

## Analyse des structures superficielles des sols par imagerie radar : cas de la Dune de Pyla

Gilles Grandjean, Philippe Paillou, Nicolas Baghdadi, P. Dubois, M. Davidson, J. Acache

► **To cite this version:**

Gilles Grandjean, Philippe Paillou, Nicolas Baghdadi, P. Dubois, M. Davidson, et al.. Analyse des structures superficielles des sols par imagerie radar : cas de la Dune de Pyla. Pangea infos, Société Géologique de France, 1999, 31/32, pp.20-22. insu-00958488

**HAL Id: insu-00958488**

**<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00958488>**

Submitted on 12 Mar 2014

**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.

## Analyse des structures superficielles des sols par imagerie radar : cas de la Dune du Pyla

G. GRANDJEAN<sup>1</sup>, P. PAILLOU<sup>2</sup>, N. BAGHDADI<sup>1</sup>, P. DUBOIS<sup>3</sup>, M. DAVIDSON<sup>4</sup>, J. ACHACHE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> BRGM, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2, France. g.grandjean@brgm.fr, n.baghdadi@brgm.fr

<sup>2</sup> Obs. Bordeaux, BP 89, 33270 Flotrac, France. paillou@observ.u-bordeaux.fr

<sup>3</sup> DGA/CEGN, 16bis av. Prieur de la Côte d'Or, 94114 Arcueil, France. pascale@ctme.elca.fr

<sup>4</sup> CESBIO, BP 2801, 31401 Toulouse, France. Davidson@cesbio.cnes.fr

<sup>5</sup> CNES, 2 Pl. M. Quentin, 75039 Paris, France. José.Achache@cnes.fr

### ABSTRACT

*The objective of our work is to quantify the radar system capabilities to penetrate the soils for retrieving their structure and physical properties, especially in arid areas where no vegetation is observed. Data acquisition systems considered are ground-penetrating radar (GPR) and airborne radar, for frequencies ranging from 100 MHz to 900 MHz. First fieldwork results presented here concern the area of the Dune du Pyla. To quantify the performance of GPR on this site, measurements are compared to 2D synthetic radar section. High penetration reached with GPR can be explained by the very low imaginary part of the sand dielectric constant. Backscattering models taking into account both surface and volumic terms show the capability of airborne radar to detect subsurface structures up to several metres depth.*

### INTRODUCTION

Les techniques radar ont été largement utilisées ces dernières années pour ausculter la surface terrestre. Surtout appliqués à l'étude des effets de pente ou à la rugosité de surface, les radars imageurs orbitaux tels que SIR-C/X-SAR, JERS, ERS 1/2 ou RADARSAT fonctionnent généralement à hautes fréquences (>GHz) où la pénétration du signal dans le sol est négligeable (Ulaby *et al.*, 1986). On peut cependant démontrer qu'à plus basse fréquence (<GHz), et dans des zones arides, certains d'entre eux permettent d'accéder aux structures géologiques jusqu'à des profondeurs métriques (Elachi *et al.*, 1984; Abdelsalam & Stern, 1996). Plus performant en terme de pénétration, le radar géologique, dont les antennes sont posées au sol, est techniquement conçu pour ausculter les sols, mais n'offre que peu de rendement en terme de surface auscultée. C'est pourquoi les radars aéroportés offrent des perspectives intéressantes.

Gudmensen (1979) a démontré l'utilité d'un radar sondeur aéroporté pour ausculter les structures internes du Groenland et de nombreux travaux réalisés sur la biomasse montrent aussi l'efficacité de tels instruments (Le Toan, 1992). Cependant, peu de recherches ont été menées sur la thématique sol et notre objectif est d'avancer dans ce domaine.

Notre approche, développée en accompagnement du projet MIMOSA (Bauer & Rémy, 1998), consiste à utiliser le radar géologique pour déterminer la structure et les propriétés diélectriques de sites tests, afin de modéliser ensuite les performances de capteurs radars aéroportés –voire orbitaux– dédiés à l'auscultation des sols. Les travaux suivants constituent les premiers résultats obtenus sur le site de la Dune du Pyla.

### MODÈLES PHYSIQUES

Deux modèles physiques sont utilisés pour simuler les réponses radar. Le premier, basé sur les travaux de Bitri et Grandjean (1998), est dédié au calcul des sections radar synthétiques qui seront comparées aux mesures de radar géologique afin de caractériser le comportement diélectrique du sous-sol. Le second, basé sur les travaux de Paillou *et al.* (1998) reprenant les formulations de Fung (1994), sert à générer, à partir des modèles diélectriques du sous-sol, des images radar qui seront comparées aux images SAR aéroportées.

### SITE DE LA DUNE DU PYLA

Cette dune de sable couvre une aire de 2,5 × 0,5 km et atteint une hauteur de près de 100 mètres. Ce site présente des caractéristiques favorables pour l'auscultation radar à cause de son sable très pur, donc peu atténuant, permettant une pénétration des micro-ondes de plusieurs dizaines de mètres.

Le site a été imagé par des radars orbitaux (SIR-C), aéroportés (AIRSAR, RAMSES), et a été ausculté par radar géologique durant la campagne géophysique de décembre 98. Suivant les conditions météorologiques, la géométrie de la Dune a changé au cours du temps en même temps qu'elle se déplaçait depuis la mer vers la terre. Durant certaines périodes, la végétation se fixait sur le sable en pied de dune, constituant des sols sur lesquels le système dunaire venait prograder lors de périodes d'activité éolienne plus dynamique. Ces paléosols, ainsi que les structures sédimentaires liées à la migration dunaire, constituent des objets détectables par le radar géologique et sur lesquels nous nous appuierons

pour proposer une image structurale de la Dune. Les mesures de radars géologiques ont mis en œuvre des antennes de fréquence 100, 300, 500 et 900 MHz, sur un

profil de 150 m de long, s'étendant depuis la plage vers le toit de la Dune, perpendiculairement à la côte (fig. 1).

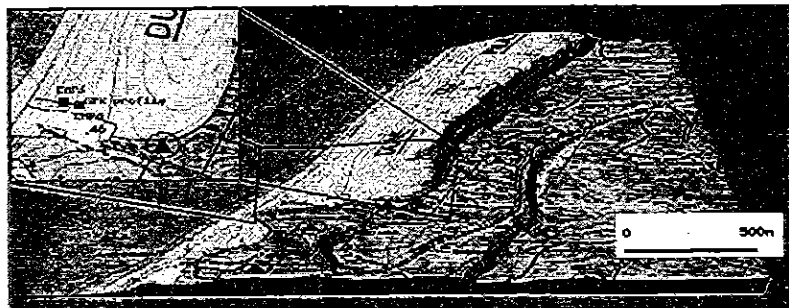


Fig. 1 – Localisation du profil radar et des mesures CMP sur la vue 3D de la Dune du Pyla.

La figure 2a représente une section radar à 100 MHz, traitée avec Radar Unix (Grandjean & Durand, 1999), sur laquelle les structures liées aux paléosols et à la dynamique dunaire sont visibles. En complément, des mesures en mode Common Mid Point (CMP) ont aussi été réalisées afin d'estimer les variations de la vitesse de propagation des ondes radar au travers des différentes couches situées entre les paléosols. Les analyses en Normal Move Out (NMO) indiquent des vitesses moyennes comprises entre 0,12 et 0,15 m/ns dans la Dune, et une vitesse plus faible –0,09 m/ns– dans sa partie superficielle.

L'analyse des sections de radar géologique, ainsi que des mesures CMP ont conduit à estimer le meilleur modèle diélectrique de la dune compatible avec les observations. Ainsi, les structures simulées et visibles sur le radargramme synthétique de la figure 2b sont en

accord avec les données mesurées (fig. 2a) ; il en est de même pour les courbes d'atténuation calculées et observées où le niveau de bruit –60 dB– est atteint pour un temps de propagation de 700 ns environ.

Ces modèles présentent essentiellement une couche superficielle métrique de sable humide ( $K = 20$  ;  $Q = 100$  ;  $\mu = 1$ ) sous laquelle s'empilent des couches de sable sec à grandes stratifications obliques ( $K = 6$  ;  $Q = 100$  ;  $\mu = 1$ ) intercalées entre les paléosols ( $K = 8$  ;  $Q = 10$  ;  $\mu = 3$ ). Ces valeurs indiquent pour le sable sec des permittivités et des conductivités de l'ordre de  $6-0,06$  et  $3000$  Ohm.m respectivement. Les valeurs de conductivité ont été validées par sondage électrique. Ce système constitue la base du modèle de rétrodiffusion qui va permettre de tester les performances de capteurs aéroportés dans le contexte de la Dune du Pyla.

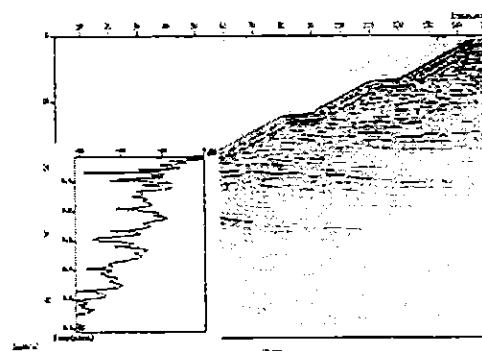
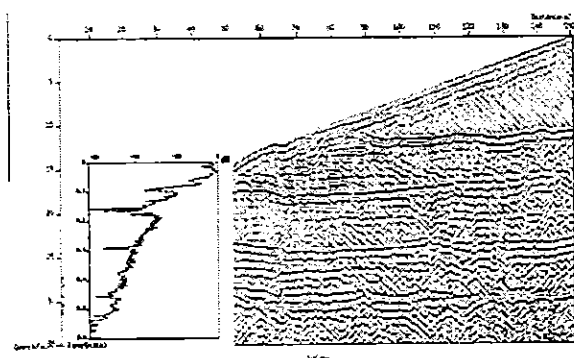


Fig. 2 – (a) profil de radar géologique à 100 MHz (mode monostatique) ; (b) radargramme synthétique à 100 MHz. Sections non migrées et converties en profondeur.

Les figures 3a et 3b montrent l'image de la Dune observée par le capteur AIRSAR en bande L et l'image simulée à partir du modèle de rétrodiffusion défini ci-avant. La simulation a été contrainte par les informations provenant des modèles de radar géologique. On observe à la fois sur les deux images des linéaments orientés parallèlement à la côte. Lorsque l'on simule la

même image à partir du même modèle sans prendre en compte la composante volumique, ces linéaments n'apparaissent pas. Ceci confirme qu'il y a bien dans le signal rétrodiffusé une contribution volumique, et donc une pénétration au moins métrique, qui explique la présence des linéaments comme provenant des structures sub-affleurantes des paléosols.

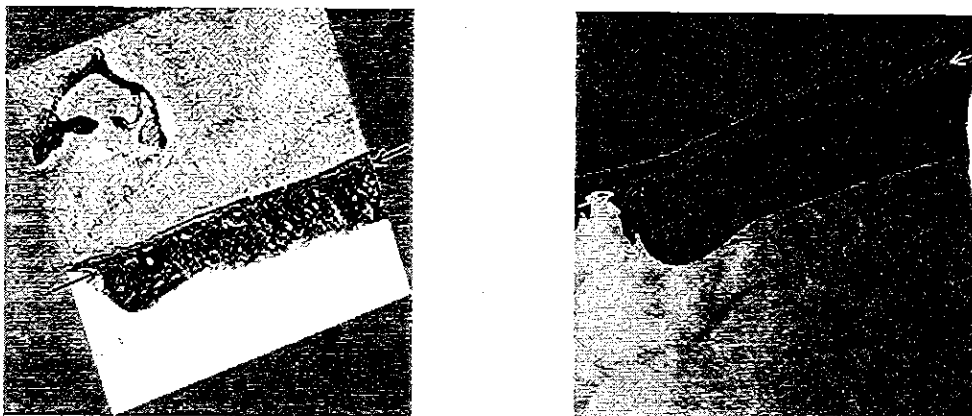


Fig. 3 – Image radar de la Dune du Pyla provenant des données AIRSAR en bande L (a) et simulées à partir du modèle de rétrodiffusion (b).

## CONCLUSION

Nous avons présenté les premiers résultats expérimentaux et théoriques d'une méthodologie visant d'une part à estimer les structures et les paramètres diélectriques des sols, et d'autre part à modéliser les performances en terme de pénétration des capteurs radars aéroportés.

Le premier site choisi, la Dune du Pyla, possède les caractéristiques idéales pour débiter cette étude car le sable est assez résistant, donc peu atténuant pour les ondes radar. Les données de radar géologique montrent en effet que des profondeurs de pénétration de l'ordre de 40 mètres sont atteintes à 100 MHz. Un modèle physique a permis par simulation numérique de quantifier les caractéristiques diélectriques de la Dune. Celles-ci ont servi à contraindre les modèles de rétrodiffusion afin d'étudier la capacité du radar à pénétrer les sols depuis

des capteurs embarqués. Les résultats issus de ces modèles prédisent une profondeur d'investigation de l'ordre de quelques mètres dans le contexte de la Dune du Pyla. Ce travail mérite maintenant d'être enrichi par d'autres études portant sur d'autres sites, représentatifs des problématiques hydrogéologiques ou cartographiques.

## Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement les organismes suivants qui ont financé pour partie ce travail : le BRGM, l'INSU, la DGA/CEGN et l'Agence Spatiale Européenne. Tous nos remerciements vont aussi à l'équipe scientifique regroupée autour du thème Radar Basse Fréquence et à l'équipe de montage du projet MIMOSA pour leur soutien et le JPL/NASA pour la fourniture des images AIRSAR. □

## Références

- Abdelsalam M.G., Stern R.J. (1996) - Mapping Precambrian structures in the Sahara Desert with SIR-C/X-SAR radar: the Neoproterozoic Kerf structure, NE Sudan. - *J. Geophys. Res.*, 101, E10, 23063-23076.
- Bauer P., Rémy F. (1998) - Mapping of antarctic ice and monitoring of sub arctic, arid and semi arid regions. - Projet soumis à l'Agence Spatiale Européenne, 60.
- Bitri A., Grandjean G. (1998) - Frequency-wavenumber modeling and migration of 2D GPR data in moderately heterogeneous dispersive media. - *Geophys. Prosp.*, 46, 287-301.
- Elachi C., Roth L.E., Schaber G.G. (1984) - Spaceborne radar subsurface imaging in hyperarid regions. - *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE22, 4, 383-388.
- Fung A.K. (1994) - Microwave scattering and emission models and their applications. - Artech House Inc. Norwood, MA.
- Grandjean G., Durand H. (1999) - Radar Unix: a complete package for GPR data processing. - *Computers and Geosciences*, 25, 2, 141-149.
- Gudmensen P.E., Jakobsen G.H. (1979) - Radio echo sounding of the Greenland inland ice. - *Bull. European Phys. Soc.*, 5, 2-4.
- Le Toan T., Beaudoin A., Riou J., Guyon D. (1992) - Relating forest biomass to SAR data. - *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 30, 2, 403-411.
- Paillou P., Ansan V., Masson Ph., Souriot Th., Elizavetin I. (1998) - Radar backscattering of arid surfaces from multi-incidence and multi-frequency data: surface and sub-surface imaging. - ADRO-RADARSAT Final Symposium, Montréal, Canada.
- Ulaby F.T., Moor R.K., Fung A.K. (1981-1986) - Microwave remote sensing: active and passive. - 1-3, Norwood Artech House, MA.