

CRESUS
CHARGE RADAR EMBARQUEE SUR U.A.V. DE SURVEILLANCE
RADAR PAYLOAD FOR SURVEILLANCE U.A.Vs

Frédéric PERRET
 THOMSON-CSF Applications radar
 6, rue Nieuport - BP 86
 78143 Vélizy-Villacoublay Cedex
 France

Jean-Michel HERMER et Thierry GACH (THOMSON-CSF Radars et Contre-Mesures)
 Emmanuel SICSIK-PARE (DGA, Direction des Systèmes de Forces et de la Prospection)

SOMMAIRE

L'utilisation d'un radar permet de résoudre les problèmes rencontrés par les systèmes optiques ou infrarouges initialement installés sur drone par mauvaises conditions météorologiques.

Au titre d'un contrat DGA passé en 1994, THOMSON-CSF a développé un démonstrateur d'un futur radar bi-mode SAR/MTI de surveillance du sol sur drone lent.

Après avoir rappelé le besoin opérationnel (chapitre 2) et la méthodologie de conception de CRESUS (chapitre 3), les grands choix effectués pour CRESUS sont explicités (chapitre 4), en particulier celui de la moyenne portée qui permet non seulement de résoudre le problème tous temps, mais également de bénéficier au maximum des capacités intrinsèques du radar, à savoir sa capacité à percer les couches nuageuses et donc à observer de plus haut et de plus loin.

Dans la suite, sont présentés les traitements MTI et SAR (chapitre 5), les performances et les caractéristiques (chapitre 6), les descriptions physique et fonctionnelle (chapitre 7) ainsi que la station d'exploitation au sol (chapitre 8).

La conclusion (chapitre 9) souligne l'évolutivité du démonstrateur permettant d'y adjoindre à moindre coût un mode SAR très haute résolution ainsi que la modularité du radar final permettant de l'installer sur différents types de drones (drones tactiques, drones MALE, ...).

SUMMARY

Under a contract awarded in 1994 by French MOD (DGA), THOMSON-CSF has developed a demonstrator for a SAR/MTI Air-Ground Surveillance radar on low speed UAVs.

After having explained the operational requirement (part 2) and the method used to develop CRESUS (part 3), the principal choices made for CRESUS are explained (part 4), especially the choice of a medium range. This range enables one to take advantage, at the maximum possible extent, of the intrinsic features of a radar, that is to say its capability to look through the clouds and, as a direct consequence, its ability to observe from a higher and farther position.

A description of MTI and SAR signal processings (Part 5), performances and characteristics (part 6), a physical and functional description (part 7) and a description of the ground segment (part 8) are then given.

The conclusion (part 9) emphasizes the versatility of the demonstrator since it can be improved, at low cost, by adding a high resolution SAR mode. Furthermore a low cost installation of the final radar on different classes of UAVs (tactical, MALE, ...) is possible.

1. INTRODUCTION

L'utilisation d'un radar permet de résoudre l'inconvénient majeur présenté par les systèmes de surveillance initialement installés sur drone (systèmes optiques ou infrarouges) : leur inefficacité par mauvaises conditions météorologiques.

Le radar CRESUS, conçu par THOMSON-CSF pour répondre au besoin de l'Armée de Terre a fait l'objet d'un développement exploratoire au titre d'un contrat passé en 1994 avec les services techniques de la DGA (SPOTI).

CRESUS est un radar bi-mode SAR/MTI, destiné à être embarqué sur un drone lent, de type BREVEL, CREGERELLE, SPERWER, ... Il constitue une base pour la réalisation de radars opérationnels pouvant équiper des hélicoptères ou drones légers tels que les drones MALE (Moyenne Altitude, Longue Endurance).

La réalisation du radar est terminée, les essais en vol débiteront en novembre 1997.

2. BESOIN OPERATIONNEL

La mission principale du système est l'acquisition du renseignement sur la zone divisionnaire avec une capacité tous temps. Le renseignement concerne la progression et le déploiement d'unités adverses ou amies. Le système doit compléter les dispositifs stand-off (tel que le radar HORIZON développé par THOMSON-CSF), aux endroits où ils sont masqués par le relief.

Le profil de mission est un profil en pénétration ou en stand-off. La fauchée est suffisante pour permettre un profil de mission simple.

Le radar doit détecter et localiser :

- les objectifs fixes dont le déploiement est caractéristique (PC en campagne, batteries de missiles Sol-Air ou Sol-Sol, colonnes de véhicules à l'arrêt, bases logistiques, ...),
- les véhicules terrestres mobiles (véhicules légers, véhicules lourds, véhicules blindés à roue, véhicules blindés à chenille),
- les hélicoptères mobiles et les hélicoptères en vol stationnaire.

3. CONCEPTION DE CRESUS

La conception d'un radar de surveillance est basée sur une décomposition fonctionnelle pour les spécifications des éléments physiques et du traitement algorithmique.

En effet, le grand nombre de paramètres et la complexité d'un radar nécessitent l'emploi d'une méthodologie pour maîtriser et spécifier de façon optimale ses fonctions.

D'une façon générale, le nombre de chaînes fonctionnelles utilisées est habituellement au nombre de quatre :

- la chaîne "mission" qui permet d'analyser les solutions en terme de performances temporelles d'une fonction,
- la chaîne "image" qui permet de définir les caractéristiques de la charge radar et du traitement algorithmique,
- la chaîne "exploitation" : stockage et accès aux données, post-traitement, analyse des images par des opérateurs,
- la chaîne "déssemination /interopérabilité".

Dans le cadre du démonstrateur CRESUS, seule la chaîne "image" est concernée.

Les objectifs principaux de l'emploi de cette chaîne "image" sont de spécifier de façon complète et précise les paramètres de fonctionnement du radar (bande, fréquence de récurrence, puissance de l'émetteur), ainsi que les caractéristiques des sous-ensembles (antenne, pilote, émetteur, récepteur, ...) en évitant en particulier les sur-spécifications, souvent très coûteuses.

Après la définition de la chaîne "image", la démarche comporte trois grandes étapes :

- l'établissement des paramètres (forme d'onde, fréquence de récurrence, pondérations de l'antenne, ...) de la chaîne "image" décrivant chaque fonction. L'objectif est de préciser les fonctionnalités de haut niveau de cette chaîne fonctionnelle,
- l'étude et l'analyse de l'influence sur les performances, des imperfections des éléments physiques : mouvements du porteur, imperfections de la chaîne émission/réception, ...
- la validation des résultats obtenus par rapport aux performances demandées. Une partie de ces validations sont effectuées par le biais d'outils de simulation.

Plusieurs itérations sont bien sûr nécessaires pour converger vers les paramètres de la fonction et les caractéristiques des sous-ensembles du radar.

4. LES GRANDS CHOIX

4.1 Portée - Fauchée

La portée du radar CRESUS est de la classe moyenne portée.

Cette classe de portée, compatible d'un emport sur drone, permet d'exploiter de façon optimale, les caractéristiques intrinsèques des radars :

- leur capacité à observer beaucoup plus loin que les systèmes optiques ou infrarouges,
- leur faible sensibilité aux variations météorologique leur assurant une capacité tous temps mais aussi celle de percer les couches nuageuses et donc d'observer de plus haut.

Les avantages qui en découlent sont :

- une capacité de surveillance nettement accrue en terme de surface surveillée et de capacité tout temps,
- une vulnérabilité réduite dans la mesure où cette surveillance est effectuée à haute altitude et sans avoir à survoler les zones surveillées pouvant être fortement défendues,
- des conditions d'emploi simplifiées en terme de préparation de mission et de profil de vol,
- une capacité secondaire de surveillance stand off, permettant en particulier une utilisation en temps de paix pour le contrôle de zones frontalières.

4.2 Fréquence

Les avantages des hautes fréquences sont :

- intégration plus aisée (technologie hyperfréquence plus compacte),
- en mode MTI, à dimension d'antenne donnée, meilleure visibilité des cibles lentes,
- en mode SAR, à résolution transverse donnée, temps d'intégration plus court et accélérations résiduelles acceptables plus élevées.

L'inconvénient majeur des hautes fréquences est constitué par les pertes de propagation par mauvais temps (pluie, brouillard, couches nuageuses).

La bande de fréquence du radar CRESUS est donc la bande Ku qui réalise le meilleur compromis.

4.3 Visée latérale

Les avantages de la visée latérale sont :

- hautes performances en portée et fauchée (taille d'antenne supérieure),
- en mode MTI, bonnes performances de détection des cibles lentes sans traitement complexe,
- antenne conforme facilitant l'intégration sur différents types de porteur.

Le radar CRESUS est donc un radar à visée latérale.

En mode SAR, la visée latérale est orthogonale à l'axe du drone. Ce type de visée est optimal, car il permet de réduire les temps d'intégration nécessaires.

En mode MTI, la visée latérale est oblique vers l'avant du drone. Ce type de visée permet d'une part, un profil de mission qui longe les axes routiers, et d'autre part, d'indiquer au mode SAR les zones de forte activité.

4.4 Antenne et asservissement

L'antenne du radar CRESUS est une antenne conforme, bi-mode (SAR/MTI), à guides à fentes.

L'ouverture en site est dimensionnée de façon à prendre en compte les mouvements de roulis et de tangage du drone.

En mode SAR, l'ouverture en gisement est suffisamment importante pour prendre en compte les mouvements de lacet pendant le temps d'intégration. Ceci est compatible de la moyenne portée en raison du gain d'intégration important de ce mode.

En mode MTI, l'ouverture en gisement est suffisamment faible pour atteindre des performances satisfaisantes en terme de portée et de vitesse minimale détectable.

L'éclairement de la cible pendant le temps d'observation est assuré par balayage électronique un plan, réalisé par l'utilisation conjointe d'une antenne dispersive en gisement (antenne à guides à fentes à ondes progressives) et d'agilité de fréquence.

4.5 Entrelacement SAR/MTI

Dans le radar CRESUS, les modes MTI et SAR sont entrelacés temporellement.

L'entrelacement utilisé permet une couverture continue du terrain dans les deux modes SAR et MTI, sans qu'aucun des deux modes n'ait ses performances altérées par la présence de l'autre.

4.6 Architecture

Traitement de signal :

Pour respecter les contraintes de débit de la transmission de données (4 Mbits/s), l'architecture retenue est la suivante :

- traitement MTI effectué en temps réel à bord,
- prétraitement SAR à bord et traitement effectué au sol.

Capteurs de mouvement :

De façon à être autonome du porteur, le radar CRESUS est équipé de ses propres capteurs de mouvements :

- trois gyromètres donnant le lacet, le roulis et le tangage,
- trois accéléromètres donnant les accélérations sur les trois axes orthogonaux,
- un GPS donnant principalement la position, la vitesse sol et la route.

4.7 Adaptations adoptées pour le démonstrateur

Ces adaptations ont consisté à adopter des solutions moins onéreuses que celles du radar final, sans réduire l'aspect démonstratif.

C'est pourquoi, elles ne portent que sur des aspects techniques maîtrisés par ailleurs.

- **Porteur :**

Pour le démonstrateur, le porteur utilisé est un porteur de servitude (hélicoptère léger Gazelle) possédant des caractéristiques de vol (vitesse, altitude) voisines de celles du drone final.

- **Antenne :**

Pour le démonstrateur l'antenne conforme bi-mode SAR/MTI est remplacée par deux antennes plates superposées.

- **Transmission de données :**

Pour le démonstrateur, il n'y a pas de transmission de données en temps réel. Les données sont enregistrées à bord sur disque dur amovible, avec un débit d'enregistrement inférieur à celui de la transmission de données envisagée pour le radar final (4 Mbits/s).

- **Fauchée SAR :**

Pour le démonstrateur la fauchée SAR instrumentée est réduite d'environ un facteur quatre, pour limiter la puissance de calcul nécessaire.

- **Encombrement :**

Seule les contraintes de masse (20 kg) et de volume (25 l) portant sur la chaîne hyperfréquence (chaîne pilotée, émetteur et récepteur) sont conservées.

5. TRAITEMENTS

Le traitement de signal implanté dans le radar CRESUS est basé sur l'expérience reconnue de THOMSON-CSF dans le domaine, démontrée en particulier à travers les réalisations des systèmes HORIZON et RAPHAEL.

5.1 Traitement MTI

Il est effectué en temps réel à bord.

L'exploitation est effectuée au sol sur un poste opérateur constitué de stations de travail standards.

Ce traitement comprend :

- un module de compensation des mouvements du porteur,
- un module de détection et de lever d'ambiguïté des cibles mobiles (cibles terrestres et hélicoptères),
- un module spécifique de détection des hélicoptères en vol stationnaire,

- un module de localisation des cibles utilisant les informations délivrées par le radar et par les capteurs de mouvements spécifiques de CRESUS,

- un module de classification automatique basée sur les signatures Doppler des cibles. Cette classification utilise le dispositif de classification automatique DIRACH mis au point par THOMSON-CSF et implanté dans le radar HORIZON. Dans le cadre du démonstrateur, ce module, maîtrisé par ailleurs, n'est pas implanté.

5.2 Traitement SAR

Le traitement SAR est constitué d'un prétraitement embarqué ainsi que d'une formation d'image et d'une exploitation effectuées au sol sur le même poste opérateur.

Le prétraitement embarqué (filtrage et sous-échantillonnage) est destiné à réduire le débit de données.

Le logiciel de traitement SAR (codé en langage C) est implanté sur le poste opérateur.

Il est conçu de manière très modulaire, ce qui lui confère les avantages suivants :

- possibilité de sélectionner et/ou de combiner tout ou partie des modules déjà développés pour affiner le traitement ou au contraire privilégier la rapidité d'exécution,
- possibilité d'inclure de nouveaux modules et/ou de modifier les modules déjà existants d'une manière efficace et souple.

Les principaux modules implantés actuellement sont :

- analyse et correction des données brutes,
- compensation de mouvements basée sur les informations issues des gyromètres, des accéléromètres et/ou du GPS,
- calcul du Doppler moyen,
- correction des déphasages,
- autofocus,
- compression,
- suréchantillonnage des données d'un facteur deux par rapport à la résolution,
- visualisation comprenant des outils d'exploitation spécifiques à l'imagerie SAR comme des outils de détection de cibles.

D'autres modules peuvent être activés comme le multi-vues ou la correction radiométrique nécessitée par des mouvements éventuels du lobe d'antenne en azimut.

Ce logiciel est naturellement portable et fonctionne actuellement sur HP et sur SUN sous système d'exploitation UNIX.

6. PERFORMANCES ET CARACTERISTIQUES DU DEMONSTRATEUR

Ce chapitre présente, de façon synthétique, les performances et les caractéristiques du démonstrateur CRESUS.

La figure 1 schématise la zone éclairée de façon instantanée par le radar CRESUS.

6.1 Performances du mode MTI

- + Portée : moyenne portée.
- + Fauchée : classe 10 km.
- + Domaine vitesse : compatible des vitesses de vol des hélicoptères.
- + Résolution distance : classe 10 m.
- + Résolution vitesse : classe 1 km/h.
- + Précision de localisation : classe 100 m.
- + Détection des cibles terrestres.
- + Détection des hélicoptères, y compris stationnaires.

6.2 Performances du mode SAR

- + Portée : moyenne portée.
- + Fauchée : classe 3 km.
- + Résolution distance : classe métrique.
- + Résolution azimut : classe métrique.
- + Cartographie.
- + Détection des cibles fixes.

6.3 Caractéristiques

- + Bande de fréquence : Ku.
- + Bande d'agilité : classe 1 GHz.
- + Puissance émise : classe 100 W crête.
- + Débit de données : 4 Mbits/s.

7 DESCRIPTION DU DEMONSTRATEUR

7.1 Description fonctionnelle

La figure 2 présente le synoptique fonctionnel haut niveau du démonstrateur CRESUS.

Ce synoptique fait apparaître les sous-ensembles intégrés dans le POD et dans la baie, ainsi que ceux ne constituant que de l'instrumentation spécifique au démonstrateur, destinés à être remplacés dans le radar final par une transmission de données temps réel.

7.2 Description physique

Le démonstrateur comprend trois sous-ensembles principaux notés A, B et C :

- le POD (A), fixé sur le bras d'arme de la Gazelle, en lieu et place des missiles HOT,
- la baie d'exploitation (B), intégrée dans la cabine de la Gazelle,
- la station d'exploitation au sol (C).

Le POD (A) contient ou supporte (figures 3 et 4) :

- le coffret pilote/récepteur (A1),
- l'émetteur à TOP (A2),
- le prétraitement SAR (A3),
- le bloc alimentation (A4),
- l'aérien (A5) contenant l'antenne MTI (A51), l'antenne SAR (A52) et le bloc gyromètres /accéléromètres (A53).

La baie d'exploitation (B) contient (figures 5 et 6) :

- le poste opérateur bord constitué par le moniteur couleur (B1) et le calculateur bord (B2). Pour le radar final, le poste opérateur bord sera remplacé par une transmission de données temps réel,
- le coffret traitement gestion (B3) contenant le module de gestion, le traitement MTI temps réel et le GPS.

La station d'exploitation au sol constituée par :

- un calculateur HP série 9000 J200 sous UNIX, sur lequel est implanté le traitement SAR,
- un calculateur SUN Ultra 1 sous UNIX, sur lequel est implanté l'IHM,
- un moniteur couleur 19 pouces haute résolution.

8. STATION D'EXPLOITATION AU SOL

L'exploitation des données acquises en vol est effectuée sur la station sol.

Deux écrans différents sont présentés à l'opérateur.

Le premier écran, à tendance MTI, contient principalement :

- une carte de sol numérisée sur laquelle sont représentées :
 - ⇒ la position des fauchées SAR et MTI,
 - ⇒ les cibles détectées en MTI (rapprochement, éloignement et hélicoptères stationnaires) avec leurs attributs (position, vitesse, SER, ...),
 - ⇒ la carte d'échos fixes.
 La figure 7 présente une illustration de cette carte.
- une carte SAR à résolution dégradée (classe décimétrique) permettant à l'opérateur de faire un premier tri des cartes à analyser plus finement dans le second écran

Le second écran, à tendance SAR contient principalement la carte SAR à pleine résolution, avec la mise à disposition d'outils automatiques d'aide à l'interprétation (seuillage) et à la détection (détecteur à taux de fausse alarme constant). La figure 8 présente une illustration de cette carte.

9. CONCLUSION

Au titre d'un contrat DGA passé en 1994, THOMSON-CSF a développé le radar CRESUS, démonstrateur d'un futur radar bi-mode (SAR/MTI), destiné à être intégré sur un drone tactique lent de type BREVEL, CRECERELLE, SPERWER, ...

La description, les performances et les caractéristiques du démonstrateur ont été présentées dans les chapitres 4 à 8.

Le choix d'une antenne latérale bi-mode conforme permet à terme une intégration de CRESUS sur différents types de drones.

Les essais en vol du démonstrateur auront lieu à partir de novembre 1997 sur un porteur de servitude (hélicoptère léger Gazelle).

Des évolutions sont d'ores et déjà prévues sur le démonstrateur. La plus importante concerne l'implantation d'un mode SAR à très haute résolution (classe sub-métrique) permettant de renforcer la détection des cibles fixes isolées tout en rendant possible leur reconnaissance. Les travaux correspondants ont débuté par une simulation (contrat DGA) dont l'objectif principal est de définir la résolution nécessaire pour satisfaire le besoin.

Cette simulation est réalisée à l'aide de l'outil logiciel SARCM développé par THOMSON-CSF. Cet outil permet de générer des données brutes conformes aux caractéristiques des sous-ensembles du radar, donc représentatives de celles qui seront réellement acquises par le radar. La validation du traitement est effectuée sur l'algorithme SAR qui sera réellement utilisé dans le segment sol de CRESUS.

Après cette phase de simulation, les travaux se poursuivront par l'implantation de ce mode dans le démonstrateur. Cette implantation ne nécessitera qu'un minimum d'évolutions du matériel, dans la mesure où cette évolution a été prise en compte dès la conception.

D'autre part, l'augmentation de la portée pouvant être obtenue par l'augmentation conjointe de la dimension d'antenne et de la puissance émise, permettra à CRESUS de satisfaire le besoin opérationnel dévolu aux drones MALE (Moyenne Altitude - Longue Endurance).

FIGURE 1

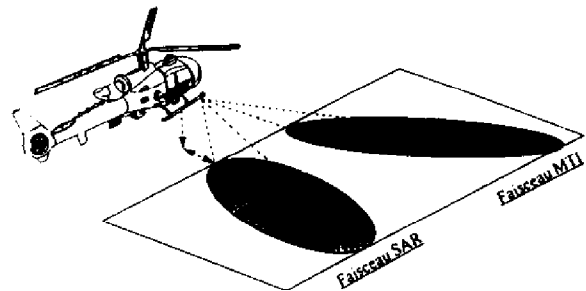


FIGURE 2

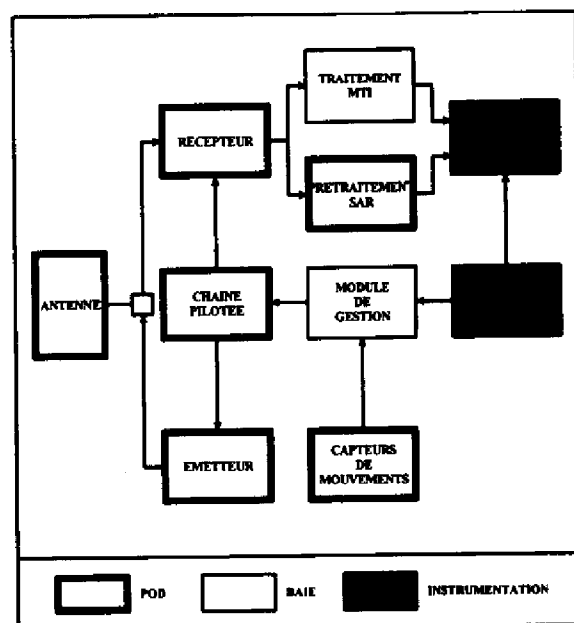


FIGURE 3

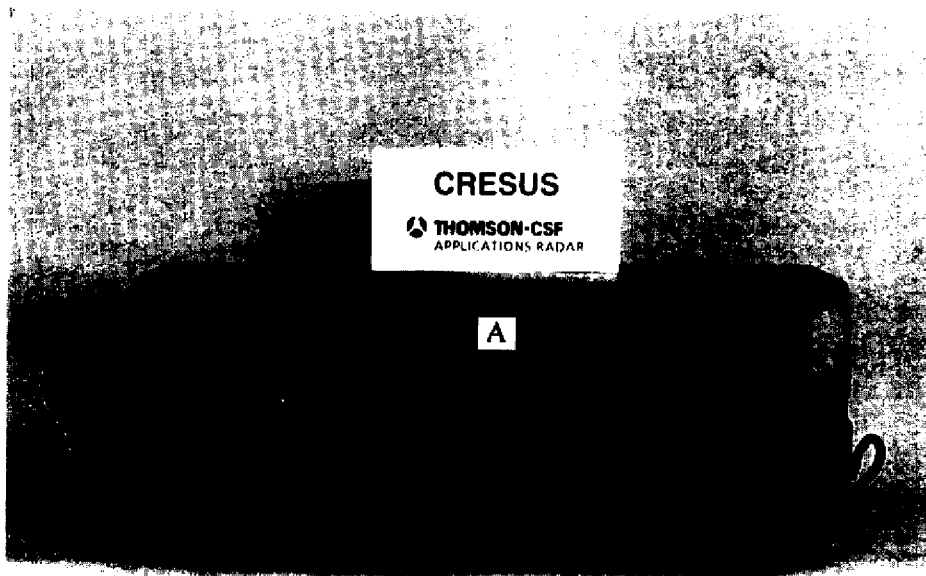
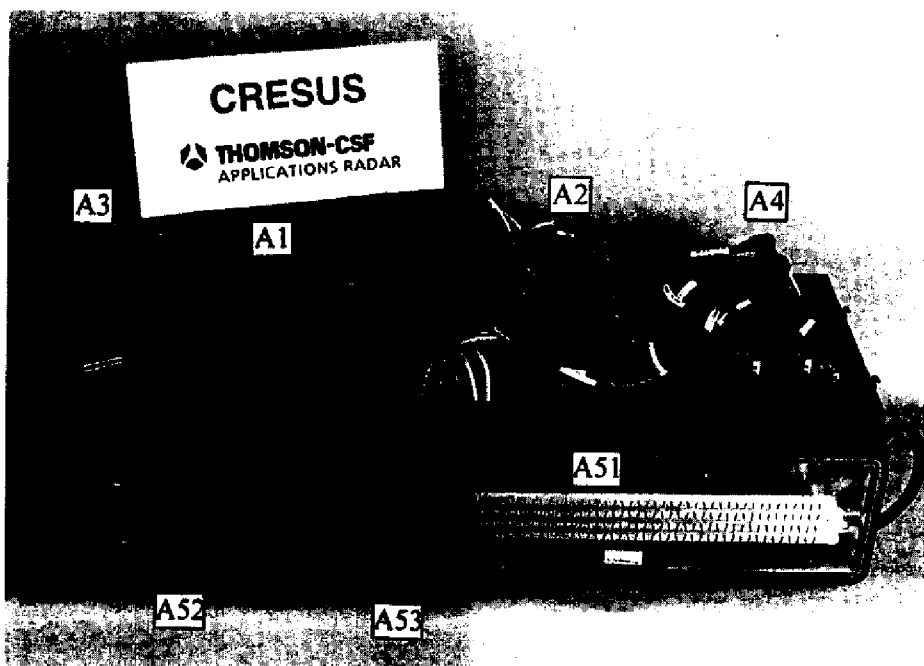


FIGURE 4



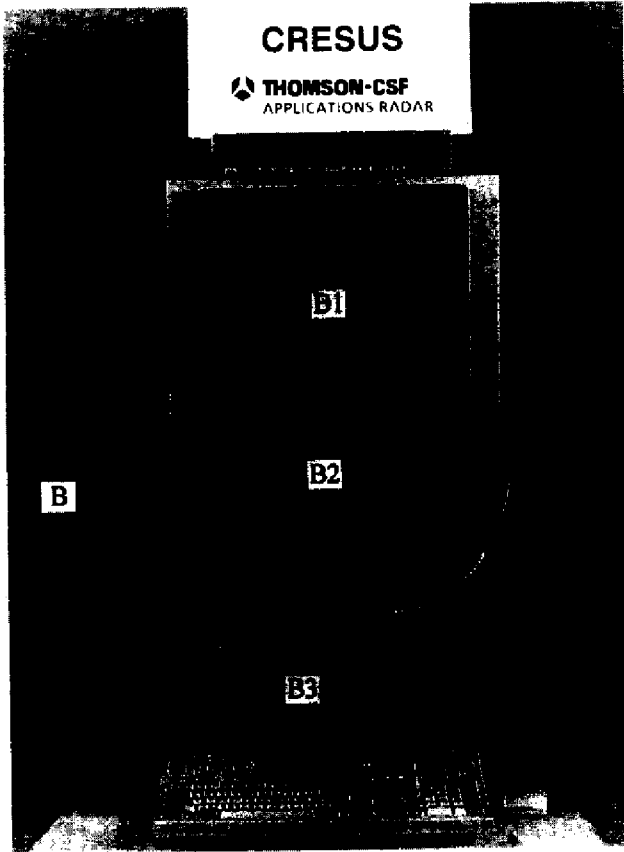


FIGURE 5

FIGURE 6

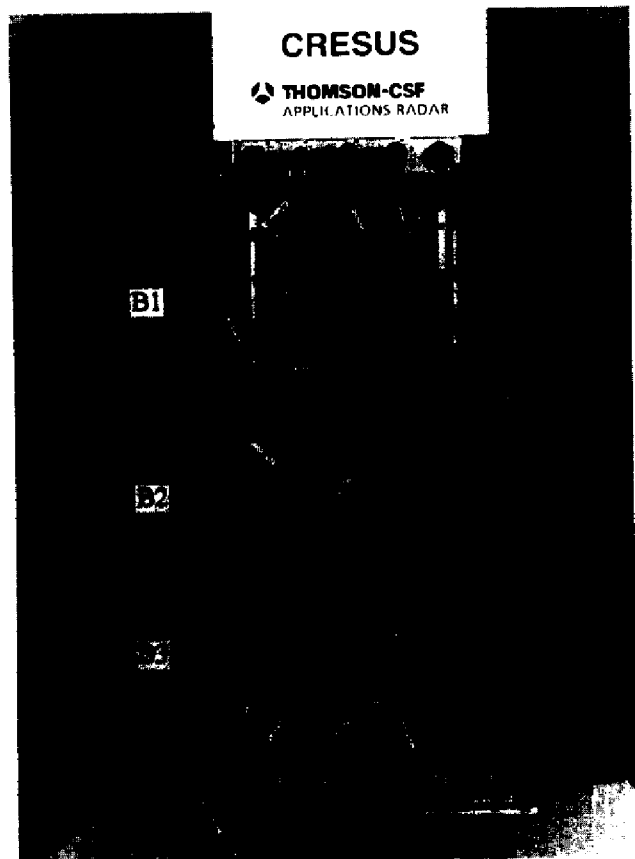


FIGURE 7

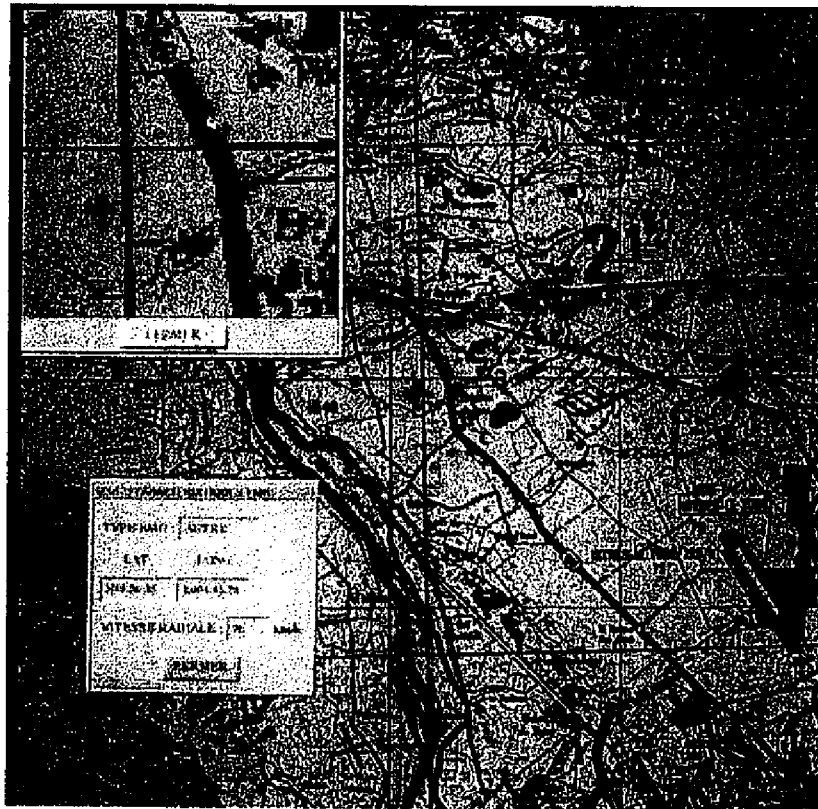


FIGURE 8

