

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

Année : 2017

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

LES PHOSPHATES DU NORD DE TÉBESSA (DYR ET EL-KOUIF) : ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE, GÎTOLOGIQUE ET GÉOCHIMIQUE

Option : GÉOLOGIE

Par

Rabah KECHICHED

DIRECTEUR DE THÈSE

M. Rabah LAOUAR

Professeur

Université Badji Mokhtar, Annaba

CO-DIRECTRICE DE THÈSE

Mme. Sihem SALMI-LAOUAR

Professeur

Université Badji Mokhtar, Annaba

DEVANT LE JURY

Le 26 Janvier 2017

PRÉSIDENT:

M. Abderrahmane TOUBAL

Professeur

Université Badji Mokhtar, Annaba

EXAMINATEURS:

M. Salah BOUHLEL

Professeur

Université El-Manar, Tunis

M. Messaoud HACINI

Professeur

Université Kasdi Merbah, Ouargla

M. Omar KOLLI

Professeur

Université des Sciences et de la Technologie Houari-Boumediene, Alger



Le 26-1-2017

Je dédie...

Enfin !... Il arrive le moment pour dédier le fruit de longues années d'études! En témoignage vos sacrifices, que chaque mots de cette thèse vous exprime ma gratitude et ma grande reconnaissance:

À mon père qui aime beaucoup le savoir, qui a toujours rêvé de voir son fils concrétise son rêve ! Qui m'a donné la première initiation de la géologie quand j'étais déjà un enfant, je me rappelle très bien... Merci Papa !

À ma mère, en témoignage de tendresse, d'encouragement et d'amour depuis ma naissance, pour les prières et la bénédiction qui m'ont été la source de réussite ...

À ma femme, source de soutien permanent depuis longtemps! Je confirme aujourd'hui que : « *derrière chaque grand homme se cache une femme* "...

A mes frères et sœurs : Walid et Yasser pour vos sacrifices ! À Soriya, Aissa, Sara, Salah, Soumia et Weam : Vous m'avez donné la force et la détermination durant tout mon cursus!

À toute la famille et tous mes amis ! Chacun avec son nom, vous m'avez beaucoup soutenu ! Et vous allez continuer ...Merci !

À vous,
Je dédie cette Thèse ...

قال الله تعالى:

« وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَيْرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ »

القرآن الكريم - سورة النمل ﴿٨٨﴾

« Et tu verras les montagnes – tu les crois figées – alors qu’elles passent comme des nuages. Telle est l’œuvre d’Allah qui a tout façonné à la perfection. Il est Parfaitement Connaisseur de ce que vous faites! »

Le Coran - An Naml-27-88-

«And you see the mountains, thinking them rigid, while they will pass as the passing of clouds. [It is] the work of Allah , who perfected all things. Indeed, He is Acquainted with that which you do»

The Quran - Chapter (27), 88th verse sūrat l-naml (The Ants)

Remerciements

Je dis Merci à ...

A travers cette thèse, Je voudrais remercier vivement mon directeur de thèse, **Pr. Rabah Laouar**. Je ne trouve pas les mots pour le remercier, non seulement pour la direction de cette thèse mais aussi, pour sa méthodologie de recherche et pour son éthique. Grand merci, pour avoir laissé une grande empreinte au chemin de la recherche scientifique.

Mes remerciements vont aussi à **Pr. Sihem Salmi-Laouar**, ma co-directrice de thèse ; qui n'a jamais cessé à me diriger. Ses conseils et ses orientations, ont permis l'avancement de ce travail. Merci pour la disponibilité et l'intérêt porté à ce travail. Je la remercie aujourd'hui, car d'être son fils, reste toujours une source d'encouragement interminable qui conduit à l'aboutissement de cette thèse et d'aller de plus loin dans le chemin de la recherche scientifique, qu'elle trouve ici, le témoignage de ma grande reconnaissance.

Je voudrais remercier, à travers cette thèse, **Dr. Olivier Bruguier** de Géosciences Montpellier (France), pour son accueil chaleureux au laboratoire (ICP-MS). Cette thèse n'aurait jamais avancé sans son aide et son soutien. Merci pour les encouragements et pour l'esprit scientifique. Je le remercie de s'être intéressé au sujet et d'avoir beaucoup contribué à ce travail. Je profite de cette occasion pour remercier également, **Dr. Delphine Bosch** pour ses encouragements, pour l'aide précieuse à travers les analyses qui ont permis l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements vont aussi, à **Dr. Jean-Louis Bodinier**, directeur de Géosciences Montpellier et coordinateur du programme **FP7-IRSES MEDYNA : Maghreb-EU Research Staff Exchange on Geodynamics, Geohazards and Applied Geology in Northwest Africa**. Merci pour l'accueil à ce programme qui a permis beaucoup d'échanges scientifiques.

Je remercie vivement **Dr. KOCSIS Laszlo** de l'Université de Brunei Darussalam qui a beaucoup contribué à l'interprétation des résultats géochimiques et pour son aide précieuse aux analyses.

L'**Université de Kasdi Merbah Ouargla** est vivement remerciée pour le financement de plusieurs bourses de courtes durées. Merci à tous ses responsables pour les facilités permettant l'achèvement de cette thèse.

Un grand merci à tous les enseignants et les chercheurs qui ont contribué de loin et de près à la réalisation de ce travail, dont cette thèse est le fruit des années d'apprentissage, je suis reconnaissant à **tous mes enseignants du département de Géologie à l'Université d'Annaba**. Je leurs présente mes reconnaissances pour la qualité de la formation qu'on a eu durant la graduation et la post-graduation.

Je remercie vivement **Pr. Abderrahmane Toubal** qui a accepté de présider le jury d'expertise et de soutenance de cette thèse. Je le remercie aussi pour ses orientations et son encouragement depuis les années de formation en ingénierat. Je me souviens toujours de cet exposé en gîtologie sur les phosphates, c'était l'étincelle qui m'a ouvert les yeux et l'esprit sur les phosphates et qu'avec cet exposé mon chemin a commencé !

Je remercie vivement **Pr. Saleh Bouhelal** de l'Université El- Manar (Tunis) qui a accepté d'examiner ce travail. Je le remercie pour ses encouragements, son aide précieuse et son esprit de partage du savoir-faire dans le domaine des phosphates. Je suis reconnaissant aussi pour son équipe en particulier **Dr. Hachemi Garnit** et **Dr. Jaloul Bejaoui**.

Mes remerciements vont au **Pr. Omar Kolli** de l'Université USTHB (Alger), pour l'acceptation d'examiner ce travail et pour son intérêt porté au sujet de cette thèse, Ses conseils et ses remarques ont beaucoup contribué à l'amélioration de la qualité de ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements à mon collègue le **Pr. Messaoud Hacini** de l'Université d'Ouargla pour ses encouragements et son aide précieuse. Je suis honoré pour sa présence au jury. Merci aussi pour le soutien dans mes premiers pas en tant qu'enseignant à l'Université d'Ouargla.

Cette thèse n'aurait jamais pu voir le jour sans la contribution de mes amis et collègues : **M. Atif Fougou** de l'Université de Djelfa, **M.Ouafi Ameer Zaimche** de l'Université d'Ouargla et **M Hamza Larit** de l'Université d'Annaba. Je leurs présente mes remerciements pour l'accompagnement au travail de terrain. Les bons moments au Monts de Tébessa sont inoubliables. Je les garde toujours en mémoire. Qu'ils trouvent ici ma gratitude et que notre travail commun se poursuivra. Je remercie vivement **M. Belksier Med Saleh** Chef de département STU à l'Université de Ouargla, pour son encouragement et son accompagnement le long des années de thèse. Merci à mes collègues et à tous mes amis de l'Université.

Les remerciements vont aussi à la **Société National du Fer et du Phosphates (FERPHOS)** pour l'accueil chaleureux dans les unités d'exploitation et de traitement à Bir-el-Ater. Je remercie infiniment tout le personnel : les directeurs de la société, les ingénieurs et les mineurs, qui sont en activité ou en retraite. J'adresse un merci particulier à Messieurs : **Kamel Mabrouk, Ali Bouchama, Bessam Amara ; Ali Ziani ; Ali Bouchehit**. Je ne peux jamais oublier l'aide et les mots d'encouragement du défunt **Samir Alleg** qu'Allah l'accepte dans son vaste paradis.

Je remercie vivement **Pr. Aziouz Ouabadi**, pour son soutien, son aide et ses encouragements depuis le commencement de ce travail jusqu'à la soutenance.

Je profite de cette occasion pour remercier **Mme Salima Chabou-Mostafai** pour ses encouragements. Merci d'avoir intéressé au sujet et pour votre thèse référence qui a été la base de mes travaux.

J'adresse mes vifs remerciements mes ex-étudiants ingénieurs et de master qui ont contribué efficacement à ce travail, je suis reconnaissant à messieurs **Yacine Netari, Zoubir Benhebireche, Messaoud Hakoum, Aboubakre Essedik Sayedi, Aboubakr Essedik Bouzidi et Mohamed Larouci**.

Je remercie toute ma famille, pour le soutien le long de mon parcours, chacun avec son nom qu'ils trouvent ici ma gratitude les plus distinguée. **Merci à Papa et Maman**, à mes **frères et mes sœurs**. Merci à **ma femme** pour la patience et pour le soutien le long des années de thèse.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	IV
Table des matières	VIII
Liste des figures	XIII
Liste des tableaux	XVII
Liste des planches	XVIII
Résumé	XIX
ملخص	XX
Abstract	XXI
Introduction générale	1

CHAPITRE I CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIE RÉGIONALE

1. Situation géographique des secteurs d'étude	4
2. Historique des travaux sur les phosphates de Tébessa	6
3. Géologie de l'Atlas saharien oriental	7
3.1. Litho-Stratigraphie.....	8
3.2. Cadre structural régional	15
3.3. Évolution paléogéographique.....	19
4. Minéralisations phosphatées	22
5. Paléogéographie des phosphates des bassins algéro-tunisiens	24
<i>Le passage du Paléocène supérieur-Yprésien inférieur</i>	25
<i>Conclusion</i>	26

CHAPITRE II GÉOLOGIE LOCALE ET GÉOLOGIE

1. Géologie des affleurements de Tébessa Nord	27
1.1. Secteur d'El Kouif	27
1.1.1. Description des faciès.....	27
<i>Horizon A</i>	30
<i>Horizon B</i>	30
<i>Horizon C</i>	30
<i>Horizon D</i>	30
1.1.2. Pétrologie.....	32
<i>Minerais de phosphates argileux à glauconie</i>	32

<i>Minerais de phosphates marneux</i>	33
<i>Minerais de phosphates carbonatés beiges</i>	34
<i>Minerais de phosphates noirs silicifiés</i>	34
1.2. Secteur de Djebel Dyr	35
1.2.1. Description des faciès	35
1.2.2. Pétrologie	36
<i>Minerais de phosphates argileux</i>	39
<i>Marnes phosphatées</i>	39
<i>Minerais de phosphates marneux à grains fins</i>	40
<i>Minerais de phosphates silicifiés</i>	41
1.3. Secteur de Tazbant	41
1.3.1. Description des faciès	41
Facies de l'encaissant du mur	43
<i>Les marnes</i>	43
<i>Calcaires à huitre</i>	43
<i>Marne argileuse</i>	43
<i>Calcaire à rognions de silex</i>	43
<i>Facies de minerai des phosphates</i>	44
Facies de l'encaissant du toit	44
1.3.2. Pétrologie	44
<i>Marnes phosphatées</i>	44
<i>Minerais de phosphates argileux beiges</i>	45
<i>Minerais de phosphates argileux noirs</i>	46
<i>Minerais de phosphates noirs silicifiés</i>	46
2. Géologie des affleurements de Kef essenoun (Tébessa Sud)	47
2.1. Description des faciès	47
<i>Le Thanétien inférieur</i>	48
<i>Le Thanétien supérieur</i>	48
<i>La couche basale</i>	48
<i>La couche principale</i>	50
<i>La couche sommitale</i>	50
2.2. Pétrologie	50
<i>Minerais de Phosphates beiges</i>	50
<i>Minerais de phosphates noirs</i>	51
<i>Minerais de Phosphates noirs silicifiés</i>	53
<i>Minerais de Phosphates dolomitiques</i>	53
3. Pétrographie des minerais phosphatés	54
3.1. Confection des lames minces	54
<i>Séchage</i>	55
<i>Imprégnation</i>	55
<i>Durcissement</i>	55

3.2. Critères faciologiques	56
<i>Pellets</i>	56
<i>Coprolithes</i>	58
<i>Glauconie</i>	58
<i>Débris organiques (les bioclastes)</i>	61
<i>Ciments et matrices</i>	61
<i>Hydroxydes de fer</i>	63
<i>La recristallisation</i>	65
4. Minéralogie des phosphates	65
4.1. Méthodologie	65
4.2. Résultats et interprétation	68
<i>Conclusion</i>	71

CHAPITRE III

SÉDIMENTOLOGIE ET GRANULOMÉTRIE DES MINÉRAIS PHOSPHATES

1. Méthodologie	73
1.1. Analyse pétrographique	73
1.2. Etude granulométrique	73
1.2.1. Préparation des échantillons.....	73
<i>Concassage préliminaire</i>	73
<i>Préparation finale de l'échantillon</i>	74
<i>Classification granulométrique à voix humide</i>	74
1.2.2. Méthodes d'analyse granulométrique.....	75
<i>Les courbes cumulatives</i>	76
<i>Les courbes de fréquences relatives</i>	76
<i>Les graphes des probabilités – Droite d'Henry</i>	76
<i>La moyenne</i>	77
<i>Classement (Sorting ou déviation standard)</i>	77
<i>Asymétrie (Skewness)</i>	77
<i>Kurtosis (coefficient d'acuité)</i>	78
2. Résultats obtenus sur l'analyse pétrographique	79
2.1. Secteur d'El Kouif (Tébessa Nord)	79
2.1.1. Description de l'horizon A (encaissant du mur).....	79
2.1.2. Description de l'horizon B (phosphaté).....	80
2.1.3. Description de l'horizon C (silicifié).....	80
2.1.4. Description du banc D.....	80
2.2. Secteur de Djebel Dyr (Tébessa Nord)	85
2.2.1. Description de l'horizon carbonaté (encaissant du mur).....	87
2.2.2. Description de l'horizon phosphaté (niveaux du centre).....	87

2.2.3. Description de l'horizon carbonaté (encaissant du toit)	88
2.3. Secteur de Tazbant (Tébessa Nord)	92
2.4. Les minerais de phosphates de Tébessa Sud	94
<i>La couche basale</i>	94
<i>La couche principale</i>	94
<i>La couche sommitale</i>	95
3. Résultats de l'analyse granulométrique	96
3.1. Minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)	96
3.1.1 Échantillons des minerais de phosphate à la base de l'horizon B	97
3.1.2. Échantillons des minerais de phosphate du centre du «horizon B »	98
3.1.3 Échantillons des minerais de phosphate au sommet du « horizon B »	100
3.2. Minerais de Phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord)	102
3.2.1. Échantillons des minerais de phosphates de la base	102
3.2.2. Échantillon des minerais de phosphate du centre de l'affleurement.....	104
3.2.3. Échantillons des minerais de phosphate du sommet de l'affleurement....	106
3.3. Minerais de Phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud)	108
3.3.1. La couche principale.....	108
<i>Échantillons à la base</i>	108
<i>Échantillons au sommet</i>	110
3.3.2. La couche sommitale.....	112
<i>Conclusion</i>	114

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉOCHIMIQUE DES MINERAIS DE PHOSPHATES

1. Echantillonnage et techniques analytiques.....	116
1.1. Échantillonnage.....	116
1.2. Spectrométrie de plasma à couplage inductif (ICP-MS)	117
2. Eléments majeurs.....	118
2.1. Statistiques élémentaires.....	118
2.2. Corrélations entre les éléments majeurs.....	120
2.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)	122
3. Eléments en traces (ET)	123
3.1. Les Minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).....	124
3.2. Les Minerais de phosphates de Dj Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).....	126
3.3. Les Minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud)	126
4. Eléments de terres rares (ETRs)	128
5. Géochimie des ETRs et implications paléo-environnementales	131

5.1. Caractéristiques chimiques des éléments de terres rares	131
5.2. Normalisation des éléments de terre rares	131
5.3. Comportement des éléments de terre rares à l'eau de mer	132
5.4. Résultats obtenus sur les terres rares	133
5.4.1. Analyse en Composantes Principales (ACP).....	133
5.4.2. Normalisation des concentrations et anomalie en Cérium (Ce_{an}).....	135
<i>Méthodes</i>	135
<i>Résultats et interprétations</i>	135
<i>Spectres des terres rares</i>	138
5.4.3 Vérification et discussion de la signification de l'anomalie en Cérium (Ce_{an}).....	140
<i>Diagramme de Reynard et al., 1999</i>	140
<i>Diagramme de Bau et Dulski (1996)</i>	141
5.4.4. Environnements de dépôts.....	141
<i>Sur le plan vertical</i>	142
<i>Sur le plan horizontal</i>	144
5.4.5. Analyse factoriel discriminante (AFD).....	144
<i>Conclusion</i>	145
Conclusions générales	147
<i>Recommandations et perspectives</i>	150
Références bibliographiques	152
Annexe	165
Annexe. 1 : Exemples des diffractogrammes montrant les principales phases minéralogiques des minerais de phosphates.....	165
Annexe 2 : Rappels sur les méthodes statistiques utilisées.....	174
Annexe 3 : Paramètres granulométriques des minerais de phosphates.....	181
Annexe 4 : Statistiques élémentaires des éléments majeurs des minerais de phosphates de Tébessa (par localité).....	184

Liste des figures

Liste des figures

Figures	Page
Fig. 1 : Situation géographique des secteurs étudiés dans la région de Tébessa.....	5
Fig. 2 : Unités structurales d’Afrique du Nord (D’après Durand Delga et al, 1980)	8
Fig. 3: Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue (d’après Sami, 2004 – colonne de synthèse réalisées sur la base des travaux de Dubourdieu, 1956 ; 1959; David, 1956; Fleury, 1969; Thibieroz et Madre, 1976; Otmanine 1987; Bouzenoune, 1993).....	9
Fig. 4 : Principaux ensembles géologiques du domaine atlasique oriental (Selon Burollet et Desforges, 1982).....	16
Fig. 5 : Esquisse structurale du fossé d’effondrement de Tébessa et ses abords (Durozoy, 1956).....	18
Fig. 6 : Affleurements des phosphates (gisements, niveaux et indices) liées aux formations du Paleo-éocène au nord-est algérien (Oussedik. et al, 1979).....	23
Fig. 7 : Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk à l’intérieur du bassin phosphatés Gafsa-Métlaoui-Onk (D’après Burollet et Oudin, 1980 ; Fourine, 1980 ; Sassi, 1974 et 1980).....	25
Fig. 8 : Localisation des affleurements sur le terrain	28
Fig. 9 : Vue panoramique de l’affleurement de Douar El Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).....	29
Fig. 10 : Description lithologique des bancs au niveau de Douar el Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).....	29
Fig.11 : Minerais de phosphate argileux à glauconie	33
Fig.12 : Minerais de phosphates marneux	33
Fig.13 : Minerais de phosphates beiges.....	34
Fig.14: Niveaux de minerais phosphatés noirs et silicifiés	35
Fig. 15 : Coupe géologique schématique de Djebel Dyr (D’après Blayac, 1894)...	36
Fig. 16 : Localisation des niveaux de minerais étudiés à Djebel Dyr (Tébessa Nord) et profil d’échantillonnage	37
Fig. 17 : Localisation et lithologie d’affleurement de Djebel Dyr (Tébessa Nord)....	38
Fig. 18 : Facies de minerais de phosphates argileux à Dj. Dyr.	39

Fig. 19 Marnes phosphatées	40
Fig. 20 : Minerais de phosphate marneux à grains fins	40
Fig. 21 : Minerais de phosphates silicifiés	41
Fig. 22 : Vue satellitaire (A), panoramique (B) et log lithologique schématique de Djebel Tazbent(C).....	42
Fig. 23 : Marnes phosphatées de Dj. Tazbant	45
Fig. 24 : Minerais de phosphates beiges argileux	45
Fig. 25 : Minerais de phosphates noirs argileux	47
Fig. 26 : Minerais de phosphates noirs silicifiés	47
Fig. 27 : Gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	49
Fig. 28 : Log lithologique du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	49
Fig. 29 : Minerais de phosphates noirs	53
Fig. 30 : Minerais de phosphates dolomitiques (pel) : Pellet	54
Fig. 31 : Imprégnation des échantillons de phosphate au vernis incolore	55
Fig. 32 : Dolomie affectée par des microfissures à hydroxyde de fer	63
Fig. 33 : Recristallisation du ciment	65
Fig. 34 : Exemple de fichier ASTM	65
Fig. 35 : Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Dj. El Kouif. (Tébessa Nord).....	69
Fig. 36 : Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Dj. El Kouif. (Tébessa Nord).....	69
Fig. 37 : Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Kef essenoun (Tébessa Sud)	70
Fig. 38 : Concassage et réparation préliminaire	74
Fig. 39 : Série de Tamis <i>MINOR</i>	75
Fig. 40 : Asymétrie des courbes granulométriques	78
Fig. 41 : Asymétrie des courbes granulométriques	79
Fig. 42 : Localisation du log utilisée pour cette étude	86
Fig. 43 : Log lithologique schématique de l’affleurement étudié	86
Fig. 44 : Bio-micrite à foraminifères benthiques et à grains de phosphates	87
Fig. 45 : Minerais de phosphates de la couche basale du gisement de Bled El Hadba	

(Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011).	94
Fig. 46 : Minerais de phosphates de la couche sommitale du gisement de Bled El Hadba (Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011)	96
Fig. 47 : Courbes granulométriques des échantillons de minerais de phosphates à base du « Horizon B » de l’affleurement d’El Kouif	97
Fig. 48 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates à la base du « horizon B » de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord).....	98
Fig. 49 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates au centre du « Horizon B » de l’affleurement d’El Kouif	99
Fig. 50 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates au centre du « horizon B » de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord).....	100
Fig. 51 : Courbes granulométriques des échantillons de minerais de phosphates au sommet du « Horizon B » de l’affleurement d’El Kouif	101
Fig. 52 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates au sommet du « horizon B » l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord)	101
Fig. 53 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr.....	103
Fig. 54 : Graphes de probabilités des échantillons des minerais de phosphates à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord).....	104
Fig. 55 : Courbes granulométriques de l’échantillon du minerai de phosphate à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr.	104
Fig. 56 : Graphe de probabilités d’échantillon de minerai de phosphate au centre des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord).....	105
Fig. 57 : Courbes granulométriques des échantillons de phosphate au sommet des niveaux phosphatés à Dj. Dyr.....	106
Fig. 58 : Graphe des probabilités d’échantillons des minerais de phosphate au sommet des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord)	107
Fig. 59 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates à la base de la couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud).....	109
Fig. 60 : Graphes des probabilités d’échantillons des minerais de phosphates à la base de la couche principale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	110
Fig. 61 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates au sommet de la couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud).....	111
Fig. 62 : Graphes de probabilités d’échantillons des minerais de phosphates au sommet de la couche principale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud)	111
Fig. 63 : Courbes granulométriques de l’échantillon de minerai de phosphate de la couche sommitale à Kef essenoun (Tébessa Sud).	112

Fig. 64: Graphes des probabilités de l'échantillon de phosphate de la couche sommitale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	113
Fig. 65 : Box plot de la variation des teneurs des éléments majeurs des minerais de phosphates échantillonnés (Unité %).....	119
Fig. 66: Histogrammes des teneurs en éléments majeurs des phosphates de la région de Tébessa (Unité : %).....	120
Fig. 67 : Diagrammes binaires de régression entre les éléments majeurs	121
Fig. 68 : Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des éléments majeurs (oxydes) des minerais de phosphates de la région de Tébessa	123
Fig. 69 : Résultats de l'Analyse en Composantes Principales sur les éléments majeurs, traces et terres rares en relation avec d'autres éléments en traces.....	135
Fig. 70 : Spectres normalisés par rapport au PAAS des localités étudiées	139
Fig. 71 : Diagramme binaire des rapports $(La/Sm)_N$ vs. $(La/Yb)_N$ (Reynard et al., 1999).....	141
Fig. 72 : Diagramme du Ce/Ce^* contre Pr/Pr^* (Bau et Dulski, 1996). (1) anomalies moins prononcées ; (2) anomalies très bien prononcées	142
Fig. 73 : Evolution verticale de l'anomalie en Cérium (Ce_{an}) et les teneurs en P_2O_5 dans les profiles d'échantillonnage.	143
Fig. 74 : Projection des échantillons sur les facteurs (F1 vs F2) de l'analyse factorielle discriminante.....	145

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableaux	Page
Tableau 1: Récapitulatif des phases tectoniques des Monts du Mellègue (In Degaichia, 2014).....	19
Tableau. 2: Quelques substitutions possible dans le carbonate fluorapatite (Jarvis et al., 1994)	118
Tableau. 3 : Statistiques élémentaires des éléments majeurs dans les minerais de phosphates de la région de Tébessa.....	119
Tableau. 4 : Matrice de corrélation des éléments chimiques (oxydes) des minerais de phosphates de la région de Tébessa.....	121
Tableau. 5 : Vecteurs propres de l'ACP sur les éléments chimiques (oxydes) des échantillons des minerais de phosphates de la région Tébessa.....	122
Tableau. 6 : Coordonnées des variables sur les facteurs de charge	122
Tableau. 7 : Eléments en traces des minerais de phosphates de Dj. El Kouif (Tébessa Nord).....	125
Tableau. 8 : Statistiques élémentaires des éléments en traces dans les phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).....	127
Tableau .9 : Statistiques élémentaires des éléments en traces dans les phosphates du gisement Kef essenoun (Tébessa Sud).....	128
Tableau. 10 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)	129
Tableau. 11 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).....	130
Tableau. 12 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	130
Tableau. 13 : Concentrations des ETRs au PAAS « <i>Post Australian Archean Shale</i> » (Mc Clellan, 1989)	132
Tableau. 14: Matrice de corrélation de quelques éléments majeurs, en traces et des terres rares lourdes et légères	134
Tableau. 15 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)	136
Tableau. 16 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des échantillons des minerais de phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).....	137
Tableau. 17 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).....	138

Liste des planches

Liste des planches

Planches	Page
Planche. 1 : Les faciès de Douar El Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).....	31
Planche. 2 : Minerais de phosphates beiges de la couche principale	51
Planche. 3 : Minerais de phosphates noirs de la couche principale	52
Planche 4. Pellets phosphatés (pel) des différents secteurs étudiés à Tébessa	57
Planche. 5 : Coprolithes (cop) des différents secteurs	59
Planche. 6: Glauconie (<i>gl</i>) rencontrée aux minerais de phosphates de la région de Tébessa	60
Planche.7: Débris d'organismes associés aux minerais de phosphates	62
Planche. 8 : Matrices et ciments des minerais de phosphates de la région de Tébessa	64
Planche. 9 : Horizon carbonaté légèrement phosphaté (horizon A).....	81
Planche. 10 : Caractéristiques pétrographiques de l'horizon phosphaté (Horizon B).....	82
Planche. 11: Minerais de phosphates silicifiés	83
Planche. 12: Horizon carbonaté (Horizon D) – encaissant du toit des minerais de phosphates	84
Planche. 13 : Horizon carbonaté (encaissant du mur).....	89
Planche. 14 : Horizon phosphaté au centre de l'affleurement de Dj. Dyr	90
Planche. 15: Microfaciès de l'horizon carbonaté (l'encaissant du toit pour les minerais de phosphates).....	91
Planche. 16 : Microfaciès des minerais de phosphates de Tazbant et leur encaissant du mur.....	93
Planche. 17 : Minerais de phosphates de la couche principale du gisement de Bled El Hadba (Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011).....	95

Résumés

RÉSUMÉ

La région de Tébessa appartient à l'Atlas Saharien oriental. Elle comprend plusieurs gisements et indices de minerais de phosphates. Ces substances utiles, d'origine marine, se sont formées au cours du Paléocène Supérieur – Eocène Inferieur au niveau de Tébessa Nord (Dj. El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant) et à Tébessa Sud, qui sont représentées par le gisement de Kef essenoun (Dj. Onk). Cette étude a le but essentiel de comparer les parties nord et sud de Tébessa sur le plan pétrologique, sédimentologique, gitologique et géochimique. Ces minerais de phosphates sont le plus souvent, constitués par des grains d'origine fécale, essentiellement des pellets, des coprolithes et des bioclastes phosphatisés. Une relation inverse a été notée entre l'épaisseur des minerais de phosphates et les niveaux dans lesquels ils sont encaissés. A Tébessa Nord, l'encaissant est épais intercale des niveaux des minerais de phosphates à faible épaisseurs cependant ces minerais à Tébessa Sud montrent une couche épaisse à faible intercalations de l'encaissant, ce sont les minéralisations à intérêt économique (couche principale de 25 à 30 m et teneurs élevés en P_2O_5).

L'étude pétrographique à Tébessa Nord traduit une évolution dans les conditions de mise en dépôt ; d'un milieu peu profond vers un milieu plus oxygéné à tendance parfois à l'émersion. L'enrichissement en glauconie en particulier, dans la couche principale à Tébessa Sud, favorise l'installation des conditions confinées à tendances réductrices. L'étude granulométrique a permis de constater le mauvais classement des particules dans les phosphates du Tébessa Nord et à un degré moindre à Tébessa Sud. Les graphes des probabilités montrent que le mode de transport pour les phosphates du nord et du sud du Tébessa se fait essentiellement par saltation et suspension.

L'étude géochimique, déterminant l'abondance des éléments majeurs, en traces et terres rares, a mis en évidence une évolution des conditions de redox dans les deux parties nord et sud du bassin de Tébessa. En effet, les phosphates du nord se sont formés dans des conditions sub-oxiques à oxiques en mer ouverte avec le Téthys, tandis que les phosphates du Sud en particulier, ceux de la couche principale sont formés dans un environnement semi-réducteur à sub-oxique. L'ensemble des résultats permettant de conclure que les phosphates de Tébessa Nord sont autochtones tandis que ceux du sud sont allochtones (remaniements).

Mots-Clés : Phosphate ; Pellets ; coprolithes, redox, terres rares ; Tébessa ; Algérie.

ملخص

تنتمي منطقة تبسه إلى الأطلس الصحراوي الشرقي، وهي تحتوي على العديد من المناجم و المؤشرات الفوسفاتية. هذه المواد النافعة ذات اصل بحري، تكونت اثناء فترة عصر الباليوسان العلوي- الايوسان السفلي في الجهة الشمالية لمنطقة تبسه (جبل الكويف، جبل الدير، تازينت) وايضا على مستوى الجهة الجنوبية و التي تتمثل في منجم كاف السنون (جل عنق). هذه الدراسة هدفها الأساسي المقارنة بين الجهة الشمالية و الجنوبية من حيث الخواص البترولوجية، الترسيبية، الجيتولوجية و الجيوكيميائية. هذا الفوسفات يتألف أساسا من حبيبات ذات اصل برازي (بيلات) ،نجو (كوبروليث) و أخرى (عضوية فوسفاتية). علاقة عكسية تم تسجيلها بين سمك الفوسفات و ما يتخلله من طبقات، في الجهة الشمالية لتبسة الطبقات المحاذية للتمعدنات الفوسفاتية أكبر سمكا على العكس في الجهة الجنوبية لتبسة حيث تشكل هذه التمعدنات سمكا كبيرا مقارنة بما يتخلله و تعبر على بعد اقتصادي (الطبقة الأساسية سمك 25 الى 30م مع نسب عالية من P_2O_5).

اراسة البتروغرافية لمفوسفات تترجم تطورا في شروط التوضع من وسط قليل العمق الى وسط أكثر ضخلا و تهوية مع اتجاه لانحسار المياه. وفرة الغلوكونيت لاسيما في الطبقة الأساسية (الجهة الجنوبية) يدل على تواجد شروط دفيئة و اتجاه نحو الارجاع. الدراسة الحبيبية سمحت بمعرفة الترتيب السيئ للحبيبات في فوسفات الجهة الشمالية و بدرجة أقل في الجهة الجنوبية. الرسومات البيانية للاحتتمالات أوضحت ان تنقل الحبيبات كان بالقفز والتعلق مع المياه

الدراسة الجيوكيميائية لهذا الفوسفات سمحت بوصف مدى تواجد العناصر الكيميائية الرئيسية، الاثار والأثرية النادرة. هذه الدراسة تهتم بظروف الأكسدة-الارجاعية في الجزء الشمالي و الجنوبي لحوض تبسة. حيث أن فوسفات المنطقة الشمالية تكوّن في شروط ذات أكسدة متوسطة إلى مؤكسدة في مجور مفتوحة مع البحر الأبيض المتوسط القديم-، بينما فوسفات المنطقة الجنوبية ولا سيما الطبقة الوسطى تشكلت في بيئة متوسطة الإرجاع الى أكسدة متوسطة. جميع النتائج سمحت لنا باستنتاج أن فوسفات الجهة الشمالية لتبسه هو عبارة عن فوسفات أصلي محلي، على العكس تماما لفوسفات الطبقة الوسطية للجهة الجنوبية لمنطقة تبسه الذي هو متنقل.

الكلمات الدالة : فوسفات ، بيلات، كوبروليت ، الأكسدة، و الإرجاع، الأثرية النادرة، تبسه، الحجار.

ABSTRACT

Tébessa region belongs to the Saharan Oriental Atlas. It includes several deposits and showings of phosphorites. These useful substances, of marine origin are formed during the Upper Paleocene - Lower Eocene at Tébessa northern (El Kouif, Dj. Dyr and Tazbant) and Tébessa southern represented by Kef essenoun deposit (Dj. Onk). The aim of this study is mainly comparative between northern and southern of Tébessa on their petrology, sedimentology, geology and geochemical purposes. These phosphorites are generally, constituted by fecal grains, mainly represented by pellets, coprolites and phosphatized bioclasts. An inverse relationship has been notified between phosphorites thickness and its host levels. Therefore, the Tébessa northern show thick hosting levels and thin levels of phosphorites, whereas the Tébessa southern, exhibit a thick phosphorites layer with few intercalation of hosting layers, which reflects an economic target (case main layer of 25 to 30 m thickness and high contents of P_2O_5).

Petrography study reflects an evolution of depositional environment conditions; from shallow to more oxygenated environment with tendency to emergence sometimes in Tébessa northern. Glauconitic enrichment, especially into the main layer in Tébessa southern, highlights confined and a tendency to reduced conditions. The granulometric analysis shows poor sorting of particles in Tébessa northern and less degree into Tébessa southern. Probability plots exhibit that both northern and southern particles show suspended and saltation load of transport type.

The geochemical study allows the determination the abundance of major, traces and rare earth elements. It highlights the evolution of redox conditions in the two parts of Tébessa basin. Northern phosphorites are formed in sub-oxic to oxic conditions (an open-sea with Tethys), whereas, the southern phosphorites, especially those of the main layer are a formed into sub-reduced to sub-oxic environment. These results deduce that phosphorites form the northern of Tébessa are more likely autochthonous, while, phosphorites from the main layer in southern of Tébessa are allochthonous (reshuffle).

Keywords : Phosphate ; pellets ; coprolithes, rare earth elements ; Tébessa; Alegria.

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Faisant partie de l'Atlas Saharien Oriental, la région de Tébessa renferme un grand nombre de gisements métalliques et de substances utiles encaissées dans des roches sédimentaires; parmi lesquels les minerais de phosphates sont à mentionner. Ils se sont formés sur une large période de phosphatogénèse au cours du Paleocène-Eocène en Afrique du Nord et au moyen orient (Notholt, 1980 et 1989; Sheldon, 1987; 1994; Lucas and Prevot-Lucas, 1995).

L'histoire des minerais de phosphates algériens remonte au 1873 lorsque Philippe Thomas (1843-1910) les a découverts. Ils deviennent alors, une cible pour les chercheurs et les industriels. Ce n'est qu'en 1951 avec les investigations de Visse (1951) sur le gisement de Djemi-Djema que les premiers travaux, qui s'intéressent de très près à la géologie fondamentale de ces minerais de phosphates, prennent naissance. Les résultats de ses travaux ont détaillé la stratigraphie, en particulier, celle de Dj. Onk (Tébessa Sud). La caractérisation de ces minerais pour l'exploitation minière, par contre, s'est développée suite aux travaux de la société nationale de recherche minière (SO.NA. REM) en se basant sur les résultats de Ranchin (1963) et puis l'Enterprise de recherche minière (E.RE.M) avec les travaux Cielensky et Benchermine (1987) comme support. La plus importante des références de la région est celle de Chabou-Mostafai (1987) qui a travaillé sur les gisements de Dj. Onk. Ses travaux ont ciblés les formations sédimentaires de la région, depuis le Maestrichtien, où elle a mis en évidence l'existence des phosphates autochtones et allochtones. La typologie des minerais de phosphates, au sud de Tébessa, a été détaillée par Mezghache (1991 ; 2002) et Prian et Cortiel (1993). La présence de la matière organique dans les phosphates a été confirmée suite aux travaux de Dass-amiour (2011 ;

2012). La synthèse des résultats de ces travaux, révèle que la partie sud de Tébessa présente un intérêt économique dont les ressources peuvent atteindre deux (2) milliards de tonnes (FERPHOS) réparties en cinq (5) gisements : Kef essenoun et Bled El Hadba (en cours d'exploitation), Djemi-Djema, Djebel Onk Nord et Oued Betita.

Au nord de Tébessa, moins documenté que le sud, les seuls secteurs connus pour leurs minerais de phosphates sont localisés à Dj. El Kouif, Dj Dyr et Tazbant. Ces derniers présentent de faibles ressources du point de vue économique. Leur intérêt actuel est primordial pour les études géologiques fondamentales notamment pour les conditions de mise en place. C'est dans cette optique, que ce présent travail est proposé. Les minerais de phosphates de Kef essenoun, appartenant au district de Dj. Onk (Tébessa Sud) seront étudiés afin d'élaborer une synthèse comparative sur le plan régional et d'éclaircir les contrastes entre les minéralisations du bassin du nord et ceux du sud de Tébessa sur le plan sédimentologique ; géologique et géochimique.

L'objectif principal de cette étude est de reconstituer l'histoire d'évolution des minerais de phosphates de Tébessa dans ses deux parties nord et sud et de leur mise en place. Au cours de ce travail nous tenterons de : (1) détailler la pétrologie de ces minerais ; (2) recenser les caractéristiques pétrographiques et sédimentologiques des différents faciès rencontrés ; (3) préciser le mode de transport des particules phosphatés par étude granulométrique ; (4) déterminer l'abondance en éléments majeurs, en trace et des terres rares des minerais de phosphates ; (5) effectuer un traçage géochimique comparative entre les minerais du nord et du sud de Tébessa; et (6) reconstituer les conditions de mise en place dans leur environnement de dépôt.

Le texte qui traduit l'ensemble de cette étude s'articulera en quatre (4) chapitres :

- Le premier chapitre consiste à la présentation du cadre géographique et de la géologie régionale
- Le deuxième chapitre développe la géologie locale des secteurs d'étude avec une description lithologique des formations rencontrés d'une part et de l'étude gîtologique de l'autre part.
- Le troisième chapitre aborde la partie sédimentologique des minerais de phosphates avec des implications sur le mode de transport des particules phosphatées.
- Le quatrième chapitre va intéresser à la géochimie des minerais de phosphates avec un traçage par les éléments des terres rares (ETR) et la définition des conditions de redox.
- Enfin, la conclusion présente l'ensemble des résultats obtenus permettant l'identification et l'origine du matériel phosphaté dans la région de Tébessa ainsi que les conditions de mise en place.

Chapitre I

Cadre géographique et géologie régionale

CHAPITRE I

CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIE RÉGIONALE

La majorité des minerais de phosphates algériens, sont situés dans la région de Tébessa, dans deux parties : celle du nord représentée, dans ce présent travail, par trois localités (El- Kouif, Djebel Dyr et Tazbant) et celle du sud représentée par les gisements de Djebel Onk localisés à la proximité de Bir-El-Ater.

1. Situation géographique des secteurs d'étude

Les secteurs étudiés sont localisés administrativement, dans la wilaya de Tébessa à l'extrême-est de l'Algérie (Fig. 1), proche de quelques kilomètres de la frontière orientale avec la Tunisie. Cette zone est limitée au nord par la wilaya de Souk Ahras, la wilaya d'El Oued au sud et les wilayas de Khenchela et d'Oum El Bouaghi à l'ouest.

On désigne par « Tébessa Nord » la zone septentrionale à la proximité de la ville de Tébessa sur un rayon de 25 km (Fig. 1), où les localités d'El Kouif, de Djebel Dyr et de Tazbant font partie avec les coordonnées géographiques suivantes : longitude : 7° 30' à 8° 15' Est ; latitude: 35° 15' à 35° 45' Nord.

Le terme de « Tébessa Sud » fait appel au bassin minier de Djebel Onk situé à environ 100 Km au sud de la ville de Tébessa, à 20 km de la frontière algéro-tunisienne (Fig. 1). Dans cette région Cinq (5) gisements ont été découverts : Djemi-Djema ; Kef essenoun ; Djebel Onk Nord ; Oued Betita ; Bled El Hadba. Le gisement de Kef essenoun a été pris comme exemple, à titre de comparaison avec les phosphates de Tébessa Nord.

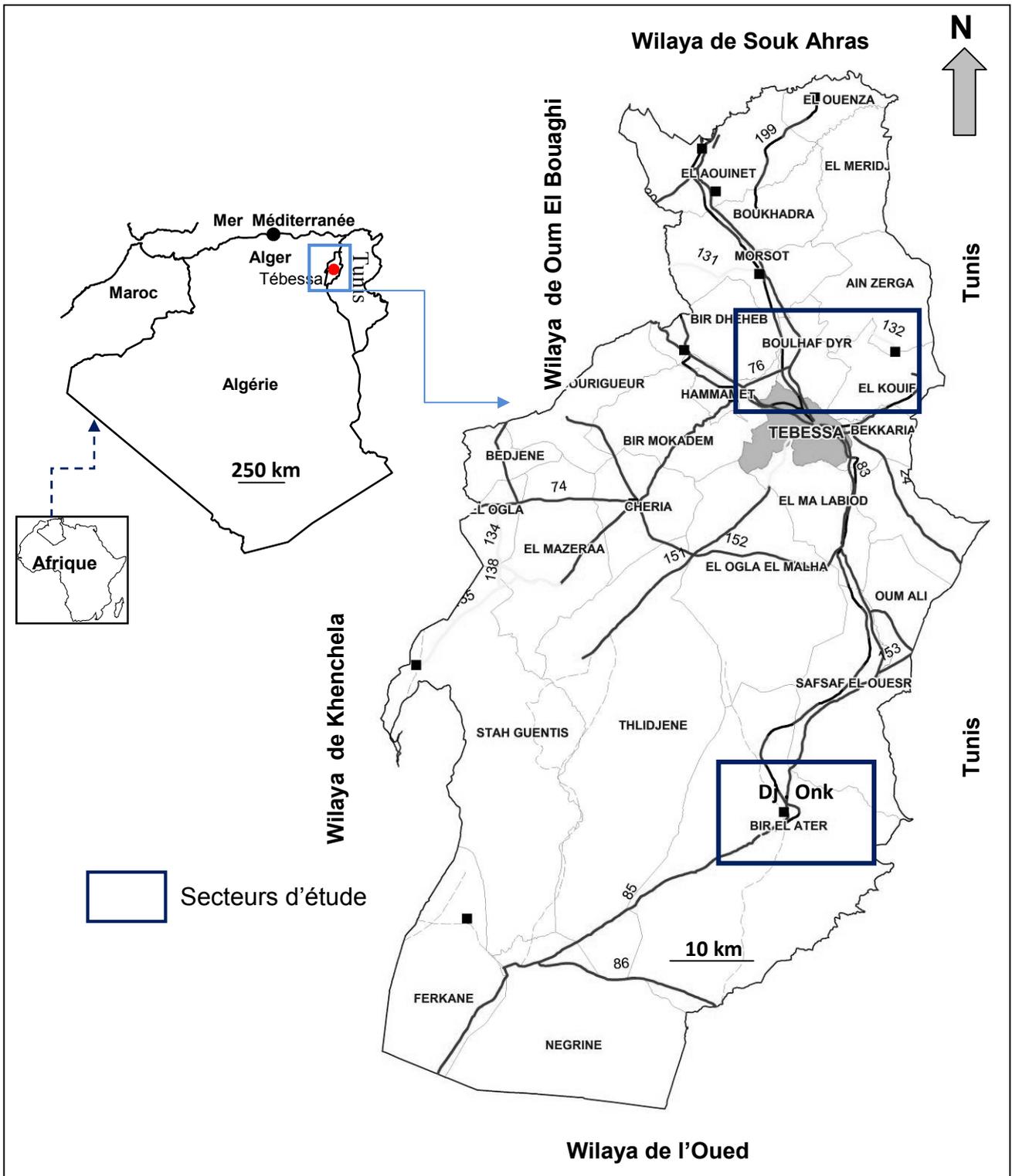


Fig. 1 : Situation géographique des secteurs étudiés dans la région de Tébessa.

La pluviométrie est faible sauf à des averses brutales qui causent parfois des inondations et des ruissellements torrentiels. Les vents de sables sont fréquents en saison

sèche. La végétation spontanée est le résultat des interactions des trois facteurs essentiels ; le climat, le sol et l'action anthropique, sauf sur les surfaces irriguées. Elle offre d'une part, dans les zones montagneuses, des forêts surtout de pins d'Alep. D'autre part, dans les plaines, une végétation très réduite se développant sur les glacis quaternaires. Des cultures céréalières et arboricoles sont pratiquées partiellement.

2. Historique des travaux sur les phosphates de Tébessa

L'histoire des travaux sur les phosphates algéro-tunisiens remonte au 18^{ème} siècle. C'est en 1873 que Philippe Thomas découvrit des couches de phosphate près de Rass-El-Ajoun au Sud Ouest de la Tunisie.

L'ouverture de la carrière de Dj. Dyr se fit en 1893. Durant cette période, l'exploitation commença aussi au niveau du Kouif. Cependant, les conditions d'exploitation et les teneurs faibles en phosphore entraînent l'abandon de Dj. Dyr (1908) et ce n'est que la mine d'El Kouif qui continua à fournir l'essentiel de la production.

Durant la période 1906-1907, M. Joleau, a découvert le gisement de Djebel Onk avec la mise en évidence de deux couches phosphatées à Djemi-Djema au sud de Djebel Onk. Le gisement de Kouif a été exploité par la société des phosphates de Constantine, où la production a atteint 157000 Tonnes en 1918 (publications de la société des phosphates). Visse (1951) a étudié ce gisement de phosphate avec beaucoup de détails sur la stratigraphie

La Société Nationale de la Recherche Minière (SON.AR.EM) a repris l'exploitation du gisement d'El Kouif, dès l'indépendance (1963) et ce jusqu'à la fermeture de la mine en 1979.

La fermeture de la mine d'El Kouif s'accompagne par une exploration intensive dans la région de « Tébessa Sud ». Des levés radiométriques aéroportés ont été effectués sur le bassin du Djebel Onk durant la période de 1961 à 1963. Ces levés interviennent après le

succès de cette méthode dans l'Atlas Tellien le long des affleurements de l'Eocène. Par ailleurs, les études ont été reprises par Ranchin (1963) qui avait établi les cartes géologiques à l'échelle 1/5000.

L'exploitation des gisements de Djebel Onk a commencé en Février 1965 au niveau de Djemi-Djema par la « Société de Djebel Onk ». Suite à l'aménagement de la carrière, l'intérêt porté à la géologie de Djebel Onk s'accroît. Cette région devenait, alors, l'objet de nombreux travaux, parmi les quels ceux de Chabou-Mostafai (1987) et Mezghache (1991).

De 1971 à 1974, les travaux de recherches et de prospection sur les phosphates de l'Est algérien ont été relancés par la Société Nationale de la Recherche Minière (SO.NA.RE.M) en s'appuyant davantage sur des levés aéro-radiométrique (Rudowicz, 1975).

De 1985 à 1987, la Société Nationale du Fer et des Phosphates (FERPHOS) qui exploite les phosphates de Djebel Onk a confié à l'Enterprise de Recherche Minière (EREM), des travaux de recherche et d'évaluation des ressources en phosphates, de tous les gisements potentiels. Des travaux de sondages carottés ont été réalisés totalisant plus de 10732 m (97 sondages) et avec un programme réalisé de tranchées (64 tranchées). Ceci, est suivi par un contrat avec le Bureau de recherche géologique et minière (BRGM) pour le rassemblement des éléments techniques et économiques au projet de développement de l'exploitation des gisements de phosphate de Dj. Onk (Prian et Cortiel, 1993).

3. Géologie de l'Atlas saharien oriental

Faisant partie de l'Atlas saharien oriental précisément des monts de Mellègue, la zone d'étude est une chaîne montagneuse qui se prolonge jusqu'à l'Atlas tunisien vers l'est (Fig. 2).

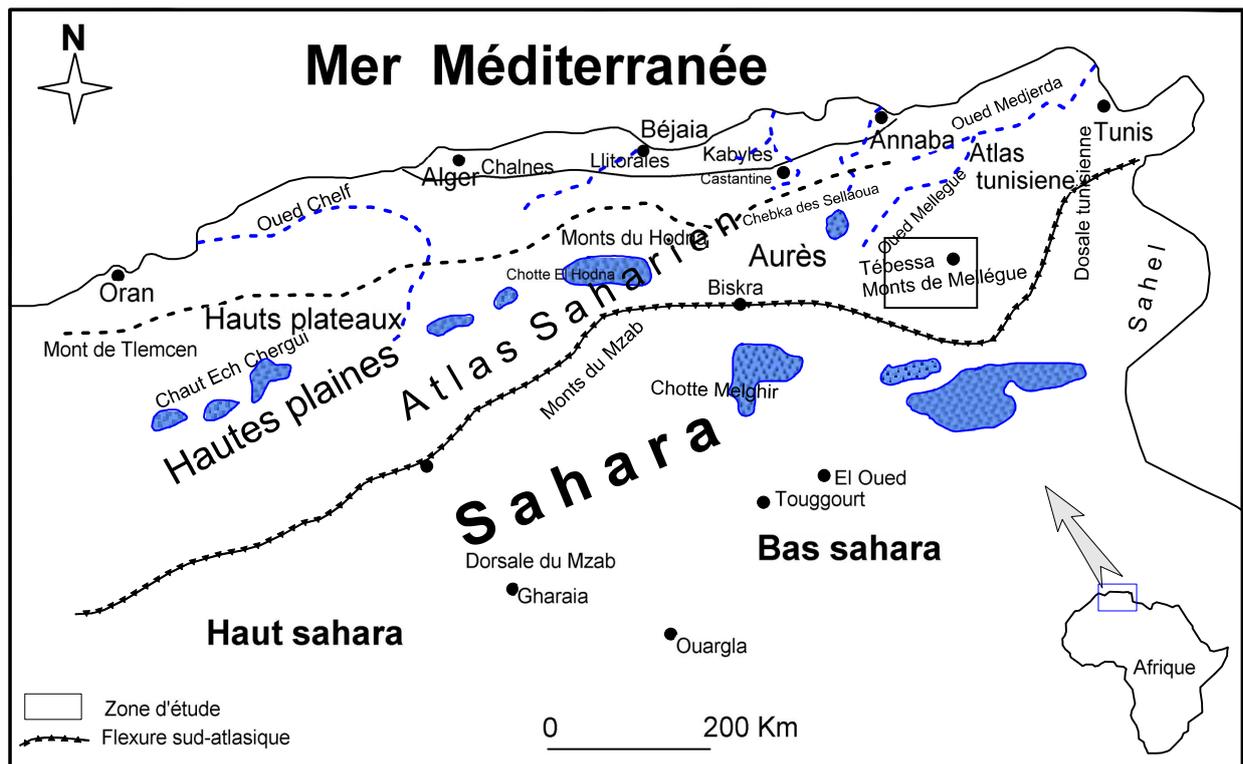


Fig. 2 : Unités structurales d’Afrique du Nord (D’après Durand Delga et al, 1980).

Les précisions sur la géologie régionale et le contexte géodynamique de l’Atlas saharien oriental ont été détaillés suite aux travaux (eg : Burollet, 1956 ; Dubourdiou, 1956 ; 1959 et Vila, 1980, ...).

3.1. Litho-Stratigraphie

A Tébessa, les formations sédimentaires reconnues à l’affleurement, sont essentiellement carbonatées, dont l’âge va du Trias au Miocène avec un Jurassique absent. Ces dernières sont recouvertes par des formations superficielles d’âge Quaternaire (Blès et Fleury, 1971).

Le détail de la lithologie et de son découpage stratigraphique est basé sur la synthèse des travaux de plusieurs auteurs (Dubourdiou 1956 ; 1959; David 1956; Fleury, 1969; Thiéberoz et Madre, 1976; Rouvier, 1977 ; Perthuisot, 1978 ; Chikhi 1980; Otmanine 1987; Perthuisot, 1992 ; Bouzenoune, 1993 ; ...). La colonne lithostratigraphique suivante résume

l'essentiel de ces résultats (Sami, 2004) (Fig. 3).

		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique		
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.		
	Paléogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.	
				200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.	
	E O C È N E	I N F È R I E U R	Maest.		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
					500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
			Cor-Sant.		④ 500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
					180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
			Cénoman.		③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
					② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
			Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
					100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.
			Aptien		① 300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes.
					< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloulou).
Jurassique		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.			

① Pointements triasiques

Fig. 3: Colonne stratigraphique synthétique des monts du Mellègue (d'après Sami, 2004 – colonne de synthèse réalisées sur la base des travaux de Dubourdiou, 1956 ; 1959; David, 1956; Fleury, 1969; Thibieroz et Madre, 1976; Otmanine 1987; Bouzenoune, 1993).

Les formations du **Trias** sont les plus anciennes dans la zone d'étude. Les travaux de Flandrin (1948), considèrent le Trias comme diaprique, qui est rencontré, généralement, dans la partie centrale des cœurs des anticlinaux. Les affleurements les plus documentés sont ceux de l'Ouenza, Boukhadra, Mesloula et Hameimat sud et nord. Les formations triasiques se manifestent par des faciès marneux bariolés à gypse, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des grès qui sont remobilisées lors de la remontée du matériel triasique, de dolomies noires, des grès micacés et de calcaires et parfois de roches vertes. Avec des dimensions variables, les corps triasiques montrent généralement une forme elliptique parfois très étirée, sur une bande orientée NE-SW à environ 80 km (Dubourdiou, 1956 ; Masse et al., 1979 ; Masse al., 1982).

Les dépôts **jurassiques** sont absents (Dubourdiou, 1956; Chevenine et al., 1989). Cependant, ils ont été recoupés par des sondages pétroliers en dehors des zones des diapires (Beghoul, 1974). Le seul lambeau de dolomie daté du Jurassique a été rencontré dans le diapir triasique de Hamimat Meskhouta, sur la feuille à 1/50.000 d'Ain Télijdène au sud de Tébessa.

Le **Crétacé** affleure largement dans les monts du Mellègue. Les formations du **Crétacé inférieur**, représentées par le Barrémien, l'Aptien, l'Albien et le Vraconien, sont localisées dans les parties centrales des structures anticlinales, généralement, percées par les diapirs triasiques.

Les formations du **Barrémien** sont très réduites. Elles affleurent en petit anticlinal à Sidi Embarka au nord-est du Dj. Ouenza, sur le flanc sud-ouest de l'anticlinal de Mesloula et le long de l'Oued Batma ainsi qu'au nord-ouest de Dehar Mesloula (Dubourdiou, 1956). Elles sont représentées à la base par des marnes grises ou jaunes assez argileuses, refermant des ammonites pyriteuses. Au sommet, ce sont des intercalations marno-calcaires avec de minces passées de calcaires noduleux gris clair. Dubourdiou (1956) et Durozoy (1956) ont signalé la présence probable d'une partie du Barrémien dans les calcaires et les dolomies des grands

escarpements du flanc Est du Djebel Bouroumane. Les formations du Barrémien se sont déposées sur un haut fond, assez proche de la surface témoignant de conditions de sédimentation de mer peu profonde (Dubourdieu, 1956). Ces conditions de sédimentation se poursuivent jusqu'au début de l'Aptien.

L'Aptien affleure d'une manière remarquable dans la région de Mesloula, M'Khiriga, Kef Rekhma et Boudjaber. Ces formations sont rencontrées dans le noyau des structures anticlinales et à la proximité des formations triasiques. La puissance de la série aptienne est liée au développement des faciès récifaux. Cette série joue un rôle important de métallotecte lithologique, car il encaisse les minéralisations ferrifères et polymétalliques (Dubourdieu, 1956 ; Bouzenoune, 1993). Ces formations à caractère essentiellement carbonaté néritique, se sont déposées dans une mer chaude peu profonde. L'Aptien inférieur est essentiellement marneux, caractérisé par une alternance de marne, d'argile, de grès et de calcaire à gastéropodes, mollusques et échinoïdes. Il est surmonté par l'Aptien supérieur formé par des calcaires massifs avec des intercalations de marnes et de marno-calcaires à Orbitolines (Dubourdieu, 1956). La formation aptienne est généralement surmontée, par le *Clansayésien*. Il est marneux à ammonites à l'Ouenza et argileux avec intercalations des calcaires et grès lumachelliques à Mesloula. Le Clansayésien est formé d'alternances de marnes, de grès, de calcaires et de marno-calcaires. Son épaisseur varie entre 40 à 90 m à M'Zeita et de 250 à 300 mètre au sud-est du ce massif (Dubourdieu, 1956).

L'Albien des monts de Mellègue, est généralement, carbonaté marqué par une faune benthique dans des zones peu profondes (Bouzenoune, 1993 ; Nedjari-Belahcène et Nedjari, 1984 ; Othmanine, 1987 ; Salmi-Laouar, 2004). La puissance des dépôts albiens est de l'ordre 450 m, dépassant les 1300 m à Djebel Hameima (Dubourdieu, 1956). C'est une formation constituée de calcaire gris bioconstruit, surmontée par des marnes grises à ammonites. Dans sa partie moyenne à supérieure, l'Albien est représenté par des marnes gris foncée

bitumineuses à foraminifères benthiques. Ces marnes s'intercalent au sommet par des bancs de calcaires et de grès. Le passage entre l'Albien inférieur calcaire et l'Albien moyen marneux et marno-calcaire est marquée par une inconformité stratigraphique anté-vraconienne.

La couverture *albo-aptienne* est percée par le Trias. Ce dernier redresse les couches et provoque une complexité des structures, généralement scellées par le Vraconien comme à l'Ouenza, M'zouzia et Boukhadra (Bouzenoune, 1993 ; Nedjari-Belahcène et Nedjari, 1984 ; Othmanine, 1987).

Le *Vraconien* est caractérisé par une formation marneuse à intercalation de calcaire argileux dont la puissance est de 500 à 600 m (Dubourdiou, 1956). Ce sont des dépôts pélagiques marquant ainsi une transgression. Les faciès vraconiens ont été daté grâce à des ammonites (Fleury, 1969 ; Othmanine, 1987). Sa lithologie permet de former un écran imperméable qui contrôle les minéralisations polymétalliques. Au sud de Boujaber, la barre albienne est surmontée par un niveau marneux à foraminifères planctoniques rapportée au Vraconien - Cénomaniens (Salmi-Laouar, 1998). Cette formation affleure aussi, sur le versant nord-est de Hameimat Nord sous forme de marnes noires à foraminifères pélagiques avec de minces intercalations de calcaire très argileux dont l'épaisseur moyenne de 100 m (Fleury, 1969 et Othmanine, 1987).

Le *Crétacé Supérieur* est représenté dans la région par les dépôts du Cénomaniens, Turonien, Coniacien, Santonien, Campanien et Maastrichtien.

Le *Cénomaniens* est caractérisé par une série monotone de marnes grises qui renferme des filons calcitiques fibreux. Sa puissance varie entre 600 et 900 m. La partie inférieure est caractérisée par des marnes argileuses verdâtres surmontée par une série marneuse avec des passages de calcaires du Cénomaniens moyen. Les parties supérieures de cette formation,

deviennent essentiellement carbonatée.

Le **Turonien** est très bien développé dans la région. Sa puissance peut atteindre 1000 m. Il montre un faciès carbonaté, généralement, constitué par des marno-calcaires. Les calcaires sont compacts, très durs s'alternent avec des couches de marnes à Inocérames à la base. Cet ensemble est suivi par des marnes argileuses, riches en ammonites, huitres et divers de lamellibranches (Dubourdiou, 1956, 1959). Le Turonien représente un métallotecte pour la minéralisation polymétallique.

Le **Coniacien - Santonien** n'a pas été subdivisé à cause le manque d'éléments de datation. Il est représenté par des marnes argileuses grises verdâtres et jaune grise à plaquettes de calcite fibreuse, en intercalation de marnes à lumachelles. L'épaisseur varie de 200 à 300 m à l'Ouenza et de 490 à 600 m à Boukhadra (Dubourdiou, 1956).

Le **Campanien inférieur** est représenté par une formation homogène constituée de marnes argileuses. Les parties supérieures sont dominées par des calcaires blancs, crayeux à minces intercalations de marnes et de calcaires marneux. La puissance de cette formation varie entre 300 m et 600 m (Dubourdiou, 1956). Le régime sédimentaire du **Campanien supérieur - Maestrichtien**, indique toujours, la continuité des mêmes conditions de dépôts dans un milieu peu profond et de mer chaude avec une prédominance de calcaires crayeux rarement récifaux (Chevenine et al., 1989).

La base du **Paléocène** est caractérisée par la présence des marnes analogues à celles du Maestrichtien supérieur qui s'intercalent à des couches phosphatées vers les niveaux supérieurs. Ces phosphates renferment aussi des rognons de silex qui sont bien développés dans sa partie sommitale.

Les formations de l'*Eocène* sont caractérisées par des calcaires à silex et d'autres à nummulites. À la proximité des périmètres des Monts de Mellègue, leur puissance est de 200 m. Il renferme aussi des niveaux phosphatés qui sont parfois silicifiés au sommet.

Le *Néogène* dans la région est essentiellement représenté par les formations du Miocène et du Pliocène.

Les formations du *Miocène* affleurent largement au Nord de l'Oued Mellègue avec une puissance qui peut atteindre 1000 m (Dubourdiou, 1956 ; Kowalski et al., 2000). Ces dépôts reposent en discordance sur les formations les plus anciennes (Albien-Sénonien et même sur le Trias) où ils forment leur couverture. Il s'agit d'une accumulation puissante de marnes et de grès dont l'épaisseur peut atteindre dans le bassin de Ouled Soukiès au nord-ouest de l'Ouenza 1000 m (Dubourdiou, 1956; Kowalski et Hamimed, 2000). Les formations miocènes comportent aussi, des conglomérats contenant des éléments de calcaires variés, de silex gris, des galets ferrugineux et des éléments empruntés au Trias, témoignant d'une activité diapirique (Bouzenoune, 1993).

Les dépôts du *Pliocène* renferment des sables quartzeux et des argiles rougeâtres ainsi que des conglomérats polygéniques bien cimentés. La formation recouvre largement les calcaires *éocènes* de la bordure nord du fossé d'effondrement de Tébessa et les calcaires *maastrichtiens* de la bordure nord-est. Les travaux Degaichia (2014) ont fournies des précisions sur l'agencement séquentiel des sédiments du Pliocène du fossé d'effondrement de Tébessa et ses abords.

Les dépôts *quaternaires* d'origine continentale, sont fréquents dans les parties basses des reliefs et ils couvrent des surfaces importantes (plaines et vallées actuelles). La puissance de ces dépôts varie de 10 à 30 m. Ils sont formés de croûtes calcaires, limons éboulis, cailloutis et de poudingues (Dubourdiou, 1956).

3.2. Cadre structural régional

La zone d'étude fait une partie d'une vaste province paléogéographique étendue de part et d'autre de la frontière orientale, appelée le bassin atlasique algéro-tunisien. Ce bassin est allongé selon une direction nord-est sud-ouest à la bordure nord orientale de l'Afrique. Il est large au niveau de sa partie sud-occidentale aux Aurès, ce bassin se rétrécit progressivement vers le nord-est tunisien. Il est délimité par des d'accidents (Fig. 4). La partie distale du bassin forme la zone d'étude reconnue sous le nom des monts du Mellègue et qui s'étend jusqu'à l'Atlas tunisien. C'est une zone caractérisée par une tectonique en blocs basculés.

D'une manière générale, la disposition structurale actuelle de ce bassin est le résultat d'une tectonique à mouvements polyphasés. Ces mouvements ont permis de retracer l'évolution paléogéographique et structurale de la région caractérisée par une *forte subsidence, un diapirisme triasique du salifère, un plissement* des séries sédimentaires et la mise en place *de fossés d'effondrement* (Dubourdieu, 1956 ; Benabbas, 2006).

Dubourdieu (1956) a conclu de l'existence d'un effondrement avec un enfoncement du socle algéro-tunisien depuis le Barrémien jusqu'à la fin du Crétacé. Cet effondrement est accompagné par une importante accumulation des sédiments dont la puissance peut atteindre 5000 m. Le taux de *subsidence* n'est pas le même dans toute la région. Il est perturbé dès l'Aptien par l'apparition de hauts fonds sur lesquels une sédimentation carbonatée sub-récifale s'est déposée.

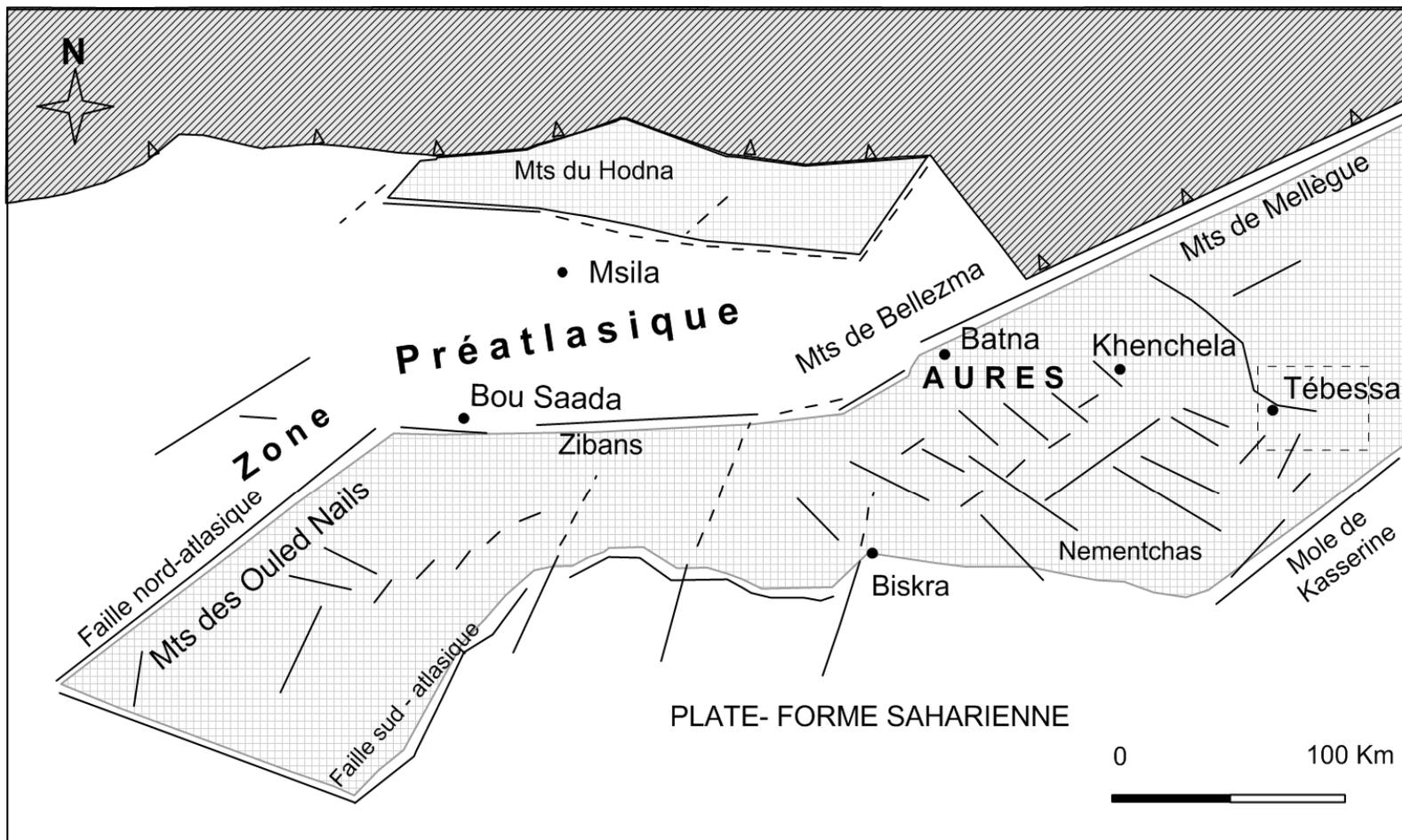


Fig. 4 : Principaux ensembles géologiques du domaine atlasique oriental (Selon Burollet et Desforges, 1982).

D'autres auteurs ont expliqué l'apparition des hauts fonds par le diapirisme lié aux formations triasiques (Chikhi-Aouimeur, 1982). Cette activité a été déterminée par le jeu d'accidents hercyniens orientés NNE-SSW ou à une dynamique en extension NE-SW à l'Aptien.

L'Atlas saharien oriental est caractérisé par un ensemble de *plis anticlinaux* à grand rayon de courbure et dont l'ossature est assurée par les niveaux calcaires crétacés. Ces anticlinaux sont souvent percés par le Trias. Ils sont liés à des grandes structures synclinales dont le cœur est constitué par des calcaires éocènes. L'orientation générale de cet ensemble de plis est NE-SW. Ils se sont formés suite à la phase compressive atlasique dont l'âge a été souvent discuté (Dubourdieu, 1956) (Fig. 5). Ces derniers présentent des fermetures périclinales et coniques qui sont souvent interrompues par des accidents orthogonaux bordant les fossés d'effondrement (Benabbas, 2006).

Les plis sont tronqués tardivement par *les fossés d'effondrement* NW-SE suite à une tectonique distensive post-Miocène inférieur (David, 1956; Dubourdieu, 1956; Kazi-tani, 1986; Kowalski et Hamimed, 2000) (Fig. 5). Cette activité tectonique compressive-distensive est toujours accompagnée par les phénomènes de l'ascension du matériel triasique traduisant un diapirisme polyphasé (Dubourdieu, 1956; Thibieroz et Madre, 1976; Rouvier et al., 1985; Othmanine, 1987; Perthuisot et al., 1987; Aoudjehane et al., 1992; Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et al., 1995; Kowalski et Hamimed, 2000, Salmi-Laouar, 2004). Ces fossés sont comblés par des dépôts plio-quadernaires dont l'épaisseur peut atteindre une puissance de 170 m dans le fossé de Tebessa-Morsott et près de 300 m dans celui de Kasserine. Les fossés d'effondrements constituent des traits morpho-structuraux majeurs de l'architecture de l'Atlas Saharien Oriental. Ces structures qui se prolongent sur plusieurs kilomètres. Les phases tectoniques manifestées dans les Monts du Méllègues depuis le Crétacé-Eocène sont résumés au tableau. 1

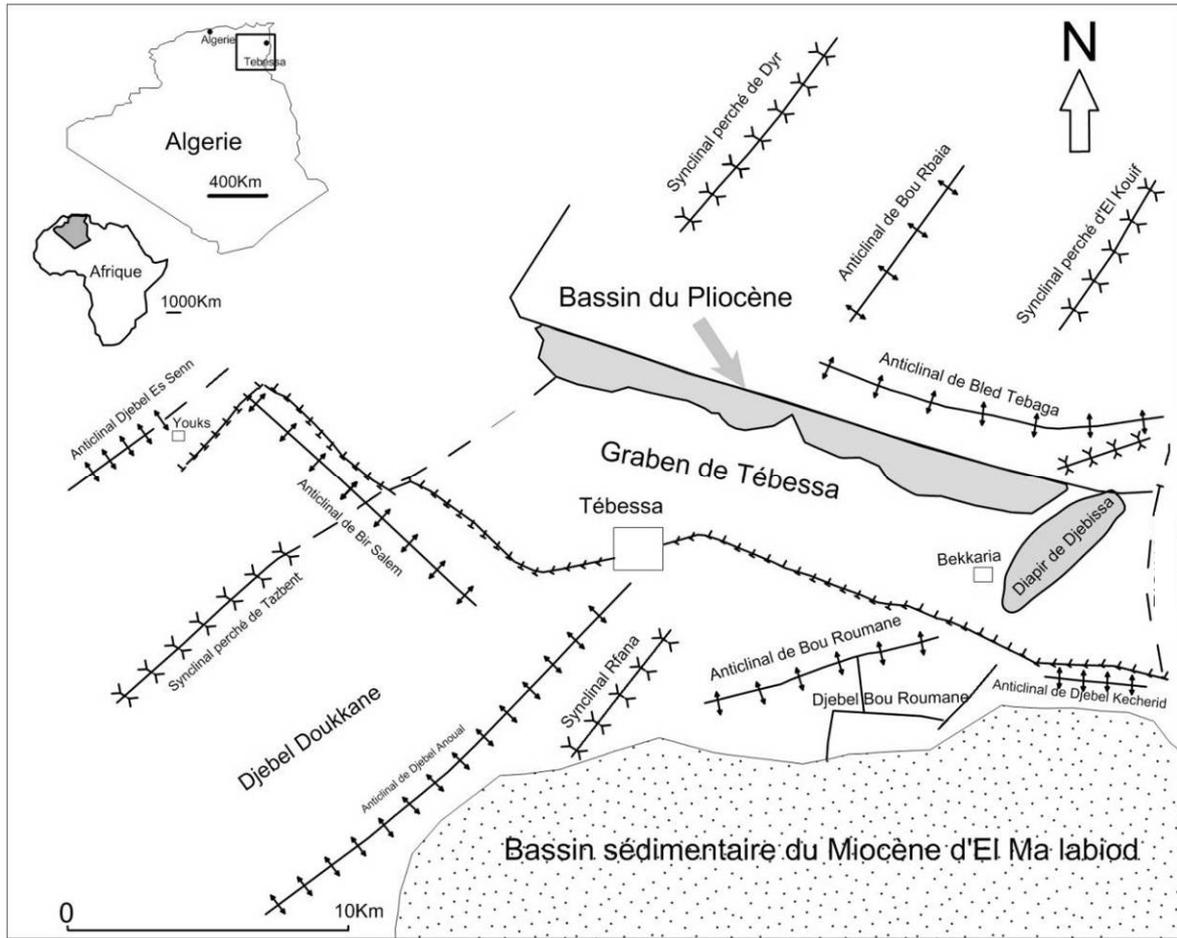


Fig. 5 : Esquisse structurale du fossé d’effondrement de Tébessa et ses abords (Durozoy, 1956).

Tableau 1: Récapitulatif des phases tectoniques des Monts du Mellègue (In Degaichia, 2014).

Type	Age	Conséquences	Références
Distensive	Crétacé-Eocène	La formation d’un bassin subsident, où les dépôts y oscillent fréquemment entre des faciès néritiques et des faciès deltaïques, ou même franchement continentaux.	Dubourdieu, 1956; Thibièroz et Madre, 1976; Rouvier et al., 1985; Othmanine, 1987; Perthuisot et al., 1988; Aoudjehane et

Compressive	fini-lutétienne et priabonienne	Des plissements appartenant à la phase atlasique dirigées NE-SW	al., 1992; Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et al., 1995; Kowalski et Hamimed, 2000.
Compressive	Pliocène inférieur	- Des plissements orientés W-E -La création des nouvelles structures comme l'anticlinal de Bled Tebega, le Synclinal de Draa Snouber, l'anticlinal de Bir Salem et les anticlinaux de Dj. Kechrid, Dj. Sif Bou Roumane, Dj. Khorza, Dj.Tella et Dj. Anoual.	Durozoy, 1956; Zerdazi, 1990.
Distensive		- L'effondrement du fossé de Foussana ; - L'effondrement partiel de l'anticlinal de Dj. Kechrid ; - L'effondrement du fossé de Morsott.	
Compressive	Plio-Quaternaire	Des plis dans la direction NNW-SSE parallèles au fossé de Morsott : « Anticlinal de Dj. Belkif » et « Synclinal de l'Oued Faid El Obbiz ».	Blès, 1969; Zerdazi, 1990; Boufaa et al., 1996.
Distensive	Pliocène supérieur	-L'individualisation des fossés de Tébessa et Hammamet avec l'effondrement et le basculement de certaines structures antérieures ; -Réactivation du diapir de Djebissa.	Blès, 1969; Zerdazi, 1990; Boufaa et al., 1996; Kowalski et Hamimed, 2000.

3.3. Évolution paléogéographique

Appartenant à l'Atlas saharien oriental, l'évolution paléogéographique de la région de Tébessa est liée intimement à l'évolution structurale de la couverture méso-cénozoïque.

L'absence du *Jurassique* et du *Crétacé inférieur*, antérieurs au *Barrémien*, dans la région d'étude est expliquée par des mouvements diapiriques anté-Aptien qui ont provoqué

des bombements puis, un percement, conduisant la migration du matériel évaporitique (Beghoul, 1974). Sur ces zones hautes, des séries néritiques réduites sont déposées. Tandis qu'aux bordures, les séries subsidentes font la transition avec les séries épaisses du bassin accueillant une sédimentation marneuse (Othmanine, 1987).

Le *Barrémien* est réduit indiquant une régression. Ses formations sont déposées sur un haut fond assez proche de la surface (Dubourdiou, 1956). La présence des bancs d'huîtres sous le niveau à fossiles indique qu'à la fin du Barrémien, la tranche d'eau ne dépasse pas 200 à 250 m au maximum (Dubourdiou, 1956).

À l'*Aptien*, la mer était plus étendue qu'au Barrémien et les formations carbonatées aptienne sont déposées dans des eaux chaudes peu profondes. Cette formation est accompagnée par la mise en place des récifs sur des rides allongées (Dubourdiou, 1956). Durant l'Aptien supérieur, la région des Monts du Mellègue a connu un développement de nombreuses plates-formes isolées dont l'architecture est contrôlée par des remontées diapiriques (Dubourdiou, 1956). Ce complexe fait partie du domaine des hauts fonds qui séparait durant l'Aptien un domaine profond. Il s'agit du sillon de Sellaoua d'un autre très subsident c'est le Sillon atlasique oriental. Les faciès aptiens annoncent une régression fini-aptienne (Salmi-Laouar, 2004).

L'*Albien* dans les Monts de Mellègue est marqué par une faune benthique caractérisant des zones peu profondes. À la fin de l'Albien moyen, la sédimentation est transgressive (Amouri, 1986 ; Chevenine et al., 1989). À l'Albien supérieur, la couverture albo-aptienne est percée par le Trias, entraînant le redressement des couches et la complexité des structures généralement scellées par le Vraconien à l'Ouanza, M'zouzia; Boukhadra (Bouzenoune, 1993 ; Othmanine, 1987).

La sédimentation *cénomanienn*e s'est déposée dans des conditions abyssales

profondes (Salmi-Laouar, 2004). Cette époque est caractérisée, dans la région de Tébessa, par des décrochements traduisant un raccourcissement NE-SW (Othmanine, 1987).

Au cours du *Turonien inférieur*, un changement rapide de la nature des sédiments est enregistré. Les marnes argileuses sont remplacées par des couches des carbonates de chaux (Dubourdiou, 1956). Les conditions néritiques d'une mer chaude moins profonde et dépôts carbonatés se maintiennent. Ce n'est qu'au *Turonien supérieur*, une mer relativement profonde s'installe avec une accumulation d'une assise marneuse jusqu'au Campanien.

Au *Campanien supérieur* et au *Maastrichtien*, le régime sédimentaire indique toujours la continuité des mêmes conditions de dépôts dans un milieu peu profond et de mer chaude (Chevenine et al., 1989) avec une prédominance de calcaire crayeux rarement récifaux.

Le passage du *Crétacé au Tertiaire* se fait sans d'importantes perturbations apparentes, au sein de marnes riches en microfaunes planctoniques qui permettent de suivre le passage du Maastrichtien au Paléocène supérieur, avec des passages de calcaires qui marque en partie le Danien (Dubourdiou, 1959).

L'horizon phosphaté du *Paléocène supérieur* précède une sédimentation calcaire qui continue jusqu'au Lutétien inférieur. Le caractère très néritique de celle-ci est souligné par d'importantes variations d'épaisseur et par la répartition des nummulites, presque absentes au Kouif mais formant la quasi-totalité des calcaires du Djebel Dyr (Dubourdiou, 1959).

L'absence de dépôts marins à partir du *Lutétien* semble être due à l'influence d'une phase de compression dont les premières manifestations se sont traduites par la formation de fractures conjuguées à intersection verticale (directions NW-SE, dextres et N-S, sénestres) puis de fractures à intersection horizontale (direction des intersections des joints conjugués variant de NE – SW à ENE - WSW) qui pourront être transformées en failles inverses lors de

la formation des plis concentriques de la phase paroxysmale (Dubourdiou ,1959).

Les dépôts continentaux du *Miocène inférieur* viennent se mettre en place sur une surface d'érosion. Ils sont installés sur le Crétacé moyen au NW, et sur l'Eocène au SE d'une flexure d'orientation NE-SW. Postérieurement au dépôt du Miocène inférieur continental, une reprise de compressions tangentiellles est attestée par des décrochements affectant ces dépôts et par leur conservation dans les structures synclinales éocènes (Dubourdiou, 1959). Le remplissage de ces fossés est constitué par des sédiments continentaux attribués au Plio-Villafranchien et au Quaternaire récent. Des glissements par gravité se sont produits dès avant le Miocène, jusqu'à la période actuelle développés en bordure des reliefs (Dubourdiou, 1959).

4. Minéralisations phosphatées

Les minéralisations phosphatées les plus importantes du nord-est algérien sont localisées dans l'Atlas Saharien Oriental. À Tébessa, ces minerais de phosphates, sont associés aux affleurements du Paléocène-Eocène (Fig. 6). La minéralisation à intérêt économique varie d'une localité une autre. À Tébessa Sud (Djebel Onk), les phosphates sont les mieux exploités, par contre à Tébessa Nord (Djebel Dyr et El Kouif et Dj. Tazbant) se présentent en niveaux à faibles épaisseurs et à faible concentration en phosphore, sans intérêt économique. D'une manière générale, les minéralisations phosphatées, dans l'Atlas Saharien Oriental, se présentent en alternance avec les formations encaissantes constituées par des couches marno-calcaires, renfermant des rognons de silex. Deux assises ont été distinguées :

(1) L'assise inférieure est représentée par des argiles brunes feuilletées.

(2) L'assise supérieure est caractérisée par la présence des couches marno-calcaires avec des rognons de silex. La base de cette assise est caractérisée par des minerais de phosphates noirâtres riches en glauconie. La partie sommitale par contre, est soulignée par des calcaires à nummulites à passées des minerais de phosphates (dolomitiques et silicifiés).

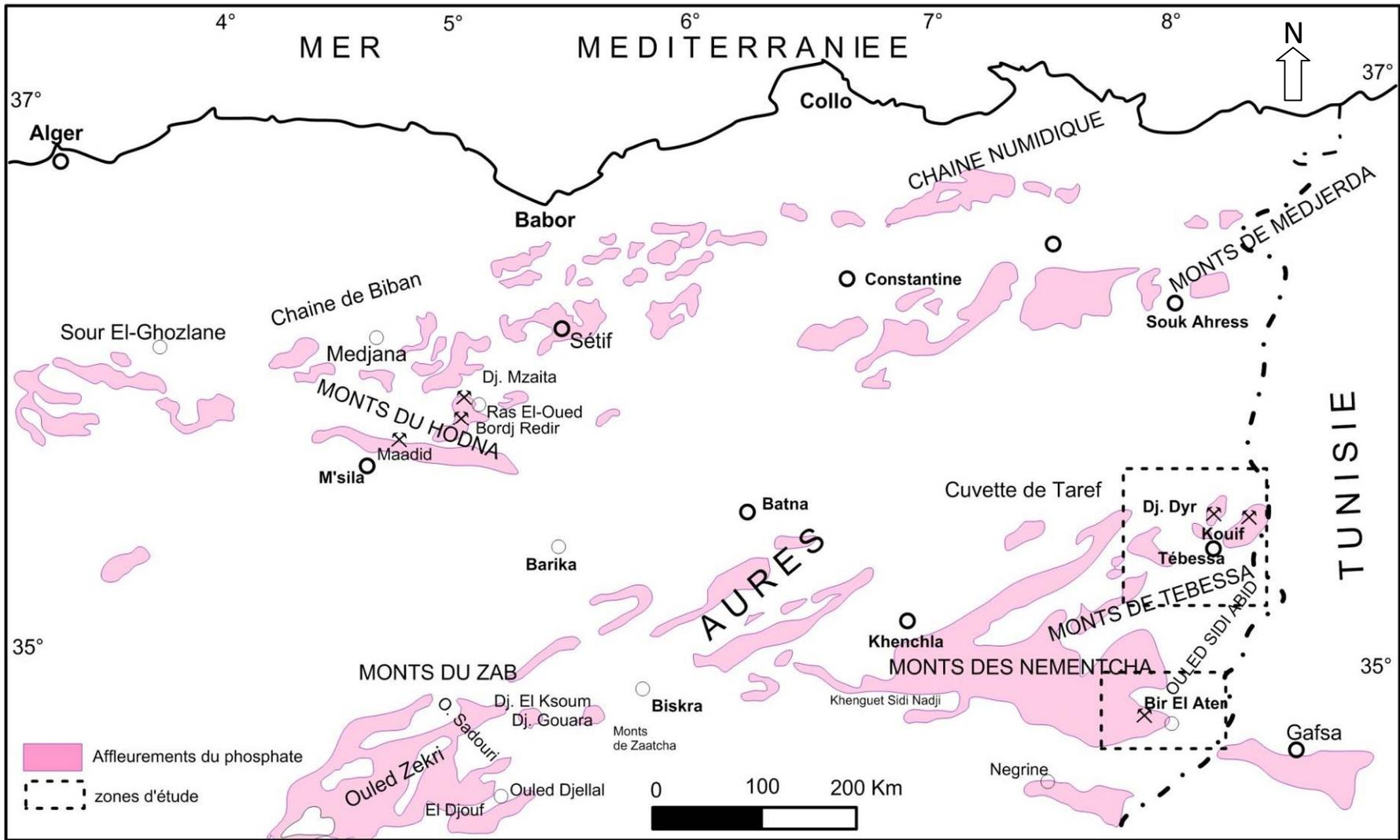


Fig. 6 : Affleurements des phosphates (gisements, niveaux et indices) liés aux formations du Paleo-éocène au nord-est algérien (Oussedik. et al, 1979).

5. Paléogéographie des phosphates des bassins algéro-tunisiens

Le Paléocène-Eocène au Nord d'Afrique a fait l'objet de plusieurs études (Pervinquière, 1903 ; Flandrin, 1948 ; Burollet, 1956; Busson, 1970 ; Winnock, 1980 ; Sassi, 1974; Chabou-Mostfai, 1987 ; Chaabani, 1995, ...). Durant cette période, des dépôts de phosphates se sont mis en place autour de l'île de Kasserine qui date du Crétacé supérieur. Plusieurs hypothèses, ont été avancées pour discuter la naissance des phosphates et pour reconstituer leur paléogéographie.

Le bassin Gafsa-Métlaoui-Djebel Onk est caractérisé par des dispositifs en haut-fonds et sillons. Ce dispositif est à l'origine des variations rapides d'épaisseur de la série phosphatée. Plusieurs travaux admettent que ces bassins phosphatés sont alimentés des courants d'upwellings et littoraux en provenance de la Téthys (Burollet et Oudin, 1980 ; Fourine, 1980 ; Sassi, 1974 et 1980) (Fig. 7).

Dans les deux domaines (néritique et pélagique), le passage du Maastrichtien à l'Eocène est marqué par une série marneuse qui a été décrite par Flandrin (1948). Il s'agit d'une série intermédiaire dano-sélandienne qui peut contenir des niveaux du Maastrichtien et du Thanétien. Ces niveaux ont été observés en Tunisie sous le nom d'El-Haria dans le bassin Gafsa-Metlaoui au sud de l'île Kasserine au Tunisie et Djebel Onk, de Negrine, du Nememcha dans l'est des Aurès en Algérie dont le passage est claire (Barut et Bonnefous, 1967 ; Burollet, 1967 ; Said, 1978 ; Ben Abdesselam, 1978 ; Salaj; 1980 ; Cuvillier et al., 1995). Le sommet du Maastrichtien est caractérisé par une surface rubéfiée qui renferme des traces d'organismes. La série marneuse contient des minces intercalations phosphatées dont plusieurs auteurs ont les attribué des datations différentes. L'épaisseur des marnes atteint le maximum au sillon tunisien avec 700 m (Burollet, 1956). Il est de l'ordre de 300 m à Tébessa (Flandrin, 1948) et 70 m à Djebel Onk (Visse, 1951).

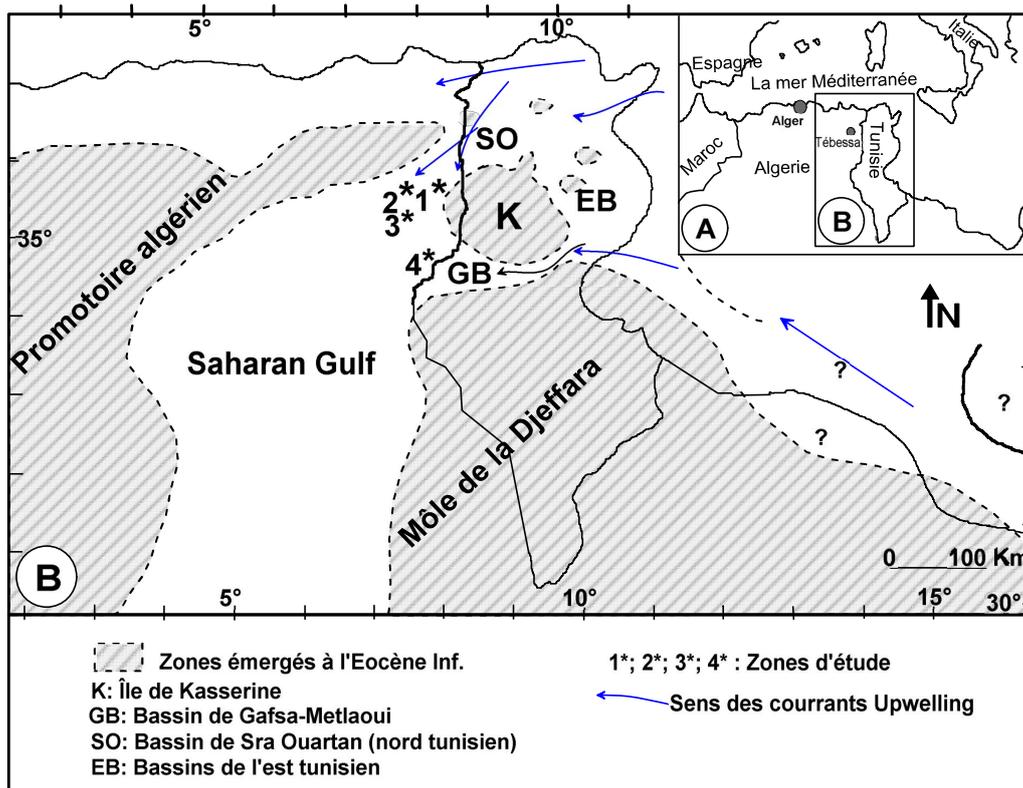


Fig. 7 : Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk à l'intérieur du bassin phosphatés Gafsa-Métlaoui-Onk (D'après Burollet et Oudin, 1980 ; Fourine, 1980 ; Sassi, 1974 et 1980).

Au Paléocène supérieur, les marnes connaissent une réduction de l'épaisseur surtout à Tébessa. Cette diminution de l'épaisseur s'accompagne avec des calcaires lumachelliques à huitres et au gypse au niveau de Gafsa (Burollet, 1956). Les lumachelles ont fait l'objet de plusieurs travaux de datation. Ils sont datés par Flandrin (1948) et Ranchin (1963) en tant du Montien. Cependant, pour Visse (1951), seulement le banc à « *Venericardia beaumonti* » qui a été attribué au Montien puis les formations appartiennent au Thanétien. Les travaux de Kocsis et al (2013), basant sur la datation $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sur des dents de poissons ont permis de dater la formation Chouabine (Paléocène -Eocène) de $54.6 \pm 1.6\text{Ma}$ à $61.8 \pm 2.2\text{Ma}$.

Le passage du Paléocène supérieur-Yprésien inférieur

Les phosphates de travail, se localisent dans le passage du Paléocène supérieur-Yprésien inférieur. Ils se présentent par endroit un intérêt économique. Les datations des

formations phosphatées sont aussi controversées. Le Thanétien est l'étage des minerais de phosphates selon Laffitte (1939) et Flandrin (1948). Visse (1951 ; 1952) indique que la série des minerais de phosphates principale du Djebel Onk et de la région de Gafsa sont thanétiennes. Cet âge a été également attribué par Ranchin (1963) à partir de l'étude de la micro-faune à Djebel Onk. La coupe de Chouabine et de l'Oued Tselja près de Metlaoui ont été datée par le Paléocène supérieur- Yprésien inférieur (Ben Abdesslem, 1978). L'Yprésien montre des formations similaires dans la partie algérienne et tunisienne, déposées dans la mer éocène. Elles sont représentées par des marnes, des marno-calcaires à silex. Ces formations s'intercalent avec des niveaux de minerais de phosphates sur des épaisseurs variables où les premières nummulites apparaissent aux Aurès, Tébessa et au sud des chaînes telliennes (Flandrin, 1948 et Winnok, 1980). Le Lutétien inférieur représente une nouvelle régression marine dans les Aurès, les Nemencha, Djebel Onk et le bassin de Gafsa-Metaloui. Le Lutétien est marqué par des gypses, des marnes et des calcaires dans la région de Tébessa, le Lutétien inférieur est caractérisé par la présence de calcaires massifs à Nummulites.

Conclusion

La région de Tébessa appartient à l'Atlas Saharien Orientale, faisant partie d'une vaste province paléogéographique étendue de part et d'autre de la frontière orientale, appelée « bassin atlasique algéro-tunisien ». Les formations les plus connues dans cette région, formant la couverture, sont d'âge méso-cénozoïque avec un Jurassique absent. Elles sont de nature essentiellement carbonatées. Les principaux traits structuraux des monts de Méllègue se résument aux plissements, diapirisme et aux fossés d'effondrements. La région de Tébessa est riche en phosphates en particulier, dans sa partie sud. À Tébessa Nord, seuls les secteurs d'El Kouif, de dj. Dyr et Tazbant présentent des minéralisations plus au moins importantes, mais de moindre importance par rapport à celles du sud. La minéralisation phosphatée est généralement localisée dans des formations d'âge Paléocène – Eocène.

Chapitre II

Géologie locale et gîtologie

CHAPITRE II

GÉOLOGIE LOCALE ET GÉOLOGIE

Les affleurements des phosphates intéressés par cette présente étude, sont localisés au nord et au sud de la région de Tébessa (Fig. 8). La description lithologique des formations géologiques est accompagnée par celle de l'étude pétrologique des minerais de phosphates. Pour ce faire, des coupes géologiques ont été réalisées et des lames minces ont été confectionnées et examinées. Les résultats de cette partie d'étude ont permis d'effectuer une comparaison entre les corps de minerais de phosphates du nord de Tébessa avec ceux du sud. La documentation reste rare et ancienne et rend la tâche difficile, nous allons baser sur la description des différents affleurements et des corps de minerais phosphatés.

1. Géologie des affleurements de Tébessa Nord

1.1. Secteur d'El Kouif

La région d'El Kouif dont les coordonnées géographiques sont : Latitude : N35°29'48" ; Longitude : E08°18'53,88", appartient à la partie orientale de l'Atlas Saharien. Cette localité se situe à 23 km au nord-est de Tébessa. Elle est limitée par la frontière tunisienne vers l'est, le village de Rase El Aioun au nord, le village de Bekkaria vers le sud et le massif forestier Bou-Rbaiaà vers l'ouest. Plusieurs affleurements, localisés à la proximité du village d'El Kouif, ont fait l'objet de la description géologique ci-dessous.

1.1.1. Description des faciès

Basant sur la carte géologique de Morsott N°178 à l'échelle 1/50 000 et sa notice (Bles et Fleury, 1970) ainsi que les travaux de la société (SONAREM), la région d'El-Kouif manifeste des affleurements des minerais de phosphates caractérisés généralement, par la présence des niveaux encaissés dans des formations carbonatées généralement dolomitiques (Fig. 9 et 10). La structure géologique de l'affleurement, est simple tabulaire à faible pendage.

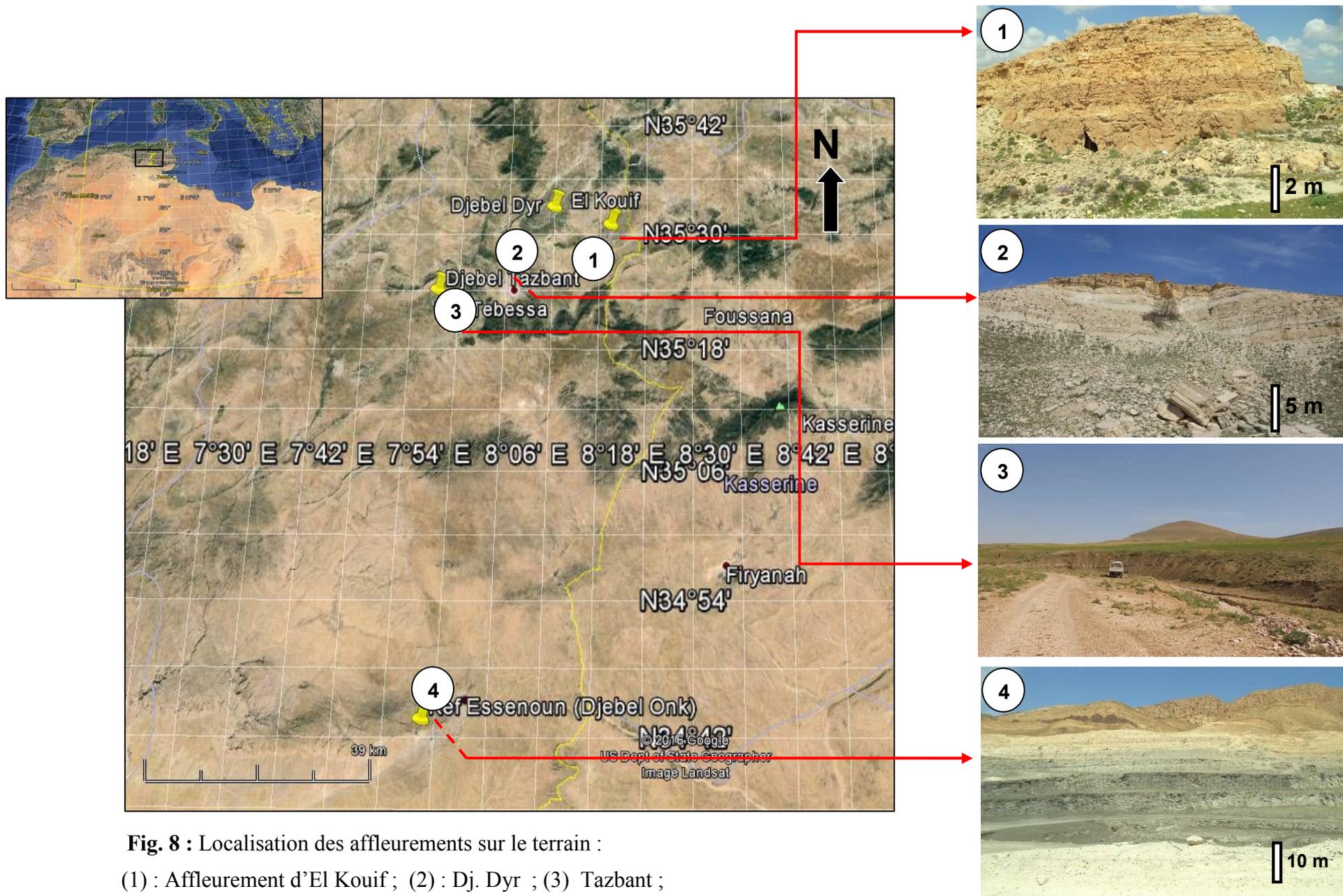


Fig. 8 : Localisation des affleurements sur le terrain :

(1) : Affleurement d'El Kouif ; (2) : Dj. Dyr ; (3) Tazbant ;

(4) : Kef Essenoun

(1) ;(2) et (3) : Phosphates de Tébessa Nord ; (4) : Phosphates de Tébessa Sud



Fig. 9 : Vue panoramique de l’affleurement de Douar El Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).

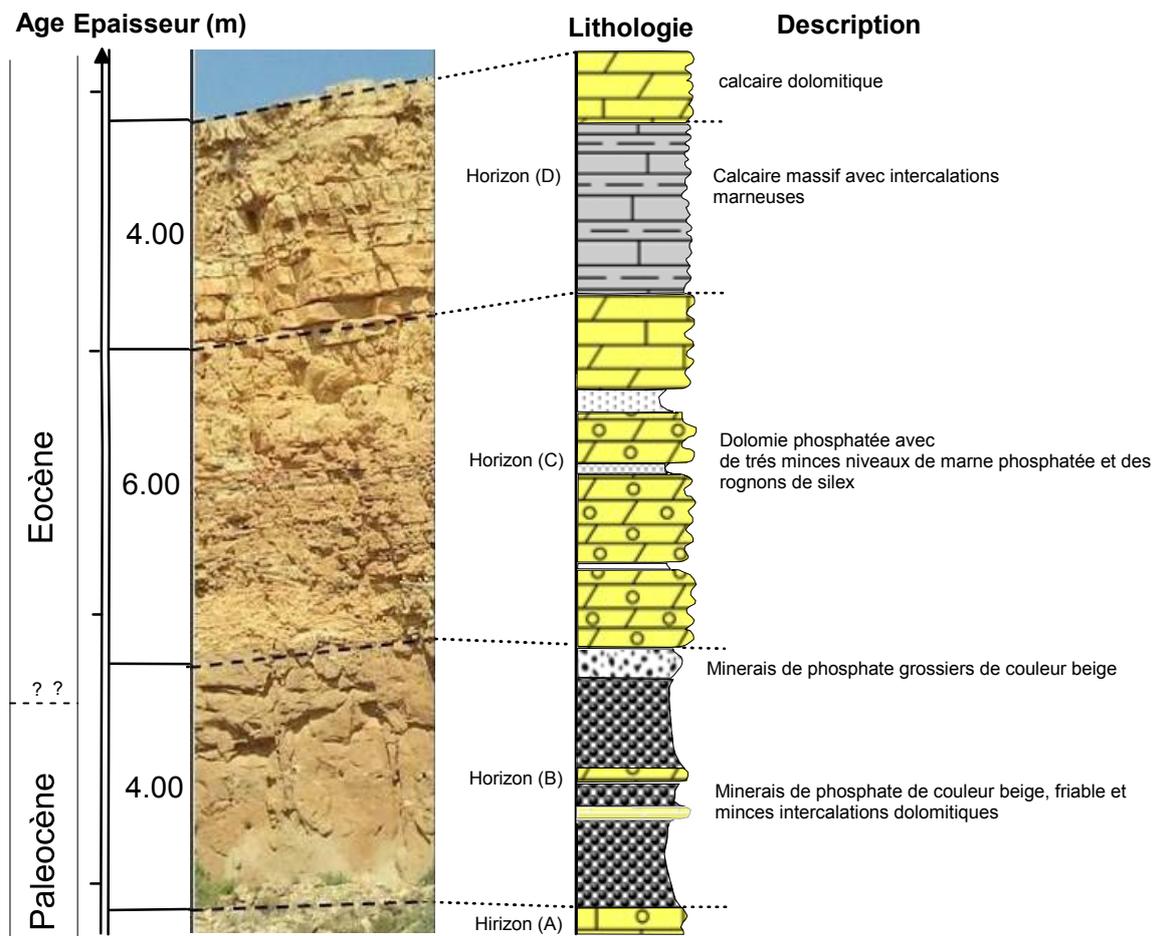


Fig. 10 : Description lithologique des bancs au niveau de Douar el Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).

La description macroscopique des affleurements a permis de distinguer plusieurs horizons dont les caractéristiques faciologiques sont bien définies. Du bas en haut, on y distingue :

Horizon (A) : La limite inférieure de cet horizon n'est pas repérable sur le terrain. Il est constitué par des calcaires dolomitiques avec des imprégnations de phosphates. Il représente le mur des minerais de phosphates (cf. Figs. 9 et 10 ; Planche 1-A ; B).

Horizon (B) : C'est un horizon phosphaté qui présente une épaisseur maximal de 4 m. Il montre des minces intercalations des de dolomie à silex. Ces minerais de phosphates ont une couleur beige, légèrement friable avec un ciment carbonaté (Planche 1-C ; D). Le classement des grains est visiblement mauvais. Les grains phosphatés sont représentés par des pellets et des coprolithes à formes irrégulières où la taille peut dépasser 1 mm. L'observation macroscopique a permis de distinguer des dents de poissons et des lithoclastes.

Horizon (C) : Cet horizon consiste aux dolomies qui sont légèrement phosphatées, renfermant des rognons de silex d'une épaisseur de 6 m. Il contient aussi, des minces niveaux de marnes phosphatés (Planche 1-E ; F). La dolomie est dure et elle a une couleur beige qui renferme des niveaux de minerais de phosphates silicifiés en concordance avec à structure tabulaire.

Horizon (D) : Il s'agit d'un horizon renfermant des niveaux de calcaires massifs surmontés par des calcaires dolomitiques dont l'épaisseur est de 4 m. Le calcaire est caractérisé par une couleur beige, moyennement dure, d'une cassure lisse. Cet horizon montre une fissuration intense témoignant de l'effet de la tectonique. Les intercalations sont représentées par de joints marneux et des rognons de silex. Cet horizon représente le toit des minerais de phosphates (Planche 1-G ; H).

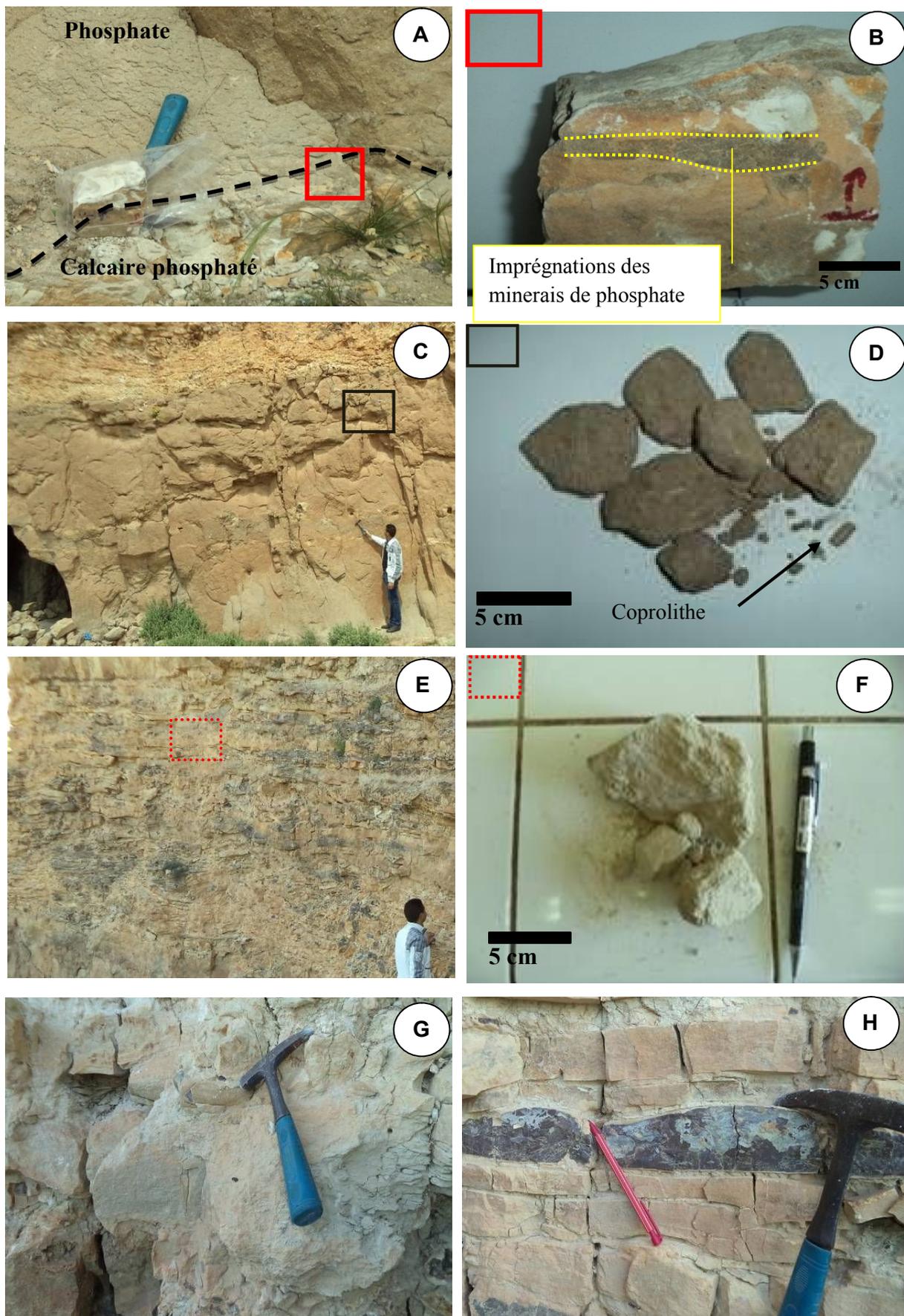


Planche 1 : Les faciès de Douar El Fogaa (El Kouif) (Tébessa Nord).

Légende de la planche 1

(A) : limite entre l'encaissant et les minerais phosphatés (limite des deux horizons A et B).

(B) : limite des deux horizons (A et B) représentant un calcaire qui renferme des phosphates en imprégnations.

(C) : banc principale du minerai phosphaté montrant une épaisseur de 4 m (horizon B).

(D) : minerai phosphaté friable du banc principal (horizon B) où l'on voit des coprolithes ayant une forme cylindrique.

(E) : horizon de dolomie phosphaté à intercalations des rognons de silex et de marnes (horizon C).

(F) : marnes de l'horizon (C) montrant une couleur jaunâtre et une friabilité.

(G) : marne légèrement phosphatée de l'horizon (C).

(H) : rognons de silex en concordance avec les calcaires de l'horizon (D).

1.1.2. Pétrologie

Généralement, Les minerais de phosphates d'El Kouif sont représentés par des niveaux à épaisseurs ne dépassant pas 4 m. cette épaisseur peut se changer d'une localité à l'autre. Le mur est constitué par des dolomies, des marnes et des argiles tandis que le toit est représenté par des dolomies et des calcaires parfois légèrement phosphatés. Ces minerais sont en concordance avec le sens des séries sédimentaires encaissantes. Ces niveaux phosphatés sont caractérisés par des couleurs beiges, grises et parfois noires à la base. Ils sont légèrement friables, renfermant des pellets et des coprolithes (grains phosphatés) ayant différentes tailles et formes. La taille de ces grains varie de 50 μm à plus 1 mm.

Les minerais phosphatés contiennent des bioclastes où les dents des poissons sont très abondantes. Le ciment, est généralement carbonaté qui est légèrement argileux dans les phosphates de la base. Cependant, des phosphates à ciment siliceux peuvent se manifester pour donner lieu aux phosphates noirs et durs. Il s'agit des phosphates silicifiés accompagnant la mise place des rognons de silex. Plusieurs faciès de minerais de phosphates sont rencontrés à El Kouif :

- Minerais de phosphates argileux à glauconie ;
- Minerais de phosphates marneux ;
- Minerais de phosphates beiges ;
- Minerais de phosphates noirs silicifiés.

Minerais de phosphates argileux à glauconie

Ce faciès est généralement rencontré, à la base des affleurements. Il a une couleur noirâtre indiquant sa richesse en matière organique. Il renferme aussi de la glauconie qui se manifeste en grains de couleur verdâtres dont la taille est 0.25 mm (Fig. 11). A la loupe

binoculaire. Les grains montrent plusieurs formes arrondis à cylindriques avec un liant argileux. Ce faciès contient des bioclastes (débris osseux et dents de poissons).

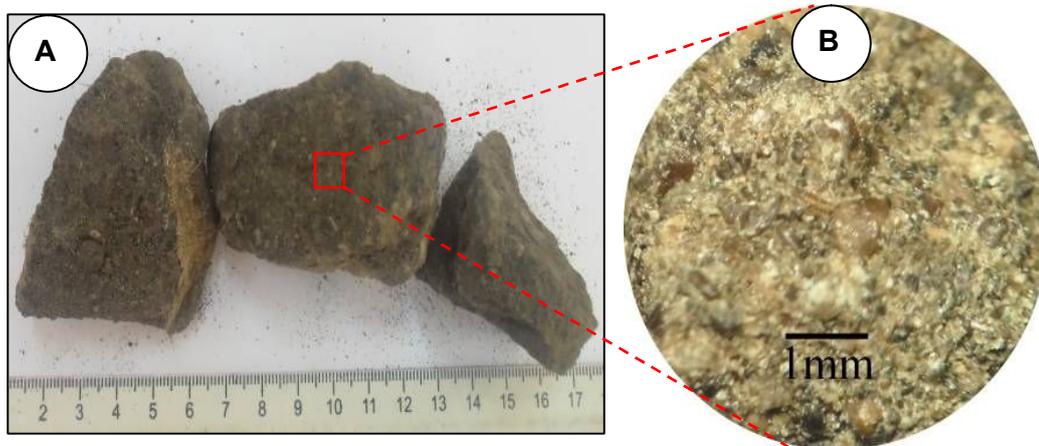


Fig.11 : Minerais de phosphate argileux à glauconie.

(A) : échantillons de minerais de phosphate montrant une couleur noirâtre et un aspect friable;
(B) : grossissement sous la loupe binoculaire montrant une hétérogénéité de la granulométrie.

Minerais de phosphates marneux

Les phosphates marneux est une terminologie, qui indique un taux élevé des marnes comme une matrice, représentant plus de 60 % de la roche. C'est pour cela, ce faciès reflète la couleur grisâtre dans la plus part des cas. Ce type de faciès est caractérisé par un minerai très fin où les grains sont difficilement visibles à l'œil nu. Il peut contenir des lithoclastes, des bioclastes et de la glauconie (Fig. 12 ; cf. Planche. 1-G).

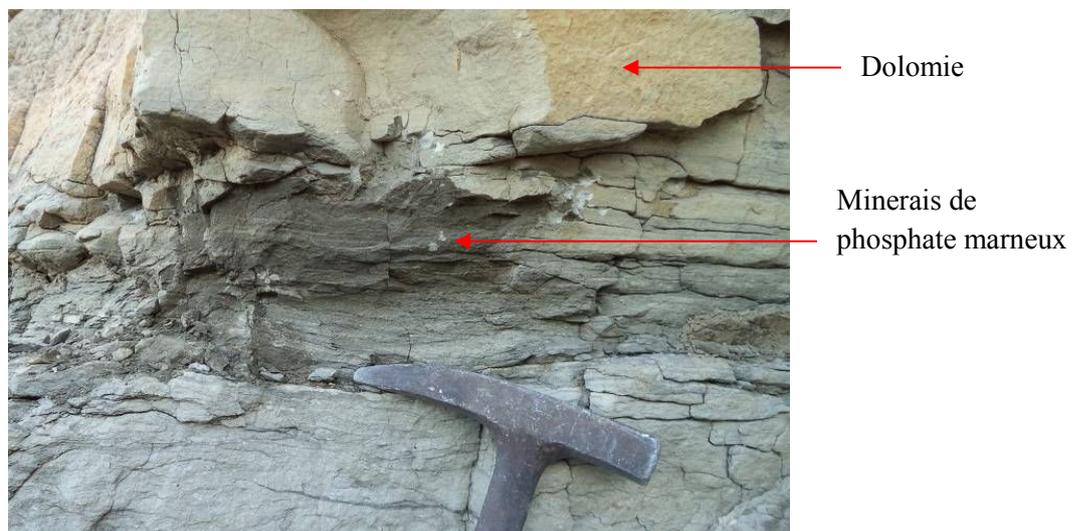


Fig.12 : Minerais de phosphates marneux.

Minerais de phosphates carbonatés beiges

C'est le faciès le plus rencontré à El Kouif. Il est caractérisé par l'abondance des grains phosphatés (pellets, coprolithes et bioclastes phosphatisés). Le ciment de ce minéral est de nature dolomitique reflétant la couleur beige (Fig.13)

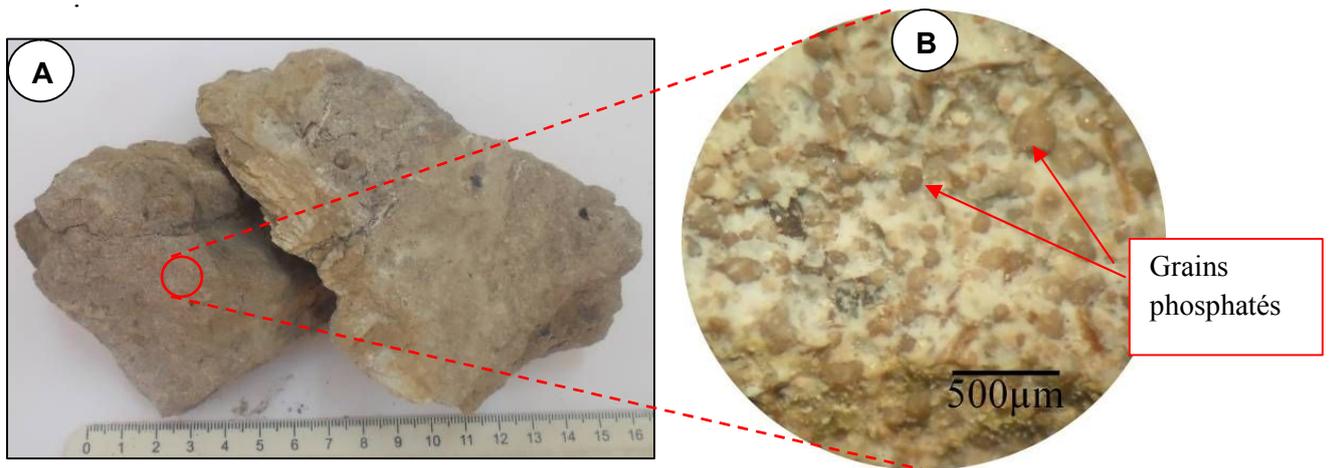


Fig.13 : Minerais de phosphates beiges.

(A) : échantillons prélevés de ce minerais ; (B): grossissement sous la loupe binoculaire montrant les grains phosphatées de couleurs marron et le ciment carbonaté de couleur beige.

Minerais de phosphates noirs silicifiés

Ce faciès est très dure par rapport les faciès décrits ci-dessus. Il s'agit des grains phosphatés qui sont cimentés par la calcédoine. Le silex renferme parfois des grains phosphatés qu'on rencontre au sommet de l'affleurement des phosphates. Les minerais de phosphates silicifiés se présentent, en deux (2) niveaux centimétriques concordants au sens de la stratification. Cependant, il peut aussi être rencontré en rognons (Fig. 14). La taille des grains phosphatés dépassent les 0.5 mm. Ils sont généralement, représentés par des coprolithes et des lithoclastes.

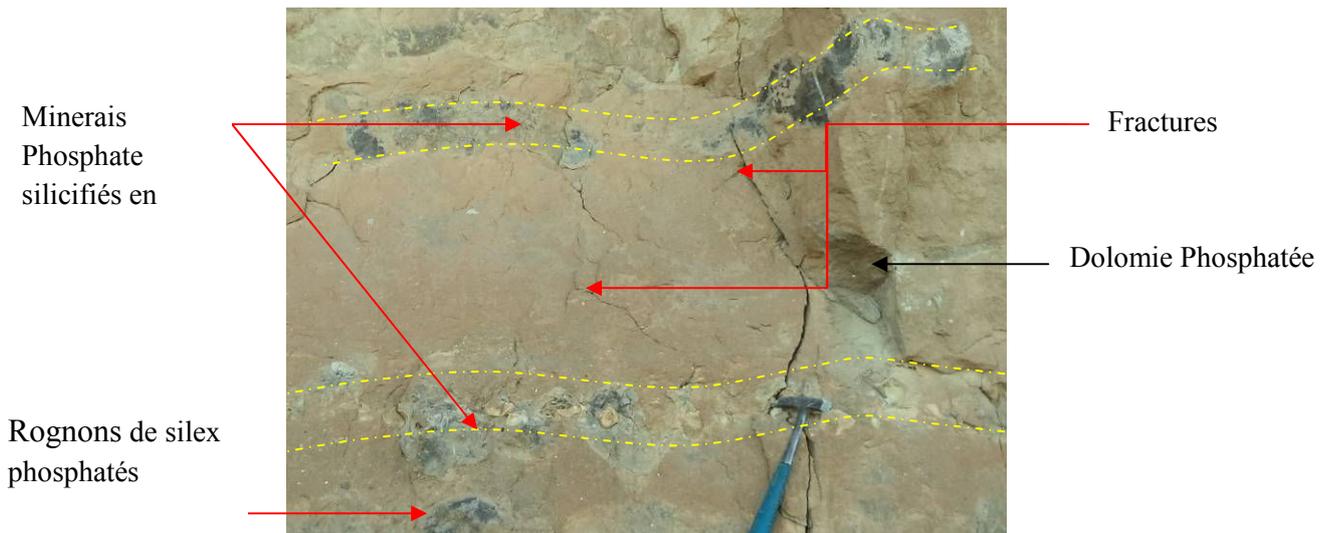


Fig.14: Niveaux de minerais phosphatés noirs et silicifiés.

1.2. Secteur de Djebel Dyr

Le secteur de Djebel Dyr est localisé à 20 Km au nord-est de Tébessa et à 11 Km au nord-ouest du Kouif. Ce secteur est situé dans la feuille 1/50 000 du Morsott. Il s'agit d'un synclinal perché orienté NNE-SSW qui représente l'éocène inférieur. L'affleurement de Djebel Tazabent représente la continuité du plissement de Djebel Dyr Tazbent (Blès et Fleury, 1970). Les minéralisations phosphatées qui ont été découvertes en 1883 ont fait l'objet d'une exploitation. Les ressources sont faibles et elles ne dépassent pas dix (10) millions de tonnes.

1.2.1. Description des faciès

La synthèse de la géologie de Djebel Dyr est résumée dans la coupe synthétique (Blayac, 1894) figure 15. Le découpage biostratigraphique proposé par Dussert (1924) qui attribue un âge Paléocène-Eocène. Cette coupe de synthèse nous a permis de décrire les formations géologiques de Djebel Dyr.

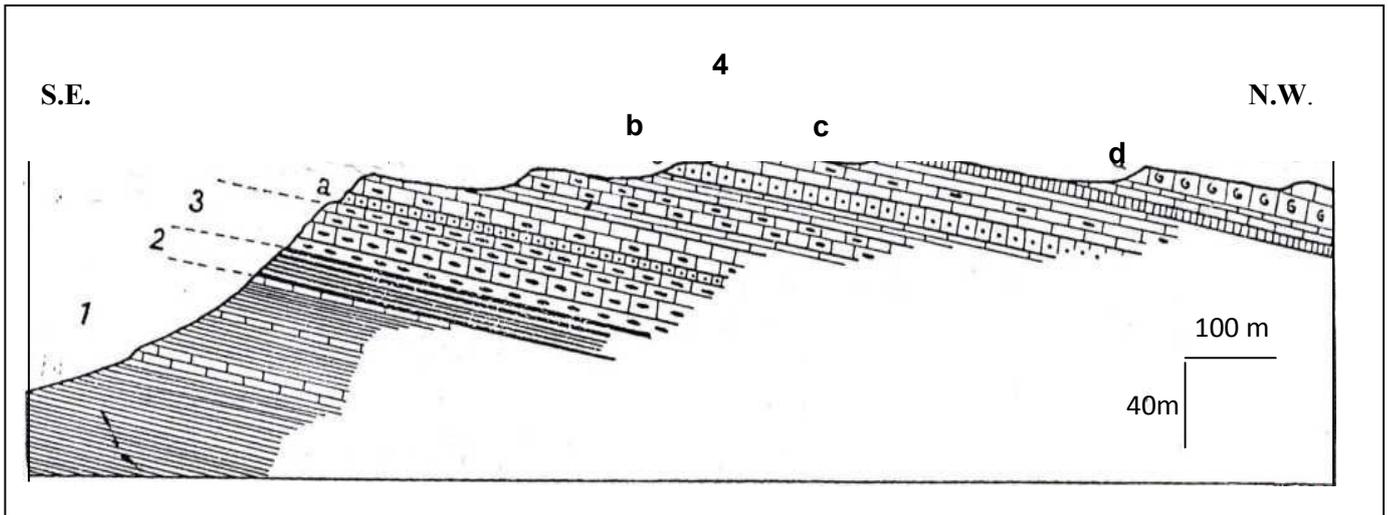


Fig. 15 : Coupe géologique schématique de Djebel Dyr (D'après Blayac, 1894).

Légende de la coupe

1. marne noirâtre ou brunâtre, légèrement gypsifère avec des intercalations marno-calcaires. L'épaisseur de totale de ces marnes est de l'ordre de 300 m. Notant la présence de quelques passages argileux renfermant des très minces niveaux de minerais de phosphates argileux.
2. formation phosphatée intercalée par des calcaires marneux. Au total six bancs de phosphate ont été mis en évidence. L'épaisseur totale de la formation phosphatée est d'environ 13 m.
3. calcaire marneux à silex dans lesquels on peut distinguer : a) calcaire marneux brunâtre d'épaisseur de 5 m. b) calcaire marneux plus claire d'environ 20 m d'épaisseur.
4. calcaire en gros bancs (0.5 à 1 m) à silex et à nummulites à la base qui passe à des calcaires massifs où l'épaisseur peut dépasser 60 m vers le sommet.

1.2.2. Pétrologie

La structure de des niveaux de minerais de phosphate dans l'affleurement de Dj. Dyr est simple. Elle est tabulaire comme celle d'El Kouif. Nous présentons ici, une description des faciès en se basant sur l'affleurement localisé à Kef B. Ahmed B. Yahya (*Cette toponymie est prise de la carte géologique 1/50 000*), qui se trouve au flanc sud-est de Dj. Dyr dont les coordonnées géographiques sont: Longitude N : 35°, 31'42.24" ; Latitude E : 8°, 11', 42" (cf.

Fig. 8 et Fig. 16). L'affleurement montre des bancs de l'encaissant et des niveaux de minerais de phosphate qui s'alternent d'une à faible pendage ($<5^\circ$) dans la direction NNW.



Fig. 16 : Localisation des niveaux de minerais étudiés à Djebel Dyr (Tébessa Nord) et profil d'échantillonnage.

Cet affleurement a fait l'objet d'un échantillonnage. Il montre une prédominance des faciès carbonatés par rapports aux minerais de phosphates (Fig. 17). La lithologie est représentée par des calcaires, des dolomies et des marnes pour l'encaissant des niveaux des minerais phosphatées. Ces niveaux ont des épaisseurs d'ordre centimétriques à décimétriques en concordances avec les bancs de calcaires et de dolomies.

L'épaisseur des niveaux de minerais de phosphates avec les encaissants est de 34 m. A la base, marnes et des argiles du Paléocène inférieur représentent le mur, tandis que les calcaires nummulitiques d'âge Lutétien inférieur (Flandrin, 1948 ; Bles et Fleury, 1970) représentent la l'encaissant du toit.

Les minerais de phosphates montrent plusieurs faciès en fonction de la taille des grains et la nature du liant. Du bas en haut, on distingue les faciès suivants:

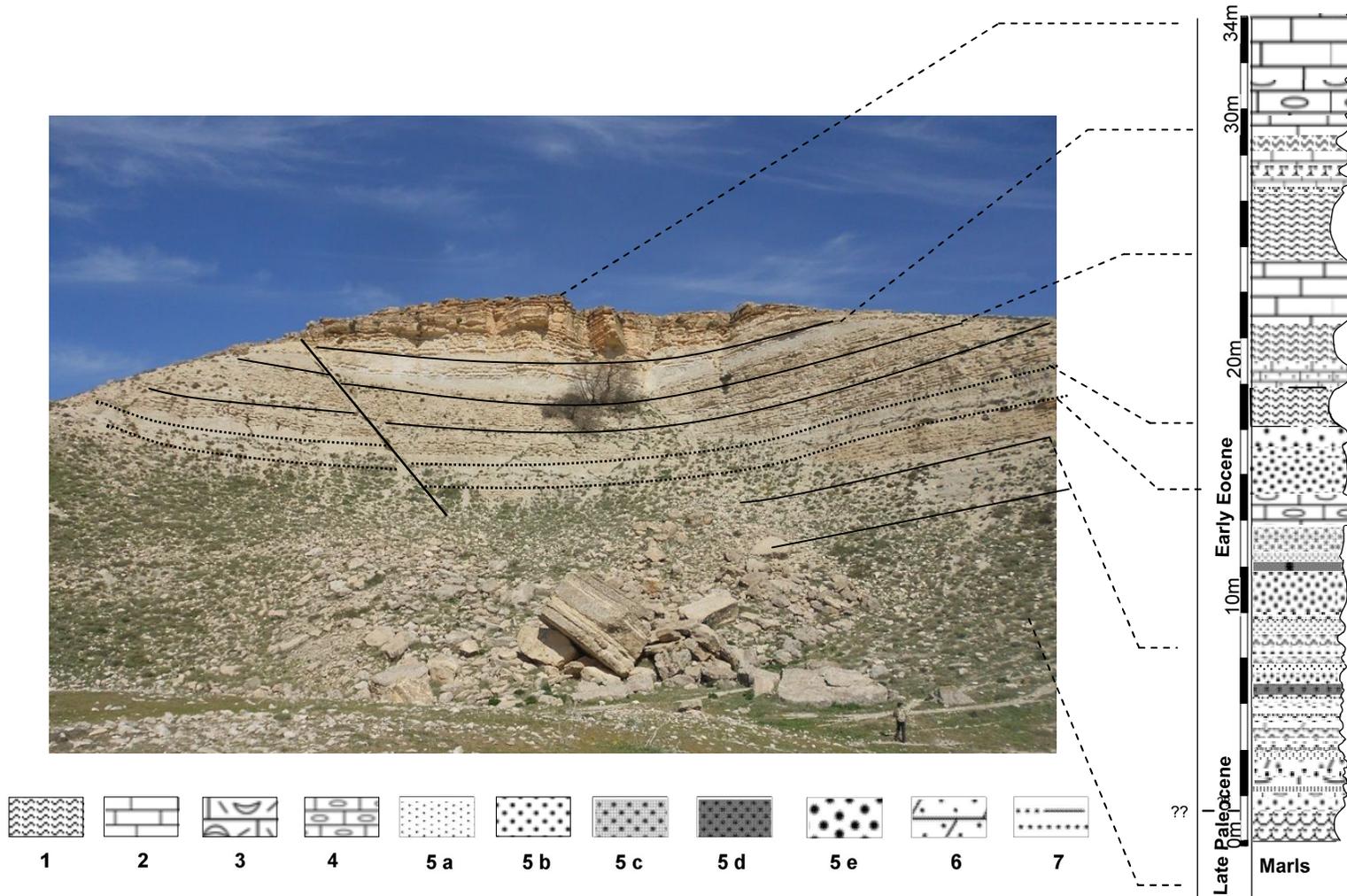


Fig. 17 : Localisation et lithologie d’affleurement de Jebel Dyr (Tébessa Nord).

(1 – marne; 2 – calcaire; 3 – calcaire lumachellique; 4 – calcaire à silex; 5a – minerais de phosphate à grains fins; 5b – minerai de phosphate à grains moyens ; 5c – minerai de phosphate argileuse; 5d – minerai de phosphate noire à silex; 5e: minerai de phosphate à grains grossiers; 6 – minerai de phosphate dolomitique; 7 – minerai de phosphate marneuse).

- Minerais de phosphates argileux ;
- Marnes phosphatées;
- Minerais de phosphates marneux à grains fins ;
- Minerais de phosphates silicifiés.

Minerais de phosphates argileux

Ce faciès est caractérisé par une couleur noirâtre avec une matrice argileuse. Les particules phosphatées sont plus ou moins bien calibrées où taille des grains est inférieure à 0.5 mm. L'abondance de la matrice argileuse par rapport aux particules rend la distinction difficile de ce type de faciès phosphaté aux argiles sur le terrain. L'épaisseur apparente est de 40 cm (Fig. 18).

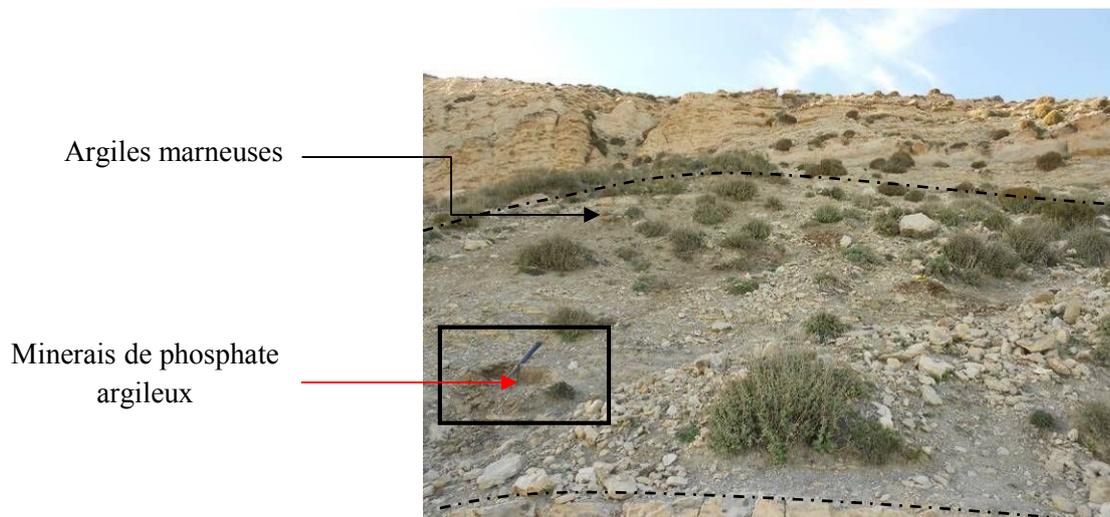


Fig. 18 : Faciès de minerais de phosphates argileux à Dj. Dyr.
Les argiles marneuses à la base montrent de très minces niveaux de minerais d'argileux

Marnes phosphatées

Il s'agit des marnes qui renferment des particules phosphatées très fines. L'abondance de la matrice marneuse par rapport aux particules (grains phosphatés, lithoclastes et bioclastes) nous a conduits à cette nomenclature de marne phosphatée. Ce faciès est caractérisé par une couleur bleu claire. Les épaisseurs de ces niveaux peuvent atteindre 1 m. Ils sont aussi rencontrés dans les dolomies à silex. Les rognons de silex concordants à la

stratification sont fréquents. Ces marnes phosphatées deviennent très argileuses vers la base (Fig. 19).



Fig. 19 : Marnes phosphatées.

Minerais de phosphates marneux à grains fins

Ce type de minerais de phosphate est le plus fréquent à Djebel Dyr. La puissance de ces niveaux renfermant ce faciès peut dépasser 1 m par endroits. Il est caractérisé par une granulométrie fine qui ne dépasse pas 0.25 mm. La matrice en prédominance, des grains phosphatés est marneuse de couleur grisâtre. Ce minerai renferme aussi, des lithoclastes et des particules bioclastiques tels que les dents des poissons, les débris osseux (Fig. 20).



Fig. 20 : Minerai de phosphate marneux à grains fins.

Minerais de phosphates silicifiés

Ce type de faciès se présente en deux niveaux centimétriques qui surmontent les minerais de phosphates marneux à grains fins. Il est de couleur noirâtre, dure où les particules phosphatées sont cimentés par un ciment silicifié (Fig. 21).



Fig. 21 : Minerais de phosphates silicifiés.

1.3. Secteur de Tazbant

Le Djebel Tazbant est localisé à 10 km au sud-est de la wilaya de Tébessa et à quelques kilomètres de Youkous. Il est situé au nord-est du plateau de Chéria et il culmine à environ 1300 m d'altitude.

1.3.1. Description des faciès

Le Djebel Tazbant apparait comme un affleurement montagneux d'âge Paléocène-Eocène. Ses formations et sa structure ressemble à celles du Dj Dyr et d'El Kouif au nord de Tébessa. En effet, il renferme des minces niveaux phosphatés. La structure de cet affleurement est simple où l'ensemble des couches et des niveaux de présente d'une manière tabulaire (Fig. 22).

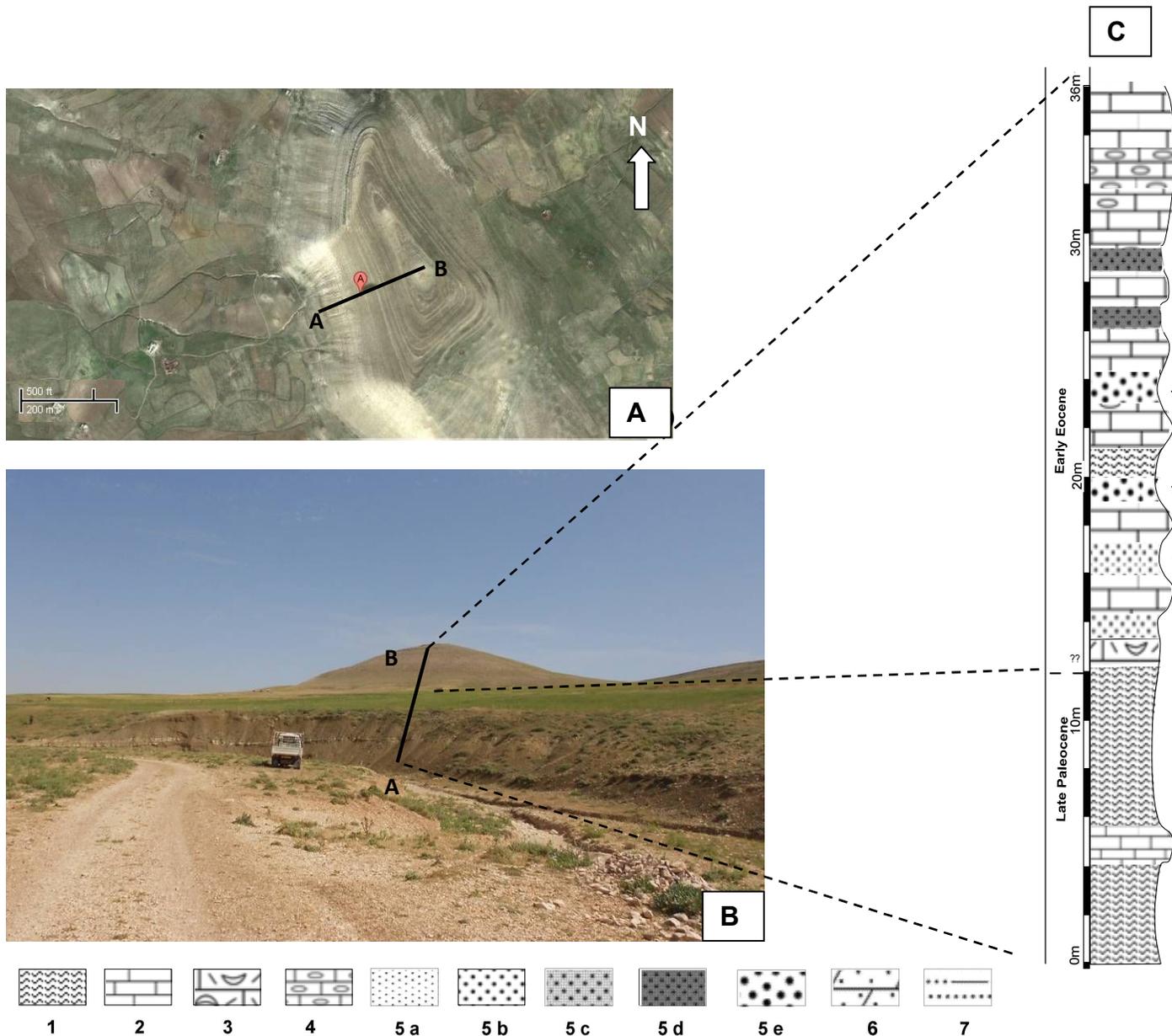


Fig. 22: Vue satellitaire (A), panoramique (B) et log lithologique schématique de Djebel Tazbent(C).
 (1– marne; 2 – calcaire; 3 – calcaire lumachellique; 4 – calcaire à silex; 5a – minerais de phosphate à grains fins; 5b – minerais de phosphate à grains moyens ; 5c – minerais de phosphate argileuse; 5d – minerais de phosphate noire à silex; 5e: minerais de phosphate à grains grossiers; 6 – minerais de phosphate dolomitique; 7 – minerais de phosphate marneuse).

Vue les conditions de terrain et le recouvrement par des alluvions qui rendre difficile l'identification des limites entre les couches et les niveaux d'une part et l'estimation des épaisseurs d'autre part.

Nous présentons ci-dessous, les faciès lithologiques rencontrés brièvement. Du bas en haut on distingue selon l'ordre d'apparition (Fig. 22) :

Facies de l'encaissant du mur

Les marnes

Ce sont des marnes grisâtres feuilletées, présentant parfois des plaquettes gypseuses admettant le passage des niveaux centimétriques de calcaire dure, de couleur beige. L'épaisseur de cette couche est de 10 m et elle représente la base de l'affleurement qui repose directement sur le plateau de Tazbant.

Calcaires à huitre

Ce faciès affleure dans quelques passages, où les calcaires renferment des coquilles et des débris des huitres de diamètre de 3 à 8 m qui représentent la quasi-totalité de ce faciès.

Marne argileuse

Il s'agit d'une marne argileuse tendre de couleur grisâtre, intercalée parfois, avec des calcaires marneux plus ou moins tendres. La fréquence des passages de calcaires à huitre se diminue jusqu'à la disparation.

Calcaire à rognions de silex

Ce faciès est représenté par des calcaires durs renfermant des rognions de silex concordants avec la stratification. Ce faciès est légèrement phosphaté, se présentant en bancs d'épaisseur variant de 1 à 2 m.

Facies de minerai des phosphates

Les minerais phosphatés se présentent en niveaux centimétriques. D'une manière générale, du bas en haut, nous rencontrons les faciès suivants :

- Minerais de phosphates noirs, tendres, légèrement friables à granulométrie fine. Les grains sont cimentés par un liant de nature argilo-carbonatée.
- des niveaux de minerais de phosphates noirs très durs à ciment silico-carbonaté d'épaisseur de 50 cm. Ce sont les phosphates silicifiés.

Facies de l'encaissant du toit

Le toit des minerais de phosphates est caractérisé par la présence des niveaux décimétriques de calcaires à silex. Le silex est très abondant formant des rognions concordants à la stratification. Ces niveaux sont surmontés par des calcaires massifs microcristallins, durs de couleurs beiges qui alternent des niveaux de silex.

1.3.2. Pétrologie

Les faciès des minerais phosphatés rencontrés à Djebel Tazbant sont très comparables à ceux du Djebel Dyr et d'El Kouif. Cependant, l'épaisseur des niveaux est réduite. Nous constatons la présence des faciès suivants :

- Marnes phosphatées ;
- Minerais de phosphates argileux beiges ;
- Minerais de phosphates noirs argileux ;
- Minerais de phosphates noirs silicifiés.

Marnes phosphatées

C'est un faciès rencontré à la base du Djebel Tazbant marquant la transition entre les marnes de la base (Faciès 1) et les formations lumachelliques. Ce sont des marnes en

plaquettes manifestant deux couleurs l'une est brune et l'autre est grise. Ces marnes sont légèrement phosphatées (Fig. 23).



Fig. 23 : Marnes phosphatées de Dj. Tazbant.

Minerais de phosphates argileux beiges

Ce faciès a une couleur beige. Il se présente en niveaux dont l'épaisseur est de 10 à 20 cm. C'est un faciès sableux avec des grains fins, très friable grâce à la matrice argileuse qui devient parfois marneuse. Ce faciès est le plus répandu dans cet affleurement. Nous suggérons l'existence de plusieurs niveaux cachés par les éboulis de pente et les formations quaternaires (Fig. 24).

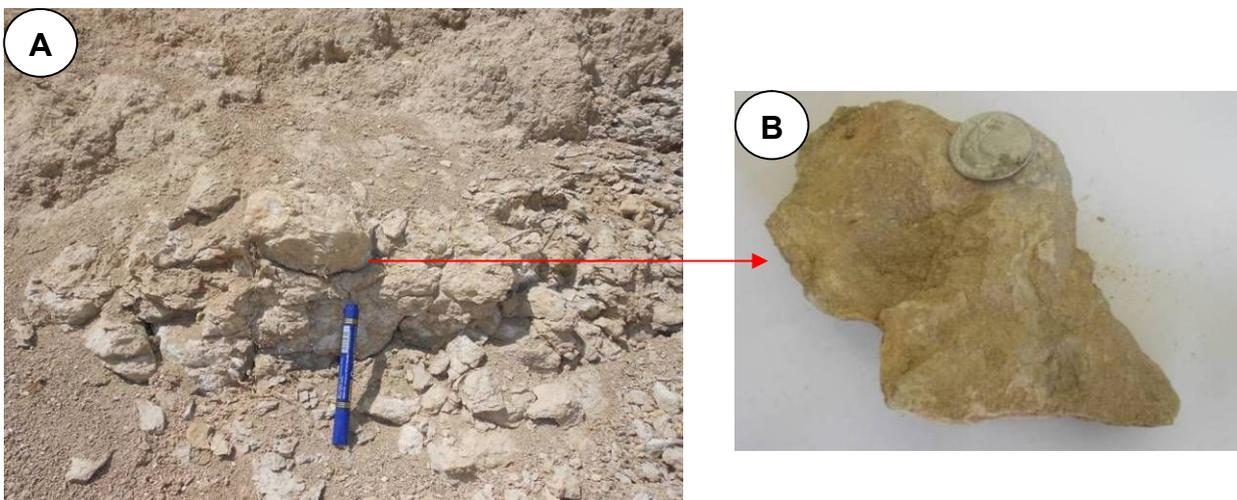


Fig. 24: Minerais de phosphates beiges argileux.
(A): affleurement du faciès à azbant ; (B) : échantillon prélevés de cet affleurement.

Minerais de phosphates argileux noirs

C'est un faciès, moins répandu, qui existe en niveaux centimétriques. Il s'agit d'un minéral de phosphate argileux de couleur noirâtre à cause de la présence de la matière organique. Ceci rend ce faciès friable et très vulnérable à l'érosion (Fig. 25).



Fig. 25: Minerais de phosphates noirs argileux.

Minerais de phosphates noirs silicifiés

Ce faciès est comme tous les affleurements des minerais de phosphates à Tébessa Nord. Il se trouve dans les termes supérieurs sous forme de niveaux concordants au sens de la stratification. Il s'agit du minéral de phosphate noir dont le ciment est siliceux (calcédoine). Les particules phosphatées sont visibles à l'œil nu (Fig. 26).

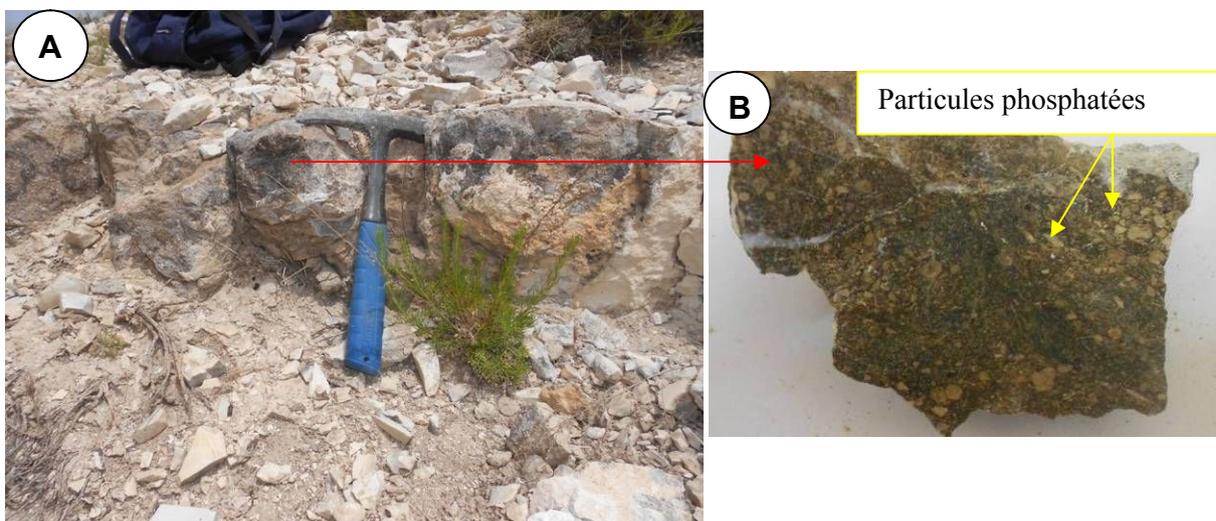


Fig. 26: Minerais de phosphates noirs silicifiés.
(A) : niveau de minerais de phosphate silicifié ; (B) : Échantillon montrant les particules phosphatées.

2. Géologie des affleurements de Kef essenoun (Tébessa Sud)

Le gisement de Kef essenoun qui fait partie du bassin minier de Djebel Onk (Tébessa Sud), a été pris en considération, pour effectuer une comparaison avec les minéralisations phosphatées de Tébessa Nord (Cf. Fig. 8). En effet, la région de Djebel Onk se présente sous forme d'un massif calcaireux de longueur de 20 Km avec une largeur de 3 Km où il culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Il est caractérisé par des ailles dans leurs flancs orientés N80°E (Parian et Cortiel, 1993). Au total cinq (5) gisements ont été mis en évidence dans ce bassin à savoir :

- Gisement de Djemi-Djema ;
- Gisement de Djebel Onk Nord ;
- Gisement de Bled Hadba ;
- Gisement d'Oued Bétita ;
- Gisement de Kef Essenoun.

Le secteur de Kef essenoun est situé sur le flanc méridional de l'anticlinal de Dj. Onk, à environ neuf (9) Km vers le sud-ouest de la ville de Bir El Ater (Tébessa Sud). Ce secteur qui est en cours d'exploitation à ciel ouvert pour les minerais de phosphate, a fait l'objet d'un échantillonnage aux flancs des gradins, nous présentons ci-dessous brièvement la géologie du gisement ainsi que la description des faciès des minerais de phosphates.

2.1. Description des faciès

La stratigraphie du gisement de Kef essenoun a été précisée d'avantage grâce aux travaux d'exploration effectués par l'Entreprise National du Recherche Minière (EREM), en particulier ceux réalisés par Ranchin (1963) ; Cielensky et Benchernine (1987). Dans ce gisement. Le Thanétien qui est l'horizon porteur de la minéralisation phosphatée qui est bien

développé à Kef essenoun. Il est subdivisé en deux étages: le Thanétien inférieur et le Thanétien supérieur (Visse, 1951).

- **Le Thanétien inférieur**

Il est représenté par une série marneuse à intercalations irrégulières de calcaire. Il se débite en plaquettes marneuses fines de couleur grise foncée. La partie inférieure est caractérisée par la présence d'un niveau conglomératique à *Gastéropodes* avec des minces passées phosphatées. Dans la partie sommitale, les phosphates se présentent en intercalations dont l'épaisseur peut dépasser 1 m avec des calcaires lumachelliques à *Gastéropodes*. Les marnes ont une épaisseur de 30 à 40 m.

- **Le Thanétien supérieur**

Il est représenté par une couche de phosphate de couleur grise, gris foncé ou brune ; souvent rattachée à formation Chouabine (Chabou-Mostfai, 1987).

Le gîte de Kef essenoun constitue une table monoclinale à pendage régulier et faible vers le sud (5 à 10°). Les dressants de Kef essenoun correspondent à la zone de flexure-faille du flanc inverse de la mégastucture antiforme, ou du flanc nord de la structure synforme. Les dressants sont allongés N75°E où la couche phosphatée qui affleure est sub-verticale ou fortement inclinée vers le sud-est ou le nord-ouest (Cilensky et Benchemine, 1987).

Le faisceau phosphaté du Thanétien supérieur du gisement de Kef essenoun est comme tout le faisceau du phosphate de Dj. Onk, constitué de la superposition de trois (3) sous-couches ; du bas en haut ont distingué (Prian et Cortiel, 1993) (Fig. 27 et 28):

La couche basale

Cette couche est constituée par deux minces niveaux de minerais phosphatés qui s'intercalent des marnes. Le passage à la couche principale, sus-jacente, peut être marqué par un banc de dolomie grise de 40 cm. Ces alternances de minerais phosphatés sont de faibles

épaisseurs (0 à 4 m) avec une moyenne de 1,25 m. ces alternances présentent des faibles teneurs en P_2O_5 (13 à 15%) et de forte teneurs en MgO (8 à 10%).

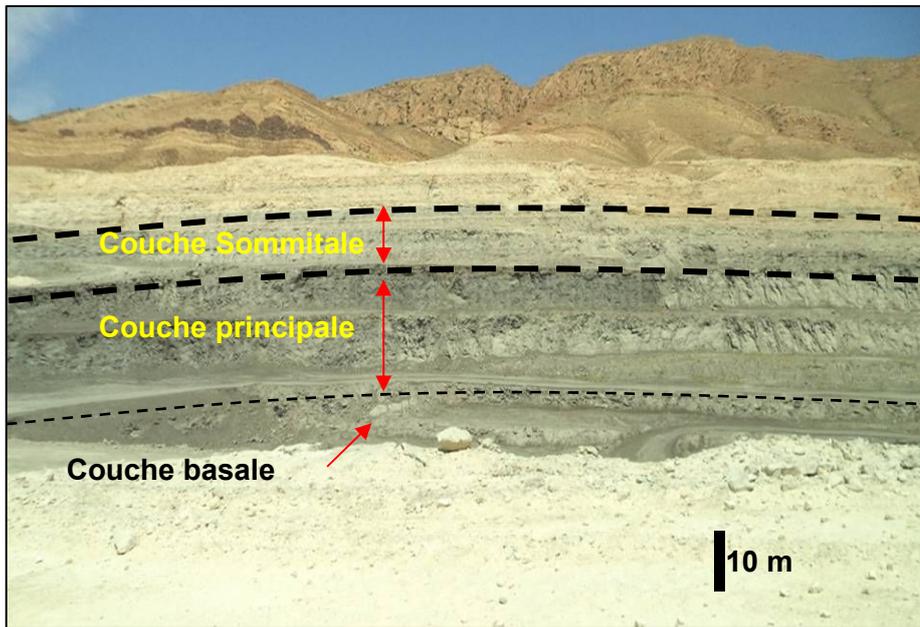


Fig. 27 : Gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

<u>Age et épaisseur</u>	<u>Log</u>	<u>Ech.</u>	<u>Faciès.</u>
<p>Eocène inférieur</p> <p>4-6 m Couche Sommitale</p> <p>25 m to 30 m Couche principale</p> <p>2 m Couche basale</p> <p>Paléocène supérieur (Thanétien Supérieur)</p>		<p>☆</p> <p>☆</p> <p>☆</p> <p>☆</p> <p>☆</p> <p>☆</p>	<p>Couche sommitale : Phosphate dolomitique très dure renfermant des niveaux silicifié</p> <p>Couche principale : Phosphate noir et beige, friable, très riche en grains phosphatés, renfermant parfois la glauconie.</p> <p>Couche basale : Phosphate noir marneux à faible fréquence des grains phosphatés.</p>

Fig. 28: Log lithologique du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

La couche principale

Cette couche a une épaisseur d'environ 25 à 30 m, constituée par des minerais de phosphates à faibles intercalations des niveaux marno-calcaires et dolomitique. Cette couche est caractérisée par des teneurs élevées en P_2O_5 qui peuvent dépasser 30 % et de faibles teneurs en MgO (<5 %). Elle représente l'horizon exploitable dans tous les gisements de Djebel Onk.

La couche sommitale

Cette couche de dolomie phosphatée a une épaisseur qui varie de 1 à 10 m, (moyenne = 3 m). Elle est caractérisée par une faible teneur en P_2O_5 (< 18 %) et de fortes teneurs en MgO (6 à 11%). Les teneurs de SiO_2 peuvent atteindre 6 %. Les phosphates de cette couche sont très durs, bien cimentés, de couleur grise noire, à granulométrie hétérogène où les grains sont généralement coprolithiques. Cette couche renferme des niveaux silicifiés au sommet.

2.2. Pétrologie

Vu les conditions d'accessibilité sur terrain, l'échantillonnage s'est concentré uniquement sur les couches : sommitale et principale. L'examen des échantillons sous la loupe binoculaire a montré l'existence des types de minerais de phosphates suivants : beiges et noirs pour la couche principale, dolomitiques et noirs silicifiés pour la couche sommitale.

Phosphates beiges

C'est un faciès friable à aspect sableux. Il est caractérisé par un ciment carbonaté parfois argileux. Il est pauvre en matière organique et riche en grains phosphatés. Ces grains sont plus ou moins, bien calibrés avec une taille moyenne est de 0.25 mm (Planche 2-C). Les pellets et les coprolithes sont « émoussé luisant » montrant un lissage qui indique que le transport de ces particules (remaniements) est long (Planche 2-C). Ce phosphate renferme

aussi de la glauconie qui montre un couleur verdâtre indiquant le confinement du milieu (Planche 2-D).

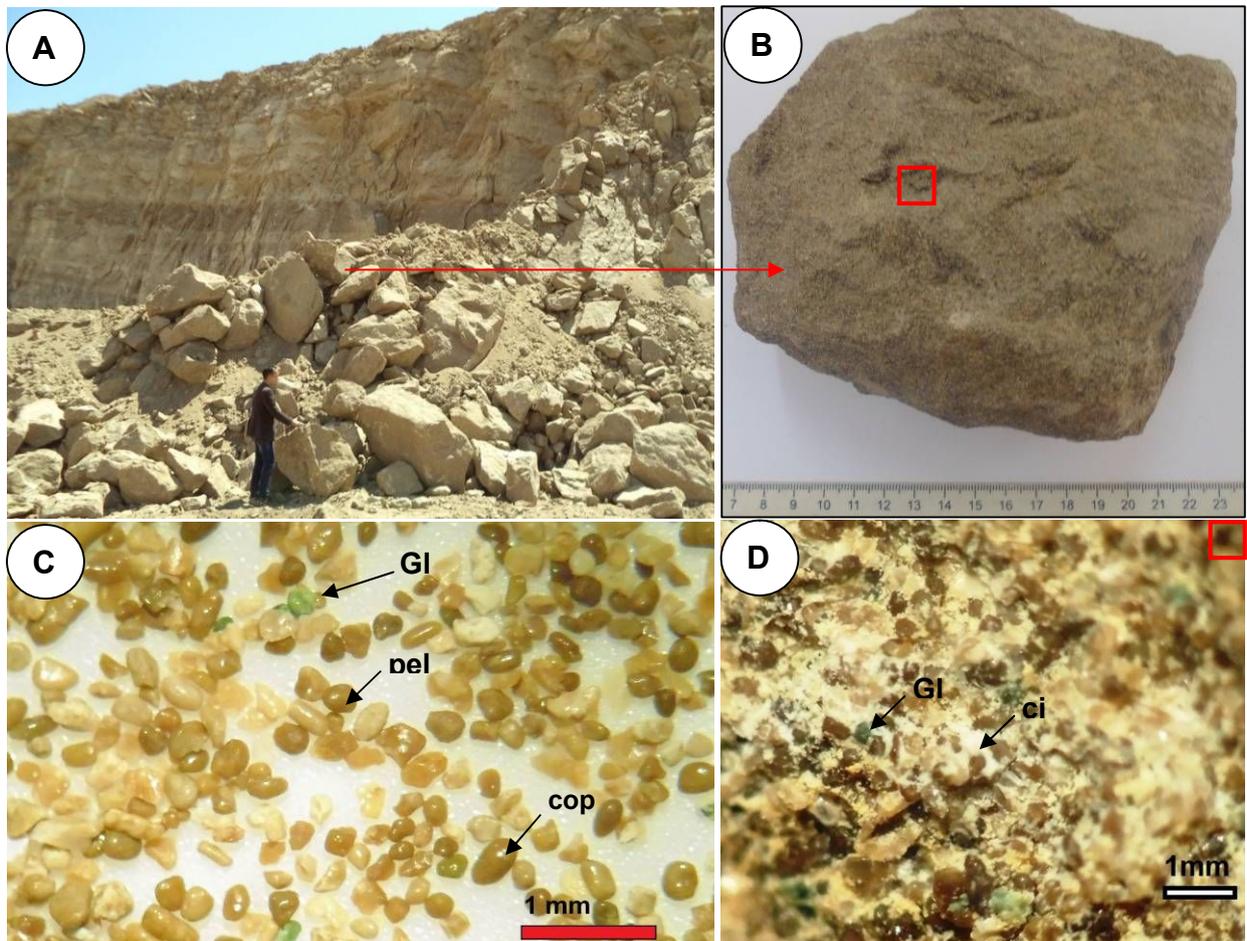


Planche. 2 : Minerais de phosphates beiges de la couche principale.

(A) : affleurement du minerai de phosphate beige au niveau de la carrière de Kef essenoun.

(B) : échantillon prélevé à partir de ce faciès.

(C) : particules phosphatées séparées du ciment/matrice montrant une morphologie lisse des coprolithes (cop) et des pellets (pel). La glauconie (gl) de taille de 0.2 mm de couleur verdâtre.

(D) : grossissement sous la loupe binoculaire montrant des grains cimenté par un ciment dolomitique et des grains de glauconie de couleur verdâtre.

Minerais de Phosphates noirs

Ce faciès de minerai de phosphate est caractérisé par sa couleur noirâtre et sa richesse en matière organique. Il est friable à cause de la matrice argileuse (Planche. 3-A; B). Nous constatons l'existence des pellets arrondis et des coprolithes. Généralement, la granulométrie est légèrement homogène (0.2 mm à 0.3 mm) où les particules montrent un lissage des parois

reflétant un aspect poli brillant et luisant des surfaces. Il s'agit de grains « émoussés luisants » qui indiquent un long transport (Planche. 3-C). Les dents de poissons sont aussi rencontrées avec de la glauconie, qui se présente en grains verdâtres. L'abondance de la glauconie dans ce faciès par rapport aux autres faciès est expliquée probablement, par le confinement du milieu de dépôt.

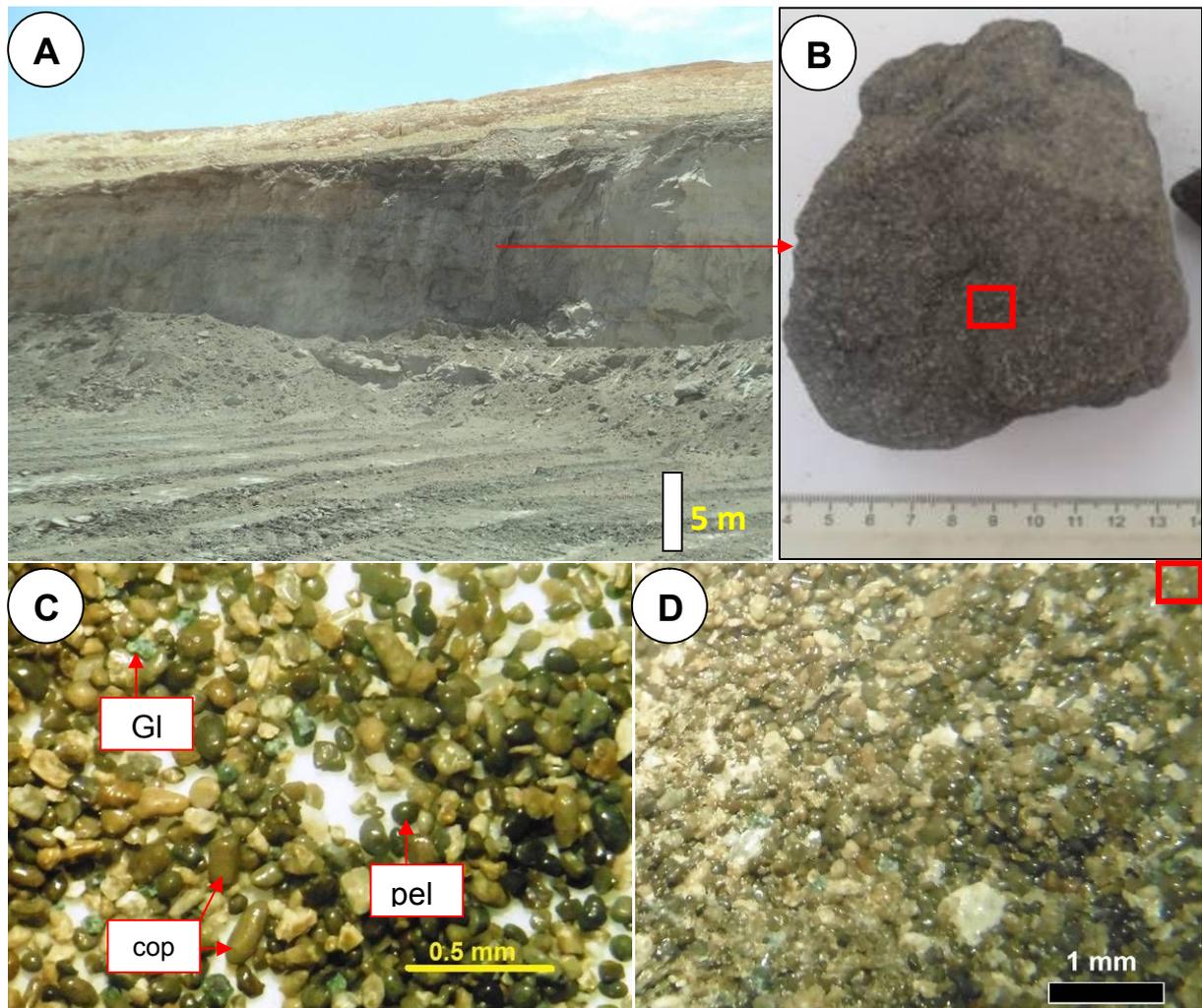


Planche. 3 : Minerais de phosphates noirs de la couche principale.

(A) : affleurement des minerais de phosphates noirs.

(B) : échantillon prélevé à partir de ce faciès.

(C) : grains phosphatés (pel : pellets ; coprolithes : cop) séparés du ciment/matrice montrant une morphologie lisse « émoussés luisants » en présence de la glauconie (GI).

(D) : grossissement sous la loupe binoculaire montrant la fréquence élevée des grains par rapport le ciment.

Minerais de phosphates noirs silicifiés

Ce faciès est généralement rencontré dans la couche sommitale. Il est associé avec les rognons de silex concordant au sens de la stratification. Les grains phosphatés sont généralement représentés par des coprolithes dont la taille peut dépasser 1 mm. Une hétérogénéité de la granulométrie est observée (Fig. 29).

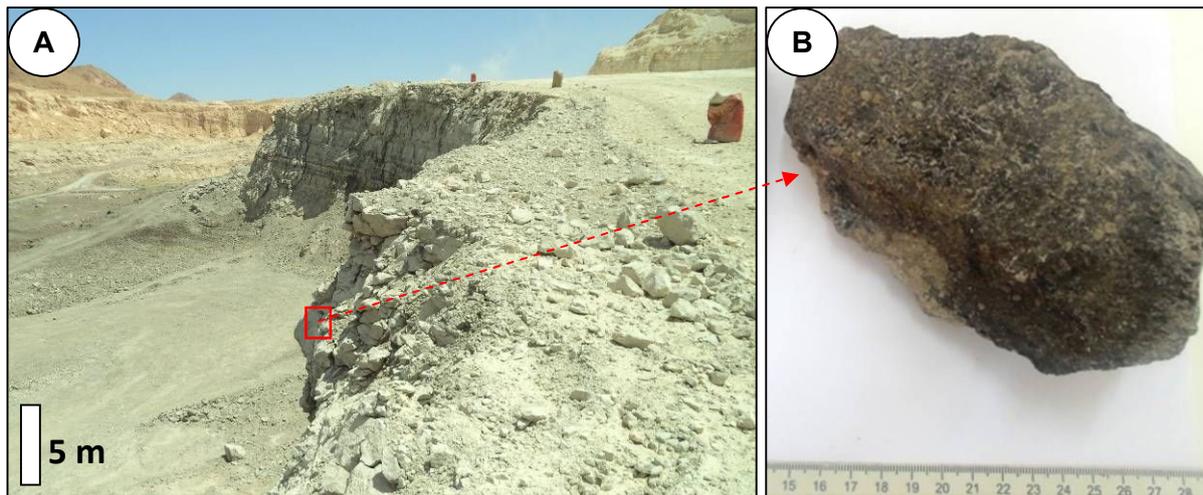


Fig. 29 : Minerais de phosphates noirs.

(A): niveaux de minerais de phosphates noirs silicifiés ; (B) : échantillon montrant le faciès de minerai de phosphate noir silicifié.

Minerais de phosphates dolomitiques

Les minerais de phosphates dolomitiques sont très répandus dans la couche sommitale. Ils sont caractérisés par l'abondance du ciment dolomitique par rapport les grains phosphatés, ce qui rend ce faciès dur et compact (Fig. 30-B). Les grains phosphatés montrent des taches indiquant le contact entre les particules phosphatées (Fig. 30-C). La morphologie et la préservation des cicatrices sur les parois qui sont dépolis et qui reflètent un court trajet de transport.

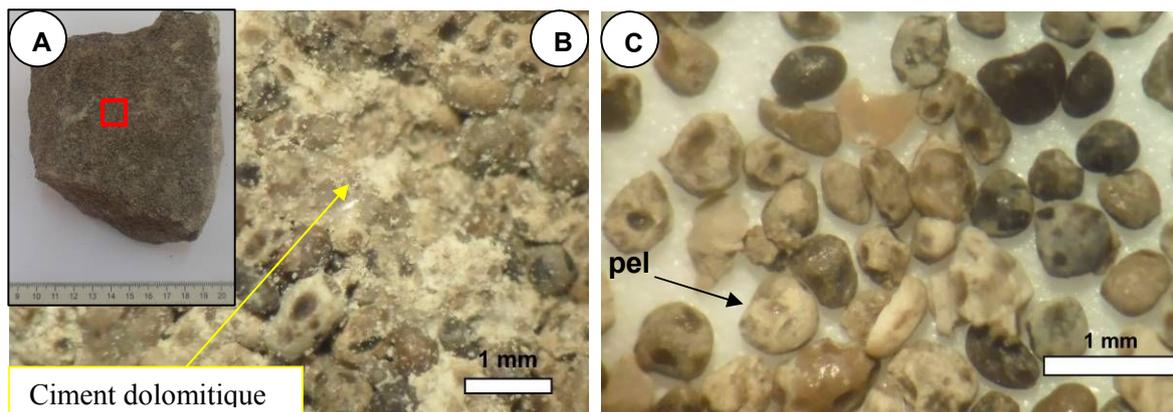


Fig. 30 : Mineraisde phosphates dolomitiques (**pel**) : Pellet.

(A) : échantillon; (B) : grossissement sous la loupe binoculaire montrant des particules bien cimentées avec un caractère dur à cause l'abondance du ciment dolomitique ; (C) : grains phosphatés montrant des taches qui indiquent le contact entre les grains.

3. Pétrographie des minerais phosphatés

Les phosphates représentent une classe parmi les roches sédimentaires. Ce sont des roches exogènes contenant une grande quantité de minéraux phosphatés. Les roches phosphatées sont définies par le type de minéral, la texture, la nature du liant ciment / matrice. Ces phosphates sont classés aussi selon la présence et la taille des d'éléments figurés. D'une manière générale, quatre variétés pétrographiques de phosphates sont distinguées : (1) en grains, (2) en débris, (3) en nodules et (4) en ciment (Vatan, 1967). En Algérie, les minerais de phosphates en grains sont les plus répandus.

3.1. Confection des lames minces

L'étude pétrographique a été effectuée à l'aide de l'examen microscopique sur des lames minces. La réalisation de ces lames sur les phosphates nécessite une préparation particulière à cause leur friabilité dans la plupart des cas. Une induration de l'échantillon est donc nécessaire, afin de pouvoir procéder au découpage, polissage et collage. La méthode

utilisée dans notre cas est celle de l'induration des roches friables par la résine. Les étapes de consolidation des échantillons de phosphates friables sont (Kechiched, 2011) :

Séchage

Les échantillons de phosphates numérotés et orientés sont placés dans une étuve pendant 2 à 3 heures sous une température qui ne dépasse 100°C. Cette opération permet l'élimination de l'humidité.

Imprégnation

Après le séchage, l'échantillon est imprégné par la résine goutte à goutte sous vide, afin d'éliminer les bulles d'aires. Il existe aussi, une autre méthode qui consiste l'imprégnation de l'échantillon qui doit être immergé dans le vernis incolore au lieu d'une résine jusqu'à la sortie des bulles d'aire (Gaine, 1973), en générale. Cette opération s'effectue à l'aire libre pendant 10 minutes ou plus. La proportion de diluant la plus couramment utilisée est de 15 % (Fig. 31). L'avantage du vernis incolore c'est l'efficacité de l'imprégnation par rapport la résine qui fait un film sur l'échantillon.

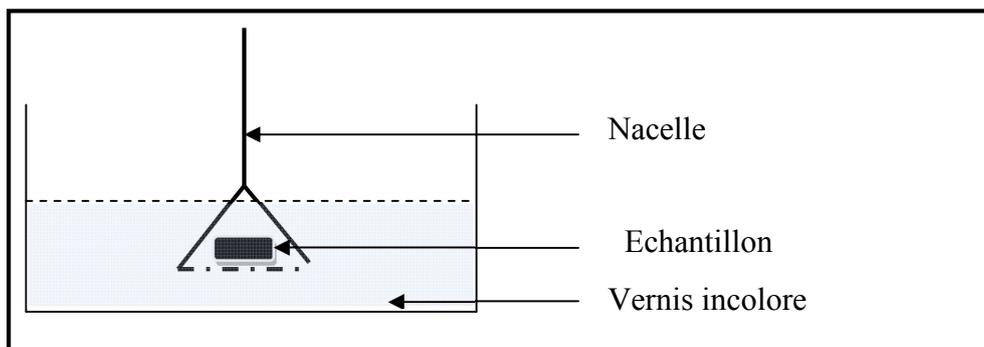


Fig. 31 : Imprégnation des échantillons de phosphate au vernis incolore.

Durcissement

Le durcissement s'effectue à chaud dans l'étuve utilisé pour le séchage où la température est sous 100° C pour éviter la carbonisation de l'échantillon. L'induration se fait en une heure. Il est nécessaire de surveiller l'échantillon au cours de l'induration. Si sa surface s'assèche, il faut tremper à nouveau dans le vernis et recommencer l'opération jusqu'à ce que

l'échantillon reste enduit de vernis. Après la phase de durcissement, l'échantillon peut subir les opérations de préparation classique des lames minces (sciage, polissage, collage ...).

3.2. Critères faciologiques

L'étude pétrographique effectuée sur les lames minces (réalisées au niveau de l'atelier du département de géologie d'Annaba) a permis de décrire et de recenser les éléments figurés avec leurs ciments (matrices). Les résultats de cette étape, vont permettre de suivre l'évolution lithologique verticale et de reconstituer l'environnement de dépôt. Ces lames ont été examinées microscopiquement sous lumière naturelle dite analysée et sous lumière analysée et polarisée. Les éléments figurés rencontrés dans les minerais de phosphates au niveau des secteurs étudiés sont représentés par : les pellets, les coprolithes, la glauconie et les débris organiques.

Pellets

Généralement, toute particule phosphatée dont la taille est comprise entre 50 et 800 μm , est appelée pellet. Ils sont plus au moins arrondis et ils montrent un léger lissage sur leurs surfaces extérieures à cause de l'effet de mobilisation. Les pellets ont une origine fécale et ils proviennent des excréments des poissons (Ben Hassen, 2010). Le transport de ces particules par les courants provoque leur fragmentation et leur roulement.

D'une manière générale la présence des pellets est quasi permanente dans la région de Tébessa avec une prédominance au sud par rapport au nord. Dans ces pellets on note parfois la présence de la matière organique préservée sous forme de tâches noirâtres, au centre des grains où dispersée autour des grains (Planche. 4-A).

Les pellets montrent parfois, des surfaces fracturées, qui peuvent être liées à la compaction à cause puissance des sédiments (Planche. 4-B). Les contours extérieurs des pellets manifestent des auréoles sous l'effet de l'oxydation (Planche. 4-C).

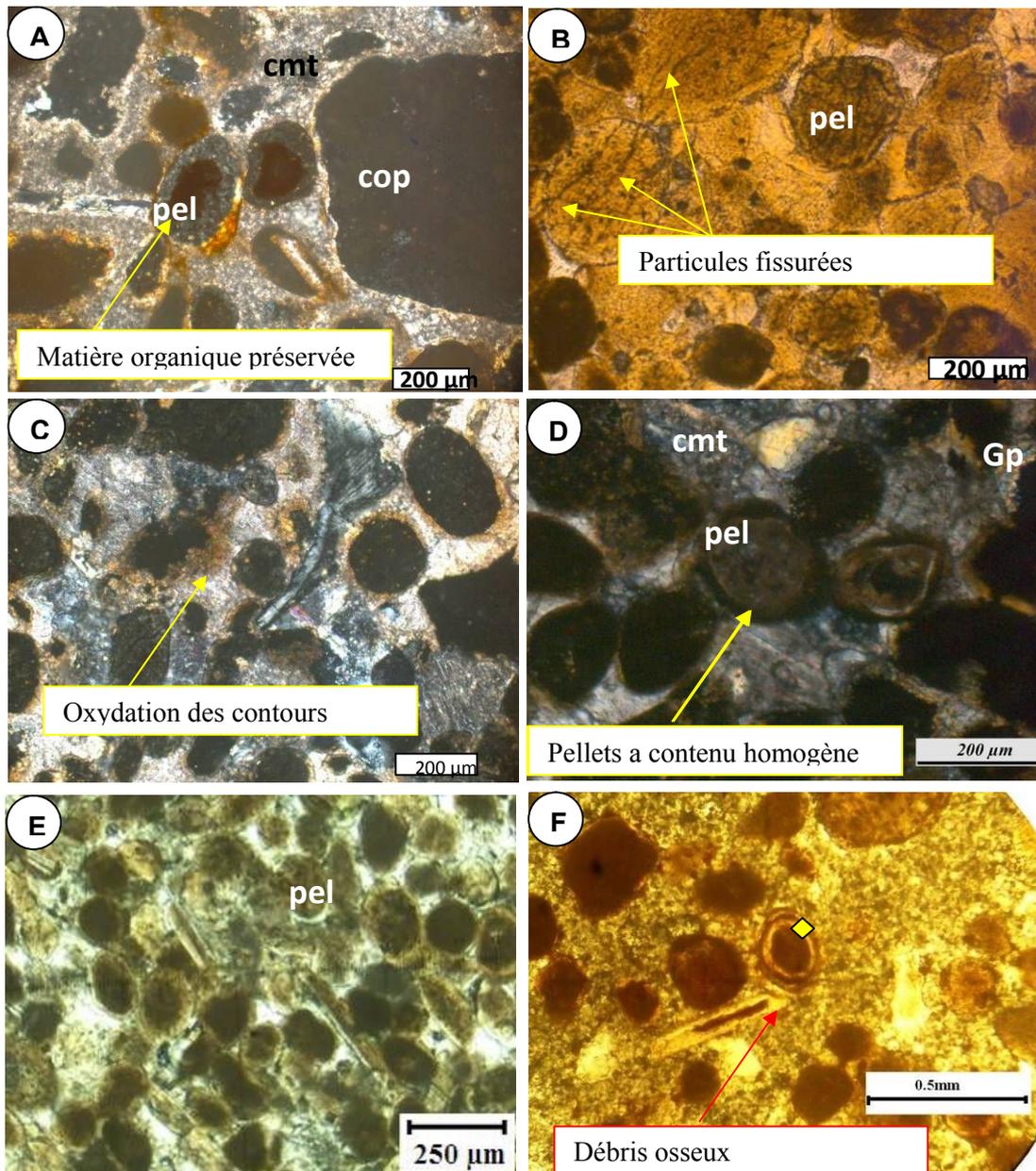


Planche 4. Pellets phosphatés (pel) des différents secteurs étudiés à Tébessa.

- (A) : pellets de tailles (200-300 μm) montrant une préservation de la matière organique de couleur noirâtre au niveau des minerais de phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord).
- (B) : pellets montrant des fractures (échantillon prélevé d'El Kouif - Tébessa Nord).
- (C) : auréoles d'oxydation autour des pellets où leurs contenus sont partiellement dispersés dans le ciment (échantillon prélevé de Dj Dyr - Tébessa Nord)
- (D) : pellets montrant un contenu homogène (échantillon prélevé de Dj. Dyr - Tébessa Nord).
- (E) : pellets de tailles homogènes (50 μm) caractérisant les faciès fins de minerais de phosphates de Tébessa Sud (Kechiched, 2011).
- (F) : pellet montrant une structure concentrique (oolithique) (*losange jaune*) au niveau des minerais de phosphates de Tébessa Sud (Kechiched, 2011).

Il est constaté que certains pellets présentent une structure concentrique (cf. Planche. 4-F), alors que d'autres pellets manifestent un contenu homogène (cf. Planche. 4-D-E). Ces observations ont un lien étroit avec l'origine fécale de ces pellets, les conditions de la mise en place, de sédimentation d'une part et les effets de l'altération superficielle.

Coprolithes

Cette classe regroupe les particules d'origine fécale de taille supérieure à 400 µm et qui peut atteindre plusieurs millimètres (Planche. 5). La forme est souvent cylindrique ou ellipsoïdale. Les coprolithes peuvent se casser facilement lors du transport et ils peuvent être rencontrés dans toutes les fractions granulométriques. Ils ont différentes couleurs, c'est la raison qu'on peut confondre parfois avec les carbonates de l'exo-gangue. Les surfaces des coprolithes ne sont pas homogènes car elles peuvent renfermer d'autres inclusions de minéraux tels que le quartz, la dolomie. (Planche. 5-B). Ces coprolithes manifestent des fractures où des remplissages tardives peuvent avoir lieu (Planche. 5-A ; E).

Les coprolithes peuvent coexister avec les pellets, montrant un mauvais classement. C'est-à-dire différentes populations de particules phosphatées qui s'intègrent en roches phosphatées. Ils sont fréquemment rencontrés dans les phosphates de Tébessa Nord ainsi que dans la couche sommitale de Tébessa Sud.

Glaucanie

La glaucanie a une couleur verdâtre dont la taille est variable de quelques centaines de micromètre à plus de 1 mm (Planche. 6-B). Elle est souvent répartie entre les grains (inter-granulaires). Selon une estimation sur lames minces, le pourcentage de la glaucanie dans les minerais de phosphates, varie d'un faciès à l'autre et elle ne représente que moins de 5 % de l'ensemble des grains dans le minerai de phosphate.

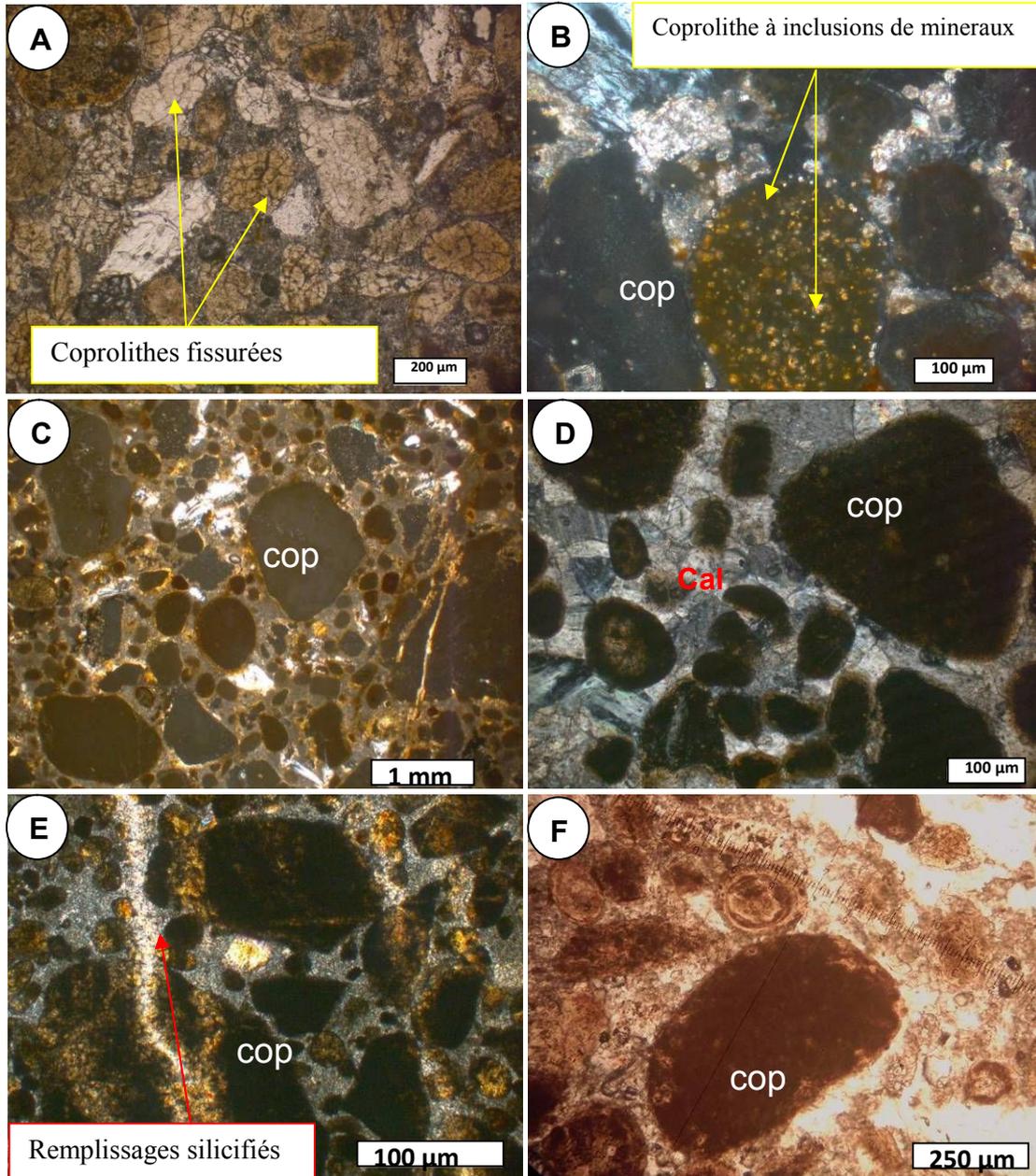


Planche 5. Coprolithes (cop) des différents secteurs. Tébessa Nord : El Kouif (A à C) ; Dj. Dyr (D) ; Tazbant (E) Tébessa Sud : (F).

(A) : coprolithes de tailles de 500 µm montrant des fractures sur les surfaces.

(B) : coprolithes renfermant des inclusions de minéraux en endo-gangue.

(C) : lame mince montrant un mauvais classement des particules où les particules ont différentes formes et tailles.

(D) : coprolithe (cop) de taille dépassant 500µm montrant un contenu homogène, les particules sont cimentées par la calcite (cal).

(E) : remplissages tardives des fractures.

(F) : coprolithe (cop) de taille dépassant 500 µm (échantillon prélevé du minerai de phosphate de Tébessa Sud).

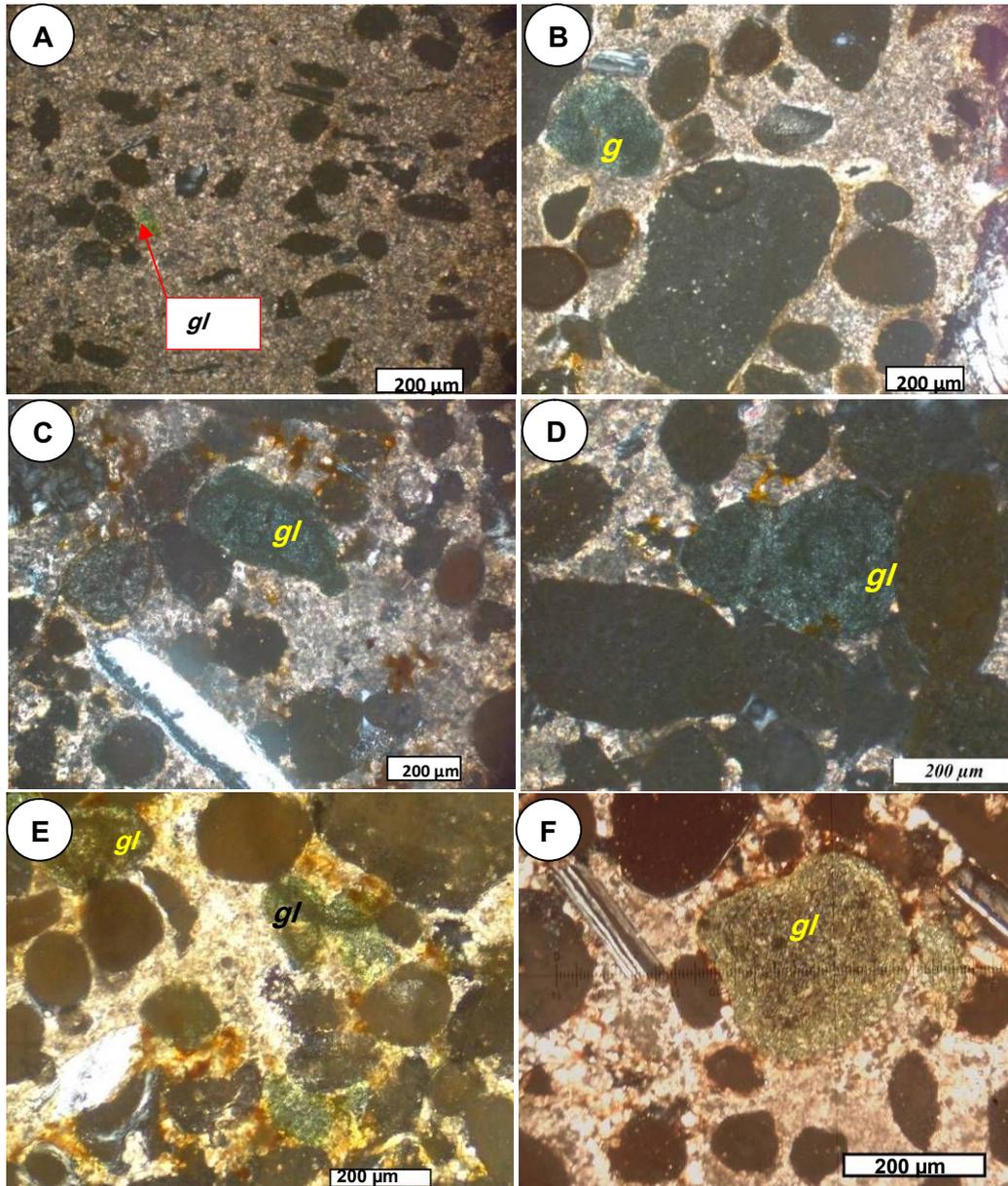


Planche. 6: Glauconie (*gl*) rencontrée aux minerais de phosphates de la région de Tébessa.

(A ; B ; C ; D) : Grains de glauconie (*gl*) de tailles variant de quelques micromètres à plus de 200 μm.

(E) et (F) : Glauconie (*gl*) associée aux minerais de phosphates de Tébessa Sud montrant une abondance où la taille dépassant parfois 250 μm.

Il est à noter que la présence de la glauconie, indique généralement un milieu semi-réducteur à réducteur et elle témoigne du confinement du milieu car le milieu réducteur favorise la solubilité du fer qui sera incorporé dans plusieurs variétés de minéraux, parmi lesquels : la glauconie (Curtis and Spears, 1968; Froelich et al., 1979; Burdige, 1993). Les glauconies rencontrées au niveau de Tébessa Nord sont homogènes et présentent des couleurs vertes et où la taille peut dépasser 500 μm (cf. Planche. 6-B ; C et D). Les phosphates de Tébessa Sud (Kef essenoun), par contre, montrent un enrichissement remarquable en grains de glauconie (cf. Planche. 2 et 3).

Débris organiques (les bioclastes)

Les bioclastes phosphatés sont des débris d'os, des plaques dermiques, des vertèbres des écailles de poissons, des dents et même des plaques d'échinodermes (Planche. 7-E). Ces bioclastes peuvent, dans certains cas, former la totalité du faciès phosphaté. Cependant, ces particules représentent une minorité dans les minerais d'El Kouif. Ils montrent une abondance dans les fractions supérieures à 500 μm tel que les dents de poissons (Planche. 7-B). Les débris de gastéropodes sont rencontrés dans les phosphates de Dj Dyr (Planche. 7-C). Dans ces faciès on peut rencontrer aussi des radiolaires qui sont des organismes microscopiques mesurant en général de 50 et 300 μm , à squelettes siliceuses (Planche.7-E). Ces radiolaires sont aussi, une des hypothèses pour expliquer l'excès de la silice et son rôle pour la cimentation des particules phosphatées, conduisant à la mise en place des faciès silicifiés.

Ciments et matrices

Le ciment représente tout liant en cristaux qui forme l'exogangue dont la taille varie de 5 à 50 μm . La matrice représente généralement, la boue micritique qui existe au moment du dépôt d'une taille inférieure de 4 μm .

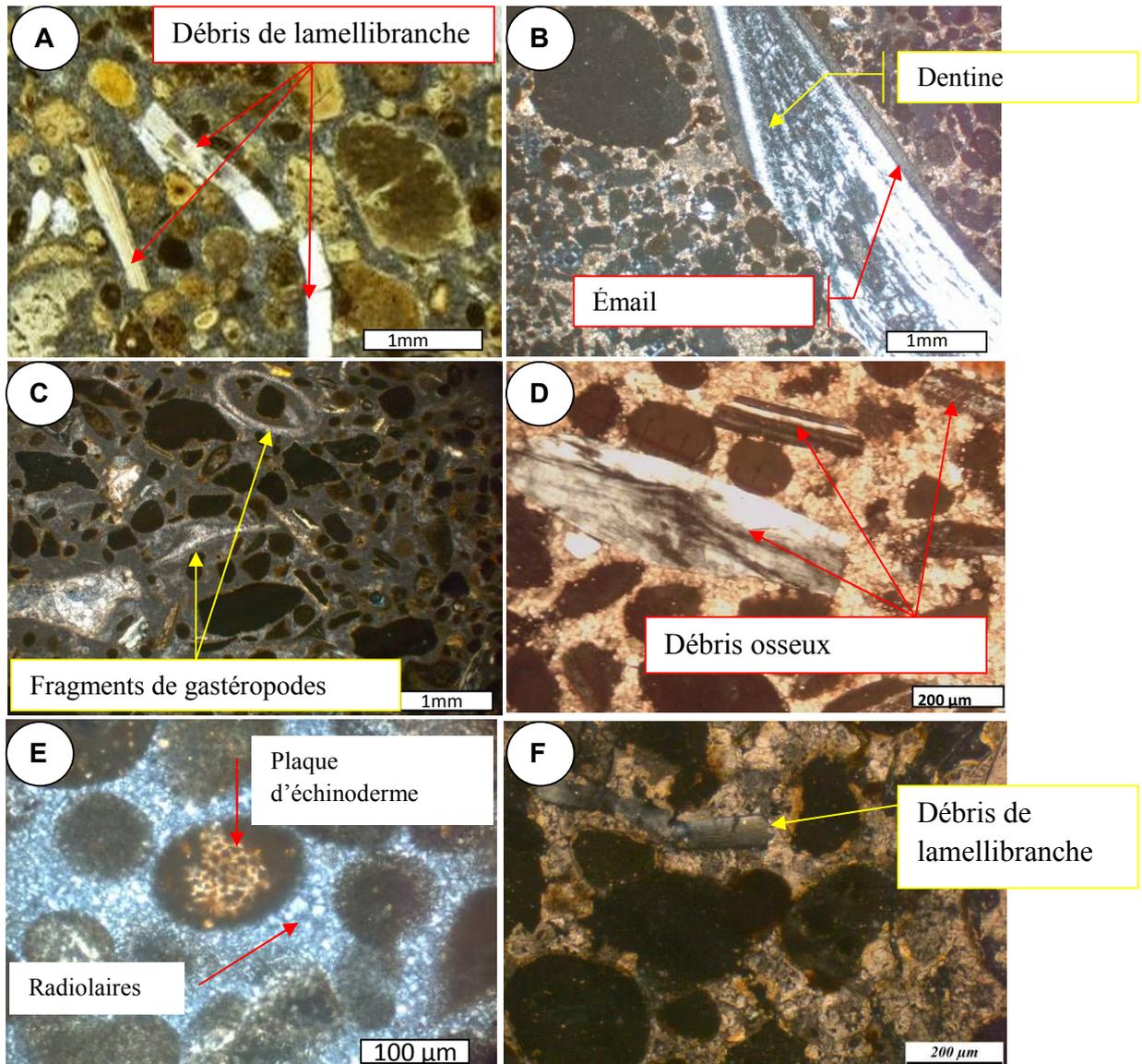


Planche.7: Débris d'organismes associés aux minerais de phosphates.

(A) : Débris de lamellibranche associés aux grains phosphatés à Djebel El Kouif (Tébessa Nord).

(B) : Dente de poisson montrant l'émail et la dentine dont la taille dépasse 5 mm, associé aux minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).

(C) : Débris de gastéropodes dans les minerais de phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord).

(D) : Débris osseux rencontrés dans les minerais de phosphates de Tébessa Sud (Kechiched, 2011).

(E) : Plaque d'échinoderme représentant l'endo-gangue du pellet et la radiolaire en ciment siliceux au niveau des minerais de phosphates silicifiés d'El Kouif (Tébessa Nord).

(F) : Débris de lamellibranche rencontré dans les minerais de phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord)

La matrice argileuse assure la liaison des particules phosphatées et les bioclastes dans les faciès argileux caractérisés par une couleur noire et une friabilité (Planche 8-A ; B).

Le ciment carbonaté des minerais des phosphates est le plus abondant. Généralement, il est microsparitique de nature dolomitique dans les minerais de l'Atlas Saharien Oriental (Planche. 8-C ; D et E). Cependant, la calcite peut aussi exister en ciment sparitique des particules phosphatées (Planche. 8-G). Un autre ciment de nature siliceuse a été recensé. Il caractérise les minerais de phosphates silicifiés. Il s'agit de la calcédoine qui sert comme un liant entre les pellets et les coprolithes. L'origine de ce ciment siliceux est toujours discutable dans la littérature (Visse, 1948 ; Salvan, 1955 ; Racki et Cordey, 2000). Il est lié à l'accident dans un milieu carbonaté où d'une part et la dissolution des tests d'organismes tels que les radiolaires qui sont souvent rencontrée dans les minerais de phosphates surtout, dans les niveaux supérieurs (Planche. 8-F et H).

Hydroxydes de fer

Elle sont rencontrés sous forme de remplissages en microfissures où elle se comportent comme des taches sous effets de l'altération supergène des sulfures tels que la pyrite et chalcopyrite (Fig. 32).

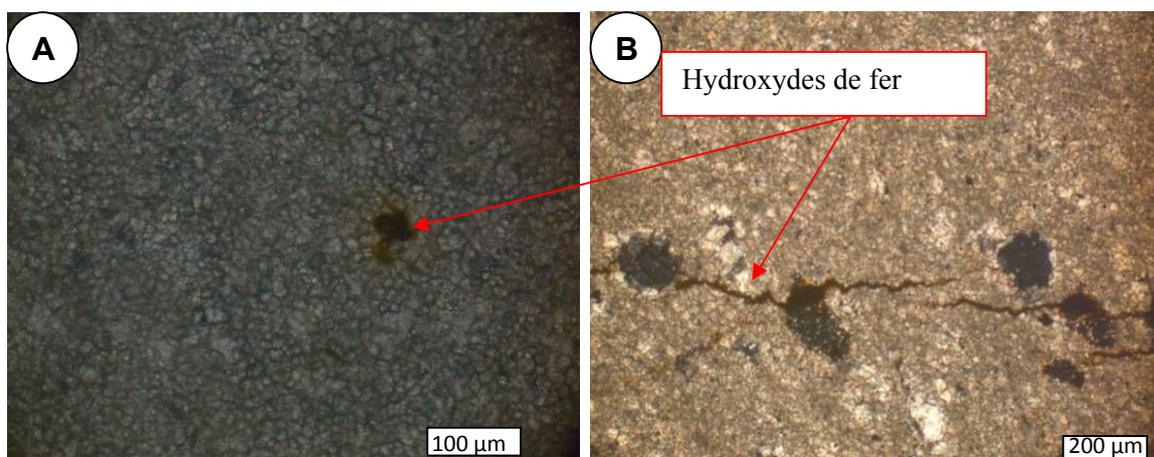


Fig. 32 : Dolomie affectée par des microfissures à hydroxyde de fer.
(A) : dolomie au niveau de la base des minerais de phosphates à Tazbant ;
(B) : dolomie au niveau de la base des minerais de phosphates à El Kouif.

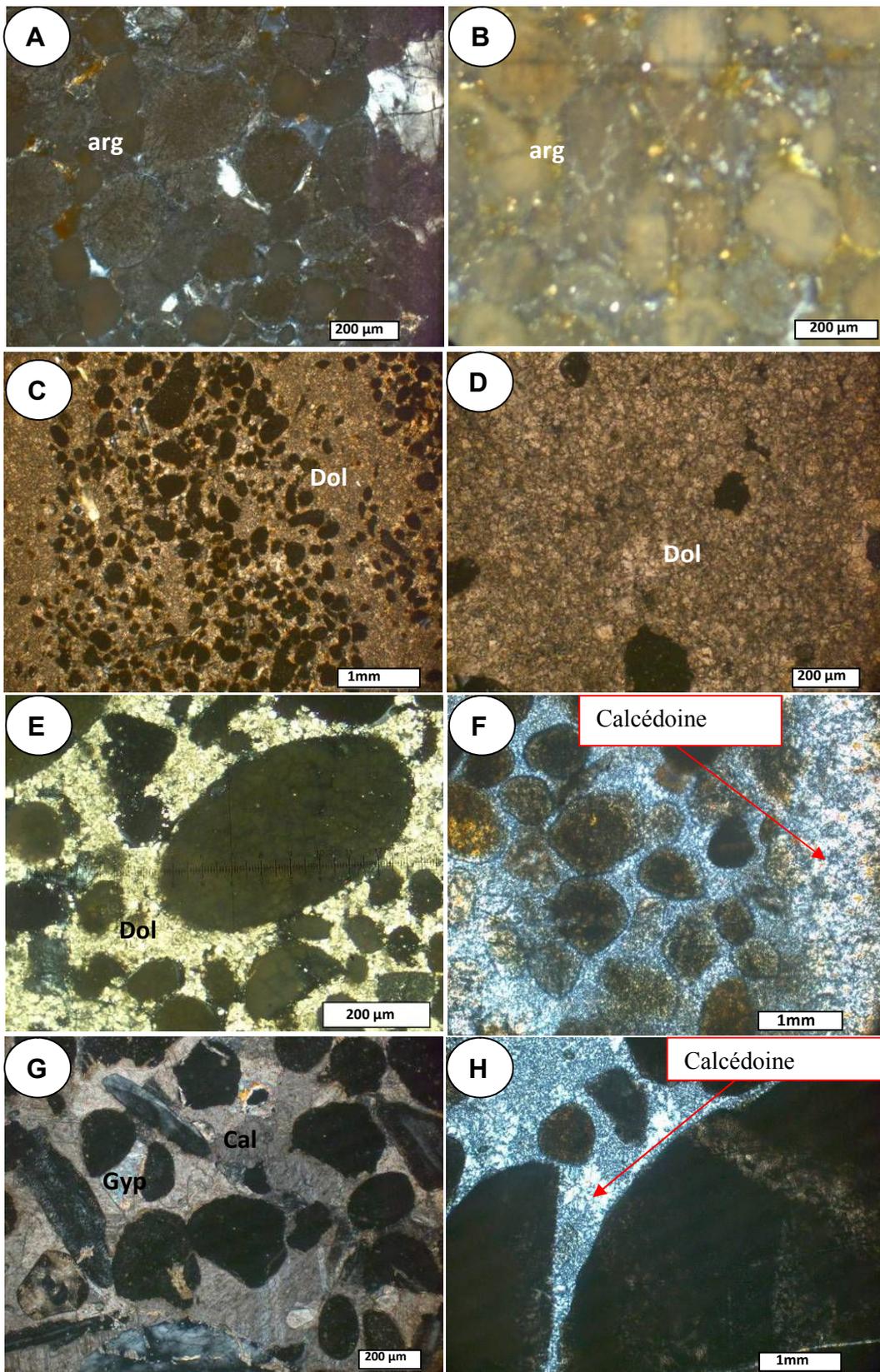


Planche. 8 : Matrices et ciments des minerais de phosphates de la région de Tébessa.

Légende de la planche 8

(A) et (B) : matrice argileuse (arg) de couleur noirâtre et marron caractérisant le faciès argileux des minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)(A) et de Tébessa Sud (B).

(C) et (D) : ciment microsparitique de nature dolomitique (dol) des minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).

(E) : ciment microsparitique de nature dolomitique des minerais de phosphates de Tébessa Sud

(F) : ciment siliceux (calcédoine) des niveaux de minerais phosphatés silicifiés à Tazbant (Tébessa Nord)

(G) : ciment sparitique des minerais de phosphates à Djebel Dyr (Tébessa Nord) montrant des cristaux de calcites (Cal) parfois, renfermant du gypse (Gyp).

(H) : ciment siliceux (calcédoine) des minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord) où la silice peut avoir une origine liée à la présence des testes des radiolaires.

La recristallisation

Le ciment siliceux amorphe peut se recristalliser à cause de la diagenèse conduisant à la formation des cristaux de quartz qui se présente en coexistence avec le ciment amorphe (Fig. 33-A). La calcite aussi peut se présenter dans des fissures formant des cristaux qui servent comme un liant des particules phosphatées (Fig. 33-B). Il s'agit des remplissages tardifs.

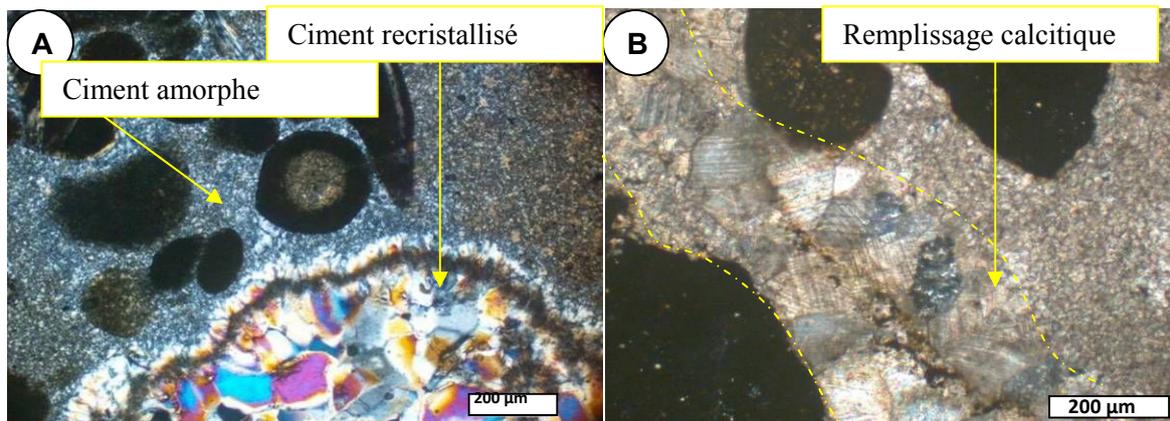


Fig. 33: Recristallisation du ciment.

- (A) : recristallisation du ciment siliceux montrant des cristaux de quartz.
(B) : des cristaux de calcite dans les fissures (remplissages).

4. Minéralogie des phosphates

4.1. Méthodologie

L'identification des phases minéralogiques des minerais de phosphates de Tébessa, s'est faite par diffraction des rayons X sur la roche totale en poudre. Cette analyse minéralogique a aussi pour objectif, la comparaison entre la minéralogie des minerais de phosphates du nord et du sud de Tébessa. Les analyses par diffraction ont été réalisées au niveau de l'Université de Biskra ; L'Université de Laghouat et l'Université d'El-Manar en Tunisie. A titre d'exemple ; la machine de l'Université de Biskra est de type BRUCKER-

AXS - D8 ADVANCE, dont les caractéristiques XRD sont : une source radiation Cu K α avec une longueur d'onde λ de 1.540598 Å et un voltage d'accélération de 40 KV. Pour l'enregistrement des diffractogrammes ; il est nécessaire d'effectuer un broyage de l'échantillon de la roche totale jusqu'à une granulométrie voisine de 30 μ m avec un quartage à chaque étape. Un tassement de la poudre sur le support porteur d'échantillon pour la machine. Le domaine observé est de 10 à plus 60 degrés.

Les caractéristiques de chaque phase minérale sont consignées dans une fiche sous la forme d'une liste de pics ; en appliquant la loi de Bragg, la position en 2θ est convertie en une distance interréticulaire « d » exprimé en Å. L'intensité « I » de chaque pic est exprimée en coups/s. Le diffractogramme de rayons X obtenu d'un échantillon inconnu est comparé de manière informatique à toutes les fiches de la base de données à l'aide d'un logiciel.

La base de données utilisée comprend 157048 fiches ASTM. Cette base de données est publié en 2004 par l'International Center of Diffraction Data (ICDD) (ex-JCPDS : *Joint Committee on Powder Diffraction Standards, ex- comité E4 de l'ASTM*) (Fig. 34).

L'identification de toutes les espèces minérales a été faite en deux étapes :

- Importation des fichiers de diffraction en extension (*raw ; *rd) pour la détermination des distances inter-réticulaires des raies.
- Confrontation des diffractogrammes et des fiches ASTM numérisés en format PDF. Cette opération a été effectuée à l'aide d'un logiciel.

L'analyse semi-quantitative, en utilisant un logiciel consiste à utiliser la méthode de Rapport des Intensités de Références « RIR ». C'est une méthode qui sert à préparer la référence avec un étalon.

Name and formula

Reference code: 00-031-0267
Mineral name: Carbonatefluorapatite
PDF index name: Calcium Fluoride Carbonate Phosphate Hydroxide
Empirical formula: $\text{CCa}_{10}\text{F}_{1.5}\text{H}_{0.5}\text{O}_{23.5}\text{P}_5$
Chemical formula: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5\text{CO}_3\text{F}_{1.5}(\text{OH})_{0.5}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
Space group: P63/m
Space group number: 176
a (?): 9.3460
b (?): 9.3460
c (?): 6.8870
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000
Measured density (g/cm³): 3.12
Volume of cell (10⁶ pm³): 520.97
Z: 1.00
RIR: -

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral Common Phase
Quality: Blank (B)

Comments

Color: Colorless
General comments: Optical data on specimen from Richtevsveld, South Africa .
Sample source: Specimen from Staffel, Germany .
Analysis: Analysis (wt.%): CaO 51.42, MgO 1.35, Na₂O 1.17, K₂O 0.38, P₂O₅ 40.33, CO₂ 2.70, F 3.89, H₂O 0.63 .
Optical data: A=1.6155, B=1.627, Q=1.6785, Sign=-, 2V=0-36°
Additional pattern: To replace 21-141 .

References

Primary reference: Brophy, Nash, *Am. Mineral*(1968) ,445 ,53 .
Optical data: de Villiers, J, *Am. J. Sci*(1942) ,443 ,240 .

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8.04000	10.996	18.0
2	1	1	0	4.67000	18.988	2.0
3	2	0	0	4.04000	21.984	16.0
4	1	1	1	3.86000	23.022	2.0
5	0	0	2	3.43000	25.956	20.0
6	1	0	2	3.16000	28.218	6.0
7	2	1	0	3.05000	29.258	35.0
8	2	1	1	2.79000	32.054	55.0
9	1	1	2	2.76900	32.304	16.0
10	3	0	0	2.69200	33.255	100.0
11	2	0	2	2.61900	34.210	8.0
12	3	0	1	2.50600	35.803	4.0
13	2	1	2	2.28400	39.420	2.0
14	3	1	0	2.24000	40.227	45.0
15	3	1	1	2.13400	42.319	4.0
16	4	0	0	2.02100	44.810	4.0
17	2	2	2	1.93100	47.020	12.0
18	3	1	2	1.88700	48.185	8.0
19	3	2	0	1.85500	49.071	8.0
20	2	1	3	1.83400	49.671	10.0
21	3	2	1	1.79000	50.978	12.0
22				1.78300	51.192	25.0
23	3	0	3	1.75400	52.102	8.0
24	0	0	4	1.72000	53.212	6.0

Stick Pattern

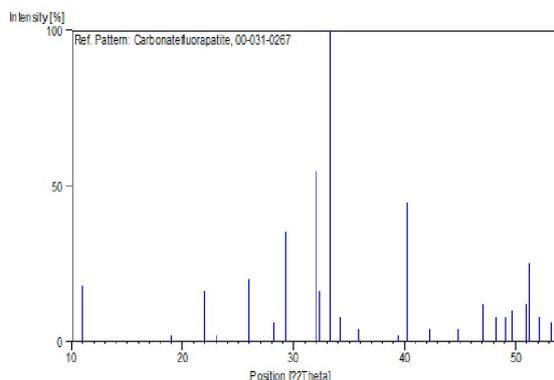


Fig. 34 : Exemple de fichier ASTM.

4.2. Résultats et interprétation

L'analyse minéralogique réalisée sur des échantillons de la roche totale représentant les trois secteurs à Tébessa ; au nord (Dj. Kouif =7 spectres ; Dj. Dyr = 5 spectres) et au sud (Kef essenoun = 6 spectres) (Figs. 35 à 37). Cette analyse a permis d'identifier les principaux minéraux suivants :

(1) Les minéraux phosphatés : ce sont représentés essentiellement, par les minéraux des apatites tels que : la Francolite (carbonates-fluor apatite), Hydroxy-apatite et Carbonate Hydroxyl-apatite

- La francolite est reconnue dans des raies caractéristiques : $d = 2.79 ; 2.69 ; 2.6 \text{ \AA}$.
- Le carbonate-hydroxylapatite est reconnu dans les raies caractéristiques : $d = 2.79 ; 2.72 ; 2.63 ; 1.84 \text{ \AA}$; numéro-PDF-00-019-0272.
- L'hydroxyapatite de type calcium phosphate hydroxyde $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, avec les raies : caractéristiques : $d = 2.814 ; 2.778 ; 2.720 ; 2.631 ; 2.262 ; 1.943 ; 1.841 ; 1.806$ et 1.722 \AA ; numéro-PDF (09-0432).

(2) Les minéraux carbonatés et siliceux : la calcite et la dolomite représentent les constituants du ciment en plus de la *silice* sous forme de quartz:

- La calcite « CaCO_3 » est reconnue aux raies caractéristiques : $d = 3.03 ; 2.494 ; 2.281, 2.099 ; 1.911$ et 1.874 \AA ; numéro-PDF (88-1807).
- La dolomite « $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ » dont les raies caractéristiques : $d = 2.900 ; 2.414 ; 2.204 ; 2.078 ; 2.038 ; 1.809$ et 1.789 \AA ; numéro-PDF (83-1766).
- Le quartz « SiO_2 » dont les raies caractéristiques sont : $d = 4.245 ; 3.031 ; 2.454 ; 2.127 ; 1.979 ; 1.542$ et 1.371 \AA ; numéro-PDF (89-1668).
- La Clinoptilolite est une zéolite reconnue dans la raie principale : $d = 8.95$; numéro-PDF « 00-039-1383 ». Cette zéolite a été reportée aussi dans les minerais de phosphates de Tébessa Sud (Chabou-Mostfai, 1987).

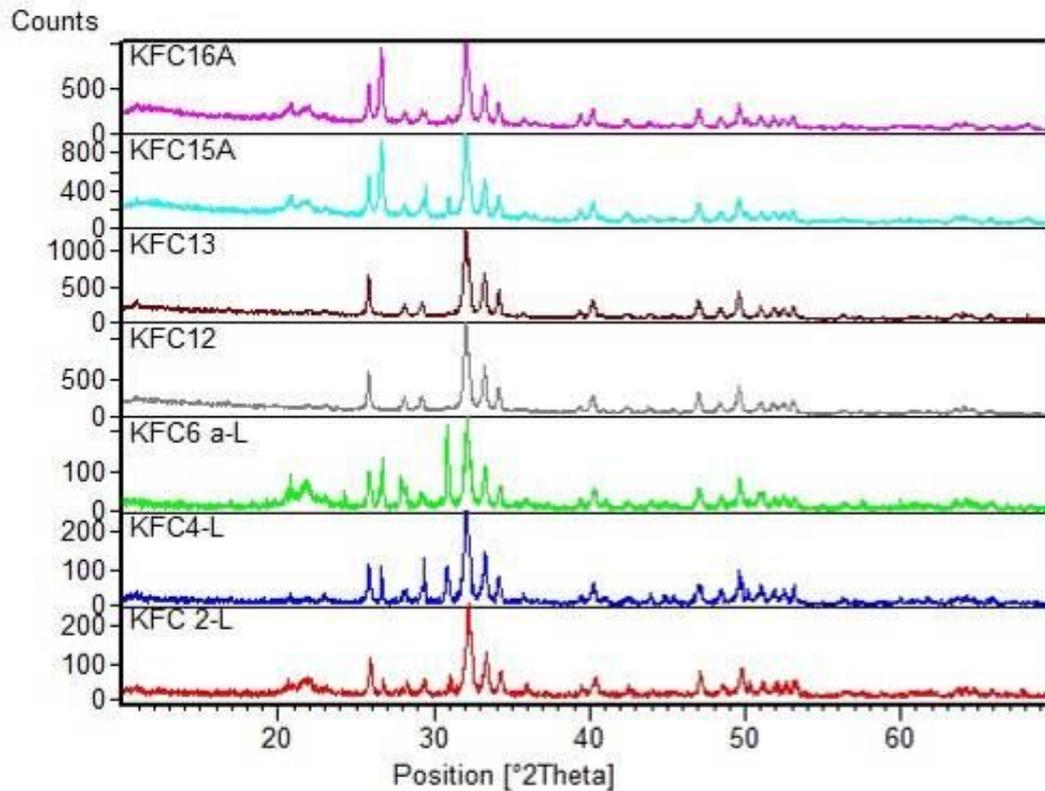


Fig. 35: Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Dj. El Kouif. (Tébessa Nord).

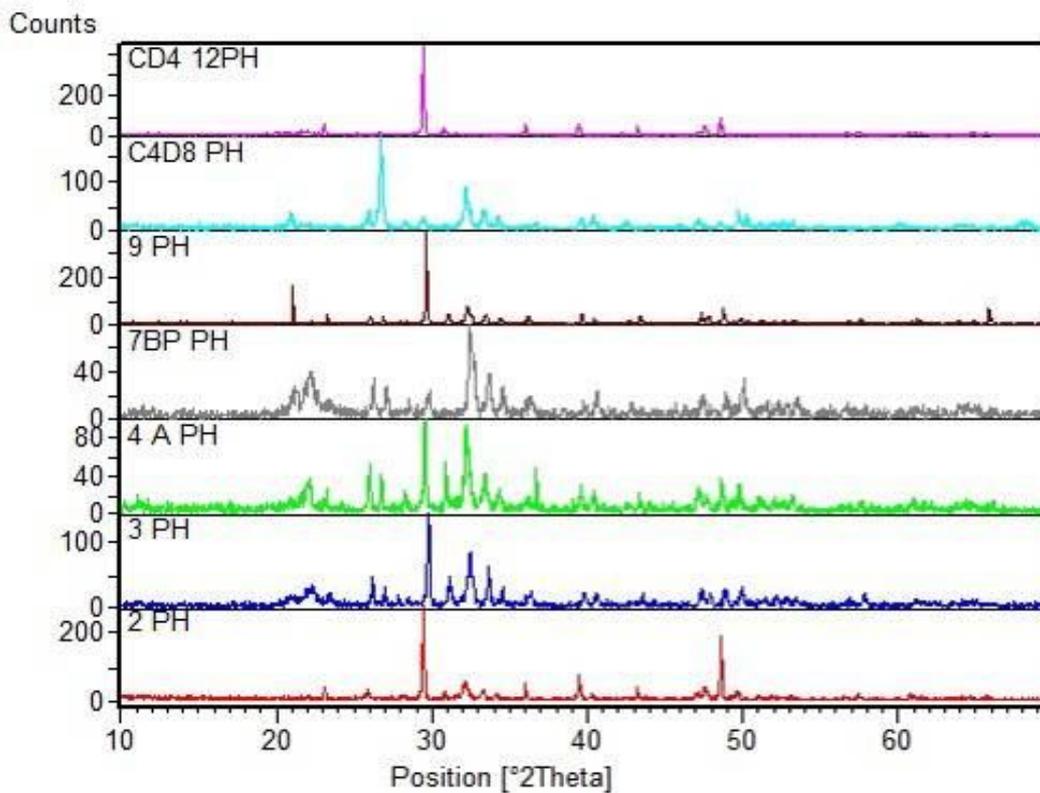


Fig. 36 : Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord).

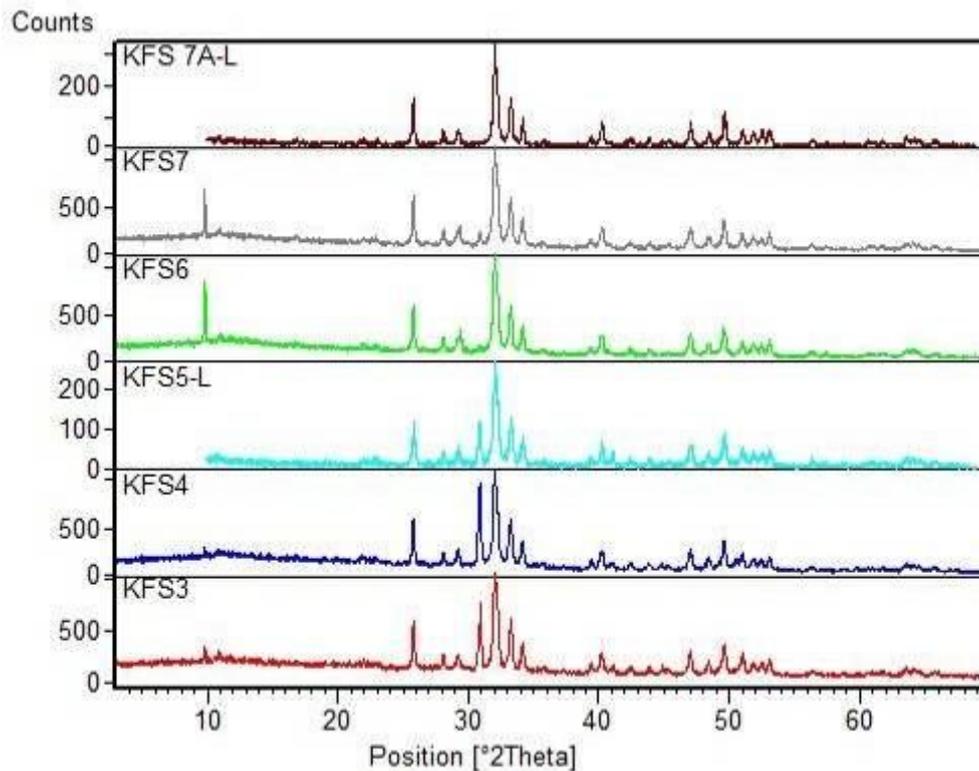


Fig. 37 : Spectres de diffraction des rayons X réalisés sur les minerais de phosphates de Kef essenoun (Tébessa Sud).

La comparaison des spectres entre les trois localités ne montre pas de différence dans la phase phosphatée apatitique représentée essentiellement, par les francolites (carbonate-fluor-apatite), carbonate-hydroxylapatite et hydroxy-apatite (cf. Figs. 35 à 37). Cependant, les phases de ciment et de matrice peuvent varier d'un échantillon à un autre (cf. Annexe. 1).

Ces résultats ne sont au fait que la traduction des observations pétrologiques prélevées sur terrain. A Tébessa, au Nord comme au Sud, les phosphates intercalés dans des niveaux carbonatés donnent naissance à différents types de minerais de phosphates : argileux, marneux, dolomitique et parfois silicifiés.

Conclusion

Les affleurements des minerais phosphates de Tébessa Nord ont été étudiés au niveau d'El Kouif, Djebel Dyr (partiellement exploités), et à Tazbanat. Ils sont d'âge Paléocène-Eocène (Bles et Fleury, 1970). L'épaisseur de ces minerais est généralement d'ordre centimétrique à décimétrique dépassant parfois 1 m avec des intercalations dolomitiques. La structure est tabulaire à faible pendage. Sur la base de la couleur et la nature du liant, on distingue plusieurs faciès de minerais de : (1) Phosphates argileux noirs à glauconie, (2) phosphates beiges ; (3) Phosphates marneux et (4) Phosphates noirs silicifiés.

Les minerais de phosphates de Tébessa Sud représentés par le gisement de Kef essenoun, au niveau du le bassin minier de Dj. Onk, sont d'âge Thanétien. Ils se présentent sous forme d'une couche de 30 m d'épaisseur en moyenne, subdivisée en trois sous couches : (1) basale ; (2) principale et (3) sommitale. Ce gisement constitue une table monoclinale à pendage régulier vers le sud (5 à 10°). Les faciès de minerais rencontrés montrent des (1) phosphates noirs à ciment argileux et à glauconie, (2) beiges à ciment carbonaté, (3) dolomitique et (4) silicifiés.

D'une manière générale, la présence des pellets est quasi permanente dans la région de Tébessa avec une prédominance au sud par rapport au nord. Les coprolithes sont fréquemment rencontrés dans les minerais phosphates de Tébessa Nord ainsi que dans la couche sommitale de Tébessa Sud. Les minerais de phosphates de Tébessa Sud, par contre, montrent un enrichissement en grains de glauconie par rapport au nord. Le ciment le plus abondant des phosphates de l'Atlas Saharien Oriental est carbonaté. Le ciment siliceux, dont l'origine est probablement la présence des radiolaires, est parfois rencontré donnant naissance aux minerais de phosphates silicifiés.

Cette étude, dont le but essentiel est comparatif, a permis de mettre en évidence certaines différences entre le nord et le sud de Tébessa où on note que : (1) les minerais de phosphates de Tébessa nord sont caractérisés par des épaisseurs faibles à intercalations argilo-carbonatées tandis que ceux de Tébessa Sud sont épais à faible intercalations (la couche principale), (2) les minerais de phosphates de Tébessa Nord montrent des caractéristiques similaires à ceux de la couche sommitale au Tébessa Sud où le ciment / matrice est parfois, plus abondant par rapport aux grains phosphatés. (3) l'étude minéralogique des minerais de phosphates par diffraction des rayons X révèle une similarité, entre le nord et le sud, dans la phase phosphatée malgré les différences dans le ciment (4) l'étude granulométrique des grains phosphatés de Tébessa Sud (la couche principale) montre l'abondance de la morphologie arrondie et émoussée des particules qui indique un caractère allochtone (remaniement) avec un transport long des particules, alors que les particules phosphatées de Tébessa Nord, sont déposées simultanément avec les niveaux de l'encaissant, témoignant d'un caractère autochtone.

Chapitre III

**Sédimentologie et
granulométrie des minerais
phosphates**

C H A P I T R E I I I

S É D I M E N T O L O G I E E T G R A N U L O M É T R I E D E S M I N E R A I S D E P H O S P H A T E S

L'étude de la sédimentologie combinée à l'étude granulométrique des minerais phosphates de la région de Tébessa vise à comprendre les conditions de mise en place de ces phosphates, de suivre l'évolution de leurs milieux de dépôt et de préciser le mode de transport des particules phosphatées dans les parties : nord (El Kouif, Djebel Dyr et Tazbant) et Sud (Kef essenoun).

1. Méthodologie

1.1. Analyse pétrographique

L'analyse pétrographique a été faite sur les lames minces confectionnées à partir des échantillons prélevés des affleurements de Tébessa Nord (El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant) et Tébessa Sud. *L'échantillonnage a ciblé les phosphates et leurs encaissants*, afin de suivre *l'évolution pétrographique verticale des affleurements étudiés*. La méthodologie de la confection des lames minces sur les phosphates a été détaillée ci-dessus (cf. chapitre II)

1.2. Etude granulométrique

1.2.1. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons nécessite les étapes suivantes :

Concassage préliminaire

Cette opération (concassage à mâchoire électrique) a pour but de réduire les dimensions des échantillons des minerais de phosphate et de libérer les grains de leurs matrices (et ciments) (Fig. 38-A). L'ouverture des mâchoires est adaptée à plus de 4 mm. Cette dimension a été choisie pour ne pas concasser les grains phosphatés et pour assurer leur

préservation et leur signification aux analyses granulométriques. Il est à noter que le choix de cette ouverture est dictée par une étude pétrographique sur lames minces qui a montré que la taille de ces grains phosphatés (pellets, coprolithes, dents de poissons, lithoclastes, ...) ne dépassent pas les 3 mm en général. La fraction après concassage préliminaire est souvent contrôlée par une loupe binoculaire (Fig. 38-C). Il aussi nécessaire d'effectuer un quartage pour assurer la représentativité de l'échantillon.



Fig. 38 : Concassage et réparation préliminaire.
(A) : Concasseur à mâchoire électrique pour réduire les dimensions ; (B) : balance pour pesage ; (C) : Loupe binoculaire pour l'étude des grains.

Préparation finale de l'échantillon

Cette étape consiste à imbiber l'échantillon à l'eau distillée, dans un récipient pour une durée de 72 heures. Elle vise la fragilisation de l'échantillon et de mettre en suspension les éléments figurés de la roche phosphatée (Pellets, coprolithes, lithoclastes, bioclastes, ...etc.). Les minerais de phosphates dont la matrice argileuse, sont facilement traités par rapport aux faciès à ciment carbonaté. Cela nécessite la prolongation de la période d'imbibition. À la fin de cette étape, le produit soit quasi-pulvérulent dans l'eau distillée.

Classification granulométrique a voix humide

L'échantillon est soumis à une classification à voix humide en utilisant une tamiseuse type *MINOR* (Fig. 39). Vu que les phosphates appartiennent à la classe des arénites, les

fractions prises en compte, sont comprises de moins 45 μm à 2 mm. Huit (8) Tamis disponibles en plus le récipient des fines ont été utilisés, au niveau du laboratoire de sédimentologie à l'Université d'Ouargla. Le refus de chaque tamis est séché à l'aire libre (Température de 35 C°). Les refus sont pesés et reportés sur une feuille de calcul. Les pourcentages sont calculés sur la base des poids de refus.

On note que la fraction refus +2 mm n'a pas été prise en compte, car, l'examen de cette fraction sous loupe binoculaire a montré des grains qui sont toujours cimentés. La remise à 100 % a été effectuée pour le reste des fractions et que tous les calculs ont été faits sur ces fractions, car elles montrent une libération totale des grains de leurs ciments / matrices.



Fig. 39 : Série de Tamis *MINOR*.

1.2.2. Méthodes d'analyse granulométrique

Les résultats de pesage après séchage sont interprétés à l'aide des méthodes de calcul numériques et graphiques qui reposent essentiellement sur les méthodes statistiques descriptives à savoir les courbes de fréquences relatives et cumulatives. Les graphes des probabilités ont été utilisés dans cette étude pour déterminer le mode de transport de particules. Les méthodes statistiques descriptives sont détaillées en annexe. 2

Les courbes cumulatives

Il s'agit d'une représentation graphique de la distribution de fréquences cumulées. Les pourcentages cumulés en poids ont été calculés et ils sont visualisés sous forme de courbes cumulatives où en abscisse, la dimension des mailles et en ordonnées les pourcentages cumulés correspondants.

Les courbes de fréquences relatives

Il s'agit d'un polygone des fréquences relatives, où les dimensions des mailles utilisées sont mises en abscisses. Les fréquences relatives des poids des mailles correspondantes sont mises sur les ordonnées. Cette représentation permet de caractériser statistiquement la distribution des classes granulométriques.

Les graphes des probabilités – Droite d'Henry

Lorsque il s'agit d'une loi normal ; la courbe devient une droite. Visher (1969) a utilisé l'échelle de probabilité pour individualiser les stocks granulométriques et les modes de transport. Cette méthode a été utilisée par Mouflih (2015) pour la caractérisation du mode de transport pour les particules phosphatées marocaines. Il a noté que le mode de transport est le principal facteur qui peut modifier une telle répartition des particules. Ce dernier est responsable de l'individualisation de trois segments (ou plus) qui correspondent à trois (ou plusieurs) populations et qui peuvent être regroupées en :

- Transport par suspension pour les particules fines ;
- Transport par saltation pour les particules moyennes ;
- Transport par roulement pour les particules grossières.

Les paramètres granulométriques qui sont calculés, selon la méthode de Folk et Ward (1957).

La moyenne

Elle permet d'avoir une idée de l'éventail de granulométrie moyenne d'un échantillon donné. Elle est calculée par la formule suivante :

$$M_z = (\phi_6 + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$$

ϕ_{16} : Diamètre des particules, en unité ϕ , correspondant à un pourcentage pondéral.

Classement (Sorting ou déviation standard)

Il indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon. Il est calculé par la formule suivante:

$$\rho = ((\phi_{84} - \phi_{16}) / 4) / ((\phi_{50} - \phi_{5}) / 6)$$

Les résultats sont interprétés selon les fourchettes suivantes :

- $0 < \sigma < 0,35$: très bien classé ;
- $0,35 < \sigma < 0,50$: bien classé ;
- $0,50 < \sigma < 0,71$: assez bien classé ;
- $0,71 < \sigma < 1,00$: moyennement classé ;
- $1,00 < \sigma < 2,00$: mal classé ;
- $2,00 < \sigma < 4,00$: très mal classé.

Asymétrie (Skewness)

Elle indique la présence d'une prépondérance, ou non, de particules fines (valeurs positives) ou grossières (valeurs négatives), par rapport à la moyenne de l'échantillon (Fig. 40) :

$$Ski = ((\phi_6 - \phi_{84}) / 2) / ((\phi_{50} - \phi_{5}) / 6) - \rho$$

Les résultats sont interprétés selon les fourchettes suivantes :

- $+1,00 > Ski > +0,30$: forte asymétrie vers les petites tailles ;

- $+0,30 > Ski > +0,10$: asymétrie vers les petites tailles ;
- $+0,10 > Ski > -0,10$: symétrie granulométrique de l'échantillon ;
- $-0,10 > Ski > -0,30$: asymétrie vers les grands tailles ;
- $-0,30 > Ski > -0,10$: forte asymétrie vers les grands tailles ;

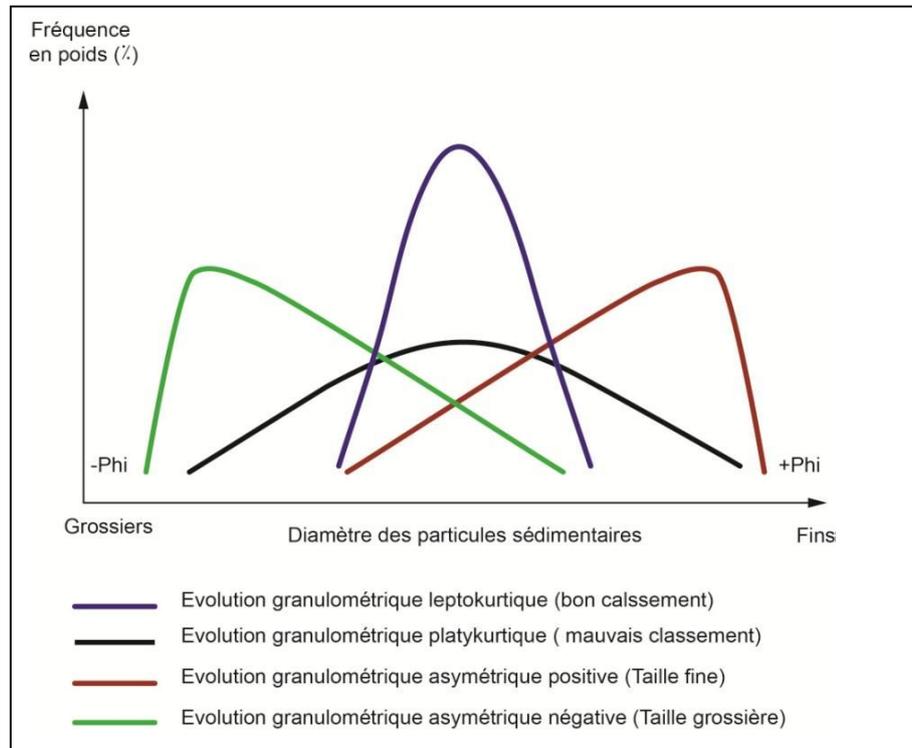


Fig. 40 : Asymétrie des courbes granulométriques.

Kurtosis (coefficient d'acuité)

C'est l'indice d'acuité du mode qui consiste à mesurer l'angulosité de la courbe des fréquences (Fig. 41). Lorsque le mode est concentré dans des classes granulométriques restreintes. La distribution est dite leptokurtique ; s'il est dispersé, la distribution est platykurtique. Il est calculé par la formule suivante :

$$K_G = (\sigma_5 - \sigma) / (2.44 \cdot (75\sigma - 25\sigma))$$

- $K_G < 0,67$: courbe très platykurtique ;
- $0,67-0,90$: courbe platykurtique ;
- $0,90-1,11$: courbe mésokurtique ;

- 1,11-1,50 : courbe leptokurtique ;
- 1,50-3,00 : courbe très leptokurtique ;
- $3,00 < K_G$: courbe extrêmement leptokurtique.

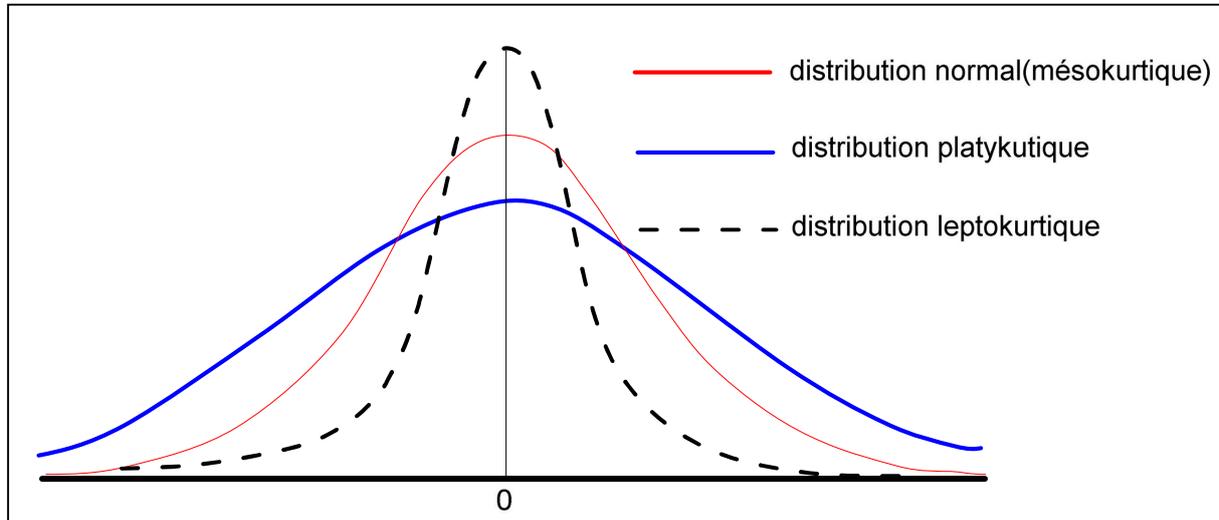


Fig. 41 : Angulosité de la courbe des fréquences.

2. Résultats obtenus sur l'analyse pétrographique

2.1. Secteur d'El Kouif (Tébessa Nord)

La description pétrographique des différents faciès rencontrés à El Kouif a été faite sur le profil de Douar el Fogaa (Tébessa Nord). Il a déjà fait l'objet d'une étude géologique et pétrologique au chapitre II (cf.fig. 9 et 10). Nous avons constaté la présence des horizons suivants :

2.1.1. Description de l'horizon (A) (encaissant du mur)

L'observation des lames réalisées montrent un faciès phosphaté en imprégnation dans les niveaux de dolomies. Ce faciès phosphaté est caractérisé par un ciment microsparitique. Il renferme des pellets ayant une forme arrondie dont la taille varie de 100 à 300 μm et des coprolithes d'une forme cylindrique avec la taille dépassant 1 mm. Ces niveaux, situés à la base de la coupe contiennent aussi des débris osseux et des grains de glauconie, de couleur

verdâtre dont la taille varie entre 100 à 200 μm . Cet horizon représente l'encaissant basal (mur) des niveaux phosphatés caractérisés par un milieu peu profond à profond (Planche. 9).

2.1.2. Description de l'horizon (B) (phosphaté)

Les lames minces réalisées à partir du « horizon B » montrent des minerais de phosphates de texture généralement, grainstone à matrice micritique qui évolue vers une microsparite (Planche. 10). Les grains phosphatés ayant des tailles et des formes différentes. Ce sont des pellets arrondis dont la taille varie entre de 100 à 250 μm et des coprolithes à formes irrégulières (généralement cylindriques) dont la taille peut dépasser 1 mm. La glauconie de couleur verdâtre, est rencontrée en grains dont la taille est de 150 à 300 μm surtout à la base de cet horizon, indiquant l'installation des conditions à tendances réductrices. Ces minerais de phosphates sont souvent accompagnés avec la présence des débris osseux.

2.1.3. Description de l'horizon (C) (silicifié)

Il s'agit des niveaux silicifiés qui surmontent les minerais de phosphates du « Horizon B ». Les lames minces présentant des particules phosphatées en différentes tailles et formes dont la texture est packstone (Planche. 11). Le ciment siliceux englobe les particules phosphatées rendant la roche très dure. Deux générations généralement ont été déterminées comme celles de Tazbant : la première représente une silice primaire dont l'origine est liée à la dissolution des tests de certains organismes à savoir les radiolaires (Planche. 11-C) ; la deuxième est tardive prenant naissance au stade post-diagénétique (cf. Planche. 8-D).

2.1.4. Description de l'horizon (D)

Les lames confectionnée à partir de la formation carbonatée au sommet qui représente l'encaissant du toit de des niveaux phosphatés, montrent une microsparite à une micrite dont la présence des particules phosphatées est rare (Planche. 12-A-B). Ces observations indiquent que milieu est à nouveau profond (Planche. 12-C ; D).

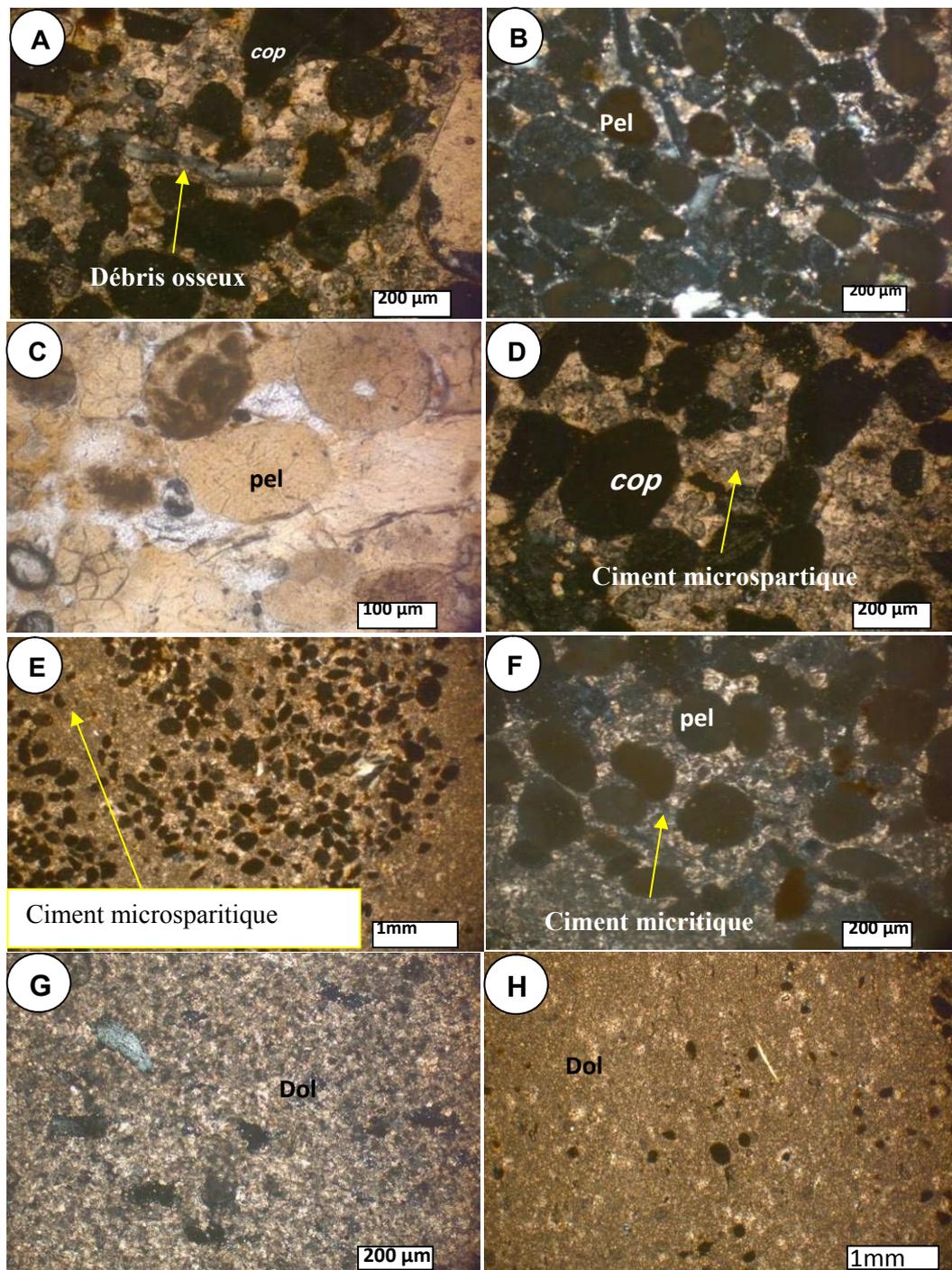


Planche. 9 : Horizon carbonaté légèrement phosphaté (horizon A).

(A) : minerais de phosphates dolomitique montrant des grains phosphatés (pel : pellets ; cop : coprolithes) associés à des débris osseux.

(B) : minerais de phosphates à texture grainstone montrant un bon classement des particules.

(C) : des pellets montrant des fissures témoignant des contraintes qui peuvent être liées à la puissance des sédiments et à l'effet de la compaction.

(D) et (E) : minerais de phosphates montrant une prédominance du ciment microspartique.

(F) : minerais de phosphates à ciment micritique.

(G) et (H) : aspect des dolomies à la base des niveaux de minerais phosphatés à El Kouif (Tébessa Nord).

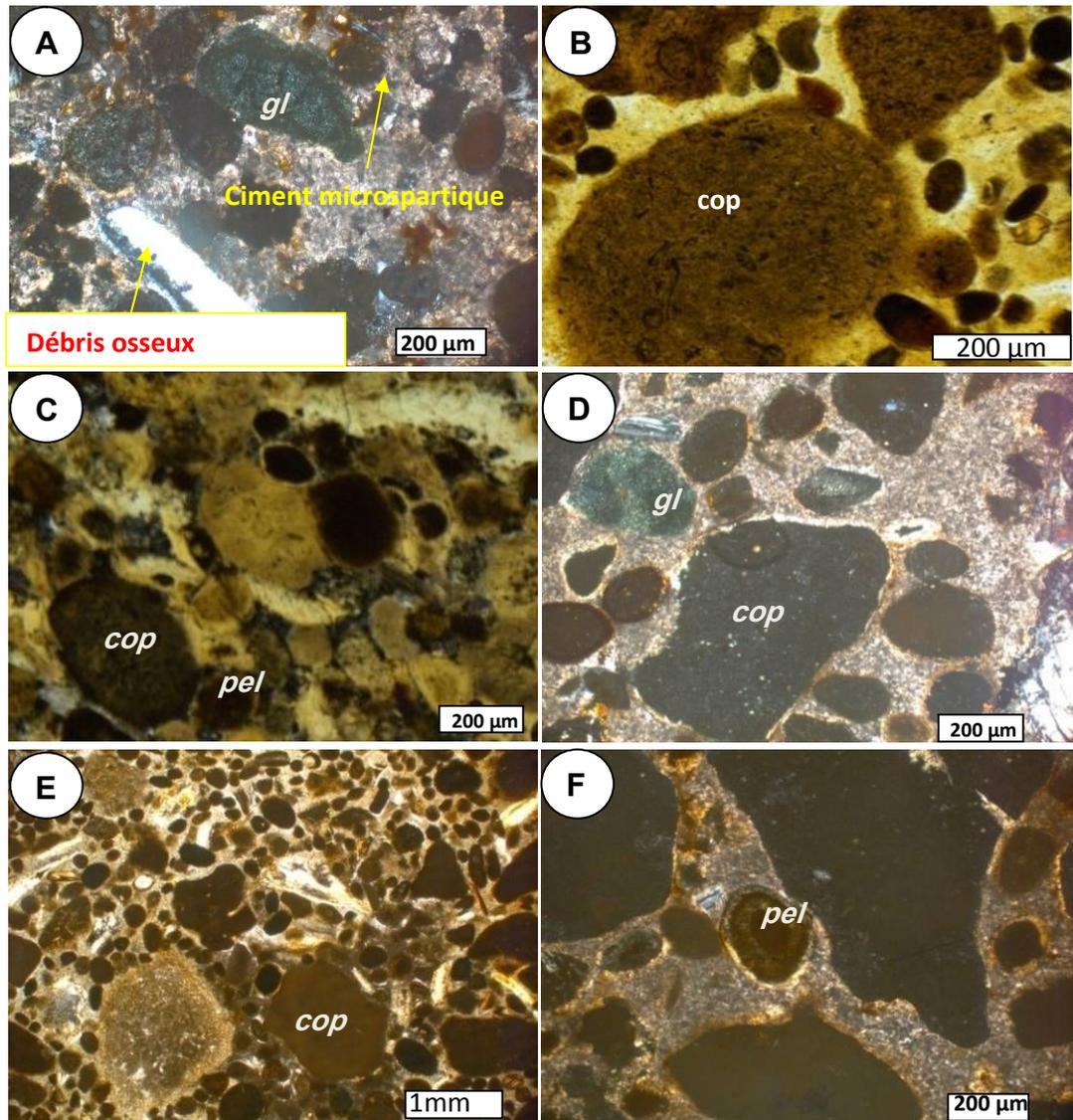


Planche. 10 : Caractéristiques pétrographiques de l'horizon phosphaté (Horizon B).

(A) : minerais de phosphates montrant une glauconie (gl) de couleur verdâtre associés au débris osseux avec un ciment microsparitique.

(B) : grossissement d'un coprolithe (cop) montrant la porosité des grains phosphatés.

(C) : texture grainstone des minerais de phosphates de l'horizon (B) montrant des pellets (pel) et des coprolithes (cop).

(D) et **(E)** : lames montrant un mauvais classement (granulométrie hétérogène) et la coexistence des particules des différentes tailles et formes : Pellets (pel), coprolithes (cop) et glauconie (gl).

(F) : pellet (pel) à contours concentriques.

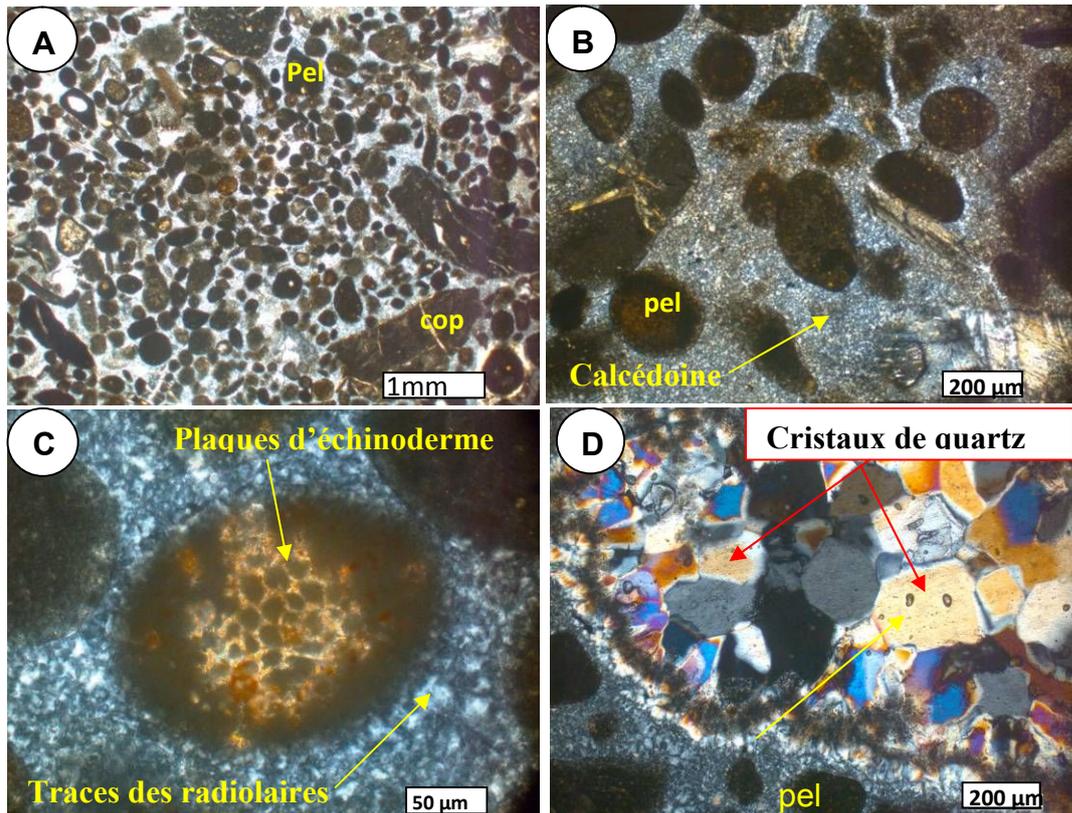


Planche. 11: Minerais de phosphates silicifiés. (cop : coprolithes ; pel : pellets).

(A) et (B) : vue générale de l'aspect pétrographique des minerais de phosphates silicifiés, montrant une hétérogénéité granulométrique. (pel : pellet ; cop : coprolithe)

(C): des plaques d'échinodermes sont repérées dans des pellets dont le ciment est représenté par la calcédoine. Des traces de testes des radiolaires sont rencontrées

(D) recristallisation de la silice. Cette recristallisation est probablement liée à un effet épigénétique due à un enfouissement où à une cavité post-diagénétique.

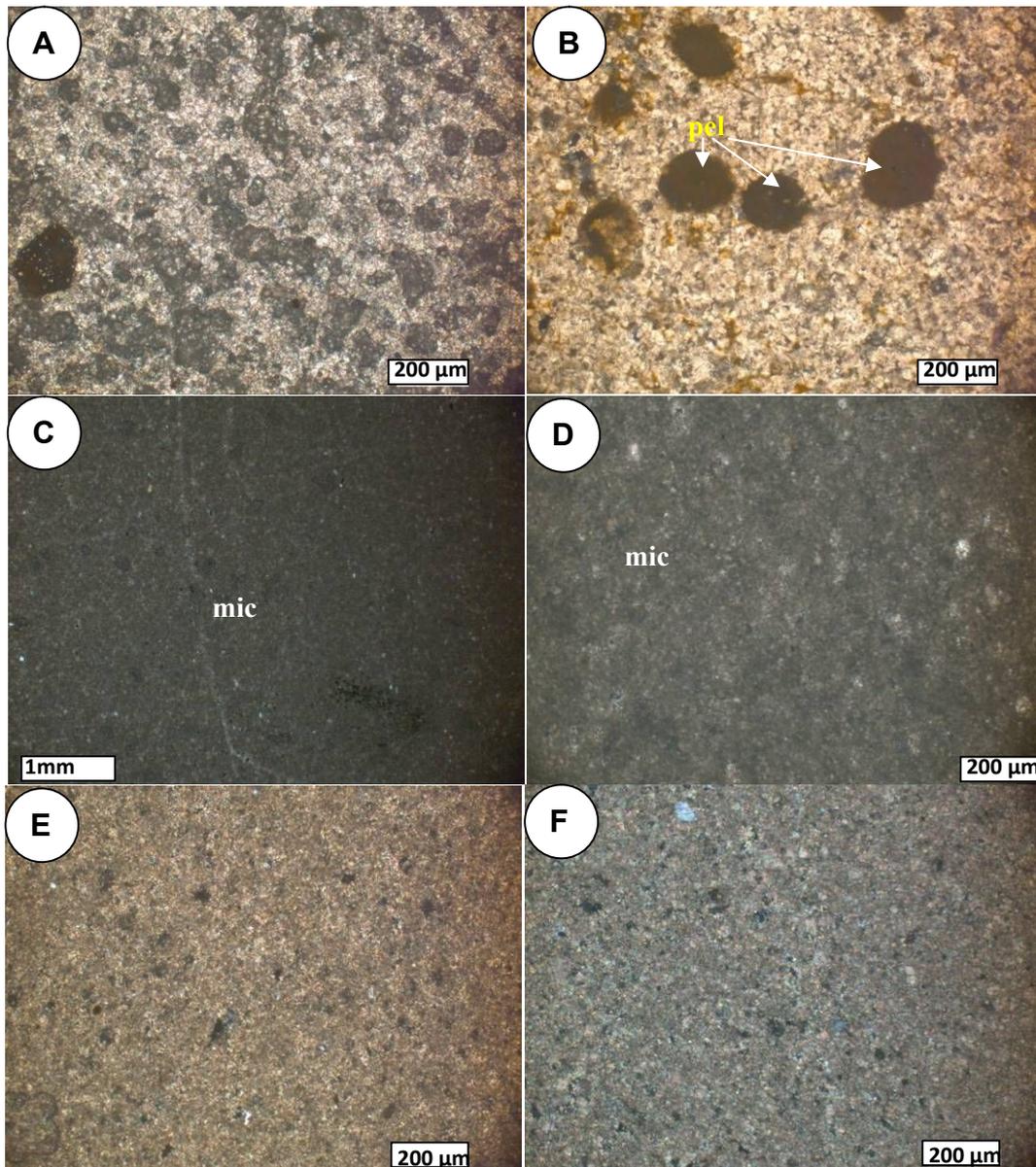


Planche. 12: Horizon carbonaté (Horizon D) – encaissant du toit des minerais de phosphates.
mic : micrite, pel : pellets.

(A) et (B) : micro-sparite (dolomitique) renfermant des pellets à la limite de la formation des minerais phosphatée montrant la diminution progressive de la fréquence des grains phosphatés jusqu'à la disparation

(C) et (D) : micrite indiquant des conditions à nouveau profondes.

(E) et (F) : micro-sparite.

Les observations récoltées suite à l'étude pétrographique des différents horizons rencontrés à El Kouif, ont permis de constater un changement dans le milieu et des conditions de mise en place des sédiments phosphatés de la base vers le sommet.

La présence quasi-permanente de la glauconie n'est que témoin du confinement du milieu et de sa profondeur à la base de l'affleurement d'El Kouif. La silicification quant à elle annonce la tendance à des niveaux moins profonds.

2.2. Secteur de Djebel Dyr (Tébessa Nord)

L'étude de l'évolution pétrographique des phosphates avec leurs encaissants a été effectuée en se basant sur une coupe réalisée au sud-est de Dj. Dyr dont les coordonnées géographiques sont N : 35°, 33, 808. E : 08°, 13, 120 (Fig. 42).

Les affleurements au niveau de Djebel Dyr, représentent une alternance de plusieurs niveaux de minerais de phosphates intercalés avec des dolomies, des calcaires, des marnes et du silex dont les épaisseurs sont réduites par rapport celles d'El Kouif.

D'une manière générale, l'affleurement est subdivisé en une succession de faciès marneux à la base, phosphatés au centre puis calcaireux et siliceux au sommet (Fig. 43). Nous présentons une description pétrographique des formations rencontrés ainsi les implications sur les environnements de dépôt.

Du bas en haut, on distingue :

- L'horizon carbonaté (encaissant du mur) ;
- L'horizon phosphaté surmonté par des niveaux silicifiés (niveaux du centre) ;
- L'horizon carbonaté (encaissant du toit).

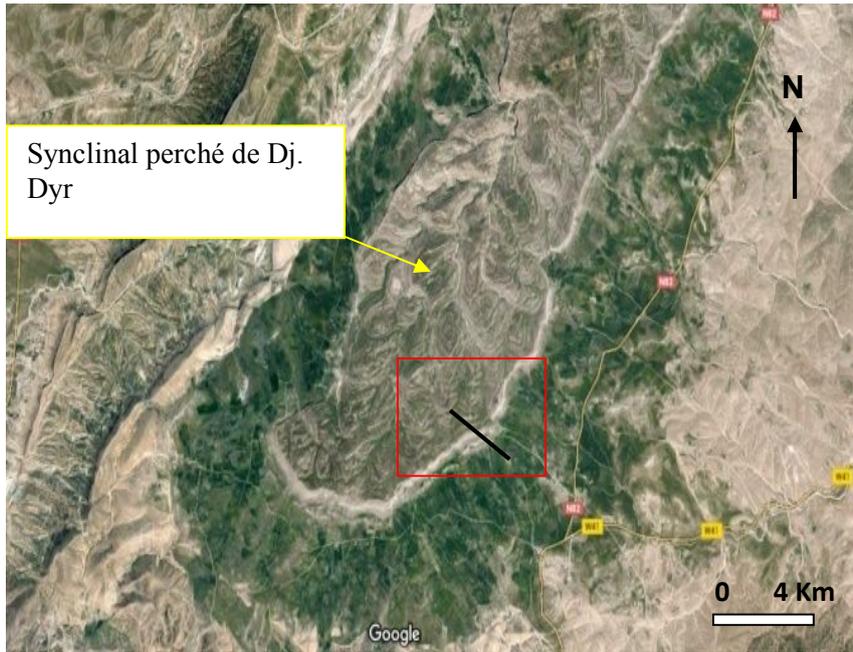


Fig. 42 : Localisation du log utilisée pour cette étude.

Age	Étage	Litho.	Description lithologique	Lames
Paléocène Supérieur - Eocène Inferieur	Lutétien		Encaissant du toit : -Calcaires massifs ; -Calcaires nummulitiques ; - calcaires à rognons de silex.	☆ ☆
			Niveaux de Centre : Alternance des niveaux phosphatés avec des calcaires, marnes et argiles.	☆ ☆ ☆
			Encaissant du mur : Alternance des niveaux de calcaires et dolomie avec faibles passés de phosphates argileux et marneux	☆ D4 ☆ D2 ☆ D1

Fig. 43: Log lithologique schématique de l’affleurement étudié.

2.2.1. Description de l'horizon carbonaté (encaissant du mur)

Cet horizon représente l'encaissant du mur pour les minerais de phosphate. Il s'agit des niveaux dolomitiques, calcaireux et marneux parfois à grains de phosphate (Fig. 44-A). Les épaisseurs sont d'ordres centimétriques à métriques. Les lames au nombre de 3 ont été confectionnées sur les calcaires et les dolomies: D1 ; D2 et D4.

Les lames D1 et D2 présentent une bio-micrite à foraminifères benthiques et des grains de phosphates (Fig. 44), dont la texture est wackestone. (Planche. 13-A-C). La **lame D4** confectionnée à partir d'un échantillon de l'encaissant du mur, montre une bio-micrite qui peut évoluer à une dolomicrite (Planche 13. E-F-G-H).

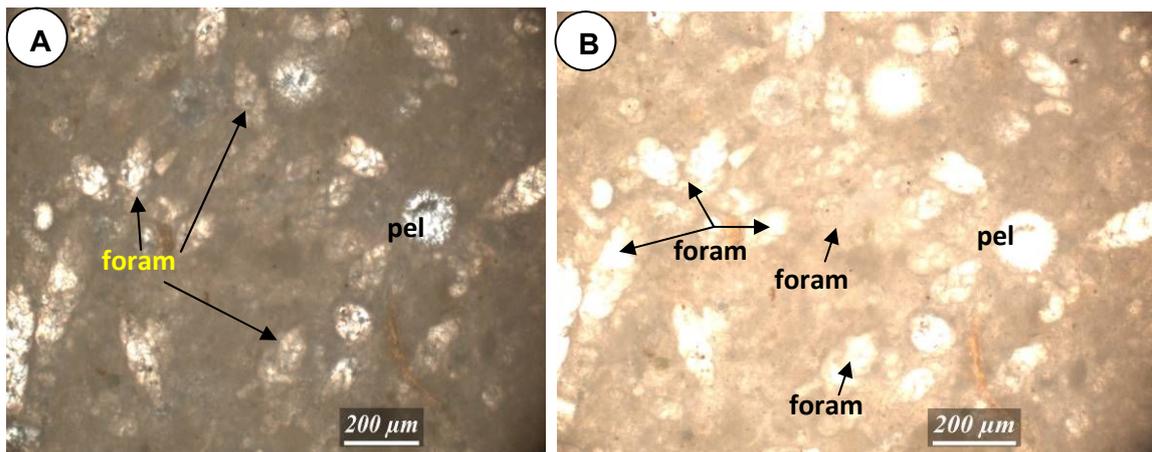


Fig. 44 : bio-micrite à foraminifères benthiques et à grains de phosphates.
pel: pellets; **foram** : foraminifères benthiques.

2.2.2. Description de l'horizon phosphaté (niveaux du centre)

Ce terme phosphaté occupe le centre de l'affleurement sous forme de niveaux centimétriques à décimétriques (cf. fig. 43). C'est un minéral de phosphate montrant une texture grainstone jointive (Planche. 14-B-D). La granulométrie est hétérogène variant de 50 µm à plus 1 mm. Les grains phosphatés sont représentés par des pellets de petite taille, en moyenne (100 à 250 µm). Ces pellets montrent parfois, des contours externes de couleurs rouges et marron qui peuvent indiquer soit une oxydation ou la présence de la matière

organique. Les coprolithes ont des formes cylindriques avec des surfaces fracturées contenant des remplissages tardives en calcite. Ces cassures sont probablement liées à des contraintes au cours de la diagenèse (compaction). La matrice est généralement, microspartique, recristallisée par endroit en sparite. Ce faciès renferme du gypse ainsi que de gros fragments de gastéropodes dont la taille varie de 2 à 3 mm (Planche 14 A-H).

2.2.3. Description de l'horizon carbonaté (encaissant du toit)

Cet horizon carbonaté, se trouvant au sommet de l'affleurement, représente l'encaissant du toit de l'horizon phosphaté. Ce sont des biomicrites à texture wackestone bioclastique (Planche. 15 A-B). Les nummulites sont très abondantes de taille considérable, visibles à l'œil nu (Planche. 15 C-D-E). Ce sont des calcaires à nummulites du Lutétien inférieur (Flandrin, 1948). Cet horizon est surmonté par un calcaire microspartique à micritique dans les niveaux supérieurs de l'affleurement.

La synthèse des données tirées de la description des microfaciès des différents horizons révèle que le mur de la formation à passées de phosphates à Dj Dyr traduit un milieu profond avec une faible énergie.

L'horizon phosphaté, par contre, présentant un assemblage fossilifère et du gypse nous permet d'affirmer l'installation de nouvelles conditions de mise en dépôt peu profondes.

La prolifération des nummulites dans les calcaires du toit traduit un milieu peu profond et bien oxygéné. Ces faciès ont été déjà décrits dans la région de Tébessa au Lutétien inférieur (Flandrin, 1948). Vers les derniers termes, le milieu a tendance à s'approfondir et se calmer avec la dominance de la micrite.

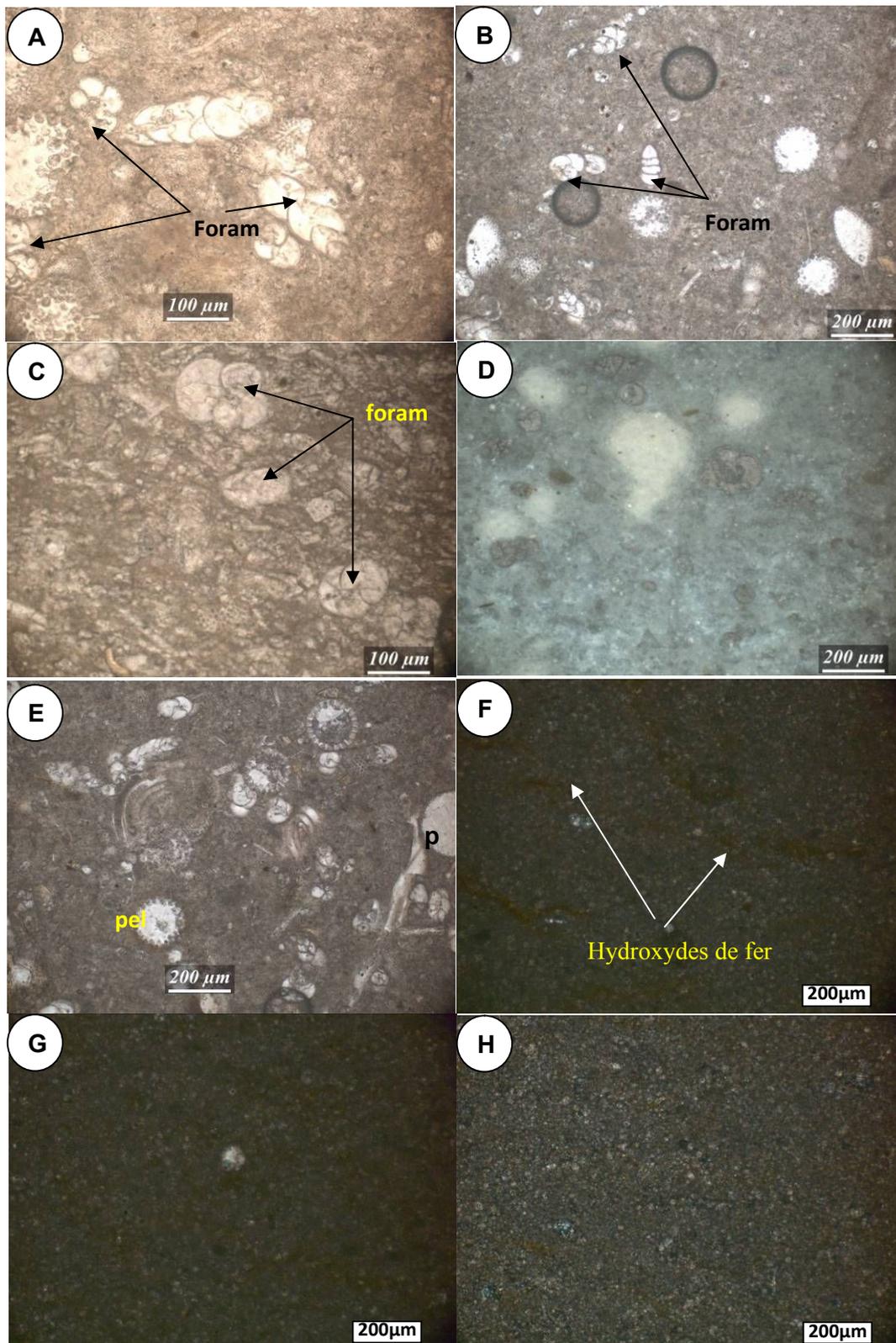


Planche. 13 : Horizon carbonaté (encaissant du mur).

(A) (B) (C) (D) et (E) : calcaire wackstone à foraminifères benthiques.

(F) (G) et (H): dolomicrite à hydroxydes de fer.

pel: pellet ; **foram** : foraminifères benthiques.

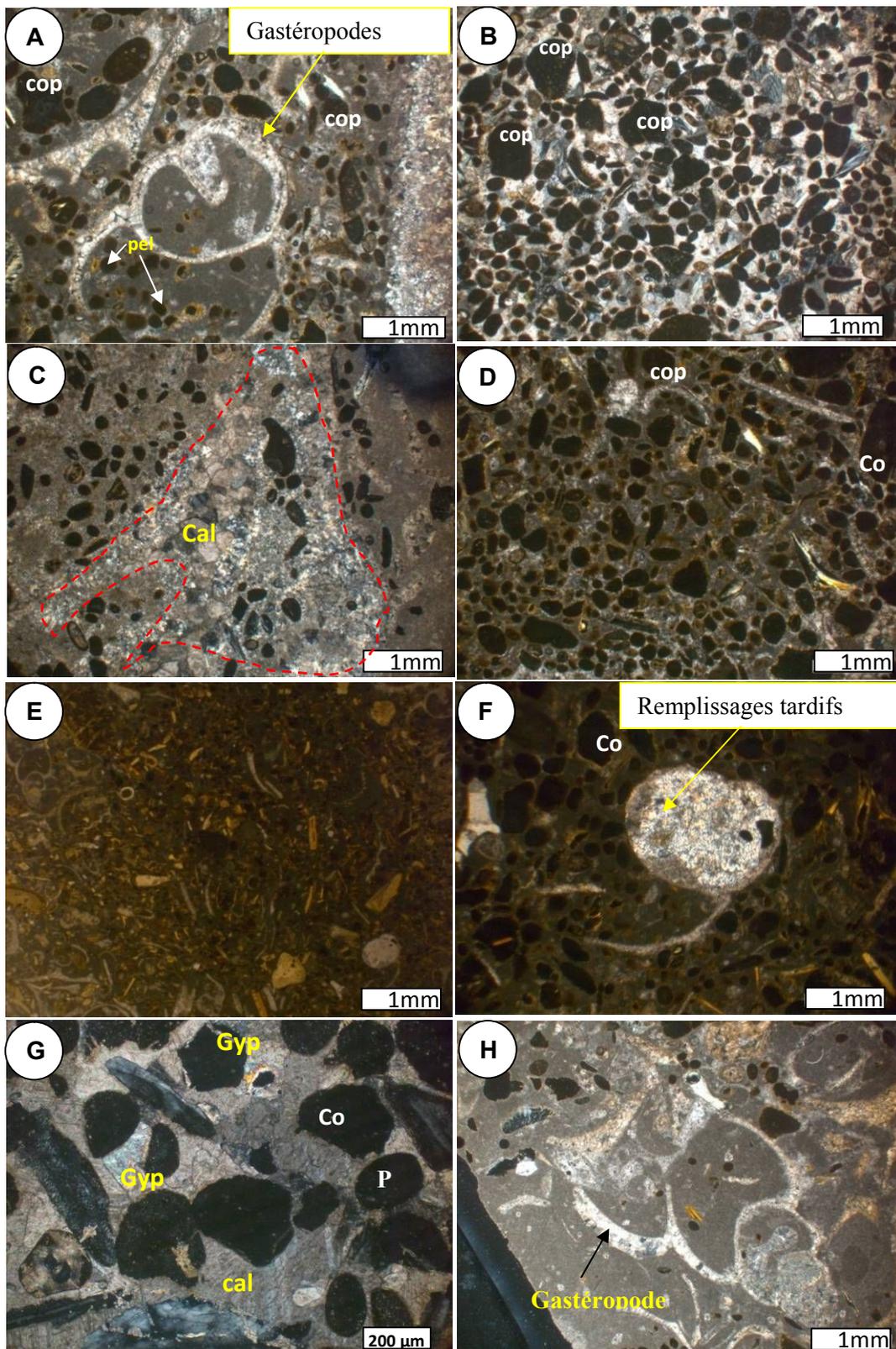


Planche. 14 : Horizon phosphaté au centre de l’affleurement de Dj. Dyr.

Légende de la planche 14

(A) et (H) : grains phosphatés (pel : pellets ; cop : coprolithes) avec des macro-fossiles représentés par des *gastéropodes*. Une matrice micritique avec des plages montrant une recristallisation en sparite.

(B) et (D) : grains phosphatés jointifs (une texture grainstone). Ce minerai de phosphate contient des débris osseux et rarement à des foraminifères.

(C) : recristallisation du ciment micritique qui devient sparitique, où des cristaux de la calcite sont visibles (*triangle*).

(E) : une biomicrite à *gastéropodes*.

(F) : grains phosphatés liés par une matrice micritique montrant parfois des remplissages tardifs de calcite.

(G) : grains phosphatés dans un ciment sparitique (cal : calcite). Cette lame renferme aussi du gypse (gyp).

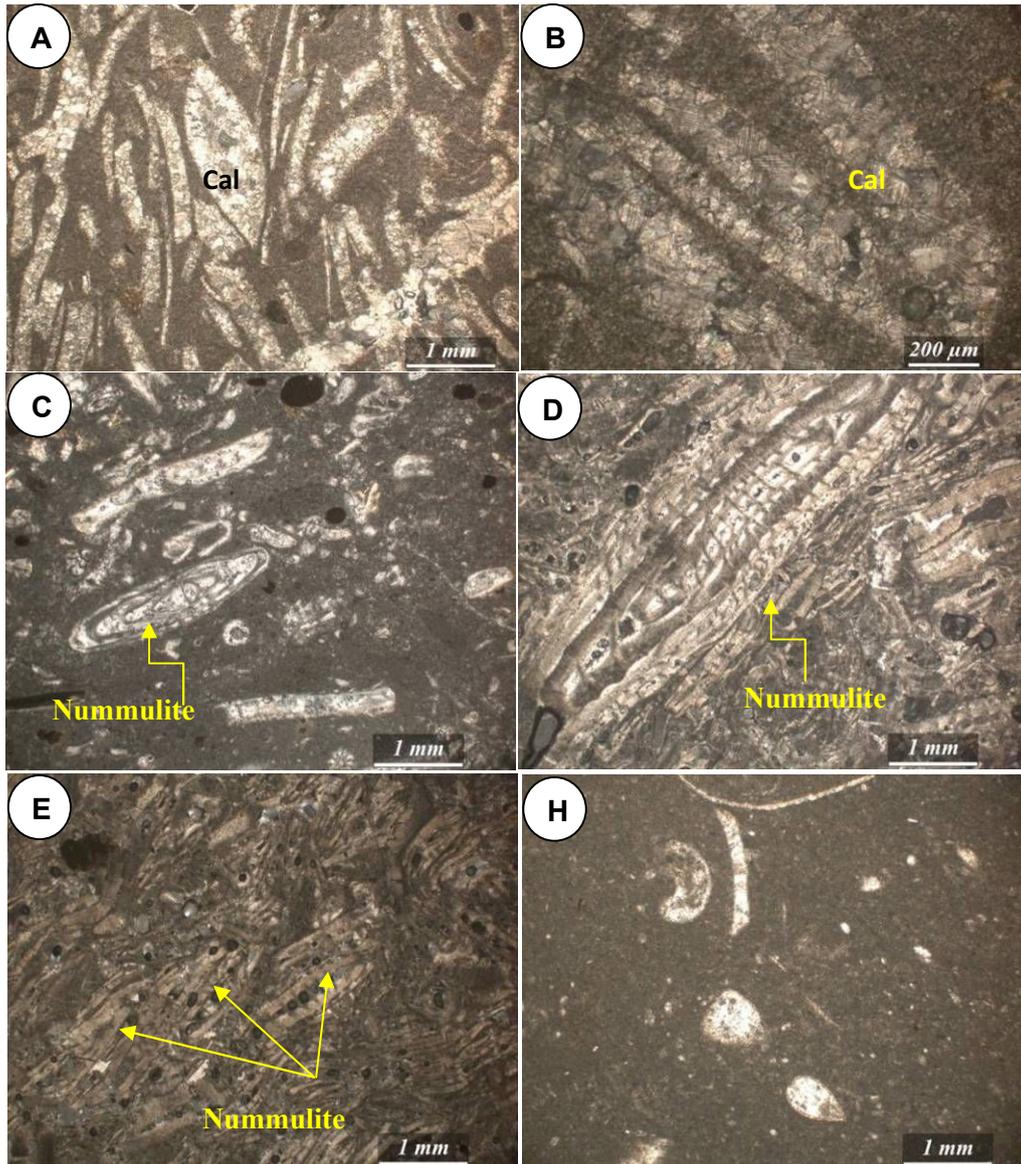


Planche. 15: Microfaciès de l'horizon carbonaté (l'encaissant du toit pour les minerais de phosphates).

(A) et (B) : calcaire bioclastique. Les tests sont remplis par la calcite (cal)

(C), (D) et (E) : calcaire à nummulites. Ces lames montrent une prolifération des nummulites dont la taille qui peut dépasser 10 mm indiquant le changement des conditions environnantes (oxygénation).

(H) : une micrite avec traces de nummulites d'autres macros fossiles.

2.3. Secteur de Tazbant (Tébessa Nord)

L'examen microscopique des lames réalisées sur les minerais de phosphates et leur encaissant, montre que le mur des niveaux de minerais phosphatés, est caractérisé par une dolomicrite à foraminifères benthiques (Planche. 16-A-B).

Ces bancs sont surmontés par les niveaux de minerais phosphatés qui révèlent généralement, une texture grainstone où la taille des grains varie de 150 μm à plus 500 μm . Le ciment sparitique est bien développé (Planche. 16-C-D). Ces phosphates montrent un mauvais classement des particules et ils renferment des débris osseux.

Les niveaux silicifiés sont identiques dans tous les affleurements de Tébessa Nord qui se trouvent au sommet. Ils montrent une texture packstone. Les grains phosphatés sont cimentés par la silice. Cette dernière forme deux générations: la première assure la liaison des grains (Planche. 16-E), tandis que la deuxième génération est liée aux remplissages secondaires (Planche. 16- F).

L'évolution des microfaciès à Dj. Tazbant de dolomicrite à foraminifères benthiques vers des phosphates à ciment sparitique et des phosphates silicifiés, est expliqué par la faible profondeur et la tendance à l'émersion.

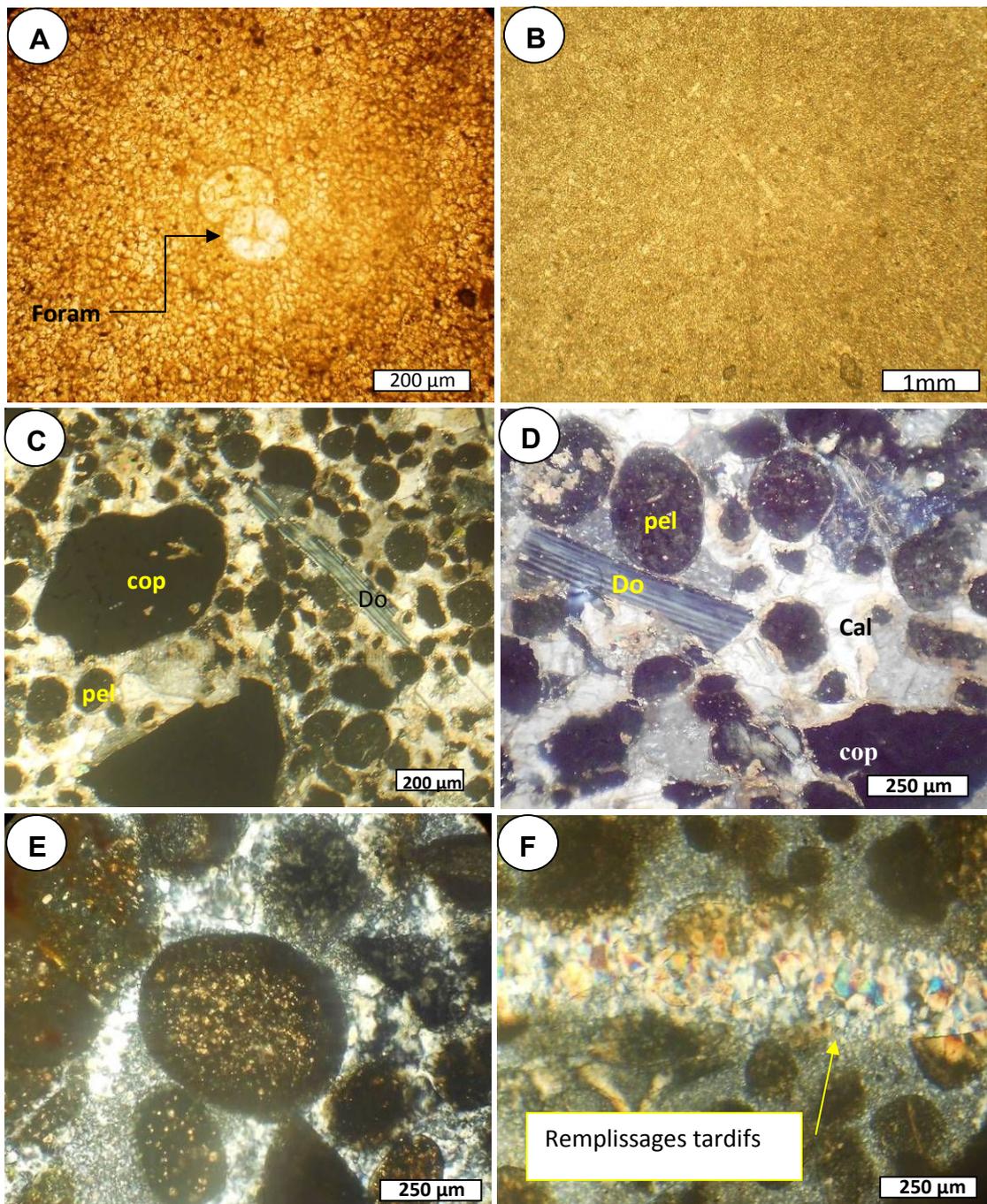


Planche. 16 : Microfaciès des minerais de phosphates de Tazbant et leur encaissant du mur.
(pel) : pellet ; **(cop)**: coprolithes ; **(Do)** : débris osseux ; **(cal)** : calcite.

(A) et (B) : encaissant du mur pour les niveaux des minerais phosphatés montrant un dolomicrite à foraminifères benthiques.

(C) et (D) : minerais de phosphates à ciment sparitique (calcite : cal) montrant une texture grainstone.

(E) : minerais de phosphate silicifié montrant des grains à contenu hétérogène.

(F) : phosphate silicifié montrant des remplissages tardifs, de nature siliceuse.

2.4. Les minerais de phosphates de Tébessa Sud

Pour un complément d'informations sur les minerais de phosphates du Tébessa Sud, l'utilisation des résultats sur le gisement de Bled El Hadba (Kechiched, 2011) qui montre la même disposition que Kef essenoun était nécessaire. Les minerais de phosphates de Dj Onk (Tébessa Sud) distinguent des minerais de Tébessa Nord par leur contexte géologique, pétrographie et leur géochimique. Ces minerais montrent une succession distincte de trois (3) sous couches : basale; principale et sommitale :

La couche basale

L'étude pétrographique des lames minces de la couche basale, a montré une typologie caractérisée par une diminution de la fréquence des grains phosphatés et une prédominance d'une microsparite qui peut aller jusqu'à 70% de la roche. La texture est généralement wackstone (Fig. 45).

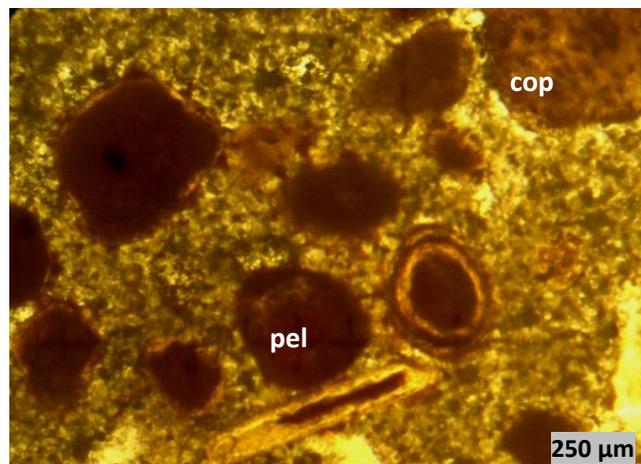


Fig. 45: Minerais de phosphates de la couche basale du gisement de Bled El Hadba (Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011). **cop** : coprolithe; **pel** : pellets ;

La couche principale

L'étude pétrographique des minerais de la couche principale, a montré une augmentation de la fréquence de grains phosphatés. Notant, l'existence de plusieurs faciès de phosphates (Planche. 17). Cependant, les minerais de phosphates, à texture grainstone dont la taille des grains variant de 200 à 250 µm, sont les plus réponsus. Ces grains montrent un

aspect arrondi avec une granulométrie plus ou moins homogène (Planche. 15 A-D). La matrice est argileuse à glauconie qui indique le milieu de dépôt à tendances réductrices à faible énergie (Planche. 15-A). Les débris osseux sont rencontrés dans la plus part des faciès (Planche. 15-C et D)

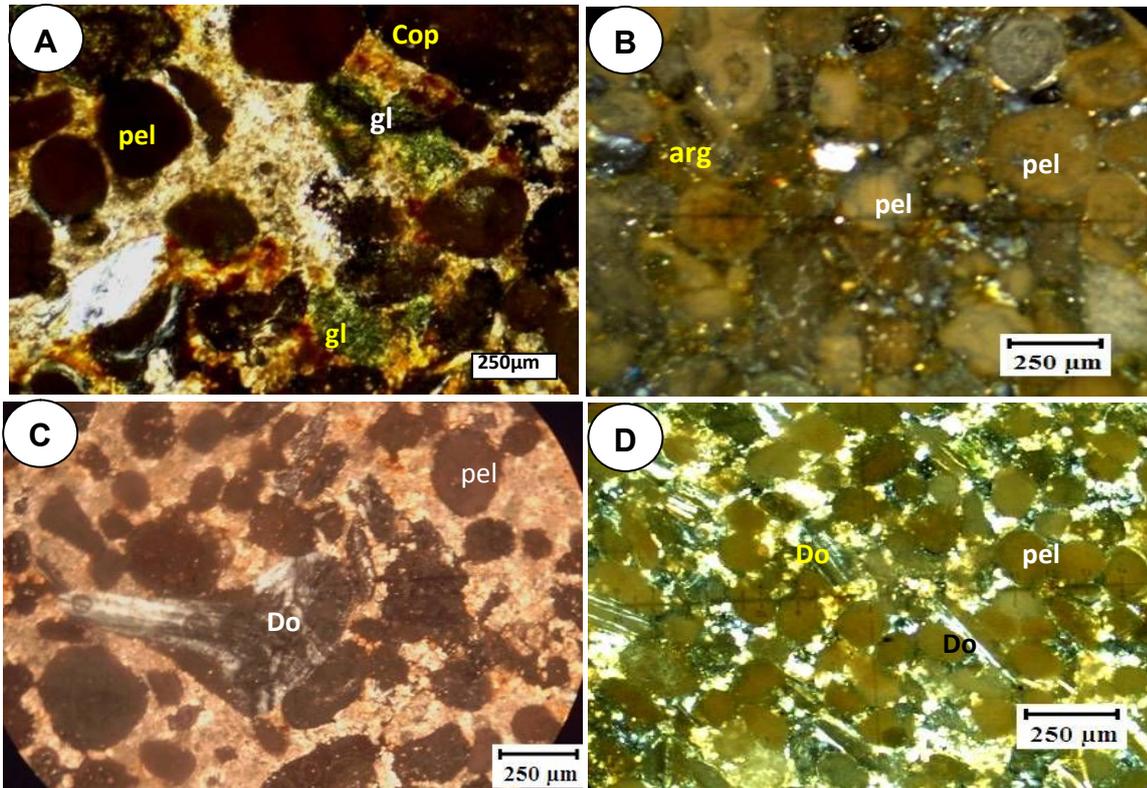


Planche. 17 : Minerais de phosphates de la couche principale du gisement de Bled El Hadba (Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011). **cop** : coprolithe. ; **pel** : pellet ; **arg** : matrice argileuse; **Do** : débris osseux ; **gl** : glauconie.

- (A) : minerais de phosphates à glauconie.
- (B) : minerais de phosphates à matrice argileuse.
- (C) : minerais de phosphates à ciment microsparitique.
- (D) : minerais de phosphates à grains fins et à débris osseux.

La couche sommitale

L'observation microscopique montre une hétérogénéité sur le plan de la taille des grains phosphatés qui varient entre 50 µm et plus de 1 mm. Ils sont composés essentiellement de pellets, de coprolithes et des débris osseux. Cette couche est caractérisée par le développement du ciment microspaitique (Fig. 46).

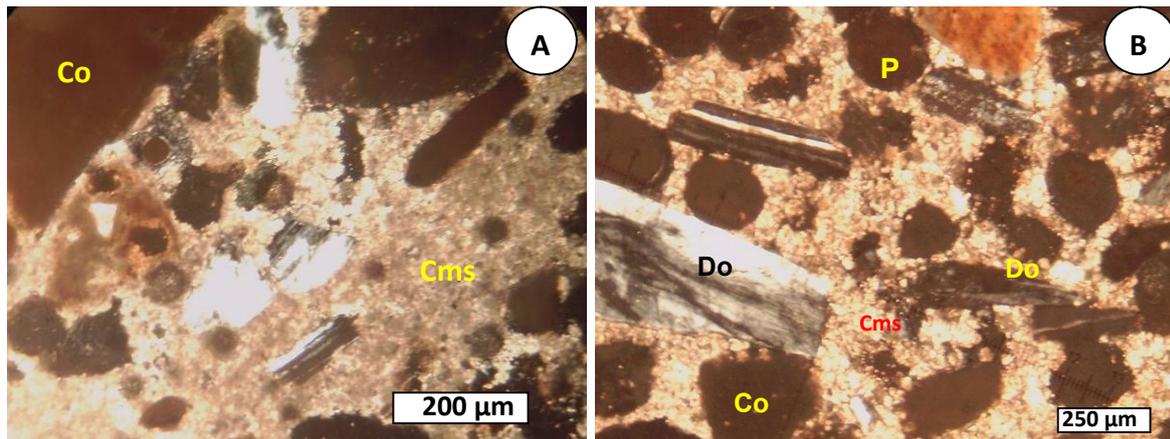


Fig. 46 : Minerais de phosphates de la couche sommitale du gisement de Bled El Hadba (Dj. Onk) à Tébessa Sud (Kechiched, 2011). **pel** : pellets ; **cop** : coprolithe ; **Do** : débris osseux ; **Cms** : ciment micro-spartique

- (A)** : minerais de phosphates montrant des gros coprolithes ;
(B) : minerais de phosphates montrant des débris osseux (Do).

La synthèse des résultats des travaux de terrain, de l'étude macroscopique sur le gisement de Kef essenoun et celle de Bled El Hadba appartenant à Djebel Onk (Tébessa Sud), confirme la distinction de trois couches pour le faisceau phosphaté : basale, principale et sommitale. La couche principale montre un enrichissement en grains phosphatés et en glauconie indiquant un milieu profond et confiné à tendances réductrices. La couche sommitale montre un changement de milieu de dépôt avec le développement d'une microsparite et les niveaux silicifiés (observations de terrain). Le milieu a une tendance à être peu profond.

3. Résultats de l'analyse granulométrique

3.1. Minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)

L'étude granulométrique des minerais de phosphates de Dj. El Kouif a été effectuée sur seize (16) échantillons de phosphates prélevés de l'affleurement situé à côté de l'ancien cimetière d'Elkouif. Ces échantillons représentent les niveaux phosphatés de la base, ceux du

centre et ceux du sommet de l'horizon phosphaté « horizon B ». Le choix de ces échantillons a été fait sur la base de leur friabilité permettant leur adéquation aux différents traitements granulométriques. Les indices de Folk et Ward (1957) ont été calculés à l'aide d'une feuille de calcul programmée GRADISTAT (Simon, 2010).

3.1.1 Échantillons des minerais de phosphates à la base de l'horizon (B)

Cinq (5) échantillons ont été prélevés à la base du « horizon B » de Djebel Kouif. Ils sont représentés par un minerai de phosphate friable dont la matrice est généralement argileuse. Les courbes des fréquences relatives montrent que la distribution est de type log-normal (Fig. 47-A). Les courbes des fréquences cumulées, révèlent que; (1) les fractions inférieures à 0.4 mm sont les plus dominées représentant 80 % de la totalité. Ce sont les pellets et les composantes fines essentiellement ; (2) la fraction dépassant 0.4 mm montre un pourcentage de 20 % composée de pellets, de coprolithes et de lithoclastes (Fig. 47-B).

Les paramètres granulométriques calculés, montrent que : (1) la classe moyenne est de 0.267 mm ; (2) le coefficient de classement σ variant de 1.51 à 1.57 (Moy = 1.54) indiquant un classement très mauvais ; (3) l'indice d'asymétrie Ski varie de -0.18 à 0.11 (Moy = -0.09) montrant une symétrie granulométrique ; (4) l'indice d'acuité de K_G varie de 0.63 à 0.83 (Moy = 0.76) qui indique des courbes platykurtiques (cf. Annexe. 3).

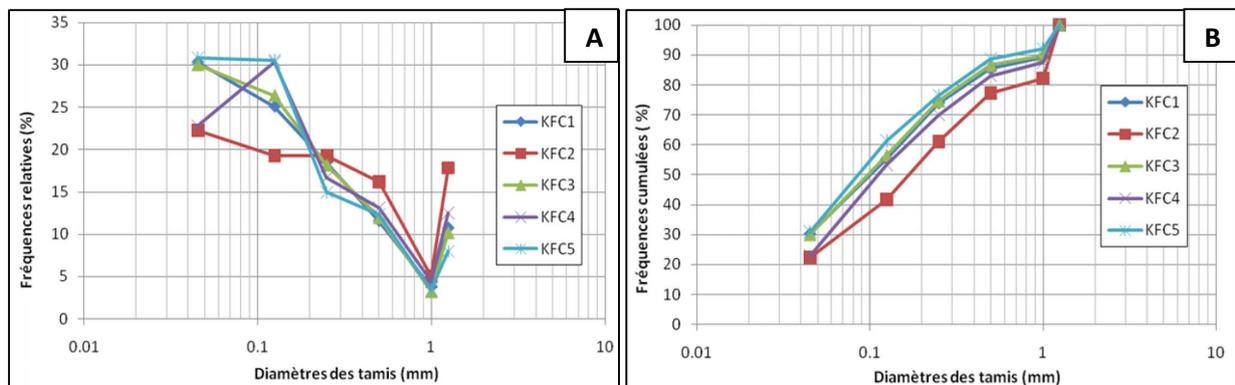


Fig. 47 : Courbes granulométriques des échantillons de minerais de phosphates à base du « Horizon B » de l'affleurement d'El Kouif. **(A)** : courbes des fréquences relatives ; **(B)** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes des probabilités montrent trois (3) domaines (Fig. 48) :

(1) un premier domaine (A) représentant les particules fines avec des fractions inférieures à 0.150 mm montrant un pourcentage de 50 % des particules. Le transport admis pour ces particules est la *suspension*.

(2) le deuxième domaine (B) caractérise une population de particules dont le diamètre est compris entre 0.150 et 1 mm. Ces grains sont transportés par *saltation* et ils montrent 35 % de l'ensemble des particules

(3) le troisième domaine (C) correspond aux particules avec un pourcentage de 15 % et dont les diamètres sont supérieurs à 1 mm. Il s'agit de la population la plus grossière où le transport s'est effectué *par roulement*.

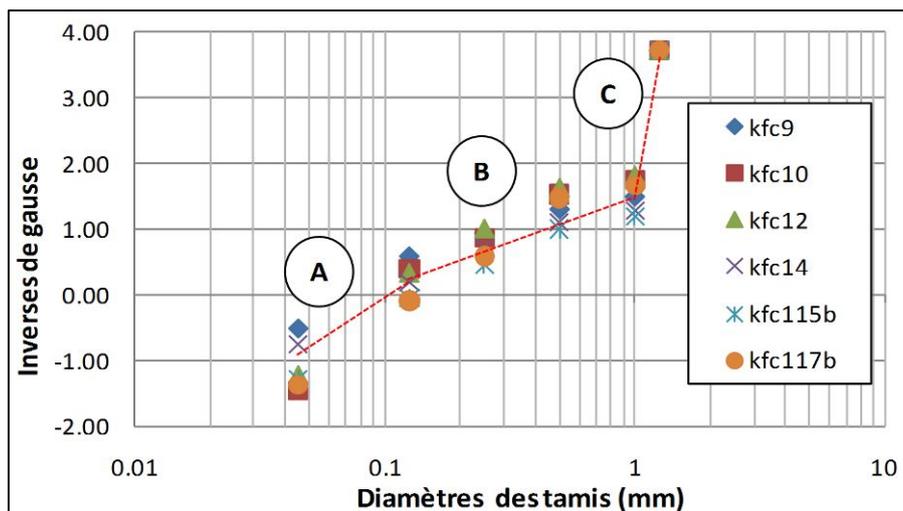


Fig. 48 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates à la base du « horizon B » de l'affleurement d'El Kouif (Tébessa Nord).

3.1.2. Échantillons de minerais de phosphates du centre du « horizon B »

Cinq (5) échantillons du centre du « horizon B » de l'affleurement de Djebel Kouif ont fait l'objet de la classification granulométrique. Les courbes des fréquences relatives montrent une distribution de type log-normal (Fig. 49-A). Les courbes de fréquences cumulées révèlent que : (1) les fractions dont la taille est inférieure à 0.1 mm représente 65 %. Ce sont les fractions fines (composantes d'exo-gangue et les particules phosphatées fines) ; (2) la fraction

dont la taille variant de 0.1 à 0.5 mm représente 25 % des particules montrant essentiellement des pellets; (3) la fraction grossière dont la taille dépassant 0.5 mm montre un pourcentage de 10 % des particules (Fig. 49-B).

Les paramètres granulométriques calculés montrent que: (1) la classe moyenne est de 0.191 mm ; (2) le coefficient de classement σ varie de 1.51 à 1.68 dont la moyenne est 1.62, montrant un classement très mauvais ; (3) l'indice d'asymétrie Ski varie de -0.57 à -0.33 (Moy = -0.42), montrant une asymétrie vers les tailles grossières ; (4) l'indice d'acuité de K_G varie de 0.60 à 1.09 (Moy = 0.82) indiquant des courbes platykurtiques en générale (cf. Annexe. 3).

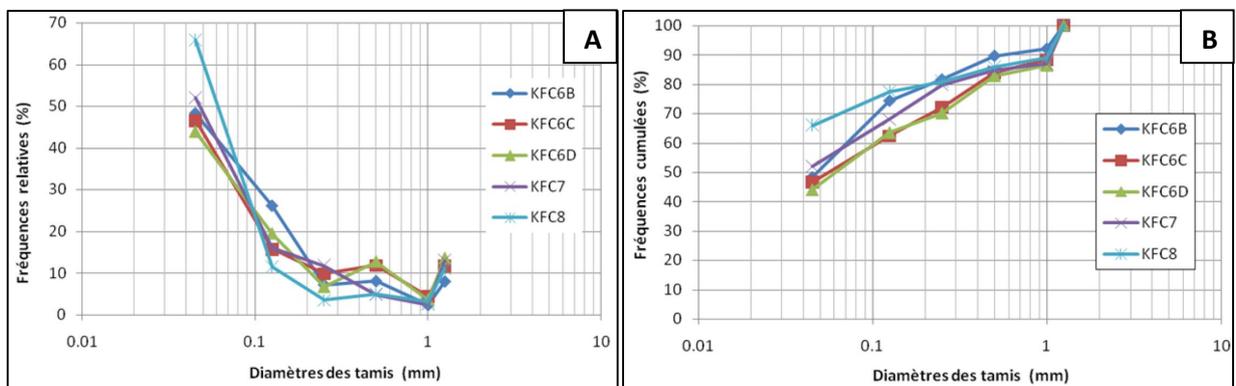


Fig. 49 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates au centre du « Horizon B » de l’affleurement d’El Kouif. **(A)**: courbes des fréquences relatives ; **(B)** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes des probabilités montrent trois (3) domaines (Fig. 50) :

(1) le premier domaine **(A)** caractérise la population dont le diamètre est inférieur à 0.250 mm. Le mode de transport le plus admis est la *suspension* représentant 75 % des particules.

(2) le deuxième domaine **(B)** caractérise la population dont le diamètre variant entre 0.250 et 1 mm. Elle correspond aux grains de tailles moyennes qui sont transportés par *saltation*. Le pourcentage de ce domaine est 15 % des particules

(3) le troisième domaine **(C)** correspond aux particules dont les diamètres supérieures à 1 mm. C'est la fraction grossière où le transport est par *roulement*. Le pourcentage est estimé de 10 % des particules.

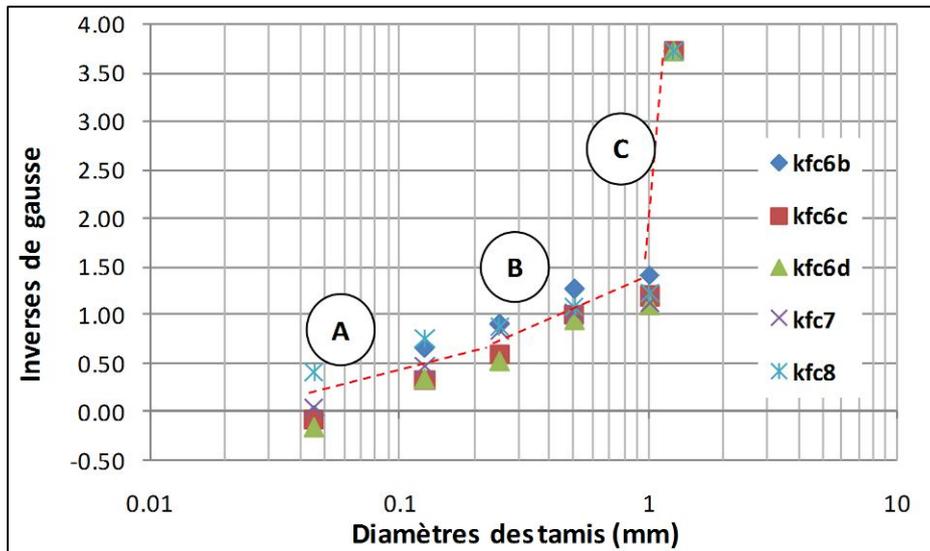


Fig. 50 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates au centre du « horizon B » de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord).

3.1.3 Échantillons des minerais de phosphates au sommet du « horizon B »

Six (6) échantillons de minerais de phosphates ont été prélevés au sommet du « horizon B ». Les courbes des fréquences relatives ont montré une distribution de type *bimodale* (Fig. 51-A). Les courbes des fréquences cumulées révèlent que : (1) les fractions inférieures à 0.150 montrent un pourcentage de 50 % des particules. Ce sont les particules fines représentées essentiellement par des pellets, du ciment et de la matrice ; (2) les fractions variant de 0.150 mm à 0.5 mm représentent 40 % des particules. Elles sont représentées par pellets essentiellement ; (3) les fractions dont la taille dépasse 0.5 mm montrant 10 % des particules. Elles indiquent la fraction grossière constituée de coprolithes, bioclastes et des lithoclastes (Fig. 51-B).

Les paramètres granulométriques calculés montrent que : (1) la classe moyenne est de 0.280 mm ; (2) le classement est très mauvais avec un coefficient de classement σ variant de 1.05 à 1.45 (Moy=1.27) ; (3) l’indice d’asymétrie Sk_i varie de -0.39 à 0.02 (Moy = -0.19) montrant une asymétrie vers les tailles grossières ; (4) l’indice d’acuité K_G varie de 0.68 à 1.21 (Moy = 0.99) qui indique des courbes platykurtiques à mésokurtiques (cf. Annexe. 3).

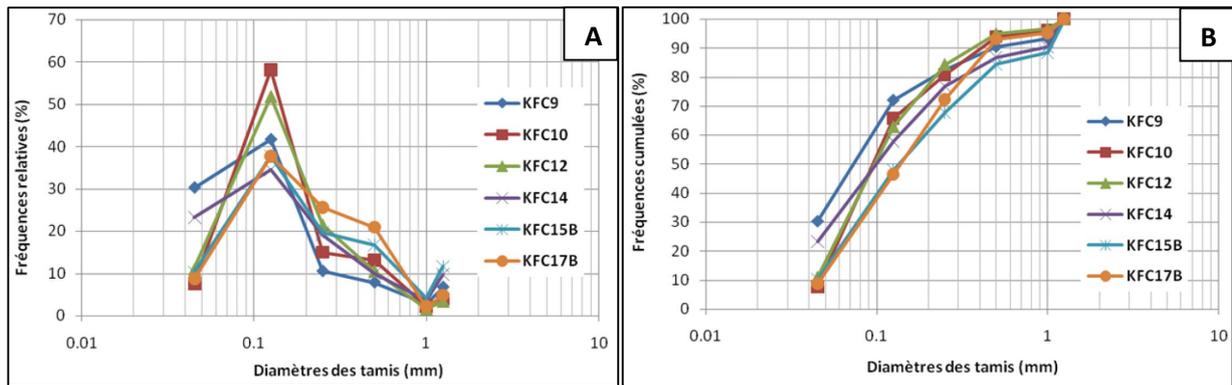


Fig. 51 : Courbes granulométriques des échantillons de minerais de phosphates au sommet du « Horizon B » de l’affleurement d’El Kouif. **(A)** : courbes des fréquences relatives ; **(B)** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes des probabilités de ces échantillons montrent trois domaines (Fig. 52) :

- (1) Un premier domaine **(A)** caractérise les fractions fines dont la taille des grains est inférieure à 0.150 mm où le transport est par *suspension*. Il représente 50 % de la totalité.
- (2) Le domaine **(B)** caractérise une population des particules dont le diamètre varie entre 0.150 et 1 mm qui sont transportées par *saltation*. Ce domaine représente 40 % de la totalité.
- (3) Le domaine **(C)** où le diamètre des particules phosphatées est supérieur à 1 mm. Il représente la fraction la plus grossière avec un faible pourcentage (10 %) où le transport est par *roulement*.

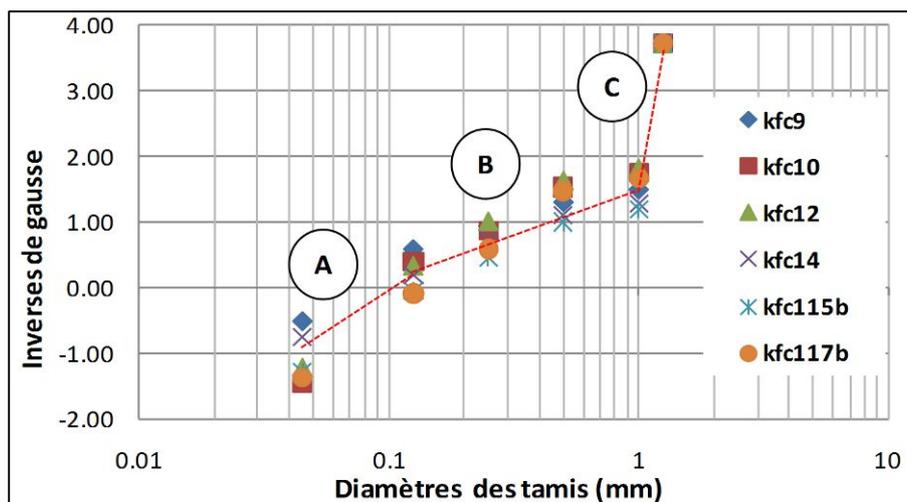


Fig. 52 : Graphes des probabilités des échantillons des minerais de phosphates au sommet du « horizon B » l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord).

Les minerais de phosphates de la base de « horizon B » de l’affleurement sont caractérisés par la présence de la fraction fine à moyenne et parfois grossière, expliquant ainsi leur classement très mauvais. Les modes de transport des particules les plus admis sont par suspension et saltation.

Les minerais de phosphates du centre de « horizon B » de l’affleurement sont caractérisés par l’abondance de la fraction fine avec une asymétrie présentant un classement très mauvais. La suspension est le mode de transport le plus attribué pour ces particules.

Les échantillons de minerais de phosphates du sommet de « horizon B » de l’affleurement montrent une hétérogénéité granulométrique des particules dont le classement est très mauvais. Les particules ont eu un mode de transport essentiellement par suspension et par saltation.

3.2. Minerais de Phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord)

L’analyse granulométrique des minerais de phosphates de Djebel Dyr a été faite sur Cinq (5) échantillons ; Ces échantillons montrent les minerais phosphates des niveaux de la base, du centre et du sommet de l’affleurement (cf. fig. 43).

3.2.1. Échantillons des minerais de phosphates de la base

Deux échantillons de minerais de phosphates prélevés à la base de Dj. Dyr ont été utilisés pour l’analyse granulométrique. les courbes des fréquences relatives révèlent plusieurs modes témoignant d’une hétérogénéité granulométrique (Fig. 53-A). Les courbes cumulatives montrent que : (1) les fractions inférieures à 0.150 mm représentent 20% des particules. Ils sont essentiellement des particules fines et de la composante de l’exo-gangue ; (2) les fractions dont la taille variant entre 0.150 et 0.4 mm représente 30 % (essentiellement des pellets) ; (3) les fractions dépassant 0.4 mm représentent 50 % qui sont constituées de coprolithes, lithoclastes et des bioclastes (Fig. 53-B).

Les paramètres calculés montrent que: (1) la classe moyenne est de 0.860 mm ; il s'agit alors, des phosphates coprolithiques (2) le coefficient de classement σ variant de 1.48 à 1.58 (Moy =1.53), indiquant un mauvais classement; (3) l'indice d'asymétrie Ski varie de 0.01 à 0.64 (Moy = 0.324) montrant une asymétrie vers les tailles fines. (4) l'indice d'acuité K_G varie de 0.56 à 0.68 (Moy = 0.62) qui indique des courbes très platykurtiques (Cf. Annexe. 3).

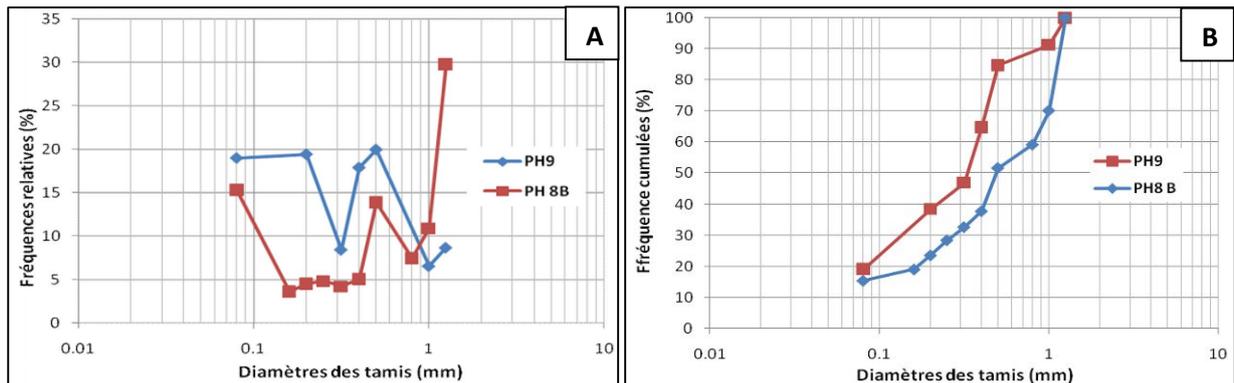


Fig. 53 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr. **(A)** : courbes des fréquences relatives ; **(B)** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes des probabilités de ces échantillons montrent, trois domaines à savoir (Fig. 54) :

- (1) le premier domaine **(A)** regroupe les fractions de tailles inférieures à 0.4 mm où le mode de transport le plus admis est la *suspension*. Il représente 40 % de la totalité.
- (2) le domaine **(B)** caractérise une population des particules dont le diamètre varie entre 0.4 et 1 mm où le mode transport admis est la *saltation*. Ce domaine couvre 40 % de la totalité.
- (3) Le domaine **(C)** représente le segment des particules phosphatées dont la taille est supérieure à 1 mm. Le mode de transport de cette fraction le plus attribué est le *roulement*. Il représente un pourcentage de 20 %.

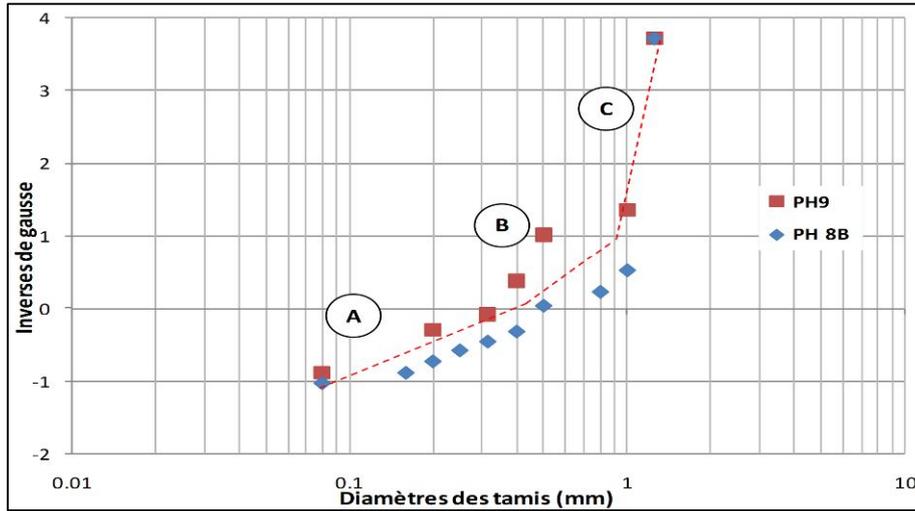


Fig. 54: Graphes de probabilités des échantillons des minerais de phosphates à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord).

3.2.2. Échantillon de minerai de phosphate du centre de l’affleurement

Un seul échantillon de minerai de phosphate prélevé du centre de l’affleurement de Dj. Dyr a été pris en considération pour l’analyse granulométrique. La courbe des fréquences relatives montre une distribution multimodale indiquant une hétérogénéité granulométrique (Fig. 55-A). La courbe des fréquences cumulées montre que : (1) les fractions inférieures à 0.2 mm représentent un pourcentage de 30 % de l’échantillon. Ce sont les particules fines et les composantes de l’exo-gangue ; (2) les fractions comprises entre 0.2 et 0.5 mm montrent un pourcentage de 30 % représentant essentiellement les pellets ; (3) les particules dépassant la taille de 0.5 mm représentent 40 % (Fig. 55-B).

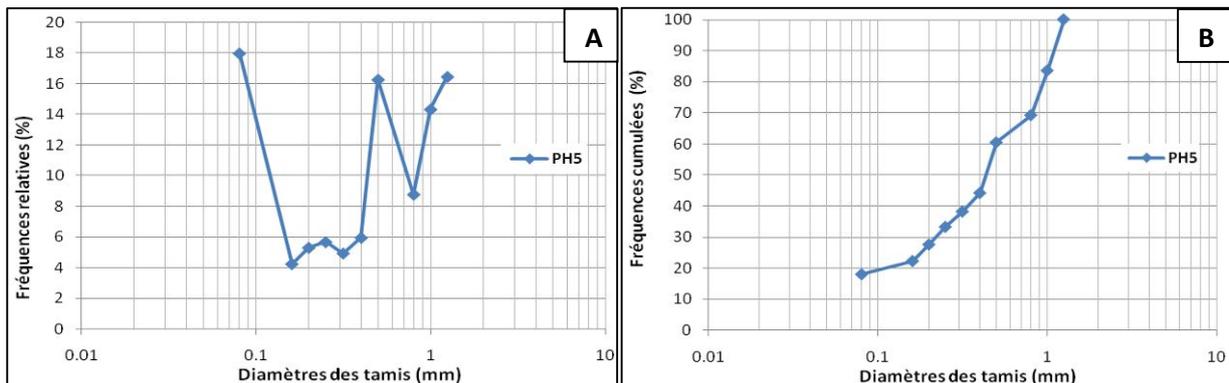


Fig. 55 : Courbes granulométriques de l’échantillon du minerai de phosphate à la base des niveaux phosphatés à Dj. Dyr. **A** : courbes des fréquences relatives ; **B** : courbes des fréquences cumulées.

Les paramètres granulométriques calculés montrent que : (1) la moyenne est égale 1.02 mm indiquant des phosphates coprolithiques ; (2) le coefficient de classement $\sigma = 1.46$ qui révèle un classement très mauvais; (3) l'indice d'asymétrie S_{ki} est de 0.69 traduisant une forte asymétrie vers les tailles fines ; (4) L'indice d'acuité $K_G = 0.66$ montrant des courbes très platykurtiques (cf. Annexe. 3).

Le graphe des probabilités montre trois populations de particules (Fig. 56) :

(1) le premier domaine (**A**) où le diamètre des particules est inférieur à 0.150. Ce sont les particules fines dont mode de transport le plus admis est par *suspension*. Cette population montre un pourcentage estimé à 20%.

(2) le deuxième domaine (**B**) dont le diamètre est compris entre 0.150 et 0.4 mm. Elle correspond aux grains phosphatés dont le mode de transport le plus attribué est par *saltation*. Cette population montre un pourcentage estimé de 15%.

(3) le troisième domaine (**C et D**) représente les grains dont la taille varie entre 0.4 et 1.25 mm. C'est la population la plus grossière où le transport le plus admis est par *roulement* avec un pourcentage estimé de 65 %.

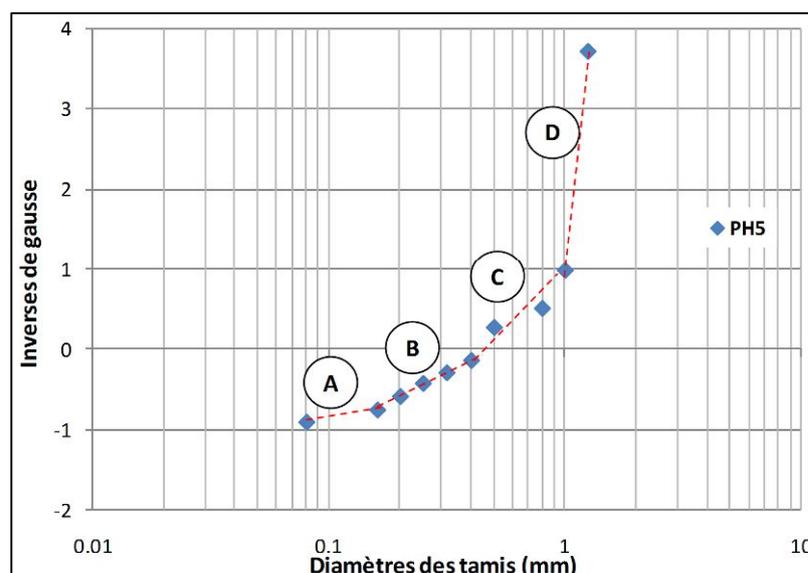


Fig. 56 : Graphe de probabilités d'échantillon de minerai de phosphate au centre des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord).

3.2.3. Échantillons des minerais de phosphates du sommet de l’affleurement

Deux échantillons friables ont été pris en compte pour la classification granulométrique. Les courbes des fréquences relatives montrent une distribution multimodale témoignant d’une hétérogénéité granulométrique (Fig. 57-A). Les courbes des fréquences cumulées montrent que : (1) la classe des particules inférieures à 0.1 mm représente 40 % qui consiste aux particules fines et aux composantes d’exo-ganague ; (2) la fraction comprise entre 0.1 et 0.4 m révèle un pourcentage de 20 % qui représente les pellets généralement ; (3) la classe dont la taille des grains dépassant 0.4 mm est constituée essentiellement, par des coprolithes, des bioclastes et des lithoclastes. Cette classe représente un pourcentage de 40% (Fig. 57-B).

Le calcul des paramètres granulométriques a montré que : (1) la classe moyenne est de 0.816 mm ; (2) le coefficient de classement σ varie de 1.29 à 1.89 (Moy = 1.59) indiquant un classement très mauvais ; (3) l’indice d’asymétrie S_{ki} varie de 0.13 à 1.14 avec (Moy = 0.64) montrant une asymétrie vers les tailles fines ; (4) l’indice d’acuité K_G varie de 0.39 à 0.72 (Moyenne = 0.55) qui reflète des courbes très platykurtiques (cf. Annexe. 3).

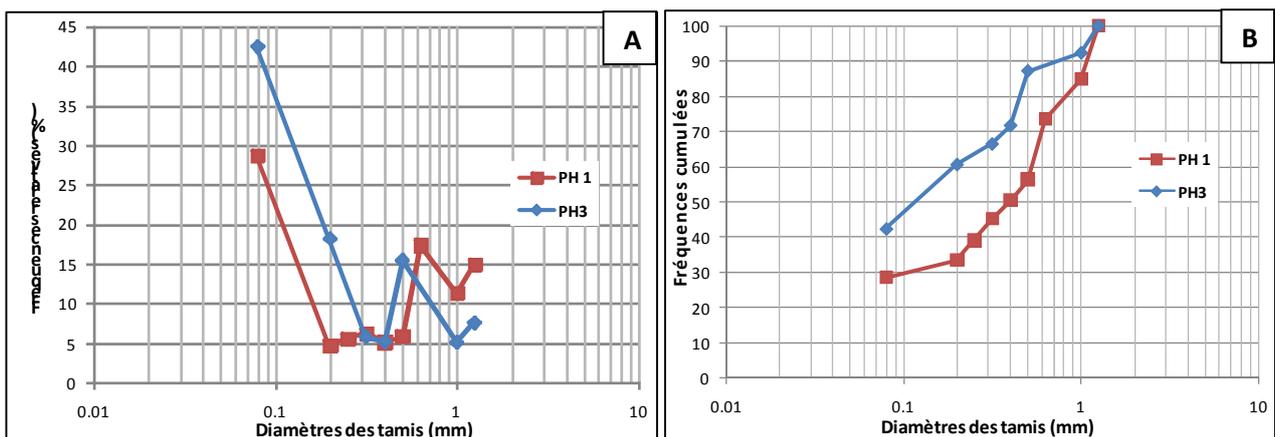


Fig. 57 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates au sommet des niveaux phosphatés à Dj. Dyr. (A) : courbes des fréquences relatives ; (B) : courbes des fréquences cumulées.

Le graphe des probabilités ont révélé l'existence de plusieurs populations représentant les trois domaines (Fig. 58):

(1) Le premier domaine (**A**) caractérisant les particules dont la taille est inférieure à 0.2 mm. Il s'agit des particules dont le mode de transport le plus admis est la *suspension*. Le pourcentage de ce domaine est estimé de 40%.

(2) Le deuxième domaine (**B**) représente les particules ayant un diamètre variant de 0.2 à 0.5 mm. Ce sont les particules dont mode de transport attribué est par *saltation* avec pourcentage estimé de 35 %.

(3) Le troisième domaine est représenté par deux segments (**C** et **D**) où la taille des particules varie entre 0.5 et 1.25 mm. Il s'agit de la population la plus grossière où le transport admis est par *roulement*. Ce mode de transport représente un pourcentage estimé de 25%.

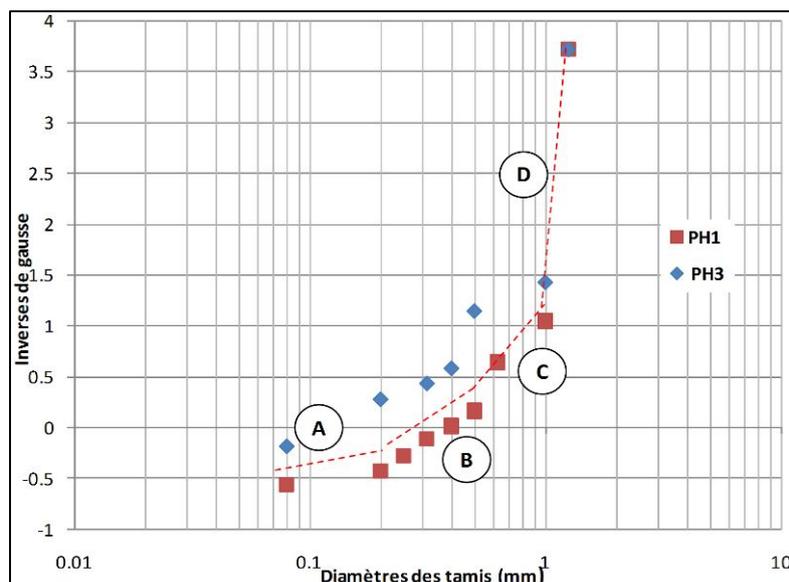


Fig. 58 : Graphe des probabilités d'échantillons des minerais de phosphate au sommet des niveaux phosphatés à Dj. Dyr (Tébessa Nord).

Les échantillons des minerais de phosphates de la base de l'affleurement montrent une hétérogénéité granulométrique caractérisée par des courbes multimodales. L'asymétrie

augmente vers les tailles fines. Ces particules sont transportées par suspension et par saltation.

L'échantillon de minerai de phosphate au centre de l'affleurement montre une hétérogénéité granulométrique caractérisée par une la présence de plusieurs modes. L'asymétrie est comme les échantillons de la base qui augmente vers les fines. Ces particules sont transportées essentiellement par roulement.

Les échantillons des minerais de phosphates au sommet de l'affleurement montrent une hétérogénéité granulométrique traduisant un très mauvais classement et une asymétrie augmente vers les tailles fines. Ces particules sont transportées essentiellement, par suspension et par saltation.

3.3. Minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud)

Vue l'épaisseur important de la couche principale (environ 30 m) et suivant les conditions de terrains (gradins en cours d'exploitation). L'échantillonnage a été effectué à la couche principale et sommitale. Pour la couche principale, les échantillons ont été prélevés à la base et au sommet (cf. fig. 27 et 28).

3.3.1. La couche principale

Échantillons à la base

Trois (3) échantillons des minerais de phosphates friables ont été prélevés à la base du gradin représentant la couche principale. Ils sont soumis à la classification granulométrique. Les courbes des fréquences relatives montrent une distribution **monomodale** (Fig. 59-A). Les trois échantillons ont le mode à la fraction de 0.150 mm représentant les pellets avec un pourcentage variant de 50 à 80 %. Ces minerais de phosphates sont alors, dominés par les pellets. Les courbes cumulatives montrent que les fractions dont la taille est inférieure à 0.2

mm représentent la quasi-totalité de l'échantillon avec un pourcentage variant de 70 à 95 % (Fig. 59-B).

Les paramètres granulométriques calculés montrent que : (1) la classe moyenne est égale à 0.215 mm. Il s'agit alors des minerais de phosphates dont les particules sont essentiellement des pellets ; (2) le coefficient de classement σ varie de 0.43 à 0.89 (Moy = 0.72) indiquant un classement moyen; (3) l'indice d'asymétrie S_{ki} varie de -0.04 à 0.18 (Moy = 0.04) qui reflète une symétrie des classes granulométriques. L'indice d'acuité K_G variant de 0.97 à 1.16 (Moy = 1.096) indiquant des courbes mésokurtiques (cf. Annexe. 3).

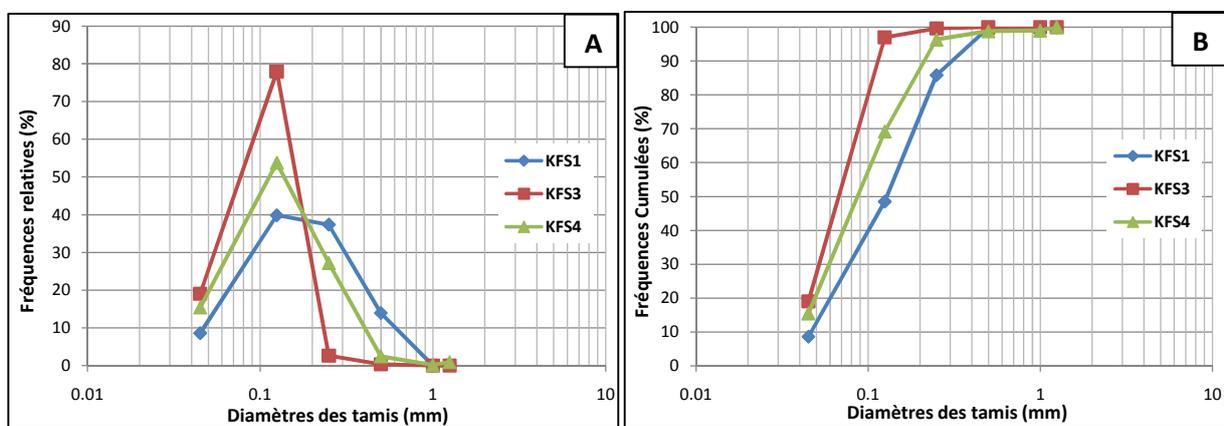


Fig. 59 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates à la base de la couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud). **A** : courbes des fréquences relatives ; **B** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes de probabilités montrent trois segments qui représentent trois domaines (Fig. 60):

(1) Le premier domaine (**A**) caractérise les particules fines dont la taille est inférieure à 0.250 mm. Ce sont les particules dont le mode de transport est considéré par *suspension* pour 95 % des particules.

(2) Les deux domaines (**B et C**) représentent les particules ayant un diamètre dépassant 0.250 mm. Ce sont les particules dont mode de transport est par *saltation* et *roulement* avec pourcentage estimé à 5 %.

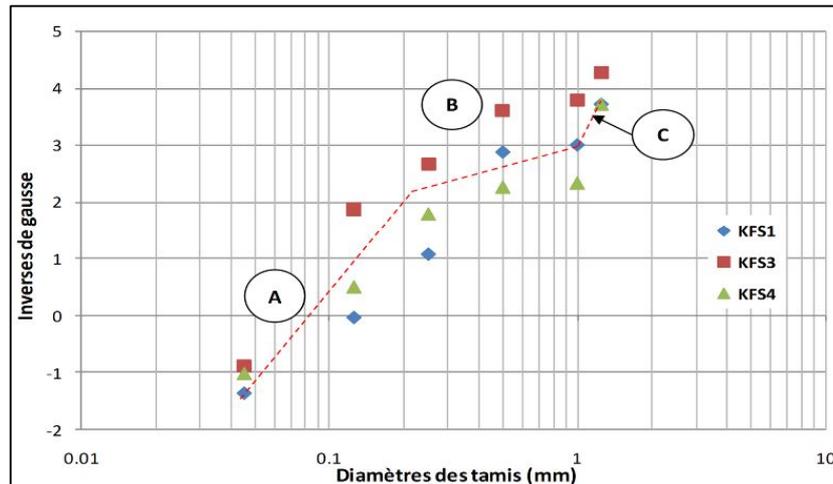


Fig. 60 : Graphes des probabilités d'échantillons des minerais de phosphates à la base de la couche principale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

Échantillons au sommet

Deux (2) échantillons au sommet de la couche principale ont été prélevés et ils font l'objet de la classification granulométrique. Les courbes relatives montrent une distribution *monomodale* (Fig. 61-A). Les courbes des fréquences cumulées montrent que : (1) la fraction des particules de tailles inférieures à 0.150 mm représente 15 % des particules. Ce sont essentiellement, les fractions fines caractérisant le liant (matrice et ciment) ; (2) la fraction dont la taille variant de 0.150 à 0.5 mm montre un pourcentage atteignant 80 % des particules. Ce sont essentiellement, des pellets et des coprolithes en moindre degrés ; (3) la fraction des particules dépassant 0.5 mm ne représente qu'un pourcentage inférieur à 5%. Celle-ci montre les gros coprolithes et les bioclastes (Fig. 61-B).

Les paramètres granulométriques calculés montrent que : (1) la classe moyenne est de 0.343 mm. (2) le coefficient de classement σ varie de 0.79 à 1.01 (Moy = 0.90) indiquant un classement moyen ; (3) l'indice d'asymétrie S_{ki} varie de -0.04 à 0.21 (Moy = 0.08) indiquant une symétrie des classes granulométriques. (4) l'indice d'acuité K_G varie de 1.33 à 1.34 (Moy = 1.33) qui reflète des courbes leptokurtiques (cf. Annexe. 3).

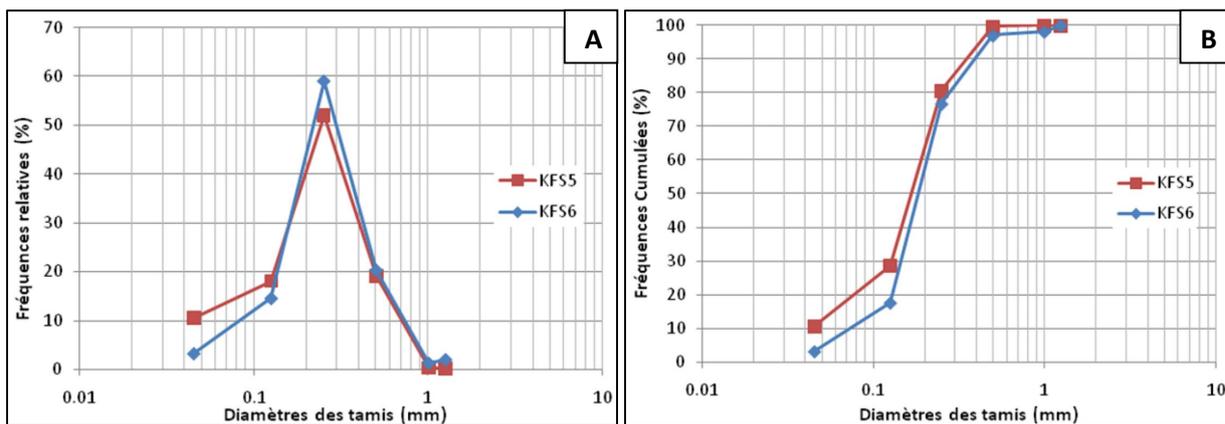


Fig. 61 : Courbes granulométriques des échantillons des minerais de phosphates au sommet de la couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud). **(A)** : courbes des fréquences relatives ; **(B)** : courbes des fréquences cumulées.

Les graphes des probabilités montrent trois domaines (Fig. 62):

- (1) Le premier domaine **(A)** caractérisant les particules dont la taille est inférieure à 0.150 mm. Le mode de transport le plus admis est la *suspension*, avec un pourcentage de 15 %.
- (2) le deuxième domaine **(B)** représente les particules dont la taille varie de 0.150 à 0.500 mm. Ces particules sont caractérisées par un mode de transport par *saltation* qui représente jusqu'au 80 % des particules.
- (3) le troisième domaine **(C et D)** représente le domaine des grosses particules dont le mode transport est considéré par *roulement*. Ce domaine représente moins de 5 % des particules.

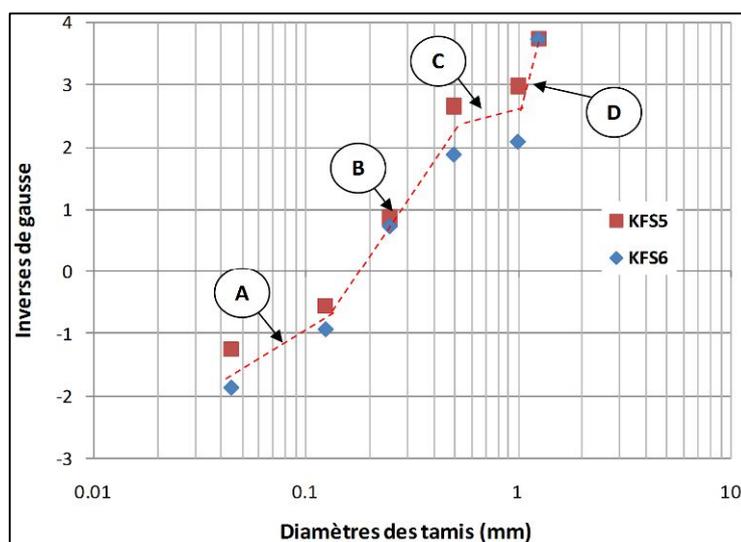


Fig. 62 : Graphes de probabilités d'échantillons des minerais de phosphates au sommet de la couche principale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

3.3.2. La couche sommitale

Un échantillon est prélevé de la couche sommitale. Il a été choisi soigneusement pour son friabilité. La courbe des fréquences relatives montre une distribution *monomodale* (Fig. 63-A). La courbe des fréquences cumulées révèle que : (1) la fraction des particules de tailles inférieures à 0.150 mm montre un pourcentage de 15 %. Cette fraction représente essentiellement, les phases de liaison (*exo-gangue*) ; (2) la fraction des particules de taille variant 0.150 à 0.5 mm représente 70 % des particules. Ce sont essentiellement les pellets et des coprolithes; (3) la fraction dont la taille dépassant 0.5 mm représente un pourcentage de 15 %. Ce sont les gros coprolithes, bioclastes et les lithoclastes (Fig. 63-B).

Les paramètres granulométriques calculés montrent que: (1) la classe moyenne est de 0.458 mm ; (2) le classement est moyen à mauvais ($\sigma = 0.99$) ; (3) l'indice d'asymétrie $Sk_i = -0.06$ indiquant asymétrie de l'échantillon vers les tailles grossières ; (4) l'indice d'acuité K_G est de 1.14 reflétant une courbe leptokurtique (cf. Annexe. 3).

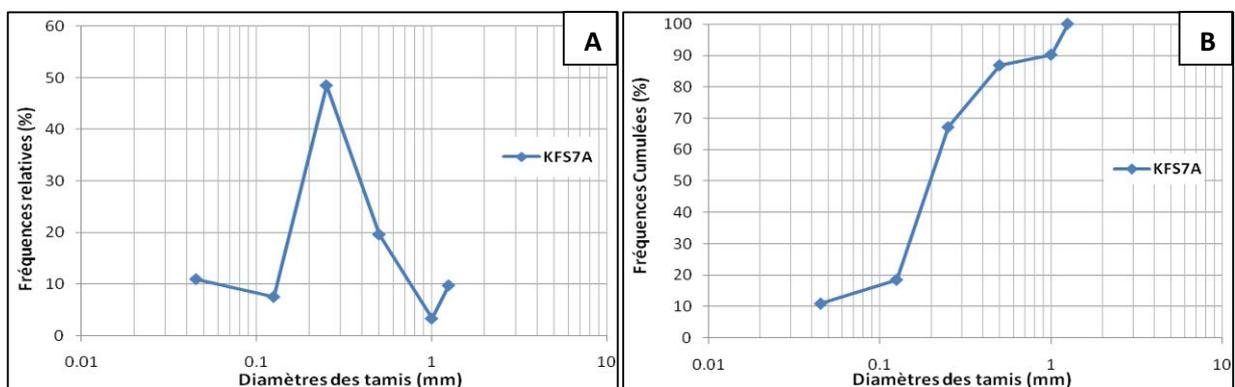


Fig. 63 : Courbes granulométriques de l'échantillon de minerai de phosphate de la couche sommitale à Kef essenoun (Tébessa Sud). **A** : courbes des fréquences relatives ; **B** : courbes des fréquences cumulées.

Le graphe des probabilités a permis la discrimination des populations selon le mode transport : (Fig. 64).

(1) le premier domaine (A) représente les particules fines dont le diamètre est inférieur à 0.150 mm. Ce sont les particules transportées par *suspension* dont le pourcentage est de 15 % de la totalité.

(2) le deuxième domaine représenté par les segments (B et C). Il montre les particules de diamètres variant de 0.150 à 0.500 mm. Ces particules sont transportées par *saltation* où le pourcentage atteignant 70 % de la totalité.

(3) le troisième domaine est représenté par les deux segments (D et E). Ce domaine indique le mode de transport par *roulement* qui reflète un pourcentage de 15 % de la totalité.

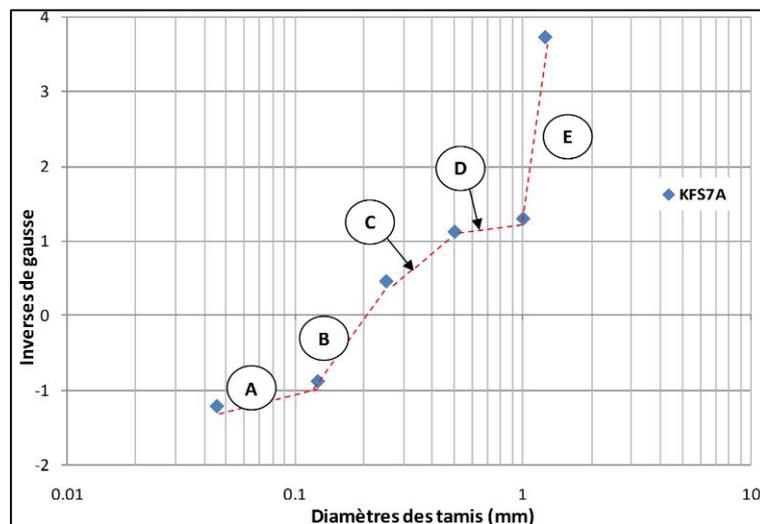


Fig. 64: Graphes des probabilités de l'échantillon de phosphate de la couche sommitale du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

L'analyse granulométrique montre que les minerais de phosphates à la base de la couche principale sont caractérisés par des particules fines, dont la taille est inférieure à 250 et un bon classement à moyen et une symétrie des courbes. Le transport de ces particules s'est effectué essentiellement par suspension.

Les échantillons au sommet de la couche principale des minerais de phosphates de Kef essenoun montrent une prédominance des particules ayant la taille de 0.150 à 0.5 mm qui sont représentées généralement, par des pellets. La taille moyenne est de 0.343 mm. Le mode

de transport de ces particules est en saltation (80% des particules) qui a conduit au lissage de la surface et l'arrondissement des grains.

L'échantillon prélevé de la couche sommitale montre une augmentation de la taille moyenne (0.4 mm) indiquant les minerais de phosphates coprolithiques. Le mode de transport de ces particules est par saltation (70% des particules).

Conclusion

L'étude sédimentologique des minerais de phosphates et de leurs encaissants à Tébessa Nord et au Sud a été pour objectif de recenser les critères pétrographiques, de reconstituer les conditions de mise en dépôt et de les comparer.

La synthèse des résultats de l'étude pétrographique des différentes formations à passées phosphatées rencontrées à Tébessa Nord a permis de constater la présence du gypse, de la glauconie en faible quantité, des phosphates à ciment siliceux et l'abondance des nummulites dans les calcaires. Ces critères permettent d'avancer que le milieu de dépôt était peu profond bien oxygéné parfois à tendance à l'émergence. À Tébessa Sud, par contre, l'enrichissement en glauconie traduit l'installation de conditions nouvelles et profondes, confinées et à tendances réductrices. L'ensemble de ces résultats nous permettent d'envisager que le bassin sédimentaire à Tébessa est plus profond au Sud qu'au Nord.

L'analyse granulométrique a été faite à voix humide sur les minerais de phosphates. Cette analyse a permis de mettre en évidence l'évolution des paramètres d'un niveau phosphaté à l'autre. En générale, les phosphates du nord montrent un mauvais classement avec des courbes de fréquences multimodales. Cependant les minerais de phosphates du sud en particulier, la couche principale, montrent des courbes de fréquences monomodales indiquant la prédominance de la classe des pellets. Cette étude a permis aussi, la caractérisation du mode de transport de ces particules avec le pourcentage ; en se basant sur

les graphes des probabilités. Ils montrent que le transport pour les particules phosphatées du nord et du sud de Tébessa se fait essentiellement par saltation et suspension. La couche principale, au sud de Tébessa, montre un minerai de phosphate dont la granulométrie en prédominance varie de 80 à 250 μm où le transport est probablement lié à la saltation (80 % de la population) conduisant le lissage des surfaces des particules phosphatées le long de trajet.

Chapitre VI

Etude géochimique des minerais de phosphates

C H A P I T R E I V

ETUDE GÉOCHIMIQUE DES MINÉRAIS DES PHOSPHATES

Dans ce présent travail, l'étude géochimique a fait l'objet d'une attention particulière. À Tébessa Sud (Dj. Onk), la géochimie des phosphates a été étudiée par plusieurs auteurs (Chabou-Mostfai, 1987 ; Cielensky et Benchernine, 1987; Daas-amiour, 2012). Cependant, aucune étude géochimique détaillée n'a été ciblée les minerais des phosphates de Tébessa Nord. C'est dans cette optique, que le principal but, est de déterminer le contenu géochimique de ces phosphates, tout en effectuant une comparaison entre les minerais de phosphates du nord avec le sud. Le traçage sera utilisé pour caractériser le redox des environnements de dépôt.

1. Echantillonnage et techniques analytiques

1.1. Echantillonnage

Un échantillonnage des affleurements de minerais phosphatés a été effectué dans la région de Tébessa Nord. Il s'agit des affleurements du : (1) : Djebel Dyr au niveau du flanc sud-est du synclinal perché, (2) : El Kouif au niveau de l'affleurement de l'ancien cimetière d'El Kouif. D'autres échantillons ont été prélevés dans des galeries et des affleurements en surface pour assurer la représentativité des résultats; (3) : Les niveaux des minerais phosphatés de Tazbant qui représente la continuité de Djebel Dyr vers le sud-ouest. Au total, 24 échantillons de minerais de phosphates ont été prélevés (El Kouif : 8 ; Dj. Dyr : 9; Dj. Tazbant: 03). Les minerais phosphates de Tébessa Sud ont été échantillonnés au niveau du gisement de Kef essenoun dans le bassin minier de Djebel Onk. Au total, 6 échantillons ont été prélevés (couche principale : 5 ; couche sommitale : 1). Il est a noté que l'échantillonnage

été fait d'une manière systématique du bas en haut afin de suivre l'évolution verticale et de couvrir les différents type de faciès rencontrés (argileux, carbonaté et siliceux).

1.2. Spectrométrie de plasma à couplage inductif (ICP-MS)

Les échantillons de minerais de phosphates ont été analysés par la méthode de spectrométrie de plasma à couplage inductif. Ces analyses ont été effectuées par un *ICP-MS* de Type *ThermoFinnigan Element XR* au laboratoire ICP-MS à Geosciences Montpellier (France).

Le protocole de la mise en solution des échantillons consiste à une attaque par acide de la poudre de minerai phosphaté. Approximativement, 50 mg de poudre de la roche totale, sont mixés dans bécher avec de l'acide fluo-hydrique (0.5 ml HF) et l'acide nitrique (1 ml HNO₃). Ce mélange est mis sur une plaque chauffante à 110°C pendant 48h. Cette opération est refaite deux ou trois fois mais avec seulement de l'acide nitrique jusqu'à la dissolution totale. La solution est évaporée, puis diluée avec l'acide nitrique (HNO₃ 2%).

L'ICP-MS est une méthode analytique qui permet le dosage de tous les éléments à l'exception des éléments volatiles lors de l'attaque par acides tels que : la silice et le fluor. Une calibration de la machine par des standards internationaux pour les éléments majeurs, traces et ultra-traces, a été faite. Des standards de vérification ont été également utilisés, il s'agit du standards (UBN, BEN et ACI). La vérification avec ces derniers standards a montré que la majorité des éléments ont été bien analysées.

L'interprétation des analyses a fait appel à l'utilisation des méthodes statistiques monovariées, bivariées (rapports binaires) et multivariées (analyse en composante principale et Analyse factoriel discriminante) (cf. Annexe. 2). Il faut noter que cette interprétation a pris en considération les différentes substitutions citées au tableau. 2

Tableau. 2: Quelques substitutions possible dans le carbonate fluorapatite (Jarvis et al., 1994) (les substitutions les plus importantes sont indiquées en caractère gras).

Site	substitutions
Ca ²⁺	Na⁺ , K ⁺ , Ag ⁺ Mg²⁺ , Sr²⁺ , Ba ²⁺ , Cd ²⁺ , Mn ²⁺ , Zn ²⁺ Bi ³⁺ , Sc ³⁺ , Y ³⁺ , REE ³⁺ U ⁴⁺
PO ₄ ³⁺	CO₃²⁻ , SO₄ , CrO ₄ , CO₃F³⁻ , CO ₃ OH ³⁻ , AsO ₄ , VO ₄ , SiO ₄ ⁴⁻
F ⁺	OH ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ O ²⁻

2. Eléments majeurs

2.1. Statistiques élémentaires

Le traitement statistique a été effectué sur l'ensemble des données afin de déterminer les paramètres statistiques pour les éléments majeurs au niveau des minerais de phosphates de la région de Tébessa (Tableau. 3 ; Fig. 65 et 66). Au total trente (30) échantillons ont été pris en compte pour ce traitement.

Les résultats obtenus montrent que : (1) les teneurs en P₂O₅ varient de 5 à 35 % avec une moyenne de 23.65 %. Ces teneurs rentrent dans la gamme des teneurs moyennes pour les phosphates rencontrés en Afrique du Nord et en Moyen Orient ; (2) les teneurs de MgO varient de 0.28 à 13.08 % avec une moyenne de 1.64 %, (3) les teneurs en CaO varient 21.91 à 49.85 % (Moyenne = 39.96 %); (4) les rapports Ca/P varient de 1.40 à 5.80 avec une moyenne de 1.95. Ce rapport caractérise les minéraux phosphatés des roches sédimentaires. Les statistiques élémentaires sur les éléments majeurs ont été faites pour chaque localité séparément (Annexe. 4). Elles montrent que les minerais de phosphates de Kef essenoun (Tébessa Sud) ont des teneurs élevées en P₂O₅ (Moyenne = 30.16 % ; n=6) ; (2) les minerais de phosphates d'El Kouif, Dj. Dyr – Tazbant (Tébessa Nord) montrent des teneurs faibles par

rapport à celle du sud. (Dj El Kouif : Moyenne = 27.10 % ; n=10, Dj. Dyr et Tazbant : Moyenne = 18.39 % ; n=14).

Tableau. 3 : Statistiques élémentaires des éléments majeurs dans les minerais de phosphates de la région de Tébessa.

Eléments (%)	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO/ P ₂ O ₅
Nb.	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Min (%)	0.28	0.07	5.28	0.03	21.91	0.01	0.00	0.04	1.40
Max (%)	13.08	2.38	35.00	0.53	49.85	0.14	0.02	1.09	5.82
Moyenne (%)	1.64	0.79	23.65	0.18	39.96	0.05	0.00	0.40	1.95
Variance (%)²	5.51	0.36	64.57	0.01	56.69	0.00	0.00	0.07	1.02
Ecart-type (%)	2.35	0.60	8.04	0.12	7.53	0.04	0.00	0.27	1.01

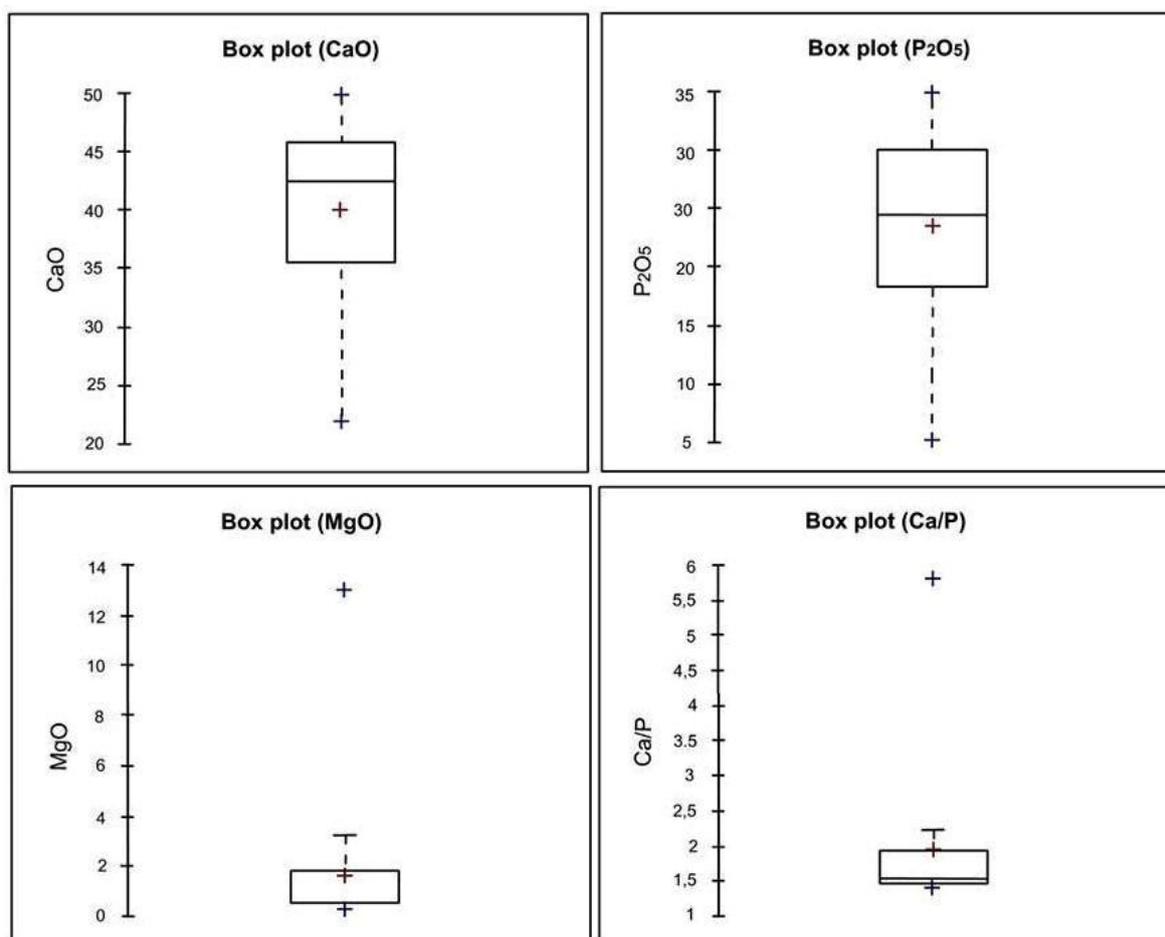


Fig. 65 : Box plot de la variation des teneurs des éléments majeurs des minerais de phosphates échantillonnés (Unité %).

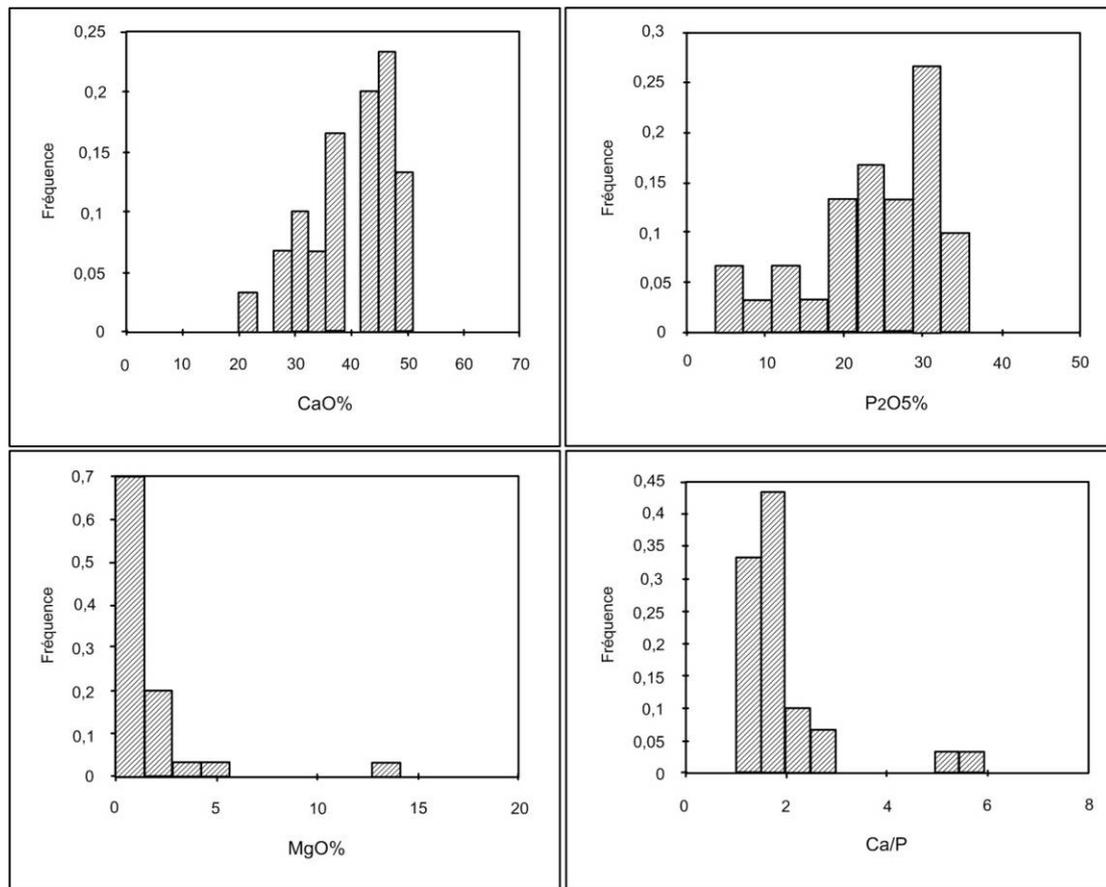


Fig. 66: Histogrammes des teneurs en éléments majeurs des phosphates de la région de Tébesa (Unité : %).

2.2. Corrélations entre les éléments majeurs

L'établissement de matrice de corrélation a permis de quantifier le degré de liaison entre les éléments majeurs (Tableau. 4). La méthodologie de calcul des coefficients de corrélations linéaires simples ainsi que la méthode la vérification de la leur signification est présentée en annexe 2.

Une forte corrélation significative a été enregistrée entre P_2O_5 et CaO ($r=0.75$) traduisant la composition chimique des apatites qui caractérisent les phosphates sédimentaires. La corrélation négative entre P_2O_5 et les autres éléments majeurs tels que : Al_2O_3 , MgO et Fe_2O_3 indique la compétition entre l'apatite et les éléments qui forment l'exogangue dans la roche (Fig. 67). Notant la présence d'une forte corrélation significative entre Fe_2O_3 et Al_2O_3 de l'ordre de 0.95 indiquant la matrice argileuse. La corrélation entre K_2O et

Al₂O₃ indiquant aussi, les minéraux argileux de l'exo-gangue essentiellement. Une corrélation élevée entre MgO et MnO de l'ordre de 0.78 montrant l'exo-gangue dolomitique

Tableau. 4 : Matrice de corrélation des éléments chimiques (oxydes) des minerais de phosphates de la région de Tébessa. *(Les corrélations significatives sont présentées en gras)*

Variables	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Ca/P
MgO	1.00								
Al ₂ O ₃	0.52	1.00							
P ₂ O ₅	-0.39	-0.67	1.00						
K ₂ O	0.38	0.93	-0.49	1.00					
CaO	-0.27	-0.45	0.75	-0.34	1.00				
TiO ₂	0.57	0.96	-0.64	0.86	-0.42	1.00			
MnO	0.78	0.82	-0.60	0.66	-0.30	0.86	1.00		
Fe ₂ O ₃	0.53	0.95	-0.57	0.90	-0.37	0.90	0.78	1.00	
Ca/P	0.52	0.69	-0.76	0.45	-0.29	0.68	0.75	0.66	1.00

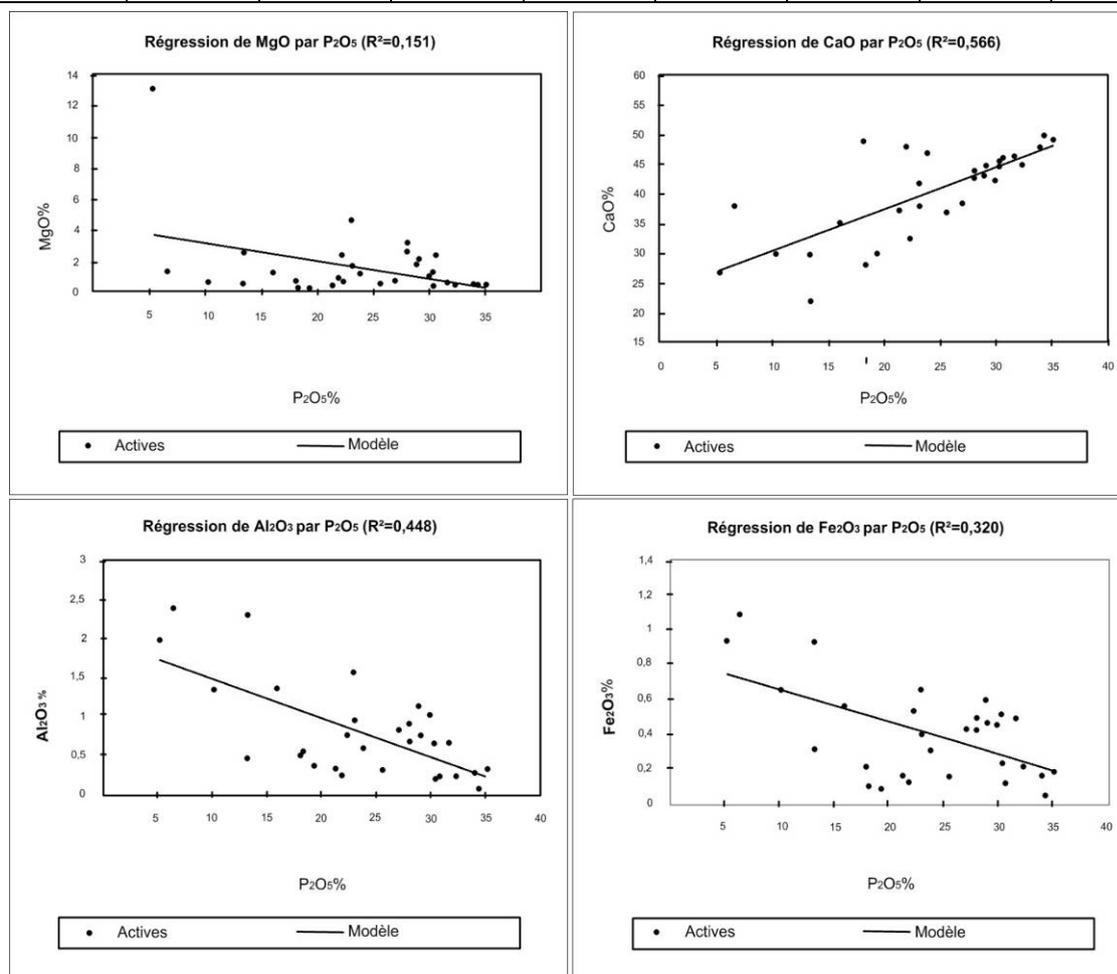


Fig. 67 : Diagrammes binaires de régression entre les éléments majeurs.

2.3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La diagonalisation de la matrice de corrélation a permis de calculer les facteurs de charges (Tableaux. 5 et 6). Les cercles de corrélations ont été tracés, en regroupant les variables proches par rapport aux deux facteurs de charges, représentant le maximum de variabilité (Fig. 68). Les méthodes statistiques multivariées en particulier, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont détaillées en annexe 2.

Tableau. 5 : Vecteurs propres de l'ACP sur les éléments chimiques (oxydes) des échantillons des minerais de phosphates de la région Tébessa.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propres	5.55	1.11	0.81	0.27
Variabilité (%)	69.44	13.82	10.16	3.32
Var. cumulé (%)	69.44	83.25	93.42	96.74

Tableau. 6 : Coordonnées des variables sur les facteurs de charge.

	F1	F2	F3	F4
MgO	0.660	0.170	0.697	0.186
Al₂O₃	0.971	0.092	-0.192	-0.007
P₂O₅	-0.749	0.561	-0.044	0.314
K₂O	0.869	0.200	-0.381	0.144
CaO	-0.545	0.788	-0.018	-0.262
TiO₂	0.957	0.128	-0.091	-0.057
MnO	0.887	0.198	0.314	-0.185
Fe₂O₃	0.929	0.190	-0.190	0.075

La représentation graphique des corrélations entre les variables (éléments majeurs exprimés en oxydes) d'une part et les facteurs de charge d'autre part, a pour but de visualiser degrés d'association entre ces éléments majeurs, ainsi que la signification de la corrélation avec les facteurs de charge.

Les cercles de corrélation sont tracés dans le plan des axes F1 et F2 qui représentent le maximum de variances cumulées de 83.25 % (F1= 69.44 %, F2 = 13.82 %). Ceci permet d'interpréter les résultats obtenus de l'ACP. La représentation graphique montre deux associations essentiellement (Fig. 68) :

(1) La première association comprend P_2O_5 et CaO : Elle est corrélée négativement avec F1 et F2. Cette association représente la matière phosphatée constituée essentiellement par les minéraux phosphatés décrits, sur la base de l'étude minéralogique des phosphates faite, ci-dessus (cf. chapitre II).

(2) La deuxième association est celle du MgO , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , Fe_2O_3 et K_2O : Elle est caractérisée par une corrélation positive avec le facteur F1 et le facteur F2. Cette association représente essentiellement, les éléments qui constituent l'exo-gangue des phosphates. Ils sont représentés par les dolomies, la calcite et les argiles.

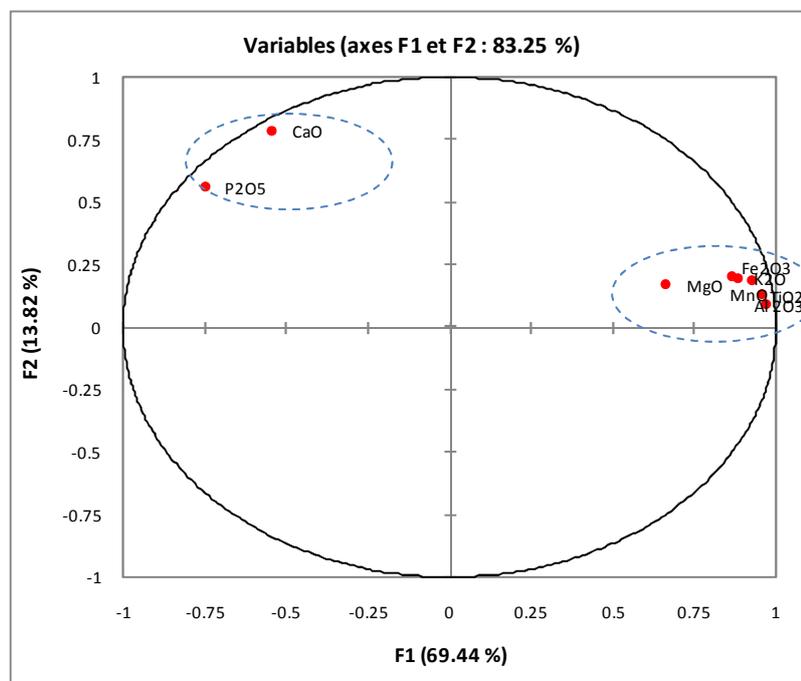


Fig. 68 : Cercles de corrélation de l'ACP sur l'ensemble des éléments majeurs (oxydes) des minéraux de phosphates de la région de Tébessa.

3. Eléments en traces (ET)

Les éléments en traces (ET) dans les phosphates naturels ont été étudiés par plusieurs auteurs (Altschuler, 1980 ; Sassi, 1974; Chaabani, 1978 et 1995; Belayouni, 1983 ; Chabou-Mostfai, 1987 ; Dass-amiour, 2012; Ounis, 2011 ; Kocsis et al., 2016 ; Kechiched et al., 2016,...). La majorité de ces auteurs indiquent que l'enrichissement en éléments en traces est lié à la structure des apatites. Selon ces auteurs, l'eau de mer et les conditions de

l'environnement jouent un rôle important dans la fixation des ETRs. C'est pour cela, certains éléments en traces peuvent être étudiés en tant que des indicateurs des conditions de dépôt. Parmi ces éléments : le cérium (Ce) ; l'euporium (Eu) ; l'uranium (U) ..., etc. Le suivi de l'évolution de ces éléments sensitifs permet la caractérisation des conditions de dépôt et font l'objet de plusieurs travaux tels que ceux de Altschuler (1980), McArthur et Walsh (1984), Bau et Dulsky (1996) et Elderfield et Pagett (1986), ...

Les éléments qui ont été analysés par ICP-MS sur la roche totale pour cette étude sont: Li ; Al; Sc; V; Cr; Co; Ni; Cu; Zn; As; Rb; Sr; y ; Zr; Nb; Mo; Cd; Cs; Ba; Tm; Yb ; Lu ; Hf ; Ta ; W ; Tl ; Pb ; Th et U.

3.1. Les minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)

Dix (10) échantillons ont été analysés pour leurs contenus en éléments traces dont huit (8) échantillons ont été prélevés systématiquement, du bas en haut au niveau de l'affleurement d'El Kouif. Ceci a pour but de suivre l'évolution verticale de ces éléments. Les statistiques élémentaires sont présentées au tableau. 7. Elles montrent que :

(1) la somme des éléments en traces ($\sum ET$) varie de 1285.54 à 4186.94 ppm avec une moyenne de 3169.03 ppm.

(2) les concentrations du chrome (Cr) varient de 199.38 à 348.44 ppm (Moyenne = 250 ppm), indiquant une concentration moyenne supérieure à celle de la concentration moyenne des phosphates sédimentaires (83 ppm) (Altschuler, 1980).

(3) les teneurs de l'uranium (U) varient de 11.41 à 126 ppm (moyenne = 71.87 ppm). Les concentrations en uranium (U) montrent une évolution verticale du bas en haut avec un enrichissement dans les niveaux supérieurs. L'uranium est par conséquent, peut être utilisé pour la caractérisation de l'environnement de dépôt à cause de sa sensibilité aux conditions d'oxydo-reduction.

(4) le cadmium (Cd) montre des teneurs variant de 6,34 à 88.72 ppm avec une moyenne de 43.57 ppm. Il montre une variabilité d'un niveau à l'autre. Cependant, les niveaux du sommet sont plus enrichis. La teneur moyenne du cadmium (Cd) est élevée par rapport de la concentration moyenne rapportée dans phosphates sédimentaires qui est de 18 ppm (Altschuler, 1980).

Tableau. 7 : Eléments en traces des minerais de phosphates de Dj. El Kouif (Tébessa Nord).

Eléments (ppm)	Nb.	Min.	Max.	Moy.	Variance (n)	Ecart-type (n)
Li	10	1.74	9.04	3.88	4.19	2.05
Sc	10	1.84	10.83	5.10	5.01	2.24
V	10	75.44	345.73	145.97	9095.61	95.37
Cr	10	199.38	348.44	250.01	1884.06	43.41
Co	10	0.47	3.02	1.44	0.70	0.84
Ni	10	17.71	57.35	33.70	149.55	12.23
Cu	10	12.25	43.93	20.42	82.39	9.08
Zn	10	137.70	539.98	304.06	11777.56	108.52
As	10	3.23	9.38	6.46	3.59	1.89
Rb	10	1.42	9.27	4.27	8.49	2.91
Sr	10	515.83	2597.16	1951.66	301932.79	549.48
Y	10	39.83	386.21	216.78	6837.55	82.69
Zr	10	9.58	32.32	22.54	42.31	6.50
Nb	10	0.46	5.74	2.29	3.21	1.79
Mo	10	0.77	10.36	3.82	10.12	3.18
Cd	10	6.34	88.72	43.57	495.91	22.27
Cs	10	0.10	3.91	1.70	1.57	1.25
Ba	10	41.46	91.17	70.22	272.79	16.52
Hf	10	0.12	0.68	0.38	0.03	0.17
Ta	10	0.06	0.46	0.20	0.02	0.13
W	10	0.25	2.82	0.79	0.52	0.72
Tl	10	0.26	2.99	1.30	1.00	1.00
Pb	10	1.33	3.51	2.43	0.44	0.66
Th	10	1.75	8.47	4.15	6.35	2.52
U	10	11.41	126.01	71.87	886.85	29.78
Σ ET	10	1285.54	4186.94	3169.03	594561.77	771.08

3.2. Les minerais de phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord)

Le traitement statistique a été effectué sur quatorze (14) échantillons groupés prélevés de Dj. Dyr (11) et Tazbant (3). Les statistiques élémentaires sont présentées au tableau. 8. Elles montrent que :

(1) la somme des éléments en traces $\sum ET$ est faible par rapport aux minerais de phosphates d'El Kouif. En effet, la somme des éléments en traces ($\sum ET$) varie de 1511,46 à 3405,57 ppm (moyenne = 2314.60 ppm).

(2) les teneurs de l'uranium (U) à Dj. Dyr et à Tazbant varient de 12.70 à 75.63 ppm (moyenne = 45.50 ppm). Ces teneurs sont faibles par rapport aux minerais phosphates d'El Kouif.

(3) les concentrations de cadmium (Cd) varient de 0.71 à 49.25 ppm avec une moyenne de 16.26 ppm. Cette valeur est inférieure à la moyenne des phosphates sédimentaires (18 ppm) (Altschuler, 1980).

3.3. Les minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud)

Le traitement statistique a été fait sur six (6) échantillons, dont cinq (5) échantillons proviennent des minerais de la couche principale et un (1) échantillon de la couche sommitale. Les statistiques élémentaires sont présentées au tableau.9. Elles montrent que :

(1) la somme des éléments en traces ($\sum ET$) est légèrement élevée par rapport aux minerais de phosphates d'El Kouif et du Dj. Dyr. Les concentrations varient de 3079.92 à 3721.09 ppm (moyenne = 3266.43 ppm). Notant que la couche sommitale montre un enrichissement en zinc (Zn) et en vanadium (V) qui sont de l'ordre de 906 et 253 ppm respectivement. Cet enrichissement est probablement lié à la présence des sulfures.

(2) les teneurs de l'uranium (U) varient de 46.03 à 76.56 ppm (moyenne = 52.77ppm), montrant des teneurs qui sont faibles par rapport aux minerais de phosphates de El Kouif.

Tableau. 8 : Statistiques élémentaires des éléments en traces dans les phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord)

Eléments (ppm)	Nb. d'observations	Min.	Max.	Moy.	Variance (n)	Ecart-type (n)
Li	14	3.26	22.42	8.78	39.31	6.27
Sc	14	1.34	6.23	3.52	1.77	1.33
V	14	42.75	124.93	68.16	434.32	20.84
Cr	14	101.22	231.19	155.81	2149.39	46.36
Co	14	0.30	4.26	1.03	1.20	1.10
Ni	14	13.93	56.15	28.73	139.72	11.82
Cu	14	7.82	19.15	12.87	11.60	3.41
Zn	14	36.09	319.38	139.89	7295.75	85.42
As	14	4.64	13.34	7.16	4.14	2.04
Rb	14	1.28	13.31	5.10	12.90	3.59
Sr	14	756.09	2553.15	1577.31	207359.57	455.37
Y	14	72.80	240.09	153.79	2438.53	49.38
Zr	14	5.54	36.74	17.23	73.76	8.59
Nb	14	0.35	5.76	1.90	2.98	1.73
Mo	14	0.34	5.67	2.14	2.75	1.66
Cd	14	0.71	49.25	16.26	169.32	13.01
Cs	14	0.36	8.12	2.74	5.04	2.25
Ba	14	37.23	90.30	61.23	265.98	16.31
Hf	14	0.09	0.73	0.31	0.04	0.19
Ta	14	0.04	0.45	0.16	0.02	0.12
W	14	0.15	2.43	0.39	0.32	0.57
Tl	14	0.02	1.44	0.64	0.18	0.43
Pb	14	0.80	3.60	1.43	0.55	0.74
Th	14	0.89	4.95	2.52	1.36	1.16
U	14	12.70	75.63	45.50	341.65	18.48
Σ ET	14	1511.46	3405.57	2314.60	206389.65	454.30

Tableau .9 : Statistiques élémentaires des éléments en traces dans les phosphates du gisement Kef essenoun (Tébessa Sud).

Eléments (ppm)	Nb. d'observations	Min.	Max.	Moy.	Variance (n)	Ecart-type (n)
Li	6	2.03	2.64	2.40	0.04	0.20
Sc	6	2.64	3.85	3.02	0.19	0.44
V	6	61.93	253.46	100.28	4709.40	68.63
Cr	6	233.56	290.72	264.20	634.20	25.18
Co	6	0.58	1.51	0.90	0.09	0.30
Ni	6	14.38	39.84	19.62	82.96	9.11
Cu	6	7.32	18.37	9.51	15.80	3.97
Zn	6	106.92	609.34	215.91	31583.51	177.72
As	6	2.79	10.30	8.42	6.62	2.57
Rb	6	0.47	5.29	4.16	2.79	1.67
Sr	6	2056.48	2516.31	2239.75	23652.91	153.80
Y	6	167.18	304.64	231.58	1846.55	42.97
Zr	6	13.15	23.45	17.98	10.77	3.28
Nb	6	0.22	1.11	0.81	0.08	0.29
Mo	6	2.66	3.48	3.14	0.07	0.26
Cd	6	11.72	96.88	29.71	920.88	30.35
Cs	6	0.26	3.00	2.34	0.89	0.94
Ba	6	19.93	53.39	28.12	130.73	11.43
Hf	6	0.13	0.35	0.26	0.00	0.07
Ta	6	0.03	0.13	0.09	0.00	0.03
W	6	0.23	1.02	0.44	0.07	0.26
Tl	6	0.68	4.49	3.23	1.43	1.20
Pb	6	1.76	4.35	3.33	0.62	0.79
Th	6	0.81	22.95	13.20	44.26	6.65
U	6	46.03	76.56	52.77	114.23	10.69
∑ET	6	3079.92	3721.09	3266.43	59735.87	244.41

4. Eléments de terres rares (ETRs)

Les minerais de phosphates d'El Kouif montrent une somme des éléments de terres rares \sum ETRs variant entre 68.36 et 472 ppm avec une moyenne de 311.20 ppm. Les phosphates de Dj. Dyr et Tazbant recordent des teneurs en \sum ETRs variant entre 125.45 et 293.35 ppm (la moyenne = 215.61 ppm). Ces minerais de phosphates montrent des concentrations élevées en terres rares légères (El Kouif : Moye ETRs légères/ ETRs lourdes =4.02 ; Dj. Dyr-Tazbant : Moy ETRs légères / ETRs lourdes = 4.08). Les minerais de

phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud), sont caractérisés par des teneurs en Σ ETRs plus élevées, en particulier, dans la couche principale. Les teneurs varient de 174.41 et 906.39 ppm dont la moyenne est de 623.01 ppm. Les rapports de ETRs légères / ETRs lourdes sont très élevées; ils varient entre 3.40 et 7.02 (Moy = 6.35 ; n=6) (Tableaux. 10-12).

Les concentrations Σ ETRs des minerais de phosphates de Tébessa Nord sont très comparables à celles recordées aux phosphates en Afrique du Nord et en Moyen Orient (Garnit, Belayouni, 1983 Béji-Sassi, 1984 et 1999 Ounis et al ; 2008). Cependant les concentrations enregistrées au niveau des minerais de de Kef essenoun en particulier, celles de la couche principale sont très élevées. Ces concentrations sont est liées probablement au remaniement des particules phosphatées qui s'enrichissent le long de trajet (Chabou-Mostfai, 1987).

Tableau. 10 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).

Eléments	Nb. d'obs.	Min.	Max.	Moy.	Variance (n)	Ecart-type (n)
La	10	21.06	150.90	94.57	1228.06	35.04
Ce	10	14.69	123.75	62.70	1375.72	37.09
Pr	10	3.30	22.17	14.33	38.25	6.18
Nd	10	13.32	96.33	62.54	725.33	26.93
Sm	10	2.48	18.29	11.82	27.10	5.21
Eu	10	0.69	5.02	3.19	1.87	1.37
Gd	10	3.24	26.10	15.77	39.90	6.32
Tb	10	0.48	3.70	2.25	0.80	0.90
Dy	10	3.24	27.03	15.92	39.31	6.27
Ho	10	0.77	6.42	3.72	2.07	1.44
Er	10	2.22	20.46	11.61	20.43	4.52
Tm	10	0.32	2.86	1.61	0.40	0.63
Yb	10	2.19	16.20	9.35	12.92	3.59
Lu	10	0.35	3.23	1.79	0.50	0.70
Σ ETRs	10	68.36	472.44	311.20	16374.38	127.96
Σ ETRs légères	10	55.54	392.77	249.16	11251.88	106.07
Σ ETRs lourdes	10	12.81	106.00	62.03	582.61	24.14
ETRs légères / ETRs lourdes	10	3.26	4.93	4.02	0.46	0.68

Tableau. 11 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).

Eléments (ppm)	Nb. d'obs.	Min	Max	Moy	Variance (n)	Ecart-type (n)
La	14	42.07	100.75	67.90	312.05	17.67
Ce	14	17.18	67.13	40.21	205.14	14.32
Pr	14	5.48	13.72	9.85	5.65	2.38
Nd	14	24.22	60.32	43.35	114.73	10.71
Sm	14	4.37	11.71	8.20	4.50	2.12
Eu	14	1.20	3.15	2.23	0.37	0.61
Gd	14	6.31	15.90	11.24	10.35	3.22
Tb	14	0.89	2.25	1.59	0.21	0.46
Dy	14	6.13	16.35	11.26	11.34	3.37
Ho	14	1.41	3.80	2.63	0.68	0.82
Er	14	4.33	12.24	8.18	6.60	2.57
Tm	14	0.59	1.72	1.13	0.13	0.36
Yb	14	3.31	9.88	6.58	4.66	2.16
Lu	14	0.63	1.96	1.25	0.16	0.40
Σ ETRs	14	125.45	293.36	215.61	2592.52	50.92
Σ ETRs légères	14	98.60	238.63	171.74	1552.43	39.40
Σ ETRs lourdes	14	24.35	64.09	43.87	176.08	13.27
ETRs légères/ ETRs lourdes	14	3.14	5.87	4.08	0.71	0.84

Tableau. 12 : Abondance des éléments de terres rares dans les minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

Elément (ppm)	Nb. d'obs.	Min.	Max.	Moy	Variance (n)	Ecart-type (n)
La	6	64.61	199.20	144.23	1678.92	40.97
Ce	6	21.57	295.04	196.43	7167.12	84.66
Pr	6	7.53	47.87	32.65	153.99	12.41
Nd	6	33.28	207.25	138.66	2928.82	54.12
Sm	6	6.05	34.96	23.75	78.03	8.83
Eu	6	1.69	8.60	5.88	4.45	2.11
Gd	6	9.51	35.39	24.93	62.42	7.90
Tb	6	1.31	4.90	3.42	1.19	1.09
Dy	6	9.91	30.73	21.84	40.08	6.33
Ho	6	2.45	6.33	4.57	1.39	1.18
Er	6	7.93	18.24	13.42	9.97	3.16
Tm	6	1.09	2.43	1.78	0.17	0.41
Yb	6	6.24	13.07	9.67	4.46	2.11
Lu	6	1.24	2.39	1.79	0.13	0.36
Σ ETRs	6	174.41	906.39	623.01	50580.90	224.90
Σ ETRs légères	6	134.73	792.91	541.59	41061.24	202.64
Σ ETRs lourdes	6	39.67	113.48	81.42	504.02	22.45
ETRs légères / ETRs lourdes	6	3.40	7.02	6.35	1.74	1.32

5. Géochimie des ETRs et implications paléo-environnementales

5.1. Caractéristiques chimiques des éléments de terres rares

Les éléments de terres rares (ETRs) sont représentés par le groupe des lanthanides de numéro atomique (57 au 71). Ils sont représentés par 15 éléments chimiques (du La au Lu) du groupe IIIA dans la classification périodique des éléments. Ces éléments ont été utilisés, dans un premier temps, pour l'étude des roches magmatique (Nesbitt, 1979). Cependant, avec le développement des moyens analytiques, la détection de faibles concentrations est devenue possible et donc, l'utilisation de ces éléments s'est étendue pour caractériser les environnements sédimentaires.

L'abondance de ces éléments dans les phosphates sédimentaires avec des concentrations notables a permis leur utilisation pour la compréhension des phénomènes de phosphatogénèse, en se basant sur leurs fractionnements. Les caractéristiques chimiques des éléments de terres permettent leur utilisation comme traceurs géochimique où plusieurs auteurs ont souvent discuté cette thématique, citant à titre d'exemple: Altschuler et al., 1967; McArthur; 1980; Bélayouni, 1983 ; McArthur and Walsh, 1984, Béji-Sassi, 1984 et 1999 ; Elderfield et Pagett, 1986 ; Chaabani, 1995 ; Alibo and Nozaki, 1999; Reynard et al., 1999 ; Bau and Dulski, 1996 ; Ounis et al ; 2008 et 2011 ; Garnit et al., 2012 ; Kechiched et al., 2016 ; Kocsis et al., 2016 ...,etc.

5.2. Normalisation des éléments de terre rares

Afin d'étudier le comportement chimique des éléments de terres rares (enrichissement ou appauvrissement), il est nécessaire d'effectuer une normalisation par rapport à des standards. Dans ce travail, la normalisation est faite par rapport au PAAS «*Post Australian Archean Shale*» (McClellan, 1989). Cette normalisation est souvent utilisée pour les roches sédimentaires, en particulier, les roches phosphatées (McArthur et Walsh, 1984 ; McClellan,

1989 ; Sholkovitz, 1995; Bau et Dulsky 1996; Hannigan et Sholkovitz, 2001 ; Haley et al., 2004 ; Picard et al., 2002 ; Lécuyer et al., 2004 ; Ounis et al., 2008 ; 2012 ; Garnit et al., 2012 ; Kocsis et al., 2016). La normalisation consiste à subdiviser la concentration de chaque élément d'échantillon sur la concentration du PAAS (Tableau. 13).

Tableau. 13 : Concentrations des ETRs au PAAS « *Post Australian Archean Shale* » (McClellan, 1989).

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
38,20	79,60	8,83	33,90	5,55	1,08	4,66	0,77	4,68	0,99	2,85	0,40	2,82	0,4300

5.3. Comportement des éléments de terre rares à l'eau de mer

L'étude du comportement des ETRs dans les systèmes aqueux (l'eau de mer) a fait l'objet de plusieurs études (eg : Piepgras et Jacobsen, 1992 ; Reynard et al., 1999 ; Bau, 1996, Hannigan et Sholkovitz, 2001 ; ...). Les ETRs se trouvent en solutions complexes avec les ions de carbonates dont l'affinité, la plus importante se manifeste vers les ETRs lourdes par rapport aux ETRs légères (Ounis, 2011). Ceci provoque un fractionnement entre les ETRs légères et les ETRs lourdes. Les ETRs légères sont généralement, adsorbées en surfaces des particules sédimentaires. Par contre ETRs lourdes restent à l'eau de mer (Sholkovitz et al., 1994), c'est la raison pour laquelle l'eau de mer est enrichie par les ETRs lourdes caractérisant le spectre typique de l'eau de mer avec une anomalie en Cérium (Ce). Cette anomalie est due à l'oxydation du Ce^{+3} à Ce^{+4} conduisant la précipitation de cet élément.

L'amplitude de l'anomalie en Cérium peut être utilisée pour l'étude du redox (Reynard, 1999). Il faut noter aussi que les concentrations des ETRs peuvent avoir des changements à cause la fluctuation du potentiel redox et/ou les états de pH (Elderfield et Pagett, 1986 ; Otsuka et Terakado, 2003 ; Haley et al., 2004). L'enrichissement en ETRs intermédiaires (MREE) est expliqué souvent par une recristallisation diagénétique tardive (Picard et al., 2002 ; Lécuyer et al., 2004) où la substitution joue un rôle primordiale, contrôlée par leurs propriétés chimiques

(Reynard et al., 1999). Cependant, au cours de la diagenèse précoce, l'incorporation quantitative, sans fractionnement, a un effet important dans la fixation des ETRs (Reynard et al., 1999). Les spectres enregistrés alors, se développent par ce processus peuvent qui reflète les conditions primaires (originelles) de l'environnement de dépôts. La distribution et la concentration des ETRs dans les apatites dépend essentiellement de la chimie des fluides dans l'environnement de dépôt et / ou la diagenèse (Lécuyer et al., 2004).

5.4. Résultats obtenus sur les terres rares

5.4.1. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en composantes principales a été utilisée pour décrire les associations chimiques (éléments majeurs, traces et terres rares) et par conséquent, déterminer l'appartenance des terres rares par rapport aux éléments majeurs et aux éléments en traces. Pour cela, les facteurs de charges ont été calculés sur la base de la diagonalisation de la matrice de corrélation établie (Tableau. 14). Cette dernière a permis de mettre en évidence une corrélation positive entre les terres rares lourdes et légères avec P_2O_5 et CaO, indiquant que ces éléments de terres sont liés aux apatites (minéraux phosphatés). Cette corrélation est très élevée pour les terres rares lourdes (ETRs lourdes) avec P_2O_5 ($r_{P_2O_5/ETRs\text{ lourdes}} = 0.63$) mais, elle est moins prononcée avec les terres légères ($r_{P_2O_5/ETRs\text{ légères}} = 0.48$).

La représentation graphique avec des cercles de corrélation dans les plans factoriels des axes F1 et F2 (F1= 38.77 %, F2 = 25.34 %), confirme que les terres rares sont rattachées aux apatites. La force d'affiliation est très importante chez les terres rares lourdes (Fig. 69). Elle est faible pour les terres rares légères indiquant qu'une partie de terres rares légères est peut être liée probablement à d'autres phases de la roche phosphatée (glauconie, matrice).

Tableau. 14: Matrice de corrélation de quelques éléments majeurs, en traces et des terres rares lourdes et légères.

Corrélations significatives en gras

Variables	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	Zn	As	Sr	Y	Cd	Pb	Th	U	ETRs légères	ETRs lourdes
MgO	1														
Al ₂ O ₃	0.523	1													
P ₂ O ₅	-0.389	-0.669	1												
CaO	-0.274	-0.450	0.752	1											
Fe ₂ O ₃	0.528	0.949	-0.565	-0.368	1										
Zn	-0.017	0.096	0.360	0.346	0.065	1									
As	-0.114	0.392	-0.114	-0.010	0.507	-0.094	1								
Sr	-0.408	-0.550	0.905	0.721	-0.444	0.208	0.011	1							
Y	-0.318	-0.375	0.726	0.523	-0.338	0.309	0.259	0.695	1						
Cd	0.043	0.119	0.312	0.342	0.089	0.976	-0.036	0.197	0.297	1					
Pb	0.169	0.320	0.257	0.225	0.432	0.377	0.572	0.230	0.443	0.382	1				
Th	0.103	0.122	0.292	0.242	0.277	-0.047	0.593	0.393	0.459	-0.017	0.780	1			
U	-0.440	-0.692	0.746	0.475	-0.711	0.364	-0.200	0.565	0.683	0.332	-0.016	-0.149	1		
ETRs légères	-0.031	-0.035	0.476	0.371	0.118	0.014	0.561	0.562	0.655	0.037	0.765	0.963	0.066	1	
ETRs lourdes	-0.207	-0.206	0.633	0.458	-0.122	0.199	0.455	0.658	0.938	0.204	0.629	0.726	0.452	0.866	1

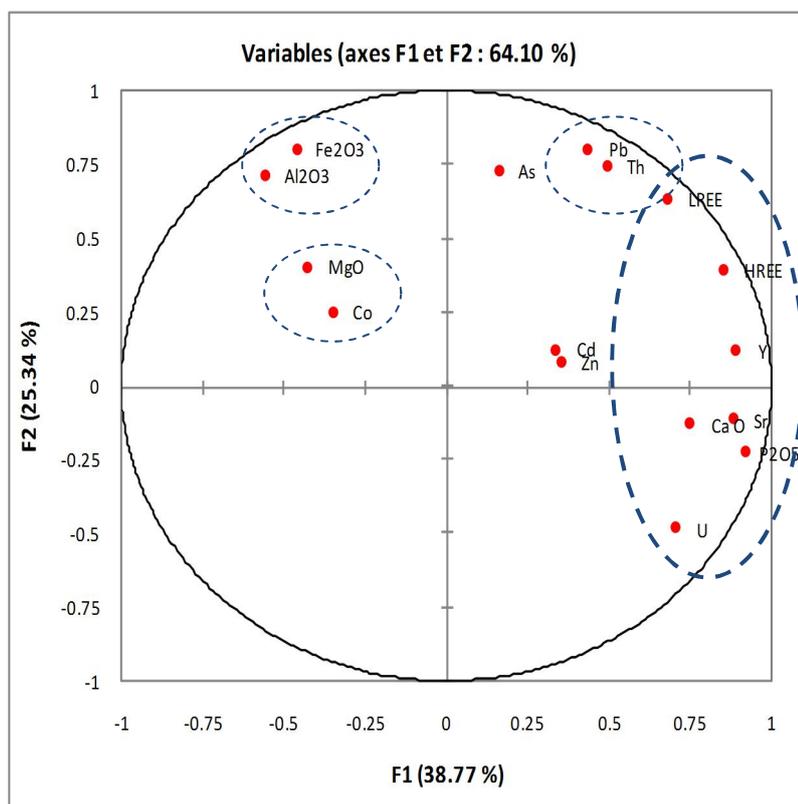


Fig. 69 : Résultats de l'Analyse en Composantes Principales sur les éléments majeurs, traces et terres rares en relation avec d'autres éléments en traces.

5.4.2. Normalisation des concentrations et anomalie en cérium (Ce_{an})

Méthodes

La normalisation des concentrations en élément de terres rares (ETRs) a été effectuée par rapport au PAAS (McClellan, 1989). L'anomalie en cérium est calculée à l'aide des méthodes de Wright et al., 1987 :

$$Ce/Ce^* = 3Ce_N/2(La_N+Nd_N).$$

$$Ce_{An} = \log Ce/Ce^*$$

$$Pr/Pr^* = 2Pr_N/(Ce_N+Nd_N) \text{ (Bau et Dulski, 1996)}$$

Résultats et interprétations

Les résultats du calcul de l'anomalie en cérium pour chaque échantillon dans les localités étudiées (Tébessa Nord et Sud) sont présentés aux tableaux (15-17). On note des fortes anomalies négatives dans l'ensemble des localités du Tébessa Nord. Ces anomalies

varient de -0.305 à -0.660 (Moyenne = -0.498 ; n=10) dans les phosphates d'El Kouif. Au niveau des minerais phosphates de Dj Dyr et de Tazbant, cette anomalie varie de -0.194 à -0.734 (Moyenne = -0.519 ; n=14). Cependant, au niveau de Kef essenoun (Tébessa Sud), cette anomalie est moins prononcée et elle varie entre -0.164 et -0.730 (Moyenne = -0.269 ; n=6).

Tableau. 15 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).

El-Kouif (Tébessa Nord)										
Eléments (ppm)	KFC1	KFC2	KFC3	KFC5	KFC7	KFC10	KFC12	KFC15Ab	KFC17B	KFR
La	127.44	113.82	115.87	88.75	21.06	95.12	150.90	74.33	58.19	100.24
Ce	123.75	112.54	104.29	72.74	14.69	39.96	61.81	32.52	23.96	40.78
Pr	22.17	20.07	19.69	14.36	3.30	12.54	21.62	9.13	7.01	13.45
Nd	96.33	88.08	86.45	62.90	13.32	55.73	93.04	40.71	31.10	57.79
Sm	18.29	16.73	16.45	11.83	2.48	10.47	18.07	7.55	5.85	10.51
Eu	4.78	4.32	4.33	3.14	0.69	2.88	5.02	2.08	1.57	3.08
Gd	21.70	19.74	19.90	14.91	3.24	15.09	26.10	11.55	8.87	16.62
Tb	3.08	2.81	2.82	2.13	0.48	2.16	3.70	1.65	1.23	2.42
Dy	20.93	19.10	19.41	14.67	3.24	16.03	27.03	12.57	9.06	17.20
Ho	4.66	4.21	4.33	3.32	0.77	3.83	6.42	3.08	2.23	4.39
Er	14.25	12.94	13.38	10.32	2.22	12.40	20.46	10.09	7.17	12.86
Tm	1.96	1.76	1.86	1.41	0.32	1.75	2.86	1.42	0.98	1.82
Yb	11.01	9.84	10.49	8.00	2.19	10.14	16.20	8.19	5.41	12.06
Lu	2.09	1.89	2.01	1.56	0.35	2.02	3.23	1.65	1.08	2.01
(La/Nd)_N	1.17	1.15	1.19	1.25	1.40	1.51	1.44	1.62	1.66	1.54
Pr/Pr*	1.14	1.13	1.16	1.17	1.30	1.32	1.39	1.28	1.30	1.37
Ce/Ce*	0.49	0.50	0.46	0.42	0.37	0.23	0.22	0.24	0.23	0.22
Ce_{an}	-0.31	-0.30	-0.34	-0.38	-0.43	-0.64	-0.66	-0.62	-0.64	-0.66
(Sm/Yb)_N	0.84	0.86	0.80	0.75	0.58	0.52	0.57	0.47	0.55	0.44
(Sm/Pr)_N	1.31	1.33	1.33	1.31	1.20	1.33	1.33	1.32	1.33	1.24

Tableau. 16 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des échantillons des minerais de phosphates de Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord)

Eléments (ppm)	Dj. Dyr (Tébessa Nord)										Dj. Tazbant (Tébessa Nord)			
	C4D8	C4D10	1	2	3	4D	5	7PB	8PB	9	F4P1	F5P1	F5P2	F5P3
La	46.14	100.75	65.34	66.09	94.97	82.61	60.47	45.80	42.07	62.60	82.24	70.99	51.30	79.17
Ce	17.18	42.56	36.10	32.51	45.62	67.13	49.68	42.38	55.35	62.39	35.79	24.36	23.60	28.22
Pr	5.48	12.64	10.64	9.20	13.39	13.72	9.68	6.82	8.28	9.52	10.84	9.56	6.91	11.28
Nd	24.22	56.92	45.79	41.03	59.71	60.32	42.32	28.96	35.84	40.61	48.32	42.77	30.83	49.28
Sm	4.37	10.68	8.64	7.74	11.53	11.71	8.06	5.25	6.94	7.40	9.15	8.23	5.86	9.27
Eu	1.20	2.89	2.53	2.12	3.14	3.15	2.14	1.35	1.73	1.89	2.48	2.29	1.58	2.74
Gd	6.71	15.90	12.62	10.79	15.89	14.63	10.11	6.31	7.35	8.96	13.05	12.23	8.48	14.36
Tb	0.93	2.19	1.84	1.53	2.25	2.06	1.44	0.89	1.06	1.25	1.84	1.72	1.15	2.10
Dy	6.83	16.05	12.48	11.01	16.35	14.30	10.00	6.13	6.89	8.79	13.48	12.38	8.27	14.63
Ho	1.64	3.80	3.03	2.59	3.80	3.23	2.30	1.41	1.45	1.99	3.20	2.90	1.91	3.59
Er	5.24	12.17	8.56	8.32	12.24	10.00	7.20	4.51	4.33	6.25	10.24	9.24	5.96	10.32
Tm	0.72	1.64	1.22	1.16	1.72	1.37	0.99	0.63	0.59	0.88	1.44	1.27	0.80	1.43
Yb	3.99	9.21	8.03	6.68	9.88	7.67	5.70	3.74	3.31	5.05	8.15	7.11	4.30	9.32
Lu	0.79	1.81	1.30	1.33	1.96	1.48	1.10	0.73	0.63	0.99	1.62	1.38	0.85	1.53
(La/Nd)N	1.69	1.57	1.27	1.43	1.41	1.22	1.27	1.40	1.04	1.37	1.51	1.47	1.48	1.43
Pr/Pr*	1.33	1.29	1.34	1.29	1.30	1.18	1.17	1.11	1.07	1.09	1.31	1.38	1.30	1.41
Ce/Ce*	0.21	0.23	0.29	0.26	0.26	0.41	0.42	0.49	0.64	0.53	0.24	0.18	0.25	0.19
Ce_{an}	-0.68	-0.64	-0.54	-0.58	-0.59	-0.38	-0.37	-0.31	-0.19	-0.28	-0.63	-0.73	-0.61	-0.72
(Sm/Yb)N	0.56	0.59	0.55	0.59	0.59	0.78	0.72	0.71	1.07	0.74	0.57	0.59	0.69	0.51
(Sm/Pr)N	1.27	1.34	1.29	1.34	1.37	1.36	1.33	1.22	1.33	1.24	1.34	1.37	1.35	1.31

Tableau. 17 : Données des terres rares et résultats du calcul de l'anomalie en cérium (Ce_{an}) des minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud).

Éléments (ppm)	Kef essenoun (Tébessa Sud)					
	KFS1	KFS2	KFS4	KFS5	KFS6	KFS7A
La	156.71	199.20	165.35	133.80	145.68	64.614
Ce	223.78	295.04	238.61	191.05	208.53	21.567
Pr	36.48	47.87	39.14	30.97	33.89	7.526
Nd	157.16	207.25	169.53	118.42	146.30	33.280
Sm	26.37	34.96	28.28	22.47	24.35	6.054
Eu	6.50	8.60	6.99	5.48	6.03	1.691
Gd	27.26	35.39	29.15	22.98	25.25	9.507
Tb	3.73	4.90	3.99	3.15	3.46	1.307
Dy	23.62	30.73	25.28	19.84	21.62	9.911
Ho	4.91	6.33	5.20	4.09	4.47	2.448
Er	14.36	18.24	15.13	11.87	12.98	7.927
Tm	1.90	2.43	1.99	1.57	1.70	1.091
Yb	10.33	13.07	10.76	8.39	9.26	6.240
Lu	1.90	2.39	1.98	1.56	1.70	1.243
(La/Nd)_N	0.88	0.85	0.87	1.00	0.88	1.72
Pr/Pr*	1.11	1.10	1.11	1.19	1.11	1.36
Ce/Ce*	0.66	0.67	0.66	0.69	0.66	0.19
Ce_{an}	-0.18	-0.17	-0.18	-0.16	-0.18	-0.730
(Sm/Yb)_N	1.30	1.36	1.34	1.36	1.34	0.493
(Sm/Pr)_N	1.15	1.16	1.15	1.15	1.14	1.280

Spectres des terres rares

Les spectres normalisés des terres rares (ETRs) ont été réalisés pour chaque localité (Fig. 70). Les échantillons de phosphates d'El Kouif au nord, montrent des spectres avec un enrichissement en terres rares lourdes qui reflètent des spectres typiques de l'eau de mer. Ils manifestent une évolution de l'amplitude des anomalies en cérium (Ce_{an}) de bas en haut, où elles deviennent très élevées vers le haut (Fig. 70-A).

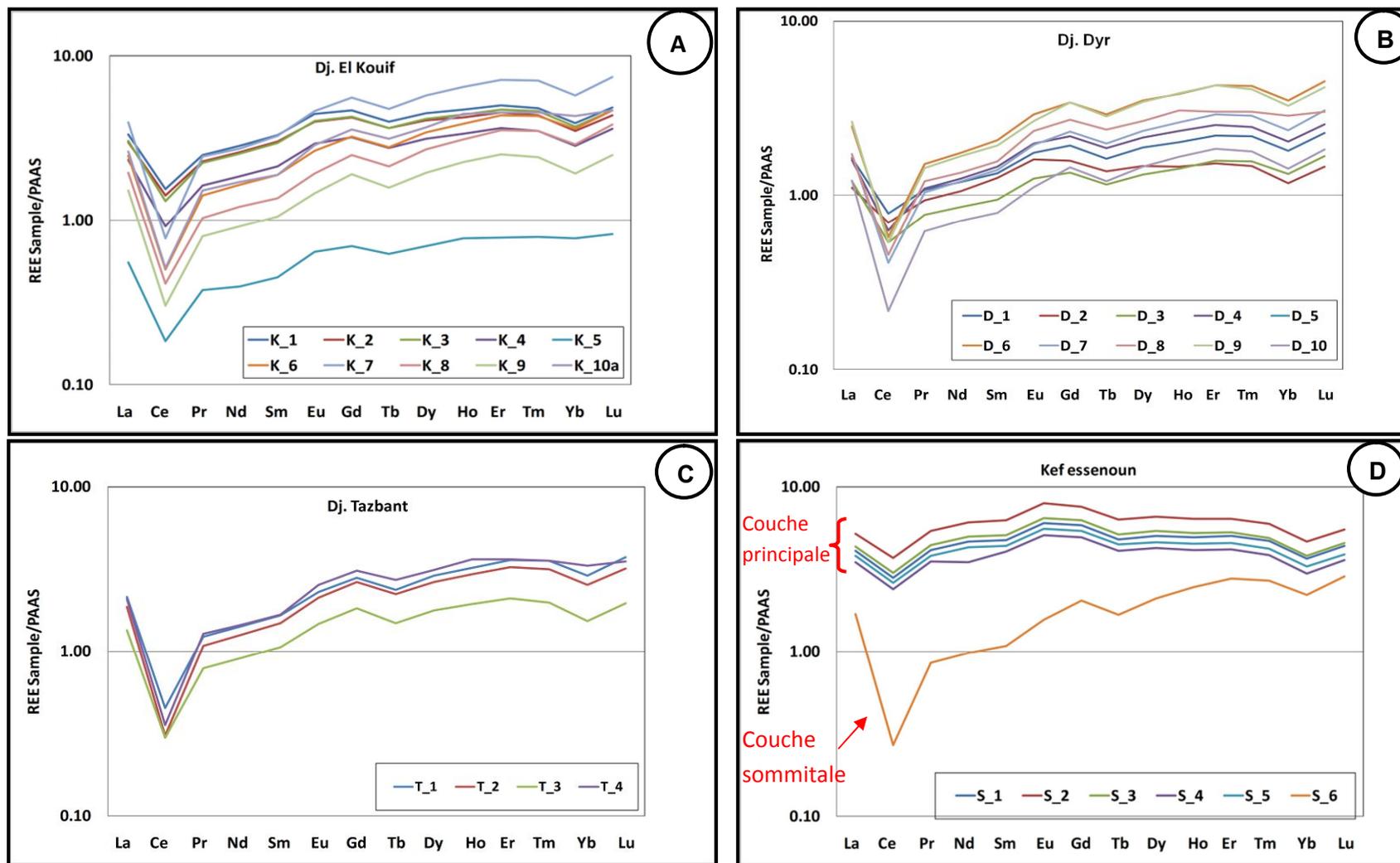


Fig. 70 : Spectres normalisés par rapport au PAAS des localités étudiées

(A-C) Les spectres des échantillons de minerais de phosphate à Dj. Kouif, Dj. Dyr et Dj. Tazbant (Tébessa Nord), montrent un enrichissement en terres rares lourdes avec des anomalies en cérium très élevées. (D) Les spectres de Kef essenoun (Tébessa Sud) montrent une population d'échantillons représentant les minerais de phosphate de la couche principale, caractérisée par une forme en cloche (enrichissement en terre rares intermédiaires). L'échantillon prélevé de la couche sommitale montre un spectre type à l'eau de mer très comparable à ceux de Tébessa Nord.

Cette observation a été enregistrée également dans les échantillons de Dj. Dyr et de Tazbant (cf. Fig. 70-B; C), où l'amplitude de l'anomalie en cérium et l'allure des spectres est très comparables à ceux d'El Kouif.

Les spectres normalisés des terres rares (ETRs) au niveau du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud) (cf. Fig. 70-D), montrent une population qui représente les échantillons de la couche principale des phosphates. Cette population est caractérisée par une forme en cloche qui indique un enrichissement en terres rares intermédiaires d'une part et une faible anomalie en cérium d'autre part. En revanche, le spectre de la couche sommitale manifeste une allure différente et très comparable à ceux du Tébessa Nord. Il montre une forte anomalie en cérium et un enrichissement en terres rares lourdes.

5.4.3 Vérification et discussion de la signification de l'anomalie en cérium (Ce_{an})

L'anomalie en cérium (Ce_{an}) représente une contribution importante pour l'étude de l'environnement de dépôt et par conséquent, éclaircir les conditions de la phosphatogénèse sur le plan verticale et pour l'ensemble des bassins des phosphates entre le nord et le sud de Tébessa

Diagramme de Reynard et al., 1999

L'utilisation de cette anomalie doit être contrôlée afin qu'elle puisse représenter un lien de la paleo-redox, car les phénomènes de la diagenèse tardive peuvent influencer la signature géochimique. Pour tester l'effet de la diagenèse, nous utilisons un diagramme binaire proposé par Reynard et al. (1999). Ce diagramme consiste en la projection binaire des rapports normalisés de $(La/Sm)_N$ et $(La/Yb)_N$ des échantillons étudiés (Fig. 71). Ce diagramme montre que les échantillons en provenance des différentes localités, sont caractérisés par des rapports de $(La/Sm)_N$ qui varient de 0.83 à 1.55. Ces rapports correspondent à l'eau de mer moderne où $(La/Sm)_N = 0.79$ à 1.66 (Reynard et al., 1999). Par contre, les rapports $(La/Yb)_N$ des échantillons montrent des valeurs varient de 0.67 à 1.18, qui sont légèrement supérieures à celle de l'eau de

mer moderne ($(La/Yb)_N$ de eau de mer moderne = 0.2 à 0.5 (Reynard et al., 1999)) indiquant l'existence d' une diagenèse précoce (adsorption) qui a affecté ces minerais de phosphates (Garnit et al., 2012).

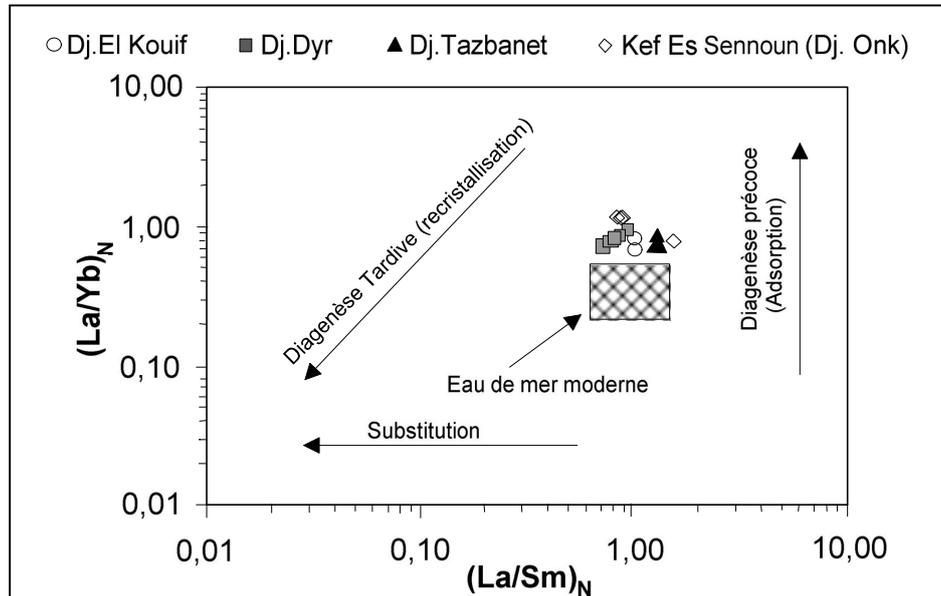


Fig. 71 : Diagramme binaire des rapports $(La/Sm)_N$ vs. $(La/Yb)_N$ (Reynard et al., 1999).

Diagramme de Bau et Dulski (1996)

Pour tester la signification des anomalies en cérium (Ce_{an}) et l'effet de la diagenèse, nous avons utilisé un autre diagramme binaire qui repose sur les travaux de Bau et Dulski (1996). Il s'agit de reporter les rapports de Pr/Pr^* versus Ce/Ce^* (Fig. 72). Ce diagramme a montré que les anomalies en cérium calculées se placent dans la plage des anomalies réelles et que l'effet de la diagenèse précoce ne masque pas leur signification. Le diagramme montre également deux populations (Fig. 72) : (1) avec des anomalies en cérium réelles moins prononcées ; (2) des anomalies en cérium réelles très bien prononcées.

5.4.4. Environnements de dépôts

En se basant sur les résultats de l'anomalie en cérium, nous concluons l'évolution du redox sur le plan vertical et horizontal entre le nord et le sud de Tébessa.

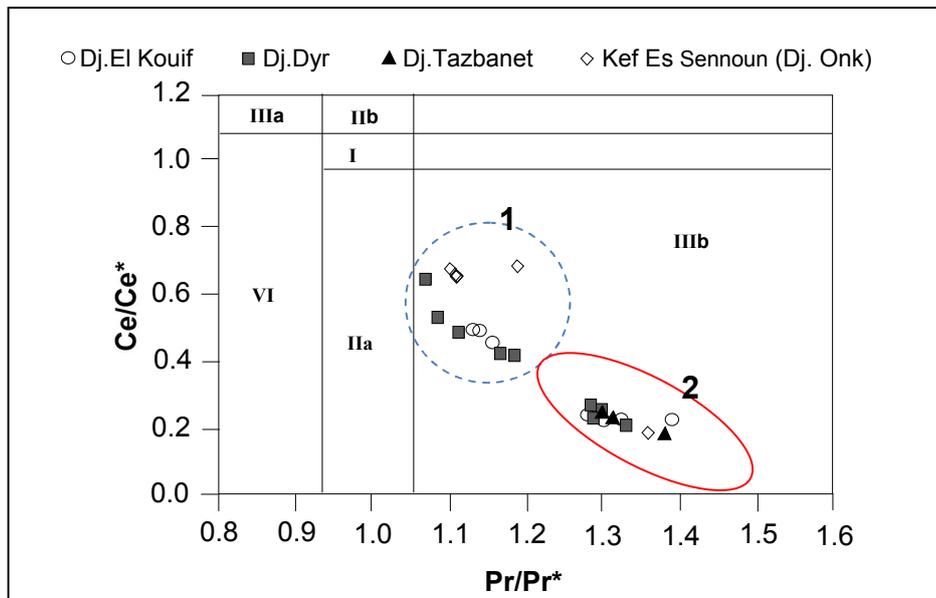


Fig. 72 : Diagramme du Ce/Ce* contre Pr/Pr* (Bau et Dulski, 1996). (1) anomalies moins prononcées ; (2) anomalies très bien prononcées.

I: absence d'anomalie; **IIa**: anomalie positive en lanthane provoque une anomalie négative en cérium apparente; **IIb**: anomalie négative en lanthane, positive en cérium réelle ; **IIIb**: **anomalie négative en cérium réelle**; **IV**: anomalie positive en lanthane masque une anomalie positive en cérium.

Sur le plan vertical

Sur le plan vertical, à *Tébessa Nord et Sud*, des variations d'anomalies en cérium dans les profils d'échantillonnage sont à noter. Les teneurs de P₂O₅ varient indépendamment par rapport aux anomalies en cérium (Ce_{anom}) (Fig.73), ceci indique que cette anomalie n'a pas de relation étroite avec P₂O₅ mais plutôt avec les conditions d'environnement de dépôt tels que le redox.

A la base, ces profils sont toujours caractérisés, par des anomalies moins prononcées tandis qu'à leurs sommets, elles présentent des anomalies qui sont élevées. Ces constatations, indiquent que l'environnement de dépôt évolue d'un milieu sub-oxique à oxique (Fig. 73 A-B). Les phosphates de la couche principale à Kef essenoun (Tébessa sud) montrent une anomalie en cérium avec des spectres différents par leurs formes et amplitudes. Elles indiquent que les phosphates se sont déposés dans un milieu profond et semi-reducteur. Du bas en haut, l'environnement évolue d'un milieu semi-reducteur à sub-oxique et il devient oxique à la couche sommitale (Fig. 73-C).

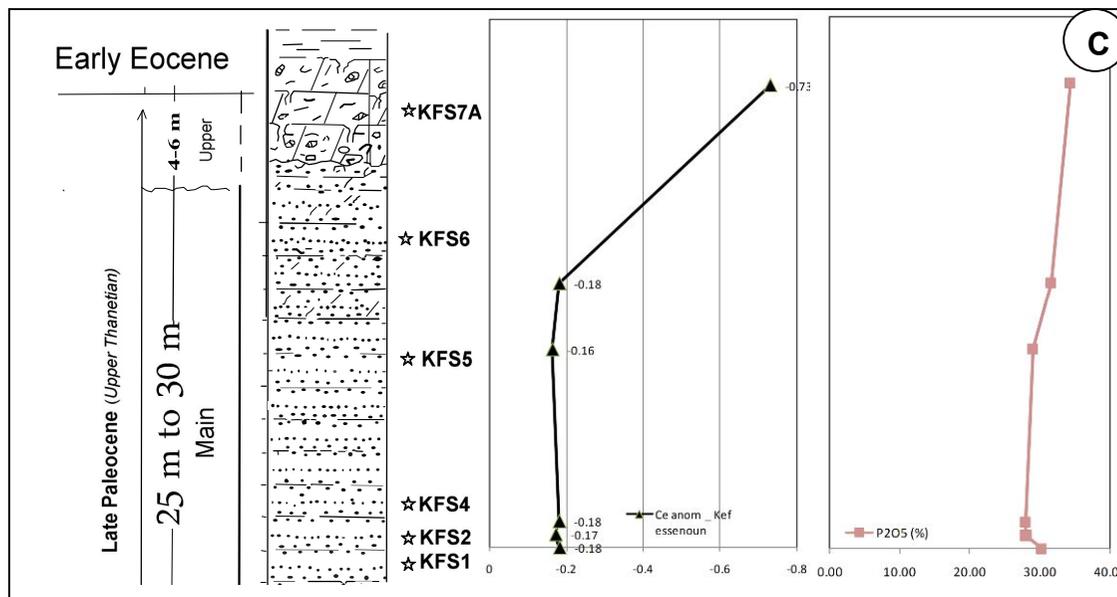
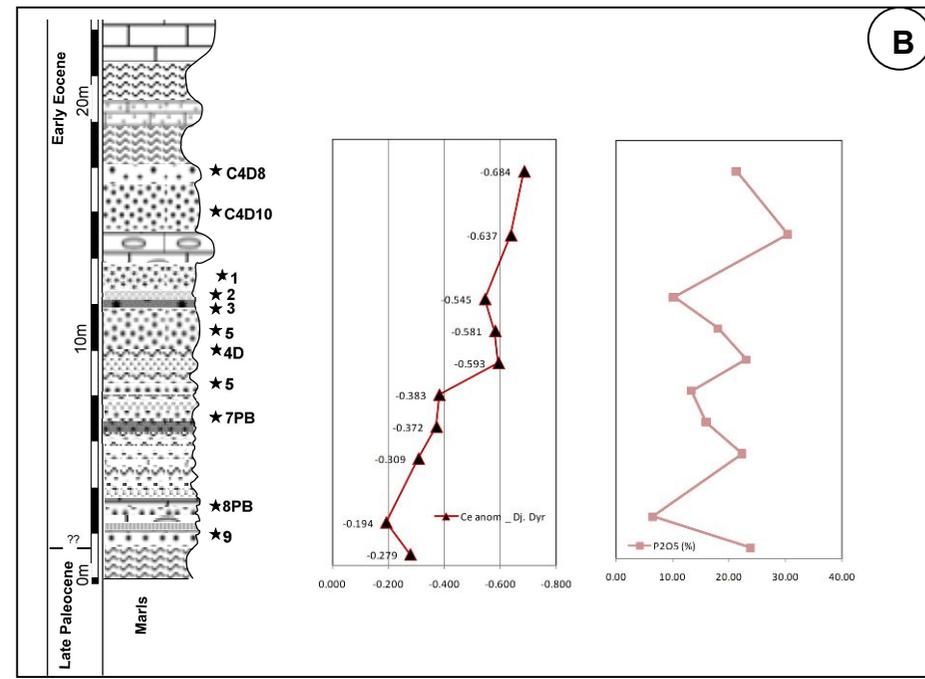
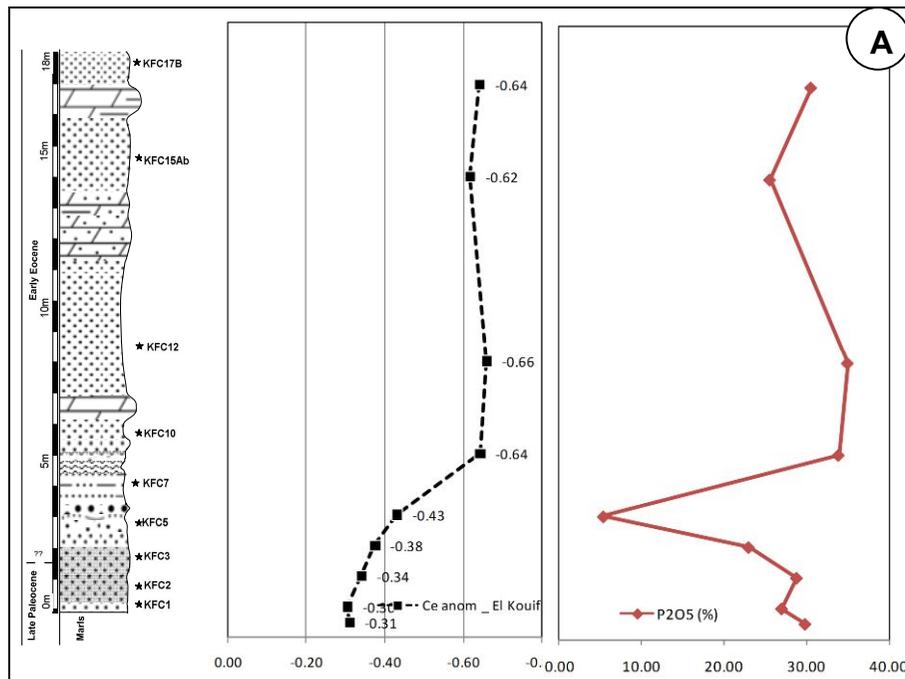


Fig. 73 : Evolution verticale de l'anomalie en Cérium (Ce_{an}) et les teneurs en P_2O_5 dans les profils d'échantillonnage. **(A)** : Dj. El Kouif (Tébessa Nord) ; **(B)** : Dj Dyr (Tébessa Nord) ; **(C)** : Gisement de Kef essennou (Tébessa Sud)

Sur le plan horizontal

La comparaison d'anomalies en cérium montre des valeurs élevées au niveau de la partie Nord de Tébessa, représenté par El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant par rapport à celles de couche principale des minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun à Tébessa Sud. Ceci indique que les conditions de l'environnement de dépôt semblent être différentes entre les deux parties du bassin.

Les minerais de phosphates du nord se sont déposés dans un milieu oxiqne indiquant une mer ouverte exposé au courants du (Téthys) et que le milieu est moins profond. Ces résultats ont été également signalés dans le bassin de Sra-Ouartan au nord de la Tunisie (Garnit et al., 2012). Ce bassin représente la continuité du bassin vers Tébessa Nord. En revanche, les minerais de phosphates du sud se sont déposés dans un environnement semi-réducteur (la couche principale).

La forme des spectres et les résultats obtenus en faveur de l'étude pétrographique et géochimiques indiquent que : (1) les particules phosphatées de la couche principale sont allochtones (remaniements). Les résultats confirment le modèle allochtone proposé par Chabou-Mostafai (1987) ; (2) l'évolution des conditions de redox enregistrées indiquent une ouverture du milieu et de sa profondeur pour la mise en place des phosphates de la couche sommitale ; (3) les phosphates du Nord de Tébessa, en revanche sont autochtones (forme des grains, géologie des niveaux phosphatés, forme de spectres typiques à l'eau de mer moderne, ..)

5.4.5. Analyse factoriel discriminante (AFD)

Ces résultats ont été confirmés par l'analyse factorielle discriminante. Cette analyse a permis de mettre en évidence le comportement discriminatoire entre les phosphates du nord et ceux du sud sur la base de leurs teneurs en terres rares. Les barycentres des échantillons en provenance du nord sont proches entre eux d'une part et très écartés les phosphates de la couche

principale du sud, à l'exception d'un seul échantillon provenant de la couche sommitale qui manifeste un comportement géochimique différent (Fig. 74).

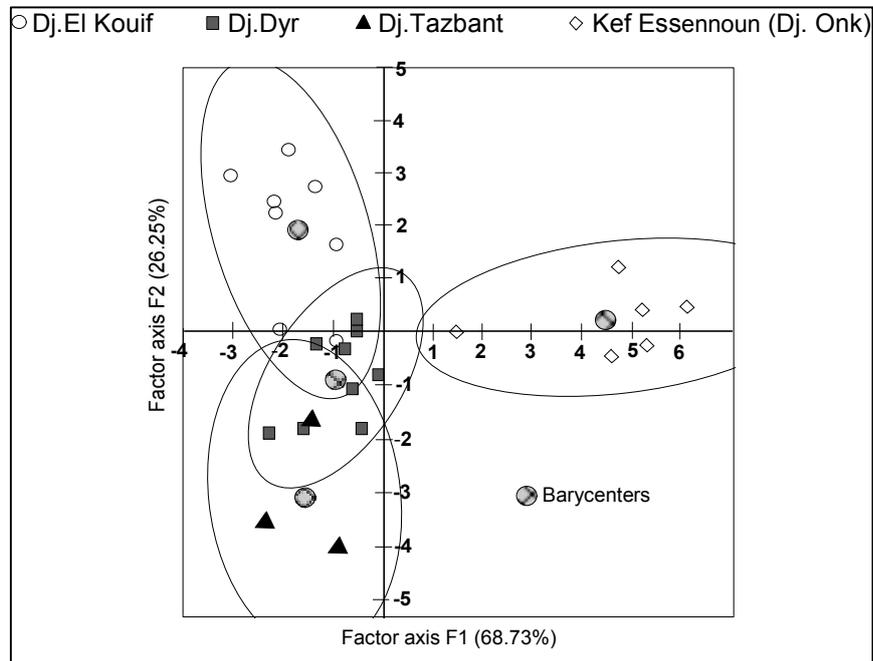


Fig. 74 : Projection des échantillons sur les facteurs (F1 vs F2) de l'analyse factorielle discriminante.

Conclusion

L'étude géochimique comparative a été faite sur un ensemble de trente (30) échantillons analysés par ICP-MS. En effet, un échantillonnage représentatif a été effectué au niveau de quatre localités dont trois représentent la partie Nord de Tébessa (El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant) et une autre au sud représentés par le gisement des minerais de phosphates Kefessenoun à Djebel Onk.

Cette étude a permis de définir l'abondance en éléments majeurs, traces et en terres rares. Les teneurs en P_2O_5 varient de 5.28 à 35.00 % (Moyenne= 23.65 %). Les teneurs de MgO varient de 0.28 à 13.08 % (Moyenne = 1.64%). L'analyse en composantes principales a

permis de distinguer deux associations chimiques, l'une représente l'apatite et l'autre reflète les éléments qui constituent les phases de ciment et de la matrice.

Les éléments en traces montrent un enrichissement dans les phosphates du gisement de Kef essenoun par rapport à ceux du nord. Cet enrichissement est aussi, reporté pour les éléments de terres rares où la somme des $\Sigma ETRs$ varie de 174.41 à 906.39 ppm (Moyenne = 623.01 ppm). Les teneurs en somme des $\Sigma ETRs$ à El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant sont faibles (Moyenne d'El Kouif = 311,50 ppm; Moyenne de Dj Dyr et Tazbant = 215.61 ppm).

Les éléments de terres rares ont été utilisés pour le traçage géochimique afin de caractériser les environnements de dépôts. Le calcul de l'anomalie en cérium à l'aide des méthodes de Wright et al., 1984 et sa vérification par le diagramme de Beau et dulski (1996), a permis de distinguer des anomalies en cérium réelles malgré l'effet de la digenèse précoce. Ces anomalies ont permis de distinguer une évolution des conditions de redox sur le plan vertical. Il s'agit d'une transition d'un milieu sub-oxique à oxique au nord de Tébessa et d'un milieu semi-réducteur à sub-oxique (couche principale) dans le gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud). Sur le plan horizontal, la partie nord du bassin montre des conditions oxiques à plus d'échanges avec les courants de la Téthys, par contre la partie Sud du (Dj. Onk), en particulier, la couche principale montre des conditions semi-réductrice à peu d'échanges avec les courants du Téthys.

Les caractéristiques géochimiques, géologiques et sédimentologiques confirment l'aspect allochtone (remaniements) des particules enrichies le long du transport (modèle proposé par Chabou-Mostfai, 1987). Tandis que les phosphates du nord sont à priori autochtones.

Conclusions générales

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La région de Tébessa appartient à l'Atlas Saharien Orientale, faisant partie d'une vaste province paléogéographique, étendue de part et d'autre de la frontière orientale, appelée « bassins atlasique algéro-tunisien ». Les formations de la couverture de cette région, sont d'âge méso-cénozoïque avec un Jurassique absent. Elles sont de nature essentiellement carbonatées. Les principaux traits structuraux des monts de Méllègue se résument aux plissements, diapirisme et aux fossés d'effondrements. La répartition de la minéralisation phosphatée dans la région de Tébessa est inégale. Elle se concentre dans la partie sud plus que dans le nord. Les minerais de phosphates sont généralement localisés dans des formations d'âge Paléocène-Eocène.

Cette étude, dont le but essentiel est comparatif, a permis de mettre en évidence certaines différences entre le nord et le sud du bassin de Tébessa sur les plans suivantes :

Les affleurements des minerais de phosphates de Tébessa Nord, étudiés à El Kouif, Djebel Dyr , partiellement exploités, et à Tazbanat, d'âge Paléocène-Eocène montrent des épaisseurs généralement d'ordre centimétrique à décimétrique dépassant parfois 1 m intercalés dans des niveaux dolomitiques. La structure est tabulaire à faible pendage. Sur la base de la couleur et la nature du liant, plusieurs faciès de minerais sont distingués: (1) phosphates argileux noirs à glauconie, (2) phosphates beiges ; (3) phosphates marneux et (4) Phosphates noirs silicifiés. Les minerais de phosphates de Tébessa Sud représentés par le gisement de Kef essenoun, au niveau du bassin minier de Dj. Onk, sont d'âge Thanétien, présentent une couche épaisse de 30 m, subdivisé en trois sous couches : (1) basale ; (2) principale et (3) sommitale. Ce gisement constitue une table monoclinale à pendage régulier

vers le sud (5 à 10°). Les faciès rencontrés montrent les minerais de : (1) phosphates noirs à ciment argileux et à glauconie, (2) beiges à ciment carbonaté, (3) dolomitiques et (4) silicifiés.

D'une manière générale la présence des pellets est quasi permanente dans les minerais de phosphates de la région de Tébessa avec une prédominance au sud par rapport au nord. Les coprolithes sont fréquemment rencontrés dans les minerais de phosphates de Tébessa Nord ainsi que dans la couche sommitale de Tébessa Sud.

Les minerais de phosphates de Tébessa Sud, par contre, montrent un enrichissement en grains de glauconie par rapport au nord. Le ciment le plus abondant de ces minerais est carbonaté. Le ciment siliceux, donnant naissance aux minerais de phosphates silicifiés, a pour l'origine la présence des radiolaires.

Cette étude a mis en évidence des différences entre le nord et le sud de Tébessa où on note : (1) Les minerais de phosphates de Tébessa nord sont caractérisés par des épaisseurs faibles à intercalations argilo-carbonatées tandis que ceux de Tébessa Sud sont épais à faible intercalations (la couche principale), (2) Les minerais de phosphates de Tébessa Nord montrent des caractéristiques similaires à ceux de la couche sommitale au Tébessa sud où le ciment / matrice est parfois, plus abondant par rapport aux grains phosphatés. (3) l'étude minéralogique des minerais de phosphates par diffraction des rayons X révèle une similarité entre le nord et le sud, dans la phase phosphatée malgré les différences dans le ciment (4) L'étude granulométrique des minerais de phosphates de Tébessa Sud (la couche principale) montre l'abondance de la morphologie arrondie et émoussée des grains qui indiquent un caractère allochtone (remaniement) avec un transport long des particules, alors que celle des minerais de Tébessa Nord, déposés simultanément avec les niveaux de l'encaissant, témoigne d'un caractère autochtone.

La synthèse des résultats de l'étude pétrographique des différentes formations à passées phosphatées et des minerais de phosphates rencontrés à Tébessa Nord, a permis de constater la présence du gypse, de la glauconie en faible quantité, des minerais de phosphates à ciment siliceux et l'abondance des nummulites dans les calcaires. Ces critères permettent d'avancer que le milieu de dépôt était peu profond, bien oxygéné parfois à tendance à l'émersion. À Tébessa Sud, par contre, l'enrichissement en glauconie traduit l'installation de conditions différentes et profondes, confinées à tendances réductrices. L'ensemble de ces résultats nous permettent d'envisager que le bassin sédimentaire à Tébessa est plus profond au sud qu'au nord.

L'analyse granulométrique des phosphates a permis de mettre en évidence l'évolution des paramètres d'un niveau phosphaté à un autre. En générale, les minerais de phosphates du nord montrent un mauvais classement avec des courbes de fréquences multimodales. Cependant les minerais de phosphates du sud en particulier, la couche principale, montrent des courbes de fréquences monomodales indiquant la prédominance de la classe des pellets. Cette étude a permis aussi, la caractérisation du mode de transport des particules phosphatées. Les graphes des probabilités montrent que le transport pour les particules phosphatées du nord et de sud à Tébessa se fait essentiellement par saltation et suspension. La couche principale, au sud de Tébessa, montre un minerai de phosphate dont la granulométrie en prédominance varie de 80 à 250 μm où le transport est probablement lié à la saltation (80 % de la population) conduisant le lissage des surfaces des particules phosphatées le long de trajet.

L'étude géochimique a permis de définir l'abondance en éléments majeurs, traces et en terres rares. Les teneurs en P_2O_5 varient de 5.28 à 35.00 % (Moyenne= 23.65 %). Les teneurs de MgO varient de 0.28 à 13.08 % (Moyenne = 1.64%). L'Analyse en Composantes Principales a permis de distinguer deux associations chimiques, l'une représente l'apatite et l'autre reflète les éléments qui constituent les phases de ciment et de la matrice. Les éléments

en traces montrent un légère enrichissement dans les minerais de phosphates du gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud) par rapport ceux de Tébessa Nord. Cet enrichissement est aussi reporté pour les éléments de terres rares où \sum ETRs qui varient de 174.41 à 906.39 ppm (Moyenne = 623.01 ppm). Les teneurs en somme des \sum ETRs à El Kouif, Dj. Dyr et Tazbant (Tébessa Nord) sont faibles (Moyenne d'El Kouif = 311,50 ppm; Moyenne de Dj Dyr et Tazbant = 215.61 ppm).

Les éléments de terres rares ont été utilisés pour le traçage géochimique, afin de caractériser les environnements de dépôts. Le calcul de l'anomalie en cérium a été effectué à l'aide des méthodes de Wright et *al.*, 1984. Sa vérification a été faite par le diagramme de Beau et dulski (1996) qui a permis de distinguer des anomalies réelles pour le cérium, malgré l'effet de la digenèse précoce. Ces anomalies ont permis de distinguer une évolution des conditions de redox sur le plan vertical. Il s'agit d'une transition d'un milieu sub-oxique à oxique aux localités de Tébessa Nord et d'un milieu semi-réducteur à sub-oxique dans le gisement de Kef essenoun (Tébessa Sud). Cependant le milieu devient oxique vers la couche sommitale. Sur le plan horizontal ; la partie nord du bassin montre des conditions oxiques avec plus d'échanges avec les courants du (Téthys), par contre, la partie sud (Dj. Onk), en particulier, de la couche principale montre des conditions à tendances réductrices à peu d'échanges avec les courants du (Téthys).

L'enrichissement en éléments en traces et en terres rares, les caractéristiques géologiques et sédimentologiques confirment l'aspect allochtone (remaniements) des particules phosphatées de la couche principale à Tébessa Sud qui sont enrichies le long du transport (modèle proposé par Chabou-Mostfai, 1987). Tandis que les minerais de phosphates de Tébessa Nord sont *à priori* autochtones.

Recommandations et perspectives

A l'issu de cette étude comparative entre les phosphates de Tébessa Nord et de Tébessa Sud, il est nécessaires de présenter certains recommandations.

Sur le plan scientifique, (1) cette étude est une contribution à l'étude pétrographique, géologique et sédimentologique des minerais de phosphates, il est recommandé, d'effectuer une étude détaillée sur le contenu faunistique permettant la précision des datations surtout, pour les affleurements du Tébessa Nord. Proposant le modèle autochtone pour les phosphates du Nord de Tébessa avec l'évolution des conditions des milieux de mise en place en utilisant le traçage par les éléments de terres rares, cette étude nécessite l'utilisation d'autres outils de chimio-stratigraphie pour déterminer la limite du Paléocène-Eocène. Les isotopes stables d'oxygène et de carbone ainsi que le strontium sont envisageables dans l'identification de ce passage et l'appui pour les résultats obtenus en faveur de l'évolution de l'anomalie en cérium ; (2) une synthèse, sur les bassins phosphatés algéro-tunisiens, est recommandée afin de proposer un modèle fiable de la mise en place de ces mineralisations phosphatées autour de l'île Kassrine et de les comparer ultérieurement avec ceux du Maroc pour éclaircir l'histoire de la phosphatogénèse dans son contexte régional.

Cette étude a révélé la richesse de l'Algérie en substances utiles en particulier, les minerais de phosphates dont l'intérêt économique est primordial. Il est alors recommandé de : (1) orienter l'exploitation des ressources en minerais de phosphates en détaillant la géologie, la granulométrie et la géochimie ; (2) valoriser les éléments en traces et les terres rares dans l'estimation de la qualité des minerais algériens ; (3) chercher le meilleur choix des procédés rentables conduisant l'extraction des éléments en traces et de terres rares à partir des minerais.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Alibo, D.S., Nozaki, Y.** Rare. (1999). Earth elements in seawater: Particle association, shale-normalization and Ce oxidation, *Geochim. Cosmochim. Acta* 63 363–372.
- **Altschuler, Z.S., Cuttitta, F., Berman, S.** (1967). Rare Earths in phosphorites. Geochemistry and economic potential. *U.S. Geological Survey Prof. Paper 575-B*, p.B1-B9.
- **Altschuler, Z.S.** (1980). The geochemistry of trace elements in marine phosphorites; part I.Characteristic abundance and enrichment. *SEPM Special Publication 29*, pp. 19–30.
- **Amouri, M.** 1986. Le gisement de Bou-jaber (Atlas tunisien central), un exemple de minéralisation Pb-Zn-Ba dans un paléokarst. *Revue des Sciences de la terre, vol. 4, Tunisie*
- **Aoudjehane, M., Bouzenoune, A., Rouvier, H., Thibiéroz, J.** (1992). Halocinèse et dispositifs d'extrusions du Trias dans l'Atlas saharien oriental (NE algérien). *Géol. Médit., Marseille, XIX*, 273-287.
- **Blayac, J (1894)** : Description géologique de la région des phosphates du Dyr et de Kouif près de Tébessa. *Ann mines, 9e sér, t, VI*, p.319-330, pl. XV.
- **Barut, G., Bonnefous, J.** (1967). Présences du Danien au Djebel Sidi Kralif (Tunisie centrale). *Bull. Cent. Rech. Pau., S.N.P.A., 1, 1, p*, 55-63.
- **Bau, M., Dulski, P.** (1996). Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, *Transvaal Supergroup. Precambrian Res.* 79 pp. 37-55.
- **Beghoul, M.** (1974). Etude géologique de la région des Hamimat (SE Constantinois). Application à la recherche pétrolière des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doct. Ing., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, France. 140p. (inédit).*
- **Béji-Sassi A.** (1984). Pétrographie, minéralogie et géochimie des sédiments phosphatés de

la bordure orientale de l'île de Kasserine (Tunisie). *Thèse de 3ème cycle : Géologie, Sédimentologie, Université d'Orléans, France.*

- **Béji-Sassi, A.** (1999). Les phosphates dans les bassins paléogènes de la partie méridionale de l'Axe Nord-Sud (Tunisie). *Thèse Doct. Etat, Univ. Tunis II, Tunisie.*
- **Belayouni, H., Trichet, J.** (1983). Preliminary data on the origin and diagenesis of the organic matter in the phosphate basin of Gafsa (Tunisia), In : Bjoroy et al., John Wiley and Sons (Eds.). *Advances in Organic Geochemistry 1981, 328-335.*
- **Ben abdessalem, S.** (1978). Etude paléontologique et micropaléontologique de la série phosphatée du bassin de Gafsa –Metlaoui (Tunisie). *Thèse 3ème cycle .Univ.Paris VI , 123 p.*
- **Benabbas, C.** (2006). Évolution mio-plio-quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale : apport de la photogéologie et analyse morphostructurale. *Thèse de Doctorat d'état. 242p. Berthois L (1975) Etude sédimentologique des roches meubles (techniques et méthodes) – Doin Edit. – Paris – 278p.*
- **Ben Hassen, A., Trichet, J., Disnar, J.R.** (2010). Pétrographie et géochimie comparées des pellets phosphatés et de leur gangue dans le gisement phosphaté de Ras-Draaa (Tunisie). Implications sur la genèse des pellets phosphatés. *Swiss J. Geosciences, 103 (3), pp. 457-473.*
- **Blès, J.L.** (1969). Contribution à l'étude des déformations cassantes de la feuille de Morsott (SE Constantinois-Algérie). Les microfracturations et leurs relations avec les failles et les plis. *Pub. Ser. Géol. Algérie, (Série N° 11), Bull. N° 39, pp. 7-17.*
- **Blès, J.L et Fleury.** (1971). Carte géologique 1/50 000 Morsott et notice explicative. *Publ. Serv. Geol. Algérie.*
- **Boufaa, K., Kowalski, W.M., Pharissat, A.** (1996). L'évolution néogène des structures atlasiques dans les environs de Tébessa (NE de l'Algérie). *Bulletin de la Société d'Histoire*

Naturelle du Pays de Montbéliard, 179-184.

- **Bouzenoune, A.** (1993). Minéralisation périadiapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). *Thèse de doctorat, Université Paris VI, 209 p.*
- **Bouzenoune, A., Rouvier, H., Thibiéroz, J.** (1995). Trias de l'Ouenza: contexte diapirique, zonation minéralogique et conséquences métallogéniques. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, Vol. 6, N°1, pp. 3-24.*
- **Burollet, P.F.** (1956). Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. *Thèse Sc. Alger. Ann. Min. et Géol. Tunis, n°18, 350 p.*
- **Burollet, P.F., Oudin, J.L.** (1980). Paléocène et Eocène en Tunisie – Pétrole et phosphate – in Géologie comparée des gisements de phosphate et de pétrole. *Mém. BRGM n° 116.*
- **Bousson, G.** (1970). le Mésoïque saharienne. 2eme partie : Essai de synthèse des données de Sondage algéro-tunisien. *Publ. Centr Rech. Zones Arides (CNRS), Paris, série Géol., 11.*
- **Burdige, D.J., 1993.** The Biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth Sci. Rev. 35, 249–284.*
- **Chaabani, F.** (1978). Les phosphorites de la coupe-type de Foum Thelja (Métlaoui-Tunisie). Une série sédimentaire séquentielle à évaporite du Paléocène. *Thèse 3ème cycle ULP. Strasbourg. 131p.*
- **Chaabani, F.** (1995). Dynamique de la partie orientale du bassin de Gafsa au Crétacé et au Paléogène: Etude minéralogique et géochimique de la série phosphatée Eocène, Tunisie méridionale. *Thèse Doct. Etat, Univ. Tunis II, Tunisie.*
- **Chabou, M.S.** (1987). Etude de la série stratigraphique tertiaire du Djebel Onk (Algérie). Leur situation dans le cadre des phosphates algériens. *DEA, Fac. Sci. Alger, 136p.*

- **Chevenine, A., Popov, Y., Douha, Dj., Benzeroual, M.** (1989). Rapport sur les résultats de l'étude géologique complémentaire des feuilles 124 (Oued Kebarite), 125 (Ouenza), 150 (El Ouinet) et 151 (Boukhadra) pour la préparation à l'édition des cartes géologiques au 1/50.000. *Partie 1, texte (1987-1988) O.R.G.M. Algérie (Rapport inédit)*.
- **Chikhi, A.F.** (1980). les Rudistes de l'Aptien supérieur de djebel Ouenza (algérie NE). Paléontologie, Contexte stratigraphique et paléogéographie. *Thèse 3ème cycle, USTHB, Alger, 114 p.*
- **Cielensky., Benchernine.** (1987). Travaux de prospection et d'évaluation des phosphates dans la région de Bir El Ater. *Rapport interne, EREM, 80p.*
- **Curtis, C.D., Spears, D.A., 1968.** The formation of sedimentary iron minerals. *Econ. Geol.* 63,257–270.
- **Cuvllier, J., Dalbiez, F., Glintzboeckel, C., Lys M., Magne, J., Perebaskne, V., Rey, M.** (1995). Etudes micropaléontologiques de la limite crétacé-tertiaire dans les mers mésogéennes. *Cong.Mond.Petrol. Rom, sect.I/D, 6. p. 517-544.*
- **Daas-amiour, M.** (2012). Eléments en trace et valorisation des minerais de phosphate du gisement de Kef Essennoun - Dj. Onk (Algérie Orientale). *Thèse de science doctorat 63-65p.*
- **Dass-Amiour M., Mezghache, H., Elouadi, B.** (2011). The use of three physico-chemical methods in the study of the organic matter associated with the sedimentary phosphorites in Djebel Onk Basin, Algeria. *Arab. J. Geosci., DOI 10.1007/s12517-011-0381-9.*
- **Dass-Amiour, M.** (2012). Eléments en trace et valorisation des minerais de phosphate du gisement de Kef Essennoun - Dj. Onk (Algérie Orientale), *Thèse docotorat, Univ. Annaba, 185 p.*

- **David, L.** (1956). Etude géologique des monts de la haute Medjerda. *Thèse Sci. Paris. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, N.S. Bull, n°11, 304p.*
- **Degaichia, A.** (2014). Sédimentologie et paléoenvironnements des sédiments du pliocène du fossé d’effondrement de Tébessa et ses abords (Atlas saharien oriental, ne de l’Algérie. *These doctorat, Université Badji-Mokhtar Annaba, 195 p.*
- **Dubourdiou, G.** (1956). Etude géologique de la région de l’Ouenza (confins algéro tunisiens). *Pub. du service de la carte géologique de l’Algérie, Alger, N.S.,10, 659 p.*
- **Dubourdiou, G.** (1959). Exquise géologique du Dj. Mesloul. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, nouvelle série, Bull., n°21.*
- **Durand-Delga, M., Fontboté, J.-M., (1980).** Le cadre structural de la méditerranée occidentale. *Mémoire du bureau de recherches géologiques et minières. 115, 65 -85.*
- **Durozoy, M.G.** (1956). Carte géologique de l’Algérie au 1/50000, feuille n°206 Tébessa avec notice explicative détaillée. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie.*
- **Dussert, M. D.** (1924). Les gisements Algériens de phosphate de chaux. *Annales des mines, Dunod éd., Paris (12), 6, 290p.*
- **Elderfield, H., Pagett, R.** (1986). Rare Earth Elements in ichthyoliths: Variations with redox conditions and depositional environment. *The Science of the Total Env. 49, 175–197.*
- **Flandrin, J.** (1948). Contribution à l’étude stratigraphique du Nummulitique Algérien. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2e série, n°19, 340p.*
- **Fleury, J.J.** (1969). Stratigraphie du Crétacé et de l’Eocène. *Notice de la carte (Aptien à Lutétien de la feuille 1/50 000ème.*
- **Folk, R.F., Ward, W.C.** (1957). Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. *J. of Sedim. Petrol., 27: 3-26.*
- **Fourine, D.** (1980). Phosphates et pétrole en Tunisie. *Mém. BRGM N.04 , pp. 30-34.*

- **Froelich, P. N., Klinkhammer, G.P., Bender, M.L., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Cullen, D., Dauphin, P., Hammond, D., Hartman, B., Maynard, V., 1979.** Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43,1075–1090.
- **Gaine, M. (1973).** Une méthode d'induration des échantillons de sols à l'aide de vernis. *Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. XI, no 314, 1973 : 265-267.*
- **Garnit, H., Bouhlef, S., Barca, D., Chtara, C.(2012).** Application of LA-ICP-MS to sedimentary phosphatic particles from Tunisian phosphorite deposits: Insights from trace elements and REE into paleo-depositional environments, *Chemie Erde-Geochemistry, Vol. 72, Issue 2, June 2012, pp. 127–139.*
- **Haley, A.B., Klinkhammer P.G., McManus, J. (2004).** Rare earth elements in pore waters of marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68, 1265–1279.
- **Hamimed, M. (2004).** Etude sédimentologique et paléogéographie des sédiments miocènes au pays du Nord-Est de l'Atlas Saharien des confins algéro-tunisiens. *Thèse de Doctorat d'état, Université de Constantine, Algérie, 223p.*
- **Hannigan, E.R., Sholkovitz, R.E. (2001).** The development of middle rare earth element enrichments in freshwaters: weathering of phosphate minerals. *Chem. Geol.* 175, 495–508.
- **Jarvis, I., Burnett,W.C., Nathan,Y., Almbaydin,F.S.M., Attia,A.K.M., Castro,L.N., Flicoteaux, R.,Hilmy,M.E., Husain,V., Qutawnah,A.A., Serjani,A., Zanin,Y.N. (1994).** Phosphorite geochemistry- state-of-the-art and environmental concerns. *Eclogae Geologicae Helvetiae. (Journal of the Swiss Geological Society)* 87,643–700.
- **Kazi, T.N. (1986).** Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine: le domaine inter-plaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doctorat ès Sciences, Université de Pau et des Pays de l'Adoure, 2 tomes. 871 p., 347 fig.*

- **Kechiched, R.** (2011). Typologie géochimique et géostatistique des minerais de phosphates du gisement de Bled El Hadba – Djebel Onk (Algérie Orientale). *Université Badji Mokhtar – Annaba. 175p.*
- **Kechiched, R., Laouar, R., Bruguier, O., Salmi-Laouar, S., Ameer-Zaimeche, O., Fougou, A.** (2016). “Preliminary Data of REE in Algerian Phosphorites: A Comparative Study and Paleo-redox Insights”. *Procedia Engineering, Volume 138, 2016, Pages 19–29, DOI: doi:10.1016/j.proeng.2016.02.048.*
- **Kocsis, L., Ounis, A., Chaabani, F., Salah, M.N., 2013.** Paleoenvironmental conditions and strontium isotope stratigraphy in the Paleogene Gafsa Basin (Tunisia) deduced from geochemical analyses of phosphatic fossils. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch) 102, 1111–1129.*
- **Kocsis, L., Gheerbrant, E., Mouflih, M., Cappetta, H., Ulianov, A., Chiaradia, M., Bardet, N.** (2016). Gradual changes in upwelled seawater conditions (redox, pH) from the late Cretaceous through early Paleogene at the northwest coast of Africa: Negative Ce anomaly trend recorded in fossil bio-apatite. *Chemical Geology 421 (2016) 44–54, doi:10.1016/j.chemgeo.2015.12.001.*
- **Kowalski, W.M., Hamimed M.** (2000). Diapirisme polyphasé ou glacier de sel albien, Dilemme du matériel triasique des confins algéro-tunisiens. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie. Vol. 11, n°1 pp. 29-60, 12 fig., 2000.*
- **Lécuyer, C., Reynard, B., Grandjean, P.** (2004). Rare earth element evolution of Phanerozoic seawater recorded in biogenic apatites. *Chem. Geol. 204, 63–102.*
- **Lucas, J., Prevot-Lucas, L.,** Tethyan phosphates and bioproductites. In: Nairn, A.E., et al. (Eds.), the ocean basins and margins, The Tethys Ocean, vol. 8. *Plenum Press (1995) pp. 367-391.*
- **Masse, J.P. & Thieuloy, J.P.** (1979). Précisions sur l'âge des calcaires et des formations

associées de l'Aptien sud constantinois (Algérie). Conséquences paléogéographiques. *Bull. Soc. Géol. de France*, 7, XXI, p.65-71.

- **Masse, P., Chikhi-Aouimeur, F.** (1982). La plate-forme carbonatée de l'Ouenza (Sud Constantinois, Algérie). Organisation et Dynamique durant l'Aptien supérieur. *Géol. Méditer., Marseille*, vol. IX, n° 3, pp. 259-267.
- **McArthur, J.M., Benmore, R.A., Bremner, J.M.** (1980). Carbon and oxygen isotopic composition of structural carbonate in sedimentary francolite, *J. Geol. Soc. (Lond.)* 137 (1980) 669 – 673.
- **McArthur, J.M., Walsh, J.N.** (1984). Rare-earth geochemistry of phosphorites. *Chemical Geology*, 47 pp. 191–220.
- **McLennan, S.M.** (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Min. Soc. Am. Rev. Miner.* 21, (1989) 169-200.
- **Mezghache, H.** (1991). Détermination, localisation et estimation globale des différents types de minerais de phosphate dans le gisement de Kef Es. Senoun, Djebel Onk, Algérie. *Rapport E.N.FERPHOS*, 42p.
- **Mezghache H., Hani A.** (2002). Typologie chimique des phosphates du gisement de Djemi-Djema, bassin de Djebel Onk (Algérie orientale). *Géologie Méditerranéenne. Tome XXVII n° 1/2, 2000*, pp 95-106.
- **Mouflih, M.** (2015). les phosphates du Maroc central et du moyen atlas (maastrichtien-Lutetien, Maroc): sédimentologie, stratigraphie séquentielle, contexte génétique et valorisation. *Thèse doctorat, Université Cadi Ayyad, Marrakech*, 352 pages.
- **Nedjari-Belahcène, S., Nedjari, A.** (1984). Le Boukhadr: esquisse paléogéographique aptienne. *5eme séminaire nationale des sciences de la terre, Alger*, pp. 102.

- **Nesbitt, H.W.** (1979). Mobility and fractionation of rare-earth elements during weathering of granodiorite [J]. *Nature*. 279, 206–210.
- **Notholt, A.J.G.**, Economic phosphatic sediments: mode of occurrence and stratigraphical distribution. *J. Geol. Soc.* 137, (1980), pp. 793-805.
- **Notholt, A.J.G., Sheldon, R.P., Davidson, D.F.**, Phosphate deposits of the world, *Vol. 2, Cambridge Univ. Press, 1989, 566 pp.*
- **Sheldon, R.P.**, Association of phosphatic and siliceous marine sedimentary deposits. In: Hein, J.R. (Ed.), Siliceous sedimentary rock-hosted ores and petroleum, *Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1987, pp. 58-80.*
- **Simon. J Blott** , (2010) : Gradistat. v8.0.grain programme d'analyse granulométrique.
- **Othmanine, A.** (1987). Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tebessa-Morsott (Algérie). Relation entre paléogéographie aptienne, diapirisme, structure et métallogénie. *Thèse de 3ème Cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 221 p.*
- **Otsuka, M., Terakado, Y.** (2003). Rare earth element abundances in high phosphorus and low iron groundwaters from the Nishinomiya district, Japan: Variations in Ce anomaly, redox state and heavy rare earth enrichment. *Geochem. J.* 37, 1–19.
- **Ounis, A., Chaabani, F.** (2008). Effect of CO_3^{2-} substitution on Unit-Cell parameter in fluorapatite at Gafsa basin, Tunisia. *Tunisian Crystallographic Meeting, 15 à 17 Mars 2008; Hammamet, Tunisie.*
- **Ounis, A.** (2011). Apport de la géochimie des Terres Rares et des isotopes pour la compréhension des mécanismes de la phosphatogenèse : exemple de la partie occidentale du bassin de Gafsa-Métlaoui, *These doctorat, Université de Tunis el Manar, 198 pages.*

- **Oussedik, M.** et al. (1979). Les minéralisations phosphatées éocènes en Algérie, et le gisement de phosphate de Djebel El Onk. *Document BRGM N° 24 ; colloque international Orléans, 6-7 Nov. 1979. PP 141-154.*
- **Perthuisot, V., Hatira, N., Rouvier, H., Steinberg, M.** (1987). Concentration métallique (Pb-Zn) sous un surplomb diapirique: exemple du J. Bou Khil (Tunisie septentrionale). *Bull. Soc. Géol. Fr. III, 6, pp. 1153-1160.*
- **Perthuisot, V.** (1978). Dynamique et pétrogenèse des extrusions triasiques en Tunisie septentrionale. Annexes: Histoires du diapirisme, les dômes de sel. *Travaux de Laboratoire de Géologie, Ecole Normale Supérieure, Paris 12, France, 312p.*
- **Perthuisot, V., Rouvier, H., Smati.** (1988). Style et importance des déformations antévraconiennes dans le Maghreb Oriental: exemple du diapir du Jebel Slata (Tunisie centrale). *Bull. Soc. Géol. Fr., (6), IV, 3, pp. 391-398.*
- **Perthuisot, V.** (1992). Les diapirs du Maghreb central et oriental: Des diapirs variés, résultats d'une évolution structurale et pétrogénétique complexe. *Bull. Soc. Géol., France, t. 163, n°6, PP. 751-760.*
- **Pervinquière, L.** (1903). Etude géologique de la Tunisie centrale. *Thèse, de Rudeval, Paris, 360 p.*
- **Picard, P., Lécuyer, C., Barrat, J-A., Garcia, J-P., Dromart, G., Sheppard, S.M.F.** (2002). Rare earth element contents of Jurassic fish and reptile teeth and their potential relation to seawater composition (Anglo-Paris Basin, France and England). *Chem. Geol. 186, 1-16.*
- **Piegras, D.J., Jacobsen, S.B.** (1992). The behavior of rare earth elements in seawater: Precise determination of variations in the North Pacific water column. *Geochim. Cosmochim. Acta 56, 1851-1862.*

- **Prian, G. P., Cortiel, Ph.** (1993): Etude de développement du gisement de phosphate de Djebel Onk (Algérie). *Rapport d'expertise géologique, B.R.G.M. France, 288 p.*
- **Racki, G., Cordey, F.** (2000). Radiolarian palaeoecology and radiolarites : is the present the key to the past ? – *Earth-Science Review, vol.52, p. 83-120. (2000).*
- **Ranchin, G.** (1963, a). Les phosphates de chaux sédimentaires de la région de djebel Onk (Algérie). *S.E.R.E.M. Paris, 85p.*
- **Ranchin, G.** (1963, b). Les phosphates de chaux sédimentaires de la région de Djebel Onk. *Étude géologique et minière de Djemi – Djema (Algérie). S.E.R.M. Paris, 2 vol.*
- **Reynard, B., Lécuyer, C., Grandjean, P.** (1999). Crystal-chemical controls on rare-earth element concentrations in fossil biogenic apatites and implications for paleoenvironmental reconstructions. *Chem. Geol. 155, 233–241.*
- **Rouvier, H, Pertuisot, V., Mansouri, A.** (1985). Pb-Zn Deposits and salt-bearing diapirs in Southern Europe and North Africa. *Economic Geology, 80, pp. 666-687.*
- **Rudowicz, I.** (1975). Application de la radiométrie aéroportée pour la recherche des phosphates. *Rapport SONAREM, Alger.*
- **Said, R.** (1978). Etude stratigraphique et micropaléontologique du passage crétacé – tertiaire du synclinal d'Elles (region Siliana-Sers) Tunisie central . *Thèse Doct.Etat ,Univ. Paris VI, 210p.*
- **Salaj, J.** (1980). Microbiostratigraphie du Crétacé et du Paléogène de la Tunisie septentrionale et orientale (hypo-stratotypes tunisiens). *Inst. Géol. Bratislava, 283 p.*
- **Salmi-Laouar, S.** (1998). Le Massif de Boujaber (NE Algérien): Sédimentologie, biostratigraphie et contribution des isotopes du soufre à la reconnaissance du mode de mise en place des masses triasiques et minéralisation à Pb-Zn-Ba. *Thèse de Magister, Université d'Annaba, Algérie. 92 p.*
- **Salmi-Laouar, S.** 2004. Contribution à l'étude géologique et géochimie des

isotopes stables (S, O, C) des minéralisations polymétalliques (Zn-Pb-F-Ba-Fe-Hg) de la zone des diapirs du nord de Tébessa (NE Algérien). *Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 181p.*

- **Salvan, H 5.** (1955). A propos des formations siliceuses des phosphates marocains. *Geol. Rdsch. Stuttgart, Vol. 43, h.2, p. 503-515.*
- **Sami, L.** (2004). Contribution à l'étude géologique et géochimique des minéralisations Pb-Zn-Ba-F dans la région de Meskiana: Exemple des indices d'Essouabaa et de M'khiriga (Atlas Saharien oriental, Algérie). *Thèse de Magister, USTHB, Alger.*
- **Sassi, S.** (1974). La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le Sud et le Centre Ouest de la Tunisie. *Thèse Doct. ès-Sci. Univ. Paris-Sud Orsay, France.*
- **Sholkovitz, E.R.** (1994). Ocean particle chemistry: the fractionation of rare earth elements between suspended particles and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58, 1567–1579.
- **Sholkovitz, E.** (1995). The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries. *Aquatic Geochemistry* 1, 1–34.
- **Simon, J Blott.** (2010). Gradistat. v8.0.grain programme d'analyse granulométrique.
- **Gaine, M.** (1973) : Une méthode d'induration des échantillons de sols à l'aide de vernis. *Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. XI, no 314, 1973 : 265-267.*
- **Thibiéroz, J., Madre, M.** (1976). Le gisement de sédirite du Dj. Ouenza (algérie) est contrôlé par un golf de mer aptienne. *Bulletin de la société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 67, 3-4, pp.*
- **Thomas, Ph.** (1888) : Sur les gisements de phosphates de chaux d'Algérie. *C. R. acad. Sci. Paris, 106, pp 379 -382.*
- **Vatan, A.** (1967). Manuel de sédimentologie. *Editions Technip – Paris. pp 213-219.*

- **Vila, J.M.** (1980). *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de doctorat, Université Paris VI, 665.*
- **Visser, G.S.** (1969). Grain-size distribution and depositional processes. *J. of Sedim Petrol.*, 39 : 1074-1106.
- **Visse, L.D.** (1948). Contribution à l'étude pétrographique des phosphates marocains. *B. Soc. Géol. Fr., sér., t. 18, fasc. 8-9, p. 675-684.*
- **Visse, L.** (1951). Le gisement de phosphate de chaux de Djebel Onk. *Rapport interne Soc. Dj. Onk, 152 p, 32 pl., 10 pl. h.t.*
- **Winnock, E.** (1980). les dépôts de l'Eocène inférieur au Nord de L'Afrique. Aperçu Paléogéographique de l'ensemble. Géologie comparée des gisements de phosphates et de pétrole. *coll. Interne., Orléans , 6-7 Nov .1979, Doc. B.R.G.M. 24.p 219-243.*
- **Wright, J., Seymour, R.S., Shaw, H.F.** (1984). REE and Nd isotopes in conodont apatite: Variations with geological age and depositional environment. *G.S.A. Spec. Paper 196,325-340.*
- **Wright, J., Schrader, H., Holser, W.T.** (1987). Paleoredox variations in ancient oceans recorded by rare earth elements in fossil apatite. *Geochim. Cosmochim. Acta 51, 631–644.*
- **Zerdazi, A.** (1990). Etude gravimétrique du môle d'Ain M'lila et de l'Atlas saharien septentrional. *Thèse de Doctorat des Sciences, Faculté des Sciences, Université de Lausanne, 227p.*

Annexe. 1

**Exemples de diffractogrammes
montrant les principales phases
minéralogiques des minerais de
phosphates**

Annexe. 1 : Exemples des diffractogrammes montrant les principales phases minéralogiques des minerais de phosphates.

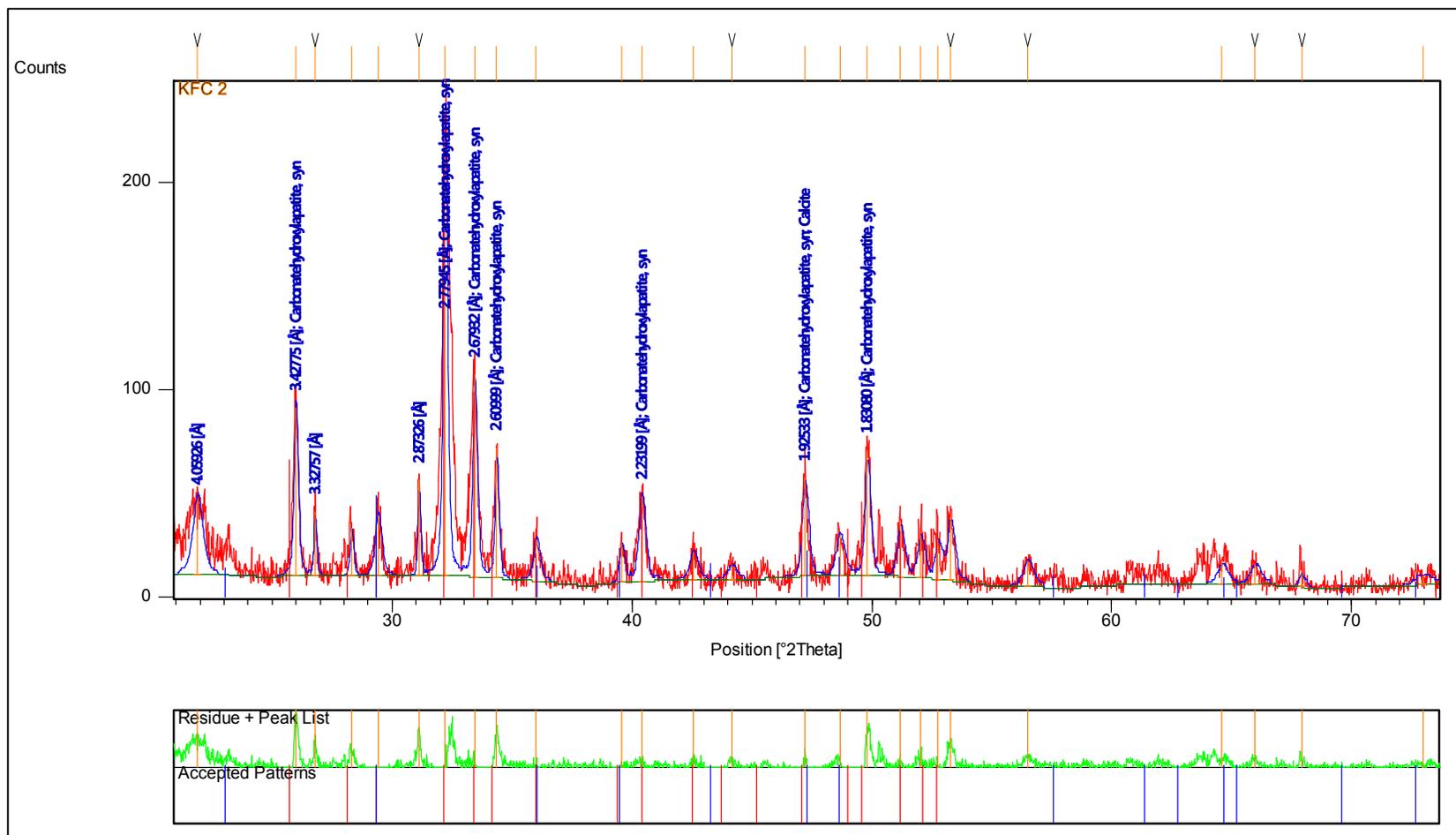


Fig. 1 : spectre de DRX – échantillon de phosphate à la base de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord).

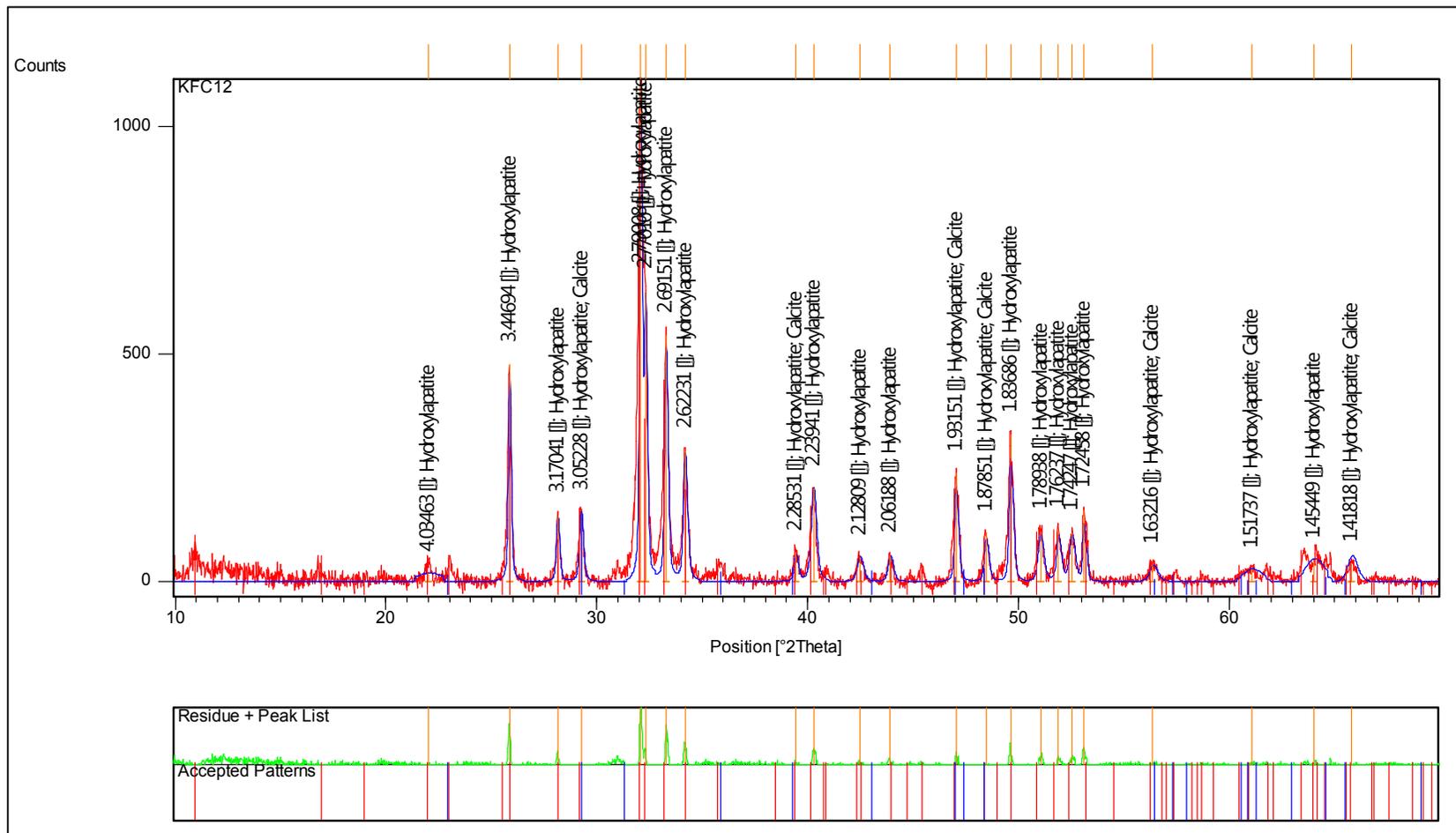


Fig. 2 : spectre de DRX – échantillon de phosphate au sommet de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord)

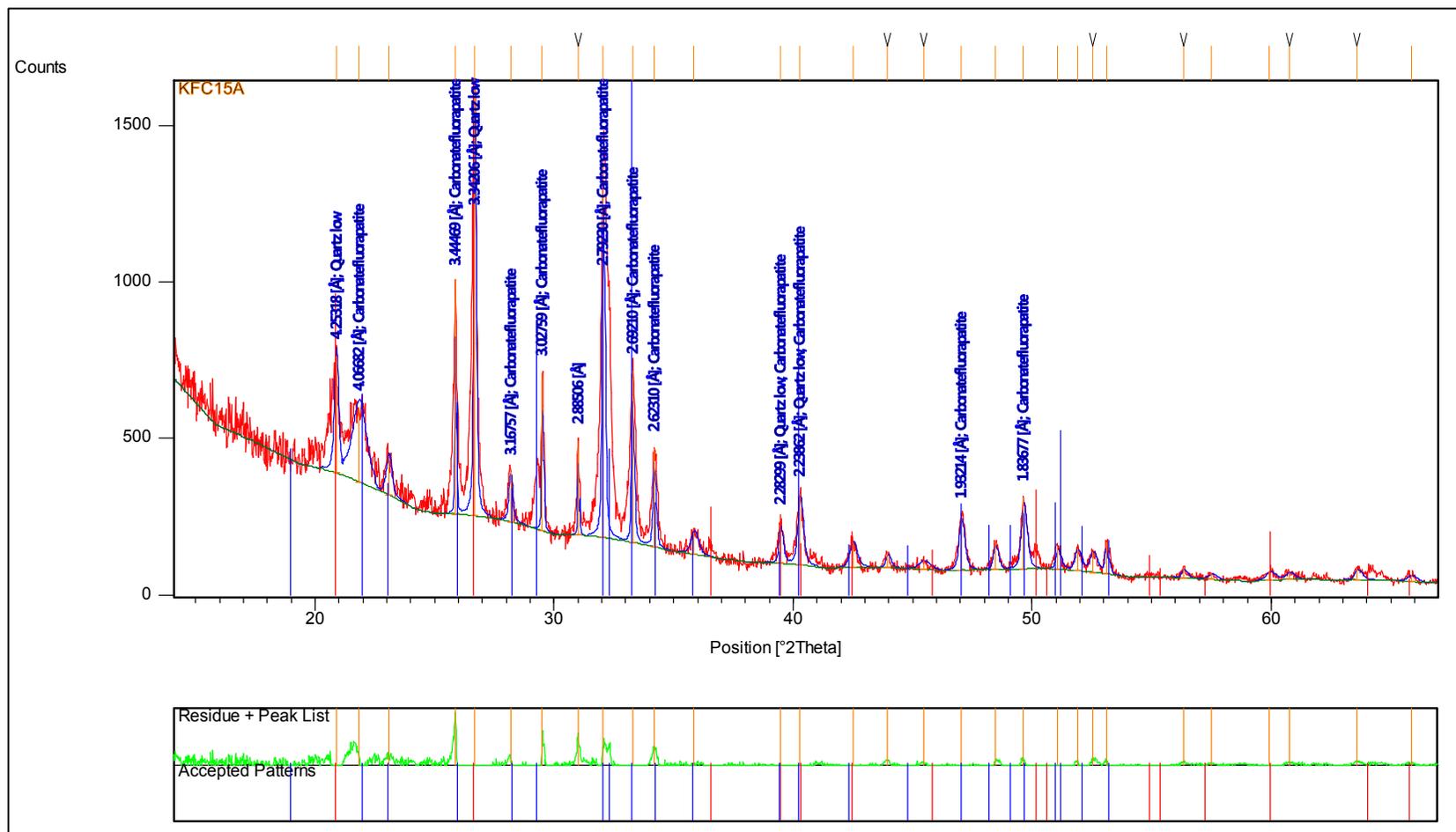


Fig. 3 : spectre de DRX – échantillon de phosphate au sommet de l’affleurement d’El Kouif (Tébessa Nord)

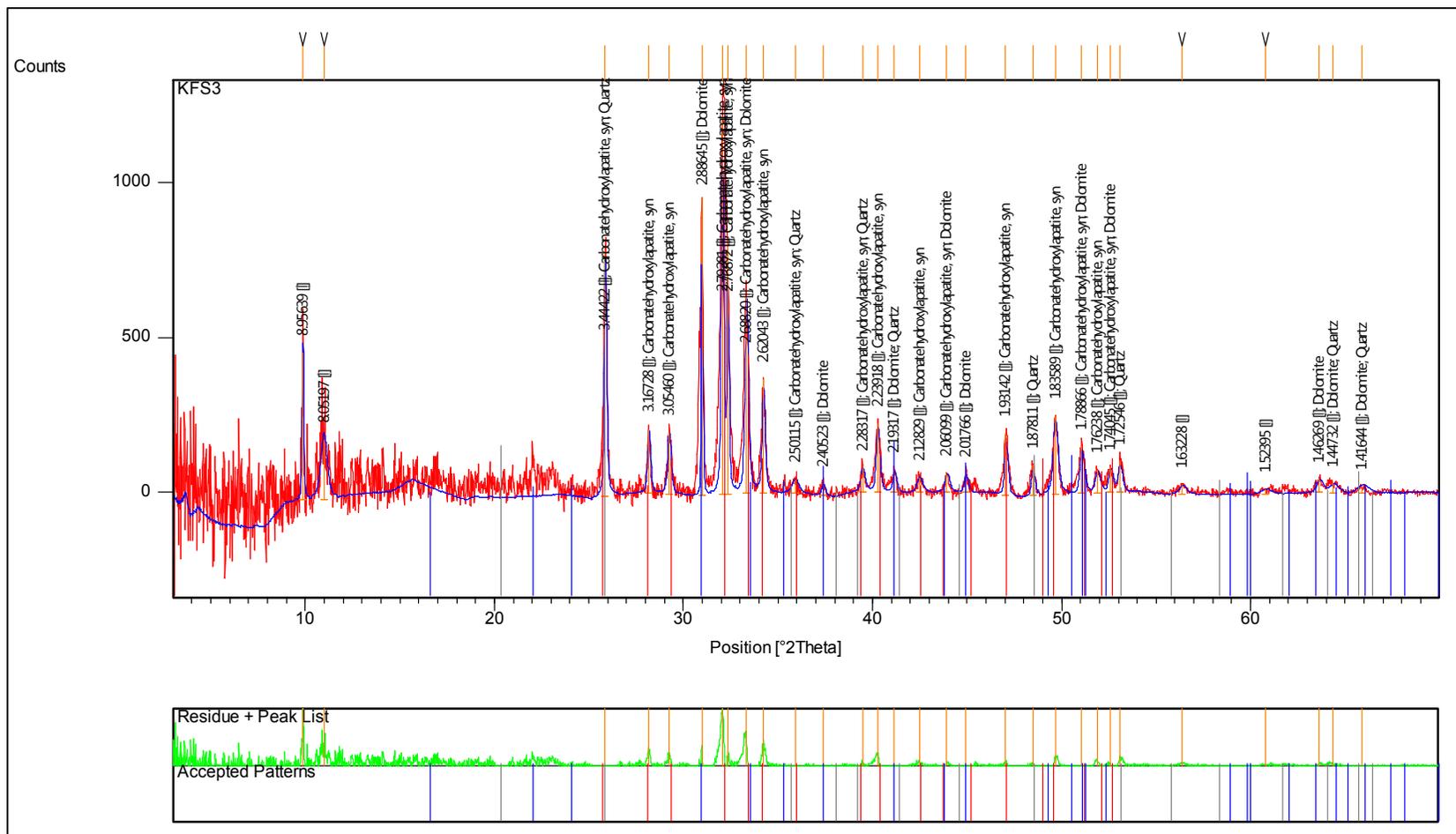


Fig. 4 : spectre de DRX – échantillon de phosphate couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud).

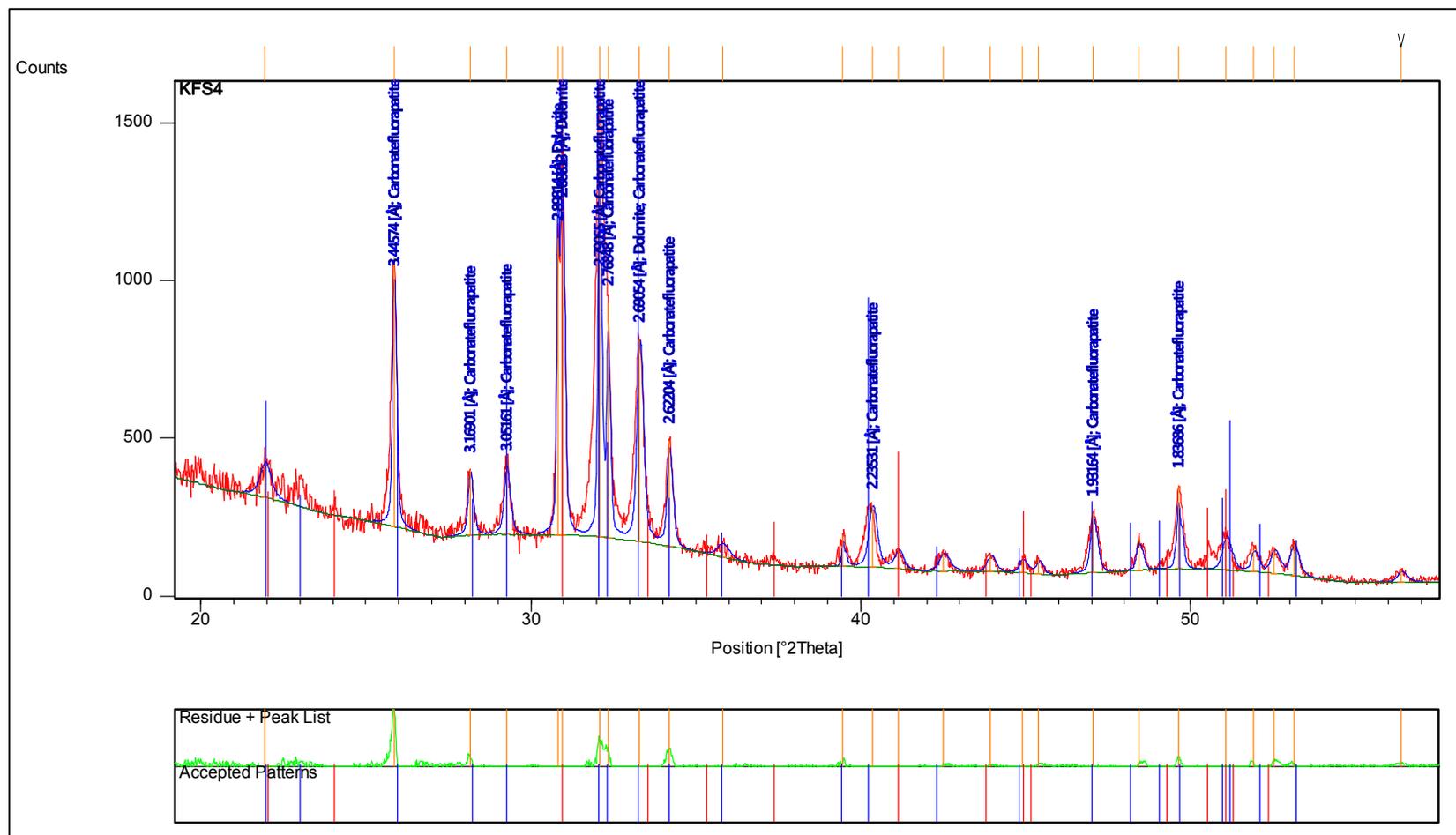


Fig. 5 : spectre de DRX – échantillon de phosphate couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud).

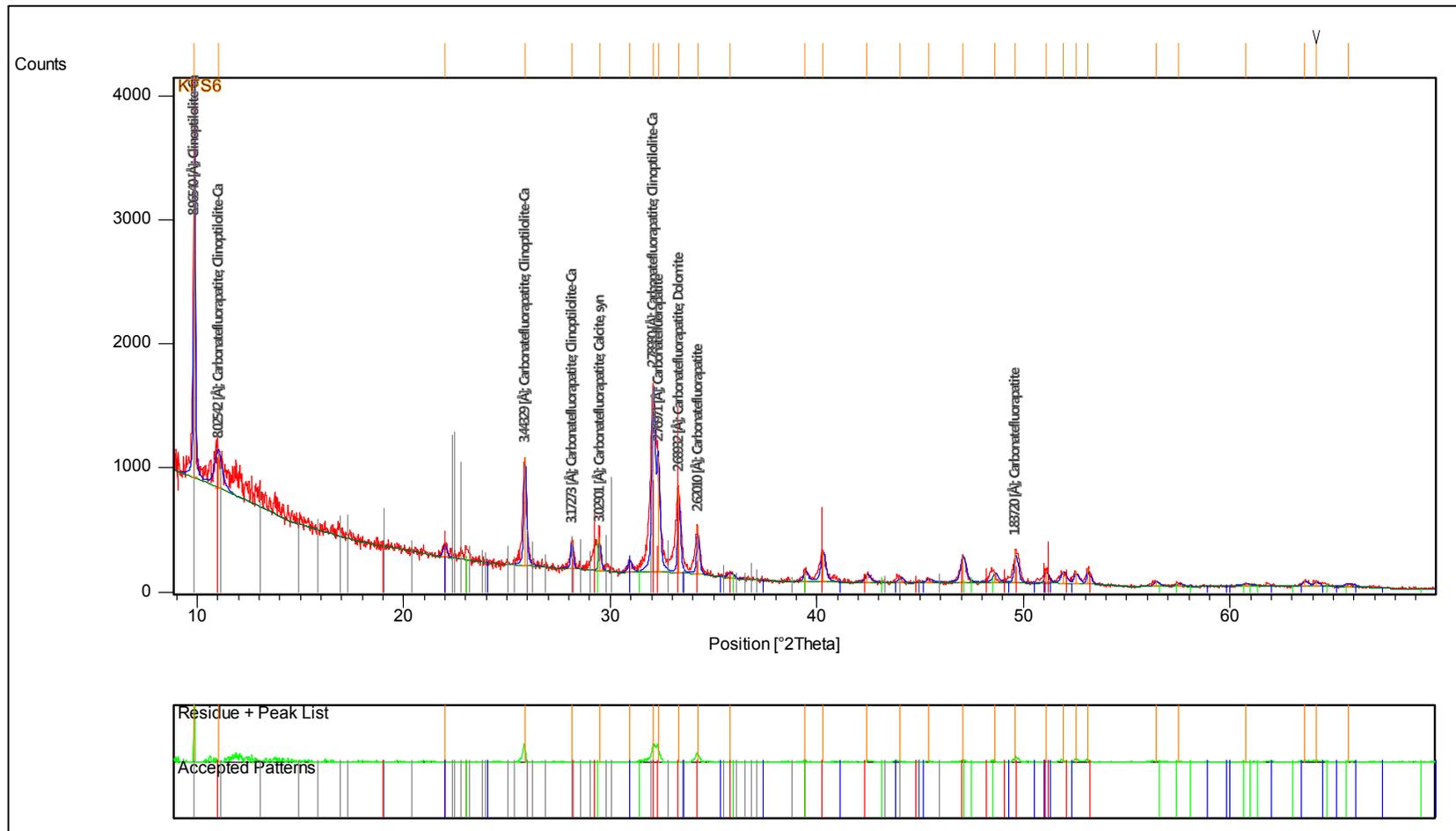


Fig. 6 : spectre de DRX – échantillon de phosphate couche principale à Kef essenoun (Tébessa Sud).

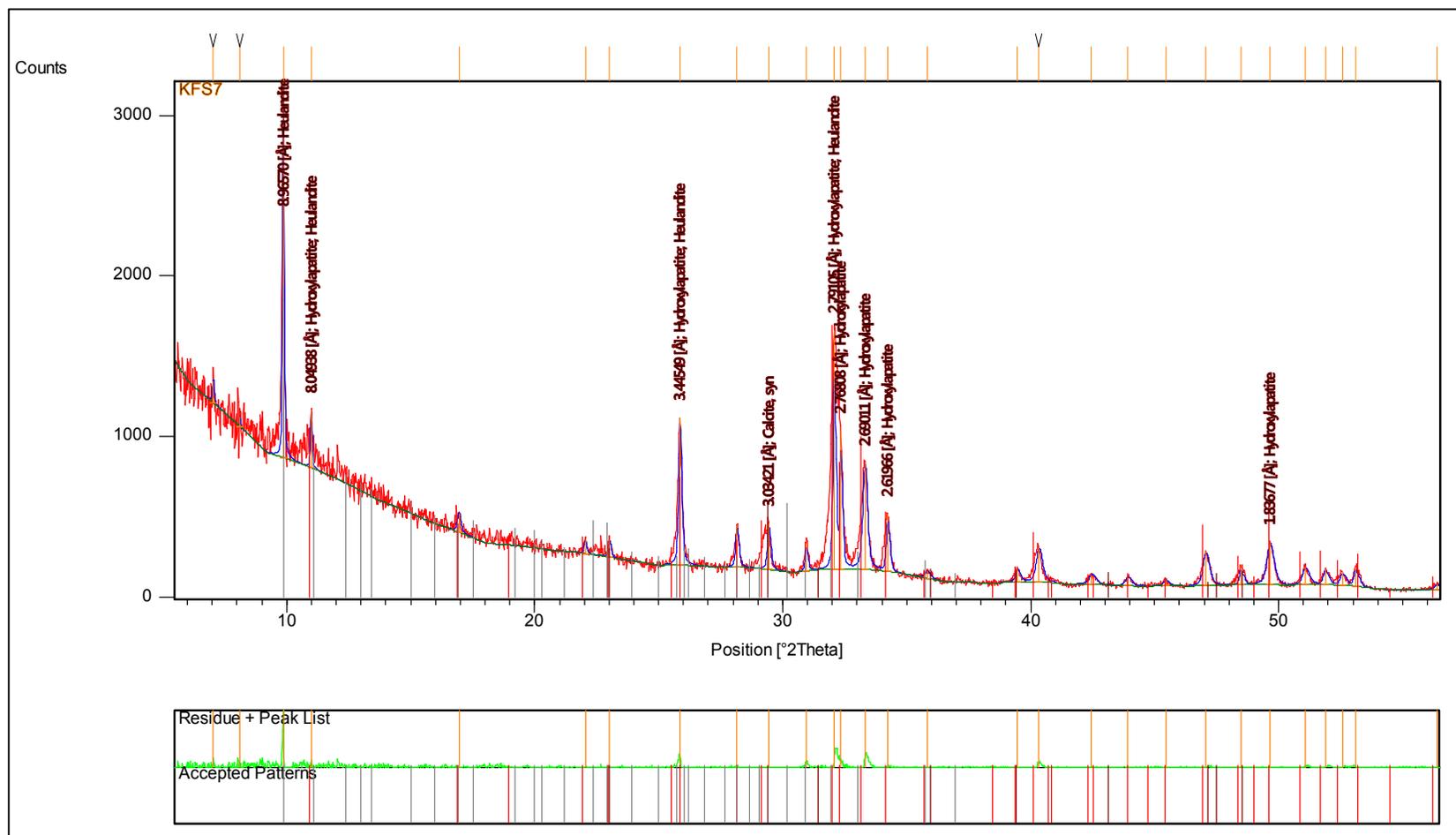


Fig. 7 : spectre de DRX – échantillon de phosphate couche sommitale à Kef essenoun (Tébessa Sud).

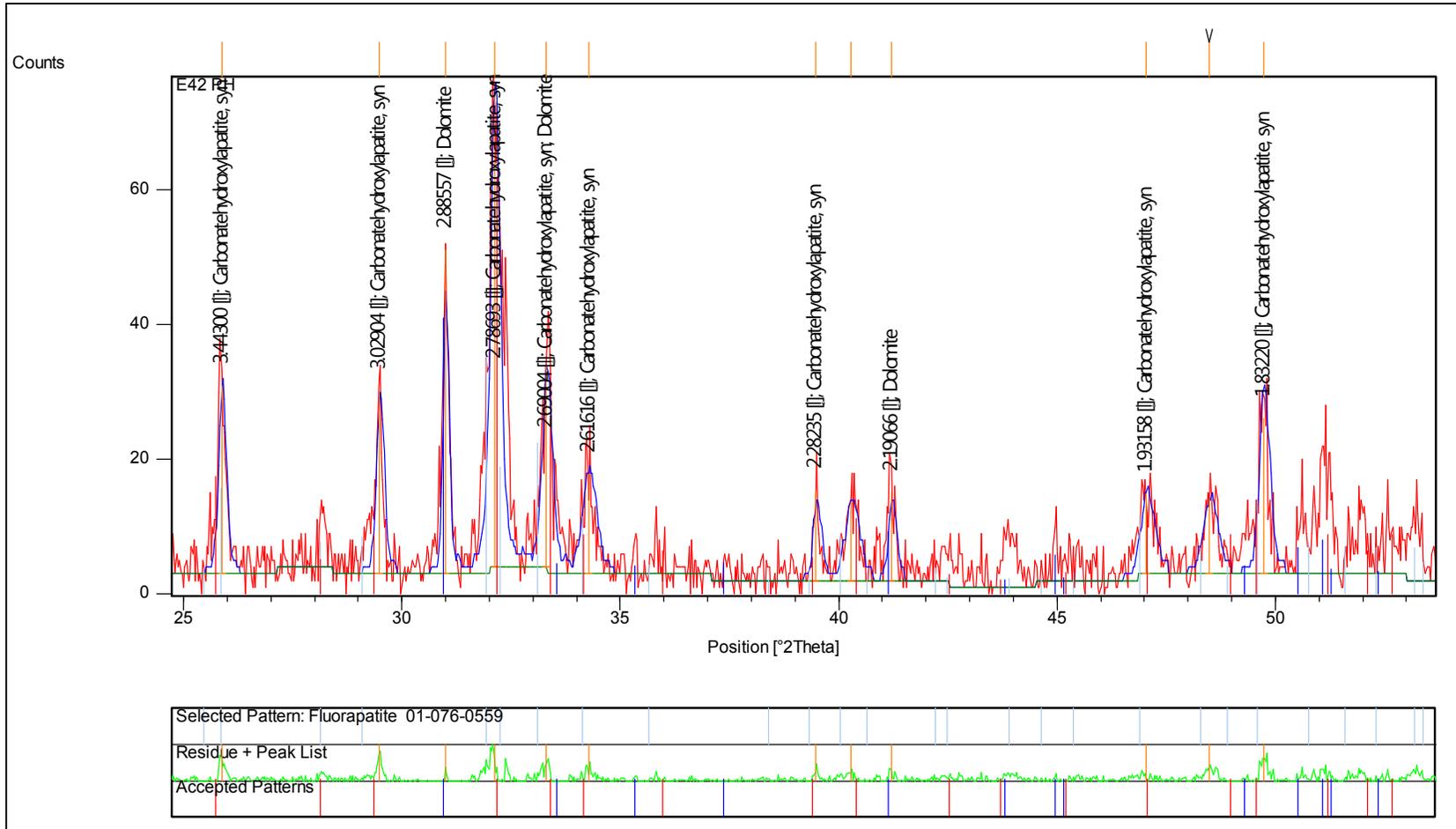


Fig.8 : spectre de DRX – échantillon de phosphate du gisement de Bled El Hadba (Tébessa Sud).

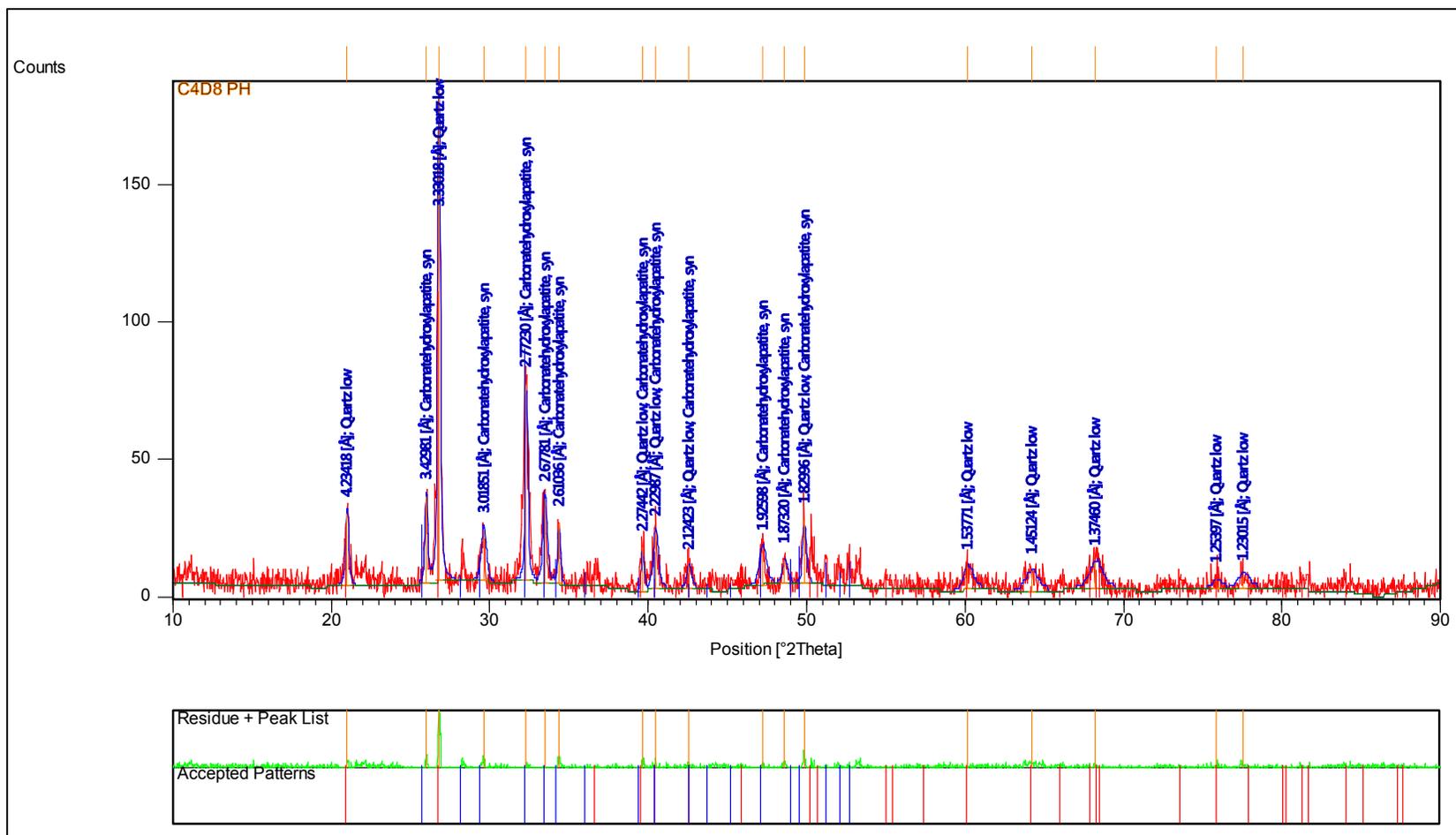


Fig. 9: spectre de DRX – échantillon de phosphate de Dj Dyr - sommet (Tébessa Nord).

Annexe. 2

**Rappel sur les méthodes
statistiques utilisées**

Annexe 2 : Rappel sur les méthodes statistiques utilisées

1. Analyse statistique monovariée

Ce traitement permet de déterminer les paramètres statistiques de la distribution de chaque variable, de positions centrales (moyenne, le mode,...etc.), et de dispersion (variance, écart type, coefficient de variation...etc.) des éléments chimiques. L'histogramme d'une variable donnée visualise la répartition des effectifs dans un certain intervalle de variation prise par cette variable. L'allure générale de l'histogramme et/ou de la courbe des fréquences cumulées permet d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des données; ainsi que la loi de distribution des variables.

2. Analyse bivariée

Le traitement statistique bivarié consiste à étudier deux variables aléatoires simultanément et de déterminer la relation qui existe entre elles, à l'aide, entre autre du calcul des coefficients de corrélation simples. Elles sont calculées pour chaque couple de variables, où celles-ci montrent clairement les relations mutuelles qui existent entre les variables.

Le coefficient de corrélation est calculé par la formule suivante :

$$r = \text{COV}(x, y) / s_x s_y$$

r : Coefficient de corrélation simple de la population ;

s_x et s_y : L'écart type des deux variables

$\text{COV}(x, y)$: la covariance de variables x et y .

Il est à rappeler que : $\text{cov}(x,y) = E(xy) - E(x).E(y)$

Les coefficients de corrélation simples sont regroupés dans un tableau récapitulatif appelé "**matrice de corrélation**". Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1.

La signification de ce dernier dépend du nombre d'individus utilisés pour son calcul.

Une façon empirique de calculer la signification c'est de calculer la valeur de :

$$R_{signif} = \frac{2}{\sqrt{n-1}}$$

Où n est le nombre des données utilisées.

3. Analyse multivariée

L'analyse des données multivariée désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de collecter, d'organiser, d'analyser et de présenter les données. Ces méthodes utilisent des techniques géométriques permettant de mettre en évidence des groupes d'individus homogènes, des liens entre individus et variables, des ressemblances ou des différences entre variables et surtout de représenter les données initiales d'un Tableau R (n,p) par un nombre plus petit sans perdre l'information.

Soit un tableau (matrice) R(n,p) où n est le nombre de lignes et p le nombre de colonnes (Tableau. 1).

Tableau. 1 – Exemple de données d'analyse chimique phosphates de Bled El Hadba.

Ech	P ₂ O ₅	CO ₂	RI	MgO	Fe ₂ O ₃
1	23,84	12	5,06	3,58	0,93
2	24,24	10,34	5,65	1,02	0,93
3	26,01	9,23	3,53	1,53	0,58
.
.

Représentation géométrique

Les données peuvent être représentées graphiquement en nuage de points-lignes (Représentation R^P) et/ou en nuage de point variables (Représentation dans Rⁿ) (Fig. 1).

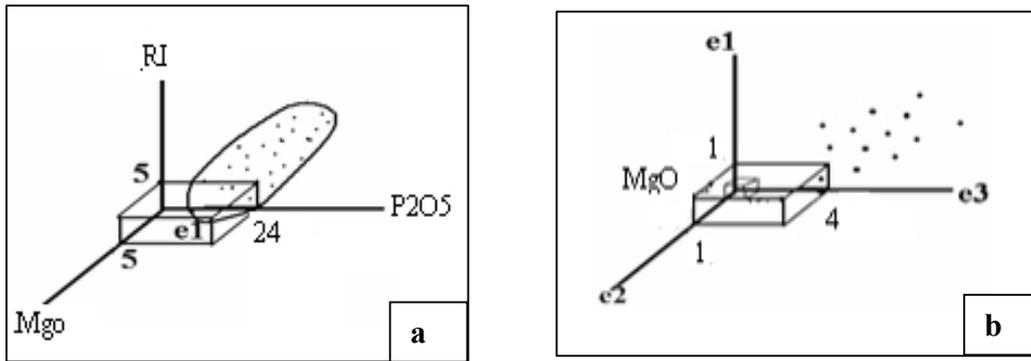


Fig. 1– Représentation géométrique des données.

a)- point-lignes R^p , b) point-variables R^n

Dans R^n , chaque point est défini par n coordonnées. Deux points-lignes apparaissent proches l'un de l'autre, si les deux lignes ont des mesures semblables des variables ou individus et éloignés l'un de l'autre si les mesures sont différentes.

En présence d'un nuage de points dans un espace à n dimensions, on cherchera à saisir et comprendre la dispersion des points c'est-à-dire la signification des différents allongements des nuages de points.

3.1. Analyse en Composantes Principales – ACP

L'analyse en Composantes Principales (ACP) est l'une des plus anciennes méthodes de l'analyse factorielle. Elle est utilisée pour l'analyse des données qui sont représentées sous forme de tableaux de n individus et p variables. Soit $R(n,p)$, ce tableau de données de terme générale r_{ij} .

En ACP, ce qui est important, c'est la forme du nuage des points par rapport aux axes (droites) qui passent par le centre de gravité du nuage. Il s'agit donc de rechercher les droites qui respectent au mieux l'ensemble des carrés des distances entre couples : C'est celles qui passent par le centre de gravité. D'où la nécessité de procéder à un changement de repère en centrant les variables de la matrice de données initiales. Si de plus les unités des variables

sont différentes alors il est préférables de les réduire pour supprimer l'effet unité c'est-à-dire échelle:

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{\sqrt{n} \cdot \sigma_j}$$

Ainsi après cette transformation (changement), la matrice d'inertie ne serait autre que la matrice de corrélation linéaire simple: $C = X^T X$

On appelle inertie du point N(I) par rapport au point P (Fig. 2), où l'expression suivant:

$$InP (I) = \sum_{i=1}^n m_i \|X_i - P\|^2$$

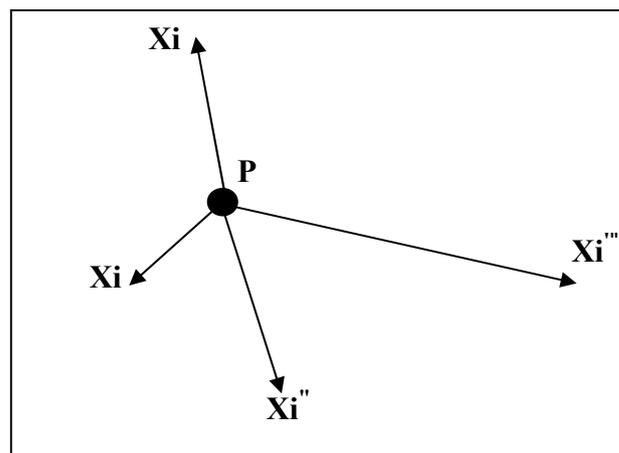


Fig. 2– Représentation géométrique d'inertie des points X_i ($i=1$ à n) par rapport au point P.

Après le calcul de C, il est nécessaire de calculer l'inertie du nuage de point dans les principaux axes d'allongement désignés par F_i ($i=1$ à N) (Fig. 109) en diagonalisant – c'est à dire en recherchant les premières valeurs propres (variances) et les vecteurs propres correspondants (Fig. 3).

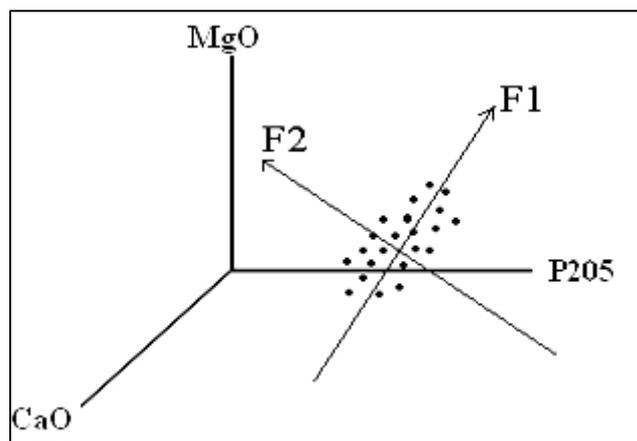


Fig. 3 – Représentation d'un nuage de points et les principaux axes d'allongement (Axes factoriels).

La diagonalisation de la matrice C (matrice d'inertie) permet d'obtenir les p vecteurs propres U_α et les p valeurs propres λ_α . Le vecteur U_α est connu par ces coordonnées dans l'espace R^p . Les coordonnées des points X^i sur les axes factorielles qui sont obtenus par:

$$F_\alpha(i) = X^i U_\alpha$$

$$F_\alpha(i) = \sum_{j=1}^k U_{\alpha j} X_{ij}$$

$F_\alpha(i)$ est le facteur de rang α associé à l'individu i : $F_\alpha(i)$ est la coordonnée de l'individu (échantillon) i sur l'axe factoriel U_α . Ce dernier a autant de composantes que de variables j . Dans la pratique l'inertie expliquée par l'axe factoriel:

$$T_\alpha = \frac{\lambda_\alpha}{In(I)} = \frac{\lambda_\alpha}{\sum_{\alpha=1}^p \lambda_\alpha}$$

Où $In(I)$ est l'inertie totale du nuage de points.

Généralement les résultats d'une ACP sont représentés sous forme graphique (Fig. 4).

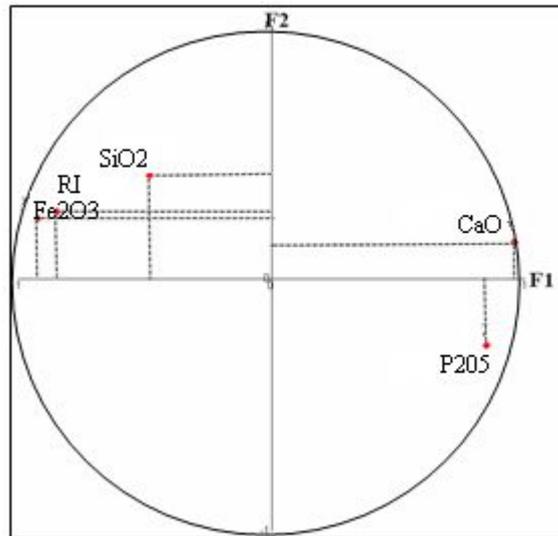


Fig. 4 – Représentation des facteurs de charge d’une ACP normée.

Les facteurs des individus (facteurs scores) sont les coordonnées des individus sur les axes factoriels représentation dans R^p – Leur calcul est effectué à l’aide de la formule suivante :

$$[F_{sc}] = [X] \times [F] : F_{sc1} = a_{F1}P_2O_5 + b_{F1}MgO + c_{F1}CaO \dots\dots\dots$$

3. 2. Analyse factoriel discriminante

L’AFD est une méthode d’analyse de données ayant pour objectif de discriminer (séparer) m groupes d’individus préalablement définis, décrits par p variables quantitatives. On cherchera, ainsi, des combinaisons linéaires des p variables initiales (des axes discriminants) qui permettent de séparer au mieux les groupes. Ceci permet, entre autres, de décrire les différences entre les groupes.

Dans le cas où l’on ne dispose que d’une variable quantitative ($p = 1$) le problème de comparaison des m populations peut être résolu à l’aide de l’analyse de la variance (ANOVA). D’un point de vue technique, l’AFD est l’ACP normée du nuage des centres de

gravités des m groupes d'individus munis de leurs poids. L'analyse discriminante est une méthode d'analyse multidimensionnelle qui se propose de comparer, au sein d'une population statistique rangée dans des groupes définis a priori, la variance intergroupe à la variance intragroupe. L'originalité de la méthode par rapport aux autres analyses multidimensionnelles réside donc dans l'utilisation en plus des variables quantitative, d'une variable qualitative qui peut représenter le temps ou l'espace. Cette possibilité en fait un outil décisionnel capable de prévoir des modalités du caractère qualitatif à partir des variables quantitatives.

Les groupes ainsi déterminés sont appelés groupes d'appartenance. Grâce à la variance apportée par chaque des individus, l'algorithme réaffecte cet individu à l'un des groupes de départ, les individus sont alors reclassés dans ce que l'on appelle les groupes d'affectation. Si l'individu est réaffecté à son groupe d'appartenance, il est dit « bien classé », s'il est réaffecté à un autre groupe, il est dit « mal classé ». Cette méthode permet donc de vérifier l'adéquation des groupes déterminés a priori aux phénomènes hydro-cinématique.

Un autre intérêt de la méthode est de resituer des individus supplémentaires (dont la variance ne participe pas à la définition des groupes) par rapport aux groupes d'affectation, ce que permettent également d'autres méthodes d'analyse multidimensionnelles.

Annexe. 3

Paramètres granulométriques des minerais de phosphates

Annexe. 3 : Paramètres granulométriques

Tableau. 1 : Paramètres granulométriques des échantillons de minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord)

Echantillon	Localisation	Moyenne (μm)	Moyenne (\emptyset)	Classement	Asymétrie	Acuité	MODE 1 (\emptyset)	MODE 2 (\emptyset)	D ₁₀ (\emptyset)	D ₅₀ (\emptyset)	D ₉₀ (\emptyset)
KFC1	Base	247.50	2.01	1.56	-0.12	0.76	2.50	-0.16	-0.36	2.22	3.99
KFC2		336.75	1.57	1.57	0.11	0.63	2.50		-0.77	1.57	3.82
KFC3		241.50	2.05	1.53	-0.13	0.79	2.50		-0.33	2.24	3.98
KFC4		283.92	1.82	1.52	-0.13	0.77	2.50	-0.16	-0.44	2.08	3.82
KFC5		225.15	2.15	1.51	-0.18	0.83	2.50		-0.13	2.37	4.00
Min		225.15	1.57	1.51	-0.18	0.63	2.50		-0.77	1.57	3.82
Max		336.75	2.15	1.57	0.11	0.83	2.50		-0.13	2.37	4.00
Moyenne		266.96	1.92	1.54	-0.09	0.76	2.50		-0.41	2.10	3.92
KFC6b	Centre	172.25	2.54	1.51	-0.37	1.03	3.74	0.50	-0.05	2.93	4.17
KFC6c		210.25	2.25	1.67	-0.36	0.62	3.74	-0.16	-0.46	2.78	4.16
KFC6d		221.38	2.18	1.68	-0.33	0.60	3.74	0.50	-0.60	2.69	4.14
KFC7		189.27	2.40	1.65	-0.47	0.77	3.74	-0.16	-0.60	3.06	4.19
KFC8		163.17	2.62	1.62	-0.57	1.09	3.74	-0.16	-0.47	3.36	4.25
Min		163.17	2.18	1.51	-0.57	0.60	3.74		-0.60	2.69	4.14
Max		221.38	2.62	1.68	-0.33	1.09	3.74		-0.05	3.36	4.25
Moyenne		191.26	2.40	1.62	-0.42	0.82	3.74		-0.43	2.96	4.18
KFC9	Sommet	196.60	2.35	1.40	-0.21	1.19	2.50	-0.16	0.05	2.53	3.99
KFC10		257.23	1.96	1.08	-0.39	1.14	2.50		0.29	2.27	2.96
KFC12		240.68	2.05	1.05	-0.25	1.21	2.50		0.46	2.25	3.14
KFC14		252.35	1.99	1.45	-0.16	0.96	2.50	-0.16	-0.30	2.22	3.84
KFC15		376.60	1.41	1.44	0.02	0.68	2.50	-0.16	-0.62	1.57	3.52
KFC15b		333.05	1.59	1.30	-0.19	0.78	2.50		-0.39	1.90	3.03
KFC17b		307.61	1.70	1.19	-0.15	0.94	2.50		0.15	1.86	2.97
Min		196.60	1.41	1.05	-0.39	0.68	2.50		-0.62	1.57	2.96
Max		376.60	2.35	1.45	0.02	1.21	2.50		0.46	2.53	3.99
Moyenne		280.59	1.86	1.27	-0.19	0.99	2.50		-0.05	2.09	3.35

Tableau. 2 : Paramètres granulométriques des échantillons des minerais de phosphates de Dj. Dyr (Tébessa Nord)

Echantillon	Localisation	Moyenne (μm)	Moyenne (\emptyset)	Classement	Asymétrie	Acuité	MODE 1 (\emptyset):	MODE 2 (\emptyset):	MODE 3 (\emptyset):	D ₁₀ (\emptyset):	D ₅₀ (\emptyset):	D ₉₀ (\emptyset):
PH9	Base des niveaux phosphatée	697.80	0.52	1.58	0.01	0.56	2.16	0.83	3.48	-1.71	0.82	3.39
PH8B		1022.94	-0.03	1.48	0.64	0.68	-0.50	-1.49	3.48	-2.09	-0.41	2.63
Min		697.80	-0.03	1.48	0.01	0.56				-2.09	-0.41	2.63
Max		1022.94	0.52	1.58	0.64	0.68				-1.71	0.82	3.39
Moyenne		860.37	0.24	1.53	0.32	0.62				-1.90	0.20	3.01
PH5	Centre des niv. Phos.	1021.13	-0.03	1.46	0.69	0.66	-1.49	-0.84	3.48	-2.15	-0.47	2.63
PH1	Sommet des niveaux phosphatés	1115.75	-0.16	1.29	1.14	0.72	-1.49	3.48	0.49	-2.69	-1.02	3.37
PH3		517.42	0.95	1.89	0.13	0.39	3.48	2.16	0.83	-1.83	0.92	3.53
Min		517.42	-0.16	1.29	0.13	0.39				-2.69	-1.02	3.37
Max		1115.75	0.95	1.89	1.14	0.72				-1.83	0.92	3.53
Moyenne		816.58	0.40	1.59	0.64	0.55				-2.26	-0.05	3.45

Tableau. 3 : Paramètres granulométriques des échantillons des minerais de phosphates de Kef essenoun (Tébessa Sud)

Echantillon	Localisation	Moyenne (μm)	Moyenne (\emptyset)	Classement	Asymétrie	Acuité	MODE 1 (\emptyset):	MODE 2 (\emptyset):	D ₁₀ (\emptyset):	D ₅₀ (\emptyset):	D ₉₀ (\emptyset):
KFS1	Base de la couche principale	265.5	1.913	0.890	-0.043	0.973	2.500		0.686	1.930	2.916
KFS3		173.2	2.529	0.435	0.179	1.151	2.500		2.075	2.529	2.984
KFS4		207.8	2.267	0.830	-0.031	1.165	187.5		1.234	2.357	3.519
Min		173.24	1.91	0.43	-0.04	0.97	2.50		0.69	1.93	2.92
Max		265.51	2.53	0.89	0.18	1.16	187.50		2.07	2.53	3.52
Moyenne		215.52	2.24	0.72	0.04	1.10	64.17		1.33	2.27	3.14
KFS5	Sommet de la couche principale	307.27	1.70	1.01	0.21	1.33	1.50		0.50	1.59	3.08
KFS6		378.89	1.40	0.79	-0.04	1.34	1.50		0.34	1.45	2.52
Min		307.27	1.40	0.79	-0.04	1.33	1.50		0.34	1.45	2.52
Max		378.89	1.70	1.01	0.21	1.34	1.50		0.50	1.59	3.08
Moyenne		343.08	1.55	0.90	0.08	1.33	1.50		0.42	1.52	2.80
KFS7A	Couche sommitale	458.67	1.12	0.99	-0.06	1.14	1.50		-0.33	1.30	2.55

Annexe. 4

**Statistiques élémentaires des
éléments majeurs des minerais
de phosphates de Tébessa (par
localité)**

Annexe : Statistiques des éléments majeurs des minerais de phosphates de Tébessa (par localité)

Tableau. 2 : Statistique élémentaires des éléments majeurs des minerais de phosphates d'El Kouif (Tébessa Nord).

Statistique (unité %)	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO/ P ₂ O ₅
Nb. d'observations	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	0.489	0.207	5.279	0.040	26.661	0.016	0.002	0.114	1.398
Maximum	13.081	1.974	34.998	0.354	49.093	0.142	0.017	0.936	5.050
Moyenne	2.577	0.784	27.102	0.167	41.287	0.058	0.005	0.387	1.819
Variance (n)	13.778	0.352	65.260	0.012	39.473	0.002	0.000	0.068	1.165
Ecart-type (n)	3.712	0.593	8.078	0.111	6.283	0.040	0.004	0.260	1.079
Coefficient de variation	1.440	0.756	0.298	0.663	0.152	0.701	0.827	0.672	0.593

Tableau. 2 : Statistique élémentaires des éléments majeurs des minerais de phosphates de Dj Dyr et Tazbant (Tébessa Nord).

Statistique (unité %)	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO/ P ₂ O ₅
Nb. d'observations	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Minimum	0.279	0.185	6.519	0.047	21.905	0.010	0.001	0.081	1.460
Maximum	2.647	2.384	30.333	0.528	48.857	0.137	0.011	1.088	5.824
Moyenne	0.926	0.873	18.389	0.187	36.691	0.051	0.004	0.405	2.239
Variance (n)	0.401	0.481	35.303	0.019	66.677	0.002	0.000	0.091	1.180
Ecart-type (n)	0.633	0.693	5.942	0.138	8.166	0.044	0.003	0.302	1.086
Coefficient de variation	0.684	0.794	0.323	0.738	0.223	0.861	0.774	0.745	0.485

Tableau. 3 : Statistiques élémentaires des éléments majeurs des minerais de phosphates de Kef essenoun (Tébessa Sud).

Statistique (unité %)	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO/ P ₂ O ₅
Nb. d'observations	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Minimum	0.508	0.072	27.932	0.029	42.842	0.007	0.000	0.043	1.455
Maximum	3.214	0.901	34.249	0.257	49.849	0.036	0.003	0.511	1.567
Moyenne	1.734	0.613	30.156	0.189	45.355	0.027	0.002	0.404	1.507
Variance (n)	1.008	0.067	4.942	0.006	5.137	0.000	0.000	0.027	0.002
Ecart-type (n)	1.004	0.258	2.223	0.076	2.266	0.009	0.001	0.164	0.043
Coefficient de variation	0.579	0.420	0.074	0.403	0.050	0.347	0.397	0.406	0.028