

Apport des données satellite SAR ERS-1, SPOT et Landsat TM pour la cartographie géologique de la région de Reggane (Algérie)

Omar BENAMER* et Jean CHOROWICZ**

* Département Géologie, Direction des Etudes et Synthèse, Division Exploration SONATRACH,
2 Rue Capitaine Azzoug H. Dey (Algérie).

** Laboratoire de Géologie-Géomorphologie Structurale et Télédétection,
UPMC Paris VI, 4, place Jussieu 75252 Paris Cedex (France).

Résumé : L'analyse et l'interprétation des images SAR-ERS 1 et optiques LANDSAT TM et SPOT, a permis de compléter la carte géologique de la région de Reggane.

Cette région est caractérisée par une structure plissée au cours de l'orogénèse hercynienne. La zone d'étude comprend des formations infracambriennes plissées, paléozoïques discordantes sur les précédentes et méso-cénozoïques discordantes sur l'ensemble.

Cette étude a notamment mis en évidence un pli isoclinal déversé dans la formation infracambrienne, des failles affectant les terrains récents et trois structures subcirculaires dans la partie orientale du Tanezrouft.

Mots clés : Structures plissées - Structures subcirculaires - Effet de pénétration radar - Failles - Pli isoclinal - Cartographie géologique - Sahara - Paléozoïque - Télédétection.

The contribution of data satellite SAR ERS-1, SPOT and Landsat TM on cartography of Reggane region (Algeria)

Abstract : Analysis and interpretation of ERS1-SAR, LANDSAT TM and SPOT images have permitted us to update the geologic map of Reggane region (Sahara).

This region is characterized by a folded structure belonging to the Hercynian orogeny. The studied area comprises folded units of Infracambrian age, Palaeozoic rocks unconformably lying upon the preceding units and covered by unconformable Meso-Cenozoic layers.

This study has discovered an isoclinal fold in the Infracambrian unit, faults affecting Recent terrains and three circular structures in the eastern Tanezrouft.

Key words : Folded structures - Circular structures - Radar penetration effects - Faults - Isoclinal fold - Geologic mapping - Sahara - Palaeozoic - Remote Sensing.

1. INTRODUCTION

Dans la perspective du projet de cartographie géologique de l'Algérie, nous avons évalué les possibilités respectives des images Landsat TM, SPOT et SAR ERS-1 pour dresser des cartes détaillées. La zone-test choisie est la région de Reggane, caractérisée par une structure plissée, bien affleurante, à relief peu élevé et plat.

Les scènes qui couvrent la zone sont deux scènes du SAR ERS-1 prises le 20.04.1990 dans les mêmes conditions référencées frame 3087 et 3069 orbite 3989, une scène Landsat TM du 23.01.1991, path et row 196-42, couvrant une grande partie (2/3) de la zone et une scène SPOT XS du 12.11.1989, K-J 51.296 couvrant la partie nord de la zone d'étude.

Ce travail consiste à cartographier les différentes formations géologiques, observer des structures non signalées par les travaux antérieurs, notamment les structures cachées par les dépôts superficiels, en utilisant l'effet de pénétration de l'onde radar ou les propriétés spectrales de Landsat TM, et à étudier les principaux systèmes de fractures.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située sur la bordure nord-est du Tanezrouft (Sud de l'Algérie) et représente la terminaison sud-est des chaînes d'Ougarta (fig. 1). Elle est localisée à la limite de deux zones structurales fort différentes : à l'Ouest, le craton Ouest Africain, qui comprend le bouclier Réguihat, un domaine stable depuis plus de 2000 MA (Bessoles, 1977), et à l'Est la chaîne pharusienne (partie occidentale du bouclier Touareg), édifiée au cours de l'orogénèse panafricaine (600-550 MA) (Caby, 1970). Une zone d'accidents majeurs subméridiens, que l'on peut suivre sur près de 4000 km depuis l'Anti-Atlas, passant par la bordure

orientale du Tanezrouft et, se continuant vers le Sud, constitue la zone de suture entre le craton Ouest Africain et le bouclier Touareg.

La région est composée d'un socle cristallin qui affleure dans les boucliers Réguihat (Eglab) et Touareg (Hoggar). La couverture sédimentaire est représentée par trois ensembles structuraux : le Précambrien, le Paléozoïque et le Méso-Cénozoïque (fig. 2). Le Précambrien correspond à une assise volcano-sédimentaire infracambrienne, discordante sur les séries cristallines, et surmontée par les dépôts cambriens.

Le Paléozoïque est transgressif et discordant sur le substratum précambrien et composé de roches terrigènes ou carbonatées en alternance, déposées au Cambro-Ordovicien, Silurien, Dévonien et Carbonifère (Fabre, 1976). Le Mésozoïque est composé d'évaporites, de marnes, de grès et d'argiles appartenant au Jurassique et au Crétacé (Mottas et Tichie, 1977). Le Cénozoïque et le Quaternaire sont largement répandus dans la région. Ils sont représentés par des sables et grès grossiers à ciment argilo-carbonaté, à intercalations de conglomérats, d'argiles et de calcaires (Conrad, 1969).

Les manifestations magmatiques connues sont des dolérites d'âge jurassique, affleurant sous forme de dykes, filons et corps stratiformes. La zone d'étude est affectée par des failles normales orientées N-S, NE-SW et NW-SE.

3. TRAITEMENT DES DONNEES

3.1. Traitement des données SAR ERS-1

Le traitement des données SAR ERS-1 consiste à :

- 1- lire la bande magnétique enregistrée en 16 bits en bande magnétique;
- 2- faire un calcul statistique de la dynamique;
- 3- compresser l'image en 8 bits avec retournement de celle-ci;

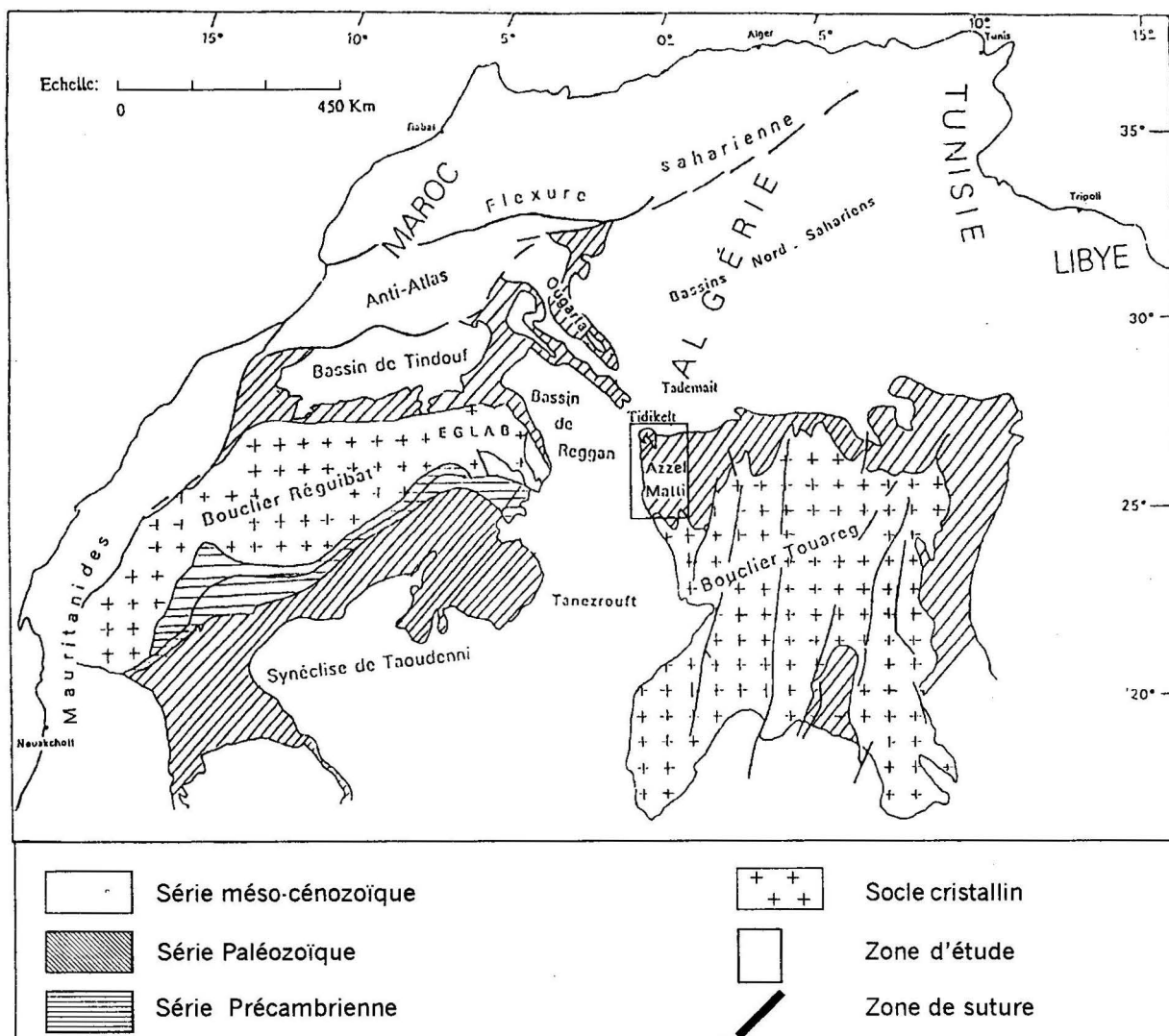


Fig. 1 - Carte géologique schématique de l'Afrique du Nord - Ouest (d'après Beuf et al., 1971 modifiée)
Schematic geological map of north west of Africa

- 4- faire le multivue (multilook) de 2 (un calcul de lissage pour diminuer le scintillement ou speckle);
- 5- faire une sortie image sur l'appareil Vizir.

3.2 Traitement des données optiques

Pour avoir le maximum d'information à partir des scènes SPOT XS et Landsat TM et profiter de leurs avantages spectraux, nous avons réalisé des compositions colorées. Nous avons également

mis en oeuvre différents traitements pour créer des pseudocanaux que nous avons combinés avec les canaux originaux. Chaque composition colorée apporte une information supplémentaire pour le photo-interprète.

Les différents traitements effectués pour obtenir les pseudocanaux sont : l'analyse en composante principale, dans le but de réduire la corrélation entre les canaux de sortie par la transformée de Hotelling (Bonn et Rochon, 1992); la conversion RVB-ITS (IHS) consiste à remplacer la

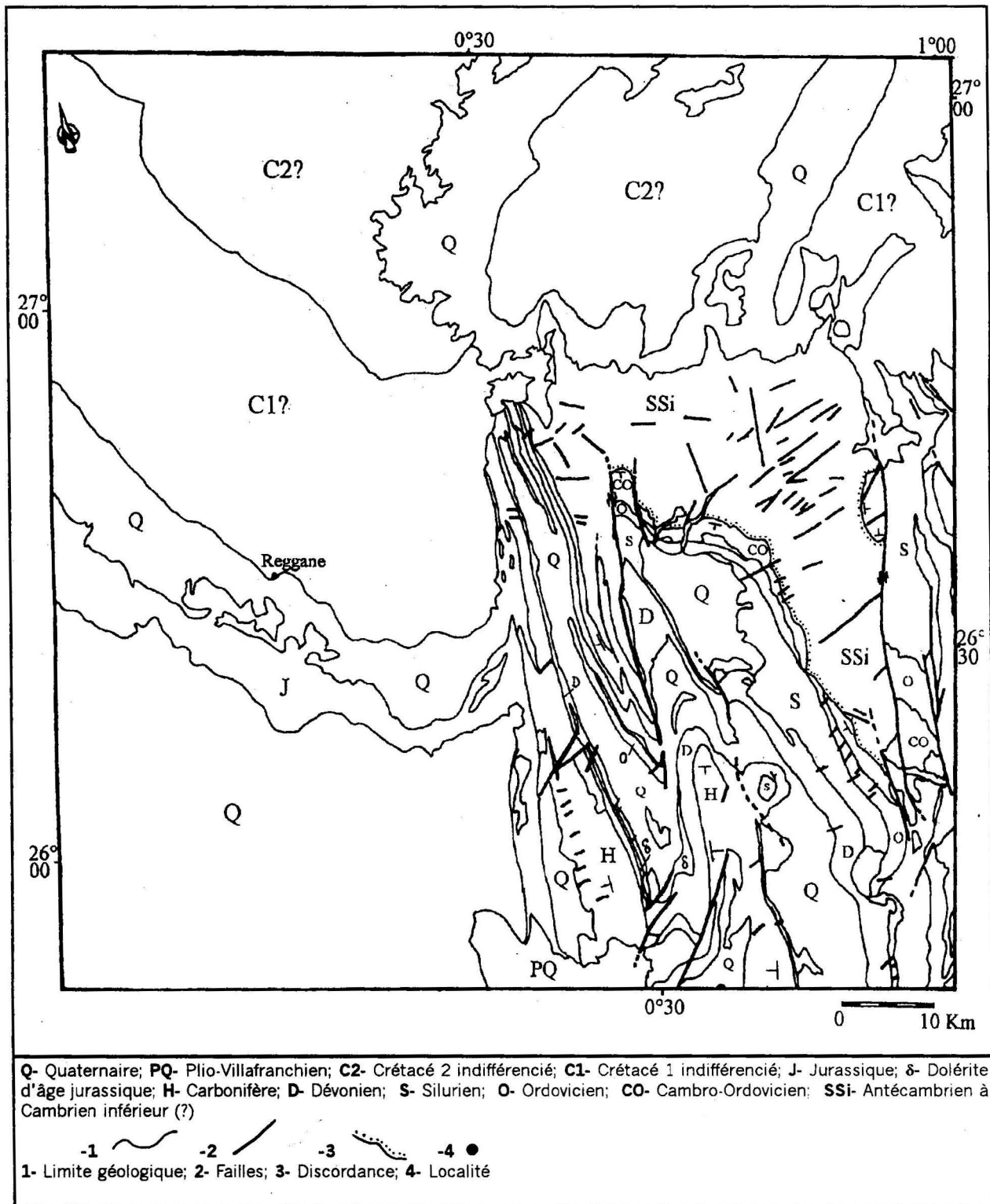


Fig. 2 - Carte géologique de Reggane (d'après Benamer, 1994 simplifiée)
Geological map of Reggane (from Benamer, 1994 simplified)

couleur définie par une combinaison de rouge, vert et bleu (système RVB) par une couleur définie par une superposition de trois paramètres, l'intensité, la teinte et la saturation (systèmes ITS ou IHS).

Les compositions colorées sont des images en couleurs obtenues en superposant trois canaux ou néocanaux respectivement aux trois couleurs fondamentales rouge, vert et bleu.

4. ANALYSE DES IMAGES

4.1 Images SAR ERS-1

Les informations obtenues sur les images dans les conditions désertiques ne sont généralement pas celles de la surface du sol mais d'une certaine profondeur de l'ordre de quelques centimètres au mètre (effet de pénétration de l'onde radar). L'information la plus importante mise en évidence par les images est l'apparition de structures plissées cachées par les dépôts quaternaires (SC sur fig. 3). Ces structures correspondent au prolongement de la formation infracambrienne plissée (Nord-Est de la zone d'étude).

Nous pouvons suivre les bancs géologiques sans trop de difficulté et dessiner les terminaisons périclinales. Il est possible également de reconnaître le sens de pendage des bancs (fig. 4). Des failles, d'orientation N-S et NE-SW, sont visibles sur les images.

Dans le Sud de la zone d'étude, apparaissent sur l'image radar trois formes sub-circulaires alignées E-W (S sur la planche 1), qui correspondraient selon J. Fabre à des buttes témoins (*communication orale*).

Nous voyons nettement les formations du Crétacé discordantes sur les formations paléozoïques et infracambriennes. La discordance du Cambro-Ordovicien (CO) sur la formation infracambrienne est mise en évidence par les traces lithologiques (fig. 4).

Les sifs et les petites dunes de sable visibles sur l'image SPOT (D sur fig. 3) n'apparaissent pas sur l'image, et l'étendue des cordons dunaires apparaît sensiblement plus réduite que leur taille réelle.

4.2 Image SPOT

La scène SPOT couvre la partie nord de la zone d'étude. Les 4/5 du territoire couvert par la scène sont représentés par le reg (dépôts crétacés et quaternaires), le reste par des affleurements de roches infracambriennes et paléozoïques.

Nous pouvons reconnaître sur l'image (fig. 4) la discordance du Paléozoïque sur la formation infracambrienne et la discordance des dépôts quaternaires sur l'ensemble. Les différences radiométriques entre les terrains permettent de délimiter les dépôts de même radiométrie, qui possèdent en général la même composition lithologique.

Les failles qui ont affecté la formation infracambrienne, apparaissent bien sur l'image. Le réseau de drainage est bien visible sur cette formation (fig. 3 et 4). Nous pouvons également observer les traces lithologiques (traces de banc) et estimer l'étendue des dunes et sifs de sable.

4.3 Image LANDSAT TM

Nous avons examiné les sept canaux de la scène pour avoir une première idée sur l'apport de chaque canal du visible, de l'infrarouge et du thermique indépendamment des autres. Chaque canal apporte un renseignement supplémentaire sur la texture, la structure, les alignements ou encore sur l'aspect du relief.

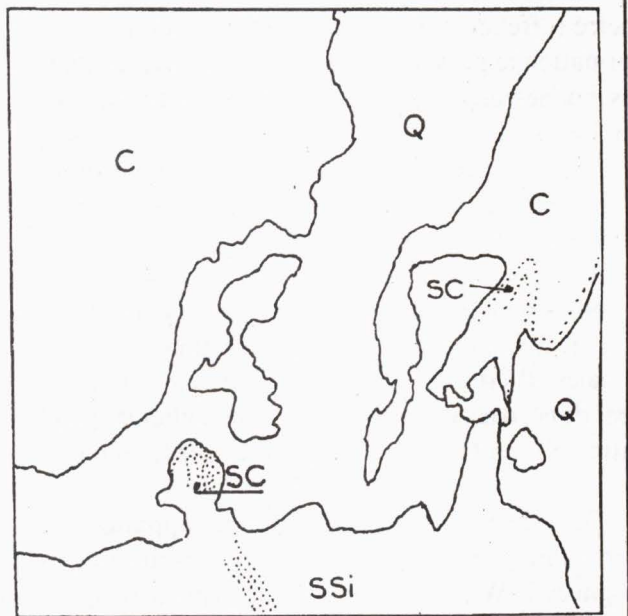
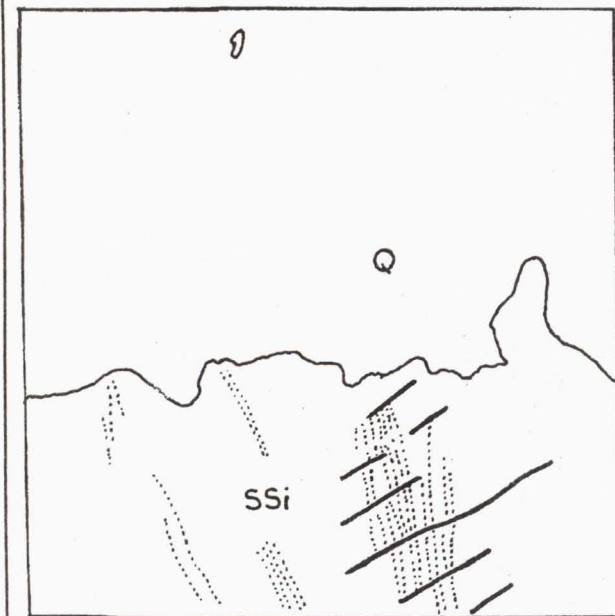
Les canaux du visible (1, 2 et 3) font ressortir les différents terrains par leur réponse spectrale ce qui facilite la tâche du photo-interprète pour



SPOT



ERS



Q- Quaternaire
 C- Crétacé
 SSi- Infracambiran
 SC- Structure cachée

0 5Km

Limite géologique

Limite des bancs

Faillie

0 5Km

Fig. 3 - Apport des images SPOT et SAR ERS-1 dans les formations alluvionnaires au Nord de la région d'étude. L'image SAR ERS-1 met en évidence les structures cachées
The contribution of the SPOT and SAR ERS-1 pictures in the alluvials formations in the North of the study area. The SAR ERS-1 picture highlighted the hidden structures

reconnaître les formations et pouvoir les délimiter (Planche 1 canal 3). La texture du sol est bien mise en évidence. Les failles les plus importantes, notamment celles qui passent à l'Ouest de l'affleurement Carbonifère qui peut être suivi vers le Sud, sont visibles sur l'image (F sur planche 2). Le réseau de drainage est assez bien dessiné grâce au remplissage des lits par le sable éolien (RD sur planche 1).

Les canaux du moyen et proche infrarouge (4, 5 et 7) permettent d'observer les réseaux de drainage. La texture du relief est bien représentée, les failles et linéaments sont bien visibles. Le canal 7 fait bien apparaître la forme du relief mais, il n'y a pas d'information dans les zones de sebkha (SB sur planche 2).

Les renseignements obtenus à partir du canal thermique sont limités, à cause de la résolution de 120 m. Néanmoins, nous pouvons bien reconnaître les pistes de voiture qui peuvent être prises pour des failles (planche 1, canal 6).

Tous les canaux montrent les structures sub-circulaires déjà mises en évidence sur l'image SAR ERS-1.

4.4 Apports spécifiques du radar par rapport aux images optiques

Apports

- L'effet de pénétration de l'onde radar permet de mettre en évidence des structures cachées (SC) par la couverture sédimentaire (fig. 3).
- L'image radar a permis de reconnaître un pli isoclinal déversé (P) (fig. 4).
- Une structure linéaire, orientée NE-SW, subparallèle aux dunes de sable a été mise en évidence dans la formation crétacée (fig. 5)

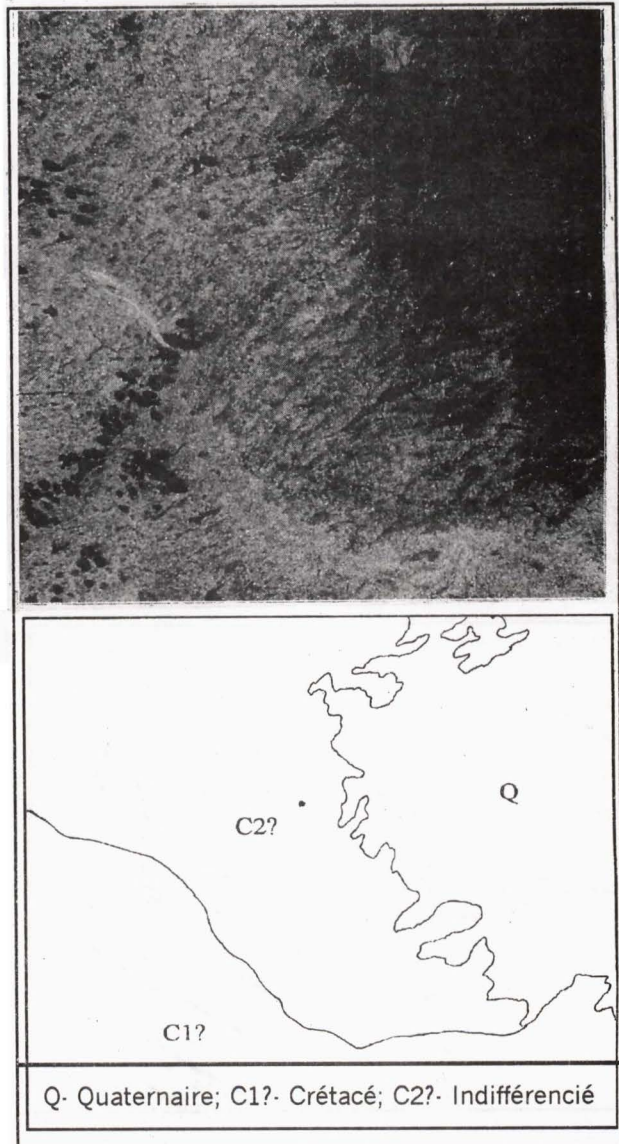


Fig. 5 - Interprétation de la formation crétacée en C1 et C2 à partir de l'image SAR ERS-1
Interpretation of the cretaceous formation in C1 and C2 starting from the SAR ERS-1

- Le radar permet de reconnaître des pendages.
- Les discordances du Paléozoïque sur la formation infracambrienne et des sables quaternaires sur l'ensemble des terrains ont été précisément cartographiés.

Problèmes

- L'image radar donne l'impression que les dunes de sable sont plus petites qu'elles ne le sont en réalité. Elle fait disparaître les sifs et les voiles sur les formations qui peuvent servir de repère.

- La texture de la surface obtenue sur l'image radar ne reflète pas exactement la surface du sol. On peut avoir des informations qui n'existent pas en surface.

- Sur l'image radar, nous ne pouvons pas reconnaître les failles qui affectent un terrain sableux.

5. CONCLUSION

La cartographie géologique des régions désertiques à relief relativement plat et où l'on note une absence d'effet de rabattement, s'avère efficace à partir des images SAR ERS-1.

Les images optiques, Landsat TM et SPOT, permettent de résoudre certains problèmes tels que l'observation de failles sur les terrains à composition sableuse, la délimitation des formations lithologiques où encore l'évaluation de l'étendue des dunes. Il y a donc complémentarité avec l'image radar. Les différents traitements (ACP, conversion RVB-ITS) appliqués aux images optiques et radar ont permis d'observer des structures qui n'apparaissent pas sur les images brutes.

Les compositions colorées ont fait ressortir des structures subcirculaires et des failles qui affectent les dépôts plio-villafranchiens et quaternaires au Sud de la zone d'étude.

La mise en évidence de deux formations différentes par leurs textures sur l'image radar est très importante pour la recherche minière. Cette différence de texture laisse supposer que nous avons une variation lithologique qui peut être importante pour la mise en évidence de placers.

BIBLIOGRAPHIE

- BENAMER, O., 1994.** Apport des données ERS-1 et optique pour la cartographie géologique de la région de Reggane (Algérie). *Mém. DESS Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI)*.
- BESSOLES, B., 1977.** Le craton ouest-africain. *Mém. Bur. Rech. Géol. et Min.*, Paris, 88, 403p.
- BEUF, S., BIJU-DUVAL, B., DE CHARPAL, O., ROGNON, P., GARIEL, O., BENNACEF, A., 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuités, évolution structurale d'un craton. *Publication de l'IFP. Collection «Science et Technique du Pétrole» N°18.* Editions Technip. 459p.
- BONN, F., ROCHON, G., 1992.** Précis de télédétection. Vol. 1. Principes et méthodes. UREF. ISBN2-7605-0613-4. *Presses de l'Université du Québec.* 421p.
- CABY, R. 1970.** La chaîne pharusienne dans le Nord-Ouest de l'Ahaggar (Sahara central, Algérie) ; sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. *Thèse Etat Univ. Montpellier*, 336p.
- CONRAD, G., 1969.** L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara Algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). *Editions du CNRS.* 507p.
- FABRE, J., 1976.** Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. *Editions SNED Alger.* p.422.
- MOTTAS, C ET TICHIE, G., 1977.** Mésozoïque du Sahara. *Rapport Sonatrach*, inédit, 28 p.

PLANCHE 1

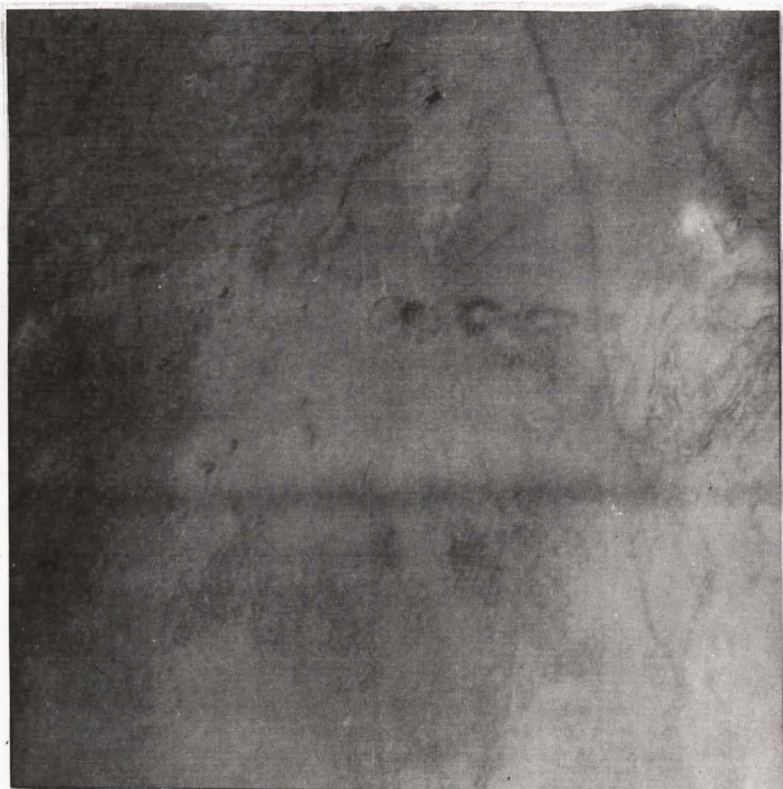
Secteur sud-est de la zone d'étude dans le Tanezrouft oriental.
Extraits du canal 3 du visible, du canal 6 du thermique de la scène
Landsat TM et de la scène radar SAR ERS-1

APPORT DES DONNÉES SATELLITE SAR ERS-1, SPOT ET LANDSAT TM POUR LA CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

PLANCHE 1



Canal 3



Canal 6



ERS 1

PLANCHE 2

Secteur sud-est de la zone d'étude dans le Tanezrouft oriental.
Extraits du canal 4, 5 et 7 du moyen et proche infrarouge de la scène Landsat TM

PLANCHE 2



Canal 4



Canal 5



Canal 7