



SUR L'INTERET DE L'ADAPTATIVITE PAR RAPPORT A LA ROBUSTESSE  
EN DETECTION SONAR

*Michel BOUVET*

*Stuart C. SCHWARTZ*

*GERDSM, DCAN Toulon, DCN*                      *Electrical Engineering Department*  
*Le Brusac, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES*   *Princeton University, PRINCETON, NJ 08540 (USA)*

**RESUME**

Ce papier est consacré à la comparaison entre trois récepteurs, deux étant minimax robustes (le filtre adapté et le limiteur doux) et le troisième étant adaptatif. Par "adaptatif", nous entendons ici "fondé sur une modélisation paramétrique dont les valeurs des paramètres sont estimées à partir de l'observation". Ce modèle est associé à la densité de probabilité du bruit, supposé additif et blanc et suivant une loi du type mixture Gaussienne-Gaussienne.

Cette comparaison est effectuée en termes de courbes COR et en utilisant un échantillon de bruit réel obtenu en acoustique sous-marine. A forts rapports signal-sur-bruit, les gains obtenus par l'utilisation du récepteur adaptatif sont importants mais tendent à s'estomper à faibles rapports signal-sur-bruit.

**SUMMARY**

This paper is devoted to the comparison between three receivers, two being minimax robust (the matched filter and the soft-limiter) and one being adaptive, i.e., based upon a parametric modeling whose parameters values are computed from the observation. This model is associated with the noise probability density function and corresponds to a Gaussian-Gaussian mixture PDF.

This comparison is made by using the ROC curves as detection criterion and with real underwater noise samples. For high signal-to-noise ratio, the adaptive receiver lead to an important improvement of the performances, whereas at low SNR, the gain is smaller.



I. DETECTION CLASSIQUE, ROBUSTE ET ADAPTATIVE

I.1 Détection classique

Le problème classique de détection consiste à décider si dans une observation, que nous supposons vectorielle,  $\underline{x}$ , un signal déterministe et supposé connu,  $\underline{s}$ , est présent (hypothèse  $H_1$ ) ou si cette observation ne contient que du bruit (hypothèse  $H_0$ ). Dans la suite, le bruit sera décrit par une densité de probabilité dépendant d'un paramètre,  $\theta$ , soit  $p(\underline{x}, \theta)$ . Ce paramètre caractérise cette densité de probabilité et inclut, par exemple, la moyenne et la variance d'une loi Gaussienne.

Le récepteur optimal pour le critère des courbes COR (Caractéristiques Opérationnelles de Réception, c'est-à-dire la probabilité de détection par rapport à la probabilité de fausse alarme) est bien connu: c'est le rapport de vraisemblance [1],

$$(1) \quad L(\underline{x}) = \frac{p(\underline{x} - \underline{s}, \theta)}{p(\underline{x}, \theta)}$$

I.2 Détection robuste

Le rapport de vraisemblance, pour être utilisé, nécessite la connaissance de la loi,  $p$ , et de la valeur du paramètre  $\theta$ . Si cette connaissance n'est pas disponible, mais qu'il est quand même possible d'assurer que ces variables,  $p$  et  $\theta$ , ne varient que dans des espaces de dimension raisonnable, disons  $\mathcal{P}$  et  $\Theta$ , on peut utiliser une approche robuste [2]. Celle-ci permet d'assurer un niveau minimal de performance, d'autant plus faible que les deux ensembles précédents sont grands.

I.3 Détection adaptative

Si la densité de probabilité est connue mais que la valeur du paramètre  $\theta$  est inconnue, il est courant de remplacer dans l'expression du récepteur (rapport de vraisemblance)  $\theta$  par une estimée. On obtient alors un récepteur qui sera qualifié d'adaptatif (bien que cette appellation soit discutable ... et discutée par les utilisateurs de traitement adaptatif au sens des télécommunications): ce paramètre étant estimé à partir de l'observation, on s'adapte aux données, donc à l'environnement. Le récepteur utilisé est donc  $L(\underline{x}, \hat{\theta})$ , ou, plus généralement,  $T(\underline{x}, \hat{\theta})$ . Il faut noter que  $L(\underline{x}, \hat{\theta})$  n'est pas le rapport de vraisemblance généralisé défini comme [1]

$$(2) \quad L_g(\underline{x}) = \frac{p(\underline{x} - \underline{s}, \hat{\theta}_1)}{p(\underline{x}, \hat{\theta}_0)}$$

où  $\hat{\theta}_1$  est l'estimée de  $\theta$  selon le maximum de vraisemblance sous  $H_1$ , qui n'a aucune raison particulière d'être un rapport de vraisemblance adapté,  $L(\underline{x}, \hat{\theta})$ .

I.4 Synthèse et but

Pour résumer, la Figure (1) schématise ces trois philosophies de problèmes de détection.

Nous allons, sur un cas particulier de bruit, décrit en III, comparer les performances de deux détecteurs obtenus en appliquant une approche robuste et un récepteur à caractère adaptatif, tous trois présentés en IV, qui utilise une modélisation de type mixture pour la densité de probabilité que nous allons maintenant décrire.

II. MODELE DE MIXTURE GAUSSIENNE-GAUSSIENNE

L'hypothèse classiquement utilisée pour la loi du bruit est l'hypothèse Gaussienne. Il semble toutefois utile, voire nécessaire, de s'en affranchir. Une seconde classe intéressante de densités de probabilité est constituée des modèles de mixture dont le premier terme est Gaussien [3,4], c'est-à-dire

$$(3) \quad p(\underline{x}, \theta) = (1-\varepsilon)g(\underline{x}, \sigma) + \varepsilon h(\underline{x}, \eta)$$

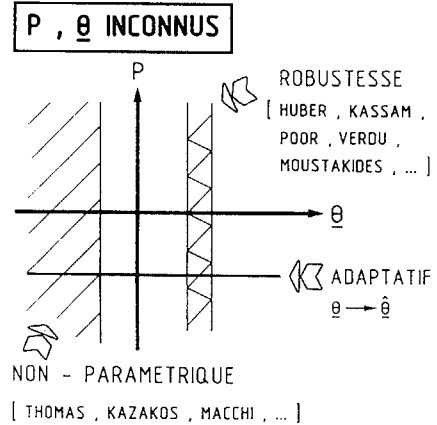


Figure (1) Ensemble de variations de  $p$  et de  $\theta$

au premier ordre, où  $g(\underline{x}, \sigma)$  est la loi de Gauss centrée de variance  $\sigma^2$ . Parmi cette famille, nous nous intéresserons particulièrement au modèle de mixture Gaussienne-Gaussienne,

$$(4) \quad p(\underline{x}, \theta) = (1-\varepsilon)g(\underline{x}, \sigma_1) + \varepsilon g(\underline{x}, \sigma_2)$$

Le paramètre  $\theta$  se compose ici du triplet  $(\varepsilon, \sigma_1, \sigma_2)$ .

III. ECHANTILLON DE BRUIT TRAITE

Dans la suite, nous présenterons des résultats obtenus en utilisant un échantillon de bruit réel. Déjà décrit dans [5], ce bruit est principalement généré par du trafic maritime et a été échantillonné à 1250 Hz. Avant traitement, les échantillons ont été "normalisés" au sens où leur moyenne a été rendue nulle et leur variance égale à 1.

A priori, cet échantillon a été supposé suivre une loi de mixture Gaussienne-Gaussienne. Une méthode des moindres carrés sur la fonction génératrice, décrite dans [6], a permis d'estimer les paramètres

$$(5) \quad \varepsilon = 0,0037, \quad \sigma_1 = 0,888, \quad \sigma_2 = 1,93$$

Il faut noter que l'"adaptation" à l'environnement, c'est-à-dire l'estimation des valeurs de ces paramètres, s'est faite sur un échantillon de bruit seul de 4000 points, alors que plus de 100000 points d'observation seront utilisés pour l'obtention des courbes COR des trois récepteurs que nous allons maintenant décrire

IV. LES RECEPTEURS COMPARES

IV.1 Filtre adapté

Le filtre adapté peut être considéré comme une référence: il est fondé sur l'hypothèse Gaussienne blanche et c'est le récepteur classique. De plus, c'est le filtre *minimax robuste* lorsque le critère de performances est l'efficacité relative et le bruit est du type de la mixture (3) [2,7]. Son expression est

$$(6) \quad T_{FA}(\underline{x}) = \underline{s}^t \underline{x}$$

IV.2 Limiteur doux

Le limiteur doux (ou écreteur doux ou corrélateur limiteur) réalise la corrélation entre l'observation écretee et le signal à détecter,

$$(7) \quad T(\underline{x}) = \underline{s}^t \underline{y} \quad \text{où} \quad y_i = \begin{cases} x_i & \text{si } |x_i| \leq k \\ -k & \text{si } x_i < -k \\ k & \text{si } x_i > k \end{cases}$$

où  $k$  est un seuil à fixer par l'utilisateur. Ce récepteur est *minimax robuste* par rapport au critère de Neyman-Pearson (courbes COR) [8].



### IV.3 Récepteur "adaptatif"

Le troisième récepteur utilisé ici est le récepteur que nous avons qualifié d'adaptatif: le rapport de vraisemblance associé au modèle de mixtur Gaussienne-Gaussienne (4),

$$(8) L_{GG}(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N \frac{(1-\varepsilon)g(x_i - s_1, \sigma_1) + \varepsilon g(x_i - s_2, \sigma_2)}{(1-\varepsilon)g(x_i, \sigma_1) + \varepsilon g(x_i, \sigma_2)}$$

### IV.4 Synthèse

Dans un but de comparaison, la Figure (2) illustre les non-linéarités de ces trois récepteurs.

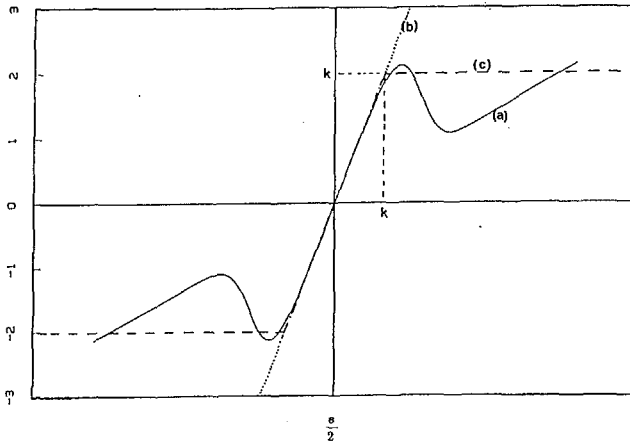


Figure (2)

Comparaison des non-linéarités des trois récepteurs:  
(a) récepteur "adapté" au modèle de mixture  
(b) filtre adapté  
(c) limiteur doux

Nous faisons aussi l'hypothèse d'un bruit blanc. De plus, le signal utilisé dans les simulations dont les résultats vont maintenant être présentés est constant.

## V. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### V.1 Résultats

Les courbes COR de ces trois récepteurs ont été estimées par une méthode de type Monte-Carlo en prenant 100000 échantillons du bruit (afin d'obtenir une PFA de  $10^{-5}$ ) et une longueur de signal égale à 100 échantillons (correspondant à 80 ms). La référence [9] complète ces résultats. Les Figures (3) à (6) correspondent à un seuil d'écrêtage,  $k$ , de 1,5 et à différents rapport signal-sur-bruit (RS/B), 0, -5, -10 et -15 dB. La Figure (7) correspond à un seuil  $k = 2,0$  et à -5 dB.

### V.2 Interprétations

La conclusion la plus intéressante est la vérification de l'obtention de meilleures performances lorsqu'un récepteur adaptatif est utilisé par rapport à un récepteur minimax robuste.

A forts RS/B, le filtre adapté et le récepteur adaptatif ont des performances similaires jusqu'à une PFA de  $10^{-4}$ . Ceci s'explique par le fait que nous sommes dans la zone quasi-linéaire de la non-linéarité du récepteur adaptatif, voir Figure (2). Le limiteur doux a alors de mauvaises performances car il coupe le signal que le bruit. Notons ici que ce bruit n'a pas un caractère impulsif, ce qui peut être vu sur son moment du quatrième ordre (kurtosis) qui peut être estimé vers 2,2 et est donc plus faible que la valeur Gaussienne de 3,0 [5].

Pour des RS/B moyens, -5 et -10 dB, les différences de performances entre ces deux récepteurs est plus importante car leur non-linéarités sont plus

différentes.

A faibles RS/B, ici -15 dB, les performances des trois récepteurs redeviennent équivalentes car nous revenons dans une zone quasi-linéaire (autour de l'origine) du récepteur adaptatif et du limiteur doux.

### BRUIT DE TRAFIC - SIGNAL CONSTANT

..... Filtre adapté    - - - - Limiteur doux    — Récepteur adaptatif

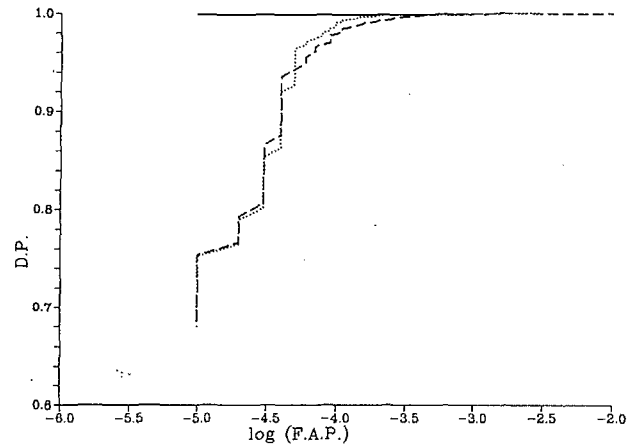


Figure (3)

Courbes COR pour un seuil  $k = 1,5$   
et un rapport signal-sur-bruit de 0 dB

### BRUIT DE TRAFIC - SIGNAL CONSTANT

..... Filtre adapté    - - - - Limiteur doux    — Récepteur adaptatif

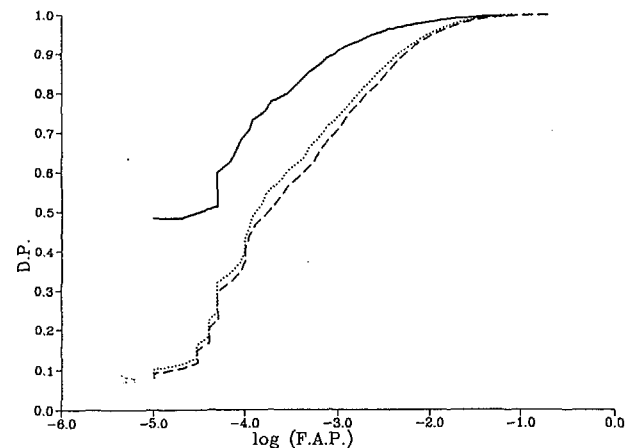


Figure (4)

Courbes COR pour un seuil  $k = 1,5$   
et un rapport signal-sur-bruit de -5 dB



BRUIT DE TRAFIC - SIGNAL CONSTANT

..... Filtre adapté    - - - - Limiteur doux    — Récepteur adaptatif

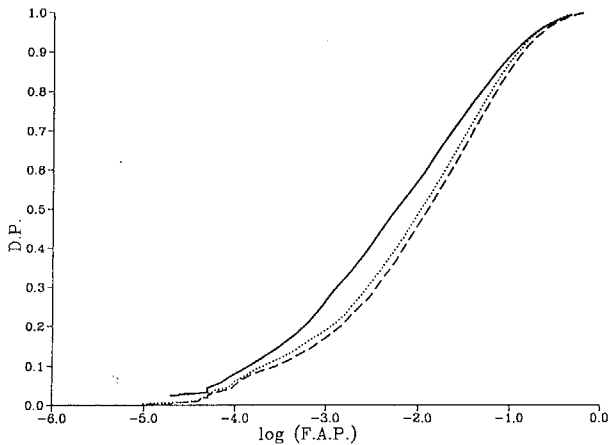


Figure (5)  
Courbes COR pour un seuil  $k = 1,5$   
et un rapport signal-sur-bruit de  $-10$  dB

BRUIT DE TRAFIC - SIGNAL CONSTANT

..... Filtre adapté    - - - - Limiteur doux    — Récepteur adaptatif

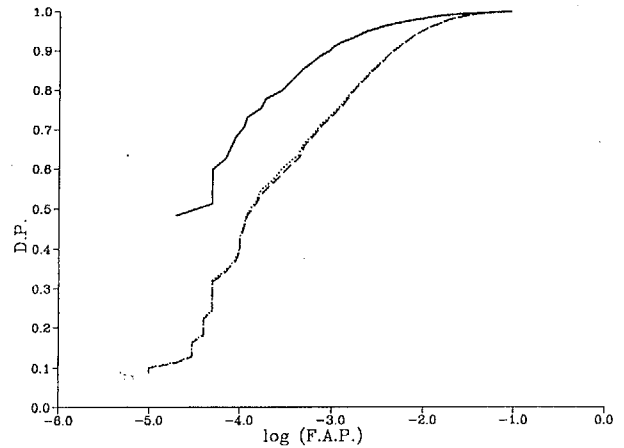


Figure (7)  
Courbes COR pour un seuil  $k = 2,0$   
et un rapport signal-sur-bruit de  $-5$  dB

BRUIT DE TRAFIC - SIGNAL CONSTANT

..... Filtre adapté    - - - - Limiteur doux    — Récepteur adaptatif

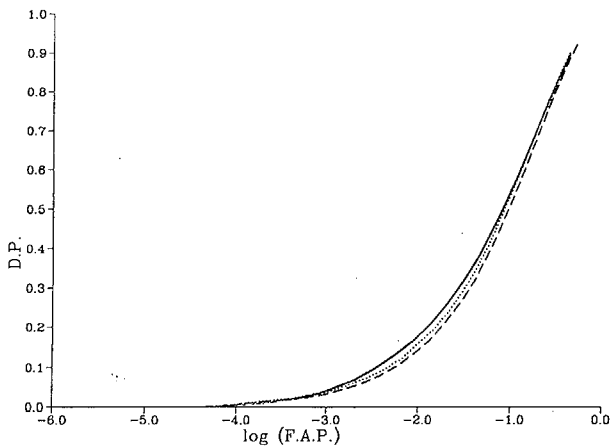


Figure (6)  
Courbes COR pour un seuil  $k = 1,5$   
et un rapport signal-sur-bruit de  $-15$  dB

#### VI. CONCLUSIONS

En conclusion, nous avons vérifié sur un cas réel et en utilisant une loi du bruit non-Gaussienne l'idée suivante: un détecteur adaptatif possède de meilleures performances qu'un détecteur robuste. Il est évident qu'il est nécessaire que la loi du bruit utilisée soit réaliste pour que cette affirmation reste vraie.

#### REFERENCES

- [1] P.-Y. ARQUES: *Décisions en traitement du signal*, Masson, 1984
- [2] M. BOUVET: "Robustesse minimax et détection", *Traitement du Signal*, vol 4, n°1, 1987, p.3-14
- [3] H. CHERIFI: "Modélisation, identification et systèmes de détection de bruits non-Gaussiens", *Rapport CEPHAG n°30/86*, 1986
- [4] M. BOUVET: "Détection en environnement non-Gaussien: différentes approches et utilisation des modèles de mixture", *Traitement du Signal*, vol 4, n°2, 1987, p.101-113
- [5] M. BOUVET, S.C. SCHWARTZ: "Underwater noises: statistical modeling, detection and normalization", *Jour. Acoustical Soc. America*, vol83, n°3, 1988, p.1023-1033
- [6] R.E. QUANDT, J.B. RAMSEY: "Estimating mixtures of normal distributions and switching regressions", *Jour. American Statistical Ass.*, vol 73, n°364, 1978, p.730-752
- [7] M. BOUVET, B. PICINBONO: "Minimax robust receiver in coloured noise for local deflexion", *Proceedings of ICASSP 87*, Dallas, 1987, paper n°26.3
- [8] R.D. MARTIN, S.C. SCHWARTZ: "Robust detection of a known signal in nearly Gaussian noise", *IEEE Trans. on Information Theory*, vol 17, n°1, 1971, p.50-56
- [9] M. BOUVET, S.C. SCHWARTZ: "Comparison of adaptive and robust receivers for signal detection in ambient underwater noise", to be published in *IEEE Trans. on ASSP*