

# HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

955

NICE du 1<sup>er</sup> au 5 JUIN 1981

Etude expérimentale d'échos de sol par une  
méthode bistatique de synthèse d'ouverture

D. MEDYNSKI - Y. BLANCHARD

Office National d'Etudes et de Recherches Aéropatiales (ONERA) - 29, avenue de la Division Leclerc  
92320 CHATILLON-SOUS-BAGNEUX

## RESUME

## SUMMARY

La synthèse d'ouverture est un procédé utilisé, par exemple, dans le radar à vision latérale, pour obtenir une image radio-électrique d'un terrain quelconque.

En adaptant cette technique à une configuration bistatique (émetteur embarqué, récepteur au sol), il est possible de caractériser les échos de sol au voisinage d'un point donné.

On décrit le principe et la mise en oeuvre de cette méthode qui a été utilisée sur trois sites différents.

Quelques résultats caractéristiques sont présentés.

### 1 - INTRODUCTION

L'existence de diffuseurs de sol est un facteur qui contribue souvent à limiter les performances de nombre de systèmes radio-électriques. Cette communication décrit une méthode expérimentale d'analyse de ces diffuseurs de sol, ou plus exactement des trajets multiples qu'ils engendrent (limités aux trajets du type émetteur-diffuseur-récepteur). Il s'agit d'une méthode dérivée du principe du radar à vision latérale, utilisé habituellement comme moyen de cartographie aérienne, et adapté ici à un schéma de liaison bistatique : émetteur embarqué sur avion et récepteur au sol. On décrira brièvement cette méthode, avant de présenter quelques résultats obtenus sur trois sites différents, d'abord sous la forme d'un prédépouillement qui permet de caractériser les grandes différences de structures de diffuseurs d'un site à l'autre, puis, après un traitement complet, sous la forme d'une véritable cartographie de ces diffuseurs.

### 2 - DESCRIPTION DE LA METHODE

La méthode utilisée est l'adaptation à une configuration bistatique de la technique de synthèse d'ouverture, mise en oeuvre par les radars à vision latérale (RVL) de cartographie aérienne. La figure 1 donne une représentation parallèle de ces deux approches. Dans les deux cas un émetteur cohérent, embarqué sur un avion en mouvement rectiligne à altitude et vitesse constantes est la source d'un train d'impulsions récurrentes. Dans le cas du RVL, le récepteur est également embarqué sur l'avion (fig. 1a).

Aperture synthesis is used, for instance in Side Looking Radar, to obtain an image of a given piece of ground.

Adapting this technique to a bistatic configuration, it is possible to analyse scatterers around a given point.

The principle of the method, which has been used in three different sites is given.

A few characteristic results are shown.

Lors de notre expérience, il est installé au sol (fig. 1b). Le traitement des signaux enregistrés dans chaque cas doit conduire à la restitution d'une image du terrain survolé, avec une résolution, fonction des différents paramètres du système, qui se traduira par un quadrillage en cases élémentaires à l'intérieur desquelles deux diffuseurs ne seront évidemment pas discernables.

Ainsi on distinguera schématiquement dans le cas du RVL une résolution transversale (perpendiculaire à la trajectoire de l'avion) liée à la durée de l'impulsion élémentaire, qui sera donc choisie aussi courte que possible, et une résolution longitudinale obtenue par intégration cohérente de plusieurs impulsions successives (traitement doppler). L'image ainsi obtenue représente une carte des diffuseurs échantillonnée par un quadrillage rectangulaire (fig. 1c).

Dans l'expérience bistatique (fig. 1d) la résolution longitudinale est obtenue de la même manière par traitement doppler. En revanche le traitement temporel ne peut fournir directement la position transversale du diffuseur, mais seulement la longueur du double trajet EMR (émetteur-diffuseur et diffuseur-récepteur). On ne connaît ainsi de façon certaine qu'un ellipsoïde de foyers E et R sur laquelle se situe le diffuseur M : les cases de résolution sont définies cette fois par les intersections d'une famille de droites perpendiculaires à la trajectoire et d'une famille d'ellipses se déplaçant avec l'avion (fig. 1d).



Etude expérimentale d'échos de sol par une  
méthode bistatique de synthèse d'ouverture

Imaginons ainsi le cas d'un diffuseur unique : le signal reçu, schématisé fig. 2, comportera des impulsions de fort niveau correspondant au trajet direct émetteur-récepteur et des impulsions secondaires retardées de  $\theta$  après écho sur le point diffuseur. La mesure de ce retard  $\theta$  permet de préciser l'ellipse de la famille représentée fig. 1d sur laquelle se trouve le diffuseur. Sa localisation sur cette ellipse sera obtenue par l'analyse de la variation de phase (effet doppler) observée sur plusieurs impulsions récurrentes.

On peut noter que cette méthode ne permettra pas de séparer les diffuseurs situés sur l'axe ER, leurs échos parvenant au récepteur strictement en même temps que le trajet direct. Par contre les diffuseurs les mieux séparés se trouveront en arrière du point de réception.

La carte complète des diffuseurs sera obtenue point par point à l'issue d'un traitement en 4 étapes :

- sélection d'un point de coordonnées (x, y) données, et calcul de la durée du trajet EMR correspondant.
- recherche des impulsions correspondant à ce trajet dans le signal reçu.
- génération d'une réplique reproduisant l'évolution théorique de la phase de ces impulsions dans le temps.
- produit et intégration.

Outre la cohérence en phase de l'émetteur et du récepteur, ce traitement suppose une connaissance du mouvement absolu de l'avion, avec une précision de l'ordre du quart de la longueur d'onde utilisée. Deux systèmes de trajectographie, radar et centrale à inertie, ont été simultanément mis en oeuvre, et les données obtenues ont été précisées par filtrage de Kalman. Deux horloges atomiques recalées périodiquement pilotaient le récepteur au sol et l'émetteur dans l'avion.

Les principales caractéristiques de l'expérience sont les suivantes :

émission dans la bande métrique,  
bande passante : 5,2 MHz (impulsion de 0,19  $\mu$ s),  
cadence de récurrence 40 kHz,  
puissance émise 1 kW crête,  
distance émetteur récepteur : de 5 km à 15 km,  
vitesse avion : 90 m/s,  
altitude de vol : entre 30 m et 500 m.

La dynamique des signaux à enregistrer dépend de l'étendue du terrain à visualiser et du coefficient de réflectivité du sol survolé : à titre d'exemple, dans une situation où l'on aurait un diffuseur de section efficace radar de 850 m<sup>2</sup> situé à une distance AM = 1000 m avec RE  $\approx$  ME (fig. 1b), la dynamique entre trajet direct et écho secondaire serait de 42 dB. Ce chiffre correspond sensiblement aux possibilités de l'enregistreur utilisé : il donne donc l'ordre de grandeur des capacités du système.

### 3 - RESULTATS

Les campagnes de mesure ont été menées sur trois sites différents correspondant, pour le premier, au voisinage d'un aéroport (région parisienne), pour le second à un bord de mer (région méditerranéenne et

pour le dernier à un site campagnard sur le bord de la Garonne. Leur but était de comparer les caractéristiques des principaux échos de sol sur ces trois sites.

#### 3.1 - Prédépouillement

Il correspond à un prétraitement simplifié destiné à mettre en évidence des structures d'échos qui seraient très différentes d'un site à l'autre. Le schéma utilisé est indiqué figure 3.

Les signaux enregistrés sont appliqués sur le Wehnelt d'un tube oscilloscope et en modulent l'intensité de faisceau. Le balayage horizontal correspond à la durée de deux récurrences (50  $\mu$ s) tandis qu'un balayage vertical plus lent permet de superposer selon les différentes lignes d'une même image l'ensemble des récurrences successives.

Ainsi un train d'impulsions sans défilement temporel se traduit dans l'image par deux traits verticaux (fig. 3b). C'est le cas des impulsions reçues par trajet direct, avec toutefois un glissement au cours du temps lié au déplacement de l'avion (fig. 3c). L'apparition d'un diffuseur correspondra à un second tracé (fig. 3d), dont l'évolution temporelle peut se distinguer sensiblement de celle du trajet direct.

##### 3.1.1 - Site 1

Le premier site étudié se trouve au voisinage d'un aéroport de la région parisienne. Le terrain est plat et avec peu de végétation.

Le dépouillement de trois minutes de vol est représenté figure 4.

La largeur des impulsions reçues est de l'ordre de 1,5  $\mu$ s, ce qui correspond à une distance de 450 m. La figure 5 représente le même signal, avec une dynamique plus importante : aucun écho indirect nettement séparable n'est mis en évidence. Des trains d'impulsions non corrélés avec ceux de l'émission sont visibles : ils sont émis par deux radars différents, proches du point de réception.

##### 3.1.2 - Site 2

Ce site, localisé au Sud-Est de la France est un terrain situé en bord de mer. La végétation est de type méditerranéenne.

Un vol est représenté figure 6.

Le signal est de même type que dans le cas précédent (largeur des échos à nouveau de l'ordre de 1,5  $\mu$ s). Pour ces deux premiers sites, les images obtenues peuvent s'interpréter comme le résultat d'une répartition quasi uniforme de nombreux diffuseurs de faible section efficace.

##### 3.1.3 - Site 3

Ce dernier site, au Sud-Ouest de la France, est très boisé. Il est situé non loin de la Garonne et est entouré par les collines bordant le cours de ce fleuve.

La figure 7 montre la restitution d'un vol. Elle met en évidence plusieurs lignes de signal correspondant à des diffuseurs bien individualisés.

Sur chacune de ces lignes, l'évolution de la phase de l'écho correspondant se traduit par l'apparition de franges dont le pas décroît quand l'effet doppler augmente, et qui s'organisent en stries de



Etude expérimentale d'échos de sol par une  
méthode bistatique de synthèse d'ouverture

forme circulaire autour des points de doppler nul.

Le niveau élevé des trajets multiples dans cet essai peut suggérer une première procédure simplifiée de localisation des diffuseurs : à partir de l'image obtenue, on peut tracer une idéalisation vraisemblable des lignes de signal observées et distinguer ainsi très nettement 7 échos différents (fig. 8). Pour chaque ligne de signal identifiée, on calcule la longueur du trajet émetteur-diffuseur-récepteur correspondant, et on trace l'ellipse sur laquelle doit se situer l'écho. L'intersection commune des ellipses tracées pour un même écho à partir de différentes portions de la trajectoire donnera sa position approximative.

Ce travail est représenté à titre d'exemple (fig. 9) pour l'un des sept diffuseurs identifiés.

Les mêmes opérations effectuées pour les six autres lignes de signal conduisent aux localisations regroupées figure 10 : tous les diffuseurs y apparaissent rassemblés dans une zone de 2 km X 2 km.

### 3.2 - Dépouillement complet

Le dépouillement complet correspond à la séquence de traitement décrite en 2. Nous en présentons figures 11 et 12 deux résultats caractéristiques :

#### 3.2.1 - Site\_2

La figure 11 se présente comme un ensemble de zones elliptiques toutes orientées vers la position de l'avion.

La région centrale (caractères M - niveau de 0 à 3 dB par rapport au maximum de l'image) traduit le fait, signalé plus haut, que notre système ne peut séparer les points situés sur l'axe avion-récepteur.

Les zones suivantes, entourant cette région centrale (caractères , \*...) sont des tâches parasites dues aux lobes secondaires de l'impulsion.

La comparaison d'une telle carte -qui ne met en évidence aucun diffuseur bien individualisé- avec la réponse théorique du système permet de préciser la valeur maximale du coefficient de réflectivité du terrain autour du point de réception.

Cette valeur maximale se situe ici autour de  $0,12 \text{ m}^2/\text{m}^2$ .

#### 3.2.2 - Site\_3

La figure 13 est un résultat caractérisant bien le site 3. Comme sur la figure précédente, on y distingue une première structure elliptique dont l'axe correspond à la ligne des foyers avion-récepteur

Dans le cas présent, on distingue de plus une tâche de grande dimension (hachures), en bas à droite, ainsi qu'un ensemble de tâches moins importantes sur la partie droite de l'image.

Ces tâches signalent l'existence de diffuseurs de section efficace radar très importantes (entre 10 000 et 50 000  $\text{m}^2$ ) situées à environ 1 500 m du point de réception.

Le coefficient de réflectivité pour ces diffuseurs est de l'ordre de  $10 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , valeur importante qui peut faire penser à un phénomène de type ré-

flexion spéculaire.

La localisation de ces diffuseurs recoupe bien le résultat du prédépouillement présenté en 3.1.3. Ces échos se trouvent sur les collines bordant le cours de la Garonne, ce qui paraît une localisation tout à fait vraisemblable.

### 4 - CONCLUSION

Cette technique de cartographie radar, utilisant le principe du radar à vision latérale adapté à une configuration bistatique, présente des limitations évidentes, notamment en raison des distorsions du quadrillage obtenu et l'écart très important entre les niveaux reçus par trajet direct et par écho sur le diffuseur. Elle a permis cependant d'obtenir une caractérisation de ces diffuseurs sur les trois sites étudiés, et d'établir une nette différence entre deux types d'échos de sol :

- les premiers, vraisemblablement omnidirectionnels, présentent un faible coefficient de rétrodiffusion, et n'interviennent qu'à faible distance de l'antenne réceptrice.
- les seconds, de fort coefficient de réflectivité, correspondent à des diffuseurs de grandes dimensions, et leur influence se fait sentir à des distances plus importantes.

Cette méthode se présente donc comme un moyen d'analyse des conditions de propagation sur un site déterminé, et peut être utilisée avec profit dans les études de choix d'implantation d'antenne de systèmes radio-électriques (radar ou transmissions).



Etude expérimentale d'échos de sol par une méthode bistatique de synthèse d'ouverture

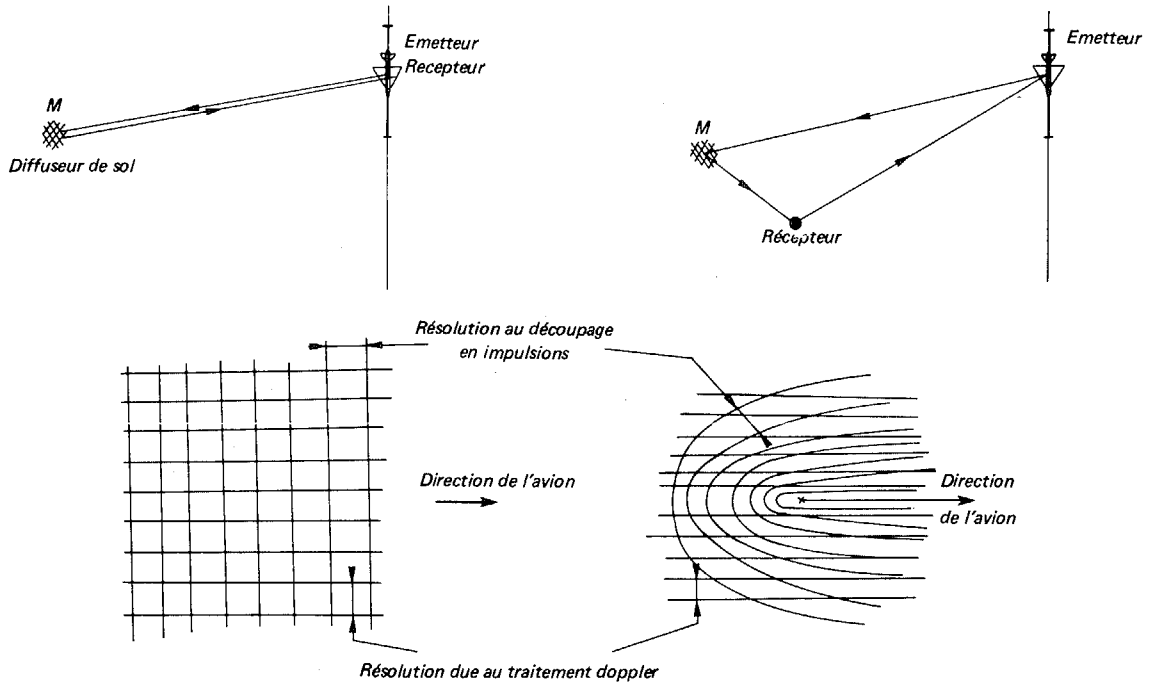


Fig. 1 - Radar à vision latérale (monostatique). Adaptation au cas bistatique.

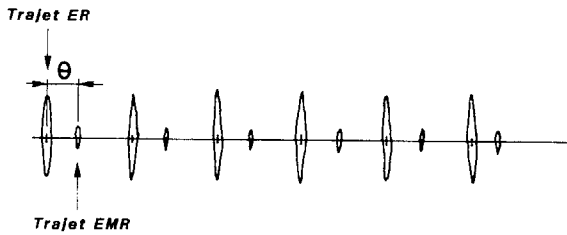
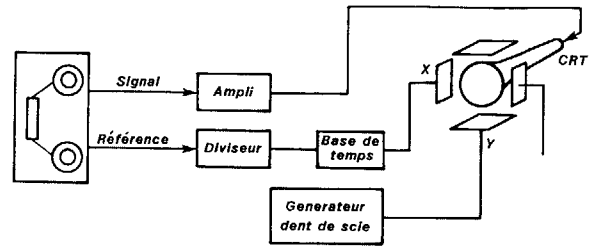
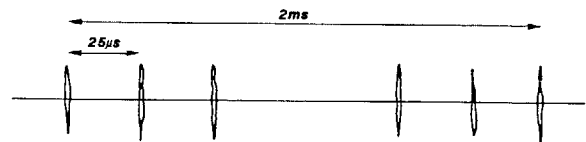


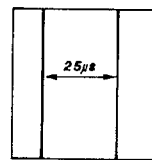
Fig. 2 - Signal reçu dans le cas d'un diffuseur unique.



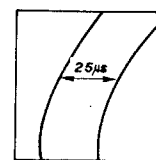
a) Schéma du montage



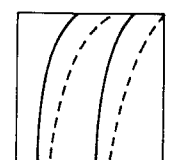
Visualisation du signal ci-dessus



b) Sans déplacement (avion au sol)



c) Avec déplacement (avion en vol)



d)

Fig. 3 - Schéma du dépouillement préliminaire.



Etude expérimentale d'échos de sol par une méthode bistatique de synthèse d'ouverture.

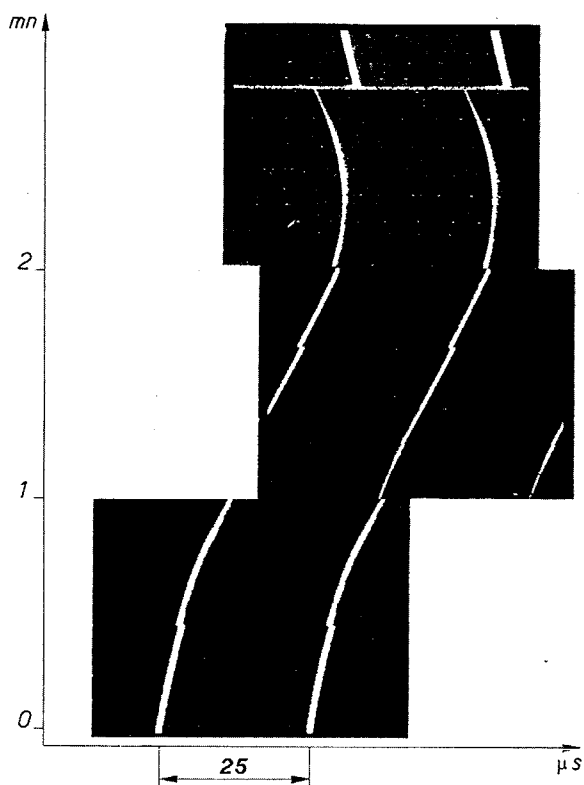


Fig. 4 – Site 1 – Évolution du signal au cours du temps.

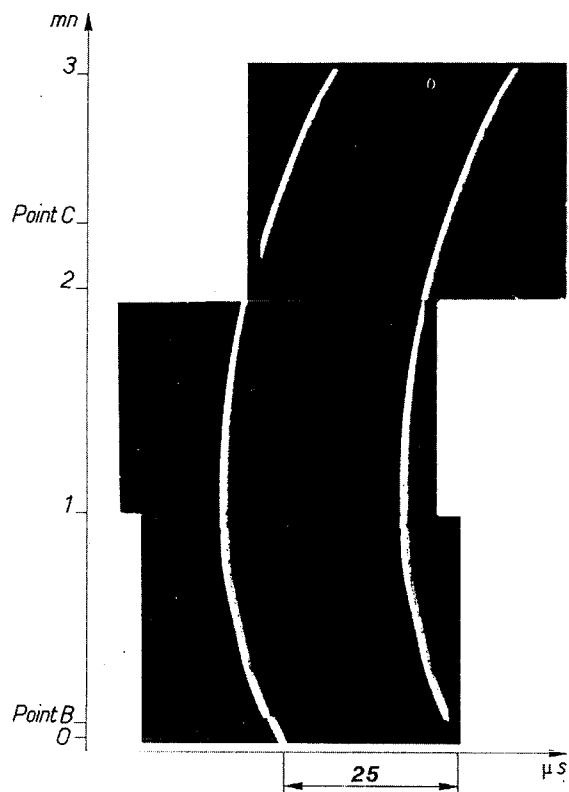


Fig. 6 – Site 2 – Évolution du signal au cours du temps.

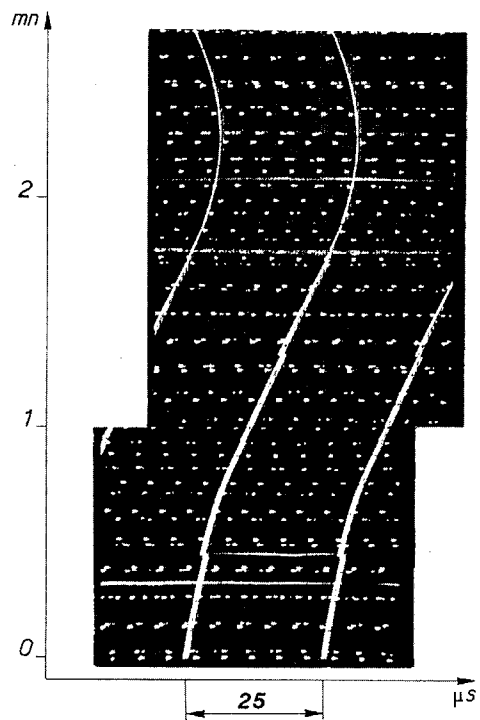


Fig. 5 – Site 1 – Structure fine du signal.

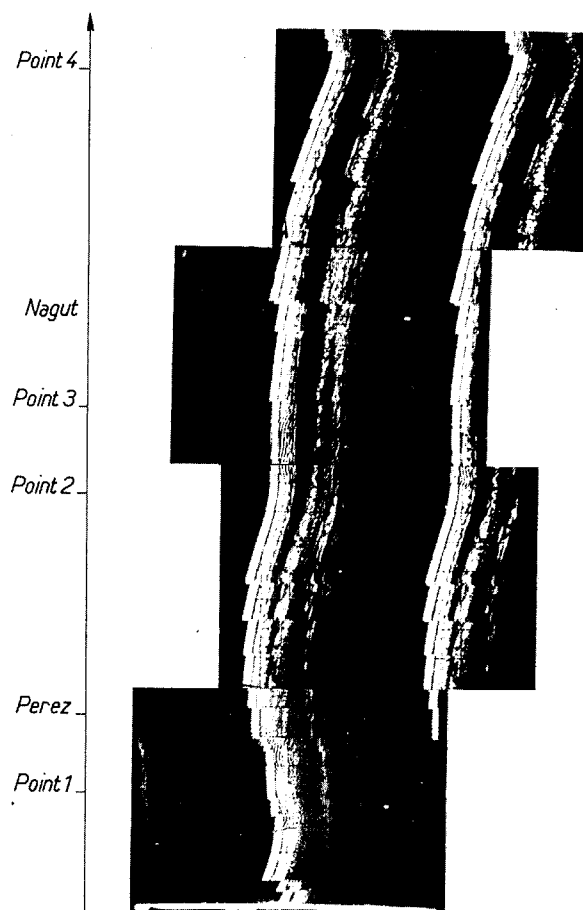


Fig. 7 – Site 3 – Structure fine du signal.



Etude expérimentale d'échos de sol par une méthode bistatique de synthèse d'ouverture

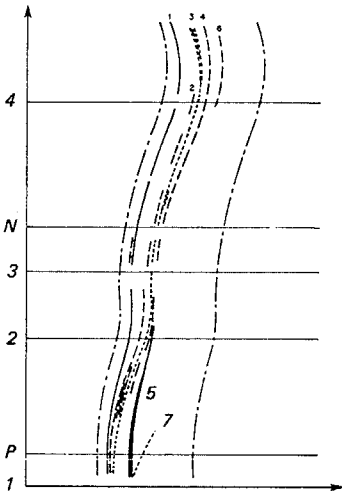
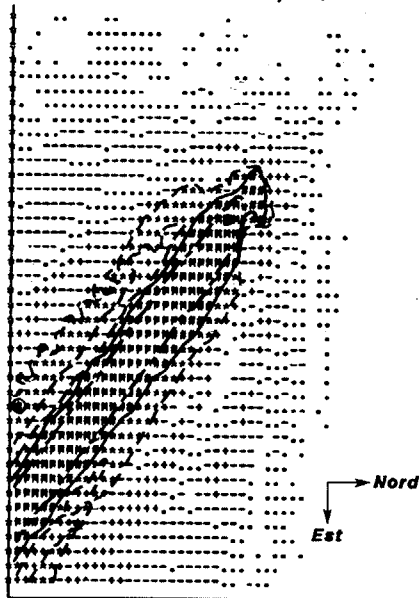


Fig. 8 - Idéalisations des lignes de signal de la figure 7.

Antenne Omnidirectionnelle  
Echelle : 25m/point



Echelle en DB :  
∞-40 40-30 30-20 20-15 15-9 9-3 3-0

Fig. 11 - Site 2 - Échos de sol.



Fig. 12 - Site 3 - Échos de sol.

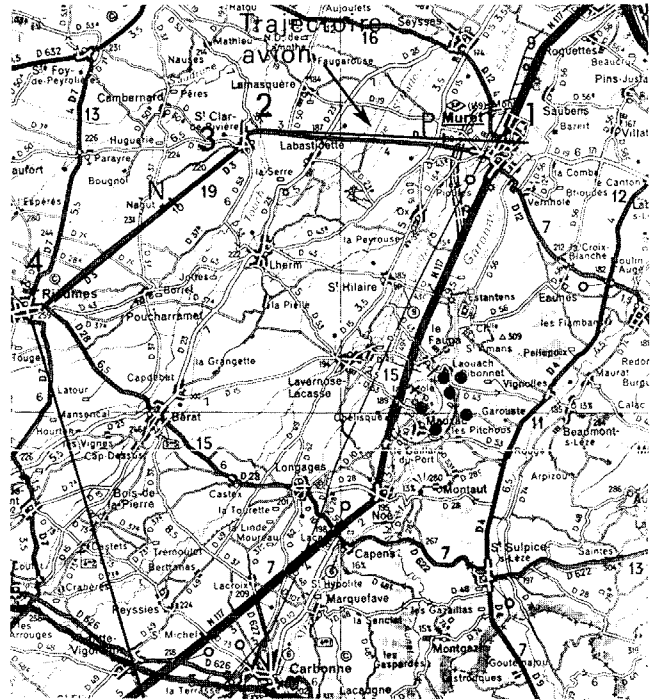


Fig. 9 - Localisation du diffuseur n° 3.

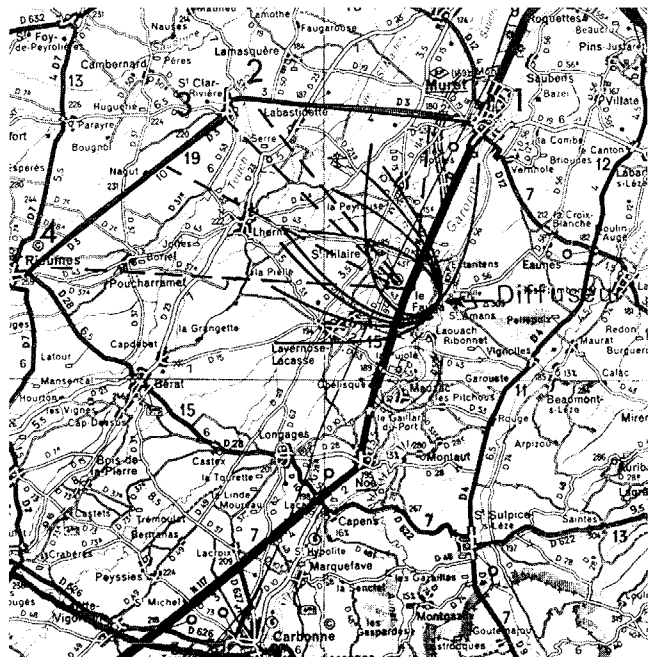


Fig. 10 - Première localisation des diffuseurs.