

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

Pierre-Yves ARQUES Georges VEZZOSI

Laboratoire de Traitement du Signal - UNIVERSITE DE RENNES I - CAMPUS DE BEAULIEU - 35042 RENNES CEDEX

RESUME

On détermine la structure d'un détecteur à n_e entrées, d'un signal certain connu, dans un bruit stationnaire connu au second ordre, soumis à la contrainte d'élimination de plusieurs brouilleurs, de position connue ; il possède une optimalité du type filtrage adapté : structure linéaire et homogène maximalisant un rapport signal sur bruit de sortie. On étudie ses performances dans différents cas.

SUMMARY

The structure of a receiver with n_e inputs is determined for the detection of a deterministic known signal disturbed by a stationary noise of known second order statistics, submitted to the constraint of cancelling the jamming created by several point-sources whose position is known ; it has an optimality of matched filter type : linear and time invariant structure maximizing an output signal to noise ratio. Its performances are studied in different cases.



STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

1 - DETECTION D'UN SIGNAL DETERMINISTE EN PRESENCE DE BROUILLEURS

On désigne par t le temps, ν la fréquence, i l'imaginaire pur de module 1 et d'argument $\pi/2$, $E\{\cdot\}$ l'espérance mathématique, et, X étant une matrice, par X^T sa transposée, X^* sa conjuguée, X^\dagger son associée (transposée conjuguée), X^{-1} son inverse. Les filtrages utilisés sont linéaires et homogènes.

On considère dans l'espace géométrique n_e capteurs disposés de manière quelconque. Ils servent d'entrée aux fonctions indépendantes et additives suivantes :

- le signal déterministe (connu) réel vectoriel $S(t)$, de spectre $s(\nu)$ (matrice colonne d'ordre n_e) ; il n'est qu'éventuellement présent ;

- le bruit réel vectoriel $B(t)$, stationnaire au second ordre, de (n_e, n_e) -matrice de densité spectrale centrée $\gamma_B(\nu)$, régulière pour tout ν , connue ;

- le brouillage réel vectoriel $N(t)$, engendré sur les entrées par n_N brouilleurs ponctuels reliés aux n_e entrées par un canal de transmission représenté par la (n_e, n_N) -matrice $c(\nu)$, à symétrie hermitienne ($c(\nu) = c^*(-\nu)$), connue ; $c(\nu)$ est la matrice de gain complexe du filtrage, linéaire et homogène à n_N entrées et n_e sorties, représentant l'effet de la propagation et des capteurs entre les points de localisation des brouilleurs et les entrées ; le brouillage $N(t)$ est aléatoire, indépendant de $S(t)$ et $B(t)$, stationnaire au second ordre de (n_e, n_e) -matrice de densité spectrale centrée $\gamma_N(\nu)$.

On sait que [1,2] $\gamma_N(\nu)$ et $E\{N(t)\}$ se déduisent de la (n_N, n_N) -matrice de densité spectrale centrée $\gamma_M(\nu)$ et de la valeur moyenne n_N -vectorielle $E\{M(t)\}$, engendrés par les n_N émetteurs de brouillage, selon :

$$\gamma_N(\nu) = c(\nu) \gamma_M(\nu) c^\dagger(\nu), \quad E\{N(t)\} = c(\nu) E\{M(t)\}.$$

Selon les cas, correspondant à diverses hypothèses sur le signal de brouillage, on peut effectuer la détection du signal $S(t)$, perturbé par le bruit $B(t)$ et par le brouillage $N(t)$, au moyen de systèmes comparant à un seuil de décision la fonction de sortie de divers filtrages adaptés. Le n_e -filtrage adapté au signal $S(t)$ dans le bruit et le brouillage $B(t) + N(t)$ (qualifié d'"optimal" dans la suite) nécessite la connaissance de $\gamma_N(\nu)$, n'est pas optimal en absence de brouillage, et a pour matrice de gain complexe

$$h_N(\nu) = K e^{-2\pi i \nu t_D} s^\dagger(\nu) [\gamma_B(\nu) + \gamma_N(\nu)]^{-1}, \quad (1)$$

et rapport signal sur bruit en présence de brouillage :

$$\left[\frac{S}{B} \right]_N = \int_{-\infty}^{+\infty} s^\dagger(\nu) [\gamma_B(\nu) + \gamma_N(\nu)]^{-1} s(\nu) d\nu. \quad (2)$$

Le n_e -filtrage adapté au signal $S(t)$ dans le bruit $B(t)$ (cas particulier du précédent pour $\gamma_N(\nu) = 0$) n'est optimal qu'en absence de brouillage. On peut donc utiliser le n_e -filtrage adapté au signal $S(t)$ dans le bruit $B(t)$ éliminateur du brouillage $N(t)$ (c'est-à-dire sous la contrainte d'élimination des signaux transmis par le canal de transmission $c(\nu)$) : il nécessite la connaissance de la matrice-canal $c(\nu)$ mais non celle de $\gamma_N(\nu)$. Un tel système est envisageable dans un tel contexte d'information a priori ou encore, par exemple, lorsque les brouilleurs sont intermittents de façon aléatoire.

2 - CARACTERISATION DU FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR

On définit le n_e -filtrage adapté au signal $S(t)$ dans le bruit $B(t)$ éliminateur du brouillage $N(t)$ comme la $(1, n_e)$ -matrice de filtrage de gain complexe $h(\nu)$ (figure 1) dont la sortie satisfait aux deux conditions suivantes :

- la densité spectrale du brouillage y est annulée,
- le rapport signal sur bruit (défini comme le rapport de la puissance instantanée de signal à la puissance moyenne de bruit) y est maximale.

Ce n_e -filtrage adapté éliminateur peut être déterminé de diverses manières conduisant au même résultat. On peut rechercher directement la $(1, n_e)$ -matrice $h(\nu)$ satisfaisant aux conditions précédentes (cf [2]). On va, ici, chercher $h(\nu)$ sous la forme $h(\nu) = f(\nu)g(\nu)$ d'une cascade d'une $(1, n_e)$ -matrice de filtrage $g(\nu)$ et d'un filtrage $f(\nu)$ tels que (figure 2) :

- $g(\nu)$ élimine le brouillage $N(t)$ (il existe une infinité de telles matrices) ;
- $f(\nu)$ est le filtrage adapté (1 entrée, 1 sortie) au "signal de sortie $X_S(t)$ de $g(\nu)$ " dans le "bruit de sortie $X_B(t)$ de $g(\nu)$ " ; $X_S(t)$ (de spectre $x_S(\nu)$) et $X_B(t)$ (de densité spectrale centrée $\gamma_{XB}(\nu)$) sont les fonctions de sortie de la matrice de filtrage $g(\nu)$ correspondant aux fonctions d'entrée $S(t)$ et $B(t)$; ce filtrage $f(\nu)$ maximise le rapport signal sur bruit en sortie du système conditionnellement à la matrice $g(\nu)$;
- la matrice $g(\nu)$ choisie est celle qui maximise le "rapport signal sur bruit maximal conditionnel à $g(\nu)$ ".

Une $(1, n_e)$ -matrice de filtrage $g(\nu)$ éliminatrice du brouillage $N(t)$ de (n_e, n_N) -canal matriciel $c(\nu)$,

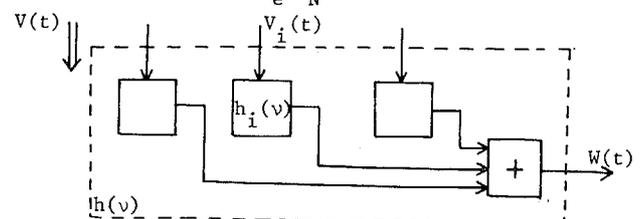


Figure 1 : $(1, n_e)$ -matrice (ligne) de filtrage.

STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

quelles que soient les fonctions de brouillage utilisées, satisfait [3] à la contrainte matricielle :

$$\forall v, \quad g(v) c(v) = 0 \quad (3)$$

(la matrice $h(v) = f(v) g(v)$ satisfait bien à la même contrainte).

Par ailleurs on a (K constante arbitraire réelle non nulle) :

$$x_s(v) = g(v)s(v), \quad \gamma_{XB}(v) = g(v)\gamma_B(v)g^\dagger(v),$$

$$f(v) = K e^{-2\pi i v t_D} x_s^\dagger(v) \gamma_{XB}^{-1}(v),$$

$$h(v) = K e^{-2\pi i v t_D} s^\dagger(v) g^\dagger(v) [g(v)\gamma_B(v)g^\dagger(v)]^{-1} g(v); \quad (4)$$

le rapport signal sur bruit de sortie est celui du filtrage adapté à $X_s(t)$ dans $X_B(t)$:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} S \\ B \end{bmatrix} &= \int_{-\infty}^{+\infty} x_s^\dagger(v) \gamma_{XB}^{-1}(v) x_s(v) dv \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s^\dagger(v) g^\dagger(v) g(v) s(v)}{g(v) \gamma_B(v) g^\dagger(v)} dv = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{g(v) s(v) s^\dagger(v) g^\dagger(v)}{g(v) \gamma_B(v) g^\dagger(v)} dv. \end{aligned} \quad (5)$$

La matrice $g(v)$ maximalisant le rapport signal sur bruit précédent est telle que, pour tout v ,

$$\begin{cases} \frac{g(v) s(v) s^\dagger(v) g^\dagger(v)}{g(v) \gamma_B(v) g^\dagger(v)} \text{ maximal,} \\ g(v) c(v) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

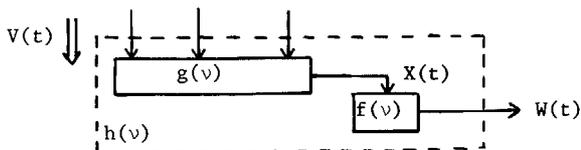


Figure 2 : Cascade de filtrages.

3 - DETERMINATION DU FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR

On considère pour une fréquence v donnée l'espace de Hilbert H_v sur le corps des complexes des $(1, n_e)$ -matrices à éléments complexes, muni de la somme, du produit par un scalaire complexe et du produit hermitien $(g', g'')_v = g'(v) \gamma_B(v) g''^\dagger(v)$. On appelle $c_j^\dagger(v)$ la $j^{\text{ème}}$ ligne de la matrice $c^\dagger(v)$. On suppose les éléments des différentes matrices intervenant dans le problème tels que les matrices lignes $g(v)$, $c_j^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)$, $s^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)$ appartiennent à H_v .

On appelle D_v le sous-espace de H_v orthogonal aux n_N éléments $c_j^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)$ de H_v . Alors, la relation $g(v) c(v) = 0$ est équivalente à, $\forall j \in \{1, \dots, n_N\}$, $(g, c_j^\dagger \gamma_B^{-1}) = 0$, et donc à $g \in D_v$.

La matrice $g(v)$ cherchée est donc l'élément de D_v tel que $|(g, s^\dagger \gamma_B^{-1})_v|^2 / \|g\|_v^2$ maximal.

On désigne par Π_{D_v} la projection orthogonale sur le sous-espace D_v de H_v . Par utilisation des propriétés de la projection orthogonale, des propriétés du produit scalaire, et de l'inégalité de Schwarz, on peut écrire, pour une matrice g appartenant à D_v :

$$\begin{aligned} (g, s^\dagger \gamma_B^{-1})_v &= (g, \Pi_{D_v} \{s^\dagger \gamma_B^{-1}\})_v \\ |(g, s^\dagger \gamma_B^{-1})_v|^2 &\leq \|g\|_v^2 \|\Pi_{D_v} \{s^\dagger \gamma_B^{-1}\}\|_v^2 \\ \frac{|(g, s^\dagger \gamma_B^{-1})_v|^2}{\|g\|_v^2} &\leq \|\Pi_{D_v} \{s^\dagger \gamma_B^{-1}\}\|_v^2. \end{aligned}$$

Le second membre de l'expression précédente est indépendant du filtrage cherché et constitue donc un maximum absolu, lequel est atteint pour la $(1, n_e)$ -matrice $g(v)$ telle que l'inégalité de Schwarz se transforme en égalité, c'est-à-dire, K' étant une constante arbitraire non nulle :

$$g(v) = K' \Pi_{D_v} \{s^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)\}. \quad (7)$$

La matrice $g(v)$ devant être à symétrie hermitienne ($g(v) = g^*(-v)$) la constante K' est réelle.

On sait alors [4] que la matrice de projection d'un élément de H_v sur D_v est

$$P(v) = I - c(v) (c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) c(v))^{-1} c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v), \quad (8)$$

telle que
$$g(v) = K' s^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) P(v), \quad (9)$$

$$P(v) \gamma_B(v) P^\dagger(v) = P(v) \gamma_B(v), \quad (10a)$$

$$P^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) = \gamma_B^{-1}(v) P(v). \quad (10b)$$

La notation A^- désigne une matrice inverse généralisée de la matrice A , définie par $AA^-A = A$; c'est la matrice inverse A^{-1} de A si A est régulière ; une telle matrice A^- n'est pas forcément unique mais on vérifie que $P(v)$ est indépendant du représentant de A^- utilisé et est donc unique.

Le n_e -filtrage adapté du signal $S(t)$ dans le bruit $B(t)$ éliminateur du brouillage $N(t)$ de canal $c(v)$ s'écrit donc :

$$\begin{aligned} h(v) &= K e^{-2\pi i v t_D} s^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) [I \\ &\quad - c(v) (c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) c(v))^{-1} c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)] \end{aligned} \quad (11)$$

(K constante arbitraire réelle non nulle) avec pour rapport signal sur bruit de sortie

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} S \\ B \end{bmatrix} &= \int_{-\infty}^{+\infty} s^\dagger(v) [\gamma_B^{-1}(v) \\ &\quad - \gamma_B^{-1}(v) c(v) (c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) c(v))^{-1} c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v)] s(v) dv. \end{aligned} \quad (12)$$

Le n_e -filtrage adapté éliminateur peut être interprété comme la mise en cascade d'une (n_e, n_e) -matrice de



STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

filtrage particulière éliminatrice du canal $c(v)$ et du n_e -filtrage adapté (non éliminateur) du signal S dans le bruit B . Les différents facteurs intervenant dans son expression l'étant, il est à symétrie hermitienne.

La (n_N, n_N) -matrice $(c^\dagger(v) \gamma_B^{-1}(v) c(v))$ est de rang $n_p \leq \inf\{n_N, n_e\}$. Si $n_p = n_N \leq n_e$ la matrice inverse généralisée se restreint à la matrice inverse. Si $n_p < \inf\{n_N, n_e\}$, le système, qui élimine n_N brouilleurs réels, se comporte comme un système éliminant n_p brouilleurs virtuels. Si $n_p = n_e \leq n_N$, alors $h(v) \equiv 0$ et le rapport signal sur bruit est nul.

On peut déduire, des résultats précédents, divers cas particuliers intéressants lorsque le système n'élimine qu'un seul brouilleur (cf. [2]).

4 - COMPARAISON AVEC LE FILTRE OPTIMAL

Les brouilleurs étant stationnaires, le filtre adapté éliminateur peut être considéré comme cas limite du filtre adapté optimal lorsque la puissance des brouilleurs devient infinie.

Il est en effet intuitivement évident que dans cette situation limite, le filtre adapté optimal, pour empêcher son rapport signal sur bruit de devenir nul, doit impérativement éliminer la direction de chaque brouilleur. Ceci se vérifie aisément. En effet, en tenant compte de la formule classique [1]

$$(A + BC B^\dagger)^{-1} = A^{-1} - A^{-1} B (C^{-1} + B^\dagger A^{-1} B)^{-1} B^\dagger A^{-1},$$

la matrice de gain du filtre adapté optimal

$$h_N(v) = K e^{-2\pi i v t} D s^\dagger(v) [\gamma_B(v) + c(v) \gamma_M(v) c^\dagger(v)]^{-1},$$

s'écrit encore en omettant la variable v :

$$h_N(v) = K e^{-2\pi i v t} D s^\dagger [\gamma_B^{-1} - \gamma_B^{-1} c (\gamma_M^{-1} + c^\dagger \gamma_B^{-1} c)^{-1} c^\dagger \gamma_B^{-1}].$$

Si dans cette formule les termes diagonaux de la matrice γ_M tendent vers l'infini, et si les matrices inverses existent, γ_M^{-1} tend vers zéro, et l'on retrouve le gain du filtre adapté éliminateur.

5 - RESULTATS

Il est intéressant d'évaluer numériquement les rapports signal sur bruit des filtres adaptés éliminateur et optimal en fonction des paramètres du problème : espacement des capteurs exprimé en longueur d'onde, puissance des brouilleurs, distance angulaire du signal et des brouilleurs, nombre de capteurs.

5.1 Les essais ont été conduits dans les conditions classiques suivantes :

- antenne linéaire à capteurs équidistants.

- milieu homogène, isotrope, et illimité.

• bruit du type omnidirectionnel : la matrice des densités spectrales est :

$$\gamma_B(v) = [\gamma_{j,k}(v)]_{1 \leq j, k \leq n_e},$$

$$\text{avec : } \gamma_{j,k}(v) = \frac{\sin [2\pi v(j-k)d/v]}{2\pi v(j-k)d/v},$$

où d est l'espacement des capteurs et v la vitesse de propagation dans le milieu.

• signal et brouilleurs situés dans le même plan que l'antenne et rejetés à l'infini ; la position du signal et des brouilleurs est donc décrite par la donnée d'un simple gisement mesuré, par convention, à partir de l'axe de l'antenne pris comme référence. Les ondes reçues par les capteurs, en provenance du signal et des brouilleurs, sont alors des ondes planes, et le vecteur direction $c_j(v)$ d'un brouilleur de gisement θ_j est, avec $\tau = d \cos \theta_j / v$, tel que :

$$c_j^\dagger(v) = (1, e^{2\pi i v \tau}, \dots, e^{2\pi i v(n_e-1)\tau}).$$

Le signal est supposé de direction perpendiculaire à l'axe de l'antenne, (gisement : 90°), et son vecteur direction ne comprend donc que des 1.

• brouilleurs stationnaires et non corrélés. Alors $\gamma_M(v) = \text{diag}(a_1(v), \dots, a_{n_N}(v))$, et :

$$\gamma_N(v) = \sum_{j=1}^{n_N} a_j(v) c_j(v) c_j^\dagger(v).$$

Enfin, on suppose tous les spectres mis en jeu constants dans la bande $1000 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$ et nuls en dehors, et le rapport du carré du module du spectre du signal et de la densité spectrale du bruit (hors brouillage) égal à $1/100$.

Malgré les hypothèses simplificatrices précédentes, il reste encore de nombreux paramètres à fixer, en particulier le rapport $d/\lambda_0 = 1000 d/v$ mesurant l'espacement des capteurs par rapport à la longueur d'onde de la fréquence centrale 1000 Hz , et surtout le nombre, la position et la puissance des brouilleurs.

Divers essais ont été effectués, dans lesquels on a tiré au hasard suivant la loi équipartie ces trois derniers paramètres, et calculé le rapport signal sur bruit du filtre adapté éliminateur et du filtre adapté optimal pour différentes valeurs du rapport d/λ_0 .

Les résultats obtenus étant analogues, on se borne ici à présenter en détail les résultats correspondant à la situation typique suivante : $n_N = 5$; n_e variable entre 20 et 6; d/λ_0 variable entre 0,375 et 2; gisement des brouilleurs $\theta_1 = 10^\circ$, $\theta_2 = 103^\circ$, $\theta_3 = 72^\circ$,

STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

$\theta_4 = 125^\circ$, $\theta_5 = 80^\circ$; gisement du signal 90° ; niveau spectral des brouilleurs (normé à 1) $a_1 = 0,09$, $a_2 = 0,11$, $a_3 = 0,37$, $a_4 = 0,19$, $a_5 = 0,24$; "rapport signal sur bruit d'entrée" (hors brouillage) 1/100.

Enfin, le filtre adapté éliminateur étant un cas limite du filtre adapté optimal, les résultats sont paramétrés par : $\rho = \frac{\text{puissance totale des brouilleurs}}{\text{puissance du bruit}}$.

Toutes les courbes qui sont présentées dans la suite donnent ainsi la valeur du rapport signal sur bruit du filtre adapté optimal quand le mélange bruit et brouillage a pour matrice de densité spectrale :

$$\gamma_B(v) + \rho \sum_{j=1}^5 a_j c_j(v) c_j^\dagger(v)$$

Si $\rho = 0$, on obtient le rapport signal sur bruit du filtre adapté optimal en l'absence de brouillage. Si $\rho = \infty$, on obtient le rapport signal sur bruit du filtre adapté éliminateur.

5.2 Variation du rapport signal sur bruit en fonction du rapport d/λ_0 .

Les calculs ont été effectués pour $n_e = 20, 10, 6$, et $\rho = \infty, 10, 1, 0$. Les 12 courbes correspondantes sont représentées figure 3.

Deux faits méritent d'être soulignés sur les courbes précédentes :

- 1) Toutes les courbes présentent une très forte oscillation autour du point $d/\lambda_0 = 1$, le rapport signal sur bruit chutant de plus de 50% quand d/λ_0 varie de 0,9 à 1,1. Ce phénomène n'est pas dû à la présence de brouilleurs : on peut l'observer même pour $\rho = 0$. Il est dû aux propriétés du noyau en $\sin x/x$ qui représente le bruit omnidirectionnel. Pour les surprises auxquelles conduit ce noyau dans les questions d'antennes optimales, on pourra consulter [5].
- 2) Pour $n_e = 20$ et $d/\lambda_0 \leq 1,5$, le filtre adapté éliminateur a pratiquement les mêmes performances que le filtre adapté optimal : cela signifie que tant que d/λ_0 est inférieur à 1,5, une antenne puissante peut parfaitement éliminer un nombre raisonnable de brouilleurs éloignés du signal sans rien perdre en rapport signal sur bruit ; la perte est négligeable si le rapport du nombre de brouilleurs au nombre de capteurs est inférieur à 0,25 et peu importante tant que ce rapport est inférieur à 0,5.

5.3 Variation du rapport signal sur bruit quand un brouilleur se rapproche du signal.

De par son principe, le filtre adapté éliminateur ne permet pas de détecter un signal ayant la même direction qu'un brouilleur, et il est important pour les applications de connaître la réjectivité du filtre

autour d'un brouilleur, en évaluant l'amplitude du secteur angulaire neutralisé.

Celle-ci peut être appréciée en calculant le rapport signal sur bruit quand un brouilleur se rapproche du signal.

Les calculs ont été effectués dans les mêmes conditions que précédemment, pour $d = \lambda_0/2$, $n_e = 20, 10$, et 6, en rapprochant progressivement le brouilleur de gisement 80° (puissance relative : 0,24), de la direction du signal.

Les résultats sont présentés figure 4 ; elle donne aussi la variation du rapport signal sur bruit du filtre adapté optimal pour $\rho = 1$ et 10, ce qui correspond à un rapport puissance du brouilleur en rapprochement sur puissance du bruit égal respectivement à 0,24 et 2,4.

On constate que, contrairement à ce que l'on pouvait craindre, le fait d'éliminer un ou plusieurs brouilleurs n'entraîne nullement un élargissement réductible du secteur angulaire neutralisé par le filtre adapté éliminateur : tant que le rapport n_N/n_e est inférieur à 0,5, la perte en rapport signal sur bruit est à peine sensible pour $\rho = 10$.

5.4 Variation du rapport signal sur bruit en fonction du nombre de capteurs.

Les résultats précédents donnent quelques informations sur la diminution du rapport signal sur bruit quand le nombre de capteurs décroît. Il est intéressant de mettre en évidence le phénomène avec plus de précision en évaluant, toutes choses égales par ailleurs, le rapport signal sur bruit du filtre adapté éliminateur d'un nombre donné de brouilleurs, en fonction du nombre de capteurs.

Les calculs ont été effectués, pour $d = \lambda_0/2$, dans les conditions déjà définies (5 brouilleurs), et les résultats obtenus sont présentés figure 5. Ils confirment les résultats précédents : la perte en rapport signal sur bruit du filtre adapté éliminateur ne devient sensible qu'au dessous de 10 capteurs, c'est-à-dire pour un rapport nombre de brouilleurs sur nombre de capteurs supérieur à 0,5.

6 - CONCLUSION

La présente étude propose une solution au problème de la détection optimale d'un signal déterministe sous la contrainte d'élimination de brouilleurs ponctuels, et met en évidence l'excellent comportement du filtre adapté éliminateur obtenu quand le rapport du nombre de brouilleurs éliminés au nombre de capteurs est inférieur à 0,5.

Par ailleurs, toutes les études visant à définir



STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

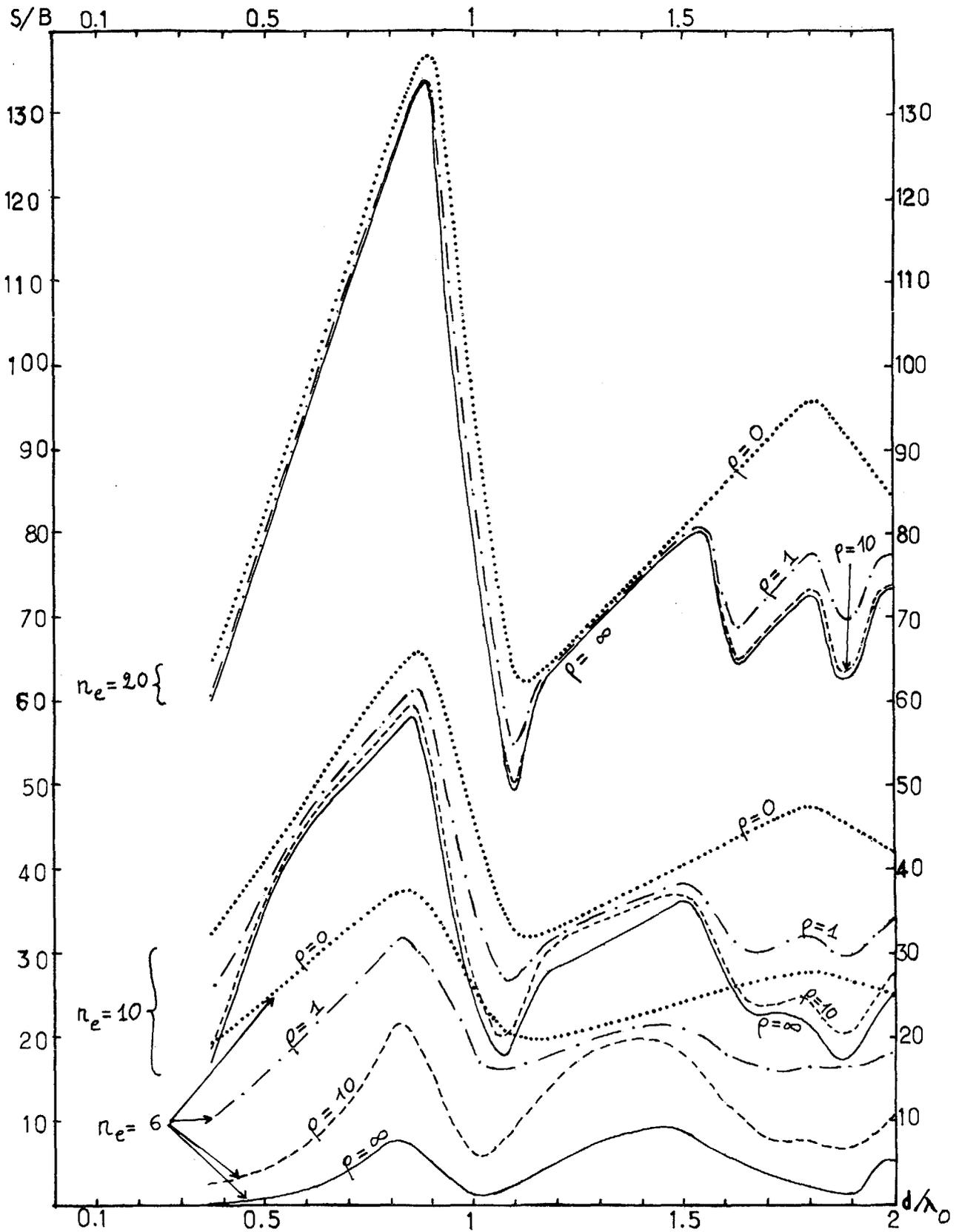


Figure 3 : Variation du rapport signal sur bruit en fonction de d/λ_0 ($\rho = 0$: filtre adapté optimal en l'absence de brouillage ; $\rho = \infty$: filtre adapté éliminateur).

STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

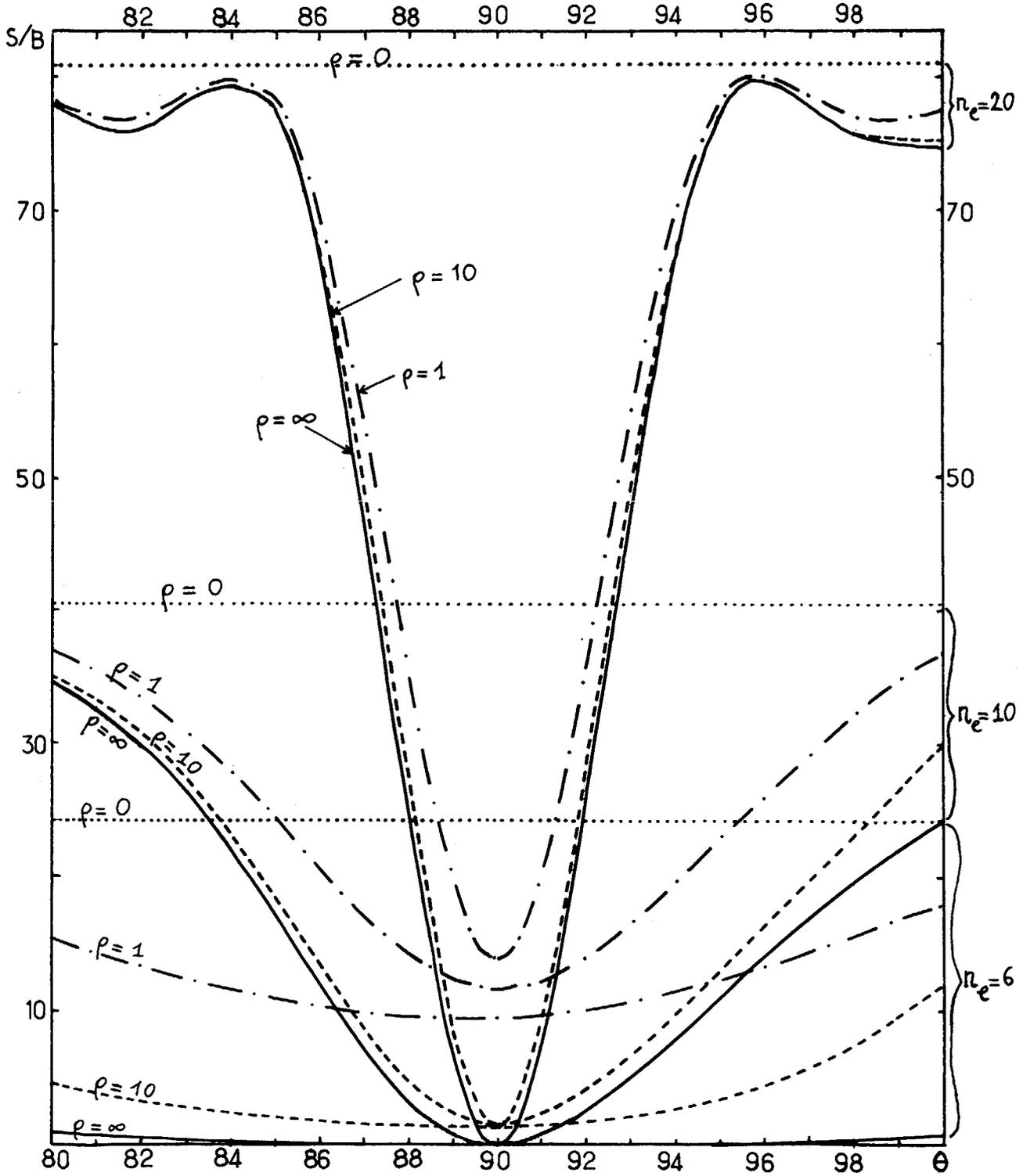


Figure 4 : Variation du rapport signal sur bruit pour un brouilleur en rapprochement du signal.



STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN DETECTEUR PAR FILTRAGE ADAPTE ELIMINATEUR
DE BROUILLEURS POUR UN SIGNAL CERTAIN CONNU

la variante adaptative du filtre adapté optimal s'applique sans changement au filtre adapté éliminateur, l'analyse des valeurs propres dominantes de la matrice interspectrale permettant dans les deux cas de déterminer le nombre et la position des brouilleurs.

Enfin le point de vue développé ici sépare d'emblée très nettement le rôle imparti respectivement aux brouilleurs et au bruit. Il permet ainsi de régler les problèmes de réalisation inhérents au mauvais conditionnement de la matrice interspectrale quand le rapport de la puissance totale des brouilleurs à la puissance du bruit est élevé, et d'envisager des structures adaptatives intermédiaires s'adaptant aux seuls brouilleurs, ce qui semble présenter le plus grand intérêt dans les applications.

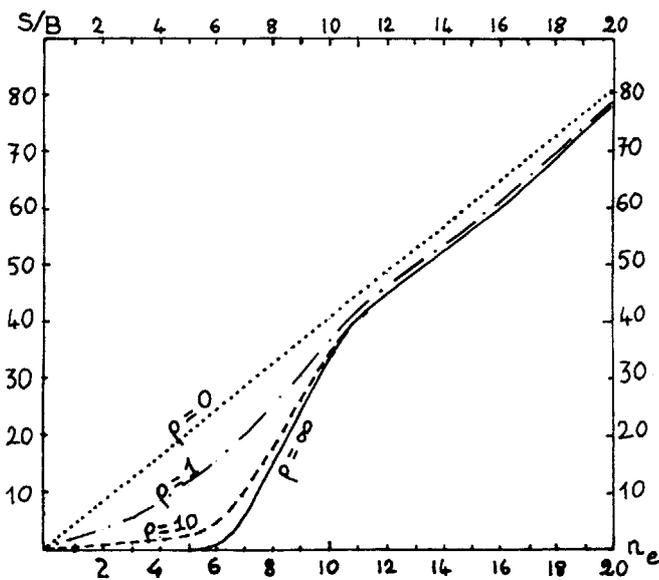


Figure 5 : Variation du rapport signal sur bruit en fonction du nombre de capteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ARQUES P.-Y. : Décisions en traitement du signal. Masson, Paris, 1979.
- [2] ARQUES P.-Y., VEZZOSI G. : Matrice de filtrage adapté éliminatrice de plusieurs brouilleurs. Compte-Rendu Académie des Sciences, A paraître.
- [3] MERMOZ H. : Elimination des brouilleurs par traitement optimal d'antenne. Annales des Télécommunications, T. 24, n° 7-8, Juillet-Août 1969, pp 282-293.
- [4] RAO C.R. : Linear statistical inference and its applications. Wiley, New-York, 1973.
- [5] BIENVENU G. : Influence de la cohérence spatiale du bruit de fond sur la résolution des sources ponctuelles. Actes du Colloque National sur le Traitement du Signal et ses Applications. Nice Avril 1977, (GRETSI).