

# DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

899



NICE du 20 au 24 MAI 1985

---

DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

SAILLARD JOSEPH

UNIVERSITE DE RENNES I - LABORATOIRE DE RADIOELECTRICITE - CAMPUS DE BEAULIEU - 35042 RENNES CEDEX - FRANCE  
*EN DELEGATION AU C.E.L.A.R. - 35170 BRUZ*

---

## RESUME

Nous présentons une nouvelle méthode de reconnaissance des formes à partir de la seule connaissance de la section efficace de rétrodiffusion (S.E.R.) d'une cible quelconque observée en zone d'approximation optique en utilisant le modèle des points brillants.

Après avoir établi l'expression de la S.E.R. pour une cible observée dans un plan, nous montrons que l'étude dans le plan d'observation ou dans le plan de Fourier correspondant n'apporte aucune discrimination. Par contre, nous montrons comment la discrimination devient possible en analysant ce signal dans le plan des polynômes de Tchebyscheff.

Nous présentons des résultats expérimentaux obtenus sur une cible composée de trois cylindres et sur une maquette d'avion.

## SUMMARY

We describe a new method to reconstitute the structure shape from a r.c.s. diagram produced by a target observed in the optical region, using the model of point scatterers.

We establish the r.c.s. diagram of such a target in far field as a function of viewing aspect. We show that the study in the observation space or in the Fourier space does not give any discrimination. But the discrimination is possible if we analyse this signal in the Chebyshev space.

We present experimental results obtained from a tricylinder plane and a model plane.



DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

**I - INTRODUCTION**

Il est admis qu'une cible quelconque éclairée par une onde de fréquence élevée soit équivalente du point de vue électromagnétique à des sources ponctuelles considérées comme indépendantes. La cible est alors représentée par un modèle, appelé couramment modèle des points brillants, par analogie à un modèle optique où l'énergie renvoyée provient principalement des spéculaires [1].

Les méthodes de reconnaissance des formes et de reconstitution d'un objectif utilisées généralement en diffraction électromagnétique supposent une cible coopérative, et requièrent la connaissance de l'amplitude et de la phase du champ rétrodiffusé dans une vaste gamme de fréquences afin d'obtenir une forme visuellement identifiable de l'objet examiné [2], [3], [4].

Nous proposons dans cet article de décrire et d'appliquer une méthode permettant de localiser les "points brillants" d'une cible et d'en estimer leur intensité afin d'en déduire une image électromagnétique. Cette méthode ne nécessite que la connaissance de la S.E.R. de l'objet dans le plan des observations et ce pour une seule longueur d'onde et un couple de polarisation émission-réception fixée.

**II - REPRESENTATION D'UNE CIBLE PAR UN ENSEMBLE DE POINTS BRILLANTS**

**1 - EXPRESSION GENERALE**

Considérons une cible quelconque de dimensions géométriques grandes devant la longueur d'onde  $\lambda$  du signal électromagnétique monochromatique incident, provenant d'une source hyperfréquence, mais faibles par rapport à la distance  $R_0$  séparant l'émetteur de la cible. Nous considérons que l'onde provenant sur la structure est plane. Du point de vue électromagnétique nous admettons que la cible éclairée est décomposable en  $N$  contributeurs élémentaires distincts et supposés indépendants. La distance séparant deux contributeurs quelconques doit être également grande devant la longueur d'onde  $\lambda$ .

Soit un ensemble de  $N$  contributeurs appartenant à la cible observée et repérés dans l'espace par leur vecteur  $\vec{d}_{oj}$ , dont le module représente la distance de l'origine  $O$  d'un référentiel quelconque  $Oxyz$  lié à l'objectif, à un point brillant  $j$  (figure 1). Désignons par  $\vec{v}$  un vecteur unitaire pris sur la direction  $\Delta$  de propagation de l'onde dans le sens cible-observateur, et par  $\sigma_j(\vec{v})$  le diagramme propre de section efficace de rétrodiffusion à l'infini du point brillant  $j$ . Ce diagramme dépend de la longueur d'onde utilisée, du couple de polarisations émission-réception, de la nature de la surface en ce point, et de la direction d'observation.

Une cible représentée par un modèle formé de  $N$  points brillants, que nous définissons comme un multipoint d'ordre  $N$ , est caractérisée par  $3N$  composantes :  $N$  diagrammes de SER propre  $\sigma_j(\vec{v})$ ,  $N$  vecteurs  $\vec{d}_{oj}$ , origine un point quelconque  $O$  et extrémité le point brillant  $j$ ,  $N$  déphasages propres  $\phi_j$ .

La section efficace de rétrodiffusion en champ lointain de l'objectif s'explique par la relation (1)

$$\sigma(\vec{v}) = \sum_{j=1}^N \sigma_j(\vec{v}) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_j(\vec{v}) \cdot \sigma_k(\vec{v})} \cos(\phi_k - \phi_j + \phi'_{ok} - \phi'_{oj}) \quad (1)$$

avec :  $\phi'_{oj} = \frac{4\pi}{\lambda} \delta_{oj}$  et  $\delta_{oj} = -(\vec{d}_{oj} \cdot \vec{v})$

Notre but étant d'estimer des distances grandes vis-à-vis de la longueur d'onde, le fait d'avoir dans l'équation le terme  $\phi_j - \phi_k$  complique d'une façon très

importante la recherche des bipoints, en le négligeant l'erreur maximale commise dans la détermination de  $|\vec{d}_{jk}|$  est  $\lambda/2$ , ce qui est parfaitement admissible. Nous posons à priori que le multipoint associé à une cible est équiphasé [5].

Dans ces conditions, l'expression de la SER $_{\infty}$  d'un multipoint équiphasé d'ordre  $N$  s'écrit :

$$\sigma(\vec{v}) = \sum_{j=1}^N \sigma_j(\vec{v}) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_j(\vec{v}) \cdot \sigma_k(\vec{v})} \cos(\phi'_{ok} - \phi'_{oj})$$

en explicitant  $\phi'_{ok}$  et  $\phi'_{oj}$  pour faire apparaître les vecteurs reliant les différents contributeurs, nous trouvons la forme canonique suivante :

$$\sigma(\vec{v}) = \sum_{j=1}^N \sigma_j(\vec{v}) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_j(\vec{v}) \cdot \sigma_k(\vec{v})} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} \vec{d}_{jk} \cdot \vec{v}\right) \quad (2)$$

donnant l'expression de la SER $_{\infty}$  d'une cible modélisable par un multipoint équiphasé d'ordre  $N$  en fonction de la direction d'observation.

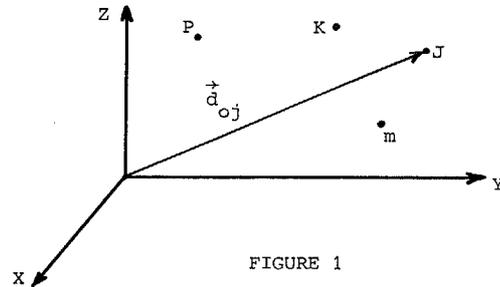


FIGURE 1

**2 - EXPRESSION D'UN MULTIPOINT PLAN**

Particularisons notre cible en considérant que tous les contributeurs sont situés dans un même plan (figure 2). Appelons  $\Delta$  la direction courante des observations, à l'origine des observations la droite  $\Delta$  est confondue avec la droite  $D$  donnant la direction initiale des observations,  $\theta$  est l'angle courant formé par les deux droites  $\Delta$  et  $D$ .

Nous écrivons l'expression de la SER $_{\infty}$  d'un multipoint plan d'ordre  $N$  sous la forme :

$$\sigma(\theta) = \sum_{j=1}^N \sigma_j(\theta) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_j(\theta) \cdot \sigma_k(\theta)} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} |\vec{d}_{jk}| \cos(\theta + \phi_{jk})\right) \quad (3)$$

Nous devons extraire, à partir de l'enregistrement du diagramme de SER sur l'intervalle angulaire  $[0, 2\pi]$ , le maximum d'informations concernant le multipoint : le nombre  $N$  de points brillants, les paramètres géométriques (distances  $|\vec{d}_{jk}|$  angles  $\phi_{jk}$ ), et la SER propre de chaque contributeur.

Nous désignons par fonction bipoint élémentaire la quantité :

$$F(\theta) = \cos(m\pi \cos(\theta + \phi)) \quad \text{avec} \quad m = \frac{4d}{\lambda}$$

Cette fonction contient explicitement le paramètre distance et l'orientation du bipoint à l'origine des observations.

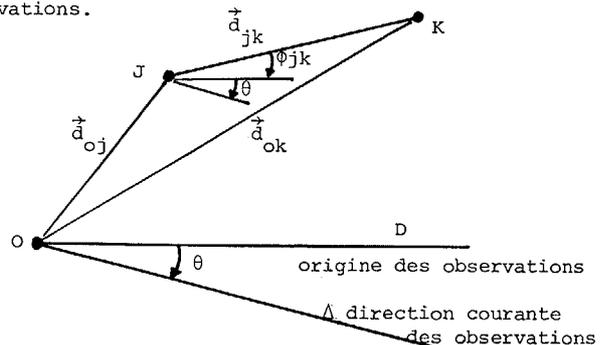


FIGURE 2

DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

3 - ETUDE DE LA FONCTION BIPOINT ELEMENTAIRE F(θ)

La fonction  $F(\theta) = \cos(m\pi \cos(\theta + \phi))$  est décomposable en série de fonctions de Bessel, et s'écrit alors :

$$F(\theta) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} J_{2p}(m\pi) \{ \cos 2p\phi \cos 2p\theta - \sin 2p\phi \sin 2p\theta \}$$

Cette formule montre que le spectre d'amplitude est un spectre infini de raies dont les amplitudes sont  $J_{2p}(m\pi)$ . Aucune discrimination n'est possible.

L'étude de cette fonction dans le plan "transformé" appelé plan de Tchebyscheff nous permet d'écrire :

$$F(u) = \cos m\pi(\cos(\phi + \arccos u)) \quad \text{en posant} \quad \cos \theta = u$$

En effectuant une décomposition en série de Fourier de  $F(u)$ , nous avons démontré analytiquement [6] que le spectre d'amplitude de :

$\sigma(u) = 2\sqrt{\sigma_1(u)}\sqrt{\sigma_2(u)} F(u) + \sigma_1(u) + \sigma_2(u)$ , se réduit dans le cas d'un bipoint isotrope à deux raies, l'une d'ordre zéro d'amplitude  $\sigma_1(u) + \sigma_2(u)$  et l'autre d'amplitude  $2\sqrt{\sigma_1(u)}\sqrt{\sigma_2(u)}$  et d'ordre  $m = 4d/\lambda$  pour un angle d'incidence  $\phi$  nul à l'origine des observations. Ainsi, à partir de la seule connaissance de la SER, il nous est possible d'accéder aux grandeurs géométriques du bipoint et à l'intensité des contributeurs.

La figure 3 représente le diagramme de SER, relevé expérimentalement, d'un "bipoint" isotrope composé de deux cylindres de rayon 4 cm et de hauteur 20 cm distants d'axe en axe de 42 cm et éclairé en incidence normale à la fréquence de 10 GHz. La distance cible antenne d'émission-réception, est de 17,5 m. Le schéma de principe du dispositif est donné figure 4.

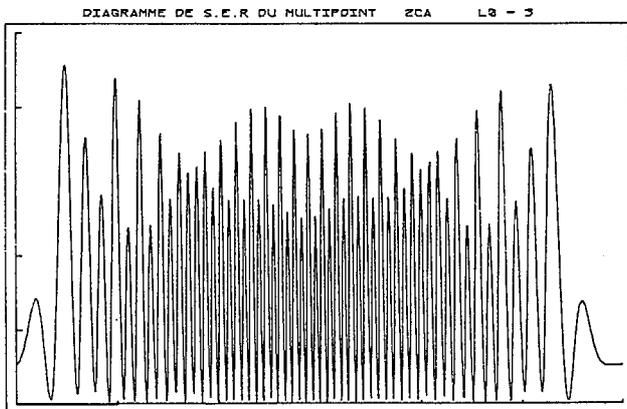


FIGURE 3

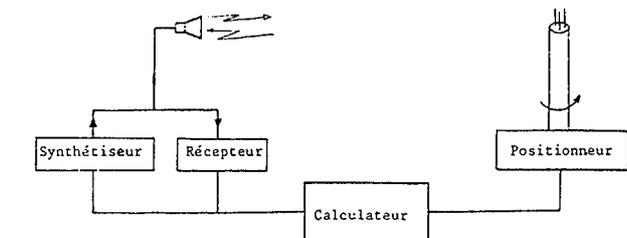


FIGURE 4

Après traitement sur un intervalle angulaire  $[\theta, \theta + 180]$  nous obtenons l'enveloppe du spectre d'amplitude de la figure 5 pour un angle d'incidence  $\theta$  compris entre  $-60^\circ$  et  $+46^\circ$ . Nous trouvons, pour un angle d'incidence voisin de  $0^\circ$ , une valeur de la distance entre les contributeurs principaux de 41,25 cm au lieu de 42 cm, soit une différence de  $\lambda/4$ . L'effet d'ombre en est la cause, il y a "absorption d'un maximum d'interférences". La SER propre estimée de chaque contributeur est de  $0,27 \text{ m}^2$  pour une valeur théorique

mesurée de  $0,33 \text{ m}^2$ . En considérant l'énergie répartie dans la raie principale d'ordre  $m$  et dans les deux raies adjacentes, nous trouvons  $0,31 \text{ m}^2$ .

De plus, nous mettons en évidence des raies supplémentaires situées au voisinage de  $m/2$  dont la cause principale est la réflexion d'un corps sur l'autre (couplage) [7] et qui se manifeste par une modulation du diagramme en amplitude, leurs amplitudes étant très faibles vis-à-vis de la raie principale [6], nous négligeons pour la suite leur influence.

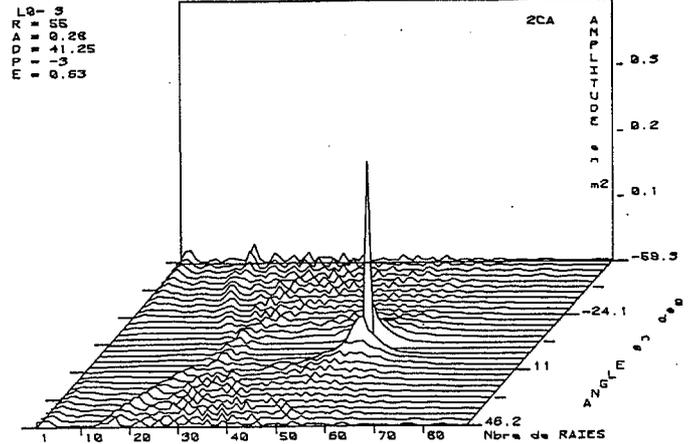


FIGURE 5

III - ETUDE D'UNE STRUCTURE PLANE ANISOTROPE

L'équation (3) s'écrit dans le plan de Tchebyscheff:

$$\sigma(u) = \sum_{j=1}^N \sigma_j(u) + 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \sqrt{\sigma_j(u)} \sqrt{\sigma_k(u)} \cos\left\{ \frac{4\pi|d_{jk}|}{\lambda} \cos(\phi_{jk} + \arccos u) \right\} \quad (4)$$

avec  $\arccos u = \theta$ .

L'anisotropie du diagramme des SER des contributeurs apparaît dans les termes  $\sigma_j(u)$  et  $\sigma_k(u)$ .

Dans le cas de la fonction bipoint élémentaire, la raie principale d'ordre  $m$  émerge très nettement du spectre si l'angle d'incidence du bipoint est confondu avec l'abscisse angulaire du premier échantillon traité ( $\phi = \phi_0$ ).

L'angle d'incidence des bipoints peut être estimé en calculant le coefficient énergétique de bande donné par la relation (5) :

$$\eta_{\phi,r} = \eta_r = \frac{\frac{a_0^2}{2} + M_r}{\frac{a_0^2}{2} + s} \quad (5)$$

$$\text{avec } s = \sum_{i=1}^N (a_i^2 + b_i^2) \quad \text{et } M_r = \sum_{i=r}^r A_{m+i}$$

$A_m$  : amplitude de la raie principale d'ordre  $m$  du spectre utile en puissance

$A_{m+i}$  : amplitude de la raie d'ordre  $m+i$  du spectre en puissance

$r$  : nombre de raies pris en compte dans une demi-bande

Pour un angle  $\phi = \phi_0$ , le spectre d'un bipoint isotrope se réduit à une seule raie,  $\eta_{\phi_0}$  tend vers le maximum théorique 1.

Pour un multipoint anisotrope  $\eta_{\phi_2,r_2} > \eta_{\phi_1,r_1}$  avec  $r_2 > r_1$  mais si le nombre de raies pris en compte est trop important, la discrimination devient impossible. Cet estimateur ne nous fournit pas la distance séparant les contributeurs.

De plus, pour une structure plane quelconque, le spectre au signal informatif s'étend de part et d'autre de la raie principale, l'étendue à prendre en considération peut atteindre 20 à 50% de l'ordre de celle-ci.



DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

Une détection basée sur la comparaison à un seuil ne suffit plus pour un spectre informatif large.

Afin de détecter la présence ou non d'un signal informatif dans le spectre de puissance de la SER transposée dans le plan de Tchebyscheff, et d'en déduire les paramètres géométriques de la cible, nous devons filtrer le spectre. La fenêtre de pondération que nous utilisons est celle de Tuckey dont la formule de récurrence s'écrit :  $|8|, |9|$

$$s_{i,m} = \frac{1}{2} (s_{i-1,m} + \frac{1}{2} (s_{i-1,m-1} + s_{i-1,m+1})) \quad (6)$$

$m$  étant l'ordre de la raie,  $S_{i,m}$  amplitude de la raie d'ordre  $m$  après le  $i$ ème filtrage.

Après divers tests 10 itérations successives fournissent des résultats probants pour une bonne discrimination, ce type de filtrage permet une émergence du spectre informatif, par contre si le spectre ne contient que du "bruit", celui-ci devient sensiblement rose, c'est-à-dire constant et d'étendue spectrale limitée.

A l'issue de ce filtrage, nous prenons la décision :

- spectre uniforme : absence de signal
- spectre gaussien : présence de signal

Pour discriminer les spectres lissés nous définissons le coefficient de qualité  $Q(\theta)$  comme l'inverse du rapport de la largeur de bande à mi-puissance à l'ordre de la raie principale  $m_0$  :

$$Q(\theta) = \frac{m_0}{m_1 - m_2} = \frac{m_0}{\Delta m}$$

$m_0$  : ordre de la raie principale correspondant à l'amplitude maximale  $A_{m_0}$  du spectre utile défini comme le spectre total amputé de ses premières raies correspondant au spectre BF.

$$m_1 > m_0 \quad ; \quad m_2 < m_0$$

$m_k$  : est l'ordre de la raie pour laquelle l'amplitude de la raie  $m_k (A_{m_k})$  est inférieure ou égale à la moitié de l'amplitude de la raie d'ordre  $m_0 (A_{m_0})$  avec ici  $k = 1$  ou  $2$ .

$$A_{m_k} \leq \frac{A_{m_0}}{2}$$

Ayant calculé, pour chaque spectre  $Q(\theta)$  dans tout l'intervalle d'observation, nous nous fixons un  $Q_{min}$ . Pour tout  $Q(\theta)$  supérieur à  $Q_{min}$ , nous calculons la somme de toutes les puissances cumulées  $P_c$  des maxima des spectres satisfaisant cette condition, pour une observation sur l'intervalle  $[0, 2\pi[$ .

La courbe ainsi obtenue  $P_c = f$  (ordre des raies) met en évidence les distances entre les contributeurs interférents.

Nous traçons également, dans l'espace, le lieu des images des bipoints satisfaisant la condition  $Q(\theta) > Q_{min}$  (distance, angle), en ordonnées apparaît l'amplitude pondérée associée à chaque bipoint. L'amplitude pondérée de la raie  $m$  est l'amplitude du spectre de puissance après la  $i$ ème itération, c'est-à-dire  $S_{i,m}$ .  $S_{i,m}$  est fonction des  $i$  raies situées de part et d'autre de la raie  $m$ . Grâce à cette représentation, apparaissent des secteurs disjoints, qui permettent d'évaluer les paramètres géométriques liés à la structure.

Pour chaque secteur nous cherchons le barycentre en  $y$  associant :

- un vecteur résultant à deux composantes (distance, angle) obtenu par la relation (7)

$$\vec{V}_R = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} A_i \vec{V}_i}{\sum_{i=1}^{N_0} A_i} \quad (7)$$

- une amplitude résultante

$$A_R = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} A_i}{N_0} \quad (8)$$

avec  $N_0$  le nombre d'éléments du secteur considéré.

Ainsi par cette démarche, nous obtenons des estimés: de l'angle d'incidence du bipoint considéré à l'origine des observations, de la distance entre les bipoints et de l'amplitude du produit des SER résultant donc des paramètres caractérisant la cible.

APPLICATION A UN TRIPPOINT PLAN

La structure équivalente au tripoint plan étudié est composée de trois cylindres tronqués disposés comme l'indique la figure 6 sur laquelle est également tracé le diagramme de SER en champ lointain obtenu à partir de 2048 échantillons est représenté figure 7 pour une longueur d'onde de 3 cm et un intervalle angulaire  $[0, 2\pi[$ .

Après avoir déterminé la SER dans le plan de Tchebyscheff et calculé le spectre en puissance, nous obtenons des spectres dont l'allure générale est représentée figure 8. Tous ces spectres possèdent des raies d'amplitude élevée au voisinage de l'origine dont l'étendue est une caractéristique de l'anisotropie de la structure.

La figure 9 représente la courbe  $\eta_{\phi, \frac{1}{2}} = F(\theta)$ , elle nous indique quatre directions privilégiées :  $54^\circ, 94^\circ, 175^\circ, 275^\circ$ .

Pour un coefficient de qualité  $Q(\theta)$  supérieur à 5, nous avons tracé, figure 10, la courbe de la puissance cumulée  $P_c$  en fonction de l'ordre des raies. Elle permet de localiser trois secteurs distincts fournissant une estimation des distances séparant les contributeurs liés à la structure.

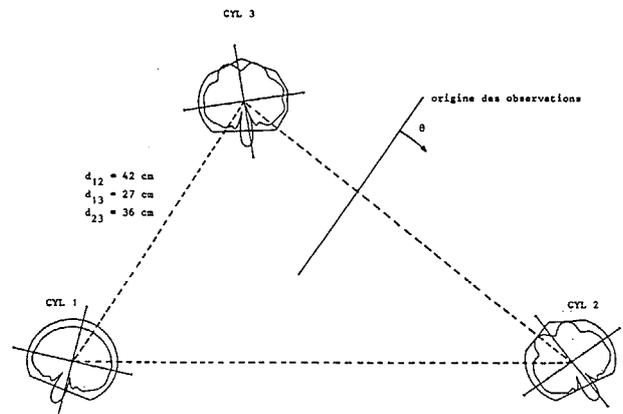


FIGURE 6

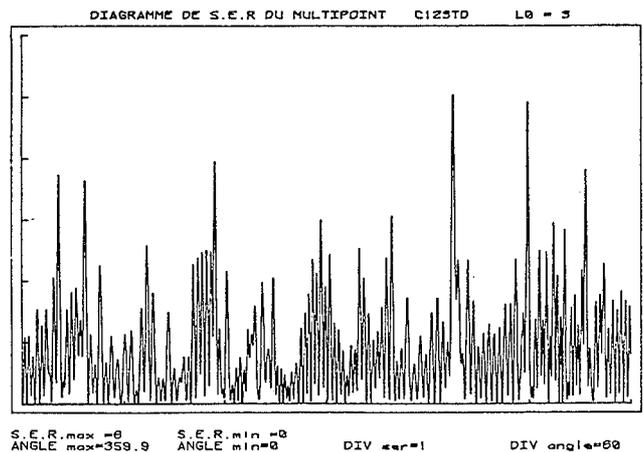


FIGURE 7

DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

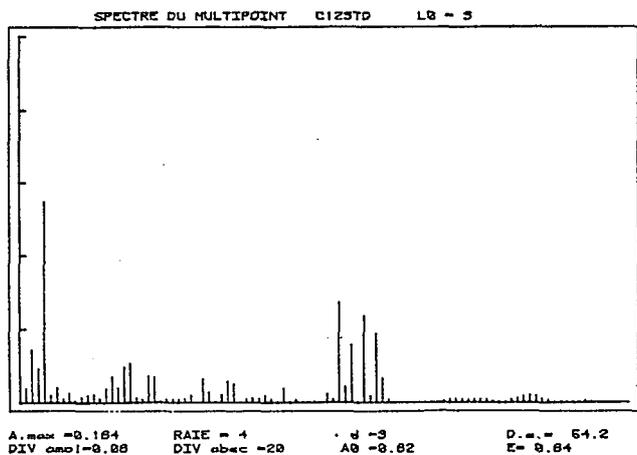


FIGURE 8

$\eta_2$  en fonction de l'angle d'observation

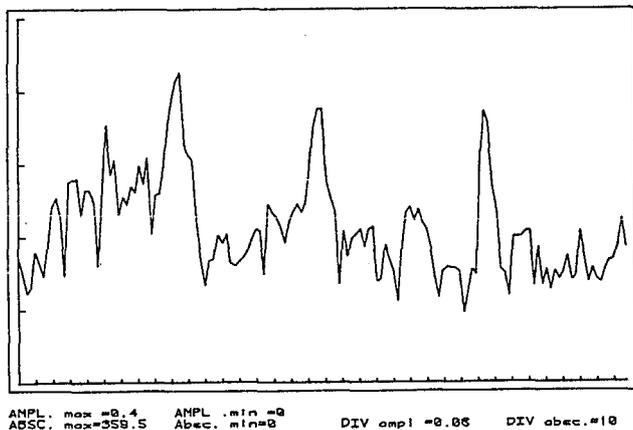


FIGURE 9

visualisation des secteurs par un coefficient de qualité > 5

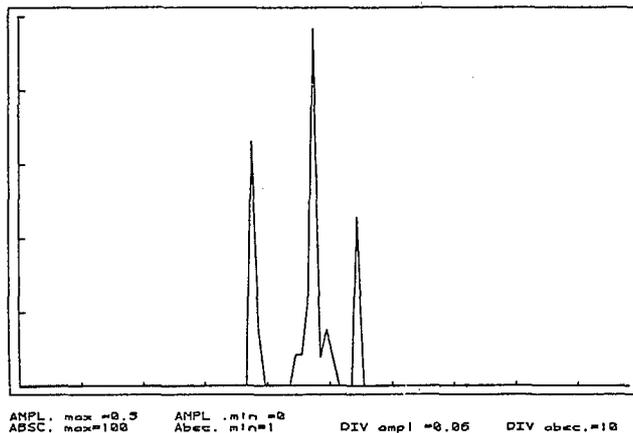


FIGURE 10

La figure 11 montre le lieu des images dans l'espace. En abscisse sont données les distances, en ordonnées l'amplitude de la raie maximale du spectre utilisée pour l'incidence considérée après filtrage et sur l'axe vertical sont indiqués les angles. Cette représentation spatiale met clairement en évidence les coordonnées des secteurs ainsi que les amplitudes des raies maximales.

Les relations (7) et (8) permettent de calculer le barycentre de chaque secteur.

Le tableau de la figure 12 donne les valeurs vraies et estimées des angles et des distances de la structure. L'écart angulaire est inférieur à 2° et l'écart relatif en distance est au plus de 5%.

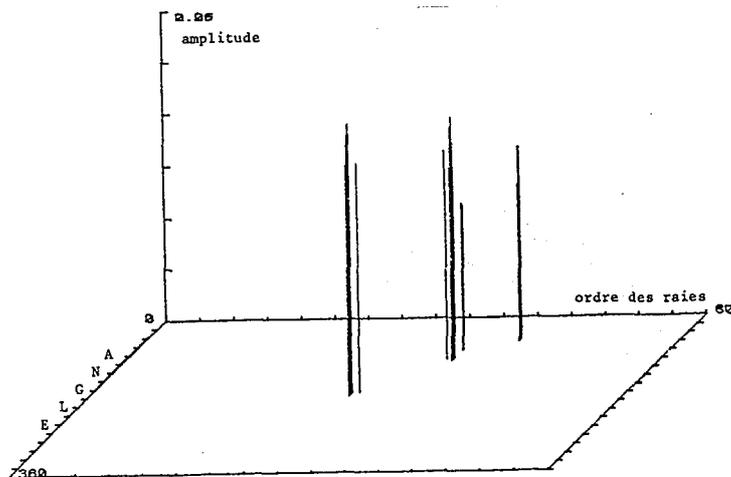


FIGURE 11

| Angles |         | Distances en cm |          |
|--------|---------|-----------------|----------|
| vrais  | estimés | vraies          | estimées |
| 41°2   | 42°5    | 27              | 29,8     |
| 57°8   | 56°5    | 36              | 36,6     |
| 81°    | 81°     | 42              | 42       |

FIGURE 12

A partir de l'étude des spectres obtenus pour les trois directions privilégiées, il nous est possible de reconstituer le diagramme d'interférences des SER par une FFT inverse suivie d'une démodulation. La figure 13 donne la valeur de  $4\sigma_1(\theta)$   $\sigma_2(\theta)$  pour un angle d'incidence compris entre 54° et 234° par rapport à l'origine des observations. Il y a un accord parfait pour la position des maxima, l'allure du diagramme est conservée sauf aux extrémités de la courbe, la cause principale en est l'effet d'ombre.

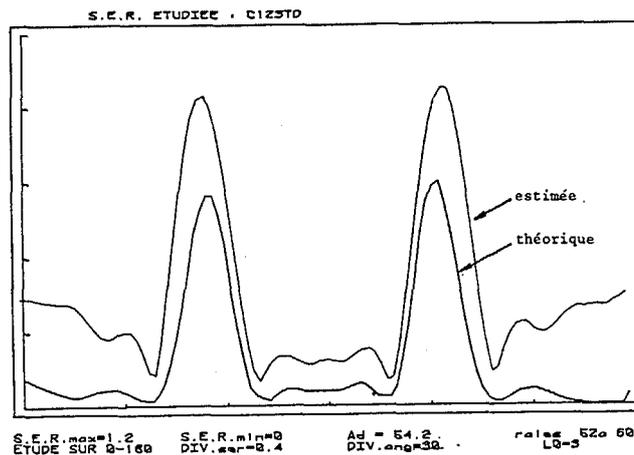


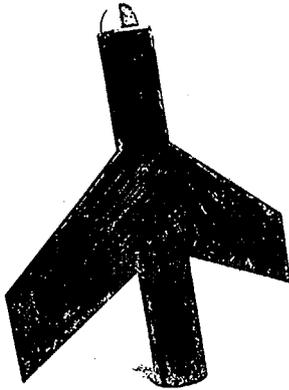
FIGURE 13

APPLICATION A UNE MAQUETTE D'AVION

La maquette d'avion, figure 14 est composée d'un cylindre creux en laiton, dont une extrémité est terminée par un disque et l'autre par un tétraèdre. Sur le cylindre sont soudées deux ailes en laiton. Le diagramme de SER obtenu dans le plan alaire est tracé figure 15, l'amplitude y est représentée en db. Après détermination de la SER dans le plan de Tchebyscheff, calcul de la FFT et lissage des spectres, nous localisons onze secteurs disjoints (figure 16). Pour chaque secteur nous calculons les coordonnées du barycentre et l'amplitude pondérée équivalente à chaque bipoint. La figure 17 en donne une représentation.



DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION



Longueur : 80 cm  
Envergure : 70 cm  
Diamètre du cylindre :  
10 cm

FIGURE 14

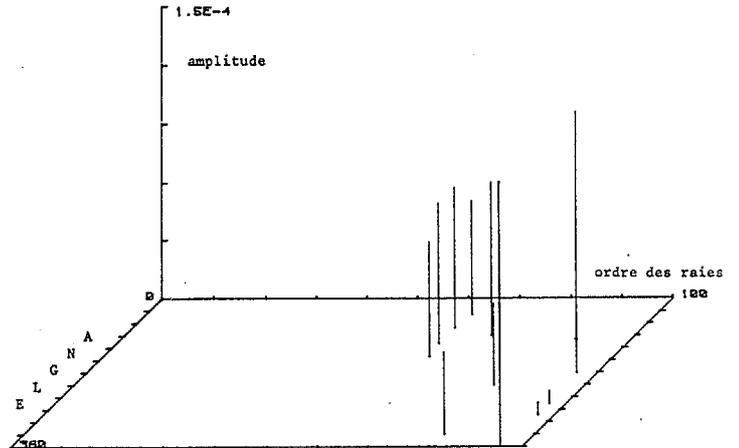
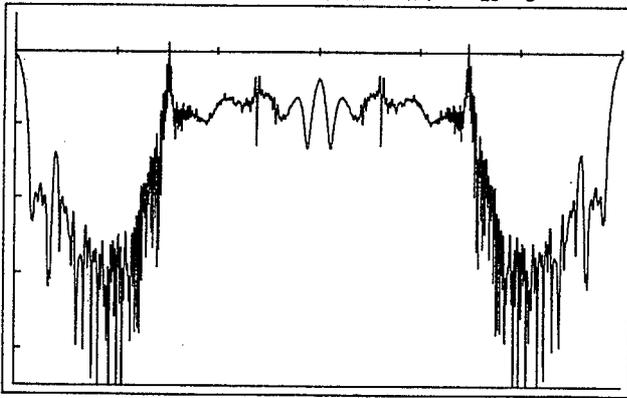


FIGURE 17

DIAGRAMME DE S.E.R DU MULTIPONT N 7 L0 = 3



S.E.R. max = 6 S.E.R. min = -45  
ANGLE max = 350.9 ANGLE min = 0  
DIV car = 10 DIV angle = 60

FIGURE 15

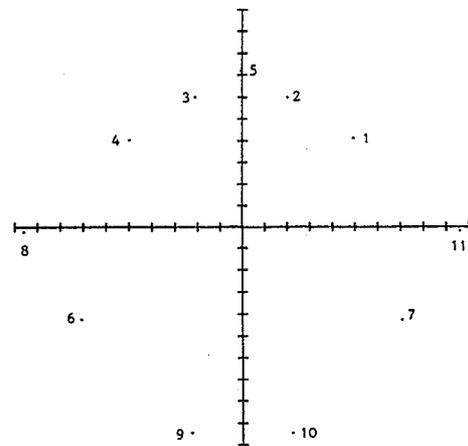


FIGURE 18

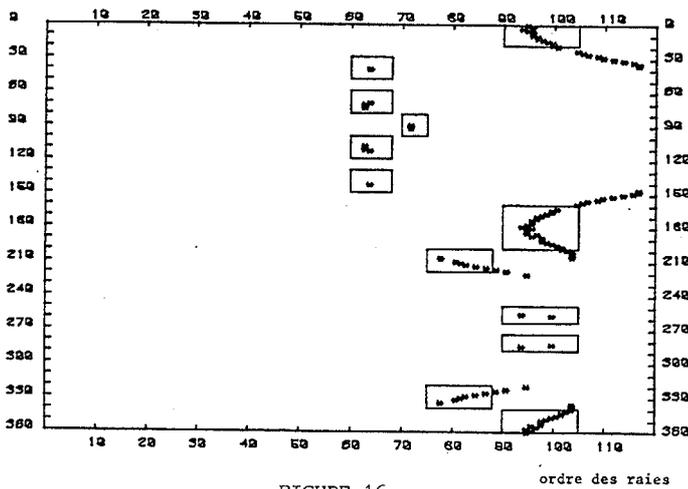


FIGURE 16

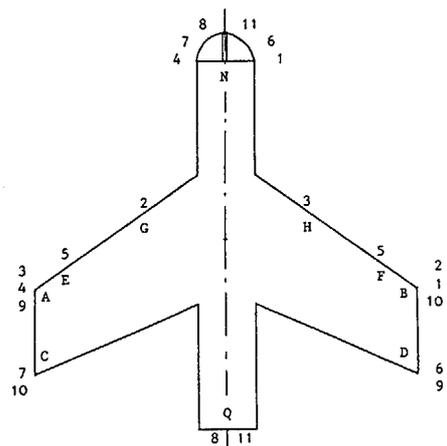


FIGURE 19

La figure 18 montre la représentation polaire des distances et des directions séparant deux points brillants de la structure. Lors de l'expérimentation notre maquette était positionnée telle que l'ensemble d'émission-réception éclairait l'arrière de celle-ci à l'origine des observations. Nous pouvons localiser sur la maquette la position des contributeurs, figure 19.

Etudions le résultat présenté sur les figures 17 et 18. Les amplitudes les plus importantes sont celles situées à 180° et à 360° qui correspondent aux contributeurs situés à l'avant et à l'arrière de la maquette (figure 19), régions N et Q (bipoints 11 et 8). Les amplitudes les plus faibles sont celles situées vers 255° et 285°. Les bipoints équivalents sont ceux numéros 9 et 10 correspondant aux contributeurs situés en A et D d'une part, et B, C d'autre part.

Au voisinage de 210° et de 330°, apparaissent les bipoints dus à l'interférence du contributeur situé en D et du contributeur situé à l'avant (N), ainsi que l'interférence du contributeur situé en C et du contributeur de la région du nez (N). Pour la direction de 90°, nous

DETERMINATION DE LA POSITION ET DE L'AMPLITUDE DES CONTRIBUTEURS  
D'UNE CIBLE A PARTIR DE SA SECTION EFFICACE DE RETRODIFFUSION

trouvons un bipoint équivalent situé sur les bords des ailes, nous y affectons les contributeurs E et F.

Pour des incidences de 40° et 140°, nous trouvons les interférences du point A avec le nez qui proviennent des bipoints 1 et 4. Aux deux bipoints restants 2 et 3, nous associons les contributeurs B et G d'une part, et A et H d'autre part, sachant que les points G et H sont des points spéculaires "baladeurs" le long du bord de l'aile, dont leur position est telle que la normale à la surface soit confondue avec la direction d'observation.

Les résultats obtenus sur cette structure sont plausibles. Nous trouvons en effet les contributeurs dus à des discontinuités (arêtes A,B,C,D) ou à des spéculaires la queue (Q) ou à des formes géométriques complexes (N) ou à des spéculaires sur les bords arrondis des ailes (G et H).

L'exploitation de l'enregistrement de la SER de cet objet prouve que la méthode donne des résultats fort satisfaisants vu la "pauvreté" de l'information qu'elle requiert. Il ne nous a pas été possible de remonter au diagramme des contributeurs comme nous l'avons fait jusqu'à présent, actuellement seule est disponible une valeur pondérée de l'amplitude du produit d'interférences des contributeurs, ce qui permet tout de même une comparaison relative entre les divers bipoints. Une vérification de ces résultats a été faite en utilisant la méthode de la réponse impulsionnelle implantée au CELAR [4], [7].

#### IV - CONCLUSION

La principale limitation de cette méthode est inhérente à l'échantillonnage du signal. Nous acquérons N échantillons de la SER pour un intervalle angulaire  $[0, 2\pi[$ . Après transformation dans le plan de Tchebyscheff nous déterminons N/2 points équidistants. La "fréquence" maximale théorique de Shannon est de N/4 raies. En posant pour la "fréquence" pratique de Shannon la quantité  $N/4 \times 1/2^k$  avec k positif et entier. La raie maximale détectable est N/2(k+2) et la dimension maximale normée est :

$$\frac{d_{\max}}{\lambda} = \frac{N}{64} \quad \text{pour } k = 2$$

Avant tout enregistrement de diagramme de SER, il faut déterminer le nombre d'échantillons à acquérir en fonction de l'encombrement de la cible et de la fréquence de l'onde électromagnétique.

Il n'est pas possible actuellement de reconstituer le diagramme de SER des contributeurs interférents dans le cas d'une structure anisotrope complexe telle que celle d'une maquette d'avion. Par contre, nous avons accès à la localisation des contributeurs et à une amplitude pondérée des produits d'interférence.

Cette méthode appliquée au domaine électromagnétique ne requiert qu'un appareillage hyperfréquence classique de coût modeste et n'exige que la connaissance du diagramme de rétrodiffusion en champ lointain pour une seule longueur d'onde et un couple de polarisation émission-réception. Il apparaît actuellement inconcevable d'apauvrir davantage l'information à traiter.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. RUCK, D. BARRICK, W. STUART, C. KRICHBAUM  
*Radar Cross Section Handbook*. Plenum Press, 1970.
- [2] C. POUIT  
*Imagerie radar à grande bande passante*. Colloque international radar à grande bande passante. Décembre 1978, p. 589-594.
- [3] F. LE CHEVALIER, C. FUGIER-GARREL  
*Synthèse tomographique appliquée au radar*. Septième Colloque sur le Traitement du Signal, GRETSI Nice, 1979, p. 101-1 à 101-4.
- [4] J.L. COATANHAY, P. GADENNE, P. GAUDON  
*De la plus petite à la plus grande : la mesure de surface équivalentes radar au CELAR*. Colloque international sur le radar. Paris, mai 1984.
- [5] J. SAILLARD, G. CHASSAY  
*Méthode originale d'analyse du diagramme de diffraction en puissance d'une cible radar en vue de la reconnaissance des formes*. Annales des Télécommunications, tome 36, n° 5-6, mai-juin 1981, p. 353-368.
- [6] J. SAILLARD  
*Localisation des points brillants d'une cible à partir de sa puissance diffractée*. Neuvième Colloque sur le Traitement du Signal, GRETSI Nice, 1983, p. 763-769.
- [7] J. SAILLARD  
*Reconstitution d'une cible à partir de sa section efficace de rétrodiffusion*. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Physiques. Rennes, 25/09/1984.
- [8] F.J. HARRIS  
*On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform*. Proc. IEEE, vol. 66, jan. 1978, p. 51-83.
- [9] A.H. NUTTALL  
*Some windows with very good side lobe behavior*. IEEE, T. ASSP, vol. 29, n° 1, feb. 1981, p. 84-91.

#### REMERCIEMENTS

*Ce travail n'aurait pu se concrétiser dans sa partie expérimentale sans le concours du Centre d'Electronique de l'Armement à BRUZ. Je remercie personnellement Monsieur L'IPETA GAUDON, Chef du Département SRE, Monsieur GADENNE, responsable de la chambre anéchoïque, ainsi que toute son équipe pour leur aide.*

oOoOoOoOoOoOo

