

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Centre Universitaire Ali kafi de Tindouf

المركز الجامعي علي كافي تندوف

Institut des Sciences et Technologies

معهد العلوم والتكنولوجيا



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم علوم الأرض والكون

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Option

Hydrogéologie

Présenté par

Hammi Abdessalam

Thème

**Intégration Sig Télédétection une hydrogéologie
cas de la ville Om El Assel (Tindouf)**

Soutenu le :../09/2020 devant commission d'examen

Mr HAMI KHELIFA

Président

Mr. ZAROUAL IBRAHIM

Rapporteur

Mr BEKKOUCH M FOUZI

Examineur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents

Nos frères

Nos sœurs

Nos familles

Nos enseignants

Nos amis

Et

La promo de 5^{ème} année hydrogéologie

Remerciement

Avant tout, nous remercions Allah tout puissant qu'il nous a guidé tout au long de nous vie , qu'il nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, qu'il nous a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.

Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail.

Tout d'abord, nous remercions notre encadreur

Dr: Zaroual ibrahim ,

Qui a accepté de nous encadrer,

Nous remercions le président

Dr : Htami khelifa

Nous remercions par ailleurs vivement l'examinatrice

Dr: Bekkouch M.Fouzi

Nous remercions également, tous les enseignants, qui nous ont donnée la base .

Enfin, Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à ce travail. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de notre gratitude.

Htami Abdessalam

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'analyse d'une image satellite de la zone d'Oum El Assel , à l'aide de l'application ARC Gis et Idrisi utilisant les étapes de traitement d'image. Puis nous avons géoréférencé les images en utilisant le système de projection WGS 1984. Ainsi, on a réalisé un découpage des images en sélectionnant les parties qui correspondent à la même portion de l'espace à partir des coordonnées géographiques de notre zone d'étude. Ensuite, nous combinons des bandes (1,2,3...,7) et appliquons des méthodes Kmeans et cluster, pour faire la classification des images satellitaires.

Les résultats obtenus sont une image satellite avec des histogrammes pour chaque bande et chaque méthode. Nous avons permis de réaliser une carte cartographique intégrée de la zone d'Oum El Assel.

L'histogramme et le traitement d'image utilisant la méthode Kmeans et cluster nous ont permis d'intégrer le résultat de l'image dans le système cartographique Arc Gis.

Mots clés : Landsat 7 ETM+, Traitements numériques, Formations géologiques, Morpho-structurale, occupation du sol, Télédétection

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة تحليل صورة القمر الصناعي لمنطقة أم الأصيل باستخدام تطبيق ARC Gis والإدريسي باستخدام خطوات معالجة الصور ثم قمنا بالإشارة الجغرافية للصور. باستخدام نظام الإسقاط WGS 1984 ، قمنا بقص الصور عن طريق اختيار الأجزاء التي تتوافق مع نفس الجزء من المساحة من الإحداثيات الجغرافية لمنطقة الدراسة الخاصة بنا .. ثم نجمع النطاقات (1 ، 2 ، 3...، 7) يطبق طرق المتوسط k والعنقود لتصنيف صور الأقمار الصناعية.

تم الحصول على صورة قمر صناعي مع الرسوم البيانية لكل نطاق وكل طريقة سمحت لنا بتنفيذ رسم الخرائط كجزء لا يتجزأ من منطقة أم الأصيل ،

الرسم البياني ومعالجة الصور باستخدام المتوسط k ، طريقة الكتلة سمحت لنا بدمج نتيجة الصورة في نظام رسم الخرائط بعض ارك جيز

كلمات مفتاحية :

لوند سات ،7 معالجة رقمية تكوينات جيولوجية ، مورفو-إنشائي. استخدام الأراضي . الاستشعار عن بعد

Abstract

In this work, we studied the analysis of a satellite image of the Oum El Assel area, using the ARC Gis application and Idrisi using the image processing steps Then we georeferenced the images. using the WGS 1984 projection system Thus, we cut the images by selecting the parts which correspond to the same portion of space from the geographical coordinates of our study area .. Then combine bands (1 , 2,3..., 7) applies Kmeans and cluster methods, to classify satellite images.

The results obtained a satellite image with histograms each band and each method allowed us to carry out cartographic an integral of the om el Assel area,

The histogram and image processing using the kmeans , cluster method allowed us to integrate the image result into the cartographic system some Arc gis.

Keywords:

Landsat 7, Digital processing, Geological formations, Morpho-structural. land use . Remote sensing

TABLE DES MATIERES

| | page |
|--|------|
| Introduction Général | 1 |
| CHAPITER I PROBLEMATIQUE ET CADRE DE LA RECHERCHE | |
| I.1 Situation Géographique du Bassin de Tindouf..... | 2 |
| I.2 Contexte géologique et structural | 3 |
| I.2.1 STRATIGRAPHIE | 3 |
| I.2.2 Aperçu Stratigraphique..... | 3 |
| I.2.3 L'effet Du Tectonique sur le Bassin de Tindouf | 9 |
| I.2.4 Cadre structural..... | 9 |
| I.2.5 Historique des recherches..... | 10 |
| I.3 Contexte Hydrogéologique General | 11 |
| I.4 Climatologique | 14 |
| I.4.1 Etude des précipitations..... | 14 |
| I.4.2 Etude des Températures..... | 16 |
| I.4.3 Conclusion | 17 |
| I.5 Zone étudiée | 18 |
| I.5.1 situation géographique | 18 |
| I.5.2 Cadre géologique..... | 19 |
| I.6 Les objectifs d'étude | 20 |
| CHAPITER II APPROCHE METHODOLOGIQUE (A DETAILLER) | |
| II.1 Introduction | 21 |
| II.2 Principe de base de la télédétection..... | 21 |
| II.3 Les étapes | 22 |
| II.4 Quelques principes de classification..... | 24 |
| II.4.1 La classification supervisée..... | 25 |
| II.4.2 La classification non supervisée..... | 25 |
| a- La méthode Kmeans | 26 |
| b- La méthode Isodata..... | 27 |
| II.5 Intégration SIG..... | 28 |
| II.6 Les applications des SIG..... | 29 |
| II.7 Apport de la télédétection en hydrogéologie | 29 |
| CHAPITER III APPLICATION | |
| III.1 Introduction | 32 |
| III.2 Présentation du site d'étude | 33 |
| III.3 Mission sur le terrain..... | 33 |
| III.3.1 Matériels utilisés..... | 33 |
| III.3.2 Logiciels utilisés | 33 |
| III.3.3 Outils utilisés | 33 |
| III.3.4 Données utilisées..... | 34 |
| III.4.les prétraitements..... | 34 |
| III.4.1.Le Filtrage d'images | 34 |
| III.4.2.La Transformation RVB-TSL | 35 |
| III.4.3.la composition colorée | 35 |

| | |
|--|----|
| III.5 Traitement d image | 37 |
| III.5.1 Traitement SIG sous Idrisiw | 37 |
| a. La Méthode PCA | 37 |
| b. Etapes traitements | 40 |
| c. La Classifications Automatiques | 40 |
| d. PRINCIPES GENERAUX..... | 41 |
| e. Les méthodes | 41 |
| e.1 La méthode CLUSTER | 41 |
| e.2 La méthode KMEANS | 42 |
| III.5. 2 Traitement SIG sous Arc gis | 42 |
| III.6 Lecture des images et histogrammes | 45 |
| III.6.1 Résultats et discussion | 46 |
| III.7 Structures géomorphologiques de la région..... | 47 |
| III.8Conclusion du chapitre | 48 |
| Conclusion général | 51 |
| Référence Bibliographique..... | 53 |
| Annexe..... | 54 |

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|--|------|
| Chapitre I | |
| Figure 01: Situation générale du Bassin de Tindouf | 02 |
| Figure 02: Coupe géologique du Bassin de Tindouf (d'après Sougy, 1969)..... | 08 |
| Figure 03: Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf (DRE TDF)..... | 13 |
| Figure 04: Variation des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09)..... | 15 |
| Figure 05: Variations des températures moyennes, maximales et minimales à la station Tindouf (1973/09)..... | 16 |
| Figure 06: Carte présentée la situation géographique de la zone étudiée..... | 18 |
| Figure 07: Carte géologique montrant les différentes structures Géologiques | 19 |
| Chapitre II | |
| Figure 08 : Le système de télédétection (E. Chuvico, 1990)..... | 23 |
| Figure 09: Exemple de représentation thématique d'une image..... | 24 |
| Figure 10: Exemple de classification supervisée..... | 25 |
| Chapitre III | |
| Figure 11: Organigramme | 33 |
| Figure 12: Organigramme étapes des traitements des images | 36 |
| Figure 13: Earth Explorer (USGS) | 36 |
| Figure 14: Selection zone etude (om al assel) | 37 |
| Figure 15: Traitement des éléments images par ACP | 38 |
| Figure 16: Fenêtre de mise en place des bandes..... | 39 |
| Figure 17: Fenêtre import desktop publishing formats GEOTIFF | 40 |
| Figure 18: Entité pour la classification..... | 41 |
| Figure 19: Fenêtre du processus cluster | 41 |
| Figure 20: Fenêtre du processus kmeans | 42 |
| Figure 21 : Aspect général de la cartographie d'Oum el Assel | 44 |
| Figure 22: les sept images Landsat et leurs histogrammes | 46 |
| Figure 23: Résultats du traitement | 49 |
| Figure 24 Relief de la région d'Oum el Assel [500m-600m] | 50 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tab.1: Présentation de la station de Tindouf (1973/2009) | 14 |
| Tab.2: Valeurs des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09). | 15 |
| Tab.3: Température moyennes, maximales et minimales à la station de Tindouf (73/09)..... | 16 |
| Tab.4: Catégorisation du contenu informatif de l'image..... | 23 |
| Tab.5: Coordonnées de la zone étude..... | 37 |
| Tab.6: Les Oif les plus élevé calculé par Ilwis 11 bandes..... | 39 |
| Tab.7 D'apprentissage des instructions: déclaration descriptive des couleurs CSV en relation aux limites du modèle géologique | 47 |
| Tab.8 : : Données de classification | 49 |

LISTE DES ABREVIATIONS

- **ORGM** : l'Office de Recherche Géologique et Minière en Algérie
- **P** : Précipitations
- **TM** : Températures Maximales
- **Tm** : Températures minimales
- **ETP** : l'Evapotranspiration Potentielle
- **ETR** : l'Evapotranspiration Réelle
- **RASD**: la République Arabe Saharaouie Démocratique
- **K-MEANS** : K centroïdes (moyennes)
- **SSE**: Somme des Erreurs
- **Rgf** : fichier de groupe Raster
- **SIG** : Système d'Information Géographique
- **SGBD** : Systèmes de Gestions de Bases de Données
- **MNT** : un Model Numérique de Terrain ou MNE(du Médiateur National de l'Energie)
- **AAC**: Aires d'Alimentation de Captage
- **WGS**: World Geodetic System 1984 (un Système Géodésique Mondial)
- **UTM** : L'Universel Transverse Mercator
- **HLS** : Hue: teinte, Lightness: brillance, Saturation: saturation)
- **RVB** : Rouge Vert Bleu Ou RGB
- **CAH** : classification automatique hiérarchisée
- **TM** : Thematic Mapper
- **ETM+** : Enhanced Thematic Mapper Plus
- **PCA**: L'Analyse en Composante Principale
- **CP**: Composantes Principales
- **OIF**: Optimum Index Factor,
- **SAA** : Structure Annulaire d'Anna
- **GPS** : Global Position System (Système de Positionnement Global par satellite).
- **l'EPSG** : European Petroleum Survey Group

A decorative graphic on the left side of the page. It features a vertical blue line that intersects a horizontal blue line. Several semi-transparent squares are layered over these lines, creating a complex geometric pattern. The squares are in shades of blue and grey, with some overlapping each other and the lines.

Introduction General

Introduction général

Les systèmes d'information géographiques (SIG) permettent, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer et d'analyser par combinaison, des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989).

Notre travail s'articule autour de trois chapitres :

L'introduction: exposer dans le détail l'objectif d'étude et la présentation du mémoire

Le 1^{er} chapitre représente généralité, une partie géologique permet de reconnaître l'histoire géologique de la région d'étude, une partie géomorphologique permet de mettre en évidence les différentes unités morphologiques présents dans cette région, une présentation de la série lithostratigraphique qui montre les différentes formations lithologiques rencontrées dans cette région, un aperçu structural présent les différentes structures, un partie hydrologique permet d'avoir une étude climatologique à partir d'analyse des données de différentes paramètres

Le 2^{ème} chapitre présente approche méthodologique sont l'analyse des Cartes, en plus des photos satellitaires, nous avons consulté une assez riche bibliographie concernant la région d'étude, et nous avons utilisé des données géoscientifiques

Le 3^{ème} chapitre présente application , nous utiliserons quelque fonction de traitement des images pour des applications géologiques.

Enfin, une conclusion générale résume les résultats obtenus par notre étude.



Chapitre I

Problématique et cadre de la
recherche

I.1 Situation Géographique du Bassin de Tindouf :

Le bassin de Tindouf est délimité par la longitude 4°00' et 8°30' Ouest et la latitude 27°00' et 30°00' Nord qui couvre une superficie de 130.000 km².

Sous forme d'une dépression dissymétrique orienté ENE-WSW, avec un flanc nord à fort pendage (de 8 à 12°) et plissé en relation avec une série des failles complexes de direction globale EW à NE-SW. Tandis que le flanc sud à très faible pendage (3° maximum).

Il se situé dans la partie Sud-ouest du Sahara Algérien, Ce bassin est limité:

- Au Sud, par le massif (Bouclier Réguibat).
- Au Nord, par l'Anti-Atlas Marocain,
- A l'Ouest par les frontières Algéro-Marocaine et Algéro-Sahraoui.
- A l'Est, par les monts d'Ougarta et Erg Chèche.

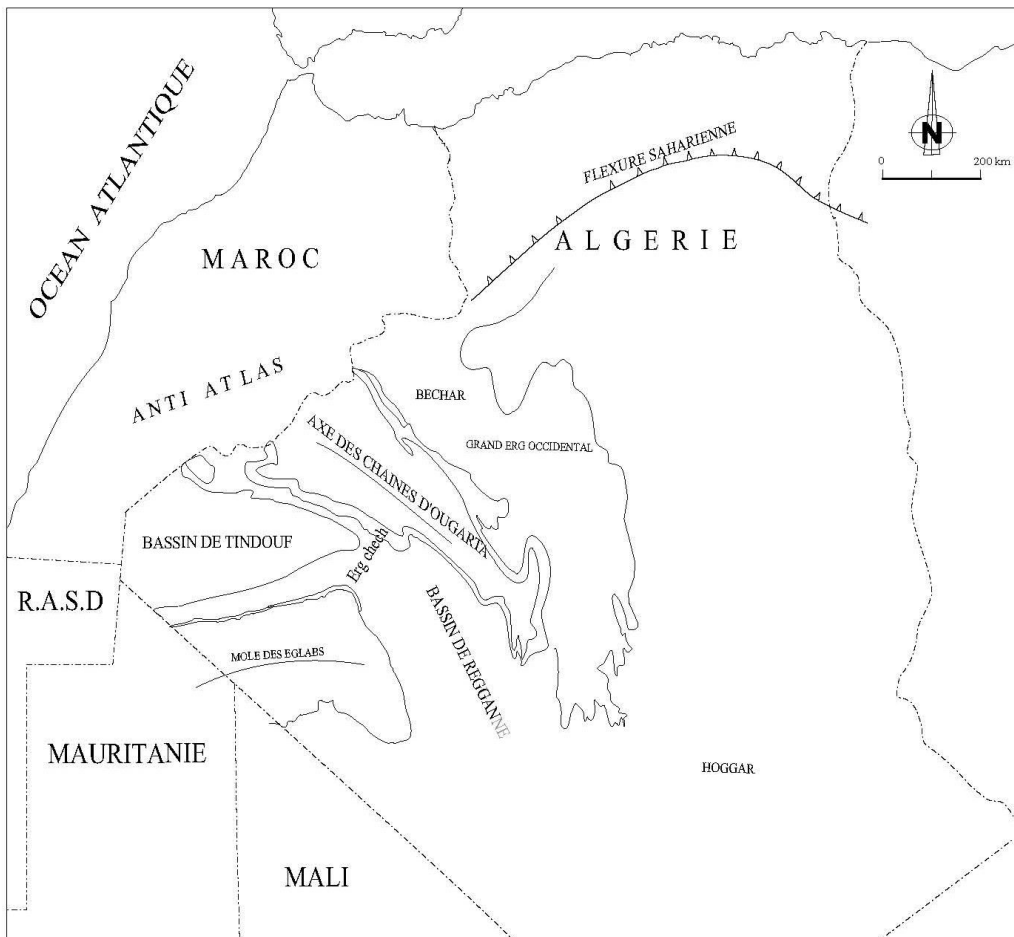


Figure 01: Situation générale du Bassin de Tindouf

I.2 Contexte géologique et structural :

I.2.1 STRATIGRAPHIE:

Le bassin de Tindouf qui correspond à une dépression dissymétrique s'appuie en pente douce sur le bouclier Réguibat au Sud, alors que le flanc nord est fortement redressé vers sa limite nord, au contact de l'Anti-Atlas marocain. Il s'agit d'un bassin péricratonique qui s'est développé sur la marge nord du craton ouest-africain (Des tombes et al., 1985 ; Bertrand-Sarfati et al., 1990). Son remplissage sédimentaire s'effectue du Cambrien au Carbonifère, et son épaisseur atteint entre 8000 et 10000 m

(SONATRACH, 1987). Les dépôts, principalement argilo-gréseux, se sont mis en place dans des environnements fluviaux à marins peu profonds. Le Dévonien moyen

et le Viséen renferment des niveaux plus carbonatés. La série méso-cénozoïque qui repose en discordance sur le Paléozoïque a une puissance variable qui ne dépasse pas 130 m.

I.2.2 APERÇU STRATIGRAPHIQUE :

1. Le protérozoïque :

Au nord, le bassin de Tindouf repose en discordance majeure sur le socle éburnéen des Eglab (Durozoy, 1959 ; Buffière et al., 1965 ; Villemur, 1967), par la série chisto-quartzitique de précambrien II, surmonté par le groupe de Saghro de précambrien II-III qui est essentiellement volcano-détritiques, le groupe de Ouarzazate volcano-détritiques, et argilo-gréseuse rouge de précambrien il recouvre l'ensemble protérozoïque Tandis qu'au sud, on note l'absence de protérozoïque.

2. Le Paléozoïque :

Le remplissage du bassin de Tindouf est un ensemble essentiellement paléozoïque, recouvert en discordance par les formations hamadiennes , le plus souvent du Néogène. Le Paléozoïque affleure entièrement au sud. Par contre au nord, le Famennien et le carbonifère apparaissent uniquement dans le paysage. Les autres termes du Paléozoïque se trouvent en territoire marocain.

3. Le Cambrien :

Dans le nord du bassin de Tindouf, le Cambrien affleure dans l'Anti-Atlas marocain où on distingue:

Un **Cambrien inférieur**: débute par la formation des calcaires supérieurs (200 à 400 m), alternance de bancs calcaires et de lits argileux. Cette série contient des Trilobites, qui seraient les plus anciens connus au monde. Surmonté par des schisto-calcaire (300 à 450 m), formée d'une alternance de schistes verts à Trilobites et de calcaires à Archeocyathidés .

Un **Cambrien moyen** : représenté par une série schisteuse à Paradoxi des ou « schistes des Feijas internes » dont l'épaisseur varie de 100 à 500 m. Vers l'est, la partie supérieure de cette formation devient gréseuse. Cette série est couronnée par la formation des grès de Tabanit , à Paradoxi des et Lingules, épaisse de 100 à 150 m.

4. L'Ordovicien:

Au nord du bassin de Tindouf ,l'Ordovicien est représenté par un ensemble chisto-gréseux, avec de très rares intercalations de calcaires. Son épaisseur dans la région du Dra peut atteindre 2000 m. Il comprend les formations suivantes.

5. Le Silurien :

Dans la bordure sud du bassin de Tindouf ,le Silurien est surtout schisto-argileux. Cet ensemble, dénommée "formation de la Sebkhah Mahbès (5 à 120 m) s'étend du landoverien moyen au Pridolien .

6. Le Dévonien :

a)- Le Dévonien inférieur :

Au nord du bassin de Tindouf, le Dévonien inférieur comprend les deux formations suivantes :

-un membre argileux (400 m à l'ouest et quelques dizaines de mètres à l'est),où s'intercalent des niveaux gréseux et des calcaires .Ce membre est daté par des Brachiopodes, Trilobites, Tentaculites et Conodontes qui indiquent un âge Lockhovien (Gédinnien, Siegénien inférieur et moyen).

-Un membre gréseux(700 à 800 m)qui est constitué par des bancs de grès formant des crêtes (les Rich). Ces grès comportent des calcaires fossilifères datés Emsien. On distingue trois Rich d'âge différents (deux de l'Emsien inférieur, le troisième dans l'Emsien supérieur).

b)-Le Dévonien moyen :

Dans le nord du bassin de Tindouf, le Dévonien moyen est constitué par les termes suivants :

Une formation argilo-calcaire épaisse de 300 m, comportant des schistes à Génialités, des grès et quelques calcaires formant le quatrième Rich. Cet ensemble est daté Eifélien.

Une formation calcaire d'âge Givétien très fossilifère: Goniatites, Arthrodières, Trilobites. La puissance de cette formation est faible (50 à 100 m).

c)-Le Dévonien supérieur :

Le Dévonien supérieur du nord du bassin de Tindouf, représenté par une puissante série argileuse (les argiles de la plaine du Dra), comprend un Frasnien argileux à intercalations calcaires, un Famennien inférieur entièrement argileux et un Famennien supérieur argileux à intercalations gréseuses et gréso-calcaires. L'épaisseur du Dévonien supérieur peut atteindre 3000 m.

7. Le Carbonifère :

Le Carbonifère du flanc nord du bassin de Tindouf est subdivisé en cinq unités lithostratigraphiques sur la base d'arguments stratigraphiques, lithologique et morphologiques.

- Les grès et schistes de Tazout (111 m d'épaisseur) : il s'appartiennent au Tournaisien supérieur.(Hollard,1970).
- Les grès et schistes de la Bétaina (800 m d'épaisseur) : ils sont datés du Viséen inférieur et de la première partie du Viséen supérieur .

✚ la série de l'Ouarkziz, comprend trois membres :

✓ Les calcaires inférieurs de l'Ouarkziz (356 m d'épaisseur),

à Gigantoproductidés et polypiers du Viséen supérieur.

✓ L'Ouarkziz moyen (111,5 m d'épaisseur): composé d'argiles et de marno-calcaires dolomitiques avec, localement, des lentilles de gypse massif. Ce membre correspond à la limite Viséen supérieur-Namurien.

✓ Les Calcaires supérieurs de l'Ouarkziz (102 m d'épaisseur),

à Gigantoproductidés et polypiers du Namurien.

✚ la série de la Bétana, de nature continentale, comprend :

✓ à la base, la formation des grès du Djebel Réouina (500 m d'épaisseur),

composée de grès, d'argilites et de calcaires. Elle contient de nombreux débris de végétaux terrestres du Namurien.

✓ Au sommet, la formation de Merkala (500 à 700 m d'épaisseur), est constituée essentiellement par une alternance de grès à grains fins, en bancs métriques, et d'argiles rouges. Cette formation contient des fougères caractéristiques du Stéphanien inférieur.

✚ Entre les deux membres précédents, on trouve la formation d'Ouadène, datée du Westphalien, qui est formée de grès dont l'épaisseur maximale atteint 45 m. Au sud du bassin de Tindouf, le Carbonifère comprend les formations suivantes:

➤ La formation de Krebs Slouguia, correspondant au Tournaisien.

Elle est composée de grès et de calcaires passant à des argiles et des grès, L'épaisseur de la formation atteint 584 m.

➤ La formation de Krebs Sefiat, d'âge Viséen inférieur Sa base est composée de grès, passant à une alternance d'argiles et de passées de calcaire gréseux à son sommet. L'épaisseur de cette formation est de 310 m.

➤ La formation d'Aïn el Barka, qui correspond au Viséen supérieur. Elle comprend des marnes gréseuses, des grès tendres et des bancs de calcaire. L'épaisseur de cette formation atteint 600 m.

➤ La formation de Hassi Aoulouel, qui est représentée par des sédiments argilo gréseux indifférenciés du Namurien et du Westphalien. Son épaisseur atteint 345 m.

8. Le Cénozoïque :

Le Cénozoïque, quant à lui, est représenté dans le bassin de Tindouf par la formation de la Hamada à faciès essentiellement carbonaté associé à des grès et des argiles.

9. Le Tertiaire et le Quaternaire :

Dans le bassin de Tindouf, les terrains post-paléozoïques sont représentés par la Hamada de Tindouf, qui ne dépasse jamais 100 m d'épaisseur. Cette formation est constituée essentiellement d'un complexe grés-argileux, d'âge probablement Paléocène, supportant une dalle calcaire d'origine lacustre Néogène. Selon J. Fabre, au nord du bassin de Tindouf, la base de la Hamada comprendrait une série gréseuse du Crétacé inférieur.

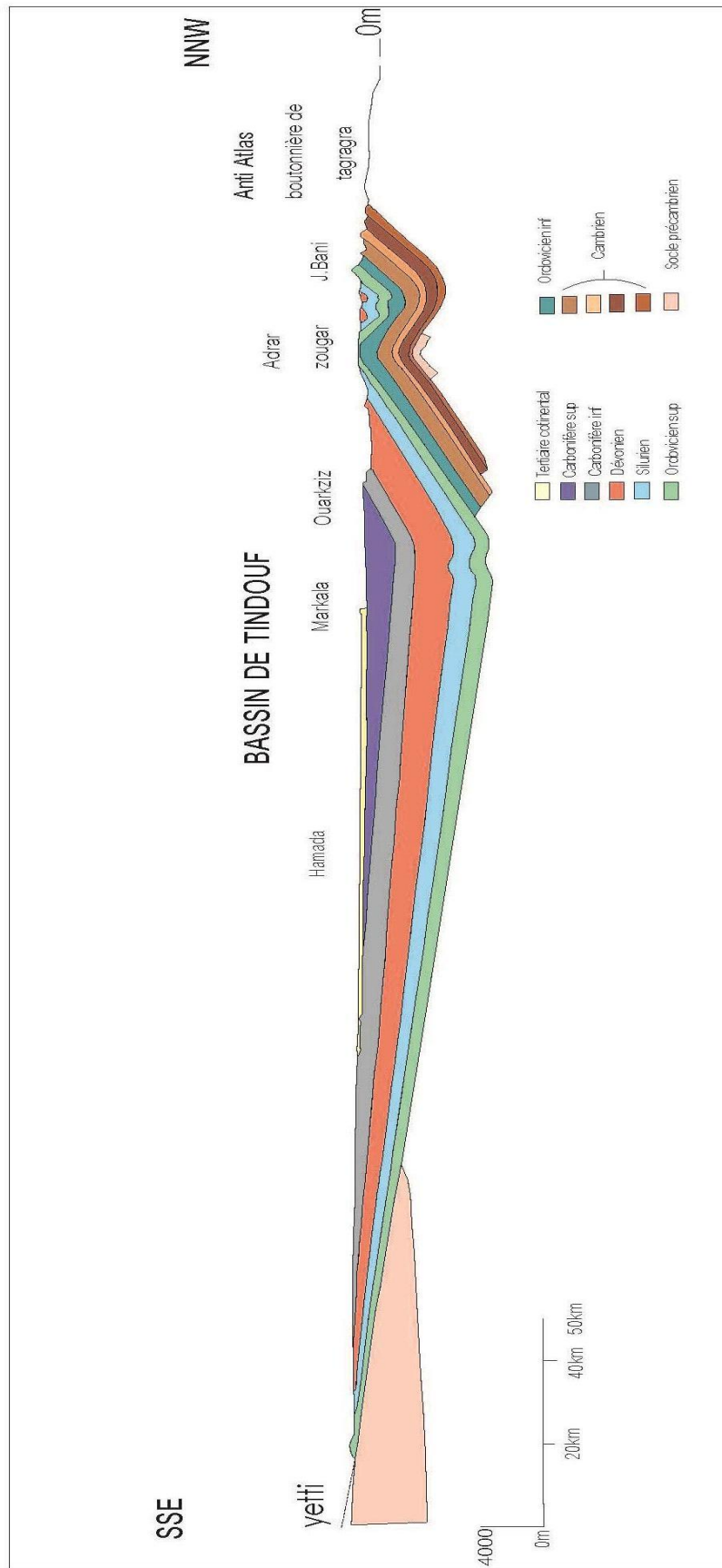


Figure.02 : Coupe géologique du Bassin de Tindouf (d'après Sougy, 1969).

I.2.3 L'effet Du Tectonique sur le Bassin de Tindouf :

Le bassin de Tindouf s'est individualisé à la fin du Paléozoïque (Carbonifère supérieur) d'après Gevin (1960). Sa bordure sud est monoclinale à faible pendage (1 à 2° Nord en moyenne). La structure de cette bordure est caractérisée par la présence de trois môles ou zones hautes (Aouinet, Laroussi et Bou Bernous) séparées par les sous bassins de Djebilet et de l'Iguidi. Le sous-bassin de Djebilet est peu profond, tandis que celui de l'Iguidi a été fortement subsident. Quelques failles de direction OSO-ENE ou SO-NE recourent l'ensemble du Paléozoïque et sont injectées de dolérites.

La bordure nord du bassin est très redressée contre l'Anti-Atlas marocain. Le pendage des couches varie de 8 à 12°. La série paléozoïque est ici fortement plissée. Les plis, lourds dans l'Ordovicien, plus souples et nombreux dans le Dévonien, forment la grande zone anticlinale de Zémoul-Adim Filou. Cette zone, affectée par de nombreuses failles (dont certaines s'étendent sur une distance dépassant 150km et avec des rejets de l'ordre de 200 à 400 m), contient des sills et des dykes doléritiques.

Dans la partie ouest de la zone anticlinale Zémoul-Adim Filou, la direction des plis et des failles est NO-SE, c'est à dire parallèle à la chaîne d'Ougarta. A l'est, la direction est OSO-ENE, c'est-à-dire proche de celle de l'Anti-Atlas. La présence de cette zone subsidente et fortement plissée au nord du bassin de Tindouf, serait dû à l'existence en profondeur d'un accident majeur du socle (décrochement) de direction ENE.

I.2.4 Cadre structural :

Le bassin de Tindouf est l'aboutissement d'une histoire tectonique dont les premières manifestations remontent au Précambrien. Les différentes orogénèses de cette partie du Sahara sont les effets directs des collisions inter-continentales qui ont affecté les plaques africaines et Nord-américaine (Wilson, 1968). La couverture sédimentaire a subi un certain nombre d'actions tectoniques ; d'après Gevin (1960) on a :

1- Phase cadomienne : ayant affectée les sédiments infracambriens en un système d'ondulations NO-SE en "horsts et graben" plus ou moins accusé. Cette tectonique n'est visible qu'au Sud de la Dorsale Reguibat, et d'autant mieux qu'on se déplace vers l'Est ;

2 - Phase calédonienne : très peu marquée mais perceptible sous forme de certains bombements du socle notamment vers le 6° méridien Ouest ;

3 - « plissements » Hercyniens : ayant engendré le vaste synclinal dissymétrique de Tindouf, régulier à l'Ouest, bosselé à l'Est ;

4 - Phase hercynienne ultime : responsable des grandes failles obliques (NE-SO ou ENEOSO) ;

5 - Mouvements post-hamadiens : ayant repris, d'une part, les courbures paléozoïques sous-jacents, d'autre part les ultimes cassures hercyniennes sur lesquelles sont calquées les lignes directrices de l'érosion post-hamadienne ;

La réflexion d'ensemble du bassin est primordiale en raison de la position charnière qu'occupe cette synclise entre un Anti-Atlas mobile et une dorsale Reguibat (vieux craton stable). C'est cela qui explique l'opposition entre un flanc sud calme et un flanc nord à structure complexe.

I.2.5 Historique des recherches :

La première découverte du caractère paléozoïque des séries sédimentaires du bassin de Tindouf revient à Oscar, (1880) in Gevin, (1960), les matériaux paléontologiques recueillis furent étudiés par Guido (1883) in Gevin, (1960) , qui reconnut des fossiles permettant d'affirmer la présence du Dévonien et du Carbonifère. Les premiers travaux de lithostratigraphie furent menés essentiellement par Menchikoff en 1930; ce n'est que de nombreuses années plus tard, Gevin, (1960), a pu rapporter une excellente synthèse stratigraphique associée à une description détaillée de plusieurs coupes levées sur le flanc sud du bassin.

Par ailleurs, d'autres études récentes dirigées par l'Office de recherche géologique et minière en Algérie (ORGM), ont été réalisées sur les plans paléontologiques, stratigraphiques, sédimentologiques, géochimique et structurales, tels que les travaux de Guerrak (1985, 1989) et Bitam et al, (1996).

Fabre (1967, 1976, 2005) a établie des études géologiques sur le bassin de Tindouf, au niveau lithostratigraphique et structural.

Chabou et al (2007) ont effectué des études sur les dolérites du flanc sud bassin de Tindouf.

I.3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL :

Pour une meilleure compréhension de l'hydrogéologie de la région, nous exposons ici, les grands traits hydrogéologiques du bassin de Tindouf.

Les études menées dans les différentes étapes structurales du bassin de Tindouf ont montrés la présence d'un socle cristallin d'âge Précambrien, représenté par des schistes, des quartzites et roches granitiques.

La couverture sédimentaire qui surmonte ce socle cristallin en discordance angulaire, dessine une vaste structure synclinale. Elle est représentée essentiellement par les assises du Paléozoïque sur lesquelles repose les formations hamadiennes attribuées au Tertiaire et quaternaire.

Les différentes nappes qui intéressent le bassin de Tindouf sont de bas en haut d'après DRE Tindouf (2012) :

a-NAPPE DES CALCAIRES A STROMATHLITES DE L'INFRA-CAMBRIEN :

Elle est connue uniquement dans le bassin de CHENACHENE à 650 Km environ au Sud-Est de la ville de Tindouf et n'est sollicité que par un seul forage à son amont Débitant 2,50 l/s.

b-LA NAPPE DES GRES ET QUARTZITES DE L'ORDOVICIEN SUPERIEUR :

Les eaux sont de très bonne qualité pour la consommation humaine. Cette nappe est connue au sud de la région, où les débits des forages sont de l'ordre de 02 à 12 l/s. Elle est sollicitée par deux (02) forages dans la localité de Gara-Djebilet, GC1 (fermé) et GC2 (06 l/s p/AEP) et deux (02) forages Dakhla 1 et 2 et une vingtaine de puits traditionnels dans la localité de Aouinet Bel-Lagraa .

c-LA NAPPE DES GRES DU DEVONIEN INFERIEUR :

Elle n'est connue qu'au sud de la région, aux environs de Gara - Djebilet où très difficilement les forages d'exploitation pourront fournir des débits supérieurs à 02 l/s.

Jusqu'à l'heure actuelle, cette nappe n'est pas encore exploitée, d'après DRE Tindouf (2012).

d- LA NAPPE DE LA HAMADA :

Cette nappe intéresse toute la partie septentrionale de la Wilaya, elle couvre une superficie de 23 000 km² environ. La formation réservoir, attribuée au tertiaire est constituée essentiellement par des sables fins à grossiers et sables argileux, surmontée par une dalle de calcaire silicifié. Son épaisseur est d'environ 10 m près de Sebka Abdallah passant à une centaine de mètres vers le centre du bassin aux environs de Hassi-naga.

Actuellement elle exploitée dans les zones de Hassi Ammar, Oued Zez, Oued M'heiya, Graret El-Harth , Oued En-Naga , Oum El- Assel et Hassi Khebbi avec un débit allant de 0,5 à 07 l/s.

La minéralisation des eaux varie entre 0,9 et 03 g/l.

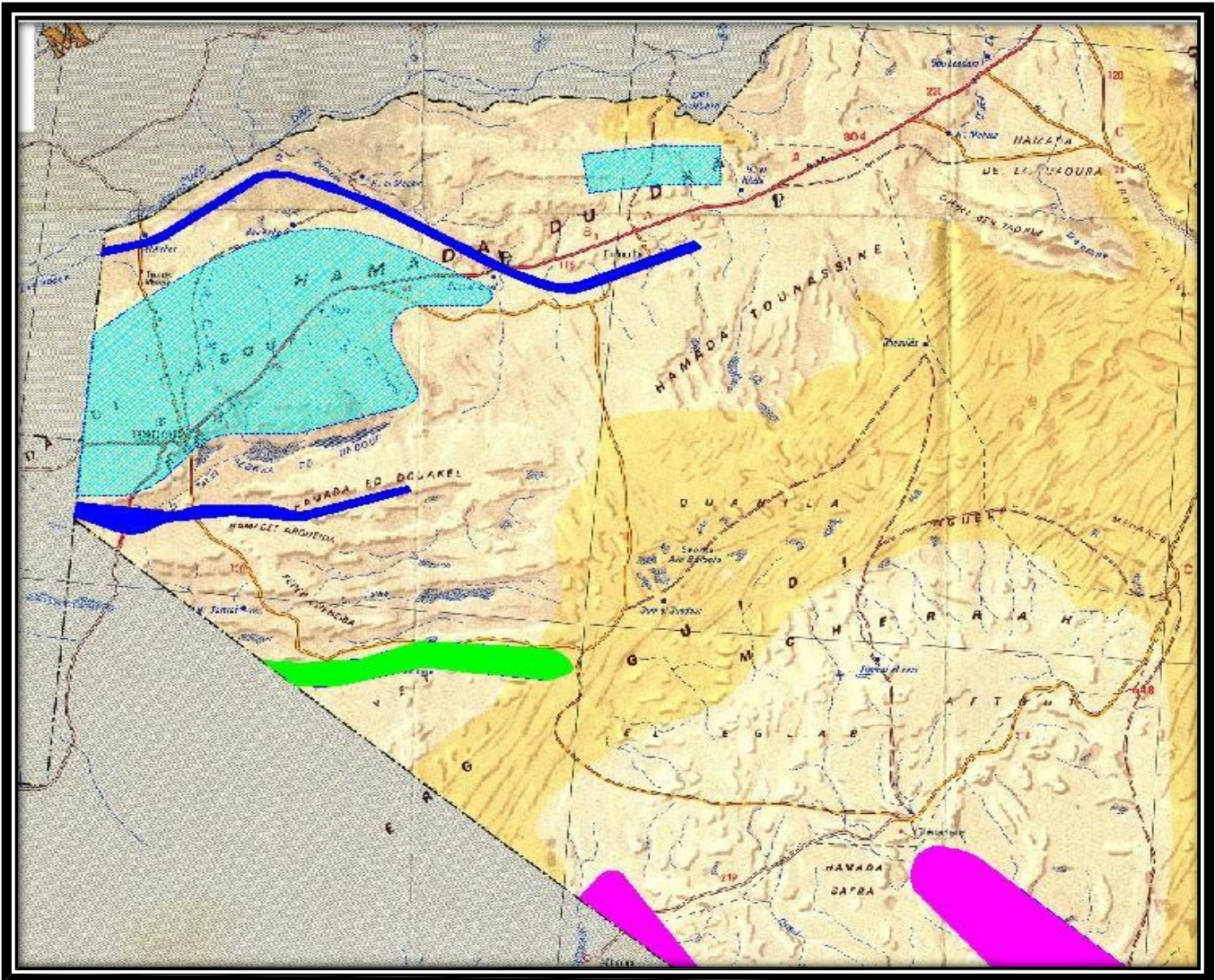
e- LA NAPPE DES CALCAIRES ET DOLOMIES DU VISEEN-TERMINAL :

C'est la source principale d'approvisionnement de la ville de Tindouf en eau potable. Elle constitue le plus important réservoir en eau de la région.

La minéralisation des eaux varie entre 2,4 et 2,6 g/l à Hassi Abdallah. Les débits des forages sont de l'ordre de 10 à 45 l/s.

Actuellement la nappe est exploitée à 146,76 l/s ou 2563614 m³/an avec rabattement de 0.5 m pour une période de 2 années.

A l'an 2040 le volume extrait devait atteindre 475 l/s (besoin brute de la future station de déminéralisation) ; ce qui nous amène à penser sur le devenir de cette ressource surtout que les possibilités réelles de son utilisation sont mal connues.



- Nappe des calcaires de l'infra-cambrien
- Nappe des grés de l'Ordovicien supérieur
- Nappe du Tertiaire continental
- Nappe des calcaires et dolomies du Viséen terminal

Figure.03 : Carte schématique montrant la répartition des différents aquifères du bassin de Tindouf (**DRE TDF**).

I.4 CLIMATOLOGIQUE

Le climat est l'ensemble des phénomènes (vent, précipitation, température, évaporation....) qui varient d'un lieu à un autre de la surface terrestre.

La climatologie du Sahara est un sujet d'étude complexe à cause de la rareté des précipitations et de la faible densité du réseau de la station météorologique.

La climatologie étudie la combinaison des phénomènes météorologiques à la surface du globe, elle a pour objet de déterminer le type de climat d'une région.

Les données relatives aux précipitations et aux températures ont été recueillies à la station de Tindouf pour une période d'étude qui s'étale de 1973 à 2009.

Cette station est installée à une altitude de 443m, aux coordonnées géographiques indiquées dans le tableau.1.

Tableau.01 : Présentation de la station de Tindouf (1973/2009)

| Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|----------------|----------------|--------------|
| 27° 42' 00'' N | 08° 10' 00'' W | 443 |

I.4.1 Etude des précipitations :

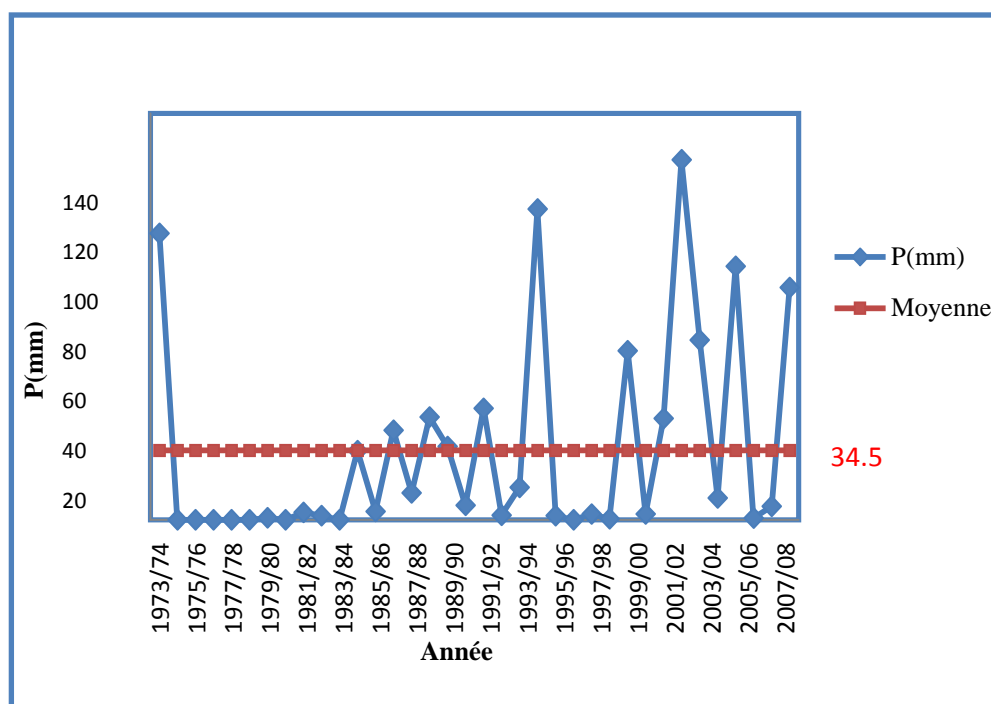
Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques recueillies par un bassin versant ou une zone déterminée.

I.4.1.1 Précipitations annuelles :

Les précipitations annuelles à la station de Tindouf sont mentionnées dans le tableau.2.

Tableau.02 : Valeurs des précipitations annuelles à la station de Tindouf (1973/09)

| Années | P (mm) | Années | P (mm) | Années | P (mm) | Années | P (mm) |
|----------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 1973/74 | 140,9 | 1983/84 | 0 | 1993/94 | 15,9 | 2003/04 | 88,4 |
| 1974/75 | 0 | 1984/85 | 34,0 | 1994/95 | 152,9 | 2004/05 | 10,7 |
| 1975/76 | 0 | 1985/86 | 4,1 | 1995/96 | 2,0 | 2005/06 | 124,7 |
| 1976/77 | 0 | 1986/87 | 44 | 1996/97 | 0 | 2006/07 | 0,8 |
| 1977/78 | 0 | 1987/88 | 13,2 | 1997/98 | 2,8 | 2007/08 | 6,6 |
| 1978/79 | 0 | 1988/89 | 50,6 | 1998/99 | 0,5 | 2008/09 | 114,3 |
| 1979/80 | 1,0 | 1989/90 | 36 | 1999/00 | 83,1 | | |
| 1980/81 | 0 | 1990/91 | 7,1 | 2000/01 | 2,8 | | |
| 1981/82 | 3,6 | 1991/92 | 54,8 | 2001/02 | 49,8 | | |
| 1982/83 | 2,0 | 1992/93 | 2,2 | 2002/03 | 177,1 | | |
| Moyenne annuelle =34,5 mm | | | | | | | |

**Figure.04:** Variation des précipitations annuelles à la station de Tindouf

On constate que la courbe ne présente pas une symétrie par rapport à la moyenne des précipitations annuelles qui est de 34,5 mm/an calculée sur une période de 36 ans.

Le maximum de 177,1 mm est observé en (2002-03) et le minimum nulle (0 mm) est enregistré plusieurs années durant la période considérée.

I.4.2 Etude des Températures :

La température est un facteur important qui détermine le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elle permet avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et des indices climatiques.

Le tableau 3 regroupe :

- les moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales (TM).
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (Tm).
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures moyennes $(TM+Tm)/2$.

Tableau.03: Température moyennes, maximales et minimales à la station de Tindouf (73/09)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | Jt | A | An |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $T_m(^{\circ}C)$ | 22,9 | 18,3 | 12,4 | 8,4 | 7,5 | 9,6 | 12,8 | 14,4 | 17 | 21,1 | 26,5 | 26,8 | 16,5 |
| $T_M(^{\circ}C)$ | 38,3 | 32,6 | 26,3 | 21,4 | 21,2 | 24,2 | 28,1 | 31 | 34,7 | 39,2 | 44,4 | 43,3 | 32,1 |
| $T_{moy}(^{\circ}C)$ | 30,6 | 25,5 | 19,4 | 14,9 | 14,4 | 16,9 | 20,5 | 22,7 | 25,8 | 30,2 | 35,4 | 35,1 | 24,3 |

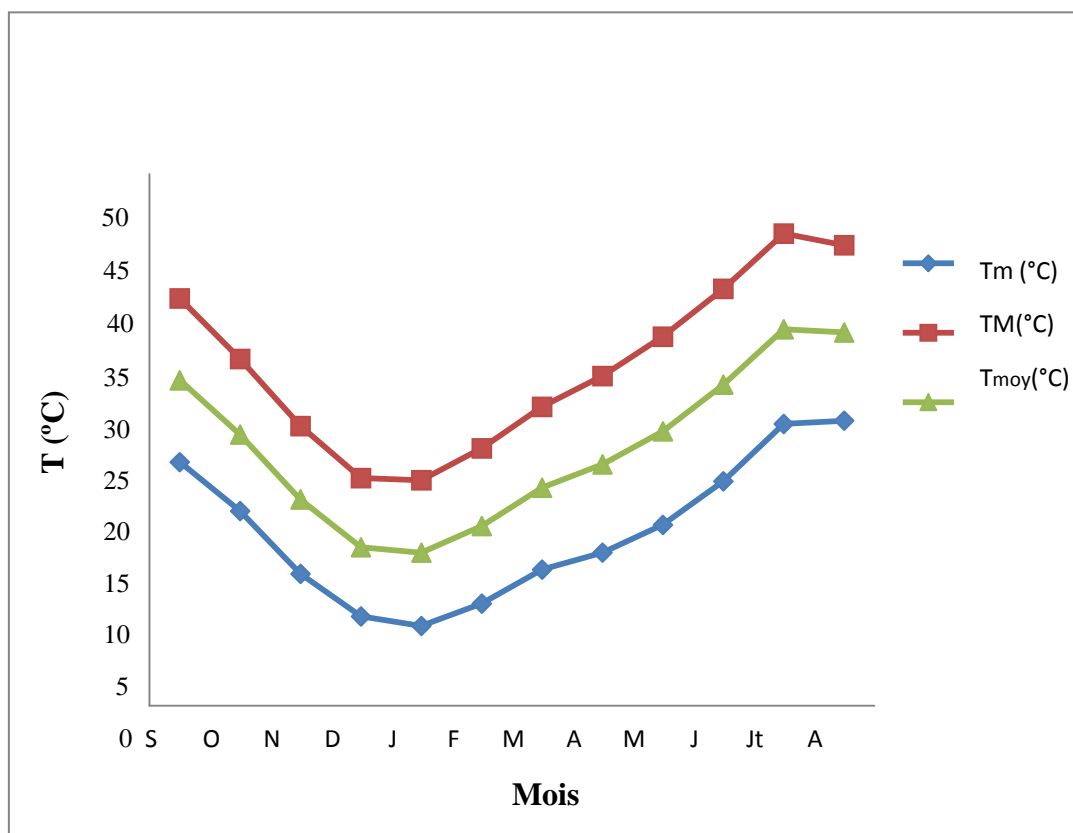


Figure 05 : Variations des températures moyennes, maximales et minimales à la station Tindouf (1973/09)

Les températures moyennes mensuelles des minima sont comprises entre 7,5°C en Janvier et environ 26,8°C en Août.

Les moyennes mensuelles des maxima varient entre 21,2°C en Janvier et 44,4°C en Juillet.

Quant aux températures moyennes observées, nous notons un maximum au mois de Juillet (35,4°C) et un minimum au mois de Janvier (14,4°C).

I.4.3 Conclusion :

A partir de l'étude climatique de la station de Tindouf sur la période allant de 1973 à 2009, nous avons aboutis aux résultats suivants :

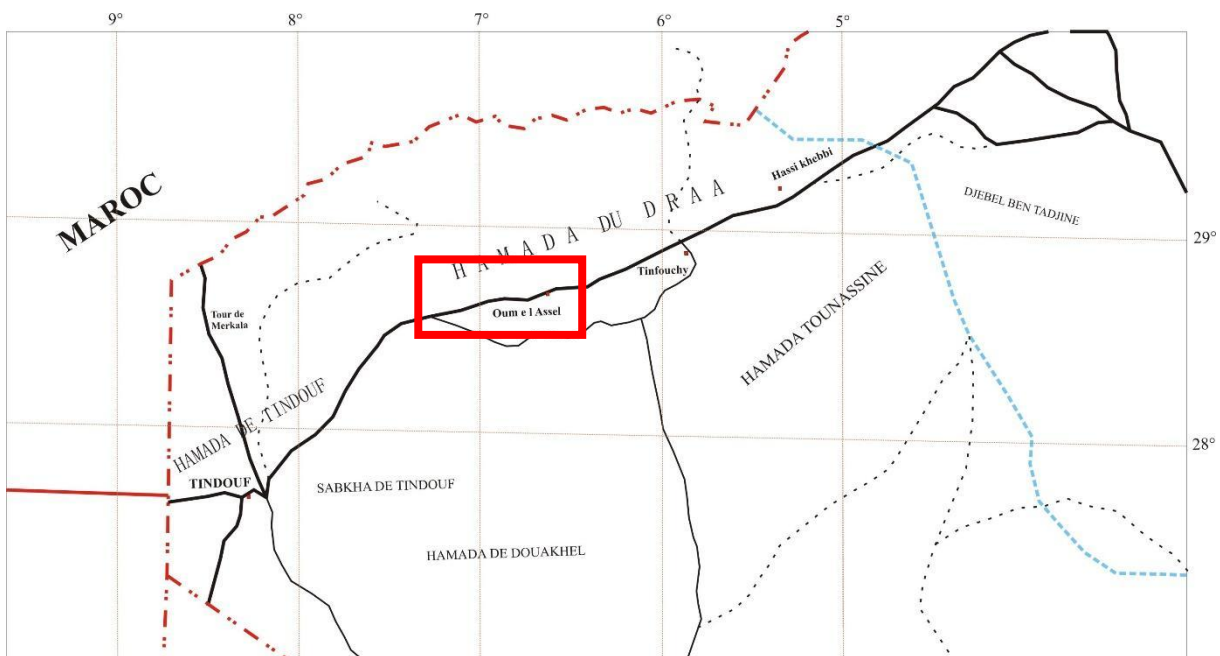
- Une moyenne annuelle de précipitation de 34,5 mm avec Octobre le mois le plus humide (9,1 mm) et Avril le mois le plus sec (0,4 mm).
- Une moyenne annuelle de température de 24,3°C, avec janvier le mois le plus froid (14,4°C) et juillet le mois le plus chaud avec 35,4°C.
- à l'échelle saisonnière l'étude des précipitations montre que l'automne et l'hiver sont les saisons les plus humides et le printemps correspond à la saison la plus sèche.
- L'indice de De Martonne montre que la région étudiée est soumise à un climat hyper-aride.
- En ce qui concerne l'évapotranspiration potentielle (ETP) la méthode numérique de Thornthwaite nous a permis d'obtenir des valeurs mensuelles supérieures à celle des précipitations ce qui a rendu impossible le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).

I.5 Zone étudiée :**I.5.1 situation géographique :**

La zone d'étude est située dans le territoire de la commune d'Oum El Assel même et dans la région de la localité de Om El Assel, est limitée par les parallèles 29° 00' et 29° 30' et par les méridiens 5° 00' et 5° 40' (fig. 06).

La zone à étudier est limitée :

- A l'Est par les monts de la Daoura.
- A l'Ouest par les monts de khorb El Ethel.
- Au Nord et Nord-Est par les affleurements de l'Anti-Atlas marocain.

**LA LEGENDE**

- Route
- - - Limite international
- - - Limite de wilaya

Figure.06: carte présentée la situation géographique de la zone étudiée

I.5.2 Cadre géologique :

Dans le bassin de Tindouf le flanc sud a fait l'objet de nombreuses études liées à la recherche minière après la découverte par P. Gevin (1960) dans les années cinquante du gisement de fer de Gara Djebilet situé au sud- Est de la ville de Tindouf.

Concernant le flanc Nord du bassin, il n'existe que très peu de travaux géologiques et particulièrement les forages réalisés par la compagnie pétrolière Sonatrach dans les années fin soixante soixante dix.

Son flanc Nord étroit et très redressé, est affecté de plis linéaires, réguliers et fortement accusés de direction NE-SW.

On distingue trois structures : Le pli d'Adami Filou, l'anticlinal Oum El Assel Tinchouchy et l'anticlinal de Zemoul Igma.

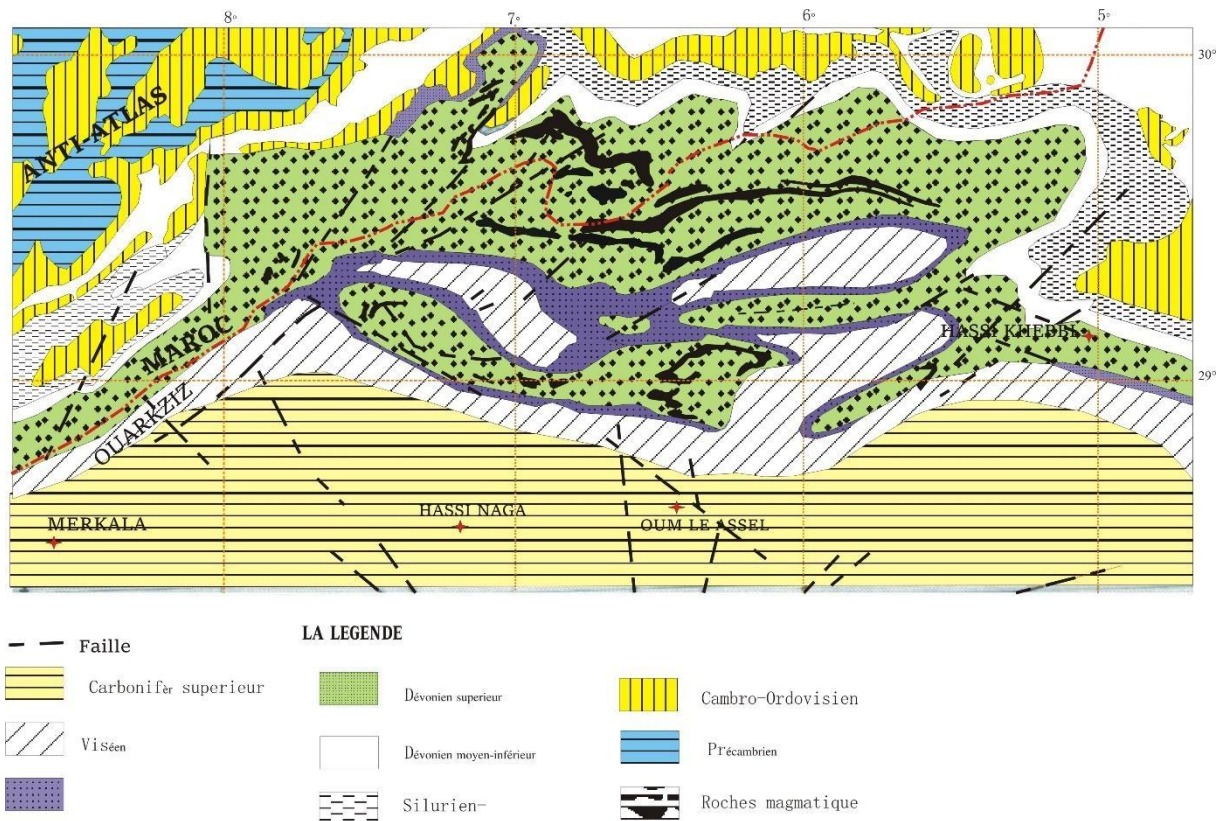


Figure.07: carte géologique montrant les différentes structures géologiques

I.6 Les objectifs d'étude :

Le thème est proposé sous-titre de : **Intégration Sig Télédétection une hydrogéologie cas de la ville Om El Assel (Tindouf)**

Cette étude se fixe plusieurs objectifs qui s'articulent principalement autour de :

- Une présentation générale des caractères lithostratigraphiques et structuraux du bassin de Tindouf et surtout le flanc Nord. Donc les objectifs assignés dans ce travail sont :
- Une étude cartographique numérique de la région du Om El Assel.
- Une étude géophysique et hydrogéologique de la zone étudier.
- Enfin, déterminer les propositions des forages.



Chapitre II

Approche Méthodologique

II.1 Introduction

La cartographie géologique est d'une importance extrême pour le géologue, il est donc indispensable de maîtriser toutes méthodologie et technique moderne de confection de cartes géologiques. Ces dernières années, la cartographie assistée par ordinateur, notamment la télédétection et le traitement d'images satellitaires se sont imposés comme les outils de cartographie géologique les plus rapides, les plus précis et les plus fiables qui s'offrent aux géologues, particulièrement lorsqu'il s'agit de cartographie en zones arides et désertiques où les affleurements sont souvent inaccessibles compliquant le travail cartographique classique

Dans ce travail, l'analyse des Cartes, en plus des photos satellitaires, nous avons consulté une assez riche bibliographie concernant la région d'étude, et nous avons utilisé des données géoscientifiques sous forme de cartes géologiques au 1/200000 établie par les services cartographique de l'INCT, la cartes géologique du maroc et Rasd 1/100 0000 établie par le Services géologique du Maroc ainsi que la carte hydrogéologique du Maroc et RASD réalisé par the British Geological Survey. Ces cartes ont été analysé pour comprendre la lithostratigraphie et la géodynamique de la région puis on a superposé les carte géologique et satellitaires sur Arcgis pour identifier les structures géologique et les numériser (les limites et les données des forages de reconnaissance) sur les cartes satellitaires. Afin de limiter la nappe et comprendre l'effet de géodynamique sur l'aquifère.

II.2 Principe de base de la télédétection

La télédétection est utilisée de manière croissante dans différents domaine ; des dizaines de satellites d'observation de la Terre sont en orbite gestion des ressources naturelles, la climatologie, l'océanographie, la géographie ou la cartographie ...etc.

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.» (Site Web du Centre Canadien de Télédétection.

La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un vecteur :

La cible : étant la portion de la surface terrestre observée par le satellite,

La source d'énergie : l'élément qui "éclaire" la cible d'une onde électromagnétique (flux de photons).

Il s'agit généralement du soleil, ou de l'énergie solaire stockée et réémise par la cible

Le vecteur: ou plate-forme de télédétection mesure l'énergie (rayonnement électromagnétique) réfléchi par la cible, puis un émetteur renvoie l'image sur Terre vers des systèmes de collecte et analyse de données.

II.3 Les étapes

Les étapes qui couvrent le processus de la télédétection et qui nouent les trois éléments fondamentaux -que sont la source d'énergie, le vecteur et la cible- sont les suivantes (figure 8):

- Le rayonnement provient d'une source d'énergie (1) ou d'illumination de la cible ;
- Il interagit avec l'atmosphère (durant son parcours « aller » et « retour » entre la source d'énergie et la cible)
- Une fois parvenue à la cible (2), l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. Les propriétés de cette dernière ainsi que la longueur d'onde du rayonnement réfléchi ou émis dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique procurent à la cible une sorte d'« empreinte digitale » : sa signature spectrale ;
- l'énergie diffusée ou émise par la cible, est ensuite captée à distance par un capteur embarqué à bord d'un satellite (ou d'un avion) (3) et enregistrée sous format numérique ;
- Cette information enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception généralement située au sol où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques)

L'image traitée est par la suite analysée (4) et interprétée (5) (interprétation visuelle et/ou numérique) pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible afin de mieux la comprendre, d'en découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

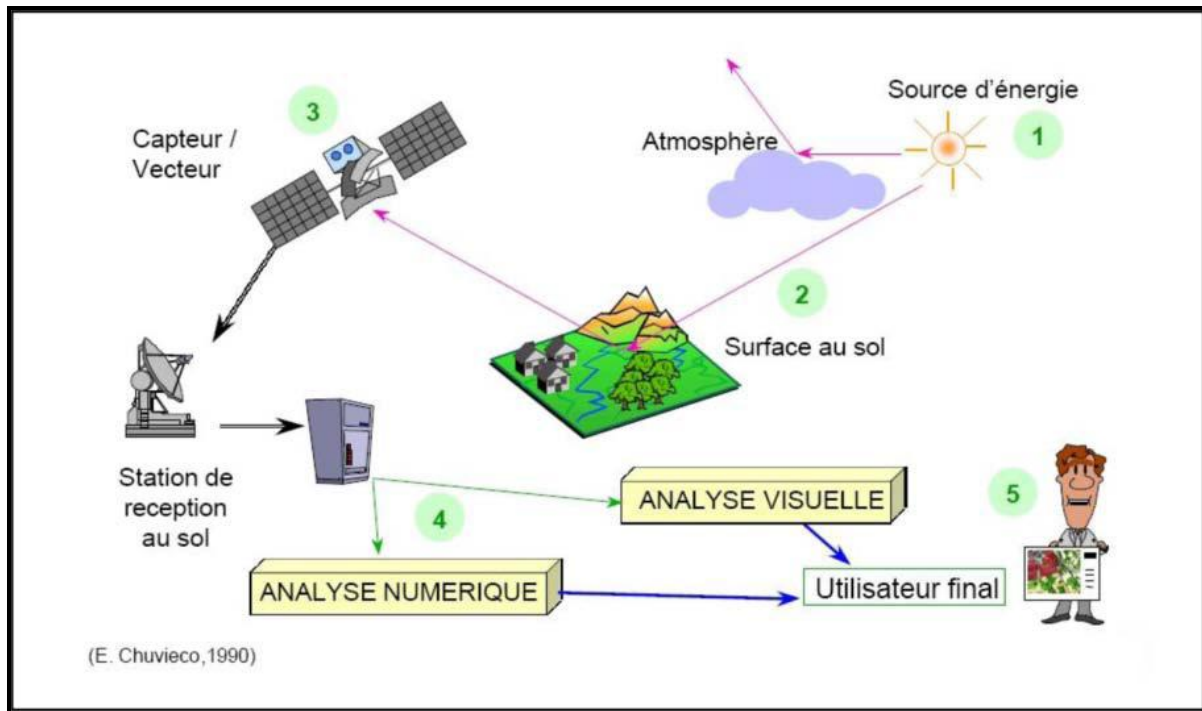


Figure.08: le système de télédétection (E. Chuvico, 1990).

Catégorisation du contenu informatif de l'image

| Sources d'informations | Paramètres | Degré de complexité |
|--|---|--|
| Internes à l'image Luminance spectrale Positionnement relatif - Voisinage | Tons-couleurs Texture | Niveau faible Contenu sémantique pauvre. |
| Externes à l'image .Connaissances thématiques . Interprétation . Association Apports externes croissants | Structure Relief, ombre Variables thématique : Occupation du sol, Environnement, Géologie, ct. | Niveau moyen à niveau élevé le contenu sémantique, issu de source externe, est associé à l'image. |

Tableau.04 : Catégorisation du contenu informatif de l'image

II.4 Quelques principes de classification

Un analyste qui tente de classer les caractéristiques d'une image, utilise les éléments de l'interprétation visuelle pour identifier des groupes homogènes de pixels qui représentent des classes intéressantes de surfaces. La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement. Ce type de classification est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. Les deux façons de procéder (manuelle ou automatique) ont pour but d'assigner une classe particulière ou thème (par exemple : eau, forêt, maïs, blé, etc.). À chacun des pixels d'une image. La "nouvelle" image qui représente la classification est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à un thème particulier. Cette image est essentiellement une représentation thématique de l'image originale (Figure 09) .

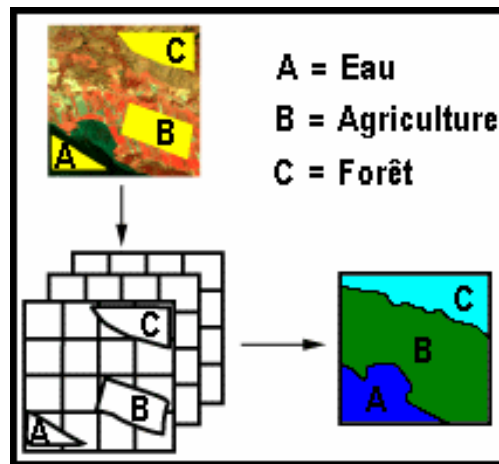


Figure.09 :Exemple de représentation thématique d'une image.

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information et des classes spectrales. Les classes d'information sont des catégories d'intérêt que l'analyste tente d'identifier dans les images, comme différents types de cultures, de forêts ou d'espèce d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques ou de roches, etc. Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données. L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. D'un autre côté, une classe d'information très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs sous-classes spectrales avec des variations spectrales définies. En utilisant l'exemple de la forêt, les sous-classes

spectrales peuvent être causées par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage ou des variations dans l'illumination. L'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles. Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories :

les méthodes de classification supervisée et les méthodes de classification non supervisée.

II.4.1 La classification supervisée

Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests (zones d'entraînement). La sélection de ces données-tests est basée sur les connaissances de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. L'analyste supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées pour que l'ordinateur puisse définir automatiquement les classes et ensuite reconnaître automatiquement des régions aux propriétés similaires à chaque classe. L'ordinateur utilise un programme spécial ou algorithme afin de déterminer la "signature" numérique de chacune des classes. Une classification supervisée commence donc par l'identification des classes d'information qui sont ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui les représentent (Figure 10).

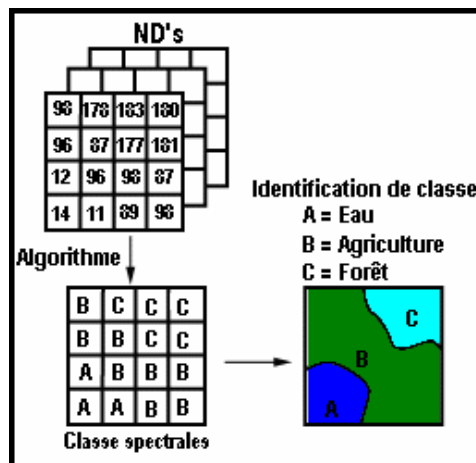


Figure 10 : Exemple de classification supervisée.

II.4.2 La classification non supervisée

La classification non supervisée procède de la façon contraire. Les classes spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utiles si possible. Des programmes appelés algorithmes

de classification sont utilisés pour déterminer les groupes statistiques naturels ou les structures des données. Habituellement, l'analyste spécifie le nombre de groupes ou classes qui seront formés avec les données. De plus, l'analyste peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau. Chacune de ces étapes nécessite une nouvelle application de l'algorithme. L'intervention humaine n'est donc pas totalement exempte de la classification non supervisée. Cependant, cette méthode ne commence pas avec un ensemble prédéterminé de classes comme pour la classification supervisée.

a- La méthode Kmeans

Le nombre maximum de bandes est 64 et le nombre maximum de clusters est 256. KMEANS utilise la technique dite de clustering K-means pour partitionner une image à n dimensions en K clusters exclusifs. KMEANS commence par initialiser K centroïdes (moyennes), puis attribue chaque pixel au cluster dont le centroïde est le plus proche, met à jour les centroïdes de cluster, puis répète le processus jusqu'à ce que les K centroïdes soient fixes. Il s'agit d'un algorithme heuristique et gourmand pour minimiser la SSE (somme des erreurs au carré moindres carres), par conséquent, il peut ne pas converger vers un optimum global. Étant donné que ses performances dépendent fortement de l'estimation initiale de la partition, un nombre relativement important de grappes est généralement recommandé d'acquérir un modèle initial de centroïdes aussi complet que possible. La méthode KMEANS utilise la distance euclidienne pour calculer les distances entre les pixels et les centroïdes de cluster.

La distance entre un pixel et un centre de gravité cluster prend la forme générale:

$$d_{ik} = (\sum |X_{in} - C_{kn}|^2)^{1/2}$$

Where

d_{ik} denotes the distance from the i -th pixel to the k -th centroid; X_{in} indicates the vector (X_1, X_2, \dots, X_n) of the i -th pixel and C_{kn} denotes the vector (C_1, C_2, \dots, C_n) of the k -th centroid, in which n denotes the number of bands.

Comprendre e ta traduire

Les performances de KMEANS dépendent fortement de l'initialisation des centroïdes. La règle de partition aléatoire fonctionne en affectant au hasard chaque pixel à l'un des K clusters, puis détermine les centroïdes initiaux en fonction de ces affectations initiales. La règle de départ aléatoire prélève d'abord au hasard K points dans l'ensemble de données en tant que

centroïdes initiaux, puis attribue chaque pixel au centroïde le plus proche selon la règle de distance minimale. La règle de l'axe diagonal définit les centroïdes K initiaux de l'espace de valeurs à n dimensions des bandes d'entrée de manière systématique, c'est-à-dire qu'elle récupère uniformément K points sur une ligne diagonale qui part du point de vecteur de valeur minimale au vecteur de valeur maximale point dérivé de la série de bandes.

b- La méthode Isodata

Le Processus de la méthode CLUSTER utilise une technique de pic d'histogramme d'analyse de grappe. Cela revient à rechercher les pics dans un histogramme unidimensionnel, où un pic est défini comme une valeur avec une fréquence plus élevée que ses voisins de chaque côté. Une fois les pics identifiés, toutes les valeurs possibles sont affectées au pic le plus proche et les divisions entre les classes se situent au milieu des pics. Ici, un histogramme à une à sept dimensions est utilisé pour trouver les pics. Un pic est donc une classe où la fréquence est supérieure à tous ses voisins cardinaux. Les voisins diagonaux sont omis en raison de la corrélation entre les bandes.

Dans la classification large, une classe doit contenir une fréquence supérieure à tous ses voisins non diagonaux. Dans la classification fine, cela est détendu, permettant à un voisin non diagonal d'avoir une fréquence plus élevée. Cela permet d'accueillir de vrais pics qui sont autrement manqués car un pic proche de plus grande ampleur masque le pendage habituel entre les pics.

Le principe du traitement suit les étapes dans le système IDRISIW :

1-On doit spécifier le nombre de fichiers (bandes) à utiliser dans la classification. Le nombre maximum est 7.

2-Entrez les noms de bande individuellement ou vous pouvez éventuellement insérer un fichier de groupe raster (.rgf)

3- Spécifiez un nom d'image de sortie.

4-Spécifiez le nombre de niveaux de gris à utiliser pour étirer les bandes.

5-Spécifiez le pourcentage à saturer de chaque extrémité de la distribution de données de chaque bande.

6-Indiquez s'il faut utiliser un niveau de généralisation large ou fin pour la classification. On note que la classification large donne une image générale des classes spectrales, tandis que la classification fine donne des détails complexes.

7-Spécifiez une règle de clustering. Vos options sont les suivantes:

une. Supprimer les clusters les moins significatifs: spécifiez le pourcentage à supprimer, par exemple 1,0 si vous supprimez 1%.

Les groupes sont classés en fonction de la proportion de l'image qu'elles décrivent, et seules les grappes cumulativement supérieures au seuil de pourcentage sont conservées. Une fois les clusters mineurs rejetés,

les cellules précédemment affectées à l'un des clusters omis sont réaffectées au plus similaire des clusters conservés.

Tout d'abord, l'histogramme de chaque image d'entrée est obtenu en parcourant les valeurs numériques de l'image d'entrée d'origine. À partir de cet histogramme, la proportion cumulative numérique à chaque niveau de gris est trouvée en additionnant la fréquence de chaque niveau de gris de basses à hautes fréquences. Les points de coupure sont ensuite déterminés en fonction du pourcentage de saturation spécifié. Par exemple, pour saturer une image de 5% dans chaque classe, les points de coupure des proportions cumulées de 5% et 95% sont déterminés en vérifiant la proportion cumulée à partir de l'histogramme. Pour dériver l'histogramme de chaque image d'entrée, les niveaux de gris des images d'entrée sont étirés linéairement en 256 niveaux, allant de 0 à 255. Cela permet à CLUSTER de gérer l'un des trois types de données - octet, entier ou réel - dans cette plage de données.

En second lieu, chaque image est étirée linéairement dans les niveaux de gris donnés en appliquant les points de coupure. Dans le processus d'étirement, la nouvelle valeur d'un pixel est évaluée à l'aide de la procédure utilisant le niveau de gris. En finalité, les histogrammes sont développés à partir de chaque image nouvellement étirée. Les histogrammes dérivés des images nouvellement étirées sont utilisés pour trouver des pics et effectuer l'analyse de cluster.

II.5 Intégration SIG

Le mode d'acquisition influe sur les caractéristiques géométriques des images. En effet les dimensions des pixels d'une même ligne ne seront pas les mêmes selon que le pixel se trouve au nadir où latéralement sur la ligne de balayage. Il en résulte des déformations sur l'image, mais elles sont assez faibles pour les capteurs embarqués sur satellites qui ont des angles solides très petits. Cela s'accompagne de modifications radiométriques car l'épaisseur de l'atmosphère traversée est plus grande pour une visée oblique que pour une visée verticale. Ces erreurs systématiques doivent être corrigées si l'on souhaite superposer différentes images ou si les interprétations thématiques doivent être comparées avec d'autres au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG).

Les systèmes d'information géographiques (SIG) permettent, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer et d'analyser par combinaison, des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Société française de photogrammétrie et télédétection, 1989).

L'intégration, la généralisation et l'agrégation des données géologiques imposent une structuration et une modélisation assez complète pour la production des différentes cartes, indispensables aux différentes études sur le réseau hydrographique et l'hydrogéologie.

II.6 Les applications des SIG

Un SIG est requis toutes les fois qu'il s'agit de gérer une importante base de données pour laquelle l'aspect spatial ou géographique a un sens par rapport à l'information contenue dans la base. Le guidage automobile automatisé met en relation un certain nombre de données (adresses de services administratifs, d'entreprises, voire de particuliers) avec un plan ou une carte permettant d'établir les itinéraires ; de même, les données alphanumériques du cadastre (surface des parcelles, noms des propriétaires, hauteur des immeubles) sont mises en rapport avec le plan cadastral lui-même.

Par conséquent, toute base de données ne devient pas automatiquement un SIG, dès lors que le croisement des données graphiques avec les données alphanumériques est incomplet, voire absent. De même, un logiciel de dessin ou de conception cartographique n'est pas un SIG s'il n'est pas couplé à un système de gestion de base de données et s'il n'est pas capable de gérer les relations géographiques avec Les Systèmes de Gestions de Bases de Données (SGBD) dans toutes leurs dimensions (analyse spatiale). Ces observations relativisent l'extension du champ des applications possibles des SIG, même si ce champ est voué à un élargissement important dans les années à venir. C'est pourquoi la gamme des utilisations possibles des SIG présentée ci-dessous sera limitée aux applications les plus prometteuses dans les circonstances actuelles.

II.7 Apport de la télédétection en hydrogéologie

L'extraction d'un réseau hydrographique à partir d'un MNT/ MNE offre de nombreux avantages, notamment les informations tridimensionnelles obtenues, la récupération de données au format vecteur et les possibles modélisations du réseau secondaire en fonction de la résolution des données utilisées et des seuils de calcul choisis. Les méthodes « hybrides », permettant de définir la structure morphologique des bassins de manière significative et réaliste, constituent les approches les plus précises et les plus efficaces.

Sur site, les écoulements de sub-surface sont souvent difficilement visibles en raison du manque de recul. La télédétection, qui offre une prise de hauteur, est donc un outil parfaitement adapté à la recherche de ce type d'indice. Toutefois, il est très difficile, voire impossible, d'extraire l'information à partir du traitement automatique d'images satellites en raison du caractère ponctuel, parfois diffus, de la variabilité temporelle et de l'aspect généralement peu « marqué » des écoulements de sub-surface

Aussi, dans le cas présent, l'apport de l'imagerie satellitaire THRS se limite à une analyse par photo-interprétation, qui peut en revanche être facilitée et améliorée par l'exploitation des différentes bandes spectrales des capteurs, notamment dans l'infra-rouge non perceptible par l'œil humain.

Certaines sources de données recensent les dolines (exemple : carte topographique de L'INCT), sachant que ces informations ne sont ni homogènes, ni exhaustives, et qu'elles ne permettent pas de caractériser les dépressions de manière tridimensionnelle. La méthode d'extraction basée sur le traitement d'un MNE / MNT est très efficace pour extraire automatiquement des dépressions sur des surfaces horizontales ou sub-horizontales. Suivant le niveau de précision des données, elle peut permettre de détecter des dolines de petites dimensions, sachant que la résolution du modèle doit correspondre à l'échelle des plus petites dépressions à identifier.

La télédétection spatiale permet entre autre d'extraire les dispositifs de drainage artificiels et les réseaux de fractures des massifs géologiques par le biais de méthodes automatiques ou par photo-interprétation. Dans ce domaine, les travaux de recherche menés jusqu'à présent conduisent à des résultats très satisfaisants d'un point de vue qualitatif et quantitatif. Toutefois, ils ne permettent pas encore de déterminer le potentiel hydraulique réel des réseaux et donc de différencier les éléments conducteurs actifs et inactifs, même en présence d'indicateurs spécifiques (alignement de végétation active et dense par exemple).

Il existe des outils informatiques de correction de MNT qui consistent à substituer les dépressions locales par des surfaces horizontales en effectuant une opération de remplissage (fill sink, représenté schématiquement ci-dessous). Ces outils peuvent être utilisés pour extraire automatiquement les dolines d'un MNT.

Finalement, grâce à la connaissance précise des réseaux de drainage superficiels, naturels et artificiels, il est possible de constituer un élément déterminant pour la caractérisation et la délimitation des Aires d'Alimentation de Captage (AAC). Les méthodes traditionnelles de recherche d'indices de drainage en surface et sub-surface reposent essentiellement sur l'exploitation de données locales, sur des relevés sur site et sur des analyses par photo-interprétations d'images aériennes, caractérisées par des échelles géographiques variables.

La télédétection, grâce à sa vision synoptique, sa richesse d'information, sa haute résolution spatiale et sa capacité de revisite permet d'étudier de manière homogène, précise et fréquente de vastes champs géographiques (méthode « à grand rendement ») et constitue un puissant outil pour la détection automatique de certains réseaux de drainage, tels que le chevelu hydrographique, les points d'infiltration en surface (dépressions topographiques par exemple) et certains éléments linaires (discontinuités géologiques et drainages artificiels).

Pour d'autres éléments de drainage, tels que les sous écoulements dans les horizons superficiels des sols, l'extraction des informations est difficile en mode automatique et requiert une expertise humaine (photo-interprétations ou analyse détaillée in situ) pour identifier précisément les zones. Toutefois, la télédétection reste pertinente au regard de la prise de hauteur, du large champ d'observation et de la richesse spectrale de l'imagerie satellitaire, avec des canaux sortant de la lumière perceptible par l'œil humain.

Dans tous les cas, le traitement numérique de données satellitaires hautement résolues apporte une aide informatique précieuse pour la cartographie d'indices de drainage superficiels. Ce repérage peut faciliter la caractérisation des captages et de leur environnement, aussi bien à l'amont des études de vulnérabilité, en permettant par exemple de pré dimensionner le bassin à analyser, qu'au stade du diagnostic, en permettant de rechercher avec précision le cheminement des eaux superficielles et le potentiel d'infiltration des eaux à la surface du sol. Enfin, les résolutions spatiales et spectrales des images, la capacité de revisite, les coûts comparativement réduits, l'augmentation croissante de l'offre et le développement d'outils de traitement d'images gratuits et open source sont autant d'atouts pour promouvoir l'utilisation de cette technologie dans le cadre de la délimitation des AAC.



Chapitre III

Application

III.1 Introduction

Les analyses visuelles et numériques de l'imagerie en télédétection ne s'excluent mutuellement. Les deux méthodes ont chacune leurs mérites, et c'est en combinant les deux que se font la plupart des analyses de l'imagerie. Les ordinateurs étant en mesure de traiter des images complexes, l'analyse numérique peut s'effectuer à partir de données provenant de plusieurs canaux ou sources. Dans cette optique, l'analyse numérique, est utiliser pour l'analyse simultanée de plusieurs bandes spectrales et elle peut traiter des banques de données plus rapidement qu'un interprète humain.

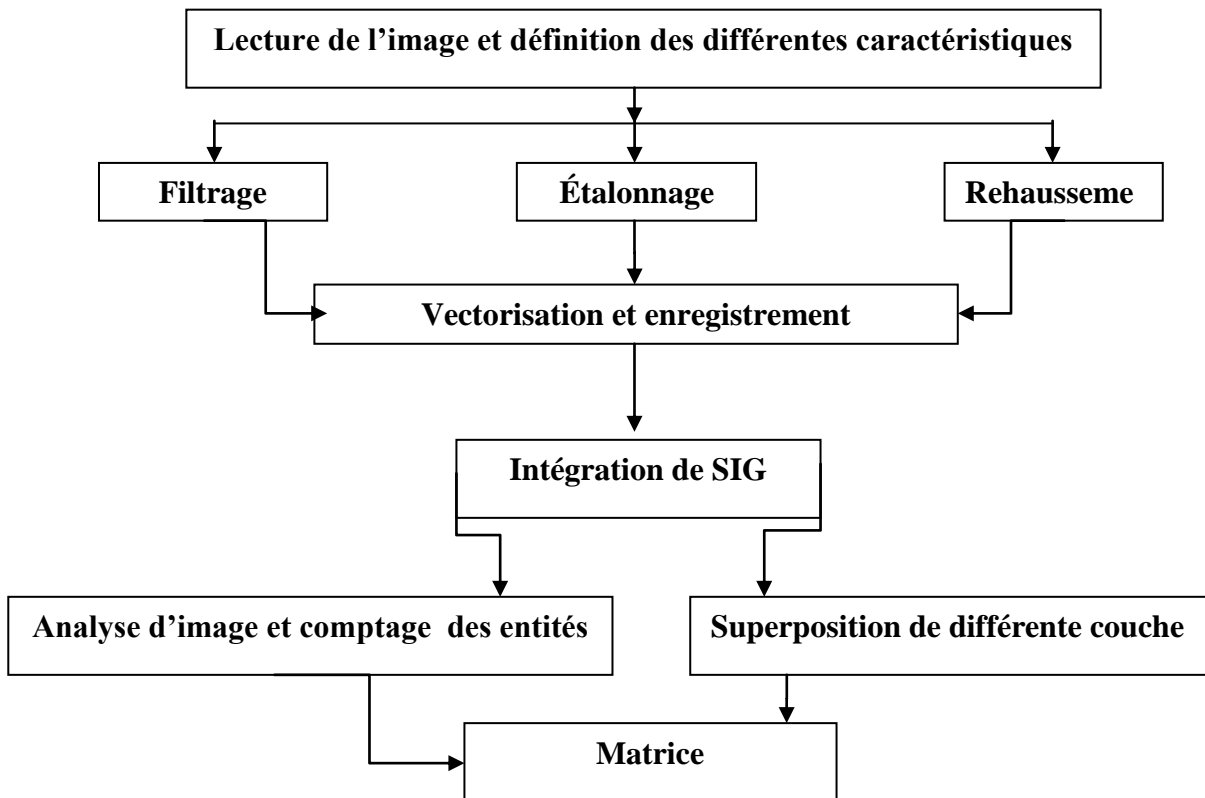
-L'interprétation humaine est un procédé subjectif, ce qui veut dire que les résultats peuvent varier d'un interprète à l'autre. L'analyse numérique, puisqu'elle est basée sur la manipulation de nombres par un ordinateur est plus objective, ce qui donne des résultats reproductibles. Cependant, la précision des résultats provenant de traitements numériques peut être difficile, puisqu'elle doit être validée par les analystes. En général, l'interprétation visuelle requiert peu ou pas d'équipement, tandis que l'analyse numérique requiert de l'équipement spécialisé et parfois dispendieux.

-L'interprétation visuelle est souvent limitée à un seul canal de données ou une seule image à la fois, en raison de la difficulté d'effectuer une interprétation visuelle avec plusieurs images. Le traitement numérique des images peut recourir à divers procédés dont le formatage et la correction des données, le rehaussement numérique pour faciliter l'interprétation visuelle ou même la classification automatique des cibles et des structures entièrement par ordinateur. Plusieurs systèmes de logiciels commerciaux ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection. Pour les besoins de ce projet, nous utiliserons quelque fonction de traitement des images pour des applications géologiques, disponibles en quatre catégories :

- Prétraitement,
- Rehaussement de l'image,
- Transformation de l'image,
- Classification et analyse de l'image

Les fonctions de prétraitement sont des opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en corrections radiométriques et en corrections géométriques. Les corrections radiométriques comprennent entre autres, la correction des données à cause des irrégularités du capteur, des bruits dus au capteur ou à l'atmosphère, et de la conversion des données afin qu'elles puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur. Les corrections géométriques comprennent la correction pour les distorsions géométriques dues aux variations de la géométrie Terre-capteur, et la transformation des données en vraies coordonnées (par exemple en latitude et longitude) sur la surface de la Terre. L'utilisation des images Google Earth nous dispense des différentes corrections. Dans ce travail on s'intéresse au processus de mise en place d'une cartographie géologique dans la zone de Oum Elassel. A cet effet, différentes transformations seront considérée dans ce chapitre pour obtenir

une cartographie fiable de la zone pilote. La démarche utilisée propose l'organigramme suivant (figure.11):



III.2 Présentation du site d'étude

La zone Oum el Assel de l'état des plaines de Tindouf et des mots de plateaux c'est un affleurement de calcaire du viséen supérieur longent la route de Tindouf a 40 km nord Est d'oum el Assel ce sont des calcaire d'origine chimique et organogène quartz terrigène calcaire. Notre site d'étude est couvert par les scènes Landsat que nous utilisons pour les besoins de l'étude.

III.3 Mission sur le terrain...

Étude d'analyse spatiale liée à l'occupation des sols nécessite une **confrontation terrain** pour vérifier les traitements informatiques manuels ou automatisés effectués à partir de photographies aériennes ou d'images satellites

III.3.1 Matériels utilisés...

comme matériel utilisé pour le choix des algorithmes, nous utilisons un ordinateur.

GPS a été utilisé sur le terrain

III.3.2 Logiciels utilisés :

comme logiciel utilisé, l'environnement Windows Xp a été utilisé comme système d'exploitation

III.3.3 Outils utilisés : ...

Les outils manipulés pour les besoins de cette étude sont : le logiciel de traitement d'images

- les logiciels IDRISI Selva pour les compositions colorées et les classifications non dirigées qui constituent une aide à l'interprétation visuelle à l'écran ; IDRISI C'est un programme développé par un groupe d'étudiants sous la supervision de leur professeur, Ronald Eastman
- les logiciels **Arc gis** C'est un programme Arc Gis est l'un des programmes de systèmes d'information géographique les plus populaires. Il est un produit de la société américaine ESRI et se compose d'un groupe de programmes sponsorisés

III.3.4 Données utilisées

comme données utilisées nous disposons de sept 7 images satellite Landsat ETM TM . ces images sous le format TIFF : décrire le spectre électromagnétique pour chaque image Les images satellitales optiques utilisées proviennent des capteurs TM (Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de Landsat.

III.4.les prétraitements

Après les acquisitions des images source (**figure.13**). le traitement logiciel (Idrisi) offre l'amélioration et la vectorisation des résultats de traitements pour avoir des donnée vectorielles. Les objets géométriques de type ligne ou polygone comme sont associés à des éléments réels du milieu décrit : par exemple une ligne présente une route ou piste et un polygone un découpage géographique ou géologique ou même hydrogéologique. Deux correction :

1- Correction géométrique

Les images recalées sur l'image ortho rectifiée avec l'outil de géo référencement du logiciel Arc GIS dans le système de coordonnées WGS84-UTM 29. Les images ont été recadrées sur la zone d'étude

2- Correction radiométriques

Les données radiométriques (valeurs des pixels des images satellitaires) peuvent être utilisées sous forme de canaux bruts ou d'indices combinant, pour la plupart d'entre eux, les canaux rouge (XS2) et proche infrarouge (XS3) du satellite Landsat.

III.4.1.Le Filtrage d'images :

FILTRER modifie la valeur de tous les pixels d'une image en se basant sur la valeur originelle du pixel étudié et celle de ses huit voisins immédiats. La nature de cette transformation dépend des valeurs contenues dans une matrice 3*3, constituant le noyau du filtre. Le pixel et ses huit voisins sont multipliés par la valeur correspondante des coefficients de la matrice, et le résultat de cette opération détermine la nouvelle valeur du pixel. FILTRER propose certaines options :

- (1) : filtre moyen (passe-bas)
- (2) : filtre médian
- (3) : filtre modal
- (4) : filtre rehausseur de contours

(5) : filtre gradient (passe-haut)

(6) : filtre défini par l'utilisateur

Les opérations de filtrage sont appliquées dans différents buts. Les filtres moyens sont communément utilisés pour généraliser une image en lissant ses valeurs. Les filtres médians sont un excellent moyen d'éliminer les bruits aléatoires contenus dans une image. Les filtres modaux permettent de combler les trous existant entre les polygones lors des procédures de conversion vecteur-raster. Les filtres détecteurs de contours mettent en évidence les variations importantes dans une surface continue, tandis que les filtres passe-haut mettent en évidence les zones de changements brutaux par rapport aux zones de faibles variations.

III.4.2. La Transformation RVB-TSL

Le modèle HLS utilise la convention de mettre le rouge au niveau 0. Cet opérateur considère toutes les images au format bytes-binaire. Le paramètre "H" (hue), 0 représente 0 degré et 255 représente 360 degrés. Pour les paramètres "L" et "S" (lightness et saturation), l'échelle des valeurs est de 0 à 255.

D'un autre côté l'assemblage des données multi spectrales et panchromatiques de SPOT, utiliser les images originales multi spectrales dans RVB-TSL et choisir l'option **RGB** vers **HLS**, pour créer des images **HLS** (Hue: teinte, Lightness: brillance, Saturation: saturation). Puis utiliser ETENDRE avec un facteur d'expansion de 2 dans les 2 directions X et Y pour modifier la résolution des images Teinte et Saturation afin d'égaliser la résolution des images panchromatiques. En général le contraste est amélioré par extraction de plusieurs images **TLS**. Relancer alors **RVB-TSL** avec l'option HLS vers RGB, où les images de Teinte et Saturation qui viennent d'être étendues sont données pour les composantes Teinte et Saturation, alors que la bande panchromatique est spécifiée pour la composante Brillance.

La définition des signatures permet de représenter la réflectance spectrale des entités sur l'image. Les fichiers de signatures (.SIG) sont produits au format ASCII et toutes les images traitées par doivent être en format byte binaire (idrisiw32). Les pseudo-bandes (telles que les images contenant des altitudes) doivent être étalonnées dans l'intervalle 0 - 255 (à l'aide de la fonction ETALONNER par exemple). Dans ce cas, choisir les valeurs minimum et maximum comme limites, et demander au programme de répartir les valeurs contenues entre ces deux extrêmes en 256 niveaux.

Une signature spectrale complète est composée en réalité de deux fichiers (.SIG et .SPF). Si l'on veut effacer une signature du disque dur, il faut effacer les deux fichiers. Les algorithmes de classification HYPERBOITES, DISTANCE MINIMALE et MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE utilisent les fichiers de signature (SIG). Les fichiers .SPF sont utilisés pour l'édition uniquement. Le nombre maximum de bandes spectrales est 7.

III.4.3. la composition colorée

La Composition Colorée est étudiée pour produire des images composites sur cartes graphiques 8 bits. Ces cartes permettent d'afficher 256 couleurs simultanément. Chaque image d'entrée est donc reclassée en 6 classes ($6*6*6 = 216$). L'image composite reprend un indice

de couleurs basé sur la formule suivante : $\text{bleu} + 6 \cdot \text{vert} + 36 \cdot \text{rouge}$. La fonction fait l'hypothèse que les images d'entrée ont des valeurs comprises entre 0 et 5. Un pixel ayant des valeurs 3, 5, 1 dans le système RGB aura la valeur $3 + (5 \cdot 6) + (1 \cdot 36) = 69$.

Ce travail essentiellement orienté sur le développement des méthodes d'extraction de l'information contenue dans les images satellites et son intégration dans les SIG. La méthodologie équivalente au modèle Rimbert (1990) sera basée sur les étapes suivantes :

- Géo-référencement et calage géométrique des objets (cognitifs)
- Cartographie assistée à l'ordinateur (choix du mode de représentation vectoriel ou matriciel)
- Géostatistique (classification automatique hiérarchisée CAH)
- Prise de décision (zoning spatio-temporel et dynamique des événements étudié).
- traitements numériques des zones arides.
- Délimitation des faciès important.
- Superposition des données thématiques (éléments de cognition)

L'application de la télédétection dans zone Oum el Assal est réalisée par les méthodes numériques de traitements d'images les plus représentatives pour cette zone.

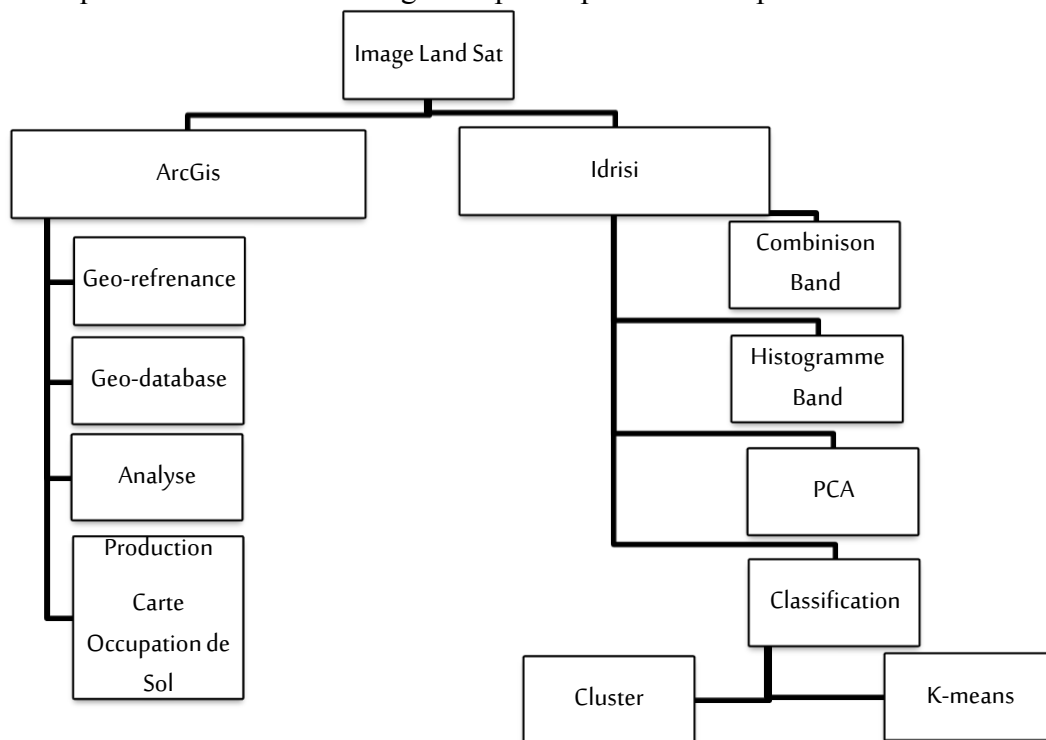


Figure.12 Étapes de Traitements des images

Acquisition d'image satellitaire Landsat ETM TM :Landsat orbite héliosynchrone polaire : <https://earthexplorer.usgs.gov/>



Figure.13 Earth Explorer

Insertion des coordonnées de la zone Oum el Assel :

| Points | coordonne |
|--------|--------------------------|
| 1 | 28° 45' 00"N 7° 0' 00"W |
| 2 | 28° 45' 00"N 6° 45' 0" W |
| 3 | 28° 30' 00"N 6° 45' 0" W |
| 4 | 28° 30' 00"N 7° 0' 00"W |

Tableau.05 : coordonnées de la zone pilote

Sélection 4 point sur un image satellite dans zone l'om Assel (**figure.14**)

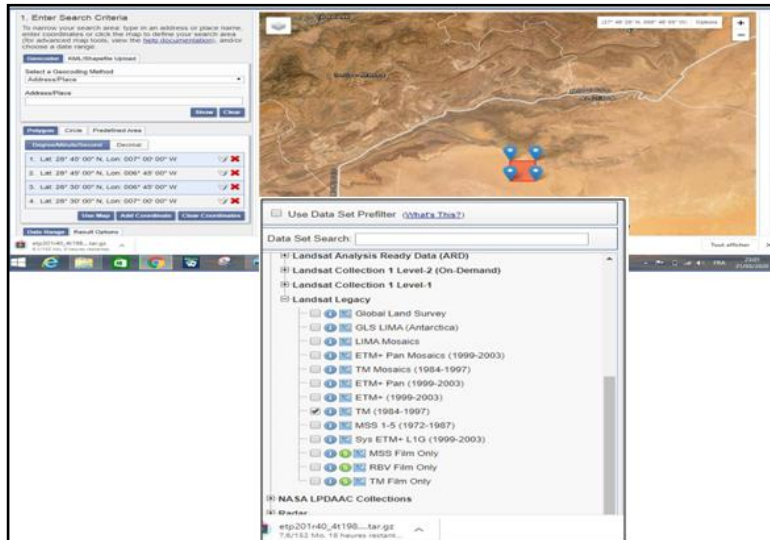


Figure.14 : selection zone etude (om al assel)

III.5 Traitement d image

III.5.1 Traitement SIG sous Idrisiw

IDRISI est une solution logicielle de traitement d'images intégrée fournissant près de 300 modules pour l'analyse et l'affichage des informations spatiales numériques. IDRISI propose le jeu d'outils SIG et de traitement d'images le plus complet de l'industrie dans un package unique et abordable. Des outils pour l'aménagement du territoire, l'aide à la décision et l'analyse des risques sont inclus côte à côte avec des outils de statistiques spatiales, d'analyse de surface et de modélisation spatiale.

a- La Méthode PCA

L'analyse en composante principale est appliquée à une image multi spectrale dans le but de supprimer les informations redondantes dans les différentes bandes spectrales. Elle se propose ainsi pour réduire le nombre de bandes spectrales, c'est-à-dire passer de p variable à q variable ($q < p$). Elle consiste à projeter le nuage de points (p variables) sur un sous espace

affine de dimension q variables, déterminé de telle sorte qu'on déforme le moins possible le nuage en projection (l'information).

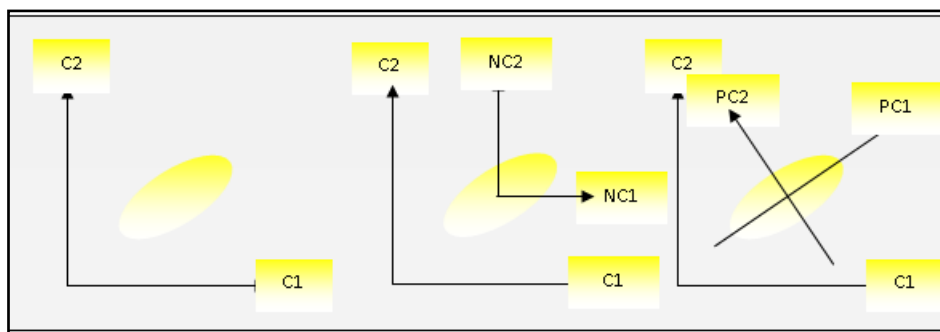


Figure.15: traitement des éléments images par ACP

On peut utiliser des variables standardisées / standardisées (conventionnelles / centrées) ou des variables croisées (non conventionnelles / non centralisées) ou des produits croisés normalisés pour dériver la matrice de transformation pour l'analyse PCA.

- Pour l'ACP directe en mode t, l'utilisation de variables normalisées donne essentiellement le même poids à toutes les bandes. En utilisant des variables non normalisées, les bandes avec une plus grande variance, généralement les bandes infrarouges, auront plus de poids. Pour l'ACP directe en mode s, la normalisation est basée sur la moyenne et l'écart type de chacun des pixels individuels à travers les bandes. Les variables normalisées et non normalisées sont des variables centrées de manière conventionnelle.

- Egalement on peut choisir des variables non centrées et non conventionnelles - soit des produits croisés ou des produits croisés normalisés - pour l'analyse PCA directe. Semblable à l'option standardisée, l'option produit croisé normalisera les variables d'origine (mode t ou mode s) à la même échelle analytique. Il est possible d'insérer alternativement un fichier de groupe raster (.rgf) pour importer les bandes.

- Par exemple, le préfixe "pca" pour une analyse en mode t produira des composants nommés "pca_t-mode_cmp1", "pca_t-mode_cmp2", etc.

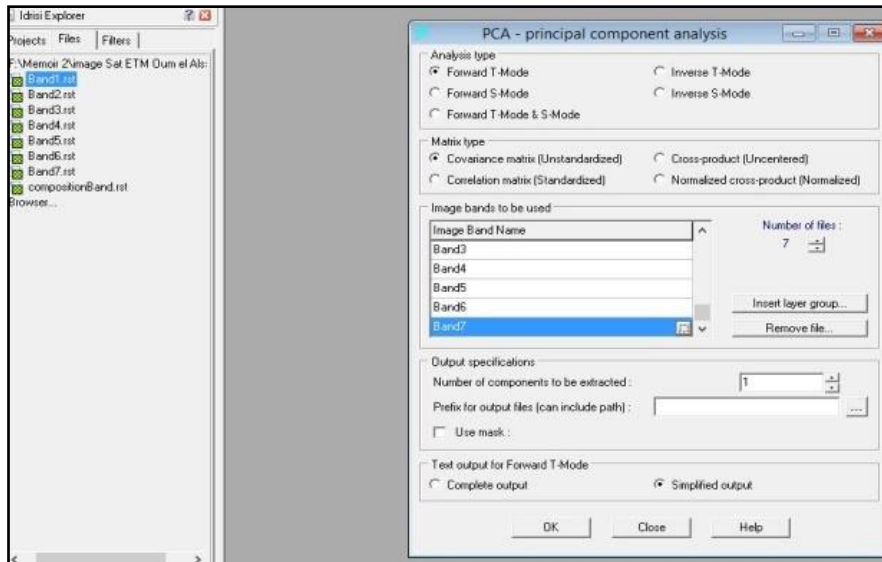


Figure.16: fenêtre de mise en place des bandes

Le choix de composantes principales CP à conserver constitue l'étape de l'Analyse en Composante Principale pour en choisir les plus importantes, nous avons effectué une étude statistique en calculant le coefficient de corrélation « Optimum Index Factor, OIF » relatif aux sept bandes. Le résultat de l'étude sur Ouarkziz a défini les paramètres du tableau suivant : OIF Index Highest Ranking.

| ACP | R | G | B | OIF |
|--------|-------|-------|-------|----------|
| ACP 01 | CP 10 | CP 05 | CP 06 | 22770.71 |
| ACP 02 | CP 11 | CP 05 | CP 06 | 22467.89 |
| ACP 03 | CP 10 | CP 05 | CP 07 | 17593.25 |
| ACP 04 | CP 11 | CP 05 | CP 07 | 17048.96 |
| ACP 05 | CP 10 | CP 04 | CP 06 | 17043.04 |
| ACP 06 | CP 11 | CP 04 | CP 06 | 16619.14 |

Tableau..06 : Les Oif les plus élevé calculé par Ilwis 11 bandes

Les résultats permettent dans le cas de l'image Landsat, de sélectionner les combinaisons suivantes : cp10cp5 cp6-cp11cp5cp6-cp10cp5cp7-cp11cp5cp7-cp10cp4cp6-cp11cp4cp6 (**Tableau.6**). Pour cette étude on retient 257, 437, 245.

Parmi les compositions en fausses couleurs retenues à partir le calcul de OIF, nous nous sommes limités à une seule composition colorée cp11cp05cp07, qui permet la différenciation du plus grand nombre des formations, Les autres compositions colorées, en dépit de leur OIF élevé, fournissent des réponses spectrales très proches ce qui se traduit par une homogénéité des couleurs des formations.

La meilleure des compositions colorées est la 1157 RGB (le rouge attribue au canal moyen infrarouge 11 et vert attribué au canal infrarouge proche 5 et bleu attribué au canal infrarouge moyen 7) (figure), qui fait apparaître le quaternaire (Q) en bleu clair, le grès de namurien en marron claire , le calcaire de viséen supérieur en bleu ,le grès et le schiste de tournaisien en rouge brique (ou lilas-crevette) et le calcaire de dévonien inferieur en rouge brique foncé ,le argile et le grès de ordovicien en brunâtre .

b- Etapes traitements

La méthode de classification pour le traitement des images satellite (Idrisi Selva) basée sur les étapes suivantes :

La conversion geotif / Tiff au format Idrisiw et spécifier le nom du fichier. La fonction composite, compose une image couleur 24 bits à partir trois bandes d'images binaires octets pour l'affichage et l'analyse visuelle. Après le prétraitement et la classification relative au deux modes on obtient des images résultats pour l'interprétation.

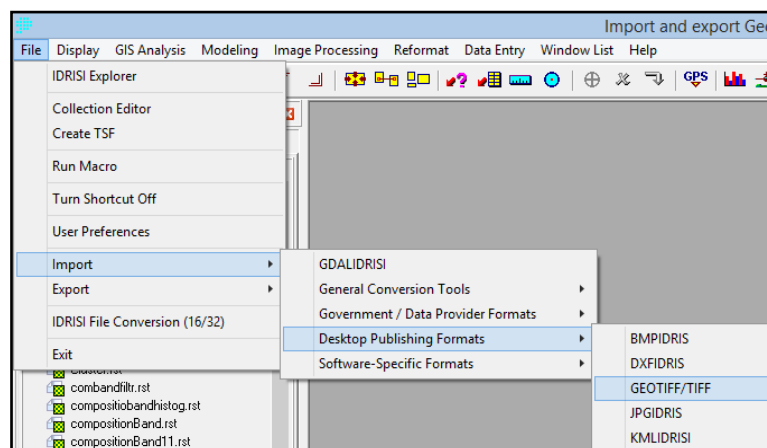


Figure.17 Fenêtre import desktop publishing formats GEOTIFF

c- La Classifications Automatiques

Principes Généraux

La nature offre un grand nombre de population qu'il est souhaitable de le répartir en catégorie. Chaque discipline scientifique sollicite des classifications. Il peut s'agir en géologie par exemple de découvrir les principaux regroupements de facies ayant le même comportement vis-à-vis de certains paramètres retenus pour les caractérisés.

L'algorithme de classification nécessite tout d'abord la définition d'un mode de représentation symbolique de tout groupe d'individus. Un groupe d'individus étant donné, cette représentation symbolique, appelée « noyau » peu être par exemple:

- * une droite,
- * un groupe de points de la population,
- * un centre de gravité.

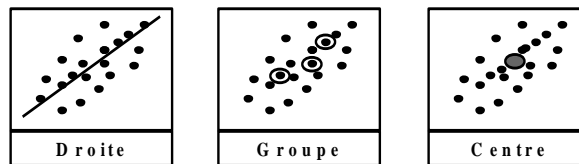


Figure.18: entité pour la classification

d- La méthode CLUSTER

La fonction CLUSTER utilise une technique de pic d'histogramme d'analyse de grappe. Cela revient à rechercher les pics dans un histogramme unidimensionnel, où un pic est défini comme une valeur avec une fréquence plus élevée que ses voisins de chaque côté. Une fois les pics identifiés, toutes les valeurs possibles sont affectées au pic le plus proche et les divisions entre les classes se situent au milieu des pics. Ici, un histogramme à une à sept dimensions est utilisé pour trouver les pics. Un pic est donc une classe où la fréquence est supérieure à tous ses voisins cardinaux. Les voisins diagonaux sont omis en raison de la corrélation entre les bandes. Dans la classification large, une classe doit contenir une fréquence supérieure à tous ses voisins non diagonaux. Dans la classification fine, cela est détendu, permettant à un voisin non diagonal d'avoir une fréquence plus élevée. Cela permet d'accueillir de vrais pics qui sont autrement manqués car un pic proche de plus grande ampleur masque le pendage habituel entre les pics.

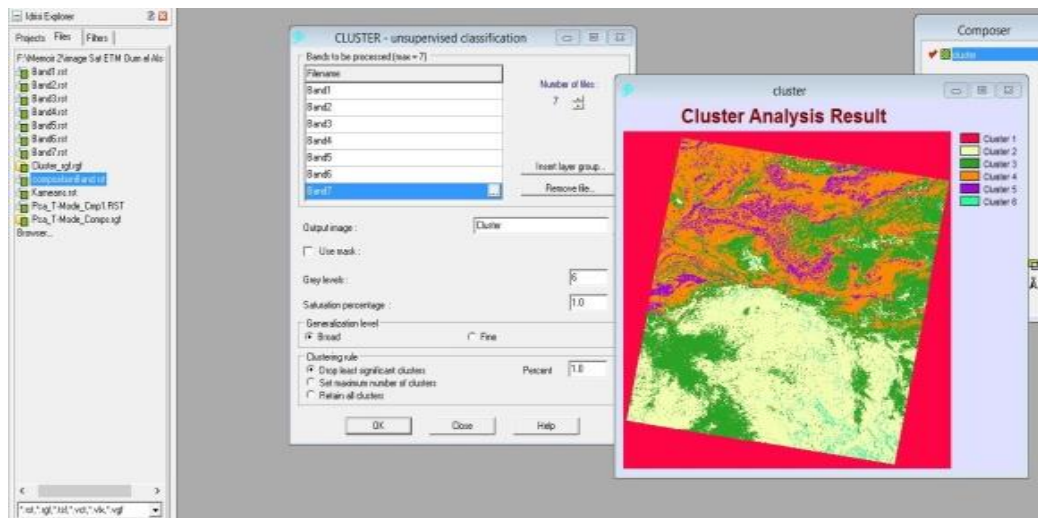


Figure.19 fenêtre du processus cluster

e- La méthode

e.1. La méthode KMEANS

La fonction KMEANS utilise la technique dite de clustering K-means pour partitionner une imagerie à n dimensions en K clusters exclusifs. KMEANS commence par initialiser K centroïdes (moyennes), puis attribue chaque pixel au cluster dont le centroïde est le plus proche, met à jour les centroïdes de cluster, puis répète le processus jusqu'à ce que les K centroïdes soient fixes. Il s'agit d'un algorithme heuristique et gourmand pour minimiser la SSE (somme des erreurs au carré), par conséquent, il peut ne pas converger vers un optimum global. Étant donné que ses performances dépendent fortement de l'estimation initiale de la

partition, un nombre relativement important de grappes est généralement recommandé d'acquérir un modèle initial de centroïdes aussi complet que possible. [Richards, J.A., et X. Jia, 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis (New York: Springer)].

e.2 Etape KMEANS

1. Spécifiez le nombre de fichiers (bandes) à utiliser dans la classification et entrez leurs noms. Insérez également un fichier de groupe raster.
2. Indiquez si vous souhaitez utiliser une image de masque et, le cas échéant, entrez son nom.
 - Dans l'image du masque, les zones nulles ne seront pas incluses dans l'analyse.
3. Saisissez un nom d'image de sortie.
4. Spécifiez le nombre maximal de clusters de sortie à classer
5. Spécifiez une règle pour initialiser les centroïdes de cluster. Les options incluent une graine aléatoire, un axe diagonal et une partition aléatoire
6. Spécifiez les critères d'arrêt pour terminer le processus de clustering. Vous pouvez entrer des paramètres pour mettre fin au clustering si le pourcentage de pixels de migration est inférieur à un pourcentage spécifié de l'ensemble des pixels de l'image, et en définissant un nombre maximal d'itérations.
 - Le clustering se terminera lorsque l'un de ces éléments sera satisfait.
7. Indiquez s'il faut éliminer les petits groupes en les fusionnant avec des groupes plus grands qui sont les plus proches de leurs moyens. Spécifiez le nombre minimum de pixels par cluster en proportion du nombre total de pixels dans l'image.

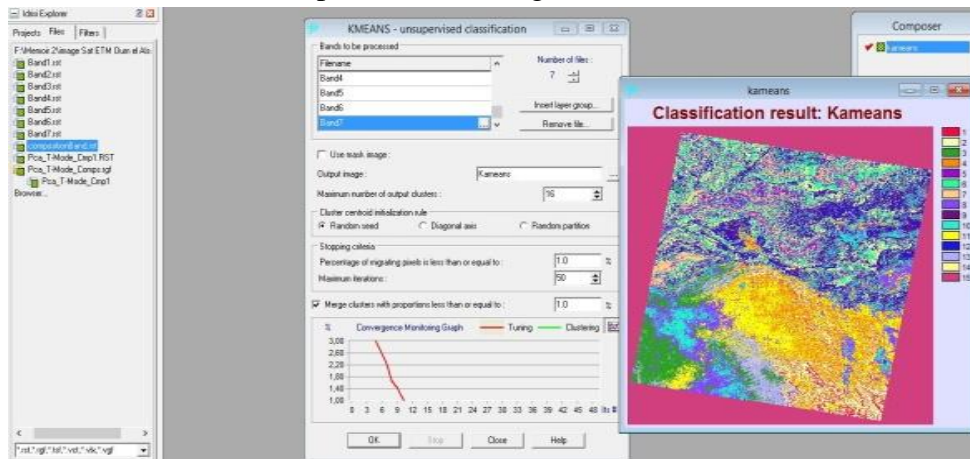


Figure.20 fenêtre du processus kmeans

III.5.2 Traitement SIG sous Arcgis

ArcGIS est un logiciel de la firme ESRI, leader mondial des SIG. La version la plus simple du logiciel « Arc GIS desktop », « Arc View », comprenant les applications « ArcCatalog », « Arc Map » et « Arc Toolbox » ainsi que l'extension « Spatial Analyste ». Vous utiliserez bien sur des fichiers de données géographiques, notamment celles se trouvant sur un serveur internet de type « Arc IMS »

ArcGIS Desktop (littéralement « Arc GIS de bureau ») comprend une suite d'applications intégrées les unes aux autres :

1. Arc Catalogue
2. Arc Map
3. Arc Globe
4. Arc Toolbox

5. Arc Object

6. Arc Scène

Coordonnées utilisée :

L'Algérie est couverte par deux projections :

- LAMBERT Algérie (Algérie du Nord et Algérie du Sud)
- L'Universel Transverse Mercator (UTM), 4 fuseaux UTM couvrent l'Algérie (29, 30, 31,32).

L'Algérie possède quatre fuseaux pour la projection UTM d'après La Base de données de l'EPSG (European Petroleum Survey Group) :

- *Nord Sahara 1959 / UTM zone 29N*
- *Nord Sahara 1959 / UTM zone 30N*
- *Nord Sahara 1959 / UTM zone 31N*
- *Nord Sahara 1959 / UTM zone 32N*

Le nord de l'Algérie présente des difficultés concernant les paramètres de transformation entre Nord-Sahara 1959 et WGS84. Ceux dont nous disposons ne sont a priori valables que pour le sud du pays. D'autres paramètres sont fournis par la base de données du site Internet de l'EPSG ([Http://Www.Epsg.Org](http://Www.Epsg.Org)). Dans cette étude on a utilisé la projection Nord Sahara 1959 / UTM zone 29N

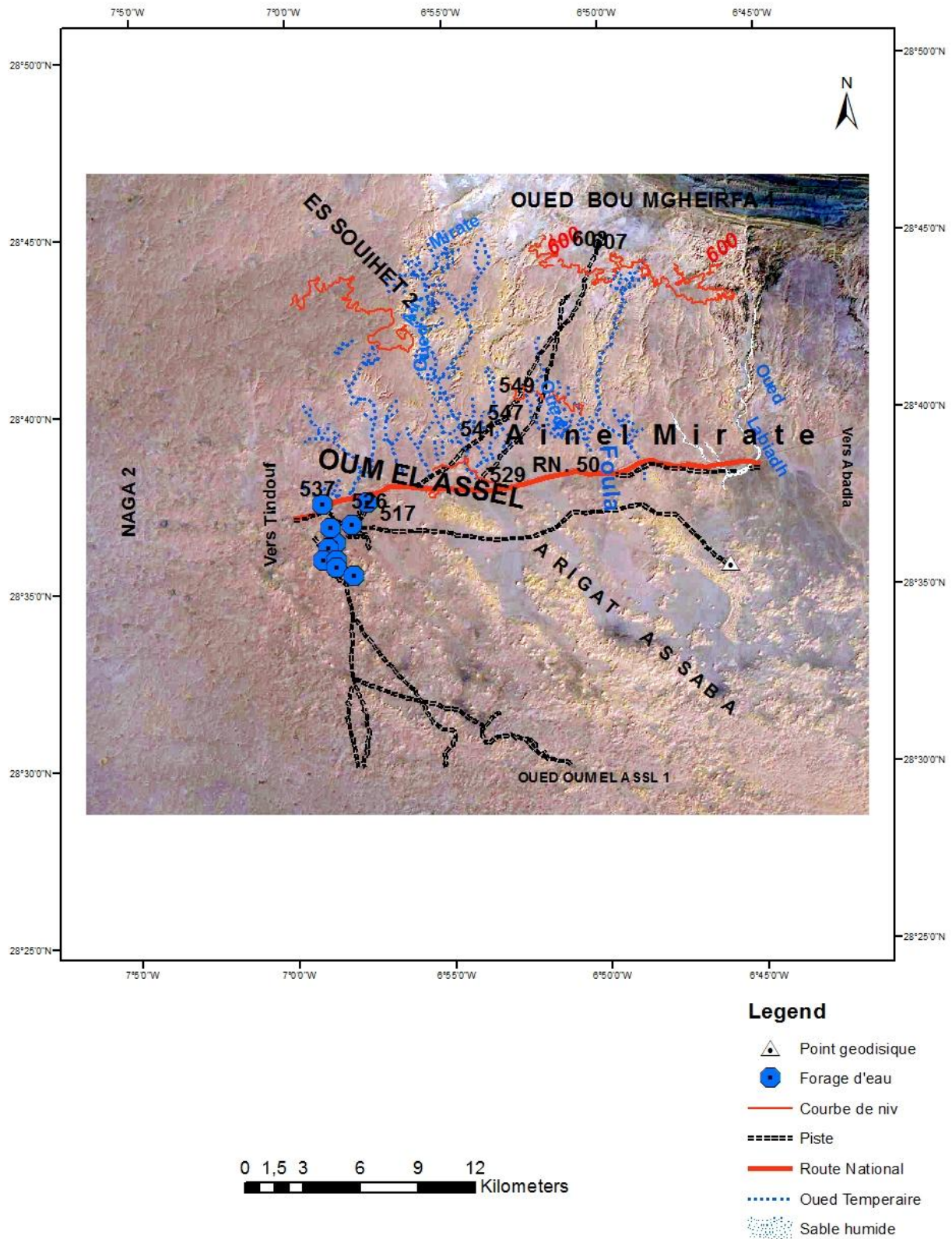
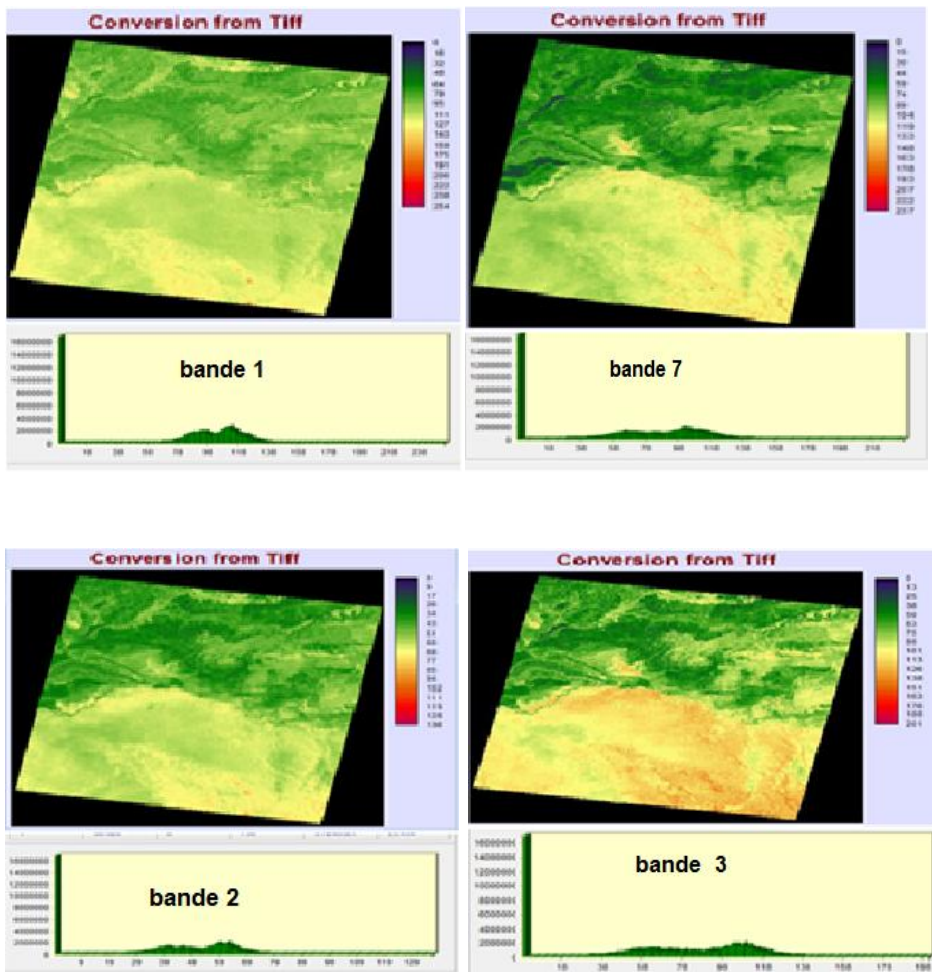


Figure.21 : aspect général de la cartographie d'Oum el Assel

III.6 Lecture des images et histogrammes

Les sept bandes (1 à 7) sont lues avec leurs histogrammes pour simplifier et optimiser le traitement. Les histogrammes les plus proches sont simplifiés. Les images suivantes avec leurs histogrammes correspondants permettent de comparer les résultats avec l'image prise comme référence: extraction d'un indice de corrélation. Il s'agit de passer de P canaux à q canaux pour que $q \leq P$ en perdant le minimum d'informations. Le taux d'information souhaité est fixe (Td) et nous calculons la somme des T_i jusqu'à atteindre le taux TD, puis le i index finit définira le nb à utiliser ($q = i$). Chaque axe principal défini par le PCA offre les valeurs T_i et T_d dont la transformation nous a permis de détecter entre 5 et 10 classes de la couche lithologique (Djemai S et al, 2012), (G.R. Byrne et al, 1980). Les caractéristiques des images sont de type octet et avec matrice de format binaire **958 × 660** pixels.



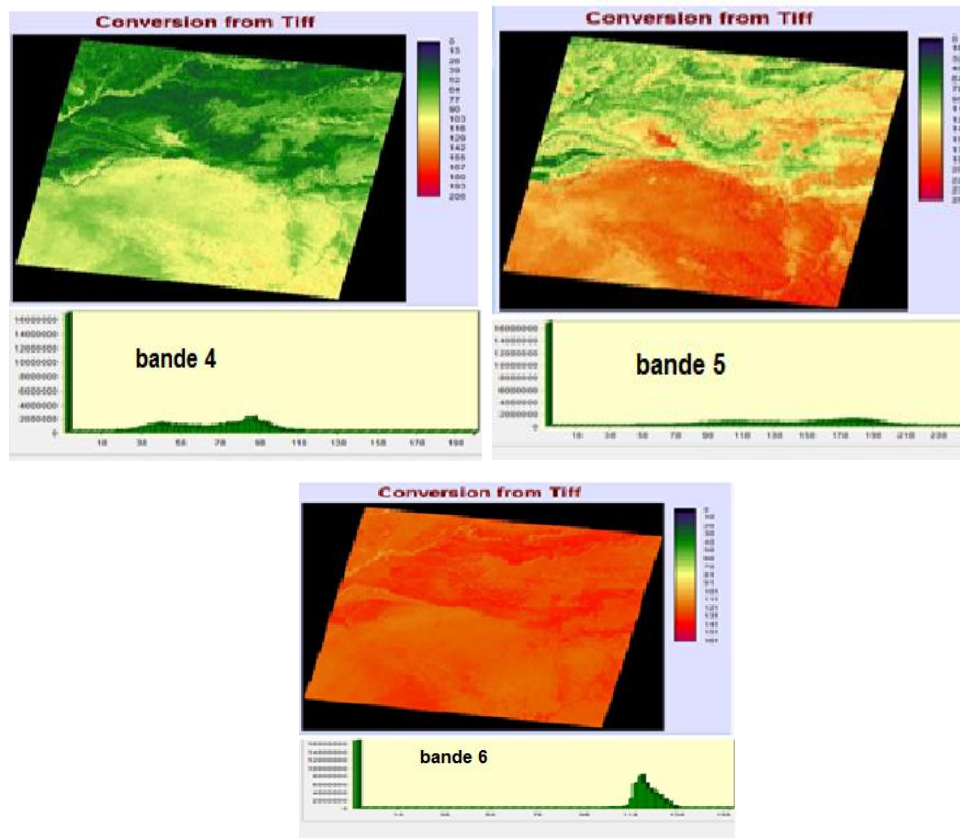


Figure.22 : les sept images Landsat et leurs histogrammes

III.6.1 Résultats et discussion

Les traitements de classification utilisent les méthodes non supervisée (cluster et Kmeans) et la préparation de la méthode supervisée.

Le contexte de quantification et le regroupement des «k-means» ont pu offrir plusieurs possibilités de cartographie thématique, dans ce cas, nous recherchons un ensemble de K vecteurs de la zone d'image (J.A. Hartigan, 1975). La minimisation du type de critère des moindres carrés est très bénéfique pour les distances utilisées. La performance "K-means" dépend fortement de l'initialisation du centre de gravité (centroïde). La règle de l'axe diagonal définissait initialement les k centroïdes de l'espace de dimension n des bandes d'entrée de manière systématique; il récupère K points sur une ligne diagonale qui part du vecteur de valeur minimum uniformément jusqu' au point de valeur maximum du vecteur dérivé de la série de bandes. Le tableau d'apprentissage (**Tab.7**) développé nous guide vers une classification hiérarchique prenant comme éléments de base les cinq classes du tableau.

| Couleur / code | Facies | Description (%) |
|-----------------------|---|------------------------|
| 2 | sables fins à grossiers | |
| 3 | sables argileux | |
| 4 | calcaire silicifié | |
| 5 | Argile, grès fins quartzeux, compacts, calcaire argileux | |
| 6 | Argilites et marnes massives pyritisée Faciès à dominante argileuse. Schistes et grès du ‘Bani | |

Tableau.07: d'apprentissage des instructions: déclaration descriptive des couleurs CSV en relation aux limites du modèle géologique

III.7. Structures géomorphologiques de la région

Morphologiquement la zone peut se diviser en deux parties, l'hamada au nord, les affleurements rocheux au sud ; le coin sud – oriental est constitué par un petit morceau de l'erg. L'hamada connue, au niveau régional, comme hamada de Tindouf et localement à d'autres noms, en particulier hamada Arouieda au sud et hamada ed Douakel à l'Est.

Sa limite nord est pratiquement constituée par le piémont de l'Atlas ; ses limites Est et Ouest sont constituées par les affleurements des formations plus vieilles, la limite méridionale est constituée par une falaise qui s'élève sur les formations paléozoïques.

La surface de l'hamada est tabulaire avec de petites ondulations ; les cotes varient entre 420 m et 600 m environ. Quelques falaises à direction, presque ouest – est, se trouvent dans la partie centrale de la Hamada ed Douakel. La Hamada est marquée par des dépressions à la forme et aux dimensions variables. Dans les dépressions se sont installées les sebkhas dont le principal est la sebkha de Tindouf. Celle-ci est étendue le long d'une ligne ouest – est sur une longueur de plus de 100 km tandis que la largeur n'atteint pas 20 km.

Les affleurements rocheux sont constitués pour la plus grande partie, par des grès paléozoïques et par des granites, d'une manière subordonnée par des silt stones et argile du dévonien moyen et supérieur. L'aspect des affleurements rocheux est plus mouvementé que celui de l'hamada, mais il ne présente que rarement des pentes abruptes ; l'érosion a arrondi tous les angles et les arêtes des roches

III.7.1 La Nappe De La Hamada

Cette nappe intéresse toute la partie septentrionale de la Wilaya, elle couvre une superficie de 23 000 km² environ. Elle est constituée essentiellement par des sables fins à grossiers et sables argileux ; l'ensemble est surmontée par une dalle de calcaire silicifié. Son épaisseur est d'environ 10 m près de Sebkhath Abdallah passant à une centaine de mètres vers le centre du bassin aux environs de Hassi naga. Actuellement elle exploitée dans les zones de Hassi Ammar, Oued Zez, Graret el Harth , Oued Naga , Oum el Assel et Hassi Khebbi avec un débit variant entre 0,5 et 10 l/s. La minéralisation des eaux varie entre 0,9 et 03 g/l . Les agglomérations se localisent selon un alignement bien structure pour les ressources hydriques :

- a- Hassi Naga :** Cette localité se trouve à mi-distance entre la commune d'Oum el Assel et celle de Tindouf. Dans cette région on compte trois (03) forages destinés à l'alimentation en eau potable captant la nappe du tertiaire continental avec des débits compris entre 1 et 2,5 l/s.
- b- Oum El Assel :** Cette commune est alimentée par deux forages destinés à l'alimentation en eau potable (Oum el Assel 4 et 5) donnant respectivement 2,5 et 05 l/s. Deux autres forages sont programmés au cours de l'année en cours, afin d'améliorer les conditions de vie de la population et le renforcement en AEP de cette commune.
- c- Hassi Khebbi :** Cette région est alimentée par citer nage à partir du forage LFI.122, situé à environ 30 Km au nord ouest de Hassi Khebbi. L'aquifère est représentée par une formation détritique sous forme de lentille et une prospection géophysique s'avère importante pour délimiter l'extension de cet aquifère hamadien.

Le résultat de traitement d'image (**Figure.23**) obtenu nous permet d'opérer la morphologie pour l'extraction de composants d'image et représenter des formes. Sachant qu'il peut ne pas être caractérisé par son contour, son squelette ou son enveloppe convexe, il est possible d'utiliser des techniques de morphologie pour le filtrage et la transformation des formes. Les opérations morphologiques sur les images sont réalisées par dilatation, érosion, ouverture ou fermeture. L'analyse de la surface (forme du relief) et de la texture fournit les figures complétant le relief local de la pente, et une carte texturale par l'opération mathématique «somme».

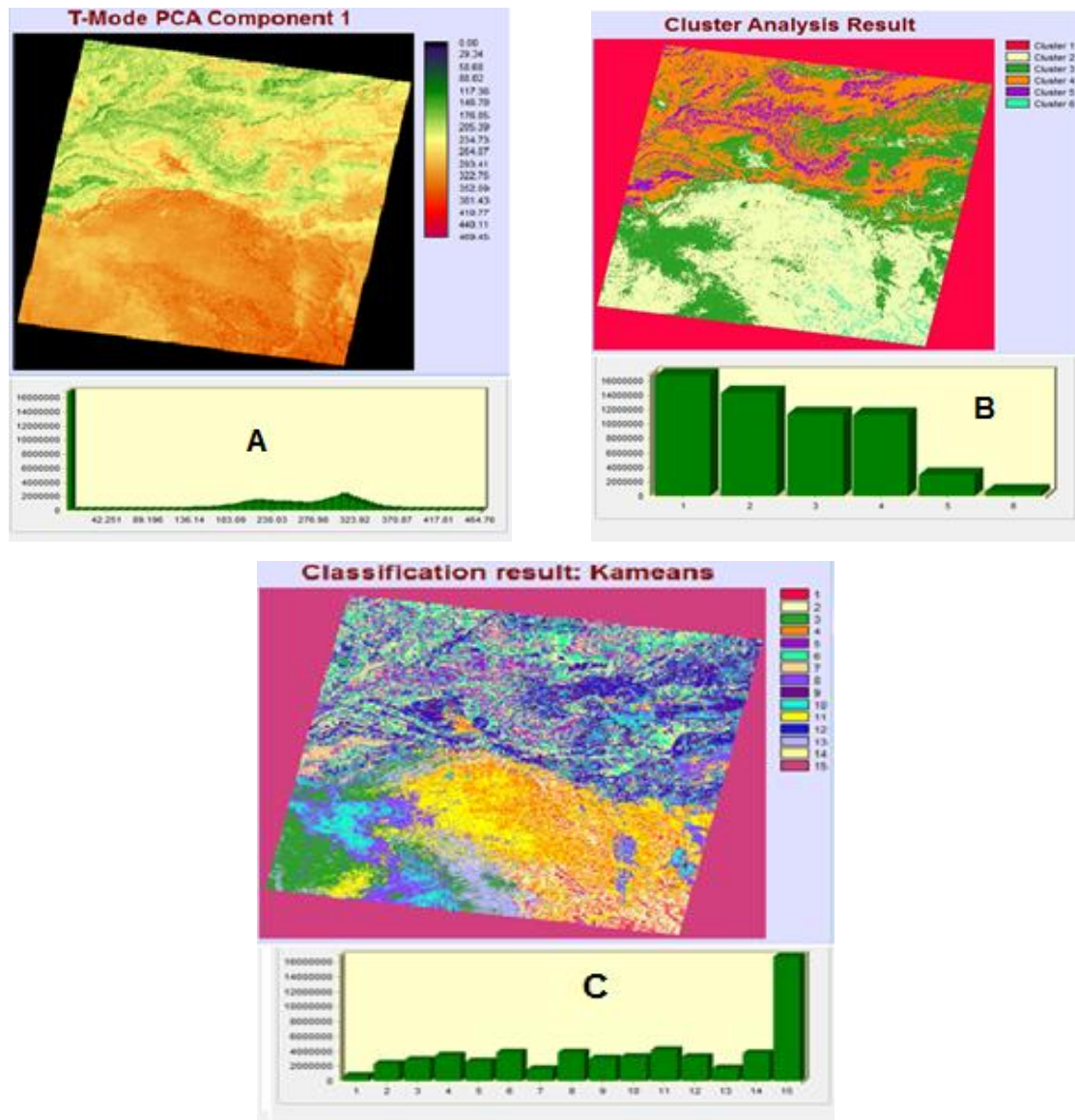


Figure.23 : résultats du traitement
 A : analyse en composante principale B : résultat cluster C: résultat kmeans

| méthode | intervalle | classes | faciès | Observation/intégration |
|-------------|------------|---------|-------------|-------------------------|
| Acp1 | 170-370 | 480 | indéterminé | |
| Cluster C1 | 2-6 | 5 | 5 | contour |
| Kmeans K1 | 1-15 | 14 | 7 | contour |
| Somme c1+k1 | 3-19 | 17 | 17 | |

Tableau.08 données de classification

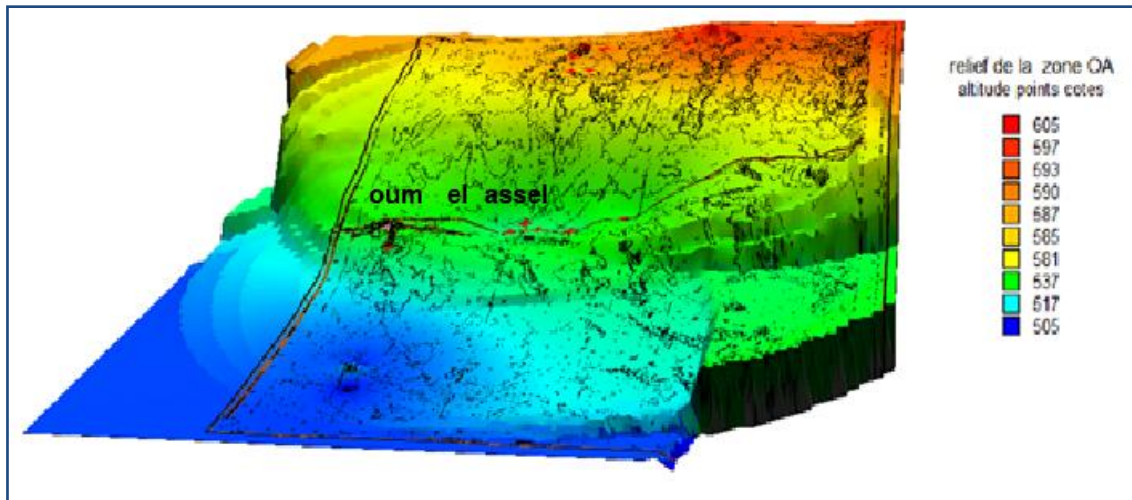


Figure.24 : relief de la région d'Oum el Assel [500m-600m]

La représentation du relief doit permettre de compléter l'interprétation des faciès et de déterminer les traitements adaptés à la région. Le terrain est légèrement accidenté avec une dénivelées maximum de 100 m.

La confrontation de la carte analytique avec les données de terrain après une analyse en composantes principales (ACP) et le traitement des k-moyennes, on note la correspondance de la forme de la structure géologique composée par l'empilement des différents faciès avec l'image analysée. En effet, les compositions colorées des images analysées correspondent approximativement à la limite entre la hamada formant la couche hôte et différents complexes sédimentaires empilés les uns dans les autres. Les cartes produites par le processus de traitement d'images montrent clairement l'aspect morphologique de la zone Oum el Assel. La texture et l'aspect de surface (pente) ont permis de différencier la lithologie et de caractériser le relief du terrain. La caractérisation de la délimitation des Aires d'Alimentation de Captage (AAC) sont liées à la texture et l'aspect de surface (pente) ont permis de différencier la lithologie et de représenter le relief du terrain. (**Figure.24**). Enfin, les résolutions spatiales et spectrales des images, la capacité de revisite, les coûts comparativement réduits, l'augmentation croissante de l'offre et le développement d'outils de télédétection doivent permettre plus de rendement.

Conclusion du chapitre

Dans le cadre de nos travaux, la télédétection et en particulier les images Landsat 8 ETM + se sont avérées efficaces au regard de la reconnaissance géologique. En effet, les différentes méthodes de traitements numériques appliquées telles que les compositions colorées et les principaux composants d'analyse PCA (PC1, RGB) ont montré que la discrimination lithologique des différentes formations est possible dans la zone d'oum el assel. Les résultats montrent que la nature des lithologies permet de mettre en évidence de manière très nette, et le filtrage directionnel (00° , 10° et 160° avec matrice 5X5).

Même si les résultats d'une telle comparaison sont très dépendants de l'échelle d'étude, il existe une relation géométrique de faciès différents qui corrobore les observations faites sur le terrain. L'utilisation des données spatiales ouvre la voie à la validation des connaissances inaccessibles par les méthodes traditionnelles de la géologie classique; nous avons identifié et surtout cartographié la structure. Cela a permis d'orienter les travaux d'investigation sur le terrain et de corriger les interfaces entre les différentes lithologies et confirme la présence de cinq faciès.

-



Conclusion générale

Conclusion générale

La démarche cognitive proposée dans le cadre de ce travail pourra servir à l'élaboration d'une politique visant à mettre à jour la carte géologique multi échelle. Les zones volcaniques pourront faire l'objet d'études spécifique pour l'aménagement du territoire. Les objectifs assignés dans le contexte d'une visualisation scientifique se sont basée sur les deux principes suivants :

- ✓ exploitation numérique des seules données cartographiques immédiatement disponibles

(Topographie et géologie), structurée et guidée par certains travaux locaux ;

- ✓ équilibre recherché entre les efforts fournis pour réaliser une cartographie à base numérique

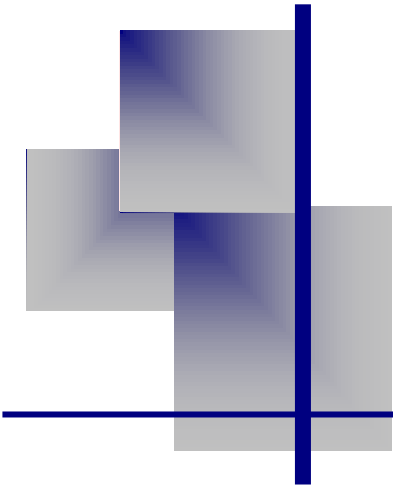
et le travail de terrain nécessaire à la validation finale. D'un autre coté ; des points positifs sont à noter :

- ❖ les bons résultats obtenus globalement par les méthodes des traitements d'images et de cartographie numérique. En Effet, seules des modifications limitées ont été apportées ponctuellement lors de la phase de validation terrain.

- ❖ l'intérêt de disposer, sur le terrain lors de la phase de tracé définitif, d'une cartographie

préliminaire, basée sur des paramètres objectifs (croisement, superposition, jointures de données hydrogéologique).

Une fois la validité de la carte établie sur le terrain pour une zone donnée, le tracé peut être considéré comme fiable sur un secteur nettement élargi, dans la mesure où il reste homogène dans ses caractéristiques géo morphologiques. Cet aspect permet des gains de temps extrêmement appréciables. Il reste que la mise en place d'un modèle géologique 3D constituera à terme un facteur d'efficacité supplémentaire très important pour la cognition cartographique.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] **Azzouni-Sekkal .A (1976)**. Les stocks plutoniques basiques de la jointure « Yetti-Eglab ». 3^{ème} cycle Univ.Algerie, PP.99.
- [02] **Bessoles B. (1977)**. Géologie de l’Afrique : le craton ouest africain .B.R.G.M, n°88 ,402
- [03]**Buffière J.M. Fathy J.C et Petey J. (1965)**. Carte géologique au 1/500000e de la région des Eglab et du bordure nord de Yetti. Organisme technique mise en valeur des recharges du sous-sol saharien .Paris.
- [04] **Gevin P., (1958)**. Cartes au 1/ 500 000 Eglab et Tindouf. Serv. Carte Géol. Algérie.
- [05] **Levine, E. and Domany, E. (2002)**. Resampling method for unsupervised estimation of cluster validity. Journal of Neural Computation, 13 :2573–2593.
- [06] **Levrard, C. (2013)**. Fast rates for empirical vector quantization. Electronic Journal of Statistics, 7 :1716–1746.
- [15] **Michel C. Girard et Colette M. Girard** « Traitement des données de télédétection » Editions de la Boyère, Valbonne Dunod, Paris, 1999
- [15] **Peucat, J.J., Capdevila, R., Drareni, A., Mahdjoub, Y., Kahoui, M., (2005)**. The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), and original segment of the Ebernean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology. Precambrian Reserch 136 (2005) 309- 352. Springer Verlag Berlin
- [07] **Richards JA and Jia X (1999)** Remote sensing digital image analysis: an introduction, 3rd edition. Springer Verlag Berlin
- [08]**Anderberg M.R., 1973**: Cluster Analysis for Applications. N.Y. Academic.
- [09] **Coleman G.R. and Andrews H.C., 1979**: Image Segmentation by Clustering. Proc. IEEE, 67,773–785.
- [10] **R.D. Duda, P.E. Hart and D.G. Stork, 2001**: Pattern Classification, 2e. N.Y.,Wiley.
- [11]**J.A. Hartigan, 1975**: Clustering Algorithms. N.Y.,Wiley.
- [12]**D.J. Kelly, 1983**: The Concept of a Spectral Class –A Comparison of Clustering Algorithms.
- [13]**P.A. Letts, 1978**: Unsupervised Classification in The Aries Image Analysis System. Proc. 5th Canadian Symp. on Remote Sensing, 61–71.
- [14] **D.A. Landgrebe, 2003**: Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing, N.Y.,Wiley.

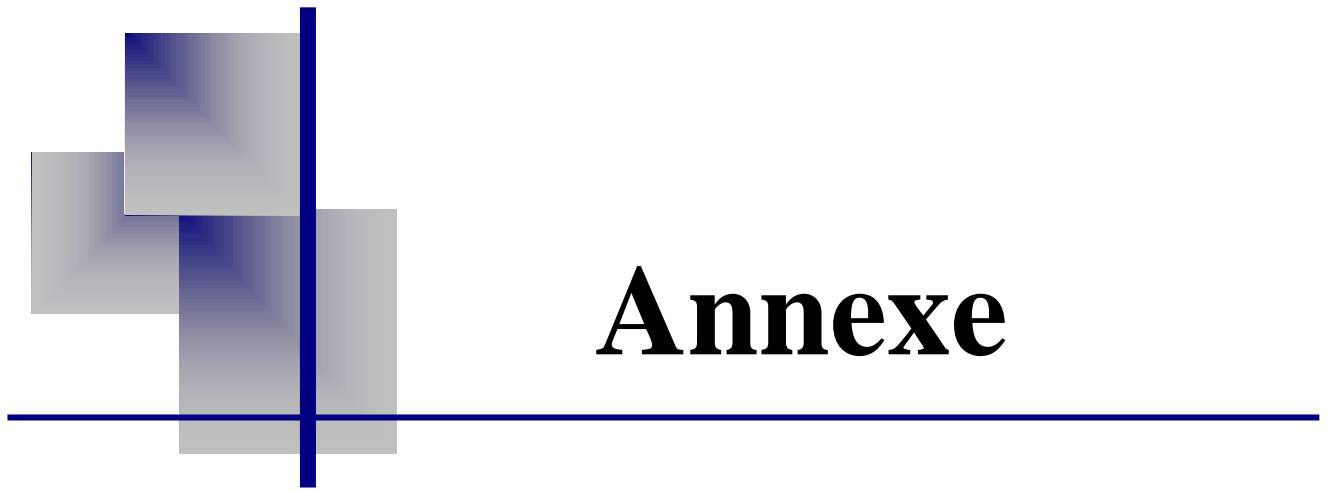
[15] **G.R. Byrne, P.F. Crapper and K.K. Mayo, 1980:** Monitoring Land Cover Changes by Principal Components Analysis of Multitemporal Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, 10, 175–184.

[16] **J.A. Richards, 1996:** Classifier Performance and Map Accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 57, 161–166.

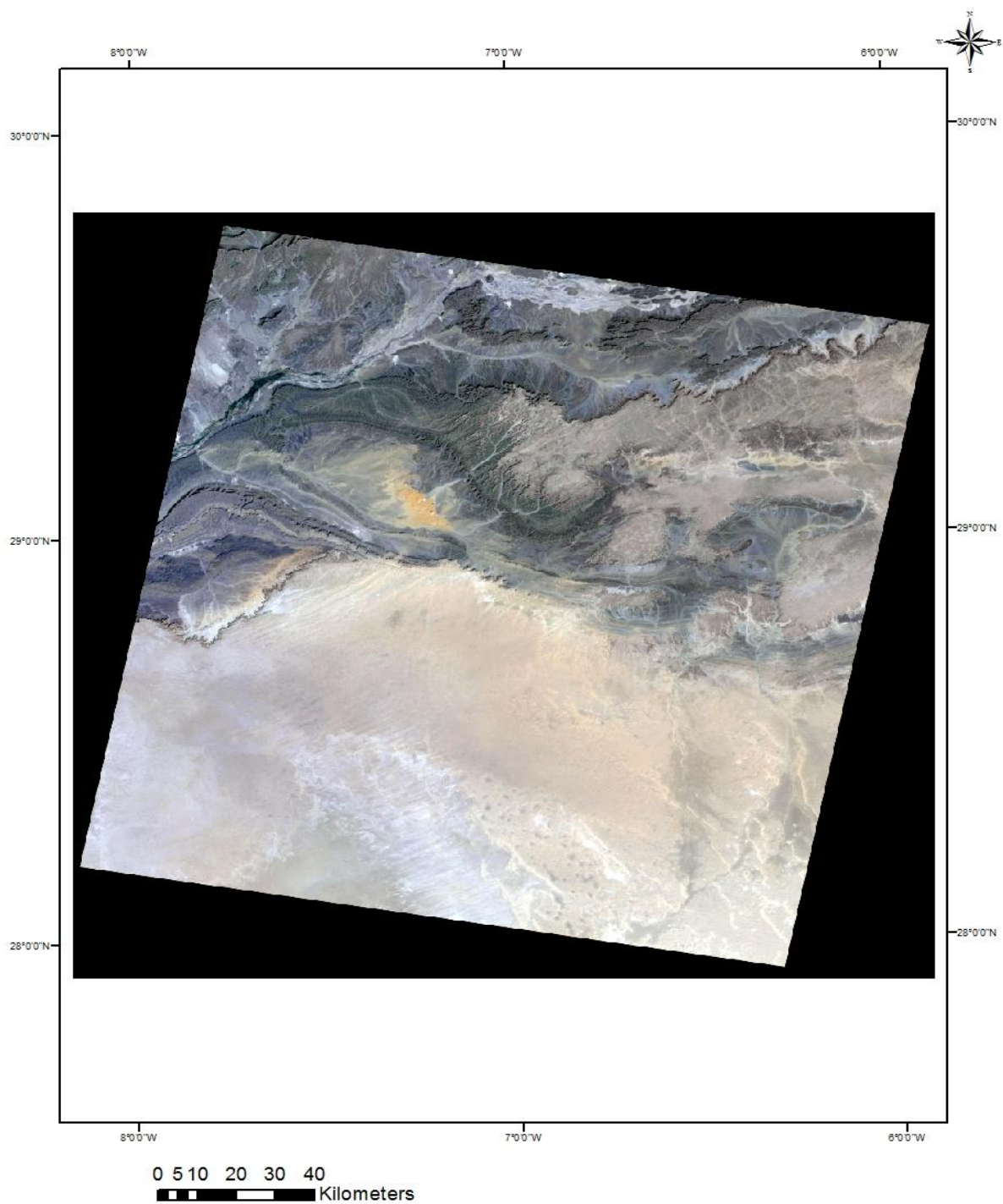
[17] **P.H. Swain and H. Hauska, 1977:** The Decision Tree Classifier: Design and Potential. *IEEE Trans. on Geoscience Electronics*, GE-15, 142–147.

[18] Apport des images Landsat 7 ETM+ pour la cartographie géologique des terrains précambiens en zone aride: exemple de la région d'Amesmessas (sud in ouzzal, Hoggar, Algérie).

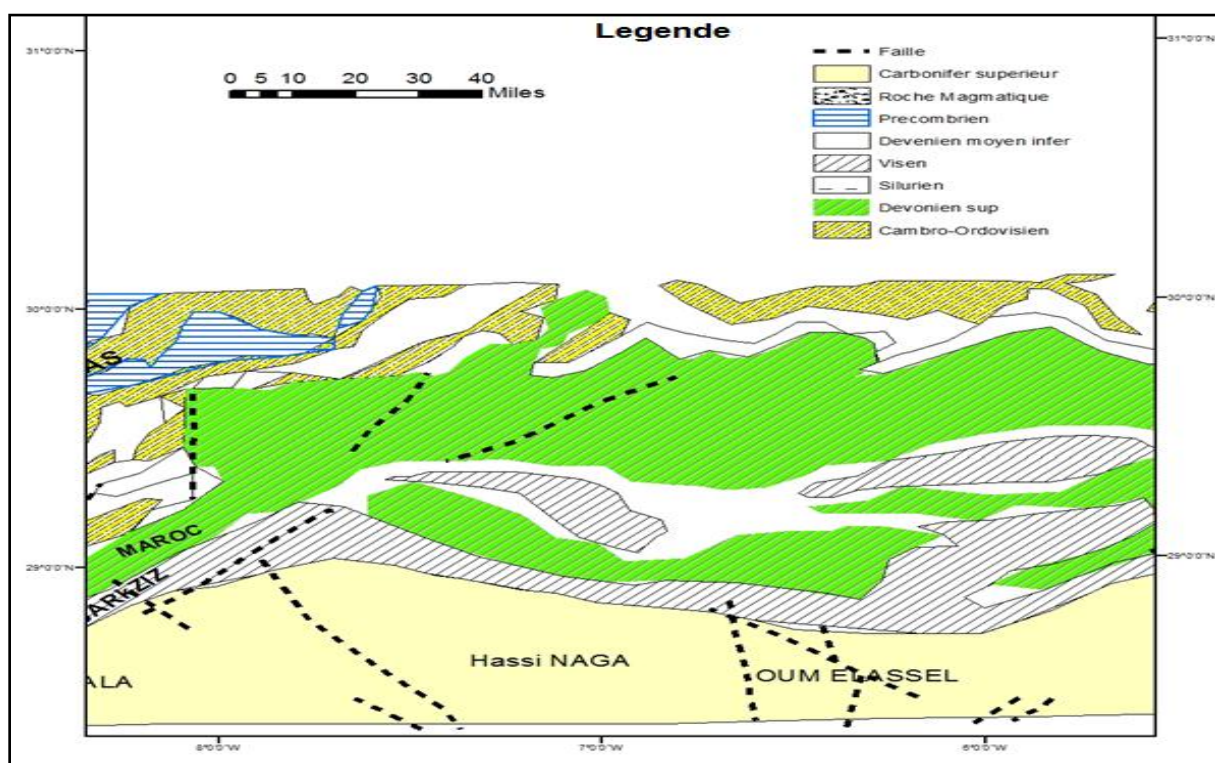
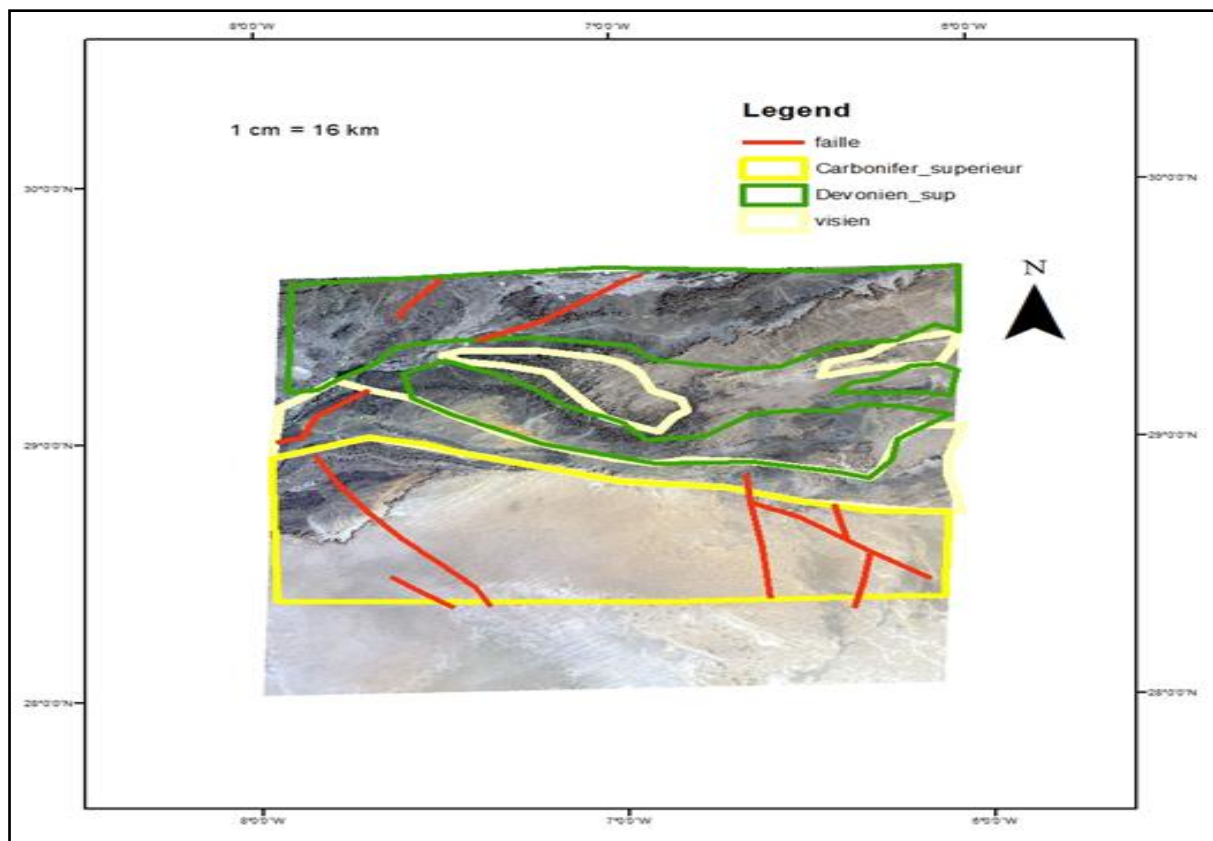
[19] Photo-interprétation *European journal of applied remote sensing* n2012:1–2.



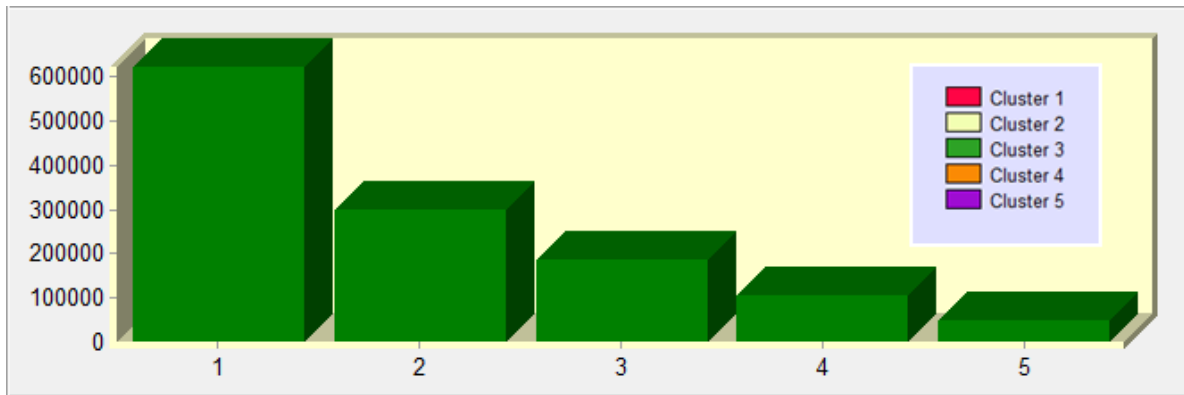
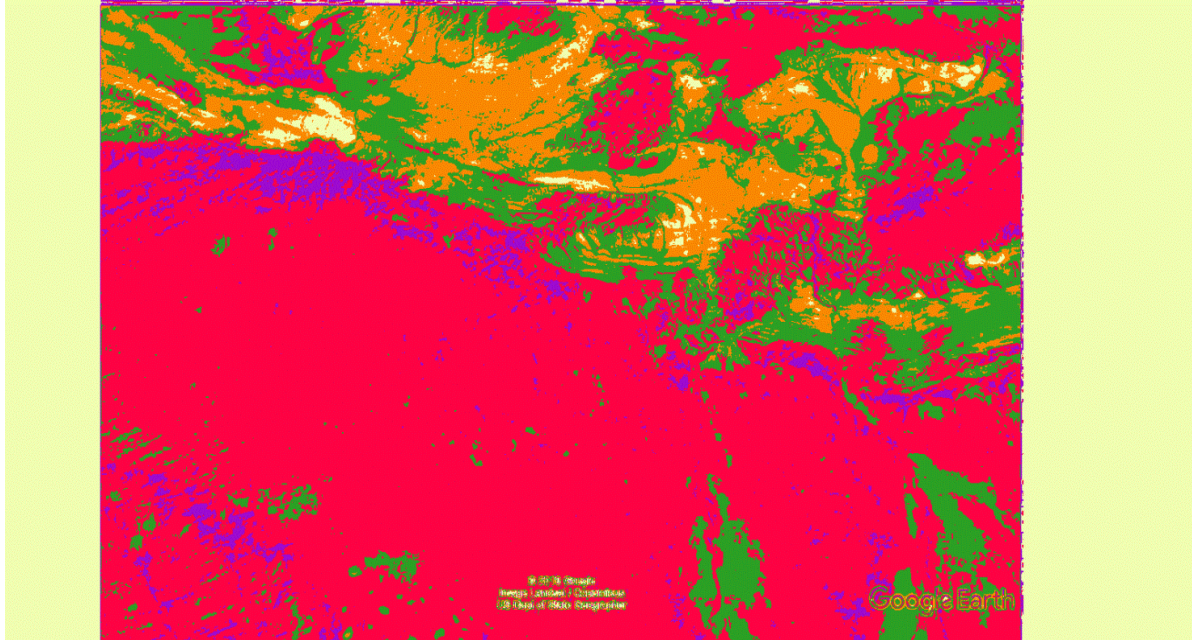
Annexe



Annexe 2 image Landsat ETM+7 en RVB couvrant la zone d'étude (région Om El Assel)
(fichier etp201r40_4t19880126)



Annexe 2 : Comparaison entre la photo satellite et la carte géologique de la zone d'étude.



Annexe 3 : exemple somme de méthodes cluster et Kmeans