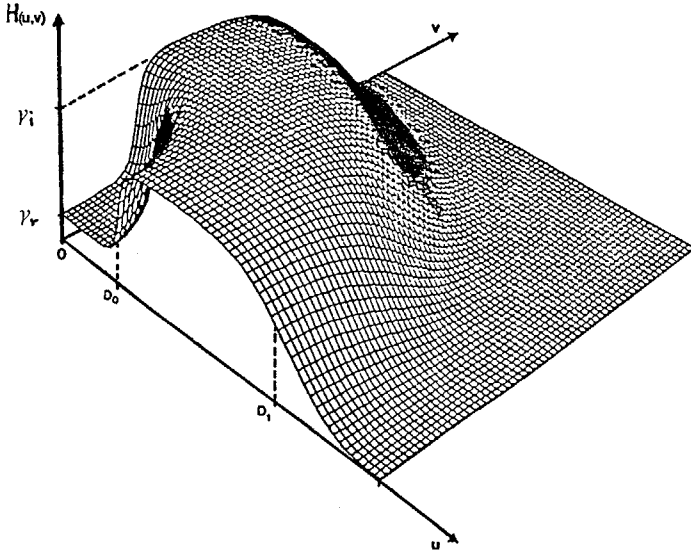


Figure 1.3 : Filtre avec $Cdr = 1$

De façon à expliciter exactement le rôle du coefficient de directivité Cdr , les figures 1.4 a, b, c et d, montrent l'évolution des fréquences de coupure D_0 et D_1 , en fonction des fréquences spatiales u et v ainsi que de Cdr .

Ces figures 1.4 nécessitent les remarques suivantes :

- v varie de -60 à 60 [direction relative à l'axe vertical y de l'image $f(x,y)$],
- u varie de 0 à 60 (direction relative à l'axe horizontal x de l'image),
- l'origine des fréquences se situe en \emptyset, \emptyset .

NOTA :

Dans un cas bien particulier de traitement (doppler) au chapitre 3.2, il sera utilisé un filtre dissymétrique. Cette opération consiste à réduire considérablement le gain du filtre dans la partie des fréquences négatives de l'axe v du plan de Fourier (u,v) .

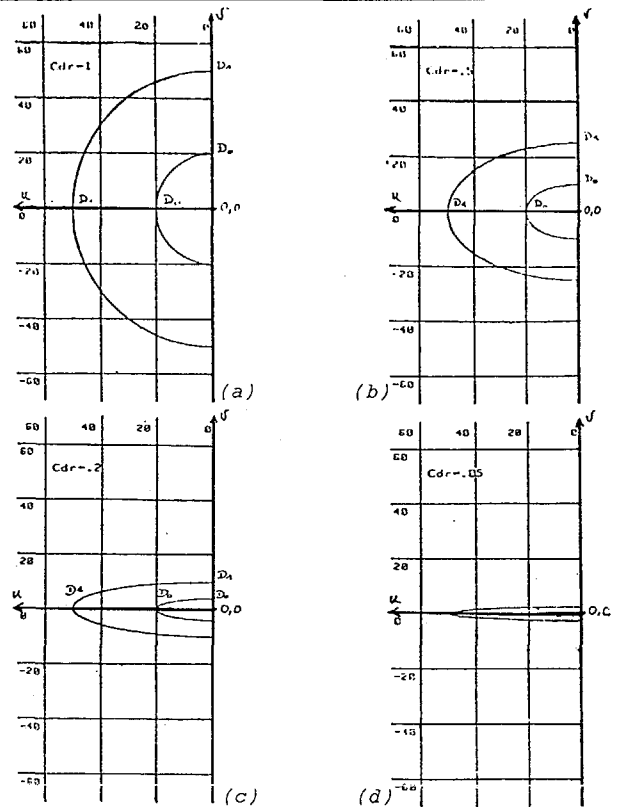


Figure 1.4 : Evolution des fréquences de coupure du filtre en fonction du coefficient de directivité Cdr .

2 - CRITERE OBJECTIF D'EVALUATION DES PERFORMANCES

Dans le cadre d'une simulation on sait exactement où se trouve l'information à détecter. En ce qui nous concerne, sur une représentation temps fréquence d'un signal, l'information se situe au niveau des raies spectrales tandis que le bruit environnant se trouve sur le reste de la représentation.

Les courbes COR (courbe opérationnelle d'un récepteur) donnent une idée objective de la qualité d'un système de détection.

Pour une raie d'indice K , de rapport signal à bruit moyen SK/n , il est possible d'exprimer la probabilité de détection, Pd , de l'information utile en fonction d'un seuil de détection proportionnel à la variance locale du bruit ajouté à sa valeur moyenne.

De même, dans les zones du lofargramme où il n'y a pas d'information utile, on peut exprimer la probabilité de fausse alarme Pfa en fonction du seuil de détection.

La combinaison de ces deux représentations : $Pd = f(\text{Seuil}, S/n)$ et $Pfa = f(\text{Seuil})$ permet de construire des courbes opérationnelles d'un récepteur, lesquelles sont représentées par la figure suivante :



FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR

TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS

THOREAU D.*

RAFINE B., MORIN J.Y.**

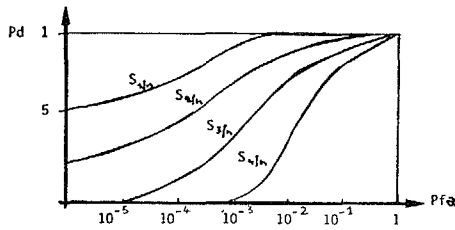


Figure 2.1 : Pd = f(Pfa)

3 - ETUDE EXPERIMENTALE

L'étude expérimentale est faite à partir de 128 séquences de 4096 points d'un bruit blanc numérisé à 20 KHz auquel sont rajoutés différents signaux synthétiques.

Ces signaux d'amplitudes déterminées présenteront successivement les caractéristiques fréquentielles suivantes :

- stables,
- doppler,
- fluctuantes.

L'image temps fréquence est composée de 128 spectres de 2048 points d'analyse spectrale. La taille de ces images de 2048 x 128 points étant trop grande pour un traitement 2D aisé, on a alors subdivisé en sous-images de 128 x 128 points le lofar-gramme. Ainsi, le filtrage se fera en 16 séquences identiques. La fonction de transfert du filtre sera construite sur une surface de 65 x 128 points, compte tenu de la propriété de symétrie du spectre d'une image réelle.

3-1 Simulation sur des raies stables en fréquence

Le signal à détecter est constitué d'un ensemble de 10 sinusoïdes composant 10 harmoniques impaires dont le fondamental est à 312,5 Hz. Les amplitudes décroissent successivement d'un facteur deux. De cette façon, la valeur d'un point x_{ij} du signal à simuler parmi les 4096 échantillons composant une séquence d'indice j sera la suivante :

$$x_{ij} = A \cdot \sum_{k=0}^9 \left[\frac{\sin 2\pi \cdot i \cdot (k+1)}{32} \right] \cdot 2^{-k}$$

i = 0, 1, ..., 4095

k indice de l'harmonique

Les 10 harmoniques d'amplitude et donc de rapport signal à bruit bien défini vont nous permettre de tracer 10 courbes COR. Connaissant les valeurs de ces harmoniques et les paramètres du bruit, \bar{m} et $\bar{\sigma}$ on peut exprimer le rapport signal à bruit moyen de ces harmoniques pour les 128 spectres dans le tableau suivant :

Harmonique	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
Niveau	10 000	5 000	2 500	1 250	625	312,5	156,25	78	39	19,5
S/n (Db)	31,4	25,4	19,9	13,3	7,3	1,3	-4,7	-10,7	-16,8	-22,8

Tableau 3.1 : Rapport signal à bruit des 10 harmoniques

Pour chaque lofar-gramme traité, les paramètres \bar{m} et $\bar{\sigma}$ du bruit seront calculés sur toute l'image, exceptées les zones de 41 points centrées sur chaque raie, et cela pour les 128 spectres.

Le calcul de la probabilité de détection se fera bien entendu sur les raies spectrales. Par contre, la probabilité de fausse alarme sera calculée pour chacune des raies dans deux zones de 92 x 128 points placées de part et d'autre de la raie considérée.

Les seuils de détection vont de \bar{m} à $\bar{m} + 5,8\bar{\sigma}$ par pas de $0,2\bar{\sigma}$ soit 30 valeurs.

Le traitement va être fait à l'aide du filtre dont la fonction de transfert est exprimée par la relation 1-2.

Les paramètres de ce filtre ont été choisis de la manière suivante :

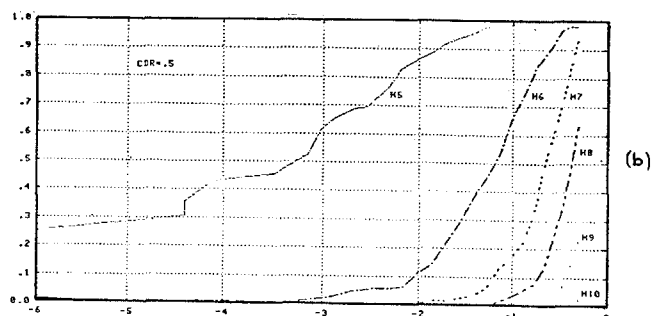
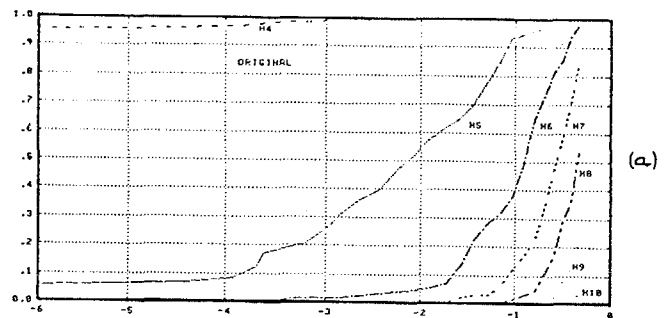
- $\gamma_i = 0,5$
- $\gamma_r = 2$
- $D0 = 20$
- $D1 = 50$
- $n0 = 4$
- $n1 = 15$

Un paramètre supplémentaire appelé Biais (composante continue) est rajouté au signal avant d'effectuer le filtrage. Cette technique [4] permet d'augmenter le contraste des faibles niveaux. Dans le cadre de cette application le Biais est porté à une valeur de 1000.

Nous présentons des résultats issus de traitements pour lesquels le coefficient de directivité du filtre Cdr a pris successivement les valeurs: 0.5, 0.2, 0.1, 0.05. Ces résultats sont visibles sur les tracés suivants des courbes COR.

On notera cependant que :

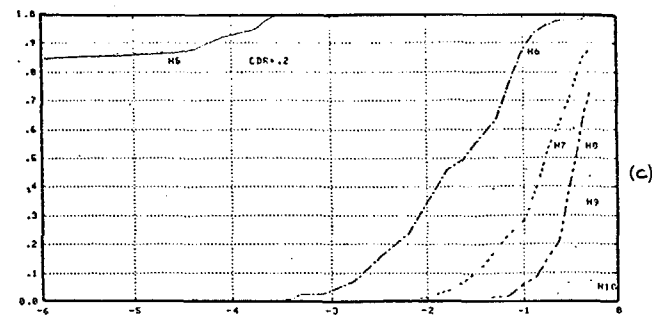
- l'abscisse représente la probabilité de fausse alarme en coordonnée logarithmique de 10⁰ à 10⁻⁶,
- l'ordonnée exprime la probabilité de détection (0 < Pd < 1)



FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR

TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS
THOREAU D.*

RAFINE B., MORIN J.Y.**



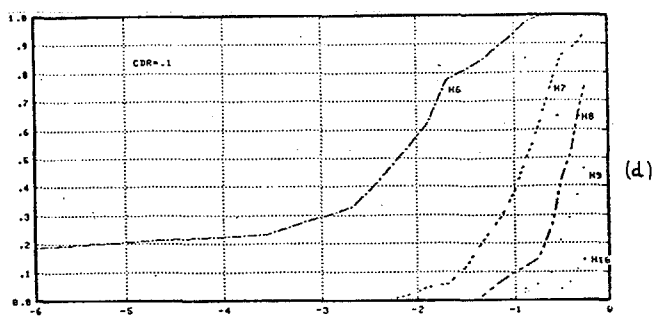
	Moyenne \bar{m}	Variance $\bar{\sigma}$
Original	271	142
Cdr = .5	344	44
Cdr = .2	343,9	28,17
Cdr = .1	342,6	20,4
Cdr = .05	342,3	15,4

M	\bar{m}	$\bar{\sigma}$
1	271	142
3	271	81,8
5	271	63,3
9	271	47,1
15	271	36,6

(a)

(b)

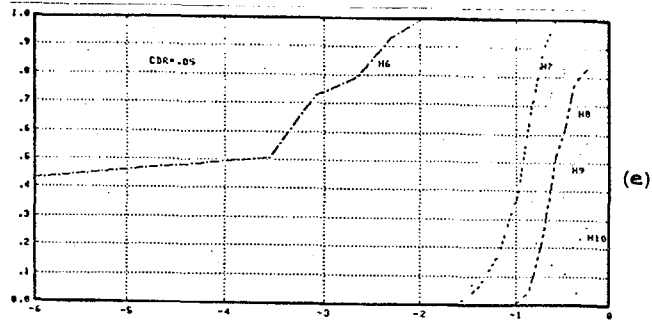
Tableau 3.2 : Paramètres du bruit
(a) original et traitement
(b) moyennage glissant



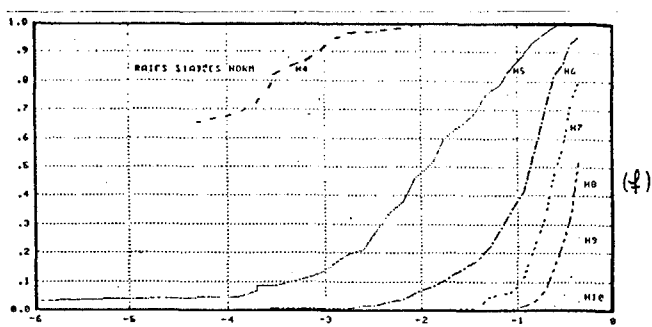
(d)

Commentaires

- a) Les courbes COR relatives aux harmoniques H1, H2 et H3 n'apparaissent pas, car en dessous d'un seuil de 10^{-5} de fausse alarme, ce taux est nul, tandis que la Pd est égale à 1 comme nous pouvons le voir sur la figure 3.1 (a).
- b) On remarque que, bien que, au fur et à mesure que le terme Cdr décroît (coefficient de directivité), la probabilité de détection des harmoniques (H4, H5, H6) augmente à Pfa donnée.
- c) Par contre, en ce qui concerne les signaux à faible rapport signal à bruit (H7 à H10), l'amélioration du contraste est beaucoup plus délicate, l'information étant noyée dans le bruit.
- d) A l'examen du tableau 3.2 (a), on note que le filtrage agit principalement sur la variance du bruit. L'augmentation de la moyenne est uniquement due à l'introduction d'un biais de 1000 avant filtrage et du facteur multiplicatif de 10 après.
- e) Les courbes COR issues de l'original normé sont semblables sauf au niveau de l'harmonique 4.
- f) Les performances du traitement 2D pour Cdr = 0,1 sont très similaires à celles obtenues avec un moyennage glissant sur 15 spectres.



(e)



(f)

Figure 3.2 : Courbes COR : (a) original
b, c, d, e, après traitement pour
Cdr = .5, .2, .1, .05
(f) après normalisation

A titre de comparaison, la figure 3.2 (f) représente les courbes COR obtenues après normalisation du spectre original [5]. Les paramètres du bruit issu de ces traitements sont présentés dans le tableau 3.2 (a), et ceux obtenus après moyennage glissant le sont dans le tableau 3.2 (b).

3-2 Raies affectées d'un doppler

Le signal à simuler est tel que la valeur x_{ij} d'un point du signal parmi les 4096 d'une séquence d'indice j aura pour valeur :

$$x_{ij} = A \cdot \sum_{k=0}^9 \text{SIN}(2 \pi / 32 \cdot i \cdot (k+1) \cdot \text{Rd}j) \cdot 2^{-k}$$

$i = 0, 1, \dots, 4095$

$j = 0, 1, \dots, 127$

$k = 0, 1, \dots, 9$

avec $\text{Rd}j = 1 + \text{COS}(\theta_j) \cdot 0,01$

Les rapports signal à bruit des 10 harmoniques sont les mêmes qu'au paragraphe 3-1, on notera cependant qu'au niveau du lofargramme l'énergie des raies ne se trouve plus concentrée dans un seul canal la fréquence n'étant plus un sous-multiple exact de la gamme d'analyse.



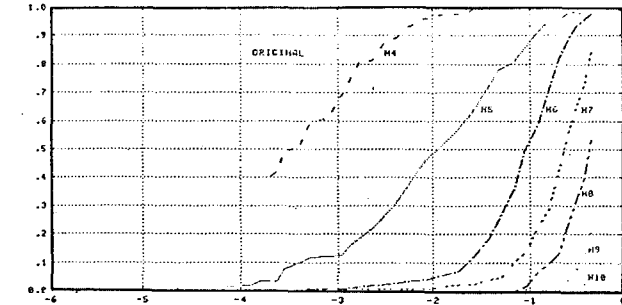
FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR

TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS

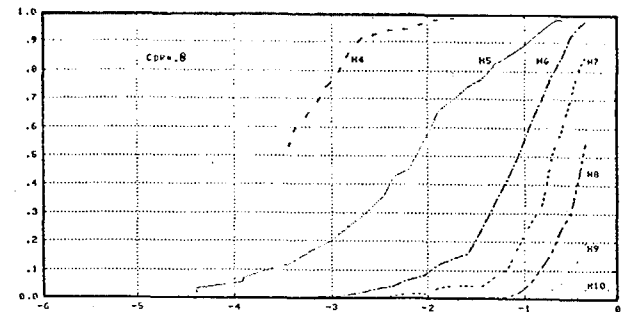
THOREAU D.*

RAFINE B., MORIN J.Y.**

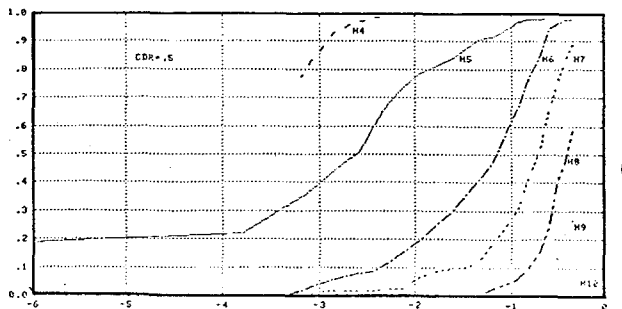
Les courbes COR suivantes nous donnent un aperçu des résultats obtenus après avoir traité de la même manière qu'au paragraphe 3-1, l'original.



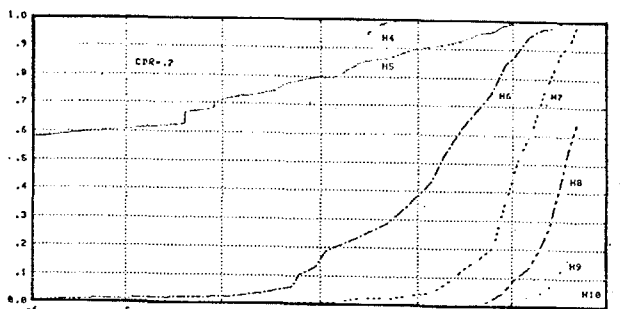
(a)



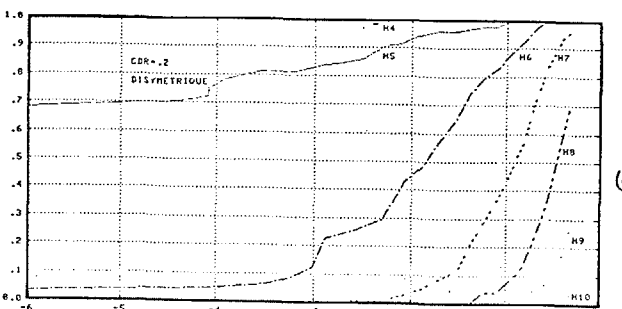
(b)



(c)



(d)



(e)

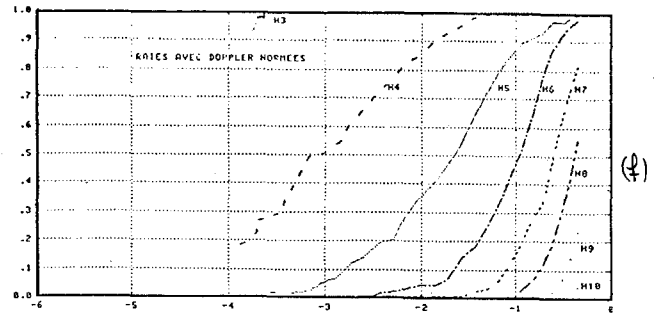


Figure 3.3 : Courbes COR (a) original, (b), (c), (d), (e), après traitement, Cdr = .8, .5, .2, .2 dissymétrique, (f) après normalisation

Commentaires

- a) Sur l'original, les courbes COR des 3 premières harmoniques ont une probabilité de détection toujours égale à 1.
- b) En regardant avec les différentes courbes COR relatives à H4, H5 et H6, on note que l'efficacité du filtrage est optimale pour Cdr = .2 dissymétrique, car pour un Cdr inférieur, le traitement altère la Pd au niveau de H3. Le phénomène de la réduction de la Pd notamment pour H3, vient du fait que le caractère passe-bas du filtre dans la direction verticale lisse les raies au niveau du doppler.

3-3 Raies fluctuantes en fréquence

La simulation à l'aide de 10 harmoniques est réalisée de façon semblable à celle décrite au paragraphe 3-2 sur des signaux affectés d'une fluctuation en fréquence sinusoïdale avec un taux de modulation de 4 %.

La valeur x_{ij} d'un point du signal parmi les 4096 à la séquence j aura pour valeur :

$$x_{ij} = A \cdot \sum_{k=0}^9 \text{SIN}(2\pi/32 \cdot i \cdot (k+1) \cdot \delta f_j) \cdot 2^{-k}$$

$$\delta f_j = 1 + \text{SIN}(45/2 \cdot j) \cdot 0,04$$

$$i = 0, 1, \dots, 4096$$

$$j = 0, 1, \dots, 127$$

$$k = 0, 1, \dots, 9$$

Les différents traitements mis en oeuvre nous ont donné les résultats suivants :

FILTRAGE BIDIMENSIONNEL DE SPECTROGRAMMES SONAR

TWO-DIMENSIONAL FILTERING OF SONAR SPECTROGRAMS
THOREAU D.*
RAFINE B., MORIN J.Y.**

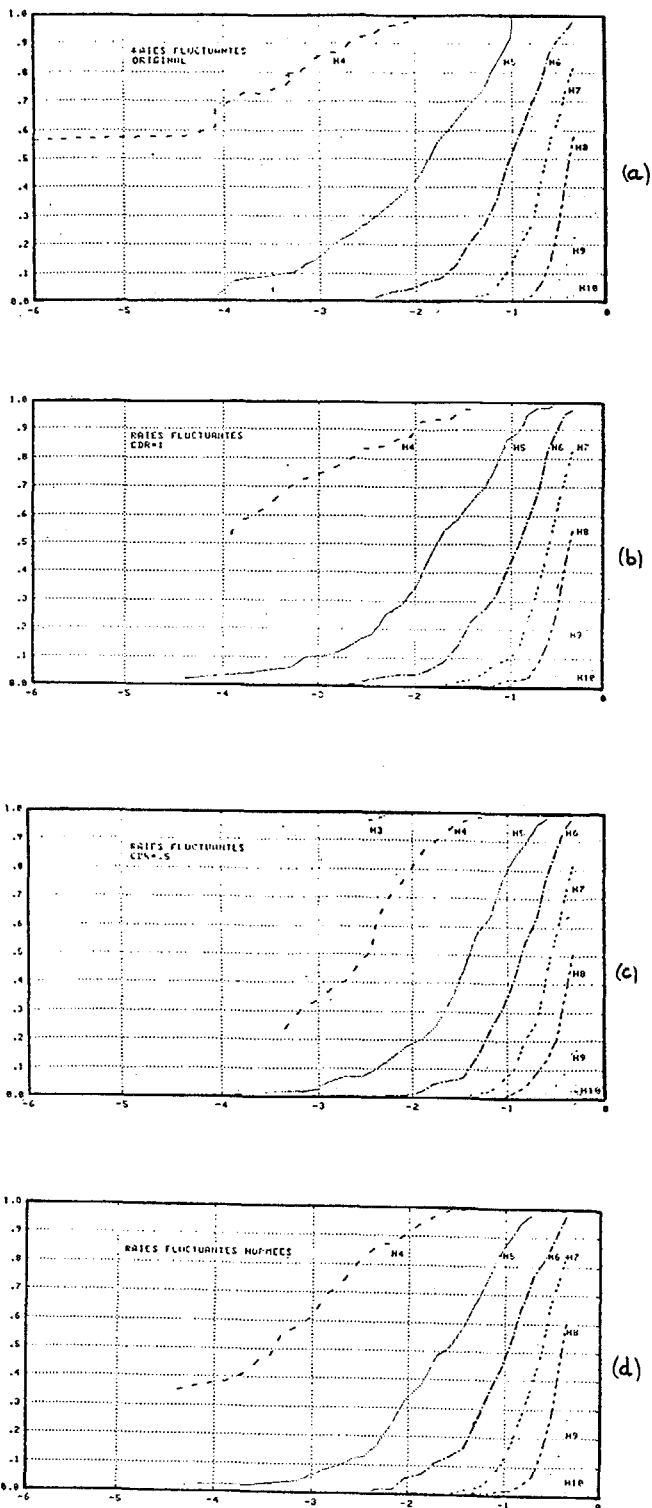


Figure 3.4 : Courbes COR (a) original, (b), (c) traitement Cdr = 1., 5, (d) après normalisation.

Commentaires

Il est évident que nous sommes en présence d'un des cas les plus délicats en ce qui concerne l'amélioration du contraste des raies. Il faut être conscient du fait que plus une raie sur un lofargramme est fluctuante, plus est diffuse la zone occupée par l'énergie de cette raie dans le plan de

Fourier à 2D du spectre de ce lofargramme.

Dans la pratique cela est confirmé par le tracé des courbes COR qui ne reflète pas d'amélioration notable de l'original après traitement.

CONCLUSION

Après l'examen des résultats expérimentaux, il est évident qu'il n'est pas simple de réduire l'influence du bruit contenu dans ce type d'image sans avoir une connaissance à priori de la variation fréquentielle de l'information à détecter.

Dans le cas le plus défavorable, soit celui des raies fluctuantes, le traitement 2D homomorphique n'apporte pas d'amélioration notable au niveau des courbes COR, mais nous ferons cependant les remarques suivantes:

- le spectre à 2D de raies fluctuantes d'un lofargramme est omnidirectionnel ; de ce fait, l'accroissement des hautes fréquences s'opère nécessairement sur les raies et le bruit ;

- les raies fluctuantes d'un lofargramme occupant généralement plusieurs canaux possèdent une certaine composante locale continue qui disparaît après filtrage et améliore ainsi l'accutance de l'image. On notera que la norme réalise la même opération.

En présence de raies avec doppler, les résultats sont déjà plus intéressants compte tenu du fait que l'on commence à bénéficier de la directivité des raies. Il faut néanmoins garder, au niveau du filtrage, un bon compromis entre la réduction de la variance du bruit et le risque de lissage des raies dans la zone doppler. ce compromis dépend évidemment de l'importance de l'effet doppler, et de la finesse d'analyse en fréquence. Cette variation en fréquence ne se faisant que de manière décroissante, il est très intéressant d'utiliser un filtre dont la fonction de transfert est dissymétrique.

Enfin, la méthode exposée dans ce rapport prend toute son efficacité dans le traitement d'un lofargramme contenant des raies stables en fréquence. Elle permet d'obtenir des résultats semblables à ceux obtenus après la normalisation, et le moyennage glissant. On notera que la normalisation améliore entre autres, l'aspect contraste (l'accutance) d'une raie occupant plusieurs canaux, ce que ne peut réaliser un moyennage glissant.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - F. LEFAUDEUX
Algorithme pragmatique de normalisation
8e GRETSI - NICE '81
- 2 - STOCKAM T.G.
Image processing in the context of a visual model Proc IEEE vol 60, n° 7 pp 842-888
- 3 - OPPENHEIM A.V. RW, and STOCKHAM T.G.
Non linear filtering of multiplied and convolved signal Proc IEEE vol 56, n° 8 pp 1264-1291
- 4 - OPPENHEIM A.V. and SCHAFFER
Digital Signal Processing
Prentice-Hall (75)
- 5 - C. PLUMEJEAUD, B. RAFINE et B. LUCAS
Algorithme de normalisation
9e GRETSI - NICE 83