

Apport du radar haute-résolution pour la reconnaissance des placages sableux au sahel.

F. Rejiba¹, M. Hermida³, M. Descloitres², O. Ribolzi², C. Camerlynck¹

¹UMR Sisyphé, Université Pierre et Marie Curie

²Unités de Recherche GEOVAST et ECU, Institut de Recherche pour le Développement, BP182, Ouagadougou, Burkina Faso

³Université de Rennes I

Abstract: The ecosystem of Sub-Saharan regions is characterized by small sandy hills, over which the development of vegetation is located. The aim of this work is to present the application of ground penetrating radar for better understanding of their structure at the multi-centimetre scale.

The acquisition was done at Dori (Burkina Faso), where several geophysical and hydrogeological investigations have already been achieved (IRD – Ouagadougou).

We show that the use of a well-defined frequency (here 900MHz), allows a fairly good visualization of the main elements existing in those sandy hills (their bottom, fissures and vegetations roots...). Furthermore, it opens the way for assessing their evolution.

Introduction

Les processus de dégradation en milieu sahélien débutent par une diminution du couvert végétal, favorisant l'action érosive du ruissellement et du vent. Il en résulte une diminution des réserves en eau du sol et une baisse de la productivité. En milieu sahélien, les formations sableuses éoliennes – placages sableux – abritent l'essentiel de la végétation des versants en saison des pluies. Ce sont des milieux sensibles, soumis aux processus d'érosion éoliens et hydriques. L'étude de leur dynamique est une des clefs de la compréhension des phénomènes de désertification.

L'infiltrabilité des sols sahéliens est conditionnée par les organisations de surface. Cependant les placages sableux ont une structure interne complexe héritée de l'interaction entre les phénomènes hydriques et éoliens, structure qui pourrait également jouer un rôle clef dans l'infiltration. En effet, ces placages s'organisent en couches superposées de perméabilité différente. Ils sont parfois scindés en blocs par des fissures propagées depuis l'horizon argileux sous-jacent. En conséquence, l'étude de la structure peut fournir des éléments de réponse quant à leur fonctionnement hydrique. L'analyse pédologique par tranchée étant destructive, l'utilisation du radar à haute fréquence se présente comme une alternative pour étendre les observations ponctuelles.

Cette étude a été conduite sur le site expérimental de Katchari au nord du Burkina Faso. Le paysage subit une forte pression pastorale et présente sur les versants des croûtes d'érosion, de décantation et gravillonnaires. Les placages sableux, de quelques décimètres d'épaisseur, et de quelques mètres carrés à plus d'un hectare de surface, sont isolés au sein des glacis.

Les objectifs de la prospection radar sont les suivants :

- les fréquences de 900 à 1200 MHz peuvent-elles décrire avec suffisamment de finesse les litages ?
- Est-il possible de détecter les fissurations et les structures racinaires majeures des végétaux ?
- Enfin, est-il possible de déterminer les infiltrations lors des pluies ?

Acquisition radar

L'investigation des placages sableux s'est faite avec un radar Pulse EKKO 1000, avec des antennes à 900 MHz et 1200 MHz. Chaque profil radar est doublé d'un profil topographique afin de recalibrer les radargrammes sur la géométrie réelle du placage.

L'acquisition a été effectuée avec un espacement entre traces des 2 cm, et un écartement d'antenne de 17.5 cm afin d'optimiser la résolution horizontale.

L'analyse des vitesses des ondes radar a été réalisée par dispositif WARR classique. Toutes les vitesses calculées sont de l'ordre de 15 cm/ns. Les fréquences d'émission de l'ordre de 1 GHz nous permettent d'évaluer des hétérogénéités de quelques centimètres. Ces fréquences restent cependant insuffisantes pour mettre en évidence les lamines fines millimétriques du placage.

Principaux résultats

Analyse de la stratigraphie

La figure 2 présente le radargramme à 900 MHz sur un placage test sur lequel une tranchée a été faite *a posteriori*, afin de comparer la section radar avec la réalité (figure 1). Le calage topographique n'est que partiellement assuré car la tranchée est décalée de 30cm par rapport à la section radar. Le fond du placage (délimité par le décimètre) est cependant parfaitement visible sur la section radar Fig 2 et se situe en moyenne à 9ns en temps double).

La comparaison des figures 1 et 2 permet de tirer les conclusions suivantes :

- les premiers 15 cm du placage sont masqués par l'amplitude de l'onde directe.
- La stratigraphie principale est nettement soulignée : il s'agit d'interfaces correspondant à des différences notables de granulométrie. En particulier, c'est l'alternance des dépôts grossiers et fins qui semblent être à l'origine de la plupart des réflexions. Il est par conséquent possible grâce à l'image radar de reconstituer l'historique des dépôts successifs (éoliens et hydriques) et d'émettre des hypothèses sur l'infiltration au sein des placages.
- Sur la plupart des placages étudiés, il est possible de détecter leur base argileuse compacte opaque aux ondes radar.
- D'autres éléments apparaissent. En particulier, la figure 3 présente 4 éléments remarquables :
 - a) 2 fissures verticales de grandes tailles.
 - b) Une zone fissurée et une stratigraphie en arcs successifs.
 - c) Une zone avec fissure verticale et décrochement dans la stratigraphie.

Le fait qu'on puisse détecter les zones fissurées est important car ces fissures jouent un rôle clef dans le développement de la végétation en surface. Cette dernière profiterait des fissures pour s'implanter (piégeage des graines et enracinement).

- Sur d'autres radargrammes (non présentés dans ce résumé), on reconnaît des hyperboles de réflexion dues à la présence de racines horizontales (d'un diamètre de 1cm au moins). Ce résultat peut se révéler intéressant pour reconnaître les profils de densité des racines majeures des ligneux.

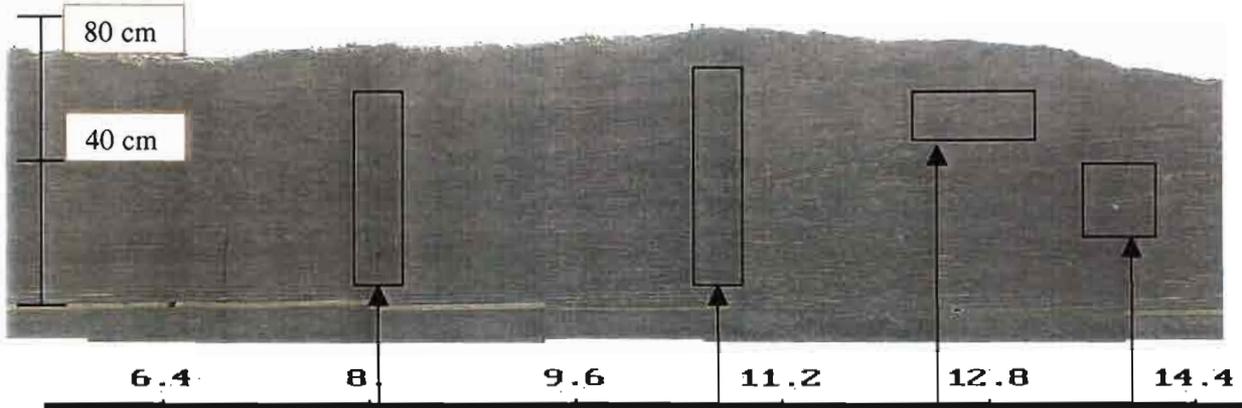


Figure 1 : Photo placage F (axe horizontal en m)

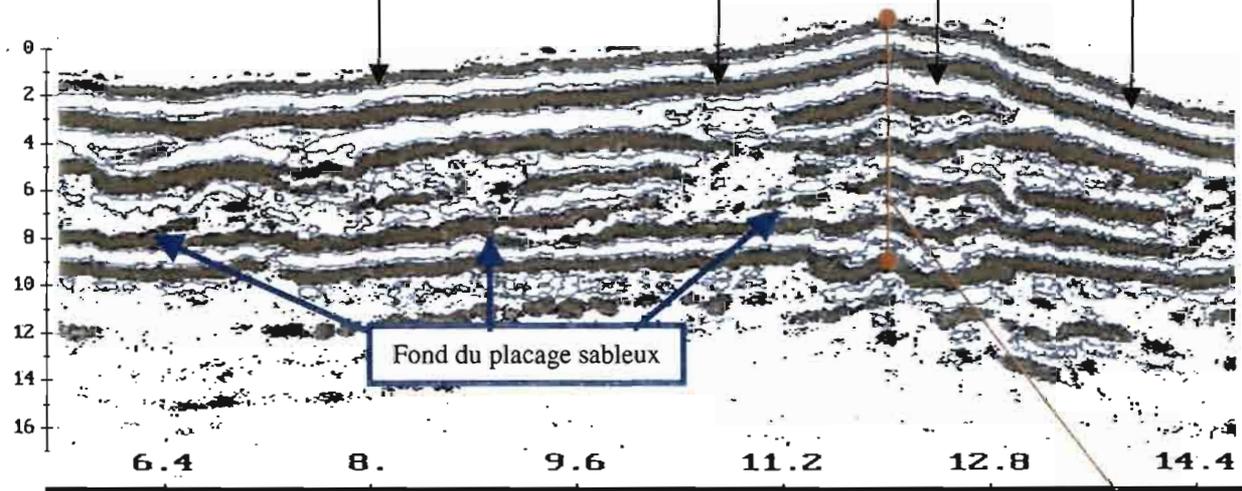


Figure 2 : Radargramme à 900 MHz du placage test F (axe vertical en double temps de parcours en ns – axe horizontal en m)

Profondeur équivalente de 75cm (~ 5ns) pour une vitesse de 15 cm/ns.

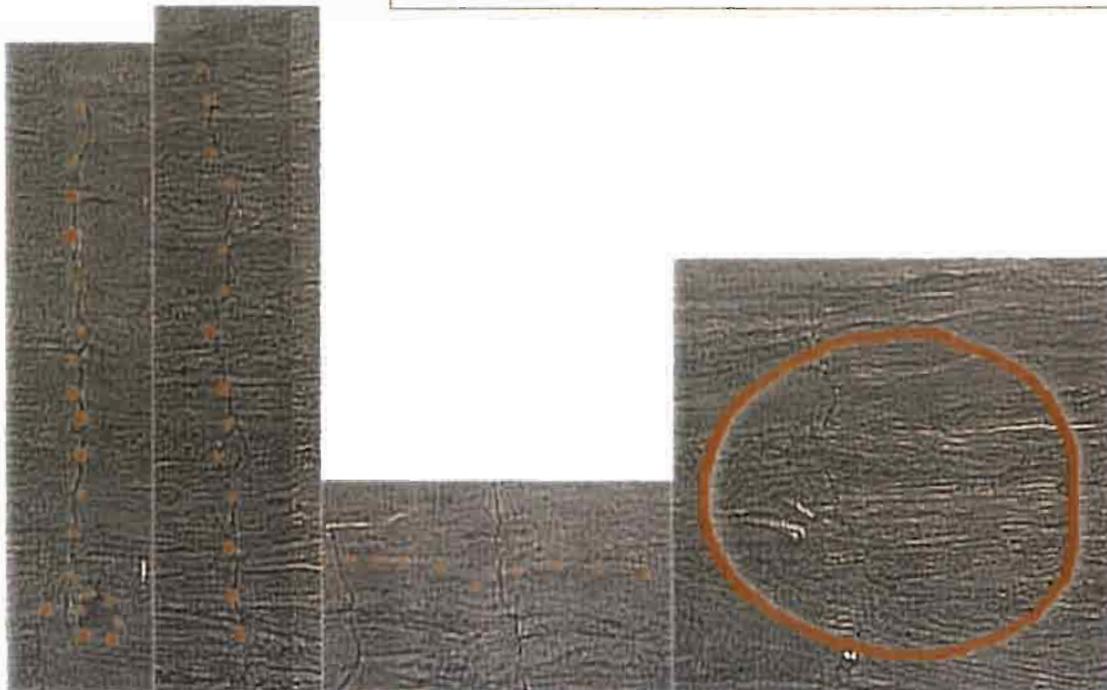


Figure 3 : Zoom des anomalies repérées au radar (encadrés noirs de gauche à droite d'après la Fig. 1).

Reconnaissance 3D des placages de grande envergure

L'intérêt de la technique radar réside aussi dans la possibilité de reconnaître de façon extensive des placages de grande envergure (supérieure à 20 mètres de diamètre). Nous avons étudié un placage à 900 MHz en réalisant des profils en étoile. La figure 4 illustre une première ébauche de la reconstitution en 3D de la stratification. Cela permettra de comprendre l'organisation interne de ces placages (phases d'érosion et de sédimentation).

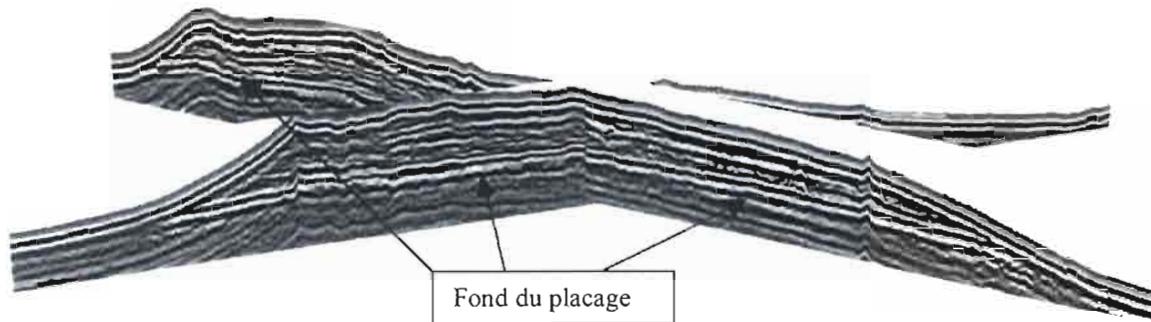


Figure 4 : Reconstitution en perspective de deux radargrammes sur le placage H.

Evaluation des possibilités de détection du front d'humectation

Lors de notre prospection, deux pluies de 7 et 10 mm ont eu lieu. Les fronts d'humectation ont été évalués à l'aide d'un pénétromètre et restent situés dans la tranche 10–25 cm. Aucune information relative à ce front n'est envisageable avec les antennes à 900 MHz dans les premiers 15 cm : soit le front se confond avec l'onde directe, soit le contraste de permittivité ne permet pas une distinction nette de l'interface placage sec-placage humide. Cette dernière hypothèse semble se confirmer dans les parties où le front d'humectation était de 25 cm : aucun réflecteur nouveau n'apparaît sur le radargramme. Le suivi en détail de l'infiltration superficielle (0-30 cm) semble compromis sur ces placages. Une analyse en terme d'amplitude pour les deux états (sec et humide) devrait permettre d'établir une corrélation entre ces amplitudes et la teneur en eau.

Conclusion

1. Analyse stratigraphique : les images radar, obtenues de façon non destructrice, permettent de connaître la stratigraphie grossière des placages. En première analyse, l'onde radar se réfléchit sur les interfaces constituées d'éléments de granulométrie différente. Cette information est très importante pour évaluer les chemins d'infiltration potentiels lors des pluies et pour reconstituer l'historique de la construction du placage.
2. Détection des fissures et racines : les zones de fissures sont parfois révélées, particulièrement lorsqu'elles coïncident avec des décalages dans la stratigraphie. Les racines d'un diamètre supérieur à 1 cm environ peuvent être détectées. Cela est suffisant pour évaluer de façon non destructive les extensions racinaires des ligneux.
3. Suivi de l'infiltration : les tentatives de suivi d'un front d'humectation lors des événements pluvieux se révèlent infructueuses lorsque ce front se situe à des profondeurs inférieures à 25 cm.

En conclusion, le radar haute fréquence se prête bien à l'analyse stratigraphique grossière des microdunes sableuses sahéniennes (éléments de stratification de l'ordre de 5 cm d'épaisseur).

Des fréquences plus hautes pourraient être intéressantes (2 à 10 GHz) afin de mettre en évidence les stratifications plus fines, mais imposeraient probablement un travail de laboratoire sur des fragments de placage, malheureusement difficile à prélever à cause de la faible cohésion de ce type de terrain.

Remerciements : *Cette étude a été réalisée dans le cadre des Unités de Recherche 027 « GEOVAST » et 049 « ECU » de l'IRD, de l'UMR 7619 « SISYPHE » de l'Université de Paris 6, et grâce au financement partiel du PNSE n°99/44 « Interactions entre structures et fonctionnement hydro-bio-géochimique des sols de la zone sahélienne du Burkina Faso ».*