



كلية العلوم
والتقنيات - مراكش
FACULTÉ DES SCIENCES ET
TECHNIQUE - MARRAKECH

DEPARTEMENT DES
SCIENCES DE LA TERRE
شعبة علوم الأرض



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Licence ès-Sciences et Techniques

Géologie appliquée aux ressources minières

(LST-GARM)

**Contribution à l'étude géominière de la couche1,
Recette 10 zone nord-est du bassin phosphaté des
Oulad Abdoun (Khouribga, Maroc)**

Réalisé par: **MORCHID Inass & OUJADDI Souad**

Encadrant : **Pr. AIT ADDI Abdellah**

FST-Marrakech

Responsable de stage : **Mme EL FRIEKH F. Z.**

OCP (Khouribga)

Parrain : **Mr. EL ASRAOUI R.**

OCP (Khouribga)

Soutenu le **19 Juin 2023 à 9h** devant le jury composé de:

Pr. AIT ADDI A.

Faculté des Sciences et Techniques (Marrakech)

Pr. CHAFIKI D.

Faculté des Sciences et Techniques (Marrakech)

Année universitaire : 2022/2023

Table des matières

Chapitre I: Généralités	10
I. Le phosphate et la phosphatogenèse	10
1. Définition du phosphate.....	10
2. Origine des phosphates : La phosphatogenèse	10
3. L'utilité du phosphate.....	12
4. Répartition des dépôts phosphatés actuels au monde	13
5. Production mondiale de phosphate.....	14
II. Présentation de l'Office Chérifien du Phosphate (OCP).....	15
1. Historique	15
2. Chronologie de l'entreprise.....	16
3. Données économiques et humaines du groupe OCP.....	17
4. Principales activités du groupe OCP	17
5. La chaîne cinématique d'extraction minière	18
III. Les principaux bassins phosphatés au Maroc.....	19
1. Bassin des Oulad Abdoun.....	20
2. Bassin de Meskala	20
3. Bassin de Oued Eddahab	20
4. Bassin des Gantours.....	21
Chapitre II : cadre géologique et minier de la zone étudiée	22
I. Bassin des Oulad Abdoun	22
1. Cadre géographique.....	22
2. Cadre géologique.....	23
3. Paléogéographie du bassin des Oulad Abdoun.....	24
4. Contexte tectonique du bassin	25
5. Découpages de la série phosphatée du bassin des Oulad Abdoun	27

II.	Corrélation des coupes du bassin des Oulad Abdoun.....	31
Chapitre III : Etude lithostratigraphique de la coupe du gisement de Ghar Tajer		37
I.	Situation géographique du gisement	37
II.	Identification des entités minières de la série phosphatée de Ghar Tajer.....	38
Chapitre IV : Etude géominière de la couche 1 dans la Recette 10		42
I.	Introduction	42
II.	Démarche de travail.....	42
III.	La mine de Recette 10	43
IV.	Présentation de la base des données	44
V.	Traitement de données.....	45
1.	Présentation de système d'information géologique SIG	45
2.	Présentation d'ArcGis.....	46
VI.	Etablissement des cartes	46
1.	Carte structurale de la couche 1	46
2.	Carte de MNT	47
3.	Carte d'affleurement.....	48
4.	Carte d'iso-valeurs.....	49
VII.	Calcul des réserves	52

Liste des figures

Figure 1: observation d'une roche phosphatée meuble par la loupe binoculaire (Rasbak 2007)	10
Figure 2: apport du phosphore par les upwellings (Kazakov 1937)	11
Figure 3: cycle global du phosphore (NASA Earth Science Enterprise)	12
Figure 4: (a) polymères de nucléotides, (b) structure tridimensionnelle du phosphate	12
Figure 5: distribution des phosphates selon les domaines d'utilisation (Jasinski 2018)	13
Figure 6: carte de répartition spatiale des gisements de phosphate sédimentaire dans le monde (Pufahl & Groat 2017)	14
Figure 7: production mondiale de la roche phosphatée (2018) (USGS 2020)	15
Figure 8: (a) schéma de transport de phosphate par la voie de Slurry Pipeline, (b) transport ferroviaire de phosphate	16
Figure 9: schéma représentatif des processus d'activités du groupe OCP	18
Figure 10: (a) sondeuse pour la foration des trous, (b) opération de sautage par des explosifs, (c) opération de décapage par bulls, (d) défruitage par chargeuse, (e) décapage par dragline	19
Figure 11: les principaux gisements phosphatés au Maroc (Azmany 1977)	21
Figure 12: localisation géographique de bassin des Oulad Abdoun	22
Figure 13: carte de répartition des gisements du bassin des Oulad Abdoun	23
Figure 14: carte géologique du bassin des Oulad Abdoun, extrait de la carte géologique d'Elbrouj (El Alaoui & al. 1964)	24
Figure 15: paléogéographie des principaux bassins phosphatés marocains au Crétacé terminal-Paléogène (Trappe 1991)	24
Figure 16: schéma explicatif sur l'origine des dérangements	26
Figure 17: photo d'un dérangement dans le gisement de Sidi El Maati	27
Figure 18: exemple de silex ménilitique	30
Figure 19: (a) <i>Cardita Coquandi</i> (Gmelin 1791), (b) <i>Thersitea</i> (Savornin 1914)	31
Figure 20: carte de localisation des différents puits à partir desquels sont réalisées les corrélations (service géologique nord Khouribga 2023)	32
Figure 21: profil de corrélation couche 1	33
Figure 22: profil de corrélation couche 0 et couche 0'	34
Figure 23: profil de corrélation sillon A	34
Figure 24: profil de corrélation entre les différents puits de la zone étudiée	36
Figure 25: localisation de tranchée étudiée dans le gisement de Ghar Tajer (service géologique nord Khouribga 2023)	37
Figure 26: coupe lithologique de gisement Ghar Tajer	39
Figure 27: (a) rognons de silex dans la couche 1 phosphatée, (b) couche 2 et intercalaire C1/C2, (c) couche 0, (d) intercalaire SA/C0, (e) couche 1 et intercalaire C0'/C1, (f) intercalaire C0/C0', (g) les niveaux de la couche 1	41
Figure 28: logigramme de la méthodologie adaptée	43
Figure 29: localisation géographique de gisement recette 10 zone nord. (a) bassin des Oulad Abdoun, (b) gisement recette10, (c) partie étudiée de la recette10	44

Figure 30: schéma des composantes d'un SIG (Burrough 1986)	46
Figure 31: carte structurale de la couche 1 dans la zone étudiée	47
Figure 32: carte structurale de terrain naturel	48
Figure 33: carte d’affleurement de la couche1 dans la zone étudiée	49
Figure 34: carte d’iso-puissances de la couche1 dans la zone étudiée.....	50
Figure 35: carte de % BPL de phosphate de la couche1 dans la zone étudiée.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1: synthèse des différents découpages de la série phosphatée du bassin des Oulad Abdoun (service géologique nord Khouribga 2023)	31
Tableau 2: tableau de base de données.....	45
Tableau 3: statistiques des puissances de la couche 1.....	51
Tableau 4: statistiques des teneurs en BPL de la couche 1	52
Tableau 5: les résultats obtenues	53

Liste des abréviations

OCP : Office chérifien du phosphate

C1 : couche 1/ C2 : couche 2/ C3 : Couche 3

ESRI : Environmental Systems Research Institute

Inter.C0/C1 : Intercalaire entre couche 0 et couche 1

MNT : Modèle Numérique de Terrain

Méd : Médiane

Inf. : inférieure

Sup. : Supérieure

SA : Sillon A

SB : Sillon B

R10 : Recette 10

ADN : Acide désoxyribonucléique

ARN : Acide Ribonucléique

USGS : US geological Survey ; le bureau d'étude Américain

USA : United states of America

S.A : Société anonyme

PT : Puissance totale

PP : Puissance de phosphate

TB : teneur brute

SIG : Système d'information géographique

P2O5 : Pentoxyde de phosphate (Acide phosphorique)

E : Est

N : Nord

S : Sud

W : West (Ouest)

PIB : Produit intérieur brut

BPL : Bone Phosphate Lime

MEA : Merah El Ahrach

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

Remerciement

Tout d'abord, Louange à **Dieu** le Miséricordieux qui nous a donné la force, la santé et la maintenance pour effectuer ce travail. Et sans oublier un grand merci à nos très chers parents qui sans leurs bénédictions et leur support moral et matériel, nous ne serions jamais ici.

Nous tenons à remercier vivement le Groupe OCP de nous donner cette opportunité de passer notre stage de fin d'études au sein de l'unité Géologie SD/GN à Khouribga.

Nous exprimerons nos fortes gratitudes à notre encadrant interne le professeur **AIT ADDI Abdellah** et notre encadrante externe **Mme EL FRIEKH Fatima Zahra** qui nous ont dirigé et aidé à perfectionner ce rapport de stage, et, d'autre part, nous ont donné une source d'inspiration vu leur riche cursus académique et leurs accomplissements.

Un grand merci à **Mr EL ASRAOUI Rachid** de l'équipe des prospecteurs qui nous a proposé ce sujet intéressant et a accordé l'accès aux données nécessaires pour y travailler.

Nous tenons à remercier l'équipe des dessinateurs précisément **Mr EL AOUD Mustapha**, **Mr RACHDI Miloud** de l'équipe des géophysiciens, **Mr EL HAJI Saïd** et **Mr SAMIR Abdeljalil** de l'équipe des géomètres qui ont accordé leur précieuse aide, leurs directives efficaces, et des informations très intéressantes et surtout leur patience envers nous, étudiantes qui s'apprêtent à commencer un nouveau chapitre dans leur vie.

Nos sentiments de gratitudes sont infinis envers l'hostilité, la bonté et l'humeur chaleureuse de ces personnes formidables et de tous les géologues au service de Géologie, qui nous ont donné un aperçu vif du monde professionnel.

Sans oublier les stagiaires qu'on a rencontrés lors de notre stage qui nous ont donné de généreux conseils et un esprit de travail en équipe, merci à vous et nous ne vous souhaitons que du bien et un avenir brillant.

Introduction

Depuis l'indépendance, le domaine industriel marocain n'a cessé de croître et cela grâce à l'implantation de plusieurs grands projets sur le territoire national, du fait que le Maroc s'avère un pays privilégié vu sa position géographique stratégique qui s'ouvre doublement sur l'occident et sur le continent africain et sa richesse en ressources naturelles telles que les mines de cobalt, de Zinc, de plomb et surtout de phosphates, créant des affaires et des investissements attractifs par de grandes firmes, c'est ainsi que le secteur minier est considéré comme l'un des moteurs de l'industrie et par conséquent de l'économie nationale, vu sa contribution au PIB (10% en moyenne), sa grande part dans les exportations marocaines et sa capacité de créer de nombreux postes et par suite des offres d'emploi sur nombreuses entreprises. Parmi ces entreprises, on cite l'Office Chérifien des Phosphates (OCP).

Le Group OCP est le plus important organisme industriel au Maroc, vu sa contribution prépondérante à l'évolution économique à l'échelle nationale et internationale. Le groupe OCP assure l'extraction, le traitement et l'export du phosphate et de ses dérivés depuis plus d'un siècle, une richesse quasiment inépuisable au sein du Royaume, étant donné qu'il recèle les deux tiers des gisements de phosphates sédimentaires au monde (U.S. Geological Survey 2018), et ne cesse d'améliorer sa productivité en matière de recherche et de développement. Le groupe OCP se révèle un modèle de l'industrie marocaine et internationale, vu son engagement en Leadership Economique et industriel, tout en tenant en considération le développement durable et la préservation de l'environnement.

C'est pour cela que ce fut un grand privilège pour nous de passer notre stage de fin d'études au sein du groupe OCP, du 17 Avril au 05 Juin 2023 au sein du département de Géologie zone nord Khouribga, afin de développer nos acquis théoriques au cours des années de notre formation universitaire, d'observer de près le déroulement des projets et des travaux, ainsi que de nous familiariser avec l'organisme professionnel.

Résumé

Le présent sujet de fin d'études repose sur l'étude des couches phosphatées du bassin des Oulad Abdoun. Dans un premier lieu, nous avons présenté le phosphate en général en précisant ses différents modes de formation, et sa distribution à travers le monde. Nous avons ensuite présenté notre organisme d'accueil, le groupe OCP, en résumant son historique et ses différentes activités.

En second lieu, nous nous sommes concentrés dans la première partie du projet sur le bassin des Oulad Abdoun et la série phosphatée moyenne qui le caractérise en effectuant un log lithostratigraphique de l'un de ses gisements, le gisement de Ghar Tajer. L'étude de cette série moyenne a requis en outre la réalisation d'un profil de corrélation entre des coupes lithostratigraphiques réalisées à partir des puits de quatre différents gisements.

Ensuite, la deuxième partie de ce projet consiste en l'étude préliminaire de la couche 1 du gisement Recette 10 située à la zone nord est du bassin phosphaté des Oulad Abdoun. Cette étude consiste à la modélisation, à partir d'un système informatique ArcGis, de la structure de la couche ainsi que la distribution des concentrations et des épaisseurs de l'entité phosphatée sur chaque point de la zone étudiée du gisement, déterminant ainsi, respectivement, la carte d'iso-teneurs et la carte d'iso-puissances. Les données obtenues et fournies par le service géologie zone nord Khouribga du groupe OCP nous a permis d'effectuer des calculs approximatifs des réserves en phosphates de la couche 1 du gisement Recette 10 afin de tirer une conclusion sur la faisabilité de l'exploitation de la zone.

Chapitre I: Généralités

I. Le phosphate et la phosphatogenèse

1. Définition du phosphate

Le phosphate est une roche sédimentaire formée par des éléments phosphatés suite à une précipitation chimique des ions phosphatés. Elle présente un aspect granuleux et forme des concrétions contenant des débris d'ossement d'organismes marins décomposés au niveau des golfes et des plateformes marines (Fig. 1).

Une roche phosphatée est une concentration de phosphate; composé chimique complexe qui contient du phosphore (P) et d'autres éléments chimiques comme le fluor (F) le calcium (C) l'uranium (U), etc.

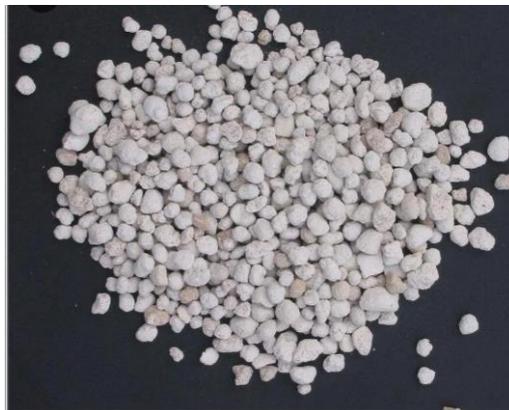


Figure 1: observation d'une roche phosphatée meuble par la loupe binoculaire (Rasbak 2007)

→Le phosphate se présente sous forme de diverses formes minérales :

-Apatite: (calcium, magnésium, azote)₁₀(PO₄)_{6-x}(CO₃)_xF_y(F, OH)₂;

-Pristine : fluor-apatite

-Francolite : par substitution PO₄ en CO₃

L'apatite constitue le minéral le plus répandu dans les gisements phosphatés au Maroc.

2. Origine des phosphates : La phosphatogenèse

Il est prouvé que le milieu marin est l'origine de dépôt sédimentaire de 0,27% de P₂O₅ au monde, ce qui n'est pas suffisant pour la formation des grands gisements actuels de phosphates (Maroc, Chine, USA), donc plus d'hypothèses sur les origines des dépôts des phosphatés sont requises.

Quatre sources supplémentaires ont été évoquées pour expliquer l'origine des phosphates sédimentaires :

- Apport par les courants d'upwellings (Théorie de Kazakov 1937)

Les milieux océaniques emmagasinent des réserves importantes en phosphates. Cette théorie explique que le phosphore dissout dans le fond océanique en concentration élevée, serait apporté vers les plaines côtières par les courants d'upwelling (remontée des eaux froides, Fig. 2).

Le phosphore précipite avec le changement des conditions physico-chimiques du milieu : diminution de la concentration en CO_2 , augmentation du pH et de la température. La diagenèse précoce forme finalement de l'apatite (Fig. 2).

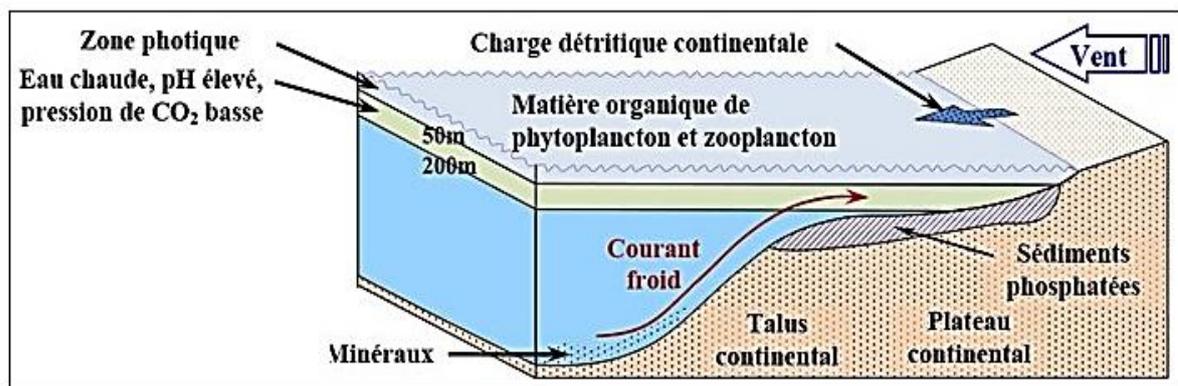


Figure 2: apport du phosphore par les upwellings (Kazakov 1937)

- Le volcanisme

D'après la théorie de la tectonique des plaques, la mise en place du rifting océanique s'accompagne d'apport en éléments chimiques (P, F, Ca). Ces gisements de phosphates d'origine ignée sont les moins nombreux et ne fournissent que 23% de la production mondiale. Ils sont également de faibles étendus.

- Le Biota

Il correspond à la mortalité en masse des êtres vivants, qui serait dû à la rencontre d'un courant froid avec un courant chaud, de salinité et de compositions chimiques très différentes. Les organismes qui sont incapables de résister à ce changement brutal des conditions de leurs milieux de vie meurent. Le phosphate libéré suite à la décomposition de la matière organique se combine avec le calcium dissout dans l'eau de mer pour donner l'apatite.

- L'apport fluvial

L'altération des éléments phosphatés de la croûte terrestre notamment les roches magmatiques alimentent directement les sédiments. Cette idée est défendue par Bushinski en 1964 qui a cité le cas de Volga qui diffuse chaque année 6000 tonnes de phosphore sous forme de phosphate minéral dans la mer caspienne (Fig. 3).

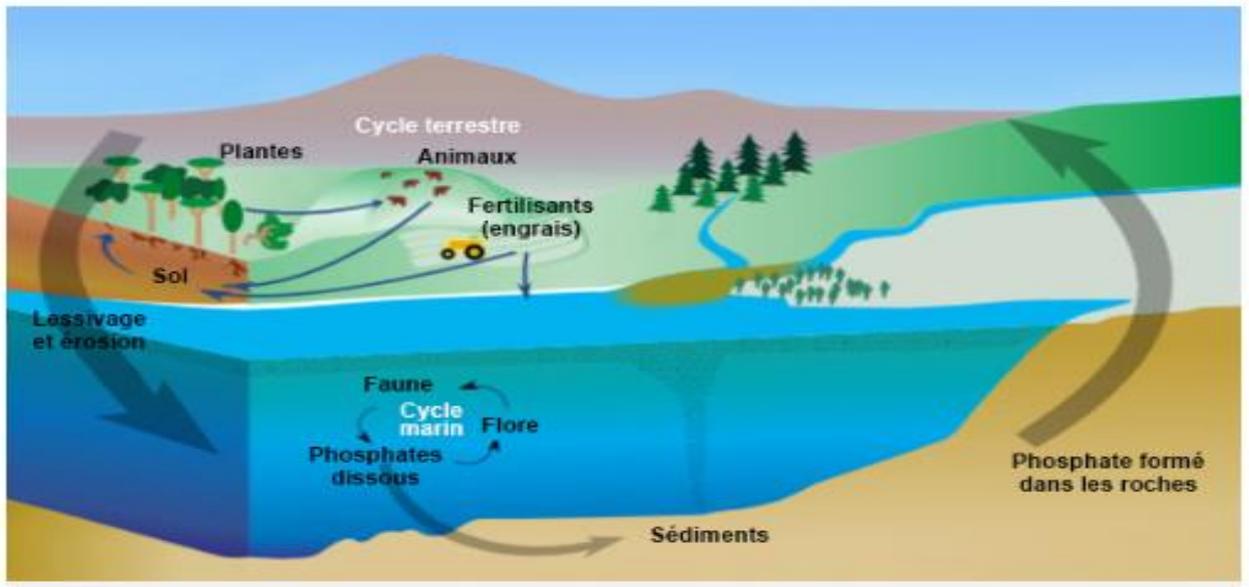


Figure 3: cycle global du phosphore (NASA Earth Science Enterprise)

3. L'utilité du phosphate

a. Le phosphore dans les organismes vivants

Le phosphore se présente dans la nature sous deux formes

-la forme minérale (l'atome de phosphore entouré par quatre atomes d'oxygène PO_4^{3-} (Fig. 4b). Exemple de phosphate calcique du tissu osseux $Ca_3(PO_4)$. Il est l'un des composants essentiels du squelette, des tests et des coquilles des êtres vivants et des dents des vertébrés.

-la forme organique : indispensable à la fabrication de nombreuses molécules vitales dont les protéines et les acides nucléiques ADN et ARN (Fig. 4a).

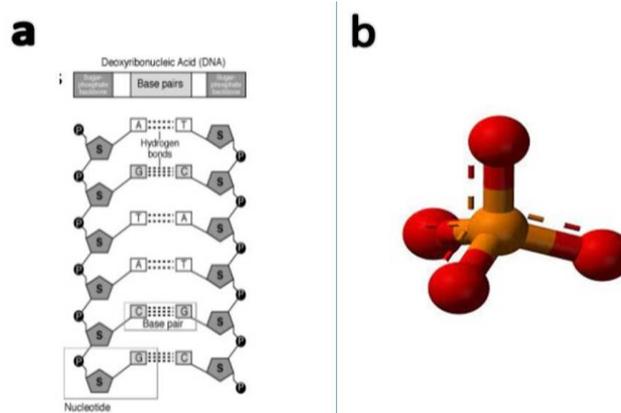


Figure 4: (a) polymères de nucléotides, (b) structure tridimensionnelle du phosphate

Ainsi que pour les végétaux car il favorise le développement du système racinaire et régularise la mise à fleur, le développement et la maturation des fruits.

b. Domaines d'utilisation du phosphate

Une fois extraite, la roche phosphatée (notamment l'apatite) subit une succession d'opérations de traitements. Elle est soit directement exportée sous la forme brute, soit transportée vers les stations de Jorf Lasfar à El Jadida (par les Slurry Pipelines, Fig. 8a) ou Maroc Chimie à Safi pour être transformée en engrais 90% ou produits dérivés 10% (acide phosphorique purifié, acide phosphorique de base (Fig. 5). Ensuite commercialisé dans différentes industries selon les exigences du client.

Parmi ces industries on cite :

- **L'agriculture** : le phosphate est largement utilisé comme engrais pour aider les plantes à se développer. Il est essentiel pour la croissance des plantes et il est souvent ajouté aux sols qui sont pauvres en nutriments (les engrais phosphatés, Fig. 5).
- **L'industrie alimentaire** : comme additif alimentaire dans de nombreux aliments transformés tels que les viandes, les poissons, les fromages et les boissons gazeuses. Il est utilisé pour améliorer la texture, la saveur et la conservation des aliments
- **L'industrie chimique** : fabrication de nombreux produits chimiques tels que les détergents, les produits de nettoyage etc.
- **Traitement de l'eau** : le phosphate joue un rôle important pour aider l'élimination des contaminants tels que les métaux lourds et les bactéries.
- **L'industrie sidérurgique** : il est utilisé comme additif dans la production de l'acier pour aider à éliminer les impuretés et améliorer la qualité de l'acier.
- **L'industrie électronique** : le phosphate est utilisé dans la production de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques.
- **L'industrie pharmaceutique** : le phosphate est utilisé dans la production de médicaments pour aider à réguler le pH et la stabilité des formules médicamenteuses.

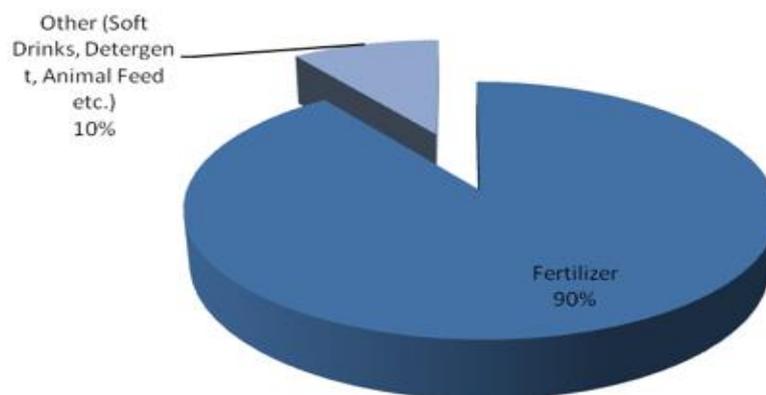


Figure 5: distribution des phosphates selon les domaines d'utilisation (Cordell D. 2008)

4. Répartition des dépôts phosphatés actuels au monde

Les régions où la phosphatogenèse actuelle existe sont localisées essentiellement sur les côtes occidentales des continents africains et américains. Des dépôts phosphatés actuels sont

aussi connus dans la Mer Rouge, sur les côtes ouest de l’Océan indien, sur les côtes ouest du continent australien et sur la marge nord ibérique (Fig. 6).

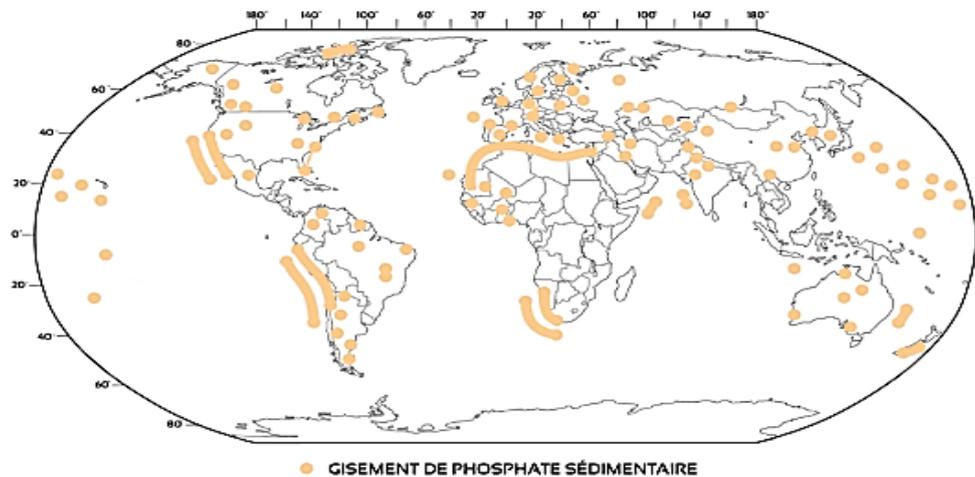


Figure 6: carte de répartition spatiale des gisements de phosphate sédimentaire dans le monde (Pufahl & Groat 2017)

La réserve de phosphate au Maroc est évaluée à plus de 70% des réserves mondiales de phosphate brut. En 2020, le Maroc disposait de réserves d’environ 50 milliards de tonnes métriques de phosphate. C’est le troisième producteur mondial après les États-Unis et la Chine.

5. Production mondiale de phosphate

Les gisements sédimentaires fournissent de 80 % à 90 % de la production mondiale alors que les gisements de roches ignées en fournissent de 10% à 20 % (FAO 2004).

La capacité de production de phosphate dans le monde est passée de 218 Mt en 2014 à 263 Mt en 2017 pour revenir à 240 Mt en 2019. Les principaux pays producteurs sont la Chine avec 110 Mt, les États-Unis avec 23 Mt, et le Maroc avec 36 Mt. Ces pays produisent à eux seuls environ les trois quarts de la production mondiale. Les autres pays dont la production est significative sont la Russie (14 Mt) et la Jordanie (8 Mt) (Fig. 7, USGS 2020).

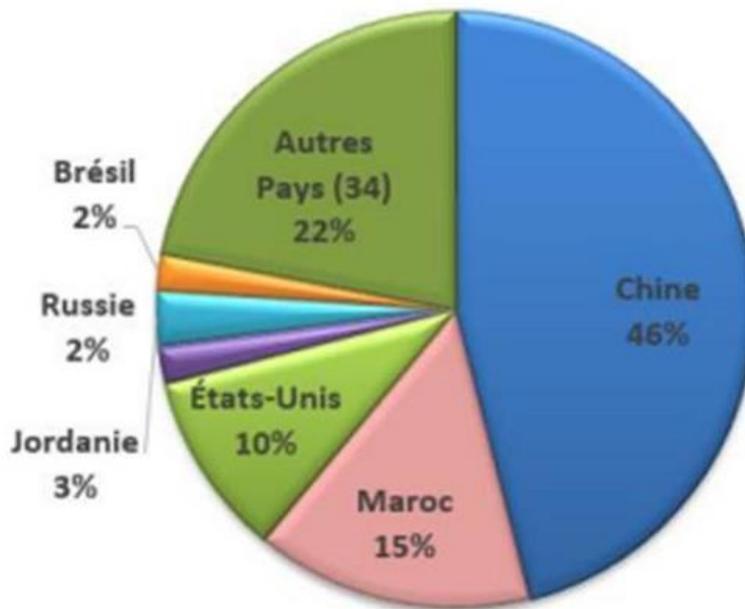


Figure 7: production mondiale de la roche phosphatée (2018) (USGS 2020)

Au titre de l'année 2022, le Maroc a réussi à produire 40 millions de tonnes de phosphates, ce qui lui a permis de se classer au deuxième rang mondial, après la Chine, qui a produit près de 85 millions de tonnes. Selon l'Institut américain de géophysique « US Geological Suvey» (El Korri 2023).

II. Présentation de l'Office Chérifien du Phosphate (OCP)

Le groupe OCP (Office Chérifien du Phosphate) est une société semi-publique (95% de la propriété du gouvernement), fondée en 1920. C'est une société initialement minière qui s'est développée en un groupe d'extraction, de traitement et d'exploitation du phosphate. Le groupe OCP fut le plus grand producteur de phosphate et de ses dérivés, c'est l'une des plus grandes entreprises industrielles de phosphate, d'engrais, de produits chimiques et de minéraux au monde en termes de chiffre d'affaires.

1. Historique

La mission du service d'extraction et du traitement du phosphate de l'office chérifien du phosphate a commencé en Mars 1921 au sein de la toute première mine de phosphate au Maroc à Boujniba, dans le plus riche gisement de phosphates reconnu au monde, le gisement de Khouribga. Le phosphate extrait de cette mine est transporté sur 187km via le Slurry Pipeline vers le site de transformation à Jorf Lasfar (Fig. 8a) et par voie ferrée vers le port de Casablanca pour l'export de la roche de phosphate (Fig. 8b).

Les processus de transport (acheminement) du phosphate vers le port de Casablanca ont débuté (peu après) en juillet 1921. Depuis la première exportation des phosphates, l'OCP n'a cessé de croître et de développer ses activités d'exploitation (et élargir la zone d'exploitation vers d'autres sites miniers à savoir Youssoufia, Boucraâ et Benguérir...). Le groupe a aussi développé ses activités de traitement et de production du phosphate, en créant des lignes de

production de différents dérivés de phosphates notamment de l'acide phosphorique à Maroc Chimie à Safi fondée en 1965.

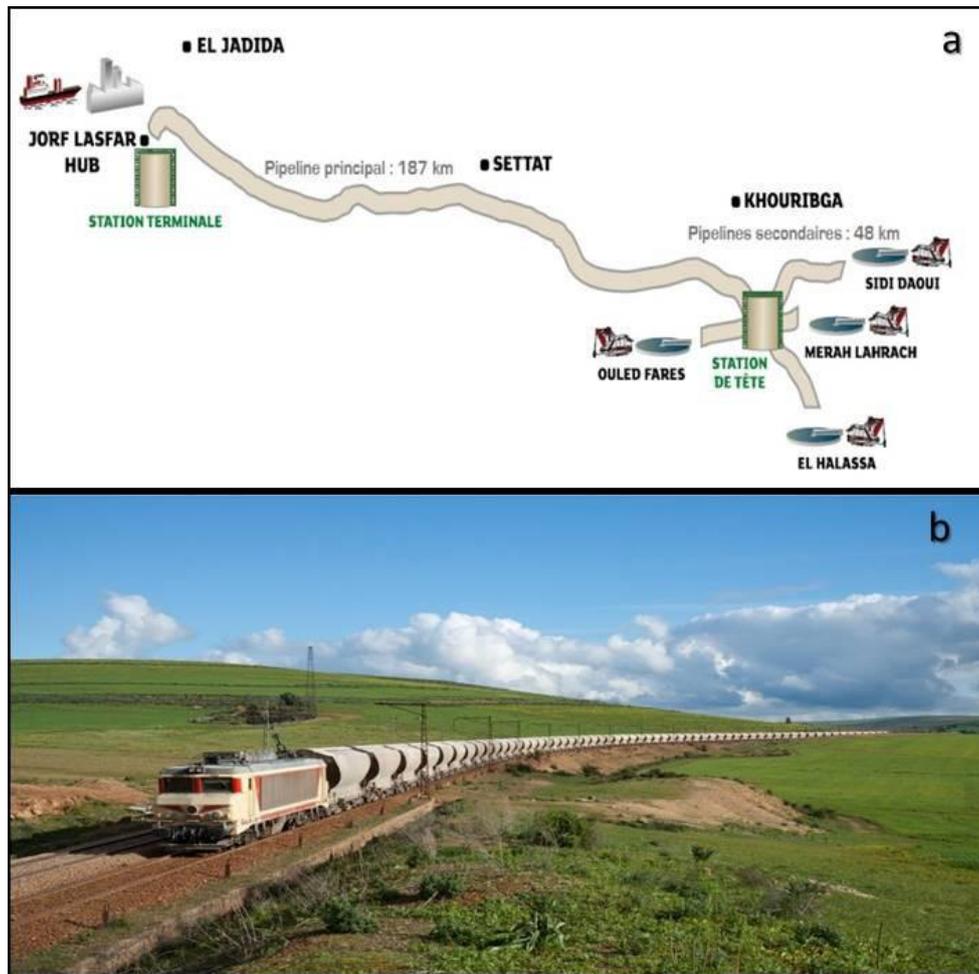


Figure 8: (a) schéma de transport de phosphate par la voie de Slurry Pipeline, (b) transport ferroviaire de phosphate

2. Chronologie de l'entreprise

1920 : création de l'Office Chérifien des Phosphates ;

1921 : lancement de la production minière à Khouribga (Bleuchot 1969) ;

1931 : lancement de la production minière à Youssoufia ;

1965 : lancement de la production chimique à Safi ;

1976 : acquisition de 65% de Phosboucraa ;

1980 : lancement de la production minière sur le site de Benguerir ;

1984 : lancement de la production chimique à Jorf Lasfar ;

1996 : lancement de la construction d'une usine d'acide phosphorique purifié à Jorf Lasfar ;

2002 : OCP devient l'unique propriétaire de Phosboucraa ;

2006 : l'Office Chérifien des Phosphates devient Groupe OCP ;

2008 : transformation de l'Office Chérifien des Phosphates en Société anonyme (OCP SA), C'est l'un des principaux exportateurs de phosphate brut, d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés dans le monde ;

2011 : coentreprise avec [Jacobs Engineering](#) ;

2013 : coentreprise avec [DuPont de Nemours](#) ;

2014 : lancement du Slurry Pipeline entre Khouribga et Jorf Lasfar ;

2016 : création d'OCP Africa ;

2018 : inauguration de l'[Université Mohammed VI Polytechnique](#) et coentreprise avec IBM ([International Business Machines Corporation](#)).

3. Données économiques et humaines du groupe OCP

Le groupe OCP occupe une place prépondérante dans l'économie marocaine puisque l'ensemble de ses exploitations représente près de 20% de la totalité de celle réalisée par le Maroc. Le groupe OCP assure en outre plus de 25% du commerce international du phosphate et de ses dérivés, ce qui le place au premier rang des exportateurs mondiaux dans ce secteur (37.6 million de tonnes de roches de phosphate sont produites en moyenne annuellement par OCP) (chiffres officiels de l'année 2000). La production et la vente de phosphate non encore valorisé demeurent néanmoins ses principales activités. Cependant, dans un contexte de concurrence de plus en plus accrue, l'OCP procède à de nombreuses recherches, géologiques, techniques et de promotion de la qualité afin de conserver sa compétitivité et sa forte représentation actuelle sur le marché mondial du phosphate.

Fort de près de 25000 agents repartis en divers métiers, l'office est un des employeurs les plus importants du royaume.

Dans sa politique d'embauche, le groupe OCP prévoit des formations au sein des différents centres de formation et perfectionnement. Ces formations ont pour but d'adhérer les stagiaires à la culture d'entreprise et de faciliter leur intégration au sein du groupe.

4. Principales activités du groupe OCP

Le groupe OCP est spécialisé dans l'extraction de phosphate avant de le traiter dans les sites industriels, au sein desquels les phosphates se transforment en engrais, en acide phosphorique et en alimentation à usage animal, produisant plus de 3 millions de tonnes d'engrais et près de 2 millions de tonnes d'acide phosphorique. Le site est connecté au Slurry Pipeline qui permet de préserver la ressource dans son état naturel et de réaliser l'autosuffisance énergétique pour une bonne commercialisation (Fig. 9).



Figure 9: schéma représentatif des processus d'activités du groupe OCP

5. La chaîne cinématique d'extraction minière

Foration: c'est une opération d'aménagement des trous dans les couches, pour loger les explosifs et fragmenter les terrains, cela se fait par l'enfoncement d'une tige dans le sol jusqu'au niveau voulu (Fig. 10a). Deux méthodes de foration sont utilisées :

- foration sélective : consiste à sauter une couche intercalaire bien déterminée.
- foration globale : a pour but de sauter un grand paquet formé par plusieurs couches.

Sautage: vient juste après la foration, il s'agit d'un remaniement du sol afin de le rendre friable pour un décapage facile (Fig. 10b).

Le sautage sépare entre les grains consolidés de sol et augmente son indice de vide en utilisant des explosifs.

Décapage: sert à enlever les terrains stériles, ou les intercalaires, pour récupérer le minerai que l'on veut exploiter. Le décapage s'effectue par palier avec des engins différents (Figs. 10c et 10e).

Défruitage: le défruitage consiste à récupérer le minerai de phosphate juste après le décapage, Il existe plusieurs méthodes de défruitage, les plus utilisées sont :

- le défruitage par roue-pelle dans le cas où on veut transporter le minerai par convoyeurs.
- le défruitage par machines mono-godet, dans ce cas où le minerai est transporté par camions (Fig. 10d). C'est la méthode la plus utilisée par le groupe OCP.

Epierrage et mise en stock: le minerai défruité est ensuite chargé, transporté, épierré et criblé puis placé dans une aire de stockage ou transféré directement vers les usines de traitement.

L'épierrage est un processus qui sépare le phosphate des pierres ou du stérile. Il se compose principalement d'une trémie, d'une salle de commande, d'un extracteur ou tablier métallique, d'un convoyeur de récupération, d'un crible, d'un concasseur et d'un convoyeur navette.



Figure 10: (a) sondeuse pour la foration des trous, (b) opération de sautage par des explosifs, (c) opération de décapage par bulls, (d) défruitage par chargeuse, (e) décapage par dragline

III. Les principaux bassins phosphatés au Maroc

Plusieurs orogénèses (précambriennes, hercynienne, alpine) jalonnent l'histoire géologique du Maroc, ces orogénèses ont guidé l'individualisation de différents domaines structuraux du Maroc à savoir le domaine atlasique (Haut atlas, Moyen atlas et Anti atlas), le domaine rifain et le domaine mésétien (Méséta occidentale et Méséta orientale). Au niveau de ces derniers, la sédimentation phosphatée s'est développée avec des modalités variables, pendant 25 millions

d'années. Les plus importants se concentrent à partir du Crétacé supérieur (Maestrichtien) jusqu'à l'Eocène moyen (Lutétien).

Le Maroc recèle 75% des réserves mondiales de phosphate qui se trouvent dans quatre gisements principaux: Oulad Abdoun (Khouribga), Gantours (Youssoufia–Benguérir),; Meskala (Essaouira) et Oued Eddahab (Boucraa).

1. Bassin des Oulad Abdoun

Le bassin des Oulad Abdoun est le premier bassin reconnu et exploité au Maroc, il est également le plus important soit à l'échelle des teneurs, des puissances ou à l'échelle des réserves. Il est situé au Nord de la Méséta, limité au Sud par la plaine de Beni Amir. La zone reconnue se subdivise en 15 sous zones à caractères lithologiques différents (Ex : Sidi Daoui, Merah El Ahrech (MEA), Mrizig, Oulad Fares).

L'exploitation de ce gisement a débuté par la méthode sous-terrainne, par l'enlèvement d'une seule couche phosphatée (C1). L'exploitation en découverte introduite en 1951 va remplacer totalement la méthode sous-terrainne à partir de 1994. Elle concerne actuellement presque toutes les couches phosphatées (rapport annuel OCP 1993).

Le présent mémoire de fin d'études porte sur l'étude de la couche 1 de la recette 10 de ce bassin des Oulad Abdoun (Fig. 13).

2. Bassin de Meskala

Le bassin de Meskala est le premier bassin que l'on rencontre à partir de la bordure atlasique en se dirigeant vers le Nord. Il s'inscrit dans un triangle ayant pour sommets les villes de Chichaoua, Imi n'Tanout et Essaouira (Fig. 11).

Le bassin de Meskala est situé dans la plaine d'Essaouira-Haouz et limité :

- au Nord par les Jbilet et les collines jurassiques de Mouissat ;
- au Sud par le Haut-Atlas ;
- à l'Est par la plaine d'El Haouz ;
- à l'Ouest par la plaine côtière d'Essaouira.

Ce bassin se subdivise en trois zones : Oulad Bou Sbaâ, Imi n'Tanout, Khmis Meskala.

Le bassin de Meskala est caractérisé par une série phosphatée qui va du Maestrichtien au Lutétien (dalle à *Thérsitées*), dont la puissance totale de la série phosphatée varie entre 110 m au Nord-Est et 140 m au Sud.

3. Bassin de Oued Eddahab

Le bassin d'Oued Eddahab s'étend sur une surface de 800 Km² de Laâyoun au Nord jusqu'à Lagouira au Sud (Fig. 11). Au Nord il y a une limite d'affleurement contrairement à l'Est où les sables détritiques ont envahi la série phosphatée. Egalement, par rapport aux autres bassins, la série phosphatée de Oued Eddahab s'est déposée avec des intensités

variables dans le domaine. Elle s'étend du Maestrichtien supérieur à l'Eocène inférieur. Elle est caractérisée par une puissance qui varie de 10 à 45 m.

4. Bassin des Gantours

Le bassin des Gantours s'étale sur environ 3150 Km² dont 46% de la surface est reconnue à différentes mailles. Par contre 54% de l'étendu du bassin n'est pas encore reconnu dans la partie sud où la série phosphatée disparaît en profondeur sous les terrains récents de la plaine de la Bahira (Fig. 11).

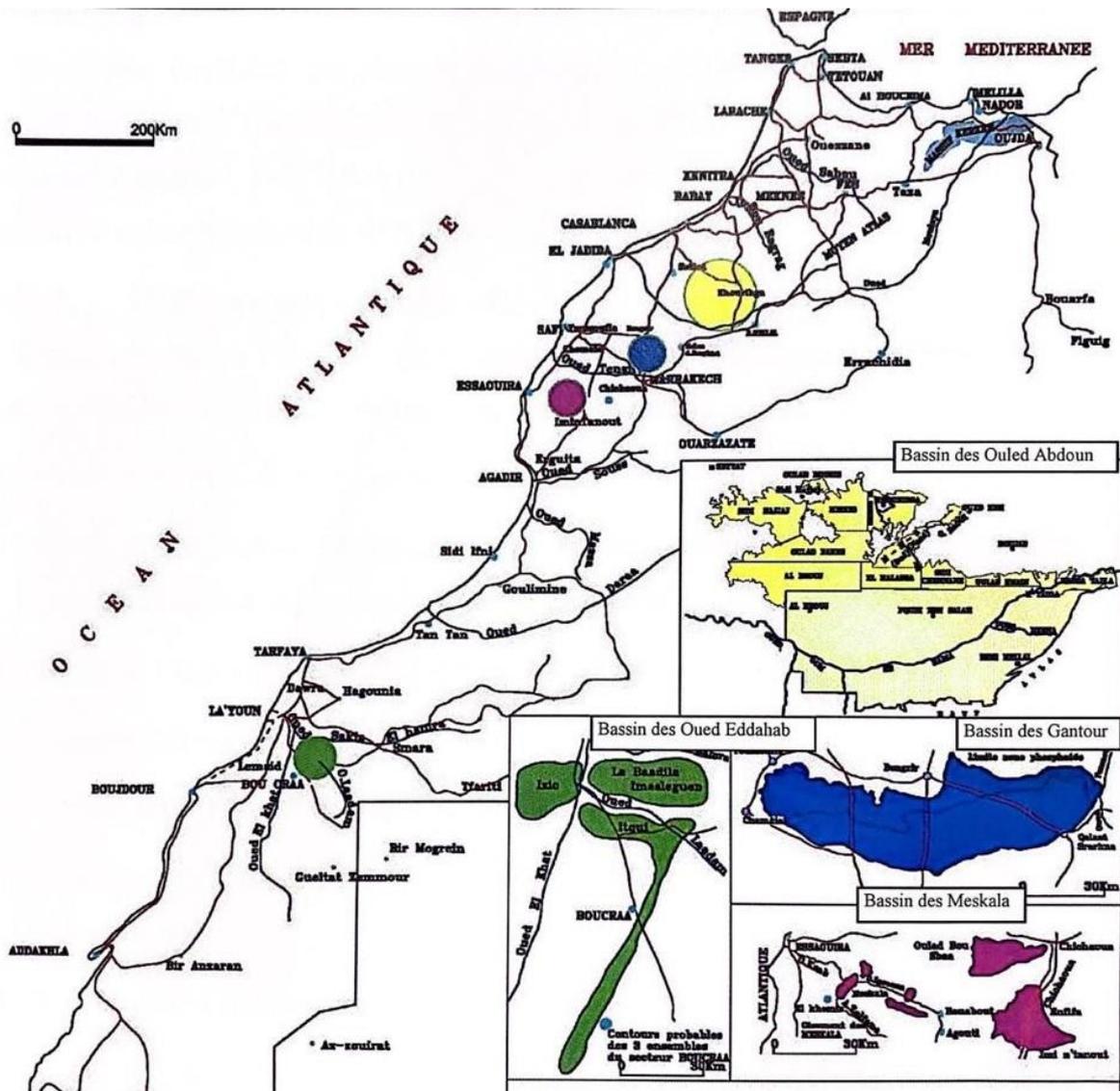


Figure 11: les principaux gisements phosphatés au Maroc (Azmany 1977)

Chapitre II : cadre géologique et minier de la zone étudiée

I. Bassin des Oulad Abdoun

1. Cadre géographique

Le bassin des Oulad Abdoun s'étend sur plus de 10000 Km². Il se situe au centre du Maroc et s'inscrit grossièrement dans un rectangle limité par les méridiens 6°30' et les parallèles 32°30' 33°.

Il est limité au Nord par le massif central, à l'Ouest par le massif de Rhamna et au Sud par la chaîne du moyen Atlas de Béni Mellal dont le quadrilatère ayant pour sommet les villes de Settat, Oued-Zem, Béni Mellal et El Brouj, et qui s'étend sur environ 100 Km de longueurs de direction E-W, et sur plus de 45 Km de largeur de direction N-S (Fig. 12, El Haddi 2014).

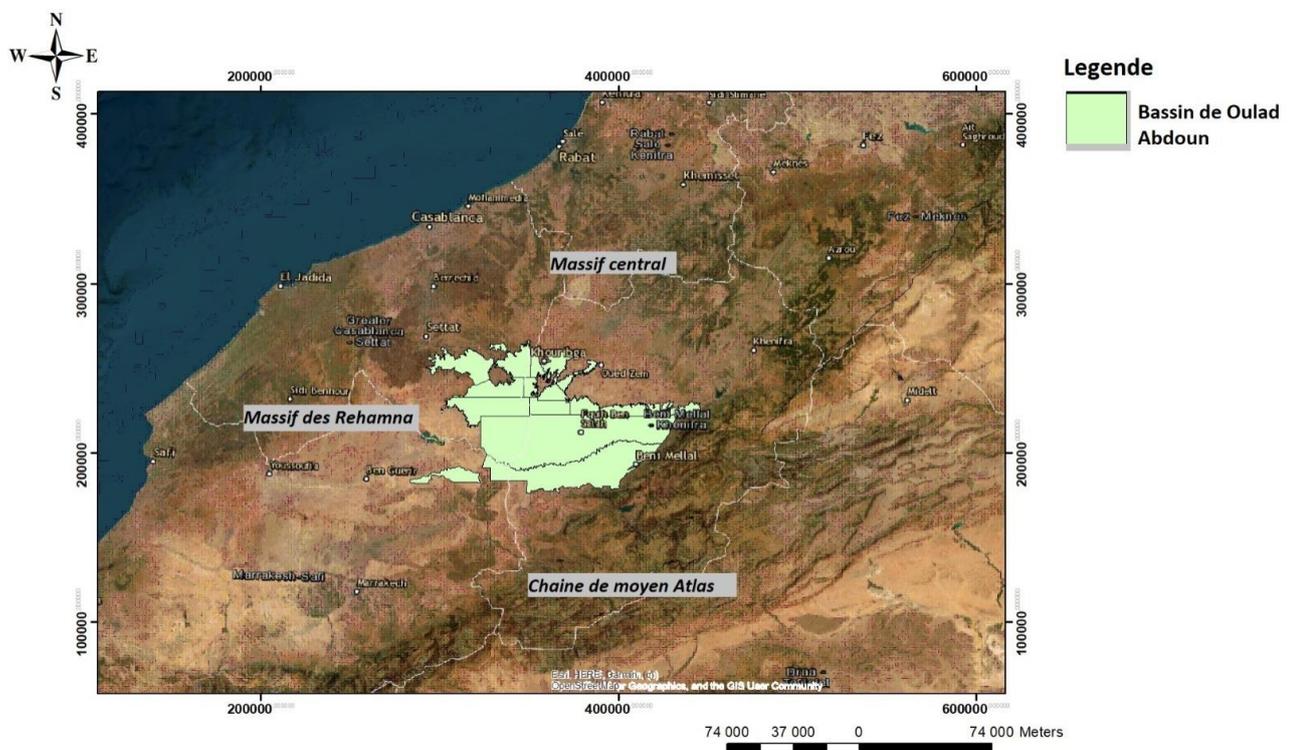


Figure 12: localisation géographique de bassin des Oulad Abdoun

Actuellement, trois secteurs d'exploitation à ciel ouvert sont en activité à Khouribga (Fig. 13):

-Le secteur Sidi Daoui : se trouve à proximité d'Oued Zem où l'exploitation a démarré en 1951. Il est en voie d'épuisement.

-Le secteur Sidi Chennane : se trouve à 35 Km au Sud-Ouest de Khouribga. Son exploitation a démarré en 1994. Il est en cours d'exploitation.

-Le secteur Merah El Ahrach (MEA) : se trouve à 24 Km au sud de Khouribga, son exploitation a démarré en 1965 et continue jusqu'à présent.

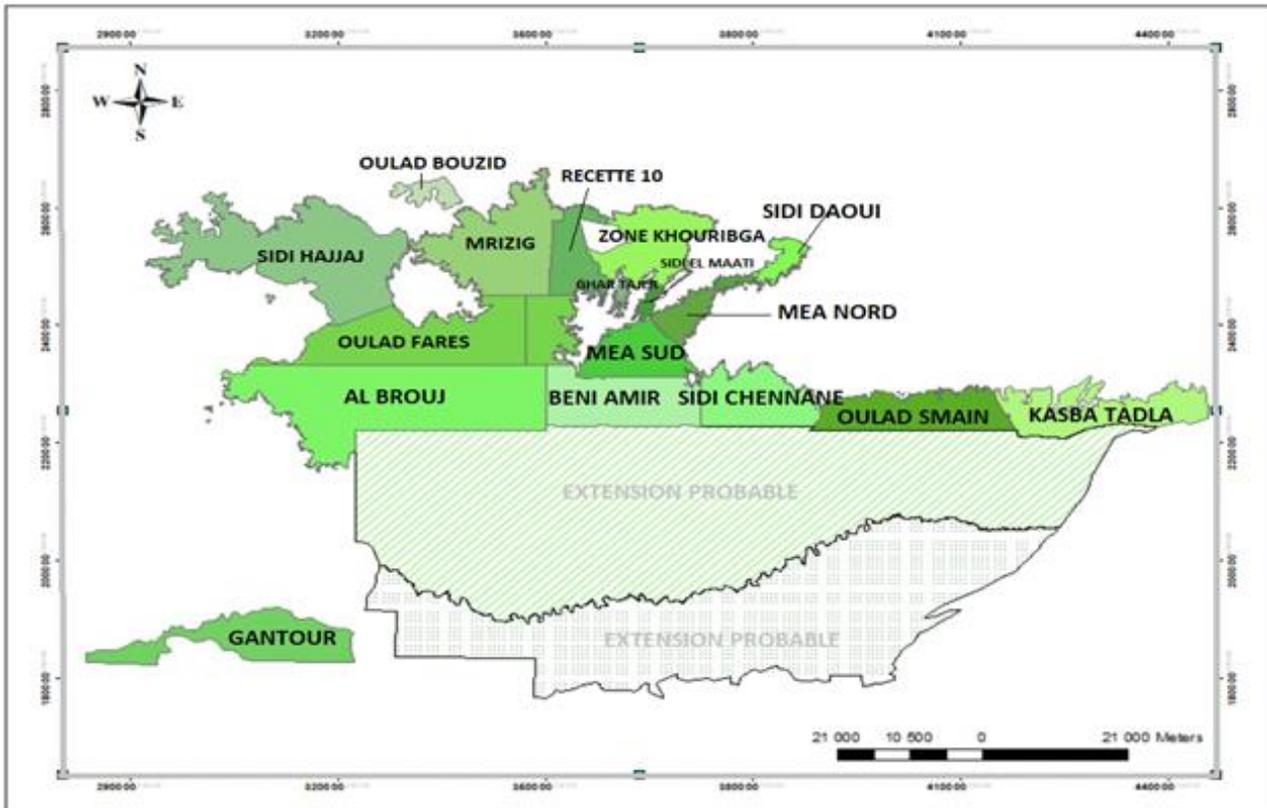


Figure 13: carte de répartition des gisements du bassin des Oulad Abdoun (service géologique nord Khouribga 2023)

2. Cadre géologique

De point de vue géologique, la série du bassin des Oulad Abdoun s'étale de l'Infra-Cénomaniens au Lutétien supérieur, ce dernier constitue la couverture de la série phosphatée (Fig. 14, El Haddi 2014). Du Maestrichtien à l'Yprésien, la série est constituée principalement par des couches phosphatées intercalées par des calcaires, des marnes phosphatées et/ou des silex, avec une présence des fossiles dans les lits de bases (les Bone Beds, rapport annuel OCP 1993).

La série phosphatée est supportée à la base par un substratum Mésétien formé de terrains paléozoïques plissés et faillés, constitués de schistes et de quartzites (Fig. 14, rapport annuel OCP 1993).

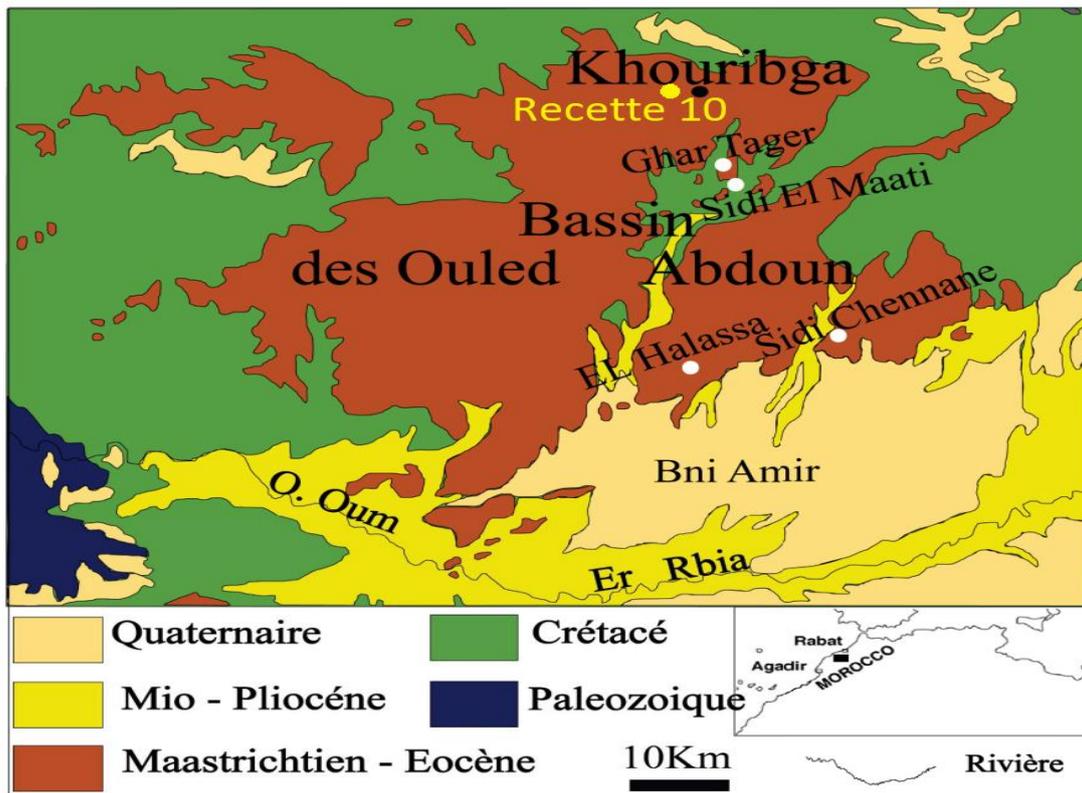


Figure 14: carte géologique du bassin des Oulad Abdoun, extrait de la carte géologique d'Elbrouj (El Alaoui & al. 1964)

3. Paléogéographie du bassin des Oulad Abdoun

Le bassin des Oulad Abdoun fait partie d'un vaste Golf sur lequel se déroulaient des successions de transgression/régression de l'atlantique, chose qui favorisait le dépôt continu de phosphates pendant 25 millions d'années (Fig. 15, Trappe 1991).

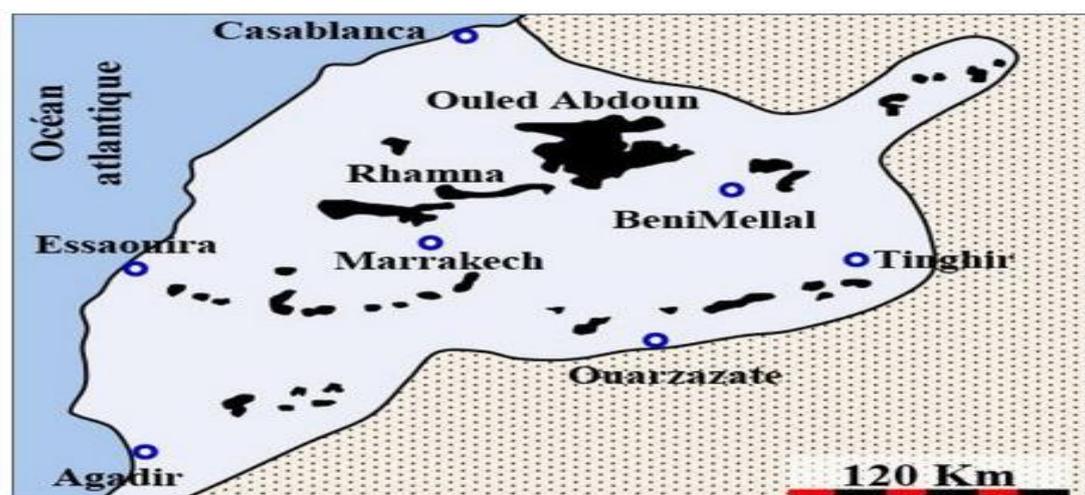


Figure 15: paléogéographie des principaux bassins phosphatés marocains au Crétacé terminal-Paléogène (Trappe 1991)

De point de vue qualité, le Bassin des Oulad Abdoun est considéré comme le plus riche, puisque la série est caractérisée par moins d'intercalaires, des entités de phosphates plus riches et d'un recouvrement moins épais. La teneur la plus forte en phosphore a été identifiée dans le gisement de Sidi Daoui.

4. Contexte tectonique du bassin

a. Définition d'un dérangement

Une anomalie à l'échelle métrique à décimétrique appelée dérangement est définie comme un mélange de faciès de la série phosphatée. Dans ces zones il n'y a aucune stratification, ce qui rend impossible de délimiter les différentes entités ; ainsi qu'il a été constaté que le pendage au niveau de ces zones stériles devient plus important que le terrain encaissant (Fig. 17).

b. L'origine des dérangements

Afin de déterminer l'origine de ces dérangements, deux hypothèses ont été suggérées (Fig. 16, Qarqoury & Assam 2004)

a-hypothèse de l'effondrement :

A cause de l'infiltration des eaux météoriques à travers les carbonates et les couches de la série phosphatée, le calcaire turonien subi l'altération et la dissolution et formerait des Karsts souterrains de différentes formes. Ces derniers ne vont surtout pas supporter la surcharge lithostratigraphique des couches sus-jacentes et par conséquent il va y avoir des effondrements et des dérangements.

b-hypothèse tectonique:

A cause des conditions non uniformes de dépôts dans le temps et l'espace, une hétérogénéité du milieu, de point de vue résistance et dureté s'exprime par des fissures et des diaclases dans la dalle à Thersitées.

De même, par le jeu des eaux météoriques (acides) qui vont dissoudre cette fois-ci les carbonates de la dalle à Thersitées, et par conséquent les fractures augmentent de diamètre.

D'autre part, la présence d'une tectonique due à l'orogénèse atlasique qui est active jusqu'à présent peut influencer le jeu des failles au niveau des séries phosphatées, ce qui va accentuer les dérangements.

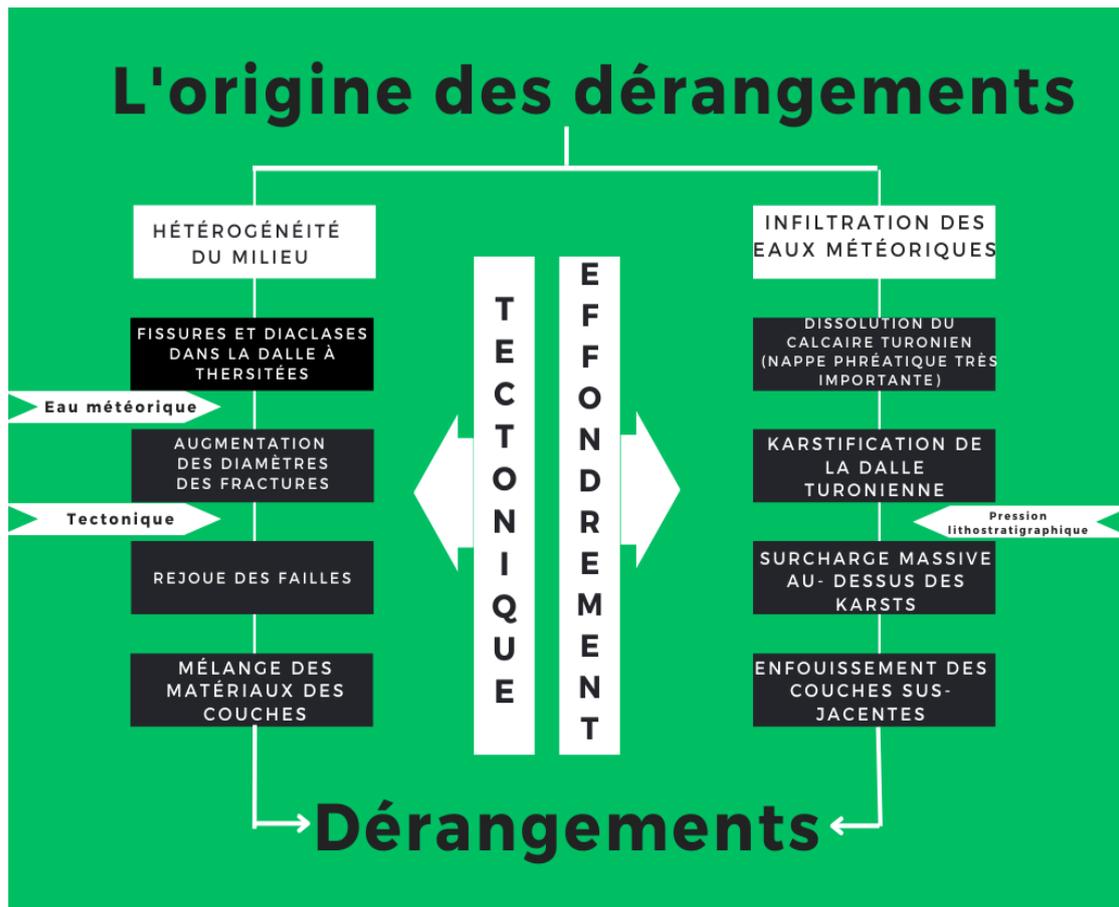


Figure 16: schéma explicatif sur l'origine des dérangements

c. Types de dérangements

Deux types de dérangement peuvent être distingués :

- Dérangement total: toute la série subit un effondrement et les couches phosphatées sans exception forment une masse homogène avec du stérile dans cette zone, la gravité de ce cas forme un grand obstacle pour l'exploration minière.
- Dérangement partiel: seuls quelques niveaux phosphatés supérieurs sont affectés par l'effondrement.



Figure 17: photo d'un dérangement dans le gisement de Sidi El Maati

5. Découpages de la série phosphatée du bassin des Oulad Abdoun

a. Découpage chronostratigraphique

Le bassin des Oulad Abdoun est une région géologique du Maroc qui contient d'importants gisements de phosphate. Il se situe sur une plateforme stable qui résulte de la transgression marine du Crétacé moyen à l'Éocène. La série phosphatée constitue le dernier terme de la couverture sédimentaire, s'étend de l'Infra-Cénomaniens rouge au Lutétien supérieur (Tab.1, Choubert & al. 1962).

Dans cette région, le socle paléozoïque est très fortement plissé et faillé et formé principalement de quartzites et de schistes en lie de vin. Dans la région de Ben Ahmed, cette série est attribuée au Silurien (Salvan 1952).

Le Crétacé supérieur (Infracénomaniens) est le premier terme transgressif de la série phosphatée. Il est représenté par une suite de marnes et de grès de couleur rouge brique azoïque reposant en forte discordance sur le socle paléozoïque (Belfkira 1980).

Le Cénomaniens est constitué par de petits bancs très gypseux et par une alternance de marnes et de calcaires marneux blancs et jaunâtres. La puissance de cette formation varie de 20 à 100 m, il repose directement sur le Paléozoïque dans la région de Boujâad et Kasba-Tadla (Elmontassir 1977 & Belfkira 1980).

Le Turonien est essentiellement calcaire, et forme un important réservoir d'eau (aquifère profond). Les calcaires turoniens sont fortement dolomitiques et peu fossilifères.

Le Sénonien constitue le mur de la série phosphatée, et est formé par des marnes à caractère régressif, sa puissance varie de 50 à 100 m. Il comprend presque partout deux séries marneuses jaunes, séparées par une barre calcaire d'épaisseur variable (Choubert & al. 1972).

Le Maestrichtien, marquant le début de la phosphatogenèse, est constitué par des phosphates marneux et des marnes phosphatées. Il est formé à sa base par des calcaires très fossilifères à Bone Beds et en son sommet par des marnes meubles granuleuses. Les dépôts de phosphate se poursuivent jusqu'au Lutétien (Arambourg 1935).

Le Danien-Thanétién du Paléocène est formé à sa base de calcaire phosphaté sur laquelle repose une couche à puissance élevée de phosphates grossiers riches en Bone Phosphates of Lime, et de phosphates meubles de moyenne à fine granulométrie, avec des bancs de calcaires à *Cardita Coquandi* (Fig. 16). La formation se termine par des calcaires phosphatés et marno-calcaires (Montenat & Merle 2018).

L'Yprésien débute dans la majorité des cas par un calcaire phosphaté coprolithique. La phosphatogenèse y atteint son apogée. Il est formé d'une succession de niveaux phosphatés intercalés avec des calcaires phosphatés coprolithiques, des argiles et des sillexites ou marnes siliceuses (Salvan 1952, Belfkira 1980). Le phosphate occupe des bioturbations au niveau des marnes.

Le Lutétien marque la fin de la sédimentation phosphatée. Il est principalement représenté dans sa partie inférieure par des marnes tendres et des bancs de silex peu ou non phosphatés. Une dalle à Thersitées occupe le recouvrement de la formation ce qui est bénéfique pour la mine phosphatée car elle est responsable à la conservation des niveaux phosphatés contre les facteurs d'érosion.

À la base de chaque séquence de dépôt, du phosphate subit une calcification en calcaire phosphaté. Ce phénomène rend les activités d'extraction plus facile lors du défruitage.

b. Découpage minier

Ce découpage est basé sur la qualité du niveau phosphaté. La série phosphatée des Oulad Abdoun est constituée d'une alternance de couches phosphatées et de stérile. Du bas vers le haut, on peut distinguer (Tab. 1, rapport annuel OCP 2004):

Couche 3: déposée durant le Maestrichtien, constituée de phosphates à prédominance marneuse, calcifié, compacte à dure, et très fossilifère (fossilisation atteint son apogée avant l'extinction en masse au Crétacé).

Couche 2: d'âge allant du Danien au Thanétién et formée de phosphate friable à meuble, calcifié au toit, pauvre en fossiles et légèrement marneuse, absence de la silicification.

Couche 1: elle est d'âge Yprésien, présente des silex et riche en coprolithes. C'est la couche qui fait l'objet de notre étude dans le présent mémoire de fin d'études. Elle est subdivisée en trois parties:

- Couche 1 inférieure: c'est la partie la plus riche en BPL% de la série (71%PBL à 73% BPL), formée de phosphate grossier sableux de couleur grisâtre avec des silex vers le toit.
- Couche 1 médiane: constituée de phosphate moyen marneux, jaunâtre au mur et de marne très phosphatée et compacte au milieu et calcaire au toit.
- Couche 1 supérieure: formée de phosphate fin compacte grisâtre avec un passé discontinu de silex.

Couche 0': appartient à l'Yprésien, elle est formée de coprolithes, marneuse parfois calcaireuse d'où la faible teneur en P_2O_5 %.

Couche 0: constituée de phosphate marneux coprolithique friable de couleur grisâtre. Elle est d'âge Yprésien.

Sillon A: formé de phosphate grossier à coprolithes dans sa partie inférieure et de phosphate, marneux dans sa partie supérieure et intercalé par des marnes et des banquettes de calcaire formant un faisceau.

Sillon B: d'âge Yprésien, le sillon B est constitué de phosphate grossier meuble, par une puissance de 1 m, il représente les teneurs les plus élevées en P_2O_5 (>73% BPL); c'est le premier niveau phosphaté exploitable.

Recouvrement: Correspond au Lutétien, constitué d'une alternance de marnes, marne siliceuse à silex, calcaire marneux et des sillons de phosphate dits parasites.

Les repères des couches dans la série phosphatée des Oulad Abdoun

La série phosphatée des Oulad Abdoun renferme des niveaux repères caractérisés par leur contenu lithologique et fossilifère pouvant servir comme des marqueurs fiables à l'identification des niveaux miniers conventionnels. Ces niveaux repères sont des couches intercalaires formées par différents faciès facilitant le repérage de chaque couche de la série phosphatée (Cayeux 1950). Leur exposition du bas en haut est la suivante :

- les marnes sénoniennes caractérisés par leur couleur jaunâtre et l'absence du phosphate;
- les minéraux calcaires dits Bone Beds marquant le mur de la couche 3 inférieure et supérieure;
- l'intercalaire couche 2/couche 3 composés par des marnes grumeleuses jaunâtres;
- calcaire à *Cardita Coquandi* subdivisant la couche 2 en deux parties;
- deux alignements en série parallèles de rognons de silex marquant le mur et le toit de la couche 1 supérieure (Fig. 26a);
- la dalle de nodules de silex ménilitique (Fig. 18), repérant le toit de la couche 1 qui appartient à l'intercalaire couche 0/couche 1;

-le complexe à nodules de silex continu coiffant le toit de la couche 0. Communément appelé toit de Boujniba et les calcaires truffés de silex au mur du sillon A. Ces repères appartiennent à l'intercalaire sillon A/ Couche 0.

Le recouvrement lutétien au toit du sillon B est marqué par les marnes siliceuses au contact du toit du sillon B.



Figure 18: exemple de silex ménilitique

c. Découpage séquentiel

Le découpage séquentiel établi dans les Oulad Abdoun est basé sur les critères d'observation macroscopiques décelables sur le terrain. Ainsi une séquence fondamentale est définie d'après la granulométrie; on allant des grossiers à la base aux fins au sommet. La distinction des macroséquences est principalement basée sur la stratonomie :

-stratodécroissance des termes séquentiels grossiers.

-stratocroissance des termes séquentiels fins.

"D'après les discontinuités majeures de sédimentation et les contenus en débris biogènes dans les strates; quatre mégaséquence ont été définies:

-La mégaséquence A: caractéristique du mésozoïque, correspond au maestrichtien et contient la couche 3. C'est une mégaséquence particulièrement fossilifère.

-La mégaséquence B: correspond au Danien-Thanéien, à l'ère Tertiaire, et contient la couche 2, elle est caractérisée par sa lacune en débris organiques.

-La mégaséquence C: correspond à l'Yprésien et forme une large séquence riche en coprolithes comprenant les couches 1, C0 et C0' jusqu'au sillon B.

-la mégaséquence D: correspond au Lutétien, celle-ci forme la dalle à Thersitées dont l'origine des terrains provient de l'accrétion des coquilles de Thersitées (Fig. 19).

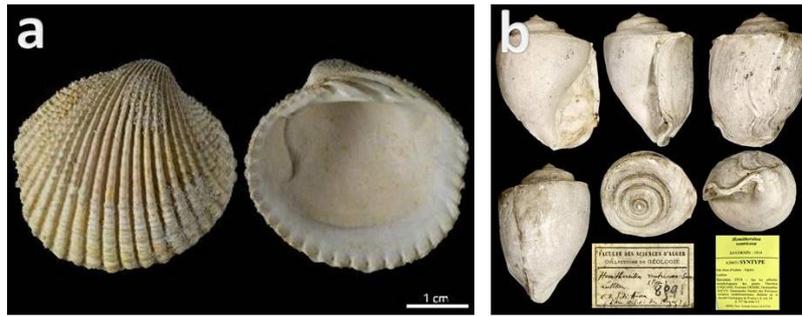


Figure 19: (a) *Cardita Coquandi* (Gmelin 1791), (b) *Thersitea* (Savornin 1914).

Découpage Chronostratigraphique			Découpage Minier	Découpage Séquentiel
Ère	Période	Système		
Tertiaire (Cénozoïque)	Éocène	Lutétien	Recouvrement Toit Sillon B	Mégaséquence D
		Yprésien	Sillon B	Mégaséquence C
			Sillon A	
			Couche 0	
			Couche 0'	
		Paléocène	Thanétien	Couche 2
	Sélandien			
	Danien			
	Secondaire (Mésozoïque)	Crétacé Sup	Maestrichtien	Couche 3

Tableau 1: synthèse des différents découpages de la série phosphatée du bassin des Oulad Abdoun (service géologique nord Khouribga 2023)

II. Corrélation des coupes du bassin des Oulad Abdoun

Dans le but de connaître l'évolution spatio-temporelle de la série phosphatée dans le bassin des Oulad Abdoun, nous avons réalisé un profil de corrélation orienté NW-SE entre les coupes de la Recette 10 (puits 7730), de Ghar Tajer (Tranchée), de Merah El Ahrach (puits 2532) et de Sidi Chennane (puits 13123). Dans ces corrélations nous comparons le contenu lithologique et les épaisseurs des niveaux phosphatés entre les différents gisements (Fig. 20).

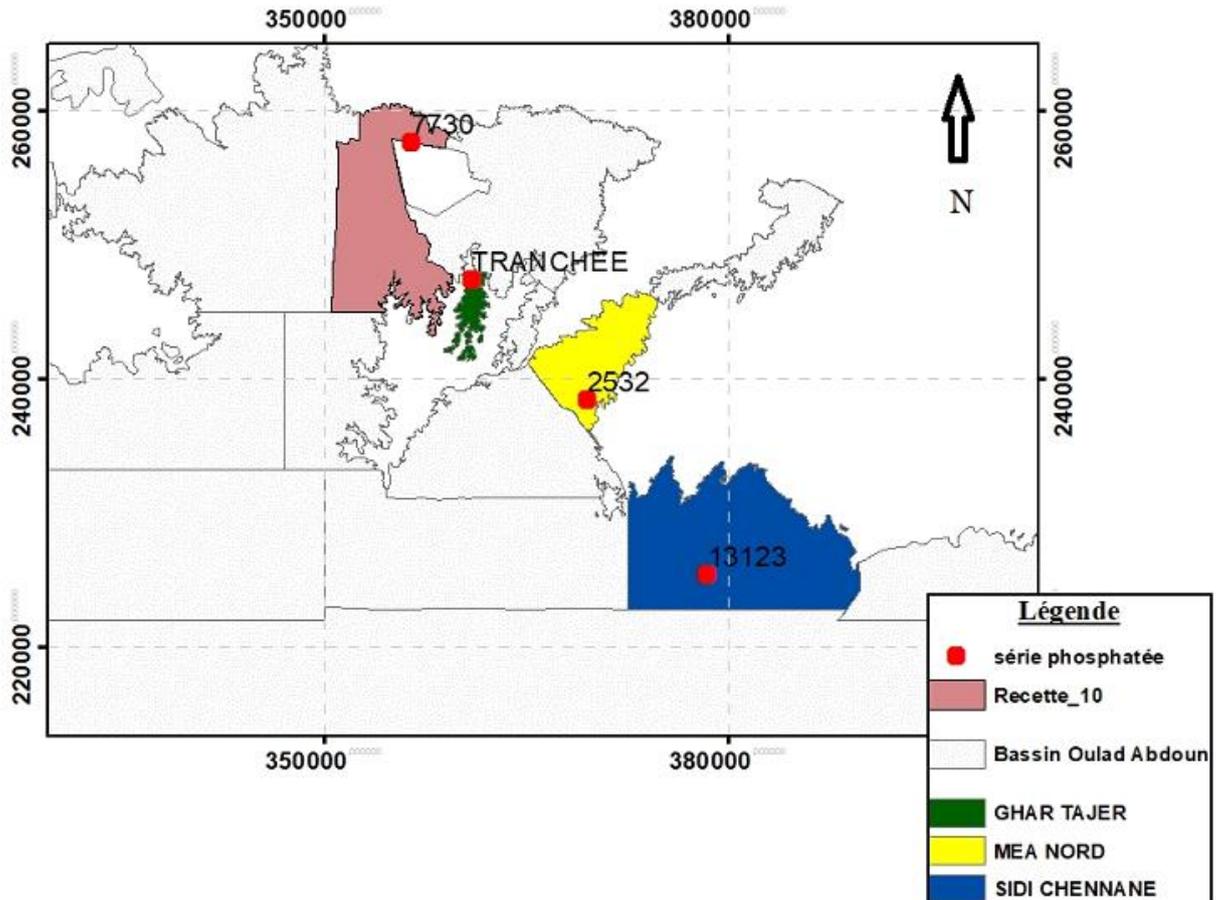


Figure 20: carte de localisation des différents puits à partir desquels sont réalisées les corrélations (service géologique nord Khouribga 2023)

La couche 1 :

Dans tous les puits étudiés, d'un point de vue lithologique cette couche peut être subdivisée en trois niveaux : un niveau inférieur, un niveau médian et un niveau supérieur (Fig. 21).

Le niveau inférieur est constitué de phosphate grossier friable sur tous les sites étudiés, avec apparition de coprolithes à Ghar Tajer, des rognons de silex phosphatés à MEA et l'enrichissement en marnes à Sidi Chennane.

Le niveau médian est en majeure partie marneux à calcaireux. Il forme, en général, l'intercalaire entre le niveau inférieur et le niveau supérieur. Cependant, au niveau du puits de MEA, il renferme du phosphate marneux calcifié.

Le niveau supérieur est très riche en phosphate avec une granulométrie variable. Le phosphate grossier caractérise les puits de la recette 10 et de Ghar Tajer. Le phosphate fin est surtout abondant dans la région de Sidi Chennane où il est associé à des rognons de silex (parfois phosphaté) et à une proportion de marnes assez importante. Nous constatons que le degré de calcification dans le bassin augmente du NW vers le SW.

En allant d'un puit à l'autre la couche 1 montre des épaisseurs variables. Les épaisseurs les plus importantes ont été enregistrées à Sidi Chennane (environ 2,5 m) avec un niveau inférieur de 0,5 m, un niveau médian de 0,5 m et un niveau supérieur de 1.5 m ; et à Ghar Tajer (environ 2,30 m) avec un niveau inférieur de 0.60 m , un niveau médian de 0,45m et un niveau supérieur de 1,25 m (chiffres en rouge).

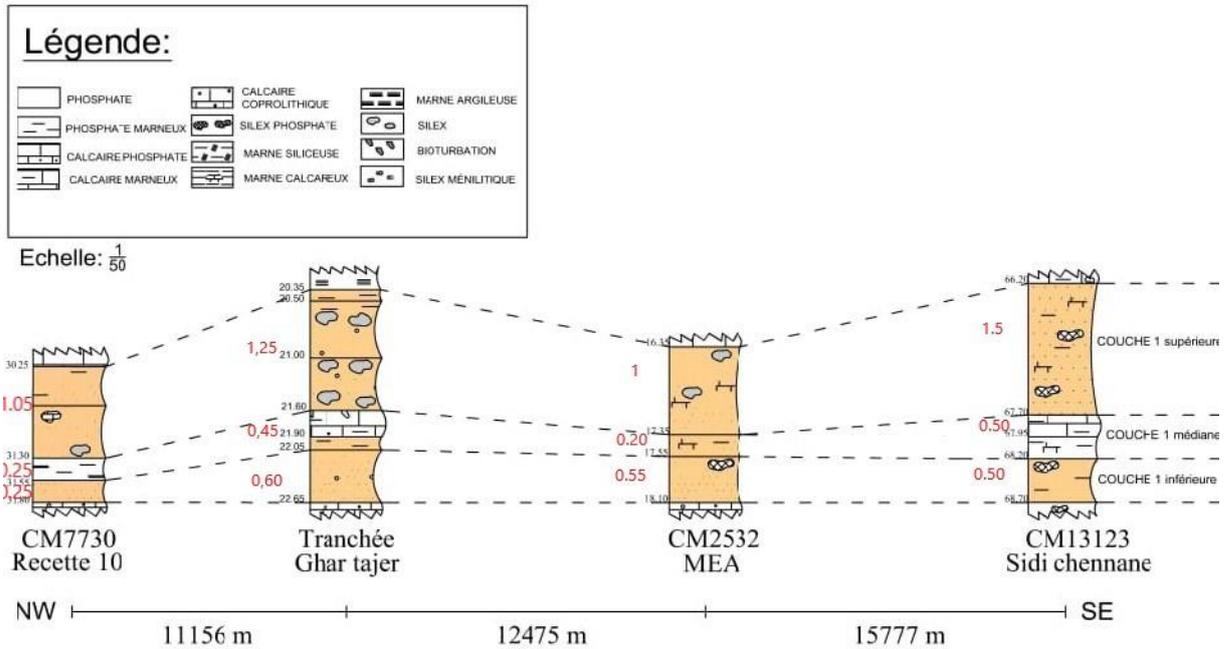


Figure 21: profil de corrélation couche 1

Les couches 0' et 0 :

En général nous remarquons que les couches 0 et 0' montrent la même évolution spatio-temporelle dans le bassin. Ces couches sont absentes dans la partie nord du bassin (recette 10), et présentes dans les autres sites avec des épaisseurs de plus en plus importantes en direction SE du bassin (Ghar Tajer, Fig. 22).

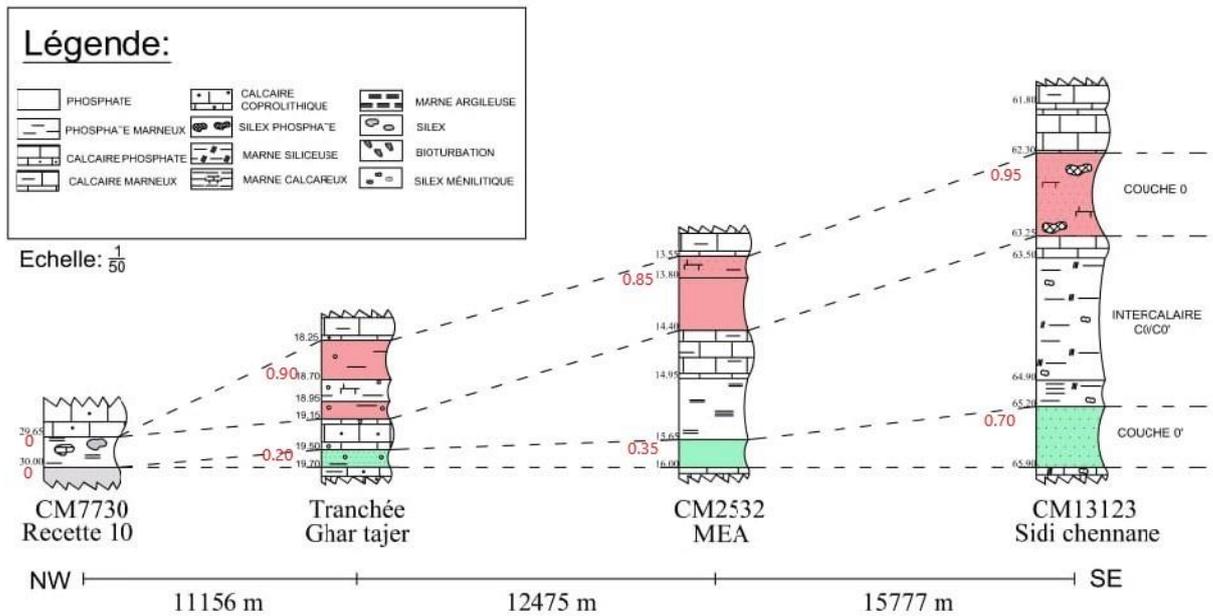


Figure 22: profil de corrélation couche 0 et couche 0'

Le sillon A :

Il s'agit d'un niveau de calcaire phosphaté parfois très calcifié et entrecoupé localement par des petits intervalles d'argiles (Ex : gisement MEA). Son épaisseur est variable selon les gisements. La puissance maximale (0.75 m) est enregistrée sur le site de MEA, tandis que l'épaisseur minimale (0.23 m) est enregistrée à Sidi Chennane (Fig. 23).

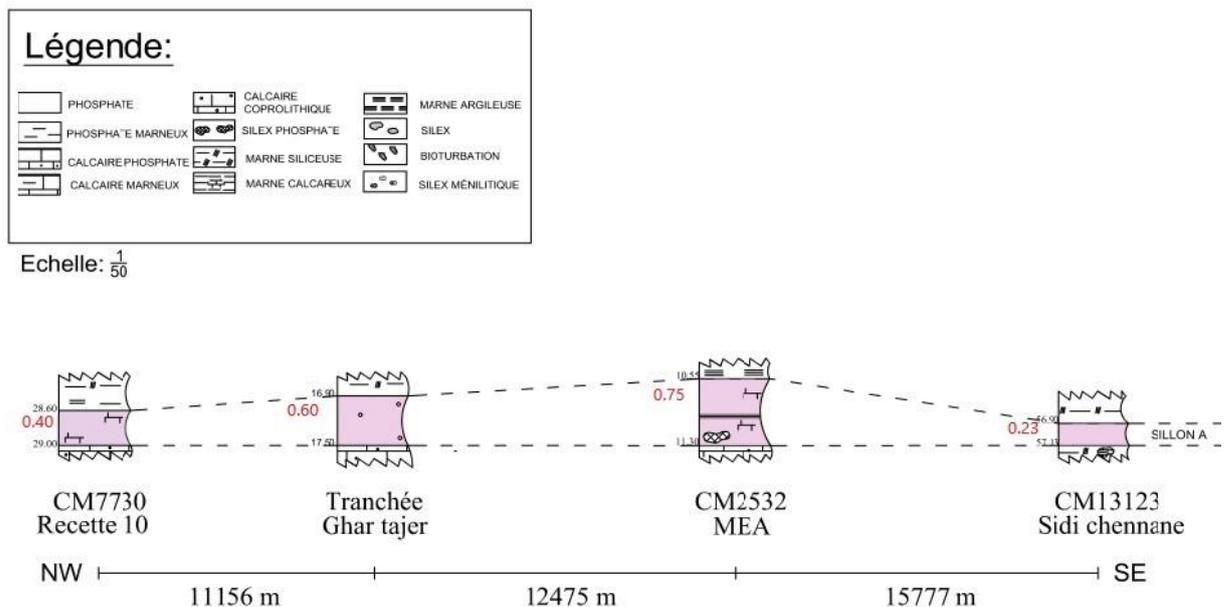


Figure 23: profil de corrélation sillon A

Conclusion:

Les corrélations lithostratigraphiques réalisées entre les puits de différentes zones du bassin des Oulad Abdoun montrent une condensation des entités phosphatées dans les zones situées au nord du bassin. La série phosphatée devient de plus en plus réduite en se dirigeant vers le Sud (Fig. 24). Cette variation des épaisseurs revient aux différences de taux de subsidence entre les différentes zones paléogéographiques du bassin. Ainsi qu'il ressort que la zone nord correspondrait à un milieu peu subsident, moins profond et agité avec une sédimentation en grande partie formée par des phosphates grossiers. Quant à la zone sud, elle correspondrait à un milieu subsident, très profond et calme, avec une sédimentation de phosphate fin, de marne et de calcaire. Ce qui peut expliquer l'abondance des d'intercalaires dans cette zone.

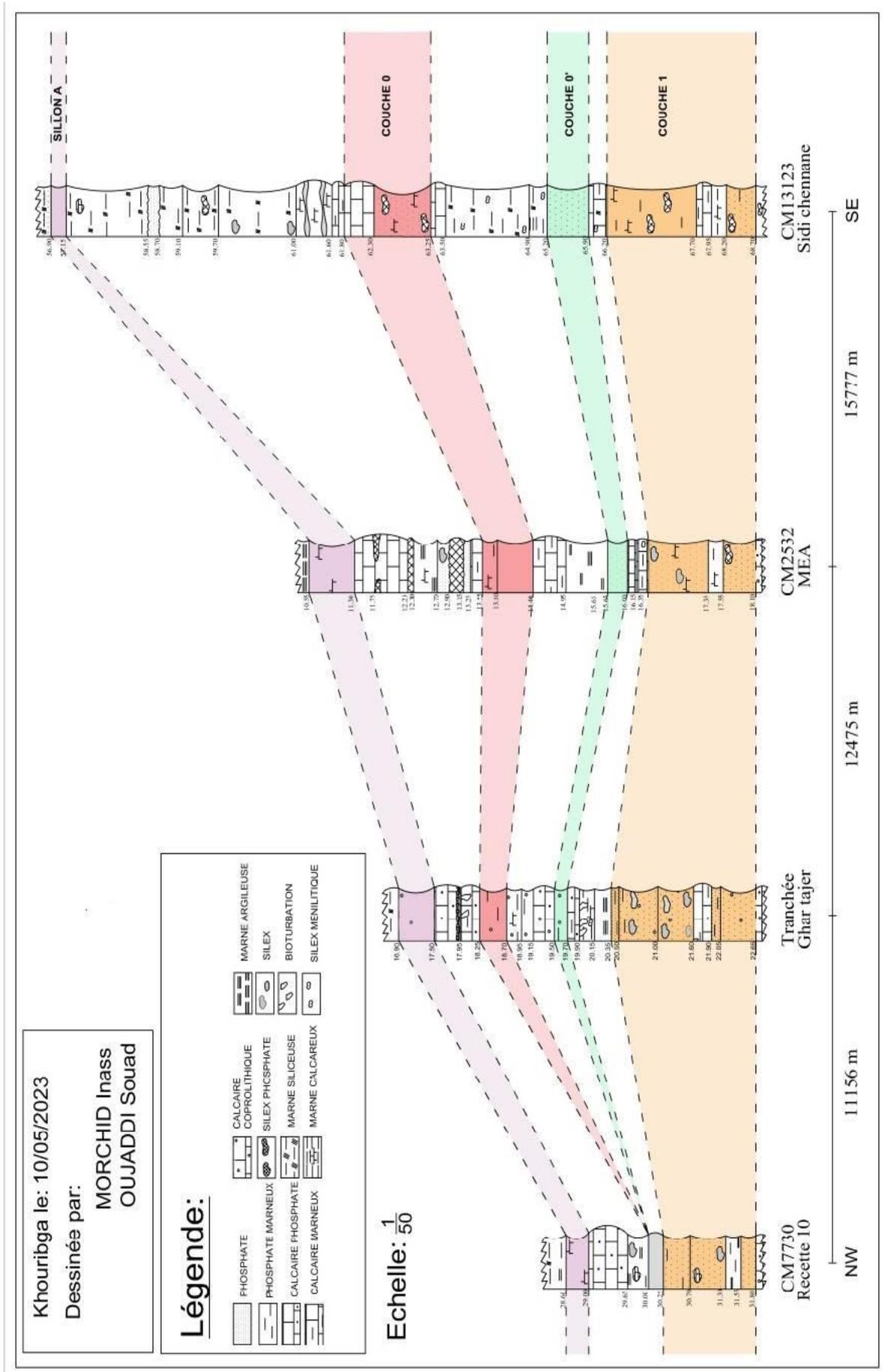


Figure 24: profil de corrélation entre les différents puits de la zone étudiée

Chapitre III : Etude lithostratigraphique de la coupe du gisement de Ghar Tajer

I. Situation géographique du gisement

Le gisement de Ghar Tajer est une zone d'exploitation faisant partie du bassin des Oulad Abdoun. Il est situé à 9km au Sud-Est de la ville de Khouribga et limité au Sud par Oulad Kacem, à l'Est par le gisement de Sidi El Maati et au Nord par la route n°11 reliant Fekih Ben Saleh et Khouribga (Fig. 25).

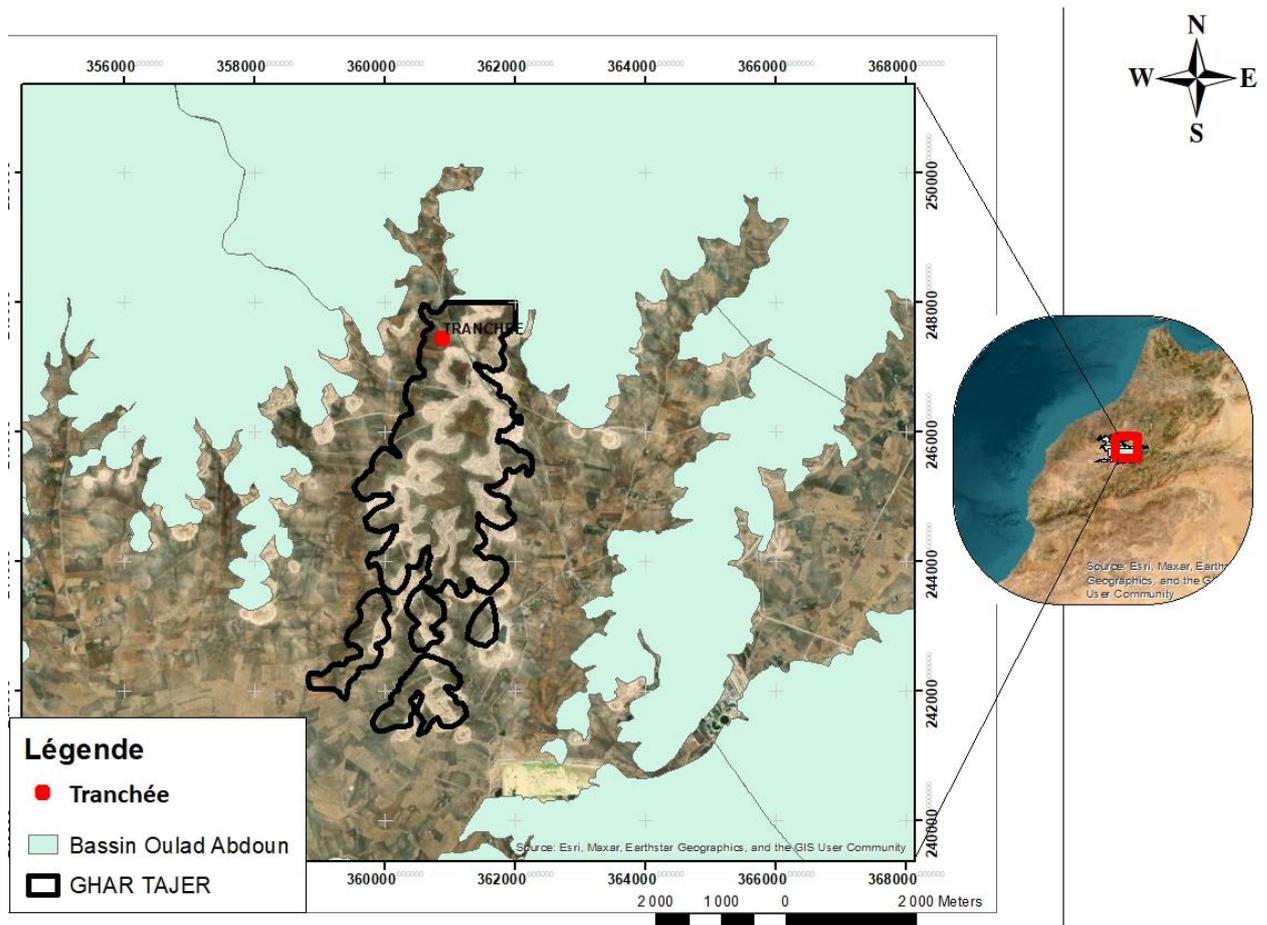


Figure 25: localisation de tranchée étudiée dans le gisement de Ghar Tajer (service géologique nord Khouribga 2023)

II. Identification des entités minières de la série phosphatée de Ghar Tajer

Après notre sortie au chantier d'exploitation, nous avons réalisé un log stratigraphique à partir d'une tranchée d'environ 26 m de hauteur (Fig. 26). Elle est située à Ghar Tajer et présente les coordonnées Lambert suivante: X=360882, Y=247437 (Cf Fig. 25).

Du bas vers le haut, la série phosphatée (Fig. 26) se présente comme suit :

Les niveaux d'âge Danien-Thanétien, d'environ 3 mètres de puissance, renferment des phosphates friables à meubles, avec des niveaux de phosphates marneux appartenant à la couche 2. La formation se termine par des calcaires phosphatés bioturbés riches en coprolithes et en débris de fossiles, formant l'intercalaire entre la couche 1 et la couche 2. (Fig. 27b)

Les niveaux d'âge Yprésien commencent par une succession de phosphates grossiers et moyens généralement friables, très coprolithiques avec deux rangées discontinues de silex au toit et à la base du niveau supérieur qui caractérise la couche 1 (Fig. 27a). Cette dernière est limitée par des marnes argileuses et des marnes calcareuses violacées bioturbées au toit et renfermant des silex ménilitiques (intercalaire C0'/C1, (Fig. 27e). La couche 1 est surmontée par la couche 0', ayant une puissance relativement faible, et composée de phosphate marneux fin friable. Elle est séparée de la couche 0 par du calcaire phosphaté coprolithique (intercalaire C0/C0') (Fig. 27f). La couche 0 est formée de niveaux grisâtres de phosphate marneux friables, calcifiés et coprolithiques (Fig. 27c). Elle se termine par un banc de calcaire phosphaté bioturbé, renfermant une passée de silex repérant ainsi l'intercalaire entre le sillon A et la couche 0 (appelé niveau « Sandwich » par les explorateurs, Fig. 27d). Le sillon A est constitué de phosphate meuble coprolithique gris-beige. Il est séparé du sillon B par des marnes siliceuses et du calcaire phosphaté marneux et coprolithique. Le sillon B, qui représente la phase terminale de l'étage Yprésien, se manifeste par des niveaux assez épais de phosphate beige, grossier, meuble et coprolithique avec du calcaire phosphaté également coprolithique au milieu.

Le recouvrement de l'étage Lutétien est constitué par des niveaux de marnes argileuses et siliceuses, du silex en banc ou en rognon, de calcaires phosphaté et des niveaux durs de calcaires marneux recelant des coquilles de Thersitées, formant de ce fait la fameuse dalle calcaire à Thersitées.

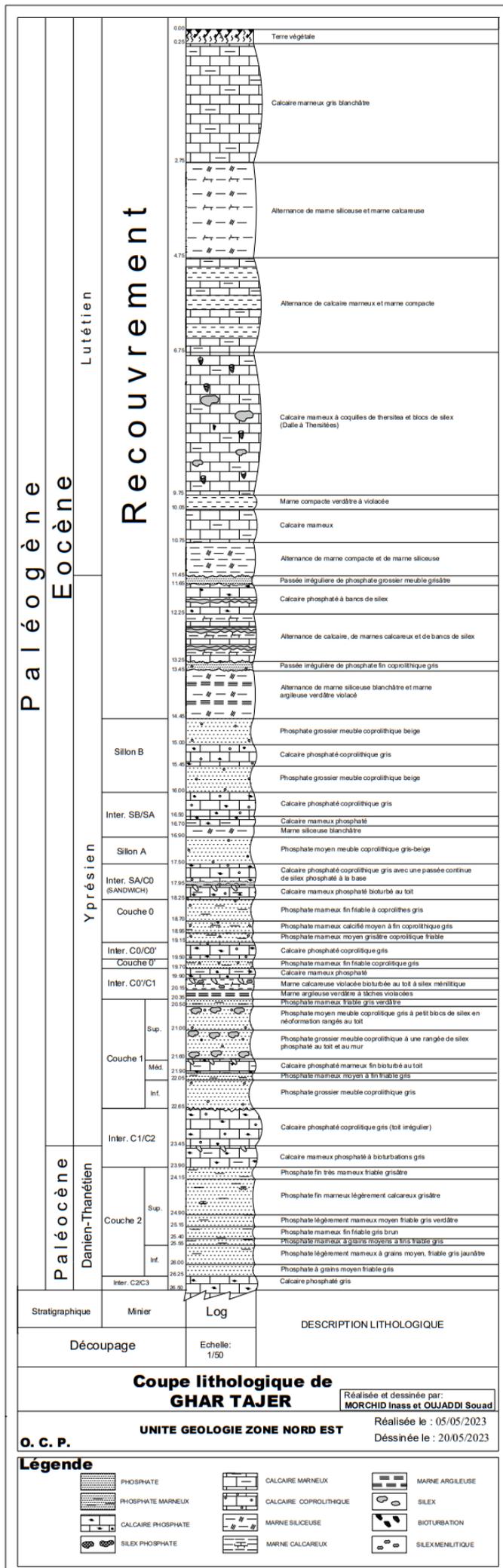


Figure 26: coupe lithologique de gisement Ghar Tajer

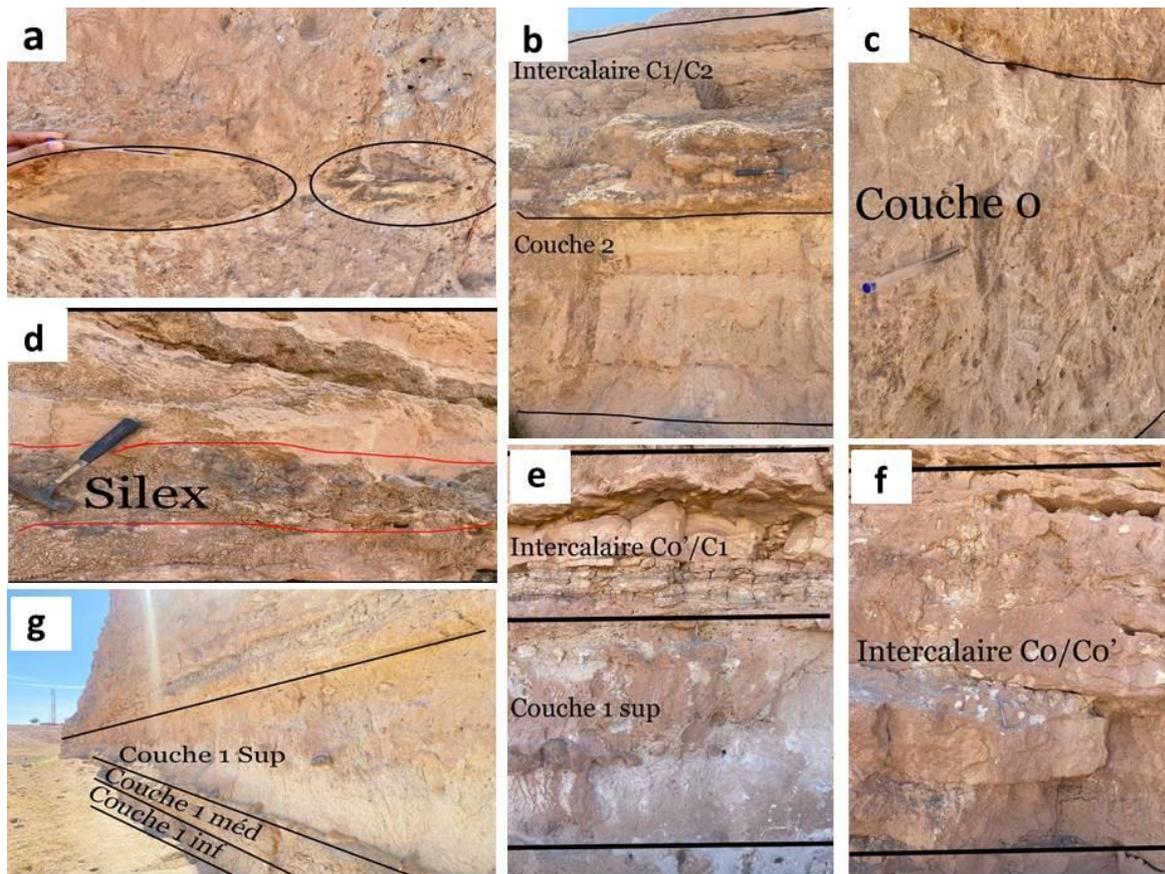


Figure 27: (a) rognons de silex dans la couche 1 phosphatée, (b) couche 2 et intercalaire C1/C2, (c) couche 0, (d) intercalaire SA/C0, (e) couche 1 et intercalaire C0'/C1, (f) intercalaire C0/C0', (g) les niveaux de la couche 1

Conclusion:

L'étude lithologique de la tranchée dans le gisement de Ghar Tajer montre que les entités phosphatées et leurs intercalaires, ainsi que leurs caractéristiques (lithologie, épaisseur, teneur en phosphates) observés sur le log lithostratigraphique est quasiment conforme avec la coupe lithostratigraphique moyenne du bassin des Oulad Abdoun. Les légères différences soit au niveau des épaisseurs ou de la lithologie reviennent à la différence voir l'inégalité de sédimentation du phosphate et de dépôts marins dans les différentes zones du bassin phosphaté, ainsi que d'autres facteurs comme le paléoenvironnement, le taux de subsidence, etc.

Chapitre IV : Etude géominière de la couche 1 dans la Recette 10

I. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'étude géominière de la couche 1, recette 10 du secteur nord-est du gisement des Oulad Abdoun (Fig. 29). Nous rappelons que cette couche est formée essentiellement par des phosphates sableux grisâtres parfois calcifiés. L'ensemble est coiffé par une passée de silex phosphaté (toit de Boujniba CF Fig. 27d).

L'objectif principal de cette étude consiste en la détermination des caractéristiques physiques et chimiques et le calcul des réserves en phosphate de la zone recette 10.

La démarche suivie pour arriver à cet objectif est la suivante:

- La réalisation de la base des données,
- Les calculs des puissances de phosphate dans plusieurs puits de la zone et de leurs teneurs BPL brut.
- L'établissement des cartes d'iso-puissance et d'iso-teneur en BPL.

II. Démarche de travail

Dans un premier temps nous avons réalisé une synthèse bibliographique sur la recette 10 et sur les techniques d'information géologique utilisées en se basant sur les anciens travaux de recherche effectués dans la région. Par la suite nous avons réalisé la base de données des puits à partir des coupes minières. On extrait les données géographiques et géochimiques pour délimiter la couche phosphatée, les puissances et les teneurs en BPL, et des modèles numériques de terrain de la zone d'étude.

Par la suite on a traité les données sur un logiciel SIG, pour réaliser la carte d'affleurement de la couche phosphatée. On a commencé l'importation de ces données sur le logiciel et le traitement des données par l'élaboration de la carte structurale de la couche 1 (Fig. 31) par l'interpolation. Ensuite on a superposé notre carte avec le MNT (Fig. 32), l'intersection entre eux résulte de la limite d'affleurements (Fig. 33). Après la réalisation de la carte d'affleurement la ligne d'affleurement nous avons limité la zone de répartition des valeurs de puissances et des teneurs en BPL (la zone où la couche 1 existe dans le sous-sol). D'après la carte d'affleurement on a traité les données pour obtenir les cartes d'iso-teneurs. Finalement, nous avons fait les statistiques des puissances et des teneurs dans la zone étudiée et on a calculé les réserves de phosphate, puis on a interprété les résultats obtenus et on a fait leur synthèse (Tab. 5).

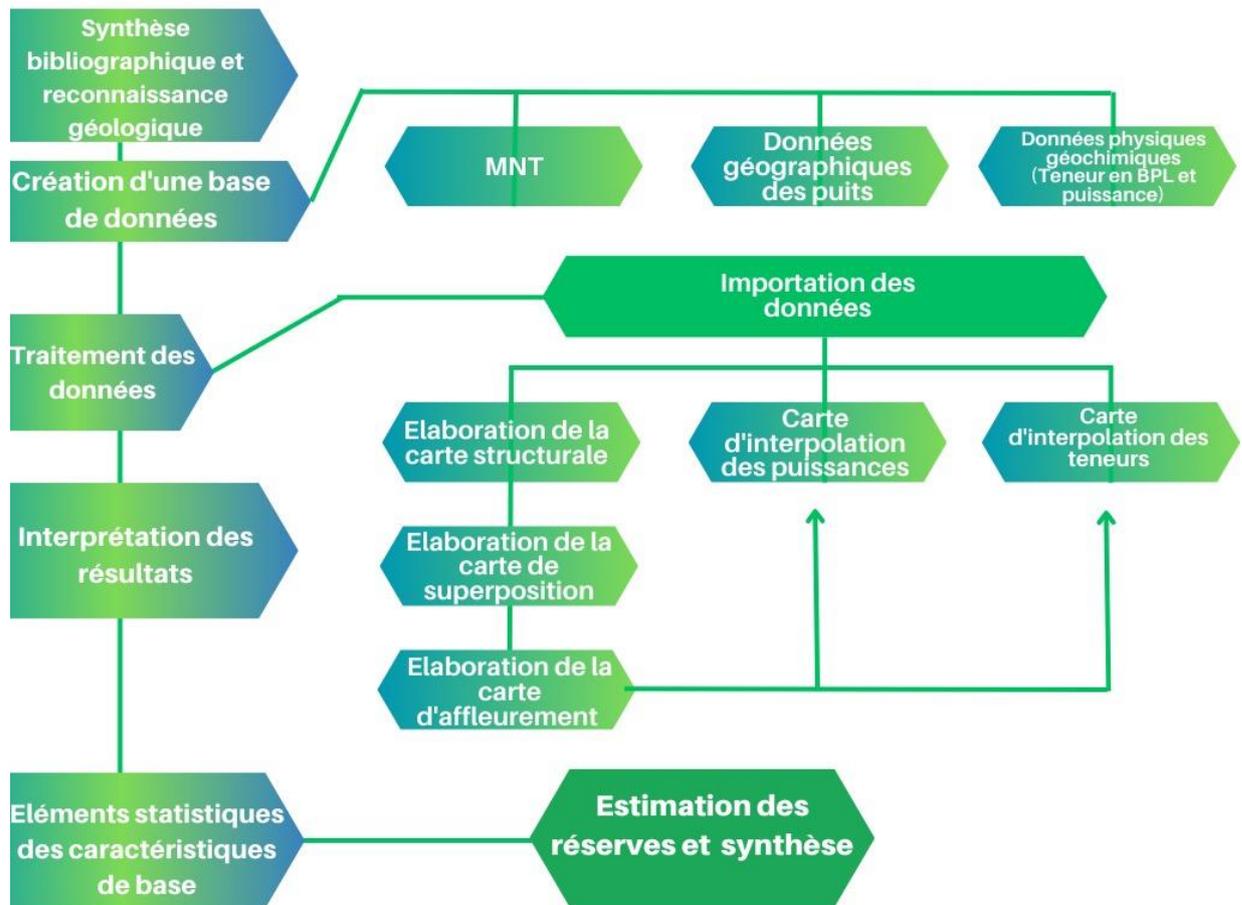


Figure 28: logigramme de la méthodologie adaptée

III. La mine de Recette 10

La recette 10 est un gisement phosphaté situé dans la partie nord du bassin des Oulad Abdoun (Fig. 29). Elle est découverte et mise en service à la fin des années soixante. Elle est limitée à l'Est par la ville de Khouribga, à l'Ouest par le gisement Mrizig et au Sud par le gisement de Oulad Fares (CF Fig. 13).

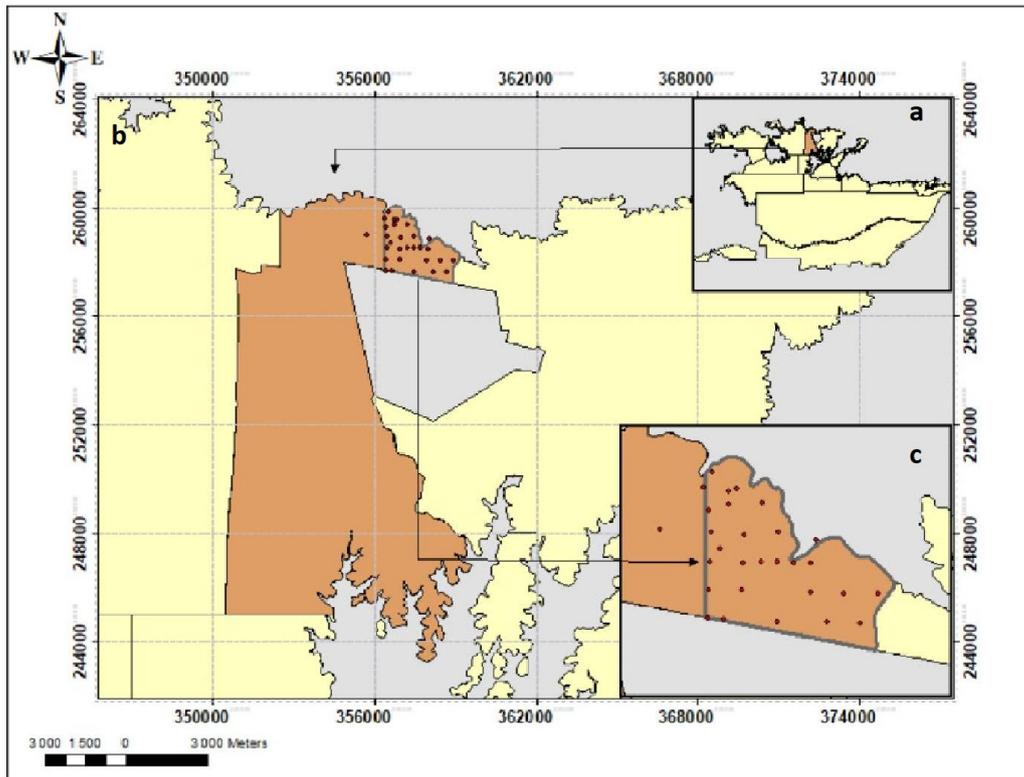


Figure 29: localisation géographique de gisement recette 10 zone nord. (a) bassin des Oulad Abdoun, (b) gisement recette10, (c) partie étudiée de la recette10 (service géologique nord Khouribga 2023)

IV. Présentation de la base des données

L'étude d'une couche phosphatée consiste à rassembler les données nécessaires qui la caractérisent. Cela est dû afin de pouvoir étudier la variation des teneurs et des structures dans le temps et dans l'espace.

L'extraction des données se fait sur chaque puits de la zone étudiée : pour chaque puits on détermine les coordonnées x, y et z ; le toit de la couche 1 (C1 en m), la puissance totale (PT) et la teneur brute (TB). Les résultats sont présentés sur le tableau 2 suivant.

N° Ouvrage	X	Y	Z	Toit C1	PT	TB
3277	356450,61	259265,86	798,5	24,6	2,1	48,81
3284	356769,16	259554,9	791,4	13,9	2,1	46,61
7730	356443,89	257671,8	795,19	30,2	2,2	41,82
7731	356693,33	257661,89	795,33	31,2	2,1	35,99
7743	356458,92	258104,27	797,25	30,25	2,05	46,61
7744	356958,97	258087,46	799,05	30,7	1,44	30,94
7757	356472,83	258515,41	798,69	30,85	2,35	44,37
7759	356973,02	258495,44	797,74	27,6	1,4	39,69
7761	356622,34	258705,3	799,41	30,1	2,1	44,88
7766	355740,74	258993,34	796,23	27	3,6	40,46
7769	356489,03	258947,76	798,7	27,55	2,15	42,86
7771	356984,96	258916,22	796,23	22,85	2,05	45,66
7783	356760,5	259367,16	785,47	10,1	2	46,15
7785	356882,85	259582,34	779,04	4,1	2	46,97
7786	356390,71	259609,73	783,11	10,7	1,9	39,34
7793	356519,05	259833,84	777,83	2,25	2	44,38
10151	357252,56	259379,11	769,74	ERO	ERO	ERO
10156	357492,21	258938,55	768,18	ERO	ERO	ERO
10165	357231,15	258512,73	793,74	19,35	2,05	47,44
10166	357480,44	258506,2	784,09	10,95	2	46,59
10167	357731	258500,2	767,1	HS	HS	HS
10168	357979,21	258493,82	774,23	0,85	2	48,74
10170	258480,25	258481,41	772,2	DER	DER	DER
10179	357971	258060	793,39	21,1	1,9	48,89
10181	358468	258049	793,38	17,7	2,1	39,75
10183	358966	258036	775,82	PE	PE	PE
10202	358210,02	257623,06	796,27	26,35	2	44,24
10204	358710,67	257609,87	796,28	23,4	2	46,36
10162bis	358051,01	258842,6	763,2	HS	HS	HS
10199bis	357474,71	257621,68	797,06	26,6	1,95	0,00

Tableau 2: tableau de base de données

V. Traitement de données

1. Présentation de système d'information géologique SIG

Le Système d'Information Géographique (SIG), (*geographic information system GIS*) est un ensemble de données, de matériels, de logiciels permettant l'utilisation de l'information géographique pour produire des résultats et atteindre un objectif de gestion d'un territoire donné (Fig. 30, Jouhari 2018).

Le SIG permet de recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. Il est actuellement le principal système d'information auquel recourt le groupe OCP SA. Le SIG est utilisé en tant qu'outil de soutien pour le traitement de divers aspects des fonctions minières, de l'archivage des données géologiques, de la réalisation des cartes d'iso-valeurs, de la création de bases listing cases minières et surtout de l'estimation des réserves en termes de qualité et de quantité (AccuGeospatial 2023).

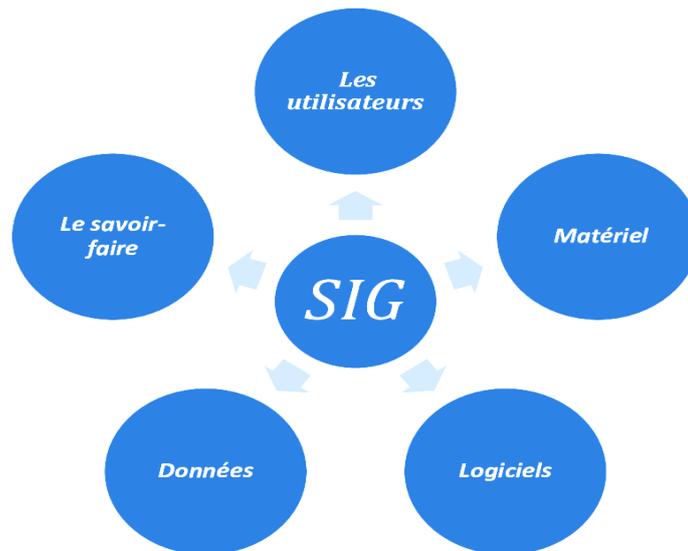


Figure 30: schéma des composantes d'un SIG (Burrough 1986)

2. Présentation d'ArcGis

ArcGis est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser les informations géographiques. Il s'agit d'une plateforme principale pour le développement et l'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde. Il est utilisé pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGis permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau (Ilillou 2016).

VI. Etablissement des cartes

La représentation des principaux paramètres (altitudes, puissance, teneur, ...) sur des cartes spécifiques, sert à montrer l'évolution de ces caractères, afin de guider l'exploitant, en le renseignant sur les différents paramètres relatifs à la zone d'exploitation. On établira par la suite des cartes d'iso-valeurs et des coupes géologiques.

1. Carte structurale de la couche 1

Une carte structurale est une représentation spatiale de la structure d'une couche dans le sous-sol. Elle est basée sur la présentation de plusieurs courbes de niveaux successives séparées par une équidistance, chaque courbe de niveau lie des points ayant la même altitude.

La carte structurale géologique est une représentation graphique des structures géologiques d'une région donnée, telles que les différentes couches de roches, les failles, les plis, etc. Elle permet de visualiser la disposition spatiale de ces structures, ainsi que leur orientation et leur inclinaison. C'est un outil essentiel pour comprendre la géologie d'une région pour la prospection minière ou pétrolière, pour la planification des travaux ou encore pour la compréhension des phénomènes géologiques.

La carte structurale réalisée pour la zone d'étude de la recette 10, montre que les valeurs des altitudes les plus importantes du toit de C1, sont situées dans les parties NW et SE

(valeurs supérieures à 772.52 m, valeur maximale égale à 777 m, Fig. 31). Les parties W et SW présentent des valeurs de altitudes relativement faibles (valeurs inférieures à 772.52 m, Fig. 31) avec la valeur minimale dans le secteur qui est égale à 765 m. Cela peut être expliqué soit par la présence d'alignements structuraux séparant ces zones.

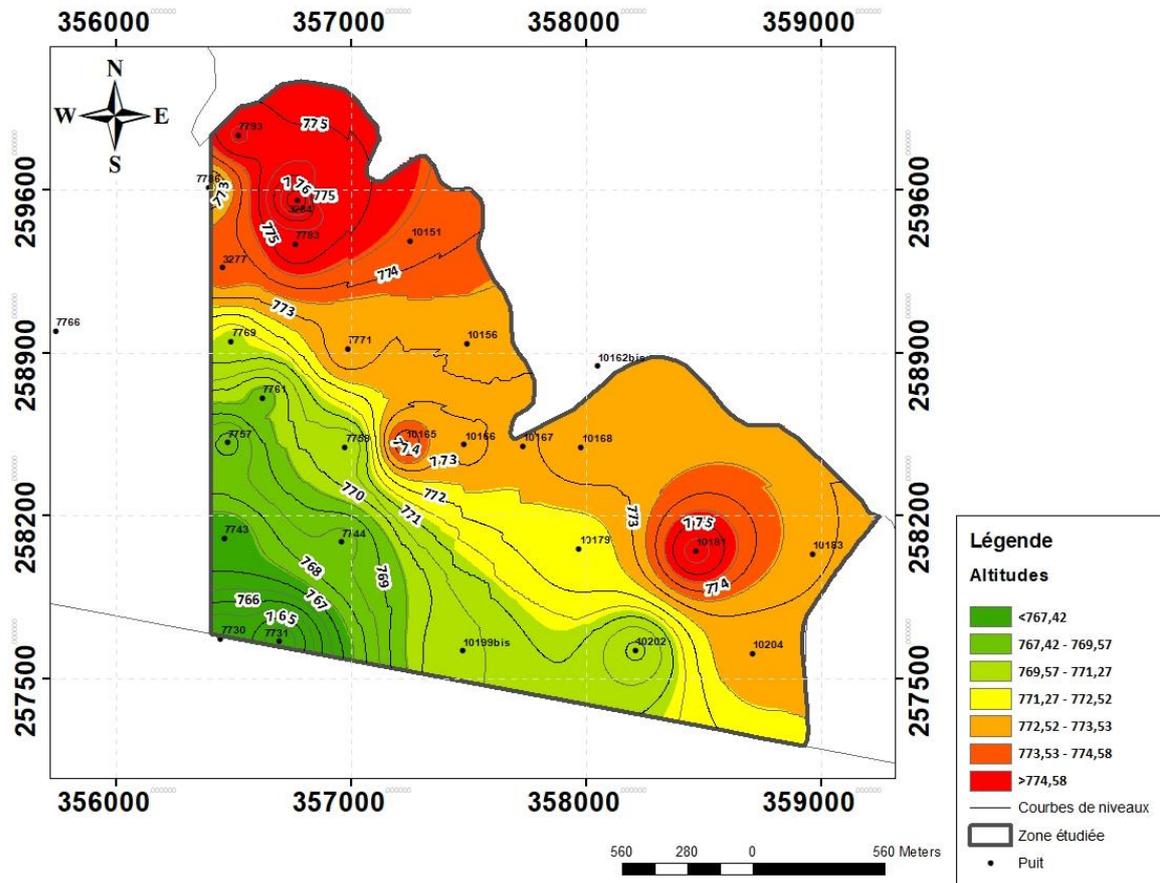


Figure 31: carte structurale de la couche 1 dans la zone étudiée

2. Carte de MNT

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation de la topographie d'une zone terrestre sous une forme adaptée à son utilisation par un ordinateur numérique, créée à partir des données d'altitude du terrain. Dans la zone étudiée, nous remarquons que la carte de MNT montre des valeurs très élevées dans la partie SW (valeur max. : 800 m) et des valeurs relativement faibles dans la partie NE (valeur min. : 771 m). La variation des valeurs du NE au SW est progressive et montre une corrélation positive avec les données de la carte structurale (Figs. 31 et 32). Ce qui explique l'inclinaison progressive du toit de C1 selon une direction NE-SW.

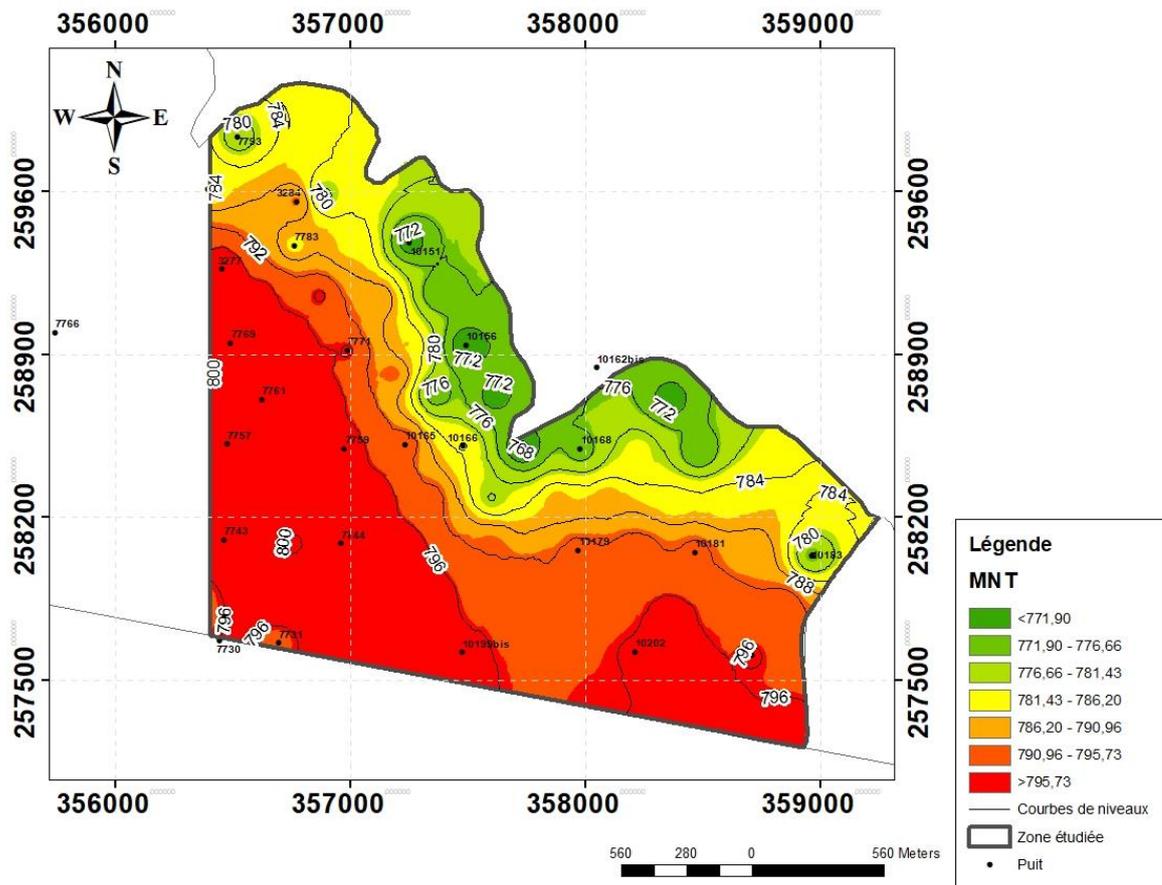


Figure 32: carte structurale de terrain naturel

3. Carte d'affleurement

L'affleurement est l'apparition d'une couche à la surface terrestre. Après la sédimentation les mouvements de la croûte terrestre ont ensuite soulevé ces couches à la surface, où elles ont été exposées à l'érosion et au vent. Le traçage de la courbe d'affleurement consiste à relier les points qui sont égaux à 0, résultant de l'intersection de toit de la couche avec les courbes de niveau de terrain naturel portant les mêmes valeurs de Z (qui ont la même altitude).

D'après les données de la carte (Fig. 33), il ressort que la structure du toit de la couche 1 est orienté globalement NW-SE. Elle affleure au niveau de la zone d'une façon inégale. Elle occupe quasiment la totalité de la surface de la zone d'étude. Le prélèvement des puits (10151, 10156, 10167) montre l'absence de la couche 1 à cause de l'érosion au niveau de la limite nord de la zone.

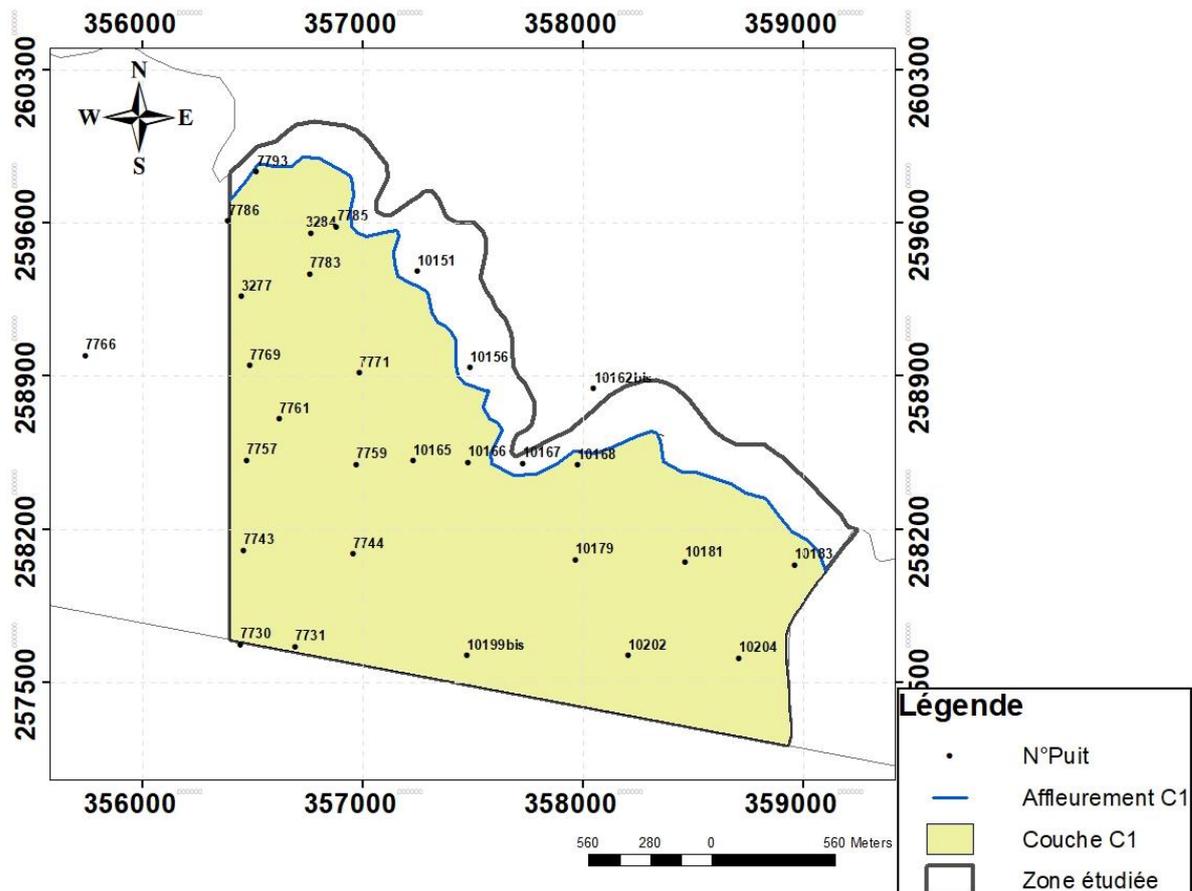


Figure 33: carte d’affleurement de la couche1 dans la zone étudiée

4. Carte d’iso-valeurs

Les cartes d’iso valeurs ont pour but :

- la visualisation sur un plan des données géologiques
- la localisation géographique des variations des paramètres étudiés (Ex. : teneurs de brut, puissances des couches phosphatées ...)
- l’interprétation des données numériques en se basant sur l’analyse géologique et morphologique de la zone à étudiée
- le calcul des réserves en phosphate.

Dans le présent travail nous avons réalisé les cartes d’iso-puissances et d’iso-teneurs (Figs. 34 et 35).

a. Carte d’iso-puissances

La carte d’iso-puissances présente des courbes joignant les points de même épaisseur avec une équidistance constante (Fig. 34). La réalisation de ces cartes permet de déterminer la variation des puissances de phosphate par zone et par couche. Elle constitue également une précieuse aide aux ingénieurs exploiters pour orienter les techniques d’exploitation et d’extraction et le calcul des réserves.

La carte d'iso-puissances de la couche 1 de la zone étudiée (Fig. 34) montre trois zones de répartition des puissances :

- 1- une zone située au centre ouest de la région d'étude où les puissances sont relativement faibles (< 1.94 m),
- 2- une zone qui couvre la partie nord et la partie est du gisement et qui présente des valeurs de puissances moyennes entre 1.94 m et 2.21 m,
- 3- une zone ouest où la couche 1 montre des puissances assez importantes (> 2.21 m).

Nous notons donc une augmentation progressive de la puissance de la couche 1 de la partie centrale vers les bordures de la zone étudiée. Cela peut être expliqué par des inégalités de subsidence ou par le phénomène d'érosion. En effet, nous avons remarqué que dans certains puits (Ex. : 10151, 10156 et 10183) la couche 1 est totalement absente ou partiellement érodée.

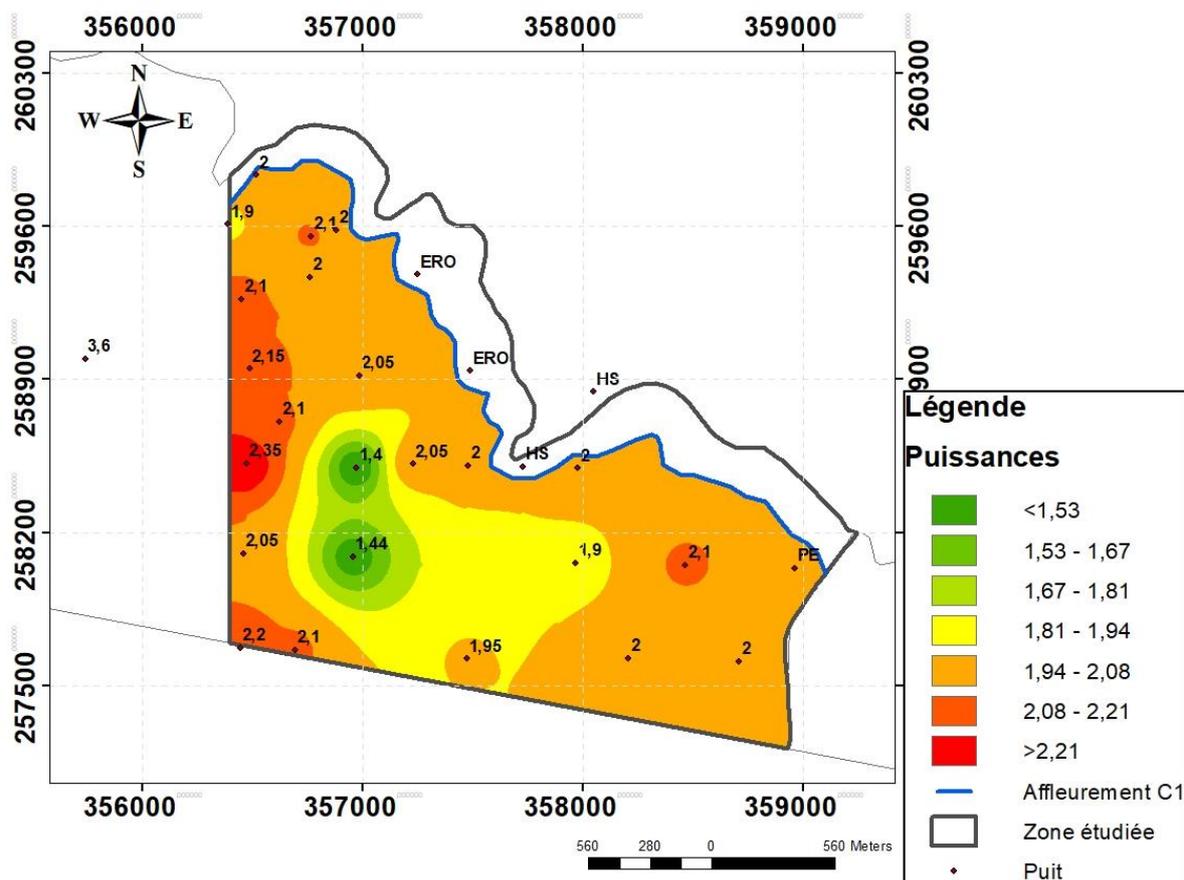


Figure 34: carte d'iso-puissances de la couche1 dans la zone étudiée.

Les statistiques des puissances de la couche 1 sont représentées sur le tableau 3 ci-dessous :

	Effectif	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
PT (m)	24	1,4	3,6	2,064166667	0,384

Tableau 3: statistiques des puissances de la couche 1

b. Carte d'iso-teneurs en BPL

Le but de la carte d'iso-teneurs en BPL est la connaissance de la variation des teneurs par zones et par couches, ainsi que l'orientation de la méthode d'exploitation.

La carte d'iso-teneurs de la couche 1 (Fig. 35) est répartie en trois zones

- 1- Une zone centrale où les teneurs augmentent progressivement. Une valeur minimale de la teneur au centre (<33,58%) elle augmente progressivement vers les bords jusqu'à une valeur maximale de 46,43%.
- 2- Les parties est et nord-ouest sont caractérisées par des valeurs moyennes entre 38,72% et 43,86%
- 3- Généralement la partie nord de la zone étudiée occupe les teneurs maximales (>46,43%). Notons également la présence de certains puits où la teneur est nulle, cela peut être à cause de l'érosion de la couche 1 au niveau de ces zones.

Nous notons donc que la partie nord est présente les teneurs les plus importante pour l'exploitation, Cela peut être expliqué par des facteurs de calcification ou des facteurs liés au paléoenvironnement.

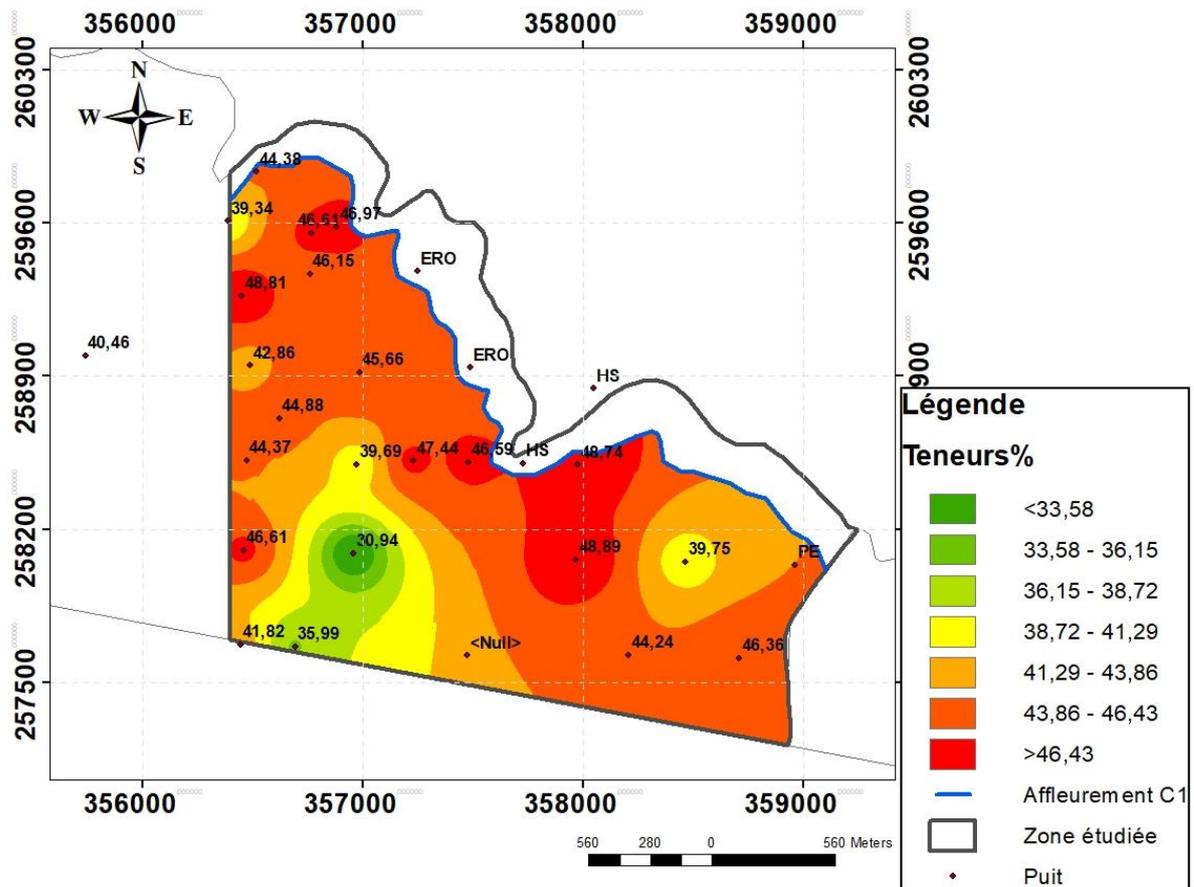


Figure 35: carte de % BPL de phosphate de la couche1 dans la zone étudiée

	Effectif	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart typt
BPL%	23	30,93571429	48,89285714	43,80677019	4,449775676

Tableau 4: statistiques des teneurs en BPL de la couche 1

VII. Calcul des réserves

Le but des études statistiques est l'estimation de la quantité de réserves en **Tonnes Humides Criblés (THC)** que recèle la couche 1 de la zone nord-est du gisement de recette 10. Cette étape est cruciale pour orienter l'exploiteur afin de déterminer la valeur ajoutée à l'exploration de cette zone.

La démarche suivie consiste à la détermination des moyennes de puissances et des teneurs en BPL de la couche phosphatée à partir des puits de la zone.

Nous avons aussi utilisé la surface totale, obtenue par le système informatique ArcGis. Le volume total de la couche phosphatée est obtenu par la multiplication de la surface totale par la puissance moyenne :

$$\text{Volume total (m}^3\text{)} = \text{Surface totale} \times \text{Puissance moyenne}$$

$$V = 387,716595 \times 2,064166667 = 8003116,716 \text{ m}^3$$

$$V = 8003116,716 \text{ m}^3$$

On peut donc calculer les réserves de la couche 1 dans la zone d'étude :

$$\text{Réserves} = \text{Volume total} \times 1.62 \text{ (densité)}$$

$$R = 12545632,44 \text{ THC}$$

Donc les réserves de la couche 1 dans la zone nord-est sont estimées à **12545632,44 en Tonne Humides Criblés.**

Synthèse :

	PT Moyenne (m)	BPL Moyenne(%)	Surface totale(ha)	Volume phosphatés(m ³)
Couche1	2,064166667	43,80677019	387,716595	8003116,716

Tableau 5: les résultats obtenus

Conclusion générale

Le présent mémoire de fin d'études présente une contribution à l'étude géologique et géominière de la couche 1, recette 10 du gisement phosphaté des Oulad Abdoun. L'analyse lithostratigraphique des dépôts phosphatés nous a permis la réalisation d'un profil de corrélations orienté NE-SW. Ce dernier montre une répartition inégale des niveaux phosphatés dans la région étudiée. L'outil informatique ArcGis a été utilisé pour la réalisation de différentes cartes:

- la carte structurale qui montre que la couche 1 est globalement inclinée et orientée en direction NE-SW;
- la carte de MNT montrant la structure du terrain naturel ;
- la carte d'affleurement réalisée par la combinaison des données des cartes structurale et de MNT. Elle nous a permis de tracer les limites d'affleurement de la couche 1 ;
- la carte d'iso-teneurs en BPL qui montre la répartition les teneurs de la couche 1 sur chaque puits dans la zone. Il ressort que les teneurs les plus élevées se trouvent dans la partie nord de la zone étudiée.
- la carte d'iso-puissances représentant les répartitions des épaisseurs de la couche 1. Elle montre que les épaisseurs de la couche 1 varient entre 0 et 2 mètres. Les épaisseurs les plus importantes se trouvent dans la partie ouest et sud-ouest.

D'après les données de ces cartes, il ressort que la structure du toit de la couche 1 est orienté globalement NE-SW. Elle affleure au niveau de la zone d'une façon inégale avec des teneurs et des puissances très variables. Cela peut être expliqué soit par la présence d'alignements structuraux séparant ces zones, soit par la différence de subsidence dans le bassin ou encore par des phénomènes d'érosion. La teneur en BPL (%) de la couche 1 est très élevée et peut être considérée parmi les couches les plus riches en phosphate dans la zone. Les réserves de cette couche ont été estimées à environ 12545632,44 THC. Il s'agit donc d'une couche avec un rapport quantité/qualité important et par conséquent elle peut être exploitée sans aucun risque.

En perspectives pour des éventuelles extractions et exploitation du gisement, des études de risques probables et des expertises sur les couts des investissements peuvent être projetés dans l'avenir.

Références bibliographiques

Arambourg C. 1935. Note préliminaire sur les vertébrés fossiles des phosphates marocains. Soc. Géol. Fr. p. 413-434.

Azmany M. 1977. Evolution de faciès sur le gisement des OULAD ABDOUN. Rapport N° 184. Inédit Service de Géologies Groupe OCP, KHOURIBGA, p. 36.

Belfkira O. 1980. Evolution sédimentologique et géochimique de la série phosphatée du Maastrichtien des Ouled Abdoun (Maroc). Thèse Doct. spec. Géol. Appl. Univ. renoble, p. 164.

Bushinski G. I. 1964. Shallow water origin of phosphorites sediments, in Van Straaen, L.M.J.V. edit. Deltaic and Shallow marine deposits. Proceedings of the Sixth Intern. Sedim.

Belfkira O. 1980. Evolutions sédimentologiques et géochimiques de la série phosphatée du Maastrichtien des Ouled Abdoun (Maroc). Stratigraphie. Thèse Doct. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.

Congr. The Netherlands and Belgium 1963. Amsterdam, Elsevier. Dev. In sediment. vol. 1, pp. 62-70.

Cayeux L. 1950. Les phosphates de chaux sédimentaire de France, étude des gites minéraux de la France. vol. 3, p. 360.

Choubert & al 1962. Évolution du Domaine Atlasique Marocain depuis les temps paléozoïque. M. h. Société. Géologique. France. Livre mémoire P. Fallot, t.1, p. 447-527.

Cordell D. 2008. Institute for Sustainable Futures.

Document OCP 2009. Présentation institutionnelle. communication financière. Rapport et bilan de l'année 2009 du groupe OCP SA.

El Haddi H. 2014. Les silicifications de la série phosphatée des Ouled Abdoun (Maastrichtien-Lutétien Maroc) : Sédimentologie, Minéralogie, Géochimie et Contexte Génétique. These Doct. Géol. Université Hassan II de Casablanca. Faculté des Sciences Ben M'Sik, p. 38.

El Mountassir M. 1977. La zone rubéfiée de Sidi Daoui ; altération météorique du phosphate de chaux des Ouled Abdoun (Maroc). Thèse 3^{ème} cycle. Strasbourg , p. 125.

El Korri M. 2023. Le Maroc 2ème producteur mondial du phosphate en 2022 avec 40 millions de tonnes. L'Opinion.

El Mountassir M. 1977. La zone rubéfiée de Sidi Daoui, altération météorique du phosphate des Oulad Abdoun (Maroc). PhD Thesis. Université Louis-Pasteur, Strasbourg, pp. 126.

Qarqoury Kh. & Assam M. 2004. Faculté des Sciences et Technique Beni Mellal. MST. Géophysique.

État de l'environnement. 2010. L'environnement en France. Commissariat général au développement durable. Service de l'observation et des statistiques, pp. 41-42/p. 152.

Hervé Bleuchot. 1996. Une ville minière marocaine : Khouribga. Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée. Vol 6. n°1, pp. 29–51.

Jouhari M. 2018. Reconnaissances géologiques et la mise en place d'un Système d'information Géologique pour l'élaboration des limites des affleurements de couches phosphatées, des recouvrements et la délimitation du phosphate décarbonaté de la zone A – Sidi Hajjaj. Rapport de stage. Université Moulay Ismail. Faculté des sciences et Technique.

Kazakov A. 1950. L'équilibre du système fluorapatite dans les conditions de formation des roches sédimentaires. N° 114. Série géologie n°40, pp. 1-21.

Marzoqi, El Chellai, Jourani, Daffi & Aquit. 2019. 17ème Congrès Français de Sédimentologie. Beauvais. Livre des résumés. n°81. Paris, p. 169.

Montenat C. & Merle D. 2018. Stratotype Danien, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, coll. Patrimoine géologique. n°9. 4 octobre 2018, p. 480.

National Minerals Information Center.

Rapport annuel de group OCP 1993. Géologie des phosphates marocains.

Rapport annuel OCP 2004.

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2004.

Pufahl P.K. & Groat L.A. 2017. Sedimentary and igneous phosphate deposits :Formation and exploration: An invited paper. Econ. Geol, p. 112, pp. 483–516.

Salvan H. 1952. Les phosphates marocains : Etude paléontologique des Invertébrés fossiles et étude stratigraphique. 19ème Congr. Géol. Int., Alger, sect 11, p. 191.

Trappe J. 1991. Stratigraphy. Facies Distribution and Paleogeography of the Marine Paleogene from the Western High Atlas, Morocco. N. Jb. Geol. Paläont. Abh, p. 180, pp. 279–321.

Webographie

<https://agroneo.com/techniques/intrants/engrais-phosphates>

www.techno-science.net

www.researchgate.net

[reconstitution paléogéographiques des bassins a phosphates](#)

www.ocpgroup.ma/fr

www.cmconjoncture.com

