

## Apport de données multisources dans l'étude hydrogéologique du bassin de Tindouf

L.W. Kébir<sup>1</sup>, H. Mahi<sup>1</sup>, A. Bennia<sup>1</sup>, A. Saad<sup>1</sup>, Z. E. Zebbar<sup>1</sup>, A. Dif<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre des Techniques Spatiales, Département Observation de la Terre

Arzew - Algérie

Email : wahib\_kdz@yahoo.fr, hmahi@cts.asal.dz, redabennia@gmail.com,

a\_z\_saad@yahoo.fr, zebbar\_zino@yahoo.fr, adif@usa.com

**ملخص:** احتياجات الموارد المائية، لا سيما في المناطق القاحلة هي عامل أساسي في التنمية الاقتصادية وتحسين الظروف المعيشية للسكان وتحقيق استقرارهم. ندرة المياه السطحية ناتج أساسا إلى الظروف المناخية الخاصة وهذا ما يقودنا نحو التنقيب عن المياه الجوفية. هذا الاستكشاف يتطلب إتقان العديد من المعلومات أهمها الجيولوجية الهيدروجيولوجية والجيومورفولوجية. استخدام بيانات الاستشعار عن بعد هو الحل الأمثل وهذا راجع لقدرتها على تغطية مساحات شاسعة وتبسيط الضوء على العديد من المعلومات الهيدروجيولوجية من علاجات محددة أجريت على بيانات الأقمار الصناعية.

فيما يخص حوض تندوف، ان استخدام صور الأقمار الصناعية منها البصرية والرادارية، لقد سلطت الضوء على العديد من المعلومات الرئيسية في الدراسة الهيدروجيولوجية كاستكشاف عن الكسور، الخصائص الصخرية، واستخراج شبكة نظام الأودية... إلخ وقد تم دمج البيانات الجيوفيزيائية الجيولوجية، ومنسوب المياه الجوفية مع المعلومات الناتجة من صور الأقمار الصناعية ذلك لتشكيل قاعدة بيانات جغرافية وتطوير خريطة للمياه الجوفية المحتملة في منطقة الدراسة.

**الكلمات الأساسية:** المناطق القاحلة، والهيدروجيولوجيا، بيانات الاستشعار عن بعد، قاعدة البيانات الجغرافية.

**Résumé :** L'accès aux ressources en eaux, notamment dans les zones arides, constitue un facteur essentiel dans le développement économique et l'amélioration des conditions de vie de la population et leur stabilisation. La rareté des eaux de surfaces du essentiellement aux conditions climatiques particulières, nous oriente vers la prospection des eaux souterraines. Cette prospection nécessite la maîtrise de plusieurs paramètres essentiellement, géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques. L'utilisation des données d'observation de la terre est une solution intéressante de par sa capacité à couvrir de vastes territoires et de mettre en évidence plusieurs paramètres hydrogéologiques à partir de traitements spécifiques effectués sur les données satellites.

Pour le cas du bassin de Tindouf, l'utilisation des images de télédétection optiques et radar a mis en évidence plusieurs paramètres essentiels dans l'étude de prospection hydrogéologique tel la fracturation, la lithologie, l'extraction du réseau hydrographique.... Les données géophysiques, géologiques, et piézométrique ont été

intégrées avec les informations issues des images satellites afin de constituer une base de données géographique et d'élaborer la carte de potentialités en eaux souterraines de la région d'étude.

**Mots clés:** Zones arides, hydrogéologie, données de télédétection, base de données géographique.

### Abstract

The access to water resources, particularly in arid areas is an essential factor in economic development and improvement of living conditions of the population and their stabilization. The scarcity of surface water due mainly to climatic conditions, we directed towards the exploration of groundwater. This exploration requires several parameters essentially, geological, hydrogeological and geomorphological. On the other hand, the use of remotely sensed data is an interesting solution due to their ability to cover huge areas and to highlight several hydrogeological parameters using specific treatments.

In the case of Tindouf Basin, the use of optical and radar remote sensing images showed several key parameters in the exploration hydrogeological study such as, fracturing, lithology, extraction of river system .... The geophysical, geological, and underground water have been combined with information derived from satellite images to form a geographic database and to develop the potential groundwater map related to the study area.

**Key words:** arid area, hydrogeology, remotely sensed data, geographic data base.

### 1. Introduction

L'étude concerne le bassin de Tindouf qui appartient au sous bassin hydrographique de Saoura-Tindouf. Cette entité géographique, située au Sud Ouest du pays se caractérise généralement par des similitudes sur le milieu. Cette étude vise une stratégie de prospection des ressources en eaux souterraines en contexte saharien.

L'objectif est d'identifier des sites pour l'implantation de forages capables de satisfaire la demande en eau. Nous traiterons les conditions générales de la recharge, selon les critères géologiques de la région d'étude. De ce fait, l'utilisation des données satellitaires optiques et

Radars (multi spectrales, multi capteurs et multi dates) permettra, d'une part, la mise en évidence de nouvelles informations (géologiques et structurales) sur la région, et la compréhension du fonctionnement des contextes hydrogéologique et géomorphologique d'autre part. Par ailleurs, l'objectif assigné est, l'évaluation, la quantification et la qualité des informations qu'apportera ce type de donnée dans la cartographie lithologique et structurale. La méthodologie proposée s'appuie, d'abord sur une approche d'évaluation puis de cartographie des eaux souterraines. Ceci à partir de l'analyse des facteurs majeurs régissant la potentialité des aquifères dans ces zones. Cette dernière s'est réalisée par l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques dans lequel nous avons introduit différentes couches d'informations décrivant les différents paramètres à savoir le réseau hydrographique superficiel, le MNT, la fracturation et la géologie. Cette étude a permis la classification de la région en trois niveaux descriptifs quant à la potentialité en eaux souterraines. La zonéographie est établie sur la base d'informations géophysiques, géologiques, piézométrique ainsi que les données issues des images satellites, telles le réseau hydrographique superficiel, le MNT, et la fracturation.

La détection et l'évaluation des eaux souterraines sont des applications complexes de la télédétection du fait que les paramètres caractérisant les systèmes hydrogéologiques ne sont pas visibles directement sur les images satellites. C'est pour cela que l'identification des eaux souterraines à partir d'indicateurs de surface, comme, les caractéristiques de la végétation, la nature des sols, les écoulements, l'humidité du sol, ainsi que la géologie (fracturation et lithologie), sont essentielles pour la prospection hydrogéologique.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Description du Site d'étude

Tindouf est une wilaya de l'extrême ouest de l'Algérie, Elle est limitée au nord par le Maroc, au nord-est par la wilaya de Béchar, à l'ouest par le Sahara occidental, à l'est par la wilaya d'Adrar et au sud par la Mauritanie. Sa superficie est de 159 000 km<sup>2</sup>.

La wilaya de Tindouf a la particularité d'être la wilaya algérienne qui a le plus petit nombre de communes et de daïras : elle n'est constituée que de deux communes :

Tindouf et Oum el Assel, qui forment ensemble l'unique daïra de Tindouf. Sa population est estimée, en 2010, à 59 898 habitants. Les coordonnées géographiques de la commune au point central de son chef-lieu valent respectivement 27° 40' 00" Nord et 8° 09' 00" Ouest. La ville de Tindouf est située à l'extrême ouest de la région désertique de la Saoura, au sud de la hamada du Draâ et au nord-ouest de l'Erg Iguidi.

Tindouf a un climat désertique chaud typique de la zone saharienne hyper-aride, c'est-à-dire du cœur du Sahara, avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et modérément chauds. Le climat y est largement hyper-aride et extrêmement sec toute l'année puisque les précipitations annuelles moyennes sont environ de 35 mm. La sécheresse y est encore plus accentuée durant l'été où l'on enregistre 0 mm de précipitations entre mai et juillet. A des occasions exceptionnelles, des orages violents peuvent se produire à cause de masses d'air plus frais venant du nord qui rencontre les masses d'air brûlant venues directement du désert surchauffé pendant la journée. En été, la chaleur est extrême et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales sont supérieures à 45 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais tournent plutôt autour de 50 °C entre juin et septembre. Les températures sont très agréables et élevées en hiver et les températures minimales moyennes avoisinent 5 °C. La température moyenne journalière annuelle avoisine 25 °C à Tindouf.

### 2.2 Données satellitaires et exogènes

Nous disposons dans le cadre de cette étude d'images PALSAR d'ALOS, ASAR d'ENVISAT ainsi que des images ETM+ de Landsat acquises en 2007. Les images optiques permettent une cartographie de l'occupation du sol alors que les images radar permettent la cartographie des linéaments mais aussi d'avoir des informations sur la lithologie après leur fusion avec les données optiques. Les images radar ont nécessité plusieurs prétraitements avant de pouvoir être exploitables.

Nous disposons aussi de données altimétriques ASTER de 30 m de résolution pour l'extraction de la pente et le réseau hydrographique, des données de forages ainsi que des données géophysiques. La méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude est présentée dans la Figure 1.

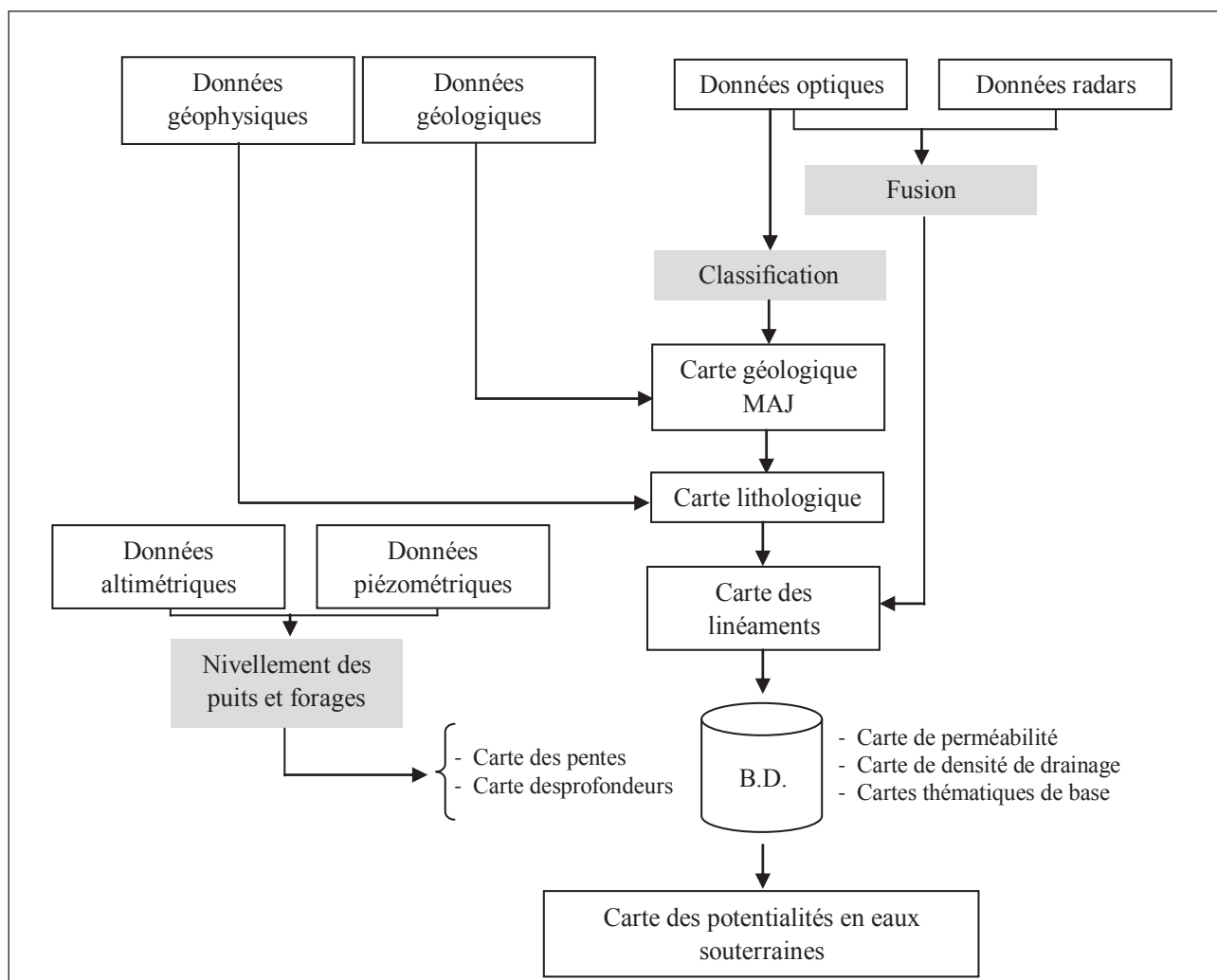


Fig. 1 Organigramme de la méthodologie adoptée.

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1 Photo-interprétation à partir de la fusion de données Radars et optiques

La fusion effectuée entre les données optiques ETM+7, ETM+5, ETM+2 et la donnée HV de la bande L du capteur ALOS par la méthode intensité-teinte-saturation (ITS), a permis d'avoir une meilleure qualité visuelle sur le plan lithologique et structural, en effet, les différents faciès lithologiques sont bien discriminés. Cette fusion

a aussi permis d'observer une stratification des couches sédimentaires au niveau de l'anticlinal, le réseau hydrographique primaire est mieux contrasté que sur les données optiques. La figure 2 illustre le résultat de cette fusion. Nous ne concluons que la polarisation HV (même constat pour la polarisation VV) permet une meilleure discrimination de la lithologie dans les zones arides et semi-arides.

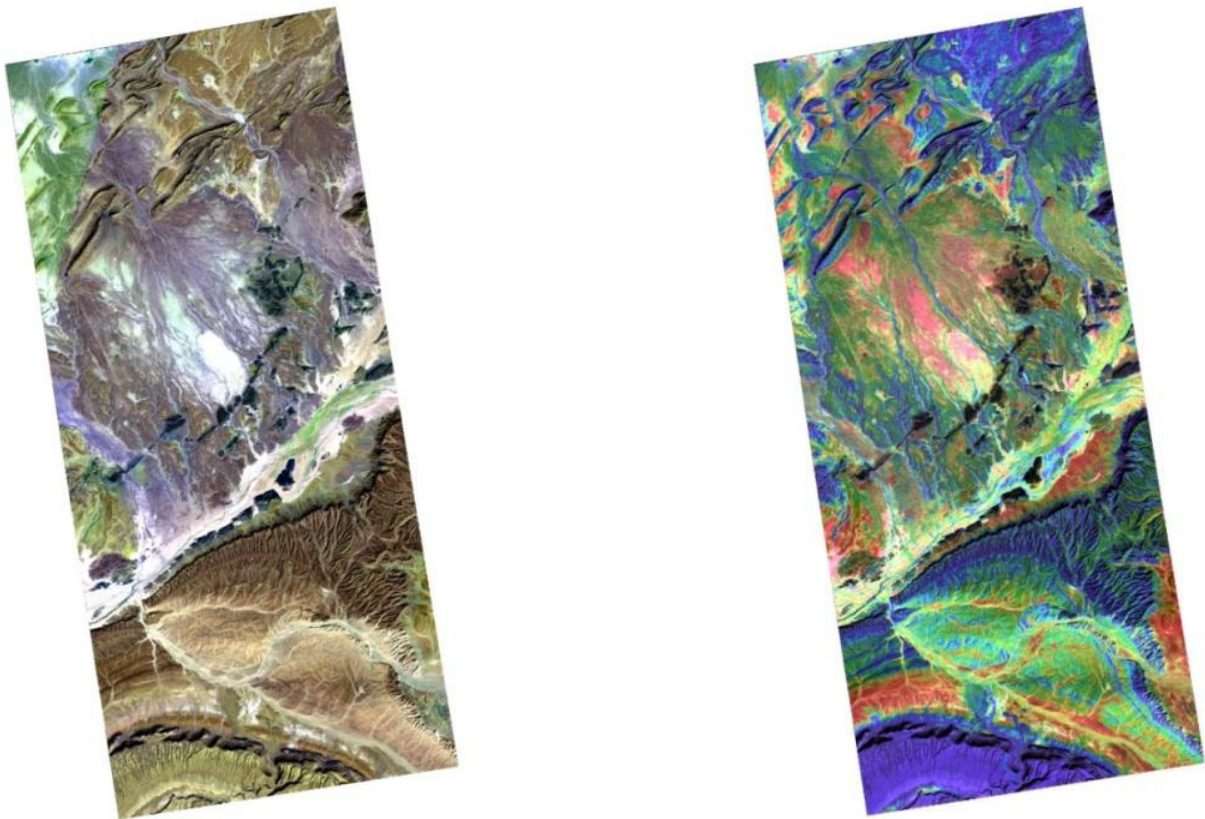


Fig. 2 Composition colorée ETM+7, ETM+5 et ETM+2 à droite, Fusion données optiques – donnée LHV à gauche.

### 3.2 Classification des données ETM+ de Landsat

Afin de cartographier les principales classes géologiques, une classification supervisée par l'algorithme de maximum de vraisemblance a été effectuée sur les images ETM+ de Landsat avec un nombre d'échantillons égale à six (les classes choisies correspondent aux classes des formations géologiques de la carte de Hollard). Les résultats obtenus montrent une assez bonne corrélation entre les réponses spectrales relatives aux échantillons sélectionnés et les classes géologiques avec une légère confusion. Cette confusion est due principalement au fait que quelques classes géologiques sont associées à deux réponses spectrales différentes sur les données optiques. Afin de lever ces confusions, la classification a été complétée en utilisant la carte géologique réalisée par le Centre des Techniques Spatiales pour le compte de l'ANGCM (figure 3) et plus particulièrement, la partie relative au quaternaire et à l'affleurement du Viséen supérieur.

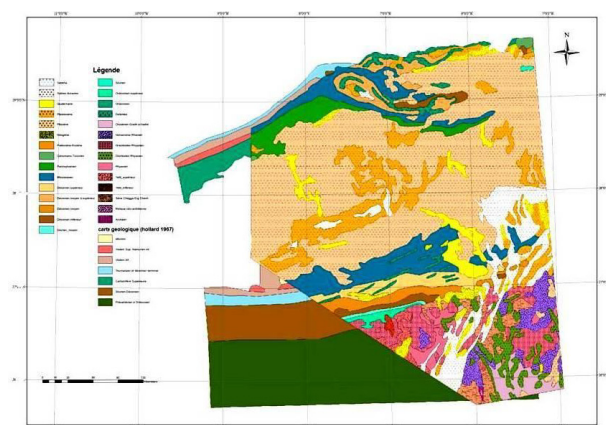


Fig. 3 Carte géologique complétée.

Aussi, le recoupement des données géophysiques, la carte géologique schématique de Hollard, les données de forages, ainsi que la classification supervisée à partir des images ETM+, a permis de mettre en évidence le Viséen supérieur recouvert au sud par la Hamada de Tindouf et aussi au nord-ouest et au nord-est. Au Nord au niveau de Djebel Ouarkiz, nous retrouvons le silurien et le dévonien qui ne révèlent pas de bonnes potentialités hydrogéologiques. D'après les études géophysiques réalisées nous avons le Tournaisien et le dévonien terminal qui ne sont pas aquifères, alors que le Viséen supérieur l'est mais avec une qualité d'eau très salée par endroit (d'après des données de forages ANRH), il se peut que le Viséen au contact des carbonatées en contre haut puisse donner l'essentiel de salinité à cette eau.

### 3.3 Analyse hydrologique

Toujours à partir des images ETM+ de Landsat, une première cartographie du réseau hydrographique a été réalisée. Ce dernier révèle de bonnes potentialités hydrologiques. On remarque trois écoulements principaux : un écoulement bien hiérarchisé au contact des structures qui véhiculent un volume d'eau important, un écoulement hiérarchisé au contact de sols perméables, mais véhiculent moins d'eau, et enfin un écoulement mal hiérarchisé qui véhicule peu d'eau, c'est la zone de rupture de pente, il devient un réseau « lâche ». La carte du réseau hydrographique est donnée par la figure 4

Mise à part quelques zones restreintes, il n'existe aucun cours d'eau permanent. Les écoulements d'eau sont souvent endoréiques n'atteignant pas l'Océan et les exutoires des eaux sont généralement les sebkhas. Le réseau hydrographique est surtout développé au Nord du bassin drainant les zones montagneuses. Aussi, le bassin de Tindouf est caractérisé par l'endoréisme. C'est un grand bassin fermé d'une taille importante avec un prolongement est-ouest sous forme ovale. Son principal exutoire est la sebkha de Tindouf, elle est alimentée par un réseau hydrographique développé uniquement sur la partie nord du bassin. Le réseau hydrographique paraît intéressant en amont du bassin et moins important au centre et en aval. Le principal oued est celui de l'Oued el Maa, qui est formé de deux importants tributaires qui drainent la partie nord du bassin de la zone frontalière avec le Maroc.

### 3.4 Analyse hydrogéologique et géophysique

S'agissant du site d'étude, nous assistons à un cas d'aquifères peu profond à profond, cette étude s'est basée essentiellement sur l'aspect linéamentaire, morphologique telles que les structures plissées (synclinaux, anticlinaux... etc.) et géologiques (lithologie et perméabilité). En l'absence d'une couverture géologique sur l'ensemble du bassin de Tindouf, l'ANRH a effectué une étude géophysique sur des sites bien ciblés, cette étude pourrait révéler les sites d'implantation de forage supposés potentiels.

Les études géophysiques par sondages électriques réalisées

durant la période 1976 à 2009 (figure 5) ont permis de déterminer les formations géologiques susceptibles d'être aquifères sur les points sondés. Parmi les formations aquifères rencontrées, nous avons celles du Complexe Terminal (CT) ou Hamada. Par contre les autres formations telles que le Carbonifère inférieur, le Dévonien inférieur, le Cambro-ordovicien et l'Infracambrien peuvent être aquifères dans le cas où elles affleurent et si les conditions hydrogéologiques le permettent. La campagne de prospection géophysique, réalisée par l'ANRH, a permis de sélectionner des sites potentiellement intéressants du fait de leur contexte géologique et de leur potentiel hydrogéologique identifiée. Par ailleurs, les campagnes de prospection géophysique ont permis de mettre en évidence la géométrie ainsi que la résistivité des formations.

Des études géophysiques par sondage électriques réalisées en 1976 ont concerné deux sites, le premier couvrant la région de Tindouf ville (Sebkhet Abdellah) et le second les régions de Gara Djebilet et Aouinet Legraa. De 2001 à 2009, l'étude géophysique a permis la réalisation de forages (figure 6) de reconnaissance sur 06 sites (Hassi Abdellah (forage Bouguerfa), Hassi Khebbi, Oum El Assel, Hamada de Tindouf et Fort Lotfi) et cela afin d'identifier les formations géologiques traversées et localiser et celles potentiellement aquifères. Ces forages ont capté les formations du carbonifère (viséen inférieur), du complexe Strunien-Tournaisien, du dévonien inférieur et enfin de l'ordovicien supérieur, toutes pas aquifères ou à débit très faibles.

Le synclinal paléozoïque de Tindouf se situe à l'extrême SW à la frontière avec la Mauritanie. Les principaux aquifères identifiables sont ceux du hamadien inférieur et des calcaires dolomitiques du Viséen supérieur situés au nord de la région d'étude, des grès du cambro-ordovicien et du dévonien de moindre importance situés au sud (Idrotecn, 1979). Les eaux souterraines constituent la seule ressource en eau de la région. La rareté des précipitations fait également que les nappes citées sont peu ou pas rechargées. De ce fait une étude hydrogéologique locale a été réalisée par la SONAREM de 1975 à 1977 entre Gara Djebilet et Aouinet Legraa, a permis de dégager les terrains potentiels tels La Sebkha Abdellah, les Hamada Aroueida et Gara Djebilet. Tous les forages effectués traversent le Viséen, le dévonien et l'ordovicien. Dans cette région, nous distinguons la nappe Hamadienne, la nappe des calcaires et de dolomies, parfois fissurés, qui fournissent l'essentiel de l'eau de Tindouf. Dans le secteur de Gara Djebilet, la formation des grès renferme une nappe d'eau douce.

Dans la région de Tindouf, l'exploitation actuelle des nappes Hamadienne et surtout Viséenne entraîne une vidange accélérée de ces réservoirs. Du point de vue hydrogéologique, six formations sont susceptibles d'être aquifères, il s'agit de la nappe Hamadienne du tertiaire continentale, de la nappe du complexe westphalien du tertiaire, de la nappe du Viséen supérieur, du carbonifère,

de la nappe du dévonien inférieur, de la nappe du cambro-ordovicien et enfin de la nappe de l'infra-cambrien.

Nous remarquons par ailleurs, qu'à la lumière de l'étude de la fracturation réalisée à partir de l'imagerie satellite qu'un réseau de faille important pourrait recouper ces formations réservoirs. Il est possible que ces structures tectoniques facilitent l'interaction entre le réseau hydrographique et l'eau souterraine beaucoup plus dense au nord.

### 3.5 Interprétation structurale

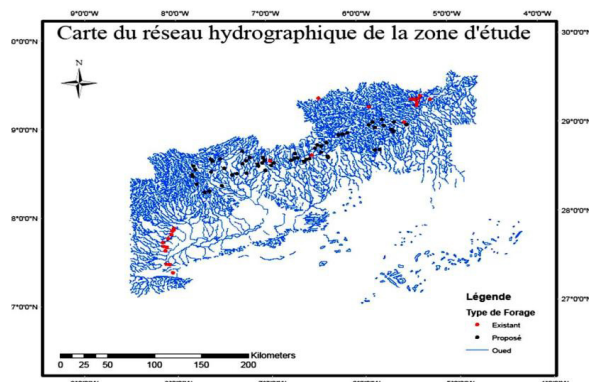


Fig. 4 Carte du réseau hydrographique.

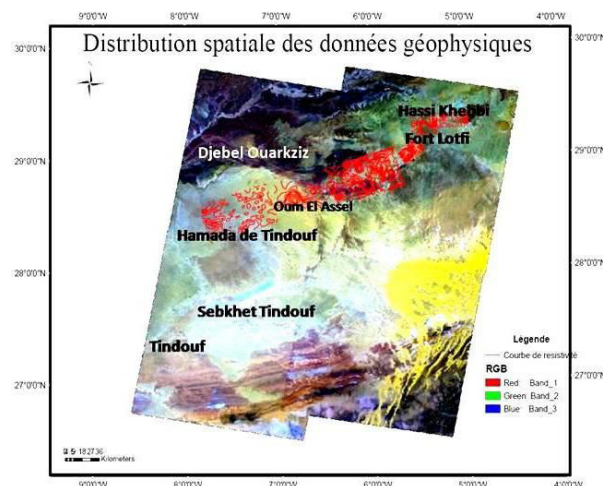


Fig. 5 Distribution spatiale des données géophysiques.

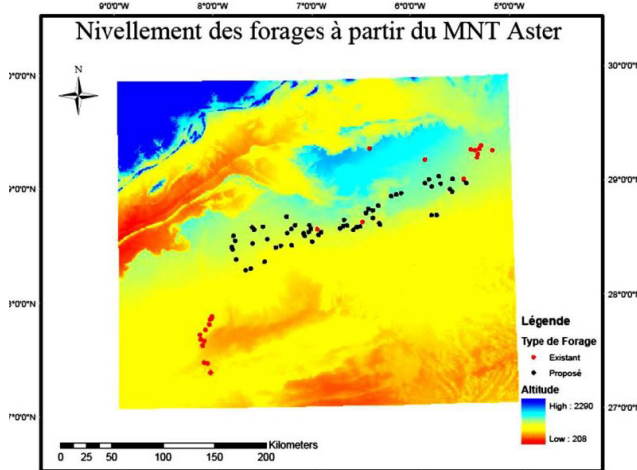


Fig. 6 Distribution spatiale des forages sur le MNT ASTER.

La figure 7 présente la fracturation obtenue par photo-interprétation des images ETM+ de landsat ainsi que la fusion de ces dernières avec les données radars.

De point de vue structural, le site d'étude est composé de failles et plissements assez importantes qui y affluent. Les linéaments mis en évidence sont de différentes directions et plus particulièrement, ceux dans la direction NE-SW à NNE-SSW. Cette direction est d'ordre hercynien (orogénèse hercynienne). En générale l'analyse quantitative de la fracturation dans le site d'étude, a mis en évidence la forte influence du réseau de fracturation sur les plans hydrographiques et topographiques. Selon les critères de la photo-interprétation englobant entre autre les aspects de la structure et de la texture ; la zone présente différents faciès. Un faciès issu des roches cristallines qui offre une texture grenue, typique des roches endogènes ; granitiques ou gneissiques. Puis un autre aspect présentant une texture plutôt lisse ; désignant une roche généralement sédimentaire.. La mise en évidence de la fracturation a été réalisée de deux façons. Un phénomène tectonique identifié qui se manifeste par une matérialisation de la faille. Dans ce cas, nous sommes en présence d'une faille dont la réalité de terrain le confirme par une structure évidente. L'autre cas réside quand l'image satellitaire présente une discontinuité radiométrique linéaire ou curviligne ayant une expression d'ordre structurale. Cette discontinuité peut faire objet d'un linéament. Pour ce qui est des cibles terrestres, les données à polarisation parallèle (HH ou VV) présentent un contenu similaire, tandis que les données à polarisation croisée (HV ou VH) sont plus sensibles à la géométrie à plus grande échelle (plus grande que la longueur d'onde du radar) de la surface ou des éléments de diffusion volumétrique. Les zones de fractures du substratum et les escarpements de faille sont habituellement mis en valeur par un contraste plus prononcé de la rétrodiffusion.

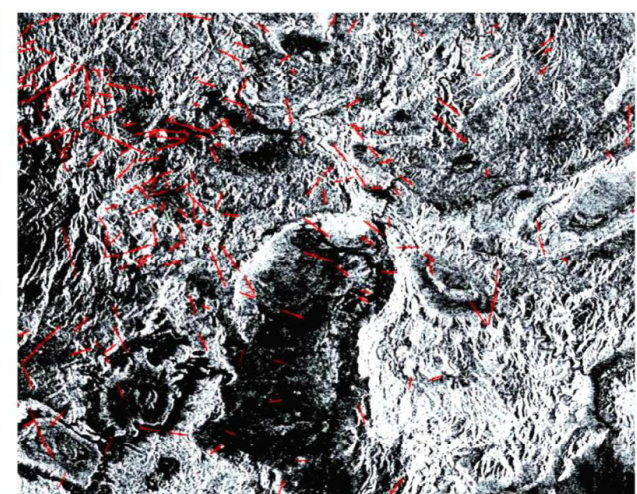


Fig. 7 Carte des linéaments.

### 3.6 Cartes thématiques de base

La cartographie des ressources en eau souterraine nécessite la conception et la mise en place d'une base de données hydrogéologique de la zone d'étude. La méthodologie de conception d'une base de données hydrogéologique consiste d'abord à collecter des données caractéristiques de forages, à établir les cartes thématiques géologiques, de la fracturation, du réseau hydrographique, des données piézométriques et des pentes. Toutes ces couches d'informations sont regroupées et reconstituées dans la base de données hydrogéologique de la zone d'étude. Nous avons identifié les principaux paramètres qui influent sur les potentialités en eaux souterraines. Ces paramètres sont : la pente, le réseau hydrographique, la fracturation, la profondeur et la perméabilité. Chaque couche d'information a été classée selon plusieurs sous classes,

auxquelles nous avons affecté des poids en fonction de la potentialité en eaux. Nous allons illustrer dans ce qui suit les poids affectés pour chaque paramètre.

L'affectation de ces poids (Tableau 1) se fait selon l'importance que l'on donne à tel ou tel critère (Savané, 1997 ; Saley, 2003). Dans notre cas, le choix a porté sur les critères de la lithologie (d'où en découlera la carte de perméabilité), de la densité de la fracturation, la densité de drainage, de la pente, et de la profondeur des forages existants. La méthodologie utilisée est la pondération des critères, elle consiste à y affecter un poids dont la valeur dépend de son importance (critère) pour l'évaluation du résultat final. La somme de ces poids doit être égale à 1 (pour chaque critère) ce qui

suppose que celui-ci est un chiffre compris entre 0 et 1.

**Tab . 2** poids affectés à chaque couche

| Cartes thématiques de base | Critères                | Description de classes | Poids | Total |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|-------|-------|
| Perméabilité               | Perméabilité            | Imperméable            | 0     | 1     |
|                            |                         | Peu perméable          | 0.1   |       |
|                            |                         | Perméable              | 0.3   |       |
|                            |                         | Très perméable         | 0.6   |       |
| Réseau linéamentaire       | Densité de fracturation | Très faible            | 0     | 1     |
|                            |                         | Faible                 | 0.2   |       |
|                            |                         | Moyenne                | 0.3   |       |
|                            |                         | Forte                  | 0.5   |       |
| Réseau de drainage         | Densité de drainage     | Très faible            | 0.05  | 1     |
|                            |                         | Faible                 | 0.15  |       |
|                            |                         | Moyenne                | 0.3   |       |
|                            |                         | Forte                  | 0.5   |       |
| Piézométrie                | Profondeur              | Très faible            | 0.1   | 1     |
|                            |                         | Faible                 | 0.15  |       |
|                            |                         | Moyenne                | 0.25  |       |
|                            |                         | Forte                  | 0.5   |       |
| Pente                      | Pente                   | Très faible            | 0.05  | 1     |
|                            |                         | Faible                 | 0.15  |       |
|                            |                         | Moyenne                | 0.25  |       |
|                            |                         | Forte                  | 0.55  |       |

#### Carte de densité de drainage

L'établissement de la carte de densité de drainage (Figure 8) repose sur la digitalisation, à partir de l'image satellite, de tous les cours d'eau et leur classement en fonction de leur ordre. La classification adoptée permet de distinguer quatre (04) classes suivant la densité de drainage : Forte, moyenne, faible et très faible densité de drainage. L'écoulement et le drainage sont de forte densité au niveau des zones montagneuses. La densité moyenne est localisée aux piedmonts et dans les zones de reliefs de moindre importance. L'écoulement et le drainage commencent à faiblir au niveau des zones à faible pente. Enfin, les densités de drainage très faible concernent les zones de dépression où l'écoulement devient quasiment nul. C'est la zone la

plus favorable à l'infiltration.

#### Carte de la densité de fracturation

Le cheminement des eaux de la surface vers les profondeurs dépend de plusieurs facteurs. Parmi ces paramètres nous pouvons citer, la perméabilité, la compacité et la nature de la roche. La connaissance du caractère lithologique ainsi que de la densité de fracturation donne une idée assez précise sur la recharge de la nappe. Ce paramètre nous a permis de dégager quatre (04) classes concentrées essentiellement vers le nord au niveau des structures de djebel Ouarkiz : Forte densité, moyenne densité, faible densité et très faible densité de fracturation.

### Carte des profondeurs

Compte tenu de la mauvaise répartition des forages et des puits sur la zone d'étude, la carte piézométrique n'a pas pu être réalisée. Aussi, le nombre et la répartition des forages ne permettent pas d'établir une carte en isopièze correcte. Malgré le manque de ces données, une carte des profondeurs basée sur les niveaux statiques des puits a été réalisée. Quatre classes de profondeur ont été mises en évidence à savoir : Forte, Moyenne, Faible, Très faible profondeur. Cette couche d'information révèle les zones d'alimentations provenant de la hamada de Tindouf. Une partie va se concentrer au centre, l'autre partie se termine dans la sebkha de Tindouf (exutoire principal). Nous

constatons aussi, une aire de recharge plus au sud de Tindouf, celle-ci alimente l'aquifère du Viséen qui est une formation recouverte par le tertiaire continental (Hamada de Tindouf).

### Carte de perméabilité

Pour ce qui est du paramètre lithologique, nous avons regroupé les différentes classes rencontrées en fonction des caractéristiques hydrogéologiques, et du pouvoir de perméabilité de chaque classe. Les lithologies rencontrées dans la zone d'étude ont été regroupées en 04 grandes classes: Forte perméabilité, Moyenne perméabilité, Faible perméabilité, Très faible perméabilité.

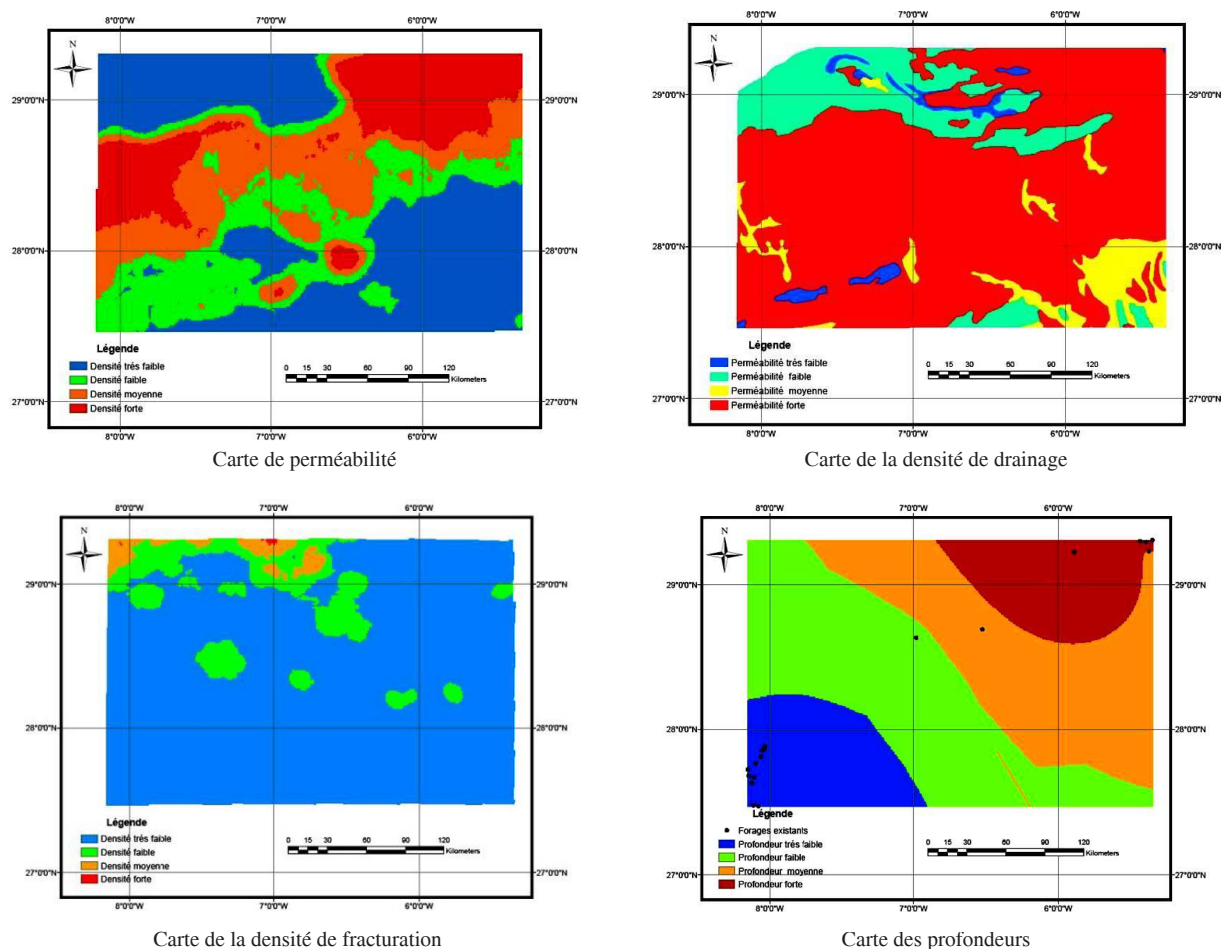


Fig. 8 Cartes thématiques de base.

### 3.7 Détermination des zones d'alimentation

A l'issue du croisement nous en déduisons que cette alimentation comme illustrée par la figure 10 est de nord-ouest sud-est, elle provient des précipitations sur la hamada de Tindouf. Cette eau va alimenter l'aquifère du visée en à travers ces calcaires plus ou moins fissurés. Il ne faut pas oublier aussi l'alimentation qui provient des affleurements du nord (Djebel Ouarkziz).

les zones de fortes densités de drainage correspondent aux

zones d'écoulements, elles se situent au nord au niveau de la région montagneuse. Par ailleurs, la classe de très faibles densités de drainage correspond aux zones de dépression où le réseau hydrographique est dispersé. Ce sont ces zones où l'infiltration des eaux est maximale.

### 3.8 Etablissement de la carte de potentialité en eaux souterraines

La carte des potentialités en eaux obtenue, nous permet de distinguer trois grandes parties (Figure 11) :

Une première partie au sud fortement potentielle, et représentée par la couleur rouge. Cette classe située vers la Hamada de Tindouf est favorisée par le tertiaire continental et le Quaternaire (Alluvions). C'est aussi une zone d'infiltration maximale.

Une seconde partie qui débute à la rupture des pentes et qui est moyennement potentielle, elle est représentée par la nuance bleue. C'est une zone située entre les piémonts de Djebel Ouarkiz et le début de la Hamada. L'écoulement commence à faiblir, donc l'infiltration augmente ce qui confirme une potentialité moyenne.

Enfin, une troisième partie, potentiellement faible, se situant au niveau des zones élevées et qui est de nuance jaune. Elle se trouve au Nord, au niveau de

Djebel Ouarkiz, où l'écoulement est important et l'infiltration quasi-nulle. Néanmoins, nous remarquons sur cette zone, au niveau de Djebel Ouarkiz, que quelques poches correspondant à la classe de forte potentialité, ceci est peut-être dû soit à des pointements du Viséen supérieur qui affleurent ou bien à des apports d'aquifères situés au nord dans l'Atlas Marocain.

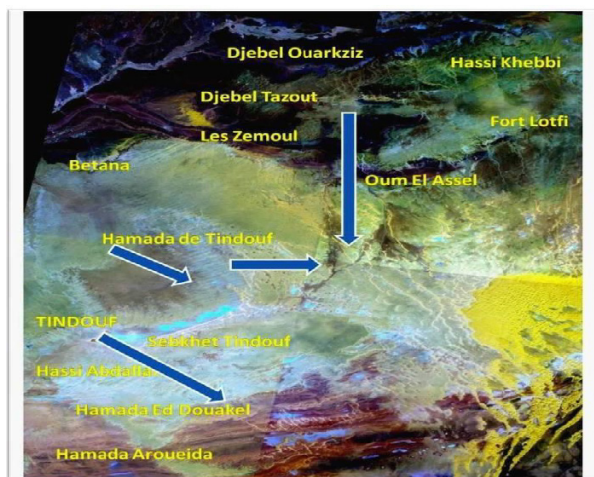


Fig. 9 Zones d'alimentations dans la Hamada de Tindouf

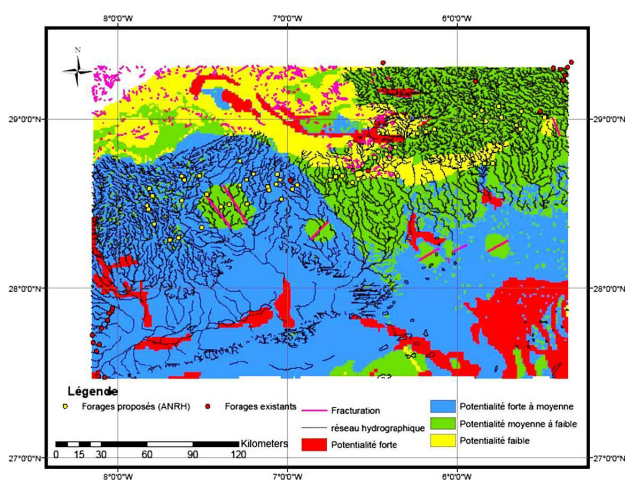


Fig. 10 Carte des potentialités des eaux souterraines

## 4. Conclusion

L'intégration et la combinaison des images radars et optiques a mis en évidence la lithologie, le réseau hydrographique qui constitue des aires de recharges importantes pour les eaux souterraines. En effet, la bonne résolution spatiale et les performances spectrales du capteur ETM+, combinées à la grande capacité du Radar a révélé les structures linéaires. Ces données ont permis d'identifier les limites lithologiques (cristallin et sédimentaire) ainsi que la mise en évidence de la fracturation. Les produits dérivés de la fusion des données optiques et radars ont été d'une utilité certaine pour la détection des informations utiles pour le croisement avec d'autres sources de données. Parmi ces dernières données nous avons les données géophysiques, géologiques, structurales, réseau hydrographique et modèle numérique de terrain. La rareté des eaux de surface complique davantage la prospection des eaux souterraines. Les principaux aquifères du bassin sédimentaire de Tindouf, doivent faire l'objet régulièrement d'études géophysiques et de travaux de forages, de reconnaissance, à des profondeurs compatibles avec leur structure, tant que la couverture géologique n'existe pas. De même un suivi de l'évolution des ressources en eau doit être instauré, pour permettre une meilleure gestion et une évaluation de leurs disponibilités.

Cette étude est une contribution à la compréhension du comportement hydrogéologique de la zone étudiée. Elle propose une carte de potentialité en eaux souterraines qui restera un support et un outil pour d'éventuels travaux dans cette région.

Les données géophysiques, géologiques, et piézométrique ont été intégrées avec les informations issues des images satellites permettant ainsi de constituer une base de données géographique. Le croisement de ces informations a pu mettre en évidence les potentialités en eaux souterraines de la région d'étude.

## Références bibliographiques

- lain, S. (2003) Caractérisation d'un sol nu à partir de données SAR polarimétriques : Etude multi-fréquentielle et multi-résolution. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, IETR, 150 p.*
- Jean Fabre Géologie du Sahara occidental et central; Musée royal de l'Afrique central- Belgique volume 106 pages*
- Idrotecno (1979) : Etude hydrogéologique de la région de Tindouf. Rapport final DROGE/AO-623*
- T.Amrane, A.Ayad ANRH Rapport de synthèse (géologie, hydrogéologie, prospections géophysiques, travaux de forages et de piézométrie) du bassin de Tindouf. ; volume 84 pages.*