

**République Algérienne Démocratique Et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA**

**FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE  
LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**



## **Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Science de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires**

### **THEME**

***Etude sédimentologique et application de la télédétection  
dans la série de Djbel Ben Kmer, Hammam Rabi  
(Saïda, Algérie Nord occidentale)***

Présenté par

**SOUILEM Fatima Zohra**

Soutenu publiquement le **22 /06/2021**

Devant le jury :

<b>Président :</b>	Mr. CHERIF Amine	M.C.A	Univ. Ouargla
<b>Encadreur :</b>	Melle. ZIOUIT Khaldia	M.A.A	Univ. Ouargla
<b>Co-encadreur :</b>	Mme. HAMMAD Nabila	M.C.B	Univ. Ouargla
<b>Examinatrice :</b>	Mme MAABDI Nawel	M.C.B	Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2020/2021**

# ***Dédicace***

*A la source de mon bonheur et ma raison de vivre, mes parents que Dieu leur donne santé et long vie. Qu'ils trouvent dans ce mémoire l'expression de mes sincères gratitude et reconnaissances de m'avoir guidé dans le bon choix de ma carrière et de m'avoir soutenu durant toutes mes études.*

*A mes chères frères et sœurs*

*A mes adorables papillons qui sont colorées ma vie : Assma'a, Mohammed Allaa-Edine, Basmala, AbdelAllah et Malika.*

*Je voudrais remercier tout particulièrement mes amies et même temps mes sœurs Khalida, Souad, Mokhtaria et Amina qui ont trouvés tous les bons mots aux bons moments pour me remettre dans le droit chemin. Leurs conseils, leur soutien moral m'ont considérablement aidé tout au long de cette année.*

*A tous merci*

***Souilem Fatima Zohra***

## ***Avant propos***

Tout d'abord, je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné la force pour terminer ce travail. Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, j'ai l'honneur d'exprimer mes gratitude, à mes deux encadreurs en l'occurrence Melle **ZOUI Khaldia** Maître assistant A et Mme. **HAMMAD Nabila** Maître conférence B pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. La qualité de leurs conseils, leurs soutiens et la confiance qu'elles m'ont accordés et m'ont permis de réaliser le présent travail dans les meilleures conditions. Recevez ici mon profond respect.

Je remercie énormément Monsieur **CHERIF Amine**, Maître de Conférence A à l'université d'Ouargla pour avoir accepté la présidence de jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur **DOBBI Abel Madjid**, Doyen de la Faculté Des Hydrocarbures, des Énergies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de L'Univer, pour l'avoir accepté dans son département et j'apprécie beaucoup son aide.

Un grand remerciement à Mme **MAABDI Nawel** Maître assistant A à l'université d'Ouargla pour l'acceptation de juger ce mémoire.

Je tiens à remercier également Melle **DARKAOUI Souad** et Melle **BENKASMIA Amina**, pour m'avoir mis à ma disposition tous les documents nécessaires ; quelles trouve ici ma profonde gratitude à eux.

Ma vive gratitude et mes remerciements s'adressent également à Melle **CHADOU Fadila**, Ingénieur de laboratoire pour sa gentillesse à me laisser à accéder à laboratoire pour accomplir mon mémoire.

Et enfin, je ne peux pas clôturer cet avant-propos sans exprimer mes remerciements à mes amies promotions Master 2 de la spécialité de la Géologie des Bassins Sédimentaires pour leurs appuis durant cette année.

***Souilem Fatima Zohra***

## ملخص

هذا العمل مخصص لدراسة جيولوجية , رسوبيات ورسم الخرائط لتشكلات الطين سعيدة في الجزء الشرقي من النطاق التلمساني على مقطع جيولوجي لجبل بن قمر

على المستوى الطبقي الصخري ، التسلسل يتمثل من خلال تناوب الحجر الرملي الصلصالي الذي يسمح بمستويات كبيرة من الكربونات من العصر الجوراسي الأوسط والعلوي، وغنية بالمستحاثات ذات الحجم الكبيرة و بالمستحاثات الدقيقة و كذلك بالأشكال الرسوبية.

الاختلافات السحنات الصخرية في هذه المنطقة تتمثل من خلال أربع سحنات رئيسية. يظهر التطور المتسلسل لهذه السحنات بيئة بحرية حيث توضعها يكون من البحر بعيد عن الشاطئ إلى الشاطئ . يقدم هذا التسلسل العمودي لهذه السحنات بما يعرف بسلسلة الحشو

أدت دراسة الاستشعار عن بعد بتقنيات العلاج المستخدمة إلى تمييز الجيد للغاية صخري ورسم خرائط للحوادث التكتونية في المنطقة. سمح لنا تراكم النتائج المختلفة لهذه العلاجات الرقمية والبيانات الميدانية والبيولوجيا بعمل خريطة هيكلية حجرية جديدة لمنطقة الدراسة.

**كلمات مفتاحية:** جبل بن قمر ، طين سعيدة ، العصر الجوراسي الأوسط والعلوي ، الاستشعار

عن بعد

## ***Résumé***

Le présent travail est consacré à une étude géologique, sédimentologique et cartographique de la Formation des Argiles de Saïda de la partie orientale du domaine tlemcenien dans la coupe de Djebel Ben Kmer (Algérie Nord-occidentale).

Sur le plan lithostratigraphique la série est représentée par une alternance argilo-gréseuse admettant d'importants niveaux carbonatés d'âge Jurassique moyen et supérieur, riches en macrofaunes, microfaunes et figures sédimentaires.

Les variations de faciès lithologiques dans la région présentent par quatre principaux faciès. L'évolution séquentielle de ces faciès montre un milieu marin allant d'un Offshore supérieur à un shorface. L'enchaînement vertical de ces faciès présente une séquence de comblement.

L'étude de la télédétection par les techniques de traitements utilisées a abouti à une très bonne discrimination lithologique et a une cartographie des accidents tectoniques de la région. La superposition des différents résultats de ces traitements numériques, données de terrains et bibliographique nous a permis la confection d'une nouvelle carte lithostructurale de la zone d'étude.

**Mots-clé :** Djebel Ben Kmer, Argiles de Saïda, Jurassique moyen et supérieur, télédétection

## ***Abstract***

This work is devoted to a geological, sedimentological and cartographic study of the Saïda Clay Formation of the Eastern part of the Tlemcenien domain in the section of Djebel Ben Kmer (North-West Algeria).

On the lithostratigraphic level, the series is represented by a clay-sandstone alternation admitting significant carbonate levels of Middle and Upper Jurassic age, rich in macrofauna, microfauna and sedimentary figures.

The lithological facies variations in the region are presented by four main facies. The sequential evolution of these facies shows a marine environment ranging from a superior offshore to a shorface. The vertical sequence of these facies presents a sequence of filling

The study of remote sensing by the processing techniques used resulted in very good lithological discrimination and a cartography of tectonic accidents in the region. The superposition of the various results of these digital treatments, field data and bibliography allowed us to make a new lithostructural map of the study area.

**Keywords:** Jebel Ben Kmer, Saïda Clays, Middle and Upper Jurassic, remote sensing.

## *Table des matières*

Dédicace	
A avant propos	
ملخص	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des cartes utilisées	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<i>PARTIE I</i>	<i>GENERALITEES</i>
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>II. CADRE GEOGRAPHIQUE</b> .....	<b>4</b>
1. Cadre géographique général (Fig. 01).....	4
2. Cadre géographique local .....	4
3. Le Climat et le réseau hydrographique.....	5
<b>III. CADRE GEOLOGIQUE</b> .....	<b>5</b>
1. Cadre géologique général.....	5
2. Cadre stratigraphique.....	7
3. Cadre structural.....	7
<b>IV. HISTORIQUE DES TRAVAUX</b> .....	<b>8</b>
<i>PARTIE II</i>	<i>ETUDE GEOLOGIQUE</i>
<b>I. DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE</b> .....	<b>11</b>
1. Introduction .....	11
2. Les grandes lignes lithostratigraphiques de la region.....	11
2.1 Les Couches de Ben Kmer .....	11
2.2 Les Calcaires à ovoïdes .....	11
2.3 Les Argiles de Saïda.....	12
2.3.1 Définition .....	12
2.3.2Composition .....	12
2.4 Les Grés de Bou-Médine.....	13
3. Etude Lithostratigraphique.....	13
3.1 Localisation de la coupe (Fig.05) .....	13
3.2. Description et découpage lithostratigraphique (Fig).....	14
3.2.1 Formation des couches de Ben Kemer (calcaire argilo-marneux).....	15
3.2.2 Formation Calcaire à ovoïdes .....	14
3.3 Formation d'Argile de Saïda .....	15
3.3.1. Membre inférieur : argilo-gréseux carbonaté .....	15
3.3.2 Membre supérieur : argilo-gréseux .....	15
3.4 Formation Grés de Bou-Médine.....	15
4. Synthèse Biostratigraphique .....	18
4.1 Les « couches du Ben-Kmer ».....	18
4.2 Les « calcaires à ovoïdes » .....	18
4.3 Les Argiles de Saïda.....	18
<b>II. MILIEU DE DEPOTS ET ANALYSE SEQUENTIELLE</b> .....	<b>19</b>
1. Introduction.....	19
2. Milieu de dépôts .....	19
2.1Faciès.....	19
2.1.1 Définition.....	19
2.1.2 Inventaires et interprétation des faciès de la région d'étude.....	19
2.1.2.1. Faciès 1 : Les marnes (M) .....	19
2.1.2.2. Faciès 2 : Les argiles (A).....	20
2.1.2.3. Faciès 3 : Les grés (G).....	20
2.1.2.4. Faciès 4 : Les calcaires (C).....	22
2.2 Associations de faciès et Milieu de dépôt (Fig.08).....	23
2.2.1 Association I .....	24

2.2.2 Association II .....	26
2.2.3 Association III .....	26
2.2.4 Association IV .....	26
3. Analyse séquentielle .....	26
3.1 Définitions .....	27
3.1.1 Séquence .....	27
3.1.2 Séquence virtuelle .....	27
3.1.3 Discontinuité .....	27
3.2 Application .....	28
3.2.1 Discontinuités rencontrées dans la région d'étude (Fig.) .....	28
3.2.2 Hiérarchisation des séquences .....	28

### **PARTIE III**

### **CARTOGRAPHIE ET REPARTITION SPATIALE**

<b>I .INVESTIGATION DES OUTILS DE TELEDETECTION</b> .....	31
1. Introduction .....	31
2. Matériels et méthodes .....	32
2.1. <b>Données utilisés</b> .....	32
2.1.1. Données géologiques .....	32
2.1.2. Données satellitaires .....	32
a) Le programme SENTINEL .....	33
b) L'image du Sentinel 2A MSI .....	34
2.1.3. Les logiciels .....	34
2.2. Méthodologie .....	34
3. Méthodes des traitements numériques d'images .....	36
3.1. Traitements préliminaires .....	36
3.2. Traitements thématiques ou les traitements d'optimisation .....	38
3.2.1. Traitement d'amélioration ou de rehaussement .....	38
3.2.2. Compositions colorées .....	39
3.2.3. Modèle numérique 3D .....	40
3.2.4. La transformation ITS, (HSV pour les anglo-saxons) .....	41
3.2.5. L'Analyse en Composantes principales(ACP) .....	42
3.3. Les traitements spécifiques .....	44
3.3.1. Rapport entre canaux ou Ratios .....	44
3.3.2. Les filtres directionnels .....	45
4. Caractérisation des unités lithologiques .....	45
4.1. Caractérisation visuelle (photo-interprétation géologique) .....	46
4.2. Caractérisation radiométrique (classification non-supervisée) .....	46
4.3. Extraction automatique des unités lithologiques (classification supervisée) .....	47
4.3.1 Procédure de la classification supervisée .....	48
a) Echantillonnage (sélection des ROI) .....	48
b) Analyse des échantillons .....	48
b.1) Statistiques des échantillons .....	48
b.2) Calcul de séparabilité des échantillons ou L'indice de séparabilité des ROI .....	49
c) Le processus d'apprentissage .....	50
d) Validation de la méthode .....	50
d.1) La vérité terrain .....	50
d.2) Classification par SVM .....	53
d. 3) Matrice de confusion .....	54
4.4. Traitements après classification (Post Classification) .....	56
4.4.1. Analyse majoritaire et minoritaire .....	56
4.4.2. Homogénéiser les classes .....	57
4.4.3. Elimination des pixels isolés .....	57
5. Carte lithologique et télanalytique finale de la région d'étude .....	57
<b>II. INTERPRETATION ET DISCUSSION</b> .....	59
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	61

## *Liste des figures*

<b>Fig. 01 :</b> Situation géographique du domaine tlémcenien.....	<b>4</b>
<b>Fig. 02 :</b> Situation géographique du secteur d'étude (Image google).....	<b>5</b>
<b>Fig. 03 :</b> Carte géologique des Mont de Saida (Extrait de la carte de l'Algérie) (Cornet <i>et al.</i> ,1951. Echelle : 1/ 500 000 <sup>ième</sup> ).....	<b>6</b>
<b>Fig. 04:</b> Les grands traits structuraux de l'Algérie occidentale (Elmi <i>et al.</i> , 1984).....	<b>8</b>
<b>Fig. 05 :</b> Localisation et trait de coupe de Djebel Benkmer (extrait Image Google 2021).....	<b>14</b>
<b>Fig.06:</b> Liste des figurés et des abréviations utilisées.....	<b>16</b>
<b>Fig.07:</b> Colonne lithostratigraphique de la coupe de Djebel Benkmer.....	<b>17</b>
<b>Fig. 08:</b> Esquisse des zonations bathymétriques des environnements de dépôts de plate-forme (d'après Pérès, 1961 ; Pérès & Picard, 1964).....	<b>24</b>
<b>Fig. 09:</b> Association des faciès et milieux de dépôts de la série de Djebel Ben kmer.....	<b>25</b>
<b>Fig. 10 :</b> Evolution séquentielle et environnementale de la série de Djebel Ben Kmer.....	<b>29</b>
<b>Fig. 11 :</b> Analogie spectrale entre les images satellitaires du Landsat (7 ETM+ et 8 OLI/TIRS) et Sentinel 2A MSI (NASA) sur la bande spectrale. (El Atillah, 2018).....	<b>33</b>
<b>Fig. 12 :</b> Scène du satellite SENTINEL A2 de bande 2 qui couvre la zone d'étude acquise le 01/06/2021.....	<b>34</b>
<b>Fig 13 :</b> Organigramme générale présentant la méthodologie du travail.....	<b>35</b>
<b>Fig.14:</b> Découpage de l'image « <b>Resize</b> » (zone d'étude).....	<b>36</b>
<b>Fig 15 :</b> Traitement de rehaussement d'image par logiciel ENVI 5.3 sur une Bande 3 du Dj Ben Kmer.....	<b>39</b>
<b>Fig 16. :</b> Image composition colorée (RGB B4 B3 B2) avec résolution 10 m.....	<b>39</b>
<b>Fig. 17 :</b> Visualisation 3D du terrain d'étude en utilisant le modèle numérique 3D.....	<b>41</b>
<b>Fig18:</b> Traitement de l'image par l'HSV.....	<b>42</b>
<b>Fig. 19 :</b> Traitement avec ACP à partir des néocanaux (APC1, APC2, APC 3) sur avec (B8 B4 B3 B2) de 10m.....	<b>43</b>
<b>Fig. 20 :</b> Traitement avec ACP à partir des néocanaux (APC1, APC2, APC4) sur avec (B8 B4 B3 B2) de 10m.....	<b>43</b>
<b>Fig. 21 :</b> Traitement d'image par Ratio B2/B3.....	<b>44</b>
<b>Fig 22. :</b> Traitement d'image par filtres directionnels 45° sur la bande 3 de 10 m.....	<b>45</b>
<b>Fig. 23:</b> Extraction radiométrique des différents éléments géologiques du secteur d'étude Classification K-means (6 classes) à partir de RVB des Bandes (B4 B3 B2).....	<b>47</b>
<b>Fig 24 :</b> Extraction radiométrique des différents éléments géologiques du secteur d'étude Classification Isodata (6 classes) à partir de RVB des Bandes (B4 B3 B2).....	<b>47</b>
<b>Fig 25:</b> Procédure d'échantillonnage.....	<b>48</b>
<b>Fig 26:</b> Les courbes de réflectance des principales classes échantillonnées.....	<b>49</b>
<b>Fig. 27 :</b> Validation par des cartes géologiques.....	<b>51</b>
<b>Fig.28:</b> Validation terrain par l'échantillonnage dans le stage terrain.....	<b>52</b>
<b>Fig. 29:</b> Résultat de la classification par SVM.....	<b>53</b>
<b>Fig. 30 :</b> Classification majorisée.....	<b>57</b>
<b>Fig 31. :</b> Classification Clump.....	<b>57</b>
<b>Fig 32:</b> Comparaison entre Classification majorisée et classification Post-Clump.....	<b>57</b>
<b>Fig.33:</b> Résultat de la classification par SVM similaires aux couleurs de la carte géologique Echelle 1 : 120 000 <sup>ième</sup> .....	<b>58</b>
<b>Fig.34:</b> Carte finale de la région de Hammam Rabi. Echelle 1 : 50 000 <sup>ième</sup> .....	<b>58</b>
<b>Fig. 35 :</b> Extraction des différents linéaments de la région Hammam Rabi à partir Image en Gray scale de la Bande B3, filtre directionnels d'angle 45°.....	<b>60</b>
<b>Fig. 36 :</b> Carte lithostructurale teleanalytique à l'Echelle 1 : 120 000 <sup>ième</sup> .....	<b>60</b>



## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 01</b> : Correspondance les bandes entre les satellites (Landsat 7, landsat 8 OLI; Sentinel 2A).....	<b>37</b>
<b>Tableau 02</b> : Résultats de l'interprétation thématique du Djebel Ben Kmer à partir de la trichromie ( B4 B3 B2).....	<b>40</b>
<b>Tableau 03</b> : Calcul de séparabilité pour la classe réseau hydrographique.....	<b>50</b>
<b>Tableau 04</b> : Matrice de confusion de la classification SVM (OA=90.5975% K= 0.8873).....	<b>55</b>
<b>Tableau 05</b> : Les paramètres de précision de la classification SVM.....	<b>56</b>

## *Liste des cartes utilisées*

- **Cornet M.M. et al.**, Carte géologique de l'Algérie, Feuille publiée en **1951**, par le service de la carte géologique de l'Algérie , Echelle : 1/500 000<sup>e</sup> 2<sup>ième</sup> Edition, imprimé à Paris.
  
- **ANRH (2008)**- Carte géologique interprétative, Carte d'Algérie (Saida), Feuille NI-31-XIII Echelle : 1/200 000<sup>ième</sup>.

## ملخص

هذا العمل مخصص لدراسة جيولوجية , رسوبيات ورسم الخرائط لتشكلات الطين سعيدة في الجزء الشرقي من النطاق التلمساني على مقطع جيولوجي لجبل بن قمر

على المستوى الطبقي الصخري ، التسلسل يتمثل من خلال تناوب الحجر الرملي الصلصالي الذي يسمح بمستويات كبيرة من الكربونات من العصر الجوراسي الأوسط والعلوي، وغنية بالمستحاثات ذات الحجم الكبيرة و بالمستحاثات الدقيقة و كذلك بالأشكال الرسوبية.

الاختلافات السحنات الصخرية في هذه المنطقة تتمثل من خلال أربع سحنات رئيسية. يظهر التطور المتسلسل لهذه السحنات بيئة بحرية حيث توضعها يكون من البحر بعيد عن الشاطئ إلى الشاطئ . يقدم هذا التسلسل العمودي لهذه السحنات بما يعرف بسلسلة الحشو

أدت دراسة الاستشعار عن بعد بتقنيات العلاج المستخدمة إلى تمييز الجيد للغاية صخري ورسم خرائط للحوادث التكتونية في المنطقة. سمح لنا تراكب النتائج المختلفة لهذه العلاجات الرقمية والبيانات الميدانية والبيبلوغرافيا بعمل خريطة هيكلية حجرية جديدة لمنطقة الدراسة.

**كلمات مفتاحية:** جبل بن قمر ، طين سعيدة ، العصر الجوراسي الأوسط والعلوي ، الاستشعار عن

بعد

## ***Résumé***

Le présent travail est consacré à une étude géologique, sédimentologique et cartographique de la Formation des Argiles de Saïda de la partie orientale du domaine tlemcenien dans la coupe de Djebel Ben Kmer (Algérie Nord-occidentale).

Sur le plan lithostratigraphique la série est représentée par une alternance argilo-gréseuse admettant d'importants niveaux carbonatés d'âge Jurassique moyen et supérieur, riches en macrofaunes, microfaunes et figures sédimentaires.

Les variations de faciès lithologiques dans la région présentent par quatre principaux faciès. L'évolution séquentielle de ces faciès montre un milieu marin allant d'un Offshore supérieur à un shorface. L'enchaînement vertical de ces faciès présente une séquence de comblement.

L'étude de la télédétection par les techniques de traitements utilisées a abouti à une très bonne discrimination lithologique et a une cartographie des accidents tectoniques de la région. La superposition des différents résultats de ces traitements numériques, données de terrains et bibliographique nous a permis la confection d'une nouvelle carte lithostructurale de la zone d'étude.

**Mots-clé :** Djebel Ben Kmer, Argiles de Saïda, Jurassique moyen et supérieur, télédétection

## ***Abstract***

This work is devoted to a geological, sedimentological and cartographic study of the Saïda Clay Formation of the Eastern part of the Tlemcenien domain in the section of Djebel Ben Kmer (North-West Algeria).

On the lithostratigraphic level, the series is represented by a clay-sandstone alternation admitting significant carbonate levels of Middle and Upper Jurassic age, rich in macrofauna, microfauna and sedimentary figures.

The lithological facies variations in the region are presented by four main facies. The sequential evolution of these facies shows a marine environment ranging from a superior offshore to a shorface. The vertical sequence of these facies presents a sequence of filling

The study of remote sensing by the processing techniques used resulted in very good lithological discrimination and a cartography of tectonic accidents in the region. The superposition of the various results of these digital treatments, field data and bibliography allowed us to make a new lithostructural map of the study area.

**Keywords:** Jebel Ben Kmer, Saïda Clays, Middle and Upper Jurassic, remote sensing.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

## INTRODUCTION GENERALE

La zone d'étude fait partie des Monts de Saïda, située à l'extrême Sud-Est du Domaine Tlémcenien, la région bénéficiée de peu d'études géologiques soit sédimentologique ou cartographique. La seule cartographie géologique détaillée de la région a été réalisée par Cornet *et al.*, en 1951.

L'objectif de présent travail étant de contribuer à la connaissance géologique et cartographique de la région de Hammam Rabi par une combinaison entre une étude classique basée sur un levé de coupe (Djebel Ben Kmer) sur le terrain et la cartographie moderne utilisant la télédétection, une nouvelle technique de cartographie automatique. L'étude par levée de coupe permet de comprendre l'évolution faciologique et environnementale de cette entité lithologique au cours de l'intervalle du temps Bajocien- oxfordien. L'étude par imagerie satellitaire se base sur le traitement d'images multispectrales haute résolution, spatiale et spectrale, SENTINEL 2A en comparaison avec la carte géologique classique de la région (Cornet *et al.*, 1951 à l'échelle 1/500 000<sup>ième</sup> et la carte géologique et structurale plus récente à l'échelle 1/200 000<sup>ième</sup> fait par ANRH en 2008). L'objectif de cette partie est de caractériser et cartographier les affleurements de formations sédimentaires du Bajocienne et Callovo-oxfordiennes non représentées sur les cartes antérieures.

C'est dans ce sens que nous basons notre travail sur trois parties :

La 1<sup>ière</sup> partie consiste en une présentation bibliographique des données géologiques et structurales, récoltées à partir des travaux antérieurs effectués dans la région de Saïda. Ces données représentent un apport très important et forment la base de notre étude. La carte géologique de l'Algérie dressé par Cornet *et al.*, éditée le 1951 avec ensembles des ingénieurs à l'échelle 1/500 000<sup>ième</sup> et la carte géologique et structurale plus récente à l'échelle 1/200 000<sup>ième</sup> fait par ANRH en 2008 présentent une base de données pour le reste de travail.

Le 2<sup>ème</sup> partie comprend à une étude géologique détaillée sur terrain, avec récolte, préparation, observation et détermination des faciès, complétées par des croquis annotés et photographies afin de comprendre l'évolution lithostratigraphique et séquentielle de la région.

La 3<sup>ème</sup> partie consiste à l'utilisation de la télédétection pour une nouvelle cartographie de la région prend en considération les données lithologiques et les imageries satellitaire. Les images optiques utilisées sont les données issues du capteur Sentinel 2A. Ce choix du type de donnée a été conditionné par :

- La disponibilité des images couvrant la zone d'étude, téléchargé gratuitement à partir du site : <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Des hautes résolutions spatiales qui arrive jusqu'à 10 m et spectrales (13 Bandes).

Enfin, le travail est finalisé d'une conclusion générale qui consiste à une synthèse englobant les résultats de ce travail.

***PARTIE I***  
***GENERALITES***

## I. INTRODUCTION

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est subdivisée en plusieurs domaines, qui sont différenciés tectoniquement par des phases allées de l'ère mésozoïque et cénozoïque, ces domaines sont s'individualisés et organisés du Nord vers le Sud comme suit :

➤ Au Nord, le domaine tellien orienté grossièrement E-W, ce domaine tellien, faisant une portion des chaînes alpines depuis l'Europe en se raccordant à l'Ouest par le biais du détroit de Gibraltar avec les chaînes bético-baléare ; C'est un domaine largement accidenté et tectonisé, typique des nappes de charriage mises en place au cours du Tertiaire.

➤ Domaine Tlemcenien (Elmi, 1984) ou les massifs du tell méridional, Ces massifs constituent la bordure septentrionale des Hauts-plateaux, forme comme une barrière géographique orientée SW-NE qui est limitée à l'Est par la transversale NNE-SSW de Tiaret qui le sépare du domaine préatlasique, d'altitude diminuant d'Ouest vers l'Est (1300 à 1000 m), s'étendant sur 250 km et constituant le domaine tlemcenien proprement-dit.

➤ Domaine des hautes-plaines ou hauts-plateaux, ce domaine est subdivisé d'Ouest en Est aux unités suivantes : les hautes-plaines oranaises à l'Ouest, les hautes-plaines algéroises et les hautes-plaines constantinoises. Les Hautes-plaines oranaises bordées au Nord par le domaine tlemcenien, et au Sud par le sillon atlasique. Les Hautes-plaines ont joué au cours du Jurassique une sorte de haut-fond, en relation avec les mouvements tectono-eustatiques, où la sédimentation est caractérisée par des épaisseurs réduites, des lacunes et des conglomérats.

➤ Domaine Atlasique, c'est l'Avant-pays tellien de la chaîne alpine, constitué par un ensemble de chaînes intracontinentales séparée au Nord, des Hautes-Plaines oranaises par l'accident Nord atlasique et au Sud, la limite méridionale avec la plateforme saharienne est marquée par l'accident sud atlasique.

➤ Domaine de la Plate-forme saharienne, une portion stable de la plaque africaine, séparée du domaine atlasique au Nord par l'accident sud-atlasique étendu W-E sur plus de 2000 km.

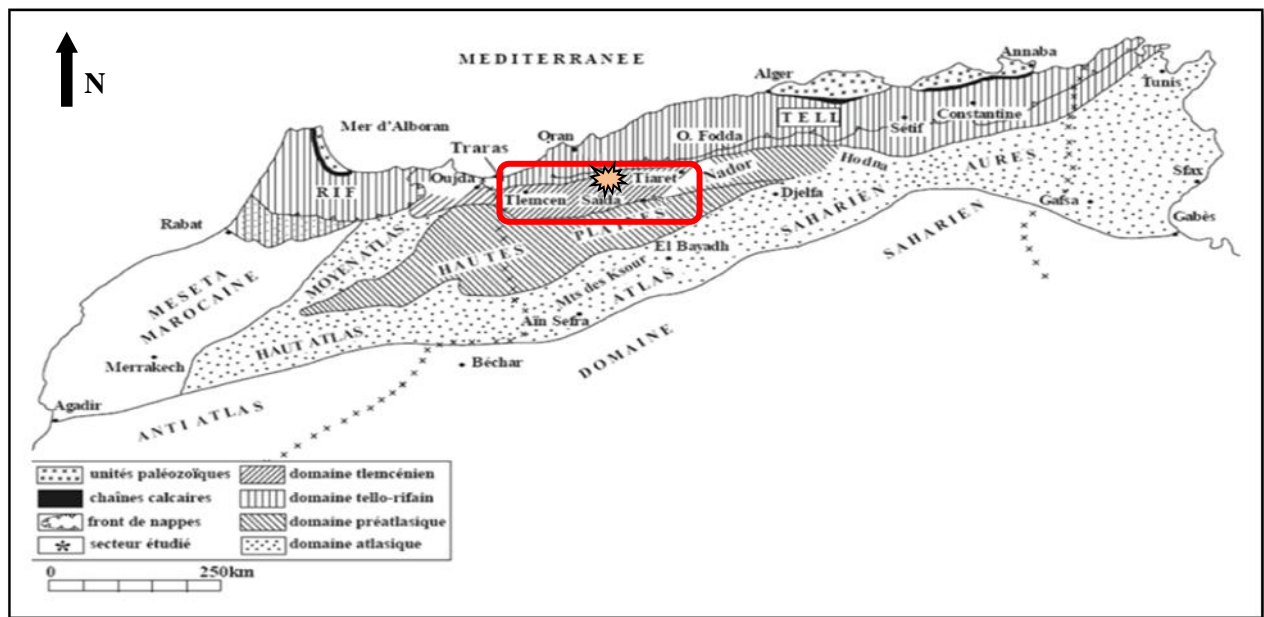
Le présent travail a pour but d'améliorer l'étude lithologique et sédimentologique des séries Callovo-Oxfordien des argiles de Saïda dans les Monts de Saïda en appliquant l'outil de télédétection afin de déterminer les linéaments structurales de la région et différencier les différents faciès.



## II. CADRE GEOGRAPHIQUE

### 1. Cadre géographique général (Fig. 01)

Le domaine Tlemcénien qui s'étend depuis le Maroc Oriental jusqu'aux Monts de Tiaret et comprend plusieurs chaînes montagneuses réparties d'Ouest en Est par les Monts de GharRouban, les Monts de Tlemcen, les Monts de Daïa, les Monts de Saïda et les Monts de Tiaret-Frenda. Ce domaine paléogéographique montre une sédimentation silico-clastique (Callovo-Oxfordien-Kimméridgien inférieur) probablement d'origine Saharienne (Ouardas, 1983).



 Domaine Tlemcénien

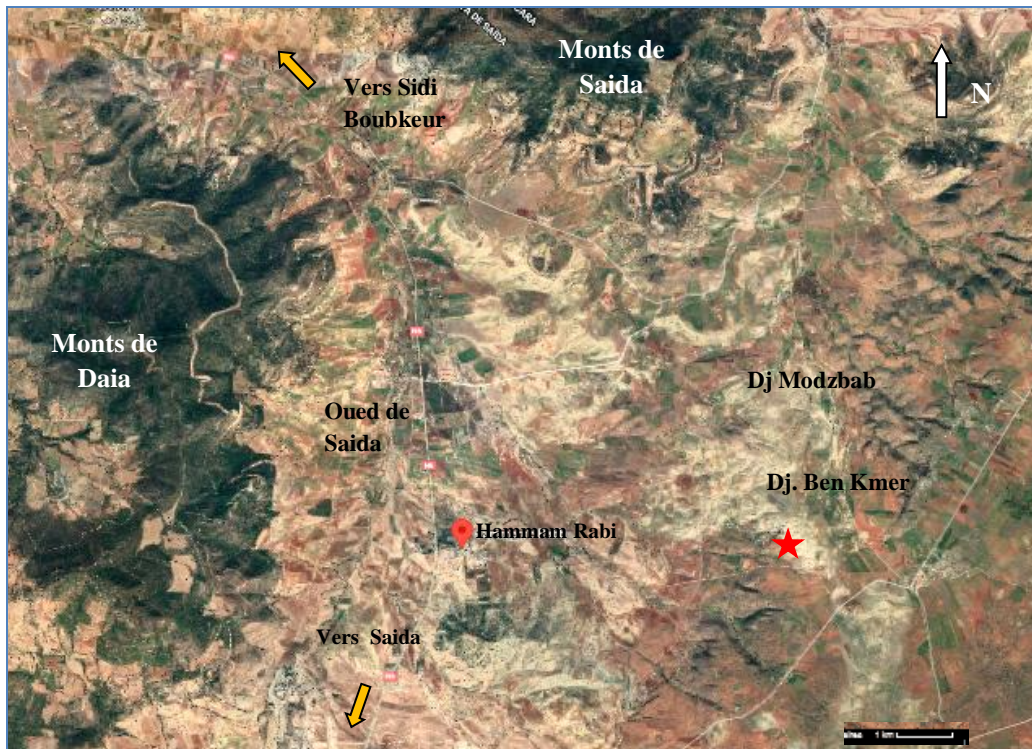
 Zone d'étude

**Fig. 01 :** Situation géographique du domaine tlemcénien (Touahria *et al.*, 2019)

### 2. Cadre géographique local

Le secteur étudié appartient aux Monts de Saïda qui s'inscrit dans une vaste région allongée WSW-ENE. Ils constituent une région montagneuse entre le domaine tellien au Nord et les Hautes plaines oranaises au Sud. Ils appartiennent au domaine Tlemcénien, avant-pays tellien de la chaîne alpine (Fig. 02). Il a été désigné selon Lucas (1952) sous le nom de « Bordure Nord des Hautes plaines oranaises ».

La coupe étudiée située aux environs de la localité de Hammam Rabi « Eaux Chaudes », cette localité située entre les Monts de Saïda à l'Est et les Monts de Daïa à l'Ouest, plus précisément au piémont Sud-Ouest du Mont de Saïda.



**Fig. 02 :** Situation géographique du secteur d'étude (Image google , 2021)

### 3. Le Climat et le réseau hydrographique

La région a une climat Semi-aride, en général le climat dans la région de Saïda est sec et chaud en été et froid en hiver. La moyenne pluviométrique dans la Wilaya est d'environ 348 mm/an. La température varie de  $-7^{\circ}\text{C}$  au mois de décembre à  $46^{\circ}\text{C}$  au mois de juillet.

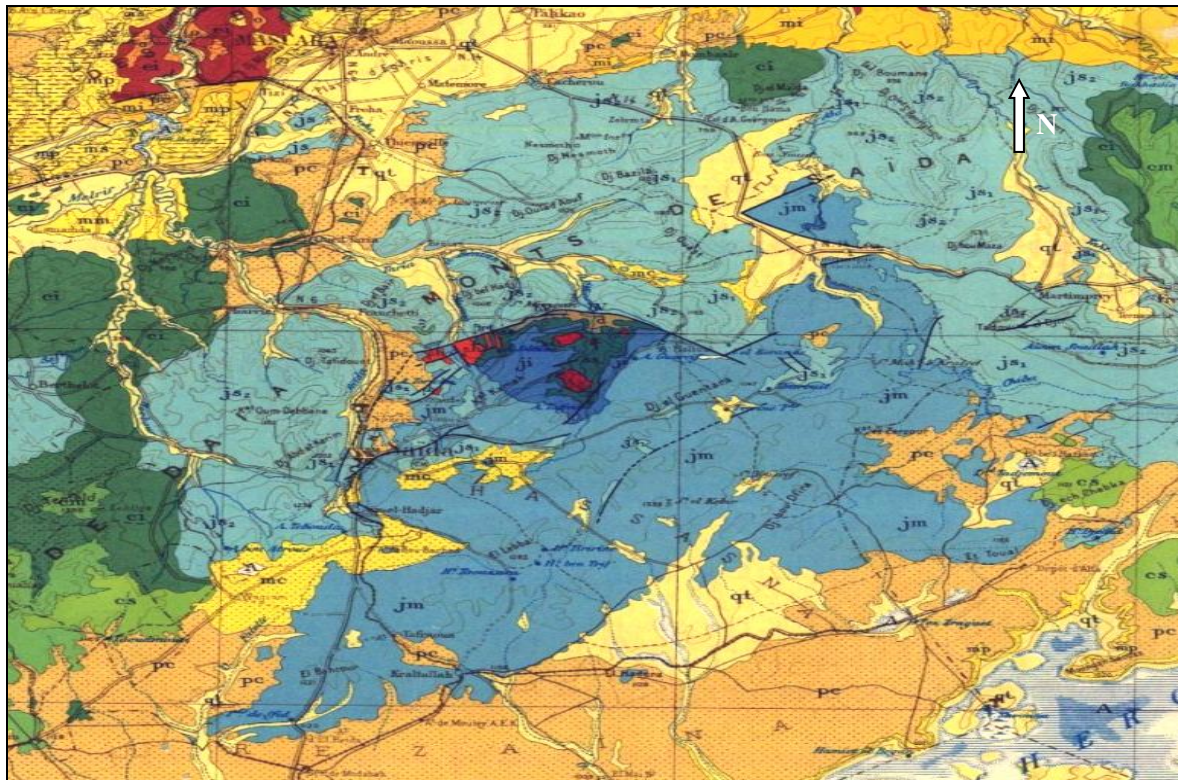
L'hydrographie de la région permet de distinguer plusieurs bassins superficiels où l'écoulement se fait vers le Nord exception faite du bassin du Chott Echergui où l'écoulement se fait vers le sud. La nature sédimentaire des roches constitue la région étudiée est essentiellement carbonatée, cette nature a permis aux oueds de ces bassins de creuser des vallées très encaissées et des lits très profonds et étroits, leur solidité a favorisé la dissolution en profondeur donnant une véritable région Karstique. Lorsque les affleurements sont marneux ou argileux, le relief devient beaucoup plus mou, il s'agit des croupes très arrondies subissant un ruissellement intense et une forte érosion.

## III. CADRE GEOLOGIQUE

### 1. Cadre géologique général

Les Monts de Saïda fait partie du domaine Tlemcénien. Ce domaine a été défini par (Elmi ,1973) comme étant "un sillon intracratonique subsident et relativement profond", de forme polygonale, il est limité au Nord, par la dépression miocène, au Sud, par le môle résistant des Hautes Plaines oranaises, à l'Est, par la transversale NNE-SSW d'El Bayadh-Tiaret (Lucas, 1952 ; Elmi, 1978) qui le sépare du domaine Pré-atlasique et à l'Ouest, par le domaine rifain et la bordure septentrionale du Moyen Atlas marocain.

Les principales structures du domaine Tlemcénien sont orientées N-70° et déviées par des décrochements N-10° et N-20°, parallèles aux transversales définies par Lucas (1942, 1952) ; Glangeaud (1951), Guardia (1970, 1975) et Elmi (1970, 1973, 1978, 1982). Ces transversales découpent ce domaine en plusieurs panneaux qui sont, de l'Ouest vers l'Est (Elmi; 1978): le panneau de Guercif, le panneau des Béni Snassen, Traras, Monts d'Oujda et de Rhar Roubane, le panneau des Monts de Tlemcen et de Daïa et le panneau des Monts de Saïda (Fig. 3).



LEGENDE

1/500 000°

- Quaternaire et Tertiaire**
- A: alluvions actuelles: lacs-marecages-dayas-chotts-sebkhas-limons et croûtes gypso-salines
  - D: dunes récentes
  - qt: Quaternaire continental (alluvions - regs - terrasse)
  - pc: Pliocène continental (poudingues-calcaires lacustres)
  - mc et mp: Miocène continental
- Crétacé**
- ci cir cic : Crétacé inférieur (Vraconien-Berriasien)
  - cm : en ct : Crétacé moyen, en : Cénonien; ct : Turonien
- Jurassique**
- js : Jurassique supérieur; js1 Oxfordien à Callovien, js2 Lusitanien, js3 Portlandien et kimmeridgien (+ Berriasien)
  - jm : Jurassique moyen
  - ji : Jurassique inférieur; ji1: Rhétien à Lotharingien, ji2: Domérien et Pliensbachien, ji3: Toarcien à Aalénien
- Trias**
- ω roches magmatiques (basaltes) associées au Trias
  - t Trias argilo-gypso-salin

**Fig. 03 :** Carte géologique des Mont de Saïda (Extrait de la carte de l'Algérie (Cornet et al.,1951).

## 2. Cadre stratigraphique

L'intervalle Callovo-oxfordien dans le domaine étudié est représenté surtout par la Formation des Argiles de Saïda définie par Atger et Verdier, (1965) dans la région de Sidi Kada (ex. Kechrou, SE de la ville de Mascara).

Cette formation est largement citée et décrite par nos précurseurs (*e.g.* Auclair et Biehler, 1967 ; Elmi et Benest, 1978). Elle correspond à une succession argilo gréseuse interrompue par d'importants niveaux carbonatés.

Les limites de la formation ont été mises en évidence par Elmi et Benest (1978) : la limite inférieure est placée dans le Callovien inférieur (Zone à Kamptus- Zone à Gracilis) ; la limite supérieure a été placée à partir de l'Oxfordien inférieur dans les Monts de GharRoubane et les Monts de Saïda, alors que pour les Monts de Frenda et jusqu'à l'état actuel, seul l'Oxfordien moyen qui a été reconnu, notamment avec la Zone à Plicatiles (Sapunov, 1973).

Un massif grésio-quartzitique rouge à ammonites d'âge oxfordien supérieur (Fenet, 1975). Elle peut être également représentée dans les unités telliennes (Pic de Tafarroui) par « l'Ensemble équivalent dans le Tell septentrional serait les « Grès chocolatés » dans le parautochtone tellien (Massif d'Oran et d'Arzew), correspondant à un ensemble schiste détritique à ostracodes ? » (Fenet, 1975). Dans le domaine pré-atlasique, l'équivalent de la Formation des Argiles de Saïda serait représenté par les « Grès de Sidi Saâdoun » et les « Argiles de Faïdja » (Caratini, 1970 ; Atrops & Benest, 1981).

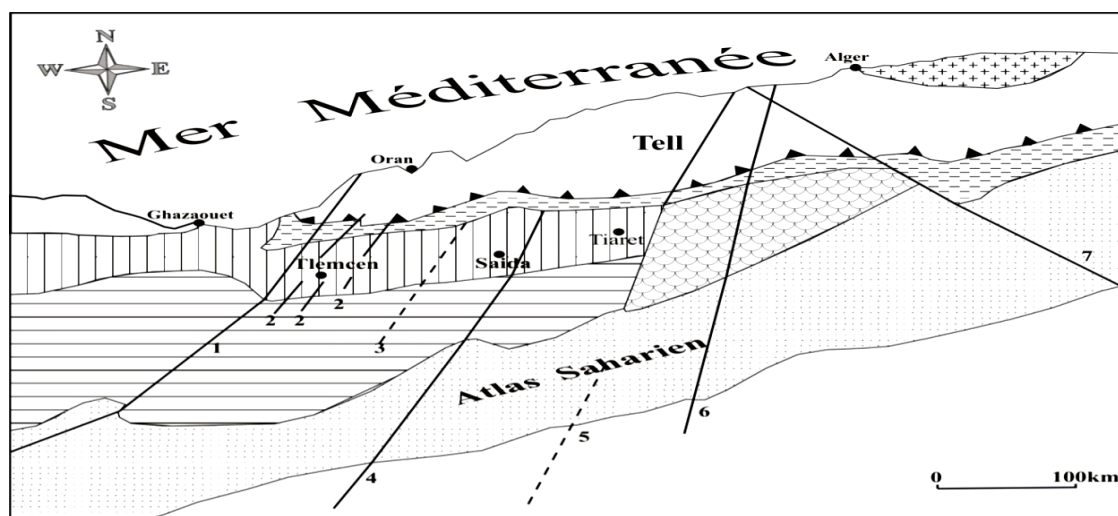
Nous avons pu reconnaître que la Formation des Argiles de Saïda est datée du Callovo-Oxfordien, Dans notre région d'étude, la Formation des Argiles de Saïda est une entité uniforme, comportant les mêmes grands traits lithologiques dans tout le domaine tlemcenien.

## 3. Cadre structural

Les Monts de Saïda s'intègrent dans le domaine Tlemcénien qui s'étend depuis le Maroc oriental jusqu'aux Monts de Tiaret (Fig. 04). Il correspond à une bande large de 100 km environ qui s'étend sur 350 km. Elle est grossièrement orientée Ouest-Est, limitée au Nord par le domaine tellien, au Sud par les Hautes Plaines oranaises (Elmi, 1976, 1982 ; Elmi et Benest, 1978) et à l'Est par le Djebel Nador.

Les Monts de Saïda sont affectés par une tectonique cassante représentée essentiellement par des failles qui traversent l'ensemble Jurassique supérieur - Crétacé inférieur.

Entre le domaine tlemcénien au Sud et le vrai domaine tellien (alpin) au Nord se place une dépression orientée Est-Ouest comblée par des sédiments miocènes et quaternaires correspondant sur le plan structural à ce que Caire (1970) appelle les « avant-fosses miocènes ».



**Légende:**

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  | Domaine alpin                          | 1- Transversale de la Tafna                      |
|  | Noyaux rifo-Kabylies                   | 2- Principaux décrochements des Monts de Tlemcen |
|  | « Avant -fosse » Miocène               | 3- Transversale d'Ain Tellout                    |
|  | Domaine tlemcénien                     | 4- Transversale d'Ain Sefra Saida                |
|  | Nador(évolution mixte)Rides prérfaines | 5- Transversale Le Bayad Tiaret                  |
|  | Hautes plaines oranaises               | 6- Transversale de Teniet Elhaad                 |
|  | Domaine atlasique                      | 7- Cicatrice Aures-Hodna                         |

**Fig. 04:** Les grands traits structuraux de l'Algérie occidentale (Elmi *et al.*, 1984).

#### IV. HISTORIQUE DES TRAVAUX

Dans cette étude, nous mentionnerons les principaux travaux effectués sur les dépôts détritiques du Callovien - Kimméridgiens, aussi bien en Algérie Occidentale, qu'au Maroc Oriental, c'est-a- dire, dans les domaines paléogéographiques Tlemcénien.

❖ **En 1965, Atger et Verdier** utilisent pour la première fois le terme « Argiles de Saida », pour désigner des niveaux argilo-gréseux du Jurassique supérieur, affleurant entre la ville de Mascara et de Saida.

❖ **En 1967, Auclair et Biehler** publient une synthèse des travaux effectués depuis 1955 par la Société Nationale de la Recherche et d'exploitation des pétroles en Algérie (S. N. Repal). Cette synthèse englobe une étude lithostratigraphique et structurale sur les "Hautes Plaines oranaises", entre Tlemcen à l'Ouest, Saida à l'Est, Sidi Bel-Abbes au Nord et El Aricha au Sud. Ils estiment que les "Grès de Franchetti" (équivalents latéraux des « Grès de Bou Medine » des Monts de Tlemcen et de Rhar Roubane).

❖ **Augier**, au cours de **la même année**, dans son étude sur la couverture sédimentaire des Hauts Plateaux, Cet auteur distingue deux époques. La première correspond aux dépôts des “Argiles de Saida” dans les Monts de Tlemcen-Saida, issus du premier chenal et aux formations équivalentes (“Grés du Nador” et membre inférieur des “Argiles de Faidja”) du Djebel Nador de Tiaret, issus des deux autres chenaux. La seconde époque caractérise la mise en place de la formation des “Grés de Franchetti”, dans la région de Saida (Sidi Amar) et du membre supérieur des “Argiles de Faidja” dans le secteur de Djebel Nador de Tiaret, faciès latéral équivalent aux “Grés de Bou Medine” des Monts de Tlemcen- RharRoubane.

❖ **Benest et Elmi**, à la tête d’une équipe de chercheurs de l’Université Claude Bernard (Lyon I - France) apportent des 1969, des précisions sur la stratigraphie du Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des Monts de Tlemcen. Ils donnent une description de la formation des “Argiles de Saida” dans la région de Sebdou (Sidi Yahia Ben Sefia) et une datation du Callovien inférieur par la faune d’ammonite.

❖ **Caratini, 1970** désigne une succession datée de l’Oxfordien-Kimmeridgien *p.p.* par le terme de “Série inférieure détritique” dans les Monts de Chellala.

❖ **Elmien 1971**, dresse une zonation basée sur les ammonites des terrains du Bajocien supérieur - Callovien de l’Oranie (Monts des Traras, de Tlemcen et de Saida).

❖ **Delfaud en 1973**, attribue à la formation des “Argiles de Saida” son “faciès alternant atlasique”, considéré la formation des argiles de Saïda comme des assises deltaïques, avec de larges influences intertidales. Il les fait correspondre à la partie distale du “Continental Intercalaire”.

❖ **Guardia et Fenet, 1975** retracent le cadre structural et paléogéographique du Domaine tellien de l’Algérie Nord occidentale et donne le nom de “Groupe greso-pélique médian” à la formation des “Argiles de Saida”. Fenet la désigne par celui de “Formation argilo-gréseuse” dans les massifs de Kibdana et d’Oran.

❖ **Elmi et Benest 1978**, Sur le plan sédimentologique, considèrent les “Argiles de Saida” comme étant une formation flyschoides dont le dépôt a été influencé, jusqu’à l’Oxfordien inférieur, par des régimes turbides.

❖ **En 1979, Touahria** apporte de nouvelles précisions biostratigraphiques de la base de la Formation des Argiles de Saïda du Callovien. Elle considère la formation “des Argiles de Saida” comme étant de "type flysch" et déposée dans des bassins soumis à des phénomènes de distension.

❖ **Bendella et al. (2011)** ont étudié l'aspect sédimentologique et ichnologique des affleurements de la Formation des Argiles de Saïda du Djebel Brame situé au Nord du village de Takhemaret. Lithostratigraphiquement, la formation a été subdivisée en deux ensembles : argilo-gréseux et argilo-gréso-carbonaté. Le premier correspond à un milieu d'offshore au-dessous de la limite d'action des tempêtes (LAT) et le deuxième a été rapporté à un milieu de shoreface marqué par des phases d'émersion.

❖ **Cherif et al. (2015)** ont publié une étude sur la formation des Argiles de Saïda dans la région de Takhemaret, comportant de nouvelles données biostratigraphiques, ichnologiques et sédimentologiques.

❖ **Cherif 2017** dans sa thèse a présenté des nouvelles données sur le plan lithostratigraphique, biostratigraphique, sédimentologique et paléoenvironnementale des dépôts de la Formation des Argiles de Saïda de la partie orientale du domaine tlemcenien.

❖ **En 2021, Ziouit et al.,** ont publié une étude micropaléontologique sur les foraminifères de la Formation des Argiles de Saïda du Djebel Brame ; cette étude présente des nouvelles données surtout sur le plan paléoécologique.

***PARTIE II***  
***ETUDE GEOLOGIQUE***



# I. DESCRIPTION LITHOSTRATIGRAPHIQUE

## 1. INTRODUCTION

Afin de suivre l'évolution paléoenvironnementale des dépôts sédimentaires de la série de Djebel Ben Kmer, une analyse lithologique et microfaunistique a été établie à partir de levé de coupe géologique choisie dans le secteur d'étude. Le choix de la coupe a été guidé par la qualité d'affleurement, c'est-à-dire là où le maximum de faciès a été observé. Le découpage lithostratigraphique est basé sur des critères lithologiques, stratigraphiques et granulométriques. Cette partie est surtout descriptive basée sur le lithofaciès, le biofaciès et le chromofaciès.

## 2. LES GRANDES LIGNES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE LA REGION

Les Monts de Saïda montrent une histoire géologique complexe, allant du Paléozoïque (mêle de Tiffrit) jusqu'au Cénozoïque. A partir des anciens travaux on a pu établir la succession des formations suivantes (Lucas, 1952 ; Elmi, 1972 et Touahria, 1979) :

### 2.1 Les Couches de Ben-Kmer

Cette formation est attribuée au Bajocien supérieur (Elmi, 1972). Elle correspond à un ensemble argilo-calcaire bleuté, surmontant une alternance de marnes et des bancs calcaires argileux.

➤ **Les "calcaires microgréseux"** (30 à 40 m) : cette formation est attribuée également au Bajocien supérieur, elle se compose de bancs grésopelitiques à patine ocre.

### 2.2 Les Calcaires à ovoïdes

C'est une brèche phosphatée et ferrugineuse à ammonites. Elle est d'âge Callovien inférieur (Lucas, 1952), il s'agit principalement de structures stromatolithiques de grande dimension (Ouardas, 1983). Ces derniers ont la structure des oncolites quelconques et leur taille varie de quelques millimètres à plus de 10 cm. Localement, ils peuvent être très abondants d'où l'aspect de brèche évoqué par (Lucas, 1952). Ils sont aussi parfois imprégnés d'oxydes de fer et de phosphate. Parfois très réduit, ce niveau atteint une épaisseur maximum de 1,10m. En cet endroit, il se subdivise en trois parties, de base en haut :

- Un calcaire à grains de quartz (0,85m)
- Un calcaire à oolithes ferrugineuses, à galets de fer et à ammonites parfois remaniées en galets (0,04 à 0,15m) ;
- Un calcaire vert clair légèrement spathique (0,10m).

Les « ovoïdes » peuvent disparaître localement et sont alors remplacés par des oolithes ferrugineux. L'âge de ces calcaires est Callovien inférieur.

## **2.3 Les Argiles de Saïda**

### **2.3.1 Définition**

Cette formation se présente sous forme d'une alternance de bancs gréseux et d'assises marno-argileuses attribuée stratigraphiquement au Callovo-Oxfordien (Lucas; 1942, 1952; Atger & Verdier, 1965; Auclair & Biehler, 1967; Delfaud, 1973; Mangold & *al.*, 1974; Elmi & Benest, 1978).

Les travaux de Mangold & *al.* (1974) ont montré que la base des "Argiles de Saïda" est hétérochrone dans tout le domaine des Hautes plaines. Elle est plus précoce de l'Ouest vers l'Est. Dans les Monts de Ghar Roubane (Elmi & Benest, 1978), la sédimentation débute dès le Callovien inférieur. Par contre, dans la région de Saïda, elle ne commence qu'à partir du Callovien moyen. Dans le secteur de Djebel Ben-Kmer, la sédimentation argilo-gréseuse ne commence qu'à partir du Callovien moyen.

La limite supérieure de cette formation se place sous les premiers bancs gréseux de la base des « Grès de Bou-Médine » caractérisés par de gros bancs avec des chenalizations.

### **2.3.2 Composition**

Il s'agit d'une alternance de bancs gréseux et de niveaux argileux ou marneux. La nature lithologique de la base des « Argiles de Saïda » est variable. Au Dj. Ben-Kmer, la partie inférieure correspond aux premières couches argileuses qui reposent sur les calcaires à ovoïdes par l'intermédiaire d'une surface de discontinuité; ce niveau fossilifère a livré des ammonites sous forme de galets remaniés.

Pour la cartographie de détail les « Argiles de Saïda » ont été subdivisées en deux membres dans la région de Saïda (Touahria, 1979) :

- *Un premier membre argilo-pélimitique* ; ce sont surtout des marnes avec des intercalations de plaquettes calcaires parfois gréseuses.

- *Un deuxième membre également argileux*, affleure dans Oued Rouha ; il renferme plusieurs niveaux de nodules ferrugineux et des ammonites pyriteuses ; vers le sommet de cette formation, des bancs noduleux de calcaire micritique blanc apparaissent.

Le premier et le second membre sont séparés par un banc de grès assez grossier, très légèrement calcaire qui présente des figures de charge au mur. Vers le sommet apparaissent des traces de végétaux, le toit est caractérisé par des terriers, par des traces bilobées déjà reconnues par Pomel (1890).

## **2.4 Les Grés de Bou-Médine**

Cet ensemble est caractérisé essentiellement par la présence de grès à stratifications entrecroisées affectés par des chenalisations et admettent des intercalations d'argiles versicolores de puissance très variable.

Dans la partie sommitale, les grès de Bou-Médine contiennent des passées calcaires néritiques bien décrites par (Lucas, 1942) dans les Monts de RharRoubane ; Auclair et Biehler (1967) les signalant aussi au col de Zarifet près de Tlemcen où elles se placent près du sommet de la formation; ils notent la présence d'oolithes associées à des gastéropodes, des échinodermes, des lamellibranches, des polypiers, des algues et des foraminifères.

## **3. ETUDE LITHOSRATIGRAPHIQUE**

### **3.1 Localisation de la coupe (Fig.05)**

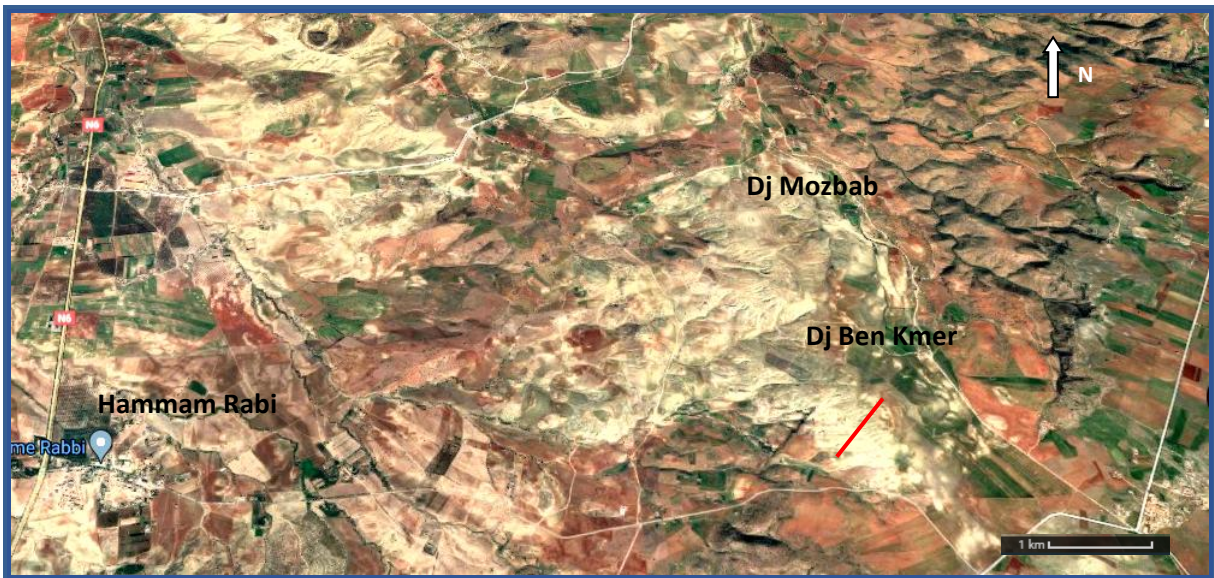
La coupe de Djebel Ben Kmer se situe à environ 5 km des Eaux Chaudes (Hammam Rabi) dans la partie haute des torrents de l'Oued Rouha qui entaille le flanc occidental de Djebel Ben Kmer. Le contacte entre les Argiles de Saida et leur substratum et particulièrement bien exposé à une hauteur d'une cascade, de base en haut. Elle orientée SW-NE et elle a pour coordonnées Lambert :

X1=275.700

X2= 276.000

Y1= 184.800

Y2=185.100



**Fig. 05 :** Localisation et trait de coupe de Djebel Ben Kmer (Extrait Image Google 2021).

### **3.2 Description et découpage lithostratigraphique (Fig.06 et 07)**

D'une façon générale, l'affleurement offre une bonne visibilité de la succession lithologique et présente une certaine analogie faciologique. Sur la base des critères lithologiques et la géométrie des corps sédimentaires, on peut identifier quatre formations distincts qui sont de bas au haut comme suit :

#### **3.2.1 Formation des couches de Ben Kemer (calcaire argilo-marneux)**

Cette formation est débutée par une combe marneuse grisâtre induré d'ordre centimétrique, elle est surmontée par une alternance calcaires d'aspects micritiques parfois silteux ou argileux et marnes indurés.

L'un de ces niveaux est représenté par un calcaire finement silteux, avec des fissures remplies par la calcite.

La stratonomie de ces alternances est d'ordre millimétrique, centimétrique à métrique, discontinus latéralement (biseauté vers le Sud).

#### **3.2.2 Formation Calcaire à ovoïdes**

Elle est représentée par des bancs stratocroissants (0,3 à 0,7) de calcaires stromatolithiques ou ovoïdique de petite cascade, ils renferment de faunes (Rostes de bélemnites et des ammonites) ; cette formation est subdivisée en trois unités :

- **Unité 01** : Calcaire argileux à ovoïdes d'épaisseur 0.30m.
- **Unité 02** : Niveau marneux irrégulier à grand ovoïdes d'épaisseur est estimé à 0.05m.
- **Unité 03** : calcaire à ovoïdes de couleur verdâtre d'ordre centimétrique.

### **3.3 Formation d'Argile de Saïda**

Cette formation est subdivisée en deux membres :

#### **3.3.1. Membre inférieur : argilo-gréseux carbonaté**

La base de ce membre est marquée par un mince niveau marno- gréseux, leur couleur est verdâtre.

Ce membre montre une alternance argileuse gréseuse à intercalation carbonatés. Les bancs gréseux sont parfois massifs alternés avec des combes d'argiles ou marne de couleur verdâtre. Les niveaux calcaires sont plus ou moins argileux verdâtres ou rougeâtres sombres par la limonite d'aspect micritique. La stratonomie des niveaux est millimétriques, centimétriques à métriques.

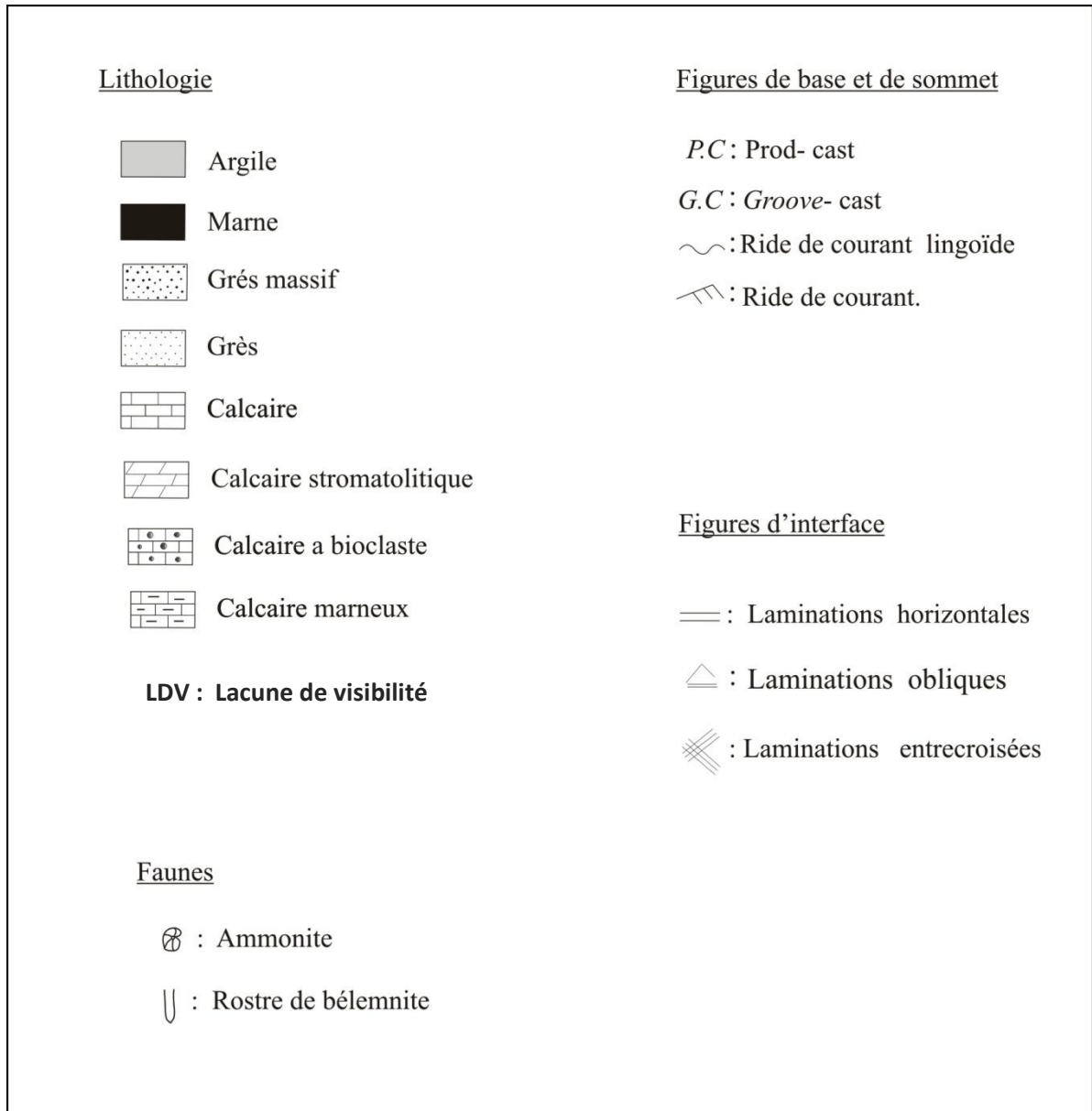
Il est à noter que la faune est beaucoup plus riche en comparaison avec la formation précédente (rostres de bélemnite, ammonites).

#### **3.3.2. Membre supérieur : argilo-gréseux**

Le matériel silico-clastique de membre supérieur s'empile en bancs de grés à grains fins, à ciment argilo-calcaire d'ordre centimétrique, décimétrique (0.03 à 0.05m) à métrique où la structure interne est généralement caractérisée par des figures sédimentaires telque les stratifications obliques.

### **3.4 Formation Grés de Bou-Médine**

Cette formation est apparue dans la nature sous forme d'une grande masse, constituent le sommet de Djebel Ben Kmer (visible sur environ 2 m), elle est formée essentiellement par des bancs de grés massifs, à grains grossiers. Cette formation est également caractérisée par des stratifications entrecroisées.



**Fig. 06 :** Liste des figurés et des abréviations utilisées.


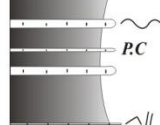
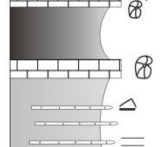
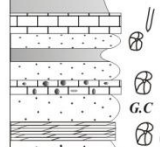
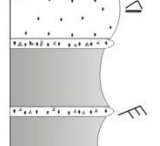
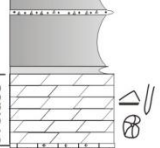
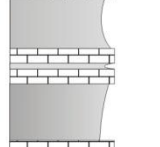
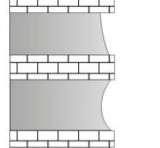
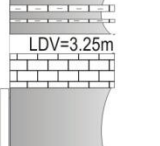

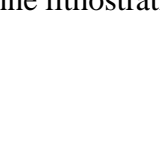

Age	Stratigraphie		Colonne lithologique	Ech	Macrofaune					Descriptions																																																																																																																													
	Formations	Membre			Ammonite	Bélemnite	Bivalve	Brachiopode	Echinoderme																																																																																																																														
OXFORDIEN		Grés de Bou Medien								Grés grossier, massif																																																																																																																													
										Alternance argile grés à figure sédimentaire																																																																																																																													
CALLOVIEN	Argile de Saida	MEMBRE SUPERIEUR		11 10 9 8	•	•				Alternance marneux gréseuses à intercalation par fois carbonaté Ammonite et beliminite																																																																																																																													
											MEMBRE INFÉRIEUR		7 6 5 4	•	•	•	•	•																																																																																																																					
			3 2 1	•	•	•	•	•																																																																																																																															
																																																																																																																																							

Fig. 07: Colonne lithostratigraphique de la coupe de Djebel Ben Kmer.

#### 4. SYNTHÈSE BIOSTRATIGRAPHIQUE

La répartition biostratigraphique de la macrofaune et microfaune de foraminifères relève de bas en haut, la succession suivante :

##### 4.1 Les « couches du Ben-Kmer »

Ils sont bien datés du Bajocien supérieur. Les niveaux argileux avec les microfaunes de foraminifères à test hyalin où la famille Nodosariidés représente le groupe le plus dominant.

##### 4.2 Les « calcaires à ovoïdes »

Les calcaires argileux à ovoïdes représentent sous forme des avec des niveaux calcaires très irrégulier à grands « ovoïdes » ferrugineux et manganifères ; ils se présentent sous formes de galettes aplaties, leur taille peut dépasser 10 cm. La faune est rare, elle est représentée par l'ammonites : *Parapatoceras* sp, *Indosphinctes* sp , *Reineckeia (Reineckeia) stuebeli* (STEINM.) et des fragments d'ammonites : *Holcophylloceras mediterraneum* (NEUM.), *Hecticoceras (Prohecticoceras)* sp, *Choffatia (Subgrossouvria)* sp, *Reineckeia (Reineckeia)* sp, *Reineckeia (Collotia)* sp. Les ammonites des niveaux permettent de reconnaître le sommet de la zone à Gracilis (sous-zone à patina).

##### 4.3 Les Argiles de Saïda

La base des « Argiles de Saïda » est marquée ici par des niveaux marneux. La faune y est plus riche qu'au-dessous. Il s'agit encore d'une faune du Callovien moyen (**Zone à Coronatum**) (d'ORBIGNY, 1852) Espèce-indice : *Erymnoceras coronatum* (BRUGUIERE d'ORBIGNY), utilisée uniquement comme indice en province sub-méditerranéenne.

La faune caractéristique marquée par l'apparition des *Pachyceratidae (Erymnoceras)* avec des *Lunuloceras*, *Putealiceras*, *Reineckeidae*, *Flabellisphinctes* et *Kosmoceras*. La microfaune représentée par une association de foraminifères riche en formes agglutinants, mais toujours largement dominé par les Nodosariidés. Elles sont accompagnées par d'autres formes nouvelles, caractéristiques du Callovien.

Vers le sommet de la formation l'ensemble de la faune récoltée dans les niveaux est caractéristique de la zone à Athleta (d'Orbigny, 1852, Oppel, 1857 sensu Callomon, 1962, paru 1964), un renouvellement faunique d'ammonites s'opère avec des *Reineckeidae (Collotites et Loczyeras* à double rangée de tubercules latéraux) et des *Kosmoceras* à côtes fasciculées ; disparition des *Erymnoceras* remplacés par les *Pachyerymnoceras*, continuité des *Peltoceratinae* avec *Pseudopeltoceras* et *Peltoceras*. Les niveaux sont riches en foraminifères, les agglutinés (*Trochammina*) ainsi que la forme planctonique (*Globuligerina*) se développent dans ces milieux riches en matériel terrigène.



## **II. MILIEU DE DEPOTS ET ANALYSE SEQUENTIELLE**

### **1. Introduction**

Cette partie est consacrée à l'analyse des résultats sédimentologique, paléontologique et de l'interprétation des différents faciès rencontrés dans la région d'étude. A ce titre, il est considéré comme une étape déterminante de cette étude en ce sens qu'il nous permet de mettre en évidence le milieu et les conditions de dépôt ayant présidé à la formation de la couverture sédimentaire dans cette région.

### **2. Milieu de dépôts**

- **Faciès**

#### **2.1 Définition**

Le terme faciès est utilisé pour la première fois par Stenon, 1669, c'est un mot latin qui signifie l'aspect. Il est défini comme une catégorie dans laquelle on peut ranger une roche ou un terrain et qui est déterminée par un ou plusieurs caractères lithologiques (lithofaciès) ou paléontologiques (biofaciès), ex : faciès gréseux, faciès carbonatés (calcaires stromatolitiques), faciès des marnes à foraminifères. Ce terme est également employé pour désigner une catégorie correspondante à un milieu ou à un domaine de sédimentation, ex : faciès récifale (Gressly, 1838).

#### **2.2 Inventaires et interprétation des faciès de la région d'étude**

La description des faciès et leur interprétation sera basée sur la lithologie, l'épaisseur des bancs, la stratonomie, les dimensions des grains (granulométrie), la couleur (chromofaciès) et les figures sédimentaires hydrodynamiques qui permettront la détermination des environnements de dépôts. D'une manière générale, et à partir de ces critères cités on peut énumérer quatre (04) faciès principaux qui caractérisent les quatre formations et qui sont:

##### **2.2.1 Faciès 1 : Les marnes (M)**

###### **a) Description et définition**

C'est le faciès le plus dominant, dans la région d'étude, Ils se forment souvent des masses qui peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseurs. Ce faciès marneux est de couleur claire (verdâtre, grisâtre). Il se présente également en minces niveaux indurés (interbancs) intercalés avec d'autres faciès (grés/calcaires).

Par ailleurs, la fraction biogène est remarquable par l'abondance des foraminifères de formes benthiques, rare forme planctonique et la présence de divers restes, complètes ou fragmentés, d'ammonites et bélemnites.

### **b) Interprétation**

Ils correspondent à un dépôt mis en place par l'interaction de processus chimico-physiques. Il s'agit d'une précipitation chimique de carbonate (ou biochimique), contrôlée par la décantation d'une fraction détritique, pendant des périodes de calme relatif. Il peut être considéré comme des pélagites de faible densité et vitesse de courant (Chamely, 1988).

### **2..2.2 Faciès 2 : Les argiles (A)**

#### **a) Description et définition**

Ce faciès occupe la partie sommitale de la formation de Saida, il forme une combe qui peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseurs. Ce faciès argileux est de couleur verdâtre, jaunâtre et parfois rougeâtre. Il se présente également en minces niveaux (interbancs) intercalés avec d'autres faciès.

#### **b) Interprétation**

Les argiles sont des faciès détritiques. La mise en place des particules fines en suspension s'effectue par le phénomène de floculation et de décantation de ces flocons (Cojan & Renard, 1999). Pendant des périodes de calme relatif ou après la diminution de la vitesse du flot hydrodynamique responsable du dépôt des particules grossières. Ils peuvent être considérés également comme des pélagites et hémipélagites dues à une décantation profonde de la phase boueuse (Shanmugam, 1997).

### **2..2.3 Faciès 3 : Les grès (G)**

Ce faciès prend sa place dans la formation médiane et la partie terminale de la coupe. Il s'agit des bancs gréseux centimétriques à métriques et parfois millimétriques, généralement affectés par des figures d'origine hydrodynamique (d'interfaces et de surfaces). Ce faciès peut être subdivisé en :

- **Sous faciès de grès à laminations horizontale (GLH)**

#### **a) Description et définition**

Il caractérise la partie médiane de la formation d'argile de Saïda. Ce sont des niveaux gréseux de couleurs jaunâtres ou rougeâtres, centimétriques, à grains fins. Les figures hydrodynamiques sont marquées surtout par des laminations horizontales et des rides de courant.

## **b) Interprétation**

Ce mode de faciès se met en place sous l'effet d'un régime hydrodynamique (courants unidirectionnels) supérieur (Harms, 1975; Reineck & Singh, 1982; Pattison, 2005). Ce faciès est très significatif d'un environnement littoral peu profond influencé par les courants de tempête.

- **Sous faciès de grès à laminations obliques (GLO)**

### **a) Description et définition**

Il est rencontré dès la formation d'argile de Saïda, ce faciès présente des bancs gréseux, d'ordres centimétriques à métriques à grains fins, s'organisant en laminations obliques de petite ampleur.

## **b) Interprétation**

Ce mode de faciès se met en place sous l'effet d'un régime hydrodynamique (Ecoulement instable (Allen, 1973)), courants Unidirectionnels emportant l'écoulement oscillatoire (Buatois *et al.*, 2000), écoulement combiné (Pattison, 2005)). Ce faciès est très significatif d'un environnement littoral peu profond influencé (Nottvedt & Kreisa, 1987 ; Arnott, 1992).

- **Sous faciès de grès en plaquettes (GP)**

### **a) Définition**

Ce type de faciès gréseux correspond à des bancs centimétriques à millimétriques occupant la partie sommitale de la formation d'argile de Saïda, il s'agit des grès à grains fins, formés par la superposition de lits gréseux minces. Il est souvent associé à des grès à laminations obliques.

## **b) Interprétation**

Les grès en plaquettes sont interprétés comme étant le résultat d'un courant unidirectionnel à régime de flot supérieur, ou un courant oscillatoire, ou peut-être même combiné (Harms *et al.*, 1982 ; Snedden *et al.*, 1988). Le milieu idéal pour la production de ce sous faciès est le «*Shoreface* » dans sa partie la moins profonde. (Reineck et Singh, 1980 ; Walker, 1984 ; Brenchley *et al.*, 1986 ; Johnson et Baldwin, 1986).

- **Sous faciès des grès massifs (GM)**

- a) Description et définition**

Ce faciès Les grès en plaquettes sont interprétés comme étant le résultat d'un courant unidirectionnel à régime de flot supérieur, ou un courant oscillatoire, ou peut-être même combiné (Harms et *al.*, 1982 ; Snedden et *al.*, 1988). Le milieu idéal pour la production de ce sous faciès est l'ocupe, essentiellement, la partie sommitale de la coupe. Il correspond à des bancs métriques, à grains grossiers d'aspect massif. Ces grès sont associés avec des stratification entrecroisées.

- b) Interprétation**

La sédimentation de ce faciès résulte d'un hydrodynamisme relativement puissant et rapide à partir d'un matériel en suspension (Pickering & *al.*, 1989 ; Mulder & Faugères, 2001). Le transport, de cette décharge silico-clastique est assuré par un écoulement de turbidité concentré et de haute densité (Lowe, 1982 ; Mutti, 1992 ; Mulder & Alexander, 2001).

Les laminations entrecroisées sont le résultat de la combinaison de deux courants différents. En général ce type de laminations se forme sous l'action d'un courant bidirectionnel dans un milieu peu profond qui peut correspondre aux barres de déferlement.

#### **2..2.4 Faciès 4 : Les calcaires (C)**

Les calcaires se présentent sous forme de niveaux d'ordres centimétriques à métriques verdâtres et parfois rougeâtres. Ces niveaux apparaissent sous plusieurs formes : bancs calcaires à fossiles, bancs calcaires à stromatolithes.....etc. Ce faciès peut être subdivisé en :

- **Sous faciès de calcaires à stromatolithes (CST)**

- a) Description et définition**

Ce faciès occupe, essentiellement, la partie inférieure de la formation de Saïda. Il correspond à des niveaux centimétriques à métriques verdâtres, renferment des lamines algaires stromatolithiques à grands oncolithes ferrugineux. Ces niveaux contiennent des ammonites et des bélemnites.

- b) Interprétation**

Les structures stromatolithiques sont généralement formées par plusieurs espèces de micro-végétaux filamenteux vivant en communautés complexe, leur disposition fondamentale est un mince tapis à la surface du sédiment. Dans les milieux actuels, ces tapis vivants forment souvent une zone de plusieurs centaines de mètres de large et marquent la limite des hautes marées ( Purser, 1980),dépôt à la limite d'action des vagues de tempêtes sur des plateformes peu profondes (Gonzalez, 1993, 1996).La couleur rougeâtre représente l'effet de la pyritisation en indiquant un milieu plus ou moins profond (Elmi et Ameur, 1984).

- **Sous faciès de calcaires micritiques (CMI)**

- a) **Description et définition**

Il apparaît sous forme de bancs verdâtres ou rougeâtres, d'épaisseurs millimétriques à centimétriques, présentant sporadiquement des laminations obliques, ou des lits bioclastiques (ammonites, bélemnites).

- b) **Interprétation**

Ce faciès correspond à une période d'eaux calmes et/ou tempêtes, en dessous de la limite des vagues de tempêtes, déposés sur des plateformes protégées (Gonzalez, 1996; Dupraz, 1999), à la suite de tempêtes (Buatois *et al.*, 2000). L'indication de cet aspect est l'action de tempêtes dans un milieu de plate-forme (*Shoreface inférieur / Offshore supérieur*) (Kumar et Sandres, 1976; Simpson et Erikson, 1990).

- **Sous faciès calcaires bioclastiques (CB)**

- a) **Description et définition**

Ce sous faciès se manifeste dans la formation d'argile de Saïda. Il s'agit des calcaires d'épaisseur centimétrique à métrique. Ils renferment des bivalves ; des échinodermes ; des brachiopodes ; des ammonites et des bélemnites associées parfois à des concrétions ferrugineuses des ammonites.

- b) **Interprétation**

Ce faciès peut être interprété comme étant indicateur d'un milieu plus ou moins agité interrompu par des décharges carbonatées et bioclastiques. Les faunes benthiques (bivalves, brachiopodes...) indiquent une bathymétrie moins profonde. Ce faciès correspond à une séquence de tempêtes grano-décroissante (*fining up*) (Seilacher, 1982 ; Brenchely *et al.*, 1986). Ce faciès serait mis en place par des courants de houle et de tempête (Futterer, 1982). Les caractères sédimentologiques et faunistiques de ce dépôt caractérisent un milieu à fort hydrodynamisme et à faible profondeur.

- **Sous faciès de calcaires marneux (CM)**

Correspond à des bancs de calcaires contenant un pourcentage d'argile qui est mal connu. Ils se manifestent presque sur toute la coupe.

- **Associations de faciès et Milieu de dépôt (Fig.08)**

L'étude et l'interprétation d'un seul faciès ne peut pas déterminer le milieu de dépôt (Homewood & *al.*, 1992). Alors on définit celle-ci par l'association de plusieurs faciès (Guillocheau, 1991).

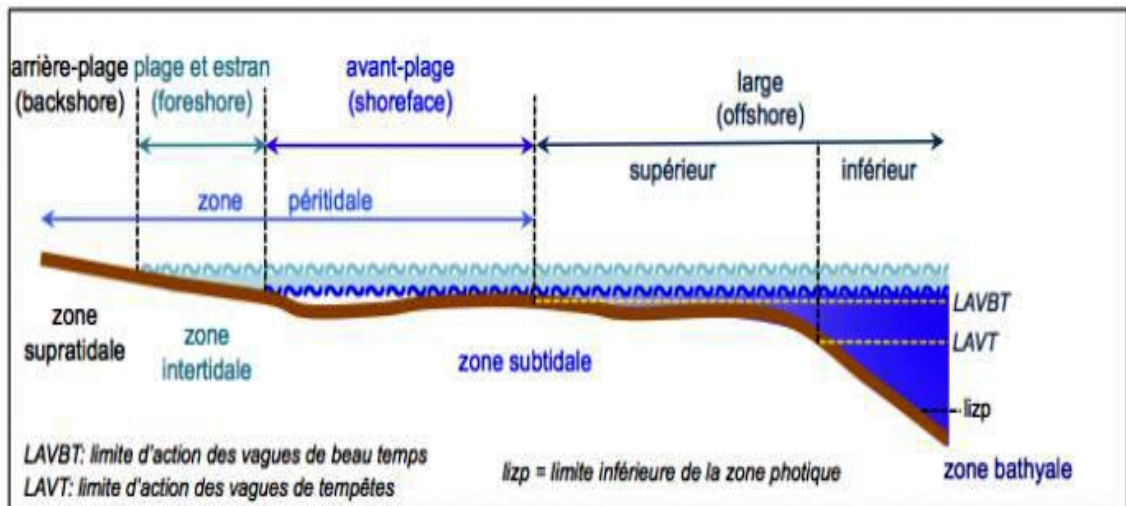
Dans la succession étudiée, les différents faciès inventoriés sont regroupés en trois associations faciologiques distincts. Chacune de ces associations indique des conditions environnementales différentes et qui sont de bas en haut :

## 2..1 Association I

Cette association occupe la formation inférieure (couche Ben Kmer) d'âge Bajocien supérieur, de la série Djebel Ben Kmer. Elle est matérialisée par des combes marneuses (**M**) azoïques traduisant de longues périodes de quiescence courantologique. Elles sont de couleurs variées (verdâtres, grisâtres), perturbées, de temps à autre, par des apports carbonatés (**CM** et **CMI**).

Les derniers bancs calcaires marneux (**CM**) présentent une discontinuité latérale (biseauté vers le sud). L'absence des fossiles suggère à leurs conditions défavorables à leur développement, ce scénario peut être lié à l'action violente des courants (étouffement) ou à un taux de sédimentation élevé. Ce matériel constitue probablement des conditions stressantes environnementales.

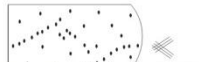
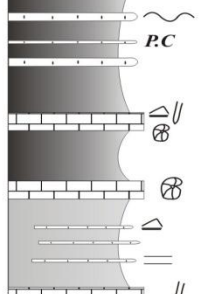
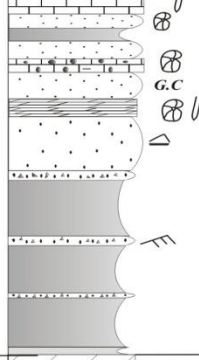
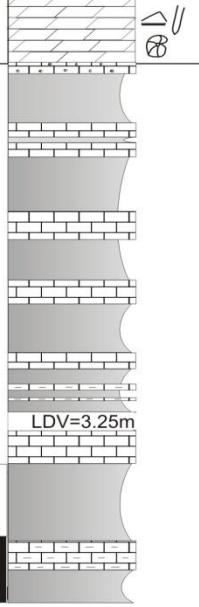
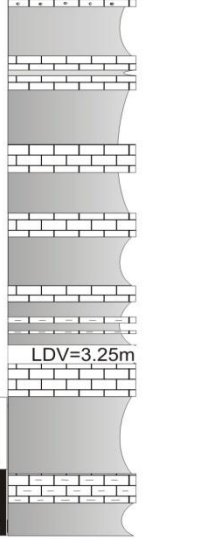
L'environnement favorable qui permet l'installation de ce type d'association correspond à un milieu profond, qui peut aller de **Shoreface inférieur** à **Offshore supérieur**.



**Fig. 08:** Esquisse des zonations bathymétriques des environnements de dépôts de plate-forme (d'après Pérès, 1961 ; Pérès & Picard, 1964).

## 2..2 Association II

Cette association de faciès est constituée par le faciès de marnes de couleur variable (claire) (**M**) ; les marnes (**M**) sont soulignées par une faible épaisseur. A certains endroits, des grands ovoïdes sont inclus dans des niveaux marneux irréguliers (**M**) ; avec des calcaires à stromatolithes (**CST**) et calcaires bioclastiques (**CB**). Cette association peut reflète un environnement moins profond **Shoreface**. Cet environnement a été attribué au Callovien inférieur.

Age	Stratigraphie		Colonne lithologique	Faciès	Association de faciès	Milieu de dépôts
	Formations	Membre				
<b>OXFORDIEN</b>		<b>Grès de Bou Medien</b>		GM, GLO	Association IV	Shoreface
<b>CALLOVIEN</b>	<b>Argile de Saida</b>	<b>MEMBRE SUPERIEUR</b>		M, GLO, GP, GLH, GST, CM, CB, A	Association III	Offshore inférieur à Offshore supérieur
		<b>MEMBRE INFÉRIEUR</b>				
<b>BAJOCIEN</b>	<b>Couche Ben Kmer</b>			M, GST CB	Association II	Shoreface
				M, CB, CMI	Association I	Offshore inférieur à Offshore supérieur

**Fig. 09:** Association des faciès et milieux de dépôts de la série de Djebel Ben Kmer.

### 2..3 Association III

Elle occupe la formation d'argile de Saïda de la série étudiée. Elle est faite essentiellement par une épaisse masse de marnes de couleur variable (claire) (**M**) ; avec des grés à laminations obliques (**GLO**) ; des grés à laminations horizontal (**GLH**) ; des grés en plaquettes (**GP**), des marnes indurées et des interlits marneux (**M**) ; calcaires bioclastiques (**CB**) et calcaires micritiques (**CM**).

Les argiles (**A**) sont soulignées par la présence d'une faune variée généralement brisés (ammonites, brachiopodes, échinodermes et rostre de bélemnite).

La surface sommitale des bancs peut être modelée par des rides lingoïdes, La partie basale des certains bancs gréseux est marquée par des figures d'impact essentiellement des "*prodsca*" et d'objets traînés (*Groove casts*). Les niveaux gréseux sont intercalés avec des argiles dans la partie supérieure de la formation des argiles de Saïda.

La fraction organogène dans les marnes et les argiles est très variée, formée essentiellement par des foraminifères benthiques et rares planctoniques. L'association des foraminifères caractérisée par la présence des *Nodosariidés*, des formes à tests agglutinants de petits tailles (les *Trochamminidés*) et des formes planctoniques (*Globuligerina*) s'épanouissent dans un bassin subsident. Tous ces arguments sédimentologiques, paléontologiques favorisent l'idée d'un environnement de **l'offshore supérieur à shoreface**.

### 2..4 Association IV

Elle occupe le sommet de Djebel Ben Kmer. Elle est faite essentiellement par une épaisse série de grés massifs (**GM**). Cette association est formée par des bancs gréseux (**GM**) ayant des épaisseurs métriques, à grains grossiers. Ces niveaux montrent à leurs interfaces des stratifications entrecroisées (**GS**). En conclusion, cette association correspond à un dépôt de **shoreface** (Fig 10).

## 3. Analyse séquentielle

Les travaux de Delfaud (1974 à 1986) ont fait de cette méthode un outil indispensable d'investigation des bassins sédimentaires. L'auteur a d'abord introduit la notion nouvelle de série naturelle, qui représente « une suite de faciès rencontrés dans une formation et replacés dans l'ordre réel de leur succession le long des profils ».



L'analyse séquentielle devient alors « une méthode objective, indépendante des présupposés génétiques » (Delfaud, 1974). Elle consiste à rechercher les groupements ou les suites cohérentes et répétitives de faciès que sont les séquences, séparées par des discontinuités. La série naturelle représente la clé de décodage de l'information contenue dans les faciès et les séries sédimentaires (Aït Ouali, 1991).

## • Définitions

### 3.1 Séquence

Ensemble de niveaux sédimentaires de natures différentes se succédant dans un ordre déterminé, habituellement limité au mur et au toit par des discontinuités stratigraphiques. Son ordonnance peut traduire soit un mécanisme de sédimentation particulier (eg. des séquences sédimentaires de flyschs), soit une histoire sédimentaire caractéristique (eg. séquence transgressive, dans laquelle des dépôts littoraux passent vers le haut à des dépôts plus profonds). Des séquences peuvent elles-mêmes présenter des arrangements ordonnés, on parle alors de séquences de deuxième ordre ou de mégaséquences. (Foucault et Raoult, 2001).

### 3.2 Séquence virtuelle

Succession la plus complète possible théoriquement de niveaux qui s'arrangent habituellement en séquences (eg. séquence type de Bouma). Certains auteurs après Lombard (1953) définissent ces séquences types pour des séries correspondant à une transgression marine et qui commencent généralement par des sédiments gréseux et se terminent par des couches calcaires, ou tout au moins pour des séries où la granulométrie décroît de bas en haut. (Foucault et Raoult, 2001).

### 3.3 Discontinuité

Les discontinuités sont des coupures sédimentaires qui marquent un ralentissement, un arrêt de la sédimentation ou des phénomènes d'érosion ou ravinement. Elles correspondent à l'enregistrement d'événements géodynamiques et/ou climatiques (Merzeraud, 1992). Ces phénomènes peuvent être locaux et liés à l'hydrodynamisme, ou bien globaux donc d'origine eustatique. Ils sont généralement à mettre en relation avec les modifications périodiques de l'orbite terrestre (cycles de Milankovitch) (Berger, 1978 ; Berger *et al.*, 1984 ; Fisher, 1986 ; Schwartzacher, 1991).

- **Application**

### **3.1 Discontinuités rencontrées dans la région d'étude (Fig. 10)**

Les discontinuités dans le secteur d'étude sont matérialisées par un changement lithologique d'une part, et par le développement de niveaux condensés, d'autre part. Il s'agit respectivement du passage franc entre les faciès définis précédemment à savoir, les calcaires / marnes de la partie inférieure datée du Bajocien supérieur ; calcaires / marnes/ grès /argiles de la partie médiane datée du Callovien et grès de la partie supérieure daté Oxfordien.

➤ **D1** : Elle marque la base de la série d'étude. Il marque le sommet du Bajocien supérieur comportant une puissante série marneuse dans la série de Djebel Ben Kmer ; la discontinuité est marquée par une surface ferrugineuse.

➤ **D1** : Elle coïncide avec l'apparition d'un niveau ferrugineux condensé à brachiopodes, bivalves, échinodermes, ammonites et rostrés bélemnites, Cette discontinuité souligne la limite entre les calcaires à ovoïdes et les argiles de Saïda.

➤ **D2** : Elle marque la base des argiles de Saïda

➤ **D3** : Elle est caractérisée par un changement de faciès, détritique devient carbonaté et un niveau carbonaté condensé ferrugineux riche en macrofaunes.

➤ **D4** : Elle marquée par un niveau à brachiopodes, bivalves, échinodermes, ammonites et bélemnites.

➤ **D5** : Elle est caractérisée par un changement de faciès. (combe argileux).

➤ **D6** : C'est une discontinuité d'ampleur régionale qui scelle la barre gréseuse. Elle correspond à un changement lithologique et paléogéographique pour mettre la fin matérielle silico-clastiques fini-Callovien pour annoncer la sédimentation Oxfordien.

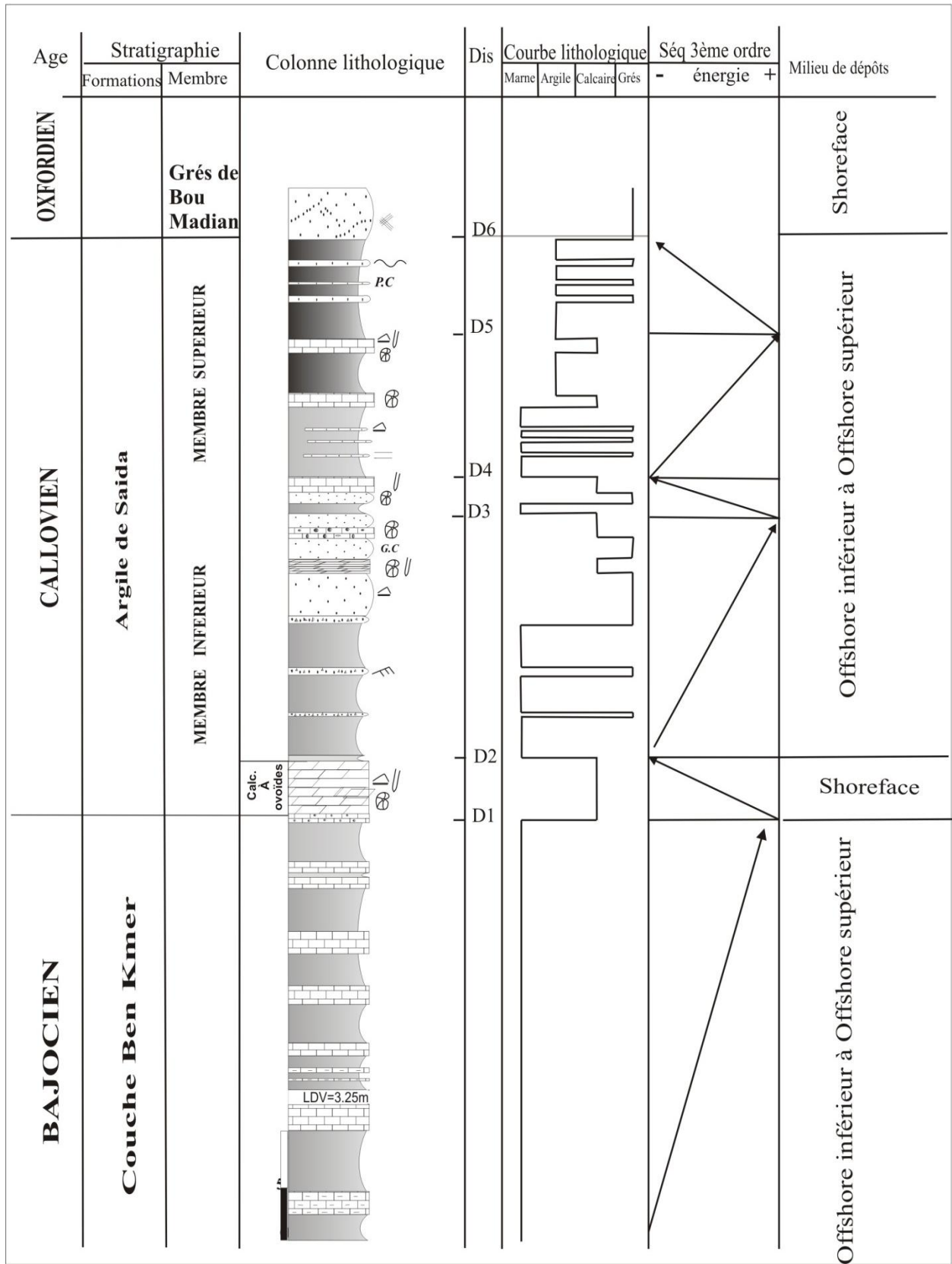
### **3.2 Hiérarchisation des séquences**

Elles sont notées par des séquences de court terme DJB1 à DJB6, leur épaisseur varie de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. On peut distinguer deux types de tendances: séquence d'enfoncement et de diminution de profondeur.

Le premier type domine le Bajocien supérieur et le Callovien moyen (une grande partie de la formation d'argile de Saïda (partie inférieure)). Ces séquences sont souvent édifiées par des séquences élémentaires de type grès/argile, coïncidant avec l'offshore à l'offshore supérieur.

Ces séquences sont généralement des séquences d'ordre 3 au sens de Delfaud (1974) et de Kazi-Tani (1986). Il s'agit d'une sédimentation silico-allumineuse de transition interrompue par l'installation d'épisodes carbonatés et détritiques représentés par des calcaires et des grès.

**Fig. 10 : Evolution séquentielle et  
enviro**



nmentale de la série de Djebel Ben Kmer.

#### **a) Séquences (DJB1)**

Elle correspondent à la partie inférieure de notre série d'étude, marquée généralement par la succession de deux terme : un terme inférieur marne/calcaire qui s'inscrit dans une phase de d'enfoncement déposé par décantation dans un milieu calme considéré comme des pélagites de faible densité et vitesse de courant et un terme supérieur calcaire marneux onduleux/marne déposé par précipitation chimique dans un milieu énergétique profond indiquant un milieu de talus avec une légère augmentation du niveau marin marqué par la présence de la macrofaune (brachiopode, bivalve, ammonite, rostre de bélemnite et échinoderme).

#### **b) Séquence (DJB2)**

Cette séquence correspond à la formation des calcaires à ovoïdes, marquée par des dépôts calcaires ferrugineux, qui s'inscrivent dans une phase de comblement déposés par l'installation par un tapis algaires dans un milieu énergétique et peu profond.

#### **c) Séquences (DJB3), (DJB4)**

Elle correspond au membre inférieur et la partie basale du membre supérieur de la formation d'argile de Saïda, marquée par l'installation d'une puissante série détritique grès/argile, interrompue par des niveaux carbonatés à fossile et bioclastique ; coïncidant avec l'offshore à l'offshore supérieur. Les séquences de type calcaire/argile sont distinguées dans la partie supérieur, coïncidant avec un dépôt déposé par décantation dans un milieu calme.

#### **d) Séquences (DJB5)**

C'est une séquence binaire composé d'argile et de grès à granoclassement vertical négative traduisant une régression.

#### **e) Séquences (DJB6)**

C'est une séquence à granoclassement positive, encadré par la discontinuité D6 ou sommet des grés. Cette séquence à haut énergie traduisant une régression.

***PARTIE III***

***CARTOGRAPHIE***

***ET***

***REPARTITION SPATIALE***

# I .INVESTIGATION DES OUTILS DE TELEDETECTION

## 1. Introduction :

La carte géologique est instrument indispensable à toute approche du terrain, elle est un outil de connaissance géologique, fondé sur la représentation sur un fond topographique des natures des terrains (des formations), qui affleurent à la surface du sol sans couverture végétale ou en subsurface (permettent de déduire les couches géologiques profondes à partir des affleurants au niveau d'autres points de la carte), d'une région, , Son objectif est de présenter la répartition spatiale des faciès lithologiques, leur succession, ainsi que les diverses structures d'ordre tectonique.

Dans leurs travaux de cartographie géologique, les géologues trouvent parfois des difficultés et des problèmes pour accéder au terrain tel un accès limité aux affleurements (végétation, propriété privée et relief escarpé), ou bien la durée de mission limitée (des conditions climatiques plus ou moins favorables) engendrent une hétérogénéité et une discontinuité de l'information recueillie.

Dans ces cas, la télédétection devient comme une clé pour résoudre cette problématique et une source d'information importante par l'utilisation des données de télédétection qu'elle soit aériennes et/ ou spatiales.

Le principe d'utilisation de la télédétection en exploration géologique est principalement fondé sur l'analyse du paysage dont les méthodes sont héritées de la photogéologie. Elle permet de discriminer les objets géologiques et de mettre en évidence certaines singularités.

L'apport essentiel des données spatiales dans le domaine géologique, est lié à la vision synoptique, la répétitivité et aussi au caractère numérique des données multispectrales; sans oublier le jeu d'ombre qui opère une sorte de filtrage optique permettant une bonne perception de la géomorphologie, notamment d'origine tectonique.

La contribution de la géomatique associée aux perspectives de la télédétection jouent un rôle très important en prospection géologique dont grâce à la géomatique et ses outils, divers traitements peuvent être réalisés, allant des traitements les plus simples jusqu'à l'analyse spatiale basée sur les théories des statistiques multidimensionnelles (El Atillah, 2018, *in* ONHYM ; 2018).

Les objectifs de notre étude sont l'évaluation des données des images satellitaires en terrain sédimentaire, l'actualisation des informations de la cartographie géologique et la réalisation de la carte « lithostratigraphique » de la zone d'étude dans la mesure du possible bien sûr.

Le démarche du travail ont été appliqués sur nos images est basé sur l'utilisation des différentes traitements classiques tels que les compositions colorées, les rapports des bandes, l'analyse en composante principale et les filtres directionnels et multiples classifications. Ces dernières ont permis la réalisation d'une cartographie lithologique, et ainsi réalisation des cartes de linéaments par le biais des filtres directionnels dont la validité des modèles est testée par comparaison avec les données de terrain et les cartes géologiques du site étudié; selon les étapes illustrées ci dessous :

- Reconnaissance et caractérisation spectrale des terrains correspondant à notre secteur d'étude par imagerie satellitaire.
- Comparer et corrélér les résultats obtenus sur terrain par l'échantillonnage avec ceux obtenus par la télédétection.
- Associer les données géologiques obtenues par l'étude précise et détaillée de la lithologie de notre terrain aux résultats obtenus, pour déterminer la lithologie du terrain.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Données utilisés**

#### **2.1.1. Données géologiques**

Toute étude géologique par imagerie satellitaire doit se baser sur des données géoscientifiques ainsi qu'une bonne connaissance du terrain en question afin de faciliter l'interprétation des différents résultats obtenus.

A côté d'une levée de la coupe lithostratigraphique de Djbel Ben Kmer, qui joue un rôle important pour déterminer la lithologie plus précise de la région et développer nos connaissance, on s'est basé dans notre étude sur deux carte géologique avec des dates différents, la première, c'est la carte géologique de l'Algérie dressé par Cornet *et al.*, éditée le 1951 à l'échelle 1/500 000<sup>ième</sup> et la deuxième carte géologique et structurale à l'échelle 1/200 000<sup>ième</sup> est plus récente élaborer par ANRH en 2008.

#### **2.1.2. Données satellitaires**

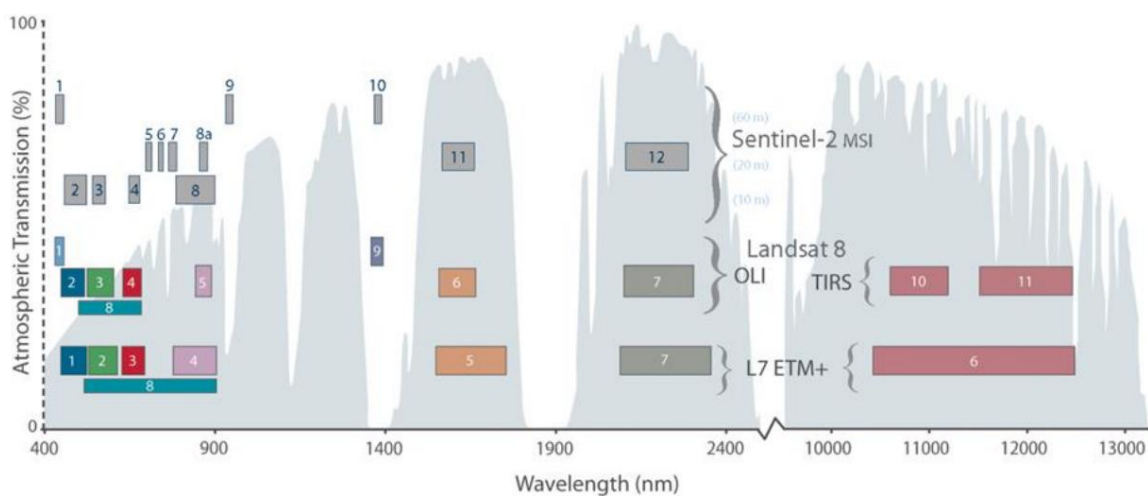
La télédétection est basé sur types de traitements : les traitements préliminaires ; d'amélioration et enfin spécifiques. Tous dépendent du but de d'investigation à la quelle l'image est destinée.

L'étude s'appuie principalement sur l'utilisation principalement des images spatiales de Sentinel 2A couvrant la totalité de la Wilaya se Saida (Fig 12), plus précisément le secteur de Hammam Rabi où se trouve notre zone d'étude.

### c) Le programme SENTINEL

Le programme Sentinel est une famille de satellites destinés à remplacer entre autres, le satellite ENVISAT (plateforme de MERIS) dans le cadre du programme Copernicus. L'accord signé le 28 février 2008, entre l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et la Commission européenne, permet à l'ESA de développer et livrer l'infrastructure spatiale (les Sentinels) répondant aux besoins définis par la communauté européenne en matière de services.

Récemment, l'utilisation des images Sentinel dans l'exploitation géologique et minéralogique est justifiée par sa haute résolution spatiale de 10 à 60 m. Les satellites Sentinel sont équipés de l'instrument MSI (*Multi-Spectral Instrument*) fonctionnant dans 13 bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge. Quatre bandes spectrales (0,490  $\mu\text{m}$  (B2), 0,560  $\mu\text{m}$  (B2), 0,670  $\mu\text{m}$  (B3) et 0,850  $\mu\text{m}$  (B4) seront fournies à 10 m de résolution, 3 bandes spectrales (0,443  $\mu\text{m}$  (B1), 0,945  $\mu\text{m}$  (B9) and 1,375  $\mu\text{m}$  (B10)., destinées aux corrections atmosphériques auront une résolution de 60 m, les 6 bandes restantes (0,705  $\mu\text{m}$  (B5), 0,740  $\mu\text{m}$  (B6), 0,783  $\mu\text{m}$  (B7), 0,865  $\mu\text{m}$  (B8a), 1,610  $\mu\text{m}$  (B11), 2,190  $\mu\text{m}$  (B12)) seront fournies à 20 m de résolution). ils permettront des observations de toutes les terres émergées tous les 5 jours. En tenant compte de l'enneuagement, ils tout de même possible d'obtenir une donnée claire par mois sur la grande majorité des terres et une fauchée de 290 km, et aussi par sa facilité d'accès. La figure 11 met en comparaison les données fournies par le MSI de SENTINEL avec ceux Landsat et ASTER.



**Fig.11** : Analogie spectrale entre les images satellitaires du Landsat (7 ETM+ et 8 OLI/TIRS) et Sentinel 2A MSI (NASA) sur la bande spectrale. (El Atillah, 2018)



#### **d) L'image du Sentinel 2A MSI:**

Les données disponibles corrigées atmosphériquement couvre l'ensemble la zone d'étude. La scène a été acquise le 01 Juin 2021 et a été sélectionnée pour ont une couverture nuageuse moins de 10 %. Les bandes 1, 9 et 10 ont été exclues de l'analyse car elles n'ont qu'une résolution spatiale de 60 m par rapport aux résolutions spatiales de 10 m et 20 m des autres bandes et ne sont pas importantes pour notre propos.

Une correction géométrique a été nécessaire pour redresser notre image qui fait par logiciel ENVI 5.3, automatiquement ont été géoréférencer dans le système de projection est l'UTM, Zone 31, Datum WGS-84.



**Fig. 12 :** Scène du satellite SENTINEL A2 de B2 qui couvre la zone d'étude acquise le 01/06/2021.

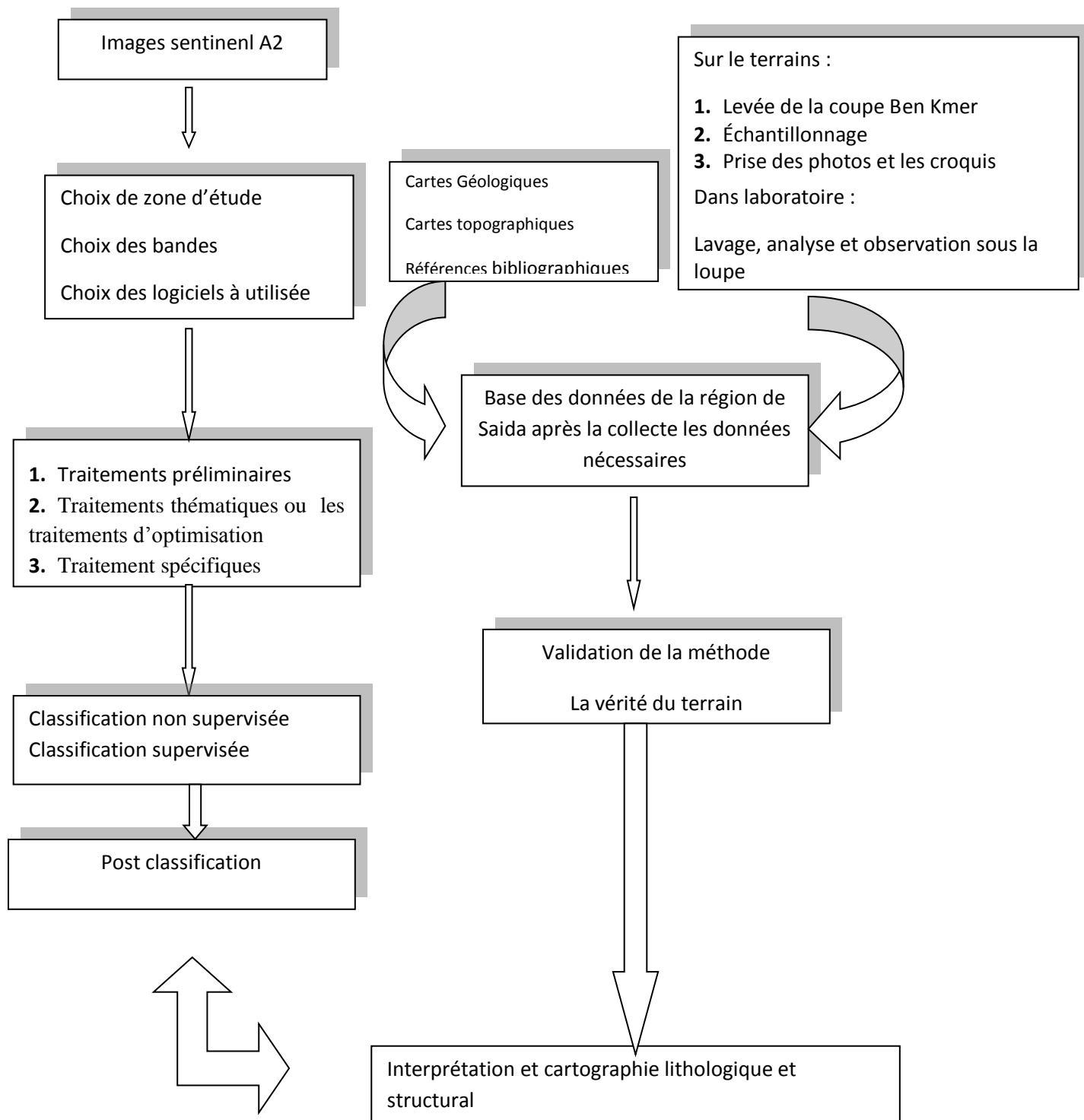
#### **2.1.3. Les logiciels**

Les logiciels utilisés et qu'ils nous ont aidé pour l'analyse et traiter d'images et analyser les images géospatiales et pour accomplir ce travail sont : logiciel ENVI5.2, ArcMap 10.7 et Surfer 9.

#### **2.2. Méthodologie**

La région de Hammam Rabi est constitué un terrain de choix pour une expérience de télédétection spatiale dans le domaine de la géologie. L'expérience doit permettre de tester l'efficacité de celle-ci à la discrimination lithologique (observée sur terrain) et ce grâce au traitement et à l'interprétation des images MSI de Sentinel A2.

L'approche méthodologique est fondée sur l'utilisation des images spatiales Sentinel A2, mis en orbite héliosynchrone à 786 Km d'altitude. Suivie par des traitements adéquats à notre but de recherche, ces traitements sont résumés dans l'organigramme ci-dessous (Fig. 13):



**Fig 13 :** Organigramme générale présentant la méthodologie du travail.

### 3. Méthodes des traitements numériques d'images

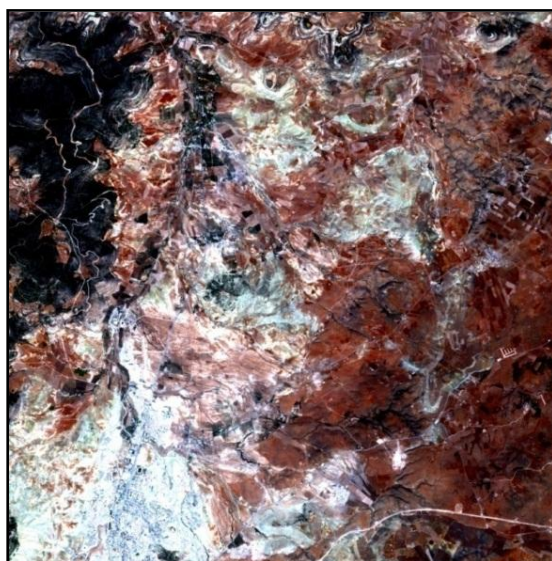
Il existe un nombre assez varié de traitement appliqué aux données de la télédétection, cela tous dépend de la nature et but de recherche à laquelle l'image est soumise. Nous utiliserons des traitements adéquats à notre étude, en plus pour mettre en évidence le type la classification pour une cartographie des unités lithologiques et l'extraction des linéaments. On distingue trois types de traitements.

#### 3.1. Traitements préliminaires

Avant d'entamer à l'étude cartographique, il faut savoir que tous les images acquises par les capteurs contiennent des distorsions, c-à-d elles sont subie à des traitements dites « traitements préliminaires ou des traitements de routines utilisés ». Une partie de ces traitements sont opérés sur l'image brute pour effectuer des corrections qui sont comme suit : Correction des effets atmosphériques, Correction des distorsions géométriques, correction un étalonnage radiométrique du capteur.

Et d'autre partie de traitement préliminaires ont réalisé dans laboratoire, qui sont :

- Intégrer les images satellitaires brutes dans le logiciel qui se présentent sous forme de bandes spectrales.
- Faire un **Layer stacking** qui permet de regrouper toutes les bandes multispectrales dans un seul fichier et de les réordonner.
- Faire un **Resize**, c'est-à-dire, recouper la scène juste sur le terrain qui porte l'objet d'étude en l'occurrence, Djbel Ben Kmer (**Fig 14**).



**Fig. 14** : Découpage de l'image « **Resize** » (zone d'étude),

Après la phase de prétraitement, les images sont souvent «impropres» à une utilisation pour un problème thématique. C'est pourquoi ces images vont subir des certains nombres de traitements.

### A . Choix Des Données Satellitaire

Sur les sept (13) canaux de Sentinel A2, seulement les bandes ayant résolutions spatiales de 10 m (B2, B3, B4, B8) et 20 m (B5, B6, B7, B8A, B11, B12) ont été sélectionnés sur la base de leur discrimination des objets géologique à l'instar les bandes B1, B9 et B10 ont été exclues de l'analyse car elles n'ont qu'une résolution spatiale de 60 m et ne sont pas importantes pour notre propos.

Par le biais d'une analogie logique entre les différentes bandes de plusieurs satellites d'observation du globe terrestre notamment entre : Landsat 7 ETM+ ; Landsat 8 OLI /TIRS ; et Sentinel 2A) (Tableau 01) synthétiser ces résultats par la proposition d'un modèle de traitement des images multispectrales qui peut être appliqué directement sur les différentes zones d'études la cartographie lithostructurale et minéralogique (El Atillah, 2018) .

Bandes L7 ETM+	Bandes L8 LDCM OLI / TIRS	Sentinel 2 A
-	Bande 1 : 30 m, Coastal /Aerosol, 0.433-0.453 $\mu\text{m}$	B01 : 60 m
Bande 1: 30 m, Blue, 0.450-0.515 $\mu\text{m}$	Bande 2 :30 m, Blue, 0.4500.515 $\mu\text{m}$	B2:10 m 0.4575 - 0.5225 $\mu\text{m}$
Bande 2: 30 m, Green, 0.525-0.605 $\mu\text{m}$	Bande 3 :30 m, Green, 0.5250.600 $\mu\text{m}$	B3:10 m 0.5425 - 0.5775 $\mu\text{m}$
Bande 3: 30 m, Red, 0.6300.690 $\mu\text{m}$	Bande 4 : 30 m, Red, 0.6300.680 $\mu\text{m}$	B4:10 m 0.65 - 0.68 $\mu\text{m}$
		B5 :20m 0.68- 0.705 $\mu\text{m}$
		B6 : 20m 0.705-0.740 $\mu\text{m}$
		B7 : 20 m 0.740- 0.783 $\mu\text{m}$
Bande 4: 30 m, Near-IR, 0.775-0.900 $\mu\text{m}$	Bande 5 : 30 m, Near-IR, 0.8450.885 $\mu\text{m}$	B8: 10 m 0.7845 - $\mu\text{m}$ B8:20 m 0.7845 - $\mu\text{m}$ 0.8995 B08A : 20 m
Bande 5: 30 m, SWIR-1, 1.550 - 1.750 $\mu\text{m}$	Bande 6 : 30 m, SWIR-1, 1.5601.660 $\mu\text{m}$	B11 : 1.565 - 1.655 $\mu\text{m}$
Bande 6: 60 m, LWIR, 10.00 - 12.50 $\mu\text{m}$	Bande 10 : 100 m, LWIR-1, 10.30 - 11.30 $\mu\text{m}$	-
Bande 7: 30 m, SWIR-2, 2.090-2.350 $\mu\text{m}$	Bande 7 : 30 m, SWIR-2, 2.1002.300 $\mu\text{m}$	B12 : 2.1 - 2.28 $\mu\text{m}$
Bande 8: 15 m, Pan, 0.520- 0.900 $\mu\text{m}$	Bande 8 :15 m, Pan 0.500-0.680 $\mu\text{m}$	-
-	Bande 9 : 30 m, Cirrus, 1.3601.390 $\mu\text{m}$	B10 : 60 m $\mu\text{m}$
-	Bande 11 : 100 m, LWIR-2, 11.50-12.50 $\mu\text{m}$	-

**Tableau 01:** Correspondance les bandes entre les satellites (Landsat 7 landsat 8 OLI; Sentinel 2A)

### 3.2. Traitements thématiques ou les traitements d'optimisation

#### 3.2.1. Traitement d'amélioration ou de rehaussement

Ce traitement s'applique à une seule bande de données dont le rehaussement des images est un traitement qui a pour principe d'augmenter avantagement les transitions entre les différents objets thématiques. Ceci permet de souligner les escarpements structuraux et/ou de failles. Le logiciel ENVI est l'avantage de faire ce type de traitement et bien représente l'image sous l'étalement linéaire, linéaire 0-255, linéaire2%, par : Equalization, Gaussien et racine carré (Hammad, 2016),

Pour notre présente étude, nous avons appliqué plusieurs étalements dans le but de distinguer les différentes structures et formations de notre terrain (Fig 15).

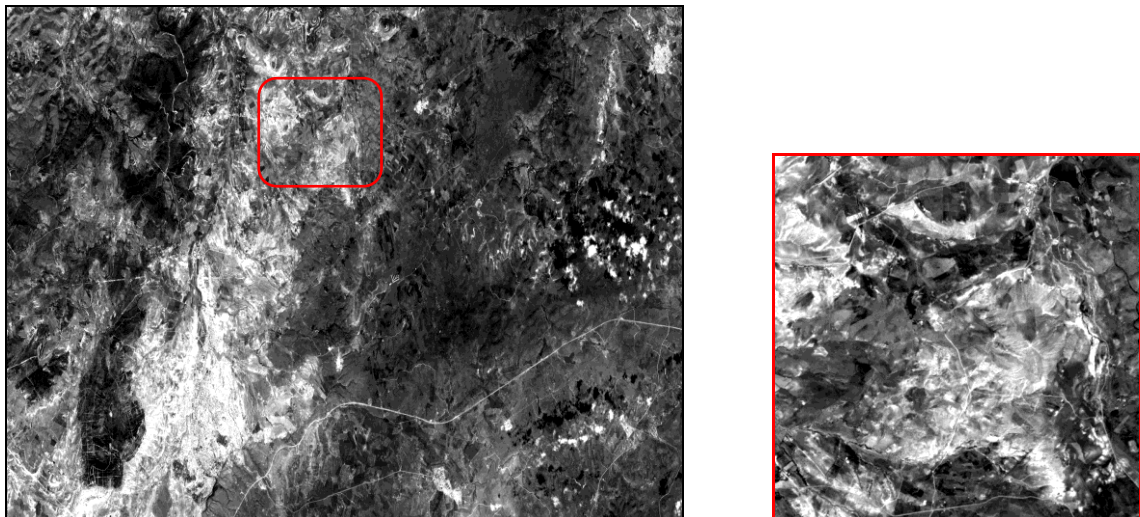
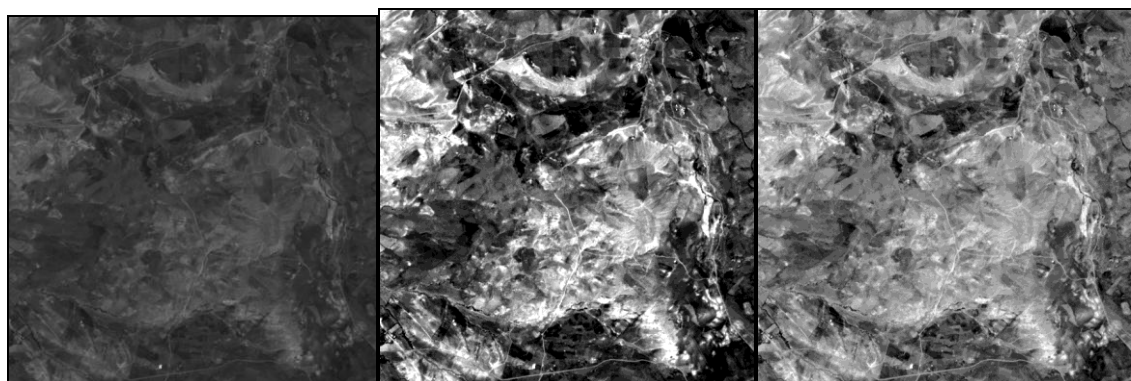


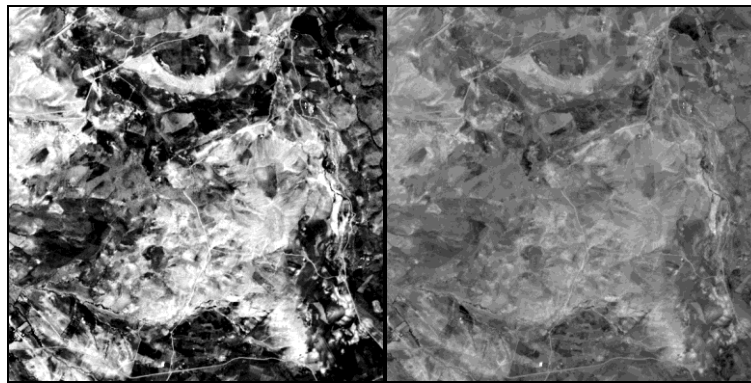
Image brute en Gray scale de la bande 3



linéaire

Linéaire 2%

Gaussien



**Equalization**

**Square root**

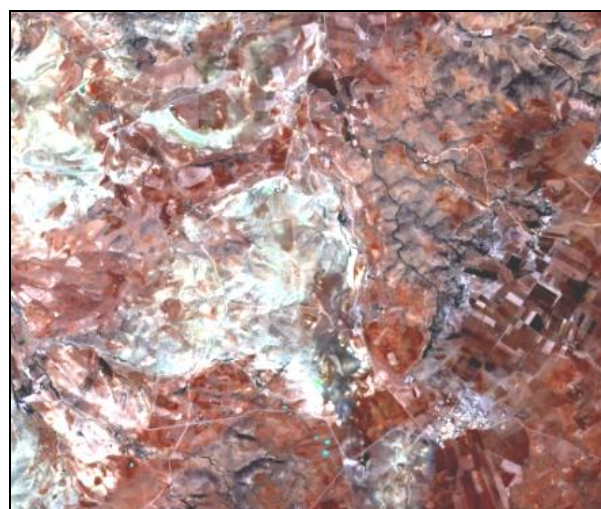
**Fig 15 :** Traitement de rehaussement d'image par logiciel ENVI 5.3 sur une Bande 3 du Dj Ben Kmer

### 3.2.2. Compositions colorées.

La composition colorée est un traitement très utilisé. Elle est établie à partir de la superposition de trois canaux (brutes ou traités), en affectant une couleur dans le système "RVB".

L'apport des compositions colorées à l'interprétation est incontestable, cette technique permet d'améliorer considérablement la perception des structures géologiques sur une image (ce procédé renforce certains détails et facilite la mise en évidence des phénomènes dynamiques).

La composition colorée est générée à partir des trois canaux originaux, qui sont B4 (0.65 - 0.68  $\mu\text{m}$ ) dans le rouge, B 3 (0.5425 - 0.5775  $\mu\text{m}$ ) dans le Bleu, B2 (0.4575 - 0.5225  $\mu\text{m}$ ) dans le Vert avec résolution 10 m (Fig.16).



**Fig. 16 :** Image composition colorée (RGB B4 B3 B2) avec résolution 10 m.

L'analyse de la trichromie élaborée a permis de dégager quelques informations relatives aux affleurements géologiques (Tableau 02).

Age	Lithologie	Teinte
Paléozoïque (Silurien)	Granite	Marron foncé
Jurassique moyen	Calcaire à silex et dolomie	Marron moins foncé
Bajocien supérieur- Callovien inférieur	Calcaires microgréseux et calcaires à ovoïdes	Blanc
Callovien	Les argiles de Saida	Verte
Oxfordien	Grès de Bou Medine	Marron claire
Plio-Quaternaire	Alluvions	Marron
Quaternaire	Réseaux hydrographiques	Jaune verdâtre
Quaternaire	Végétation	Verte foncée

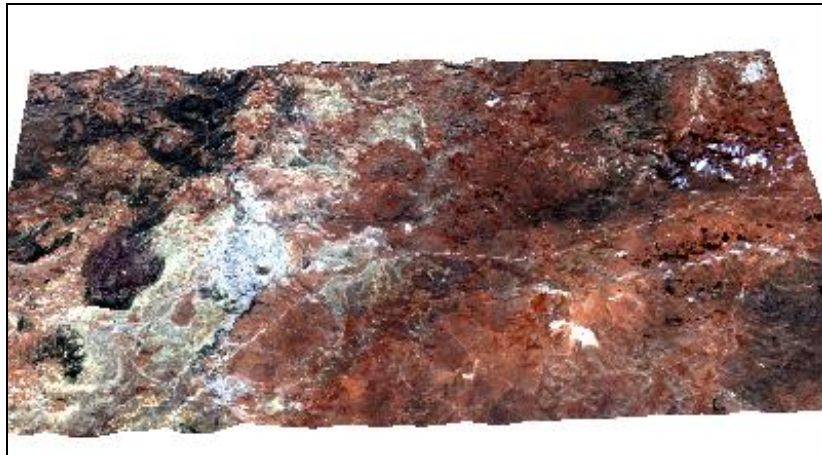
**Tableau 02:** Résultats de l'interprétation thématique du Djebel Ben Kmer à partir de la trichromie ( B4 B3 B2)

### 3..3 Modèle numérique 3D

MNT "Modèle Numérique de Terrain "(traduit de l'anglais - Digital Terrain Model DTM) est introduit pour la première fois vers les années cinquante par deux ingénieurs américains (Miller et La Flamme, 1958). Ils ont défini le MNT comme étant "une représentation statistique du terrain, supposée continue par un grand nombre de points sélectionnés dont les coordonnées (X,Y,Z) sont connues dans un système de coordonnées arbitraire" (Chikh, 1995).

Par analogie avec les images de Télédétection, un MNT peut être considéré comme une «image raster» du relief.

Les modèles numériques de terrain sont des supports d'interprétation structurale, en particulier en néotectonique. Ils permettent d'intégrer l'information liée au relief à l'image satellitaire brute ou traitée, et aux documents thématiques numérisés (carte géologique, topographique), et de mesurer certaines grandeurs dont la connaissance est nécessaire et utile au géologue avec le concours de la carte géologiques bien sûr, telle les déplacements horizontaux et verticaux, le pendage et les épaisseurs des couches (Fig 17).



**Fig 17 :** Visualisation 3D du terrain d'étude en utilisant le modèle numérique 3D.

#### **3.2.4. La transformation ITS, (HSV pour les anglo-saxons) (Fig 18)**

Un système de visualisation de la couleur intensité, teinte, saturation (ITS); est utilisé en géologie et géomorphologie car il permet d'une part d'atténuer l'effet de la végétation.

Une couleur peut être définie par un mélange de quantité de rouge, de vert et de bleu (Système RVB) ou de cyan, magenta et jaune (système CMJ). Ce système est caractérisé par trois paramètres projetés sur trois axes, il constitue un triplet nécessaire pour définir une couleur:

◆ **Intensité (axe I)** C'est le degré d'éclaircissement ou assombrissement d'une couleur. L'intensité I d'une couleur correspond à la quantité d'énergie réfléchiée par l'objet codé, il varie de 0 à 1.

◆ **Teinte (axe T «H»):** C'est la qualité spécifique de sensation ou dominante de couleur due à une rotation de longueur d'onde déterminée (varie de 0 "noir" à 255 "maximum de brillance").

◆ **Saturation (axe S):** Représentant la pureté de la couleur varie entre 0 (gris pur) à 100%.



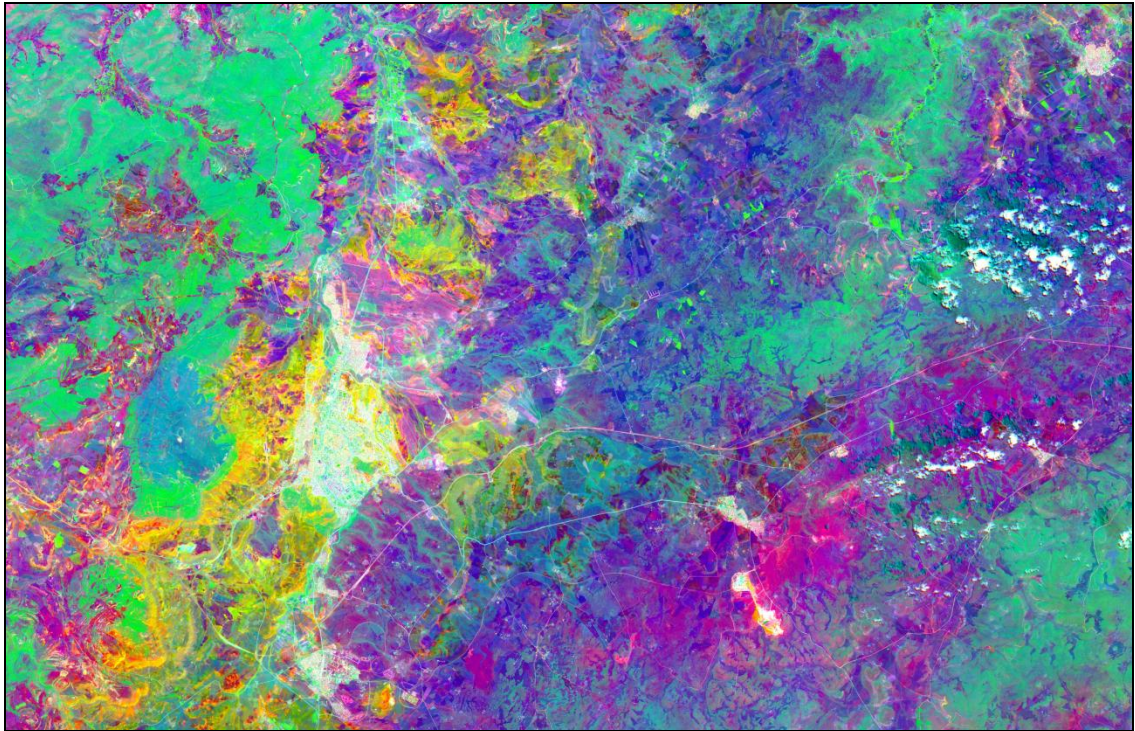


**Fig. 18 :** Traitement de l'image par l'HSV.

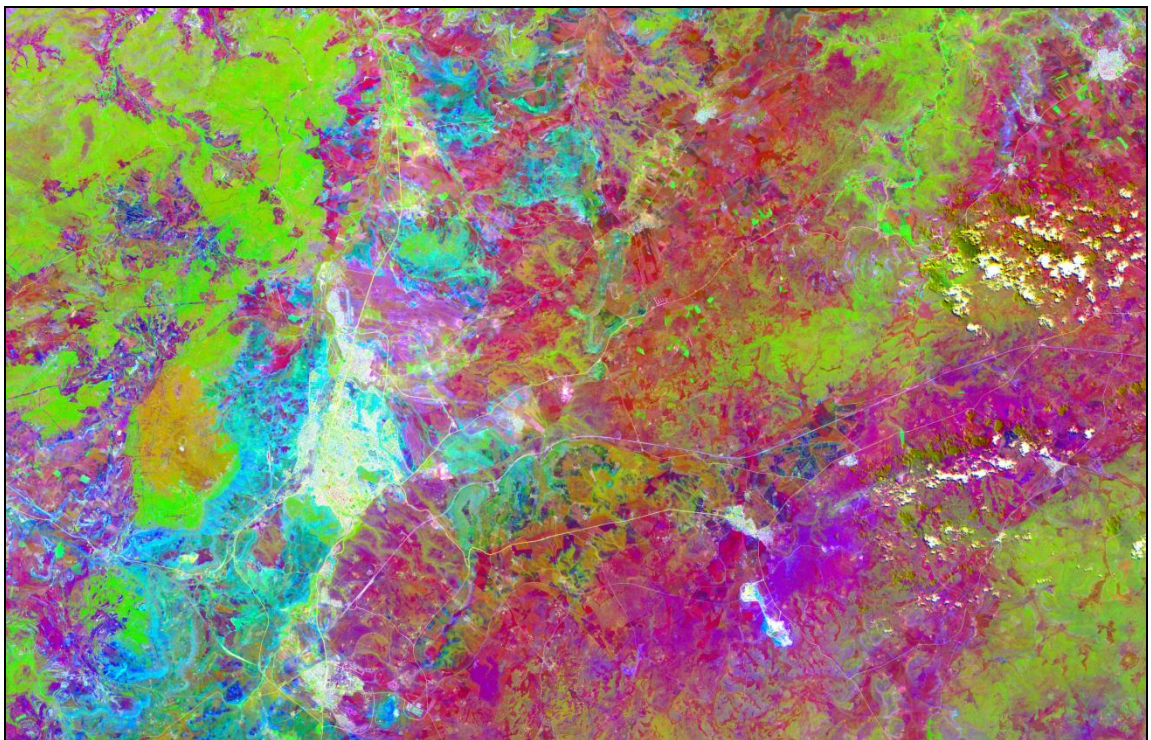
### **3.2.5. L'Analyse en Composantes principales(ACP).**

La méthode des composantes principales est basée sur le fait que: "L'énergie réfléchie par le sol et enregistrée par les satellites dans les différentes bandes spectrales est hautement corrélée. Cette corrélation augmente lorsque la couverture végétale augmente. Il y a donc une abondance considérable d'information, et le but de ce traitement - en composante principale - est de condenser les données originelles en un nouveau groupement de variables, qui n'ont pas de corrélation entre eux donc le principe est que l'ACP consiste à condenser l'information dans un minimum de canaux et la décorréler (élimination de la redondance). Cette technique permet de rendre l'image plus apparente et de faire ressortir les limites des structures des formations (faciès) de l'image, permettant une excellente visualisation de l'image pour les interprétations géologiques (Fig 19 et 20).

Le traitement en ACP a été très utile pour notre étude car il a permis de différencier entre les différentes lithologies existantes, notamment les contours des reliefs qui les séparent des dépôts récents alluvionnaires. Le plus important est que nous ayons pu détecter les zones d'ombres, car il est nécessaire de les éviter lors du traitement d'échantillonnage afin d'obtenir un bon résultat de classification.



**Fig. 19** : Traitement avec ACP à partir des néocanaux (APC1, APC2, APC 3)  
avec (B8 B4 B3 B2) de10m.



**Fig . 20** : Traitement avec ACP à partir des néocanaux (APC1, APC2, APC4) avec  
(B8 B4 B3 B2) de10m.

### 3.3. Les traitements spécifiques

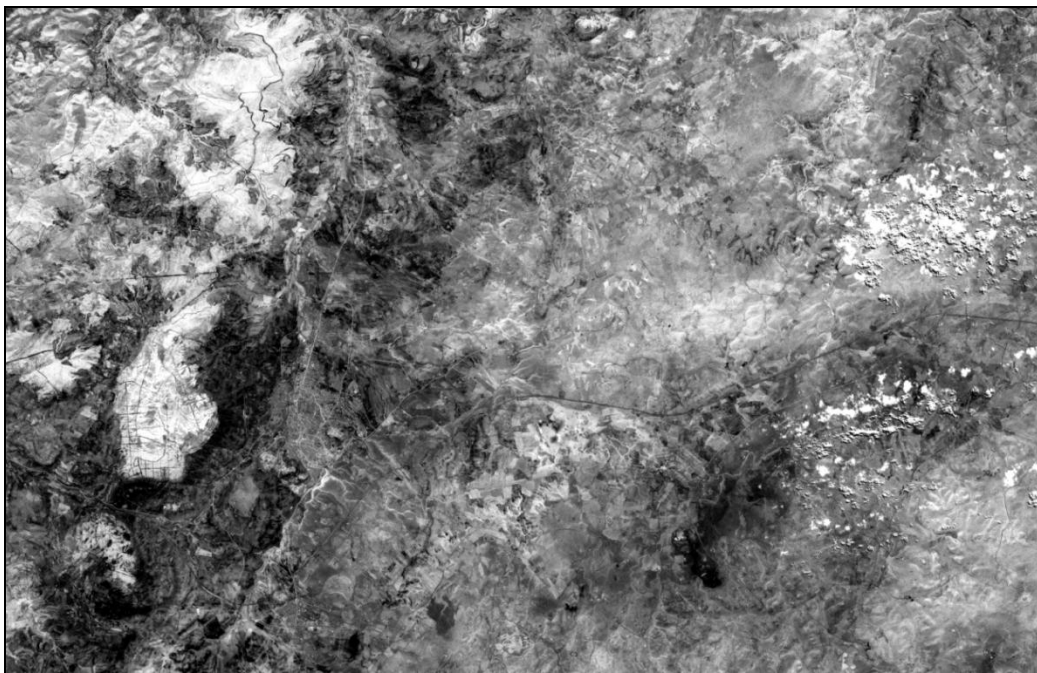
Les traitements que nous décrirons sont les plus utilisés dans le domaine des sciences de la terre et de la géologie en particulier.

#### 3.3.1. Rapport entre canaux ou Ratios

La méthode des ratios qui a pour principe de faire le rapport point par point (pixel) des signatures enregistrées des différentes longueurs d'ondes, soit entre deux canaux bruts, soit entre la somme des canaux par une autre bande (Fig. 21).

Cette méthode apporte des améliorations sensibles aux données de départ. Les ombres dues à la topographie sont minimisées. Les valeurs en niveau de gris différentes mais émises par des objets similaires ou identiques situées dans des conditions d'éclairéments différentes, tendent à se rapprocher. Mais en revanche, cette méthode présente l'inconvénient de lisser des valeurs de réflectance dues à des causes géologiques. Il serait donc nécessaire de la faire précéder par une interprétation d'une image brute.

En utilisant les paires : dans traitement sur les images Sentinel les Rapport possible est au nombre 6 qui sont, bandes B2/B3, B2/B4, B2/B8, B3/B4, B 3/B8 et B4/B8, des améliorations sont bien claires sur l'image. Cette combinaison nous a permis de bien visualiser les ombres et les cheminements des ruissellements, nous permettant ainsi de discriminer les contours.

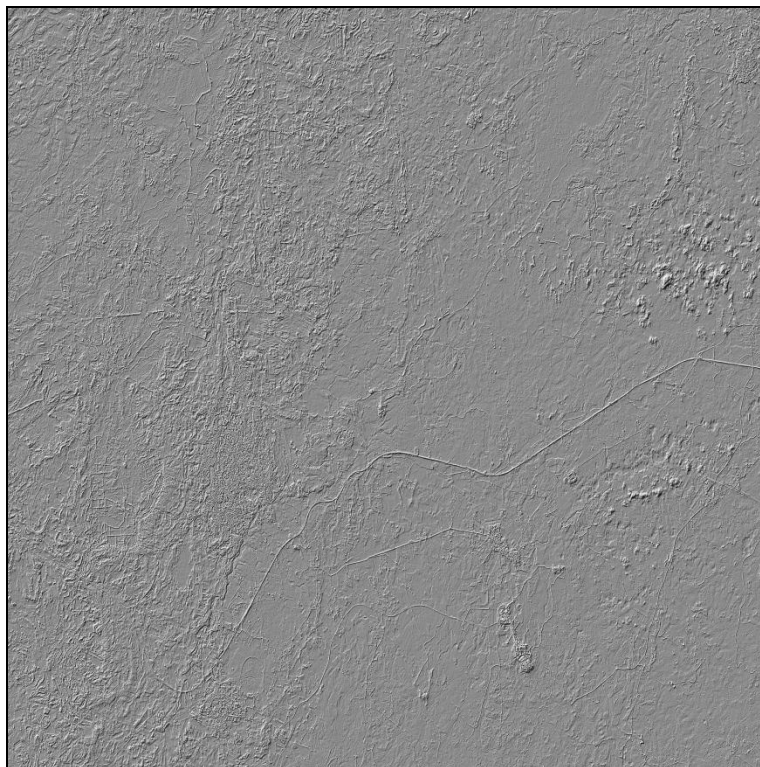


**Fig. 21:** Traitement d'image par Ratio B2/B3

### 3.3.2. Les filtres directionnels

C'est un traitement de transformation basé sur l'amélioration des contours et des contacts avec les structures. Ce traitement est très utile pour détecter, accentuer et rehausser les linéaments et les contacts tectoniques en changeant à chaque fois la direction de l'ombre. Ex : avec un pas de  $45^\circ$ , il nous permet de détecter les linéaments dans toutes les directions possibles : EW, NS, NE-SO and NO-SE (Hammad, 2016) (Fig 22).

Ces filtres nous ont permis d'extraire plusieurs linéaments, vu que notre terrain est fortement affecté par la tectonique.



**Fig. 22:** Traitement d'image par filtres directionnels  $45^\circ$  sur la bande 3 à 10 m.

## 4. Caractérisation des unités lithologiques

La caractérisation des unités lithologiques passe par deux étapes essentielles : la caractérisation visuelle et l'extraction automatique des unités lithologiques.

- La première consiste à repérer et identifier visuellement les différentes unités lithologiques sur les différentes images obtenues des traitements précédents. Cette étape s'effectue en analysant les couleurs, les textures et les structures, les formes et les limites des reliefs ainsi que la caractérisation radiométrique (classification non-supervisée).

- La deuxième étape consiste à délimiter et extraire les différentes lithologies par classification supervisée (Hammad, 2016).

#### 4.1. Caractérisation visuelle (photo-interprétation géologique)

La caractérisation visuelle s'est effectuée sur la base des différentes compositions colorées des bandes brutes et des néocanaux générés (ACP, RATIOS et IHS) qui constituent un excellent produit d'interprétation visuelle.

Cette caractérisation ou interprétation visuelle a permis non seulement de retrouver de nombreux faciès déjà cartographiés lors des travaux antérieurs de la région de Saida mais aussi d'identifier de nouvelles signatures lithologiques non cartographiées. Elles présentent un paysage et des formations variées qui sont retenues pour l'échantillonnage se présentent comme suit:

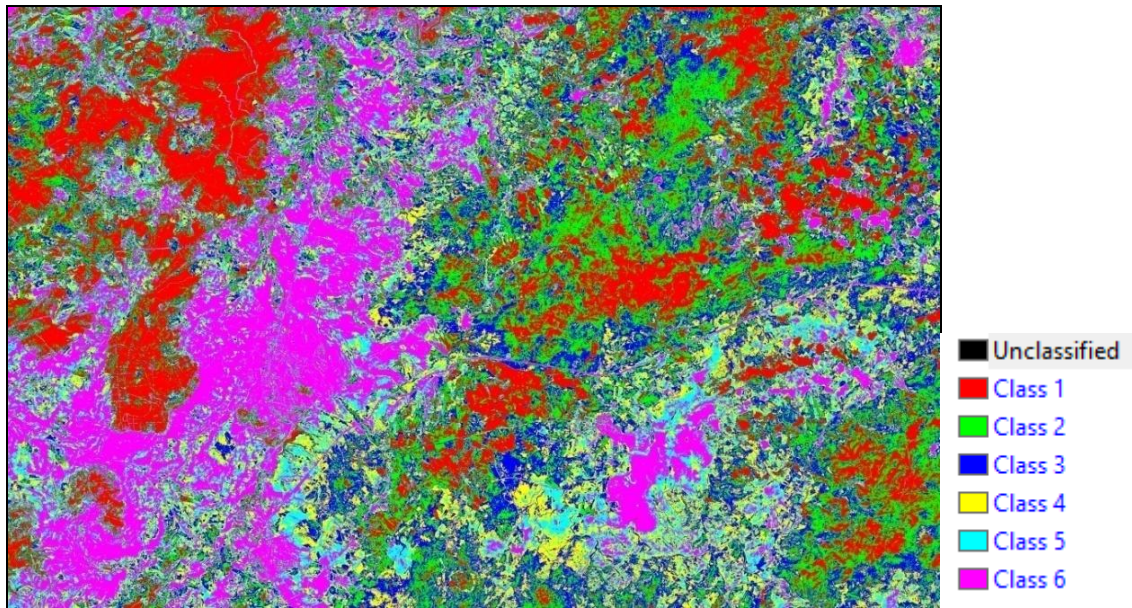
- Les terrains Paléozoïque (Silurien) présentés par des granite, des formations Calcaires microgréseux et calcaires à ovoïdes du Bajocien supérieur- Callovien inférieur sont localisés à la base des argiles de Saida. Puis les argiles de Saida d'âge callovien, est Grés de Bou Medine qui couronne le Djbel de Ben Kmer.

- Les dépôts alluvionnaires correspondent aux accumulations les dépôts récents sont présents dans tous les terrains de la région.

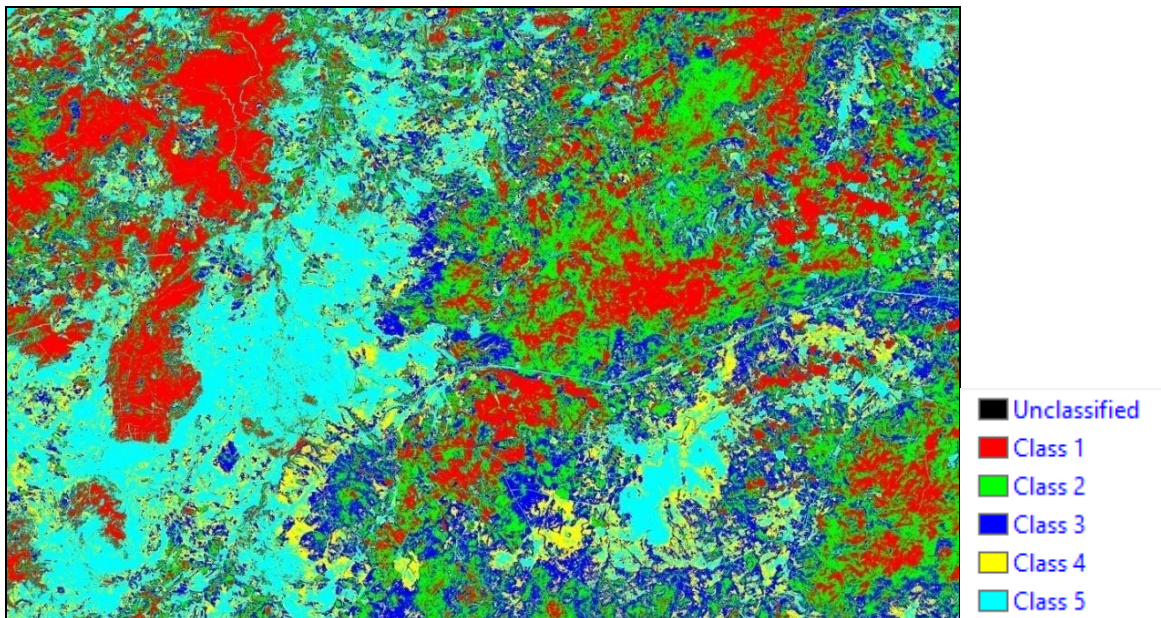
- Les chemins des Oueds (Oued de Saida) et les ruissellements.
- La route principale qui relie la ville de Saida avec Sidi Bou Bkeur.
- Les zones d'agglomérations.
- Des terrains cultivé et nus.

#### 4.2. Classification non-supervisée (Caractérisation radiométrique)

L'approche non-supervisée ou *clustering* (en anglais), dépend des méthodes statistiques basées sur l'information numérique des données visant à regrouper les individus dans des classes, chacune la plus homogène possible et les plus distinctes possibles entre elles. Plusieurs méthodes de classifications sont proposées et on cite: K-means et IsoData (Fig 23).



**Fig. 23:** Extraction radiométrique des différents éléments géologiques du secteur d'étude  
Classification K-means (6 classes) à partir de RVB des Bandes (B4 B3 B2)



**Fig 24 :** Extraction radiométrique des différents éléments géologiques du secteur d'étude  
Classification Isodata (6 classes) à partir de RVB des Bandes (B4 B3 B2)

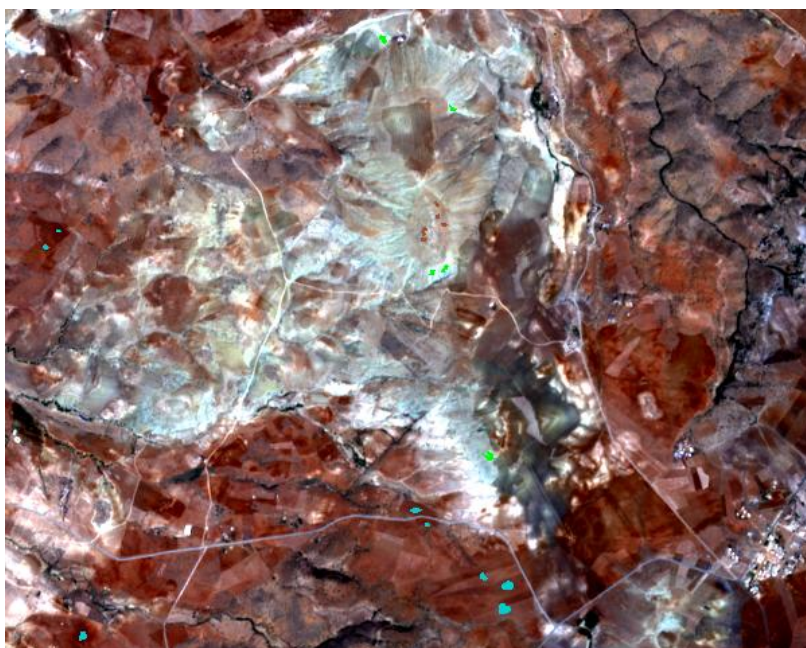
#### **4.3. Classification supervisée (Extraction automatique des unités lithologiques)**

La classification supervisée ou l'approche dirigée consiste à utiliser les connaissances (carte géologique et terrain) pour la création des classes sur l'image (pixels) ainsi que la saisie des échantillons (signature du pixel classé). Chaque classe réalisée sur l'image représente une lithologie relevée sur terrain. Cette approche présente des contraintes de manipulation particulièrement, les confusions des classes qui augmentent entre la résolution des capteurs et l'hétérogénéité spatiale des milieux. Plusieurs méthodes sont proposées par l'ENVI parmi lesquelles nous pouvons citer : parallélépipède, minimum distance, mahalanobis, neural net et maximum de vrai semblance.

### 4.3.1 Procédure de la classification supervisée

#### a) Echantillonnage (sélection des ROI).

Le ROI (Region Of Interest) présente la signature spectrale du pixel sélectionné créant ainsi des classes de pixels. Chaque classe représente une lithologie analysée et identifiée à partir de l'étude des échantillons. Cette tâche est très délicate à mener car il en résulte une certaine confusion entre les classes, eu égard à la complexité que présente notre terrain notamment, la disposition verticale des couches sous forme de couverture, ce qui les rend difficile à discriminer ; ainsi la ressemblance entre les couleurs, va influencer sur le résultat de l'analyse des échantillons (Statistique des échantillons et calcul de séparabilité ROI) (Fig 25).



**Fig. 25 :** Procédure d'échantillonnage.

#### b) Analyse des échantillons

##### b.1) Statistiques des échantillons.

L'analyse statistique des échantillons permet d'obtenir des statistiques concernant les réponses spectrales de nos échantillons.

Vu l'hétérogénéité des faciès constituant le terrain d'étude en particulier, dans le Djebel de Ben Kmer et les faciès environnante (tous dépend de constituant des formation et leur âge) , l'échantillonnage s'est avéré très difficile à réaliser car, à chaque fois, il a été indispensable de répéter le processus d'échantillonnage jusqu'à ce que les deux classes se séparent surtout échantillonnage entre les classes les plus rapproché.

Pour une meilleure analyse des valeurs moyenne de réflectance des échantillons pour chaque bande, nous avons réalisé des graphes sous Excel à partir de ces statistiques.

### **b.2) Calcul de séparabilité des échantillons ou L'indice de séparabilité des ROI**

La Calcul de la séparabilité spectrale entre paires sélectionnées d'échantillons pour un fichier d'entrée donné. Deux mesures de séparabilité sont calculées : Celle de la Divergence transformée et la séparabilité de Jeffries-Matusita (Richards, 1999, HAMMAD, 2016). La moyenne des deux valeurs sont calculés et vont de 0 à 2.0 et indiquent comment les paires de échantillons sélectionnés sont statistiquement distincte. Les valeurs supérieures à 1,9 indiquent que les paires de ROI ont une bonne séparabilité.

### **c) Le processus d'apprentissage**

Le processus d'apprentissage consiste en une répétition des opérations suivantes :

- Prise ou modification d'échantillons dans chaque classe,
- Evaluation de l'apprentissage, c'est à dire de la séparabilité des classes sur chaque canal à l'aide des outils statistiques.
- Création, modification ou fusion de classes

Les échantillons représentatif des classes sont modifiés une multitude de fois et ce à cause des nombreuses confusions entre classes relevés à chaque analyse statistique. Le processus d'apprentissage se termine avec l'appropriation des meilleurs échantillons représentatifs de classes discriminées et le lancement de la classification



#### **d) Validation de la méthode**

Pour être sûr que notre classification est correcte et que le résultat est satisfaisant, une validation est appliquée par deux méthodes essentielles :

##### **d.1) La vérité terrain.**

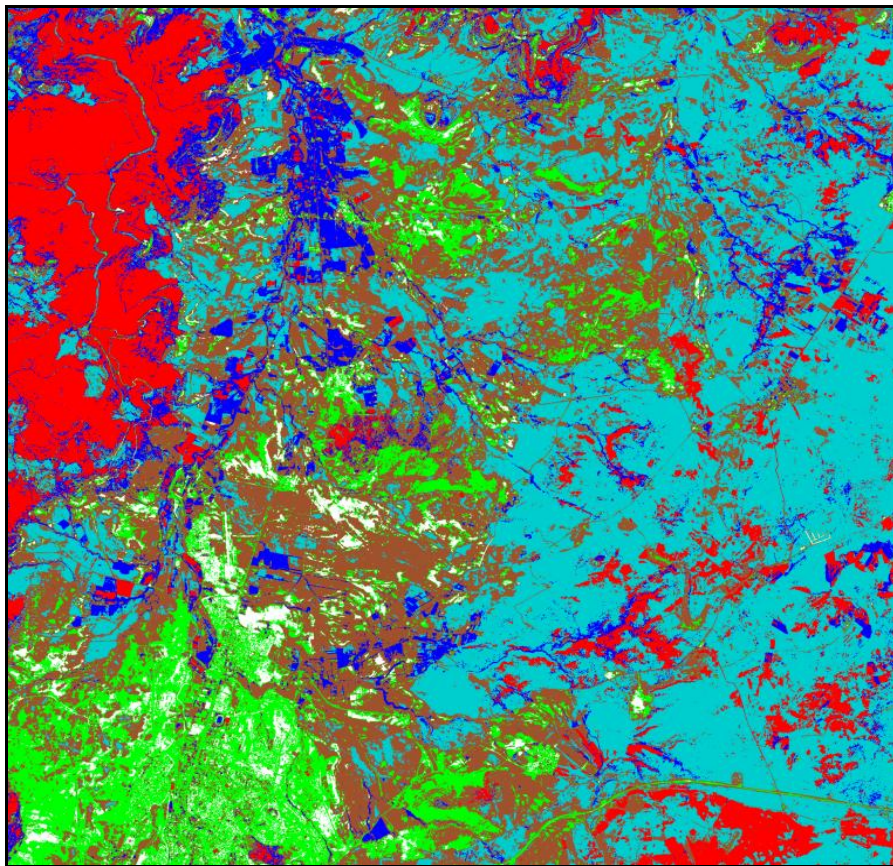
Représente l'étape de vérification de la classification supervisée à partir de la carte géologique 1/50000<sup>e</sup> de la région de Cornet *et al.*, éditée le 1951 (Fig. 27 (A)) et carte géologique et structurale plus récente à l'échelle 1/200 000<sup>ième</sup> fait par ANRH en 2008 (Fig. 27 (B)) avec les résultats de l'étude géologique (stage terrain et échantillonnage) (Fig 28).

En faisant la comparaison entre la carte géologique et les résultats de terrain et les données obtenue par la classification, nous n'avons pas pu faire ressortir les mêmes lithologies celle des données précédent (Fig 32, 33 et 34).

#### d. 2) Classification par SVM

La technique **SVM (Support Vector Machines)** est une nouvelle technique d'apprentissage statistique, elle est initiée par Vapnik en 1995 (Hammad,2016). Elle permet d'aborder des problèmes très divers dont la classification. SVM est une méthode particulièrement bien adaptée pour traiter des données de très haute dimension telles que les textes et les images. Depuis leur introduction dans le domaine de la reconnaissance de formes, plusieurs travaux ont pu montrer l'efficacité de ces techniques principalement en traitement d'image (Hanifi, 2009). Un autre intérêt est la sélection de Vecteurs Supports qui représentent les vecteurs discriminant grâce auxquels est déterminé l'hyperplan. Les exemples utilisés lors de la recherche de l'hyperplan ne sont alors plus utiles et seuls ces vecteurs supports sont utilisés pour classer un nouveau cas. Cela en fait une méthode très rapide.

On a choisi cette méthode car elle convient le mieux aux particularités géomorphologiques de notre terrain. Elle est, également, fiable et permet d'avoir les meilleurs résultats possibles (Fig 29).



**Fig. 29** : Résultat de la classification par SVM.

### **d. 3) Traitements après classification (Post Classification)**

Nous avons entamé la classification supervisée qui constitue une des priorités de cette étude à prés l'étape ROI,

Pour ce faire, et après avoir essayé plusieurs méthodes et consulté, en parallèle, les approches utilisées dans les travaux d'étude antérieures, notamment celle de Hammad, 2016.

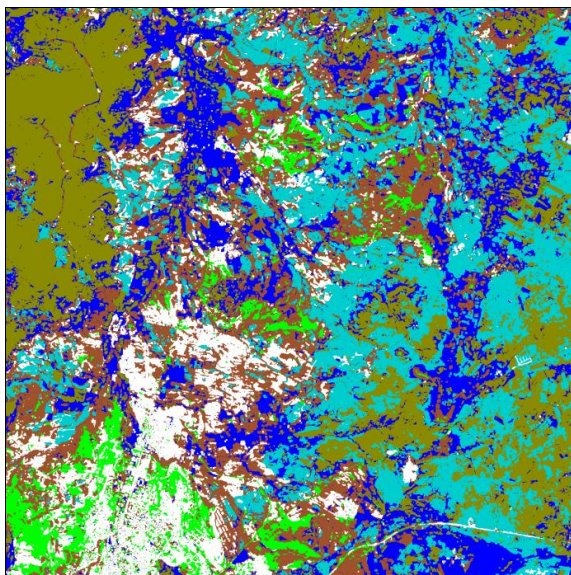
#### **4.3.1. Analyse majoritaire et minoritaire**

Le principe d'analyse majoritaire ou minoritaire est basé sur l'utilisation d'un filtre (ou noyau) de taille variable (par exemple : 3x3). Le filtre se déplace ligne par ligne, colonne par colonne sur l'ensemble de l'image classée. Dans le cas d'une analyse majoritaire, le pixel central du filtre sera affecté à la classe la plus représentée (majoritaire) dans le filtre. Inversement, dans une analyse minoritaire, le pixel central sera affecté à la classe la moins représentée dans le filtre (Fig. 30).

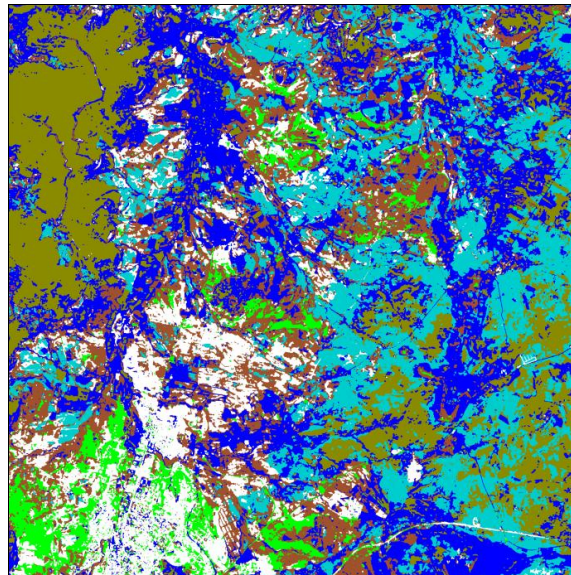
### 4.3.2. Homogénéiser les classes

L'option Clump Classes apporte une autre solution en homogénéisant le contenu des classes par des opérateurs morphologiques (Fig. 31).

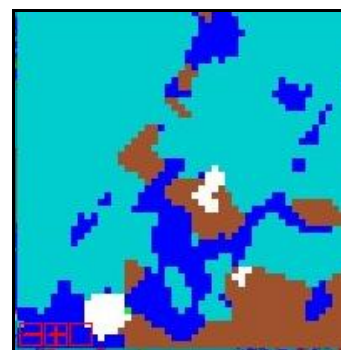
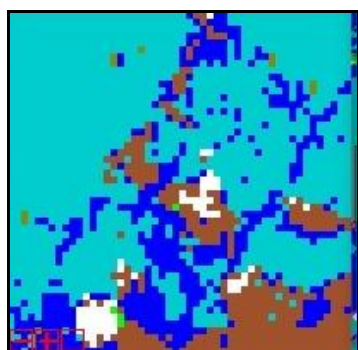
On applique une opération de dilatation suivie d'une opération d'érosion avec un filtre de taille 3x3, 5x5, etc.



**Fig 30 : Classification majorisée**



**Fig 31 : Classification Clump**



**Fig 32:** Comparaison entre Classification majorisée et classification Post-Clump

### 4.3.3. Elimination des pixels isolés

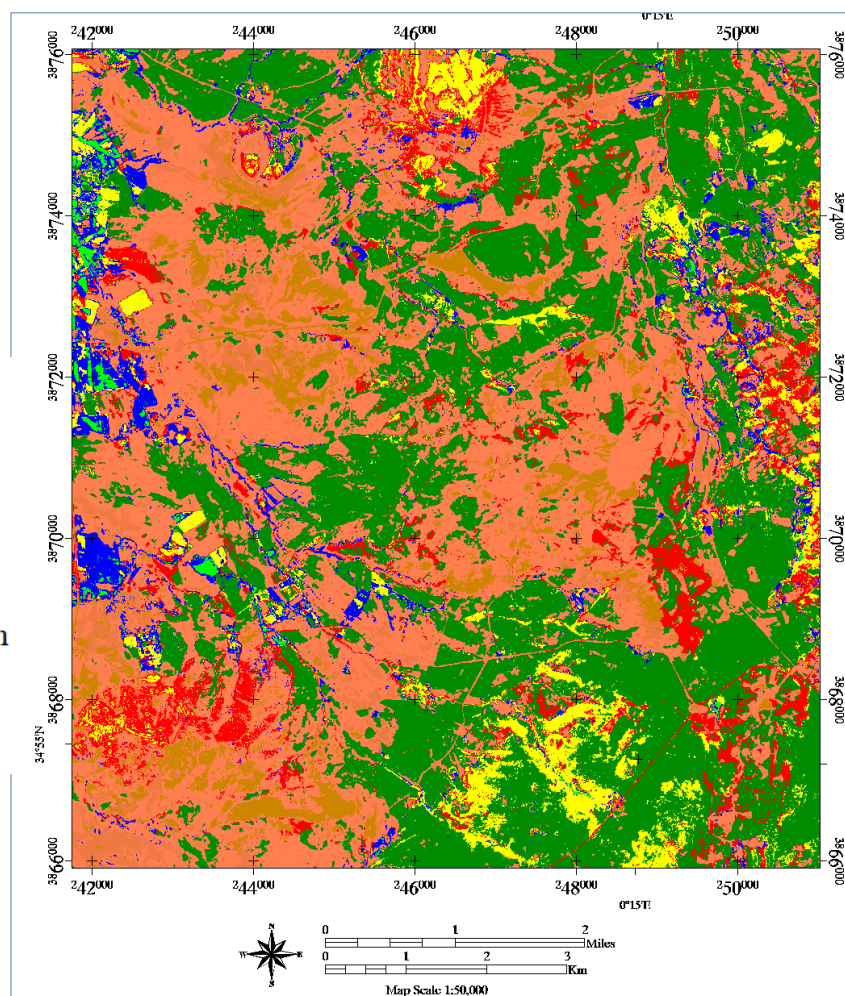
L'application des filtres morphologiques peut engendrer l'apparition de pixels isolés d'une classe donnée à l'intérieur d'une autre classe. Ce traitement permet de supprimer ces pixels isolés. Elle se base sur l'examen des pixels de voisinage. Le pixel éliminé devient noir (criblage de l'image). On peut utiliser alors la fonction précédente pour homogénéiser l'image (suppression des pixels noirs). Après application de ces traitements post classification la qualité des classifications s'est nettement améliorée.

## 4. Carte lithologique et télanalytique finale de la région d'étude.

Nous avons changé les couleurs des différentes formations sa fin de rendre la carte similaire à la carte géologique de la région (Fig. 33 et 34).

### Légende

- Unclassified
- Granite de Paléozoïque
- Calcaire de JIM
- Calcaire de Bajocien
- Argile de Saida Callovien
- Grès de BouMédine Oxfordien
- Calcaire de crétacé
- Réseau Hydrographique
- Cultures



**Fig.34:** Carte finale de la région de Hammam Rabi. Echelle 1 : 50 000<sup>ième</sup>

# ***CONCLUSION GENERALE***

## *Conclusion générale*

L'étude géologique de la série du Djebel Ben Kmer dans les Monts de Saïda, nous a permis d'obtenir des résultats significatifs, aussi bien du point de vue sédimentologique que cartographique.

La lithostratigraphie de la coupe du Djebel Ben Kmer représente par une alternance argilo-gréseuse admettant d'importants niveaux carbonatés d'âge Bajocien et Callovo-oxfordien ;

L'étude sédimentologique nous a permis de définir quatre principaux faciès reflétant des caractéristiques lithologiques, stratigraphiques, chromofaciologiques et paléontologiques différentes ; l'analyse des différents faciès rencontrés nous a permis de définir quatre associations indiquant une dynamique sédimentaire rétrogradante : une première association (I) où le milieu est plus profond (*l'offshore inférieur à l'offshore supérieur shoreface*), à sédimentation marneux-carbonatée caractérisant un milieu calme ; Une deuxième association (II) à une sédimentation carbonatée à oncolithes indique un milieu moins profond (*shoreface*) ; une troisième association (III) argilo-gréseuse où le milieu est profond (*l'offshore supérieur à shoreface*) et enfin une association (IV) où le milieu est peu profond (*shoreface*), à sédimentation assez gréseuse.

De point de vue séquentielle, la série étudiée montre une évolution cyclique (transgressive/régressive) dont les principaux événements sont relativement situés dans le temps. Elle est représentée par des séquences de troisième ordre (3<sup>ème</sup> ordre), à tendance de comblement.

Les résultats de la télédétection à travers les différentes étapes de traitement d'images utilisées (traitements thématiques et spécifiques) ainsi que la caractérisation lithologique sur terrain des formations de notre région d'étude, permettent une assez bonne cartographie linéamentaire.

Cette cartographie lithologique et linéamentaire, réalisée à partir de la superposition des différentes images issues des traitements, ont été confrontés aux cartes géologiques de Cornet et *al.*, 1951 à l'échelle 1/500 000<sup>ième</sup> et la carte géologique et structurale plus récente à l'échelle 1/200 000<sup>ième</sup> fait par ANRH en 2008 et nous ont permis même d'apporter des informations nouvelles et différentes de celles déjà connues et de suggérer quelques précisions à la carte géologique préexistante.

Les données révélées par les campagnes de cartographies montrent l'apparition des formations d'âge Bajocien et Callovo-Oxfordien de la coupe réalisée à Djebel Ben Kmer. Les affleurements de la série magmatique présentés sur la carte de Cornet et *al.*, 1951 à l'échelle 1/500 000<sup>ième</sup>, apparue dans la même situation sur la nouvelle carte avec plus de détail et avec quelques point d'interrogation. Cela donne une nouvelle piste pour un travail de recherche futur, par l'analyse d'autres images satellitaires couvrant le reste des formations dans le but de repérer des réponses spectrales similaires sous les différents traitements, la confrontation des résultats aux cartes géologiques existantes et une mission de vérification sur le terrain qui, seule, est capable de préciser la nature de cette formation.



***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

- **Allen J. (1981)**. - Sedimentology, 30, 1-3. Development in 3 pp.
- **Arnott R.W. (1981)**. - Sedimentology, 30, 1-3. Bedded sandstones of the Chungo Member M, 29 : 1802-1805.
- **Atger M. & Verdier J. (1965)**. - Etude géologique du plateau jurassique de Cacherou (Sidi Kada), bordure nord des Monts de Saïda. - *Géoscience., S. N. Répal.*
- **Auclair D. & Biehler J. (1967)**. - Etude géologique des Hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saïda. - *Publ. Serv. Géol. Algérie, Alger. (Nouvelle. Série).*, 34, 3-45.
- **Atrops, F. & Benest, M., (1981)**- Données biostratigraphiques nouvelles sur L'Oxfordien et Kimméridgien du Djebel Nador et Tiaret (Avant-pays tellien, Algérie): Conséquences paléogéographiques. *Geobios, Lyon, fasc. 1, 14: 155- 122*
- **Berger A. (1978)**. Long term variations of caloric insulation resulting from the Earth's orbital elements. *Quaternary Research.*, 9, 139-167.
- **Berger A., Imbrie J., HAYS J., Kukla G., Saltzman B. (1984)**. Milankovitch and Climate. *Pt.1, Reidel, Publ. Co., Amsterdam, 3-39..*
- **Brenchley P. J., Pickerill R. K. & Strombert S. G. (1986)**. The role of the reworking on the architecture of storm sandstone faces. Bell Island Group (Lower Ordovician). Eastern Newfoundland. *Sedimentology*, 40 : 359-382.
- **Buatois L., Mangano M.g. et Sylvester Z. (2001)**. – A diverse Deep-Marine Ichnofauna from the Eocene Tarcau Sandstone of the Eastern Carpathians, Romania. -*Ichnos*, 8 (1), pp. 23-62.
- **Caire A. (1970)**-Tectonique de la Méditerranée central. *Ann. Soc. géol..Nord, XC, 4, pp. 307-346.*
- **Caratini, C. (1970)**- Etude géologique de la région de Chellala-Reibell. Publication du Service Géologique de l'Algérie, 40: 21, 311
- **Chamley H. (1988)**. - Les milieux de sédimentation.- *Tecc & doc et BRGM.*, Paris et Orléan, 168 p.
- **Cherif A. (2017)**-Sédimentologie et dynamique sédimentaire de la Formation des Argiles de Saïda (Oxfordien moy-sup) de la partie orientale du domaine tlemcenien (Algérie ouest). Doctorat En Sciences de la Terre Univ. Oran, 188p. 74 fig.
- **Chikh M. (1995)**-Modélisation hydrologique maillée d'un bassin versant topographique à l'aide d'un Système d'Information Géographique : « Application au bassins versants du barrage d'Arzew (Algérie) et de Houffalize (Belgique) » ; Thèse de magistère. CNTS/Arzew ; 29-39 pp., 9 fig.
- **Cojan I & Renard M. (1999)**. - Sédimentologie. - Dunod (2ème éd). Paris, 418 p.
- **Cubaynes, R., Faure, PH., Hantzpergue, P., Pelissie, P. & Rey, J. (1986)**. Le Jurassique du Quercy: unités lithostratigraphiques, stratigraphie et organisation séquentielle, évolution sédimentaire. *Géologie de France, Orléan, 3: 33- 62.*
- **Delfaud J. (1973)**. - Sur l'appartenance de certains «pseudo-flyschs» aux faciès prodeltaïques de plate-forme. - *C. R. Acad. Sc., Paris, (série) d, t. 277, p. 1125-1128.*
- **Delfaud J. (1974)** : Typologie scalcaire des séquences sédimentaires en fonction du milieu de dépôt. *Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XVI, n°, p.643-652.*

- **Delfaud J. (1986)** : Organisation scalaire des événements sédimentaires majeurs autour de la Mésogée durant le Jurassique et le Crétacé. Conséquences pour les associations biologiques, Bull. Cent. Rech. Explor. Elf Aquit. De Pau 10 (2) 509–535.
- **Dupraz C. (1999)**. *Paléontologie, paléocéologie et évolution des faciès récifaux de l'Oxfordien Moyen-Supérieur (Jurassique et français)*. Thèse, Université de Fribourg, Fribourg, 200 p.
- **El Atillah A., El Morjani Z. El A., Souhassou M. (2018)**-Utilisation de l'image multispectrale pour l'exploration et la recherche des ressources minérales : Etat des connaissances et proposition d'un modèle de traitement. European Scientific Journal August 2018 edition, Vol.14, No.24, pp. 350- 378, 16 Fig. 14 Tabl.
- **Elmi S. (1972)**. - L'instabilité des Monts de Tlemcen et de RharRoubane (Ouest algérien) pendant le Jurassique, interprétation Paléogéographique. - *C. R. somm. Soc. Géol. France, Paris, n° 5, p.220-222*.
- **Elmi S. & Ameur M. (1984)**. - Quelques environnements des faciès noduleux mésogéens. - *Estrato da Geologica Romana.*, **23**, 13-22.
- **Elmi S. & Benest M. (1978)**. - Les « Argiles de Saïda », faciès flyschöide du Callovo-Oxfordien du sillon tlemcenien (Ouest algérien) : stratonomie, environnement, interprétation et évolution paléogéographique. - Livre Jubilaire Jacques Flandrin, *Docum. - Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon, (hors .série4)*, 203-261.
- **Fenet, B. (1975)**- Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du Bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogène nord-magrébien: les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. Thèse Ès-Sciences, Université de Nice, 301 p., (inéd.).
- **Fisher A.g. (1986)**. Climatic rythms recorded in strata. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 14, 351-376.
- **Floyd F.Sabins JR. (1987)**- Remote Sensing, Principales and Interprétations. Second edition. W.H. Freeman and Co. 449p. 296 fig., 35 Tableaux.
- **Foucault.A et Raoult .J.f (2001)** : Dictionnaire de géologie 5ème édition. Dunod
- **Futterer E. (1982)**. – Experiments on the distinction of wave and current influenced shell accumulations. In Einsel& Seilacher (ed): Cyclic and event stratification. - *Springer-Verlag Heidelberg New York.*, 175-179.
- **Gonzalez R. (1996)**. Response of shallow-marine carbonate facies to third-order and high-frequency sea-level fluctuations :Hauptrogenstein Formation, northern Switzerland. *SedimentaryGeology*, 102 : 111-130.
- **Gressly A. (1838)**. - Observations géologiques sur le Jura soleurois. - *Nouv. Mém. Soc. Helv. Sec .Nat .Neuchâtel*, II, 241p, 12pl.
- **Guardia, P. (1975)**- Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice, 286 p, (inéd.).
- **Guillocheau F. (1991)** – Mise en évidence de grands cycles transgression-régression d'origine tectonique dans les sédiments mésozoïque du Bassin de Paris.*C.R.Acad. Sci, Paris*, 312-p. 1587-1593.
- **Glangeaud L. (1951)**- Interprétation tectono-physique des caractères structuraux et paléogéographiques de la Méditerranée occidentale. Bull. Soc. géol. France, sér: 6, t 1, p. 735- 762.
- **Haddad M. (2019)**-Étude géologique de la série de Djebel Seba El hadid dans les Monts de Chellala. Sédimentologie et application de la télédétection. Mém. de Master Académique. Ouargla, 87 p., 49 Fig., 6 Tabl.
- **Hammad N. (2016)**-Cartographie géologique et analyse linéamentaire de la région d'El Kseïbat (Sahara du sud-ouest) à partir des images spatiales. Incidence sur l'exploration minière. Thèse de Doctorat de l'Université d'Ouargla-Algérie, 179 pp. 136 fig. 14 Tableaux. 2 Annexe
- **Harms J.c., Southard J.b.& Walker R.g. (1982)**. - Structures and Sequences in clastic rocks : Lecture notes for SEPM. - *Short Course n° 9*, Calgary, Ontario.
- **Harms J.c (1975)**. - Primary sedimentary structures. - *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 7, pp. 227–248.

- **Homewood P., Guillocheau F., Eschard R & Cross T.A.(1992).** - Corrélation haute résolution et stratigraphie génétique: une démarche intégrée. - *Bull. Cent. Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, v. 16, n°2, 235-457.
- **Johnstone P. D., Mustard P. S. & MacEachern J. A. (1986).** The basal unconformity of the Nanaimo Group, southwestern British Columbia : a Late Cretaceous storm-swept rocky shoreline. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 43 :1165-1181
- **Kazi-Tani N. (1986)-** N Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intra-plaque nord algérien. Approche méga-séquentielle. Thèse. Doct d'état.
- **Khadraoui.Kh&Belmassmar.A (2019)** : Application des méthodes statistiques multivariées (ACP) sur les données de la microfaune (foraminifère) de la région de saïda (Algérie Occidentale).
- **Kortli M. (2012-2013)-**Traitement d'images satellitaires. Travaux pratiques de télédétection de Mastère 2. Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la recherche scientifique et de la Technologie, Tunisie.123 p.
- **Kumar N. & Sanders J.e. (1976)** – Characteristics of *Shoreface* storms deposits modern and ancient examples. *J. Sedim. Petrol.*, v, 46, p. 145-162.
- **Klupfel .W. (1917)** : Uber die Sedimente der FlachseeimLothringer Jura. *GeoLRundschau*, 7 : pp, 97-109.
- **Lacombe J.-P. (2007-2008)-**Initiation au Logiciel ENVI 4.3 : Initiation au traitement d'images Satellitaires (Travaux dirigés : Cahier 2) ; Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 89 p.
- **Lombard. A. (1953)** : Les rythmes sédimentaires et la sédimentation générale. *Rev. Inst. Franc.Pétrole*, n° spéc pp 9-45.
- **Lombard. A. (1956)** : Géologie sédimentaire. Les séries marines. Masson edit., Paris, 722 p.
- **Lombard. A. (1972)** : Séries sédimentaires, gènèse et évolution. Masson édit.. Paris, 425p, 89 fig.
- **Lowe D. R. (1982)-** Sediment gravity flows : II Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of SedimentaryPetrology*, 52 : 279-297.
- **Lucas G. (1942).** - Description géologique et pétrographique des Monts de GharRoubane et de Sidi el Abed. - *Bull. Serv. Géol. Algérie*, Alger, (*Série 2*), 16, 539 p.
- **Lucas G. (1952).** - Bordure nord des Hautes-Plaines dans l'Algérie occidentale. - *XIXème Cong. Géol. Intern., Alger, (Monographie. régionale., série 1)*, n°21, 139 p.
- **Mangold C., Elmi S. & Benest M. (1974).** - Les Argiles de Saïda (Callovo-Oxfordien d'Oranie, Algérie) : âge et milieu de dépôt. - *C. R. Acad. Sc. Paris, (tome. 279)*, 137-140.
- **Merzeraud G. (1992).** Géométrie et signification géodynamique des séquences de dépôts en domaine continental et marin restreint : exemple du Lias inférieur du Sud-Ouest du bassin de Paris. Applications aux potentialités de stockage de gaz naturel en nappes aquifères. *Thèse. Doc. Univ. Louis Pasteur.* 169 P.
- **Mulder T. & Alexander J. (2001).** - The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. - *Sedimentology* (2001) 48, 269-299.
- **Mulder T. &Faugères J. C. (2001).** - Excursion sédimentologique dans le pays Basque. Livre guide. - *D. G. Océanogr. Univ . Bordeaux 1*, 30 p., 16 pho.
- **Murray J. C. (1991).** – Ecology and paleoecology of benticforaminifera.Longman Sc. Tech, Harlow, 1-397
- **Mutti E. (1992).** - Turbidite sandstone. San Donato Milanese: - *A.G.I.P Inst. Geol. Univ. Parma.* Italy. 275 p.
- **Nottvedt A. &Kreisa R. D. (1987).** Model for the combined flow origin of hummocky cross-stratification. *Geology*, 15 :257-361.
- **Oppel A. (1863).** III- ÜberjurassischeCephalopoden :*PaleontologischeMittheilungenausdem Museum desKoeniglischenBayerischenStaates*, Stuttgart, 127-266.
- **Ouardas T. (1983).**- Sédimentologie des Grès de Sidi Amar ou grès de Franchetti dans les Monts de Saïda et les Monts de Daïa (Algérie). - *Thèse 3 ème cycle, Univ. Sc. Med., Grenoble*, 106 p., (inéd.).

- **Pattison S.a.j. (2005).** – Isolated highstand shelf sandstone body of turbiditic origin, lower Kenilworth Member, Cretaceous Western Interior, Book Cliffs, Utah, USA. - *Sedimentary Geology.* – Elsevier., **117**, pp131-144.
- **Pickering K. T., Hiscott R. N. & Hein F. J. (1989).** *Deep marine environments : clastic sedimentation and tectonics.* UnwinHyman, London, 416 pp.
- **Pomel A. ( 1880):** Type of BellevaliamauritanicaPomel. Herbar de L'Institut de Botanique de L'Université Montpellier II (MPU).Aluka .
- **Purser B. H., (1980)** –Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents: Les elements de la sedimentation et de la diagenèse. Edition technip, paris.
- **Reineck H. & Singh I. (1982).** - DepositionalSedimentaryEnvironments. -*Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.
- **Sapunov L. G. (1973)-** Ammonites de l'Oxfordien de la partie occidentale des HautsPlateaux (Algérie). Bulletin du Service de Carte Géologique de l'Algérie, Alger, 44: 101-137.
- **Shanmugam G. (1997).** – The Bouma Sequence and their turbidite mind set. - *Earth Science Reviews* 42 (1997) 201-229.
- **Scanvic, J.-Y. (1993)-** Télédétection aérospatiale et informations géologiques. Edition BRGM, France , 132 p, 67 Fig .
- **Schwartzacher W. (1991).** Milankovitch cycles and measurement of time. In : “Cycle andevents in Stratigraphy”, *G. Einsele, sd., Springer Verlag Berlin*, 855-863.
- **Sebane A. (2007)** - les foraminifères du Jurassique des Monts des Ksour. Etude biostratigraphique et paléoécologique. *Doctorat d'Etat. Univ. Oran*, 211 p., 45 fig., 25 pl.
- **Seilacher, A. (1982)-** . Distinctive features of sandy tempestites. In: G. Einsele and A. Seilacher (Editors), *Cyclic and Event Stratification.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 333-349.
- **Simpson A. m. & Erikson K.a. (1990)** – Early Cambrien, progradational and transgressive sedimentation patterns. An example of the early history of passive margin. *Jour. Sedim. Petrol.*, v. 58, p. 580-595.
- **Stenon N. (1669).** - Lithologie and mineral resources. - *In: founder of the science of geological facies*, Vol.40, n°1. P.89- 91 (3).
- **TobbalSeghir M. (2012)-**Utilisation d'un SIG pour la prospection et la hiérarchisation delaBentonitedans le Bas-Chélif, Mém. Magister,Universite des SciencesetdelaTechnologie "HouariBOUMEDIENE. Oran, 120p, 69 fig. 14 Tableaux.
- **Touahria A. (1979).** Biostratigraphie du Callovien des environs de Saïda (Algérie occidentale).LesReineckeidae(*Ammonitina*, Perisohinctaceae). *Thèse 3ème Cycle, Univ.Lyon*, 152 p., (ined)
- **Touahria A., DouasBengoudira F., Fagel N., Fontaine F., Sebane A. (2019)-**La Formation des Argiles de Saïda (Jurassique moyen d'Algérie occidentale): biostratigraphie (ammonites) et minéralogie. *Revue de Paléobiologie, Genève*, 38 (1):pp. 1-17, 6 fig., 2 Tableaux 4 planche
- **Walker R.g. (1967).** – Turbidites sedimentary structures and their relation ship to proximal and distal depositional environment. - *Journ. Sedim. Petrol.* Tulsa., 37, pp.25- 43.
- **Zioui K., Sebane A., Touahria S A., Mahrouk L.,** - Benthic Foraminifera from the Saïda clay formation (Djebel Brame, northwestern Algeria) biostratigraphy and paleoecology- , *Arabian Journal of Geosciences*, v.14, p. 1-11, 6fig.

## ملخص

هذا العمل مخصص لدراسة جيولوجية , رسوبيات ورسم الخرائط لتشكلات الطين سعيدة في الجزء الشرقي من النطاق التلمساني على مقطع جيولوجي لجبل بن قمر على المستوى الطبقي الصخري ، التسلسل يتمثل من خلال تناوب الحجر الرملي الصلصالي الذي يسمح بمستويات كبيرة من الكربونات من العصر الجوراسي الأوسط والعلوي، وغنية بالمستحاثات ذات الحجم الكبيرة و بالمستحاثات الدقيقة و كذلك بالأشكال الرسوبية. الاختلافات السحنات الصخرية في هذه المنطقة تتمثل من خلال أربع سحنات رئيسية. يظهر التطور المتسلسل لهذه السحنات بيئة بحرية حيث توضعها يكون من البحر بعيد عن الشاطئ إلى الشاطئ. يقدم هذا التسلسل العمودي لهذه السحنات بما يعرف بسلسلة الحشو أدت دراسة الاستشعار عن بعد بتقنيات العلاج المستخدمة إلى تمييز الجيد للغاية صخري ورسم خرائط للحوادث التكتونية في المنطقة. سمح لنا تراكم النتائج المختلفة لهذه العلاجات الرقمية والبيانات الميدانية والبيولوجيا بعمل خريطة هيكلية حجرية جديدة لمنطقة الدراسة. **كلمات مفتاحية:** جبل بن قمر ، طين سعيدة ، العصر الجوراسي الأوسط والعلوي ، الاستشعار عن بعد

## Résumé

Le présent travail est consacré à une étude géologique, sédimentologique et cartographique de la Formation des Argiles de Saïda de la partie orientale du domaine tlemcenien dans la coupe de Djebel Ben Kmer (Algérie Nord-occidentale).

Sur le plan lithostratigraphique la série est représentée par une alternance argilo-gréseuse admettant d'importants niveaux carbonatés d'âge Jurassique moyen et supérieur, riches en macrofaunes, microfaunes et figures sédimentaires.

Les variations de faciès lithologiques dans la région présentent par quatre principaux faciès. L'évolution séquentielle de ces faciès montre un milieu marin allant d'un Offshore supérieur à un shorface. L'enchaînement vertical de ces faciès présente une séquence de comblement.

L'étude de la télédétection par les techniques de traitements utilisées a abouti à une très bonne discrimination lithologique et a une cartographie des accidents tectoniques de la région. La superposition des différents résultats de ces traitements numériques, données de terrains et bibliographique nous a permis la confection d'une nouvelle carte lithostructurale de la zone d'étude.

**Mots-clé :** Djebel Ben Kmer, Argiles de Saïda, Jurassique moyen et supérieur, télédétection

## Abstract

This work is devoted to a geological, sedimentological and cartographic study of the Saïda Clay Formation of the Eastern part of the Tlemcenien domain in the section of Djebel Ben Kmer (North-West Algeria).

On the lithostratigraphic level, the series is represented by a clay-sandstone alternation admitting significant carbonate levels of Middle and Upper Jurassic age, rich in macrofauna, microfauna and sedimentary figures.

The lithological facies variations in the region are presented by four main facies. The sequential evolution of these facies shows a marine environment ranging from a superior offshore to a shorface. The vertical sequence of these facies presents a sequence of filling

The study of remote sensing by the processing techniques used resulted in very good lithological discrimination and a cartography of tectonic accidents in the region. The superposition of the various

results of these digital treatments, field data and bibliography allowed us to make a new lithostructural map of the study area.

Keywords: Djebel Ben Kmer, Saïda Clays, Middle and Upper Jurassic, remote sensing.