



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU**

**FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOLOGIQUES**

***MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE***

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : SCIENCES DE LA TERRE

Option : Géologie des Bassins Sédimentaire

**THEME:**

**Apport de la télédétection et du SIG à la cartographie  
géologique de la région Boukais -Mougheul-El Ahmar  
(Bordure Sud De L'Atlas Saharien Occidental)**

**Réalisé par :**

**BOUIDANE Ikram**

**Soutenu publiquement le 24 /06/2025 devant le jury composé de :**

<b>M. AMROUCHE Farid</b>	<b>Maitre Assistant A (UMMTO)</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>lle</sup> OUIKENE Karima</b>	<b>Maitre Assistante A (UMMTO)</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>M<sup>lle</sup> REZIG Sabrina</b>	<b>Ingénieur géologue ASGA</b>	<b>Co- Rapporteur</b>
<b>M. ZEGHOUANE Hocine</b>	<b>Maitre de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. SERKHANE Ahmed</b>	<b>Dr/Ingénieur ASGA</b>	<b>Invité</b>

# ***REMERCIEMENTS***

*Avant tout, nous remercions ALLAH Tout-Puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.*

*Je tiens à remercier Mademoiselle OUIKENE K. d'avoir accepté de me prendre en charge pour encadrer le sujet. Vous m'avez conseillé et guidé tout au long du travail.*

*J'offre mes sincères remerciements à M. Djeddy R. et Mlle Rezig S. du service cartographie, qui ont suggéré ce sujet et aidé à la réalisation de ce travail, supervisé par un stage pratique.*

*Je tiens également à remercier l'ensemble du jury. Un grand merci à M. AMROUCHE Farid, qui a accepté de présider ce jury.*

*Je tiens à remercier M. ZEGHOUANE Hocine, qui nous a honorés en examinant notre travail.*

*Je tiens à remercier aussi M. SERKHANE Ahmed pour avoir accepté l'invitation.*

*Je tiens également à remercier les nombreuses personnes de l'Agence du Service Géologique de l'Algérie (ASGA), ayant pris soin de répondre à mes questions : CHOUIHA Islam, SERKHANE Ahmed, LECHENI Raouf, ...*

*Je remercie tous mes chers professeurs du Département des Sciences Géologiques, qui nous ont entourés durant tout notre cursus avec leur bienveillance, leur encadrement et leur dévouement.*

*Je remercie également toute l'équipe pédagogique du Département des Sciences Géologiques U.M.M.T.O., sans oublier tous les amis et les collègues.*

## Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me  
sont  
chers, à ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne. Son  
amour  
a fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Je dédie ce modeste travail  
à ma mère « Razika »

Pour son amour, et qu'elle m'a toujours témoigné de ma  
reconnaissance envers sa confiance, accordée en ses sacrifices et sa  
tendresse.

À mon père « Boualem »

L'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours  
sacrifié pour me voir réussir.

À mes sœurs « Wafa et Nour El Imane »

Qui m'avez toujours soutenu et encouragée  
durant ces années d'études.

À tous mes amis,

en particulier

« Sabrina, Hadjar, Khaoula »

« Par Ikram »



## **Rusemé :**

La télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) sont deux technologies utilisées pour analyser et comprendre l'environnement à partir de données géoréférencées. Elles sont largement utilisées pour l'élaboration de nouvelles cartes géologiques et pour l'étude des phénomènes se produisant à la surface de la Terre.

L'objectif de ce mémoire est la réalisation d'une carte géologique à l'échelle de 1/200 000 de la région Nord-Béchar (Boukaïs, El Ahmar et Mougheul). Dans ce travail, nous avons cartographié les formations géologiques, les structures tectoniques et magmatiques, à travers l'exploitation des images Landsat 8. Le traitement des images, leur analyse et leur interprétation ont permis de définir les limites des différentes formations géologiques et de produire une carte linéamentaire. La synthèse bibliographique et les données de terrain ont permis de valider la carte obtenue et de rédiger un aperçu géologique de la région.

Ce travail présente une mise à jour de la carte géologique des régions de Boukaïs, El Ahmar et Mougheul. *nous avons utilisé* ArcGIS 10.5 : un logiciel SIG pour la vectorisation. *nous avons utilisé* aussi logiciel ENVI 5.3 pour la visualisation des différentes formations, facilitant ainsi l'exploitation géoscientifique de la zone étudiée. Il propose aussi un modèle de déformation qui nécessite d'autres travaux complémentaires afin de l'affiner.

## **Abstract :**

Remote sensing and geographic information systems (GIS) are two technologies used to analyze and understand the environment based on georeferenced data. They are widely used for the development of new geological maps and for the study of phenomena occurring on the Earth's surface.

The objective of this thesis is the creation of a geological map at a scale of 1:200,000 of the North Béchar region (Boukaïs, El Ahmar, and Mougheul). In this work, we mapped the geological formations, tectonic and magmatic structures, through the use of Landsat 8 images. The processing of the images, their analysis, and interpretation allowed us to define the boundaries of the different geological formations and to produce a lineament map. The bibliographic synthesis and field data made it possible to validate the resulting map and to write a geological overview of the region.

This work presents an update of the geological map of the Boukaïs, El Ahmar, and Mougheul regions. We used ArcGIS 10.5: a GIS software for vectorization. We also used ENVI 5.3 software for the visualization of the different formations, thus facilitating the geoscientific exploitation of the studied area. It also proposes a deformation model that requires further complementary work in order to refine it.

## Table de matières

<b>CHAPITRE I : Généralités .....</b>	<b>9</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Historique des travaux état de l'art .....</b>	<b>2</b>
<b>III. Géologie régionale.....</b>	<b>3</b>
<b>III.1. Situation géographique.....</b>	<b>3</b>
<b>III.2. Cadre géologique régional.....</b>	<b>6</b>
<b>III.3. Lithostratigraphie .....</b>	<b>7</b>
<b>III.3.1. Précambrien .....</b>	<b>7</b>
<b>III.3.2. Paléozoïque.....</b>	<b>9</b>
<b>III.3.2.1. Cambrien.....</b>	<b>9</b>
<b>III.3.2.2. Le Cambro-Ordovicien .....</b>	<b>9</b>
<b>III.3.2.3. Silurien.....</b>	<b>10</b>
<b>III.3.2.4. Dévonien .....</b>	<b>10</b>
<b>III.3.2.5. Carbonifère .....</b>	<b>10</b>
<b>III.3.3. Mésozoïque .....</b>	<b>12</b>
<b>III.3.3.1. Trias :.....</b>	<b>12</b>
<b>III.3.3.2. Jurassique : .....</b>	<b>12</b>
<b>III.3.3.3. Crétacé : .....</b>	<b>13</b>
<b>III.3.4. Cénozoïque .....</b>	<b>14</b>
<b>IV. Tectonique .....</b>	<b>14</b>
<b>IV.1. La Tectonique panafricaine .....</b>	<b>14</b>
<b>IV.2. La tectonique hercynienne :.....</b>	<b>15</b>
<b>IV.3. La tectonique Alpine : .....</b>	<b>15</b>
<b>V. Magmatisme .....</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE II : Télédétection et SIG .....</b>	<b>18</b>
<b>I. La Télédétection .....</b>	<b>17</b>
<b>I.1. Introduction.....</b>	<b>17</b>
<b>I.2. Définition de la Télédétection.....</b>	<b>17</b>
<b>I.3. Historique de la télédétection.....</b>	<b>17</b>
<b>I.4. Principes de base de la télédétection : .....</b>	<b>19</b>
<b>I.4.1. Les images satellitaires :.....</b>	<b>20</b>
<b>I.5. Le logiciel ENVI.....</b>	<b>21</b>
<b>I.5.1. Le but de l'utilisation du logiciel ENVI :.....</b>	<b>21</b>
<b>I.5.2. Application a la région d'étude : .....</b>	<b>21</b>
<b>II. Systèmes d'informations géographiques (SIG) .....</b>	<b>22</b>

II.1.	Le logiciel ArcGIS :	22
II.2.	Représentation des données du SIG :	22
II.3.	Présentation du logiciel ArcGIS 10.5 :	23
II.4.	Les étapes de la vectorisation :	24
II.4.1.	La Géoréférencement :	24
II.4.2.	Les structures de google Earth :	24
II.4.3.	La vectorisation des différentes formations géologiques	24
<b>CHAPITRE III : Traitements et Interprétation</b>		<b>24</b>
I.	L'application de la télédétection	26
I.1.	Téléchargement des images	26
I.2.	Préparation et correction des images	27
I.2.1.	Ouverture d'une image satellite sous ENVI	27
I.2.2.	Mosaïquage	30
I.2.3.	Découpage d'une image :	31
I.3.	Les Traitements :	32
II.	Base de données du SIG	39
II.1.	Géoréférencement	39
II.2.	Les Structures	42
II.3.	La vectorisation des différentes formations géologiques	43
II.3.1.	Les étapes de la vectorisation d'une carte sur ArcGIS 10.5 :	44
II.4.	Mise en page :	47
<b>CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar</b>		<b>47</b>
I.	Introduction	48
II.	Les résultats des travaux de terrain réalisés par les équipes de l'ASGA	51
II.1	Lithostratigraphie	51
II.1.	1. Précambrien	51
II.1.2.	Cambrien	52
II.1.3.	Cambro-Ordovicien	53
II.1.4.	Silurien	53
II.1.5.	Devonien	53
II.1.6.	Carbonifère	55
II.1.7.	Trias	55
II.1.8.	Jurassique	56
II.1.9.	Crétacé	57
II.1.10.	Cénozoïque	57
III.	Tectonique	58

<b>IV. Géodynamique.....</b>	<b>59</b>
<b>V. Mises à jour apportées à la carte Oran-Sud :.....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>63</b>

### Liste des figures

<b>FIGURE 1 : A- LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DE NORD-BECHAR. B- IMAGE SATELLITAIRE MONTRANT LOCALISE LA ZONE D'ETUDE (BOUKAÏS, MOUGHEUL ET EL AHMAR).....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURE 2: EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE BECHAR AU 1.500 000 DE DELEAU, 1952 MONTRANT LES GRANDS ENSEMBLES GEOLOGIQUES (IN CHABANE, 2022).....</b>	<b>6</b>
<b>FIGURE 3: LOG DU PRECAMBRIEN CHEBKET MOUGHEUL (ZERROUKI, 1993).....</b>	<b>8</b>
<b>FIGURE 4 : COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE MONTRANT LE STRATO-VOLCANISME DU MASSIF DE BOUKAÏS (SEDDIKI,1997).....</b>	<b>9</b>
<b>FIGURE 5 : COUPE DU DJEBEL HORREÏT (PAREYN, 1961).....</b>	<b>11</b>
<b>FIGURE 6 : CARTE GEOLOGIQUE DU MASSIF DE BOUKAÏS TROUVE PAR ZERROUKI ET AL 2025.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURE 7 : SCHEME DE PRINCIPE DE BASE DE LA TELEDETECTION.....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURE 8 : TELECHARGEMENT DE L'IMAGE SATELLITE DE LA ZONE D'ETUDE PAR LOGICIEL (SAS. PLANET).....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURE 9: LES DONNEES VECTORIELLES DU SIG.....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURE 10 : LES DONNEES RASTER.....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURE 11 : CONNEXION AU COMPTE (USGS).....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURE 12 : TELECHARGEMENT DES IMAGES SATELLITE LANDSAT 8 DU NORD-BECHAR PAR (USGS).....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURE 13 : A : SELECTION DES BANDES SPECTRALES DANS L'ENVI. B : LES BANDES SPECTRALES EN UNE SEULE IMAGE.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURE 14 : LES ETAPES D'EMPILEMENT DES COUCHES (LAYER STACKING).....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURE 15 : LES ETAPES DE MOSAÏQUAGE.....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURE 16 : RESULTAT DE MOSAÏQUAGE.....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURE 17 : LES ETAPES DE DECOUPAGE.....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURE 18 : LE RESULTAT DE DECOUPAGE.....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURE 19 : LES ETAPES DE TRAITEMENT PCA.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURE 20 : TRAITEMENT PCA BANDES 4-5-6.....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE 21 : TRAITEMENT PCA BANDE 3-5-1.....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURE 22 : TRAITEMENT MNF BANDE 4-5-6.....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURE 23 : TRAITEMENT LOG BANDE 4-1-6.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURE 24 : LES ETAPES DE DECORRELATION.....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURE 25 : LE RESULTAT DU TRAITEMENT DECORRELATION.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURE 26: RESULTAT DE TRAITEMENT CONVOLUTION ET MORPHOLOGIE A 90°.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURE 27 : UNE PRESENTATION POUR COMMENT CHOISIE UN DOSSIER.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURE 28 : LES ETAPES D'ATTRIBUTION DE LA REFERENCE.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURE 29 : L'AJOUT DES POINTS DE CONTROLE.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE 30 : LA RECTIFICATION D'UNE CARTE GEOLOGIQUE.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURE 31 : PRESENTATION DES FAILLES DE LA ZONE D'ETUDE EN COULEUR NOIRE.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURE 32 : PRESENTATION DES BARRES REPERES DE LA ZONE D'ETUDE EN COULEUR BLEU.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURE 33 : L'AFFICHAGE DES TRAITEMENT D'ENVI SUR ARCGIS.....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURE 34: LE RESULTAT DE LA VECTORISATION D'UNE FORMATION (POLYGONE).....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURE 35 : PRESENTATION POUR DECRIRE LA LEGENDE.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURE 36 : LES COUCHES D'INFORMATIONS STRATIGRAPHIQUE DE LA REGION NORD-BECHAR.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURE 37 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION NORD-BECHAR.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURE 38 : A : CARTE GEOLOGIQUE DU HAMADA DE GUIR. B : CARTE GEOLOGIQUE ORAN-SUD 1951.....</b>	<b>49</b>

<b>FIGURE 39: CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION NORD DE BECHAR (BOUKAÏS- MOUGHEUL- EL AHMAR) A 1/200 000.</b> .....	50
<b>FIGURE 40 : SCHISTES PRECAMBRIEN DU DJEBEL ARIS.</b> .....	51
<b>FIGURE 41 : ECHANTILLONS PRECAMBRIEN RECOLTE DANS LE MASSIF DE BOUKAÏS.</b> .....	51
<b>FIGURE 42 : SCHISTES VERDATRES RECOLTES DU NORD DE MOUGHEUL.</b> .....	52
<b>FIGURE 43 : MASSIF DES GRES ARKOSIQUES DU CAMBRIEN INFERIEUR.</b> .....	52
<b>FIGURE 44: DISCORDANCE JURASSIQUE SUR LE CAMBRO-ORDOVICIEN AU NORD DE MOUGHEUL.</b> .....	53
<b>FIGURE 45 : CALCAIRES FOSSILIFERES DU DEVONIEN DE DJEBEL ANTAR.</b> .....	54
<b>FIGURE 46 : BANC CALCAIRE DANS LE DEVONIEN DE DJEBEL HORREÏT.</b> .....	54
<b>FIGURE 47 : ARGILES SCHISTEUSES DU CARBONIFERE DE DJEBEL ANTAR.</b> .....	55
<b>FIGURE 48 : CALCAIRES NOIRS RICHE EN FOSSILES.</b> .....	55
<b>FIGURE 49 : ECHANTILLONS TRIASIQUES RECOLTES AU NORD DE MOUGHEUL.</b> .....	56
<b>FIGURE 50 : CALCAIRES ET MARNES DU JURASSIQUE MOYEN DE DJEBEL ZELMOU.</b> .....	56
<b>FIGURE 51 : LES GRES ROUGE AU SUD DE DJEBEL ZELMOU.</b> .....	57
<b>FIGURE 52 : DISCORDANCE DES CALCAIRES DU PLOCIENE SUR LES GRES ROUGE CHENALISE DU CRETACE...</b>	57
<b>FIGURE 53 : LA COMPLEXITE TECTONIQUE AU NORD DE DJEBEL AÏSSA.</b> .....	59
<b>FIGURE 54 : A- PORTION DE LA CARTE GEOLOGIQUE ORAN-SUD. B- CORRECTION PAR LA MISE EN EVIDENCE DE DYKES DANS DJ. ANTAR SUR LA FEUILLE NORD-BECHAR.</b> .....	60
<b>FIGURE 55 : A- PORTION DE LA CARTE GEOLOGIQUE ORAN-SUD. B- CORRECTION PAR LA MISE EN EVIDENCE DE DECALAGE DANS LES LIMITES DE FORMATION DANS DJ ARIS SUR LA FEUILLE NORD DE BECHAR.....</b>	61
<b>FIGURE 56 : A- PORTION DE LA CARTE GEOLOGIQUE ORAN-SUD. B- CORRECTION PAR LA MISE EN EVIDENCE DU TRIAS SUR LA FEUILLE NORD-BECHAR.</b> .....	62
<b>FIGURE 57 : A- PORTION DE LA CARTE GEOLOGIQUE ORAN-SUD. B- CARTOGRAPHIE DE LA ZONE DE DJEBEL ZELMOU MISE EN EVIDENCE SUR LA FEUILLE NORD-BECHAR.</b> .....	62

## **CHAPITRE I : Généralités**

# Chapitre I : Généralités

## I. Introduction

La cartographie géologique est une discipline qui permet la représentation des objets géologiques sur un fond topographique, elle constitue un outil de base pour toute étude en géosciences. L'Algérie présente une géologie complexe caractérisée par plusieurs domaines géologiques allant du Nord au Sud : le Tell, les Hauts Plateaux, l'Atlas saharien, les bassins sahariens, le Hoggar et les Eglabs.

L'origine de la formation des bassins de Béchar (bassin paléozoïque puis bassin salifère) sont marqués par enregistrement des cycles orogéniques panafricain, hercynien et alpin.

La région Nord-Béchar est une région étudiée par plusieurs auteurs qui ont contribué à la cartographie géologique, à l'étude sédimentologique et à l'exploration minière. Néanmoins, l'étude structurale demeure insuffisante, la cartographie géologique détaillée de la région reste indispensable pour actualiser les cartes géologiques de synthèse et d'améliorer notre compréhension de l'évolution de cette région.

La réalisation des cartes géologiques nécessite la maîtrise de toutes les méthodes et techniques modernes, la cartographie assistée par ordinateur, notamment la télédétection et les traitements d'images satellites se sont imposés comme les outils de cartographie géologique les plus rapides et efficaces, notamment lorsqu'il s'agit de cartographie en zones arides où les affleurements sont parfois inaccessibles compliquant le travail cartographique classique.

L'objectif principal de notre travail est la réalisation d'une cartographie géologique à l'échelle 1/200.000 de la région Nord-Béchar sur l'axe de (Boukaïs, Mougheul et El Ahmar), en utilisant la télédétection, les systèmes d'information géologique, et les données de terrain collectées par les ingénieurs de l'ASGA qui sont en charge de la cartographie géologique des feuilles de Ain-Sefra et de Béchar à 1/500 000.

Cette étude est répartie en quatre chapitres, menée en collaboration avec les ingénieurs de l'Agence du Service Géologique de l'Algérie (ASGA).

-Le premier chapitre est consacré à la présentation d'un bref état des travaux suivis par le cadre géographique et géologique régionale du bassin Paléozoïque de Béchar et de la zone d'étude (Boukaïs, Mougheul et El Ahmar), et leur description lithologique.

## Chapitre I : Généralités

-Le deuxième chapitre est dédié aux généralités sur les systèmes d'information géographique et la télédétection qui sont utilisés pour obtenir la nouvelle carte géologique de la région Nord-Béchar.

-Le troisième chapitre présente les principales étapes de traitement et d'interprétation des données spatiales.

-Le quatrième chapitre expose les résultats de la cartographie géologique à 1/200 000, accompagné d'une description géologique illustrée par des données de terrain, suivi d'une synthèse géodynamique et une conclusion générale.

## II. Historique des travaux état de l'art

-En 1945, Menchikoff est le premier géologue qui a effectué des recherches sur la boutonnière de Boukaïs, Il attribua un âge Cambrien à la formation supra-volcanique (in Chabane, 2022).

-Deleau, 1951 a contribué aux études stratigraphiques et paléontologiques en particulier sur les séries terrigènes et les formations carbonifères du Djebel Grouz.

- en 1952, Deleau, publie les résultats de son étude sur l'évaluation du potentiel des gisements houillers dans la région de Colomb-Béchar. Dans cette évaluation la région de El Ahmar est également étudiée.

- En 1953, Du Dresnay et Huppée confirment dans le massif de Boukaïs à l'aide des trilobites récoltés dans la partie inférieure de la Série ultra-volcanique l'âge Cambrien déjà attribué par les auteurs.

-En 1955, dans le massif de Boukaïs, Meindre s'intéresse à l'environnement ainsi que la minéralisation des roches volcaniques. Attribue les conglomérats du Djebel Tibalicine à la série paléozoïque.

-Meindre, entre 1953 à 1957, qui travaillait sur les séries volcaniques, subdivise les affleurements de la région de Béchar en trois ensembles : l'ensemble infra-volcanique, l'ensemble volcanique et l'ensemble supra-volcanique.

-Pareyn, 1961 a étudié les massifs carbonifères du Sahara Sud oranais.

## Chapitre I : Généralités

-En 1988, Fabre *et al.* Soulignent l'importance de la région de Boukaïs, en attribuant l'ensemble des séries infra-volcaniques au Précambrien P-III de l'Anti-Atlas marocain, et proposent que la région soit affectée par l'orogénèse panafricaine.

-En 1992, Bankih et Ghoul ont proposé dans leur mémoire de fin d'étude une reconstitution de l'évolution sédimentologique et géodynamique des formations cambriennes de la région de Boukaïs.

-Seddiki, 1997 définit les thélites continentales par l'étude pétrographique et géochimique des volcanites de Boukaïs.

- Les travaux de Zerrouki en 1993, 2000 et 2004 réalisés dans le cadre des explorations minières conduites par la SONAREM, dans le but d'évaluer dans le massif cristallin de Boukaïs ses potentialités minières.

-Chabane, 2022 étudié les séries du Paléozoïque inférieur de la région de Boukaïs. Ses travaux ont permis de déterminer les environnements de dépôts et leur évolution. Les traitements des images par la télédétection a permis également de proposer une carte des linéaments fracturation de la région.

-Zerrouki *et al.* 2025 a proposé une corrélation litho-stratigraphique des affleurements Protérozoïques entre le Nord-Béchar et l'Ougarta.

### III. Géologie régionale

#### III.1. Situation géographique

La région de Béchar est située dans le prolongement Sud-SE de l'Anti Atlas et du Haut Atlas. À environ 80 km à l'Est de la frontière marocaine et à environ de 950 km au Sud-Ouest d'Alger, elle est entourée de chaînes de montagnes comme Djebel Antar (1953 m), Djebel Grouz (1835 m) et Djebel Béchar (1206 m). La ville est située à une altitude d'environ 780 à 773 mètres.

Notre région d'étude est localisée dans la partie Nord-Béchar comprenant de l'Ouest à l'Est l'axe Boukaïs- Mougheul- El Ahmar. Cette région est limitée au Nord et à l'Ouest par la frontière marocaine. A l'Est, elle est limitée par Beni-Ounif. Au Sud, la région d'étude est bordée par la région de (Fig. 1).

## **Chapitre I : Généralités**

-Le climat de Béchar est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit), et des étés très chauds et ensoleillés.

-Les espèces végétales les plus adaptées aux conditions climatiques arides et désertiques du Nord-Béchar sont des plantes résistantes à la sécheresse, capables de survivre à une pluviométrie faible et à des températures élevées.

- Sur le plan hydraulique, la source de Boukaïs, constitue l'exutoire des calcaires turoniens par l'intermédiaire d'une grande faille correspondant à la flexure saharienne. Cette source est exploitée pour l'irrigation de la palmeraie de Boukaïs avec un débit de 7.5 l/s (Brahmi, 2015).

# Chapitre I : Généralités

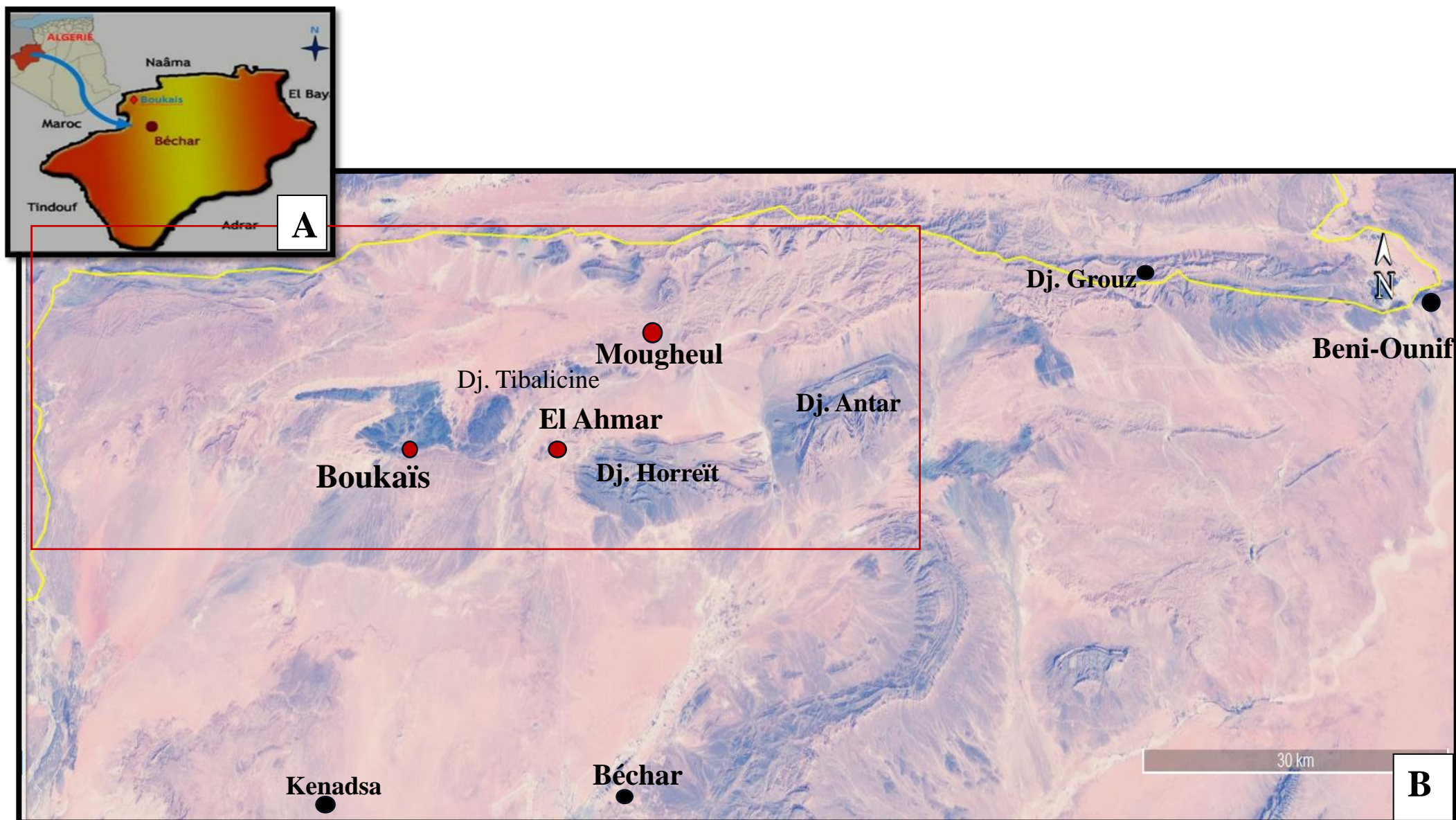


Figure 1 : A- La situation géographique de Nord-Béchar. B- Image satellitaire montrant localisé la zone d'étude (Boukaïs, Mougheul et El Ahmar).

# Chapitre I : Généralités

## III.2. Cadre géologique régional

La complexité structurale de la zone Nord-Béchar est due à la présence de plusieurs phases tectoniques majeures, notamment panafricaines, hercyniennes et alpines. La boutonnière de Boukaïs, occupant une partie importante de la région d'étude, est un massif volcanique andésitique attribué au Protérozoïque et contenant des roches infracambriennes témoigne de l'existence de deux grandes fractures du système Sud-Atlasique. Elle est limitée au Sud par la fracture longeant le synclinorium de Béchar-Kenadsa. Au Nord, c'est l'accident Sud-Atlasique qui s'étend jusqu'à l'Anti-Atlas (Fig2).

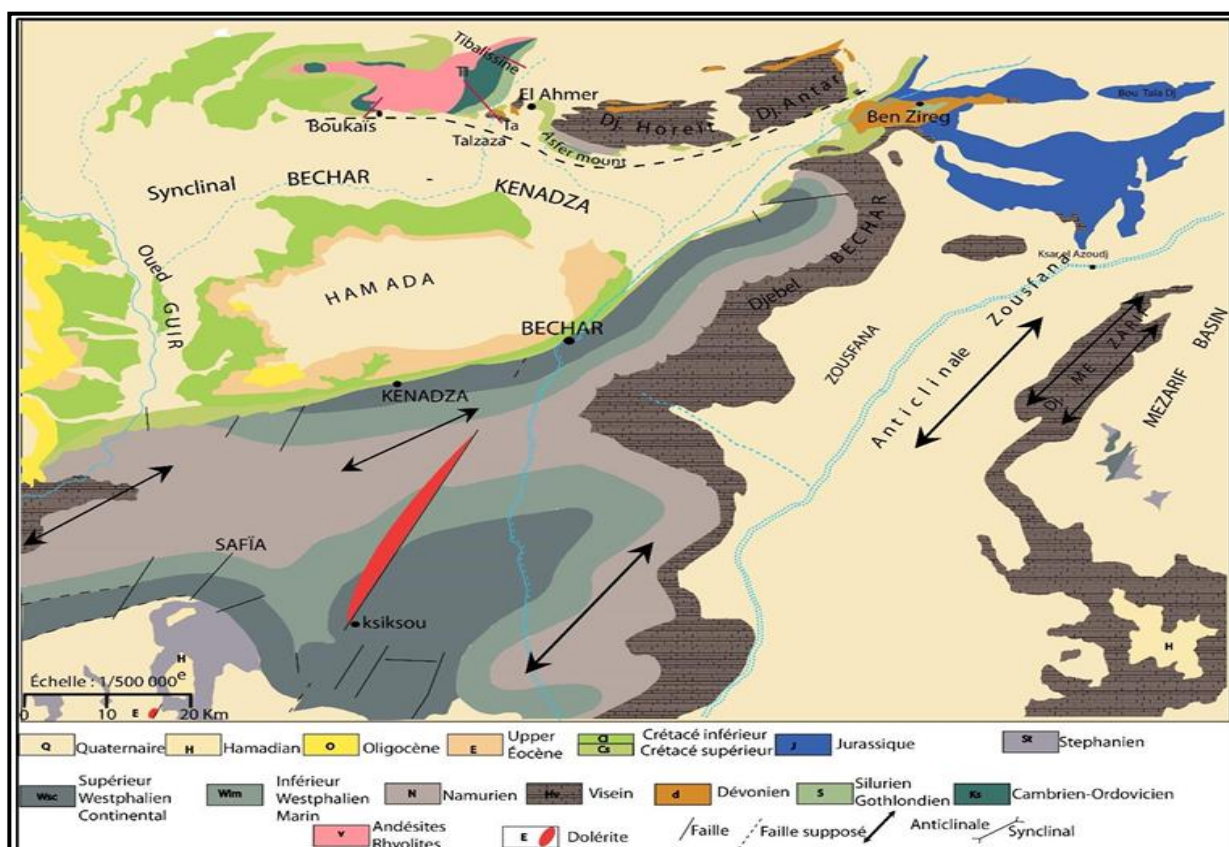


Figure 2: Extrait de la carte géologique de Béchar au 1.500 000 de Deleau, 1952 montrant les grands ensembles géologiques (in Chabane, 2022).

# Chapitre I : Généralités

## III.3. Lithostratigraphie

Les formations les plus anciennes connues sont datées du Précambrien et affleurent dans la région de Boukaïs. Elles se présentent sous forme de boutonnière très complexe, formées par un empilement d'andésites porphyriques à feldspaths avec quelques intercalations de dolérites à labrador et olivine (Zerrouki, 2000). Ces roches volcaniques sont entourées par des formations sédimentaires variées (Bankih et Ghoul, 1992).

### III.3.1. Précambrien

- Série calcaire :

La série calcaire d'épaisseur totale de (200 m) affleure uniquement dans la partie Nord-Ouest du massif de Boukaïs. Elle est représentée par des calcaires argileux gréseux, laminés et à stratifications obliques. Dans les sondages, la série calcaire est constituée de calcaires rubanés à stromatolithes, rognons de silex et des oxydes de fer. Ces formations sont intercalées des bancs calcaires gréseux et feldspaths de 1 à 4 m d'épaisseur (Bousmaha, 1989).

- Série des grès rouges :

La série des grès rouges est une série grano-croissant, d'épaisseur d'environ 180 m. Elle est représentée par des grès arkosiques à ciment argileux rouge, très fin à la base et au sommet devient plus détritique et plus grossier. Les grès présentant des stratifications obliques et des niveaux de ravinement (Zerrouki, 2000). Au sommet de la série, des niveaux centimétrique micro-conglomératiques apparaissant (Chabane, 2022).

- Série conglomérat terminal :

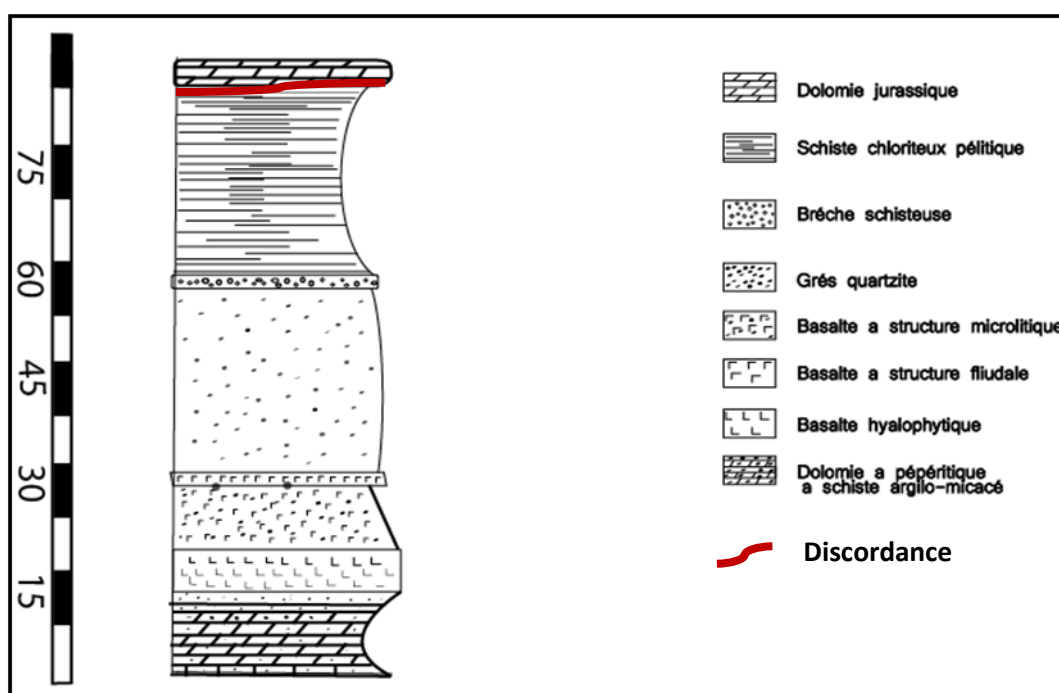
Au sommet de série grès rouge, un niveau de conglomérat polygénique de 25 cm d'épaisseur composé de granite, d'aprites, de pegmatites, de rhyolites, de gneiss et de calcaire. La matrice conglomératique est gréseuse et parfois volcanique, ce qui indique un volcanisme récent. L'épaisseur des conglomérats varie de 1 m à l'Est et 10-15 m à l'Ouest (Zerrouki et al, 2025). Cette variation d'épaisseur définit un biseau stratigraphique essentiellement dû à des différences de relief au cours de la sédimentation de ces conglomérats (Seddiki, 1997).

## Chapitre I : Généralités

- Série volcanique :

Cette série d'épaisseur 2000m est constituée d'un empilement d'andésites porphyriques à gros feldspaths, qui sont abondantes dans la partie Nord-Boukaïs. Les critères de terrain ont permis d'établir la chronologie de mise en place des différents faciès magmatiques.

Au niveau de Chebket Mougheul, les basaltes précambriens sont hyalophtique ou à structure fluidale ou microlitique (Fig. 3).

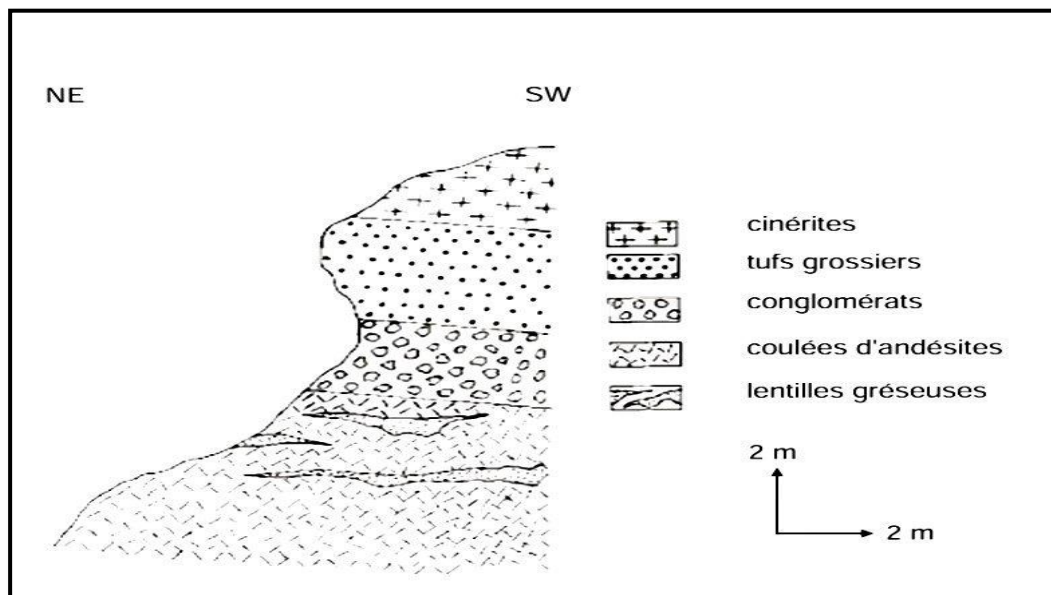


*Figure 3: Log du Précambrien Chebket Mougheul (Zerrouki, 1993).*

Les coulées d'andésite intercalées des bancs de tuf volcanique rouge associés à des conglomérats à petits éléments (1 à 2 cm) provenant d'un remaniement du tuf. Entre ces coulées (Fig. 4) on constate aussi des intercalations de tufs très durs en couches épaisses de plusieurs dizaines de mètres, d'une couleur noir violacé, de cinérites très fines et de conglomérats à ciment arkosique et à galets d'andésite atteignant 10 à 15 cm de diamètre notamment au Sud et au Sud-Ouest de la structure de Boukaïs (Seddiki, 1997).

## Chapitre I : Généralités

Dans la série andésitique le trachyte andésitique relativement moins altéré est déposé sous forme des dykes, les principaux affleurements étant situés au centre de la structure de Boukais (Zerrouki et al, 2025).



*Figure 4 : Coupe lithostratigraphique montrant le strato-volcanisme du massif de Boukais (Seddiki,1997).*

### III.3.2. Paléozoïque

#### III.3.2.1. Cambrien

Il représenté par une formation conglomératique d'une épaisseur de 200 m environ à l'Est de la structure djebel Tabaliene (Seddiki, 1997), constituée des galets volcaniques et granitiques avec des éléments arrondis et anguleux recouverts d'une matrice d'arkose avec parfois du ciment carbonaté. Au sommet des niveaux des calcaires oolitiques rouges peuvent être décrits. (ORGM, 2007).

#### III.3.2.2. Le Cambro-Ordovicien

Il recouvre directement le conglomérat de Djebel Tabilicine (Tabaliene), plus les affleurements sont particulièrement bien développés dans le Sud-Est du massif, mais sont plus limités dans le Sud-Ouest (Seddiki, 1997).

## Chapitre I : Généralités

La succession de bas en haut est la suivante :

- un banc calcaire
- des grès arkosiques rouges avec de rares galets
- des schistes et grès verts
- des grès arkosiques gris rosés
- des schistes gréseux verts et à tendance Psammétique
- des grès arkosiques blanchâtre

Il affleure largement dans le site entre le village de El Ahmar et celui de Boukais et aux environs de Mougheul (Brahmi, 2015).

### III.3.2.3. Silurien

Il repose en discordance sur l'Ordovicien, Il apparaît au pied Sud du Djebel Grouz. Il s'agit des schistes noirs (Perrodon, 1957).

### III.3.2.4. Dévonien

Les formations du Dévonien sont plus amples en affleurement, ils sont identifiés au pied de la falaise de Koudiat El Haïdoura (Grouz), au niveau de Talzaza (Menchikoff, 1936).

Il est subdivisé en trois séries de bas en haut :

- une série argilo-calcaire du Dévonien inférieur, son épaisseur atteint 365m.
- une série argilo-gréseuses attribuée au Dévonien moyen, son épaisseur est de 100m.
- une série de calcaires griottes datées du Dévonien supérieur. L'épaisseur de ces calcaires est de 90m.

### III.3.2.5. Carbonifère

Au Nord-Béchar le Carbonifère est représenté par deux faciès qui se superposent : l'un schisteux, l'autre récifal (Metchnikoff, 1936). Les dépôts de flysch dits le Wild flysch se sont

## Chapitre I : Généralités

déposés dans la fosse de Ben-Zireg, qui passent latéralement à des constructions récifales dans le massif de l'Antar (Pareyn,1961).

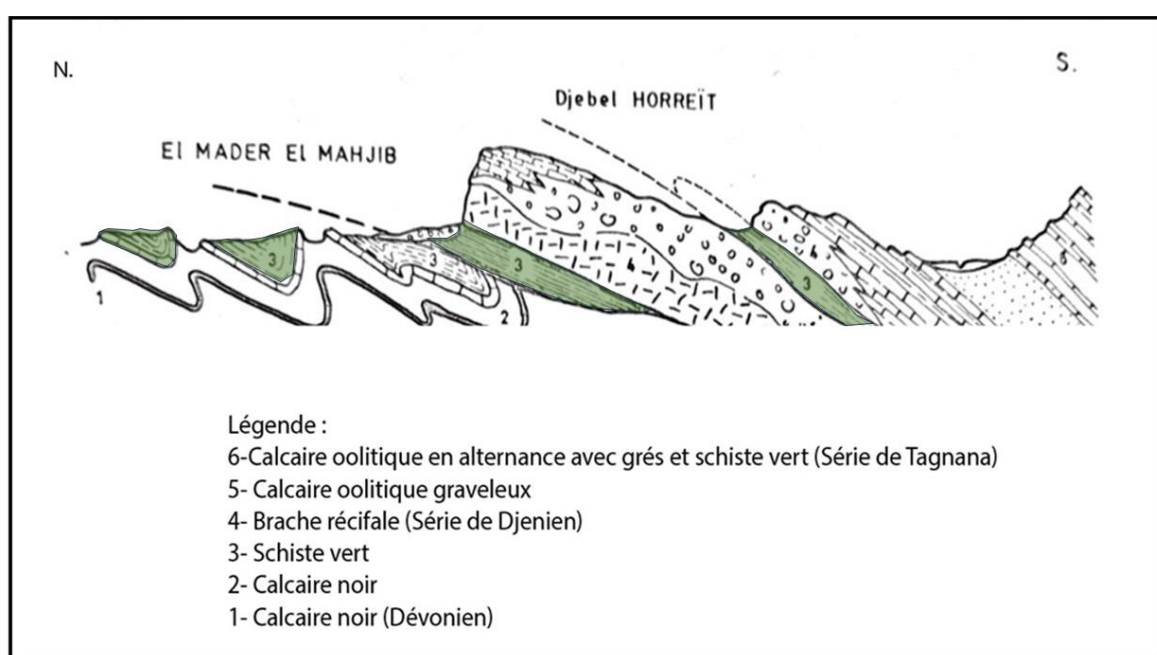
### • Le Tournaisien

La formation commence par un ensemble marno- calcaire fossilifère se déposé au Nord de l'Antar, à l'Ouest de la ville de El Ahmar.

Cette formation se termine par une alternance marno-calcaire formant du dernier Membre. Les marnes sont verdâtres et très fossilifères des Crinoïdes deviennent très rare Brachiopodes et Tétracoralliaires solitaires souvent de grandes tailles, Les calcaires sont massifs de couleur brune, centimétriques et strato-décroissants (ORGM, 2007).

### • Le Viséen

Connu au niveau des massifs septentrionaux (Djebel Horreït et Djebel Antar), il est composé par des calcaires et des schistes (Fig.5).



*Figure 5 : Coupe du Djebel Horreït (Pareyn, 1961).*

### • Le Namurien

Il affleure au pied du Djebel El Asfer généralement il est représenté par des alternances de calcaire, marnes et de quelques niveaux de grès, au niveau de Djebel Béchar le Namurien comprend des assises calcaro-dolomitiques.

## Chapitre I : Généralités

- **Le Westphalien**

On connaît le Westphalien entre Djebel Horreït et Kenadsa. Il est composé de marnes verdâtres et des grès à plantes à patine noire.

### III.3.3. Mésozoïque

#### III.3.3.1. Trias :

Les séries du Trias est constitué par des argilo-gréseuses (Zerrouki, 1990), repose en discordance angulaire sur les formations du paléozoïque, ce sont les dépôts rouges de la phase du Mésozoïque (Menchikoff, 1936).

Les argiles deviennent prépondérantes vers le sommet de la série. A l'Ouest de Hassi Diab (djebel Grouz), ce terme présente des niveaux d'argiles, gypse et anhydrite en bancs de 40 à 50cm. au sommet les oolites s'intercalent dans les argiles gypsifères de Mougheul.

#### III.3.3.2. Jurassique :

Le Jurassique dans la région Nord-Béchar est représenté par des formations carbonatées et dolomitiques.

- **Lias**

Le Lias est présent essentiellement le long de l'axe Boukaïs- Ben Zireg- Beni Ounif, avec des affleurements notables à Boukaïs (Zerrouki, 2004). Il est subdivisé en :

-Formation dolomitique (Lias inférieur) est représenté par une barre de dolomie (10m) micritique à rarement sparitique, surmontée par une alternance de calcaire dolomie.

-Formation argilo- gypseuse (Lias moyen-supérieur) est caractérisée par des grès en plaquettes, marnes, argilites et gypse. L'épaisseur de cette unité est d'environ 70m.

- **Dogger**

Comprend deux formations :

-formation calcaire-dolomitique représentée des dolomies (12 à 15m) micritiques à sparitiques, et des calcaires micritiques, parfois organo-clastiques, des marnes et des argilites. L'épaisseur de cette formation l'ordre de 50 à 60m.

## Chapitre I : Généralités

-formation marno-calcaire d'épaisseur 100m est représentée par une succession d'argilites, grés, gypse avec des intercalations de calcaires oolitiques et organo-détritiques (ORGM, 2007).

### III.3.3.3. Crétacé :

Représenter par des ensembles attribués à l'Albo-Aptien et au Cénomaniens.

- **Albo-Aptien**

Constitue par des grés grossiers en bancs de 40 à 50m à stratification oblique, un microconglomérat, argiles-gypsifères, dolomie jaunâtre.

La formation marno-calcaire de djebel El Asfar sont très fossilifère par les huitres et les foraminifères (Hamdidouche, 2003), sur lesquelles repose une barre calcaire et dolomitique massive (ORGM, 2007).

A Boukaïs trouve des argiles versicolores qui se déposent le Paléozoïque, par l'intermédiaire d'un conglomérat composé des galets de quartzites. Ce membre se conclut par un terme dolomitique (ORGM, 2007).

- **Cénomano-Turonien**

Les argiles et les marnes cénomaniennes surmontées par des calcaires turoniens affleurent partout dans la région par des petite affleurements isolée au Sud-Atlasique, au Nord du massif protérozoïque de Boukaïs et au Djebel El Asfar (Zerrouki, 2004).

Cette formation est constituée de calcaires compacts parfois silicifiés avec une forte présence de fossiles marins, comme les rudistes, bivalves et échinides, témoignant d'un environnement de plateforme carbonatée peu profonde.

La discordance marque une transition entre des environnements détritiques côtiers et fluviaux du Cénomaniens inférieur et moyen, vers un environnement de plateforme carbonatée peu profonde au Turonien inférieur, sont associée à une phase tectonique compressive qui a affecté la région à la fin du Crétacé, provoquant notamment des déversements et des renversements des couches, comme observé au Djebel Horreït et Djebel Antar au Nord de Béchar (Benyoucef, 2016).

## Chapitre I : Généralités

- **Le Sénonien**

Le Sénonien de 1000m d'épaisseur, formé de sel et d'argile salifère. Il se développe dans un vaste bassin limité au Sud par la barre Turonienne, affleurant au Nord par l'accident Sud-Atlasique marquant la bordure Sud du massif volcanique de Boukaïs et des djebels Antar-Horreït (Zerrouki, 2004).

### III.3.4. Cénozoïque

-La formation d'âge Éocène inférieur et moyen est représentée par des barres de calcaire (Hamdidouche, 1997).

-Les affleurements d'âge Oligocène sont représentés par une formation des grès grossier alternant avec des niveaux conglomératiques (Chabane, 2022).

-Les formations miocènes représentées par des conglomérats et des grès gris tendres et des marnes rosâtres à Helix. Épaisse de 30 m environ (ORGM, 2007).

-Le Pliocène supérieur dans la région de Boukaïs présente comme des grès rouges ou blancs et des calcaires lacustres.

-Le Quaternaire représenté par des alluvions récentes affleurantes en grandes plages et en terrasses d'autre des oueds

Le principal affleurement est connu au niveau de Boukaïs présente comme un ancien massif apparaissant en boutonnière anticlinale, le massif lui-même est constitué de pélites et de grès surmontés par des coulées basaltiques, andésitiques et des tufs volcaniques. (ORGM, 2007).

## IV. Tectonique

### IV.1. La Tectonique panafricaine

La tectonique de la région peut être subdivisé en deux évènements tectoniques, l'un ante-volcanique et un autre syn-volcanique

Le principal impact de cette tectonique a été de favoriser l'établissement des dykes éruptifs, illustrée par des failles orientées du N40 au N60 (Meindre, 1955).

## Chapitre I : Généralités

Cette tectonique est mieux illustrée par les failles transtensives. Leur principale activité c'est la formation de bassins métamorphiques en extension suivie de l'émergence de l'activité volcanique et des volcans de Boukaïs (Seddiki, 1997).

### IV.2. La tectonique hercynienne :

Influence toutes les structures du massif de Boukaïs et les structures avoisinantes, y compris les formations cambro-siluriennes, Cela a donné naissance à un système d'anticlinaux et de synclinaux au centre et à l'Ouest de la structure, la languette cambrienne du Sud-Ouest est associée à un effondrement. Elle se divise en deux phases tectoniques majeures :

\* Une phase tectonique qui a produit des failles et des plis orientés SW-NE (N40 à N70). Cette étape est généralement la cause de l'apparence actuelle de la structure. Ces failles sont associées aux dépôts de cuivre et de manganèse. (Meindre, 1952).

\* Une phase tectonique plus récente à l'origine de failles orientées N-S qui décale les failles syn-volcaniques (de N40 à N60). Les orientations Nord-Sud sont moins cruciales. Selon les formations géologiques touchées, l'ère de la tectonique est attribuée du post-Dévonien à l'Anté-Jurassique. Durant cette vaste période se sont produits les plissements observables dans la région de Béchar, notamment les imposants anticlinaux du Carbonifère (Deleau, 1951).

### IV.3. La tectonique Alpine :

Illustrée par la tectonique atlasique qui a donné l'établissement de deux anticlinaux à axe Est-Ouest asymétriques dans les terrains secondaires, qui présente au Nord une inclinaison de 5 à 10° vers le Nord et au Sud une inclinaison de 60 à 70° vers le Sud. On peut clairement observer les anticlinaux à l'Ouest du massif Boukaïs.

## V. Magmatisme

Le magmatisme de Boukaïs est caractérisé par des coulées d'andésites et des pyroclastes recoupés par un sil de dolérite. Il a été aussi décrit des extrusions tardives "trachy-dacitiques" au Nord et au centre du massif. Les produits pyroclastiques apparaissent sous différents aspects ; tufs, brèches et cinérites (Seddiki, 1997).

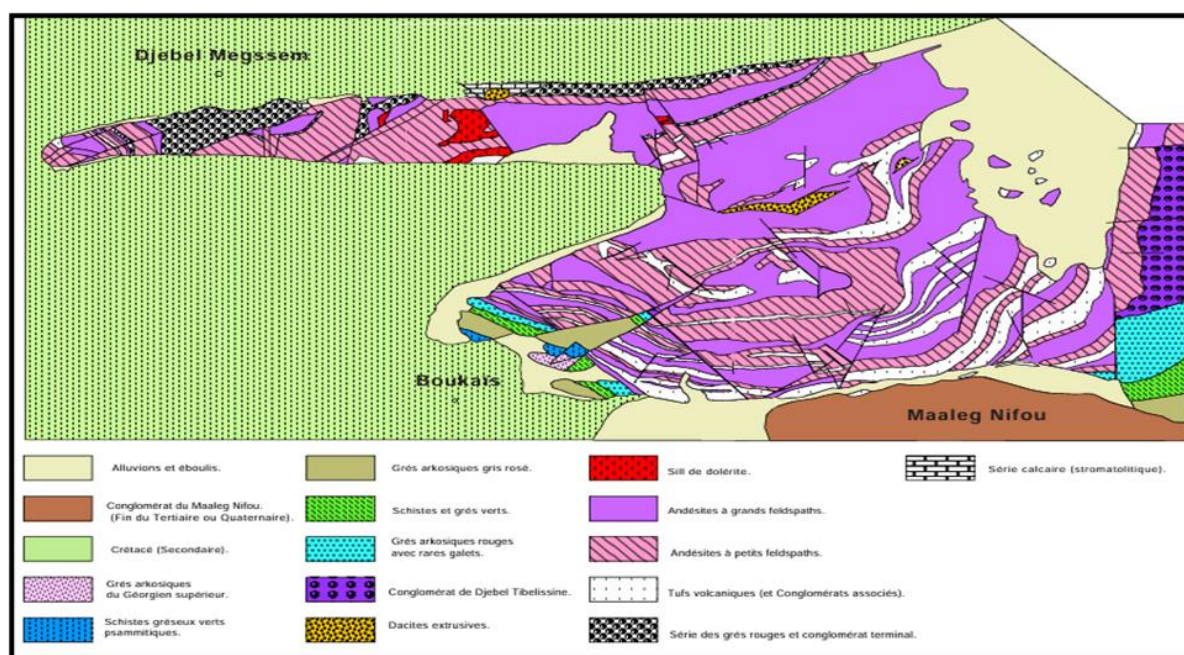
## Chapitre I : Généralités

Dans le contexte de Boukaïs, la dolérite s'inscrit dans un cadre volcanique protérozoïque, où elle est associée à des andésites porphyriques et des tufs andésitiques. Ces roches ont subi un métamorphisme de type schistes verts, notamment c'est une altération hydrothermale avec formation de calcite, chlorite, épidote.

Les roches andésitiques de Boukaïs sont cristallisées à partir d'un fluide initial relativement pauvre en eau (Seddiki, 1997).

Les rhyolites et les trachytes apparaissent en dykes dans le pan central du massif et en coulées entre les tufs et les andésites dans la partie Sud-Est du massif (Meindre, 1955).

L'andésite c'est la plus ancienne, est traversée par des rhyolites au Nord-Boukaïs, a mise en place du dyke s'est faite à des profondeurs modérées dans un environnement, où le magma basaltique ou andésitique a pu s'infiltrer dans les fractures ouvertes par la tectonique avant de se refroidir et cristalliser en dolérite ou andésite porphyrique.



*Figure 6 : Carte géologique du massif de Boukaïs trouve par Zerrouki et al 2025.*

## **CHAPITRE II : Télédétection et SIG**

## **Chapitre II : Télédétection et SIG**

### **I. La Télédétection**

#### **I.1. Introduction**

Pour un géologue, la cartographie géologique revêt une importance capitale. Il est donc crucial de maîtriser toutes les méthodes et techniques contemporaines de création de cartes géologiques. Au cours des dernières années, la cartographie numérique, notamment par l'utilisation de la télédétection et l'analyse d'images satellites, s'est affirmée comme les outils de cartographie géologique les plus rapides, précis et fiables à la disposition des géologues. Cela est particulièrement pertinent pour la cartographie dans les régions arides et désertiques où les affleurements peuvent être parfois inaccessibles, rendant difficile le travail traditionnel de cartographie.

#### **I.2. Définition de la Télédétection**

La Télédétection vient de deux mots, Télé qui signifie « à distance » et détection qui veut dire « découvrir ». La télédétection est la technique d'observation à distance de la réponse des objets à une excitation extérieure naturelle (soleil) ou artificielle (radar). Autrement dit La télédétection est une technique d'observation permettant de détecter et d'interpréter à distances les caractères morphologiques, physiques, et /ou spectraux des matériaux. Le terme de télédétection a été introduit officiellement dans la langue française en 1973 et sa définition officielle est la suivante : « Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Grabsi et Tahri, 2021).

#### **I.3. Historique de la télédétection**

- 1839 : Mise au point de la photographie (NIEPCE, DAGUERRE).
- 1844 : Premières photographies aériennes réalisées depuis un ballon par G.F. Tournachon dit NADAR (Kergomard, 2000).
- 1856 : Le même NADAR fait breveter l'installation d'une chambre photographique à bord de la nacelle d'un ballon pour la prise de photographies aériennes verticales.

## Chapitre II : Télédétection et SIG

- 1858-1898 : LAUSSE DAT expérimente systématiquement l'utilisation de la photographie aérienne (ballon) en cartographie et met au point les méthodes de la photogrammétrie.
- 1909 : Premières photographies depuis un avion (WRIGHT).
- 1914-1918 : Utilisation intensive de la photographie aérienne comme moyen de reconnaissance pendant la 1<sup>ère</sup> guerre mondiale.
- 1919 : Mise au point du premier restituteur stéréoscopique moderne (appareil de POIVILLIERS) pour l'utilisation des photographies aériennes en cartographie topographique.
- 1919-1939 : Essor de la photographie aérienne pour la cartographie et la prospection pétrolière (Moyen-Orient).
- 1940 : Apparition des premiers radars opérationnels en Grande-Bretagne (bataille d'Angleterre).
- Depuis 1945 : Développement continu de la photographie aérienne comme méthode opérationnelle de cartographie et de surveillance de l'environnement. Perfectionnement des appareils et des émulsions (infrarouge).
- 1945- 1957 : Développement de la photographie aérienne comme outil de cartographie et de surveillance de l'environnement.
- 1960-1972 : Développement parallèle de la technique des satellites et des capteurs (mise au point des radiomètres et radars imageurs).
- 1964-1969 : Embarquement d'appareils photographiques à bord d'engins spatiaux habités.
- 1972 : Lancement d'ERTS (USA), rebaptisé Landsat 1, premier satellite spécialisé de télédétection des ressources terrestres.
- 1974-1978 : Mise en place, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale, du réseau des satellites météorologiques géostationnaires.
- 1982 : Apparition de la moyenne résolution spatiale pour l'observation de la Terre : lancement de Landsat 4, équipé du radiomètre « Thematic Mapper » (Kergomard, 2000).
- 28 Novembre 2002 : lancement du premier satellite algérienne Alsat 1 par l'ASAL (Agence Spatial Algérienne), avec le lanceur Cosmos-3M à partir de la base de lancement Russe de Plesetsk.

## Chapitre II : Télédétection et SIG

### ➤ Les principales applications de la télédétection pour la géologie :

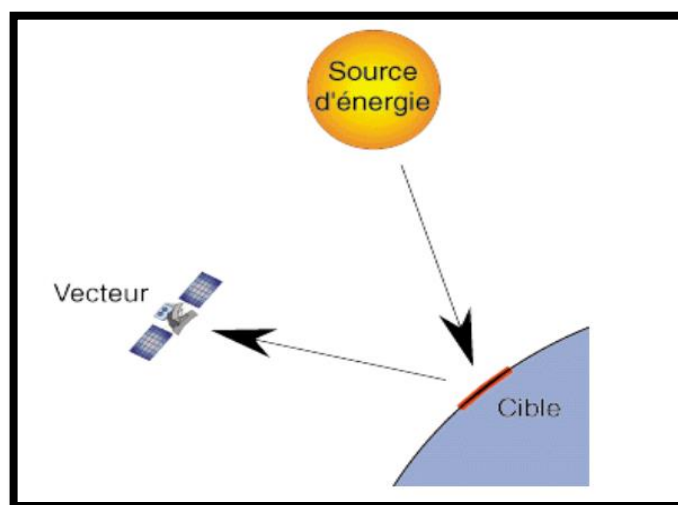
La télédétection est un outil qui permet l'extraction d'information sur la structure ou la composition de la surface de la Terre. Utilisé principalement pour :

- la cartographie des dépôts de surface.
- la cartographie lithologique et structurale.
- l'exploration minière et pétrolière.
- la géologie environnementale.

### I.4. Principes de base de la télédétection :

La télédétection regroupe un ensemble de paramètres et de phénomènes qui interagissent, dont nous pouvons dégager trois éléments principaux : le rayonnement électromagnétique, la cible et le système d'observation. (Fig.7)

- le rayonnement électromagnétique (source d'énergie) : c'est l'élément qui "éclaire" la cible en général cette source est représentée par le soleil.
- la cible : c'est la portion de la surface de la terre observée par le satellite. Sa taille peut varier de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés.
- le système d'observation (vecteur) : c'est l'élément sur lequel sont montés des capteurs permettant de capter et mesurer le rayonnement électromagnétique réfléchi par la cible.



*Figure 7 : Schéma de principe de base de la télédétection.*

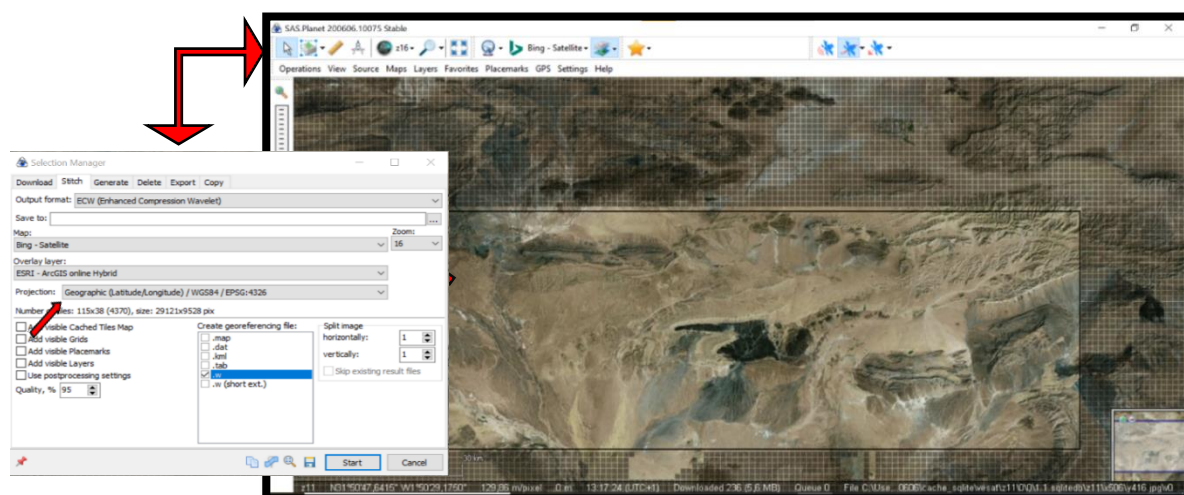
## Chapitre II : Télédétection et SIG

### I.4.1. Les images satellitaires :

Les images sont obtenues dans le domaine optique, pour l'observation de la Terre, fournissant des données précises et variées pour des multiples utilisations scientifiques, environnementales et opérationnelles. Pour télécharger des images satellite utilisé le logiciel « SAS. Planet ou Earth Explorer de l'USGS ».

- **Logiciel « SAS. Planet » :**

Le logiciel SAS.Planet est un logiciel russe open source, principalement destiné à la visualisation et au téléchargement d'images satellite haute résolution ainsi que de cartes conventionnelles soumises par des services tels que Google Maps, Digital Google, Virtual-Earth, etc. contrairement à tous ces services toutes les images téléchargées resteront sur l'ordinateur et visualiser, même sans se connecter à Internet.



*Figure 8 : Téléchargement de l'image satellite de la zone d'étude par Logiciel (SAS. Planet).*

- **Earth Explorer de l'USGS :**

Désigne la plateforme numérique utilisé par « United States Geological Survey » l'agence scientifique américaine spécialisée dans les sciences de la Terre, développée pour la collecte, la gestion et la visualisation des données géoscientifiques, essentielles pour la recherche et à la gestion des ressources naturelles aux États-Unis et dans le monde.

## **Chapitre II : Télédétection et SIG**

### **Images satellitaires de LANDSAT 8 :**

Les images des satellites LANDSAT sont libres de droit et diffusées par l'USGS. Dans notre travail, nous prendrons l'exemple des images acquises par le satellite Landsat 8.

### **I.5. Le logiciel ENVI**

Le logiciel ENVI (Environment for Visualizing Images) est un logiciel professionnel principalement utilisé pour la visualisation et les traitements d'images. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles.

#### **I.5.1. Le but de l'utilisation du logiciel ENVI :**

Logiciel ENVI contient un ensemble de traitements dessinés principalement pour exploiter les données satellitaires ou aériennes dans le cadre d'études géologiques.

- Classifier automatiquement les formations géologiques (quaternaires, jurassiques, cambriens ...) à partir d'images satellites.
- Utiliser des indices spectraux pour identifier des minéraux caractéristiques.
- Cartographier les failles (FN/FC) par détection de linéaments.
- Analyser la fracturation du terrain pour évaluer les risques sismiques...etc

#### **I.5.2. Application a la région d'étude :**

Pour utiliser la télédétection il est nécessaire de suivre les quatre étapes suivantes :

- Téléchargement des images ;
- Préparation et correction des images ;
- Traitements des images ;
- Analyse et Interprétation.

## Chapitre II : Télédétection et SIG

### II. Systèmes d'informations géographiques (SIG)

#### II.1. Le logiciel ArcGIS :

ArcGIS est un système d'informations géographiques complet, qui permet de collecter, d'organiser, de gérer, d'analyser, de communiquer et de diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. Dans notre cas nous avons utilisé ArcGIS pour l'actualisation de la cartographie géologique de la zone d'étude.

#### II.2. Représentation des données du SIG :

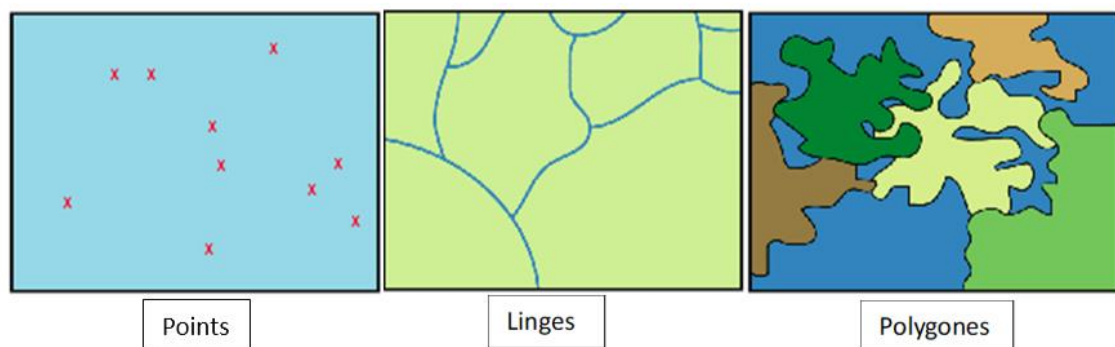
- **Données vectorielles**

Elles contiennent trois grands types d'objets peuvent représenter tout objet géographique au sol (Fig.9) :

-Les points : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des polygones, ou par des éléments qui n'ont pas de surface comme des points cotés.

-Les lignes : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : failles) ou des objets linéaires qui n'ont qu'une longueur, comme les courbes de niveau.

-Les polygones : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes (ex : formations géologiques).



*Figure 9: Les données vectorielles du SIG.*

## Chapitre II : Télédétection et SIG

- **Données raster**

Le mode raster ou mode matriciel, décrit l'image sous la forme d'une matrice de pixels. Chaque matrice représente une couche d'information. Les données raster proviennent soit d'un scanne d'une carte, organisés en lignes et colonnes soit d'une image numérique telle que les images satellites.

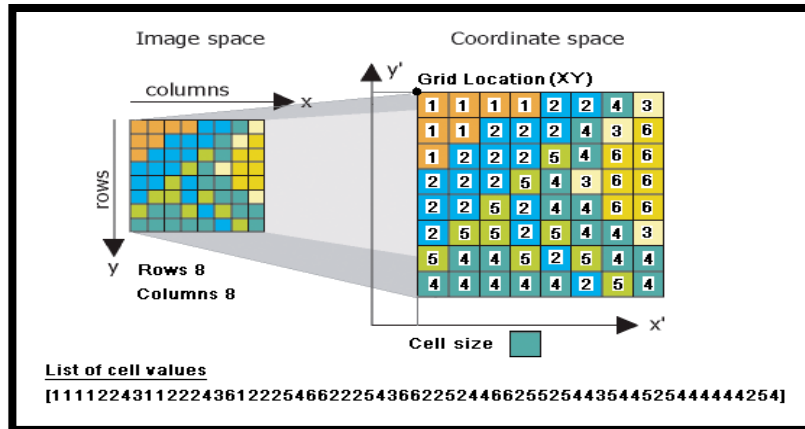


Figure 10 : Les données raster.

### II.3. Présentation du logiciel ArcGIS 10.5 :

ArcGIS 10.5 est une version majeure du logiciel ArcGIS, publiée en décembre 2016. Elle possède plusieurs fonctionnalités importantes qui améliorent les capacités d'analyse, de gestion et de collaboration des données géographiques. Voici un résumé des principales fonctionnalités d'ArcGIS 10.5, qui comprend une suite de trois applications (ou modules) intégrées fonctionnant simultanément en relation. Ce sont :

**ArcMap :** Est utilisé pour toutes les tâches de cartographie et de mise à jour ainsi que pour les analyses associées aux cartes.

**Arc-Catalog :** organise ce contenu dans une arborescence que vous pouvez utiliser pour organiser vos jeux de données SIG et documents ArcGIS, ainsi que pour rechercher, localiser et gérer des éléments d'informations, présente ces informations dans une arborescence et vous permet de sélectionner un élément SIG, d'afficher ses propriétés et d'accéder à des outils permettant d'intervenir sur le ou les éléments sélectionnés.

**Arc-Toolbox :** Lorsque vous enregistrez un document ArcMap, Arc-Globe, le contenu de la fenêtre Arc-Toolbox est enregistré. La prochaine fois que vous ouvrez le document, la fenêtre

## **Chapitre II : Télédétection et SIG**

se présentera exactement comme lorsque vous avez enregistré le document. Vous trouverez ci-dessous plus d'informations sur l'enregistrement et le chargement de contenu.

### **II.4. Les étapes de la vectorisation :**

#### **II.4.1. La Géoréférencement :**

Le processus de géoréférencement d'une carte raster consiste à intégrer des coordonnées géographiques dans une base de données. Il est également nécessaire d'indiquer la projection utilisée et les points de la carte correspondant à ces coordonnées.

Le géoréférencement de chaque carte matricielle est une étape essentielle pour garantir l'exactitude et la précision de notre travail. Ce processus doit être réalisé avant que toute donnée ne soit fusionnée dans une base de données de référence.

#### **II.4.2. Les structures de google Earth :**

Google Earth est un logiciel développé par Google qui permet de visualiser la terre en 3D. Il intègre des images satellite, et des données géographiques sur un globe, offrant une représentation détaillée et interactive de la planète. Les utilisateurs peuvent explorer des lieux en entrant des adresses, des coordonnées ou en naviguant manuellement, avec la possibilité de zoomer pour voir des détails allant jusqu'à distinguer des immeubles, des reliefs, voire des personnes dans certaines villes. Ce logiciel est utilisé, dans notre cas, pour tracer les structures (les failles et les barres repères) ainsi que certaines limites des formations géologiques cela aide à identifier les couches géologiques mise en évidence dans les cartes sur logiciel ArcGIS.

#### **II.4.3. La vectorisation des différentes formations géologiques**

Il faut importer les traitements réalisés à l'aide du logiciel ENVI dans ArcMap avant de commencer la vectorisation. Les couleurs obtenues par ces traitements permettent de distinguer les différents objets présents dans les images et ainsi faciliter l'interprétation des images. Les différents résultats des traitements sont exploités dans le logiciel ArcGIS combinés aux cartes géologiques existantes. La création d'une geodatabase ou des fichiers de forme dans ArcGIS est la première étape pour commencer la vectorisation des formations géologiques.

## **CHAPITRE III : Traitements et Interprétation**

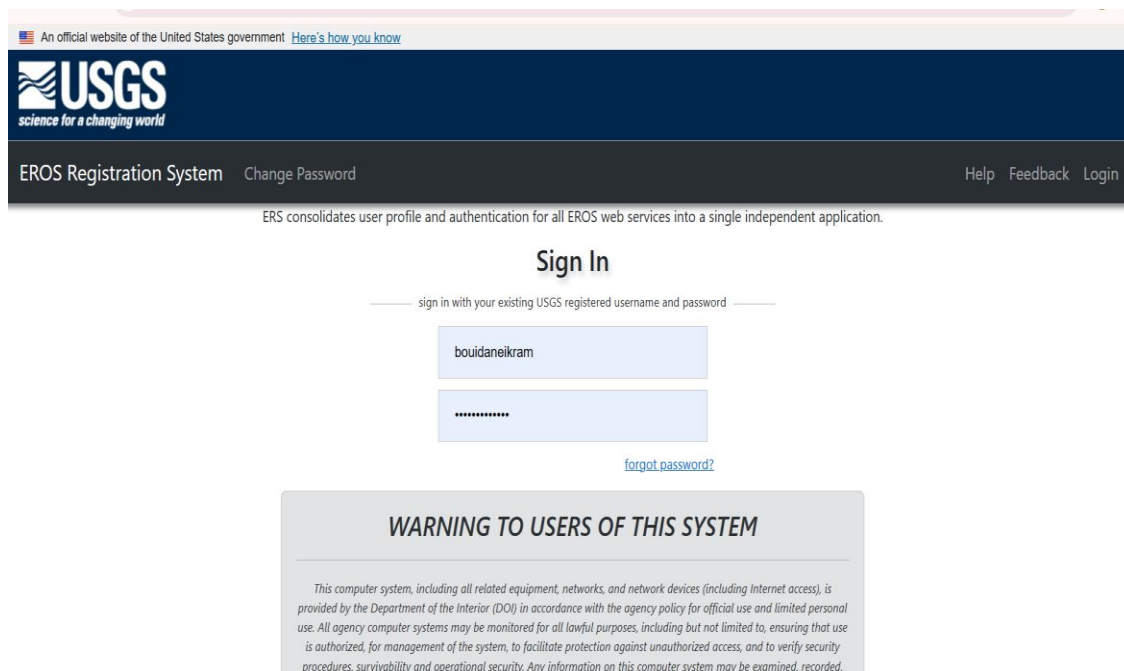
## Chapitre III : Traitements et Interprétation

### I. L'application de la télédétection

L'application de la télédétection passe par les différentes étapes suivantes :

#### I.1. Téléchargement des images

La création d'un compte utilisateur dans la plateforme USGS <https://earthexplorer.usgs.gov/> est une étape très importante pour le téléchargement des images satellitaires (Fig. 11).



The image shows a web browser window displaying the USGS EROS Registration System sign-in page. At the top, there is a header with the USGS logo and the tagline "science for a changing world". Below the header, there is a navigation bar with links for "EROS Registration System", "Change Password", "Help", "Feedback", and "Login". The main content area is titled "Sign In" and contains a form for logging in. The form has two input fields: one for the username "boudaneikram" and one for the password, which is masked with asterisks. Below the password field, there is a link for "forgot password?". At the bottom of the page, there is a "WARNING TO USERS OF THIS SYSTEM" section with a disclaimer about the system's use and security.

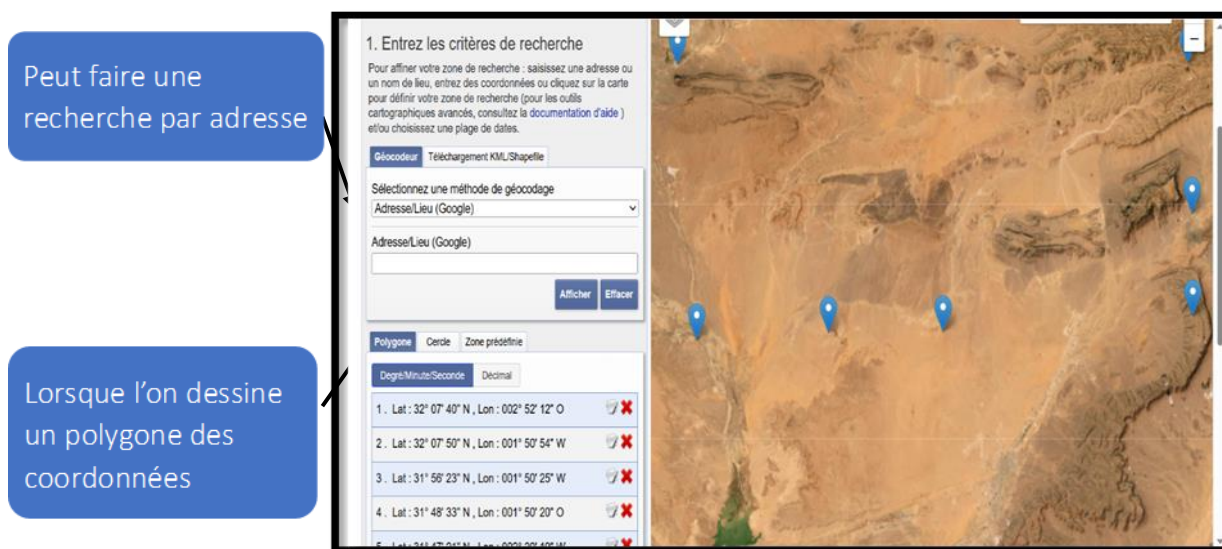
**Figure 11 : Connexion au compte (USGS).**

Après la création du compte sur la plateforme l'USGS, dans la fenêtre « Search Criteria » « critères de recherche » on choisit la fonction polygone et on sélectionne la zone d'étude. On peut également utiliser la fonction recherche en introduisant l'adresse ou le nom de la région d'étude (Fig. 12). Pour avoir des images satellitaires nettes, on doit sélectionner la fonction : « couverture nuageuse à 0 ».

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

Pour sélectionner le type d'imagerie qui nous intéresse, une fenêtre « Data Set » « Ensemble de données » apparaît par la suite on active la fonction : « Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1 ».

La fenêtre « result » « Résultat de la chronologie » montre un nombre important d'image d'années différentes. On explore les images disponibles qui nous intéresse et on enregistre le document contenant ces images sur l'ordinateur.



*Figure 12 : Téléchargement des images satellite LANDSAT 8 du Nord-Béchar par (USGS).*

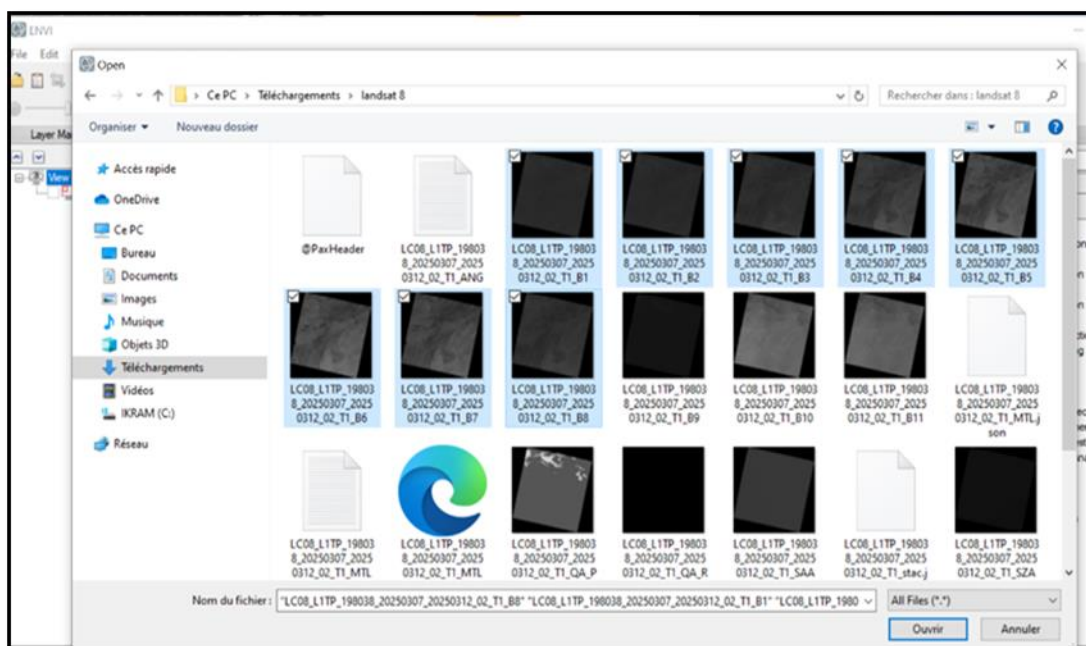
### I.2. Préparation et correction des images

#### I.2.1. Ouverture d'une image satellite sous ENVI

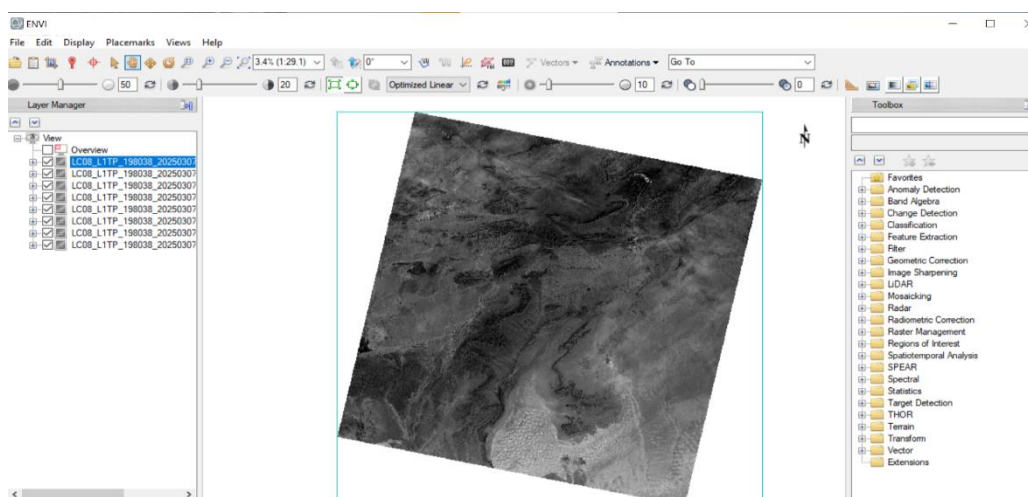
Pour ajouter les images satellitaires sous logiciel ENVI ont doit suivre les étapes suivantes :

- Ouvrez le logiciel ENVI.
- Cliquez sur Open.
- Sélectionnez les images satellite (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8) et validé par « ouvrir ».

## Chapitre III : Traitements et Interprétation



Le résultat de l'ouverture de ces bandes spectrales (B1, B2, ..... ) est présenté ci-dessous sous forme d'une seule image (Fig.13).



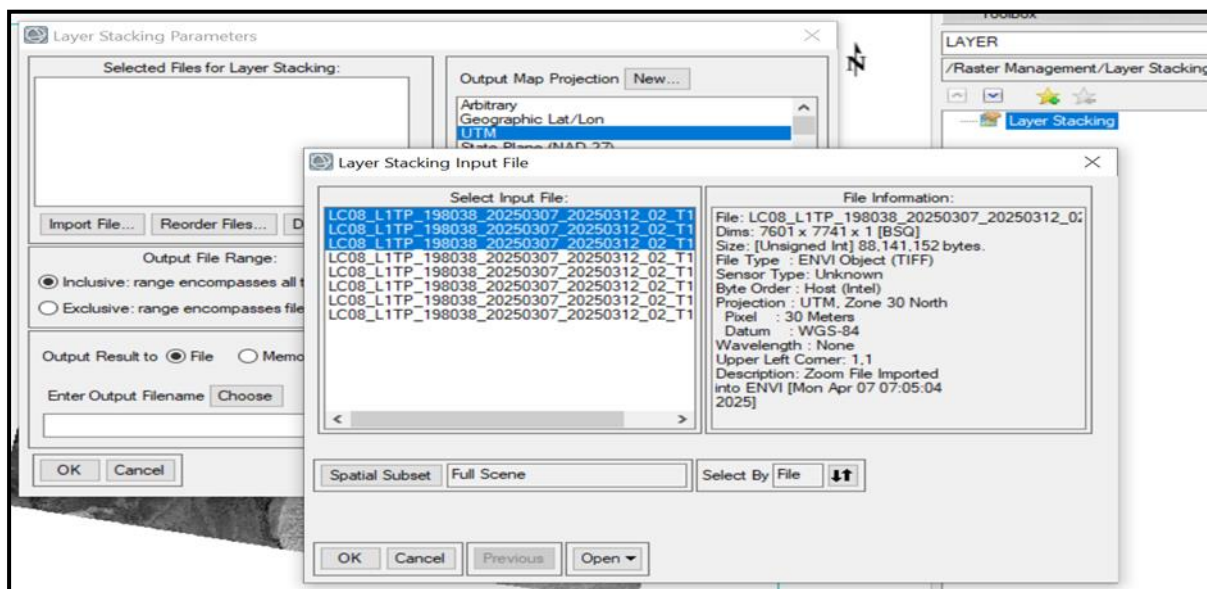
**Figure 13 : A : Sélection des bandes spectrales dans l'ENVI. B : les bandes spectrales en une seule image.**

La deuxième étape, c'est l'application d'empilement des couches « Layer Stacking » pour construire un nouveau fichier multi bandes à partir d'images géoréférencées, par les étapes suivantes :

- ✓ Dans le « Toolbox » d'ENVI, cherchez et choisissez « Layer Stacking ».
- ✓ Cliquez sur « layer Stacking »
- ✓ Choisissez le bouton Import File.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

- ✓ Sélectionnez les inputs files puis validez par OK.
- ✓ Dans la fenêtre Layer Stacking Paramètres, choisissez le nom de sortie et validez par OK.



Résultat :

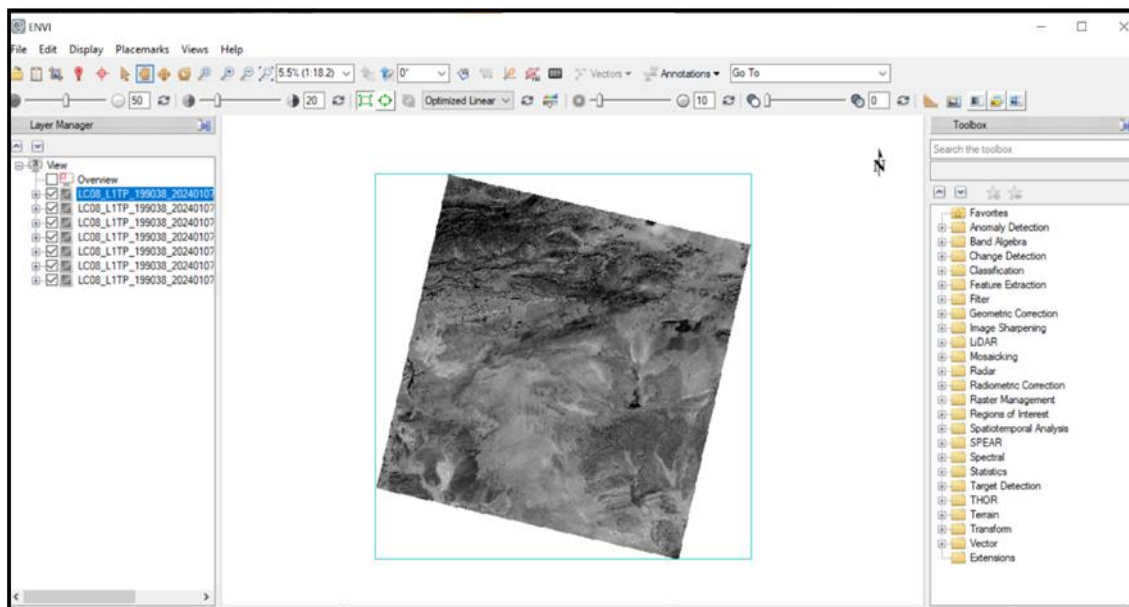


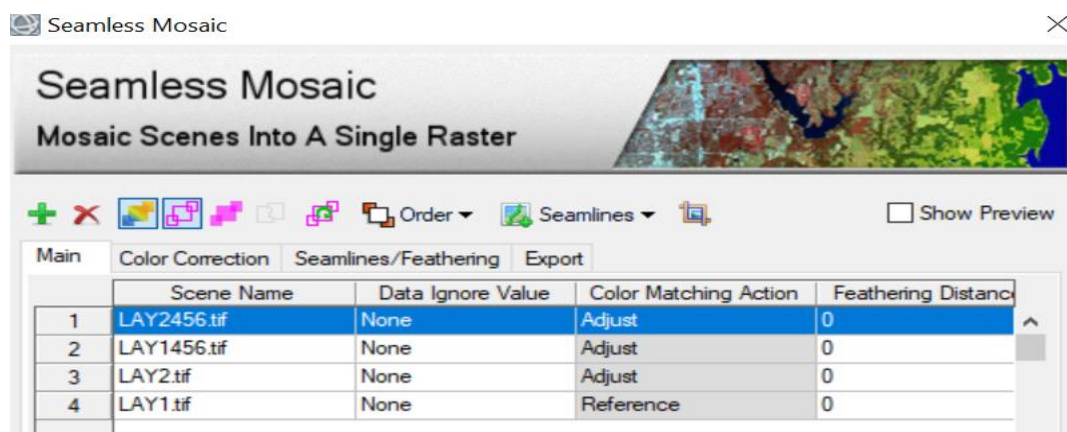
Figure 14 : Les étapes d'empilement des couches (Layer Stacking).

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

### I.2.2. Mosaïquage

Après l'application « Layer Stacking », on passe à l'étape de Mosaïquage, qui est la combinaison des images satellites nécessaire dans un seul fichier par les étapes suivantes :

- Toujours dans « Toolbox », recherchez et sélectionnez « seamless Mosaic ».
- Cliquez sur + pour éliminer la partie noire qui entoure les images satellites et mettez « 0 » dans le « Data Ignore Value », puis sélectionnez les 6 Layers



Stacking.

- Cliquez sur « Export » et mettez « 0 » dans « Output Background Value » puis sélectionnez « Finish »

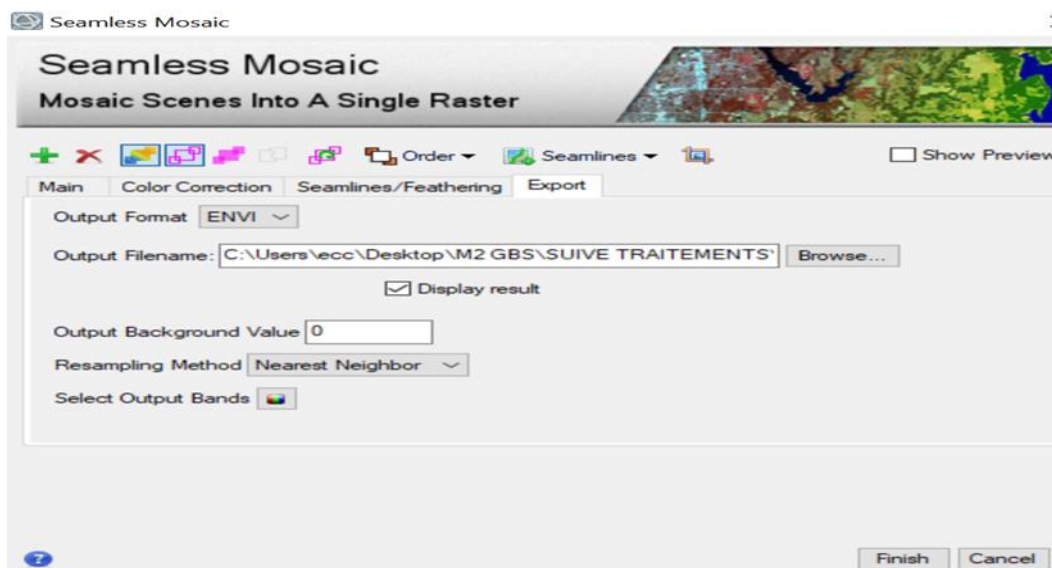


Figure 15 : Les étapes de Mosaïquage.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

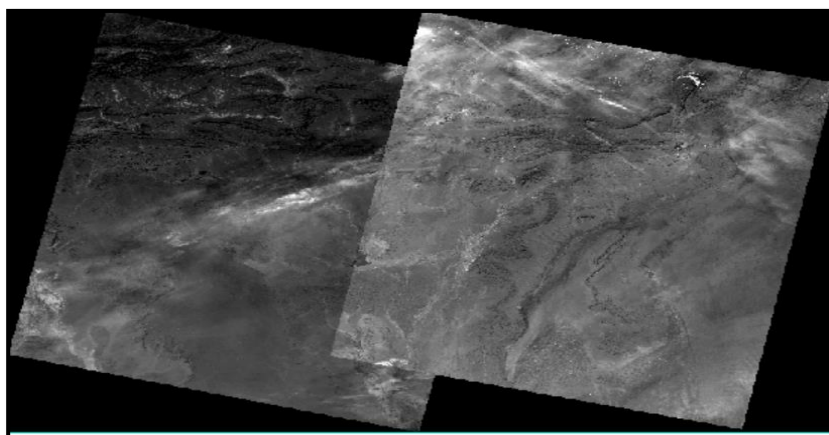
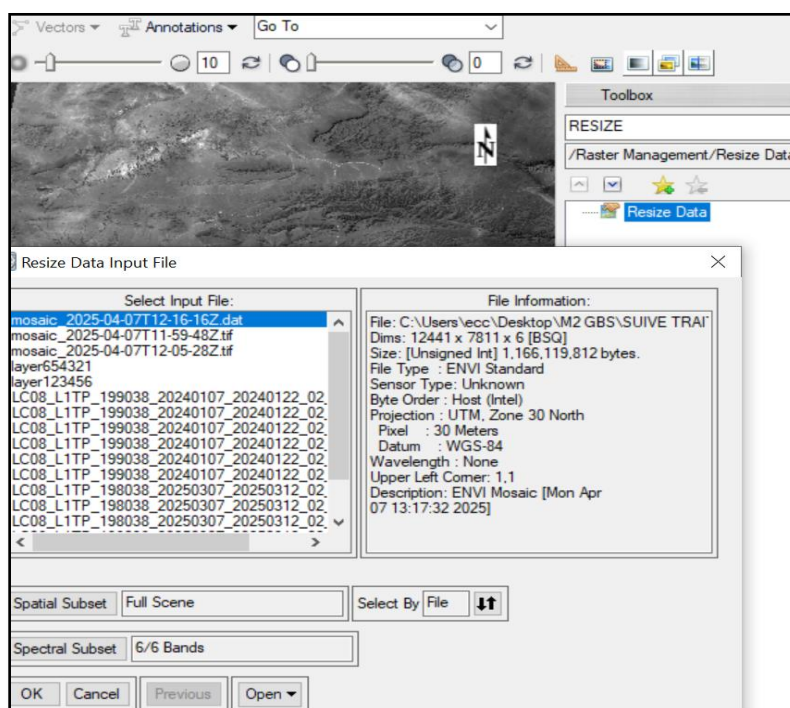


Figure 16 : Résultat de Mosaïquage.

### I.2.3. Découpage d'une image :

Les images satellites fournissent une très grande surface, pour extraire la zone d'étude, on utilise l'étape de découpage :

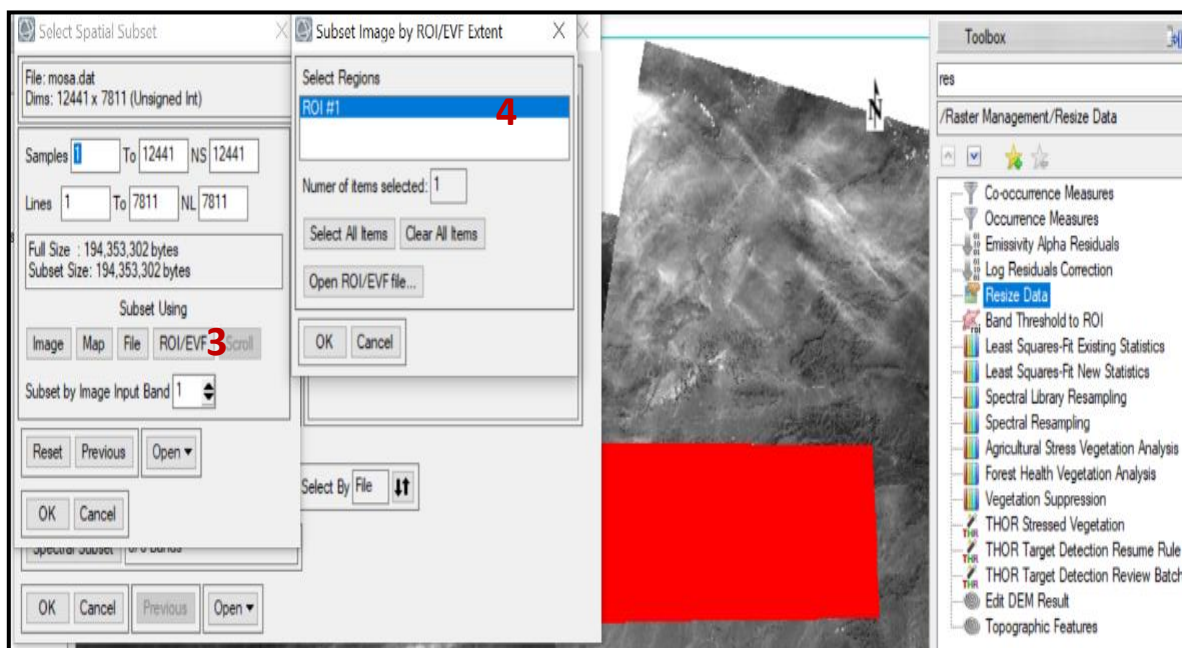
- Premièrement, ajouter le polygone de la zone d'étude.
- Dans le « Toolbox » d'ENVI, cherchez et choisissez « Resize Data Input File ».
- Un clic sur « le fichier Mosaïque (1) » puis sur la fonction « Spatial Subset (2) ».



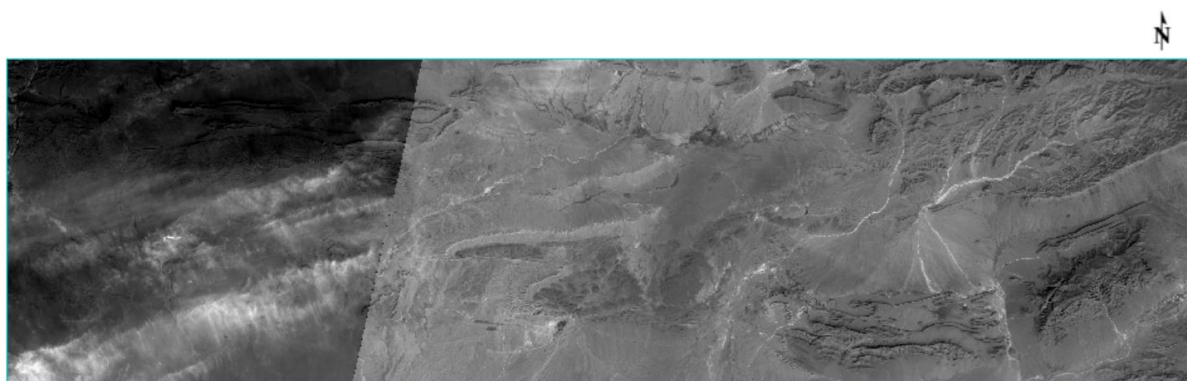
- Cliquez sur le bouton ROI/EVF (3).

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

- Sélectionnez le fichier vecteur relatif à la zone d'étude (4) puis validez par Ok.



*Figure 17 : Les étapes de découpage.*



*Figure 18 : Le résultat de découpage.*

### I.3. Les Traitements :

Les traitements des images satellitaires utilisés principalement pour la visualisation de différents couleurs permettent les différentes formations géologiques :

#### ✓ L'analyse par composantes principales (PCA) :

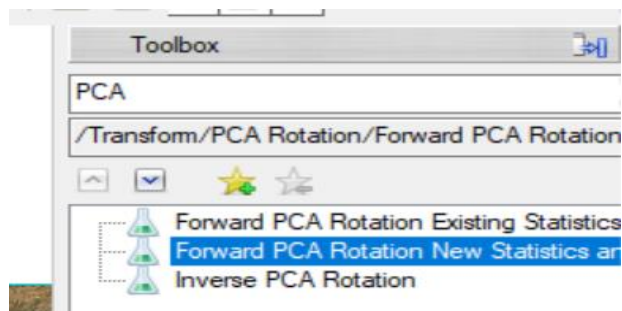
La PCA est une transformation linéaire qui réorganise la variance dans une image multi-bande en un nouveau jeu de bandes, appelées bandes de composantes principales (PC). Ces bandes sont des combinaisons linéaires non corrélées des bandes d'entrée. La PCA trouve un

### Chapitre III : Traitements et Interprétation

nouveau jeu d'axes orthogonaux dont l'origine, est au centre des données les fait pivoter pour maximiser la variance des données.

➤ **Les étapes :**

-Cherchez dans « Toolbox » et cliquez sur la « Forward PCA Rotation New Statistics and Rotate ».



-Une fenêtre pour sélectionner le fichier de Mosaïque après découpage s'affiche, puis cliquez sur « ok ».

-Nommez l'emplacement de l'PCA et choisissez « yes » dans « Select Subset from Eigenvalue ».

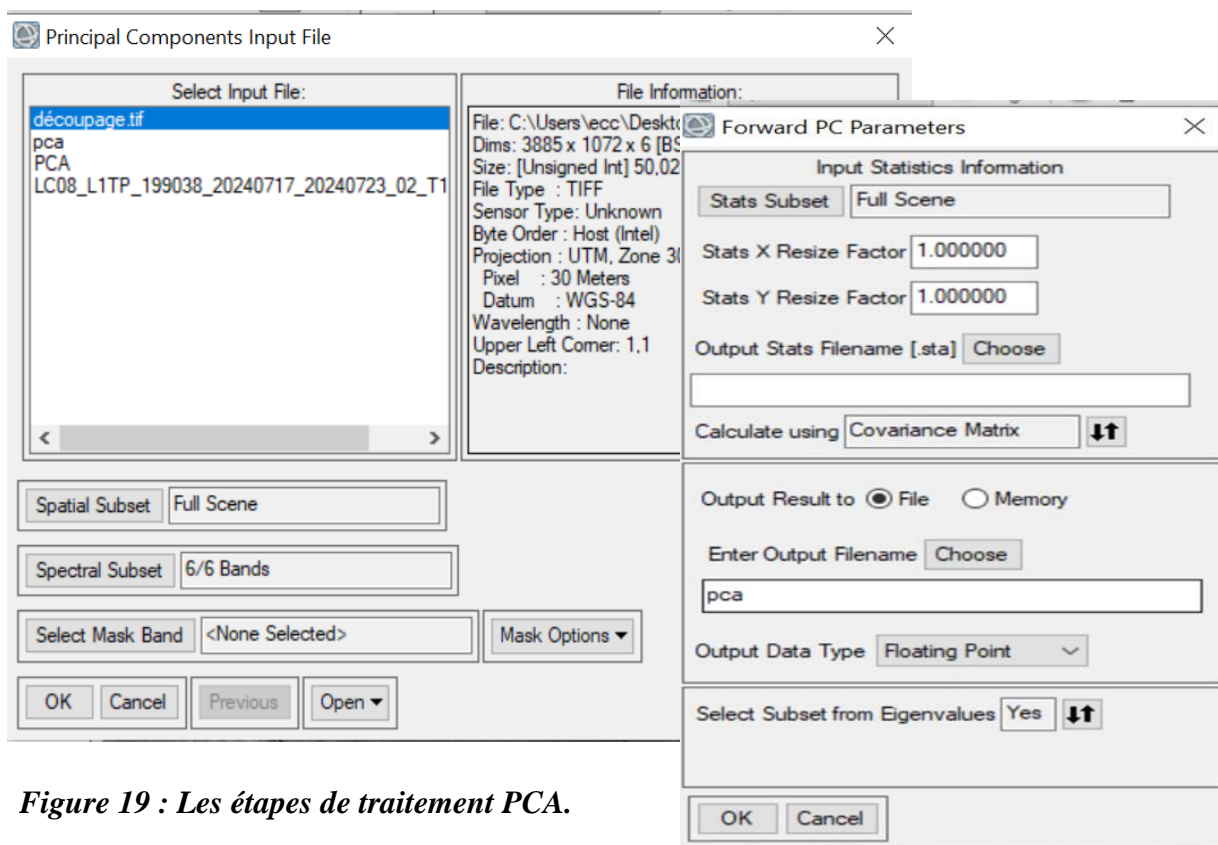
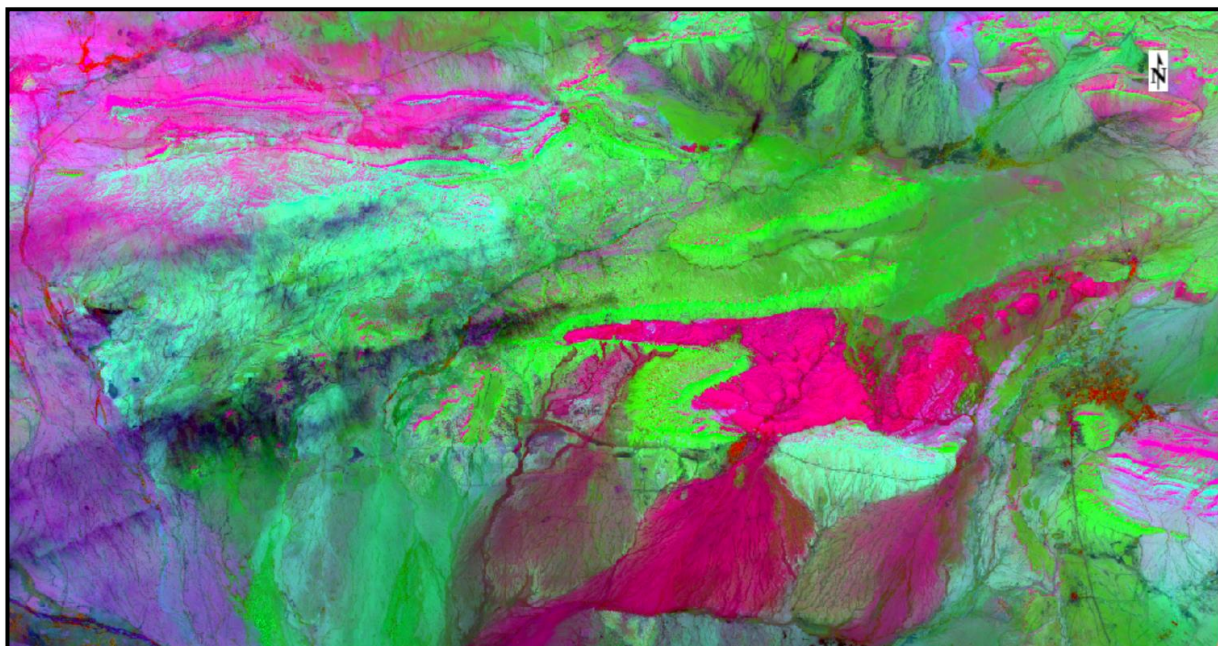


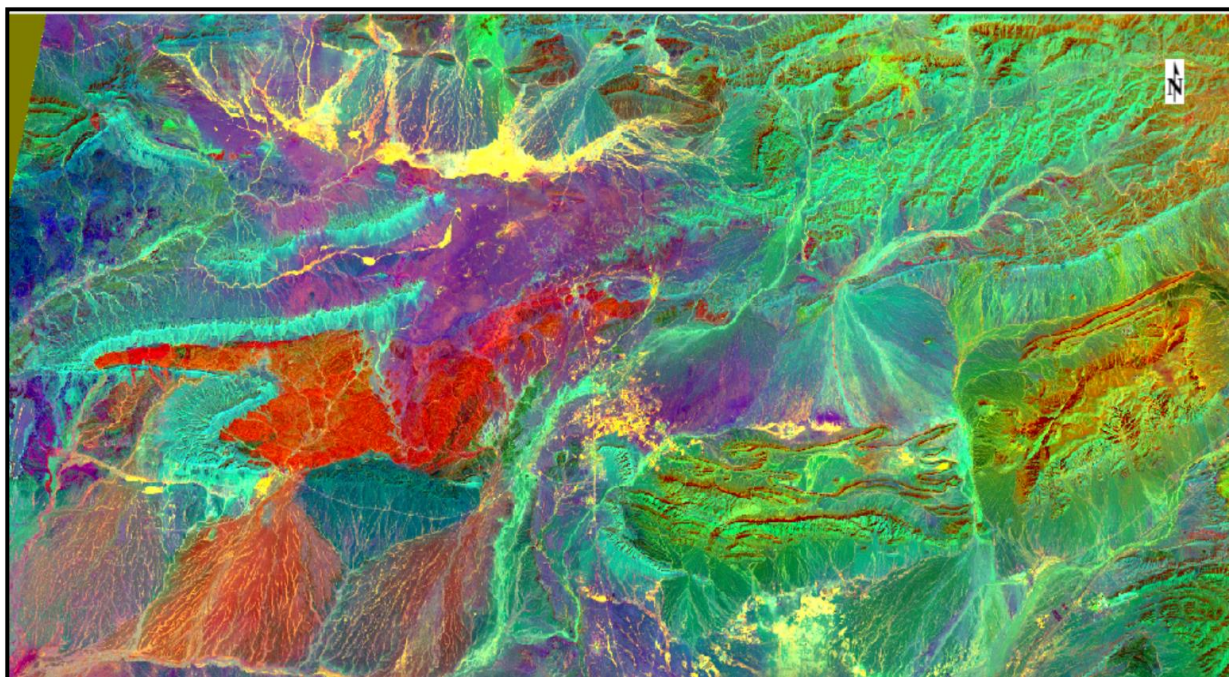
Figure 19 : Les étapes de traitement PCA.

### Chapitre III : Traitements et Interprétation

Résultat de traitement PCA de la zone d'étude :



*Figure 20 : Traitement PCA bandes 4-5-6.*



*Figure 21 : Traitement PCA bande 3-5-1.*

Le traitement PCA permet de donner des nouvelles images synthétiques avec une variance des bandes important, représentent les différents formations géologiques de la zone d'étude. Ce traitement permet la visualisation dans notre région d'étude, des formations d'âge

### Chapitre III : Traitements et Interprétation

Précambrien en couleur rose fuchsia (Fig.20), des formations d'âge Cénozoïque par un couleur bleu-vert au Sud du Boukaïs (Fig.21).

#### ✓ Le traitement Minimum Noise Fraction Transform « MNF » :

Le filtre MNF est appliqué pour déterminer la dimensionnalité inhérente des données d'image et séparer le bruit des informations pertinentes. Il s'agit d'une transformation qui aide à identifier les bandes les plus utiles en minimisant le bruit et en maximisant la variance du signal utile.

#### ➤ Les Étapes :

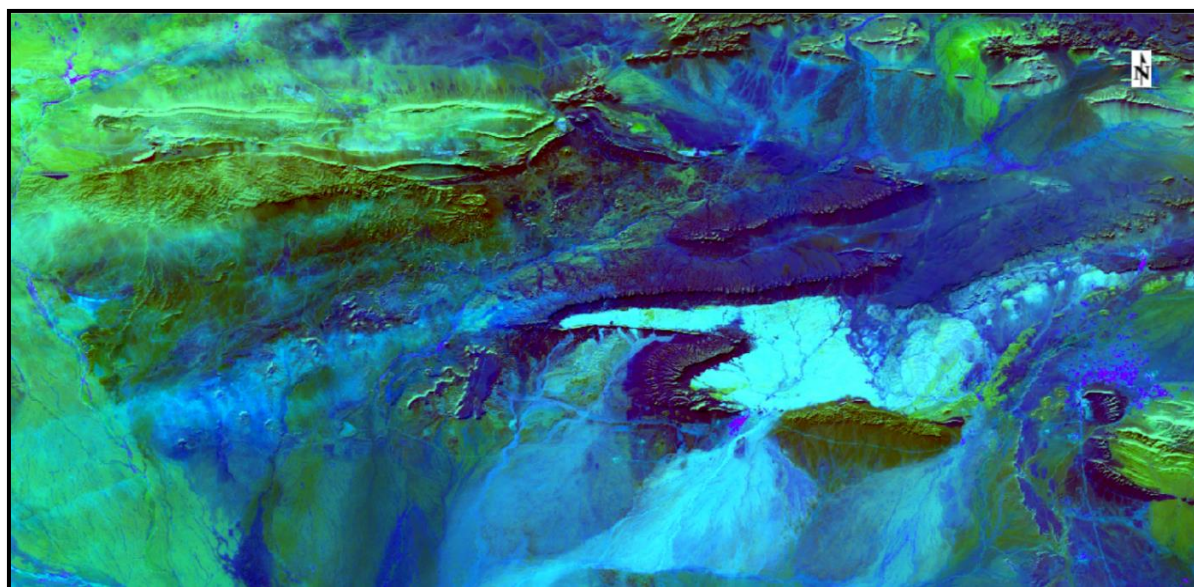
Les étapes du traitement MNF sont identiques que les traitements effectués pour l'ACP.

- Cherchez dans le « Toolbox » et cliquez sur « Forward MNF Estimate Noise Statistics ».

-Affichez une fenêtre pour sélectionnez le fichier de Mosaïque après découpage, puis cliquez sur «ok ».

-Nommez l'emplacement du traitement MNF. Choisissez « yes » dans “Select Subset from Eigenvalue”.

#### Résultat :



*Figure 22 : Traitement MNF bande 4-5-6.*

Ce traitement permet la discrimination lithologique, la couleur bleu-nuit représente les formations géologiques d'âge Crétacé.

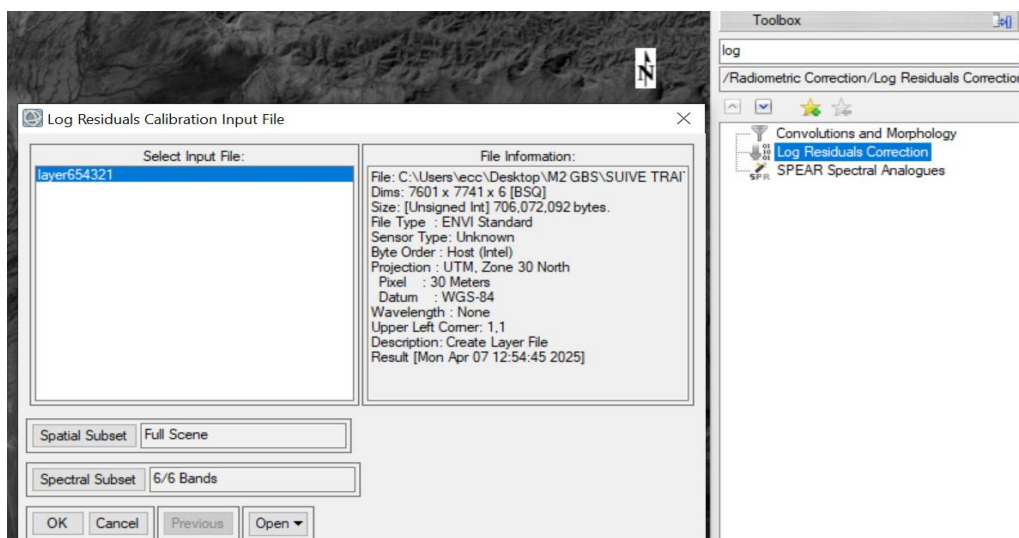
## Chapitre III : Traitements et Interprétation

### ✓ Le Traitement Log Résiduels Correction :

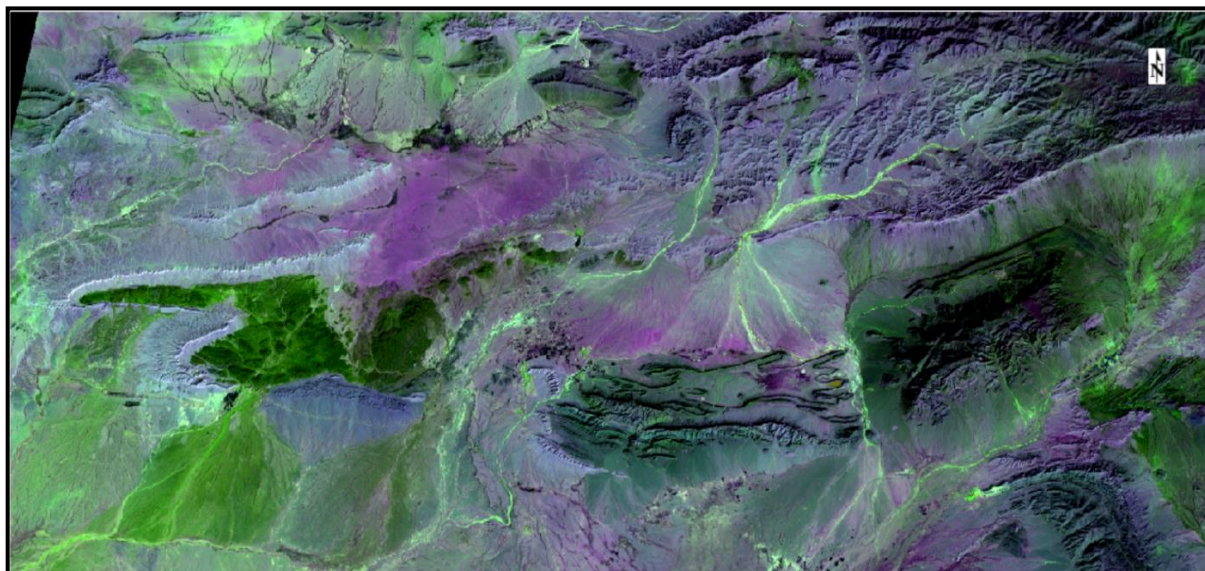
Le traitement Log c'est une méthode technique de traitement des données environnementales ou spatiales dans ENVI, visant à améliorer la qualité des résultats en corrigeant les écarts résiduels sur une échelle logarithmique.

-Dans « Toolbox », cliquez sur (Log Résiduels correction).

-Chosiez le fichier et cliquez sur Ok.



Résultat :



*Figure 23 : Traitement Log bande 4-1-6.*

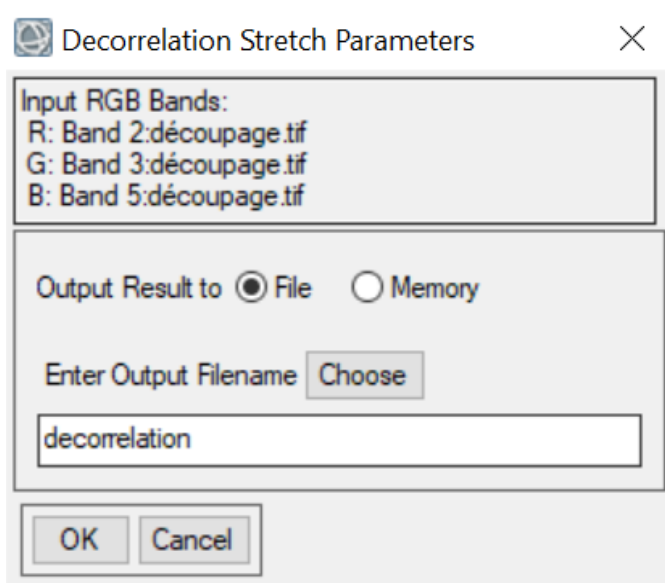
Ce traitement définit l'amélioration de la visualisation de la Jurassique au niveau de djebel Aris par un couleur violet clair.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

### ✓ Traitement de Décorrélation :

Cette méthode utilisée pour supprimer la corrélation élevée couramment trouvée dans les ensembles de données multispectrales et pour produire une image composite couleur plus colorée.

- Dans « Toolbox », cherchez et sélectionnez « Decorrelation Stretch ».
- Choisissez les champs R, V, D lorsqu'elle donnée des décorrélation parfaits.



-Nommez le fichier puis cliquez sur « OK ».

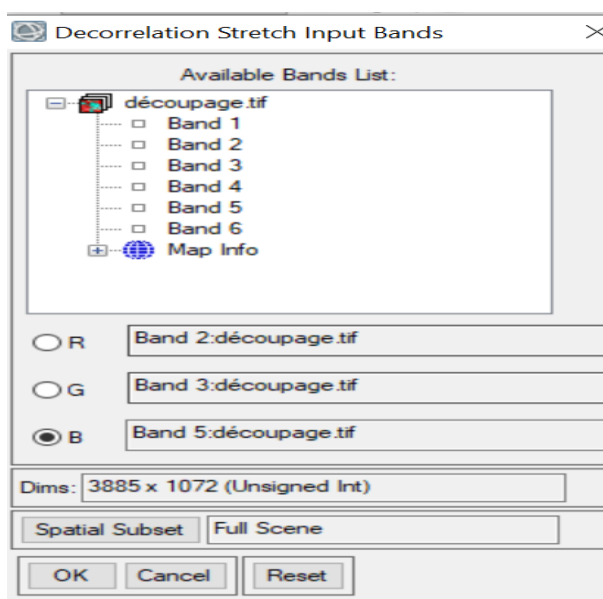


Figure 24 : Les étapes de décorrélation.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

Résultat :

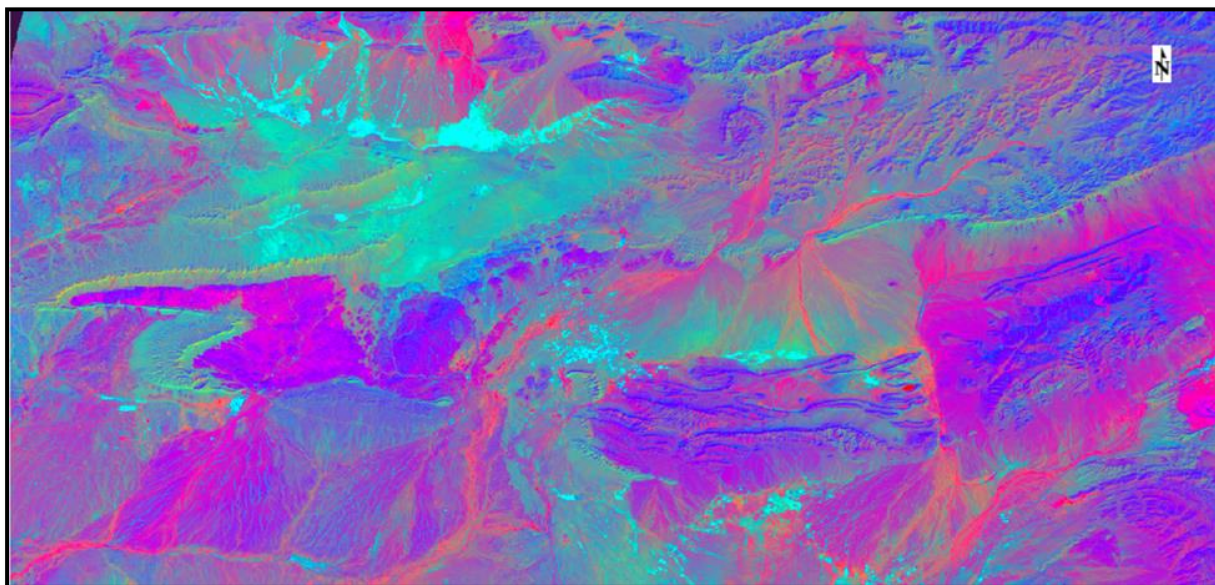


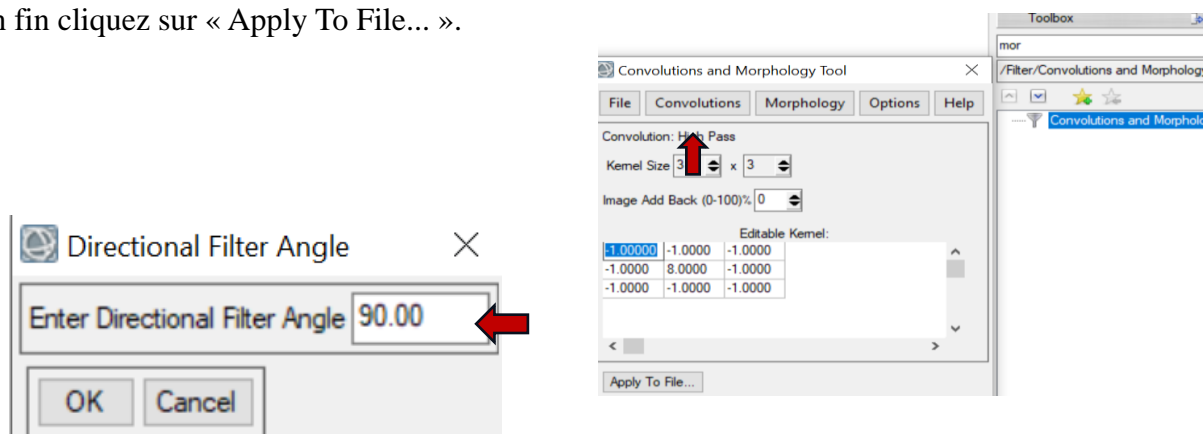
Figure 25 : Le résultat du traitement Décorrélation.

### ✓ Traitement Convolution et Morphologie :

Dans ENVI, le traitement par convolution et la morphologie sont des outils puissants pour analyser et transformer des images raster.

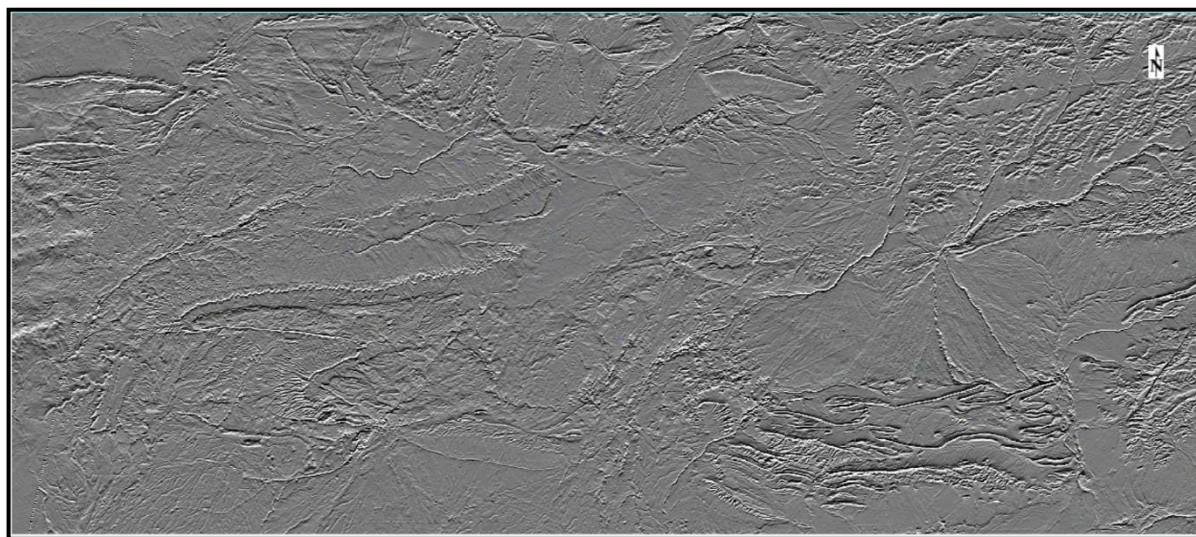
Le traitement convolution sont utilisés pour effectuer divers types de filtrages spatiaux et morphologique. Pour appliquer ce traitement :

- Cherchez et cliquez (Convolutions and Morphology) sur « Toolbox ».
- Sur « convolution », cliquez « Directional ».
- Puis « Enter Directional Filter Angle », mettez le chiffre [90.00], par exemple qui représente l'angle de direction du filtre.
- En fin cliquez sur « Apply To File... ».



## Chapitre III : Traitements et Interprétation

### Résultat



*Figure 26: Résultat de Traitement Convolution et Morphologie à 90°.*

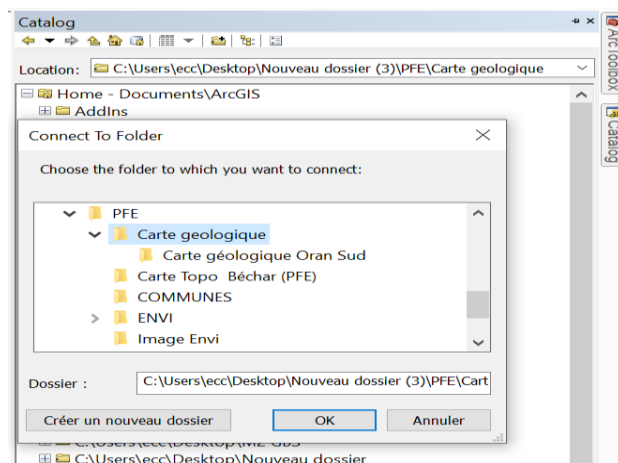
Ce filtre directionnel identifier des structures linéamentaires.

## II. Base de données du SIG

### II.1. Géoréférencement

Pour géoréférencer la carte Oran-Sud (1951) qui englobe une partie la zone d'étude, on va utiliser le système de projection « UTM » Nord Sahara 30. En appliquant les étapes suivantes :

-Ouvrez ArcMap, ensuite se connecter au dossier où la carte géologique en format raster est stockée dans l'ordinateur. (Fig. 27)



*Figure 27 : Une présentation pour comment choisie un dossier.*

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

-Ajoutez la carte Oran-Sud dans la fenêtre ArcGIS.

-Changement de système de projection : dans la démarche de géoréférencement, la vérification du système de projection est indispensable.

- Clic droite sur la carte à géoréférencer
- Ensuite cliquez sur Propriétés
- Sources puis faire descendre la barre de défilement jusqu'à la ligne « Spatial Reference ».
- Editez puis choisissez « Projection coordonat system » après « UTM\_WGS 1984\_ZONE\_30N ».
- Cliquez sur appliquer ensuite validé par ok.

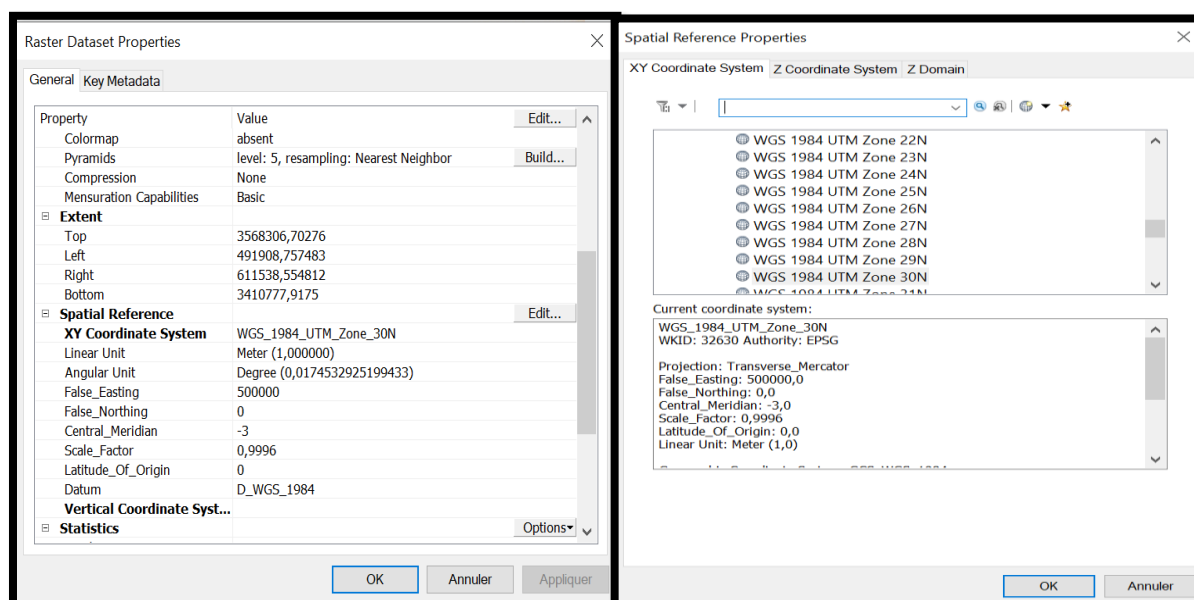
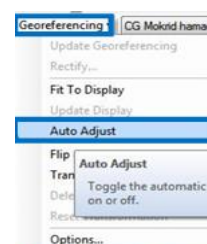


Figure 28 : Les étapes d'attribution de la référence.

- Les points de contrôle à la carte :

-Cliquez sur l'outil « Georeferencing » localisé sur la barre d'outils puis décochez « Auto Adjust ».

-Pour ajouter les 4 points de contrôle, cliquez sur l'outil



### Chapitre III : Traitements et Interprétation

-Ajoutez le premier point sur la carte et cliquez sur la droite pour définir les coordonnées géographiques en Degré Minutes Secondes (DMS), Longitude et Latitudes de chaque point. (Fig. 29)

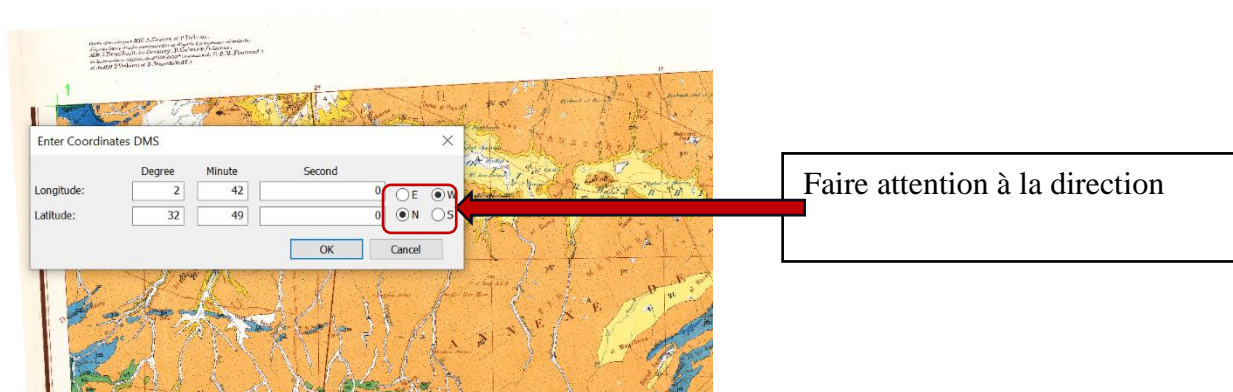


Figure 29 : L'ajout des points de contrôle.

#### -Rectifier la carte

- Cliquez sur « Georeferencing », ensuite sur « Rectify », une boîte s'ouvre « Save As » : sur « Format » choisissez « Tiff » puis mettez le dossier d'enregistrement de la carte géoréférencée dans « Output Location », en fin cliquez sur Save « enregistrer ».

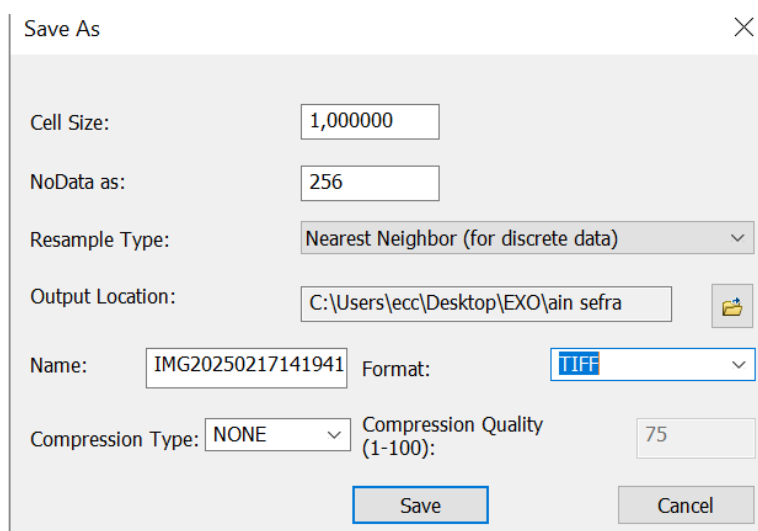


Figure 30 : La rectification d'une carte géologique.

# Chapitre III : Traitements et Interprétation

## II.2. Les Structures

On exploite Google Earth pour la visualisation et la digitalisation des structures linéaires, on commence par la création d'un dossier pour tracer les barres repères représentées par des trajets de couleur bleue (Fig. 31) et un autre dossier pour tracer les failles des trajets de couleur noire (Fig. 32). Une fois l'interprétation est terminée, on exporte les failles et les barres repères vers ArcGIS.

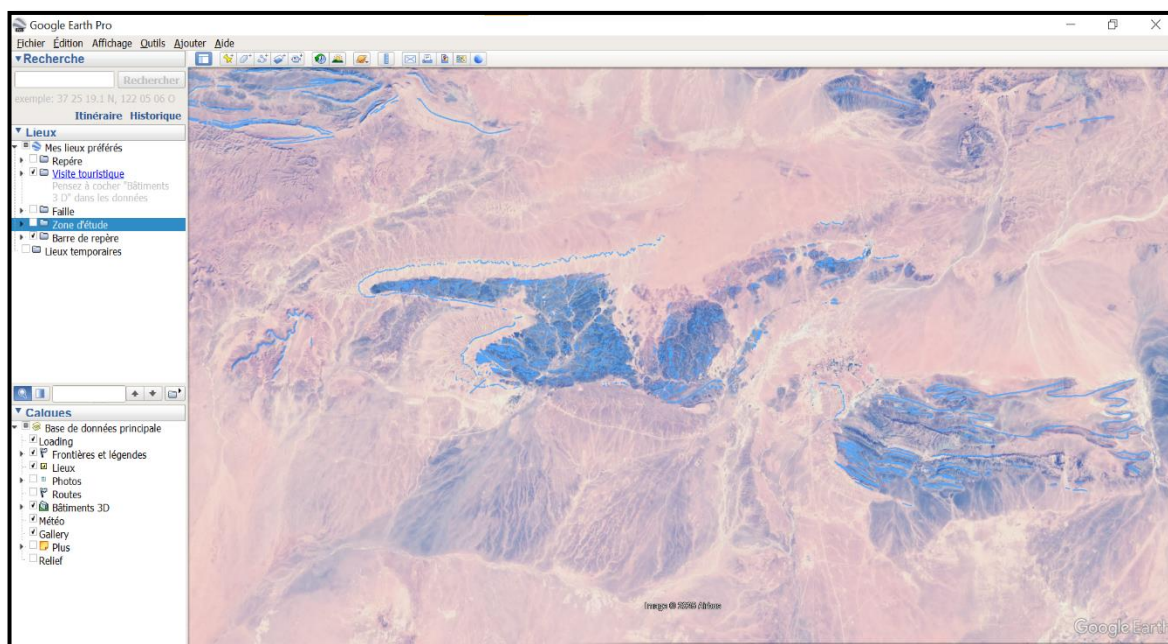


Figure 32 : Présentation des barres repères de la zone d'étude en couleur bleu.

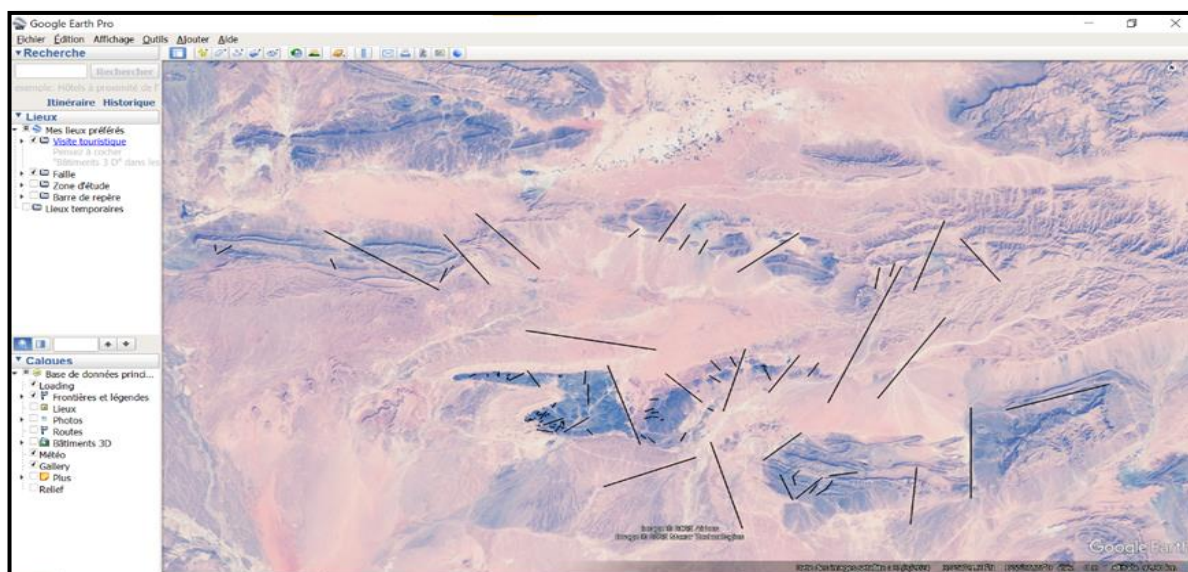


Figure 31 : Présentation des failles de la zone d'étude en couleur noire.

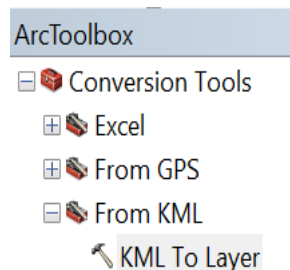
## Chapitre III : Traitements et Interprétation

- Enregistrez ces dossiers (failles et barres repères) sous format KML.

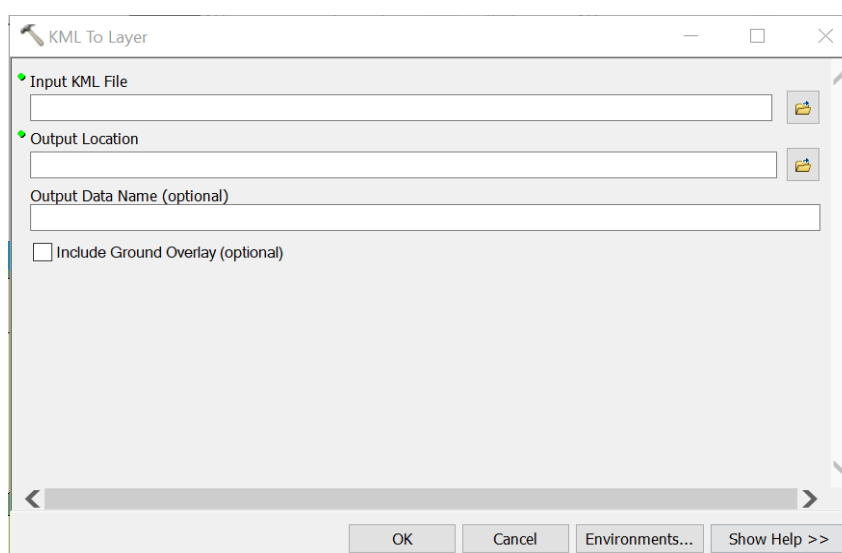
Ces failles et barres repères sont rajoutés sur ArcGIS par les étapes suivantes :

-Ouvrez Arc-Toolbox, développez « Conversion Tools » puis cliquez « From KML ».

-Double clique sur « KML To Layer ».



Sur la fenêtre « KML To Layer », dans la fonction « Input KML file » sélectionnez « failles.kml », puis dans la fonction « Output file location » choisissez l'emplacement et le nom du fichier (failles.shp).



-Cliquez sur ok

Puis refaire la même procédure pour les barres repères.

### II.3. La vectorisation des différentes formations géologiques

Avant d'exporter différents traitements réalisés sur notre région d'étude par logiciel ENVI vers le logiciel ArcGIS, on doit d'abord enregistrer les images en format TIFF.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

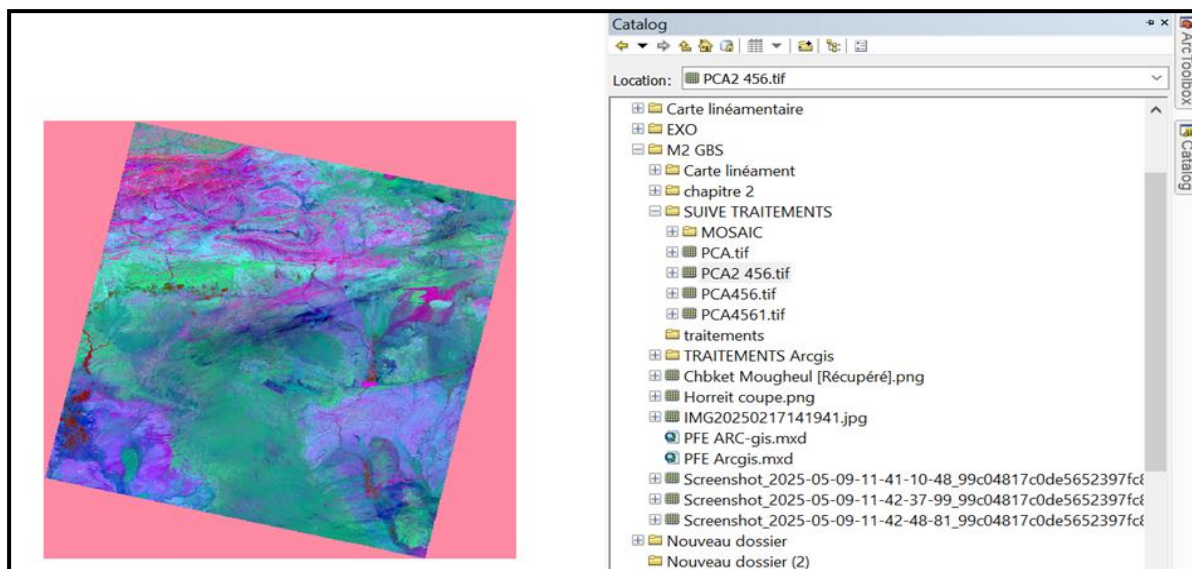
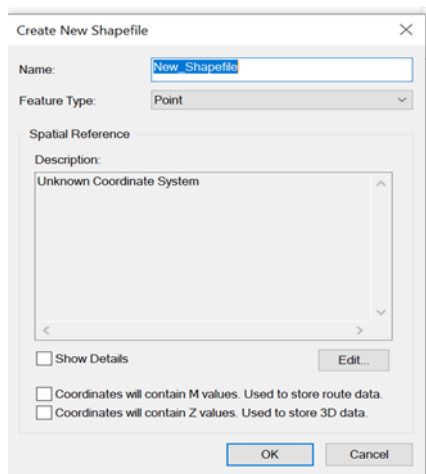


Figure 33 : L'affichage des traitement d'ENVI sur ArcGIS.

### II.3.1. Les étapes de la vectorisation d'une carte sur ArcGIS 10.5 :

#### Litho stratigraphie

- Pour Créer les couches :
  - ✓ Clic droit sur « Home-Documents -ArcGIS ».
  - ✓ Créer un nouveau fichier de forme (Shapefile).
  - ✓ Nommez « Stratigraphie » et choisissez polygone pour type de données.
  - ✓ Attribuez le même système de coordonnées que nous avons donné au cartes (Nord Sahara 1984 UTM Zone 30N).



Name : Stratigraphie

Feature Type : Choisi polygone


Edit : pour ajouter système de coordonnées

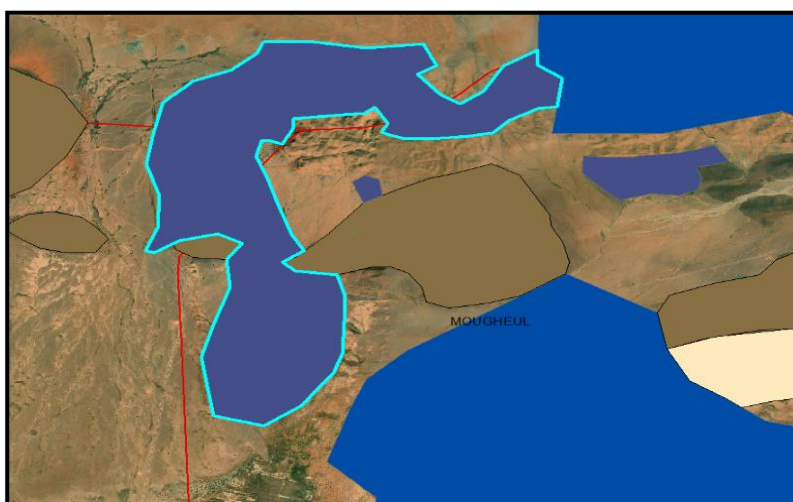
## Chapitre III : Traitements et Interprétation

Pour tracer ou vecteurer :

- ✓ Ouvrir ArcMap et ajoutez la zone de travail.



- ✓ Pour commence la vectorisation allez vers la barre doutil « Editor » et cliquez sur « Start Editin ».
- ✓ Tracez grâce aux fonctions , et choisissez la forme polygone et tracez les polygones pour les formations géologiques.
- ✓ Clic droit sur « la couche dans Stratigraphie », ouvriez « Table Attributaire » « Open Attribut Table » et taper l'âge de chaque formation.



*Figure 34: Le résultat de la vectorisation d'une formation (polygone).*

Une fois la table attributaire est remplie, on peut modifier la symbologie :

-Clic droit sur la couche puis Choisissez propriétés « Symbology ».

-Ouvrez cette fenêtre pour chosissez « la couleur, le symbole et le nom ».

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

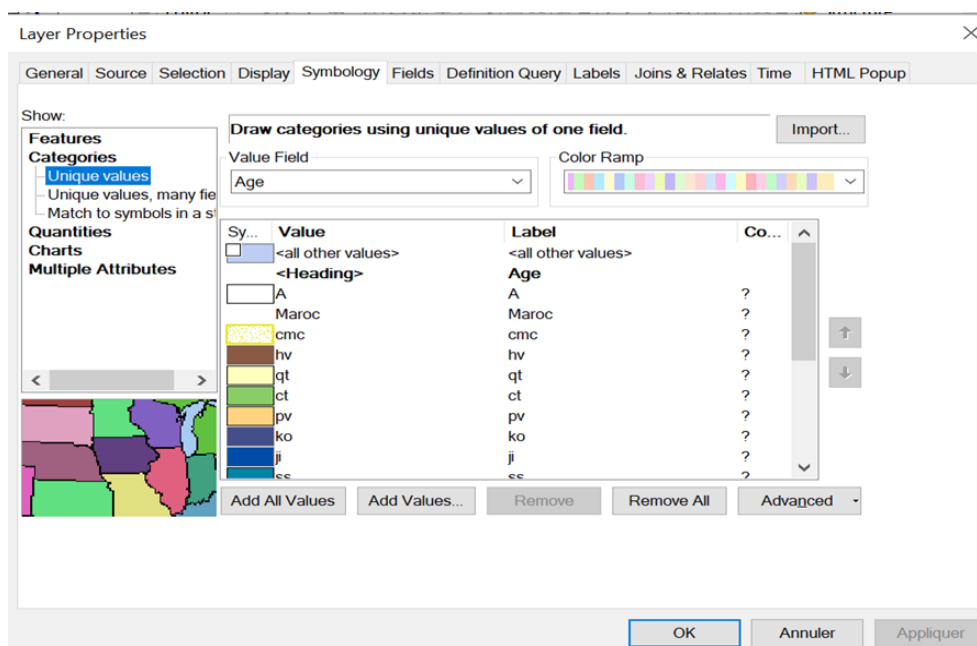


Figure 35 : Présentation pour décrire la légende.

-Pour ajouter une formation, cliquez « Add Values » puis sur OK.

-Pour supprimer une formation, cliquez sur la formation après cliquez sur « Remove » et en fin sur Ok.

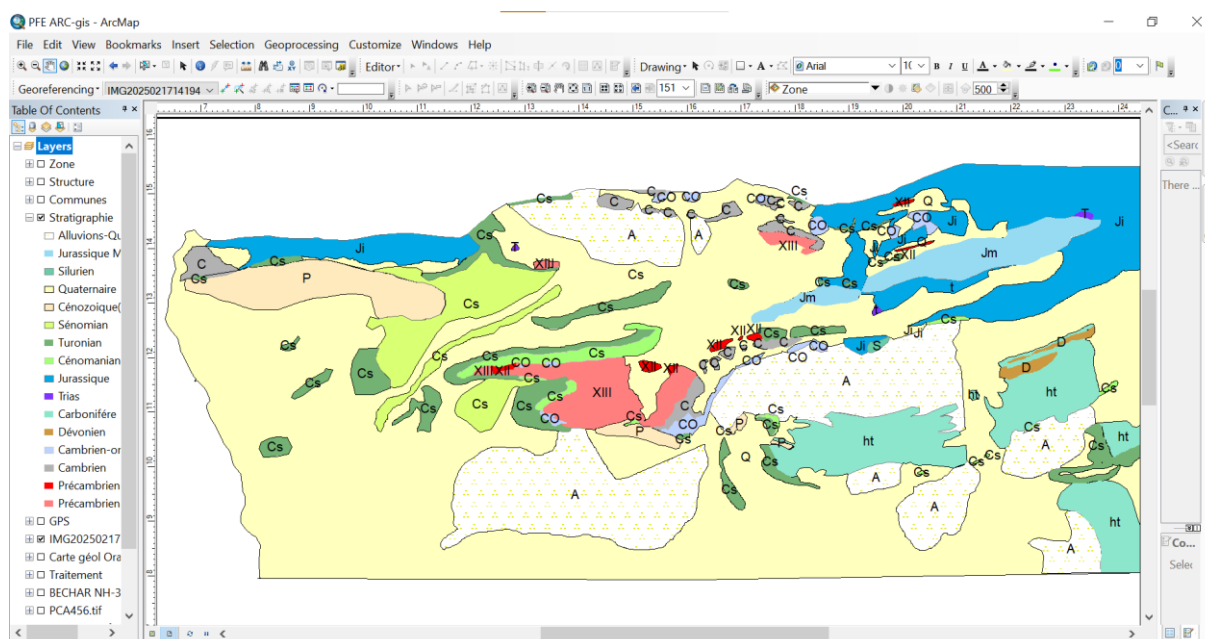


Figure 36 : Les Couches d'informations stratigraphique de la région Nord-Béchar.

## Chapitre III : Traitements et Interprétation

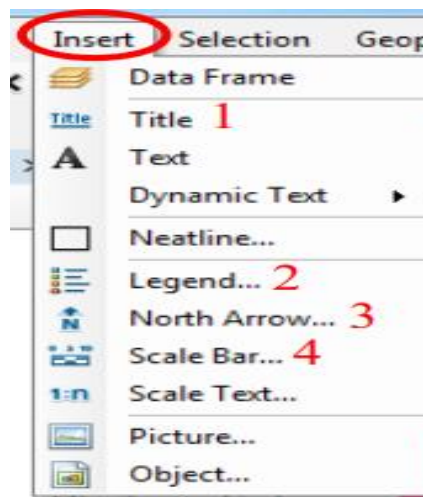
### II.4. Mise en page :

ArcGIS 10.5 nous permet de créer efficacement des mises en page qui peuvent être présentés à d'autres utilisateurs via une image imprimée ou un document PDF.

#### ▪ Les étapes pour faire la mise en page :

Dans la barre de menu cliquer sur « Insérer » et ajouter :

- Un titre (1)
- Une légende (2)
- Une orientation géographique (3)
- Une échelle numérique (4).



Le résultat de la mise en page :

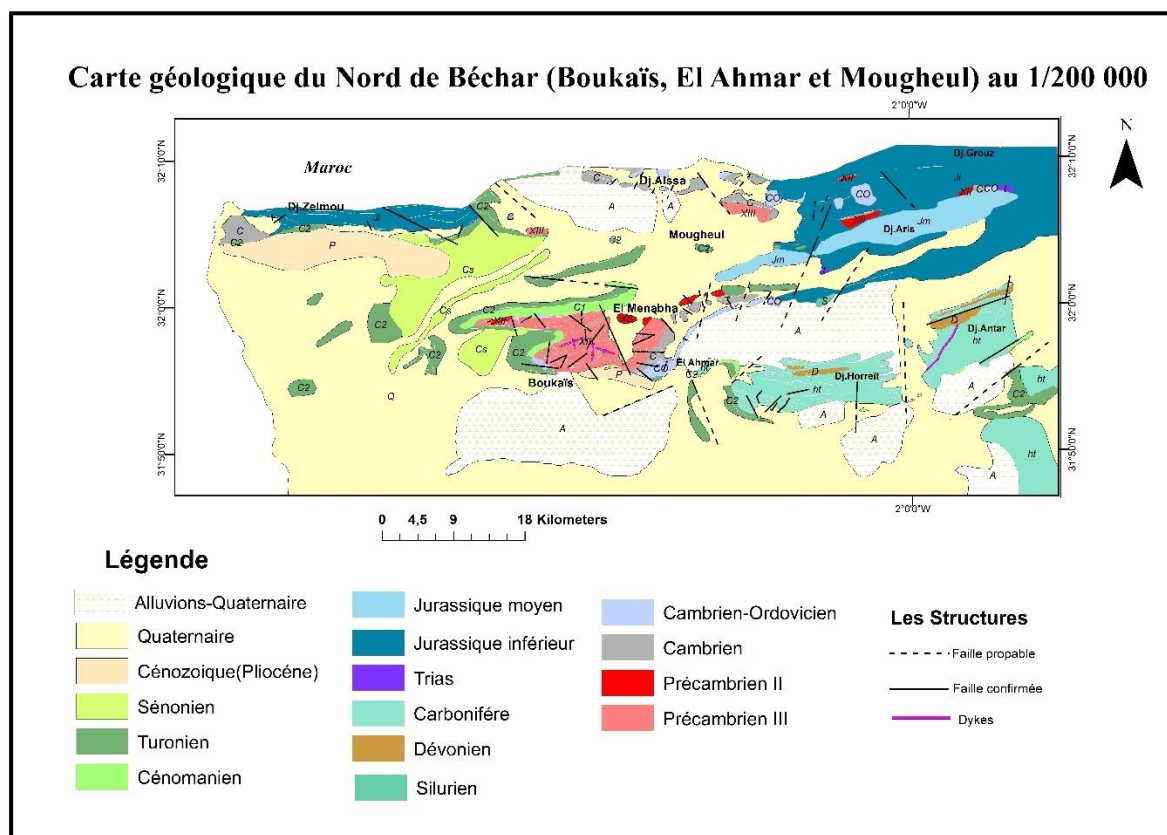
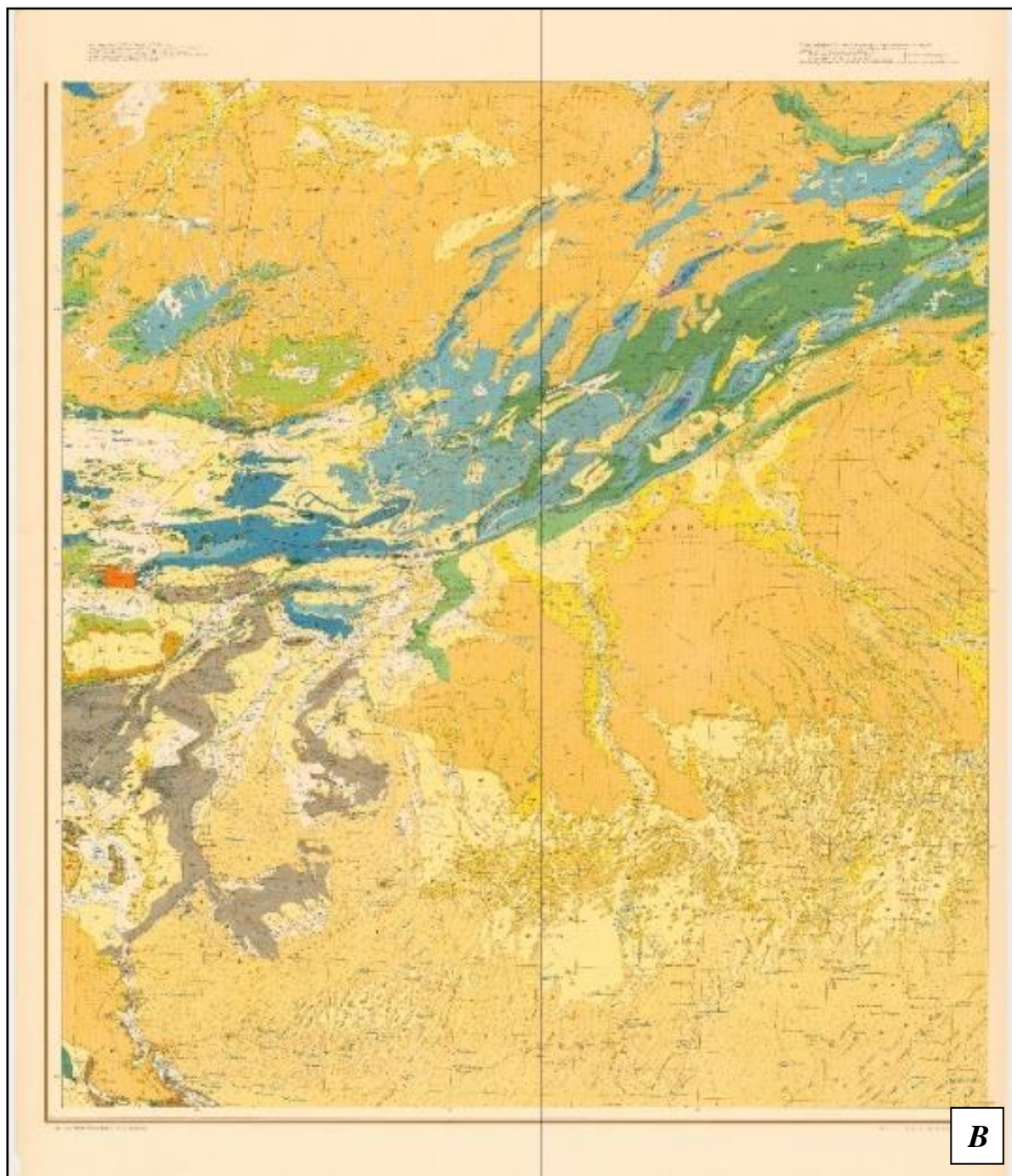


Figure 37 : Carte géologique de la région Nord-Béchar.

**CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie  
géologique de Nord-Bechar**



## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar



**Figure 38 : A : Carte géologique du Hamada de Guir. B : Carte géologique Oran-Sud 1951.**

Les résultats de la cartographie géologique après traitement par la télédétection et le SIG, ont été vérifiés et validés par les données de terrain de l'équipe de l'ASGA. Ces résultats sont représentés par la carte géologique suivante :

# CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

Carte géologique du Nord de Béchar (Boukais, Mougheul et El Ahmar) au 1/200 000

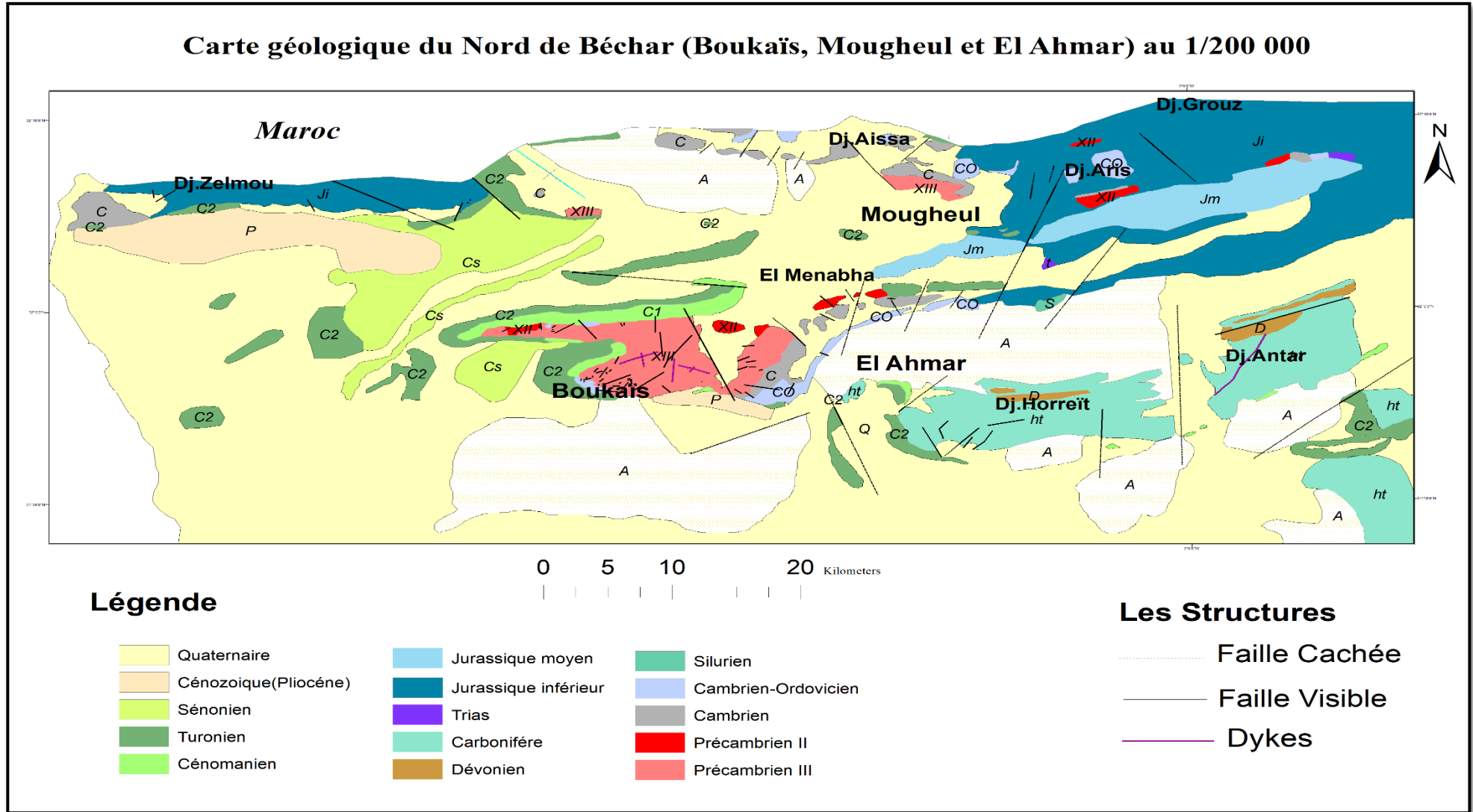


Figure 39: Carte géologique de la région nord de Béchar (Boukais- Mougheul- El Ahmar) à 1/200 000.

# CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

## II. Les résultats des travaux de terrain réalisés par les équipes de l'ASGA

### II.1 Lithostratigraphie

#### II.1. 1. Précambrien

Le socle précambrien affecté par une déformation intense, il affleure principalement au niveau de la boutonnière de Boukaïs

Le précambrien est composé par des roches volacno-sédimentaire constitué essentiellement d'une alternance d'andésite, basalte, conglomérat et les tufs volcanique, cet ensemble recoupé par des rhyolite et dacite (Fig.41), Ces volcanites sont surmontées par des conglomérats, des calcaires à stromatolithe (Fig.40) et des schistes.



Figure 40 : Schistes précambrien du djebel Aris.



Figure 41 : Echantillons Précambrien récolté dans le massif de Boukaïs.

# CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

## II.1.2. Cambrien

La région Nord-Béchar caractérisée par des grès arkosiques (Fig.42), qui reposent sur des formations précambriennes, notamment dans la zone de Tibalicine. Au niveau de djebel Zelmou et djebel Aris, ont observé des schistes verts (Fig.43) et des grès. Il est représenté aussi par des calcaire noir affleurant à l'ouest de Menabha et au Sud de djebel Aris.



*Figure 43 : Massif des grès arkosiques du Cambrien inférieur.*

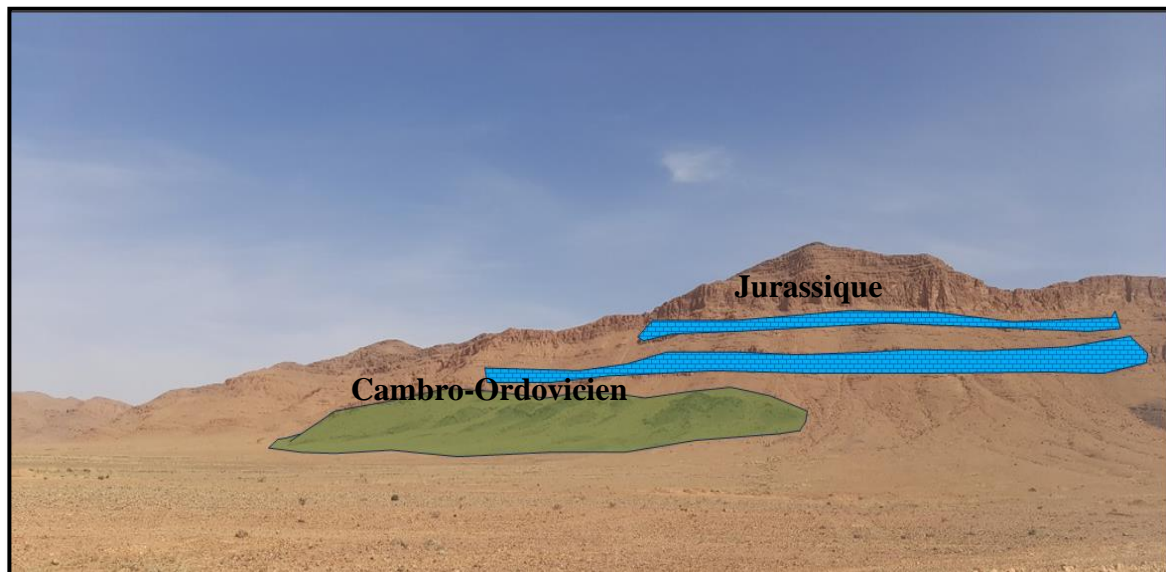


*Figure 42 : Schistes verdâtres récoltés du Nord de Mougheul.*

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

### II.1.3. Cambro-Ordovicien

Il recouvre directement le conglomérat de djebel Tabilicine localisé au SE et SW de Boukaïs, on note la présence d'une discordance (Fig.44) sur le calcaire du Jurassique par les schistes et les grès du Cambro-Ordovicien au niveau Nord du Mougheul.



*Figure 44: Discordance jurassique sur le Cambro-Ordovicien au Nord de Mougheul.*

### II.1.4. Silurien

Il affleure à l'Est du Mougheul composé par des schistes noirs et des bancs grésopélitiques.

### II.1.5. Devonien

Il existe généralement au Nord de djebel Antar (Fig.45) et djebel Horreït (Fig.46), les calcaires qui le composent sont très fossilifères.

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar



*Figure 45 : Calcaires fossilifères du Dévonien de djebel Antar.*



*Figure 46 : Banc calcaire dans le Dévonien de djebel Horreüt.*

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

### II.1.6. Carbonifère

Le Carbonifère affleure globalement sur djebel Horreït et djebel Antar, représenté par des argiles schisteuses bleus-vertes intercalées avec quelques niveaux de calcaires (Fig.47).



*Figure 47 : Argiles schisteuses du Carbonifère de djebel Antar.*

Les calcaires noirs correspondent à des formations carbonatées riches en matière organique (Fig.48), ce qui leur confère leur couleur sombre. Ces calcaires constitués des fragments fossiles des organismes marins.



*Figure 48 : Calcaires noirs riche en fossiles.*

### II.1.7. Trias

Ces formations triasiques affleurent au Nord-Mougheul, sous les calcaires et dolomies du Jurassique, elles sont composées par des argiles vertes et violacées par des conglomérats polygyniques, recoupées par des Fillon de quartz calcaire (Fig.49).

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

Ces affleurements triasiques sont complètement absents sur les cartes géologiques existante d'Oran-Sud à (1/500 000) et de djebel Antar. Dans ce travail, les affleurements triasiques ont été identifiés par les traitements de la télédétection et confirmés par les données de terrain.



*Figure 49 : Echantillons triasiques récoltés au Nord de Mougheul.*

### II.1.8. Jurassique

Les calcaires et dolomies du Jurassique reposent en discordance sur le paléozoïque. Ils se prolongent selon la direction NE-SW dans la partie Nord de Mougheul. Ces calcaires dolomitiques à patine grisâtre, reposent sur des séries déformées, marque une période de sédimentation marine stable. Le Jurassique moyen au niveau de djebel Zelmou (Fig.50), correspondant à une alternance de bancs de calcaires et des marnes d'environ 10 à 20 m.



*Figure 50 : Calcaires et marnes du Jurassique moyen de djebel Zelmou.*

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

### II.1.9. Crétacé

Affleure globalement dans la partie Ouest de l'Ahmar et Mougheul (Fig.51), il est composé de grès rouge du continental intercalaire attribué au Crétacé inférieur, les dépôts du bassin salifère de Béchar commence par des argiles et grès rouges attribué par certains auteurs (Zerrouki, 2004) à l'Albo-Aptien, surmonté par des marnes à gypse et calcaires du Cénomaniens, suivis du Turonien qui est une formation de calcaire et dolomie. Le Sénonien détritique très épais, est constitué des formations argilo-gréseuses continentales et des formations évaporitiques interstratifiées. Ils affleurent au sud de djebel Zelmou.



*Figure 51 : Les grès rouge au sud de djebel Zelmou.*

### II.1.10. Cénozoïque



*Figure 52 : Discordance des calcaires du Pliocène sur les grès rouge chenalisé du Crétacé.*

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

Le principal affleurement est connu à l'Ouest de Boukaïs et au Sud de djebel Zelmou (Fig.52). Il se présente comme un ancien massif apparaissant en boutonnière anticlinale, il existe aussi au SE de Boukaïs recouvert par les dépôts quaternaires.

### III. Tectonique

La carte géologique du Nord-Béchar met en évidence une histoire géologique complexe, marquée par une succession de formations sédimentaires et de structures tectoniques, allant du Précambrien jusqu'à le Quaternaire.

L'analyse de la carte géologique de la partie Nord de Béchar permet de constater que les reliefs imposants représenté par Djebel Antar, Djebel Zelmou et Djebel Horreït témoignent un quaternaire de ces reliefs associés aussi à leur nature lithologique.

Sur le plan tectonique, la région Nord-Béchar se situe au Nord de l'Accident Sud Atlasique, se prolonge jusque l'Anti-Atlas. Cet accident passe le long de l'axe de Boukaïs, Béni-Zireg, Béni-Ounif limitant la plateforme saharienne et le Haut Atlas marocain. L'Accident Sud Atlasique séparant le domaine atlasique alpin au Nord, et du domaine saharien au Sud.

La présence des failles inverses ou décrochant orientés globalement NE-SW. Ces structures associées aux phases hercyniennes (Paléozoïque) ou alpines (Cénozoïque), qui responsables de la structuration du relief actuel.

Dans la partie SE du massif de Boukaïs, la série andésitique est marquée par des coulées moins altéré sous forme de dykes.

- Un accident senestre N-S séparé entre djebel Horreït et Antar.
- Un décrochement dextre orienté E-W au Sud de djebel Zelmou.
- Au niveau de djebel Aïssa montrant des plissements a vergence Sud (Fig.53).

Les discordances observées dans la région sont : Paléozoïque reposent en discordance sur le socle Protérozoïque, Jurassique sur le Paléozoïque et le Sénonien sur le jurassique, le Pliocène et le quaternaire sur les dépôts antérieurs.

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar



*Figure 53 : La complexité tectonique au Nord de djebel Aïssa.*

-Les terrains volcaniques tardifs plus acides, essentiellement constitués par des rhyolites, dacites et rhyo-dacites.

-Les rhyolites existent à la base de la formation conglomérats d'âge Cambrien au niveau de djebel Tibalicine.

### IV. Géodynamique

Les formations les plus anciennes (Précambrien II et III, Cambrien) apparaissent dans la zone de Boukaïs représentent des roches métamorphiques et magmatiques (socle cristallin), typiques des boucliers continentaux. Leur présence indique une histoire tectonique ancienne associée à des phases de consolidation crustale.

- Cambrien à Silurien : Ces périodes témoignent des dépôts sédimentaires marins peu profonds (grès, schistes).

-Dévonien à Carbonifère : ces formations correspondent à des calcaires noir fossilisé ou des dépôts détritiques, marquant des cycles de transgression et régression dans djebels Horreït et Antar.

-Trias à Jurassique : Ces périodes coïncident avec l'ouverture de la Téthys et la fragmentation de la Pangée. Les dépôts triasiques et jurassiques calcaires dolomitique situés dans la partie Nord-Est de la zone d'étude.

## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

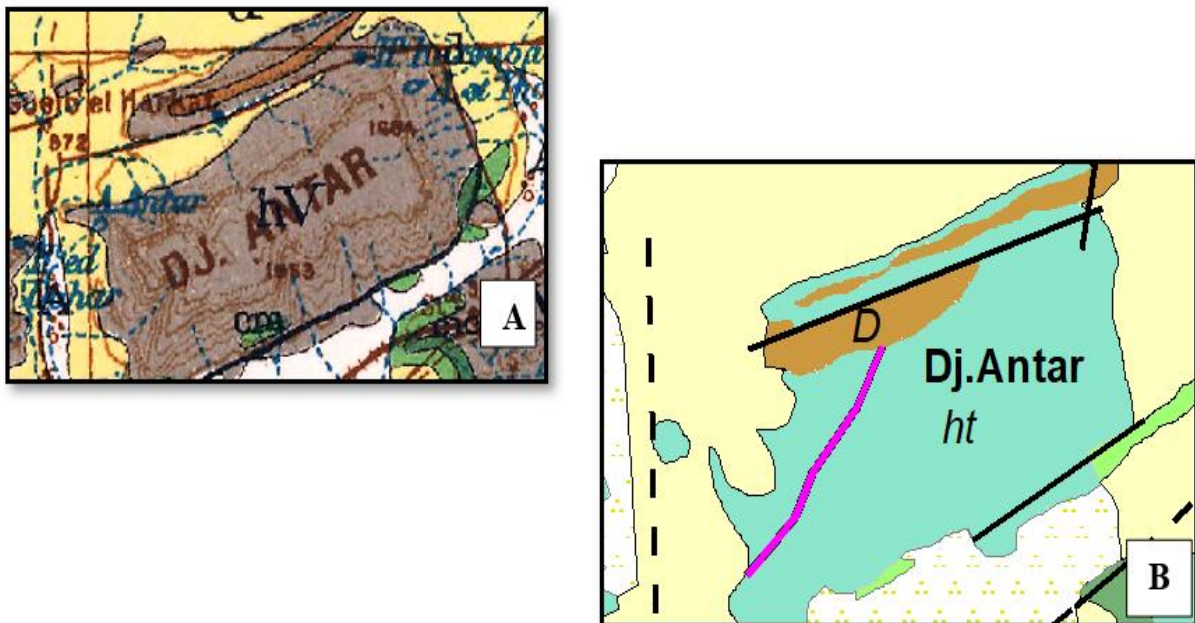
-Crétacé (Cénomaniens, Turonien, Sénonien) : Ces formations calcaires et des grès rouge indiquent une importante transgression marine durant le crétacé, liée à l'expansion océanique. Ils sont présents dans la partie Ouest de l'affleurement Boukaïs. Ces dépôts constituent le remplissage du bassin salifère de Béchar.

-Cénozoïque (Pliocène) : Des dépôts continentaux (conglomérats, argiles) traduisent une phase de surrection et d'érosion, lien avec l'orogénèse alpine.

-Quaternaire : Les alluvions récentes signalent des dépôts fluviatiles ou éoliens, associés à l'activité des cours d'eau et à l'aridité climatique actuelle.

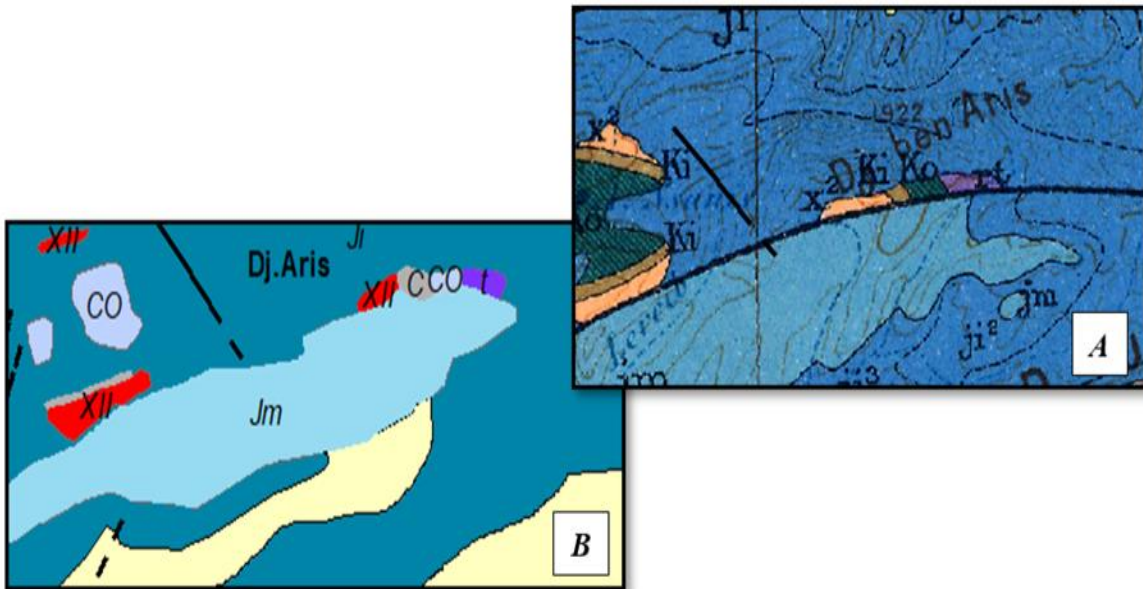
### V. Mises à jour apportées à la carte Oran-Sud :

- Les structures linéaires comme quelques failles et dykes sont absentes dans la carte géologique d'Oran-Sud (Fig.54), aussi les limites des formations géologiques sont décalées et parfois sont absentes (Fig.55) et (Fig.57) :



*Figure 54 : A- portion de la carte géologique Oran-Sud. B- Correction par la mise en évidence de dykes dans Dj. Antar sur la feuille Nord-Béchar.*

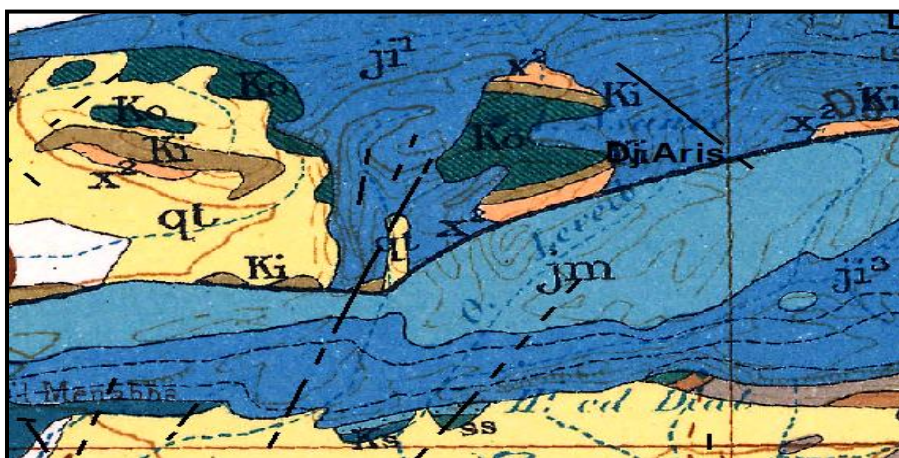
## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar



*Figure 55 : A- portion de la carte géologique Oran-Sud. B- Correction par la mise en évidence de décalage dans les limites de formation dans Dj Aris sur la feuille Nord de Béchar.*

Les limites stratigraphiques de la formation Précambrien (XII), la formation Cambrien (C) et la formation du Cambro-Ordovicien (CO) et la formation Triasique (t) sont décalées, corrigées à partir des images satellitaires et validées par les données de terrain.

- Identification de nouvelle formation absente dans la carte géologique d'Oran-Sud comme le Trias dans le sud de Dj. Aris (Fig.56).



## CHAPITRE IV : Résultats de la cartographie géologique de Nord-Bechar

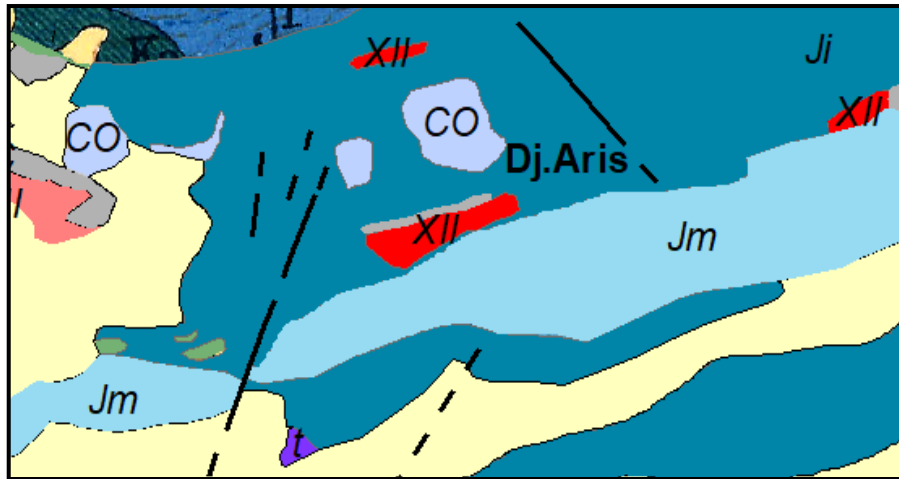


Figure 56 : A- Portion de la carte géologique Oran-Sud. B- correction par la mise en évidence du Trias sur la feuille Nord-Béchar.

La carte géologique Oran-Sud (1951) ne couvre pas la zone de Djebel Zelmou, la (Fig.57) représente la cartographie de cette zone pour la première fois.

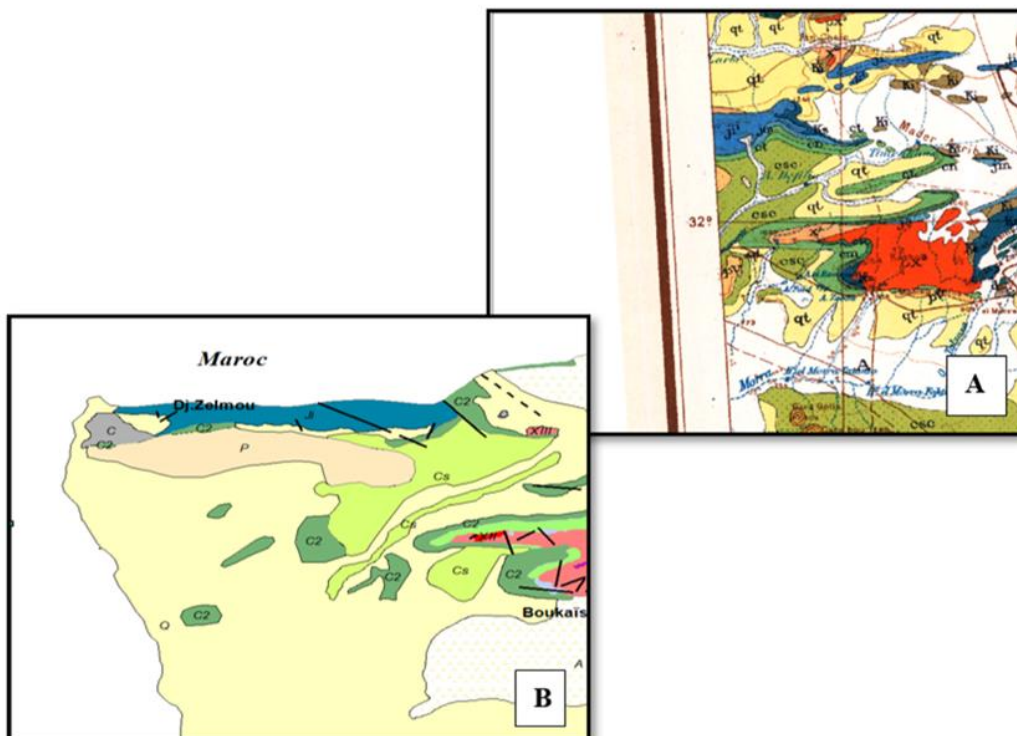


Figure 57 : A- Portion de la carte géologique Oran-Sud. B- Cartographie de la zone de Djebel Zelmou mise en évidence sur la feuille Nord-Béchar.

## Conclusion générale

La région Nord-Béchar, située au Nord-Ouest du Sahara algérien, peut être considérée comme une zone clé de l'évolution géodynamique du Sud-Ouest algérien, caractérisée par une complexité géologique. Elle est marquée par la superposition de plusieurs cycles tectoniques majeurs (panafricain, hercynien et alpin) qui sont enregistrés par les différentes formations géologiques.

Ce travail a permis de réaliser une recherche bibliographique, pour collecter le maximum de données disponibles dans la région d'étude afin d'enrichir la synthèse géologique et d'améliorer la cartographie.

La partie pratique qui est la plus cruciale, consistait par deux étapes la première c'est le traitement et l'interprétation des images satellites « Landsat8 » en utilisant le logiciel ENVI 5.3. La deuxième étape, c'est la partie où on a utilisé le logiciel ArcGIS 10.5. Elle a commencé d'abord par l'importation des images satellites et les cartes géologiques en format raster dans le logiciel et lui attribuer ses références spatiales et enfin procéder à leur vectorisation.

La carte obtenue à travers l'exploitation des cartes existantes, l'exploitation des données spatiales par la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) et les données de terrain ont permis la mise à jour d'une partie de la carte Oran-Sud, avec une amélioration de la précision des limites des formations géologiques et l'emplacement des structures linéamentaires.

La carte géologique de la partie Nord-Béchar (Boukaïs, Mougheul et El Ahmar) à 1/200 000 servira comme un outil de base pour la cartographie de synthèse à 1/500 000, et contribuera aussi à la compréhension de l'histoire géologique de la région.

Les cartes SIG obtenues peuvent être exportées puis imprimées sous forme de document en papier pour être utilisées par une société ou une campagne d'exploration. Quant au SIG réalisé, il représente une nouvelle forme de données numériques susceptibles d'être manipulées par les moyens informatiques pour en déduire, en fonction des besoins, différentes interprétations.

## Références Bibliographiques

**Bankih, K., et Ghoul, H. 1992.** Lithostratigraphie et sédimentologie du Cambrien de Boukais mémoire ingénieur, USTHB, 94 p.

**Benyoucef, M., Meister, C., Mebarki, K., Läng, É., Adaci, M., Cavin, L., Malti, F. Z., Zaoui, D., Cherif, A., Bensalah, M. 2016.** Évolution lithostratigraphique, paléoenvironnementale et séquentielle du Cénomanién-Turonien inférieur dans la région du Guir (Ouest algérien). *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 16, n° 9, p. 271-296.

**Bousmaha, M. 1989.** Rapport final sur les travaux de prospection de cuivre dans la structure de Boukais (O. R. G. M. Sud-Ouest, Bechar).

**Brahmi, H. 2015.** Contribution à l'étude des eaux souterraines au Sahara, exemple des eaux de la région de Kenadsa. Mémoire fin étude. Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, 97 p.

**Chabane, S. 2022.** Les séries du Paléozoïque inférieur de la région de Boukais (Nord Béchar, SW Algérie) : Analyse sédimentologique des séries, environnement de dépôt et évolution géodynamique. Thèse De Doctorat, USTHB, 208 p.

**Deleau, P. 1951.** Les bassins houillers du sud-oranais dans la région de Colomb-Béchar-Abadla. Livre 1, Stratigraphie, sédimentation, paléogéographie Bulletin du Service de la carte géologique de l'Algérie. Série 2, Stratigraphie.

**Deleau, P. 1952.** La région de Colomb Béchar. (monog. region. 1ere série, n° 8, Alger).

**Gill, J. B. 1981.** Bulk chemical composition of orogenic andesites. In *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*, pp. 97-167. Springer, Berlin, Heidelberg.

**Grabsi, A. I., Tahri, M. S. 2021.** Télédétection par imagerie Landsat-8 et Sentinel-2 dans la région des Eglab ; Application à la cartographie géologique des feuilles au 1/200 000 de Boubout, Chenachene et Hamada Safra. Mémoire fin d'étude, Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou. 115p.

**Hamdidouche, R., Nedjari, A., Aitouali, R. 2003.** Bassin de Béchar-kenadsa (SW Algérien) au meso-cénozoïque. Un bassin salifère d'avant-pays lié à l'ouverture de l'atlantique Sud. *Bull. Ser. Géol. l'Algérie* Vol. 14, n° 1, pp. 15 - 26

**Hamdidouche, R., Bouteraa C., Guettal, A. 2015.** Étude sédimentologique et paléontologique de la région de lahmar. Mémoire USTHB

**Kecili, S. Kadem, A. 2022.** Cartographie Géologique par Télédétection et SIG dans la région de l'Ougarta. Mémoire de fine d'étude. Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou. 72p.

**Kergomard, C., Laganier, R. 2000.** Contribution de la télédétection à la caractérisation des zones humides de la plaine de la Scarpe (Nord) *Revue Internationale de Géomatique*, Ecole Normale Supérieure Paris, n°2, 2000, vol.10, p. 241-256.

**Meindre, M. 1952.** Géologie du massif de Boukais. *Bull, Scie, Eco, Bureau de Recherches Minières d'Algérie*. Alger, pp. 8-45

**Meindre, M. 1952.** Géologique du massif de Boukaïs. Bull, Scie, Eco, Bureau de Recherches Minières d'Algérie. Alger, pp. 8-45.

**Meindre, M. 1955.** Etude géologique du massif de Boukais. Bull, N°2 du BRMA.

**Menchikkof, N. 1936.** Etude géologique sur les confins algéro-marocains du Sud. C. R. Som. S. C. France, pp.131-148.

**ORGM, 2007.** Notice explicative DE LA FEUILLE A 1/500 000 DE BECHAR.

**Pareyn, C. 1961.** Les Massifs carbonifères du Sahara Sud-Oranais : Paléontologie stratigraphique et paléontologie descriptive. Du Centre National de la Recherche Scientifique.

**Perrodon, A. 1957.** Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Mémoire. Du service carte géol. Algérie n°12.

**Seddiki, A. E. M. 1997.** Etude pétrologique et géochimique des roches magmatiques de Boukais (N-O de Béchar, Algérie Sud Occidentale). Contribution à une étude géodynamique de la région à l'infrcambrien. Thèse de magister USTHB, 63p.

**Seddiki, A., Remaci-Benaouda, N., Cottin, J. Y., Moine, B. N., Ménot, R. P., et Perrache, C. 2004.** The volcano-sedimentary Boukais inlier (south-western Algeria) : evidence for lithospheric thinning during the Late Neoproterozoic. Journal of African Earth Sciences, 39(3-5), pp. 257-266.

**Zeghouane, H., 2019.** Dates historiques de télédétection. Cour 2018 /2019.

**Zerrouki, A. 1990.** Rapport sur la recherche du cuivre dans le Djebel Grouz. EREM, Béchar inédit.

**Zerrouki, A. 1993.** Etude des affleurements du Pré cambrien (P II) du Nord Béchar. Bull. Ser. Géol. de l'Algérie, Volume 4, N°2, pp. 89-97.

**Zerrouki, A. 2000.** Lithostratigraphie du Protérozoïque de la région de Boukais et étude des minéralisations associées (Béchar, Sud-Ouest algérien). Bull. Ser. Géol. de l'Algérie, pp. 163-183.

**Zerrouki, A. 2004.** Evolution Structurale De La Région De Béchar Pendant Les Cycles Tectoniques Hercynien Et Alpin. Bull. Ser. Géol. l'Algérie 15, n° 2, pp. 135-156.

**Zerrouki, A., Nemer, Z., Maoudj, B. 2025.** Proposal of Lithostratigraphic Correlation of the Proterozoic of Northern Béchar and Ougarta (South West Algeria) : A Comparison with the Moroccan Anti-Atlas, pp. 198-209.

### ***Références Web***

<https://earthexplorer.usgs.gov/>