

Apport des données du radar-imageur SIR.C pour la reconnaissance des formations de surface en Tunisie présaharienne

A. SIMONIN¹, P.-F. BUROLLET², A. FOURNET³, J.-F. PARROT⁴, B. SIMON⁵

¹ PRODIG UMR 8586 CNRS, 191 rue Saint-Jacques, 75005 Paris, France.

² CIFEG, BP 6517, 45065 Orléans cedex 2, France.

³ 14 rue Doyen, 95330 Domont, France.

⁴ IRD (ex-ORTSOM), 213 rue Lafayette, 75010 Paris, France.

⁵ CEREGE, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, 13545 Aix en Provence, France.

ABSTRACT

The ability of the multi-frequency and multi-polarimetric SIR-C data, in surface and subsurface formations study, has been tested over three test sites selected in Presaharian Tunisia: El Borma, Chott Gharsa, and Chott Fedjej. The datatakes cover 100 km × 30 to 50 km with C band (5.3 Ghz, 6 cm wavelength) and L band (1.25 Ghz, 24 cm). Over each site, the enhanced images of respective polarisations HH, HV, HV-HH of L and C bands have been analysed, combined in colour-composite sets, and compared with available maps, SPOT and LANDSAT data and field investigations. Preliminary results provide informations on interest of SAR multiple frequency and polarimetry in portraying types of surfaces and subsurface units. The detectability of these features hidden many times by eolian sand is dependent on radar frequency.

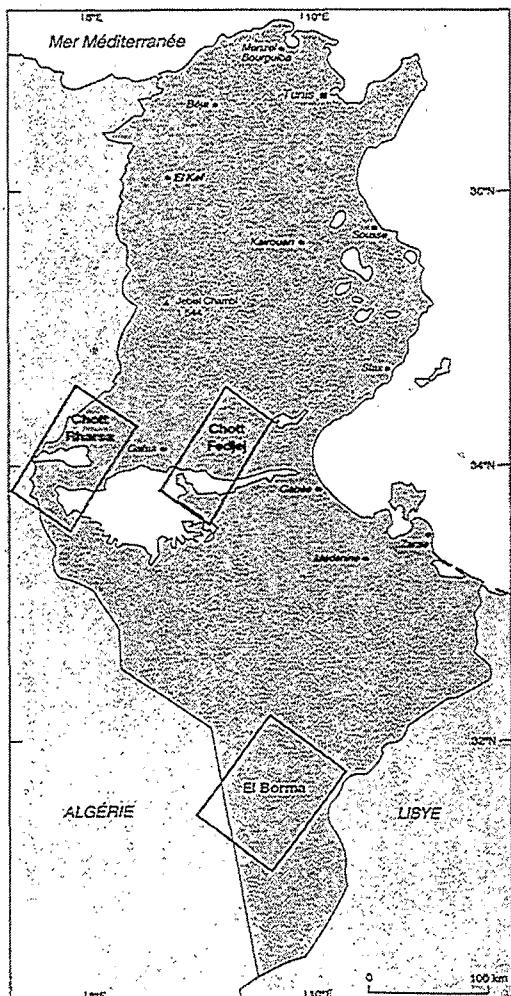


Fig. 1 - Scènes SIR.C
enregistrées sur la Tunisie présaharienne (avril 1994).

INTRODUCTION

En avril 1999, le radar-imageur SIR.C, embarqué sur la navette spatiale Endeavour, a saisi des images en bande C (5.3 Ghz, 6 cm) et bande L (1.25 Ghz, 24 cm), couvrant 100 km × 30 à 50 km sur trois sites représentatifs du Sud tunisien : El Borma, Chott Gharsa et Chott Fedjej.

Au cours des traitements effectués sur ces trois secteurs (J.-F. Parrot et B. Simon), chacune des composantes polarimétriques des bandes C et L ont été extraites de la matrice complexe des données brutes, puis ont fait l'objet d'améliorations de façon à éviter un niveau de saturation trop élevé et éliminer une partie du bruit parfois important. En vue de tirer le meilleur parti des apports liés à la fois aux fréquences et aux polarisations (HH, HV, HH-HV), des combinaisons différentes ont été réalisées sous forme de composition colorées pour chacun des sites.

Aucune superposition des données optiques et radar n'ayant pu être réalisée, les images respectives des polarisations des bandes L et C, ainsi que leurs combinaisons colorées ont fait l'objet de confrontations avec des images Spot ou Landsat, avec les cartes géologiques, et avec les investigations et levés de terrain conduits sur les trois secteurs.

IMAGE D'EL BORMA

Cette image du site le plus méridional, entre Algérie et Libye, typique de la Tunisie saharienne, concerne la partie des plateaux monoclinaux du DAHAR (Crétacé





Fig. 2 - Image SIR.C (D.T. ID. 29.10 El Oued - Avril 1994). Partie orientale du Chott Gharsa (Tunisie). Echelle 1/25 000 environ.
La palmeraie de Nefza sur la rive Nord du chott Djerid est visible au Sud-Est.
Enregistrement en bande L (1,25 GHz) et polarisation HH, se caractérisant par un pouvoir de pénétration des formations sableuses
révélant des édifices éoliens de subsurface, entre les deux chotts.

supérieur), au contact du Grand Erg Oriental. Leur surface, s'abaissant vers le Sud-Ouest, est incisée par un réseau hydrographique subséquent, dont celui de l'oued Jeneien, et traversée par des couloirs parallèles de matériel éolien en provenance du Grand Erg.

Les principaux résultats de l'évaluation

Dans le Grand Erg Oriental, une distinction immédiate de deux familles dunaires : la première formée de dunes massives et plus anciennes (+ ou - 100 000 ans) à l'intérieur de l'erg ; la seconde, sur sa bordure, présentant des édifices moins compacts, plus mobiles, agencés selon une orientation différente, et plus récents, devant correspondre à la dernière période sèche importante vers 22 000 à 20 000 ans (Würm IV). En présence d'ensembles dunaires de grande épaisseur, la pénétration des ondes radar semble inopérante ; elles n'en recensent pas moins des aspects morphologiques mettant en évidence des processus de mise en place différents.

Sur les assises hamadiennes, s'étendant largement vers l'Est, on distingue des Ramlas ou couloirs de circulations de sable, orientés WNW-ESE. L'Erg Jenéien prolonge l'une de ces Ramlas, piégé entre une cuesta calcaire maestrichtienne et le cours moyen de l'Oued Jeneien. Cet erg est posé sur une surface de reg.

La bande L apporte une meilleure discrimination des formations de surface dans ce secteur de l'Oued Jenéien, à l'amont de sa percée en chevron dans la cuesta. La polarisation HH-HV met en évidence des regs sur substratum argileux, ainsi que des croûtes conglomératiques gypseuses ou calcaires sur des épandages fluviatiles, affleurant en rive gauche de l'oued. La polarisation HV met mieux en évidence les regs sur calcaire de l'Abiod (Campanien-Maestrichtien) au revers de la cuesta.

La bande C, peu performante au niveau de la reconnaissance des formations énoncées ci-dessus, identifie mieux les champs de barkhanes, confirmant ainsi sa moindre pénétration des formations éoliennes, même de faible épaisseur comme les Ramlas, dont elle figure, par voie de conséquence, les axes de circulation à la surface des hamadas.

L'ensemble des images de chaque polarisation, particulièrement dans la bande 24 cm, ou de leur combinaison colorée (L.HH-HV, L.HH, C HV), permet de préciser les variations du tracé du réseau hydrographique même lorsque ce dernier est masqué par des ramlas.

L'IMAGE DU CHOTT GHARSA

Le Chott Gharsa, la plus occidentale des grandes dépressions hydro-éoliennes endoréiques, salées, du sud tunisien, se situe à l'extrême ouest des chaînes de Gafsa. L'image montre l'originalité du site : en bordure

nord du chott, des affleurements de Miocène supérieur à évaporites recouverts par l'important cône alluvial à cailloutis pléistocène de l'Oued El Khanga. En rive sud, une structure anticlinale constituée par la formation argilo-gypseuse du Segui supérieur (Messinien probable), séparée de l'anticlinal miocène de Tozeur-Nefta par une zone synclinale sablo-argileuse (Mio-pliocène probable), et masquée par des formations éoliennes où se situent des palmeraies récentes de forme géométrique (réflecteurs en coins).

L'image composite en couleur des bandes L et C permet de distinguer les plages caractéristiques de différentes unités de formations de surface ou de subsurface dans le chott lui-même et sur son pourtour :

- a) voiles éoliens superficiels assez épais, ou sables des épandages de basse terrasse d'oued ;
- b) entre l'anticlinal Nefta-Tozeur et le chott, sables éoliens accumulés en dômes ou nebkas, sur des sols gris subdésertiques ou à encroûtement gypseux ;
- c) sur la voûte mio-pliocène Nefta-Tozeur, formations de sables argileux enrichis en gypse, plus ou moins recouvertes de sols subdésertiques amincis. Cette plage rend compte également d'autres sols subdésertiques minces sur croûte calcaro-gypseuse scellant des épandages sablo-limono-caillouteux en partie amont du grand cône de l'oued El Khanga, et des atterrissages argilo-sableux au débouché de l'oued Melah-Gouifla, dans la bordure orientale du chott ;
- d) sols squelettiques à croûte gypseuse superficielle du glacier 2, équivalent en Tunisie du Sud au Pléistocène supérieur, disposés en auréole autour du chott ;
- e) les formations du chott proprement dit : sols salins de sebkra, argileux à argilo-sableux, avec ou sans croûte saline superficielle. En surface, ce milieu à nappe phréatique peu profonde, lorsqu'il est mouillé, se comporte comme un réflecteur spéculaire vis-à-vis du radar, et de ce fait se trouve traduit en Noir. Cependant, leur état de surface est loin d'être homogène : des épandages sableux se rattachent au type a), et des fonds argilo-sableux au type c) en des teintes plus intenses.

Les palmeraies, positionnées obliquement par rapport au capteur, rétrodiffusent la totalité du signal (signature en blanc).

Sur le plan de la géologie de surface, la bande L (HH-HV) se révèle la plus discriminante et offre une meilleure pénétration que C (HH-HV) :

- à l'intérieur même du chott Gharsa, et dans sa partie orientale, mise en évidence d'une part, de bancs de roche en place parallèles correspondant aux couches



Fig. 3 - Image SIR.C enregistrée simultanément à celle de la figure 2.
Enregistrement en bande C (5,3 GHz) et polarisation HV, apportant des informations différentes de celles de la figure 2 relatives aux formations, à l'Est du chott, au débouché de l'oued El Melah.

sédimentaires de l'enveloppe externe de l'anticlinal du Miocène supérieur (Segui), dont le cœur est évidé et ennoyé par les formations du chott (type e) ; d'autre part, d'épandages sableux provenant de l'oued Melah, dissimulés sous la croûte salée superficielle. Ces éléments apparaissent ici beaucoup plus nettement que sur les documents optiques ;

- au nord du chott Gharsa, le grand cône de déjection de l'Oued El Khanga présente une différence nette entre un secteur aval hétérogène (Miocène supérieur sub-affleurant et dépôts de cailloutis pléistocènes) et une zone amont encroûtée homogène. Le radar révèle entre les deux un contact rectiligne qui devrait correspondre à une discontinuité structurale (hypothèse à vérifier) ;
- au sud du chott, dans la partie synclinale, une partie de la couverture sableuse éolienne n'est pas recensée bien que constituée de ramlas orientées E-W et d'édifices alignés SW-NE, visibles sur les photos aériennes. Par contre, le substratum « interagit » selon sa nature : argiles évaporitiques, avec quelques bancs de gypse (Segui) au nord ; sables argileux mio-pliocène au sud.

IMAGE DU CHOTT FEDJEJ-DJEBEL CHEMSI

Ce site traverse le chott Fedjej, large vallée au sein d'un anticlinorium formé de Crétacé inférieur formant le bras oriental du chott El Djerid, depuis Seftimi sur sa rive sud-ouest, en remontant vers Bir Rekeb et le Djebel Achichina au nord.

L'évaluation conduite ne permet de faire état que de premiers résultats provisoires, avec la mise en évidence au moyen de la bande L (HH-HV), des unités suivantes :

- dans la cuvette du Chott, présence de sols salins à croûte saline en son centre, sous lesquels apparaît un large et plat chenal fluviatile, qui n'avait été vu ni en surface, ni sur les images optiques ;
- les glacis périphériques de Seftimi et Bir Rekeb caractérisés en surface par une croûte gypseuse (glacis 2 ou Pléistocène supérieur) ;

- au nord, entre la chaîne du Cherb et celle de Bou Hedma, les plaines alluviales montrent sur les images SIR des anomalies morphologiques qu'il faudra étudier.

CONCLUSION

Ces premiers résultats obtenus au moyen des données du radar-imageur SIR.C, sur des sites représentatifs des différents environnements de la Tunisie présaharienne et saharienne, montrent la contribution des enregistrements SAR multibandes et multipolarisations, complémentaire de celle des images optiques, pour la caractérisation et l'inventaire de grandes unités des formations superficielles en milieu aride :

- d'une part, en apportant une information sur les phénomènes de subsurface, par leur pouvoir de pénétration des zones sableuses ou des pellicules salées sèches des chotts ;
- d'autre part, en assurant une meilleure discrimination des états de surfaces, du fait de leur sensibilité aux différences de rugosité, qu'il s'agisse des formations géologiques, des glacis, des terrasses et épandages alluviaux.

Cette évaluation permet de préciser les rôles respectifs de chacune des fréquences, la bande L se révélant toujours plus performante que la bande C, et les polarimétries HH-HV ou HH plus discriminantes que HV pour ces deux bandes. Le test serait à compléter au moyen de saisies faites sous des angles d'incidence différents, pour juger de l'information résultant de variations de rugosité concernant les mêmes formations.

Remerciements

Cette investigation a été réalisée dans le cadre du Programme d'évaluation géologique des données de la mission SIR.C/X.SAR « Surface and Subsurface Responses from Documented Test Site Localities in the Sahara... » dont le Dr Gerald G. Shaber (US Geological Survey-Flagstaff, AZ) était l'investigateur principal. Les auteurs le remercient, ainsi que les Dr J. McCauley et C. Breed (US Geological Survey-Flagstaff, AZ) pour leur avoir confié cette recherche. □

Bibliographie

- Ballais J.L., Burollet P.-F., Fournet A., Harran H., Parrot J.-F., Simon B., Simonin A. (1998) - Contribution des données RSO à la reconnaissance des environnements arides, actuels et hérités, en Tunisie saharienne. - Recueil des Actes du colloque international « L'observation spatiale : un outil pour l'étude du bassin méditerranéen », Tunis, 23-27 novembre 1998, CNES éd.
- Shaber G.G., McCauley J.F., Breed C.S. (1997) - The use of multifrequency and polarimetric SIR-C/X-SAR data in geologic studies of Bir Safsaf, Egypt. - *Remote Sens. Environ.*, 59, 337-363.