

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département des Sciences agronomiques**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences agronomiques**

**Spécialité : Protection de la ressource sol, eau et environnement**

**THEME**

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES SOLS ET SÉDIMENTS DES  
RÉGIONS SAHARIENNES**

Présenté par :

**Melle Mesbouk Manel**

**Melle Saidat Nour El Hayat**

Soutenu publiquement :

Le 21 /06/2025

Devant le jury :

M. DJILI Brahim	<b>Président</b>	MCB	UKM Ouargla
Mme YOUCEF Fouzia	<b>Promotrice</b>	MCA	UKM Ouargla
Mme Oustani Mabrouka	<b>Co-Promotrice</b>	MCA	UKM Ouargla
Mme LAMRANI Cherifa	<b>Examinatrice</b>	MAA	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2024/2025



# *Dédicace*

Je remercie tout d'abord le bon dieu tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance infinies.

A ma merveilleuse mère **Fatiha**, qui a toujours été mon port d'attachement et ma boussole, merci pour ton amour inconditionnel, ton dévouement et ton soutien inébranlable. Tu as été la lumière qui a éclairé mon chemin dans les moments sombres et tu as toujours cru en moi, même alors que je doutais, sans toi, je n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaires pour aboutir à ce stade. Je t'aime maman et j'implore le tout puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

A mon cher père **Moussa**, ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Que dieu te garde et te protège.

Mes chères sœurs **Ikram, Malak et Meriem**

A mes deux frères **Ayoub et Abdelkader**

A l'âme sœur, à la lumière de mes jours, à celle qui fut mon soutien dans les moments de faiblesse. Celle qui a partagé la fatigue et la joie tout au long de ce parcours...A ma sœur de cœur, que ma mère n'a pas enfantée, **Ikhlas** Je te dédie toute ma gratitude, mon amour. Car sans toi, ce chemin n'aurait eu ni goût ni sens.

A mes très chères amies **Hayat, Fatima, Ferial, Aya**, merci pour votre amitié sincère, votre soutien sans faille et votre amour inconditionnel

À tous ceux qui ont été à mes côtés et m'ont soutenue durant cette étape, merci du fond du cœur.

**Mesbouk Manel**

# Dédicace

À tous ceux dont la sueur a perlé sur leurs fronts, et à ceux qui m'ont appris que la réussite ne vient qu'avec la patience et la persévérance,

À la lumière qui a éclairé mon chemin et à la lampe dont la clarté ne s'éteindra jamais dans mon cœur. À celui qui a sacrifié ce qu'il avait de plus cher, puisé de lui ma force et ma fierté... à mon père,

À celle qui a fait du paradis un lieu sous ses pieds, veillé des nuits entières pour mon confort et par ses prières. À la grande femme que j'ai toujours espéré voir heureuse en ce jour... à ma mère,

À mon pilier solide, et la sécurité de mes jours. À ceux qui ont renforcé mon bras, et furent pour moi des ailes abreuvées de l'expérience et la pureté de ma mère. À la prunelle de mes yeux, mes sœurs : (Hanan, Halima, Hiba, Aïcha),

À mes frères : (Ibrahim, Abdellatif, Bahaa Eddine),

À ma chère grand-mère,

À ma tante et à mes oncles,

À mes cousines, chacune par son nom,

À tous ceux qui furent un soutien sur ce chemin,

À mes amies et amis,

À mon amie Manal, je t'adresse toute ma gratitude pour ton amitié sincère et ta compagnie durant ce parcours. Ta présence n'a pas été un simple passage, mais bien une lumière et un véritable appui.

Je vous dédie cette réussite et le fruit de mon travail que j'ai tant espéré.

Me voici aujourd'hui ayant accompli et achevé ce premier fruit grâce à Lui, le Très-Haut. Louange à Dieu pour ce qu'Il m'a accordé. Il m'a comblée de bénédictions et d'assistance. J'étais de ceux qui ont dit : Nous sommes à la hauteur, alors donnez-la à celui qui la mérite. Et en effet, je l'ai méritée. Même si parfois le chagrin m'écrasait, j'ai prouvé que j'étais digne de l'affronter.

Louange à Dieu, avec amour et reconnaissance, pour la lumière et l'achèvement.

Et notre dernière prière est : Louange à Dieu, Seigneur des Mondes.

**Saidat Nour El Hayat**



# Remerciements

Nos vifs et sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à notre **Université Kasdi Merbah Ouargla**, qui nous a procurée une bonne formation.

Nous présentons nos sincères remerciements avec nos profonds respects à notre encadreur **Mme Youcef Fouzia** pour nous avoir proposée ce sujet, d'avoir offrir l'opportunité de réaliser ce travail et de bien vouloir accepter de le diriger avec beaucoup de compréhension.

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire. Nos Plus vifs remerciements vont à **Mr Djili Brahim** pour avoir accepté de présider ce Jury. Nous remercions également **Mme Lamrani Cherifa** pour avoir accepté de faire partie de notre jury et d'examiner notre travail.

Nous remercions toutes les personnes qui travaillent dans les labos scientifiques de l'université Kasdi Merbah.

## Table des Matières

<i>Dédicace</i> .....	II
Remerciements .....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures .....	VIII
Liste des abréviations.....	IX
Introduction Générale .....	X
Chapitre I: Généralités .....	3
Chapitre I: Généralités.....	4
I.1. Paléoenvironnement.....	4
I.2. Paléolac .....	4
I.3. Paléoécologie .....	4
I.4. Fluctuations paléoclimatiques et instabilité des paléoenvironnements au Sahara .....	5
I.5. La paléontologie : Définition et contexte général.....	5
I.5.1. Les fossiles .....	5
I.6. La Micropaléontologie .....	6
I.6.1. Les microfossiles : définition.....	6
Chapitre II : Présentation de la région d'étude .....	11
II.1. Situation géographique .....	12
II.2. Caractéristiques climatiques .....	14
II.2.1. Températures .....	15
II.2.2. Précipitation.....	15
II.2.3. Vent.....	15
II.2.4. Humidité .....	15
II.2.5. Synthèse climatique .....	16
II.3. Géologie.....	18
II.4. Hydrologie superficielle et hydrogéologie .....	19
II.5. Géomorphologie .....	20
Partie expérimentale.....	21
Chapitre III : Matériel et méthodes.....	22
III.1. Présentation et critères de choix des sites étudiés.....	23

III.1.1 Site N1: Djebel Mrah Bordj Omar-Idris, Wilaya d'Ilizi: Coupe P2.....	23
III.1.2. Site N2 : Sebkhha de Ouargla : La coupe PLO .....	24
III.1.3 Site N3 : Les bordures de route Ouargla-El Golea : La coupe PLN.....	24
III.2. Description des méthodes mises en œuvre.....	24
III.2.1. Sur terrain.....	24
III.2.1.1. Description morphologique.....	24
III.2.1.2. Prélèvement des échantillons.....	25
III.2.2. Au laboratoire.....	25
III.2.2.1. Etude paléontologique.....	25
III.2.2.2. Etude micropaléontologique.....	25
III.2.2.3. Analyse minéralogique par diffractométrie à rayons X.....	27
III.2.2.4. Etude micromorphologique.....	27
Chapitre IV Résultats et Discussion.....	30
IV.1. Etude morphologique des coupes étudiées.....	31
IV.1.1. la coupe P2.....	31
IV.1.1.1- Description morphologique.....	31
IV.1.2.La coupe PLO .....	32
IV.1.2.1. Description morphologique.....	32
IV.1.3. La coupe PLN.....	34
IV.1.3.1. Description morphologique.....	34
IV.2. Etude paléontologique.....	37
IV.2.1. Signification paléoenvironnementale des espèces fossiles.....	40
IV.3. Etude micropaléontologique.....	41
IV.3.1. Les ostracodes.....	41
IV.3.2. Les diatomées.....	45
IV.4- Résultats de la diffractométrie à rayons X.....	48
IV.5. Etude micromorphologique d'échantillons de couches noires.....	51
IV.5.1. Résultats de Microscopie Electronique à Balayage (MEB).....	51
IV.6. Morphoscopie des grains de quartz.....	53
Conclusion.....	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	58
Résumé.....	65

## **Liste des tableaux**

Tableau I: Données climatiques de la région d'Ouargla (2014-2024).....	14
Tableau II: Données climatiques de la région d'Ilizi (2014- 2024).....	15
Tableau III: Caractérisation élémentaire de la carapace externe d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO .....	43
Tableau IV: Caractérisation élémentaire de la carapace interne d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO .....	44
Tableau V: Les minéraux présents dans les échantillons analysés par la DRX.....	48
Tableau VI: Caractérisation élémentaire de la couche PLN4 .....	51
Tableau VII: Représentation de l'analyse morphoscopique des échantillons .....	53

## Liste des figures

Figure 1: Anatomie d'un Ostracode vivant (femelle) et interne d'une valve droite .....	8
Figure 2: Diatomées PENNEES .....	9
Figure 3: Diatomées centrales .....	10
Figure 4: Localisation géographique des régions de Ouargla et Illizi .....	13
Figure 5: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région D'Ouargla (2014-2024).....	16
Figure 6: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région d'Illizi (2014-2024).....	17
Figure 7: Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla et Illizi.....	18
Figure 8: la coupe P2.....	23
Figure 9: Coupes étudiées. a : La coupe PLN (Khemis, 2012) et b : la coupe PLO .....	24
Figure 10: Microscopie Electronique à Balayage (MEB) ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 11: la coupe PLO.....	32
Figure 12: Melanoïdes tuberculata.....	37
Figure 13: Planorbis sp.....	37
Figure 14: Lymnaea sp.....	38
Figure 15: Bivalve.....	38
Figure 16: Gastéropode et ostracode observés au niveau de la coupeP2H6.....	42
Figure 17 : Ostracode observés au niveau de la coupe PLO3.....	42
Figure 18: La carapace externe d'ostracode (Zone 1568) de la coupe PLO observé par MEB .....	43
Figure 19: Caractérisation élémentaire d'une carapace externe d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO .....	43
Figure 20: Diatomée centrique de la coupe PLN (GX60).....	46
Figure 21: Diatomée pennée de la coupe PLN (GX40).....	46
Figure 22: Diatomée pennée.....	46
Figure 23: Diffractogramme de rayons X de la couche PLN1.....	49
Figure 24: Diffractogramme de rayons X de la couche PLN2.....	49
Figure 25: Diffractogramme de rayons X de la couche PLO (Youcef, 2006).....	50
Figure 26: La couche PLN4 observé par MEB.....	51
Figure 27: Echantillon de la coupe PLN observé au MEB.....	52
Figure 28: La couche PLO2 observé par MEB.....	53

## Liste des abréviations

<b>DRX</b>	<b>Diffractométrie à rayons x</b>
<b>A</b>	Argile
<b>LF</b>	Limon fin
<b>LG</b>	Limon grossier
<b>SF</b>	Sable fin
<b>SG</b>	Sable grossier
<b>M.O</b>	Matière organique
<b>MEB</b>	Microscopie électronique a balayage



# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

---

Depuis toujours, l'histoire environnementale du Sahara suscite la curiosité des chercheurs et soulève de nombreuses interrogations : le désert a-t-il toujours été aussi sec et inhospitalier qu'il l'est aujourd'hui ? Comment était la vie dans ces vastes étendus à travers le temps ?

Selon Kröpelin et al. (2008), le Sahara n'a pas toujours été un désert aride ; cette région a connu, au cours de l'Holocène, des phases climatiques plus humides, marquées par des paysages verdoyants, une faune abondante et une présence humaine plus étendue.

Si actuellement nous disposons d'instruments très développés permettant l'enregistrement de tous les paramètres climatiques avec une grande précision, la compréhension de l'évolution des conditions climatiques et environnementales anciennes n'a été possible que grâce à des archives naturelles de différentes natures : les carottes glaciaires, les anneaux de croissance des arbres, les sédiments marins et lacustres, les paléosols, etc. (Youcef, 2016).

La présence de paléolacs dans la région saharienne constitue l'une des principales preuves d'un passé humide contrastant fortement avec l'aridité actuelle. Ces anciens lacs, aujourd'hui asséchés ou transformés en sebkhas (dépressions salées), témoignent de phases climatiques plus humides, notamment durant l'Holocène moyen, entre 10 000 et 5000 ans BP (Gasse, 2000).

En effet, les reconstitutions climatiques font appel à des archives naturelles qui permettent de caractériser l'histoire de la Terre. Ces dernières regroupent entre autres celles incluses dans les carottes océaniques, les sédiments lacustres, les carottes de glaces polaires, les dépôts coralliens, les loess et les paléosols susceptibles d'enregistrer les informations les plus diverses relatives aux changements globaux (Assi-Kaudjhis et al., 2010).

Dans ce contexte, plusieurs études indiquent que les régions d'Illizi et de Ouargla ont connu des changements environnementaux et climatiques notables, qui ont influencé la formation des sols et l'accumulation des sédiments (Gasse, 2000 ; Lécuyer et al., 2016 ; Youcef, 2016).

Dans le bassin d'Illizi en particulier, certaines recherches se sont intéressées à l'analyse de la structure sédimentaire et des couches fossilifères, dans le but de comprendre la

## Introduction Générale

---

dynamique de la sédimentation au cours du temps (Kröpelin et al., 2008 ; Lécuyer et al., 2016).

Dans la région de Ouargla, la plupart des travaux réalisés pour la reconstitution des changements paléoenvironnementaux concernent la Sebkha Mellala (Marmier et al., 1972 ; Boyé et al., 1978 ; Gibert, 1989 ; Youcef, 2006 ; Soulie-Märsche, 2008 ; Youcef et Hamdi-Aïssa, 2014 ; Youcef, 2016). Ces études ont montré l'importance de ce site correspondant à une lagune ancienne dans le domaine de l'étude des changements environnementaux passés. Cependant, peu d'études se sont intéressées à la signification paléoenvironnementale des sols de la région (Dutil, 1971 ; Hamdi-Aïssa, 2001 ; 2002 ; Youcef, 2006 ; Youcef et Hamdi-Aïssa, 2014 ; Khemis, 2017).

Les études réalisées par Youcef (2006) et Youcef et Hamdi-Aïssa (2014), sur les sols de la cuvette de Ouargla montrent la succession des sédiments témoignant de la succession de périodes arides et d'autres plus humides, et révèlent l'existence d'un paléolac qui paraît exiger des conditions climatiques différentes de l'actuelle, confirmée par la présence de microfossiles et d'une couche noire organique. Il paraît également synchrone avec le paléolac de Mellala (30 km à l'ouest de Ouargla) et d'autres paléolacs sahariens, probablement entre 10 000 et 4 000 ans BP.

L'objectif principal de ce travail est l'étude micropaléontologique et paléontologique des sédiments de paléolacs des régions sahariennes (Ouargla et Illizi). Il consiste à séparer principalement les microfossiles et les fossiles qu'ils renferment, et à essayer d'expliquer leur signification paléoclimatique et paléoenvironnementale. Ces paléolacs sont reconnaissables sur le terrain par la présence de couches noires et/ou de fossiles, en partant du principe que ces bassins clos représentent une importante source de données paléoenvironnementales.

Cette étude est subdivisée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la région d'étude ;
- Le troisième chapitre présente le matériel et les méthodes d'étude ;
- Le quatrième chapitre s'intéresse à la présentation des résultats obtenus et à leur discussion.

An orange scroll graphic with a white background, featuring a dark orange border and a dark orange shadow on the right side. The text is centered on the white background.

# **Chapitre I: Généralités**

## Chapitre I : Généralités

### I.1. Paléoenvironnement

Ensemble des paramètres écologiques, physico-chimiques et biotiques caractéristiques d'une aire géographique ou d'un habitat donné à une période géologique passée (Ramade, 2008).

Les changements paléoenvironnementaux qui ont touchés le Sahara au Quaternaire sont enregistrés et visibles à travers plusieurs indicateurs entre autres les sols. Ces derniers bénéficiant d'un climat aride avec de très faibles précipitations, ont l'avantage de préserver des propriétés leur permettant d'être de bons témoins de ces changements. L'étude des paléolacs Holocènes peut aussi contribuer de manière significative à la reconstitution des paléoenvironnements (Youcef, 2016).

### I.2. Paléolac

Les paléomilieux lacustres sont des formations aquatiques profondes où les dépôts s'organisent en auréoles concentriques de granulométrie décroissantes du rivage vers le centre du lac (Boudrimont, 1973).

Le Sahara est le plus grand désert du monde, mais il y a des preuves considérables que dans le passé, il a été le foyer de plusieurs très grands lacs d'eau douce (Armitage et al., 2007).

Le Paléolac de I-n-Atei (Sahara central, Algérie) était un lac d'eau douce permanente qui était à un haut niveau jusqu'à 8700 ans B.P. avec une profondeur de 20 m (Lécuyer et al., 2016).

### I.3. Paléoécologie

Discipline dont l'objet est l'étude des conditions écologiques qui ont caractérisé la biosphère, l'environnement des organismes fossiles et les écosystèmes auxquels ils étaient inféodés ainsi que leur évolution tout au long des périodes géologiques, depuis les origines même de la vie sur la terre, au début des temps archéozoïques, il y a environ 4 milliards d'années (Ramade, 2002).

Elle étudie les interactions entre les différents organismes passés. Elle se base sur des découvertes particulières comme des animaux ensevelis dans leurs terriers, l'abondance de juvéniles et d'œufs fossilisés indiquant un site de ponte où les animaux élevaient leur

progéniture ou encore les restes d'un repas découvert près ou dans un autre fossile (Tortosa, 2013).

#### **I.4. Fluctuations paléoclimatiques et instabilité des paléoenvironnements au Sahara**

A partir de l'étude des modifications des milieux naturels sahariens depuis 40 000 ans, ces paléoenvironnements n'ont pas été tels qu'ils se présentent aujourd'hui, mais ils ont subi des variations d'une amplitude considérable, se traduisant par des oscillations climatiques présentant l'ordre chronologique suivant: un Sahara relativement humide au Würm moyen (40 000 à 20 000 ans B.P.), le déplacement vers le Sud lors de l'accentuation du froid (20 000-12 000 ans B.P.), les changements climatiques majeurs de l'Holocène inférieur (11 000 à 6 000 ans B.P.) (Rognon, 1976). La période de l'Holocène (11500 ans B.P.) au Sahara est caractérisée par des fluctuations climatiques entre des périodes arides et d'autres plus humides durant lesquelles les paléoenvironnements ont subi des modifications de leur composante biotique (flore et faune) et abiotique (milieu physique) (Youcef, 2016).

#### **I.5. La paléontologie : Définition et contexte général**

La paléontologie, dérivée des mots grecs : palaios (ancien), ontos (créature) et logos (étude), est l'étude scientifique de la vie ancienne par l'analyse des fossiles, vestiges préservés d'organismes ayant vécu il y a au moins 10 000 ans. Cette discipline a considérablement évolué depuis ses débuts à la fin du XVIIIe siècle, Georges Cuvier étant souvent considéré comme son fondateur (Ameen et al., 2024).

La paléontologie a pour vocation l'étude des restes et empreintes d'organismes et de leurs activités préservées de façon naturelle au sein des sédiments (Tortosa, 2013).

La paléontologie englobe diverses sous-disciplines, dont la paléozoologie, la paléobotanique et la micropaléontologie, chacune axée sur différents types de fossiles. La formation des fossiles est un processus complexe impliquant à la fois la biostratigraphie, qui étudie les processus post-mortem affectant les restes avant l'enfouissement, et la diagenèse, qui concerne les changements survenant après l'enfouissement (Ameen et al., 2024).

##### **I.5.1. Les fossiles**

Le terme fossile provient du verbe latin *fōdĕre* signifiant « creuser », « fouir », où « extraire en creusant » et caractérise initialement tout objet fouillé et exhumé. Mais depuis le XVIIIe siècle, avec l'essor de l'anatomie comparée et de la paléontologie, la notion de fossile s'applique spécifiquement aux restes d'organismes conservés le plus souvent dans une roche

sédimentaire. Les fossiles peuvent être extraits physiquement ou chimiquement, naturellement ou artificiellement, de leur roche ou sédiment encaissant depuis la surface affleurant naturellement ou suite à des activités humaines de terrassements ou minières rendant accessible une roche fossilifère (Tortosa, 2013).

## **I.6. La Micropaléontologie**

La micropaléontologie est également une branche de la paléontologie qui n'est pas rattachée à un groupe phylogénétique mais à certaines niches écologiques particulières, peuplées par des micro-organismes. Il n'existe pas de taille précise délimitant les microfossiles des macrofossiles, la détermination se faisant plutôt sur les outils nécessaires à leurs études. Néanmoins, la majorité des microfossiles ont une taille inférieure à 1 mm (le plus souvent entre 10 et 200  $\mu\text{m}$ ). Concrètement, un microfossile nécessite l'usage d'un microscope (optique ou à électron) alors qu'un macrofossile est étudiable à l'œil nu (bien que l'usage du microscope soit aussi courant pour l'observation de microstructures) (Tortosa, 2013). La micropaléontologie s'intéresse aussi bien à des organismes microscopiques unicellulaires qu'à des restes (organites) de grands organismes pluricellulaires. Par définition, la nature organique, minéralogique ou mixte de ces fossiles est extrêmement variée ; de ce fait les approches et techniques d'analyse sont également variables d'un groupe à l'autre (Mathieu et al., 2011).

### **I.6.1. Les microfossiles : définition**

Les microfossiles sont les restes microscopiques d'organismes. Ces organismes peuvent être des cellules procaryotes, des bactéries ou des archées, des eucaryotes unicellulaires (protistes), des eucaryotes multicellulaires entiers ou des parties d'eucaryotes multicellulaires microscopiques ou macroscopiques. Les virus peuvent être inclus, bien que, jusqu'à présent, très peu de rapports suggèrent leur présence dans les archives fossiles, par exemple. La taille d'un microfossile varie de la plus petite cellule vivante ( $250 \pm 50$  nm constitue une taille inférieure raisonnable pour la vie telle que nous la connaissons) à des tailles plus grandes, invisibles à l'œil nu (Javaux et al., 2009).

Les microfossiles sont des indicateurs paléoécologiques des anciens milieux de vie. Les associations et leur taxonomie permettent de caractériser les sédiments continentaux ou marins et de décrypter les conditions de dépôt (Mathieu et al., 2011).

### I.6.1.1. Les microfossiles d'origine animale

Les microfossiles d'origine animale sont surtout les Protozoaires (groupes de micro-organismes), pour la plupart sont des microfossiles marins, les formes planctoniques et les formes benthiques. Les Métazoaires, dont les ostracodes, sont des microfossiles importants. Petits crustacés à carapace formée par deux valves et de dimension habituellement comprise entre 0,5 et 1,5 mm, ils atteignent parfois jusqu'à une cinquantaine de millimètres. Ce sont des organismes principalement benthiques (Mathieu et al., 2011).

#### a. Les ostracodes

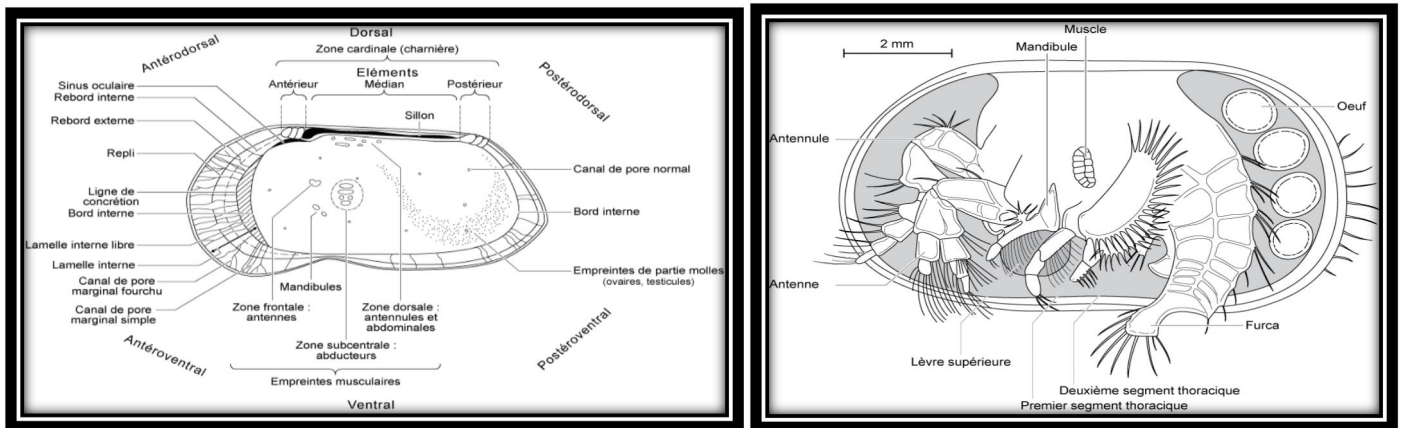
Les Ostracodes sont parfois définis comme des "mini-Crustacés à coquille"(Arthropodes). Leur taille, généralement voisine du millimètre, peut atteindre exceptionnellement 8 cm. Le corps de ces animaux aquatiques est protégé par une carapace ou coque formée de deux valves le plus souvent calcifiées, articulées par une charnière située sur le bord dorsal (Figure 1 ). Ils apparaissent au Cambrien et il en existe actuellement 10 000 espèces. Ils vivent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. La grande variété de leur forme en fait de bons fossiles stratigraphiques (Mathieu et al., 2011). Selon ce dernier, il existe 3 types fondamentaux de charnières :

- \* Type adonte : une valve est creusée d'un sillon simple où s'encastre la barre simple de l'autre valve ;
- \* Type mérodonte : le sillon d'une valve et la barre de l'autre sont respectivement encadrés par deux dents et alvéoles ;
- \*Type amphidonte ou hétérodonte : possèdent une dent et une alvéole supplémentaires terminant respectivement la partie antérieure de la barre et du sillon.

Les ostracodes jouent un rôle important quant à faire connaître la paléogéographie. Les formes vivant dans des profondeurs marines, le faciès saumâtre, les eaux douces, le faciès lacustre sont différents. Les ostracodes benthiques vivent en général dans des fonds calmes où la lumière pénètre facilement. Ils sont peu capables de bouger, car leur coquille est lourde. Ils ne s'éloignent jamais des eaux lumineuses, les algues qui constituent leur nourriture principale vivant dans le milieu cité. Il en existe des formes pélagiques très peu nombreuses avec une coquille légère, mince et sans calcaire. Par conséquent celles-ci ne se fossilisent pas et ne sont pas intéressantes pour les paléontologues (Sönmez-Gökçen, 1964).

### a.1. Morphologie

Les Ostracodes sont des petits Crustacés vivant dans la mer et les eaux douces et saumâtres. Leurs coquilles formées de deux valves sont plates en vue dorsale. Ils sont en général microscopiques (0,4-1,5 mm) et rarement macroscopiques (*G. Giganto - cypris* 20 mm de longueur; vivant dans l'océan Pacifique, et *G. Megalocypris* 7 mm de longueur, une forme continentale vivant en Afrique du Sud) (Sönmez-Gökçen, 1964).



**Figure 1 : Anatomie d'un Ostracode vivant (femelle) et interne d'une valve droite (Mathieu et al., 2011).**

### a.2. Ecologie

La majorité des Ostracodes sont benthiques. Ils se trouvent dans tous les milieux aquatiques aussi bien d'eaux douces que d'eaux salées : dans les étangs, marais, fleuves, lagunes, estuaires, sur le plateau continental et le talus, ainsi que dans les zones bathyale et abyssale (Mathieu et al., 2011).

#### I.6.1.2. Microfossiles d'origine végétale

Les algues ont joué un rôle prépondérant dans l'édification de certaines roches. Ainsi que toutes les roches sont susceptibles de renfermer des spores et des pollens à condition que la fossilisation ait permis la conservation des membranes organiques (Delaux, 2011).

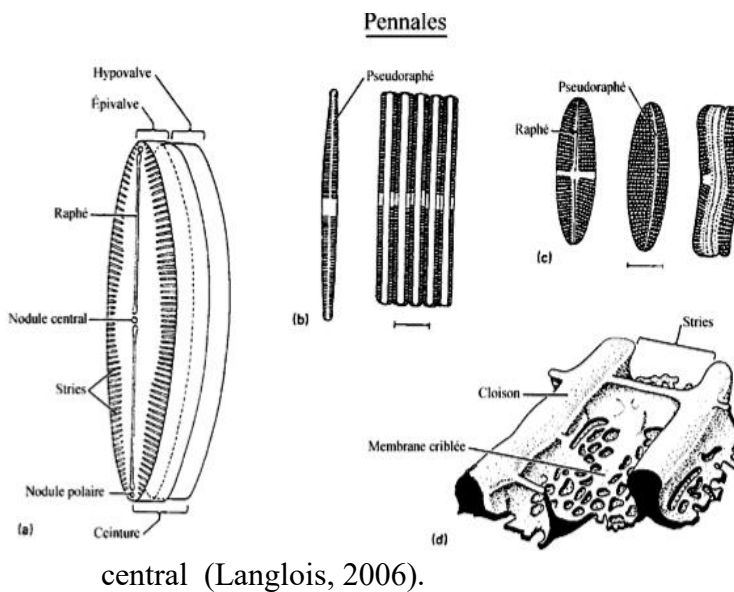
##### a. Les diatomées

Les Diatomées ou Bacillariophycées sont des algues brunes unicellulaires à frustules siliceux. Elles vivent en solitaires ou constituent des colonies sous forme de chaînettes, rubans ou étoiles dans toutes les niches écologique (milieux marins, lagunaires et d'eaux douces) (Bezzeghoud, 2009). Leur apparition remonte à l'ère jurassique, et l'on a dénombré à

ce jour près de 11 000 espèces différentes de diatomées. Les biologistes estiment que le nombre d'espèces pourrait s'élever à 200 000 espèces sur la planète (Claudon, 2007).

On distingue deux grandes catégories de Diatomées selon la géométrie de leur frustule:

- **Les Diatomées centrales** : à symétrie radiale (figure 3) : le frustule circulaire porte des stries, rayonnant depuis un point ou une aréole (qui n'est pas forcément situé au centre de la valve), ou une réticulation ;
- **Les Diatomées pennées** : à symétrie bilatérale (figure 2) : le frustule allongé présente des stries disposées autour d'un plan de symétrie bilatérale. De nombreuses Diatomées Pennales présente sur ce plan de symétrie une fente, le raphé, interrompue par un nodule de silice



central (Langlois, 2006).

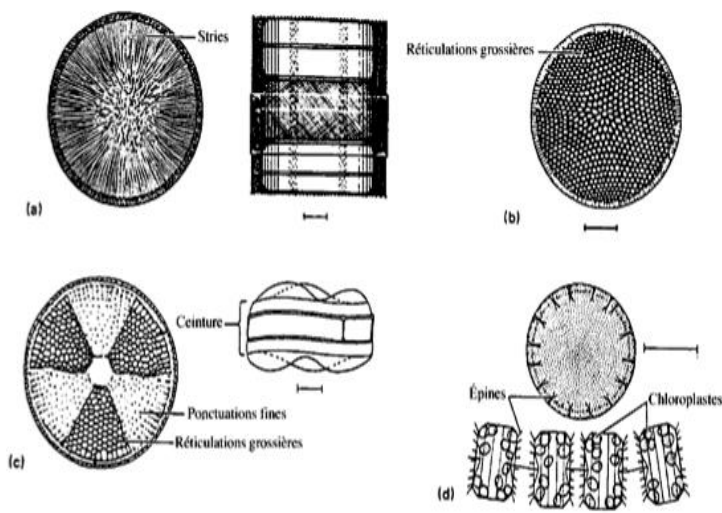
**(a) Pinnularia** : vue oblique montrant le raphé ;

**(b) Flagilaria** : valve avec le pseudoraphé (à gauche) et colonie en vue cingulaire (à droite) ;

**(c) Achanthes** : vue de l'hypovalve avec le raphé (à gauche), vue de l'épivalve avec le pseudoraphé (au centre) et vue de la ceinture (à droite)

**(d) détail d'un aréole d'une diatomée**  
Échelle = 10 µm. D'après M. D. Brasier, 1980

Figure 2: Diatomées PENNEES (Langlois, 2006).



**(a) Melosira** : vue de la valve (à gauche) et vue cingulaire d'une colonie (à droite) ;

**(b) Coscinodiscus**, vue de la valve ;

**(c) Actinoptychus**, vue de la valve (à gauche) et valve cingulaire (à droite) ;

**(d) Thalassiosira** : vue de la valve (en haut) et vue cingulaire d'une colonie (en bas). Échelle = 10  $\mu\text{m}$ . D'après M. D. Brasier, 1980

Figure 3: Diatomées centrales (Langlois, C. 2006).

### a.1. Écologie

Les Diatomées occupent à l'heure actuelle la zone photique des eaux marines fraîches et froides, mais aussi les eaux douces et les sols. En milieu marin, on en connaît des espèces planctoniques et benthiques (Langlois, 2006).

Les diatomées pennées, très répandues dans les eaux douces, sont surtout benthiques ; les diatomées centriques, surtout marines et planctoniques, dominent dans les eaux de surface des régions froides et des régions d'upwelling côtier (Mathieu et al., 2011).

### a.2. Morphologie

Les diatomées mesurent généralement entre 20 et 200  $\mu\text{m}$ , mais certaines peuvent atteindre jusqu'à 2 mm.

Le squelette en silice des diatomées est unique dans le domaine de la biologie ; la richesse de ses ornements et de ses formes permettent leur identification. La coque de silice est appelée le frustule et est composée de deux parties s'emboîtant (les valves), ainsi que de bandes (le cingulum) liant les deux valves. Les valves comportent de fines

perforations (les pores ou les aréoles), lesquelles peuvent constituer des stries et limiter lescôtes, plus larges (Claudon, 2007).



## **Chapitre II : Présentation de la région d'étude**

## Chapitre II : Présentation de la région d'étude

La présente étude a été réalisée au niveau de deux régions : la région de Ouargla et la région d'Illizi, qui représentent toutes les deux des régions arides.

### II.1. Situation géographique

La région de Ouargla constitue l'une des principales oasis du Sahara algérien. Située au sud-est du pays, elle se trouve à environ 790 km de la capitale, Alger. Elle couvre une superficie de 163.230 km<sup>2</sup>. La ville de Ouargla, chef-lieu de la wilaya, occupe une position stratégique à une altitude de 131 mètres au-dessus du niveau de la mer (D.P.A.T, 2010). Elle est limitée au Nord par les wilayas de Touggourt et El Oued, au Sud par Illizi, Tamanrasset et Ain Salah, à l'Est par la Tunisie et El Oued et à l'Ouest par Ghardaïa.

Le bassin d'Illizi est situé dans le sud-est du Sahara algérien et s'étend sur une superficie d'environ 110 000 km<sup>2</sup>. Il est délimité géographiquement entre les latitudes 26,30° et 29° Nord, et les longitudes 6° et 10° Est.

Le bassin est constitué d'une couverture sédimentaire principalement détritique, datant du Cambrien au Paléocène. Cette couverture repose en discordance majeure sur une surface appelée infra-tassilienne, qui recouvre une base plissée composée de roches sédimentaires métamorphisées, de roches cristallophylliennes.

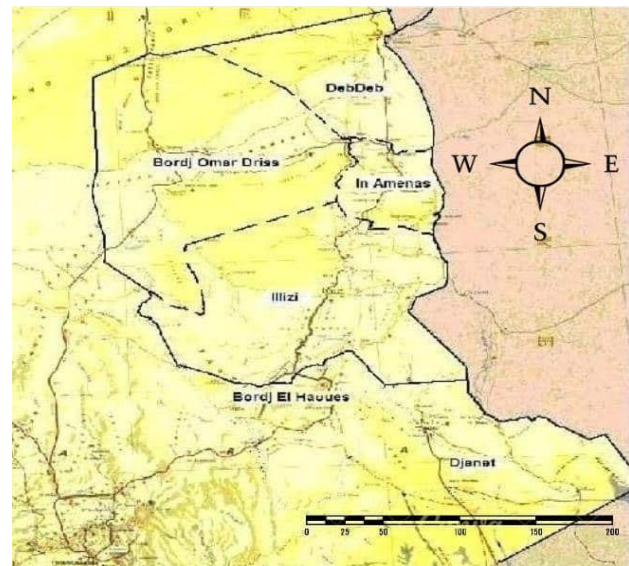
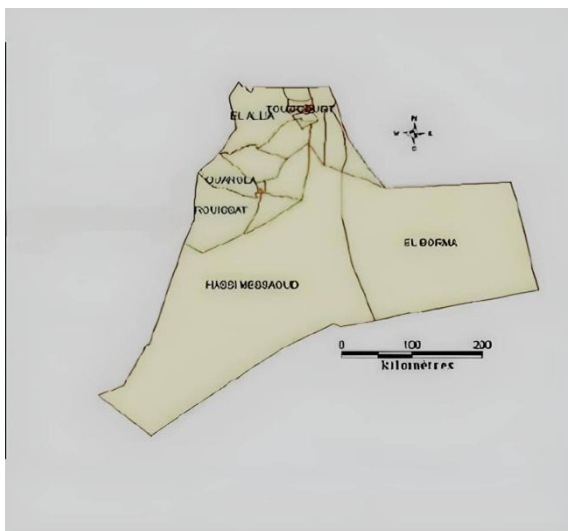
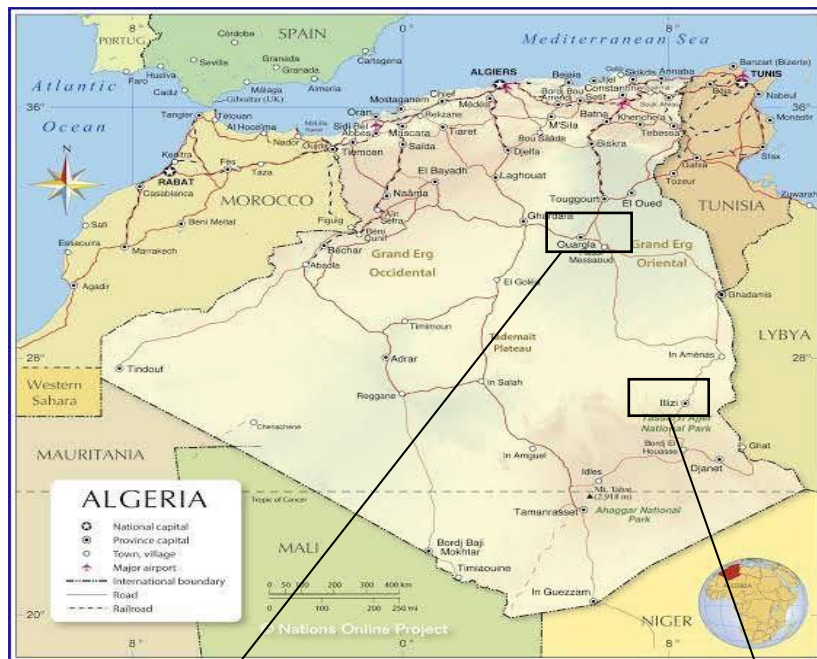


Figure 4: Localisation géographique des régions de Ouargla et Illizi (D.P.A.T, 2010).

**II.2. Caractéristiques climatiques**

Le climat saharien est caractérisé par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, et de grands écarts de température. Afin de faire ressortir les caractéristiques climatiques des deux régions d'étude, une étude climatique s'avère nécessaire.

D'après les tableaux (I et II), nous remarquons que les régions d'étude sont caractérisées par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite et des températures élevées.

Mois	Tm	TM	T	H	PP	V	VM
Janvier	4.8	19.1	11.6	44.2	0.2	9.3	19.8
Février	7.3	21.4	14.2	38.5	2.8	12.2	24.0
Mars	10.8	25.3	18.3	30.2	3.3	14.2	26.4
Avril	15.8	30.4	23.5	26.4	7.7	16.5	29.0
Mai	21.0	35.8	28.9	21.3	2.9	16.6	28.9
Juin	26.0	41.1	34.1	17.4	0.2	14.9	29.0
Juillet	28.6	44.0	37.0	15.0	0.0	13.3	25.0
Aout	28.1	42.6	35.7	18.8	0.8	13.0	25.2
Septembre	24.5	38.6	31.7	27.3	4.2	13.2	25.4
Octobre	17.6	31.4	24.6	34.0	2.7	11.0	21.3
Novembre	10.9	24.5	17.5	41.8	5.1	9.2	19.2
Décembre	6.6	19.7	12.7	51.6	2.5	9.2	19.2
Moy/cum	16.8	31.1	24.1	30.5	32.5*	12.7	24.4

**Tableau I: Données climatiques de la région d'Ouargla (2014-2024)**

*Source : Tutiempo (2025)*

Mois	Tm	TM	T	H	PP	V	VM
Janvier	4.9	20.9	13.0	32.3	0.1	10.7	20.4
Février	8.0	24.1	16.3	26.8	0.7	12.9	24.6
Mars	12.0	28.2	20.8	23.0	0.1	13.9	26.9
Avril	18.0	34.5	27.0	18.0	0.5	13.6	27.2
Mai	23.0	38.4	31.4	17.1	0.7	14.9	30.4
Juin	26.5	41.9	35.1	15.4	1.2	12.9	27.8
Juillet	26.6	42.4	35.4	15.0	0.2	12.8	26.9
Aout	26.9	41.9	35.1	17.8	0.6	12.0	25.2
Septembre	24.7	39.8	32.8	20.9	3.9	11.8	24.7
Octobre	19.1	33.9	26.8	26.0	2.3	10.7	22.7
Novembre	12.0	27.1	19.7	30.2	0.9	9.8	19.8
Décembre	7.0	21.9	14.4	36.9	0.9	10.6	20.0

Moy/cum*	17.38	32.91	25.65	23.28	12.07*	12.20	24.71
----------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------

*Tableau II: Données climatiques de la région d'Ilizi (2014- 2024)*

*Source : Tutiempo (2025)*

**Légende du tableau :**

T : Température moyenne (°C)

TM : Température maximale (°C)

Tm : Température minimale (°C)

H : Humidité relative moyenne (%)

PP : Précipitations totales.

V : Vitesse moyenne du vent (km/h)

VM : Vitesse maximale du vent soutenu (km/h)

### II.2.1. Températures

La température moyenne mensuelle maximale enregistrée au mois le plus chaud (juillet) est de 44.0 C°, alors que la température moyenne mensuelle minimale du mois le plus froid (janvier) est de 4.8 C° pour la région de Ouargla.

Les températures moyennes mensuelles maximales enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 42,9C°, alors que la température moyenne mensuelle minimale du mois le plus froid (janvier) est de 4.9 C° pour la région d'Ilizi

### II.2.2. Précipitation

Les précipitations sont rares et irrégulières pour les deux régions d'étude. Toutefois, il est clair d'après les données météorologiques que la région d'Ouargla présente un cumul pluviométrique plus élevé que la région d'Ilizi. Les cumuls enregistrés sont de 32.5 et 12.07 mm/an respectivement pour les deux régions.

### II.2.3. Vent

Les données montrent que les régions de Ouargla et d'Ilizi connaissent une activité éolienne notable tout au long de l'année, avec des vitesses moyennes du vent variant entre 8 et 13 km/h. Les vitesses maximales atteignent 29,0 km/h à Ouargla (en avril) et 37,8 km/h à Ilizi (au même mois). Cela reflète l'influence des vents forts dans ces zones sahariennes, contribuant au déplacement du sable et à la formation des paysages désertiques

### II.2.4. Humidité

L'humidité enregistrée a atteint 51,6 % en décembre et 44,2 % en janvier dans la région de Ouargla. Quant à la région d'Illizi, l'humidité enregistrée en décembre a été de 36,9 %.

II.2.5. Synthèse climatique

a. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Les diagrammes ombrothermiques (Figure 5 et 6) des régions de Ouargla et d'Illizi (2014-2024) montrent une période sèche qui s'étale sur toute l'année.

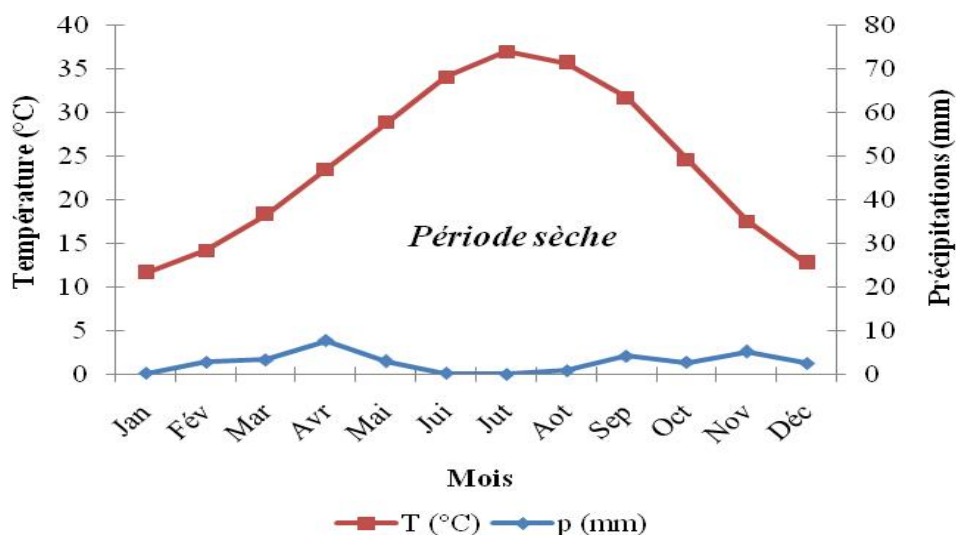
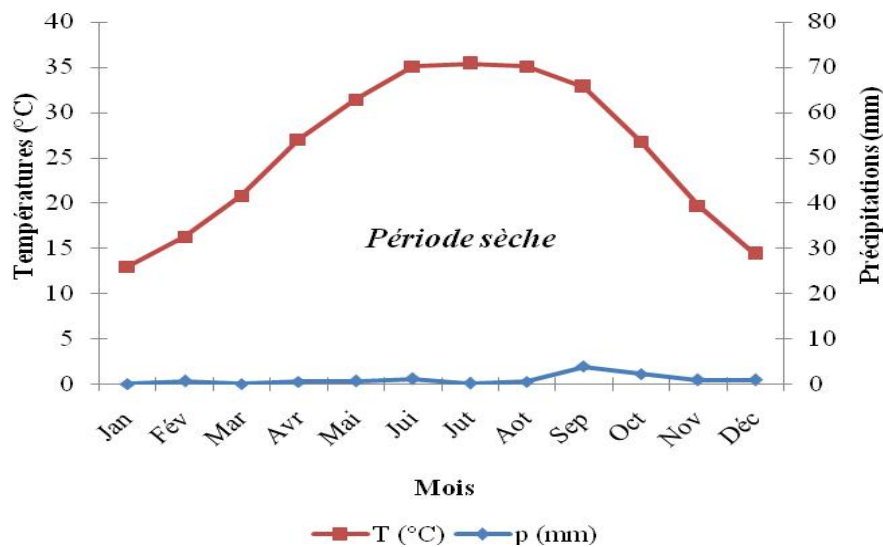


Figure 5: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région D'Ouargla (2014-2024).



*Figure 6: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région d'Illizi (2014-2024)*

### b. Classification bioclimatique

Le climatogramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté :

- En abscisse par : la moyenne des minima du mois le plus froid ;
- En ordonnées par: le quotient pluviothermique (Q2) d'Emberger (1955). Il est formulé de la manière suivante:  $Q_2 = 2000P/M^2 - m^2$

Nous

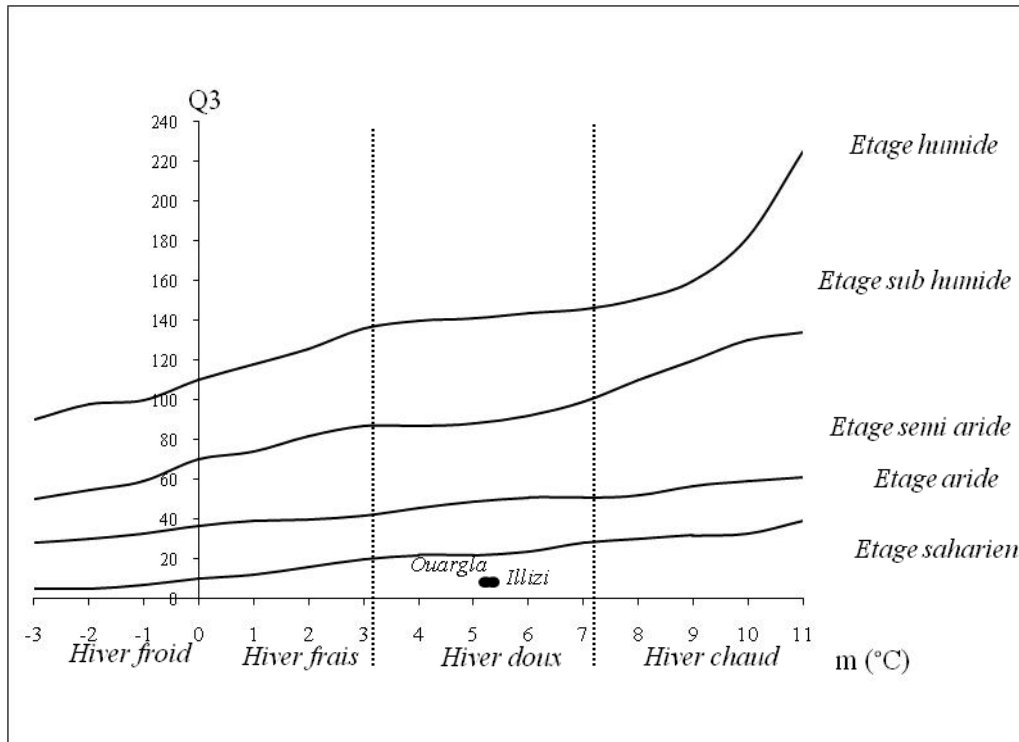
avons utilisé la formule de Stewart (1969) (La Houer ou, 1995) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :  $Q_3 = 3.43P/M - m$

Q3 : quotient pluviothermique d'Emberger .

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.



**Figure 7: Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla et Illizi**

D'après la figure 7, les deux régions étudiées sont situées dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

### II.3. Géologie

La cuvette de Ouargla se situe dans le Sahara septentrional algérien, l'un des plus vastes déserts au monde. Elle représente une large dépression couvrant une superficie d'environ 990 km<sup>2</sup>, correspondant au lit Quaternaire de l'ancienne vallée fossile de l'oued M'Ya.

Au Sahara septentrional se déposent des calcaires, parfois dolomitiques et des dolomies organogènes à mollusques, bryozoaires, échinodermes, foraminifères, algues, en particulier dans la région de Touggourt et à l'ouest de cette province (Fabre, 1976).

Quelques lits d'argile ou d'anhydrite y sont inter-stratifiés par endroits. Ces dépôts indiquent un milieu de mer peu profond et relativement agité (Fabre, 1976).

Dans la grande partie du Sahara algérien les dernières formations marines se terminent avec le crétacé ou dans l'Eocène (Fabre, 1976).

Depuis le Villafranchien, des périodes humides alternant avec des périodes plus sèches ont contribué à façonner définitivement le paysage saharien actuel ; quel que soit le cadre climatique exact des évolutions, de caractères désertiques ou subdésertiques, des

phénomènes de creusement et d'érosion corrélatifs de phénomènes de remblaiement ont affecté l'ensemble des surfaces du désert, mais dans les limites permises par les niveaux de base progressivement établis. Les dernières périodes arides ont alors simplement assuré le remaniement et la réorganisation des matériaux de surface avec la mise en place des sols actuels (Dutil, 1971).

L'aridification progressive du climat dans la région d'Ouargla se traduit par les dépôts évaporitiques. Cette période correspond à la mise en place des ergs, des chaînes et des édifices dunaires isolés (Aumassip et *al.*, 1972).

Sur le plan géologique, le bassin d'Illizi se présente comme une large dépression en demi-cercle, relativement stable. Cette structure plate a constitué un environnement favorable à l'accumulation de dépôts sédimentaires importants, essentiellement au cours des ères paléozoïque et mésozoïque. L'épaisseur de ces dépôts varie entre 2500 et 3500 mètres. S'étendant sur environ 350 kilomètres de long et de large, ce bassin peut être classé parmi les grands bassins intra-structuraux de type sédimentaire (Paulo, 2021).

Les premières cartes géologiques des bassins de la plateforme saharienne ont été élaborées grâce aux efforts remarquables de plusieurs géologues universitaires éminents, notamment C. Kilian durant les années 1922, 1923 et 1931, suivi de J. Follot et Lelubre en 1952. C. Kilian est reconnu comme le premier géologue à avoir décrit les formations paléozoïques dans la partie sud du bassin d'Illizi, en particulier dans le massif du Hoggar. En 1925, le géologue français C. Kilian a également posé les bases initiales des données géologiques concernant les bassins d'Illizi et de Berkine (Paulo, 2021).

#### II.4. Hydrologie superficielle et hydrogéologie

La caractéristique principale du Sahara actuel est son état de zone désertique aride, avec une absence totale de rivières actives. Il ne reste que quelques petits lacs dans les régions de l'Ahaggar et du Tassili n'Ajjer, ainsi que quelques rares cours d'eau de surface. Cependant, l'exploration du Sahara a révélé l'existence d'anciens fleuves puissants aux nombreux affluents, aujourd'hui largement recouverts par le sable (Lhote, 1984).

En régions arides, les aquifères profonds sont souvent l'unique ressource en eau, cependant ils sont exploités à un taux excédant largement le taux de recharge actuel (Gasse, 2005).

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional s'étend à travers quelques 780.000 Km<sup>2</sup> surtout en Algérie. Il contient deux systèmes aquifères importants. Le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (Guendouz et *al.*, 2003).

**II.5. Géomorphologie**

Lelubre (1952) admet que, s'il y est une région du globe, où les formes de relief sont particulièrement nettes et visibles. C'est bien le Sahara, et si les processus morphogénétiques (vent, eau...etc.) à l'œuvre dans ce milieu, sont caractéristiques rien d'étonnant à ce que les formes qui en résultent, le soient aussi.

Les principales familles de paysage saharien sont : les hamadas, les regs, les accumulations sableuses et les dépressions (dayas, Sebkhas, chotts et lits d'oueds).

# **Partie expérimentale**



## **Chapitre III : Matériel et méthodes**

### Chapitre III : Matériel et méthodes

Ce chapitre est consacré, dans un premier temps, à la description des sites étudiés, puis à la présentation des méthodes d'étude mises en oeuvre

#### III.1. Présentation et critères de choix des sites étudiés

Notre étude porte sur l'étude des sédiments de paléolacs de régions sahariennes. Nous avons choisi deux régions d'étude situées au Sahara : Illizi et Ouargla. Des échantillons ont été prélevés à partir de coupes situées :

- Dans le site de Djebel Mrah Bordj Omar-Idris, à la wilaya d'Illizi (**Coupe P2**) ;
- Ainsi que de coupes déjà étudiées, faisant partie des travaux réalisés par Youcef (2006 et 2016) et par Khemis (2012) : la coupe **PLO** et la coupe **PLN**.

Ces sites ont été choisis car ils présentent des caractéristiques témoignant d'un fonctionnement ancien, mises en évidence surtout par la présence des couches noires et des fossiles.

##### III.1.1 Site N1: Djebel Mrah Bordj Omar-Idris, Wilaya d'Illizi: Coupe P2

La coupe P2 se trouve au niveau de la SARL SATRECH AGRO (figure 08). Elle est située dans la commune de Borj Omar Idriss dans la wilaya d'Illizi. Elle se trouve à environ



*Figure 8: la coupe P2*

199 km de Bordj Omar Idriss. Limitée au sud par le centre communal de Bordj Omar Idriss,

au nord, Hassi Messaoud, à l'ouest par Dabdab, et à l'est par la wilaya d'El Goléa.

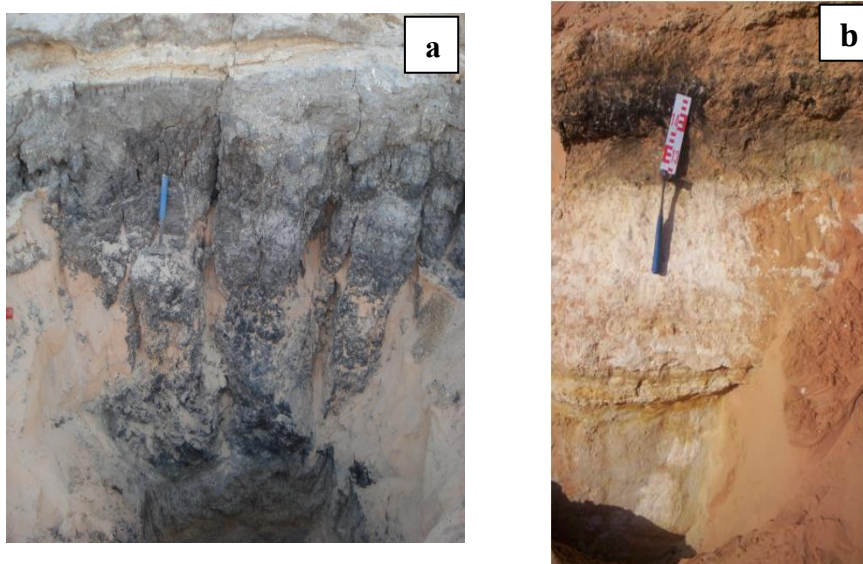
### III.1.2. Site N2 : Sebkhha de Ouargla : La coupe PLO

Elle est située dans la Sebkhha de Ouargla et a déjà été étudié par Youcef (2006 et 2016) (Figure 09).

Sa présence a été signalée pour la première fois par Hamdi-Aïssa (2001), lors de ses investigations sur les sols de la région. Elle est surtout caractérisée par l'existence d'une couche noire de 14 cm d'épaisseur

### III.1.3 Site N3 : Les bordures de route Ouargla-El Golea : La coupe PLN

Cette coupe se situe dans l'endroit appelé communément GARET CHEMIA (Figure 09).



*Figure 9: Coupes étudiées. a : La coupe PLN (Khemis, 2012) et b : la coupe PLO (Youcef, 2006)*

## III.2. Description des méthodes mises en œuvre

### III.2.1. Sur terrain

#### III.2.1.1. Description morphologique

Elle a été faite en se basant sur les principes de Baize et Jabiol (1995). En commençant par la description de l'environnement : localisation, végétation, état de surface, topographie, date et temps ; Puis on passe à la description morphologique de chaque couche :

épaisseur (cm), la friabilité, l'état d'humidité, la couleur (Munsell Soil Color Charts), la texture, la structure, la réaction à l'HCl, l'existence des taches et d'éléments grossiers, la porosité et la limite entre les horizons. La description a été faite par Lahlali et Lemdak (2025) pour la coupe P2, par Youcef (2006) pour la coupe PLO et par Khemis (2012) pour la coupe PLN.

### III.2.1.2. Prélèvement des échantillons

Selon Font et Chiesa (2015), trois étapes principales ont été suivies pour tous les échantillons. Premièrement, l'échantillonnage : l'échantillonnage a été effectué précédemment par Youcef (2006 et 2016) pour la coupe PLO, et par Khemis (2012) pour la coupe PLN, ainsi que par Lahlali et Lemdak (2025) pour la coupe P2 du site Djebel Mrah, Bordj Omar-Idris. Chaque échantillon est emballé individuellement dans un sac en plastique, puis l'ensemble est acheminé au laboratoire pour être analysé ultérieurement.

## III.2.2. Au laboratoire

### III.2.2.1. Etude paléontologique

L'étude paléontologique consiste en l'analyse scientifique des fossiles afin de comprendre l'évolution des êtres vivants disparus, leurs environnements et les processus de fossilisation. Les échantillons qui ont servi à cette étude sont ceux de la coupe P2.

### III.2.2.2. Etude micropaléontologique

#### a. Etudes des diatomées

Cette étude passe par trois étapes à savoir le traitement physico-chimique et la préparation des lames et enfin l'observation microscopique de ces dernières.

#### a.1. Traitements physico-chimique

Le traitement adopté dans ce travail est celui de Scharader et Gersonde (1978), Gardette (1979), Gersonde (1980).

#### ❖ *Les étapes de traitement physico-chimique des échantillons*

Le traitement comprend l'élimination des éléments non siliceux associés aux diatomées.

- Prendre 20 g de chaque échantillon ;

- Elimination des éléments non siliceux. Il s'agit essentiellement des carbonates, des éléments détritiques (grossiers et fins) ainsi que de la matière organique. La désagrégation de sédiments (la fraction carbonatée et la matière organique) a sollicité l'attaque à froid simultanément des 20 gr de sédiment. Ceci est pratiqué dans un bécher, à l'acide Chlorhydrique (20 ml d'HCl à 20%) et à l'eau oxygénée (20 ml d'hydrogène peroxyde à 110 volumes). L'excédent d'acide est éliminé par décantation après plusieurs rinçage successifs à l'eau déminéralisées ;
- Les éléments détritiques grossiers sont éliminés après homogénéisation de la solution et décantation (environ une minute) ;
- La densité des éléments détritiques grossiers permet une décantation rapide. Cependant les diatomées et la microflore associée adoptent une descente moins rapide à cause de leur forme et leur faible densité ;
- Le culot est préservé pour être examiné et voir le contenu diatomique ;
- Les diatomées du Quaternaire sont subfossiles et en prévention de toute éventuelle activité bactérienne, des gouttes d'Aldéhyde formique (formol) ont été ajouté à la solution récupérée de chaque échantillon.

### a.2. Montage des lames

Après homogénéisation de la solution, quelques gouttes sont prélevées puis déposées et étalées sur une lame couverte d'une mince pellicule d'alcool.

Cette préparation est placée sur une plaque chauffante pour le séchage. Après la phase de dessiccation, quelques gouttes de résine sont déposées sur une lame de verre biologique. L'ensemble est chauffé pendant quelques secondes sur une plaque chauffante. Lorsque la résine arrive à ébullition, la lamelle est déposée sur la lame en l'étalant délicatement jusqu'à l'élimination des bulles d'air. La lame préparée est ensuite nettoyée à l'acétone afin de l'observer au microscope photonique.

### b. Etude des ostracodes

Nous avons adopté la méthode du lavage-tamisé des échantillons pour la séparation des ostracodes.

Pour le lavage et le tamisage des sédiments afin de séparer les microfossiles existants, nous avons suivis ces étapes :

-On prend 20 g de chaque échantillon, et on fait le lavage avec un tamis de 125  $\mu\text{m}$ ;

- Le lavage s'effectue sous un filet d'eau de robinet, en brassant doucement les sédiments du bout des doigts jusqu'à ce que l'eau qui sort du tamis soit limpide ;
- Les résidus sont mis dans des boîtes de pétrie en verre et séchés dans une étuve pendant 24h ;
- Le résidu sec est examiné sous la loupe binoculaire, à des grossissements de X2 ;
- Les microfossiles sont prélevés par une pince et mis dans des tubes.

### III.2.2.3. Analyse minéralogique par diffractométrie à rayons X

- **Minéralogie totale**

L'analyse minéralogique du sol a été effectuée par diffraction des rayons X, sur la poudre du sol non orientée (inférieur à 2 millimètres), pour avoir une idée globale de l'ensemble des minéraux. Les échantillons qui ont servis à cette étude sont : **la couche PLN1 et PLN2 qui** ont été finement broyés puis déposés sur des portes échantillons. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire de géologie du centre de recherche au niveau de l'université de Ouargla.

- **Principe de DRX**

Une source de rayons X, un échantillon et un détecteur de rayons X sont les trois composants fondamentaux d'un diffractomètre de rayons X (Waseda et al., 2011). L'angle entre le plan de l'échantillon et la source de rayons X est  $\theta$ , l'angle de Bragg. L'angle entre la projection de la source de rayons X et le détecteur est  $2\theta$ . C'est pour cette raison que les diffractogrammes de rayons X obtenus avec cette géométrie sont souvent appelés  $\theta$ - $2\theta$  (Suryanarayana et Grant Norton, 1998). Selon Mukherjee (2013), la diffraction se produit lorsqu'une onde rencontre un obstacle de taille similaire à sa longueur d'onde. Du fait que les dimensions des atomes sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde des rayons X, les cristaux atomiques subissent la diffraction des rayons X. La loi de Bragg et un phénomène bien décrit par W.L. Bragg (Mukherjee, 2013) :

$$2 d \sin \theta = n \lambda$$

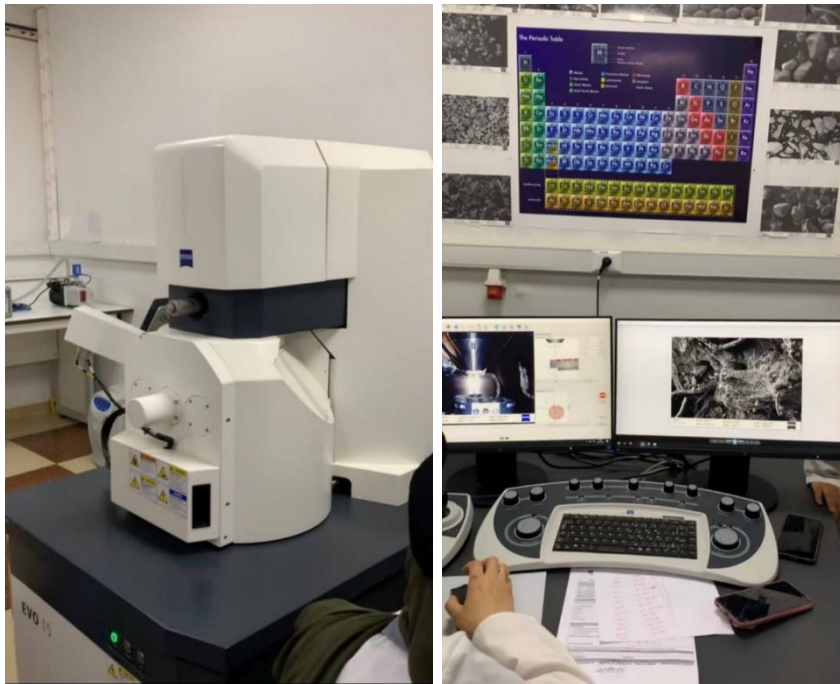
La distance entre deux plans parallèles successifs est indiquée par "d", l'angle entre le faisceau incident et le plan de l'échantillon est indiqué par " $\theta$ " et la longueur d'onde du rayonnement est indiquée par " $\lambda$ ".

### III.2.2.4. Etude micromorphologique

#### a. Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

La Microscopie Électronique à Balayage est une technique de microscopie électronique qui par balayage de l'échantillon par un faisceau d'électrons est capable de produire des images de la surface d'un échantillon (Figure 10) .

L'observation des échantillons des coupes (PLO et PLN et des échantillons d'ostracodes prélevés de ces mêmes coupes) a été réalisée au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC) à l'université de Ouargla.



**Figure 10** : Microscopie Electronique à Balayage (MEB).

### **b. Morphoscopie des grains de quartz**

Cette analyse implique de classer les grains en fonction de leur forme à l'aide d'une observation à la loupe binoculaire. Nous avons étudié quelques échantillons pour une observation sous loupe binoculaire, ce qui sert à déterminer les milieux de dépôts et les agents de transport. Pour procéder à cette analyse, on prélève 100 grains de sable qui seront placés sous la loupe binoculaire. Ensuite, les grains de quartz seront triés selon leur forme (grains non usés, grains émoussés luisants, grains ronds mats) .

#### **❖ Les étapes de l'étude morphoscopique des grains de quartz**

- - Prélèver 20 g de chaque échantillon
- - Laver à l'aide d'un tamis sous un jet d'eau du robinet

- On lave le sable avec de l'eau pour éliminer les éléments argileux
- On ajoute 20 ml de l'acide chlorhydrique pour éliminer les éléments calcaires
- On ajoute 20 ml de l'eau oxygénée pour se débarrasser de la matière organique
- Placés dans des boîtes de pétrie et sécher à l'étuve pendant 24 heures
- Observation à la loupe binoculaire.



**Chapitre IV**  
**Résultats et Discussion**

## Chapitre IV. Résultats et discussion

## IV.1. Etude morphologique des coupes étudiées

## IV.1.1. la coupe P2

## IV.1.1.1- Description morphologique

La description morphologique présentée ci-après de cette coupe a été faite par Lemdek et Lahlali (2025).

**Localisation :** Djebel Mrah Bordj Omar-Idris, Wilaya d'Ilizi (6°24'.6.18 E 29°54'8.93N)

**Géomorphologie :** Reg allochtone

**Végétation :** absente

**Etat de surface :** graviers, cailloux de forme anguleuse (REG).

**Temps :** Ciel venteux et partiellement ensoleillé

**Topographie :** plane, régulier

**Date :** 31/10/2024

H1 (0-3 cm) : Sec, de couleur 7.5YR 7/4 (pink), sableuse graveleuse, de structure particulaire. C'est une couche blanche (couche du gypse), présentant une très faible effervescence à l'HCl, très friable.

H2 (03-15 cm) : Sec, de couleur 7.5YR 6/3 (light brown), sableuse, polyédrique, (en agrégat), graviers (2%) dolomites, forte effervescence à l'HCl, taches blanche, racine fine, friable, limite régulière et transition progressive.

H3 (15-20 cm) : Sec, sableuse, de couleur 7.5 YR 6/3 (light brown), de structure polyédrique, très faible effervescence à l'HCl, friable, transition progressive.

H4 (20-28 cm) : Couche de graviers (80%) dolomites, de couleur 7.5YR 8/4 (pink).

H5 (28-60 cm) : Sec, de couleur 7.5 YR 7/6 (reddish yellow), texture sableuse fine, structure particulaire-polyédrique, très faible effervescence à l'HCl, taches blanches et rouges, racines fines, très friable, limite progressive.

H6 (>60 cm) : Sec, 7.5 YR 5/1 (gray), sableuse, de structure particulaire-polyédrique, très faible effervescence à l'HCl, présence de taches blanches et grises, peu friable. Présence d'un pourcentage important de fossiles.

### IV.1.2. La coupe PLO

#### IV.1.2.1. Description morphologique

**Descripteur :** Youcef (2006)

**Localisation :** en face de la station de pompage des eaux usées du Chott

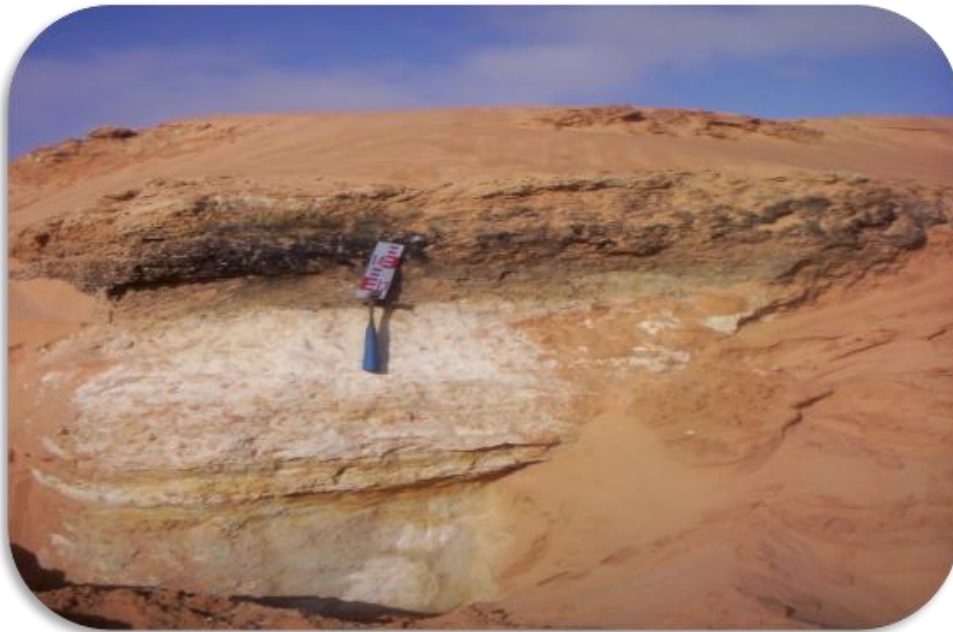
**Temps :** ensoleillé

**Végétation :** absente

**Etat de surface :** sableux

**Topographie :** plane

**Date :** 21/03/2005



*Figure 11: la coupe PLO (Youcef, 2006).*

**PLO 1 (0-25 cm) :** Texture sableuse, avec beaucoup de tâches blanchâtres et de cristaux de gypse, de couleur à l'état sec : brun grisâtre sombre 2,5 Y 4/2, pas d'effervescence à l'HCl, limite distincte.

**PLO 2 (25-39 cm) :** Texture sableuse, présence de beaucoup de taches blanches non effervescentes et de quelques manchons de gypse, couleur (état sec) : noire 10 YR 2/1, Pas d'effervescence à l'HCl, limite nette.

**PLO 3** (39-55 cm) : Horizon frais à texture Limono-argileuse. On observe des tâches noires à l'intérieur. Couleur (état sec) : grise brunâtre claire (2,5 Y 6/2), pas d'effervescence à l'HCl, limite nette.

**PLO 4** (55-85 cm) : Texture Sablo-limoneuse. Existence de pores de diamètre de 0,1 à 0,4 cm. De couleur (état sec) : brune très pâle (10 YR 8/2), forte effervescence à l'HCl, limite distincte.

**PLO 5** (85-113 cm) : Texture Sablo-limoneuse. On remarque la présence de racines et de pores (diamètre de 0,1 à 0,2 cm.), forte effervescence à l'HCl, et de couleur (état sec) : brun très pâle (10 YR 8/2), limite nette.

**PLO 6** (113-118 cm) : Texture Limono-argileuse, friable et poreuse (diamètre de 0,1 à 0,2 cm.). Cette couche présente une forte effervescence à l'HCl, bien stratifiée composée de plusieurs strates de 1 à 2 mm. De couleur (état sec) variant du brun très pâle (10 YR 8/2) au brun grisâtre (2,5Y 5/2). Limite nette.

**PLO 7** (118-126 cm) : Texture Limono-argileuse, friable, forte effervescence à l'HCl, plus ou moins poreuse, bien stratifiée avec des couleurs allant du jaune pâle (2,5 Y 8/2) au jaune (2,5 Y 7/6), limite nette.

**PLO 8** (126-138 cm) : Texture sablo-limoneuse, de couleur à l'état sec jaune (10 YR 7/8), friable, pas d'effervescence avec le test à l'HCl, couche stratifiée, existence de tâches de couleur : jaune rougeâtre (7,5 YR 7/8), limite graduelle.

**PLO 9** (>138 cm) : Texture limono-sableuse, friable, pas d'effervescence à l'HCl, couleur à l'état sec jaune pâle (2,5 Y 8/4). Existence d'une mosaïque de tâches contrastées de 2 à 20 cm, souvent en amas plus au moins indurés de couleur jaune pâle (2,5 Y 8/2), à forte effervescence et à texture limono-argileuse. On remarque l'existence de tâches (de même couleur que celle existant à PLO 8) non effervescente à l'HCl.

## IV.1.2.1. Données analytiques

Tableau : Données analytiques de la coupe PLO.

Ech.	Prof. (cm)	Granulométrie					Calcaire total %	Gypse %	M.O %
		% A	% Lf	% Lg	% SF	% SG			
PLO1	0-25	50,59			24,34	25,08	0,78	25,51	1,28
PLO2	25-39	38,32			30,9	30,77	0,78	36,30	3
PLO3	39-55	12	6,48	10,27	53,93	1,22	1,18	45,60	0,77
PLO4	55-85	62,38			31,36	6,24	80,78	22,51	1,9
PLO5	85-113	49,16			29,65	21,16	67,84	17,73	1,18
PLO6	113-118	71,54			18,38	10,06	45,09	13,68	1,37
PLO7	118-126	55,19			25,76	19,03	52,16	15,73	1,03
PLO8	126-138	3,27	0,8	1,38	72,31	17,43	1,18	14,41	0,36
PLO9	>138	5,23	6,35	0,5	63,68	15,20	2,35	17,38	0,79

## IV.1.3. La coupe PLN

## IV.1.3.1. Description morphologique

**Descripteur :** Khemis (2012)

**Localisation :** X : 5°17'55", Y : 31°56'8", Alt : 125.6 m.

**Végétation :** *Zygophyllum album*

**Temps :** ensoleillé.

**Etat de surface :** sableux avec l'existence de fossiles du genre *Mélanoïdes*.

**Topographie :** Plane.

**Date :** 07/04/2012.

**PLN 1 (0 - 30cm) :** Texture sableuse, structure particulière, sec, plus ou moins dure, de couleur à l'état frais GLEY1 6/N (gray). Existence de fossiles de *Mélanoïdes* très abondants de petite taille de 2 mm à 4 mm. Ces fossiles sont plus abondants dans les 5 premiers centimètres. Il s'agit d'une couche stratifiée ; existence d'alternances entre des lits

blanchâtres et noirâtres, forte effervescence à l'HCl, existence de pores abondants de 0.2cm à 0.5cm de diamètre, limite nette

**PLN 2** (30 - 41 cm) : Texture sableuse, structure particulaire, sec, très friable, de couleur à l'état frais 10 YR 8/3 (very pale yellow), stratifié ; existence de plusieurs strates de 0,1 à 0.2 cm d'épaisseur, de couleur 5 YR 7/8 (reddish yellow) et une seule strate à 0.2 cm d'épaisseur de couleur GLEY2 7/10 B (light bluish gray). Existence de pores moins abondants que le premier horizon de 0.2cm à 0.3 cm de diamètre, forte effervescence à l'HCl. Existence d'os d'animaux à différents niveaux de cette couche, limite nette.

**PLN 3** (41-56 cm) : Texture sableuse, structure particulaire, sec, dure, de couleur à l'état frais GLEY1 5/N (gray). Existence de charbons du bois. Pas d'effervescence à l'HCl. Présence des nodules calcaires abondants à 13 cm du début de l'horizon de 0.1 à 0.4 cm de diamètres présentant une forte effervescence à l'HCl, limite diffuse.

**PLN 4** (56 -125 cm) : Une couche noire (GLEY1 2.5/N) à texture sableuse, structure polyhydrique subanguleuse, plus ou moins dure, sec, pas d'effervescence à l'HCl. Existence des cristaux transparents non effervescents à l'HCl. Existence de charbons de bois de 0.1 cm à 1cm de diamètre, limite diffuse.

**PLN 5** (125 -179 cm) : Texture sableuse limoneuse, structure continue, humide, peu friable, sa couleur l'état frais est GLEY1 2.5/N (noire), pas d'effervescence à l'HCl. Existence de petits cristaux de gypse transparents plus abondants que l'horizon 4 de 0.1 cm de diamètre, non d'effervescent à l'HCl, limite distincte.

**PLN 6** (179 - 204 cm) : Texture sableuse, structure particulaire, humide, friable, de couleur à l'état frais de est 5 YR 6/1 (gray). Existence de beaucoup de racines verticales probablement anciennes, pétrifiées. Pas d'effervescence à l'HCl. Existence de taches abondantes de couleur 5 YR 7/8 (reddish yellow), limite distincte.

**PLN 7** (204 - 214 cm) : Texture sableuse, structure particulaire, humide, friable, de couleur l'état frais est 5 YR 6/8 (reddish yellow), existence de taches de racines pétrifiés de 0.1 à 0.6 cm de diamètre et des racines très peu abondantes, non effervescentes à l'HCl, limite distincte.

**PLN 8** (214- 229 cm) : Texture sableuse, structure particulaire, humide, friable, de couleur à l'état frais est 5Y 7/1(light gray), très faible effervescence à l'HCl. Existence de racines verticales très abondantes de 0.1 cm à 0.6 cm. Existence de concrétions gréseuses très dures de diamètres de 0.5 à 3.5 cm non effervescents à l'HCl, et une autre concrétion de 10 cm de

diamètre en bas de l'horizon. Nous avons remarqué l'existence des taches abondantes de couleur 5 YR 5/8 (yellowish red).

IV.1.3.2. Données analytiques

Tableau : Données d'analyse granulométrique de la coupe PLN

Echa.	Prof. (cm)	A%	Lf%	Lg%	Sf%	Sg%	La texture
PLN1	0-30	9.35	0.67	20.27	51.49	13.02	Sableux limoneuse
PLN2	30-41	1.07	3.9	0.03	49.75	38.35	Sableuse
PLN3	41-56	3.17	17.98	4.8	52.61	6.66	Sableux limoneuses
PLN4	56-125	4.8	14.97	4.95	50.21	13.33	
PLN5	125-179	7.07	8.23	2.82	57.48	7.50	Sableuses
PLN6	179-204	3.65	0.82	1.13	76.41	13.44	
PLN7	204-214	1.25	5.12	2.7	78.90	12.01	
PLN8	>214	1.22	10.2	12.58	65.06	8.28	Sableux limoneuse

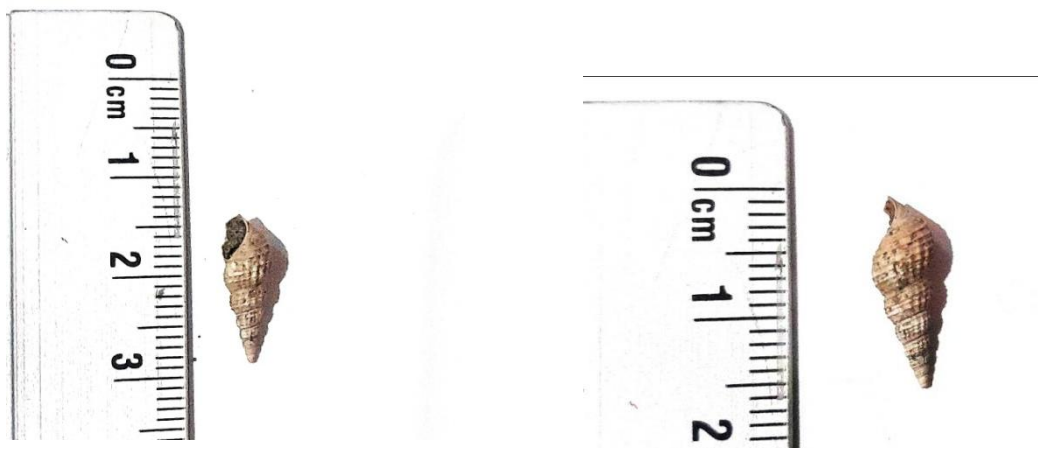
Tableau : les données analytiques de la coupe PLN

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %		pH	CE ds/m à 25°c
				Méth. Calc.	Méth. Anne		
PLN1	0-30	13.75	3.74	7.16	1.69	7,90	5,17
PLN2	30-41	3.75	5.58	1.74	0.42	8,33	2,63
PLN3	41-56	11.25	3.16	9.42	5.01	7,60	3,92
PLN4	56-125	0.05	7.04	32.05	18.62	4,60	8,46
PLN5	125-179	0.05	2.27	19.76	27.08	4,22	15,58
PLN6	179-204	00	0.82	1.77	3.38	4,03	1,38
PLN7	204-214	00	0.98	0.88	0.42	7,40	0,39
PLN8	>214	5.75	1.19	6.25	2.33	7,93	0,74

## IV.2. Etude paléontologique

Ces études nous ont permis l'identification de quatre espèces de fossiles au niveau de la coupe P2 : *Melanoïdes tuberculata*, *Planorbis sp*, *Lymnaea sp* et une espèce de bivalve.

La première espèce est *Melanoïdes tuberculata*. Cette espèce a été observée dans la couche P2H6 de la région d'Illizi (Figure 12).



**Figure 12: *Melanoïdes tuberculata***

La deuxième espèce est *Planorbis sp*. Cette espèce a été observée dans la couche P2H6 de la région d'Illizi (Figure 13).

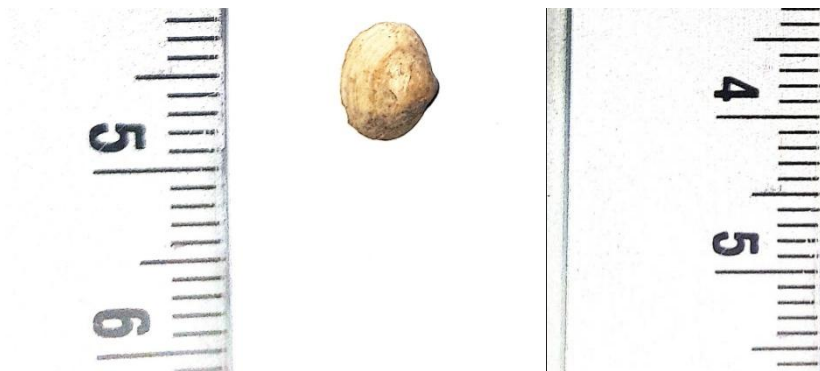


**Figure 13: *Planorbis sp***

La troisième espèce est *Lymnaea sp*. Cette espèce a été observée dans la couche P2H6 de la région d'Illizi (Figure 14).



*Figure 14: Lymnaea sp.*



*Figure 15: Bivalve*

A travers l'étude paléontologique réalisée sur les sédiments de la coupe P2. Ces bioindicateurs représentent des outils intéressants pour la reconstitution du paléoenvironnement.

**a). *Melanoïdes tuberculata***

La classification de l'espèce *Melanoïdes tuberculata* est :

**Classe :** Gastropoda Cuvier, 1795

**Ordre :** Caenogastropoda Cox, 1960

**Famille:** Thiaridae Gill, 1871

**Genre:** Melanoides Olivier, 1804

**Espèce :** *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774)

Les coquilles étudiées sont petites, coniques, allongées et fines. Leur taille est variable entre 3 et 12 mm. La même espèce a également été signalée à la Sebkhha Mellala, dans la région de Ouargla, par Youcef (2016) et par Naimi et al. (2023) et sur les bordures de la route Ouargla-El Goléa en horizon de surface (PLN1) par Khemis (2012). On distingue clairement les sutures de la coquille, alors que les épaulements demeurent assez légers. De dimensions réduites, l'ouverture adopte une forme ovale à la base et se rétrécit en un sommet pointu. La coquille est principalement décorée de délicates lignes de croissance et de séries de petits nodules agencés en motifs sinueux. On peut également remarquer de discrètes côtes verticales légèrement courbées, accompagnées de fines stries en spirale et de délicates marques brunes.

Ce gastéropode thiaridé endobenthique était commun dans le Sahara actuel pendant les périodes du Pléistocène supérieur et de l'Holocène (Van Damme, 1984 in Naimi et al 2023).

Les populations de *Melanoides* semblent mieux adaptées aux environnements riches ou perturbés que la plupart des prosobranches. Il semble possible que les *Melanoides* aient développé des adaptations spécifiques aux faibles niveaux d'oxygène dissous (Dillon et al., 2019).

Dans les environnements de sebkha, les individus présentent des ornements granulaires similaires à ceux des morphotypes marins ; cependant, une ornementation lisse indique des eaux eusalines à métrasalines plutôt qu'une faible salinité (Plaziat, 1993)

**b) *Planorbis* sp :**

La classification de *Planorbis* sp est la suivante :

**Classe :** Gastropoda Cuvier, 1795

**Ordre :** Pulmonata Müller, 1773

**Famille :** Planorbidae Rafinesque, 1815

**Genre :** *Planorbis* Müller, 1773.

La coquille, est finement striée et ses tours augmentent régulièrement. Sur la face supérieure, les tours sont régulièrement convexes et présentent une suture profonde ; sur la face inférieure, ils sont légèrement aplatis. Les premiers tours sur la face supérieure sont profonds et la face inférieure est largement ombiliquée. L'ouverture est ovale et non déviée.

Les espèces du genre vivent dans des rivières et des lacs à écoulement lent dans les eaux peu profondes des zones riveraines. Dans les eaux riches en oxygène, cependant, ils peuvent également vivre dans les profondeurs, avec une cavité pulmonaire remplie d'eau, de sorte que deux espèces (*P. planorbis* et *P. carinatus*) n'ont été découvertes qu'en 1982 à Lunzer See par un plongeur à une profondeur de 7 mètres, dont la présence était inconnue auparavant (Jean-François, 2016).

### C) *Lymnaea* sp

La classification de *Lymnaea* sp est la suivante :

**Classe :** Gastropoda

**Ordre :** Basommatophora

**Famille :** Lymnaeidae

**Genre :** *Lymnaea* Lamarck, 1799

La taxonomie des espèces de *Lymnaea* peut être complexe en raison de leur variabilité morphologique. *Lymnaea* et les espèces apparentées se caractérisent par la morphologie de leur coquille, généralement conique avec une spire pointue et une grande ouverture arrondie. Les études moléculaires sont devenues essentielles pour distinguer les espèces étroitement apparentées au sein du genre *Lymnaea*, soulignant l'importance des marqueurs génétiques dans l'identification et la classification des espèces, *Lymnaea* sp. et les espèces apparentées sont présentes dans divers habitats d'eau douce, notamment les rivières, les lacs et les zones humides, dans différentes régions du monde (Pointier et al., 2004, 2009).

#### IV.2.1. Signification paléoenvironnementale des espèces fossiles

À partir des résultats obtenus dans cette étude, et en s'appuyant sur des travaux antérieurs ayant rapporté des fossiles similaires dans un contexte géologique comparable, la distribution géographique du genre *M. tuberculata* peut être interprétée comme un indicateur d'une similarité marquée des conditions paléoenvironnementales entre les régions de Ouargla et d'Illizi.

Les fossiles du genre *M. tuberculata* découverts dans ces deux régions suggèrent en effet l'existence de conditions environnementales proches au moment du dépôt des couches sédimentaires. *M. tuberculata* est un gastéropode typiquement associé aux milieux d'eau douce à légèrement saumâtre, ce qui témoigne de la présence passée d'environnements aquatiques continentaux tels que des lacs ou des systèmes fluviaux à faible débit dans ces zones.

L'espèce *Melanoides tuberculata* tolère généralement des eaux légèrement saumâtres ; Cependant, les grandes coquilles, bien développées, jusqu'à 3 cm de long, correspondent à des conditions de vie optimales pour cette espèce (Kröpelin et Soulié-Märsche, 1991). Elle est capable de survivre dans des eaux relativement alcalines et salines (van Damme, 2014) et elle peut tolérer des salinités allant jusqu'à 23‰ (Plaziat et Younis, 2005). Elle se trouve dans tous les types d'eaux permanentes, de petites sources aux vastes lacs, et de lacs oligotrophes aux lacs eutrophes (van Damme, 2014).

L'espèce *Melanoides tuberculata* indique donc un paléolac avec des eaux douces à peu salées.

Cette récurrence du même taxon à l'échelle régionale constitue un indice important pour reconstituer le cadre paléohydrologique du sud algérien et suggère l'existence possible de connexions ou de dynamiques environnementales communes durant l'intervalle temporel considéré.

Selon Bezzeghoud (2009), qui a étudiée les dépôts lacustres Holocènes de Hassi El Medjna (Grand Erg occidental, Algérie), la prolifération des gastéropodes *Limnea* et *Planorbis* suggère un milieu soumis à des fluctuations d'eau douce le long des deux coupes qu'elle a étudiée.

L'existence de ces espèces fossiles indique donc que la coupe étudiée par Lamdek et Lahlali (2025), est située dans un site d'un paléolac qui témoigne du passage de la région étudiée par des conditions plus humides, fort probablement à l'Holocène et à la période du Sahara verdoyant (The green Sahara). Ce paléolac était active fort probablement entre 10000 et 4000 ans B.P. Durant la même période d'activité du paléolac de Mellala.

### IV.3. Etude micropaléontologique

Dans cette partie, nous nous intéresserons à l'étude du contenu micropaléontologique issu de la séparation des microfossiles (décrite précédemment au chapitre III), en nous appuyant sur les observations réalisées à l'aide du microscope photonique.

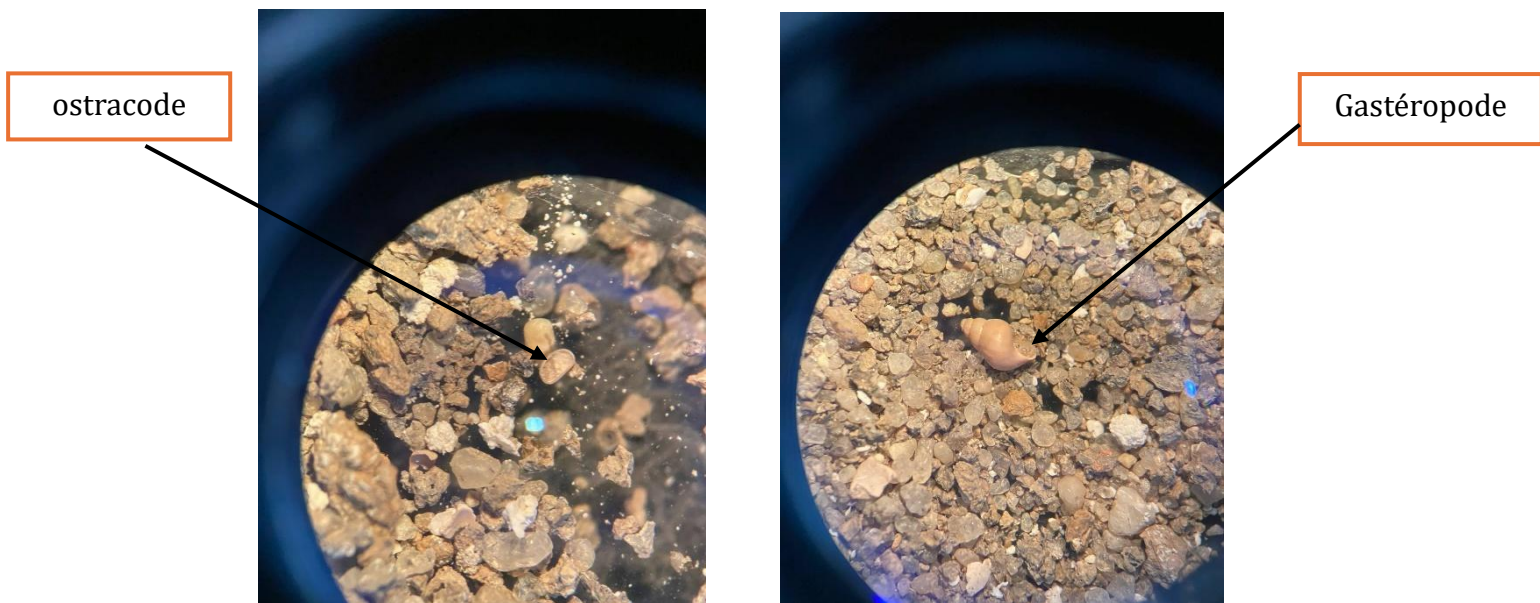
L'étude micropaléontologique a montré la présence de deux types de microfossiles aquatiques représentés par les ostracodes et les diatomées.

#### IV.3.1. Les ostracodes

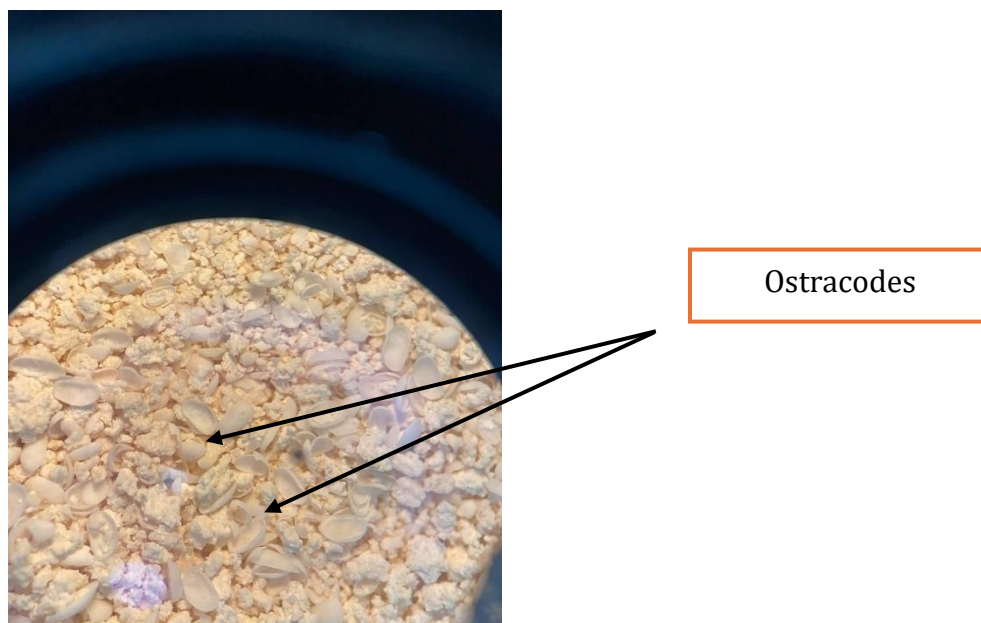
Les ostracodes ont été observés au niveau des couches P2H6, PLO3 et PLN1 (Figure 16,17).

Les ostracodes constituent une classe importante de petits bivalves crustacés (Cohen et al., 2007), dont les parties molles sont enfermées dans une carapace bivalve (Gliozzi et al., 2015).

Les ostracodes possèdent les meilleurs fossiles de tout groupe d'arthropodes : la carapace est généralement bien imprégnée de calcite (Cohen et al., 2007).



*Figure 16: Gastéropode et ostracode observés au niveau de la coupe P2H6*



*Figure 17 : Ostracode observés au niveau de la coupe PLO3*

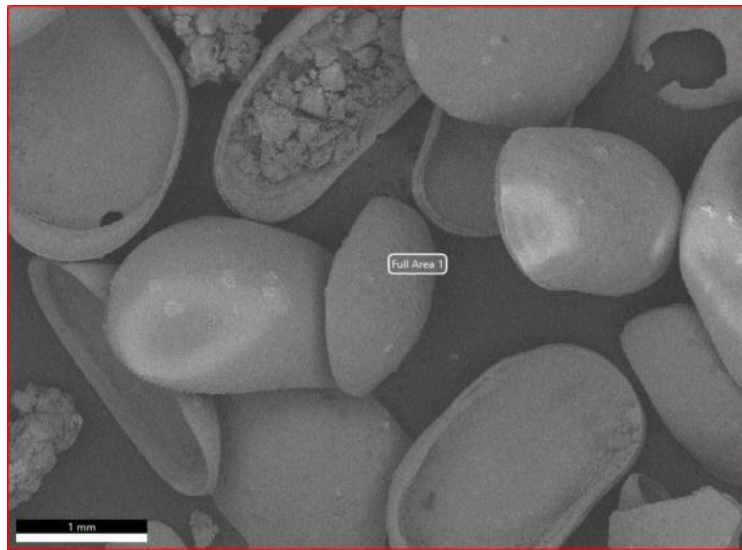


Figure 18: La carapace externe d'ostracode (Zone 1568) de la coupe PLO observé par MEB

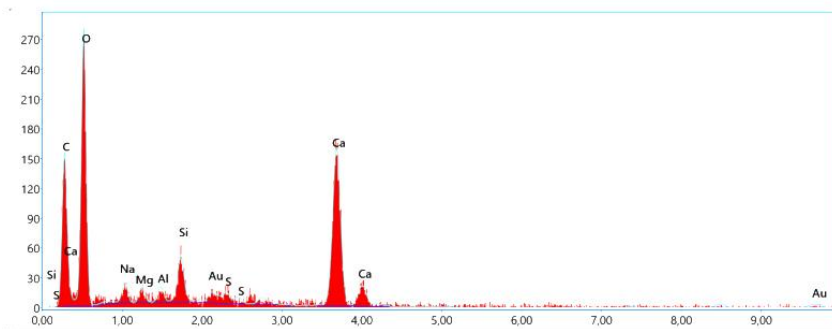


Figure 19 : Caractérisation élémentaire d'une carapace externe d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO

Tableau III : Caractérisation élémentaire de la carapace externe d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO

Elément	% de masse	% atomique
C K	13.81	22.41
O K	46.81	57.02
NaK	2.05	1.73
MgK	1.15	0.92
AlK	1.03	0.74
SiK	2.99	2.08
AuM	1.72	0.17
S K	0.98	0.59
CaK	29.47	14.33

*Tableau IV : Caractérisation élémentaire de la carapace interne d'Ostracode (Zone 1568) par MEB/EDX de la coupe PLO*

Elément	% de masse	% atomique
O K	48.99	68.47
NaK	1.26	1.22
MgK	1.49	1.37
AlK	2.90	2.40
SiK	8.10	6.45
AuM	1.97	0.22
S K	1.17	0.81
CaK	34.12	19.04

L'analyse EDX de la carapace externe de l'Ostracode (Zone 1568) (Figure 19) a révélé une forte dominance de l'oxygène (46,81 %), du calcium (29,47 %) et du carbone (13,81 %), confirmant la nature carbonatée de la coquille. D'autres éléments ont été détectés en plus faibles proportions : sodium, magnésium, aluminium, silicium, soufre et or.

En comparaison, l'analyse EDX de l'intérieur de la même coquille (Tableau IV ) montre des teneurs plus élevées en oxygène (48,99 %) et en calcium (34,12 %), ainsi qu'une quantité significative de silicium (8,10 %). Le carbone n'a pas été détecté dans cette zone. D'autres éléments en traces sont également présents : Na, Mg, Al, S et Au.

Ces résultats confirment que la carapace est principalement constituée de  $\text{CaCO}_3$ , une caractéristique bien connue chez les ostracodes (Cohen & Morin, 1990). L'absence de carbone dans l'intérieur pourrait être due à une dégradation post-mortem de la matière organique (Rodríguez-Lázaro et Ruiz-Muñoz, 2012),

La présence notable de silicium, d'aluminium et de magnésium dans la partie interne suggère une infiltration de matériaux sédimentaires ou silicatés, tels que des argiles, lors de la fossilisation (Whatley et Stephens, 1977).

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux hôtes sont des facteurs importants contrôlant la distribution, la diversité et l'abondance des ostracodes (Zeroual, 1995).

Les ostracodes sont principalement benthiques et sont très strictement liée à leur environnement. Ils sont particulièrement sensibles à la salinité, la profondeur, la température, et le substrat de fond, ainsi que l'hydrochimie, la teneur en éléments nutritifs, et la pollution (Gliozzi et al., 2015). D'une manière générale, les ostracodes d'eaux douces ont des carapaces peu épaisses, à surface lisse ou faiblement ponctuée, et à charnière adonte, à la différence des espèces marines dont les carapaces sont en générale plus robustes et fréquemment ornées (Bignot, 1982).

L'espèce identifiée au niveau des coupes PLO et PLN est : *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda) qui est bien connue pour sa large valence écologique à l'égard du facteur salinité et la grande variabilité de son ornementation (Bodergat et al., 1991). C'est une espèce extrêmement euryhaline (Gasse et al., 1987).

La classification de l'espèce *Cyprideis torosa* est la suivante :

**Règne :** Animalia

**Classe :** Ostracoda

**Ordre :** Podocopida

**Famille :** Cytherideidae

**Genre :** *Cyprideis*

**Espèce :** *Cyprideis torosa* (Jones, 1850)

La présence des Ostracodes, indique l'existence des conditions plus humides que l'actuelle permettant la survie de ces microfossiles (Boyé et al., 1978).

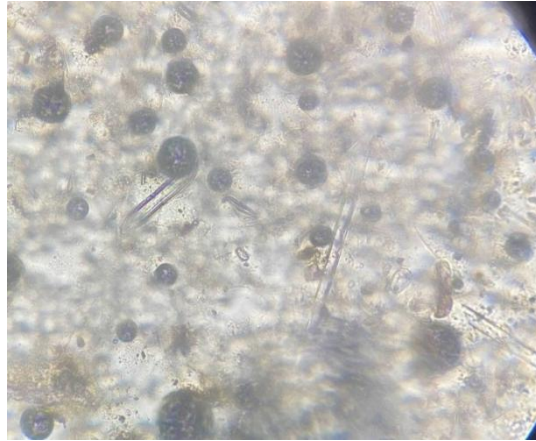
### IV.3.2. Les diatomées

Ces organismes n'ont été observés que grâce au microscope photonique dans les lames préparées à partir d'échantillons de la coupe PLN (Figure 20 et 21).



Diatomée centrique

*Figure 20: Diatomée centrique de la coupe PLN (GX60).*



*Figure 21: Diatomée pennée de la coupe PLN (GX40).*



Diatomiée  
pennée

*Figure 22: Diatomée pennée*

Dans cette partie, nous essayerons d'expliquer la signification paléocéologique des diatomées à partir des résultats obtenus.

L'analyse diatomifère a été largement utilisée pour reconstruire les paléoenvironnements lacustres, côtiers et marins (Moser et al., 1996).

Diatomée  
pennée

Les diatomées sont les organismes les plus répandue aux changements de l'environnement, plusieurs espèces ont des préférences écologiques précises permettant de caractériser l'environnement dans lequel elles ont vécu. Il s'agit de bon marqueur écologiques et paléocéologiques (Yahiaoui, 2013).

Les espèces que nous avons pu identifier au niveau des coupes étudiées sont : une espèce centrique (*Cyclotella meneghiniana*) Figure 20 et une espèce pennée (*Anomoeneis spaerophora*) Figure 22.

La classification de *Cyclotella meneghiniana* est la suivante :

**Classe :** Bacillariophyceae

**Ordre :** Thalassiosiranae

**Famille :** Stephanodiscaceae

**Genre :** *Cyclotella*

**Espèce :** *Cyclotella meneghiniana*

La classification de l'espèce *Anomoeneis spaerophora* est la suivante :

**Classe :** Bacillariophyceae

**Ordre :** Cymbellales

**Famille :** Anomoeoneidaceae

**Genre :** *Anomoeneis*

**Espèce :** *Anomoeneis spaerophora*

L'espèce *Cyclotella meneghiniana* est une espèce planctonique (Seriesosol et Krier, 1995), halophile et alcaliphile (Foged, 1948). Selon Wood (1963), c'est une forme omniprésente d'eau douce et saumâtre, ce qui justifie son classement dans la catégorie des espèces euryhalines (Caljon, 1991).

En Algérie, elle est largement présente dans les eaux mésohalines et fait défaut dans les eaux oligohalines. Elle est alcaliphile et se trouve dans toutes les variantes chimiques des eaux oligohalines. C'est une espèce qui peut tolérer des températures élevées atteignant environ 60°C, comme celles que l'on retrouve dans les eaux thermales. Elle est donc

eurytherme (Baudrimont, 1973), elle appartient au plancton et a été découverte dans des eaux au pH alcalin (Gasse et al., 1987).

L'espèce *Anomoeneis spaerophora* est alcaliphile (Boudrimont, 1974), épiphytique, oligosaline et alcaline (Fan, 1994), se trouvant dans les milieux de pH supérieur à 7 (Foged 1964). En Algérie, elle se trouve dans les eaux sulfatées sodiques, chlorurées sodiques et bicarbonatées sodiques. C'est est une espèce alcaliphile et eurytherme (Hamadi, 2015), benthique (Gasse et al., 1987).

Ces observations (présence des microfossiles) révèlent que les zones étudiées ont connu une période humide responsable de la présence d'un paléolac probablement Holocène qui paraît être synchrone avec le paléolac de Mellala dans la région de Ouargla.

Ce paléolac peut constituer un site très important pour la reconstitution du paléoenvironnement et son étude mérite d'être poursuivie par l'utilisation d'autres techniques.

### IV.3.3. les charophytes

Les opérations de préparation (lavage, tamisage et séchage), suivies de l'observation microscopique, n'ont pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants concernant l'extraction et l'identification des charophytes. Cette limitation est principalement liée à la rareté des restes charophytiques dans les sédiments étudiés, dont les fragments observés étaient trop peu nombreux et trop fragmentaires pour permettre une caractérisation morphologique ou taxonomique fiable. Ce déficit quantitatif réduit considérablement la possibilité d'exploiter l'échantillon dans une perspective de reconstitution paléoenvironnementale ou de comparaison avec les travaux antérieurs, ce qui suggère que le milieu étudié n'était pas favorable au développement ou à la préservation des charophytes.

## IV.4- Résultats de la diffractométrie à rayons X

Les résultats de la minéralogie totale sur poudre sont résumés au niveau des figures (23, 24 et 25). Ces échantillons proviennent de sols dans la région de Ouargla. La DRX sur poudre totale nous a permis d'identifier les minéraux dans le tableau V.

**Tableau V: Les minéraux présents dans les échantillons analysés par la DRX**

Horizons	Minéraux	Formules chimiques
PLN1	Quartz Calcite Gypse Halite	SiO <sub>2</sub> CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O NaCl

<b>PLN2</b>	Quartz Calcite Anhydrite Hématite	SiO <sub>2</sub> CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>PLO</b>	Quartz Bassanite Gypse Halite	SiO <sub>2</sub> CaSO <sub>4</sub> 1/2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O NaCl

Les résultats sont représentés par les diffractogrammes dans les figures (23, 24 et 25).

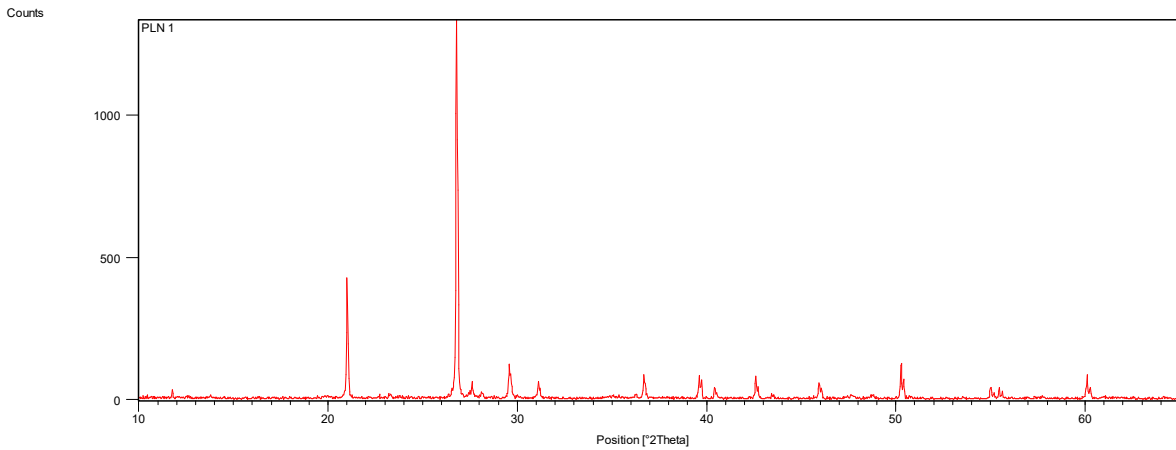


Figure 23 : Diffractogramme de rayons X de la couche PLN1.

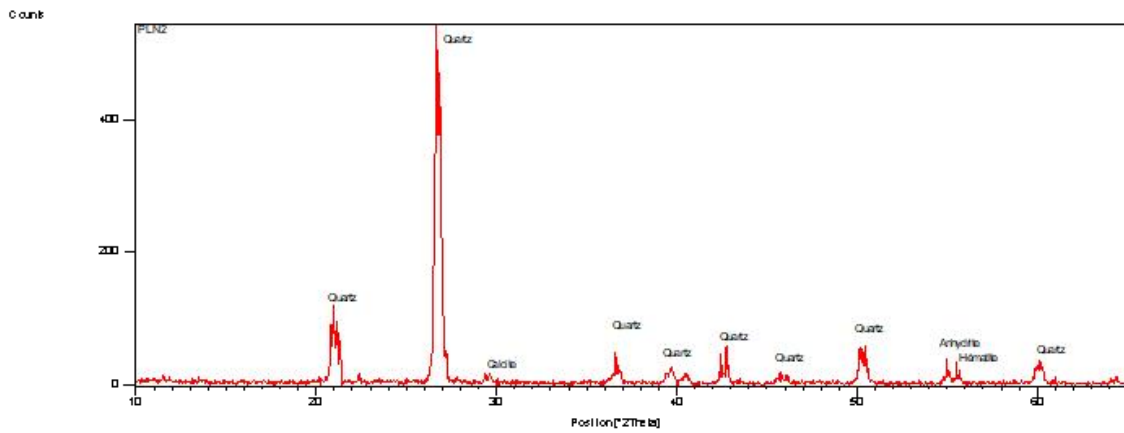


Figure 24 : Diffractogramme de rayons X de la couche PLN2

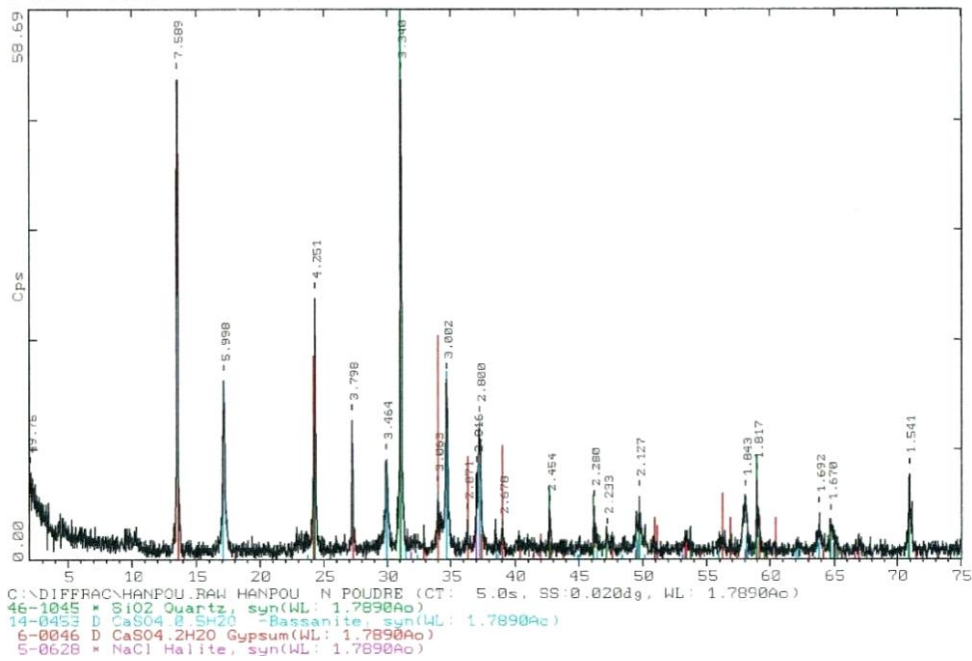


Figure 25 : Diffractogramme de rayons X de la couche PLO (Youcef, 2006).

D'une manière générale, d'après le premier diffractogramme (figure 23), on remarque que le quartz est le composant minéralogique dominant, avec des pics intenses. On trouve aussi la calcite, l'halite et le gypse.

Pour le deuxième échantillon, on remarque également que le quartz est le minéral le plus dominant (figure 24). La calcite, l'hématite et l'anhydrite sont aussi présentes dans cet échantillon.

Concernant le troisième échantillon, on remarque que le gypse et le quartz sont les composants minéralogiques dominants montrant des pics intenses (figure 25). On remarque aussi la présence de la bassanite et l'halite.

La présence de la calcite au niveau des premières couches de la coupe PLN est liée directement à la présence des fossiles (*Melanoides tuberculata*) et des ostracodes qui ont des carapaces riches en calcite. La présence du gypse au niveau des couches supérieures des coupes PLO et PLN est caractéristique des régions arides, où l'évapotranspiration est supérieure aux précipitations ce qui conduit à la précipitation de ce minéral en surface.

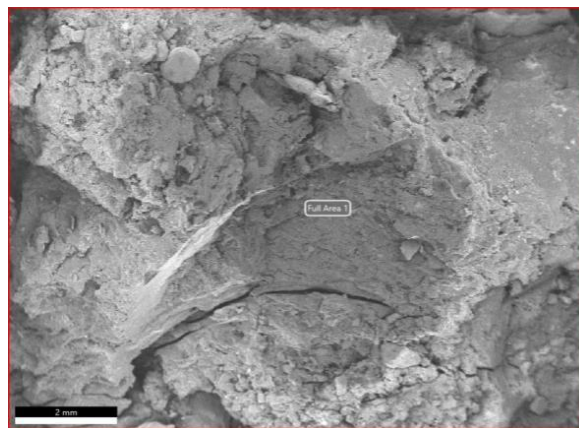
À travers cette étude, nous avons observé que les minéraux présents dans les sédiments étudiés, et révélés par la DRX, sont : le gypse, le quartz, la calcite, l'hématite, la bassanite, l'halite et l'anhydrite. La présence de la plupart de ces minéraux a été aussi

détectée et confirmée par Hamdi-Aïssa (2001) et Youcef (2016), et en partie par Belhasrouf et Bouanane (2021) dans la région de Ouargla.

#### IV.5. Etude micromorphologique d'échantillons de couches noires

##### IV.5.1. Résultats de Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

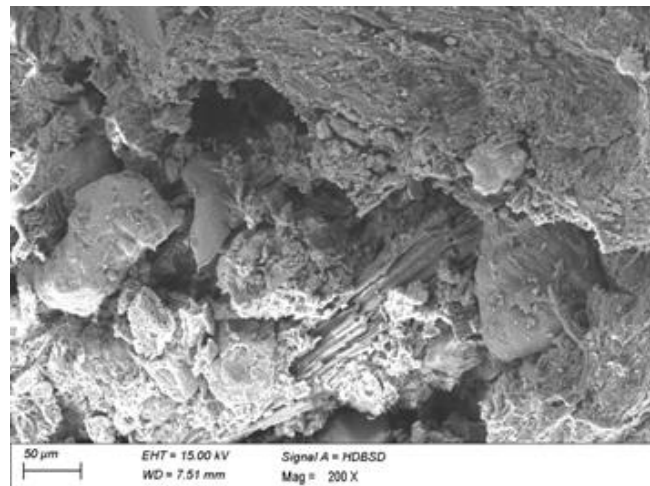
L'observation à cette échelle d'échantillons prélevés des coupes PLO et PLN nous montre l'existence de fragments de matière organique (Figure 26 et 27).



*Figure 26 : La couche PLN4 observé par MEB*

*Tableau VI : Caractérisation élémentaire de la couche PLN4*

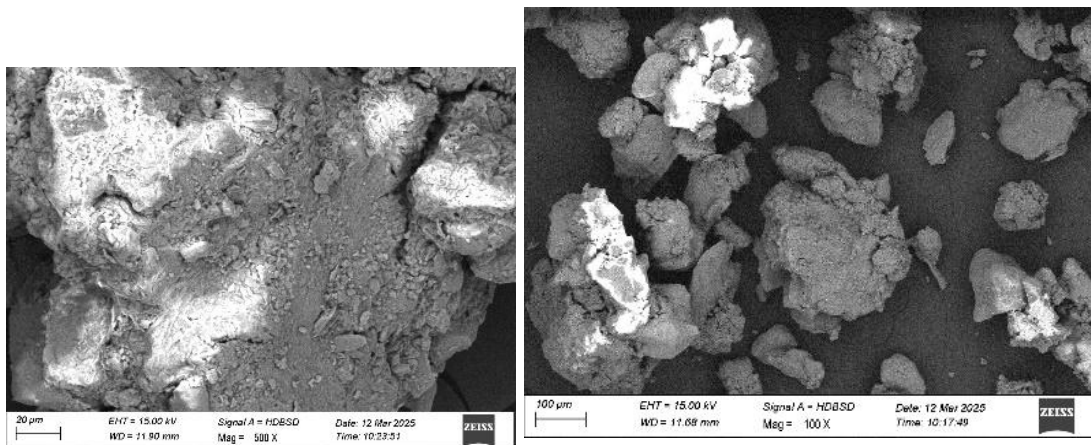
Résultats quantitatifs intelligents						
Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	38.77	51.13	0,1319	1.0666	0.3188	1.0000
O K	39.61	39.22	0,1105	1.0157	0.2746	1.0000
NaK	1.29	0.89	0,0063	0.9175	0.5274	1.0005
MgK	1.07	0.70	0,0067	0.9318	0.6768	1.0011
AlK	1.81	1.06	0,0128	0.8961	0.7901	1.0019
SiK	6.35	3.58	0,0502	0.9147	0.8635	1.0022
AuM	4.32	0.35	0,0333	0.5753	1.2809	1.0443
S K	4.00	1.97	0,0326	0.8937	0.9121	0.9991
CaK	2.78	1.10	0,0234	0.8575	0.9837	0.9993



**Figure 27 : Echantillon de la coupe PLN observé au MEB.**

L'analyse EDX de la couche PLN4 (figure 26) montre des teneurs plus élevées en oxygène (39.61%) et en carbone (38.77%). D'autres éléments en traces sont également présents : Na, Mg, Al, Si, Au, S, et Ca. Ces résultats confirment ceux obtenus par l'étude de Khemis (2012), et confirment l'origine organique des couches noires observées et étudiées par (Youcef, 2006 ; Khemis, 2012 ; Youcef et Hamdi Aïssa, 2014 ; Youcef, 2016).

La figure 28, présente un échantillon de la couche noire (PLO2) prélevé de la coupe PLO. On observe que la matière organique au niveau de ce paléolac est plus dégradée que celle de la coupe PLN (Figure 27). Le même constat a été fait sur terrain et même à partir du dosage de la matière organique (Annexe) qui montre un taux beaucoup plus faible que celui de la coupe PLN.



*Figure 28 : La couche PLO2 observé par MEB.*

#### IV.6. Morphoscopie des grains de quartz

L'analyse morphoscopique des grains de quartz a permis d'avoir une idée générale du mode de transport et de reconstituer une certaine évolution dans leur contexte de dépôt.

La description morphoscopique des grains de quartz a été effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire et le comptage des grains a été effectué sur environ 100 grains. Le tableau ci-dessous montre les calculs et les pourcentages relatifs des différentes morphologies reconnues. Les grains non usés (NU), les ronds mats (RM) et les émoussés luisants (EL) sont les types classiques suivants.

*Tableau VII: Représentation de l'analyse morphoscopique des échantillons*

Horizons	Non usé (NU)%	Emoussé luisant (EL)%	Ronds mats (RM)%
P2H1	30%	23%	47%
P2H2	41%	9%	50%
P2H3	23%	9%	68%
P2H4	7%	35%	58%
P2H5	6%	84%	10%
P2H6	2%	23%	75%
PLO3	10%	51%	39%
PLO7	21%	72%	7%

PLN7	3%	75%	22%
------	----	-----	-----

L'analyse morphoscopique montre la présence des trois principaux types des grains (NU, EL et RM).

Pour la coupe P2, on observe une prédominance des grains de quartz ronds mats au niveau des couches P2H1, P2H2, P2H3 et P2H4, ce qui indique l'importance de l'action éolienne au niveau de ces couches. Par la suite, on remarque que pour le niveau P2H5, c'est les grains émoussés luisants qui sont prédominants, ce qui témoigne de l'importance de l'action aquatique à ce niveau. Ceci est du probablement à la période d'activité du paléolac. Pour la couche P2H6, c'est les ronds mats qui sont plus dominants. Ceci est en conformité avec les travaux de (Djili 2004 ; Youcef, 2006 ; Youcef, 2016) qui ont mentionné que les régions sahariennes ont connues une alternance entre période humides et périodes arides qui se sont enregistrés au niveau des sédiments de ces régions sous forme de successions entre sédiments hydro-éoliens.

Concernant l'échantillon PLO3, les émoussés luisants sont plus dominants, ce qui est expliqué par une action aquatique. Ceci est en liaison avec le paléolac de la région de Ouargla, surtout que cette couche est très riche en ostracodes. La même constatation a été faite pour les échantillons de la coupe PLN



# **Conclusion**

## Conclusion

---

Après l'analyse des coupes sédimentaires prélevées dans d'anciens paléolacs situés dans les régions de Ouargla et Illizi, et en s'appuyant sur plusieurs approches méthodologiques, incluant l'étude des fossiles et des microfossiles, la minéralogie par DRX, l'observation par microscopie électronique à balayage et l'étude morphoscopique des grains de quartz. Nous avons pu reconstituer, quelques caractéristiques des conditions paléoenvironnementales ayant régné dans cette zone en Holocène.

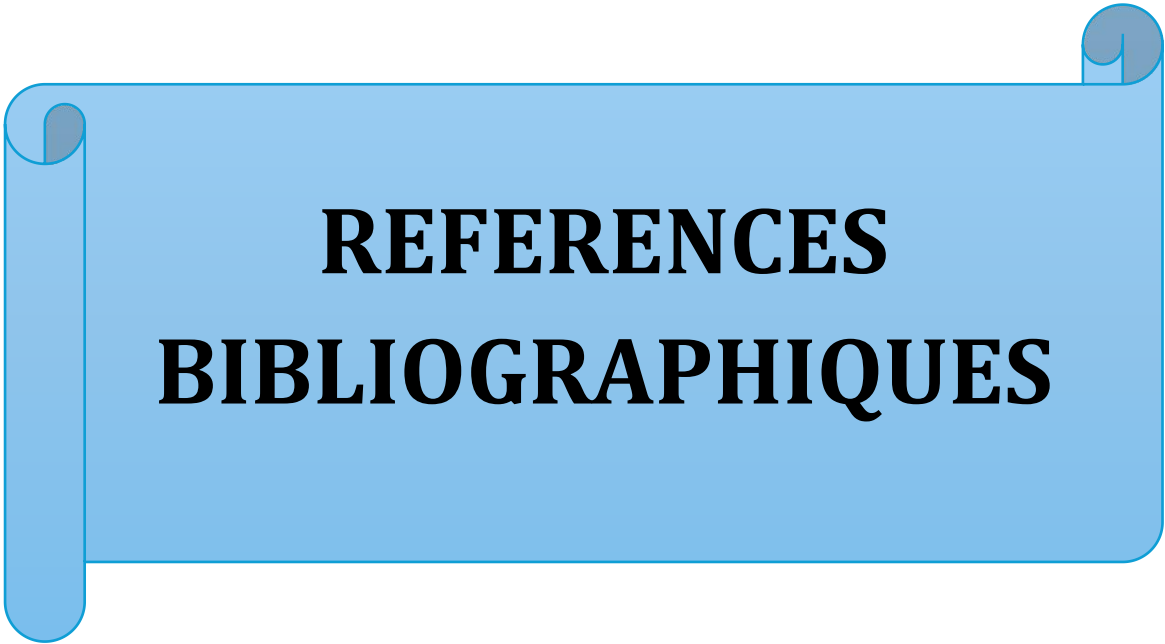
Les observations de terrain ont révélé la présence de couches riches en matière organique ou en fossiles, témoignant clairement de l'existence d'anciens bassins fermés, véritables archives naturelles des environnements passés. L'étude paléontologique a permis d'identifier des mollusques d'eau douce, notamment *Melanoides tuberculata*, *Planorbis sp.* et *Lymnaea sp.*, indiquant des milieux aquatiques variant entre l'eau douce et saumâtre.

Par ailleurs, les observations microscopiques des lames ont mis en évidence la présence de microfossiles tels que les ostracodes et les diatomées. Ces organismes, sensibles aux variations de salinité et de température, ont été retrouvés dans plusieurs niveaux, illustrant ainsi une dynamique climatique et hydrologique entre période aride et d'autres plus humides.

L'analyse morphoscopique des grains de quartz a également fourni des indications importantes sur les modes de transport. La prédominance de grains ronds mats dans certains niveaux suggère un transport éolien en milieu aride, tandis que la présence de grains émoussés luisants dans d'autres horizons témoigne d'un transport hydraulique, probablement par des cours d'eau anciens.

La confrontation de ces résultats montre une certaine homogénéité dans les conditions paléoenvironnementales entre les sites étudiés, malgré quelques variations locales. La récurrence de certaines espèces fossiles d'un site à l'autre suggère également un passé hydrologique commun entre Ouargla et Illizi.

En somme, ce travail constitue une contribution importante à la compréhension de l'évolution paléoenvironnementale et paléoclimatique du sud-est algérien, en soulignant l'intérêt d'une approche intégrée combinant données morphologiques, paléontologiques et minéralogiques.



**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ameen, M. Abbas, S. G. Batool, S.Rauf, M. K. (01 Sep 2024). Introduction to Paleontology: Uncovering Animal Life Forms, pp. 319–324.
- Armitage, S.J. Drake, N.A. Stokes, S. El-Hawat, A. Salem, M.J. White, K.Turner, P.McLaren, S.J. (2007). Multiple phases of North African humidity recorded in lacustrine sediments from the Fazzan Basin, Libyan Sahara. *Quaternary Geochronology*, 2: 181–186.
- Aumassip, G., Dagherne, A., Estorges, P., Lefevre-Witier, Ph., Mahrour, M., Marmier, F., Nesson, C., Rouvillois-Brigol, M., et Trecolle, G. (1972). Aperçu sur l'évolution du paysage Quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. *Lybica*, Tome xx, pp206-256.
- Assi-Kaudjhis, C. Digbehi, B. Roche, E. & Lezine, A. (2010). Synthèse sur l'évolution des paléoenvironnements de l'Afrique occidentale atlantique depuis la fin de la dernière période glaciaire. Influences climatiques et anthropiques. *Geo-EcoTrop*.34:pp. 1 – 28
- Bakelli, O. Chliali, M. & Zeddouri, A. (2019). Hydrogeological study of the lower Devonian aquifer in the Illizi région. Séminaire International sur l'Hydrogéologie et Environment, 12–14 mars 2019, Ouargla (Algérie).
- Baudrimont, R. (1973). Recherche sur les diatomées des eaux continentales de l'Algérie : écologique et paléoécologique. Thèse Lab. Bot., Fac. Sci., Alger et Lab. Bot., Univ. Bordeaux, Talence, A.O. 9385, sér n° 12 : 265 p., pl. ht.
- Bezzeghoud, B. (2009). La microflore diatomique et paléoenvironnement des dépôts lacustres holocènes de Hassi El Medjna (Grande Erg Occidental, Algérie), Magister en science de la terre. 166 p.
- Bodergat, A. M., Rio, M., & Andreani, A. M. (1991). Composition chimique et ornementation de *Cyprideis torosa* (Crustacea, Ostracoda) dans le domaine paraliq. *Oceanologica acta*, 14(5), 505-514.
- Boyé, M., Marmier, F., Nesson, C. & Trécolle, G. 1978. Les dépôts de la sebkha Mellala (environs d'Ouargla, Sahara algérien nord-oriental). *Sédimentologie*, âge, enseignement morphoclimatique. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 28: 49-62.

## Références bibliographiques

---

- Claudon, N. (2007). Classification automatique des diatomées : Une approche par les motifs des structures internes (Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières). Université du Québec, 123 p.
- Cohen, A. C. & Morin, J. G. (1990). Ostracode shell morphology and its relation to calcification processes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 78(1–2), 123–136.
- Delaux, P. M. (2011). \*Rôles des strigolactones et évolution des compétences mycorhiziennes dans la lignée verte\*. En vue de l'obtention du Doctorat, Université de Toulouse. p. 13
- Dillon, R. T., Jr. and colleagues (2019). *The Freshwater Gastropods of North America Volume 1: Atlantic drainages, Georgia through Pennsylvania*. FWGNA press.
- Djili, B. (2004). Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro., Uni. de Ouargla, 81p.
- Dubief, J. (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifique, Alger, 457 p.
- Dutil, P. (1971). Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doc. D'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p.
- Fabre, J. 1976. Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Ed.S.N.E.D, Alger. N° ed 334.73. 422p.
- Fan, H. (1994). Paléoenvironnement, Paléoclimat du Tibet Occidental (Bassin de Bangong Co) au quaternaire supérieur. Approche par l'étude des diatomées. Thes. Doct. Univ. Paris. P 38-137.
- Feist, M. Grambast-Fessard, N. Guerlesquin, M. Karol, K. Lu, H. McCourt, R. M. Wang, Q. Shenzen, Z. (2005). — *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part B., Protozoa 1. Charophyta*. The Geological Society of America, Kansas, 170 p.
- Foged, N. 1948. Some littoral Diatoms from the Coast of Tanzania. *Bibl. Phycol.* 16. 126 pp. 31 pls.
- Fortier, J.-F. (2016). *Planorbis planorbis*, la planorbe commune. [<https://www.aquaportail.com/fiche-invertebre-2206-planorbis-planorbis.html>]
- Gerddette, D. (1979). Apport de l'étude des diatomées et des silicoflagellés à la biostratigraphie. Reconstitution du Messinien de méditerranée : analyse de

## Références bibliographiques

quelques tripolis du passage Mio-Pliocène à Chypre, en Crète et au Maroc.  
Thèse Doc. 3e cycle, Univ.Paris-sud : 274p

- Gasse, F., Fontes, J. C., Plaziat, J. C., Carbonel, P., Kaczmarska, I., De Deckker, P., Soulié-Märsche, I., Callot, Y. & Dupeuble, P.A. (1987). Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from north Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 60: 1-46.
- Gasse, F. (2005). Continental palaeohydrology and palaeoclimate during the Holocene. *C. R. Geoscience*, 337, 79–86.
- Gasse, F. (2000). Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Review* 19: 189-211.
- Gersode, R. (1980). Diatoms in the Mediterranean Neogene, a short review. *Ann. Geol. Pays Hellèn.*, (h.s.), 3 : 1348-1351
- Gibert, E. (1989). Géochimie et paléohydrologie des bassins lacustres du Nord-Ouest saharien. Programme Palhydraf, site2. Thèse de doctorat Université Paris XI, Orsay, 210p.
- Guendouz, A., Moulla, A., S., Edmunds, W. M., Zouari, K., Shand, P. & Mamou, A. (2003). Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeo. Jou.*, 11, 483–495.
- GUSS, F. (s.d.). Bassin Illizi. Prezi. Disponible sur : [\[https://prezi.com/p/f3vfthtysuqj/bassin-illizi/\]](https://prezi.com/p/f3vfthtysuqj/bassin-illizi/)
- Hamadai, A. (2015). La microflore diatomique des dépôts quaternaires de Hassi Manda (Tabelbala, bordure occidentale de l'Erg Er Raoui, Algérie), 160p.
- Hamdi-Aïssa, B. (2001). Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approche micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. PhD dissertation, Institut National Agronomique, Paris Grignon, 307p.
- Hamdi-Aïssa, B. (2002). Paleogeochemical interpretation of some gypsic microfabrics in hyper-desert soils. In: ISSS ed., 17th World Congress of Soil Science, Bangkok, 9p (CD-Rom publication).
- Houari, I. M. Nezli, I. E. B, Bouregaa (2014). Description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla. *Algerian Journal of Aride Environment*, 4(1), 12–19.

## Références bibliographiques

---

- Javaux, E. J. Benzerara, K. (2009). Les microfossiles : General palaeontology (Taphonomy and fossilisation). *Comptes Rendus Palevol*, 8(7), Paris, 641–654.
- Kaboul, A. (2016). Étude des croûtes biologiques des sols des zones arides (cas de la région d’Ouargla et la région de El’Oued). Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences Biologiques.
- Khemis, R. (2012). Contribution à l’étude paléoécologique des sols de la région de Ouargla. Mémoire de fin d’études, Université Kasdi Merbah Ouargla, 102 p.
- Khemis, R. (2017). Essai de reconstitution des changements environnementaux dans la cuvette de Ouargla ; apport de la paléopédologie. Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 84 p.
- Kröpelin, S. & Soulié-Märsche, I. (1991). Charophyte remains from Wadi Howar as evidence for deep mid-Holocene freshwater lakes in the eastern Sahara of Northwest Sudan. *Quaternary Research* 36 (2): 210-223.
- Kröpelin, S., Verschuren, D., Lézine, A.M., Eggermont, H., Cocquyt, C., Francus, P., Cazet, J.P., Fagot, M., Rumes, B., Russell, J. M., Darius, F., Conley, D. J., Schuster, M., von Suchodoletz, H., Engstrom, D. R. (2008). Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years. *Science* 320: 765-768.
- Lamdek et Lahlali (2025). Caractérisation des sols du périmètre agricole de djebel Mrah, bordj Omar Driss, wilaya d’Illizi. Mémoire de master, université Kasdi Merbah, Ouargla (Mémoire non encore soutenu).
- Langlois, C. (2006). Diatomées\ [Fiche pédagogique]. Université Pierre et Marie Curie, Département de Biogéosciences – Biogéopal, Paris, 5 p.
- Lamarck, J. B. M. (1799). Prodrôme d’une nouvelle classification des coquilles, comprenant une rédaction appropriée des caractères génériques, et l’établissement d’un grand nombre de genres nouveaux. *Mémoires De La Société d’Histoire Naturelle De Paris*, 1 : 63–91.
- Lécuyer, C. Lézine, A.M. Fourel, F. Gasse, F. Sylvestre, F. Pailles, C. Grenier, C. Travi, Y. Barral, A. (2016). I-n-Atei palaeolake documents past environmental changes in central Sahara at the time of the “Green Sahara”: Charcoal, carbon isotope and

## Références bibliographiques

- diatom records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 441 : 834–844.
- Lelubre, M. (1952). Conditions structurales et formes de relief dans le Sahara. Ed.: Inst. Rech. Saha., Alger, Tome VIII, Pp. 189.
  - Lhote, H. (1984). Le Hoggar, espace et temps. Ed: Armand Colin, Paris, 240 p.
  - Marmier F., Trécolle G. (1972). Stratigraphie du gisement d'Hassi-Mouillah. Région de Ouargla (Algérie). In: Bulletin de la Société préhistorique française. Comptes rendus des séances mensuelles, tome 65, n°4, 1968. pp. 121-128.
  - Mathieu, R. Bellier, J. P. Granier, B. (2011). Manuel de micropaléontologie. Carnets de Géologie : Livre 2, p. 3, 38, 58.
- Mukherjee, S. 2013. *The Science of Clays Applications in Industry, Engineering and Environment*. Ed. Springer, Dordrecht, Netherlands et Capital Publishing Company, New Delhi, India, 325 p. N°2pp.121-124.
- Naimi, M. N. Cherif, A. Mahboubi, C. Y. Bensaci, M. B. Mazouzi, A. Benkhedda, A. Laouini, H. (2023). Palaeoecological, taphonomic and biosedimentary analysis of Mid-Holocene lacustrine deposits from Ouargla area (Lower Sahara, SE Algeria). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 307(1), 1–16.
  - Ndozi, F. P. N. V. (2021). Caractérisation géochimique de la roche mère Silurienne de la région de Bordj Omar Driss, Bassin ; Illizi \ [Mémoire de Master, Université M'Hamed de Boumerdès, Département des Hydrocarbures, Option : Géologie Pétrolière]. 2020/2021.
  - Paulo, N. F. (2021). Caractérisation géochimique de la roche mère Silurienne de la région de Bordj Omar Driss, Bassin d'Illizi (Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie)
  - Plaziat, J.C. & Younis, W. R. (2005). The modern environments of Molluscs in southern Mesopotamia, Iraq: A guide to paleogeographical reconstructions of Quaternary fluvial, palustrine and marine deposits. *Notebooks on Geology*, Article 2005/01 (CG2005\_A01).
  - Ramade, F. (2002). Dictionnaire encyclopédique d'écologie des sciences de l'environnement. Ed. DUNOD, Paris. p. 664
  - Ramade, F. (2008). Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Ed. DUNOD, Paris, p. 431.

## Références bibliographiques

---

- Rodríguez-Lázaro, J., & Ruiz-Muñoz, F. (2012). Ostracods as ecological and paleoenvironmental indicators. In: Yasuhara, M., Cronin, T. M. (Eds.), *Developments in Quaternary Science*, 17, 55–73.
- Rognon, P. (1976). Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40000 ans. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, Vol. XVII, pp. 251–282.
- Scherder, H.J., et Gersonde. R. 1978. Micropaleontological counting methods and techniques – an exercices on an eight metres section of the lower Pliocene of capo Rossello, Sicily . *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 17: 129-176
- Serieyssol, K.K. et Krier, V. 1995. Diatoms from the archeological site, Le Grand Marais, Champagne-Sur-Oise, France . *Vie milieu*, 45(3/4) :243-248.
- Sönmez, G. N. (1964). Introduction aux ostracodes. *Minéral Research and Exploration Institute of Turkey*, 136–144.
- Soulié-Märsche, I., García, A. (2015). Gyrogonites and oospores, complementary viewpoints to improve the study of the charophytes (Charales). p. 13–14.
- Soulié-Märsche, I. 2008. Charophytes, indicators for low salinity phases in North African sebkhet. *Journal of African Earth Sciences* 51: 69-76.
- Suryanarayana, C. & Grant Norton, M., 1998. X-Ray diffraction a practical approach. Ed Springer, New York, 273 p.
- Tortosa, T. (2013). *Principes de paléontologie*. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-057993-8
- van Damme, D. 2014. *Melanoides tuberculata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T155675A42420839. Téléchargé le: 12 Septembre 2015 à: <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/155675/0>
- Waseda, Y., Matsubara, E. & Shinoda, K. 2011. X-Ray Diffraction Crystallography Introduction, Examples and Solved Problems. Ed. Springer, Heidelberg, 310 p.
- Whatley, R., Stephens, J. (1977). Ostracods and paleoenvironmental analysis. In H. Löffler & D. L. Danielopol (Eds.), *Aspects of Ecology of Ostracods* (pp. 49–62).
- Wood, E.J. 1963. A study of the Diatom Flora of fresh sediment of the South Texas bay and adjacent water. *Pub. Inst. mar. Scu., Texas*. 9: 237-310.
- Yahiaoui, N. (2013). Les diatomées d'une butte témoin à sédimentation lacustre quaternaire dans la région de Hassi Manda (Tabelbala, Erg Er Raoui, NW du

## Références bibliographiques

---

Sahara algérien) (Mémoire de Master, Université d'Oran, Faculté des Sciences de la Terre). 122 p.

- Youcef, F. (2006). Indicateurs paléo-écologiques dans les sols des bassins endoréiques (sebkha et Daya) du Sahara septentrional. Exemple des Sebkhas de Ouargla et Mellala et de la Daya d'El-Amied. UnivOuargla. 143 p.
- Zeroual, E. (1995). Enregistrements climatiques dans les sédiments du lac Isli (Haut Atlas du Maroc): variations des influences climatiques sahariennes et méditerranéennes:(de 34'000 ans BP à nos jours) (Thèse de doctorat). Université de Neuchatel.
- Youcef, F. (2016). Contribution à la reconstitution du paléoenvironnement au Sahara septentrional dans les sols de bassins endoréiques: Cas de la région de Ouargla, thèse de Doctorat ès sciences en Sciences Biologiques, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 180p.
- Youcef Fouzia & Hamdi-Aïssa Baelhadj. (2014). Paleoenvironmental Reconstruction from Palaeolake Sediments in the Area of Ouargla (Northern Sahara of Algeria), *Arid Land Research and Management*, 28:2,pp 129-146.

## Résumé

Ce travail porte sur une étude micropaléontologique et paléontologique des sédiments de paléolacs dans deux régions sahariennes : Ouargla et Illizi.

Les résultats ont révélé la présence de fossiles caractéristiques d'anciens milieux aquatiques dans la coupe "P2" d'Illizi, notamment *Melanoïdes tuberculata*, *Planorbis sp.*, *Lymnaea sp.* et une espèce de bivalve, accompagnés de grains de quartz à morphologie indiquant un transport éolien dominant, témoignant d'un contexte désertique entrecoupé de phases humides.

À Ouargla, les coupes PLO et PLN ont montré une richesse en matière organique et en indices de transport hydrique, avec des minéraux identifiés par DRX tels que le quartz, la calcite, l'halite, l'hématite, l'anhydrite et la bassanite. Les analyses MEB/EDX ont mis en évidence des composants carbonatés et argileux reflétant une histoire sédimentaire complexe.

L'ensemble des données suggère que les régions de Ouargla et Illizi ont connu, durant l'Holocène, d'importantes fluctuations climatiques ayant favorisé l'apparition de milieux aquatiques temporaires (paléolacs), en lien avec l'alternance entre périodes arides et périodes plus humides.

Mots clés : paléolac, sédiment, fossiles, Sahara, paléoenvironnement

## Abstract

This work focuses on a micropaleontological and paleontological study of paleolake sediments in two Saharan regions: Ouargla and Illizi.

The results revealed the presence of fossils characteristic of ancient aquatic environments in the "P2" section of Illizi, including *Melanoïdes tuberculata*, *Planorbis sp.*, *Lymnaea sp.*, and a bivalve species, accompanied by quartz grains with morphology indicative of predominantly aeolian transport, testifying to a desert context interspersed with humid phases.

In Ouargla, the PLO and PLN sections showed a wealth of organic matter and water transport indices, with minerals identified by XRD such as quartz, calcite, halite, hematite, anhydrite, and bassanite. SEM/EDX analyses revealed carbonate and clay components reflecting a complex sedimentary history. All of the data suggest that Ouargla and Illizi regions experienced significant climatic fluctuations during the Holocene, favoring the appearance of temporary aquatic environments (paleolakes), linked to the alternation between arid and wetter periods.

Keywords: paleolake, sediment, fossils, Sahara, paleoenvironment

## ملخص

ركز هذا العمل على دراسة للمستحاثات والمستحاثات الدقيقة لرواسب البحيرات القديمة في منطقتين صحراويتين: ورقلة وإليزي. كشفت النتائج عن وجود مستحاثات مميزة للبيئات المائية القديمة في المقطع "P2" من إليزي، بما في ذلك *Melanoïdes tuberculata*، *Planorbis sp.* و *Lymnaea sp.*، بالإضافة إلى نوع من ثنائيات الصدفة. مصحوبة بحبيبات كوارتز ذات مورفولوجيا تشير إلى انتقال بفعل الرياح في الغالب، مما يدل على بيئة صحراوية تتخللها مراحل رطبة.

في ورقلة، أظهر مقطعا PLO و PLN وفرة من المواد العضوية ومؤشرات نقل المياه، مع معادن تم تحديدها بواسطة XRD مثل الكوارتز والكالسيت والهاليت والهيمايتيت والأنهيدريت والباسانيت. كشفت تحليلات SEM/EDX عن مكونات كربوناتية وطينية تعكس تاريخًا رسوبيًا معقدًا. تشير جميع البيانات إلى أن منطقتي ورقلة وإليزي شهدتا تقلبات مناخية كبيرة خلال العصر الهولوسيني، مما أدى إلى ظهور بيئات مائية مؤقتة (بحيرات قديمة)، مرتبطة بالتناوب بين فترات الجفاف والرطوبة.

الكلمات المفتاحية: بحيرة قديمة، رواسب، مستحاثات، الصحراء، البيئة القديمة