

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de l'Univers

كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Ressources Minérales, Géo matériaux et Environnement

Thème

Contexte géologique, pétrographie et analyse granulométrique des minerais phosphatés de Bled el Hadba (Tébessa, Algérie nord orientale).

Membres de Jury

Président: M^r. MEBROUK Fateh
Examinatrice M^{lle} BOULAOUIDAT Lamia
Encadrant : M^r. BOUZENOUNE Azzedine

Présenté par :

TIBA Cherifa
ZERARA Fatima

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

Dédicace

Je dédie cet humble travail à l'être humain qui est la base de ma vie, la femme la plus forte que j'ai connue, à qui j'ai eu une mère, un père, et tout dans ma vie, ma chère mère.

A mes frères Issa et Karim.

Et pour la personne qui m'a enduré pendant cette période difficile, et j'avais une sœur et une amie Cherifa.

A mes amis proches Aya, Sarah, Abla, Khadija, Meryem et Wafa.

A mes collègues du travail :Alla, Hassni et fares.

N'oubliez pas les ingénieures d'informatique hamza, Farid et Amine, merci pour votre travail.

Zerara Fatima

Dédicace

***Je dédie ce travail à mon père, qui m'a soutenu dans ma vie d'étude, et je
n'oublie pas ma mère, le joyau de ma vie***

Je remercie mes frères

Mokhtar et Zakaria Et mes

sœurs, Nour al-Houda et

Kalthoum,

Avec un grand merci à tous collègues Chams, Khouloud ; Nafissa ;

Rayan ; Rofaida, wafa . Sans oublier les deux ingénieurs

d'informatiques FARID, HAMZA pour leurs efforts.

Bien sûr, les mots de remerciement ne suffisent pas pour remercier à la fois

l'ingénieur Muhammad Ali et l'ingénieur Rahal Abid pour leur aide.

Je remercie mes cousins Khaled, Hassan, Lakhdar et Ahmed de m'avoir aidé

***Et tous mes collègues de la
promotion RMGE***

Tiba Cherifa

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercier **Allah** le tout puissant d'avoir nous aidé et donné force et patience pour réaliser cette recherche.*

*Avant d'entamer ce mémoire, nous voudrions exprimer nos remerciements à notre encadreur **M. A. BOUZENOUNE** d'avoir accepté d'encadrer ce mémoire de fin d'étude.*

*Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury : **M.***

***F. MEBROUK** et **M^{elle} L. BOULAOUIDAT** d'avoir examiné ce travail.*

*Nous exprimons par l'occasion notre gratitude aux dirigeants de la société des mines **SOMIPHOS - djebel ONK**, qui nous ont aidés à mener à terme notre stage, sans oublier les responsables du laboratoire de géologie de l'université d'Annaba.*

*Vers la fin, nous dirons merci infiniment à **M^{elle} O. BENMEBAREK** doctorante au laboratoire de génie géologique, pour son aide dans la réalisation de ce mémoire.*

Nos vifs remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du département des sciences de la terre et de l'univers de l'université de Jijel ainsi qu'aux responsables administratifs de ce département et au personnel des laboratoires pédagogique et de recherche.

Liste des figures

Chapitre I- Généralités sur les phosphates et cadre géographique

Fig.I.1- Distribution temporelle des phosphorites ignées et sédimentaires (Pufahl et al, 2016).

Fig.I.2- Distribution géographique des principaux gisements de phosphate d'origine ignée et sédimentaire avec leurs âges respectifs (d'après Pufahl et al, 2016).

Fig.I.3- Evolution des réserves mondiales de minerais phosphatés pendant les dix dernières années (données d'après USGS, 2011-2021).

Fig.I.4- Principaux pays détenant les réserves mondiales de phosphates en Milliards de tonnes (données d'après USGS, 2021).

Fig.I.5- Evolution de la production mondiale de minerais phosphatés pendant les dix dernières années (données d'après USGS, 2011-2021).

Fig.I.6- Principaux pays producteurs de phosphates (données d'après USGS, 2021).

Fig.I.7- Evolution des prix des phosphates pendant la période 2011-2020. Fig.I.8- Evolution des prix des phosphates pendant les deux dernières années Fig.I.9- Situation géographique du massif du Bled el Hadba.

Chapitre II - Cadre géologique régional

Fig.II.1- Place du gisement de Bled el Hadba dans le cadre de la géologie de l'Algérie du Nord.

Fig.II.2- Carte géologique montrant les différentes formations géologiques affleurantes dans la région de Tébessa.

Fig.II.3- Colonne litho-stratigraphique montrant les différentes formations géologiques affleurantes dans la région de Tébessa (Bouzenoune, 2020).

Chapitre III - Cadre géologique local

Fig.III.1- Carte géologique schématique montrant les différentes formations affleurantes dans la région de Bir el Atter (ORGM, 2000)

Fig.III.2- Colonne litho-stratigraphique des formations géologiques de la région de Bir el Atter (Kechiched, 2011).

Fig.III.3- Rosace des principales directions des accidents tectoniques affectant les formations géologiques des massifs de la région de Bir el Atter

Fig.III.4- Carte géologique de Bled el Hadba (ORGM, 2015)

Fig.III.5- Colonne litho-stratigraphique des formations géologiques (Paléocène-Yprésien) du gisement de Bled Hadba

Fig.III.6- Coupes géologiques sériées à travers la structure de Bled el Hadba (BRGM, 1993)

Chapitre IV- Caractérisation des minerais phosphatés

Fig.IV.1- Equipements utilisés dans l'opération de tamisage des échantillons phosphatés

Fig.IV.2- Morphologie et dimensions des couches de phosphates en coupe et en sondage.

Fig.IV.3- Coupe montrant la morphologie des couches de phosphate du gisement de Bled El Hadba (d'après Kechiched, 2011).

Fig.IV.4- Cartes isohypses du toit (a) et du mur (b) et isopaques (c) montrant la morphologie

Du faisceau phosphaté du gisement de Bled El Hadba (d'après Kechiched, 2011)

Fig.IV.5- Image « Googl Earth » montrant la localisation des échantillons ayant subi l'analyse granulométrique.

Fig.IV.6- Histogrammes des fréquences des différents échantillons phosphatés.

Fig.IV.7- Courbes cumulatives des échantillons phosphatés

Fig.IV.8- Nomenclature des sédiments détritiques selon une classification granulométrique en échelle millimétrique et ses correspondances en échelle des « phi » de Wentworth (1922

Fig. IV.9- Les différentes composantes d'Echant BH1

Fig.IV.10- Différents composants de l'échantillon BH6.

Fig.IV.11- Variations de quelques caractères géochimiques avec la profondeur.

Fig.IV.12- Carte iso-teneur en MgO (couche médiane) (d'après ORGM, 2015).

Liste des tableaux

Tab.IV.1- Intervalles des valeurs de l'Inclusive Graphic Standard Deviation » (si) et leur interprétation selon la terminologie définie par Folk et Ward (1957).

Tab.IV.2- Terminologie de l'Inclusive Graphic Skewness » (Ski) définie par Folk et Ward (1957)

Tab.IV.3- Terminologie du « Kurtosis » (K_G) définie par Folk et Ward (1957).

Tab.IV.4- Dimensions des affleurements de minerai phosphaté du gisement de Bled el Hadba.

Résumé

La mine de Bled El-Hadba est située à 14 km au Sud-Est de Bir el-Atter, wilaya de Tébessa, dans le bassin de djebel el-Onk. Le faisceau phosphaté est composé de la superposition de cinq sous-couches de minerai d'origine sédimentaire dont l'âge va du Thanétien à l'Yprésien. Ces différentes couches de phosphate montrent des épaisseurs allant jusqu'à 30 m et des pendages relativement faibles ne dépassant pas 10° vers l'Ouest.

L'étude pétrographique a montré que les minerais phosphatés de Bled el Hadba sont similaires à ceux du djebel Onk, ils sont composés de grains d'origine biogénique comme les coprolithes, pellets, bioclastes, dents de poissons et de grains d'origine minérale comme le quartz, calcite et glauconite sertis par une phase de liaison carbonatée souvent dolomitique et/ou argileuse. L'analyse granulométrique a montré que les minerais phosphatés sont caractérisés par une distribution granulométrique serrée dominée par les grains de dimensions comprises entre 125 et 315 microns.

Les données géochimiques ont montré que les minerais phosphatés de Bled el Hadba sont caractérisés au niveau du sondage SPH.38 par des teneurs en P₂O₅ comprises entre 6.9 et 26.3 wt % et des teneurs en MgO comprises entre 1.77 et 13.37 wt %. Les teneurs en MgO les plus élevées sont situées dans les environs proches de l'affleurement méridional.

Abstract

The Bled El-Hadba mine is located 14 km south-east of Bir el-Atter, wilaya of Tébessa, in the Djebel el-Onk basin. The phosphate bundle is composed of the superposition of five sub-layers of ore of sedimentary origin ranging in age from the Thanetian to the Ypresian. These different phosphate layers show thicknesses of up to 30 m and relatively shallow dips, not exceeding 10 ° to the west.

The petrographic study has shown that the phosphate ores of Bled el Hadba are similar to those of Jebel Onk, they are composed of grains of biogenic origin such as coprolites, pellets, bioclasts, fish teeth and grains of mineral origin such as quartz, calcite and glauconite crimped by a carbonate bonding phase often dolomitic and / or clayey. Particle size analysis has shown that phosphate ores are characterized by a tight particle size distribution dominated by grains of sizes between 125 and 315 microns.

The geochemical data showed that the phosphate ores of Bled el Hadba are characterized at the level of the drilling SPH.38 with P₂O₅ contents between 6.9 and 26.3 wt% and MgO contents between 1.77 and 13.37 wt%. The highest MgO contents are located in the vicinity near the southern outcrop.

الملخص

يقع منجم بلاد الحدبة على بعد 14 كم جنوب شرق بئر العائر بولاية تبسة في حوض جبل عنق. تتكون حزمة الفوسفات من تراكب خمس طبقات فرعية من خام من أصل رسوبي تتراوح في العمر من Thanetian إلى Yprésien. تظهر طبقات الفوسفات المختلفة سُمكًا يصل إلى 30 مترًا وانحدارًا ضحلًا نسبيًا لا يتجاوز 10 درجات إلى الغرب. أظهرت الدراسة الصخرية أن خامات الفوسفات في بلاد الحدبة تشبه خامات جبل عنق ، وتتكون من حبيبات ذات أصل حيوي مثل الكوبروليت ، و pellets ، والخلايا الحيوية ، وأسنان الأسماك ، والحبوب المعدنية مثل الكوارتز والكالسيت و pellets . يتم تجعيد الجلوكونيت بواسطة مرحلة الترابط الكربوني في كثير من الأحيان الدولوميت و / أو الطين. أظهر تحليل حجم الجسيمات أن خامات الفوسفات تتميز بتوزيع دقيق لحجم الجسيمات تهيمن عليه حبيبات بأحجام تتراوح بين 125 و 315 ميكرون. أظهرت البيانات الجيوكيميائية أن خامات الفوسفات في بليد الحدباء تتميز عند مستوى المسح SPH.38 بمحتويات P2O5 بين 6.9 و 26.3 وزن. محتويات MgO بين 1.77 و 13.37٪ بالوزن. أعلى محتويات MgO تقع في المنطقة المجاورة بالقرب من النتوء الجنوبي.

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé / Abstract / ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
I- Généralités sur les phosphates et cadre géographique	
I.1- Introduction	02
I.2- Généralités sur les phosphates	02
I.2.1- Nomenclature, composants granulaires et minéralogie de la matière première phosphatée	02
I.2.2- Types de gisements de phosphates	03
I.2.3- Usage des phosphates	05
I.2.4- Réserves et importance économique des phosphates	06
I.2.4.1- Réserves	06
I.2.4.2- Production	08
I.2.4.3- Evolution des prix	10
I.3- Situation géographique	11
II- Cadre géologique régional	
II.1- Introduction	13
II.2- Description litho-stratigraphique des formations géologiques de la région de Tébessa	14
II.2.1- Les formations triasiques	14
II.2.2- Les formations jurassiques	14
II.2.3- Les formations du Crétacé	14
II.2.4- Les formations du Paléogène	17
II.2.5- Les formations du Néogène	17
II.2.6- Les formations du Pliocène	17
II.2.7- Les formations du Quaternaire	17
II.2.8- Conclusion	17
II.3- Cadre tectonique régional	18
II.3.1- Les plis	17
II.3.2- les diapirs	17
II.3.3- Les fossés d'effondrement	18
II.3.4- Les différents accidents tectoniques	19
II.4- Conclusion	19
III- Cadre géologique local	
III.1- Description litho-stratigraphique des formations géologiques de la région de Bir el Atter	21
III.1.1- Les formations du Crétacé	21
III.1.2- Les formations du Paléocène	21
III.1.2.1- Les formations du Danien	24
III.1.2.2- Les formations du Montien	24
III.1.2.3- Les formations du Thanétien	24
III.1.3- Les formations de l'Eocène	24
III.1.3.1- Les formations de l'Yprésien	24

III.1.3.2- Les formations du Lutétien	25
III.1.4- Les formations du Mio-Pliocène	25
III.1.5- Les formations du Quaternaire	25
III.1.6- Conclusion	25
III.2- Cadre tectonique de la région de Bir el Atter	25
III.2.1- Les plis atlasiques	26
III.2.2- Les grabens	26
III.2.3- Les accidents tectoniques	26
III.2.4- Conclusion	27
III.3- Cadre géologique du gisement de Bled el Hadba	27
III.3.1- Introduction	27
III.3.2- Cadre lithostratigraphique	27
III.3.2.1- Les formations paléocènes	28
III.3.2.1.1- Les formations du Montien	28
III.3.2.1.2- Les formations du Thanétien	28
III.3.2.2- Les formations éocènes	30
III.3.2.3- Les formations du Miocène	32
III.3.2.4- Les formations du Quaternaire	32
III.3.2.5- Conclusion	32
III.3.3- Structure du gisement de Bled el Hadba	33
III.3.4- Conclusion	34
IV- Caractérisation des minerais phosphatés	
IV.1- Méthodologie	36
IV.1.1- Travaux de terrain	36
IV.1.2- Travaux de laboratoire	36
IV.2- Morphologie et répartition spatio-temporelle des corps de minerai phosphaté	39
IV.2.1- Morphologie et répartition spatiale des corps de minerai phosphaté	39
IV.2.2- Morphologie et répartition temporelle des corps de minerai phosphaté	40
IV.3- Pétrographie des minerais phosphatés	44
IV.3.1- Aspects macroscopiques des minerais phosphatés	44
IV.3.1.1- Les composants granulaires d'origine biogène	44
IV.3.1.2- Les composants granulaires d'origine minérale	47
IV.3.1.3- La phase de liaison	47
IV.3.2- Aspects microscopiques des minerais phosphatés	47
IV.4- Granulométrie des minerais phosphatés	49
IV.4.1- Analyse des histogrammes de fréquences	49
IV.4.2- Analyse des courbes cumulatives et des paramètres granulométriques	51
IV.5- Géochimie des minerais phosphatés	54
IV.5.1- Introduction	54
IV.5.3- Variations spatiales des caractéristiques géochimiques	57
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	60

Chapitre I

Généralités sur les
phosphates et cadre
géographique

I- Généralités sur les phosphates et cadre géographique

I.1- Introduction

Selon les récentes données de l'United State Geological Survey (USGS, 2021), les réserves mondiales de phosphates sont estimées à 71 Milliards de tonnes (Gt). L'Algérie dispose de 2,2 Gt soit 3,3 % des réserves mondiales. Avec ces réserves, l'Algérie a occupé en 2020 la quatrième place mondiale alors qu'elle occupait la troisième place en 2019. D'un autre côté, selon toujours la même source, pendant l'année 2020, il a été produit 223 Millions de tonnes (Mt) de minerai phosphaté dont 1,3 Mt (soit environ 0,5 % de la production mondiale) ont été produits en Algérie. De ces données, il apparaît clairement que d'une part des efforts d'exploration visant à identifier davantage de ressources de minerai phosphaté doivent être investis et d'autre part l'outil de production doit impérativement être développé.

C'est pour répondre à cette situation que les pouvoirs publics ont lancé un mégaprojet intégré pour l'exploitation, la transformation et la commercialisation des minerais phosphatés des gisements de la région de Bir el Atter dans la wilaya de Tébessa. Le nouveau schéma de développement de ce mégaprojet prévoit un investissement de 6 Milliards de Dollars US.

C'est dans cette optique que s'inscrit la problématique du présent mémoire qui vise à contribuer à la compréhension du contexte géologique et des caractéristiques granulométriques et pétrographiques des minerais phosphatés du gisement de Bled el Hadba.

I.2- Généralités sur les phosphates

Les minerais phosphatés constituent actuellement une ressource minérale épuisable, non renouvelable et non recyclable. Elle est pourtant indispensable et incontournable dans la production notamment des fertilisants, dont les engrais phosphatés, qui constituent de nos jours le seul moyen permettant d'augmenter le rendement des cultures, d'améliorer la qualité des produits obtenus et de tirer un maximum de profit de l'exploitation des sols. La croissance démographique mondiale et la nécessité de tirer le meilleur parti des terres arables la rendent stratégique et une demande mondiale de phosphate et d'engrais en forte hausse est prévisible dans les vingt à trente prochaines années. Etant donné le caractère stratégique de cette substance minérale et ses implications géopolitiques, notamment dans le domaine agricole et de la sécurité alimentaire, il y a lieu de signaler l'urgence de mieux maîtriser la gestion de cette substance.

I.2.1- Nomenclature, composants granulaires et minéralogie de la matière première phosphatée

En Algérie, la matière première phosphatée, destinée à l'exportation ou l'utilisation locale par les sociétés de production d'engrais et de fertilisants agricoles, provient

essentiellement des gisements de la région de Tébessa. Ces gisements, tous d'origine sédimentaire marine, renferment des couches d'épaisseur métrique à pluri-métrique constituées de roches significativement enrichies en P_2O_5 comparativement à l'ensemble des autres types de roches sédimentaires. Ces roches phosphatées contiennent des teneurs en phosphore dépassant les 15-20 % de P_2O_5 . Ce sont donc des roches sédimentaires qu'on peut dénommer « phosphorites » en référence à la nomenclature adoptée par Sam Boggs Jr. (2009). Ces phosphorites sont constituées par des particules de diverses origines (biogènes, détritiques, diagénétiques) serties par des phases de liaison souvent carbonatées et/ou argileuses. Le phosphore de ces roches est principalement contenu dans les particules biogènes comme les pellets, les coprolithes, les dents de poissons, les divers débris osseux et les coquilles phosphatées. Les particules détritiques comme le quartz et diagénétiques comme la glauconite ainsi que les phases de liaison représentent des constituants destinés à être éliminés lors du traitement de la matière première phosphatée. Sur le plan minéralogique, ces particules biogènes sont constituées par des minéraux de la famille de l'Apatite de composition globale $Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$. En fonction de l'anion prévalent, il est classiquement distingué trois espèces d'Apatites :

- La fluorapatite $[Ca_5(PO_4)_3(F)]$
- La chlorapatite $[Ca_5(PO_4)_3(Cl)]$
- L'hydroxyapatite $[Ca_5(PO_4)_3(OH)]$.

Pendant les multiples substitutions anioniques et cationiques au sein des sites cristallographiques constituant la structure des apatites induisent une diversité dans la composition chimique de ces apatites. L'une des substitutions ayant été identifiée dans les apatites des gisements de la région de Tébessa est celle qui s'effectue entre les complexes anioniques trivalents $[PO_4]^{3-}$ et les complexes anioniques bivalents $[CO_3]^{2-}$ induisant la formation d'une apatite communément appelée carbonate-fluorapatite (CFA) ou plus simplement « Francolite » (Kechiched, 2011 et 2017, Dassamiour, 2012, Boulemia et al., 2021).

1.2.2- Types des gisements de phosphate

Les minerais phosphatés sont extraits de trois types de gisements : sédimentaires, magmatiques et gisements de type « Guano ». Ils se sont particulièrement développés pendant les périodes phanérozoïques (Fig.I.1). Les gisements d'origine sédimentaire sont les plus riches en P_2O_5 et les plus fréquents représentant plus de 95 % des gisements à partir desquels on extrait actuellement les minerais de phosphate. Ils forment parfois des provinces elles-mêmes constituées par de nombreux gisements répartis sur des étendues de plusieurs milliers de kilomètres. Les gisements de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient font partie de la province phosphatée Sud Téthysienne du Crétacé supérieur-Paléocène (Fig.I.2).

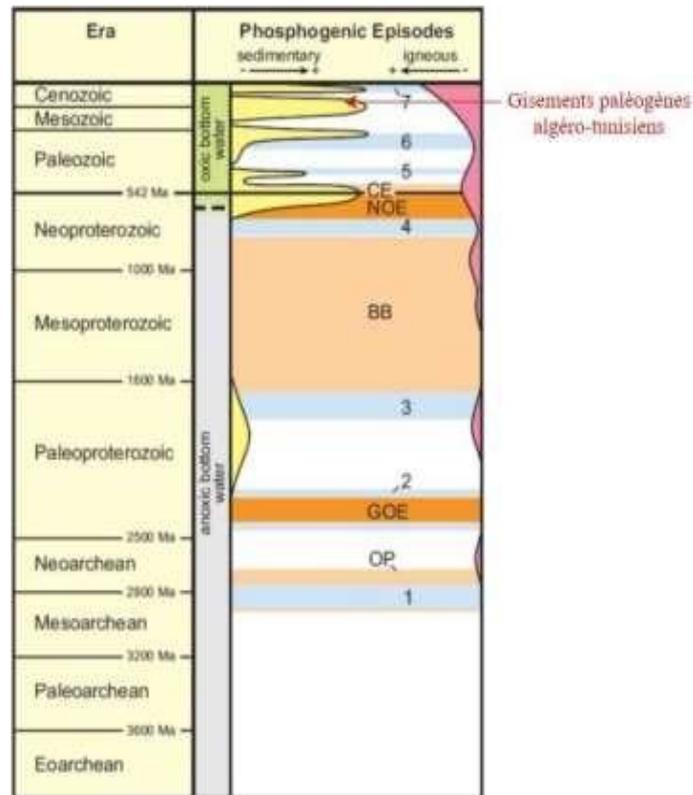


Fig.I.1- Distribution temporelle des phosphorites ignées et sédimentaires (Pufahl et al, 2016).
 Légende: BB = Boring Billion, CE = Cambrian Explosion, GOE = Great Oxidation Event, NOE = Neoproterozoic Oxygenation Event, OP = appearance of oxygenic photosynthesis; Glaciations: 1 = Mesoarchean, 2 = Huronian, 3 = Paleoproterozoic, 4 = Neoproterozoic “Snow Ball,” 5 = Ordovician, 6 = Permian, 7 = Neogene.

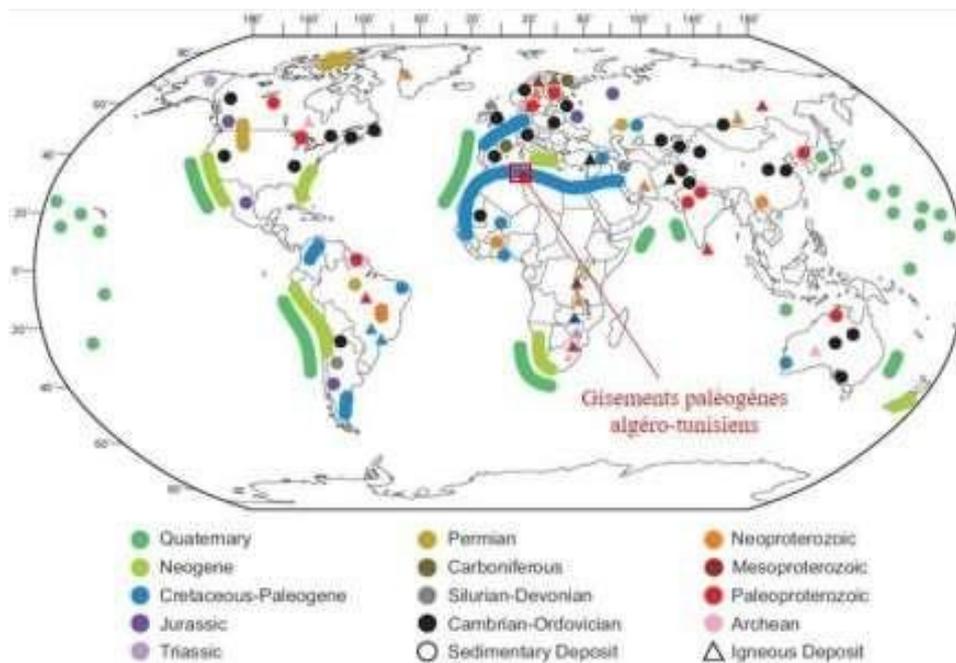


Fig.I.2- Distribution géographique des principaux gisements de phosphate d’origine ignée et sédimentaire avec leurs âges respectifs (d’après Pufahl et al, 2016).

Cette province dont fait partie le gisement de Bled el Hadba, est considérée comme la plus grande accumulation de phosphate sur terre renferment plus de 85 % des réserves de phosphate connues dans le monde (Pufahl et al., 2016).

Les gisements de phosphate d'origine magmatiques sont beaucoup moins abondants et consistent en des accumulations particulièrement liées aux complexes alcalins intrusifs (syénite, syénite néphélinique, carbonatites). Les plus importants se trouvent en Afrique du Sud (complexe paléoprotérozoïque de Phalabora, en Russie (complexe dévonien de la Péninsule de Kola) et au Brésil (complexes alcalins crétacés) (Pufahl et al., 2016). Contrairement aux gisements d'origine sédimentaire dans lesquels le P₂O₅ se trouvent ; sous forme d'apatite, dans différents types de grains d'origine biogénique, dans les gisements d'origine magmatiques le P₂O₅ se trouvent uniquement dans la structure cristalline d'une phase minérale représentée par de l'apatite cristallisée à partir du magma. Les minerais phosphatés d'origine magmatique sont beaucoup moins riches en P₂O₅ que les minerais d'origine sédimentaire. Les teneurs en P₂O₅ varient entre 5 et 15 wt % dans les minerais magmatiques et entre 10 et 35 wt % dans les minerais sédimentaires (Pufahl et al., 2016).

Les gisements de type « guano », de moindre importance économique, sont formés par l'accumulation de fumier d'oiseaux de mer sur une longue période. Ce type de gisement est particulièrement développé dans les îles du Pacifique. D'une manière générale, les gisements du type « guano » présentent un intérêt relatif aussi bien du point de vue de leur qualité que de leur quantité. A titre d'exemple, le gisement de l'île de Nauru dans l'océan Pacifique, contient 90 Mt de minerai dont la teneur en P₂O₅ est de 39 % ; le gisement de l'île Christmas dans l'océan Indien, contient 200 Mt de minerai dont la teneur en P₂O₅ est de 21,8-36,6 % (Pufahl et al., 2016).

I.2.3- Usage des phosphates

Les domaines d'utilisation des minerais phosphatés et de leurs dérivés sont très variés et peuvent être regroupés en quatre types d'application :

- *les applications dans le domaine agricole sous forme de fertilisants (engrais),
- *les applications dans divers domaines techniques (industries des détergents notamment),
- *les applications dans le domaine alimentaire (poudres levantes, fromages),
- *les applications dans le domaine pharmaceutique et biomédical.

La fabrication des fertilisants, qui passe d'abord par la production d'acide phosphorique, constitue de loin le domaine majeur qui consomme les concentrés phosphatés générés à partir des minerais phosphatés extraits des mines de phosphates. Ce domaine consomme jusqu'à 90 % des concentrés phosphatés produits dans le monde.

I.2.4- Réserves et importance économique des phosphates

I.2.4.1- Réserves

Selon les dernières données du Service géologique des États-Unis (United State Geological Survey, USGS 2021) les réserves mondiales de minerais phosphatés ont été estimées à environ 69 milliards de tonnes (Gt) en 2019 et 71 Gt en 2020, traduisant une augmentation de 2 Gt (Fig.I.3). Ces réserves sont principalement détenues par quelques pays dont le Maroc et le Sahara occidental qui détiennent 74 % (soit 50 Gt) des réserves mondiales (Fig.I.4). Le reste des réserves est réparti sur une quinzaine de pays dont les principaux se trouvent en Afrique du Nord et au Moyen Orient constituant la province sud téthysienne du Crétacé-Eocène (Fig.I.2). Les réserves en minerais phosphatés des gisements algériens, telles qu'elles ont été rapportées par l'USGS (2021), sont estimées à 2,2 Gt représentant ainsi 3 % des réserves mondiales (Fig.I.4). Ces gisements sont tous situés dans la région de Tébessa dont le contexte géologique nécessite davantage d'exploration, notamment les secteurs où affleurent les massifs à formations paléocènes-éocènes dominantes. Les résultats escomptés de cette exploration permettront de découvrir d'autres gisements d'intérêt économiques certains. Les efforts développés ces dernières années sur le secteur de Bled el Hadba en sont un exemple à reconduire aussi bien dans les secteurs septentrionaux, méridionaux et occidentaux. Selon toujours les données de l'USGS (2021), les deux autres pays détenant des réserves en minerais phosphatés assez importantes sont la Chine et l'Égypte (Fig.I.4). La Chine détient 3,2 Gt représentant environ 5 % des réserves mondiales et l'Égypte détient 2,8 Gt représentant 4 % des réserves mondiales.

Il est évident que ces données interpellent les pouvoirs publics à une meilleure gestion de cette ressource stratégique pour le développement économique du pays notamment dans son volet agricole. La répartition mondiale actuelle de ces réserves qui traduit une inégalité pouvant conduire à une situation monopolistique appelle à une réflexion plus adaptée permettant d'une part de garantir l'approvisionnement et les besoins internes en cette ressource et d'autre part de développer davantage l'outil de production permettant un meilleur essor de l'industrie des fertilisants et de leurs dérivés. C'est d'ailleurs dans ce cadre que les pouvoirs publics par l'intermédiaire des groupes publics ASMIDAL (groupe industriel Engrais et Produits Phytosanitaire) et MANAL (groupe Manajim Aldjazair), ont récemment (juin 2021) relancé le mégaprojet intégré sur les phosphates en procédant à la prorogation du délai de l'appel à manifestation d'intérêt national et international ouvert aux technologues pour le développement et l'exploitation du gisement de phosphate de Bled el Hadba. Ces deux groupes ont également signé un Mémoire d'entente pour la création d'une société de transformation chimique des phosphates (ASMIDAL, 2021).

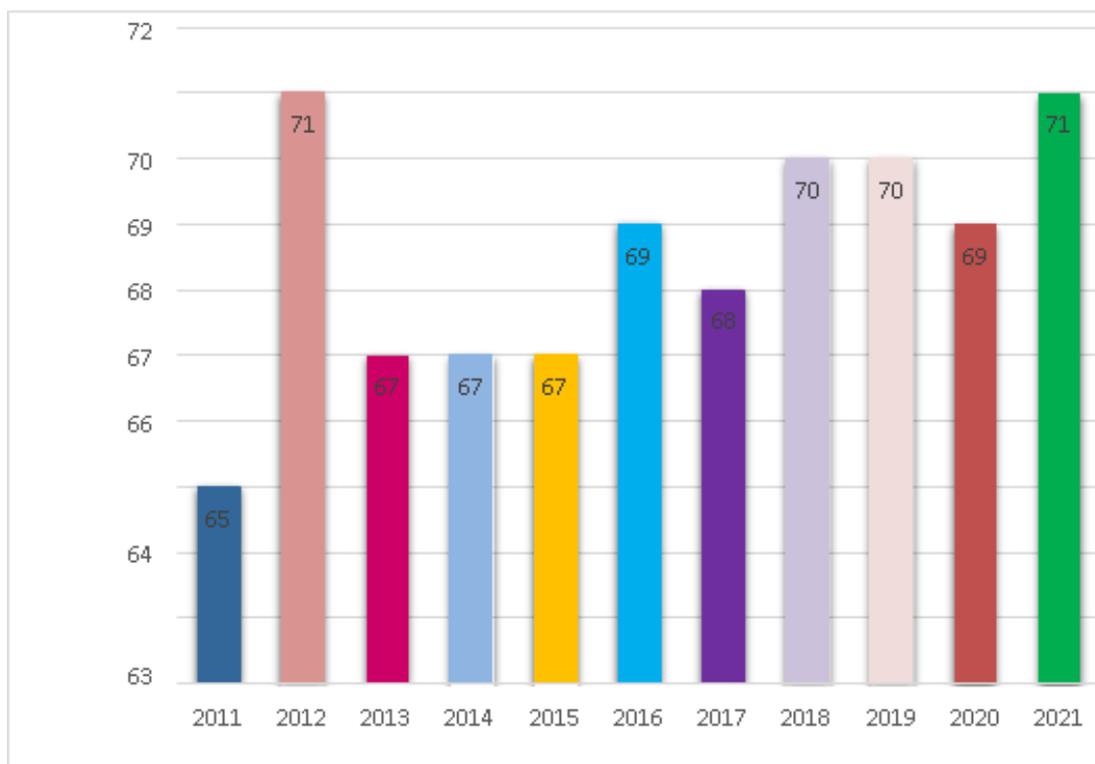


Fig.I.3- Evolution des réserves mondiales de minerais phosphatés pendant les dix dernières années (données d'après USGS, 2011-2021).

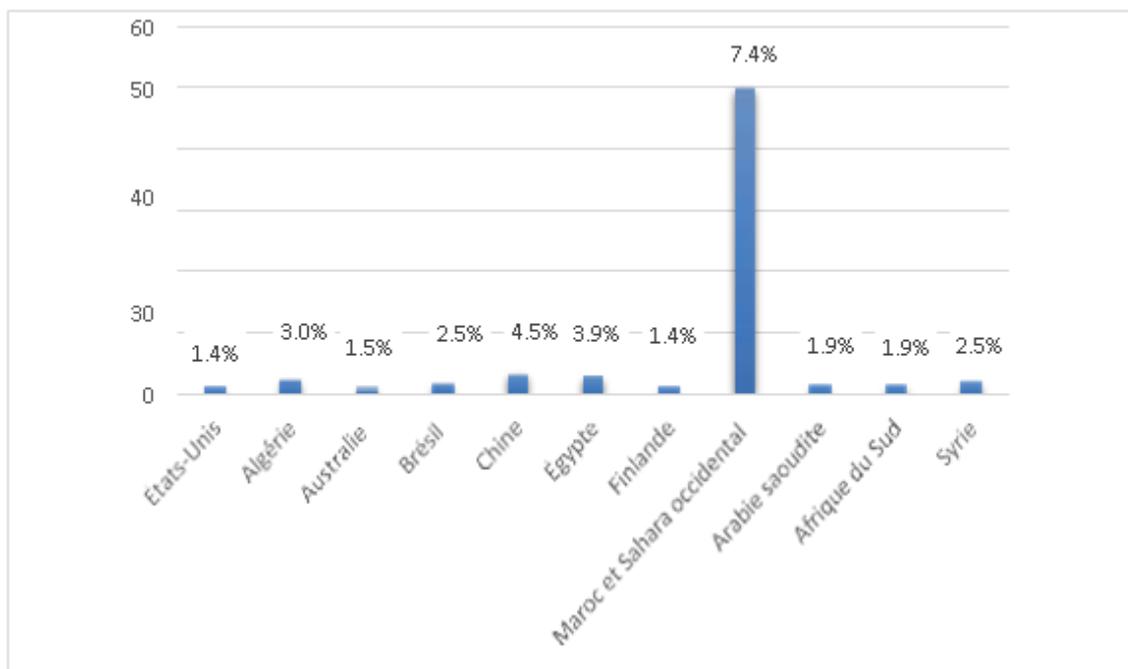


Fig.I.4- Principaux pays détenant les réserves mondiales de phosphates en Milliards de tonnes (données d'après USGS, 2021).

I.2.4.2- Production

La production mondiale de minerais phosphatés pendant les dix dernières années a connu une évolution en deux étapes (Fig.I.5). Elle a connu une évolution croissante pendant la période allant de 2011 à 2018 en passant d'une production de 225 Mt pendant l'année 2011 à environ 270 Mt au cours des années 2017 et 2018. Elle a par contre connu pendant les deux dernières années (2019 et 2020) une baisse substantielle de 4 Mt en passant de 227 en 2019 à 223 Mt en 2020 (USGS, 2021). Cette diminution de la production est probablement en relation avec la pandémie liée à la Covid-19 qui a affecté les conditions de vie dans les différents sites miniers producteurs de cette ressource.

Les principaux pays producteurs de phosphates au cours de l'année 2020 sont la Chine avec une production annuelle de 90 Mt représentant plus de 40 % de la production mondiale suivie par le Maroc et le Sahara occidental avec 37 Mt représentant 17 % de la production mondiale et des USA avec 24 Mt représentant presque 11 % de la production mondiale (Fig.I.6). Ces trois pays produisent à eux seuls 70 % (151 Mt) de la production mondiale de phosphates traduisant une situation de dominance et de contrôle du marché international des phosphates.

Selon toujours les récentes données de l'USGS (2021), pendant l'année 2020 l'Algérie a produit 1,3 Mt de minerai phosphaté représentant même pas 1 % de la production mondiale. Pendant les dix dernières années, la production de l'Algérie n'a jamais dépassé 1,5 Mt, elle a cependant connu une nette augmentation par rapport aux années antérieures.

De ces données, il apparaît clairement l'existence en Algérie d'un déséquilibre entre les réserves disponibles et la production annuelle de minerais phosphatés. En effet, l'Algérie dispose de réserves de minerai phosphaté conséquentes qui lui ont permis d'occuper en 2020 la quatrième place après le Maroc et le Sahara occidental, la Chine et l'Égypte (Fig.I.4). Malgré la disponibilité de ces réserves, la production annuelle de l'Algérie en 2020 n'a même pas dépassé 1 % de la production mondiale. Ce déséquilibre doit inciter les pouvoirs publics à développer davantage l'outil de production en renouvelant les équipements actuellement disponibles et en créant de nouveaux sites de production et de traitement des minerais phosphatés. C'est d'ailleurs dans cette optique qu'un mégaprojet intégré d'exploitation et de transformation des minerais phosphatés a été initié, étudié et négocié avec des partenaires étrangers depuis plus d'une douzaine d'années. Malheureusement, les infrastructures connexes à ce mégaprojet qui concernent cinq (05) wilayas de l'Est Algérien et qui devaient être lancées en 2019, n'ont pas encore vu le jour.

De ces données, il apparaît clairement l'existence en Algérie d'un déséquilibre entre les réserves disponibles et la production annuelle de minerais phosphatés. En effet, l'Algérie dispose

de réserves de minerai phosphaté conséquentes qui lui ont permis d'occuper en 2020 la quatrième place après le Maroc et le Sahara occidental, la Chine et l'Égypte (Fig.I.4). Malgré la disponibilité de ces réserves, la production annuelle de l'Algérie en 2020 n'a même pas dépassé 1 % de la production mondiale. Ce déséquilibre doit inciter les pouvoirs publics à développer davantage l'outil de production en renouvelant les équipements actuellement disponibles et en créant de nouveaux sites de production et de traitement des minerais phosphatés. C'est d'ailleurs dans cette optique qu'un mégaprojet intégré d'exploitation et de transformation des minerais phosphatés a été initié, étudié et négocié avec des partenaires étrangers depuis plus d'une douzaine d'années. Malheureusement, les infrastructures connexes à ce mégaprojet qui concernent cinq (05) wilayas de l'Est Algérien et qui devaient être lancées en 2019, n'ont pas encore vu le jour.

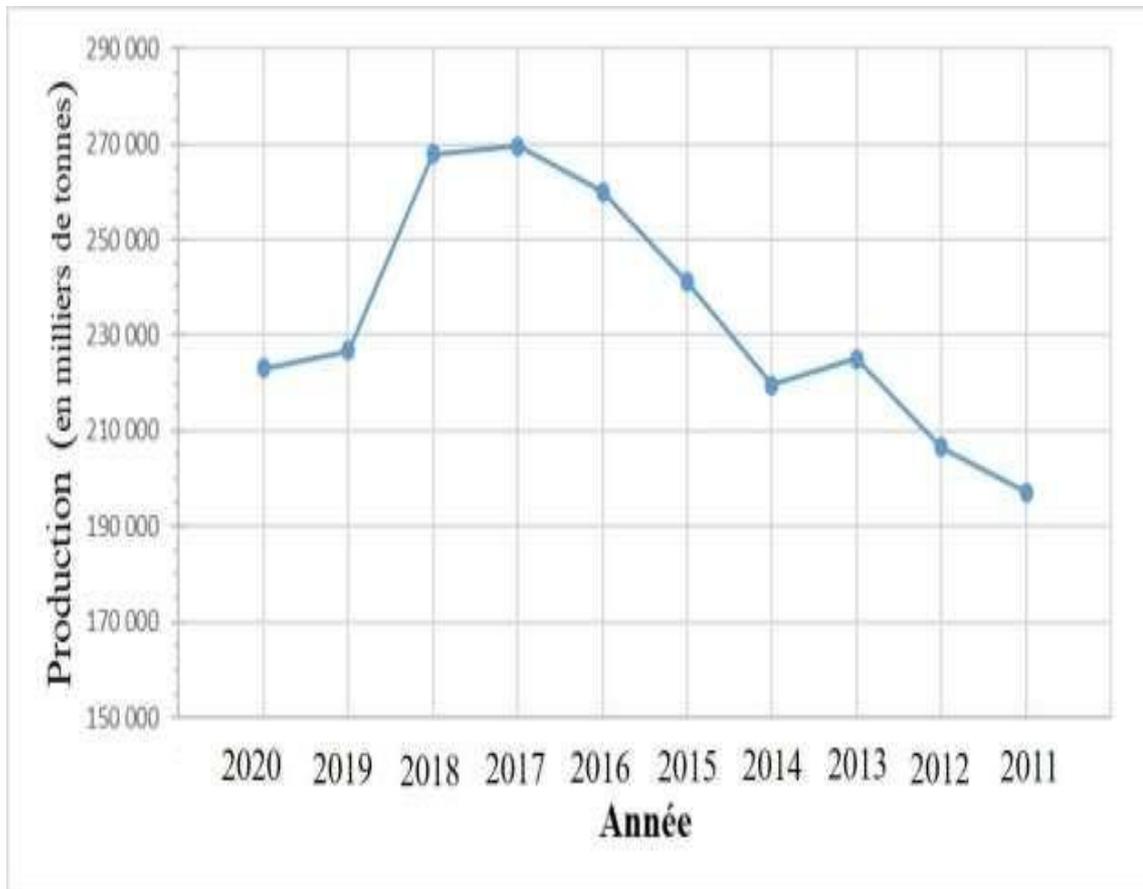


Fig.I.5- Evolution de la production mondiale de minerais phosphatés pendant les dix dernières années (données d'après USGS, 2011-2021).

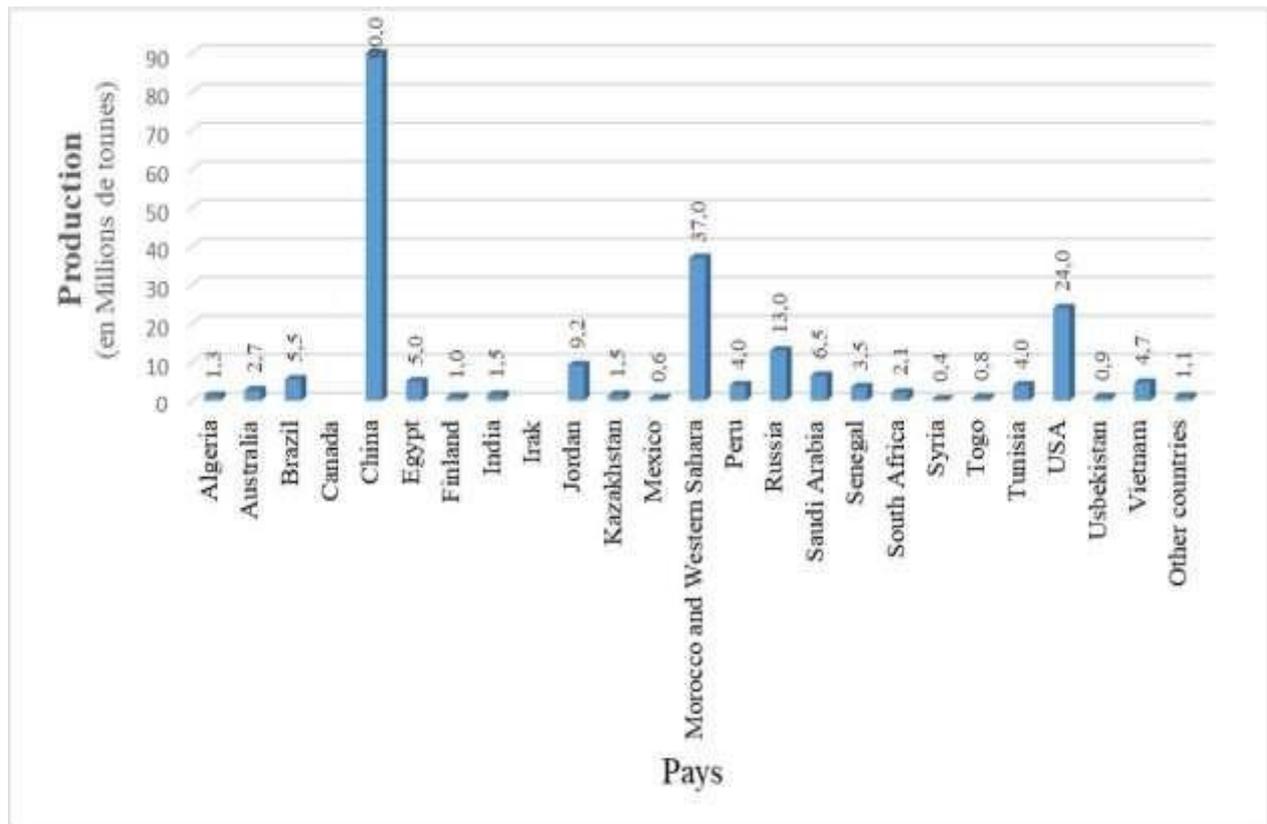


Fig.I.6- Principaux pays producteurs de phosphates (données d'après USGS, 2021).

I.2.4.3- Evolution des prix

Pendant ces dix dernières années les prix des phosphates ont connu globalement une tendance à la baisse (Fig.I.7). En effet, après avoir atteint des prix de l'ordre de 200 Dollars US par tonne au cours des années 2011 et 2012, les prix ont connu une décroissance pour atteindre les 80 Dollars US par tonne durant l'année 2013. Ils ont ensuite connu une relative hausse pendant les deux années 2014 et 2015 pour ensuite reprendre une évolution à la baisse pendant l'année 2017 puis une phase à la hausse pendant l'année 2018 suivie d'une baisse en 2019.

Depuis le début de l'année 2020 où ils ont atteint un minimum de 67 Dollars US la tonne, les prix des phosphates ont connu une évolution à la hausse pour atteindre en juin 2021 un prix de 125 Dollars US la tonne (Fig.I.8)

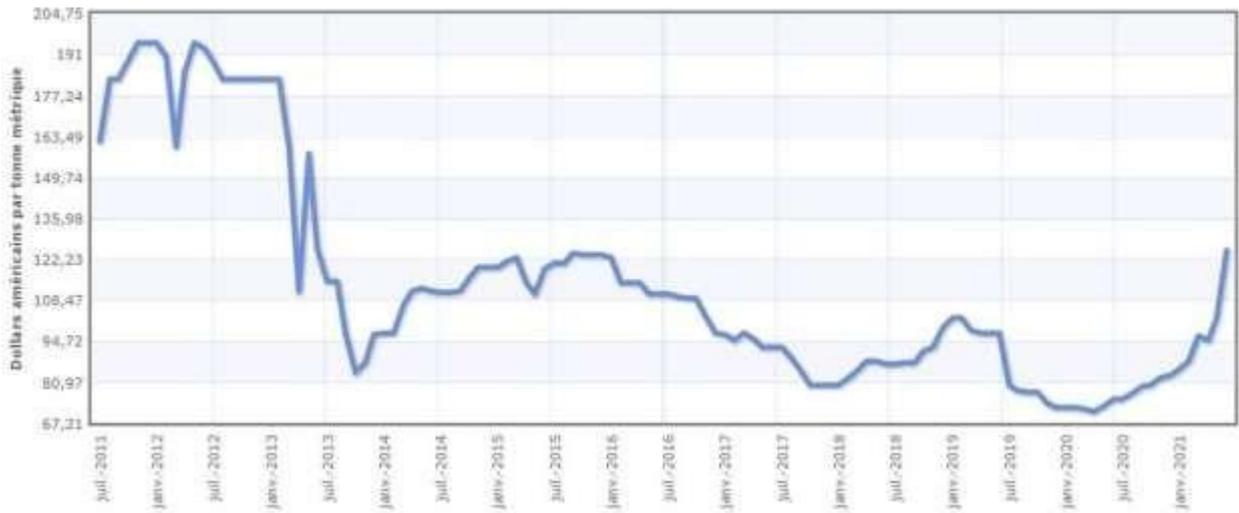


Fig.I.7- Evolution des prix des phosphates pendant la période 2011-2020.

(Source : <https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/?marchandise=phosphate&mois=120>).

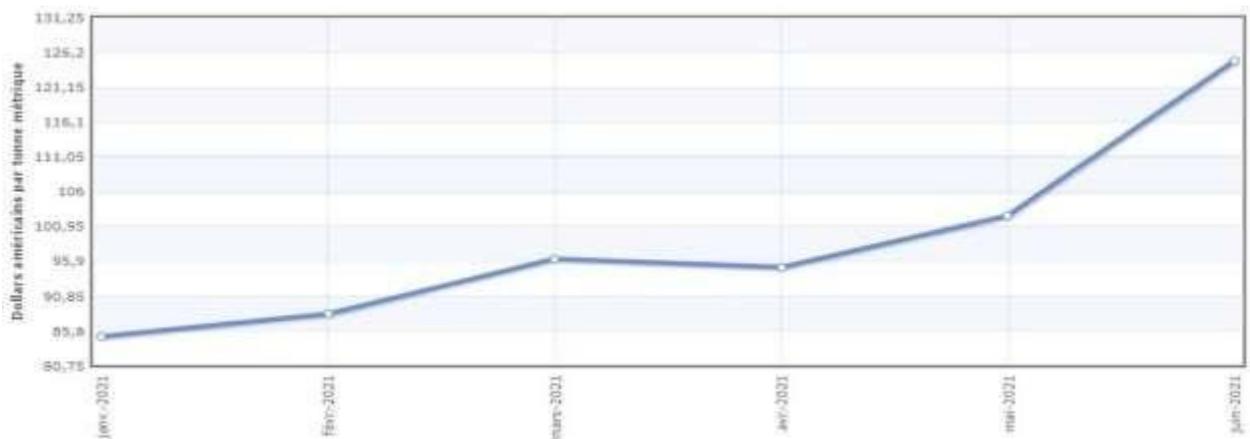


Fig.I.8- Evolution des prix des phosphates pendant les deux dernières années

(Source : <https://www.indexmundi.com/fr/matieres-premieres/?marchandise=phosphate>).

I.3- Situation géographique

La zone d'étude relève administrativement de la wilaya de Tébessa et est située à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien, représentée par les monts Tébessa au Nord et les monts Nementcha et Negrine au Sud. Elle est située à environ 100 kilomètres au Sud de la ville de Tébessa et à 20 kilomètres de la frontière algéro-tunisienne (Fig.I.9). Cette zone constitue la frontière géographique physique entre les hauts plateaux de Constantine et le Sahara. Le climat est subaride, caractérisé par un système continental, avec deux saisons différentes : des hivers froids et rigoureux et des étés où les températures peuvent dépasser les 45°C. La pluviométrie est très faible, avec une moyenne de 300 mm/an (climat semi-aride).



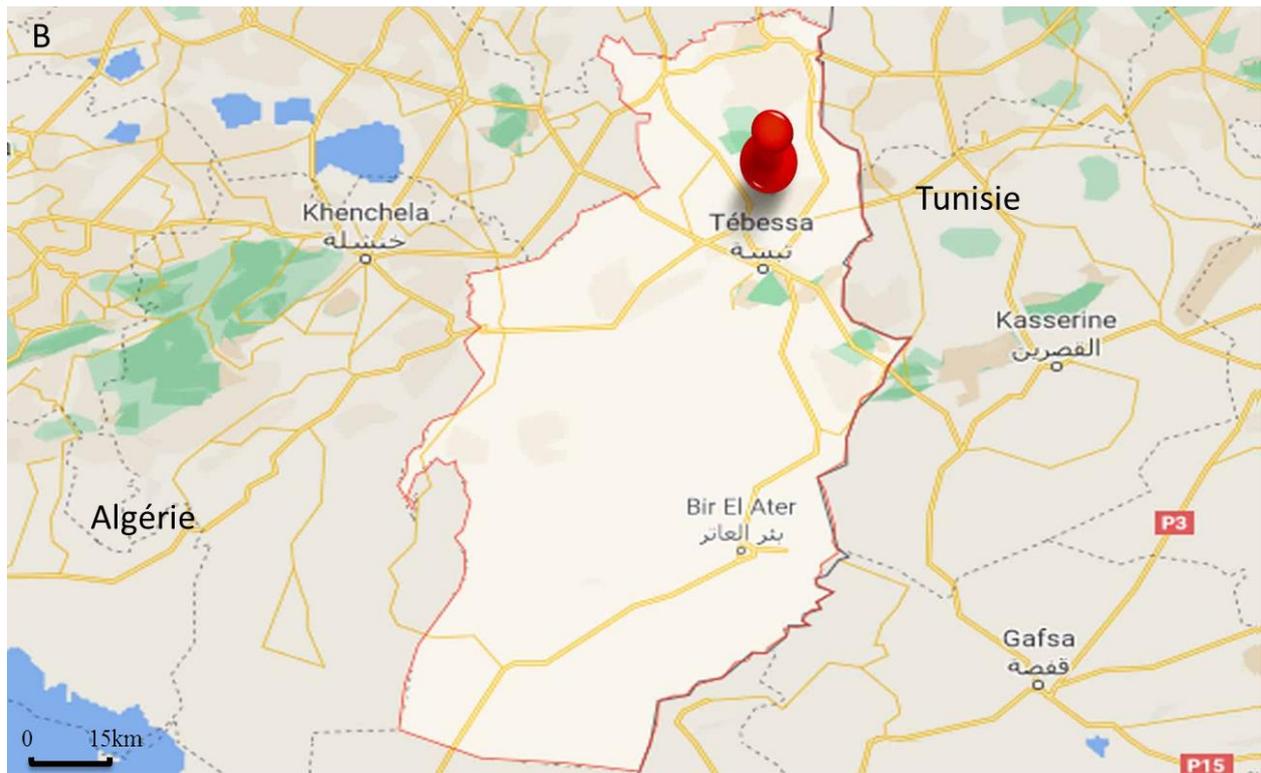


Fig.I.9- Situation géographique du Bled el Hadba

(Fig.I.9 .A. Plan de la wilaya de Tébessa source : [http://www.mondecarte.com/carte/tebessa-carte el Hadba](http://www.mondecarte.com/carte/tebessa-carte-el-Hadba).Fig.I.9 .Localisation de Bled el Hadba dans la wilaya de Tébessa ; Google Earth 2021).

Chapitre II

Cadre géologique

régional

II. Cadre géologique régional

II.1- Introduction

La géologie de l'Algérie du Nord est schématiquement représentée par trois grands ensembles :

- un ensemble septentrional, constituant la portion algérienne de la chaîne alpine des Maghrébides, caractérisé par le développement des nappes de charriage entre autres,
- un ensemble intermédiaire représenté par l'Atlas saharien qui est une chaîne intracontinentale constituée de formations sédimentaires d'âge Méso-Cénozoïque plissées pendant les phases alpines du Cénozoïque,
- un ensemble méridional relativement stable représenté par la plate-forme saharienne.

Le gisement de Bled el Hadba est situé dans la région de Tébessa qui fait partie de l'Atlas saharien (Fig.II.1). Cet ensemble intermédiaire est limité du côté Nord par la limite méridionale du domaine de développement des nappes de charriage et du côté Sud par la flexure sud-atlasique. Il s'étend sur environ 2300 km, selon une direction SW-NE du Maroc à la Tunisie.

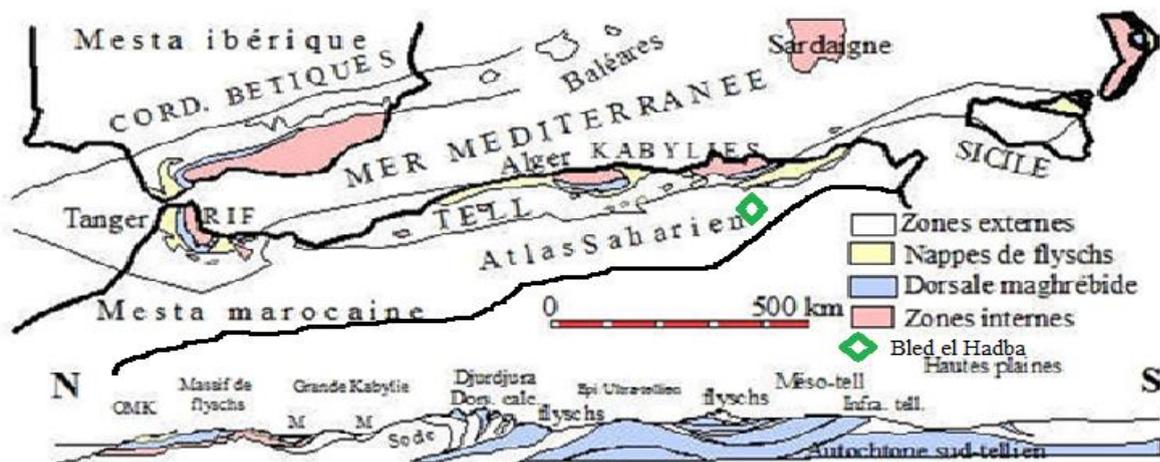


Fig.II.1- Place du gisement de Bled el Hadba dans le cadre de la géologie de l'Algérie du Nord. (Durand Delga et Fontboté ; 1980)

La région de Tébessa est principalement constituée par des formations sédimentaires mésozoïques et cénozoïques formant une série sédimentaire d'une puissance globale de 6 à 8 km témoignant d'une forte subsidence. Sur le plan lithologique, ces formations géologiques consistent essentiellement en des marnes, argiles, calcaires, dolomies, grès et conglomérat et évaporites. Les roches évaporitiques ont particulièrement influencé la dynamique sédimentaire à différentes époques géologiques en développant une activité diapirique polyphasée (Fig.II.2 et Fig.II.3). Cette activité a également impacté la genèse de l'ensemble des minéralisations de la région.

II.2- Description litho-stratigraphique des formations géologiques de la région de Tébessa.

L'âge des formations géologiques qui affleurent dans la région de Tébessa va du Trias au Quaternaire (Fig.II.2 et Fig.II.3). On note cependant l'absence à l'affleurement de formations jurassiques et oligocènes.

II.2.1- Les formations triasiques

Les formations triasiques affleurent principalement au Nord de la ville de Tébessa (Fig.II.2). Ces affleurements forment des corps de forme relativement elliptique allongés selon la direction NE-SW. On note cependant la présence de quelques affleurements à l'Est et au Sud-Ouest de la ville de Tébessa. Les plus proches affleurements du gisement de Bled el Hadba se trouvent la région de Telidjène qui est située à environ 50 km au NW de la ville de Bir el Atter (Fig.II.2).

Sur le plan lithologique, les formations triasiques consistent principalement l'affleurement en des argiles et marnes bariolées à gypse montrant un aspect de brèches polygéniques à éléments essentiellement carbonatés cimentés par du gypse et des argiles. Ce faciès bréchiq, qui contient souvent des roches volcaniques basiques du type ophites, se développe sur des épaisseurs pouvant aller jusqu'à 200 m (Bouzenoune, 1993). Un sondage implanté au Nord du massif de l'Ouenza, situé à environ 90 km au Nord de la ville de Tébessa, a recoupé un complexe salifère constitué d'halite et contenant des éléments sulfatés (gypse et anhydrite), carbonatés (magnésite, dolomite) et argileux (Bouzenoune, 1993). Ce faciès salifère a été recoupé sur plus de 200 m et le sondage a été arrêté dans le sel.

II.2.2- Les formations jurassiques

Les formations jurassiques sont absentes à l'affleurement dans la région de Tébessa. Cependant, des blocs dolomitiques, ramenés par les diapirs du secteur de Telidjène, ont été attribués au Jurassique (Vila, 2001).

II.2.3- Les formations du Crétacé

Ce sont les formations les plus répandues à l'affleurement dans la région de Tébessa (Fig.II.2). Les plus anciennes sont datées du Barrémien (Dubourdieu, 1956). Sur le plan lithologique, les formations crétacées consistent essentiellement en des séries argilo-marneuses contenant, particulièrement dans le Crétacé inférieur, des passées carbonatées dont l'épaisseur peut parfois dépasser 600 m (Fig.II.3).

Ces passées sont plus rares au Crétacé supérieur, elles se sont particulièrement développées à l'Aptien, Albien, Cénomano-Turonien et plus timidement au Sénonien supérieur. La relation spatiale entre ces passées carbonatées et les formations évaporitiques du Trias a

permis d'attribuer à ces dernières une implication active dans la dynamique sédimentaire des bassins ayant reçu la sédimentation de ces époques.

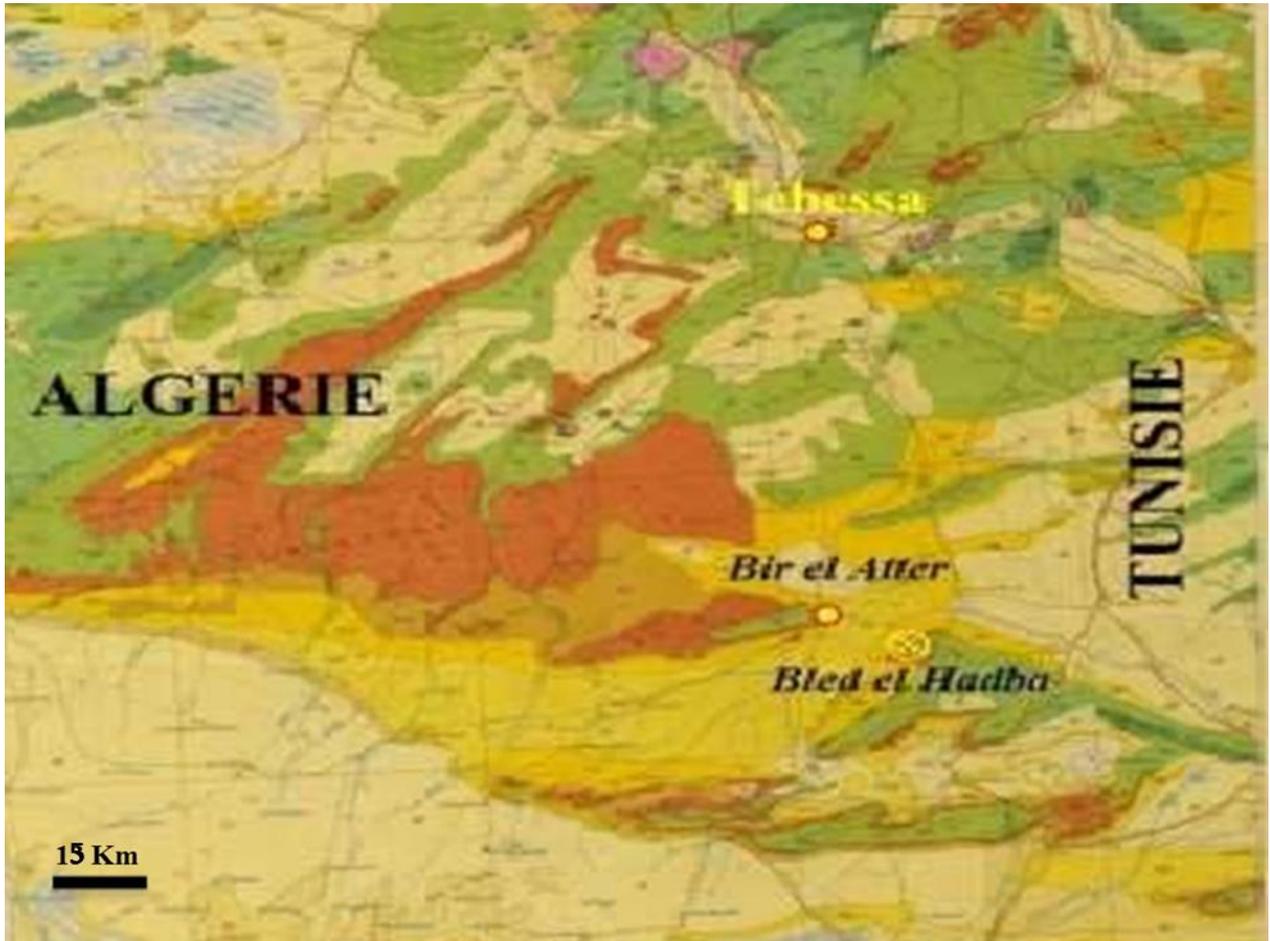


Fig.II.2- Carte géologique montrant les différentes formations géologiques affleurantes dans la région de Tébessa .1/500000 (Bétier, 1951)



- 1- Eocène moyen et inférieur continental ; 2- Miocène continental anté- Pontien ; 3- Quaternaire continental : alluvionnaire, regs, terrasses ; 4- Primaire non subdivisé ; 5- Quaternaire marin ; plage ancienne et formations dunaires consolidées qui les accompagnent ; 6- Calabrien : grés marin et formations dunaires associées ; 7- Dunes récentes ; 8- Eocène inférieur marin ; 9- Crétacé moyen marin ou lagunaire ; 10- Crétacé et Jurassique non séparés ; 11- Précambrien moyen : schistes et séricito-schistes ; 12- Serpentes ; 13- Pliocène continental : poudingues, calcaires lacustre

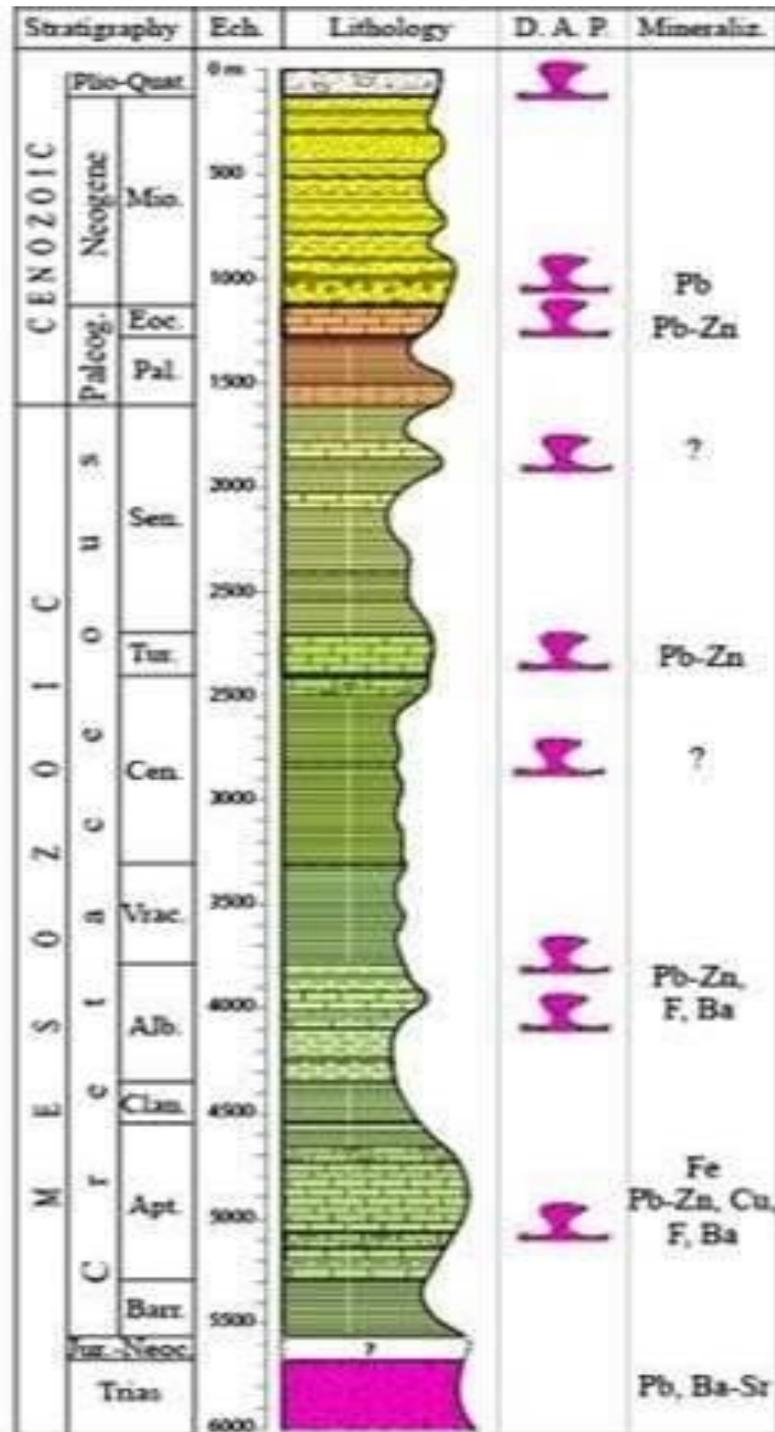


Fig.II.3- Colonne litho-stratigraphique montrant les différentes formations géologiques affleurantes dans la région de Tébessa (Bouzenoune, 2020)

II.2.4- Les formations du Paléogène

Les formations paléogènes de la région de Tébessa sont représentées uniquement par celles du Paléocène et de l'Eocène. Celles de l'Oligocène sont absentes (Fig.II.3). Les plus importants affleurements se trouvent au SW de la ville de Tébessa et au NW de la ville de Bir el Atter où elles constituent les Monts des Nementcha (Fig.II.2). D'autres affleurements plus ou moins épars et plus exigus existent également au NE de la ville de Tébessa et au Sud et Sud-Est de la ville de Bir el Atter et auxquels appartient le gisement de Bled el Hadba. Cependant, toute la zone située de part et d'autre de la frontière algéro-tunisienne et entre la ville de Tébessa au Nord et le gisement de Bled el Hadba au Sud est dépourvue des affleurements paléogènes (Fig.II.2).

Sur le plan lithologique, les formations paléogènes sont principalement argilo-marneuses au Paléocène, carbonatées à l'Eocène inférieur (Yprésien) et argilo-marneuses à l'Eocène supérieur (Lutétien). Elles ont cependant, la particularité de renfermer au passage Paléocène-Eocène (Thanétien-Yprésien), un important faisceau de couches phosphatées, d'ampleur régionale, actuellement exploitées aussi bien du côté Algérien (gisements de djebel Onk) que du côté Tunisien (gisements de Gafsa-Metlaoui).

II.2.5- Les formations du Néogène

Les formations néogènes consistent essentiellement en des sédiments continentaux principalement miocènes représentés par des grès, des conglomérats et des sables. Elles sont particulièrement largement développées dans les secteurs de Bir el Atter et de Bled el Hadba (Fig.II.2). On trouve cependant d'autres affleurements moins étendus au Sud de la ville de Tébessa et dans les secteurs de Mesloul et de l'Ouenza.

II.2.6- Les formations du Pliocène

Il s'agit également de sédiments détritiques parfois regroupés avec ceux du Miocène et sont notamment développés au Sud de Tébessa dans les secteurs de Bir el Atter et de Bled el Hadba.

II.2.7- Les formations du Quaternaire

Les sédiments quaternaires tous de nature déritique sont représentés par des terres arables, des alluvions et des éboulis issus du démantèlement des massifs carbonatés constituant les reliefs de la région. Ces sédiments occupent le plus souvent les plaines et les dépressions et particulièrement les fossés d'effondrement néogène orientés NW-SE (Fig.II.2).

II.2.8- Conclusion

Les formations géologiques qui affleurent dans la région de Tébessa constituent une série sédimentaire dont l'épaisseur dépasserait les 6-8 km. Elles sont principalement lagunaires au Trias, marines de nature argilo-marneuse et carbonatée au Crétacé et Paléogène et continentales au Néogène. On note l'absence à l'affleurement des formations jurassiques et oligocènes.

II.3- Cadre tectonique régional

Différents types de structures, se distinguant par leur style, nature et genèse, marquent le cadre tectonique de la région de Tébessa. Certaines ont été générées par une déformation de type cassant et d'autres par une déformation de type souple. Elles peuvent être regroupées en quatre catégories :

- Les plis
- Les diapirs
- Les fossés d'effondrement ou grabens
- Les accidents tectoniques de diverses ampleurs.

II.3.1- Les plis

La série sédimentaire méso-cénozoïque de la région de Tébessa est plissée en une suite d'anticlinaux et de synclinaux de direction globalement NE-SW, ce sont les plis atlasiques. La majorité de ces plis est à cœur crétacé, les anticlinaux sont souvent étroits alors que les synclinaux sont plus larges. Certains plis anticlinaux, notamment ceux situés au Nord de la ville de Tébessa comme ceux de Boukhadra, Mesloula, Ouenza, Boudjaber entre autres, sont caractérisés par des charnières occupées par les formations évaporitiques du Trias constituant ainsi des structures plus complexes sous forme de plis-diapirs. La discordance des formations miocènes sur les différents termes crétacés plissés a permis d'attribuer un âge éocène à la phase atlasique responsable de ce plissement généralisé aux formations des Aurès et de la frontière algéro-tunisienne (Laffite, 1938).

II.3.2- Les diapirs

La région de Tébessa est caractérisée par la présence de nombreux affleurements d'évaporites triasiques formant une bande orientée sensiblement NE-SW, large d'environ 80 km et s'étendant sur une distance transfrontalière dépassant les 300 km (Fig.II.2). Ces affleurements ont depuis longtemps été interprétés comme des diapirs (Dubourdieu, 1956), ils ont été plus récemment interprétés comme des « glaciers de sel » (Vila, 2001). Ces structures, à activité diapirique polyphasée, sont plus nombreuses dans la zone située au Nord de la ville de Tébessa comparativement à la zone située au Sud de Tébessa. L'une de ces structures

II.3.3- Les fossés d'effondrement

Les fossés d'effondrement ou grabens sont des dépressions à remplissage plio-quadernaire bien remarquables dans cette région de Tébessa. Leur morphologie à orientation NW-SE est bien évidente au Nord de la ville de Tébessa alors qu'elle l'est moins évidente dans le secteur de Bled el Hadba (Fig.II.2). Ces structures, apparemment de genèse récente, recoupent aussi bien les plis atlasiques que les diapirs allongés NE-SW. Elles sont délimitées par d'importantes failles normales de direction NW-SE.

II.3.4- Les différents accidents tectoniques

Les formations géologiques de la région de Tébessa sont affectées par une multitude d'accidents tectoniques de directions et d'ampleurs variables. Ces accidents résultent de l'histoire tectonique complexe et polyphasée qu'a connue cette région de l'Atlas saharien oriental. La disposition des deux précédentes structures (diapirs et fossés d'effondrement) fait ressortir l'interférence de deux directions structurales majeures matérialisées d'une part par des accidents tectoniques majeurs de direction NE-SW ayant contrôlé la disposition des structures diapiriques et d'autre part par des failles normales d'ampleur régionale de direction NW-SE ayant contrôlé la morphologie des bassins d'effondrement. Les formations géologiques de cette région sont également marquées par une forte densité de fracturation particulièrement visible dans les formations compétentes carbonatées formant les massifs de cette région.

II.4- Conclusion

Les formations géologiques de la région de Tébessa constituent une série sédimentaire dont la stratigraphie va du Trias au Quaternaire avec absence à l'affleurement des formations jurassiques et oligocènes. L'épaisseur de cette série dépasserait les 6 km. Elle a été plissée pendant la phase éocène en un ensemble de synclinaux et d'anticlinaux de direction atlasique (NE-SW). Les charnières des anticlinaux sont souvent occupées par les formations évaporitiques du Trias constituant les diapirs de la région frontalière algéro-tunisienne. Ces deux structures sont-elles mêmes parfois recoupées par des fossés d'effondrement de direction NW-SE à remplissage plio-quadernaire.

Chapitre III
Cadre géologique
local

III– Cadre géologique local

III.1- Description litho-stratigraphique des formations géologiques de la région de Bir elAtter

Le gisement de phosphates de Bled el Hadba fait partie d'un ensemble de gisements situés de part d'autre de la frontière algéro-tunisienne et caractérisés par des contextes géologiques similaires. Du côté algérien, on dénombre, dans cette région située au Sud de la ville de Bir el Atter, au moins cinq sites pourvus de minerais phosphatés : Djebel Onk Nord, Djemi-Djema, Kef Es Sennoun, Bled el Hadba et Oued Betita. L'ensemble de ces sites se trouve dans un contexte géologique marqué par des formations dont la stratigraphie va du Crétacé au Quaternaire.

III.1.1- Les formations du Crétacé

Les assises du Crétacé supérieur constituent les plus anciennes formations qui affleurent dans cette région du Sud de Bir el Atter. On les retrouve particulièrement dans le djebel Onk et dans les massifs longeant la frontière algéro-tunisienne où elles occupent le cœur des structures anticlinales des djebels Onk, Zrega, Mrata entre autres (Fig.III.I). Selon le découpage stratigraphique adopté sur la carte géologique au 50 000^e, feuille n°327 de Bir el Atter (ORGM, 2000), les formations du Crétacé supérieur de cette région consistent en :

- des argiles, calcaires, lumachelles et calcaires à rudistes du Turonien-Coniacien,
- des argiles et calcaires blancs à Orbitoïdes du Santonien-Campanien inférieur à moyen,
- des marnes du Campanien supérieur-Maestrichtien basal,
- des calcaires à silex du Maestrichtien

Il y a lieu de noter que, contrairement à la région du Nord de Tébessa, dans cette région du Sud de Bir el Atter les formations évaporitiques du Trias et celles du Crétacé inférieur n'affleurent pas. Ces dernières ont par contre été recoupées par les forages (ORGM, 2000).

III.1.2- Les formations du Paléocène

Les affleurements du Paléocène les plus étendus se trouvent tout autour du djebel Onk et dans le massif de Bled el Hadba. Des affleurements plus exigus existent également à l'Ouest du djebel Onk et dans les périclinaux de Djenane Kherouf et de Fedj en Nakhla (Fig.III.1).

Sur le plan lithologique, les formations paléocènes sont principalement argileuses au Danien, carbonatées au Montien et marneuses au Thanétien et se terminent par un niveau phosphaté faisant actuellement l'objet d'exploitation dans plusieurs sites miniers aussi bien en Algérie qu'en Tunisie. Ces formations totalisent une épaisseur dépassant les 400 m (Fig.III.2)

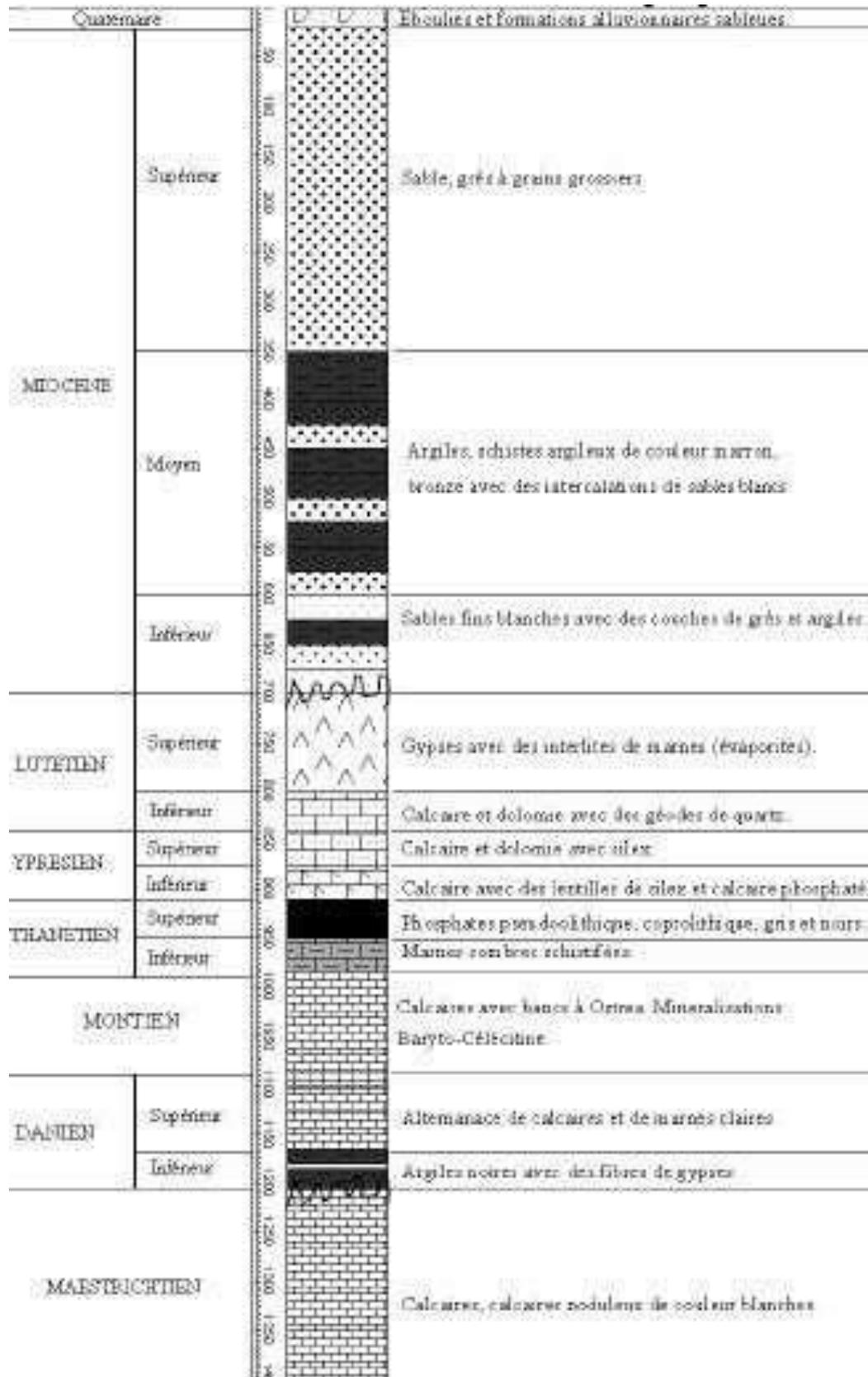


Fig.III.2- Colonne stratigraphique des formations géologiques de la région de Bir el Atter (Kechiched, 2011).

III.1.2.1- Les formations du Danien

Sur la base de leurs caractères lithologiques, les formations du Danien peuvent être subdivisées en deux catégories. Dans la partie inférieure on retrouve des argiles marneuses et schisteuses de couleur gris foncé ou brun vert admettant des intercalations en bancs irréguliers de marnes calcaires relativement compacts. Cette partie du Danien, d'une épaisseur de 30 à 40m, est particulièrement marquée par la présence de veinules de gypse. Dans sa partie supérieure, le Danien est représenté par des calcaires de couleur crème à blanche admettant des intercalations de marnes tendres argileuses.

III.1.2.2- Les formations du Montien

Les formations du Montien sont globalement de nature carbonatée représentées par des calcaires à huitres devenant parfois lumachelliques et admettant des intercalations marneuses et dolomitiques. L'épaisseur des formations montiennes varie entre 60 et 100 m.

III.1.2.3- Les formations du Thanétien

C'est dans les formations du Thanétien que se trouvent les plus importants horizons constituant le faisceau phosphaté actuellement exploité dans les différents sites miniers de la région de Bir el Atter. Ces formations sont généralement scindées en deux parties. Celles du Thanétien inférieur, d'une puissance de 30 à 40 m, sont principalement représentées par des marnes de couleur gris foncé à noire contenant dans leur partie inférieure des conglomérats, de minces passées phosphatées et des niveaux marneux et dans leur partie supérieure des intercalations phosphatées et des calcaires et marnes à Gastéropodes. Celles du Thanétien supérieur sont principalement représentées par les différents horizons constituant le faisceau phosphaté dont l'épaisseur est en moyenne d'une trentaine de mètres.

III.1.3- Les formations de l'Eocène

Les formations éocènes affleurent principalement au Nord, au Sud et à l'Ouest du djebel Onk, seul un petit affleurement est repérable dans le petit monticule de Bled el Hadba (Fig.III.1). Elles sont représentées par des faciès lithologiques bien distincts, essentiellement carbonatés à l'Yprésien et marno-gypsifères au Lutétien.

III.1.3.1- Les formations de l'Yprésien

Les formations yprésiennes sont principalement carbonatées, constituées de calcaires parfois marneux mais souvent à silex noir sous forme de lentilles ou de rognons. Elles renferment un ou plusieurs niveaux phosphatés de faible épaisseur comparativement au faisceau phosphaté du Thanétien.

III.1.3.2- Les formations du Lutétien

Les formations du Lutétien sont représentées par une série sédimentaire relativement épaisse dépassant par endroit les 250 m de puissance. Sur le plan lithologique, elles sont constituées dans leur partie inférieure par des marnes blanches crayeuses à géodes de quartz sur une épaisseur d'une trentaine de mètres surmontées par des calcaires massifs blanchâtres à nodules de quartz sur une quinzaine de mètres suivis par une épaisse (150 m) série argilo-marneuse à intercalations gypseuses et carbonatées. La partie supérieure est également caractérisée par la présence des faciès évaporitiques sous forme d'intercalations gypsifères au sein d'un ensemble argileux parfois phosphaté. L'épaisseur de cette partie supérieure peut atteindre 65 m.

III.1.4- Les formations du Mio-Pliocène

Les formations du Mio-Pliocène avec celles du Quaternaire couvrent plus de 75 % de la surface de la région de Bir el Atter (Fig.III.1). Les formations du Miocène affleurent notamment au NE et au NW du djebel Onk, quelques affleurements épars plus exigus sont également présents au Sud de ce même massif. Les formations du Pliocène occupent particulièrement le couloir séparant le djebel Onk du monticule de Bled el Hadba. Sur le plan lithologique, les formations mio-pliocènes sont représentées par un puissant complexe de sédiments détritiques dépassant les 700 m d'épaisseur. Elles consistent essentiellement en des sables souvent grossiers, parfois relativement consolidés, des conglomérats et des argiles.

III.1.5- Les formations du Quaternaire

Les sédiments du Quaternaire sont les plus répandus dans la région de Bir el Atter. Ils sont représentés par des croûtes calcaires, alluvions et des limons relativement anciens dans les laines et les fonds de vallées et par des alluvions actuelles dans les lits majeurs des oueds.

III.1.6- Conclusion

La région de Bir el Atter est principalement recouverte par des sédiments détritiques sous forme de sables, conglomérats et argiles constituant un puissant complexe d'une épaisseur dépassant les 700 m et issus de la destruction des reliefs générés par la phase atlasique. Cette importante épaisseur témoigne de la forte érosion qu'ont subie les formations anté-miocènes. C'est à travers ce complexe détritique qu'affleurent les formations crétacées, paléocènes et éocènes au sein des quelles sont localisées les différentes couches de phosphates actuellement en exploitation

III.2- Cadre tectonique de la région de Bir el Atter

La région de Bir el Atter est caractérisée sur le plan tectonique par la présence des principales structures marquantes de la géologie de cette portion de l'Atlas saharien à savoir les plis atlasiques de direction NE-SW, les grabens, les différents accidents tectoniques (Fig.III.1). On note cependant l'absence des structures diapiriques qui caractérisent particulièrement la région située au Nord de la ville de Tébessa (Fig.II.1).

III.2.1- Les plis atlasiques

Dans la région de Bir el Atter, les principales structures plissées observables à l'affleurement sont représentées d'une part par l'imposant pli anticlinal de djebel Onk et les replis synclinaux et anticlinaux de Kef es Senoun et Djemi-Djema respectivement, situés au SW de la ville de Bir el Atter et d'autre part par les périclinaux des djebels Zrega, Djenane Kherouf, Fedj en Nakhla, situés le long de la frontière algéro-tunisienne (Fig.III.1). Tous ces plis présentent une direction NE-SW, ils ont été générés par la phase atlasique d'âge éocène. Leurs flancs et leur charnière, profondément érodés, ont été scellés par les formations miocènes.

III.2.2- Les grabens

Toute la zone située entre les deux groupes de structures plissées est occupée par une zone effondrée remplie par des sédiments détritiques mio-plio-quadernaires (Fig.III.1). L'allure générale de cette zone, matérialisée par les formations mio-pliocènes, donne une orientation NE-SW différente de celle des fossés d'effondrement situés au Nord de la ville de Tébessa (Fig.II.1).

III.2.3- Les accidents tectoniques

Les accidents tectoniques repérables dans la région de Bir el Atter sont ceux qui affectent les formations crétacées, paléocènes et éocènes constituant le djebel Onk et ses environs, le monticule de Bled el Hadba et djebel Zrega (Fig.III.1). Le relevé des orientations des failles affectant ces massifs permet de mettre en évidence les principales directions (Fig.III.3).

Il apparaît qu'en fonction de l'âge des formations géologiques, les directions des failles dominantes changent. Dans les formations du Turonien-Coniacien, ce sont les failles de direction N170E (direction sub-méridienne) qui dominent et cette direction est sensiblement similaire à celle qui domine dans les formations du Maestrichtien terminal-Paléocène moyen (N60E). Cette direction est également présente dans les calcaires à silex du Maestrichtien où elle est cependant associée aux directions NE-SW et NW-SE qui sont évidemment moins abondantes. La direction ENE-WSW est bien caractéristique des formations du Campanien supérieur – Maestrichtien basal alors qu'elle est absente dans le reste des formations géologiques. Enfin notons que les formations essentiellement carbonatées du Paléocène-

Eocène qui encadrent les couches phosphatées sont les moins fracturées et ne montrent que de rares failles. Cette faible densité de fracturation est probablement due à l'exiguïté de l'affleurement de ces formations.

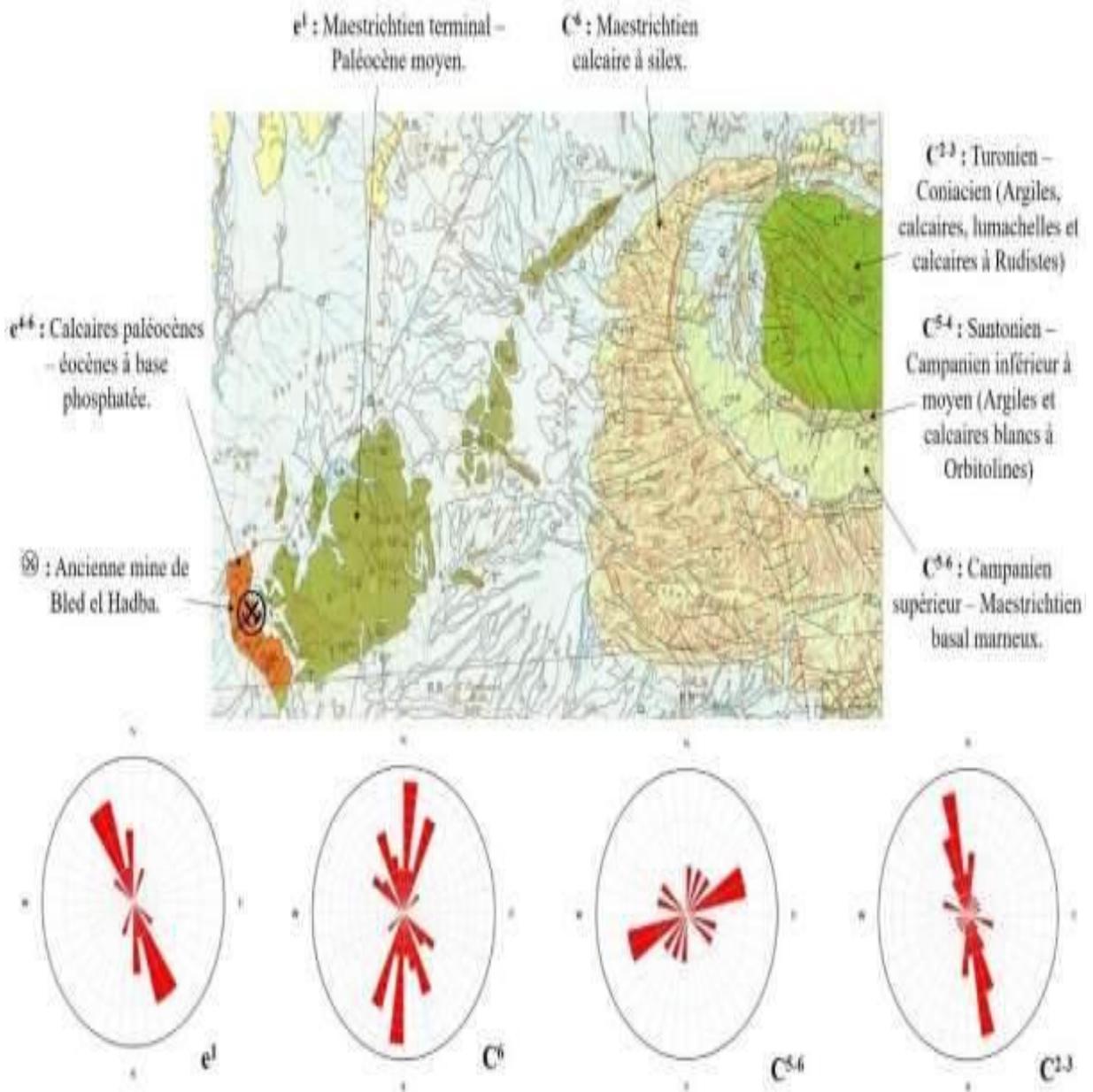


Fig.III.3- Rosace des principales directions des accidents tectoniques affectant les formations géologiques des massifs de la région de Bir el Atter

III.2.4- Conclusion

Le cadre tectonique de la région de Bir el Atter est marqué par les principales structures qui caractérisent la région de Tébessa en particulier et l'Atlas saharien oriental en général. On retrouve les plis atlasiques de direction NE-SW, les zones effondrées à remplissage détritique mio-plio-quaternaire et une forte densité de fracturation affectant particulièrement les formations compétentes.

III.3- Cadre géologique du gisement de Bled el Hadba

III.3.1- Introduction

Les principaux affleurements constituant le monticule de Bled el Hadba sont représentés par les formations paléocènes et éocènes qui affleurent sous forme d'un "îlot" au sein des recouvrements quaternaires. Ils représentent la continuité stratigraphique normale des formations crétacées constituant le djebel Zrega. L'ensemble de ces formations est plissé en un péri-anticlinal dont le Bled el Hadba n'est que le flanc occidental.

III.3.2- Cadre litho-stratigraphique

Les formations géologiques affleurant dans le gisement de Bled el Hadba constituent une succession litho-stratigraphique composée d'assises paléocènes et éocènes d'origine marine et de sédiments détritiques mio-plio-quaternaires d'origine continentale avec absence de formations oligocènes (Fig.III.4).

III.3.2.1- Les formations paléocènes

Les formations paléocènes affleurent dans la partie orientale du gisement et sont représentées par des calcaires et des marnes du Montien et par des marnes et calcaires encaissant les minerais phosphatés du Thanétien (Fig.III.4).

III.3.2.1.1- Les formations du Montien

Les formations du Montien affleurent dans la partie orientale du gisement et font partie du flanc occidental du péri-anticlinal du djebel Zrega dont la partie orientale se trouve de l'autre côté de la frontière algéro-tunisienne (Fig.III.1 et III.4). Sur le plan lithologique, elles sont constituées par une série sédimentaire d'une centaine de mètres d'épaisseur composée de bas en haut par (Fig.III.5)

- des calcaires lumachelliques à divers bioclastes, souvent silicifiés,
- une alternance d'argiles, calcaires lumachelliques, calcaires argileux, marnes et dolomies.
- des calcaires lumachelliques et des calcaires légèrement phosphatés.
- des calcaires compacts de couleur jaune brunâtre.

III.3.2.1.2- Les formations du Thanétien

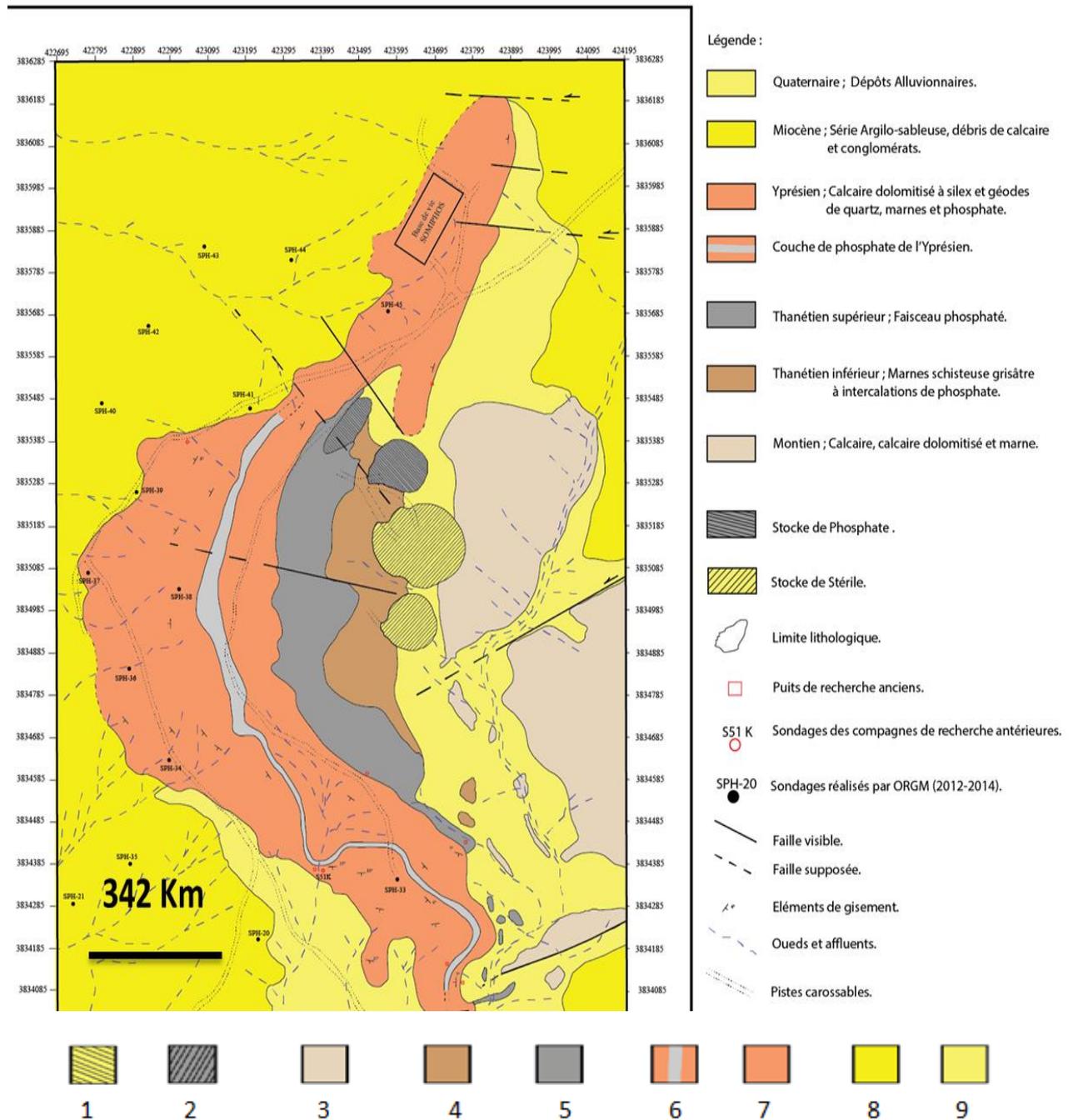
Les formations du Thanétien forment dans le gisement de Bled el Hadba un affleurement orienté sensiblement N-S s'étendant sur presque 1 km dans la direction méridienne et sur plus de 300 m dans la direction latitudinale (Fig.III.4). Une coupe à main levée effectuée sur le terrain permet de distinguer deux lithologies principales : à la base des faciès argilo-marneux et au sommet des faciès phosphatés (Fig.III.5). La partie inférieure à dominance argilo-marneuse a souvent été stratigraphiquement attribuée, sans arguments paléontologiques, au Thanétien

inférieur alors que la partie supérieure a été attribuée au Thanétien supérieur (Kechiched, 2011 ; ORGM, 2015 entre autres).

En se basant sur les descriptions de R. Kechiched (2011) et de l'ORMG (2015), notamment celles relatives aux carottes des sondages, nous avons pu établir une colonne litho- stratigraphique synthétique représentative des principales formations géologiques paléocènes et éocènes et montrant la position des couches composant le faisceau phosphaté du gisement de Bled el Hadba (Fig.III.5). Il apparaît que les différents niveaux phosphatés de Bled el Hadba sont répartis sur l'ensemble des formations du Thanétien inférieur, Thanétien supérieur et de l'Yprésien. Il est à noter que les travaux de terrain qui nous ont permis de lever une coupe et de prélever les échantillons utilisés pour la réalisation de ce mémoire, ne nous ont pas permis d'observer les subdivisions mentionnées dans cette colonne litho- stratigraphique.

Selon les descriptions des carottes des sondages (ORMG, 2015), les formations du Thanétien inférieur sont représentées par des marnes argileuses, feuilletées, de couleur gris-sombre à nuance verdâtre, bitumineuses. Cette série marneuse, d'une quarantaine de mètres d'épaisseur, contient d'une façon sporadique quelques intercalations de minces bancs de calcaire grisâtre et des passées phosphatées d'épaisseur décimétriques. Vers la partie sommitale de cette série, s'individualise une zone minéralisée en phosphate et pourvue d'intercalations de minces couches de marne phosphatée et dolomitisée. Selon toujours les descriptions des carottes des sondages, cet horizon phosphaté a été recoupé par l'ensemble des sondages et traduit son étendue sur l'ensemble du gisement de Bled El Hadba et notamment son extension dans la partie occidentale du gisement qui est entièrement recouverte par les sédiments détritiques du Mio- Plio- Quaternaire. L'épaisseur de ce niveau varie de 0.80 m dans le sondage SPH-40 à 5.90 m dans le sondage SPH-21 et d'une façon générale, cette épaisseur est supérieure à 3m (ORMG, 2015). Enfin, il a également été inclu dans les formations du Thanétien inférieur, toujours sans arguments paléontologiques, un horizon terminal représenté par des marnes grisâtres, feuilletées, phosphatées, dont l'épaisseur varie entre 1.70 m et 2m.

Les formations du Thanétien supérieur sont principalement phosphatées. Bien que les descriptions des carottes de sondages mettent en évidence plusieurs niveaux phosphatés d'épaisseurs variables, ces derniers sont souvent regroupés, par comparaison avec ce qui est connu dans les gisements de Djemi-Djema et Kef es Senoun, en trois couches principales (ORMG, 2015)



1 Quaternaire : dépôts alluvionnaires ; 2- Miocène : série argilo – sableuse, débris de calcaire et conglomérats ; 3- Yprésien : calcaire dolomitisé à silex et géodes de quartz, marnes et phosphate ; 4- Couche de phosphate de l'yprésien ; 5- Thanétien supérieur : faisceau phosphaté ; 6- Thanétien inférieur : marnes schisteuse grisâtre à intercalations de phosphates ; 7- Montien : calcaire, calcaire dolomitisé et marne ; 8- Stock de phosphate ; 9- Stock de stérile.

Fig.III.4- Carte géologique de Bled el Hadba (ORGM, 2015)

- Une couche phosphatée basale, d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 18 mètres, intercalant des lumachelles phosphatées incluant par endroits des géodes et des cristaux de quartz ;
- Une couche phosphatée médiane ou principale admettant une intercalation de lumachelle phosphatée d'épaisseur pouvant aller jusqu'à 6 mètres ;
- Une couche phosphatée sommitale, d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 18 mètres, intercalant également des lumachelles phosphatées.

L'épaisseur moyenne du faisceau phosphaté est de l'ordre de 30 m (ORGM, 2015).

III.3.2.2- Les formations éocènes

Les formations éocènes sont principalement représentées par les assises yprésiennes qui affleurent dans la partie occidentale du gisement, leur extension est maximale dans la partie centrale du gisement où elles atteignent une étendue latitudinale d'environ 500 m. Cette extension à l'affleurement se réduit progressivement vers le Nord et vers le Sud jusqu'à ce qu'elles disparaissent sous les formations du Mio- Plio-Quaternaire (Fig.III.5).

Sur le plan lithologique, les descriptions des carottes de sondages (ORGM, 2015) permettent de relever la succession suivante :

- Dans la partie inférieure, des calcaires lumachelliques, durs, compacts, par endroits dolomités, de couleur grisâtre contenant des nodules de silex et intercalant de minces horizons phosphatés d'épaisseur inférieure à 2 m ;
- Dans la partie supérieure, une série marneuse à gypse, à intercalations de lits et nodules de silex et de bancs de calcaires dolomités. Cette série renferme une couche phosphatée.

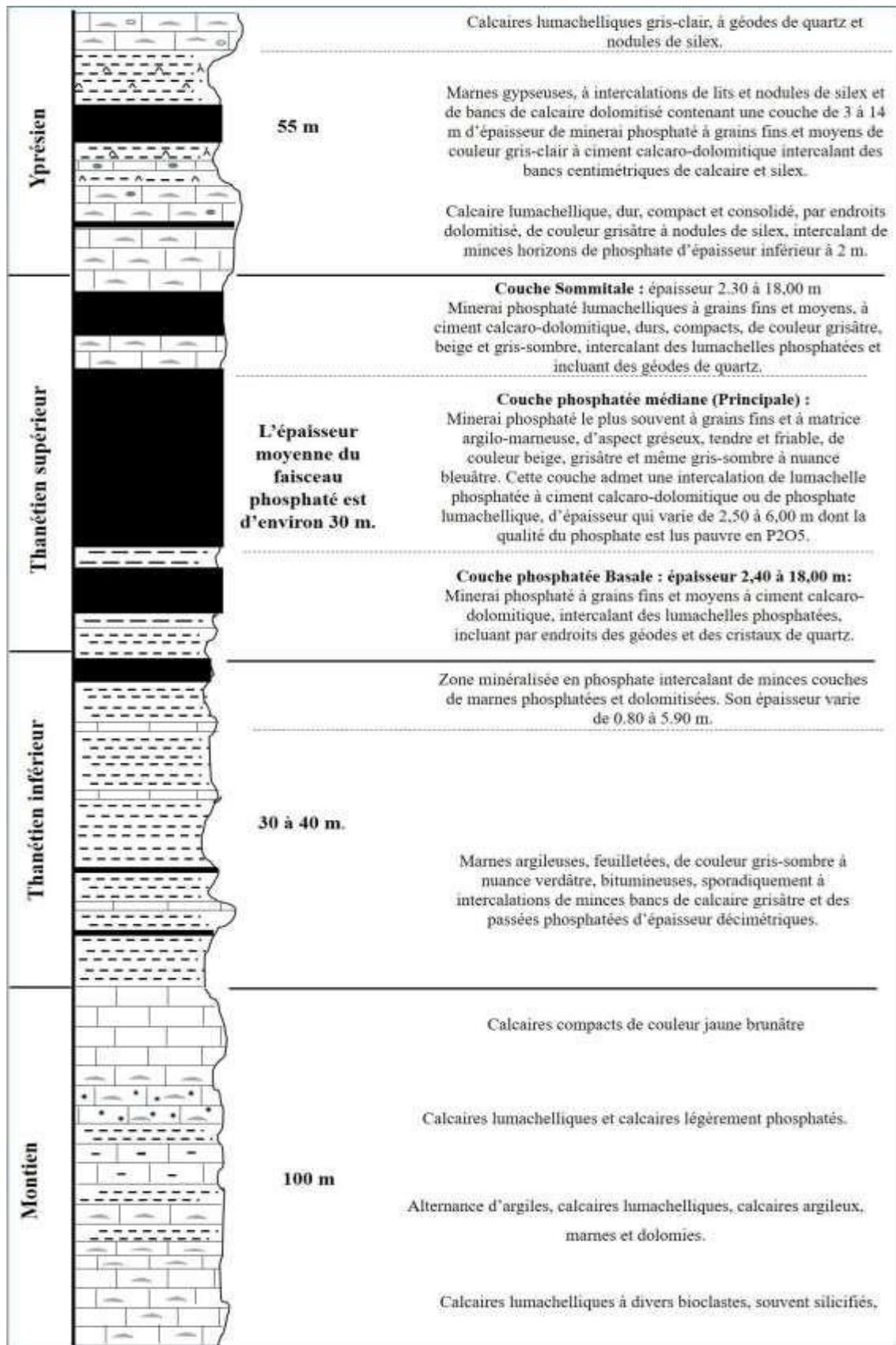


Fig.III.5- Colonne litho-stratigraphique des formations géologiques (Paléocène-Yprésien) dugisement de Bled Hadba

De 3 à 14 m d'épaisseur et est surmontée par des calcaires lumachelliques gris-clair, à géodes de quartz et nodules de silex.

Selon les descriptions de l'ORGM (2015), l'épaisseur de tout l'Yprésien peut atteindre 55 m. Cependant, cette épaisseur diminue progressivement vers le Nord-Ouest et le Sud du gisement et cette diminution est attribuée à l'érosion qu'ont subies les formations crétacées, paléocènes et éocènes plissées par la phase tectonique atlasique.

III.3.2.3- Les formations du Miocène

Les formations du Miocène sont représentées par des sédiments détritiques issus de la destruction des reliefs générés par la phase de plissement atlasique éocène. Elles sont constituées essentiellement par une puissante série de sables quartzeux de couleur jaunâtre admettant à la base des conglomérats polygéniques à éléments de quartz, calcaire et marne anguleux à sub-anguleux sertis par une matrice argilo-gréseuse. Cette série sableuse renferme souvent des couches de marnes argileuses de couleur jaunâtre à verdâtre. Selon la description des carottes des sondages (ORGM, 2015) la puissance de cette série sableuse croit progressivement de l'Est vers l'Ouest et atteint l'épaisseur maximale de 301 m.

III.3.2.4- Les formations du Quaternaire

Les formations du Quaternaire forment un étendu couvert recouvrant les formations antérieures, elles sont représentées essentiellement par des éboulis de pente composés de fragments de calcaire, marnes argileuses, silex et des alluvions particulièrement le long des lits majeurs des oueds. Leur épaisseur peut aller jusqu'à une dizaine de mètres.

III.3.2.5- Conclusion

Le cadre litho-stratigraphique du gisement de Bled el Hadba est caractérisé par une série sédimentaire cénozoïque constituée par des formations du Montien dominées par des roches carbonatées lumachelliques surmontées par les formations du Thanétien argilo-marneuses dans leur partie inférieure et phosphatées dans leur partie supérieure. Les assises paléocènes sont-elles mêmes surmontées par les formations yprésiennes qui sont constituées par des calcaires lumachelliques à silex à la base et au sommet et par des marnes gypseuses dans la partie médiane. L'ensemble est recouvert par une puissante (300 m) série déritique sableuse du Miocène discordante sur les termes antérieurs. Les principales couches phosphatées sont intercalées au sein des formations du Thanétien supérieur mais des couches moins puissantes sont également présentes au sein des formations du Thanétien inférieur et de l'Yprésien. Cette répartition circonscrit la période de phosphatogenèse et son étalement dans le temps

III.3.3- Structure du gisement de Bled el Hadba

Les assises paléocènes-éocènes du monticule de Bled el Hadba, qui émergent au sein des formations détritiques du Mio-Plio-Quaternaire, font partie de la structure péri-anticlinale atlasique de direction NE-SW du djebel Zrega. Cette structure transfrontalière, générée par la phase tectonique éocène, a subi une intense érosion ayant atteint les formations turoniennes (Fig.III.1). Elle est scellée par les formations discordantes du Mio-Plio-Quaternaire.

Les assises paléocènes-éocènes du gisement de Bled el Hadba constituent la fermeture péri-anticlinale du pli atlasique de djebel Zrega, elles présentent des pendages vers l'Ouest relativement faibles ne dépassant pas les 20 degrés (Fig.III.6).

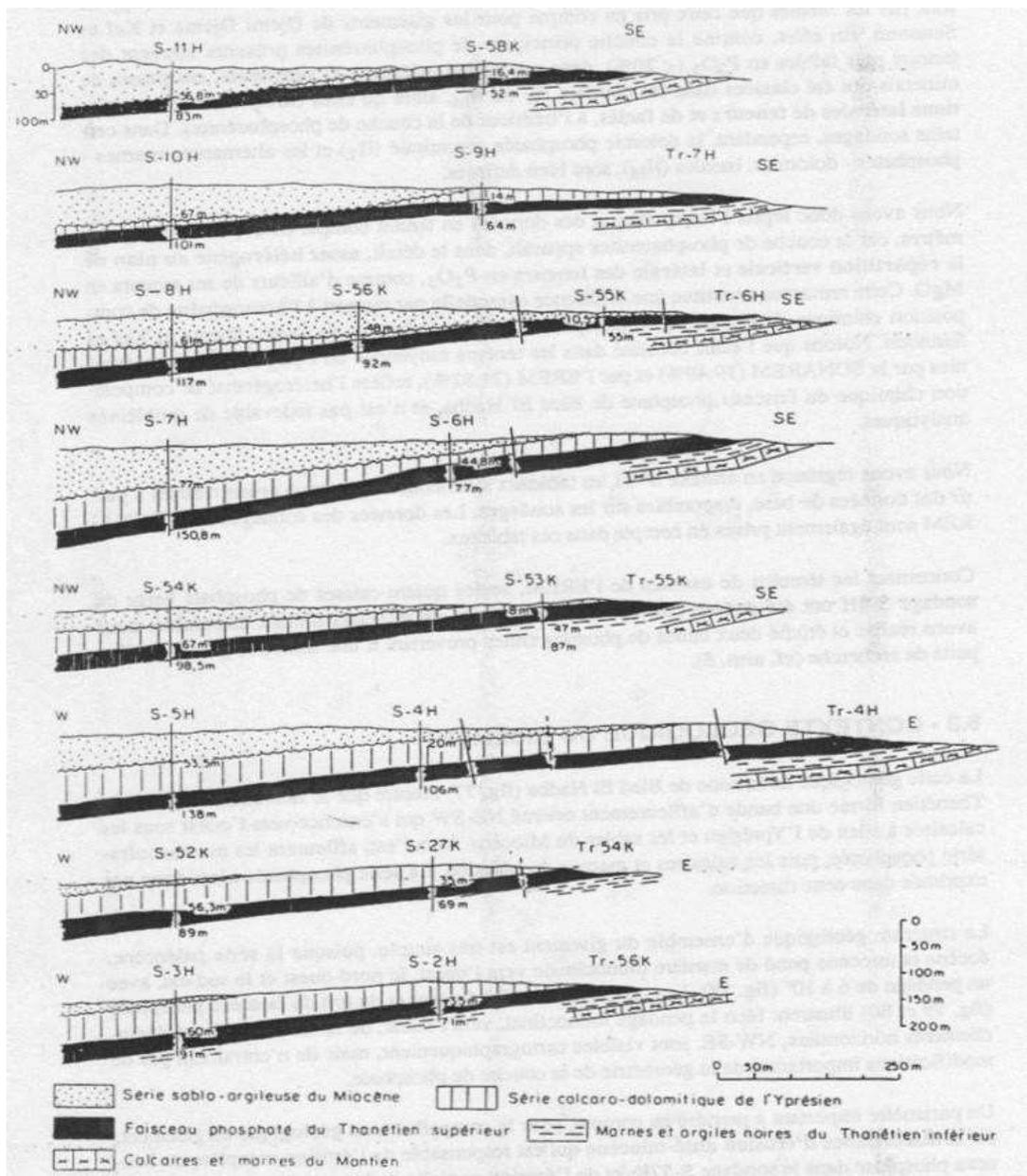


Fig.III.6- Coupes géologiques sériées à travers la structure de Bled el Hadba (BRGM, 1993 in Brakni 1999).

Cette inclinaison fait disparaître ces assises paléocènes-éocènes ainsi que les différentes couches de phosphate qu'elles renferment, sous le recouvrement des formations du Mio-Plio-Quaternaire qui devient de plus en plus épais en se dirigeant vers l'Ouest.

L'examen de la carte géologique au 50 000^e de la feuille n°327 (Bir el Atter), notamment le long d'une transversale orientée NE-SW depuis djebel Zrega à l'Est en (Tunisie) jusqu'au monticule de Bled el Hadba à l'Ouest (Algérie), montre une évolution de la fracturation en densité et en orientation. En effet, on remarque que la densité de fracturation est relativement plus élevée dans les formations carbonatées turoniennes constituant le cœur du pli anticlinal du djebel Zrega qui est situé en Tunisie. Elle devient moins dense dans les formations également carbonatées du Maestrichtien situées le long de la frontière algéro-tunisienne puis devient relativement faible dans les formations moins compétentes du Paléocène moyen, situées au NE du monticule de Bled el Hadba pour enfin devenir presque nulle dans la série phosphatée de Bled el Hadba. Cette évolution est également remarquable selon les directions des principales failles cartographiées. Dans les formations carbonatées du Turonien du cœur de l'anticlinal c'est la direction NE-SW qui domine alors que dans les formations maestrichtiennes c'est plutôt la direction sensiblement E-W qui domine. Plus à l'Ouest, dans les formations du Paléocène moyen on retrouve la direction NE-SW qui devient Prédominante. Dans les formations phosphatées de Bled el Hadba, très peu de failles ont été cartographiées. Ce manque de fracturation a d'ailleurs été confirmé par les travaux de cartographie au 10 000^e réalisés par les géologues de l'ORGM (2015) qui n'ont mis en évidence que quelques failles de direction NE-SW, E-W et NW-SE et qui ne semblent montrer aucun rejet horizontal (Fig.III.4).

III.3.4- Conclusion

Les différentes couches phosphatées du gisement de Bled el Hadba font partie d'une série sédimentaire constituée de roches peu compétentes caractérisées par une très faible densité de fracturation. Cette série a été plissée durant la phase atlasique éocène en un pli anticlinal de direction NE-SW représenté par djebel Zrega et dont le monticule de Bled el Hadba n'est que la fermeture péri-anticlinale SW.

Chapitre IV

Caractérisation des minerais phosphatés

IV-Caractérisation des minerais phosphatés

IV.1- Méthodologie

L'obtention des résultats contenus dans le présent mémoire a nécessité des travaux sur terrain ayant permis la collecte d'échantillons de roches de minerais phosphatés et de roches carbonatées encaissantes. Ces échantillons ont été acheminés au laboratoire où ils ont subi divers traitements.

IV.1.1- Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont consisté essentiellement en la réalisation d'une coupe orientée NW-SE recoupant les différentes formations géologiques qui affleurent à Bled el Hadba et qui ont fait l'objet du prélèvement de dix échantillons représentatifs de ces formations. Etant donnée l'orientation sensiblement N-S de la surface d'affleurement de la principale couche de minerai phosphaté, d'autres échantillons ont été également prélevés selon cette orientation dans l'objectif de suivre les variations latérales des différentes caractéristiques étudiées.

IV.1.2- Travaux de laboratoire

Les travaux de laboratoire ont consisté essentiellement en la description macroscopique des échantillons prélevés, la confection des lames minces et leur description microscopique et l'analyse granulométrique par tamisage des échantillons de minerais phosphatés.

La confection des lames minces a nécessité d'abord la découpe des échantillons sous forme de « talons » ou « sucres » et leur polissage dans l'atelier des lames minces du laboratoire de recherche en génie géologique (LGG) de l'université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel. Ces « talons » ont ensuite été collés et rectifiés au sein de l'atelier des lames minces du département de géologie de l'université Badji Mokhtar d'Annaba.

L'examen microscopique des lames minces des différents échantillons a été fait en utilisant des microscopes optiques de type Zeiss aussi bien au laboratoire de pétrographie du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel qu'au LGG.

L'analyse granulométrique des échantillons de minerai phosphaté a été effectuée sur les échantillons meubles ainsi que sur ceux qui ont pu être rendus meubles en les faisant séjourner dans de l'eau distillée pendant une période allant de 24 à 36 heures. Ces échantillons humides ont ensuite été séchés dans une étuve à une température de 80 °C. Les échantillons arénésés ainsi obtenus ont été placés dans un diviseur échantillonneur jusqu'à l'obtention d'un échantillon de 200 grammes qui a fait l'objet de l'opération de tamisage à sec au laboratoire de géomatériaux du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université Mohamed .Pour cette opération nous avons utilisé une tamiseuse électrique à vibration horizontale et verticale. Chaque échantillon a subi un tamisage pendant 15 mn sur une colonne constituée de 16 tamis de la série A.F.N.O.R dont les mailles en micromètre sont : 2000, 1600, 1250, 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 250, 200, 160, 125, 100, 80, 63

et un fond pour recevoir les passants du dernier tamis. Les refus récoltés sur chaque tamis ont été pesés sur une balance dont la précision est de 0.01 gr (Fig.IV.1).



Fig.IV.1- Equipements utilisés dans l'opération de tamisage des échantillons phosphatés.

Dans l'objectif de déterminer les pourcentages relatifs des principaux constituants granulaires (pellets, coprolithes, bioclastes, dents de poissons, os et fragments osseux, quartz, carbonates, glauconites...) des différentes fractions retenues dans les dix-sept tamis, un comptage sous loupe binoculaire a été réalisé.

Les résultats de l'opération de tamisage sont consignés dans un tableau et les données ont été traitées pour la réalisation des histogrammes des fréquences qui ont été utilisés pour comparer les granulométries des différents échantillons. Ces données ont également été utilisées pour le traçage des courbes cumulatives à partir desquelles ont été extraits les données nécessaires pour le calcul des indices granulométriques. Pour le calcul de ces derniers, nous avons utilisé la méthode de Folk et Ward (1957) qui définit les quatre paramètres ou indices les plus utilisés dans la caractérisation granulométrique des sédiments meubles comme suit :Le grain moyen ou « Graphic Mean » (M_z) est un paramètre qui donne une idée générale sur la texture de l'échantillon, il est donné par la relation.

$$M_z = [\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}] / 3$$

où Φ_{16} , Φ_{50} et Φ_{84} sont extraits de la courbe cumulative et correspondent aux refus cumulés inférieurs respectivement à 16, 50 et 84 % du poids de l'échantillon.

-Le classement ou « Inclusive Graphic Standard Deviation » (σ_i) est un paramètre qui donne des informations sur le tri ou le classement de l'échantillon en présentant une estimation de la dispersion des tailles des grains par rapport à la moyenne de l'échantillon. Il est donné par la relation :

$$\sigma_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

En fonction des valeurs obtenues, le classement de l'échantillon est interprété en faisant référence à la terminologie définie par Folk et Ward (1957) donnée dans le tableau IV.1

Intervalle des valeurs	Interprétation
$0 < \sigma_i < 0,35$	Très bien classé
$0,35 < \sigma_i < 0,50$	Bien classé
$0,50 < \sigma_i < 0,71$	Assez bien classé
$0,71 < \sigma_i < 1$	Moyennement classé
$1 < \sigma_i < 2$	Médiocrement classé
$2 < \sigma_i < 4$	Très mal classé

Tab.IV.1- Intervalles des valeurs de l'« Inclusive Graphic Standard Déviation » (σ_i) et leur interprétation selon la terminologie définie par Folk et Ward (1957).

- L'« Inclusive Graphic Skewness » (SK_i) est calculé par la relation suivante :

Ce paramètre donne des informations sur l'enrichissement en particules grossières (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines mal triées (asymétrie positive), ou s'il y a symétrie de la distribution granulométrique de l'échantillon. L'interprétation des résultats obtenus est faite en faisant référence aux intervalles définis par Folk et Ward (1957) mentionnés dans le tableau IV.2.

Intervalles des valeurs	Interprétation
$+ 1,00 > SK_i > + 0,30$	Forte asymétrie vers les petites tailles
$+ 0,30 > SK_i > + 0,10$	Asymétrie vers les petites tailles
$+ 0,10 > SK_i > - 0,10$	Symétrie granulométrique de l'échantillon
$- 0,10 > SK_i > - 0,30$	Asymétrie vers les grandes tailles
$- 0,30 > SK_i > - 1,00$	Asymétrie vers les grandes tailles

Tab.IV.2- Terminologie de l'« Inclusive Graphic Skewness » (SK_i) définie par Folk et Ward (1957)

Le « Kurtosis » (KG) est l'indice d'acuité du mode, il mesure l'angulosité de la courbe des fréquences, c'est à dire le degré de concentration ou au contraire de dispersion du mode Plus la valeur du kurtosis est élevée et plus la taille des grains du sédiment est homogène. Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreintes, la distribution est dite leptocurtique, s'il est dispersé elle est dite platycurtique. L'interprétation des valeurs du « Kurtosis » est faite en référence aux intervalles définis par Folk et Ward (1957) (Tab.IV.3).

$$KG = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Intervalles des valeurs	Interprétation
+ 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 grandes tailles
- 0,30 > SKi > - 1,00	Asymétrie vers les grandes tailles

Tab.IV.2- Terminologie de l'« Inclusive Graphic Skewness » (Ski) définie par Folk et Ward (1957)

IV.2- Morphologie et répartition spatio-temporelle des corps de minerai phosphaté

IV.2.1- Morphologie et répartition spatiale des corps de minerai phosphaté

Les travaux de cartographie effectués par les géologues de l'Entreprise de Recherche et d'Exploitation Minière (EREM, 1987, in ORGM 2015) ont mis en évidence cinq (05) affleurements de minerai phosphaté orientés sensiblement N-S et de moins en moins étendus en se dirigeant du SW vers le NE. Celui du SW, le plus important sur le plan dimensionnel, constitue le monticule de Bled el Hadba, il fait objet du présent mémoire (Fig.III.4). L'ensemble de ces affleurements est attribué au Thanétien. Les caractéristiques dimensionnelles de ces affleurements sont résumées dans le tableau IV.4.

Affleurement	Longueur approximative (en mètre)	Largeur approximative maximale (en mètre)
1	1428,5	192,2
2	825,5	183,3
3	135,4	51,2
4	163,8	52,4
5	95,6	38,7

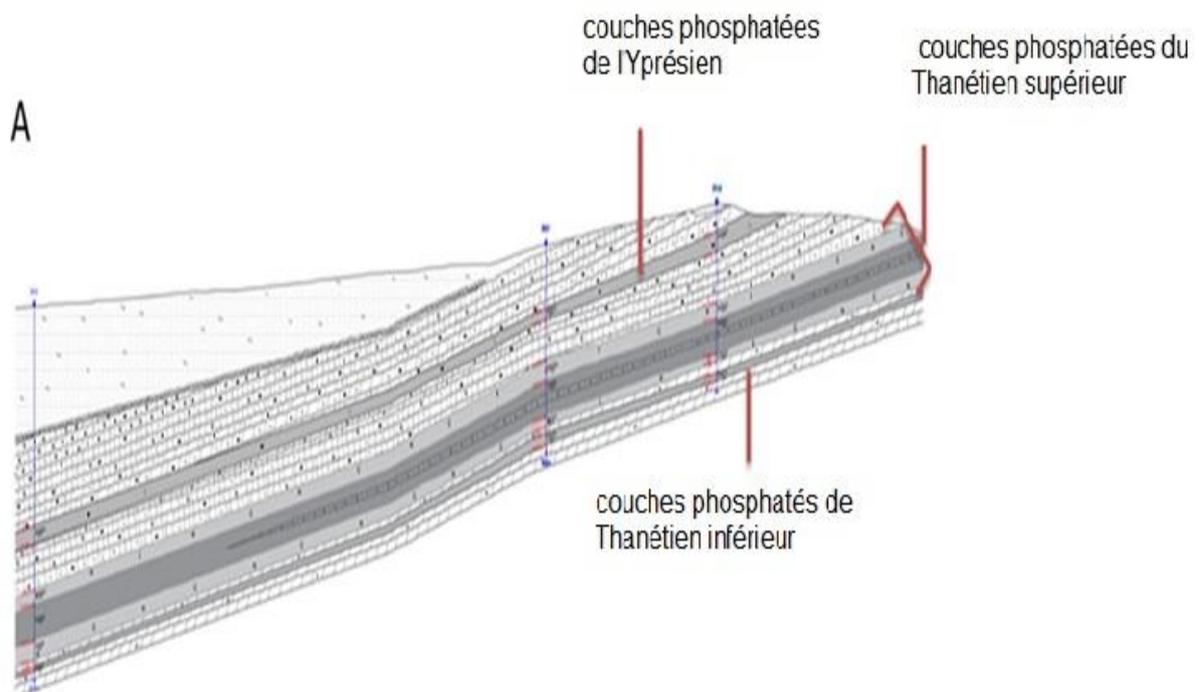
Tab.IV.4- Dimensions des affleurements de minerai phosphaté du gisement de Bled el Hadba.

L'actualisation de la cartographie géologique du monticule de Bled el Hadba par les géologues de l'Office de Recherche Géologique et Minière (ORGM, 2015) de la zone où est situé l'affleurement méridional, a permis de mettre en évidence un nouvel affleurement de minerai phosphaté situé dans une position stratigraphique plus élevée et présentant une forme arquée épousant celle de l'affleurement méridional (Fig.III.4). Ce corps de minerai phosphaté yprésien s'étend du Nord vers le Sud sur une longueur d'environ 2 km alors que sa largeur est d'environ 60 m dans la partie nord et de seulement une quinzaine de mètres dans la partie sud (Fig.III.4).

V.2.2- Morphologie et répartition temporelle des corps de minerai phosphaté

La morphologie et la répartition des différentes couches de phosphates du gisement de Bled el Hadba sont relativement bien connues grâce aux sondages réalisés par les différentes campagnes de prospection et d'exploration (SONAREM, 1978 ; EREM, 1987 ; CERAD- FERPHOS, 1990 ; in ORGM, 2015). Les différentes couches de minerai phosphatées recoupées par les sondages peuvent être regroupées en trois niveaux stratigraphiques :

- i) les couches phosphatées du Thanétien inférieur
- ii) les couches phosphatées du Thanétien supérieur
- iii) les couches phosphatées de l'Yprésien



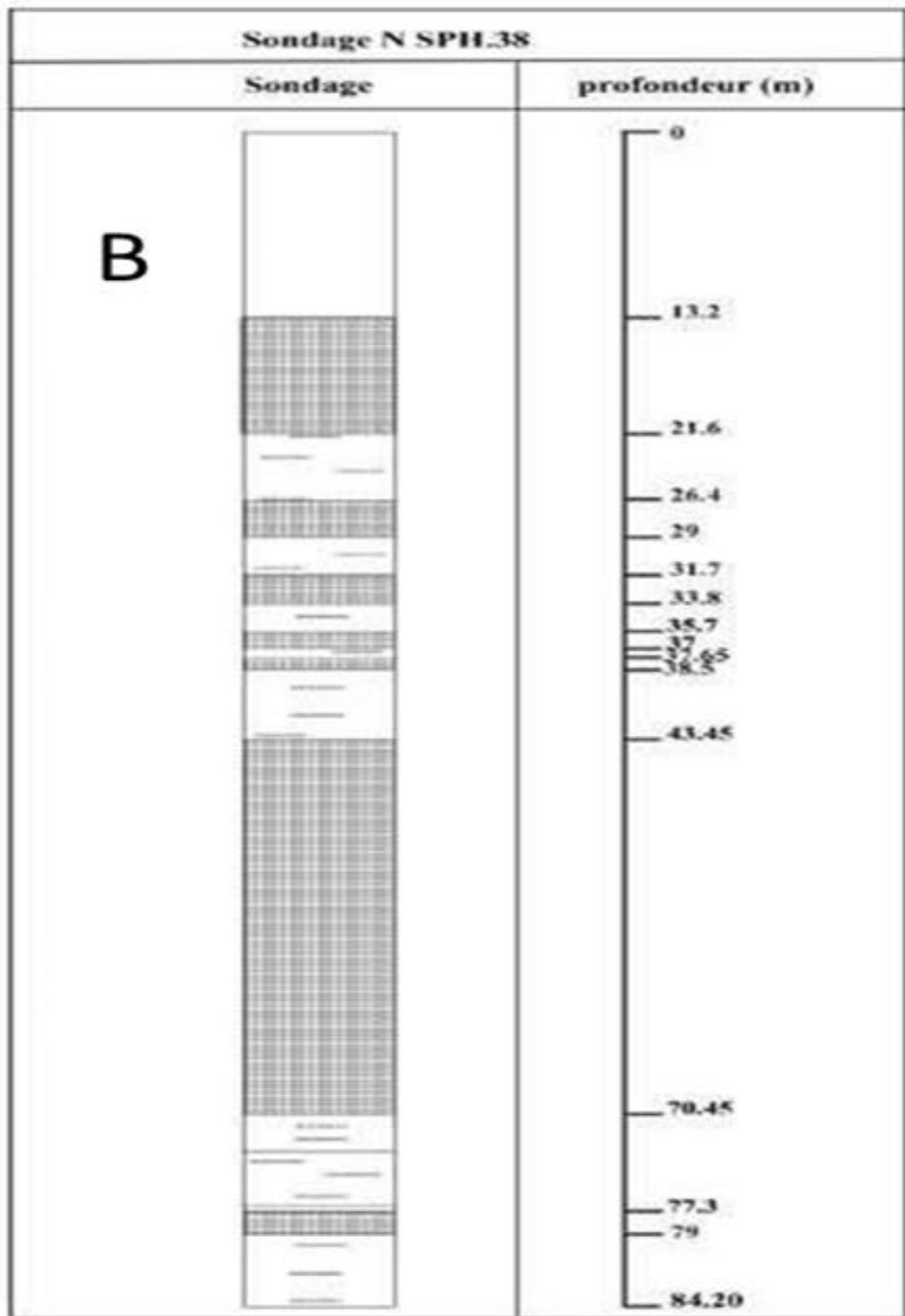


Fig.IV.2- Morphologie et dimensions des couches de phosphates en coupe et en sondage.

A- Coupe à travers le gisement de Bled el Hadba (d'après ORGM, 2015) montrant les différentes couches de minerai phosphaté. ; B- Epaisseurs des différentes couches de phosphates dans le sondage SPH.38 (sondage d'après ORGM, 2015).

En raison des épaisseurs des couches de minerai recoupées par les sondages et des caractéristiques pétrographiques et géochimiques (teneurs en P₂O₅ notamment) des minerais,

le faisceau phosphaté du Thanétien supérieur est considéré comme le plus important et le plus producteur. Il a été subdivisé en trois sous-couches dont la dénomination a été calquée sur celle utilisée dans le gisement de djebel Onk (Kechiched, 2011 ; ORGM, 2015) :

i) Une couche sommitale dont l'épaisseur varie de 2,30 m à 18,00 m. Selon les données de sondages cette couche sommitale est totalement érodée dans la partie NW du gisement (ORGM, 2015).

ii) Une couche médiane dite aussi principale, cette couche est la plus importante en puissance, qui atteint 29,75 m dans le sondage (SPH-18) et en qualité de minerai avec des teneurs, qui dépassent les 27% en P₂O₅ avec des teneurs en MgO inférieures à 4%, dans les sondages SPH-22 et SPH-29. Selon les données de l'ORGM (2015), l'épaisseur de cette couche est très importante vers l'ouest du bassin et elle est caractérisée par des phosphates de qualité supérieure dans tout le gisement.

iii) Une couche basale dont la puissance est variable, elle oscille entre 2,40 m (SPH-40) et 18,00 m (S52K) (ORGM, 2015).

La compilation des données des sondages a permis à R. Kechiched (2011) de bien illustrer les dimensions et les variations des épaisseurs des différentes couches en réalisant des coupes géologiques (Fig.IV.3) et en traçant des cartes isohypses et isopaques des différentes sous-couches du Thanétien supérieur ainsi que celles de l'ensemble du faisceau phosphaté du Thanétien supérieur (Fig.IV.4). Ces illustrations montrent bien les variations des épaisseurs des différentes sous-couches faisant apparaître des biseautages au sein des trois sous-couches et qui sont loin d'être parfaitement expliqués.

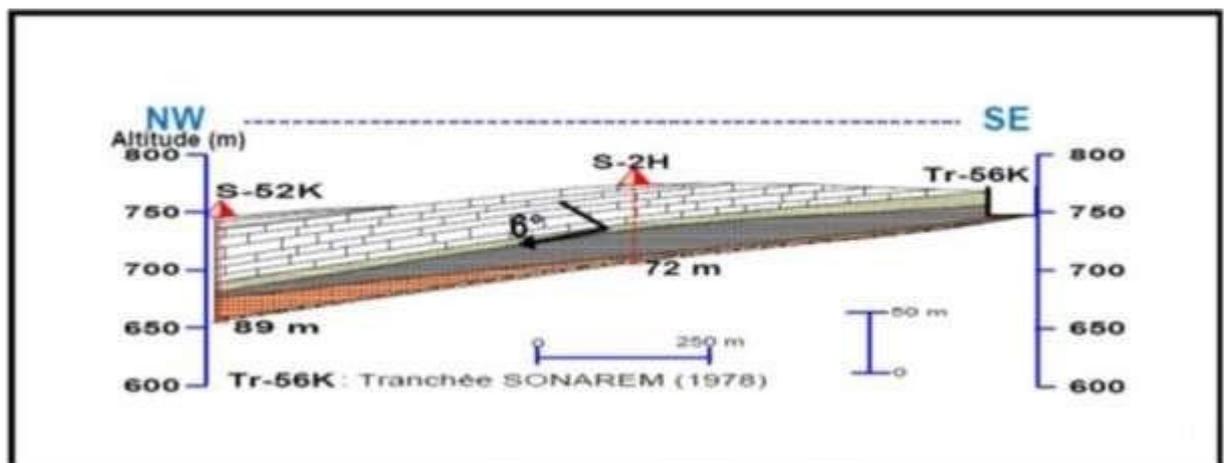


Fig.IV.3- Coupe montrant la morphologie des couches de phosphate du gisement de Bled el Hadba (d'après Kechiched, 2011).

L'épaisseur moyenne du faisceau phosphaté est de l'ordre de 30m. Cependant, on remarque que cette épaisseur augmente particulièrement vers l'Ouest et le Nord-Ouest où on note des épaisseurs

dépassant légèrement les 40 m. Rappelons que cette zone correspond au replis synclinal de la structure anticlinale du djebel Zrega dont le monticule de Bled el Hadba représente la fermeture péri-anticlinale. Cet épaissement du faisceau phosphaté est également remarquable vers le Sud-Ouest du gisement. Par contre son épaisseur est relativement réduite au Nord de l’affleurement méridional ainsi que dans le secteur situé au NW de l’affleurement le plus septentrional où elle est inférieure à 30 m (Fig.IV.4).

La logique de ces variations est loin d’être parfaitement comprise pour pouvoir avancer des explications qui rendraient compte de ces variations d’épaisseur. Cependant, on remarque à travers les différents sondages que des niveaux variables de l’assise yprésienne et même parfois paléocène sont directement recouverts par les formations détritiques continentales du Miocène. Les formations yprésiennes et paléocènes ont donc été plissées et érodées jusqu’à un niveau faisant même disparaître les couches phosphatées yprésiennes et mêmes paléocènes. Une explication d’ordre paléogéographique peut cependant être également envisagée mais nécessitant davantage de données sédimentologiques permettant d’obtenir une image de la paléogéographie de la période de phosphatogenèse.

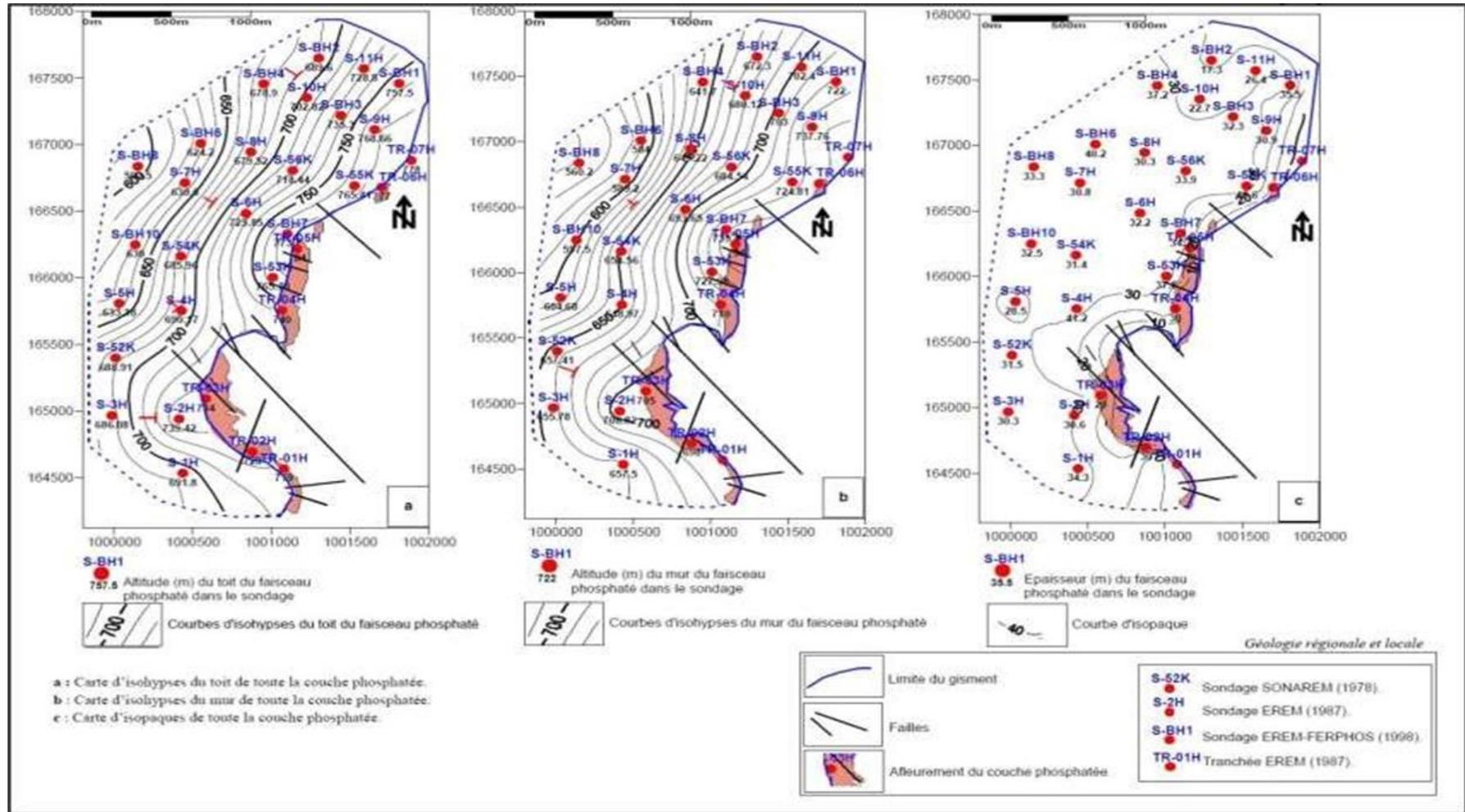


Fig.IV.4- Cartes isohypses du toit (a) et du mur (b) et isopaches (c) montrant la morphologie du faisceau phosphaté du gisement de Bled El Hadba (d'après Kechiched, 2011)

IV.3- Pétrographie des minerais phosphatés

IV.3.1- Aspects macroscopiques des minerais phosphatés

Le minerai phosphaté de Bled el Hadba se présente à l'échelle de l'affleurement aussi bien sous forme compacte et consolidée que sous forme meuble et montre souvent des couleurs variant d'un endroit à l'autre en passant de la couleur beige et marron claire à marron foncé et gris foncé (Pl.IV.1, photo a). Les minerais compacts sont ceux dont les constituants granulaires sont généralement sertis par un ciment carbonaté alors que ceux qui sont tendres ou plus ou moins friables sont ceux dont les grains sont sertis par une matrice argileuse. La taille des particules varie également du fin au grossier. Les minerais grossiers permettent d'identifier à l'œil nu certains constituant tels les coprolithes, les pellets, les dents de poisson, la glauconite. L'examen sous loupe binoculaire des différentes fractions obtenues par tamisage a permis d'identifier les principaux composants granulaires des minerais phosphatés. Les minerais de Bled el Hadba sont ainsi composés par les constituants habituels des phosphates sédimentaires qu'on peut regrouper en trois catégories :

i).les constituants granulaires d'origine biogène comme les coprolithes, les pellets, les dents de poisson, les bioclastes, les débris osseux...

ii).les constituants granulaires d'origine minérale comme le quartz, les carbonates, le gypse, la glauconite et plus rarement les sulfures ;

iii).la phase de liaison qui peut être représentée soit par un ciment carbonaté ou une matrice argileuse ou une combinaison des deux avec des proportions variables.

IV.3.1.1- Les composants granulaires d'origine biogène

*Les coprolithes : ce sont des particules phosphatées les plus grossières avec une taille allant de 400 μm à quelques millimètres. Elles présentent souvent des formes allongées caractéristiques de leur origine fécale (Pl.IV.1, photo e).

*Les pellets : ce sont des particules également d'origine fécale se présentant sous forme de grains de forme ovoïde rarement allongée avec une taille inférieure à 2 mm (Pl.IV.1, photo f).

*Les bioclastes : sont particulièrement représentés par des tests des microorganismes commel es débris de Lamellibranche, les fragments osseux et les dents de poissons. Les bioclastes sont des particules beaucoup moins fréquentes que les coprolithes et les pellets et présentent des formes variables allant des formes quelconques pour les débris des Lamellibranches aux formes plus ou moins allongées ou oblongues de dimensions allant jusqu'à 1 cm pour les débris osseux et les dents de poisson.

Planche IV.1- Aspects à l'affleurement et sous loupe binoculaire des minerais phosphatés

Photo (a)- Aspect à l'affleurement du minerai phosphaté.

Photo (b)- Ancien carrière de phosphate

Photo (c)- Principaux constituants du minerai phosphaté sous la loupe binoculaire

Photo (d)-Grains composite sous la loupe binoculaire

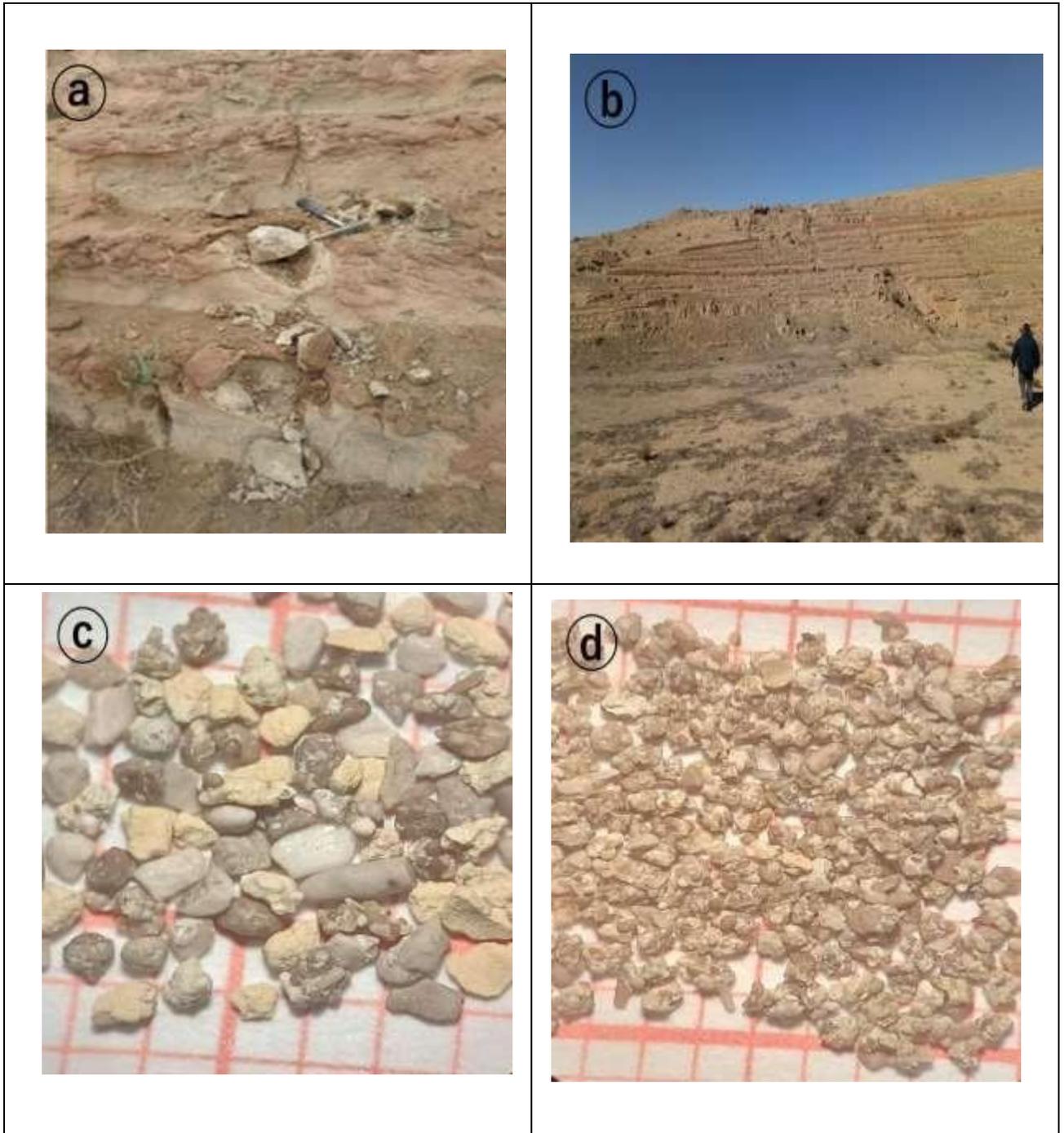


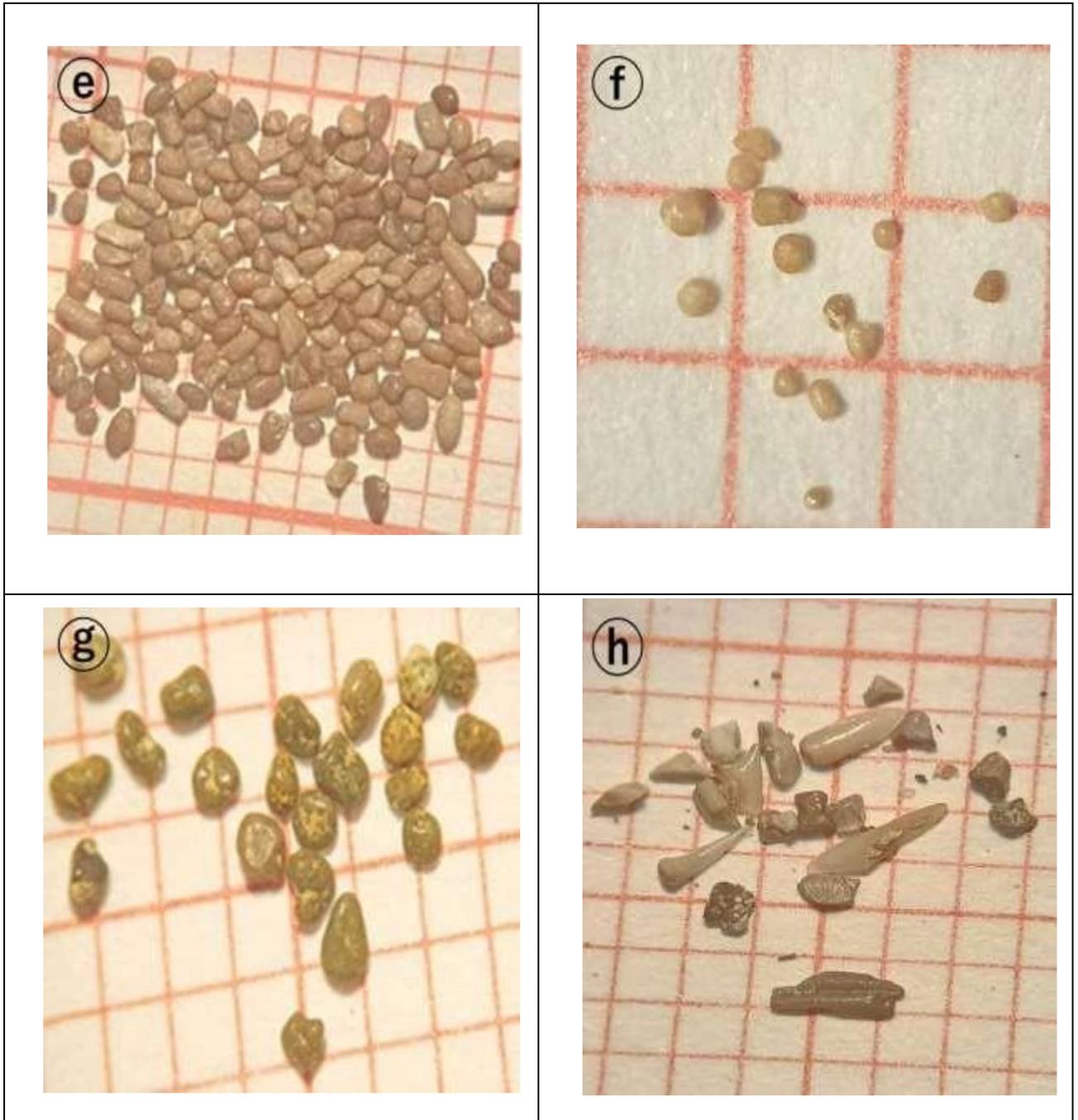
Planche IV 2. Principaux constituants des minerais phosphatés sous loupe binoculaire

Photo (e)- Coprolithe sous la loupe binoculaire

Photo (f)- Pellets sous la loupe binoculaire

Photo (g)- Glauconite sous la loupe binoculaire

Photo (h)- Débris de fossile sous la loupe binoculaire



IV.3.1.2- Les composants granulaires d'origine minérale

* Le quartz : Dans le minerai de Bled El Hadba, le quartz se présente sous forme de grains de plus de 200 µm. Il est essentiellement anguleux et semi anguleux. Ils se trouvent généralement agglutiner par une masse de ciment dolomitique.

* La glauconite : La glauconie est répandue dans le minerai de Bled El Hadba. Elle est de couleur verdâtre à vert brunâtre. La taille est variable de quelque centaine de micromètre à 1 mm.

IV.3.1.3- La phase de liaison

Lors de l'opération de tri sous loupe binoculaire nous avons constaté que les différentes classes granulaires sont constituées essentiellement par des grains composites. Ces derniers sont constitués par les différents constituants particuliers des phosphates sédimentaires et correspondent donc à des morceaux de minerai phosphaté qui n'ont pas été dissociés lors des opérations de mise en eau distillée et de séchage. Les différentes particules biogènes et minérales sont restées serties par une phase de liaison de couleur blanchâtre, probablement de nature carbonatée, dont la dissolution nécessiterait l'utilisation des acides au lieu de l'eau distillée.

IV.3.2- Aspects microscopiques des minerais phosphatés

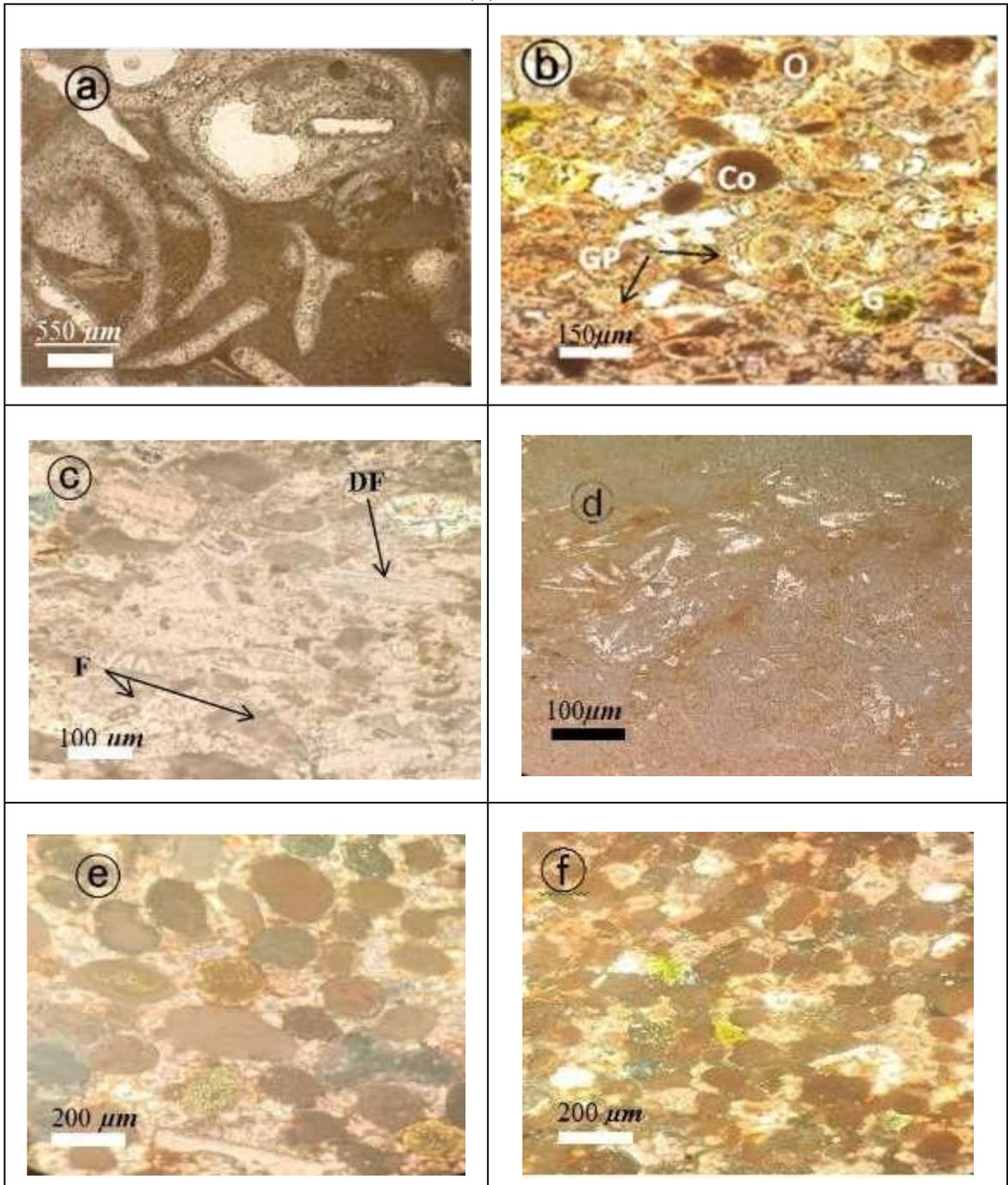
A partir de l'étude microscopique des lames minces confectionnées sur des échantillons de minerai phosphaté compacts il apparaît que le minerai de Bled el Hadba est très similaire à celui des gisements de djebel Onk. Les principaux constituants identifiés consistent en des grains d'origine biogénique comme les coprolithes, les pellets, les débris osseux et les bioclastes et des grains d'origine minérale comme la glauconite, le quartz, le gypse. L'ensemble de ces grains est serti par une phase de liaison représentée, dans les étudiants étudiés au microscope, par un ciment carbonaté (Pl.IV.3, photos b, e et f).

Les observations microscopiques que nous avons effectuées montrent aussi que les pellets sont caractérisées par des dimensions ne dépassant pas les 200 microns et des formes arrondies à sub-arrondies avec parfois une structure interne marquée par des couches concentriques donnant l'aspect d'oolithes. Les grains de pellets, dépourvus de cette structure interne, sont bien calibrés et montrent une constitution interne homogène montrant des couleurs sombres à noires faisant penser à une relative concentration en matière organique.

Les coprolithes des minerais phosphatés de Bled el Hadba montrent une taille moyenne d'environ 400 microns avec des formes allongées.

Planche IV.3- Aspects microscopiques des minerais phosphatés et de l'encaissant**Photo (a)-** Calcaire lumachellique**Photo (b)-** Vue au microscope sur le principal constituant du minerai phosphaté.**Photo (c)-** Calcaire biosparitique de texture grainstone.**Photo (d)-** Calcaire biomicritique de texture wackestone.**Photo (e)- Photo (f)-** Vue au microscope sur les principaux grains phosphatés sertis par un ciment carbonaté.

(Co) : Coprolithe ; (O) : Oolite ; (Gp) : Grains de phosphate ; (DF) : Débris de fossile ; (G) : Glauconite ; (F) : Fossile



IV.4- Granulométrie des minerais phosphatés

Dans l'objectif de suivre l'évolution éventuelle de la granulométrie du minerai phosphaté dans la direction de l'allongement de l'affleurement méridional (Fig.IV.5), nous avons prélevé six (06) échantillons qui ont subi les traitements de mise en eau distillée et de séchage dans l'étuve décrits plus haut. Seuls cinq échantillons ont subi l'opération de tamisage. Les données obtenues ont été traitées et illustrées sous forme de diagrammes des fréquences (Fig.IV.6) et de courbes cumulatives (Fig.IV.7).

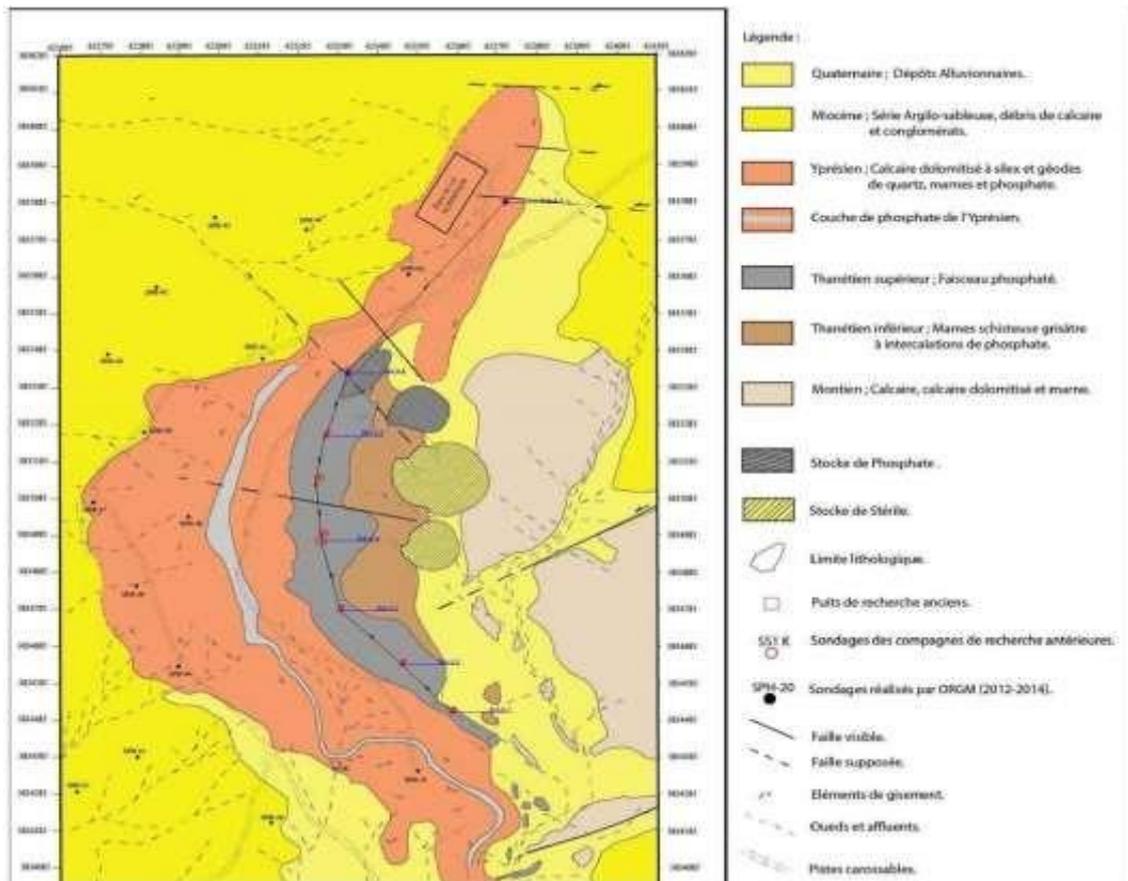
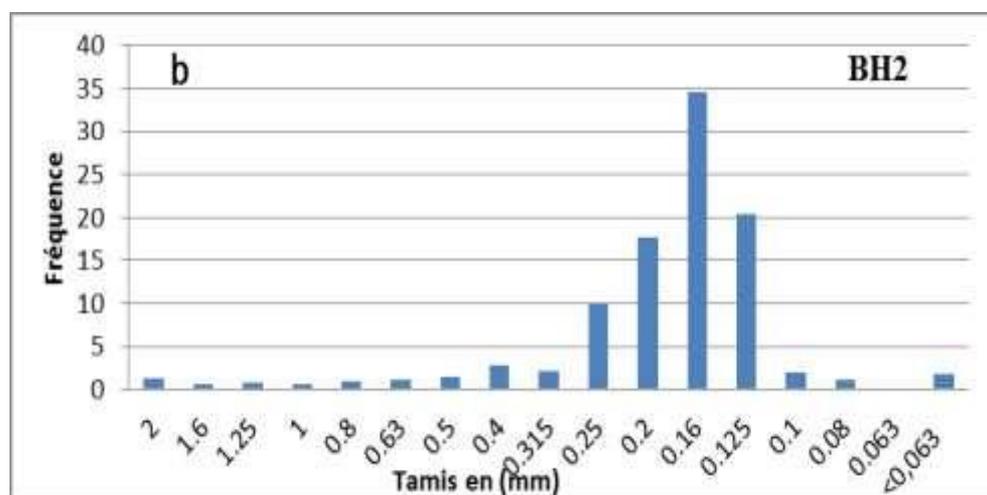
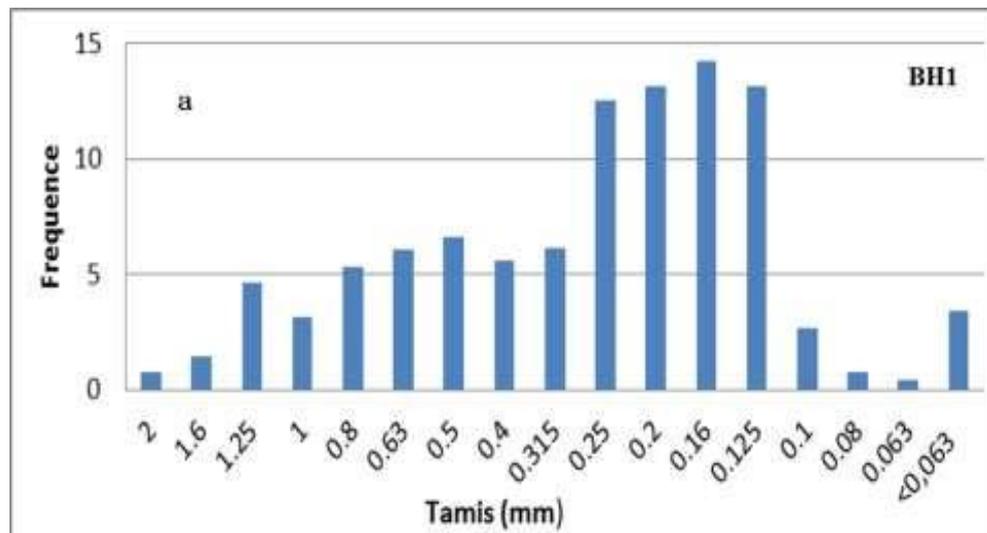


Fig.IV.5- Carte géologique montrant la localisation des échantillons ayant subi l'analyse granulométrique

IV.4.1- Analyse des histogrammes de fréquences

L'analyse des histogrammes des fréquences des différents échantillons montre des distributions granulométriques globalement similaires avec de très légères différences (Fig.IV.6). Pour l'ensemble des échantillons, la fraction granulaire dominante est celle comprise entre 125 et 315 microns qui montre une distribution gaussienne et représentant plus de 76 % du poids de l'échantillon. La fraction restant (moins de 25 % du poids du sédiment phosphaté) est répartie sur les fractions inférieures à 125 microns et sur celles supérieures à 315 microns. Seul l'échantillon BH.1 se distingue légèrement des autres par sa relative richesse en particules plus ou moins grossières (> 315 microns) et par un contenu en éléments fins (<63 microns) légèrement supérieur à celui des autres échantillons (Fig.IV.6). Cette distribution granulométrique relativement homogène peut également être observée sur les courbes cumulatives (Fig.IV.7).



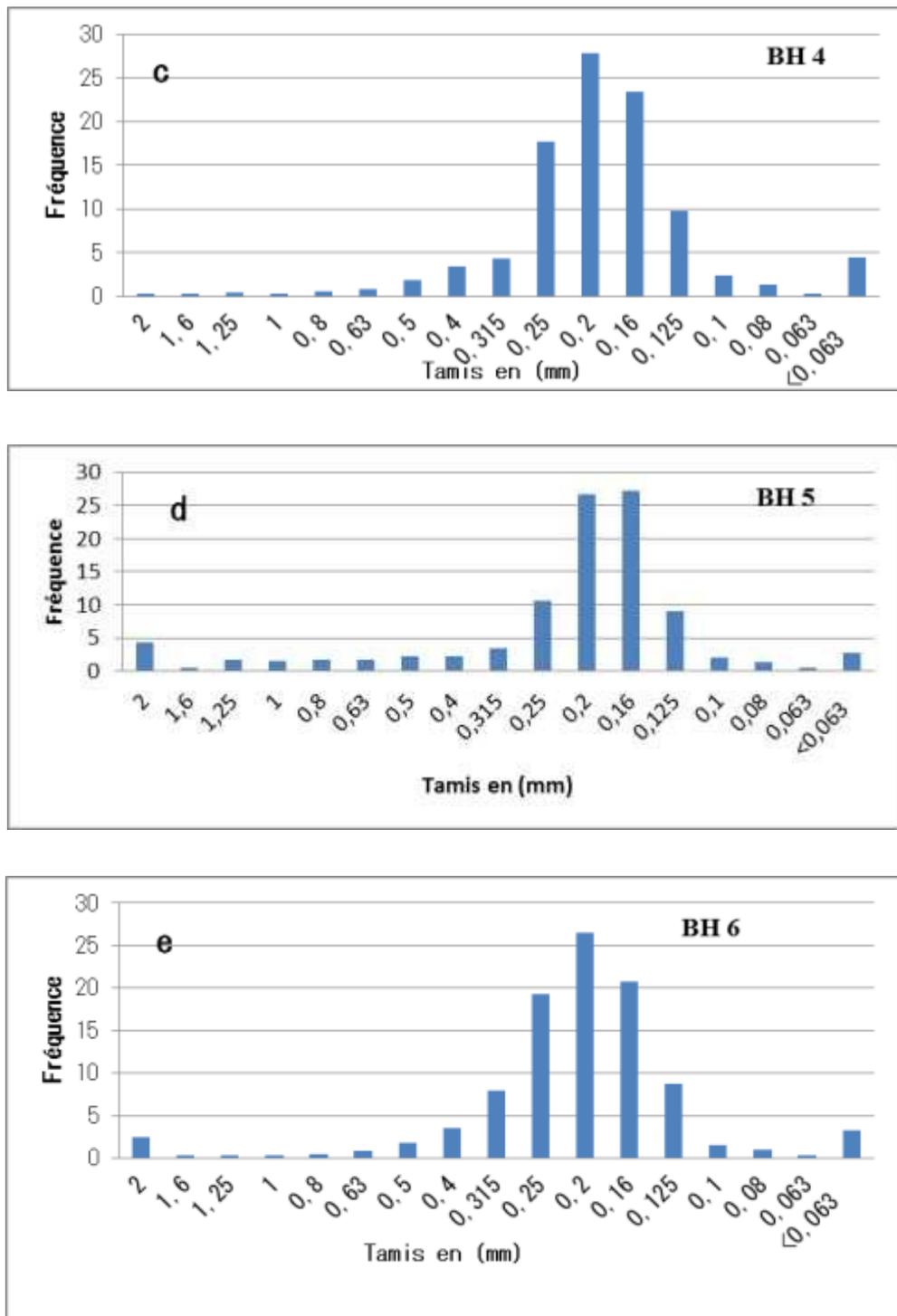


Fig.IV.6- Histogrammes des fréquences des différents échantillons phosphatés.

IV.4.2- Analyse des courbes cumulatives et des paramètres granulométriques

Les données des analyses granulométriques effectuées sur les cinq (05) échantillons de minerai phosphaté de l’affleurement méridional du gisement de Bled el Hadba nous ont permis de tracer les courbes cumulatives (Fig.IV.7). Ces courbes montrent des distributions granulométriques relativement serrées concentrées particulièrement dans l’intervalle compris entre 125 et 315 microns et que toutes les classes sont pourvues de sédiments phosphatés avec des proportions variables traduisant une distribution granulométrique continue. Ces différentes courbes sont relativement plus redressées dans l’intervalle des classes à granulométrie moyenne (125 à 315 microns) et beaucoup moins redressées dans les intervalles des classes à granulométrie grossière (> 350 microns) et fine (< 125 microns).

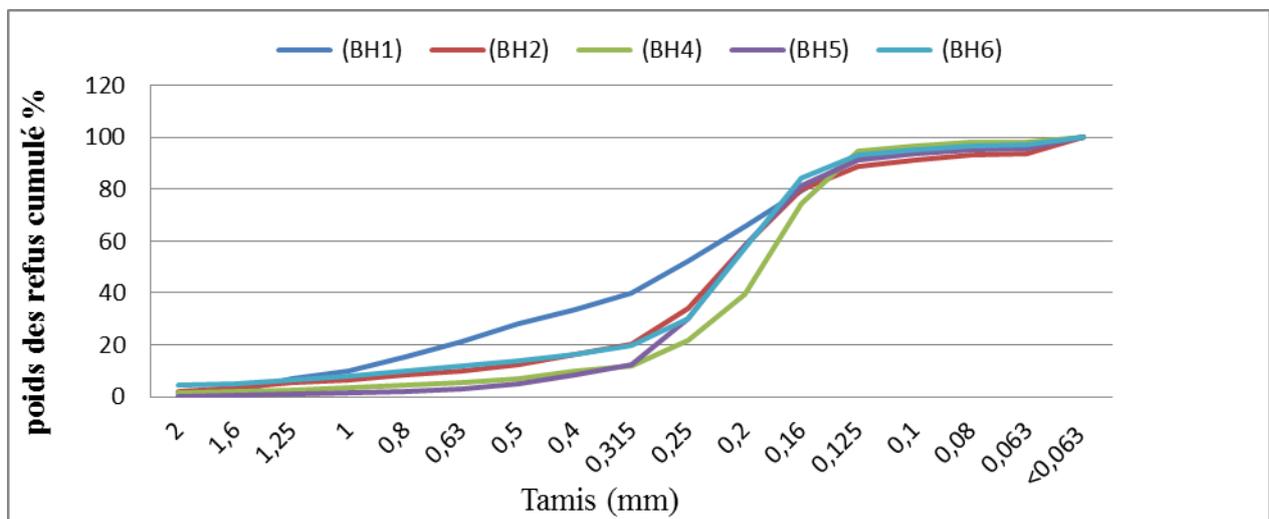


Fig.IV.7- Courbes cumulatives des échantillons phosphatés

C’est à partir de ces courbes cumulatives que nous avons extraits les paramètres phi (\emptyset) nécessaires pour le calcul des indices granulométriques selon la méthode de Folk et Ward (1957).

A la lecture des résultats obtenus il apparaît que les phosphates de l’affleurement méridional du gisement de Bled el Hadba sont caractérisés par des valeurs de « Mz » (grain moyen) comprises entre 1,36 \emptyset (0,39 mm) et 2,23 \emptyset (0,21 mm). Ces valeurs traduisent, selon l’échelle de Wentworth (1922), une granulométrie principalement représentée par des sables fins à moyens (Fig.IV.8).

Phi	Grade		Mm	Microns
-8	Boulder	G		
-8	Cobble	R	256	256,000
-6	Pebble	A	64	64,000
-2	Granule	V	4	4,000
-1	Very Coarse	E	2	2,000
0	Coarse	L	1	1,000
1	Medium	S	0,50	500
2	Fine	A	0,25	250
3	Very Fine	N	0,125	125
4	Coarse	D	0,0625	62,5
5	Medium		0,0313	31,3
6	Fine	S	0,0156	15,6
7	Very Fine	I	0,0078	7,8
8	Clay	L	0,0039	3,9
		T		

Fig.IV.8- Nomenclature des sédiments détritiques selon une classification granulométrique en échelle millimétrique et ses correspondances en échelle des « phi » de Wentworth (1922).

Sur le plan compositionnel et à partir de ces données granulométriques nous avons remarqué que le composant le plus dominant est représenté par les grains composites. La fraction comprise entre 0.5 et 1,25 mm est principalement composée de grains composites, 96,73 % de l'ensemble des grains (Fig.IV.9).

BH1							
	Grains composite	Coprolithe	Pellet	Calcite	débris de fossiles	Glaucosite	Autres
2 mm	57,09%	4,78%	17,82%	2,80%	1,98%	1,32%	14,19%
1,6 mm	56,15%	34,90%	3,19%	1,09%	/	0,65%	4,06%
1,25 mm	66,03%	23,03%	8%	0,37%	/	/	2%
0,5mm	96,73%	2,58%	0,24%	0,14%	0,07%	0,104%	0,109%
0,4 mm	41,33%	14,48%	8,02%	34,64%	0,36%	0,65%	0,50%

Fig. IV.9- Les différentes composantes d'Echant BH1

Le pourcentage des grains composites est également le plus élevé dans l'échantillon BH.6. On remarque cependant que la fraction contenant le pourcentage le plus élevé est plutôt représentée par la fraction comprise entre 1,6 et 2 mm (Fig.IV.10).

BH6							
	Grains composite	Coprolithe	Pellet	Calcite	débris de fossiles	Glaucosite	Autres
2 mm	28,75%	22,06%	19,16%	14,86%	3,13%	5,11%	7,08%
1,6 mm	71,47%	13,7%	4,48%	6,58%	1,26%	1,00%	1,20%
1,25 mm	66,54%	15,10%	7,20%	7,77%	0,81%	1,70%	0,85%
0,5mm	43,59%	26,70%	10,80%	17,36%	0,27%	0,84%	0,40%
0,4 mm	45,68%	27,30%	15,86%	7,42%	0,37%	0,95%	2,39%

Fig.IV.10- Différents composants de l'échantillon BH6.

Les grains d'origine biogéniques comme les coprolithes et les pellets sont également relativement fréquents et que les coprolithes sont plus abondantes que les pellets et d'une façon générale les coprolithes sont plus fréquentes que les pellets dans l'échantillon BH.1 par rapport à l'échantillon BH.6 et inversement pour les pellets (Fig.IV.10).

Les proportions relatives des autres constituants (glaucosite, dents de fossile, calcite) sont approximativement similaires.

Selon la taille des grains nous avons remarqué que l'échantillon BH6 est composé essentiellement de grains composites dont les proportions varient en fonction de la maille granulométrique. Pour la classe granulaire > 2 mm, les grains composites sont moins dominants comparativement aux autres fractions. Pour la fraction comprise entre 1.6 et 2 mm les proportions des grains composites sont les plus élevées (71.47 %) dans l'échantillon BH.6.

IV.5- Géochimie des minerais phosphatés

IV.5.1-Introduction

Pour des fins de caractérisation de la qualité chimique des minerais phosphatés du gisement de Bled el Hadba, nous avons utilisé les données relatives aux teneurs en P_2O_5 et MgO mentionnées dans le sondage SPH.38 ainsi que la carte d'isoteneurs de MgO de la couche principale telle qu'elle a été établie par l'ORGM (2015).

Rappelons que sur la base de la composition chimique, notamment les teneurs en P_2O_5 et MgO , et la constitution pétrographique, le faisceau phosphaté du Thanétien supérieur de Bled el Hadba a été subdivisé en trois couches (Kechiched, 2011, ORGM, 2015).

Une couche basale dont l'épaisseur varie de 2.40 à 18 m ; caractérisée par des teneurs en P_2O_5 comprises entre 17.8 % et 23% ; le MgO titre une teneur élevée supérieur à 5 %. La teneur moyen en SiO_2 varie de 1.85 % à 3.35 %.

Une couche médiane (Principale) définie par des teneurs en P_2O_5 élevées et basses en MgO ($P_2O_5 > 20\%$; $MgO < 4.5\%$) Le rapport CaO/P_2O_5 est le plus bas par rapport aux autres roches de phosphate généralement stable et varie de 1.77 % à 1.96 %. La teneur moyenne en SiO_2 est relativement faible et varie de 1.85% à 5.06%.

Une couche sommitale qui montre des caractéristiques semblables à celles de la couche basale en l'occurrence des minerais pauvres en P_2O_5 et riches en MgO avec des rapports CaO/P_2O_5 très élevés et une teneur moyenne en SiO_2 variant entre 3.91 % et 8.20 %.

IV.5.2- Variations des caractéristiques géochimiques avec la profondeur

A partir de la figure IV.11, nous avons remarqué que les valeurs en P_2O_5 dans la couche sommitale sont relativement faibles, comprises entre 6.9 % et 18.6% alors que dans la couche principale les teneurs sont plus élevées (11.2 à 26.3 %). Dans la couche basale les valeurs sont faibles (17.8 à 23 %).

Les teneurs en MgO sont relativement élevées (1.77 à 13.37 %) dans pratiquement toutes les couches phosphatées recoupées par le sondage. Les valeurs des teneurs en CaO sont relativement élevées (25.37 % ; 43.71 %) dans toutes les couches de phosphates.

Par contre les valeurs des teneurs en Al_2O_3 sont presque similaires dans toutes les couches phosphatées alors que les valeurs des teneurs en FeO_3 varient de 0.18 à 1.41 %. La

couche principale est la plus importante, montre une valeur de P₂O₅ de l'ordre de 26 % (Fig.IV.11).

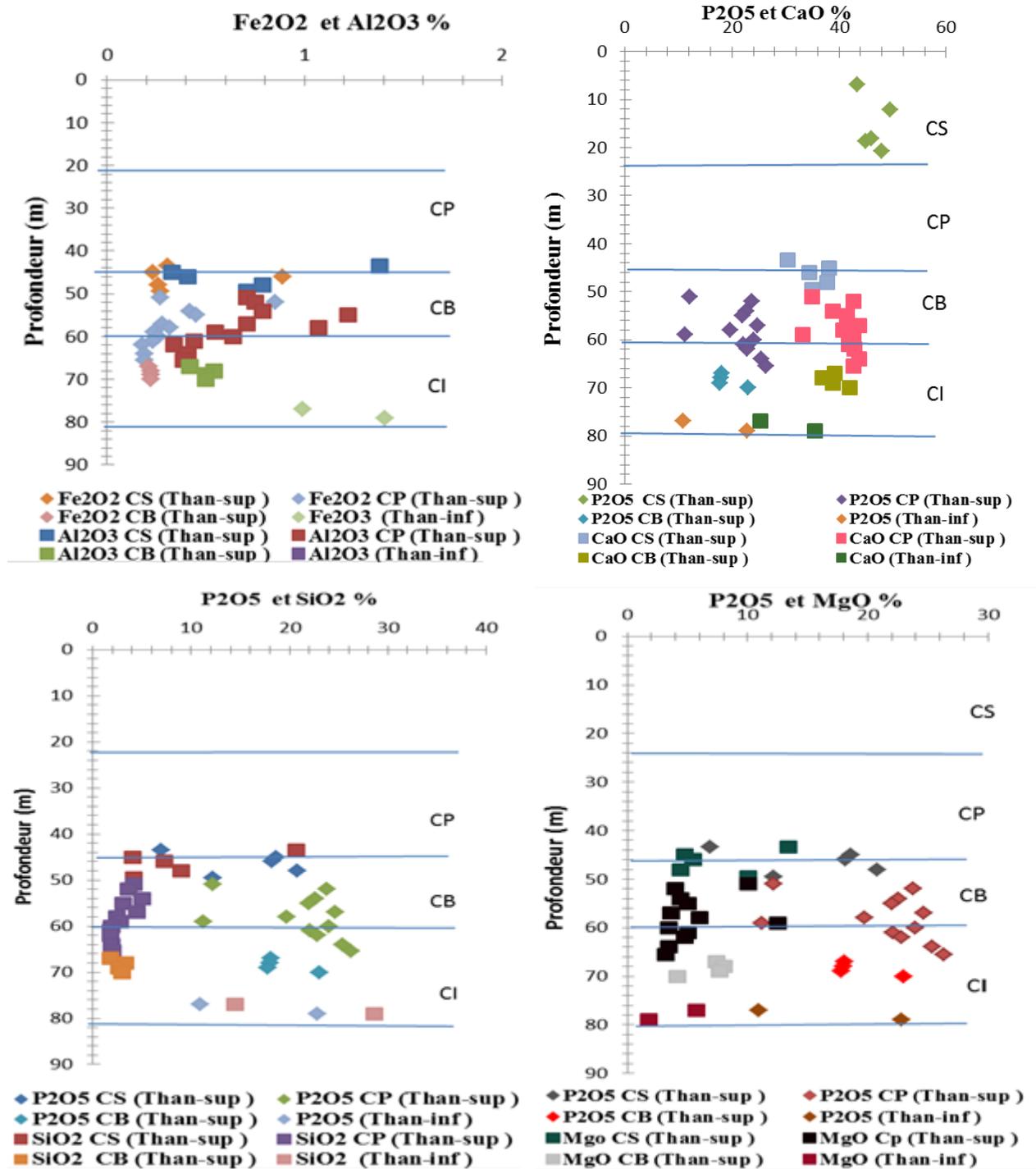


Fig.IV.11- Variations de quelques caractères géochimiques avec la profondeur

IV.5.3- Variations spatiales des caractéristiques géochimiques

A partir de la carte iso-teneur en MgO dans la couche médiane nous avons remarqué que la valeur de MgO varie de 1.5 % jusqu'à 5 %. Au Sud-Ouest de l'affleurement méridional (zone 1) les teneurs MgO sont relativement élevées dépassant parfois les valeurs tolérées, elles sont comprises entre 3,5 et 5,5 % dans la zone (Fig.IV.12). Il en est de même pour la zone 2, située à environ 2 kilomètres au SW de l'affleurement méridional, où les teneurs en MgO dépassent les valeurs tolérées et atteignent des teneurs de 5 %. C'est dans la région située au NW de l'affleurement méridional (zone 3) que les teneurs en MgO sont inférieures à 4 %, valeurs tolérées par la commercialisation de ces minerais phosphatée.

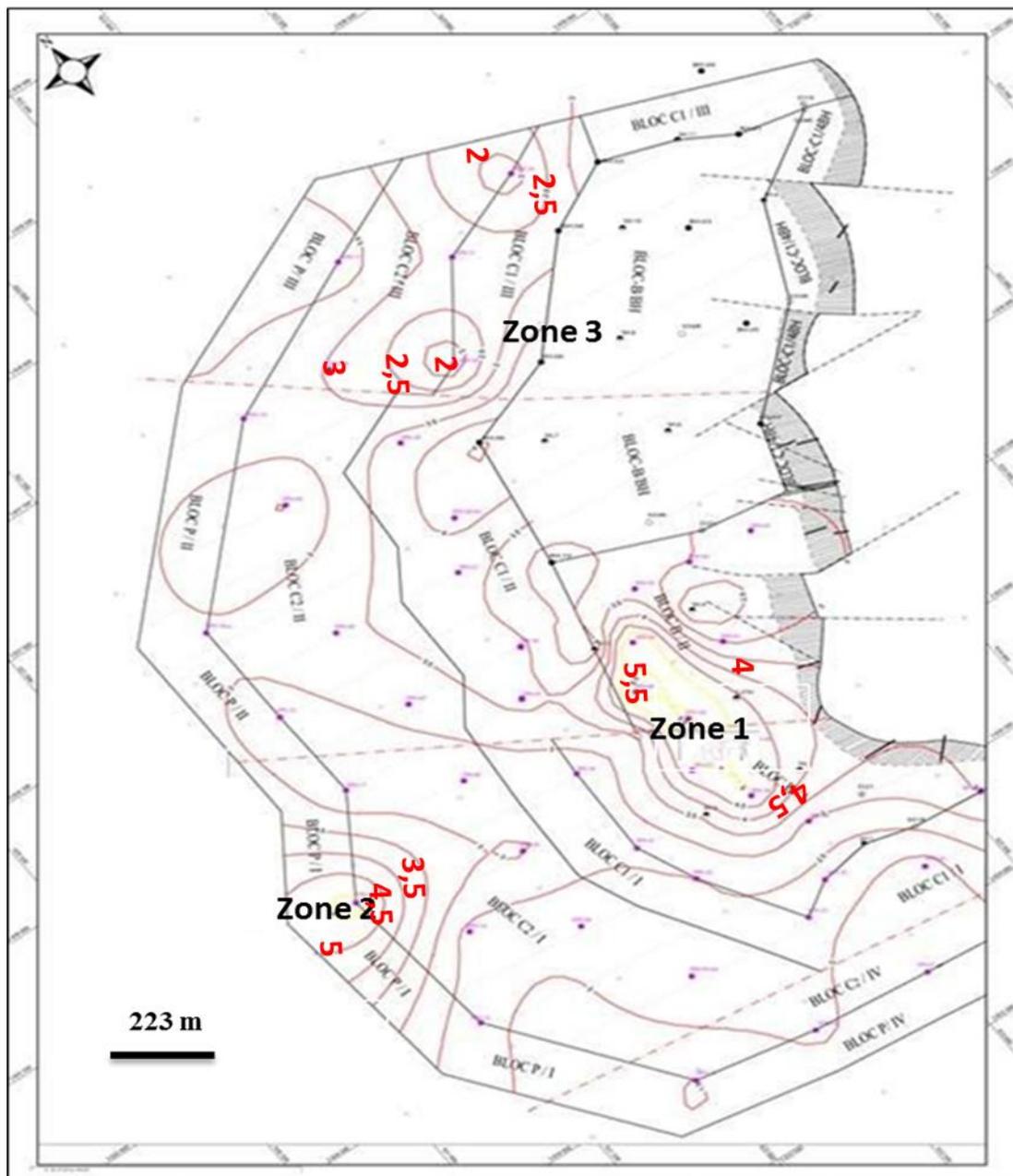


Fig.IV.12- Carte iso-teneur en MgO (couche médiane) (d'après ORGM, 2015).

Conclusion
Générale

Conclusion générale

Le gisement de phosphates de Bled el Hadba fait partie d'un ensemble de gisements situés de part d'autre de la frontière algéro-tunisienne et caractérisés par des contextes géologiques similaires. Du côté algérien, on dénombre, dans cette région située au Sud de la ville de Bir el Atter, au moins cinq sites pourvus de minerais phosphatés : Djebel Onk Nord, Djemi-Djema, Kef Es Sennoun, Bled el Hadba et Oued Betita. L'ensemble de ces sites se trouve dans un contexte géologique marqué par des formations dont la stratigraphie va du Crétacé au Quaternaire.

Dans le gisement de Bled el Hadba, les formations géologiques consistent en des marnes et calcaires du Montien, un faisceau de couches de minerai phosphaté séparées par de niveaux de marnes et de calcaires phosphatés dans le Thanétien et par des calcaires à silex de l'Yprésien contenant un horizon phosphaté.

Les minerais phosphatés se présentent sous forme de niveaux stratiformes d'épaisseur allant jusqu'à 30 m qui ont été subdivisées en :

- * un niveau inférieur métrique du Thanétien inférieur
- * un faisceau du Thanétien supérieur dont l'épaisseur peut aller jusqu'à 30 m subdivisé en trois couches : une couche basale, une couche médiane ou principale et une couche sommitale.
- * un niveau supérieur métrique intercalé dans les calcaires de l'Yprésien.

Le minerai phosphaté de Bled el Hadba est caractérisé par une texture granulaire dans laquelle les grains sont sertis par une phase de liaison de nature carbonatée donnant des minerais compacts ou de nature argileuse donnant des minerais plus ou moins meubles. Les principaux grains constitutifs de ces minerais sont représentés par grains d'origine biogénique comme les coprolithes, les pellets, les dents de poisson et autres débris osseux et bioclastes et des grains d'origine minérale authigènes ou détritiques comme la glauconite, le gypse, les carbonates et le quartz.

L'analyse granulométrique de ces minerais phosphatés de Bled el Hadba a montré qu'il s'agit de minerais caractérisés par une granulométrie homogène dominée par la fraction comprise entre 1,025 et 0,315 mm pour l'ensemble des échantillons répartis le long de l'affleurement méridional. Seul l'échantillon le plus méridional montre une relative richesse en grains plus grossiers (> 0,315 mm) et en fraction fine (< 0.063 mm). L'analyse des histogrammes des fréquences des différents échantillons montre, en effet des distributions granulométriques globalement similaires avec de très légères différences. Pour l'ensemble des échantillons, la fraction granulaire dominante est celle comprise entre 125 et 315 microns qui montre une distribution gaussienne et représentant plus de 76 % du poids de l'échantillon. La fraction restante représente moins de 25 % du poids du sédiment phosphaté.

L'opération de comptage des grains a montré que les grains composites sont les plus dominants avec un pourcentage de 96,73 % constituant la classe comprise entre 0,5 et 1,25 mm dans l'échantillon BH.1 et 71.47 % constituant la classe comprise entre 1,6 et 2 mm dans l'échantillon BH.6. Les coprolithes sont plus fréquents (34,90 %) dans la classe comprise entre 1,6 et 2 mm dans l'échantillon BH.6 et 26.7 % dans la classe comprise entre 0,5 et 1,25 mm dans l'échantillon BH.1. Le plus fort pourcentage des pellets, 17.82 % pour l'échantillon BH.6 et 19.16 % pour l'échantillon BH.1 se trouve dans la classe supérieure à 2 mm alors que les autres constituants (glauconite et les débris de fossiles) sont les moins fréquents et montrent des proportions presque similaires dans l'ensemble des classes granulaires.

Selon la synthèse des données géochimiques le minerai de la couche médiane montre les meilleures teneurs en P₂O₅ dépassant les 20 wt % alors que celles des minerais des couches sommitale et basale sont relativement plus faibles, comprises entre 6.9 % et 18.6 wt %. Les teneurs en MgO sont parfois relativement élevées (1.77 à 13.37 wt %) dans pratiquement toutes les couches phosphatées. La carte d'isoteneurs en MgO de la couche médiane a permis de localiser deux zones, situées au SW de l'affleurement méridional où les teneurs en MgO sont supérieures à 4 wt % dépassant ainsi les teneurs tolérées.

Références
bibliographiques

Références Bibliographiques

- Bétier G. (1951)** : Carte géologique au 500 000e. Service Carte géologique de l'Algérie
- Boggs S. Jr. (2009)** : Petrology of sedimentary rocks. Cambridge University Press, Second Edition, 596 pages.
- Bouzenoune A. (1993)** : Les minéralisations périadiapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). Thèse de Doctorat, Université Pièrre et Marie Curie (Paris VI), France, 206 pages.
- Bouzenoune A. (2020)**: Salt tectonics and mineralization processes in Algeria. 2th Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG), 25-28 November, Sousse, Tunisia.
- Boulemlia S., Hadji R. et Hamimed M. (2021)** : Depositional environment of phosphorites in a semiarid climate region, case of El Kouif area (Algerian–Tunisian border). Carbonates and Evaporites, 36-53 [<https://doi.org/10.1007/s13146-021-00719-4>].
- Brakni F. (1999)** : Etude pétrographique et chimique du phosphate de Bled el Hadba (gisement de djebel Onk).Mémoire de fin d'études de l'Ingénieur d'Etat en géologie appliquée option géologie minière. Université Badji Mokhtar Annaba
- Dassamiour. (2012)** : Eléments en traces et valorisation des minerais de phosphate du gisement de Kef Essennoun - Dj. Onk (Algérie Orientale). Thèse de Doctorat en Sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 160 pages.
- Dubourdiou G. (1956)** : Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens).Serv.Cart.Géol.Algérie, n°10,659 p.
- Durand Delga et Fontboté ;(1980)** :Le cadre structural de la Méditerranée occidentale ,in Géologie des chaines alpines issus de la Téthys ; edited by J.Aubouin , J.Debelmas , M.Latreille ;Colloque no 5,26^e Congrès géologique international, paris , in : Mém.BRGM .pp.67-85.
- Folk et Ward(1957)**: Brazons River bar :A study in the significance of grain size paramaitres . Journal of Sedimentary Petrology , 27 , pp3-26,
- Kechiched R. (2011)** : Typologie géochimique et géostatistique des minerais phosphatés du gisement de Bled el Hadba-Djebel Onk-Algérie orientale. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 191 pages.
- Kechiched R. (2017)** : Les phosphates du Nord de Tébessa. Etude sédimentologique, gîtologique et géochimique. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar d'Annaba, 225 pages.
- Laffite .R. (1938)** : Etude géologique des Aurès. Thèse de doctorat. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2e série, n° 15, 484 p.
- ORGM (2000)**: Carte géologique au 50 000e , feuille n° 327 (Bir el Ater).
- ORGM. (2015)**: Rapport final sur les résultats des travaux d'exploitation des phosphates du gisement de Bled Hadba, 58 p
- Pufahl P. K. and Croat L. A. (2016)** : Sedimentary and igneous phosphate deposits: formation and exploration: An invited paper. Economic geology, Vol.112, n°03, pp.483-516
- United State Geological Survey (2011-2021)**- Mineral Commodity Summaries, Phosphate rock commodities, pp.122-123.
- Vila J.-M. (2001)** : Les avantages d'une approches multi-sources (biostratigraphie, sédimentologie, forages, profils sismiques et gravimétrie) pour l'étude de l'halocinèse crétacée (« glaciers de sel », tectonique en radeaux et dômes de sel) et de l'halotectonique tertiaire (plissement des « glaciers de sel », genèse des dômes de sels-plis), des confins algéro-tunisiens. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, Vol.12, n°2, pp.129-167.

Liens aux sites web consultés septembre 2021

Asmidal 2021

* <https://www.asmidal-dz.com/FR/2021/08/09/signature-dun-memorandum-dentente-entre-le-groupe-asmidal-et-le-groupe-manal-pour-la-creation-dune-societe-de-transformation-chimique-des-phosphates/>

* <https://www.asmidal-dz.com/FR/2021/06/20/projet-phosphates-integre-prorogation-de-delai-de-lappel-a-manifestation-dinteret-international-ouvert-aux-technologues/>

* [http://www.mondecarte.com/carte/tebessa-carte el Hadba](http://www.mondecarte.com/carte/tebessa-carte-el-Hadba)