

COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 26 au 30 AVRIL 1977

PREMIERS RESULTATS EXPERIMENTAUX CONCERNANT LES SIGNATURES RADAR DE CIBLES

J. MEVEL, G. CHASSAY, G. LAUNAY

FACULTE DES SCIENCES - LABORATOIRE DE RADIOELECTRICITE - 35031 RENNES-CEDEX

RESUME

Cette étude rend compte du développement des expérimentations tentées en vue d'obtenir des éléments de signature de cibles aériennes isolées. Trois aspects essentiels sont passés successivement en revue :

1°) La détermination de l'attitude de cibles non coopératives à partir des données de la trajectographie radar ou mixte radar optique. On montre que, sous l'hypothèse d'un avion en équilibre sous l'action de son poids et de l'accélération centrifuge, connaissant le vent local, il est possible de déterminer l'attitude à quelques degrés près.

2°) La mise au point du matériel et du logiciel destiné à l'analyse en temps différé par l'intermédiaire d'un enregistrement magnétique numérique.

3°) La structure de l'analyseur spectral en temps réel à compression de temps destiné à la mise en évidence des fréquences caractéristiques résultant notamment du mouvement de la cible sur sa trajectoire. On présente des spectres correspondant à des passages réels d'avions.

On examine enfin la question de l'éventail des attitudes correspondant aux passages d'avions en présence du radar, de manière à estimer les possibilités pratiques de détermination des signatures.

SUMMARY

We give an account of the experiments attempted to obtain characteristic elements of isolated aerial targets. We consider three fundamental aspects :

1°) the estimation of the attitude of non cooperative targets knowing their trajectography (radar or optical/radar). We find that under assumption of balance between weight of an airplane and its centrifugal acceleration, knowing the local wind, we can estimate the attitude plus or minus a few degrees.

2°) the hardware and software used for delayed analysis via numerical magnetic recording.

3°) the deltic spectrum analyser in real time used to analyse the characteristic frequencies resulting from the target motion around its center of mass. We show several spectra recorded during tracks of airplanes.

At last, we compute, for simulated target tracks, the range of attitudes, observable from the radar, for estimating the real possibilities of signature analysis.



1 - INTRODUCTION : RAPPEL DU PRINCIPE DE LA METHODE

La procédure utilisée en vue de la détermination de signatures de cibles, dont nous espérons déterminer plus tard des éléments de reconnaissance des formes, a déjà été décrite [1], [2]. Seuls les éléments essentiels à la compréhension sont rappelés ici.

Cette procédure est basée sur l'exploitation des amplitudes des échos radar monostatiques, amplitude qui, comme on le sait, est liée :

- d'une part à la section efficace de rétro-diffusion σ
- d'autre part au terme d'atténuation géométrique R^{-4}

Ce dernier terme n'est aucunement significatif. Comme il perturbe les mesures il faut le compenser à l'aide, par exemple, d'une commande automatique de gain (CAG), ou encore d'un atténuateur lié au système de télémétrie. Quand on utilise un CAG il faut en déterminer avec soin la constante de temps afin d'éviter que l'action de ce dispositif n'atténue les variations lentes de σ .

La figure 1 représente le dispositif expérimental :

l'aérien est pointé en permanence vers l'objectif, par un système de poursuite radioélectrique ou par tout autre procédé. Les échos captés sont traités dans le récepteur, détectés, puis sélectionnés en temps par le dispositif de télémétrie. Ils subissent ensuite une dégénération par un échantillonneur bloqueur d'ordre zéro qui transforme la série d'impulsions équidistantes modulées en amplitudes que constituent les échos, en une fonction variant par échelons, puis un préfiltrage destiné à éliminer les composantes spectrales gênantes constituées essentiellement :

- par la fréquence de récurrence F_r
- par la fréquence de balayage conique éventuelle F_c (et ses harmoniques)
- par les fréquences des réseaux d'alimentation

Les tensions de sortie du filtre sont finalement transmises aux appareils d'exploitation qui comprennent :

- un analyseur de spectre et un corrélateur fonctionnant en temps réels qui permettent une analyse quasi-instantanée, mais peu précise, des échos observés.

- un interface codant en binaire naturel de 8 bits les échos reçus, puis les emmagasinant en mémoire et enfin les inscrivant sur dérouleur magnétique numérique. Ce dispositif permet un examen à posteriori, mais précis du contenu des échos, par calcul sur ordinateur et utilisation de programmes appropriés.

Les deux dispositifs sont complémentaires, le premier : analyseur de spectre et corrélateur, permettant à l'opérateur de déterminer les passages significatifs et d'éviter le coûteux traitement de bandes magnétiques ne présentant que peu d'intérêt.

2 - TRAJECTOGRAPHIE ET RECONSTITUTION DE L'ATTITUDE

Les cibles utilisées sont essentiellement des avions. L'exploitation scientifique des observations impose qu'une corrélation soit effectuée entre le résultat observé et l'attitude de l'appareil par rapport au faisceau radar, qui conditionne la direction du vecteur de rétrodiffusion associé aux surfaces de sections efficaces définies par rapport à des axes liés à la cible.

La figure 2 définit les axes de la cible : ce sont $OX''(A_1A_2)$ passant par l'extrémité des ailes, OY'' (axe nez-queue), OZ'' axe perpendiculaire aux précédents.

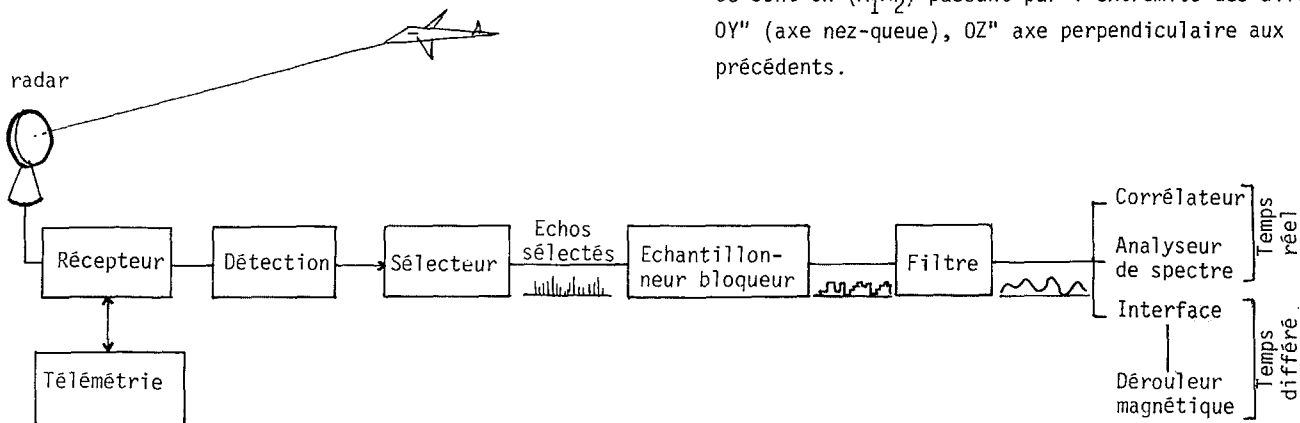


FIGURE 1 - PRINCIPE DE LA METHODE

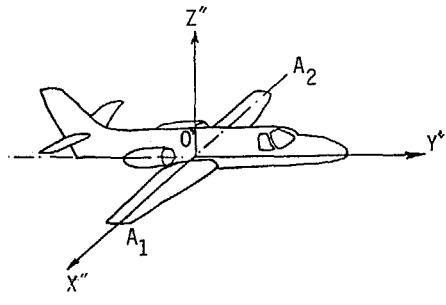


FIGURE 2

Il est à remarquer que ce référentiel est assez arbitraire, en particulier le sommet O' du trièdre ne peut être confondu qu'approximativement avec le centre de gravité qui varie au cours du vol en fonction de la consommation de combustible. L'axe O'Y' fait un angle de quelques degrés avec l'horizontale (angle d'incidence). Les cibles dont nous disposons n'étant pas coopératives, il nous faut déterminer directement leur attitude relative par rapport au radar. Pour cela nous admettons, par hypothèse, que le vecteur vitesse absolue de la cible n'est pas nul et que sa direction est invariante dans un trièdre lié à la cible. Ceci n'est vrai qu'en vol stabilisé (absence de dérappages), caractéristique des vols commerciaux.

Pour obtenir l'attitude relativement au radar, il nous faut estimer :

- 1°) L'angle d'incidence qui (en vol stabilisé) est à peu près constant pour un avion d'un type donné.
- 2°) La vitesse du vent qui nécessite un sondage en altitude, soit par ballon sonde, soit plus économiquement par observation optique des traînées de condensation lorsque le temps s'y prête.

Nous admettons que l'avion est en équilibre sous l'action de son poids et de la force centrifuge. Il est alors possible, connaissant sa trajectoire, de déterminer successivement la position des vecteurs vitesse et accélération absolus, la position du centre de courbure, puis finalement l'attitude sous forme des composantes du vecteur de rétrodiffusion (ayant pour amplitude la section efficace radar et dirigé dans la direction cible/radar) dans le référentiel O''X''Y''Z''.

La figure 3a représente la définition de l'attitude de la cible, la figure 3 b résume l'organigramme de la détermination du vecteur de rétrodiffusion. Faute de place nous ne pouvons préciser les calculs qu'on trouvera par ailleurs [3] avec les programmes détaillés.

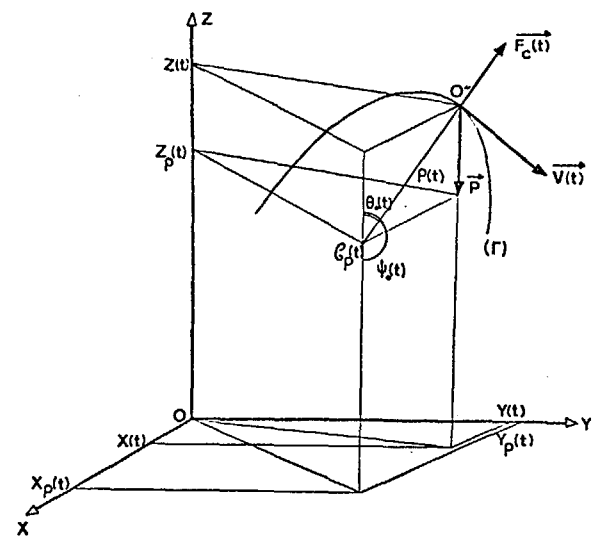


FIGURE 3a

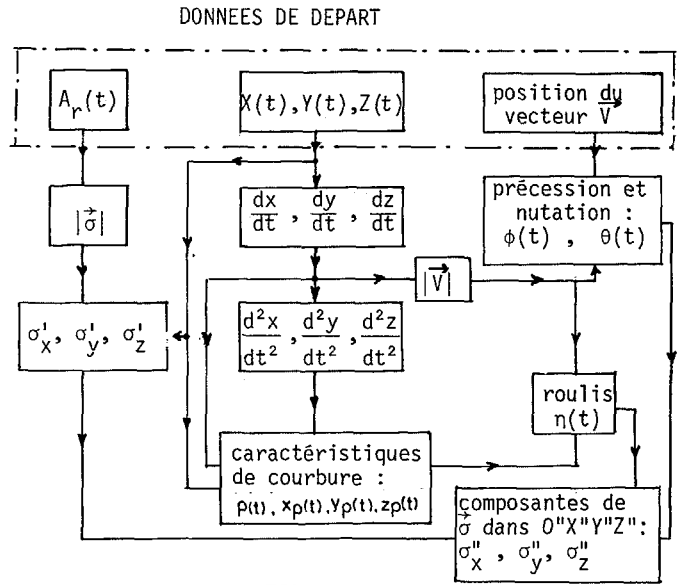


FIGURE 3b

Il est essentiel d'estimer l'importance des erreurs commises au cours de ce traitement. Les principales causes sont :

- 1°) les erreurs sur la détermination du module de σ dues aux bruits intérieurs et extérieurs.
- 2°) l'influence sur le diagramme des déformations de la cible
- 3°) les erreurs sur la détermination de l'attitude.

Une évaluation précise de ce dernier type d'erreurs paraît impraticable, compte tenu notamment des processus de dérivations. Il semble toutefois que, pour des vols stabilisés, une précision de l'ordre de $\pm 3^\circ$ sur les aspects constitue une évaluation raisonnable. Lorsque les avions sont visibles, il est envisageable d'accroître la précision par utilisation de photographies prises au sommet d'une base de triangulation.



PREMIERS RESULTATS EXPERIMENTAUX CONCERNANT LES SIGNATURES RADAR DE CIBLES
J. MEVEL, G. CHASSAY, G. LAUNAY - FACULTE DES SCIENCES DE RENNES -

Remarquons que l'importance des indéterminations est telle qu'une détermination scientifique rigoureuse, une mesure précise des surfaces de SER paraît exclue, par contre nous sommes dans les conditions mêmes d'observation sur valeurs moyennées caractéristiques des problèmes pratiques de reconnaissance des formes et de signatures.

3 - DETERMINATION DE L'EVENTAIL DES ASPECTS OBSERVABLES DE LA CIBLE

Afin de vérifier les possibilités d'observation pratique des cibles, nous avons établi un programme permettant de déterminer les variations de la fonction d'aspect au cours du temps pour un certain nombre de trajectoires préétablies simulées. L'organigramme du calcul [3] est présenté figure 4.

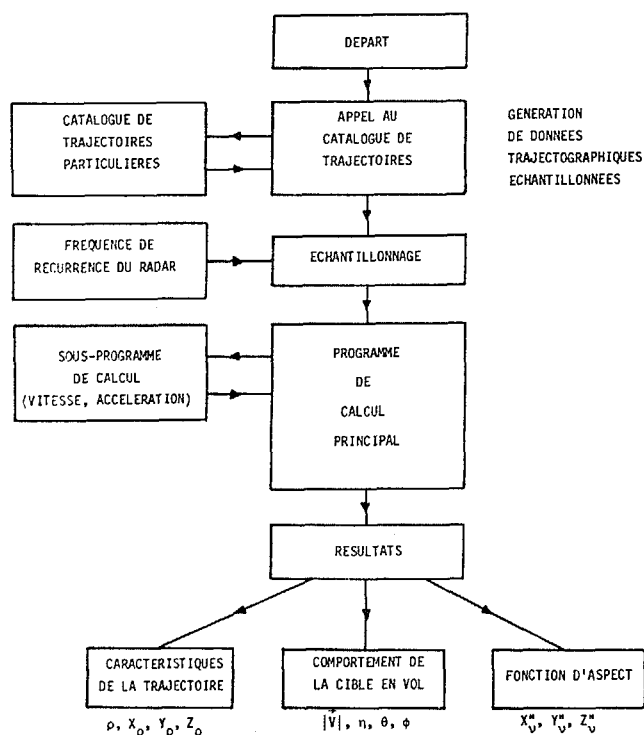


FIGURE 4 - ORGANIGRAMME DE CALCUL DE FONCTIONS D'ASPECT

Les trajectoires sélectionnées sont :

- changement de direction circulaire à altitude constante
- trajectoire linéaire avec variation en X, Y et Z
- changement de direction parabolique à altitude constante
- trajectoire hélicoïdale

Nous indiquons ci-dessous les résultats correspondant aux cas a et b, le premier permet d'estimer les erreurs introduites dans le calcul par les troncatures résultant de la limitation des paramètres sur l'ordinateur

puisque le résultat théorique est évidemment un point unique. La figure 5a décrit la trajectoire circulaire utilisée, la figure 5b représente, avec une dilatation considérable la projection du vecteur d'aspect sur un des plans du référentiel de la cible (OXYZ), les deux autres projections sont semblables. Le vecteur v (vecteur d'aspect) unitaire est dirigé suivant la droite cible/radar.

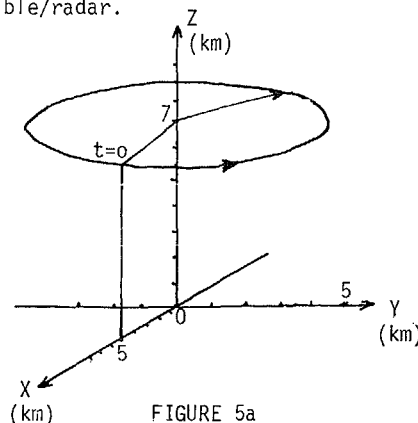


FIGURE 5a

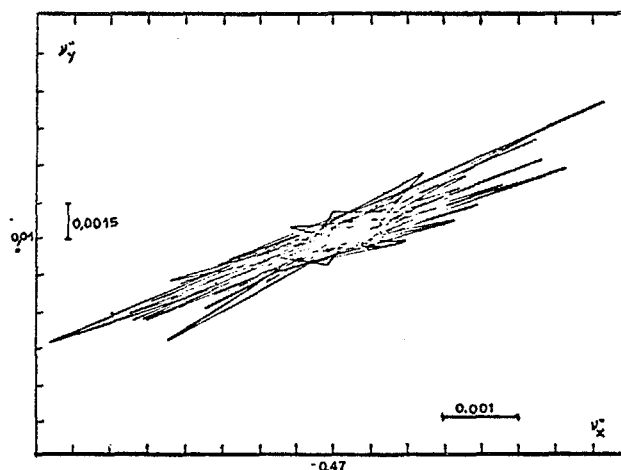


FIGURE 5b

La figure 6a représente la trajectoire linéaire de test et la figure 6b la représentation en perspective de la fonction d'aspect.

Ce dernier résultat de simulation met en évidence les possibilités de l'observation dans le cas le plus courant, celui où la cible vole en ligne droite, ce qui est le cas général des vols commerciaux. Pour des résultats plus détaillés, ainsi que pour les programmes de calcul, on se référera à la thèse de M. Chassay [3].

PREMIERS RESULTATS EXPERIMENTAUX CONCERNANT LES SIGNATURES RADAR DE CIBLES
 J. MEVEL, G. CHASSAY, G. LAUNAY - FACULTE DES SCIENCES DE RENNES -

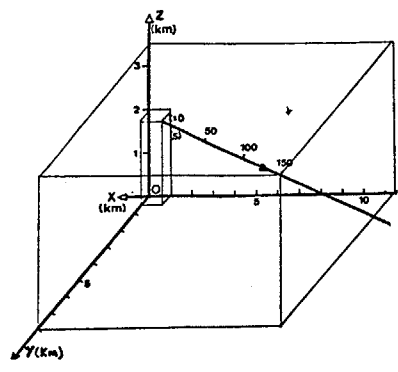


FIGURE 6a

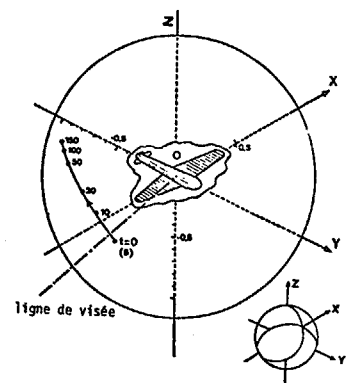


FIGURE 6b

4 - DISPOSITIF D'ETUDE A POSTERIORI (ENREGISTREMENT MAGNETIQUE ET LOGICIEL ASSOCIE)

Le système d'enregistrement est présenté figure 7. La tension de sortie des filtres (figure 1) est appliquée à un convertisseur analogique/digital 8 bits suivi d'un interface qui finalement attaque un enregistreur magnétique digital à 9 bits (le dernier servant au contrôle de parité latérale).

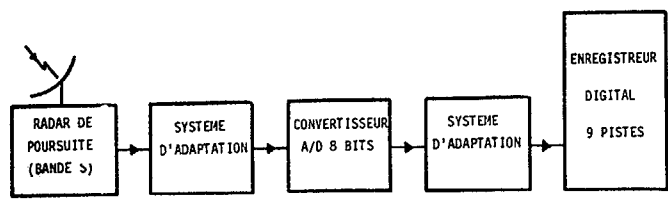


FIGURE 7

Le convertisseur analogique/digital à double conversion travaille en moins de 1 μ seconde, il opère en deux temps, d'abord une conversion grossière en 4 bits puis une conversion fine de la différence entre la valeur de l'entrée analogique et le nombre binaire affiché par le premier convertisseur (dispositif série/parallèle). La figure 8 représente le schéma du convertisseur.

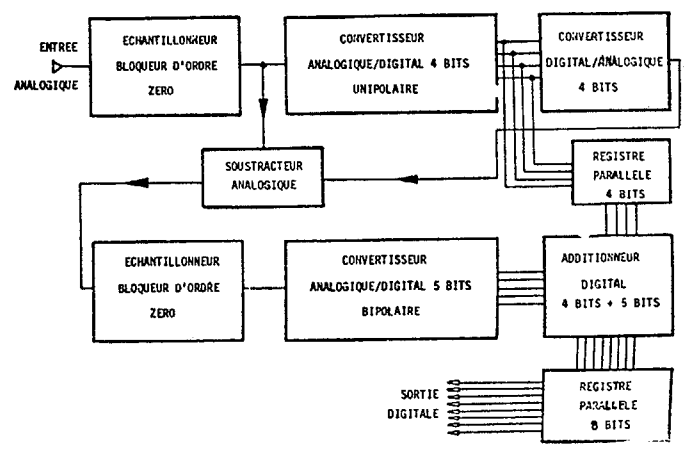


FIGURE 8

L'interface est représenté figure 9 : il est bâti autour de deux mémoires à tores et d'un aiguillage double qui connecte la sortie du convertisseur à l'une des deux mémoires pendant que l'autre se vide dans l'enregistreur magnétique et assure la permutation des fonctions après remplissage d'une mémoire. De très nombreux dispositifs auxiliaires ont été construits pour permettre les délicats réglages.

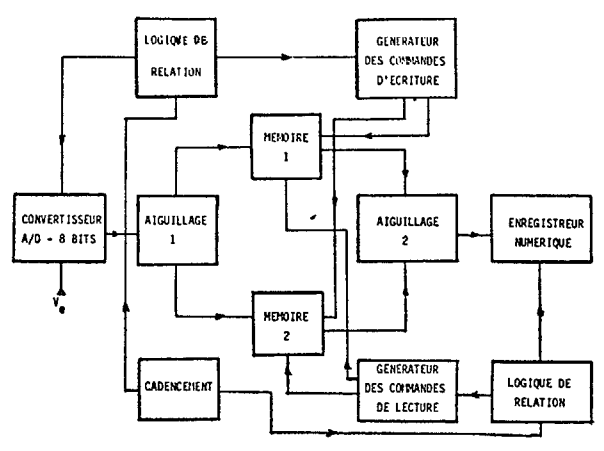


FIGURE 9

Le logiciel comprend :

- 1°) Une première opération de normalisation du fichier destinée à remettre en forme à l'usage du calculateur les bandes brutes d'enregistrement
- 2°) Une seconde opération consistant en l'exploitation proprement dite de la bande mise en forme sur les programmes courants du calculateur.

En conclusion de cette description du système de traitement en temps différé signalons l'extrême difficulté de mise au point initiale, difficulté signalée par de nombreux utilisateurs. Actuellement le logiciel a été testé et les enregistrements d'exploitation sont en cours.



5 - DISPOSITIF D'ETUDE EN TEMPS REEL (ANALYSEUR DE SPECTRE ET CORRELATEUR)

L'analyseur de spectre construit au laboratoire est du type à compression de temps par mémoire circulante. Le schéma bloc de l'appareil est représenté figure 10. La cadence d'échantillonnage est de 1 KHz, les mémoires sont à 1024 octets. La période de recirculation est de 512,5 microsecondes ce qui impose comme limite basse des fréquences passantes 2 Hz environ. La limite supérieure est de 500 Hz déterminée par les filtres d'entrée.

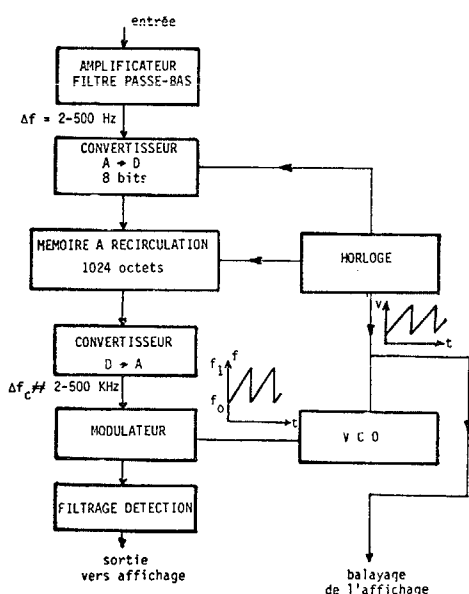


FIGURE 10

Des résultats sont présentés sur les photographies d'oscillogrammes ci-dessous. Chaque plaque comporte 32 balayages contenant chacun l'information reçue pendant 0,5 seconde. Les balayages sont adjacents dans le temps et constituent donc l'analyse du phénomène pendant 16 secondes consécutives. La bande analysée s'étend d'environ 2 Hz (à gauche) à 500 Hz (à droite), les échelles étant linéaires en fréquence et en amplitude.

La photo A représente un résultat d'analyse présentant une série de raies dont certaines sont stables et d'autres présentent une modulation d'amplitude dont la période atteint ou dépasse la seconde.

La photo B correspond à un objectif presque fixe, proche (ordre de la dizaine de kilomètres) peut-être un hélicoptère ou un planeur. On remarquera l'importance de la modulation d'amplitude affectant la raie inférieure (fréquence voisine de 40 Hz).

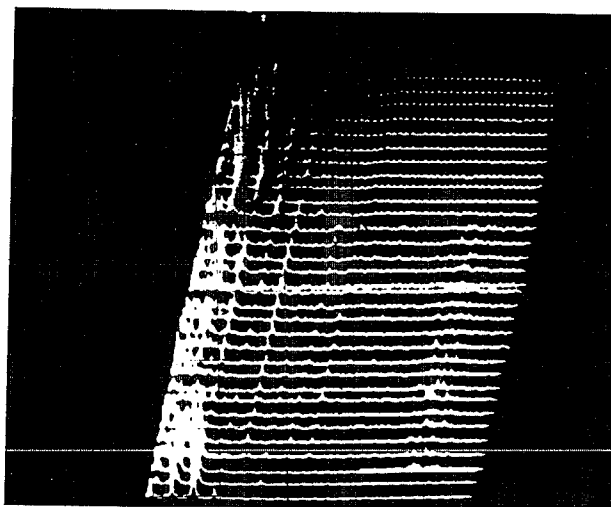


PHOTO A

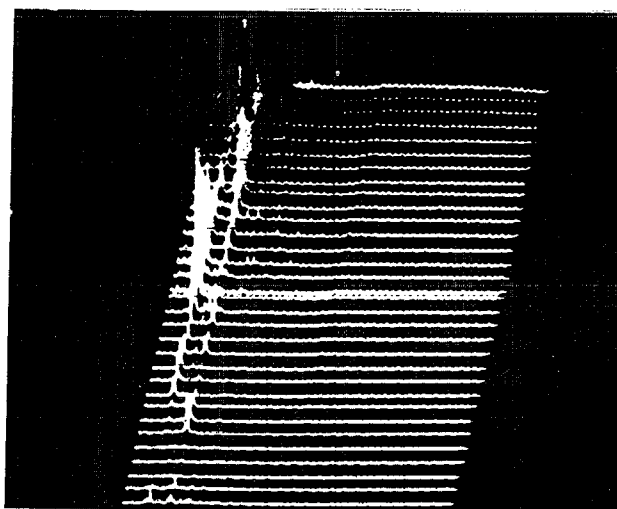


PHOTO B

CONCLUSION

L'exploitation systématique des vols commerciaux est en cours d'abord sur la seule longueur d'onde de 10 cm, puis par enregistrement simultané des échos, sur 23, 72 et 10 cm. Ces premiers résultats paraissent prometteurs et permettent d'attendre d'importants développements.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. MEVEL - "Signature de cibles aériennes". Comptes-rendus du 5^e Colloque GRETSI-Nice. 16-20 juin 1975, p. 69-75.
- [2] J. MEVEL - "Procédure de reconnaissance des formes à l'aide d'un radar monostatique". Annales des Télécommunications, tome 31, n° 3-4, mars-avril 1976, p. 111-118.
- [3] G. CHASSAY - "Etude et réalisation d'un système digital d'enregistrement d'amplitudes d'échos radar et repérage d'aspect d'une cible en vol. Thèse de Doctorat de 3^e cycle, spécialité "Electronique appliquée aux Télécommunications". 25 février 1977, RENNES.