

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS
BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

CHASSAY G., LAUNAY G., MEVEL J., SAILLARD J.

UNIVERSITE DE RENNES I - LABORATOIRE DE RADIOELECTRICITE - CAMPUS DE BEAULIEU - 35042 RENNES CEDEX (FRANCE)

RESUME

Ce travail développe une approche vers la solution du problème de la reconnaissance d'avions à l'aide du radar classique.

Dans une première partie nous étudions les possibilités de déterminer les points brillants d'un modèle à partir de la seule connaissance des termes amplitude de son diagramme de diffraction à l'infini. Nous montrons comment l'utilisation des polynômes de Tchebycheff et de fonctions voisines de ces polynômes conduit dans certains cas à des solutions particulièrement élégantes.

Dans une seconde partie nous indiquons les résultats expérimentaux les plus récents obtenus par l'analyse fréquentielle des amplitudes d'échos radar d'avions réels.

SUMMARY

This work is an approach towards the solution of the problem of aircraft identification with a classical radar.

In a first part we study the possibilities of determining scattering centers of a model by the knowledge of the amplitude terms of its scattering diagram only. We show how by using Tchebycheff's polynomials and some functions derived from these polynomials we obtain in some cases very elegant solutions.

In a second part we indicate the most recent experimental results obtained by the frequency analysis of the amplitude of radar echoes of commercial aircrafts.



METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

INTRODUCTION

La reconnaissance de la forme d'une cible à l'aide de son écho radar observé à grande distance est un problème difficile, non encore résolu actuellement. Les nombreuses méthodes proposées sont liées à des hypothèses parfois douteuses sur la formulation de la diffraction et sur la nature de la cible, considérée par exemple comme parfaitement conductrice.

S'il est possible, à l'aide d'appareillages sophistiqués, de déterminer de nombreux paramètres sur l'écho d'une cible coopérative, par contre dans le cas pratique, celui de l'identification passive d'un avion au moyen d'un radar classique, la situation est différente:

a) La cible, non coopérative, n'est vue du radar que sous un éventail limité d'aspects, elle peut être déformable et sa position sur sa trajectoire est mal connue.

b) Le radar classique est monostatique, à bande étroite, et émet des impulsions. On suppose dans ce qui suit, qu'il permet la poursuite automatique continue de la cible. Les problèmes liés à la poursuite sont formellement exclus.

c) Les données observables sont : la trajectographie de l'objectif et l'amplitude des échos en fonction du temps pour des polarisations variables (linéaire et circulaire).

L'enregistrement des amplitudes fournit un échantillonnage d'une section du diagramme tridimensionnel de rétrodiffusion par une surface réglée s'appuyant sur l'avion et sur le radar.

La présentation qui suit comprend deux parties :

Dans la première, nous cherchons à déterminer le maximum d'informations de nature géométrique sur la cible en nous basant sur l'hypothèse des points brillants.

Dans la seconde, nous indiquons des résultats récents relatifs au problème des signatures, obtenus sur avions réels

PREMIERE PARTIE

Les méthodes classiques utilisées pour la reconstitution des formes à partir de l'écho d'une cible font appel à la connaissance de l'amplitude et de la phase. Notre travail présente l'originalité de n'utiliser que l'amplitude $|i|$, ce qui limite le nombre de paramètres observables, mais apporte une simplification majeure au problème opérationnel.

HYPOTHESES ET METHODE UTILISEE

Hypothèse 1 : les seules mesures disponibles sont la puissance d'un signal monochromatique diffracté par l'objectif.

Hypothèse 2 : la fréquence utilisée est telle que la cible est modélisable par un ensemble de points brillants, qu'il s'agit de retrouver.

Nous utilisons une méthode progressive et nous nous intéressons au départ à des structures simples statiques et isotropes, que nous rendons de plus en plus complexes et sur lesquelles nous étudions l'influence des limitations apportées par le problème réel.

I - RECONNAISSANCE DE SYSTEMES DE POINTS BRILLANTS STATIQUES

1 - Généralités

1-1 Le modèle de points brillants

Dans un référentiel OXYZ lié à l'objectif, chaque point brillant est défini (figure 1) par :

- Une position repérée par le vecteur \vec{d}_i

$$\vec{d}_i \begin{vmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} |\vec{d}_i| \\ \theta_i \\ \phi_i \end{vmatrix}$$

- Un diagramme propre de $SER_\infty : \sigma_{i,\lambda,P}(\vec{u})$. Ce diagramme dépend de la longueur d'onde λ utilisée et du couple $\{P\}$ de polarisation émission/réception employées. \vec{u} désigne un vecteur unitaire pris sur la direction Δ d'observation dans le sens cible-radar.

- Un déphasage propre ϕ_i .

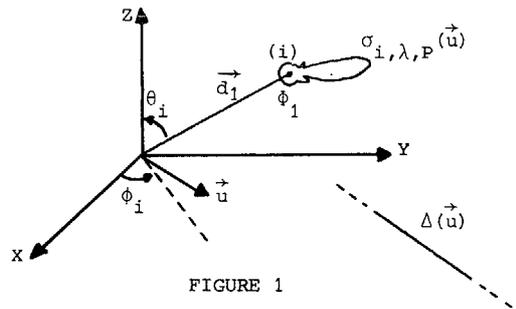


FIGURE 1

Une cible représentée par un modèle de N points brillants (multipoint d'ordre N) est définie (figure 2) par :

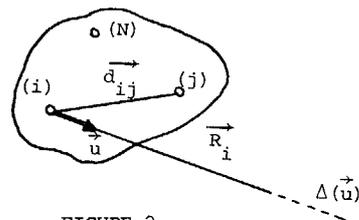


FIGURE 2

- N diagrammes de $SER_\infty : \sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u})$
- N déphasages propres : ϕ_j
- (N-1) vecteurs distances \vec{d}_{ij} , un point brillant quelconque (i) étant arbitrairement pris comme origine.

1-2 Le diagramme de SER_∞ de l'objectif

Un point (j) quelconque de la cible donne naissance au niveau du radar à un signal de la forme :

$$v_{|\vec{R}_j|} = \gamma(|\vec{R}_j|) \sqrt{\sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u})} e^{j\phi_j} e^{j \frac{4\pi}{\lambda} |\vec{R}_j|}$$

La cible étant très éloignée du radar, on peut admettre que les facteurs d'amplitude $\gamma(|\vec{R}_j|)$ sont égaux.

En posant de plus : $\delta_{ij} = \vec{d}_{ij} \cdot \vec{u}$, le signal total reçu par le radar se met sous la forme :

$$v_R \approx \gamma(|\vec{R}_i|) e^{j \frac{4\pi}{\lambda} |\vec{R}_i|} \sum_{j=1}^N \sqrt{\sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u})} e^{j \left[\frac{4\pi}{\lambda} \delta_{ij} + \phi_j \right]}$$

Par comparaison avec le signal issu d'un point unique, on pose :

METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

$$\sigma(\vec{u}) = \left| \sum_{j=1}^N \sqrt{\sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u})} e^{j \left[\frac{4\pi}{\lambda} \delta_{ij} + \phi_j \right]} \right|^2$$

Le développement de cette expression conduit à la relation :

$$\sigma(\vec{u}) = \sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u}) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_{j,\lambda,P}(\vec{u}) \sigma_{k,\lambda,P}(\vec{u})} \cos \left\{ \frac{4\pi}{\lambda} (\vec{d}_{jk} \cdot \vec{u}) + \phi_j - \phi_k \right\} \quad (1)$$

Il est à noter que le nombre p de fonctions oscillantes augmente très vite avec l'ordre de la structure et que l'on a :

$$N-1 \leq p \leq \frac{N(N-1)}{2}$$

Ces bornes correspondent respectivement à une structure régulière (distances égales) et quelconque (distances toutes différentes).

1-3 Simplifications possibles de l'équation (1)

L'étude mathématique de l'équation (1) est considérablement compliquée par le terme $(\phi_j - \phi_k)$ lié aux phases propres des points.

Notre étude étant axée sur la détermination des caractéristiques géométriques du modèle, on peut montrer que l'influence des phases propres sur l'évaluation des distances $|\vec{d}_{jk}|$ est négligeable et que l'erreur commise est majorée par $\lambda/2$. L'hypothèse de validité du modèle des points brillants étant :

$$\frac{|\vec{d}_{jk}|}{\lambda} \gg 1, \text{ on peut supposer que le modèle est isophase.}$$

Nous avons de plus montré [2] qu'on peut réduire de beaucoup le nombre de points brillants à prendre en compte sur un secteur angulaire donné, tout en conservant une très bonne précision sur le diagramme de S.E.R. La disparition d'un point brillant revient à négliger (N-1) fonctions oscillantes.

Exemple : nous avons présenté au GRETSI 1979 l'étude du modèle C 121. La simplification alors proposée (7 points sur 42) réduit le nombre de fonctions de 378 à ... 21.

2 - Les systèmes linéiques

2-1 Généralités

Dans le cas des systèmes linéiques, on a :

$$\vec{d}_{jk} \cdot \vec{u} = |\vec{d}_{jk}| \cos(\theta), \text{ où } \theta \text{ est l'angle formé par la direction d'observation } \Delta(\vec{u}) \text{ et la direction du multipoint.}$$

La SER_∞ s'écrit alors :

$$\sigma(\theta) = \sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P}(\theta) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \left\{ \sigma_{j,\lambda,P}(\theta) \cdot \sigma_{k,\lambda,P}(\theta) \right\}^{1/2} \cos \left\{ \frac{4\pi |\vec{d}_{jk}|}{\lambda} \cos \theta \right\}$$

Soit, en posant : $2 \left\{ \sigma_{j,\lambda,P}(\theta) \cdot \sigma_{k,\lambda,P}(\theta) \right\}^{1/2} = A_{jk}(\theta)$

$$\text{et } \frac{4 |\vec{d}_{jk}|}{\lambda} = B_{jk}$$

$$\sigma(\theta) = \sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P}(\theta) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=1}^N A_{jk}(\theta) \cos \left\{ \pi B_{jk} \cos \theta \right\} \quad (2)$$

2-2 Cas des multipoints linéiques isotropes

Dans ce cas, les diagrammes de SER_∞ des points sont indépendants de θ et le premier terme de la relation (2) représente la moyenne du diagramme évalué sur sa période T_θ = π

$$\frac{1}{\pi} \int_{\pi} \sigma(\theta) d\theta = \sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P}$$

De plus, on a : A_{jk} = cte.

La reconnaissance du multipoint revient à déterminer les A_{jk} et les B_{jk} à partir d'une table des valeurs de σ(θ). Nous avons recherché un espace de discrimination des paramètres plus favorable que l'espace des angles {θ}. [3]

L'espace de Fourier ne permet pas de résoudre le problème, en effet le développement de Jacobi des fonctions d'interférence :

$$f_{jk}(\theta) = \cos \left\{ \pi B_{jk} \cos \theta \right\} = J_0(\pi B_{jk}) + 2 \sum_{p=1}^{\infty} (-1)^p J_{2p}(\pi B_{jk}) \cos(2p\theta)$$

montre que le spectre de la SER_∞ se compose d'une multitude de raies et que chaque raie résulte de la composition de tous les termes de la double somme.

Par contre, si nous faisons le changement de variable : X = cos(cosθ), et que nous posons :

$$B'_{jk} = \pi B_{jk} \gg 1$$

en assimilant B'_{jk} à l'entier le plus voisin, la SER_∞ s'écrit :

$$\sigma(X) = \sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P} + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N A_{jk} T_{B'_{jk}}(X)$$

Dans cette relation T_{B'_{jk}}(X) représente le polynôme de Tchebycheff de première espèce d'ordre B'_{jk} de la variable X.

Puisque T_0(X) = 1, le terme $\sum_{j=1}^N \sigma_{j,\lambda,P}$ s'intègre au développement, et, les relations d'orthogonalité des polynômes de Tchebycheff nous permettent d'écrire :

$$2A_{jk} = \frac{\int_{-1}^{+1} \sigma(X) T_{B'_{jk}}(X) \phi(X) dx}{\int_{-1}^{+1} T_{B'_{jk}}^2(X) \phi(X) dx} \text{ avec } \phi(X) = \frac{1}{\sqrt{1-X^2}}$$

d'où l'on déduit :

$$\sigma_j \sigma_k = \frac{1}{\pi^2} \left[\int_{-1}^{+1} \sigma(X) \frac{T_{B'_{jk}}(X)}{\sqrt{1-X^2}} dx \right]^2, \text{ } |\vec{d}_{jk}| \neq 0 \quad (3)$$

Cette méthode d'analyse se conduit, à l'aide de la relation (3), comme une analyse de Fourier classique, mais les raies du "Spectre de Tchebycheff" obtenu contiennent la solution recherchée :

- L'ordre des raies nous donne les distances :

$$|\vec{d}_{jk}| = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot B'_{jk}$$

- L'amplitude des raies permet d'écrire un système dont la solution générale est :



METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{A_{pj} \cdot A_{jq}}{A_{PQ}}} \quad p \neq q \neq j$$

Exemple

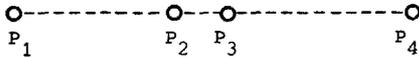
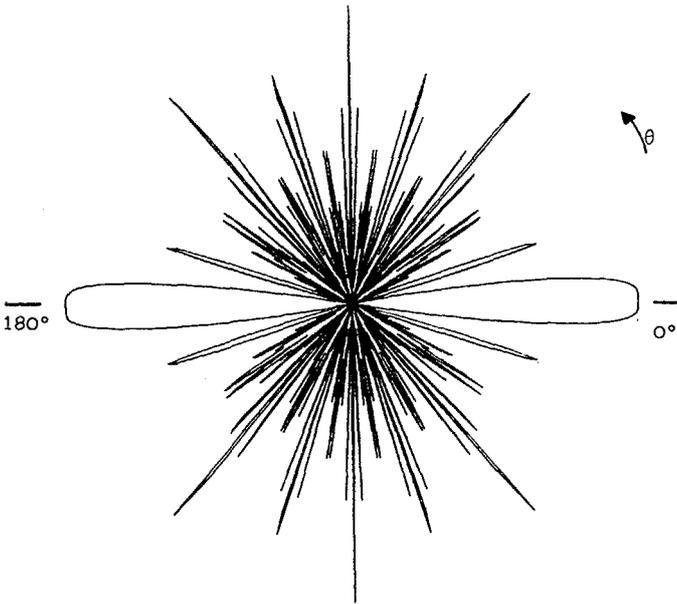


FIGURE 3

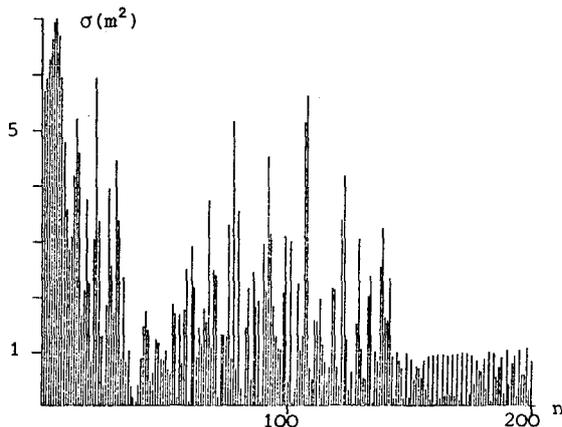
S.E.R. des points	Paramètres géométriques $ \vec{d}_{jk} $	
$\sigma_1 = 4 \text{ m}^2$	$ \vec{d}_{12} = 1.8 \text{ m}$	$ \vec{d}_{13} = 2.4 \text{ m}$
$\sigma_2 = 5 \text{ m}^2$	$ \vec{d}_{14} = 4.5 \text{ m}$	$ \vec{d}_{23} = 0.6 \text{ m}$
$\sigma_3 = 6 \text{ m}^2$	$ \vec{d}_{24} = 2.7 \text{ m}$	$ \vec{d}_{34} = 2.1 \text{ m}$
$\sigma_4 = 7 \text{ m}^2$		

Nous considérons le quadripoint de la figure 3 et son diagramme de SER_∞ pour une longueur d'onde λ = 20 cm.

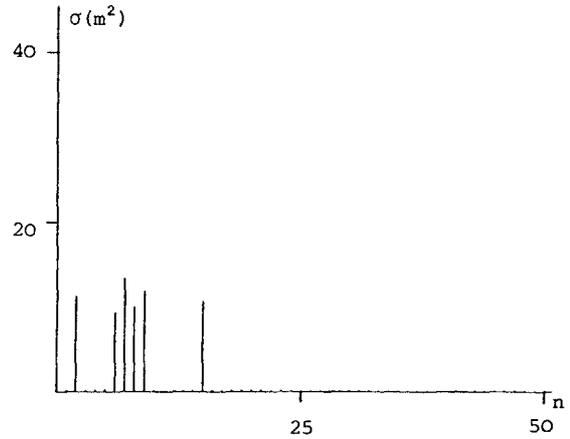
La figure 4 montre l'image de la SER dans le plan {θ}, dans le plan de Fourier, et dans le plan de Tchebycheff. On notera dans ce dernier cas l'extrême simplification obtenue et la discrimination immédiate des six distances du quadripoint.



Plan {θ}



Plan de Fourier



Plan de Tchebycheff

FIGURE 4

2-3 Cas des multipoints linéiques anisotropes

Ils sont caractérisés par des points brillants dont les diagrammes propres sont des fonctions de θ: σ_j(θ). Deux cas sont à envisager :

a) Les diagrammes sont disjoints dans le plan {θ}. Les fonctions d'interférences n'existent pas. Aucune discrimination des distances n'est possible : le diagramme de SER_∞ recopie simplement la forme des diagrammes σ_j(θ).

b) Si les diagrammes interfèrent, on peut toujours supposer qu'ils sont isotropes sur un faible intervalle angulaire Δθ.

Nous avons montré [4] que, en posant π cos θ = φ, le diagramme de SER_∞ σ(φ) devient périodique, de période :

$$T_\phi = \frac{\lambda\pi}{2 \text{P.G.C.D.}(|\vec{d}_{jk}|)}$$

et qu'à toute période T_φ on peut faire correspondre une fenêtre δθ(θ) contenant la totalité de l'information du multipoint isotrope équivalent (voir figure 5).

Si dans l'intervalle angulaire d'interférence entre deux points on a :

$$\delta\theta(\theta) \leq \Delta\theta$$

il est possible, en déplaçant la fenêtre de reconstituer les diagrammes des points.

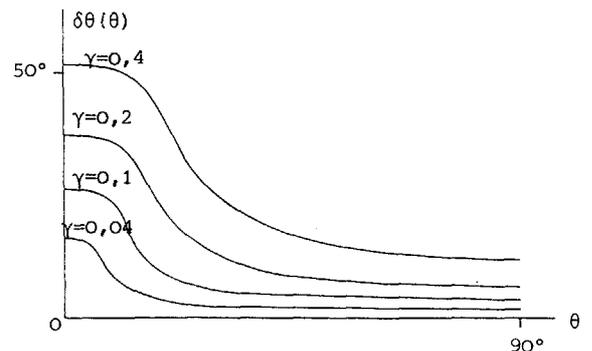


FIGURE 5

Paramètre : $\gamma = \frac{2T_\phi}{\pi}$

METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

3 - Les multipoints plans

3-1 Multipoints plans isotropes

Dans le cas de cette famille de structures, l'expression (1) de la SER_∞ prend la forme :

$$\sigma(\theta) = \sum_{j=1}^N \sigma_j + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N A_{jk} \cos\{B'_{jk} \cos(\theta + \psi_{jk})\} \quad (4)$$

où ψ_{jk} désigne l'angle d'incidence du bipoint {j,k} par rapport au bipoint {i,j} de référence vu sous l'aspect θ .

Chaque fonction d'interférence contient maintenant trois inconnues. La théorie précédente ne s'applique pas car, avec les mêmes hypothèses, les fonctions de base s'écrivent :

$$f_{jk}(\theta) = A_{jk} \cos\{B'_{jk} \cos(\theta + \psi_{jk})\} = A_{jk} \{T_{njk}(X_1)T_{mjk}(X_2) - U_{njk}(X_1)U_{mjk}(X_2)\}$$

avec : $n_{jk} = B'_{jk} \cos \psi_{jk}$, $m_{jk} = B'_{jk} \sin \psi_{jk}$
 $X_1 = \cos(\cos \theta)$, $X_2 = \cos(\sin \theta)$
 et ne sont pas orthogonalisables.

Définition de la surface discriminante

Nous appelons surface discriminante $\left| \frac{H_N}{C_N}(n, \phi) \right|$ d'un multipoint plan isotrope d'ordre N, la fonction de deux variables définie par :

$$\left| \frac{H_N}{C_N}(n, \phi) \right| = \left| \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{\pi} \sigma(\theta) \cos(n \cos[\theta + \phi]) d\theta \right| \quad (5)$$

a) Cas d'un bipoint

Le comportement de cette fonction peut être étudié de façon simple dans le cas d'un bipoint. L'expression (5) s'écrit alors :

$$\left| \frac{H_2}{C_2}(n, \phi) \right| = (\sigma_1 + \sigma_2) \left| J_0(n) \right| + \frac{2A_{12}}{\pi} \left| \int_{\pi}^{\pi} \cos\{B_{12} \cos(\theta + \psi_{12})\} \cos\{n \cos(\theta + \phi)\} d\theta \right|$$

Un calcul utilisant l'inégalité de Schwarz permet de majorer cette surface par une surface oscillante, fonction de la seule variable n et de montrer que :

$$\left| \frac{H_2}{C_2}(n, \phi) \right| \leq \left| \frac{H_2}{C_2}(B_{12}, \psi_{12}) \right| = (\sigma_1 + \sigma_2) \left| J_0(B_{12}) \right| + (\sigma_1 \cdot \sigma_2)^{1/2} \left| (1 + J_0[2B_{12}]) \right| \quad (6)$$

Le maximum maximorum de la fonction a donc pour coordonnées les deux inconnues de distance et de position B_{12} et ψ_{12} du bipoint. La valeur du maximum maximorum permet de déduire une information sur les SER des points. La valeur moyenne de la SER_∞ étant $\sigma_1 + \sigma_2$, on peut donc retrouver les SER des points.

La discrimination est plus aisée, si on utilise la relation (7) correspondant à une surface discriminante normalisée du diagramme de SER_∞ centré :

$$\left| \frac{H_N}{C_N}(n, \phi) \right|^2 = \left| \frac{1}{\pi(1 + J_0[2n])} \int_{\pi}^{\pi} \sigma_c(\theta) \cos(n \cos[\theta + \phi]) d\theta \right|^2 \quad (7)$$

où $\sigma_c(\theta) = \left\{ \sigma(\theta) - \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{\pi} \sigma(\theta) d\theta \right\}$ désigne la SER_∞ centrée du bipoint.

Le maximum maximorum prend alors la valeur suivante :

$$\left| \frac{H_N}{C_N}(B_{12}, \psi_{12}) \right|^2 = \sigma_1 \sigma_2 \quad (8)$$

La figure 6 donne un exemple de discrimination d'un bipoint ($\sigma_1 = \sigma_2 = 1 \text{ m}^2$, $B_{12} = 130$, $\psi_{12} = 70^\circ$)

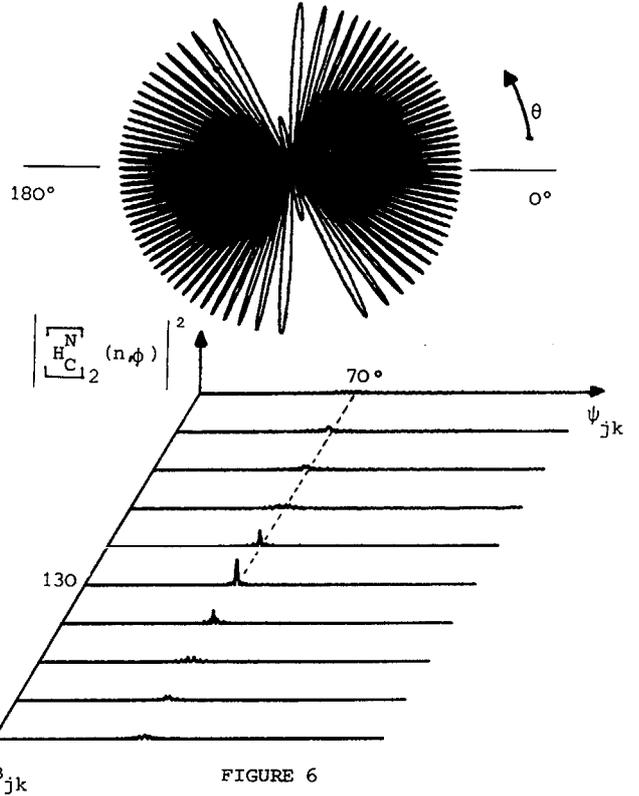


FIGURE 6

b) Cas d'un multipoint

L'expression de la surface discriminante normalisée de la SER centrée devient :

$$\left| \frac{H_N}{C_N}(n, \phi) \right|^2 = \left| \frac{2}{(1 + J_0[2n])} \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N A_{jk} \int_{\pi}^{\pi} \cos\{B_{jk} \cos(\theta + \psi_{jk})\} \cos\{n \cos(\theta + \phi)\} d\theta \right|^2$$

et on observe une série de maxima principaux de la forme :

$$\left| \frac{H_N}{C_N}(B_{ij}, \psi_{ij}) \right|^2 = \left| \sqrt{\sigma_i \sigma_j} + n_{i,j} \right|^2$$

La détection des paramètres géométriques (B_{ij}, ψ_{ij}) est toujours exacte mais l'évaluation du terme $\sigma_i \sigma_j$ est faussée par la présence de $n_{i,j}$. Nous avons montré que pour avoir

$$\frac{\left| \frac{H_N}{C_N}(B_{ij}, \psi_{ij}) \right|^2}{\sigma_i \sigma_j} \leq 2 \text{ dB} \text{ il faut que : } \frac{\sigma_i \sigma_j}{|n_{i,j}|^2} \geq 12 \text{ dB}$$

Exemple :

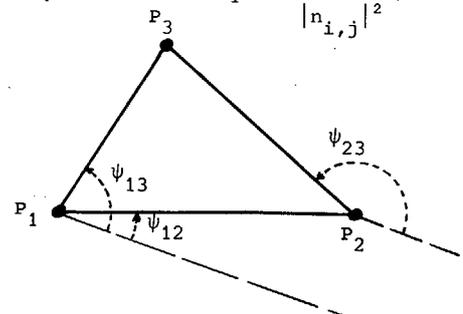


FIGURE 7



METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS
BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

DEUXIEME PARTIE

Considérons le tripoint isotrope plan de la figure 7 défini par les paramètres :

$$\begin{array}{lll} B_{12} = 105 & \sigma_1 = 0,5 \text{ m}^2 & \psi_{12} = 20^\circ \\ B_{13} = 70 & \sigma_2 = 0,5 \text{ m}^2 & \psi_{13} = 77^\circ 84' \\ B_{23} = 90 & \sigma_3 = 0,5 \text{ m}^2 & \psi_{23} = 158^\circ 72' \end{array}$$

La figure 8 représente le diagramme de SER_∞ dans le plan $\{\theta\}$ et la figure 9, la surface discriminante normalisée de la SER centrée $\left| \frac{H^N}{C} \right|_3^2(n, \phi)$

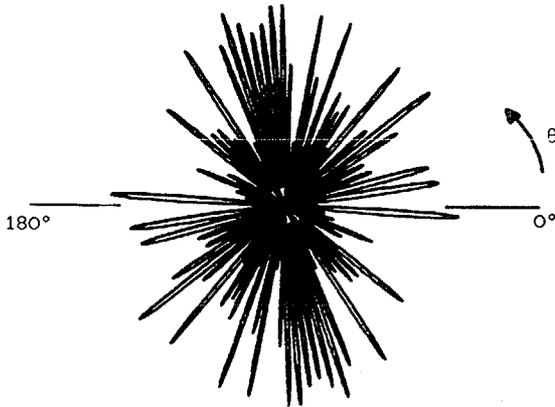


FIGURE 8

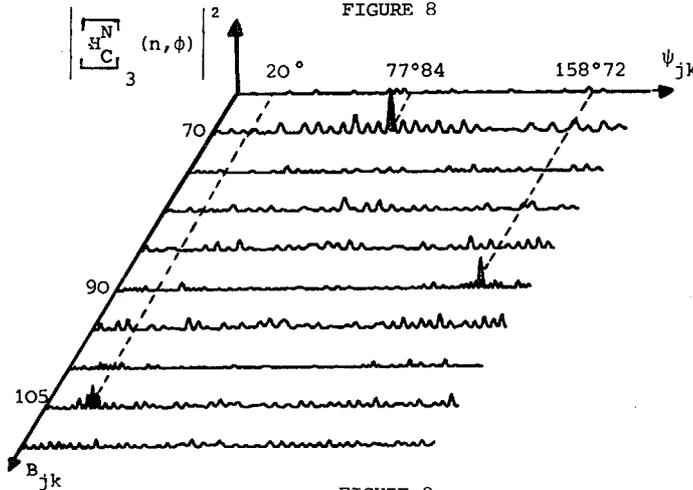


FIGURE 9

3-2 Multipoints plans anisotropes

Notre recherche porte actuellement sur la détermination de la surface discriminante $\left| \frac{H^N}{C} \right|_3^2(n, \phi)$ d'un multipoint à partir d'un intervalle angulaire d'intégration aussi réduit que possible. La solution de ce problème nous permettrait comme au § 2-3 d'assimiler le diagramme de SER anisotrope à une succession de diagrammes isotropes déterminables par la méthode des multipoints isotropes plans.

4 - Conclusion

Nous pouvons actuellement retrouver la géométrie et les SER des structures linéiques et planes de points brillants isotropes à partir de leur diagramme de SER_∞ . La méthode peut être étendue sans difficulté aux structures isotropes tridimensionnelles. Dans le cas de structures anisotropes les premiers résultats obtenus sur les systèmes linéiques sont très prometteurs.

II - ETUDE DE SIGNATURES

Dans cette seconde partie nous étudions les signatures d'avions au cours de passages réels. La procédure utilisée a été décrite ailleurs [5], rappelons seulement qu'elle consiste en une analyse fréquentielle de réalisations de la fonction aléatoire du temps constituée par l'amplitude des échos radar, approximativement compensés par CAG, du terme d'atténuation géométrique. Le radar utilisé, de fréquence voisine de 3 GHz ($\lambda = 10$ cm) travaille en polarisation rectiligne, parfois circulaire en cas de conditions météorologiques défavorables. Il suit en poursuite automatique un avion généralement commercial. Son écho est analysé et présenté par fractions de 512 récurrences (1.25 sec.). Sur les figures 32 analyses successives sont enregistrées.

1 - Action des éléments mobiles de la cible

Sur les avions munis d'hélice, la modulation qu'elle provoque sur l'écho est particulièrement évidente. La figure 10 présente un résultat concernant un avion coopératif, Cessna L 19, muni d'une hélice à deux pales et dont la vitesse de rotation, commandée par ordre issu du radar, varie de 1500 à 2400 t/m, puis se stabilise à cette dernière valeur. On constate la parfaite correspondance des raies qui se déplacent de 50 à 80 Hz pour le fondamental, et de 100 à 160 Hz pour le premier harmonique. La figure 11 présente l'analyse d'un avion de ligne Fokker 27-500 muni d'une hélice quadripôle sur une trajectoire Orly-Rennes. Là encore, la correspondance entre la vitesse de rotation (1000 t/mn) et les raies spectrales (67 et 134 Hz) est excellente.

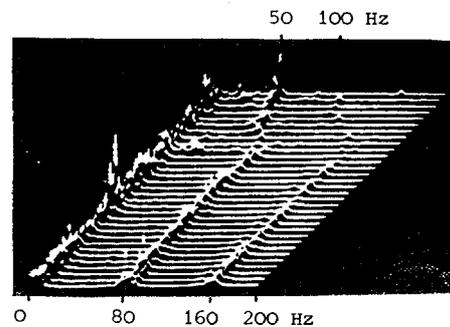


FIGURE 10

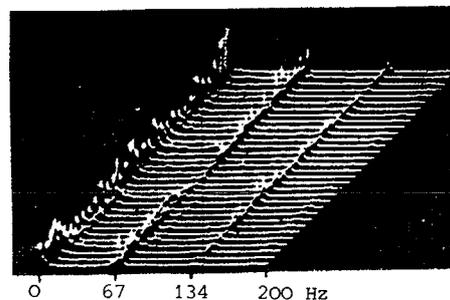


FIGURE 11

Les résultats ci-dessus permettent de suggérer une hypothèse concernant les raies à fréquence variable (figure 12) observées sur les triréacteurs Douglas DC 10 parcourant une trajectoire rectiligne. Ces raies qui apparaissent presque exclusivement sur le DC 10 pourraient provenir des mouvements des divers ailerons qui semblent importants sur ce type d'appareil.

METHODE D'EXTRACTION DE DONNEES RELATIVES A DES MODELES DE POINTS
BRILLANTS A PARTIR DE L'ANALYSE DE LA PUISSANCE DIFFRACTEE.

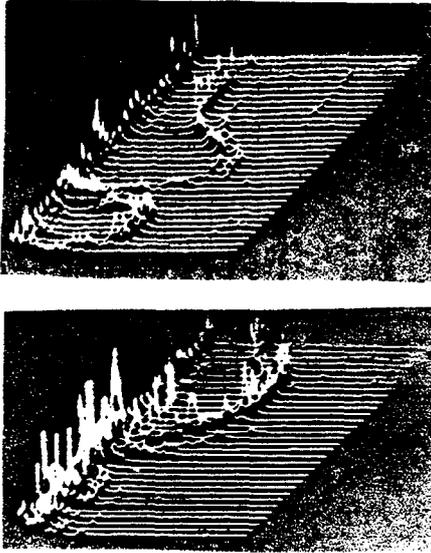


FIGURE 12

2 - Action du diagramme de diffraction de l'avion considéré comme rigide

On peut se faire une idée généralement approchée du diagramme de lobes en assimilant l'avion à un bipoint dont l'écart est de l'ordre de grandeur des dimensions de l'appareil. Dans la région normale au bipoint (figure 13), on passe du maximum central à un maximum adjacent par une variation d'angle θ telle que : $AA'H = \lambda/2$.

$$\text{Soit : } AA' \cdot \theta = \frac{\lambda}{2} \quad \theta = \frac{\lambda}{2AA'}$$

avec $\lambda = 0,1 \text{ m}$, $AA' = 30 \text{ m}$, on a : $\theta \approx 1/600 \text{ rad}$.

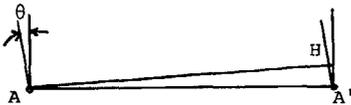


FIGURE 13

Considérons la figure 14, relative à un Boeing 727 passant à 18 km de la Station. La distance au sol séparant les maxima est de l'ordre de 30 mètres, la vitesse du Boeing de l'ordre de 900 km/h conduit à des fréquences de modulation par défilement inférieures à 10 Hz si la trajectoire est rectiligne. On notera qu'il s'agit là d'une valeur maximale qui peut devenir bien inférieure si les points brillants les plus intenses sont plus rapprochés ou si on les observe dans une direction différente de la perpendiculaire.

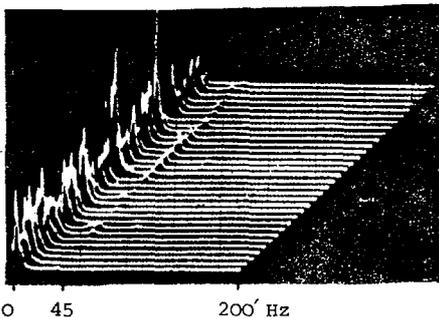


FIGURE 14

Ce calcul grossier nous conduit à attribuer à la structure rigide la portion du spectre voisine de l'origine, y compris la modulation apparente sous forme de variation d'amplitude d'un balayage à l'autre des raies de très basse fréquence. Les raies stables observables sur le diagramme 15 ne pouvant s'expliquer par le défilement de la figure des SER de rétrodiffusion pourraient être attribuées à des vibrations de structure.

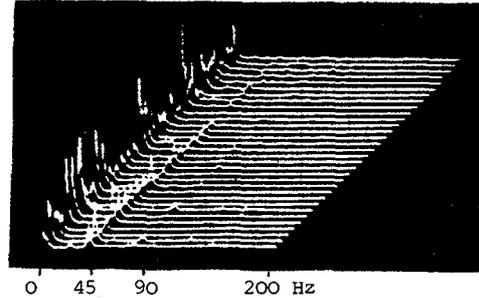


FIGURE 15

3 - Conclusion

Les résultats exposés ci-dessus constituent une première approche à la résolution du problème des signatures par un radar classique. Dans une prochaine étape, les méthodes développées en première partie seront appliquées aux enregistrements d'amplitude d'écho pour vérifier si elles permettent, comme dans le cas des modèles, la localisation des points brillants.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHASSAY G., SAILLARD J.
"Contribution à la résolution du problème inverse de la diffraction". C.R. Acad. S.C. Paris, t. 290 (3 mars 1980).
- [2] SAILLARD J., CHASSAY G.
"Méthode originale d'analyse du diagramme de diffraction en puissance d'une cible radar en vue de la reconnaissance des formes". (à paraître aux Annales des Télécommunications, mai-juin 1981).
- [3] CHASSAY G., SAILLARD J.
"Analysis of R.C.S. diagram of target in Tchebyshev polynomial space". Electronics Letters, 14th Aug. 1980, vol. 16, n° 17.
- [4] SAILLARD J., CHASSAY G.
"Determination of viewing aspect window of R.C.S. diagram for recognition of isotropic linear target". Electronics Letters, 19th Feb. 1981, vol. 17, n° 4.
- [5] MEVEL J., LAUNAY G.
"Reconnaissance des formes d'avions à l'aide du radar monostatique". (à paraître aux Annales des Télécommunications, mai-juin 1981).

