



DEUXIÈME COLLOQUE
SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL
ET SES APPLICATIONS
NICE - 5 AU 10 MAI 1969

15/1

DIRECTIVITE et TRAITEMENT OPTIMAL d'ANTENNE

H MERMOSZ
Ingénieur en Chef des Télécommunications

Résumé

Après un rappel de la notion de directivité cette notion est mise en parallèle avec celle d'optimalisation d'une antenne de détection.

Cette seconde notion généralise la première en ce sens qu'une directivité optimale ne fournit un procédé optimal que dans le cas du bruit omnidirectionnel.

Le facteur crucial de toute recherche d'optimalisation est, en fait, la structure de la matrice d'intercorrélation des bruits recueillis sur les capteurs qui composent l'antenne.



DEUXIÈME COLLOQUE
SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL
ET SES APPLICATIONS
NICE - 5 AU 10 MAI 1969

15/3

DIRECTIVITY and OPTIMAL ANTENNA PROCESSING

H. MERMOZ
Ingénieur en Chef des Télécommunications

SUMMARY

After a short recall of the classical Directivity notion, this notion is compared with the concept of optimal detection by means of an antenna.

This second concept is a generalization of the first one, because an optimal Directivity does not yield an Optimal Detection except in an omnidirectionnal noise.

The very clue of any optimal processing for the sensors of an antenna is actually the structure of the intercorrelation matrix of the noises on the outputs of these sensors.



-
1. Cet exposé se propose de faire un tour d'horizon rapide sur les idées qui se sont développées depuis une dizaine d'années dans le domaine du traitement d'antenne, et, plus précisément, d'antenne de réception.

On utilise depuis longtemps des antennes pour recevoir des signaux et chacun sait que, toutes choses égales d'ailleurs, une antenne est, en général, d'autant plus efficace qu'elle est plus grande. C'est cette notion d'efficacité d'une antenne que l'on se propose d'analyser ici.

Cette notion en effet recouvre deux idées différentes mais qui ne sont pas généralement dissociées. La première idée est celle de l'aptitude de l'antenne à séparer angulairement deux buts, ou, ce qui revient au même, à mesurer la direction avec une précision donnée.

La seconde idée est celle de l'aptitude de l'antenne à extraire le signal des bruits générés dans le milieu de propagation.

Dans l'un et l'autre cas l'efficacité de l'antenne est généralement exprimée en termes de directivité. Et cette notion de directivité est elle-même représentée quantitativement de deux manières.

La première manière est en quelque sorte globale. Le paramètre bien connu dit facteur de directivité mesure la prédominance d'un "lobe principal" orienté dans une direction de référence, sur un ensemble de lobes secondaires.

La seconde manière est plus détaillée. C'est celle du diagramme de directivité qui consiste à représenter le lobe principal et les lobes secondaires dans leur intégralité.

Un même facteur de directivité peut correspondre à plusieurs diagrammes différents. Les méthodes d'amélioration des performances d'une antenne visent tantôt à augmenter, voire à optimiser, le facteur de directivité, tantôt à imposer



au diagramme une certaine qualité, telle que l'écart entre lobe principal et le plus important des lobes secondaires.

Dans les problèmes de synthèse d'un diagramme de directivité, on impose même la totalité de celui-ci quitte à se contenter de la meilleure approximation possible.

De très nombreux procédés ont été ainsi étudiés et sont devenus classiques, dans ce domaine. Notons que la façon la plus générale d'agir sur les diagrammes et le facteur de directivité, consiste à combiner diversement les sorties des capteurs qui servent à former l'antenne. Le terme de "capteur" ne désigne rien d'autre qu'un élément sensible dont la sortie électrique est accessible. Il n'implique pas l'omnidirectionnalité, ni l'identité de ces éléments.

2. Tant qu'il s'agit d'améliorer l'efficacité d'une antenne selon le premier critère énoncé ci-avant,
- la discrimination angulaire des signaux -
- il n'y a rien à redire sur le bien fondé de ces procédés. Il est toujours payant, de ce point de vue, d'obtenir un lobe principal aussi étroit que possible et des lobes secondaires aussi bas que possible, ce qui tend généralement (1) à augmenter le facteur de directivité.

La critique ne s'exerce donc que lorsque les mêmes procédés prétendent, ipso facto, être les meilleurs selon le second critère : l'amélioration du rapport signal / bruit à la sortie de l'antenne, lorsque le signal est porté par une onde plane issue de la direction de référence.

Cette prétention, pourtant, n'apparaît pas à première vue, excessive. En façonnant un lobe principal plus étroit et en abaissant les lobes secondaires on peut avoir l'impression de gagner chaque fois et, en quelque sorte, proportionnellement, sur le rapport signal / bruit.

(1) - Sauf à tolérer l'ambiguïté de plusieurs "lobes principaux" si on a le moyen de la lever.



Cette impression vient de ce que, en l'absence de renseignements précis, on admet plus ou moins implicitement que les sources de bruit dans le milieu sont à peu près uniformément réparties dans toutes les directions. C'est ce qu'on appelle, d'une façon souvent un peu vague, le bruit omnidirectionnel dont nous reparlerons plus loin. Sous cette hypothèse, même approximative, l'amincissement du lobe principal et l'abaissement des lobes secondaires paraissent indéfiniment efficaces, et l'optimisation du rapport signal / bruit semble bien liée, par exemple, à celle du facteur de directivité. De sorte que, en définitive, les deux critères de performance d'une antenne ne se sépareraient pas au niveau des paramètres qui les expriment.

Cette liaison entre les deux critères a même paru si indissociable qu'on a cru, à une certaine époque, pouvoir gagner sur le rapport signal / bruit, en amincissant le lobe principal par n'importe quel moyen, y compris les combinaisons non linéaires des sorties des capteurs. On s'est vite aperçu alors qu'on faisait fausse route et que ces procédés dégradaient en général le rapport signal / bruit, même s'ils amélioreraient éventuellement la discrimination angulaire des signaux forts. D'ailleurs, dans de tels procédés, la notion de facteur de directivité disparaît, puisque ce facteur est une fonction de la fréquence dont l'existence est liée à la conservation de la fréquence à travers l'antenne, comme à travers un filtre linéaire. Dans tout ce qui suit, nous n'envisagerons que des procédés qui conservent à l'antenne son rôle de filtre linéaire spectro-spatial (dont le gain complexe est fonction de la direction, en même temps que de la fréquence) - C'est dire que les combinaisons des sorties de capteurs ne se feront qu'à travers des filtres linéaires classiques, aussi généraux qu'on voudra - C'est dire aussi, bien entendu, que les capteurs eux-mêmes sont des sous-antennes "linéaires".



-
3. C'est donc une certaine idée implicite de "l'omnidirectionnalité" du bruit qui pousse à "amincir" le lobe principal. Partons d'une hypothèse diamétralement opposée, où les sources de bruit se réduisent à une seule dans une seule direction. Il est clair alors que n'importe quel diagramme de directivité présentant un zéro dans la direction de cette source, et un "non-zéro" dans la direction (différente) du signal, donne le même résultat (Ce résultat étant incidemment parfait du point de vue du rapport signal / bruit). Ainsi la valeur du facteur de directivité peut varier dans de larges limites et même devenir très mauvaise (sauf à ne pas s'annuler) sans que la performance en soit affectée.

Entre ces deux cas extrêmes de "structure spatiale" du bruit, on peut imaginer - et, mieux encore, rencontrer, dans la pratique - des cas intermédiaires où les bruits ne soient pas équipartis dans toutes les directions ; où, par conséquent une optimisation puisse être recherchée qui ne soit pas celle du facteur de directivité et où, éventuellement, la notion même de diagramme de directivité ne soit ni fondamentale ni même significative.

On peut sentir, en tout cas, la nécessité d'une approche différente du problème de l'optimisation du rapport signal / bruit à la sortie d'une antenne

- 4 C'est cette approche, développée et résolue durant ces dernières années, que nous voulons résumer. Remarquons d'abord que les deux exemples précédents se différencient par la répartition "géographique" des sources de bruits dans le milieu. En fait la seule réalité physique qui compte, c'est le champ perturbateur à l'emplacement des capteurs et même, plus précisément, les bruits parasites sur les sorties des capteurs, seules accessibles, et sur qui apparaissent également des signaux produits par le signal unique propagé dans le milieu.

La connaissance complète du champ perturbateur implique



en fait, soit celle des sources de bruit, soit une étude préalable point par point.

Lorsque des renseignements aussi complets peuvent être obtenus, on peut envisager de jouer sur les positions des capteurs dans le champ. Mais ceci est rarement possible, pour des raisons pratiques, ou bien parce que l'antenne doit faire face à de nombreuses et diverses configurations de champ. Dans ce cas les seules données expérimentales sont les signaux et les bruits sur les sorties des capteurs et les moyens de modifier la performance globale se résument aux combinaisons - linéaires - de ces sorties.

Le problème alors se pose de la façon suivante :

Soit une antenne formée à partir de N capteurs. Le signal est issu d'une seule direction donnée ou plus généralement d'une seule source donnée. Il est donc caractérisé par le fait que les N fonctions du temps qui le représentent à la sortie des capteurs sont liées entre elles par des relations à caractère non statistique et ceci que le signal soit certain ou aléatoire. Par exemple elles ne diffèrent entre elles que par des retards (cas d'une onde plane arrivant sur des capteurs ponctuels identiques). Plus généralement elles dériveront d'une même fonction signal par des filtrages différents, à travers des filtres linéaires toujours parfaitement connus (gains de capteurs non identiques, diffractions, réflexions sur l'antenne elle-même, etc...).

Les N bruits parasites sont au contraire caractérisés par le fait que, d'un capteur à l'autre, seules des liaisons statistiques peuvent être définies.

Dans le cas "stationnaire" les autocorrélations et les intercorrélations entre capteurs représentent ces liaisons, ou, tout aussi bien, les transformées de Fourier de ces quantités, les auto ou inter-densités spectrales.

Un tel ensemble de fonctions définit, en fait, l'élément



perturbant, indépendamment de ses causes et de ses modalités dans le milieu, indépendamment en particulier de sa "structure spatiale".

Les données étant ainsi définies la formation de l'antenne est une combinaison de filtrages linéaires des N sorties des capteurs.

Il n'est peut être pas évident, à première vue, qu'on peut réaliser cette combinaison en affectant un seul filtre à chaque capteur et en faisant la somme des tensions de sortie des N filtres. On peut penser en tout cas à des combinaisons plus compliquées. Cependant on peut montrer que celles-ci sont redondantes lorsque le signal possède le caractère, mentionné plus haut, d'être "à source unique".

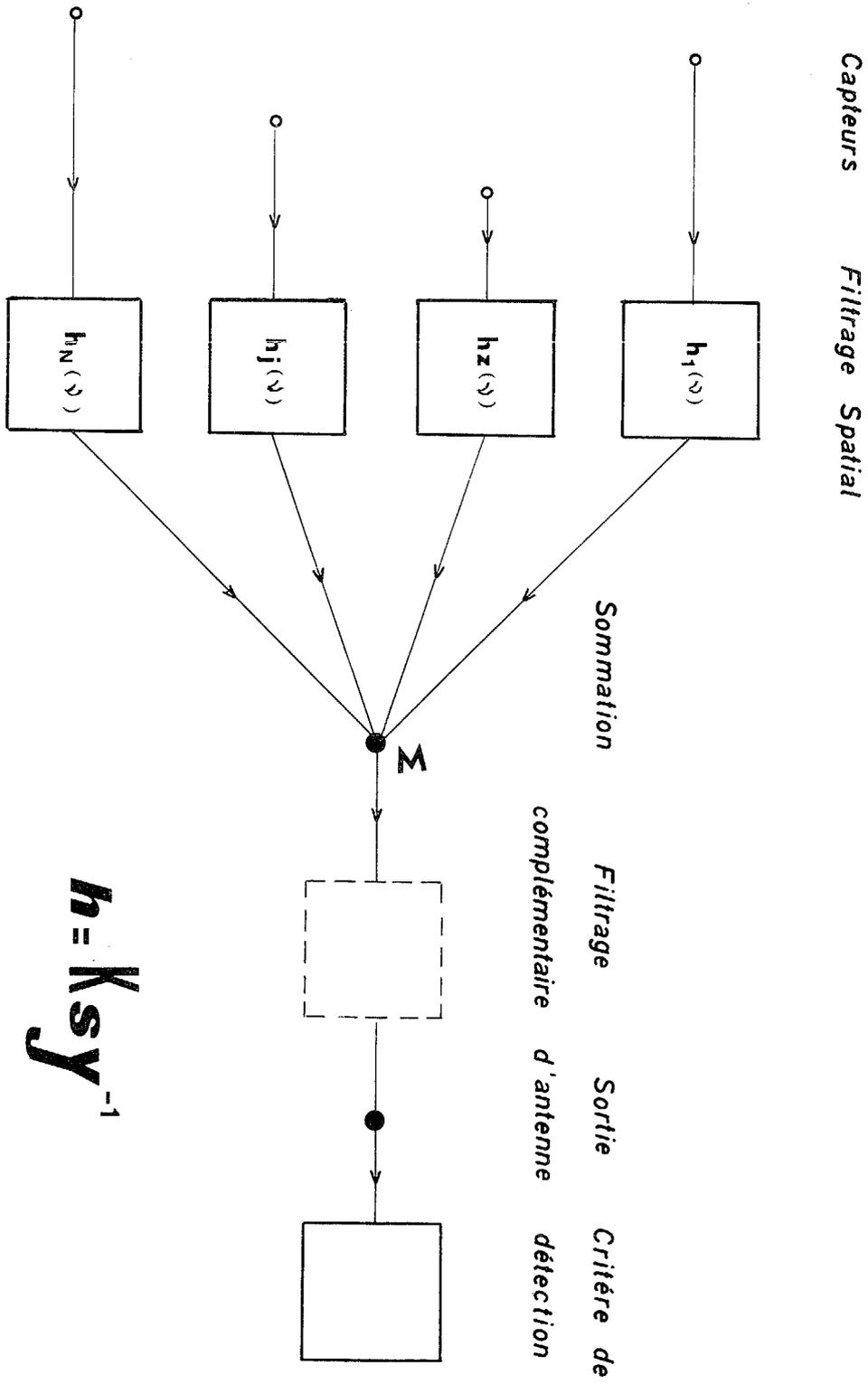
Ceci admis, il s'agit donc de trouver N filtres tels que sur la somme des sorties \sum (voir figure) qui se trouve être évidemment la sortie de l'antenne, on puisse optimaliser le rapport signal / bruit. La solution dépendra donc de la définition choisie pour ce rapport signal / bruit et plus généralement du critère de détection adopté (1).

Ainsi les N filtres optimaux recherchés dépendent :

- des transformations par lesquelles N signaux dérivent d'un signal unique.
- des liaisons statistiques entre les N bruits.
- du critère de détection.

5. Lorsqu'on analyse alors la solution d'un tel système dans les cas où elle peut être complètement explicitée on s'aperçoit que l'effet global des N filtres trouvés se décompose en deux effets partiels que nous baptiserons respectivement effet spatial et effet complémentaire pour des raisons qui s'éclairciront par la suite.

(1) - Le rapport signal / bruit coïncide généralement avec le critère du rapport de vraisemblance quand les bruits sont laplaciens.





Effet spatial : les filtres optimalisent le rapport $\rho(\nu)$ de la densité spectrale du signal à la densité spectrale du bruit sur la sortie de l'antenne et ceci à chaque fréquence.

Effet complémentaire : ils optimalisent la détection du signal obtenu sur la sortie de l'antenne dans le bruit obtenu sur cette sortie, et ceci selon le critère de détection choisi.

Précisons les deux points précédents.

Le premier peut paraître assez banal, à première vue, tant il paraît naturel qu'un système optimal favorise au maximum le signal par rapport au bruit et ceci pour chaque fréquence.

Il faut cependant noter qu'il s'agit là d'une propriété tout à fait spécifique de la multiplicité des capteurs ($N > 1$). En effet pour $[N=1]$ (un seul capteur) un filtre optimal ne dépendrait que du critère de détection - D'ailleurs un filtre quelconque n'est pas en mesure dans ce cas de modifier le rapport :

$\rho(\nu) =$ densité spectrale du signal / densité spectrale du bruit puisque l'une et l'autre densités se trouvent multipliées par la même fonction de la fréquence (carré du module du gain du filtre).

Précisons ici que, par un abus de langage commode (et justifié à un coefficient d'homogénéité près) nous appellerons "densité spectrale" d'un signal certain, le carré du module de son spectre de Fourier, de sorte que les considérations précédentes et suivantes s'appliquent aussi bien aux signaux certains qu'aux signaux aléatoires - Précisons enfin que dans tous les cas les signaux sont supposés non corrélés avec les bruits.



Ceci posé, il est clair que dans le cas [N=1] le choix du critère de détection réagit sur celui du filtre optimal mais sans modifier, entre l'entrée et la sortie de celui-ci, le rapport $\rho(\nu)$ des densités spectrales du signal et du bruit. C'est donc sur une autre relation entre ces deux densités qu'il agit. - Et en effet dans deux cas bien classiques :

- le filtre adapté à un signal certain (Réf. Bibliogr. 1] et 3]).

- la détection d'un signal aléatoire dans un bruit par quadrature intégration forte (Réf. Bibliogr. 2] et 3]).

on trouve que l'effet du filtre optimal est d'obtenir sur sa sortie la relation suivante :

densité spectrale signal = α (densité spectrale bruit)²
où α est un coefficient d'homogénéité indépendant de la fréquence.

Cette relation paraît caractéristique des critères de détection quadratiques.

Or, on trouve que, dans les mêmes cas classiques transposés à N capteurs, la relation précédente correspond précisément à l'effet complémentaire des filtres N-optimaux, lorsqu'on adopte, bien entendu, les mêmes critères de détection. Ces filtres N-optimaux, non contents d'optimiser le rapport des densités spectrales du signal et de bruit sur Σ , y présentent, en plus, ces deux densités liées par la relation la plus favorable, compte tenu du critère de détection choisi. C'est dans ce sens qu'ils optimisent en outre, et comme on l'a déjà dit, la densité du signal dans le bruit au point Σ .

6. Comment peut-on interpréter physiquement ce double effet ? Remarquons d'ailleurs que l'effet spatial ne suffit pas, à lui seul, à définir les filtres optimaux. Il ne les définit



qu'à un même filtre près. En effet N filtres arbitraires identiques placés chacun en série avec un capteur, forment un système équivalent au même filtre placé en un seul, exemplaire après la sommation des sorties Σ . Cette équivalence montre que le facteur $\rho(\nu)$ n'en est pas modifié, puisqu'un filtre unique ne peut l'altérer.

Ce filtre arbitraire qui constitue, en quelque sorte, un degré de liberté encore disponible après réalisation de l'effet spatial, sert précisément à réaliser l'effet complémentaire c'est-à-dire à adapter la relation des spectres au critère de détection choisi. (Il est physiquement évident que, même après cette seconde étape les gains complexes des filtres optimaux ne sont définis qu'à un même facteur près, facteur indépendant de la fréquence).

En définitive le filtrage N -optimal peut se représenter comme suit :

- un ensemble de N filtres définis à un même filtre près et optimisant le rapport $\rho(\nu)$ sur la sommation Σ de leurs tensions de sortie.
- un filtre unique en série avec cette sommation et dont le gain, adapté au critère de détection, optimise celle-ci pour le signal et le bruit obtenus précédemment (réalisant une optimisation supplémentaire du type $N=1$).

Mais ce filtre unique peut aussi bien, technologiquement, s'intégrer aux N filtres précédents sous forme de N filtres identiques, chacun en série sur la sortie d'un capteur - C'est pourquoi la séparation des deux effets spatial et complémentaire n'est pas toujours évidente, et c'est pourquoi ce filtre est en pointillé sur la figure.

C'est donc surtout par le calcul que la dissociation en deux opérations apparaît clairement du moins dans les deux cas cités au paragraphe 5.



Il ne paraît pas démontré que cette dissociation soit absolument générale. Mais, physiquement, il paraît tellement satisfaisant d'optimiser d'abord à toutes fréquences le rapport des densités spectrales du signal et du bruit qu'on peut se demander si ce n'est pas une phase préliminaire obligatoire (du moins dans le cas "stationnaire") dans toute opération N-optimale, la suite de l'opération tenant seule compte du critère de détection choisi.

Il est facile de montrer que cette phase préliminaire est la même pour des signaux certains ou aléatoires de même densité spectrale (au sens élargi du terme, et dans les mêmes bruits, bien entendu). Ceci plaide en faveur de son caractère général.

Si ce point de vue est exact, alors, dans un système perturbant stationnaire, toute formation optimale d'antenne consiste, indépendamment de tout critère de détection, à optimiser le rapport $\rho(\nu)$ sur la sortie. Le reste n'en est que la meilleure exploitation possible, (de type N=1) selon un critère choisi.

7. Depuis le paragraphe 4 nous avons perdu de vue la notion de directivité. Toutefois la quantité $\rho(\nu)$ se calcule directement en fonction.

- des signaux
- des intercorrélations des bruits
- des filtres eux-mêmes.

Les filtres qui l'optimisent n'ont aucune raison, a priori, d'optimiser aussi le facteur de directivité $f(\nu)$ qui se calcule différemment, à partir du diagramme de directivité.

Cependant on peut montrer que ces deux paramètres



s'optimalisent simultanément (1) dans le seul cas du bruit omnidirectionnel, bruit défini avec précision par les deux propriétés suivantes :

- même densité spectrale dans toutes les directions
- pas de corrélation entre deux directions même infiniment voisines (mais un certain type de corrélation bien particulier entre deux points du milieu).

Ces deux conditions sont très restrictives (surtout la seconde) et font du bruit omnidirectionnel une sorte de modèle théorique un peu artificiel.

On peut donc penser que l'optimisation de $\rho(v)$ est plus efficace, en général, que celle $f(v)$, pour ce qui concerne la détection des signaux faibles.

Plus encore que celle de facteur de directivité, la notion de diagramme de directivité s'estompe et se déprécie dans le cadre de l'optimisation d'antenne. Quelle que soit sa commodité et son caractère concret, cette notion devra sans doute s'effacer lorsque des progrès technologiques permet-

-
- (1) - En présence de bruit omnidirectionnel le rapport $\rho(v)$ des densités spectrales du signal et du bruit sur la sortie de l'antenne prend la valeur $\rho_{\text{OMD}}(v)$ liée à $f(v)$ par

$$\rho_{\text{OMD}}(v) = f(v) \frac{\gamma_s(v)}{\gamma_B(v)}$$

en $\gamma_s(v)$ et $\gamma_B(v)$ sont respectivement les densités spectrales du signal et du bruit derrière un capteur ponctuel (omnidirectionnel) dans le milieu.



tront de surmonter la complexité indiscutable du traitement optimal.

8. Nous avons évité jusqu'ici d'écrire des équations. Il est cependant utile de présenter celle qui donne la solution du problème N-Optimal.

Cette équation - matricielle - est

où :

$$h = K S \gamma^{-1}$$

h est la matrice ligne à N éléments des gains complexes $h_j(\nu)$ des filtres cherchés.

γ est la matrice carrée (N, N) des éléments $\gamma_{jk}(\nu)$ qui sont les "densités spectrales d'intercorrélation". Cette matrice définit les bruits.

S est une matrice ligne qui définit le signal. Dans le cas des signaux certains les éléments en sont les spectres de N signaux $s_j(\nu)$.

Dans le cas de signaux aléatoires, la matrice SS^T à le même sens (1) pour les signaux, que γ pour les bruits (matrice des densités spectrales d'intercorrélation).

K est un scalaire

Si K est une fonction arbitraire de ν les filtres h se trouvent définis à un même filtre près de gain complexe $K(\nu)$.

L'équation précédente représente alors le filtrage qui optimalise, sur la sommation des sorties, le rapport $\rho(\nu)$, réalisant l'optimalisation spatiale.

La seconde condition, liée au choix du critère de détection,

(1) - Mais elle est de rang 1 à cause du caractère "source unique" du signal.



revient à imposer des restrictions à cette fonction $K(\nu)$.
 Dans les deux cas cités au paragraphe 5 on trouve :

- que $\|K(\nu)\| = \text{cst}$, sa valeur restant d'ailleurs arbitraire pourvu qu'elle soit indépendante de la fréquence. (Les filtres h restant définis à un facteur près).
- que la phase de $K(\nu)$ reste :
 - entièrement arbitraire dans le cas des signaux aléatoires.
 - linéaire en fonction de la fréquence (représentant un retard arbitraire) dans le cas des signaux certains.

Ainsi c'est typiquement le produit matriciel

$$\delta \gamma^{-1}$$

qui caractérise ici l'optimalisation spatiale. Le choix du critère de détection ne réagit que sur un facteur scalaire fonction de ν . Peut être peut-on trouver des critères tels que les restrictions sur la forme de $K(\nu)$ ne soient pas les mêmes que celles citées ci-avant.

Il paraît peu probable en revanche - mais ceci reste à démontrer dans toute sa généralité - qu'un critère puisse remettre en cause le produit $\delta \gamma^{-1}$ (dans le cas "linéaire stationnaire").

9. Lorsqu'on a affaire à un seul signal dans un seul bruit, on ne peut pas sur une fréquence qu'ils "occupent" l'un et l'autre annuler le bruit sans annuler le signal. Lorsqu'on a affaire à N signaux et à N bruits, peut-on, sur une fréquence qu'ils occupent tous, les combiner de façon à annuler le bruit sans annuler le signal ? Autrement dit peut-on éliminer le bruit par un filtrage spatial ? Cette idée



ne paraît pas absurde puisque dans le cas très particulier d'une source de bruit lointaine on peut l'éliminer en "pointant" un zéro du diagramme de directivité dans sa direction - Au delà de ce cas banal, peut-on énoncer les règles générales de cette possibilité ?

Rappelons que la donnée essentielle du problème est la matrice γ qui caractérise les liaisons statistiques de N bruits.

La densité spectrale à la sortie de filtres h quelconque est la quantité scalaire fonction de ν

$$h \gamma h^{\dagger}$$

Comme γ est définie positive cette quantité ne peut s'annuler que :

- si γ est de rang inférieur à N
- si h est un vecteur propre correspondant à la (ou une) valeur propre nulle de γ .

Ces conditions mathématiques peuvent se trouver remplies à quelques fréquences discrètes ou dans un domaine de fréquence continu, limité ou non. - Dans ce même domaine le filtrage h qui élimine le bruit, est sûrement optimal. - Notons qu'il n'est défini, à chaque fréquence, qu'à un facteur près (puisque sa définition dérive de la notion de vecteur propre) et que par conséquent l'ensemble des filtres h n'est défini qu'à un même filtre près. Physiquement, ceci est lié au fait que, lorsqu'on élimine le bruit en Σ , peu importe le critère de détection, et l'optimisation "complémentaire" n'est pas significative. La possibilité d'éliminer les bruits passe donc par l'étude du rang de la matrice γ et ceci souligne l'importance de cette matrice, chaque fois qu'il n'est pas possible de faire des hypothèses sur la "structure spatiale" du bruit.

Un cas cependant représente un intérêt particulier.



Si le système de bruits est généré par un nombre fini de sources ponctuelles, discrètes, non corrélées et en nombre inférieur à N, alors il est possible d'éliminer le bruit à toute fréquence et quelles que soient les densités spectrales des sources. - C'est là la clef de tous les problèmes d'élimination des brouilleurs. Il est possible d'éliminer N-1 brouilleurs, proches ou lointains, avec N capteurs. Bien entendu, dans le cas de brouilleurs lointains, ce résultat se traduira, sur le diagramme de directivité, par un certain nombre de zéros bien placés.

Il faut cependant prendre quelques précautions, lorsque le bruit se laisse éliminer, pour ne pas éliminer simultanément le signal.

Sans entrer dans les détails, disons que le système h des N filtres éliminateurs de bruit, se trouve éliminer aussi le signal si la condition

$$s h^{\dagger} = 0$$

se trouve également remplie. Pour une source lointaine de signal cela signifie, bien sûr, qu'elle se trouve, par malchance, "sur" un des zéros du diagramme de directivité.

Mais il apparaît que cette "malchance" est d'autant moins probable que N est plus grand. Autrement dit, lorsque N augmente non seulement l'antenne est capable d'éliminer simultanément un plus grand nombre de brouilleurs, mais elle est aussi de plus en plus capable de n'éliminer qu'eux seuls (sauf dispositions géométriques particulières : voir Bibliogr. 3]).

On peut voir dans cette spécificité une expression de la puissance et de la sélectivité spatiale croissantes d'une antenne lorsque augmente le nombre de capteurs ; ceci rejoint et généralise la notion de "grande" antenne.



Le modèle précédent, suffisamment simple, permet encore une illustration physique, voire géométrique, des propriétés de la matrice Υ , dont tout dérive en définitive. Dans les cas plus compliqués, c'est l'étude directe de cette matrice qui permet, seule, d'optimiser la détection et de tester les possibilités d'élimination du bruit (comme cas particulier et particulièrement efficace). Terminons, par conséquent, en soulignant l'importance

- de disposer d'un grand nombre de capteurs à sorties accessibles (ce qui correspond à une antenne "puissante").

de les utiliser au mieux en étudiant la matrice Υ des bruits sur les sorties des capteurs.

Telles sont, probablement, les orientations prochaines du Traitement d'Antenne



BIBLIOGRAPHIE

1.] MERMOZ H.

"Signaux Faibles et Antennes Composées"
Annales des Télécommunications
Vol. 18 No 7-8 juillet-août 1963
pp. 126 - 140 - 8 réf.

2.] ARQUES P. Y.

Thèse de Doctorat es Sciences
Université de Grenoble - juillet 1966

"Etude de Systèmes de Détection de Signaux par
Traitement
Quadratique Généralisé" - 102 réf.

3.] MERMOZ H.

"Elimination des Brouilleurs par Traitement Optimal
d'Antenne".

A paraître dans Annales des Télécommunications
de juillet-août 1969
- 8 réf.

NOTA - On trouvera une bibliographie très complète dans 2].