

# SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

---

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

CHASSAY G. - LAUNAY G. - MEVEL J.Y. - SAILLARD J.

UNIVERSITE DE RENNES - LABORATOIRE DE RADIOELECTRICITE - CAMPUS DE BEAULIEU - 35042 RENNES CEDEX

---

## RESUME

La modélisation des avions, en ce qui concerne la section efficace de rétrodiffusion, s'effectue couramment en remplaçant la carlingue de l'appareil par un certain nombre de "points brillants" convenablement disposés. Chaque point est défini, par sa position, son intensité maximale, la direction et l'ouverture du lobe correspondant supposé gaussien.

Le travail que nous présentons a pour but d'établir le nombre minimal de points qu'il convient de retenir pour reconstruire le diagramme de diffraction à l'infini de la structure réelle ainsi modélisée. Après avoir discuté les raisons de ce choix, nous définissons comme critère de ressemblance la concordance des valeurs moyennes et des variances de courbes correspondant à des nombres variables de points brillants après ébasage éliminant les zones d'amplitude minimale.

Nous donnons ensuite des résultats de reconstruction obtenus sur modèles aléatoires plans et sur modèles réalistes (avion Constellation C 121).

Dans une seconde partie, nous donnons deux exemples d'analyse spectrale des amplitudes d'échos pour des avions de ligne en vol rectiligne. Ces exemples permettent de préciser les éléments de signature contenus dans l'écho.

Ces deux études doivent être reliées afin de permettre l'identification passive des avions.

## SUMMARY

Aircraft modeling, relating to the radar cross-section, is often accomplished by replacing the skin of the aircraft by several conveniently placed "specular reflection" centers. Each center is characterized by its location, its maximal intensity, and its directional pattern assumed to be gaussian.

In this communication we intend to determine the minimum number of radiation centers that we must take in to account to obtain a correct approximation of the diffraction diagram at infinity. After discussing the reasons for this choice, we define as a measure of similarity a good agreement between mean and r m s values of the curves obtained by using various numbers of diffraction centers. We eliminate the minimum regions of the curves.

We give some results obtained with plane random or realistic models (C 121 Constellation aircraft).

In a second part we give two results of the spectral analysis of the amplitude of echoes obtained from commercial jet aircrafts. These results are intended to show signature discriminants contained in the echoes.

These two studies will be correlated in view of passive identification of aircrafts.



## CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

## PREMIERE PARTIE

I - METHODE DE DETERMINATION DU NOMBRE DE POINTS  
BRILLANTS A PRENDRE EN COMPTE

La méthode que nous avons utilisée se décompose en six phases successives :

- définition d'une structure théorique de points brillants
- construction du diagramme de section efficace de rétrodiffusion à l'infini de la structure
- classement des points brillants par amplitude décroissante
- reconstitution de diagrammes de SER avec des nombres limités de points brillants
- choix d'un critère de comparaison des diagrammes
- détermination d'un nombre limite de points.

PREMIERE PHASE

Nous considérons des structures planes composées de  $k$  points brillants.

Une structure est définie par  $5k$  paramètres :

- $2k$  paramètres de position des points dans le plan

$$u_{i,1} = X_i, \quad u_{i,2} = Y_i$$

- $3k$  paramètres de diagrammes de rétrodiffusion

Nous avons supposé que les diagrammes de rétrodiffusion des points brillants sont représentables par des fonctions gaussiennes du type :

$$G_i(\theta) = G_{M_i} e^{-\alpha_i (\theta_{M_i} - \theta)^2} \quad (1)$$

ce qui nous donne :

- $k$  paramètres gain maximum :

$$u_{i,3} = G_{M_i}$$

- $k$  paramètres de repérage angulaire de maximum :

$$u_{i,4} = \theta_{M_i}$$

- $k$  paramètres d'ouverture de lobes

$$u_{i,5} = \alpha_i$$

Le coefficient  $\alpha_i$  est lié à l'angle d'ouverture à mi-puissance  $\theta_{B_i}$  du lobe par la relation :

$$\alpha_i \approx \frac{2,773}{\theta_{B_i}^2} \quad (2)$$

DEUXIEME PHASE

Nous construisons le diagramme de section efficace de rétrodiffusion à l'infini de la structure en utilisant la relation de composition en zone optique :

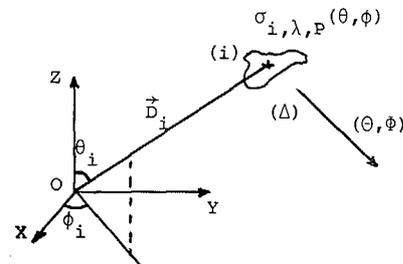
$$\sigma_\lambda(\theta) = \left| \sum_{i=1}^k \sqrt{G_i(\theta)} e^{j 4\pi \frac{\delta_i}{\lambda}} \right|^2 \quad (3)$$

Dans cette relation,  $\delta_i$  désigne la projection sur la direction d'observation  $\Delta(\theta)$  de la distance différentielle entre les points brillants et un point de référence  $(X_0, Y_0)$  choisi arbitrairement :

$$\delta_i = \vec{D}_i \cdot \vec{v} \quad (4)$$

avec :  $\vec{D}_i = \begin{pmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \end{pmatrix}$   $\vec{v}$  : vecteur unitaire pris sur  $\Delta(\theta)$

Le diagramme obtenu sert de référence pour la suite de l'étude.

TROISIEME PHASE

Les diagrammes de rétrodiffusion des points brillants étant tabulés, nous les classons par ordre d'amplitude décroissante sur tout l'intervalle d'observation (ici  $0 \leq \theta \leq \pi$ ).

QUATRIEME PHASE

Nous reconstituons, à l'aide de la relation (3), une série de diagramme de SER $_\infty$  de la structure, en ne prenant en compte pour chaque aspect  $\theta$  que les  $n$  premiers points du tableau de classement obtenu dans la phase précédente,  $n$  variant de 1 à  $k-1$ .

Le cas  $n = k$  correspond au diagramme de référence.

CINQUIEME PHASE

Il faut comparer les diagrammes obtenus dans la phase 4 avec le diagramme de référence. Cette comparaison est difficile et peut être effectuée dans des optiques très différentes. Nous l'avons réalisée sous deux aspects :

1) ASPECT PHYSIQUE

Le diagramme approximé aura une bonne ressemblance physique avec le diagramme de référence si le radar d'observation ne peut effectuer de distinction entre la structure complète et la structure réduite. Il faut pour cela :

a) que les diagrammes "se ressemblent dans les grandes lignes". Il doit y avoir une bonne concordance entre



## CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

les diagrammes moyennés sur un intervalle angulaire  $\Delta\theta$  correctement choisi. Cela signifie qu'un filtrage passe-bas sur l'amplitude des échos radar devra donner sensiblement le même signal sur les deux structures comparées. Il s'agit d'une comparaison sur les variations lentes des diagrammes.

b) l'examen des fluctuations rapides étant trop complexe pour être sérieusement envisagé, il faut tout au moins que la variance des fluctuations autour des courbes moyennées soit du même ordre pour les deux structures. La ressemblance des diagrammes au sens de ce critère physique varie avec l'angle d'observation. On peut s'attendre à trouver des zones de concordance variable.

### 2) ASPECT THEORIQUE

L'inconvénient de la méthode précédente est de ne pas permettre d'attribuer une estimation précise de la ressemblance globale entre les diagrammes.

Pour y remédier, on peut chercher la valeur minimale garantie d'une grandeur de comparaison statistique dans un pourcentage donné du nombre des valeurs qui définissent les diagrammes. On obtient ainsi une valeur  $X$  indépendante de  $\theta$ .

Nous avons effectué une telle comparaison au sens du coefficient d'intercorrélation. La ressemblance ainsi évaluée est d'autant meilleure que  $X$  est proche de 1 pour un pourcentage du nombre des valeurs de 100%.

### SIXIEME PHASE

La comparaison d'après le critère théorique permet de choisir un nombre de points brillants suivant la note de ressemblance que l'on juge admissible.

Si on utilise le critère de ressemblance physique, le choix du nombre à retenir est plus difficile car la concordance varie avec  $\theta$ . Ce choix est facilité en éliminant toutes les parties du diagramme inférieures à un seuil donné, fonction des performances du radar. Il est raisonnable de ne pas prendre en compte les amplitudes inférieures, approximativement à -20 ou -30 dB du maximum.

## II - MODELES ETUDIES ET RESULTATS

Notre but étant d'adapter cette étude au cas des avions, nous avons choisi des structures des points brillants en nombre variable, de complexité croissante. Les modèles de distribution de points choisis se rapprochent progressivement d'une distribution réelle.

Les modèles étudiés sont les suivants :

- a) structures pseudo-aléatoires de points brillants équirépartis dans une portion de plan.
- b) structure plane comportant des éléments de choix dans le tirage des paramètres de définition.
- c) structure plane tirée de la modélisation de l'avion CONSTELLATION C 121 proposée par Bill CAPUTI <sup>(1)</sup>

### A) ETUDE DES STRUCTURES PSEUDO-ALEATOIRES

Nous avons étudié des structures dont le nombre de points varie de 15 à 40 avec un pas de 5.

Pour chaque point, nous avons tiré 5 paramètres suivant la loi <sup>(2)</sup> :

$$u_{i,j} = A_j + B_j \mathcal{F} \left[ (\pi - u_{i-1,j}) \right]^5 \quad (6)$$

où  $\mathcal{F}()$  désigne la partie fractionnaire.

Les coefficients  $A_j$  et  $B_j$  ont été choisis pour fixer les valeurs limites suivantes aux paramètres :

PARAMETRES	VALEUR MINIMALE	VALEUR MAXIMALE
$X_i$ (m)	0	10
$Y_i$ (m)	0	-10
$G_{M_i}$ (dB)	-25	0
$M_i$ (°)	0	180
$B_i$ (°)	10	40

Nous avons volontairement choisi des lobes assez larges. Ceci correspond au cas défavorable où le nombre de points qui interfèrent est relativement grand pour une gamme étendue d'aspects.

### RESULTATS OBTENUS

La ressemblance physique (en moyenne et en dispersion) est une fonction rapidement croissante du nombre de points prise en compte.

Sur les exemples étudiés (10 tirages pour chaque structure de  $k$  points), l'utilisation de 20% seulement des points conduit à un écart maximal de 3 dB sur les moyennes et de 3 sur les écarts types. Au-delà de 20%, l'amélioration est très lente. Nous avons limité notre étude à un pourcentage de 33% de points.

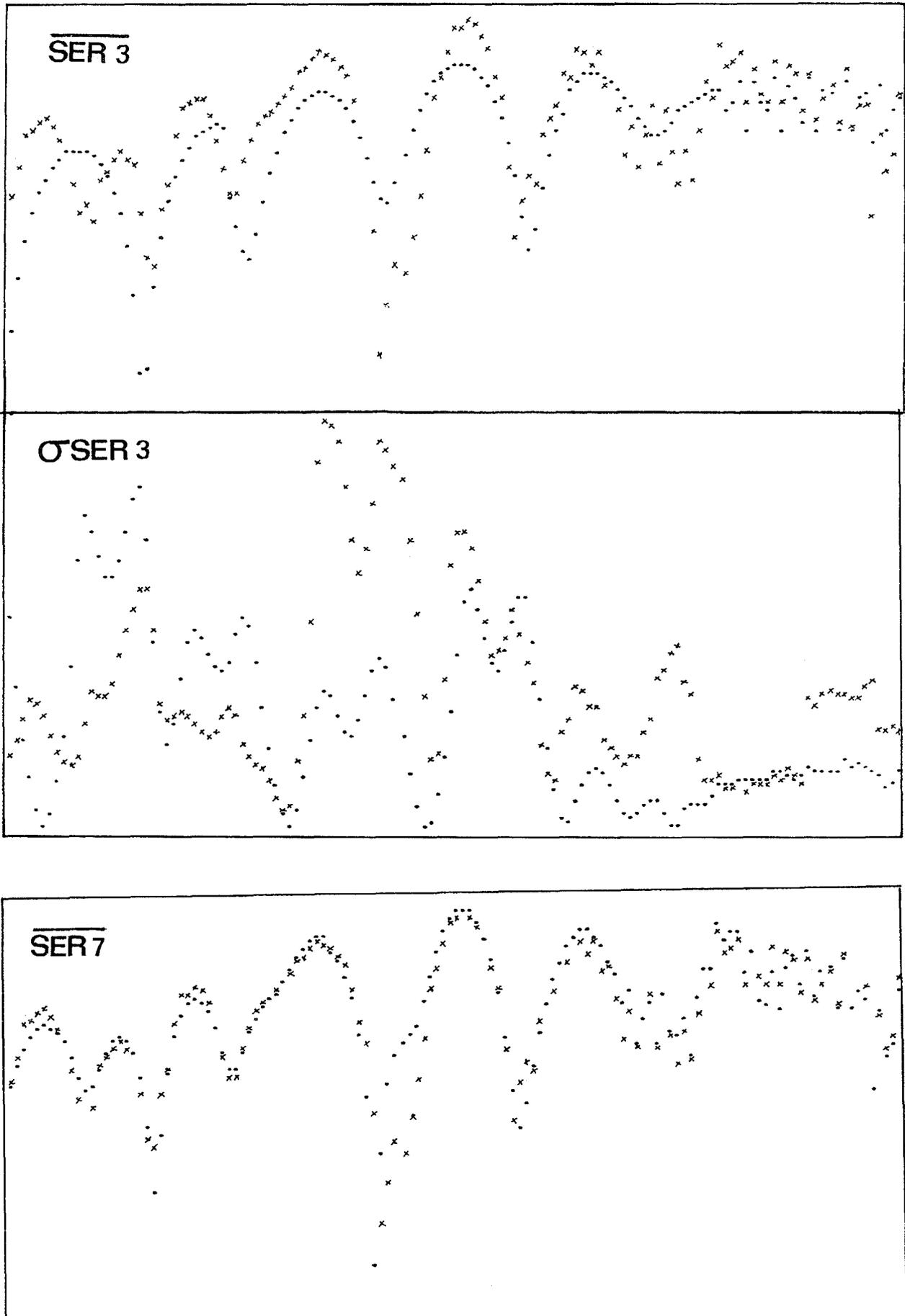
La figure 1 montre l'évolution d'une portion de diagramme en moyenne et en dispersion lorsque l'on fait varier le nombre de points pris en compte.

(1) : Radar Technology E. BROOKNER - Artech House, 1977

(2) : Cette loi est une loi équirépartie choisie uniquement pour sa simplicité de mise en oeuvre.



## CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR



CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

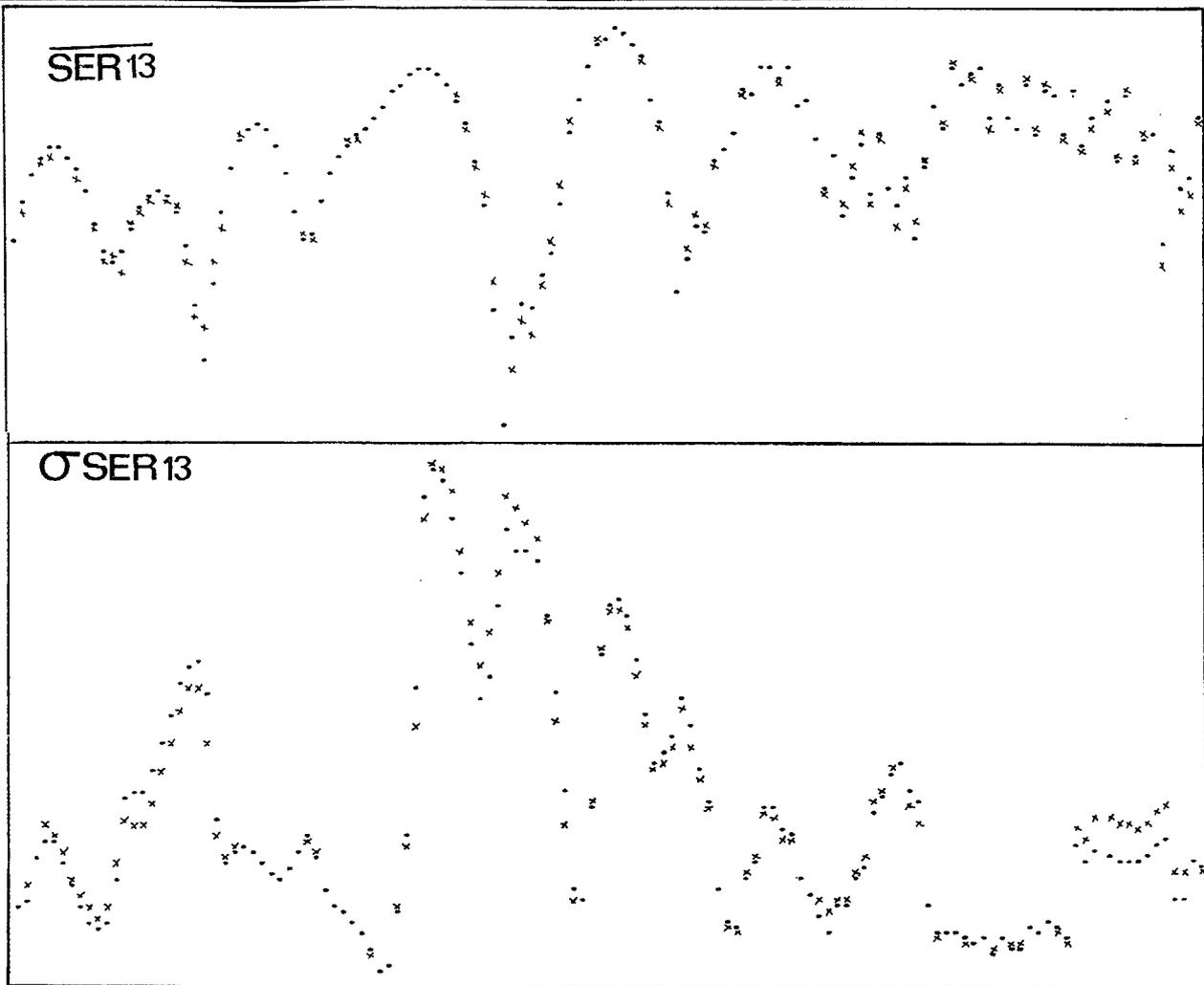


FIGURE 1 - RECONSTITUTION D'UN DIAGRAMME DE SER<sub>∞</sub> POUR UNE STRUCTURE DE 40 POINTS BRILLANTS

Pour mieux préciser cette ressemblance, nous avons fait une étude statistique sur 60 structures, au sens du critère théorique déjà défini.

Pour chaque ensemble de tirages relatifs à une structure de k points, nous avons tracé la variation de la valeur minimale du coefficient de corrélation  $X_k$  dans un pourcentage donné  $\gamma$  du nombre des valeurs définissant les diagrammes en fonction du pourcentage  $N_\ell$  du nombre des points brillants utilisés :

$$X_k = f_\gamma(N_\ell)$$

Nous donnons sur la figure 2a un exemple des résultats obtenus (structure de 40 points). On voit que X est une fonction croissante de  $N_\ell$  dont la dispersion autour de  $X_{MOY}$  passe par un maximum pour une faible valeur de  $N_\ell$ . L'étude de cette dispersion donne les résultats de la figure 2b.

Le tracé des courbes  $X_{MOY} = f_{N_\ell}(\gamma)$  est particulièrement intéressant. Nous en donnons un exemple sur la figure 3.

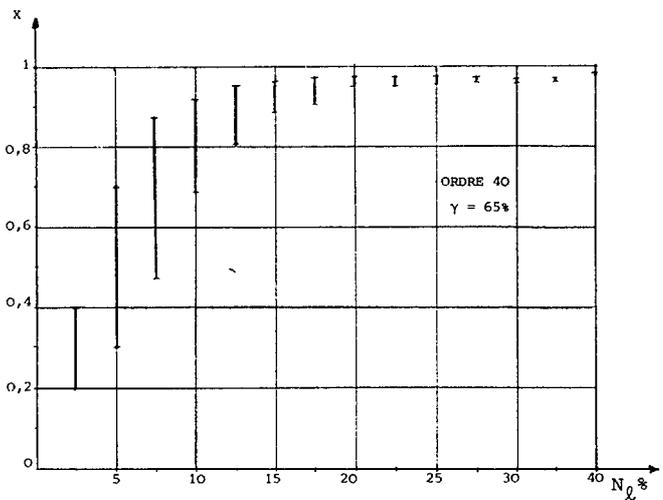


FIGURE 2a



CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

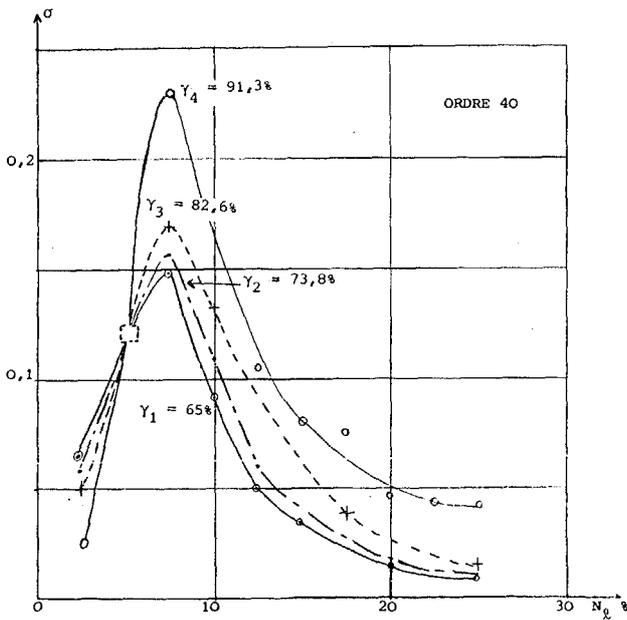


FIGURE 2b

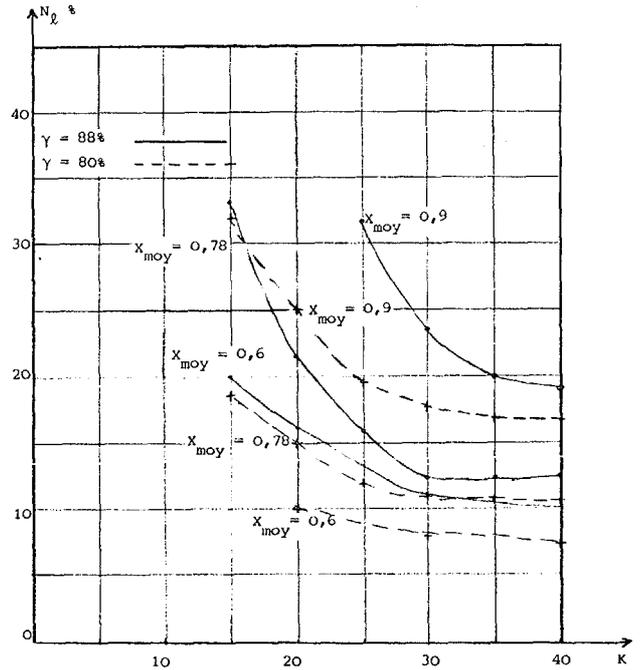


FIGURE 4

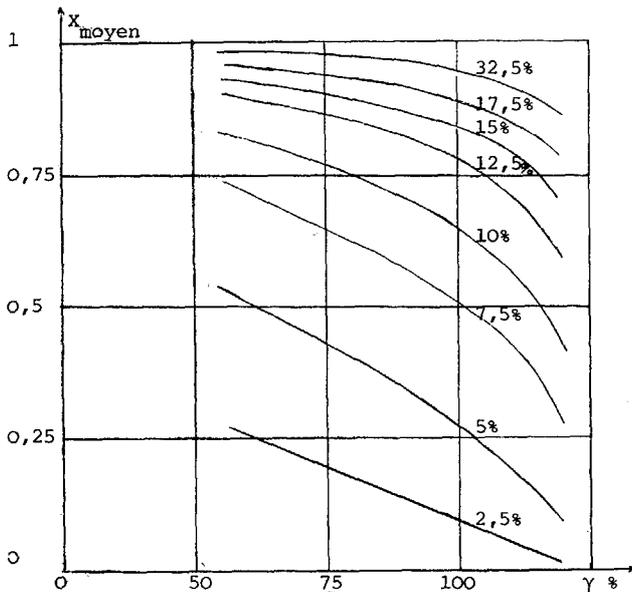


FIGURE 3

Nous voyons sur cet exemple qu'un coefficient de corrélation minimal moyen de 0,9 est obtenu dans 95% des cas, en ne prenant que 1/3 des points de la structure. Ce chiffre est d'autant plus intéressant qu'il est connu avec une bonne certitude d'après les courbes de la figure 2b.

Cette étude menée sur des structures de 15 à 40 points, nous a permis d'obtenir les résultats suivants (figures 4 et 5).

Il est particulièrement intéressant de remarquer que le nombre de points à prendre en compte pour obtenir des résultats donnés varie peu, et qu'il peut être majoré par un nombre faible et unique convenant à des structures de 15 à 40 points brillants.

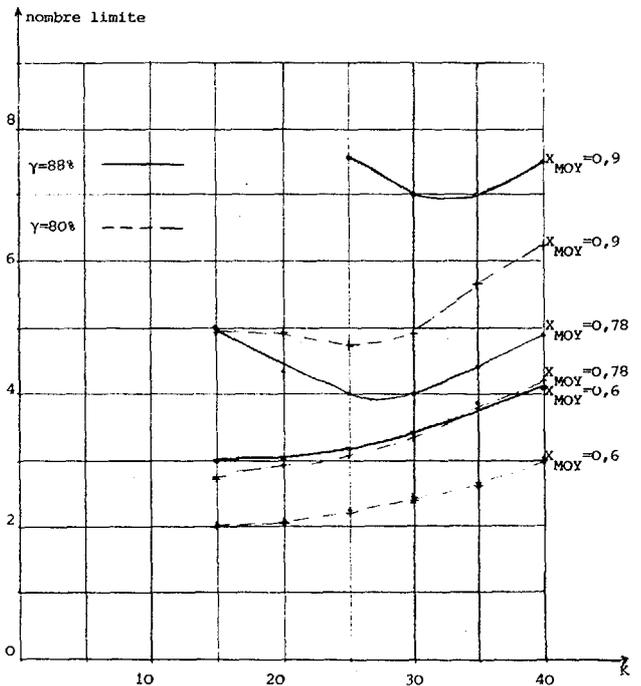


FIGURE 5

B) ETUDE DE STRUCTURES PLANES AVEC DES ELEMENTS DE CHOIX DANS LE TIRAGE DES PARAMETRES  $u_{i,j}$

Dans cette étude, les coefficients  $A_j$  et  $B_j$  ont été choisis pour que les paramètres  $u_{i,j}$  définissent une structure avec :

- des zones de situation géographique privilégiées pour le regroupement des points brillants.
- des directions d'orientation préférentielles pour un pourcentage donné des diagrammes de rétrodiffusion des points brillants.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES AU RADAR

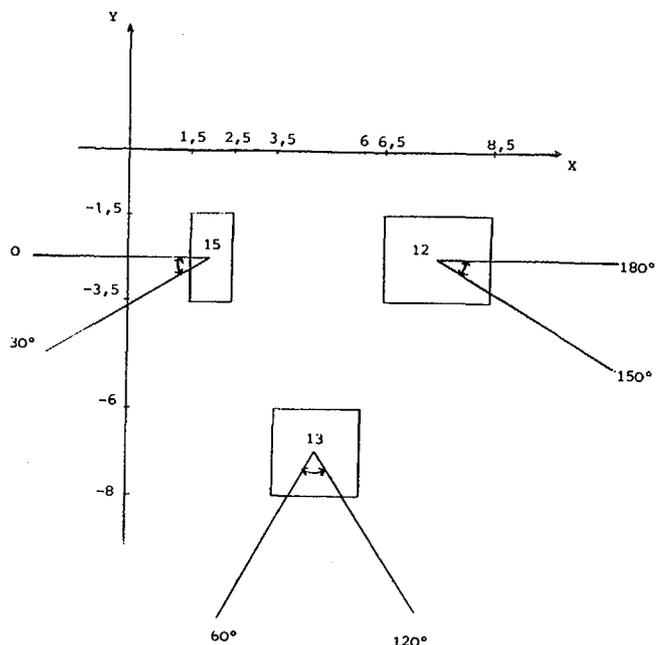


FIGURE 6

Nous n'avons pas constaté de particularités dans la reconstitution des diagrammes de  $SER_{\infty}$ .

La modification de répartition géographique des points est sans influence sur les résultats acquis précédemment. L'influence du changement de la répartition des orientations de lobes est négligeable dans les cas que nous avons étudiés.

Dans le cas d'un fort pourcentage de lobes étroits, le nombre de points à prendre en compte diminue dans les zones angulaires non privilégiées, et le nombre limite défini à l'étude précédente assure une concordance des diagrammes encore meilleure dans ces zones.

C) ETUDE D'UNE MODELISATION DE L'AVION CONSTELLATION  
C 121

Nous avons appliqué notre méthode à la structure plane de la figure 7.

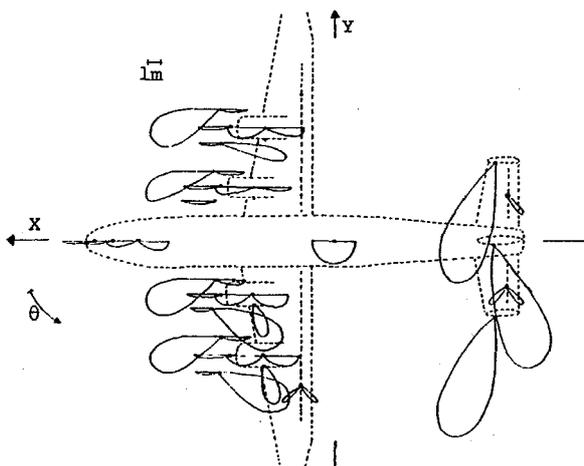


FIGURE 7

Le modèle utilisé a été obtenu à partir des résultats donnés dans (1) en associant aux points brillants des lobes gaussiens. Compte tenu des dimensions du modèle, nous avons choisi une fréquence d'étude de 3 GHz. La figure 7 met en évidence deux zones de regroupement géographique (zone moteurs et zone queue) et des directions angulaires prépondérantes ( $0^\circ$  et  $180^\circ$ ).

La structure comporte 28 points brillants et totalise 42 lobes gaussiens de dynamique 25 dB. L'étude a été menée sur l'intervalle angulaire :  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$

RESULTATS OBTENUS

La ressemblance physique obtenue est légèrement meilleure que celle prévue lors de l'étude des structures pseudo-aléatoires.

Avec 20% du nombre de points brillants, nous notons un écart maximal de 2 dB sur la moyenne et de 2,9 dB sur l'écart type. Le critère de comparaison statistique nous donne les résultats de la figure 8

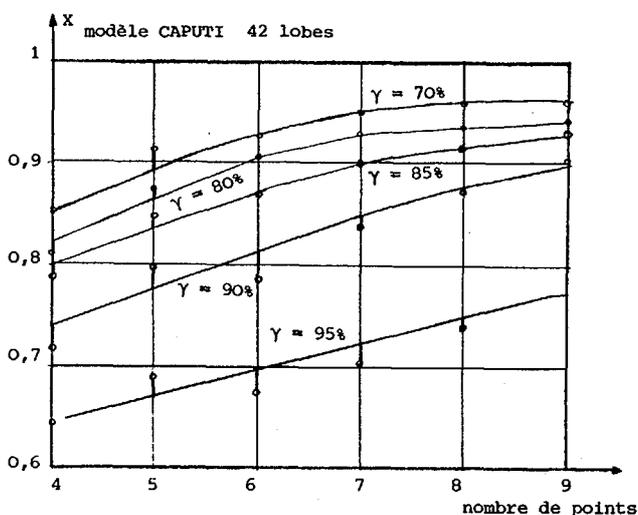


FIGURE 8

Nous voyons qu'un coefficient de corrélation minimal de 0,9 est atteint dans 85% des cas avec 7 points (environ 17% du nombre total de points).

Ce résultat est en très bon accord avec les courbes de nombre limite de points de la figure 5.



## DEUXIEME PARTIE

DETERMINATION DE SIGNATURES D'AVIONS PAR ANALYSE SPECTRALE

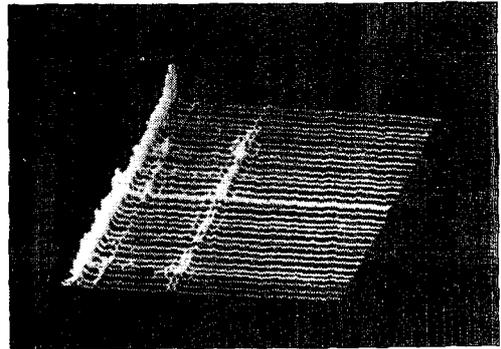
Le matériel et les procédures utilisées pour cette expérience ont été décrits précédemment<sup>(3)</sup>. Les premières analyses d'amplitude d'échos ont montré la présence de raies à 35 Hz dues à la modulation cônica d'écartométrie radar perturbant la zone des fréquences basses. Un système de filtrage très efficace à bande étroite a été adjoint à l'analyseur et a permis de les éliminer totalement, ce que nous avons vérifié en étudiant l'écho d'un objet fixe (tour antenne de télévision).

Les photographies ci-contre, sont relatives à des avions commerciaux en vol rectiligne, passant approximativement au voisinage de la verticale du radar. Les abscisses représentent les fréquences de 0 à 500 Hz. En ordonnées, on a porté la densité de puissance correspondante. Chaque ligne correspond à l'analyse d'un échantillon temporel de 1 seconde.

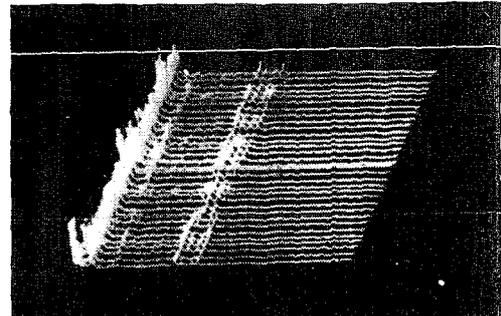
Les photographies 1 et 2 sont relatives à un Boeing 747 volant à 9300 m, la première correspond à l'avion défilant, la seconde à l'avion vu de 3/4 arrière, les distances projetées au sol étant respectivement voisines de 50 et 70 km. On remarque un groupe de raies de fréquence 190/200 Hz. La présence des paramètres à 35 Hz se traduit par l'empatement des raies basse fréquence.

Les photographies 3,4 et 5 correspondent au passage d'un avion volant à 9000 m. La première correspond à l'avion vu presque de face à 36,7 km de distance projetée au sol, la seconde au passage au plus près (8,8 km de distance projetée au sol), la troisième à 69,5 km de distance projetée, l'avion étant vu à peu près de l'arrière. Un filtrage supplémentaire passe-bas avec cutoff à 250 Hz avait été effectué. Par ailleurs, nous avons éliminé les raies dues au balayage cônica.

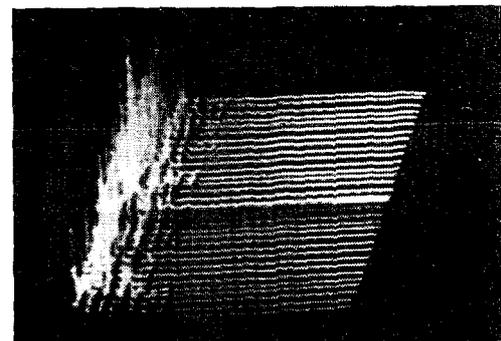
Les figures permettent d'observer l'évolution du phénomène au cours d'un passage. On remarque la présence de raies assez stables lorsque l'avion se dirige vers le radar, les raies sont très réduites en défilement puis, lorsque l'avion s'écarte font place à une structure très complexe.



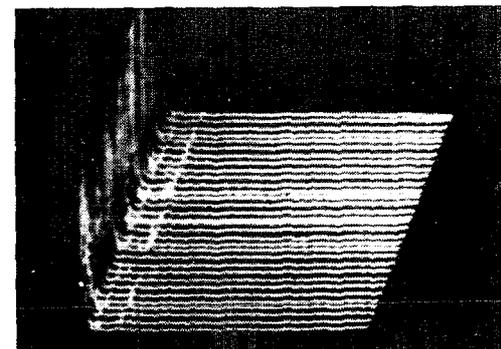
(1)



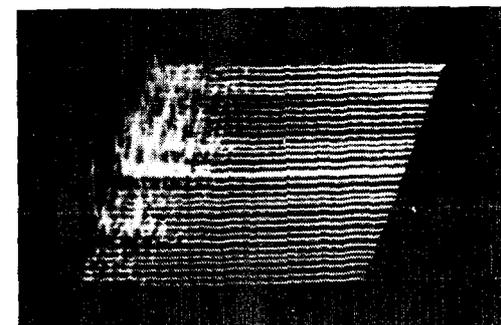
(2)



(3)



(4)



(5)

(3) "Premiers résultats expérimentaux concernant les signatures radar de cibles". J MEVEL, G. CHASSAY, G. LAUNAY - Colloque GRETSI, Nice du 26 au 30 avril 1977.