



HAL
open science

Projet d'études de propagation associant des sondeurs acoustiques ou des radars météorologiques à des liaisons radioélectriques

L. Martin, J.P. Mon, M. Rooryck

► **To cite this version:**

L. Martin, J.P. Mon, M. Rooryck. Projet d'études de propagation associant des sondeurs acoustiques ou des radars météorologiques à des liaisons radioélectriques. [Rapport de recherche] Note technique CRPE n° 65, Centre de recherches en physique de l'environnement terrestre et planétaire (CRPE). 1979, 18 p. hal-02191396

HAL Id: hal-02191396

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02191396v1>

Submitted on 23 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RP 182 (30)

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS**

**CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**CENTRE DE
RECHERCHES
EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT
TERRESTRE
ET PLANETAIRE**

CRPE

**NOTE TECHNIQUE
CRPE / 65**

*projet d'études de propagation
associant des sondeurs acoustiques
ou des radars météorologiques
à des liaisons radioélectriques*



par

L. MARTIN

ingénieur à TNP

J.-P. MON

maître de conférences, ETE

M. ROORYCK

ingénieur à APH

19 JUIN 1979



CENTRE DE RECHERCHE EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

NOTE TECHNIQUE CRPE/65

PROJET D'ETUDES DE PROPAGATION ASSOCIANT
DES SONDEURS ACOUSTIQUES OU DES RADARS
METEOROLOGIQUES A DES LIAISONS RADIOELECTRIQUES

par

L. MARTIN
Ingénieur à TNP

J.P. MON
Maître de Conférences ETE

M. ROORYCK
Ingénieur à APH



Pour le Directeur
du CRPE

I. REVAH

Pour le Chef de
Departement ETE

P. BAUER

janvier 1979

PROJET D'ETUDES DE PROPAGATION ASSOCIANT
DES SONDEURS ACOUSTIQUES OU DES RADARS
METEOROLOGIQUES A DES LIAISONS RADIOELECTRIQUES

1 - INTRODUCTION

Ce document constitue un avant-projet d'étude de la propagation des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre. Il concrétise la réflexion menée en commun depuis septembre 1978 par des chercheurs et ingénieurs des départements APH, ETE et TNP comme cela avait été prévu au début de 1978 (voir note NT/TII/ 3 janvier 1978). Cette réflexion se proposait d'évaluer l'intérêt scientifique présenté, pour des études de propagation, par des données acquises simultanément sur des liaisons radioélectriques et par des sondeurs acoustiques (SODAR) ou sur des liaisons et par des radars météorologiques (RONSARD).

La spécificité de ces équipements conduit à deux domaines d'étude : celui de la propagation en air clair et celui de la propagation en présence d'hydro-météores.

Il était en outre convenu, d'une part que la responsabilité de mise en oeuvre des instruments incombait à APH pour ce qui concerne les liaisons, et à ETE pour les sodars et radars, et, d'autre part, que l'interprétation scientifique des données et la modélisation des phénomènes seraient assurées par des chercheurs de APH, ETE et TNP qui collaboreraient de façon étroite dans cette tâche.

2 - POSITION DU PROBLEME

La qualité des transmissions sur les trajets en visibilité ou sur les trajets obliques fonctionnant en ondes centimétriques est affectée par un certain nombre de perturbations telles que des affaiblissements, des diminutions de découplage de polarisation, des scintillations d'amplitude et de phase.

Ces phénomènes connus et étudiés depuis longtemps sur les systèmes analogiques se manifestent différemment dans les systèmes de transmission numérique. C'est ainsi, par exemple, que des affaiblissements sélectifs qui affecteraient peu un système analogique à bande passante relativement étroite peuvent donner lieu à des dégradations importantes dans les systèmes à large bande utilisés en transmission numérique.

Un approfondissement des mécanismes de la troposphère responsables de ces perturbations est du plus grand intérêt pour les ingénieurs chargés de concevoir et de mettre en oeuvre les nouveaux systèmes de transmission.

Les phénomènes qui se produisent dans la troposphère peuvent être classés en :

- phénomènes se manifestant en air clair,
- phénomènes mettant en jeu des hydrométéores.

L'étude de ces phénomènes peut être menée par deux méthodes fondamentalement différentes :

- soit en cherchant à établir des statistiques d'affaiblissement et de dépolarisation à partir de campagnes de mesure s'étendant sur plusieurs années, puis en corrélant ces statistiques avec des paramètres météorologiques comme l'intensité des précipitations :
- soit en essayant de comprendre, à partir d'études de cas, la structure fine des phénomènes et en élaborant ensuite des théories que l'on comparera à des mesures obtenues lors d'événements météorologiques particuliers.

La première méthode étant déjà largement utilisée à APH, nous étudierons ici la deuxième qui constitue ainsi une méthode complémentaire.

3 - RAPPELS SUR LES PHENOMENES EN AIR CLAIR

Les affaiblissements qui affectent en air clair les liaisons en visibilité sont généralement dûs à des propagations par trajets multiples, sélectives

en fréquence, à des focalisations ou à des défocalisations par réflexion sur des stratifications de la basse atmosphère ou par réfraction à la traversée de couches d'indice variable.

3.1 - Réfraction, réflexion et trajets multiples

L'atmosphère est un milieu présentant des variations verticales de température, de pression et d'humidité qui se traduisent par des gradients verticaux de l'indice de réfraction n .

Ces gradients d'indice provoquent une courbure de la trajectoire des faisceaux hertziens. Lorsque, sur une distance de l'ordre d'une longueur d'onde, l'indice varie très rapidement en fonction de l'altitude, les ondes électromagnétiques peuvent subir des réflexions partielles.

L'indice de réfraction radioélectrique n (ou coindice) N est donné (1) par :

$$N = (n-1) \cdot 10^6 = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1)$$

où T est la température absolue,

p la pression en millibars

et e la pression de vapeur en millibars.

Au lieu de la pression de vapeur e , les météorologistes préfèrent utiliser l'humidité spécifique :

$$q = 0,617 \frac{e}{P} \quad (2)$$

qui est une grandeur conservative dans un transfert turbulent.

Pour l'étude des basses couches de l'atmosphère on introduit souvent la température potentielle :

$$\theta = T + \gamma_a Z \quad (3)$$

où Z est l'altitude et γ_a le gradient vertical de température en échange adiabatique ($\gamma_a = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$)

On montre (2) que lors d'un transfert turbulent à petite échelle (quelques mètres), dans une couche d'épaisseur ΔZ , la variation de l'indice de réfraction radioélectrique est donnée par :

$$\Delta N \simeq \left(\frac{\partial N}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial Z} + \frac{\partial N}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial Z} \right) \Delta Z \quad (4)$$

Les fluctuations de N étant proportionnelles à la quantité entre parenthèses, la fonction de structure C_n , caractéristique des fluctuations turbulentes d'indice à petite échelle (3), définie par :

$$C_n^2 = \overline{[n(r + \delta r) - n(r)]^2} \quad (5)$$

est proportionnelle à :

$$\left(\frac{\partial N}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial Z} + \frac{\partial N}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial Z} \right)^2$$

On verra au paragraphe 4-2 comment on peut déterminer C_n^2 .

On montre (voir, par exemple, la référence (3)) que, dans l'hypothèse où la théorie des rayons s'applique, on peut calculer les angles α que font les rayons avec l'horizontale à une altitude quelconque, si l'on connaît le profil vertical de l'indice n .

$$\alpha^2 = \alpha_0^2 + 2 \frac{Z - Z_0}{R} + 2(n - n_0) \quad (6)$$

(les notations sont explicitées sur la figure 1).

Lorsque les distributions de température et d'humidité s'écartent de leurs valeurs normales, les ondes radioélectriques s'écartent de leurs trajectoires normales. Lorsqu'il y a courbure vers le haut, on dit qu'on a un phénomène d'infraréfraction

et inversement, lorsque les trajectoires sont courbées vers le sol, on dit qu'il y a superréfraction.

Dans certains cas, si la courbure des trajectoires est suffisante, les ondes émises par une station située au voisinage du sol sont confinées dans des "conduits atmosphériques". A l'intérieur de ce conduit le champ électromagnétique est plus intense que dans les conditions normales de propagation. Le conduit atmosphérique se comporte comme un guide et peut véhiculer l'énergie sur de très longs parcours dans une couche étroite au voisinage de la surface de la Terre.

3.2 Scintillations d'amplitude et de phase

En l'absence de stratifications atmosphériques on peut observer des scintillations de l'amplitude A et de la phase ϕ du signal radioélectrique provoquées par les fluctuations turbulentes d'indice à petite échelle.

Suivant les valeurs relatives de la quantité $\sqrt{\lambda l}$ par rapport aux valeurs extrêmes l_0 et L_0 de l'échelle de turbulence, on peut évaluer (4) l'intensité des fluctuations de l'amplitude du signal par l'une ou l'autre des relations :

$$\overline{\left(\log \frac{A}{A_0}\right)^2} = 0,32 C_n^2 \frac{2\pi}{\lambda}^{7/6} \times l^{11/6} \quad (7)$$

pour $l_0 < \sqrt{\lambda l} < L_0$

ou
$$\overline{\left(\log \frac{A}{A_0}\right)^2} = (\lambda n)^2 \frac{2\pi^2}{\lambda} L_0 l \quad (8)$$

pour $\sqrt{\lambda l} > L_0$

ou A_0 est l'amplitude du signal en espace libre,
 C_n la fonction de structure de l'indice de réfraction,
 λ la longueur d'onde radioélectrique,
 l la longueur de la liaison et

$(\Delta n)^2$ la variance de l'indice de réfraction.

Les variations de phase entre deux points du front de l'onde distants de x sont données (4) par :

$$\phi(x) = K \frac{2\pi}{\lambda}^2 C_n^2 \cdot l \cdot x^{5/3} \quad (9)$$

où K est un coefficient dépendant des grandeurs de l_0 , x et $\sqrt{\lambda l}$.

3.3 Mécanisme de formation des stratifications de la basse atmosphère

Pendant les premières heures de la journée, par vent faible, la convection résultant du réchauffement par le soleil provoque une homogénéisation de la basse atmosphère qui se poursuit toute la journée et qui se termine peu avant le coucher du Soleil. Dans une telle atmosphère l'indice de réfraction varie à peu près linéairement en fonction de l'altitude de sorte que le gradient de l'indice reste approximativement constant sur une épaisseur de l'ordre de la centaine de mètres. Lorsqu'à des journées ensoleillées succèdent des nuits claires, sans vent, le rayonnement émis par la Terre provoque un abaissement sensible de la température du sol. Il se produit ainsi une inversion de température qui se manifeste par une décroissance de l'indice de réfraction avec l'altitude et par un gradient d'indice fortement négatif. Ces forts gradients apparaissent dans une zone de transition de faible épaisseur (quelques dizaines de mètres) couplée aux inversions de température qui se produisent au sommet de la couche limite atmosphérique où l'inversion de température arrête l'ascendance de l'air humide.

En observant l'évolution de ces inversions de température on peut obtenir des statistiques sur la formation et l'altitude des couches superréfractantes responsables des interférences par trajets multiples.

4 - ETUDE DES STRATIFICATIONS ET DE LEUR EVOLUTION A L'AIDE D'UN "SODAR"

L'enregistrement continu de l'évolution de la couche limite est difficilement réalisable à l'aide des techniques météorologiques conventionnelles qui

fournissent essentiellement des mesures ponctuelles. C'est pourquoi on s'oriente de plus en plus vers des techniques de mesure à distance basées sur la réflexion des ondes électromagnétiques (radars) ou acoustiques (sodars).

En fait, les ondes acoustiques étant beaucoup plus sensibles aux fluctuations atmosphériques que les ondes électromagnétiques (les fluctuations de l'indice de réfraction dans la couche limite sont environ mille fois plus intenses pour les ondes acoustiques que pour les ondes électromagnétiques (5)), on a mis au point pour l'étude de la basse atmosphère des sondeurs acoustiques ou "SODAR" qui peuvent explorer la structure de la turbulence thermique du milieu jusqu'à des altitudes d'environ 700 mètres. Ces SODAR permettent d'obtenir en temps réel sous forme d'échogrammes des données sur la structure et l'évolution de la couche limite. Ces données peuvent être affinées si l'on dispose de mesures fournies par des techniques in-situ classiques.

Les impulsions acoustiques émises par le sodar sont partiellement réfléchies par les inhomogénéités atmosphériques. L'intensité de ces échos sonores est proportionnelle à l'intensité de la turbulence de température de petite échelle. On enregistre généralement ces échos sur bande magnétique ou sur fac-similé.

4.1 Analyse qualitative

- Les échos des thermiques se manifestent sur les fac-similé sous forme de lignes verticales partant du sol. Ils traduisent l'existence de turbulences verticales créées par des instabilités de température.

- Les échos horizontaux dénotent la présence de cisaillements de vent qui jouent un rôle considérable dans le déplacement ou la formation rapide des couches réfractantes lamellaires.

4.2 Analyse quantitative

- A partir d'un fac-similé on peut déterminer directement l'altitude moyenne et l'épaisseur des couches d'échos ainsi que leur évolution au cours du

temps. Avec des impulsions de 100 msec de largeur on obtient une résolution meilleure que 20 mètres.

- Le noircissement du fac-similé étant proportionnel à l'intensité des échos reçus, on peut en déduire la valeur de la section efficace σ de diffusion des ondes acoustiques, d'où l'on tire, dans le cas de sondages verticaux, la fonction de structure de température C_T (3).

$$C_T^2 = \frac{T^2 \lambda^{1/3}}{0,0072} \quad (10)$$

où λ désigne la longueur des ondes acoustiques.

La connaissance de C_T permet d'obtenir les profils de la fonction de structure de l'indice de réfraction C_n qui conditionne la formation et la structure des couches réfractantes.

En effet, on a constaté que l'on trouvait les forts gradients d'humidité et d'indice de réfraction aux mêmes altitudes que les forts gradients de température. Par conséquent lorsqu'on a des conditions stables, la mesure de l'intensité des phénomènes sur les enregistrements fac-similé peut être utilisée pour évaluer l'intensité des conduits atmosphériques en un lieu quelconque. On obtient les profils de C_n en utilisant la relation :

$$C_n = \frac{79P}{T^2} \cdot 10^{-6} C_T \quad (11)$$

5 - PROJET D'ETUDES ASSOCIANT DES LIAISONS HERTZIENNES ET DES SONDEURS ACOUSTIQUES

5.1 Une campagne de mesures préliminaires a été engagée en Novembre et Décembre 1978 afin de dégager les procédures expérimentales qui seront utilisées lors des expériences ultérieures.

Ces mesures consistent :

- d'une part à enregistrer les variations du champ radioélectrique sur les liaisons à 4 et 6 GHz fonctionnant entre Viabon et Sermaise ;

- d'autre part à déterminer à l'aide d'un sodar la hauteur des couches d'inversion de température et la fonction de structure C_n de l'indice de réfraction. Ces mesures sont complétées par les données météorologiques (direction et amplitude du vent, température aux niveaux 3, 6, 12, 24, 48, 72 et 96 mètres, humidité au niveau 12 mètres, pression et taux de précipitation) fournies par le mât instrumenté de 100 mètres installé comme le sodar à Villeau (canton de Voves) ainsi que par les radiosondages effectués par la station de Trappes.

5.2. Durant les mois de Mai et Juin 1979, le département APH procédera à des mesures de champs (amplitude et si possible phase) sur les liaisons Meudon-Bois de Môle fonctionnant à 4, à 6 et à 11,7 GHz. Simultanément le département ETE effectuera des mesures de paramètres atmosphériques à l'aide d'un sodar installé à Cormeilles en Vexin, environ au milieu de la liaison. Ces mesures seront complétées par les données fournies par la station météorologique de Cormeilles.

On analysera les corrélations instantanées entre les échos sodar et les affaiblissements ;

- on établira une statistique du nombre des couches et de leur hauteur au-dessus de l'axe de la liaison pour différentes valeurs de l'affaiblissement ;

- on étudiera la variation du niveau du signal en fonction de l'altitude de la couche.

Dans le cas où l'on observerait une bonne corrélation entre les affaiblissements et la présence des couches d'inversion, le département APH effectuera des mesures de taux d'erreur sur la liaison numérique à 11,7 GHz fonctionnant avec un débit de 216 M bits/sec, et à des photographies de spectre dans une bande de 200 MHz de largeur.

Dans ce cas on procédera en outre à :

- une analyse des corrélations instantanées entre le nombre de couches et leur hauteur et le nombre de rayons qu'on déterminera à partir des déformations du spectre d'un signal modulé qu'on transmettra sur la liaison ;

- une comparaison de la répartition cumulée des gradients moyens du coindice dans la couche où passent les rayons et de la répartition cumulée des affaiblissements ;

5.3 Du 15 juillet au 30 août 1979, les mêmes expériences seront reprises dans la région des Landes sur la liaison MAILLAS-GUILLOS (48 km) fonctionnant à 4 GHz.

La comparaison des résultats des expériences 2 et 3 permettra de se faire une idée sur la validité en des régions différentes des corrélations considérées plus haut.

5.4 Dans la mesure où l'on pourra mettre clairement en évidence des oscillations de la couche d'inversion on établira un programme de calcul des affaiblissements basé sur le tracé des rayons en supposant que la surface supérieure est une sinusoïde séparant deux milieux d'indice différents (6).

6 - PHENOMENES METTANT EN JEU DES HYDROMETEORES

Les hydrométéores peuvent être présents à la fois sur les trajets en visibilité et sur les trajets obliques. Ils se manifestent essentiellement par des affaiblissements et des phénomènes de transpolarisation sur les faisceaux fonctionnant en réutilisation de fréquence.

On relie habituellement l'affaiblissement à l'intensité des précipitations et on attribue la diminution de découplage de polarisation à plusieurs phénomènes dont la non-sphéricité des hydrométéores (7) et leur inclinaison due au vent (8).

La détermination de l'affaiblissement A se fait généralement à partir du taux de précipitation R mesuré à l'aide de pluviomètres en utilisant une relation empirique $A = f(R)$ établie en général de manière statistique en un lieu donné pour une période plus ou moins prolongée

L'utilisation de ce type de relation pour prévoir des affaiblissements en des lieux différents ne donne que des résultats approchés.

Cela est dû à l'imprécision sur les mesures des caractéristiques de la pluie.

En effet, les mesures obtenues à l'aide de pluviomètres dont le nombre est forcément restreint ne rendent pas compte de l'inhomogénéité spatiale de la pluie, ni de sa forte variabilité dans le temps. Qui plus est, l'atténuation due aux nuages, qui devient importante aux fréquences supérieures à 20 GHz, ne peut être modélisée en partant de taux de précipitation mesurés au sol.

C'est pourquoi depuis quelques années on utilise de plus en plus les radars météorologiques qui pallient en grande partie ces insuffisances.

En outre, la possibilité qu'offre le radar de déterminer les dimensions des cellules précipitantes en fait un instrument important dans l'étude de l'amélioration de la qualité due à la diversité de trajet (9).

6.1. Les radars Doppler de ETE

Les radars Doppler à haute résolution de ETE (10) sont des instruments particulièrement bien adaptés à l'étude de la structure des formations nuageuses précipitantes, aux échelles inférieures à la centaine de kilomètres.

Le "RONSARD" est capable d'échantillonner le champ de réflectivité d'une zone précipitante dans un carré de 40 km de côté, à 20 niveaux d'altitude avec une résolution spatiale de l'ordre de 300 mètres en un temps de l'ordre de 3 minutes. Il permet de déterminer la nature des hydrométéores présents sur la liaison, leur facteur de réflectivité Z, le contenu en eau liquide W et les paramètres caractéristiques de la distribution des hydrométéores supposée exponentielle.

6.2 Détermination à l'aide des "RONSARD" des paramètres intéressant la propagation

- Une première méthode consiste à calculer le taux de précipitation R à partir d'une relation empirique du type :

$$Z = aR^b \quad (12)$$

en reliant les mesures de réflectivité aux données obtenues à l'aide d'un pluviomètre.

(On peut s'affranchir de cette relation empirique en faisant des mesures de réflectivité différentielle entre deux polarisations orthogonales du faisceau radar (11).) On calcule ensuite l'affaiblissement par une relation empirique $A = f(R)$

- Une deuxième méthode consiste à déterminer l'atténuation directement en fonction des paramètres caractéristiques de la distribution des hydrométéores (12), par la relation :

$$A_{(dB/km)} = \frac{0,4343 \int (n + 1)}{\alpha^n} C \cdot N_0 D_0^{n+1} \quad (13)$$

où N_0 , D_0 et α sont les paramètres caractéristiques de la distribution supposée exponentielle.

$$N(D) = N_0 e^{-\frac{\alpha D}{D_0}} \quad (14)$$

et C et n deux paramètres dépendant de la fréquence et de la température dont il existe des tables (12).

7 - PROJETS D'ETUDES ASSOCIANT DES LIAISONS HERTZIENNES ET DES RADARS METEOROLOGIQUES

7.1 Pendant le mois d'avril 1979 un radar météorologique sera installé à Trappes et effectuera des mesures de granulométrie et de facteur de réflectivité

sur le trajet oblique OTS-Gometz-la-ville.

Les données ainsi acquises seront utilisées pour calculer les affaiblissements sur la liaison considérée. On s'efforcera notamment de préciser la nature des hydrométéores afin d'étudier les modifications du découplage de polarisation.

7.2 Du 15 juillet au 30 août 1979 les radars de ETE seront installés dans les Landes, l'un entre Saucats et Le Barp et l'autre à Capdarieux. On procédera à des mesures de granulométrie et de facteur de réflectivité au voisinage de la liaison à 13 GHz Guillos-Artigues (32 km) qui doit être installée par la D.T.R.N.

On comparera les affaiblissements mesurés et les affaiblissements calculés à partir des données fournies par les radars.

7.3 Le même type d'expérience sera repris au cours des mois de mai et juin 1980 à Korhogo (Côte d'Ivoire) afin d'étudier les affaiblissements en zone tropicale sur une liaison à 15 ou 20 GHz qui sera réalisée par APH.

REFERENCES

- (1) Recommendation CCIR n° 453
- (2) TATARSKII V.I. - The effect of the turbulent atmosphere on wave propagation. (NAUKA Publishing House, 1967)
- (3) BATTAN L.J. - Radar observation of the atmosphere. (The University of Chicago Press, 1973)
- (4) LANE J.A. - Scintillation and absorption fading on L.O.S. links at 35 and 100 GHz. (Tropospheric Wave propagation - Conference Publication n° 48, 1968)
- (5) SINGAL S.P., H.N. DUTTA, B.S. GERA, K.S. AGGARWAL and M. SAXENA - (Acoustic Sounder - Report 28 - Centre of Research on Troposphere - National Phys. Lab. New-Delhi, 1978)
- (6) GOSSARD E.E. - The reflection of microwaves by a refractive layer perturbed by waves (I.R.E. Trans. on Antennas and Propagation, p. 317, May 1962)
- (7) OGUCHI T. - Attenuation of Electromagnetic wave due to rain with distorted raindrops. J. of the Radio Res. Lab. Tokyo 7, 33-1960.
- (8) SEMPLAK R.A. - Measurements of rain induced polarisation rotation at 3.9 GHz. (Radio Science, 9-4 425, 1977)
- (9) GOLDBIRSH J. - Prediction Methods for rain attenuation statistics at variable path angles and carrier frequencies between 13 and 100 GHz (I.E.E.E. Trans. P. 23, 6 - 786, 1975)
- (10) WALDTEUFEL P., B. NUTTEN et A. SAUVAGET - Les Radars RONSARD (Note Technique CRPE/1003, 1976)
- (11) SELIGA T.A. and V.N. BRINGI - Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarisations for measuring precipitation (J. of Applied Meteorology 15 - 69, 1976)
- (12) ATLAS D. and C.W. ULBRICH - The Physical basis for attenuation rainfall relationships and the measurement of rainfall parameters by combined attenuation and radar methods (J. de rech. atmosphériques VIII 1-2, 1974)

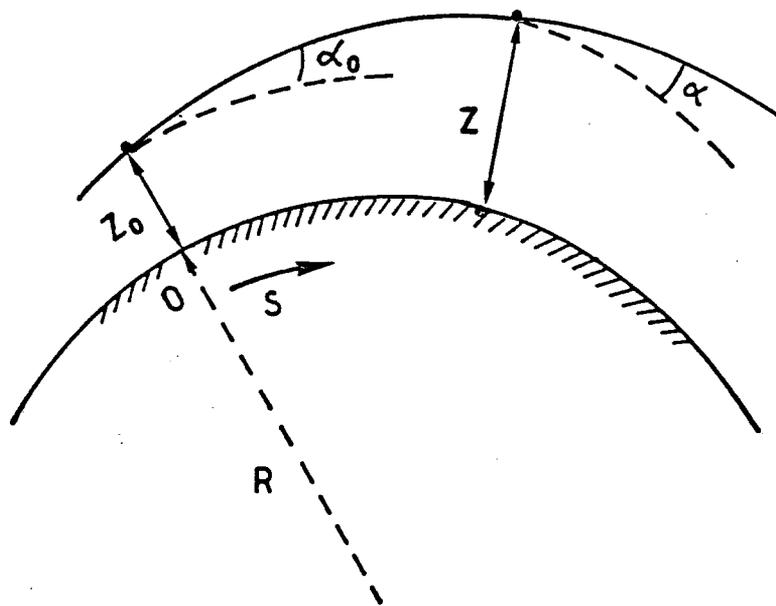


figure 1

CRPE
*Centre de Recherches
en Physique de l'Environnement
terrestre et planétaire*

*Avenue de la Recherche scientifique
45045 ORLEANS CEDEX*

Département PCE
*Physique et Chimie
de l'Environnement*

*Avenue de la Recherche scientifique
45045 ORLEANS CEDEX*

Département ETE
*Etudes par Télédétection
de l'Environnement*

*CNET - 38-40 rue du général Leclerc
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX*