الجمهـوريـــة الجزائـريـــة الديمقـراطيـــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـيـــم العـــالـــي والبـحـــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Ben Ahmed Oran2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du Diplôme de Master en Géologie

Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement (RMGE)

Thème :

Etude Géotechnique et Pétrographique des calcaires de Tazdout, Unité C11, Gdyel (Monts d'Arzew)

Présenté et soutenu publiquement le 03 Juillet 2025 par :

ZAGAD Issam

&

BOUCHOUAREB Inas Nour

Devant le jury composé de :

Mme ALLAMI Fatima Zohra	Président	M.A.A. Université Oran 2
Mme CHADOULI Nadia	Rapporteur	M.C.B. Université Oran 2
Mr TABELIOUNA Mohammed	Examinateur	Professeur, Université Oran 2
Mr MELZI Hamza	Invité	Ingénieur COSIDER

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIMENT

Nous voulons remercier nos parents avec tout le respect qu'ils méritent. Ils ont porté beaucoup plus qu'on ne peut l'exprimer, souvent dans le silence. Ils ont dû faire face à des difficultés constantes pour que nous puissions simplement fonctionner comme une famille. Rien n'a jamais été facile, mais ils ont toujours fait en sorte que l'essentiel soit là, dans nos qualités comme dans nos défauts, porte l'empreinte de leurs efforts. Nous sommes le fruit d'un environnement façonné par leur courage, leur résilience, et leur amour — parfois discret, mais toujours présent.

Nos vifs remerciements et notre profonde gratitude vont à Madame CHADOULI Nadia, notre encadrant, pour son accompagnement tout au long de ce mémoire. Nous avons eu le privilège d'être guidés par une enseignante véritablement admirable, à la fois rigoureuse, bienveillante et profondément investie. Sa confiance, sa gentillesse, ses conseils éclairés et sa patience ont joué un rôle essentiel dans l'aboutissement de ce travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants pour sa disponibilité, la qualité de son encadrement, ainsi que le temps et l'attention qu'elle a consacrés à chaque étape de notre progression.

Nous adressons également nos sincères remerciements à Monsieur MELZI Hamza, géologue au sein de la carrière COSIDER Unité 11, pour son accueil, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de notre stage de terrain. Grâce à ses explications précises, ses remarques pertinentes et son esprit de partage, nous avons pu mieux comprendre le site et recueillir toutes les informations nécessaires à notre travail. Son aide nous a été précieuse, et nous lui en sommes très reconnaissants.

Nos remerciements vont également à Mr Zaoui Mohamed, chef du département au sein du Laboratoire des Travaux publics de l'Ouest, pour sa disponibilité et son aide.

Nous exprimons notre profonde et sincère gratitude à Madame ALLAMI FatimaZohra pour avoir accepté de présider le jury de notre soutenance. Nous avons eu la chance d'être ses étudiants tout au long de notre formation en Master, sa passion qu'elle transmet dans son enseignement ont profondément marqué notre parcours. Elle a su rendre chaque échange constructif, chaque explication claire, et chaque cours motivant. Nous lui en sommes sincèrement reconnaissants.

Nous sommes honorés d'exprimer notre remerciement à Monsieur TABELIOUNA Mohammed, pour avoir pris le temps d'examiner et d'évaluer ce mémoire. Son sérieux, sa clarté d'analyse et sa rigueur intellectuelle nous ont profondément marqués. C'est une personne inspirante, et nous lui sommes reconnaissants pour tout le travail qu'il accomplit.

Nous souhaitons dédier ce travail à nos professeurs, qui ont joué un rôle fondamental dans nos parcours académiques, dont nous avons eu le privilège d'être leurs étudiants au fil des années, nous exprimons notre profonde reconnaissance pour la richesse de leurs enseignements.

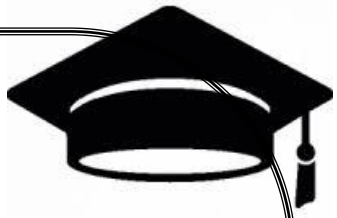
À Monsieur BENRAMDANE Hocine, à qui nous adressons toute notre gratitude pour la qualité de son enseignement, la clarté de ses explications sur le métamorphisme, et sa constante disponibilité envers les étudiants à Monsieur et Madame BOUZID, ainsi que Monsieur SAAD, à qui nous sommes profondément reconnaissants pour leur engagement, leur soutien et leurs encouragements tout au long de notre formation.

Enfin, nos sincères remerciements au personnel du laboratoire de LTPO et au personnel de COSIDER, M. BOUZA H, pour la confection des lames minces et madame MARWANE Fatima et Monsieur DERBAL Wahid responsables des laboratoires de notre département, Nous leur sommes sincèrement reconnaissants pour leurs aides précieuses.

Avec un profond respect et une admiration sincère
Zagad Issam &Bouchouareb Inas



DÉDICACE



ZAGAD ISSAM

À ma sœur, mon pilier, mon repère, mon tout — merci d'être là, toujours.

À ma mère, pour son amour inconditionnel. Vous êtes les battements de mon cœur.

À mon père, je suis profondément reconnaissant pour son soutien et sa présence constante.

À mes frères, merci pour votre aide, votre présence, et les moments partagés.

À mes amis les plus proches Youcef Z, Nadir M, Salah B, Riad M merci d'avoir été là, chacun à votre manière, à travers les hauts comme les bas. Votre présence a compté plus que vous ne le pensez.

À Madame Chadouli Nadia, Merci d'avoir cru en moi, d'avoir toujours voulu m'apprendre et m'encourager pour faire mieux et à devenir meilleur.

Tu as toujours répondu à mes questions et à mes doutes, et tu m'as poussé à progresser. Tu es la meilleure encadrante que j'aurais pu espérer.

Merci pour les souvenirs que je n'oublierai jamais

Et enfin… à moi. Merci d'avoir continué à avancer, même quand tout semblait flou. Merci d'avoir cru en toi, même quand le sourire n'était plus possible. Merci de n'avoir jamais abandonné.

Ceci est la fin d'un chapitre et peut-être le début d'un autre, plus doux, plus serein. Un pas vers une vie plus heureuse, plus saine, et plus libre.





DÉDICACE

BOUCHOUAREB INAS NOUR

À ma chère maman ; La douceur de mon cœur, mon refuge, ma première amie. Ton amour m'a construite, ta tendresse m'élève encore chaque jour. Merci pour tout ce que tu es.

À mon père ; Mon exemple de courage et de sagesse. Ton regard plein de fierté me donne la force d'avancer. Merci d'avoir toujours cru en moi.

À mes frères, Achref et Zinou, Mes piliers dans la vie. Votre présence, votre humour, votre soutien sont une source inépuisable de réconfort. Je vous aime profondément.

À mon mari Hamza, L'amour de ma vie. Merci d'être mon épaule, mon partenaire, ma paix. À travers toi, j'ai découvert la force de l'amour vrai et sincère.

À mes enfants, Iline, Nzar et Layan ; Vous êtes ma plus grande fierté, mon bonheur pur. Grâce à vous, chaque jour a un sens. Je vis et je me dépasse pour vous. Je vous aime au-delà des mots.

À ma belle-mère, Partie trop tôt, mais toujours vivante dans nos cœurs. Que ton âme repose en paix. Tu restes un exemple d'amour et de générosité.

Dédicace spéciale à Madame Chadouli Nadia, Plus qu'une encadrant, tu es devenue une seconde famille pour moi. Merci pour ton écoute, ta patience, ton accompagnement bienveillant et ton cœur immense. Ton soutien m'a portée plus que tu ne peux l'imaginer.

À mes chers amis et collègues, Merci pour votre présence, vos encouragements, vos sourires et votre confiance.

Résumé

Le présent mémoire porte sur l'étude des calcaires du lieudit Tazdout dans les montagnes d'Arzew, situées dans la région d'Oran, et actuellement exploités par l'entreprise COSIDER Gdyel. Ces formations carbonatées présentent un intérêt à la fois minier et économique, en raison de leur abondance et de leurs caractéristiques physiques adaptées à différentes utilisations industrielles. Les matériaux extraits, aux granulométries variables (0\3 mm, 3\8 mm, 8\15mm, 15\25mm) sont principalement destinés à la fabrication de granulats pour les travaux publics.

Les essais géotechniques réalisés sur ces matériaux prélevés sur le terrain et étudiés au laboratoire LTPO et COSIDER démontrent que les propriétés physique, chimique et mécanique de ces matériaux sont adaptées aux usages BTP.

L'étude pétrographique, menée en complément sur lames minces, a permis de montrer une hétérogénéité des faciès de Tazdout et conforter l'étude géotechnique du point de vue qualitatif des calcaires, tout en révélant la présence de phénomènes liés à l'anchimétamorphisme ainsi qu'à l'hydrothermalisme, dans un contexte tectonique influencé par l'orogenèse alpine.

Mots clés : ***Mont d'Arzew, Tazdout, Calcaires marmorisés, Géotechnique, Granulats, Hydrothermalisme, Anchimétamorphisme.***

Abstract

This thesis focuses on the study of limestones from the locality of Tazdout in the Arzew Mountains, located in the Oran region, and currently exploited by the COSIDER Gdyelcompany. These carbonate formations are of both mining and economic interest due to their abundance and their physical characteristics, which are suitable for various industrial applications. The extracted materials, with varying grain sizes (0/3 mm, 3/8 mm, 8/15 mm, 15/25 mm), are mainly intended for the production of aggregates used in public works.

Geotechnical tests conducted on samples collected in the field and analyzed in the LTPO and COSIDER laboratories demonstrate that their physical, chemical, and mechanical properties meet the requirements of the construction sector.

The complementary petrographic study, carried out on thin sections, highlighted the heterogeneity of the Tazdoutfacies and supported the geotechnical findings from a qualitative perspective. It also revealed the presence of phenomena related to anchimetamorphism and hydrothermalism, within a tectonic context shaped by the Alpine orogeny.

Keywords: Arzew Mountains, Tazdout, marbled limestones, geotechnics, aggregates hydrothermalism, anchimetamorphism,

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة الصخور الكلسية في موضع تازدوت، الواقع في جبال أرزيو بمنطقة وهران، والتي تستغلها حالياً شركة كوسيدار – وحدة قديل. تُعد هذه التكوينات الكربوناتية ذات أهمية معدنية واقتصادية، نظراً لغناها وخصائصها الفيزيائية الملائمة لمختلف الاستعمالات الصناعية. وتستخرج المواد بأحجام حبيبية مختلفة (3/0 ملم، 8/3 ملم، 15/8 ملم، 25/15 ملم)، وتُستخدم أساساً في إنتاج الحصى لأشغال البناء والأشغال العمومية.

أظهرت التجارب الجيوتقنية التي أُجريت على العينات المأخوذة من الميدان والمدروسة في مختبرات LTPO وكوسيدار، أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لهذه المواد تستجيب لمتطلبات قطاع البناء.

أما الدراسة البتروغرافية المكملة، والتي أُنجزت باستخدام شرائح رقيقة، فقد أظهرت تغاير الوجوه الصخرية في منطقة تازدوت، ودعّمت النتائج الجيوتقنية من الناحية النوعية، كما كشفت عن وجود ظواهر مرتبطة بالأنشيميتامورفوزوالهيدروترمالية، ضمن سياق تكتوني متأثر بالأوروجينيزالألبي.

***الكلمات المفتاحية*: جبال أرزيو، تازدوت، كلس مرمري، جيوتقنية، تحول حراري مائي، أنشيميتامورفوز، الركام المكسر**

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 0
CHAPITRE I GENERALITES 1
Introduction : 2
I. Cadre géographique général : 2
II. Situation géographique des Monts d'Arzew : 4
III. Contexte géologique 4
1. Contexte géologique des Monts d'Arzew : 5
2. La Lithostratigraphie des Mont d'Arzew : 6
3. Cadre structural des Monts d'Arzew : 10
IV. La zone d'étude : 11
1. Situation Géographique de la zone d'étude : 11
2. Cadre Géologique de la Zone d'Étude 12
3. Tectonique : 13
4. Les Calcaires Marmorisés de Tazdout : 15
5. Mode d'exploitation : 16
CHAPITRE II METHODOLOGIE 18
Introduction 19
Partie 1 Travaux sur terrain : 19
1. Echantillonnage : 19
2. Sondage carotté 21
Partie 2 travaux aux laboratoires : 21
1. Essais au Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (LTPO) 22
1.1 Les essais chimiques : 22
1.2 Les essais mécaniques 23
1.3 Les essais physiques : 24
2. Essais au Laboratoire de COSIDER : 26
2.1 Essai chimiques 26
2.2 Essais physiques 26
3. Laboratoire des lames minces : 27
CHAPITRE III ETUDE PÈTROGRAPHIQUE 27
Introduction : 28
I. Description macroscopique : 28
1. Calcaires bleus (échantillons B1, B2, B3, B4) 28
2. Calcschiste Échantillon B6 29
3. Calcaire brun Échantillon B10 29
4. Calcaire rouge Échantillon B13 30

5. Calcaire altéré Echantillon B14 31
II. Description microscopique : 31
1. Calcaire (échantillons B1, B2, B3, B4) 31
2. Calcschiste Échantillon B6 : 35
3. Calcaire brun Échantillon B10 : 36
4. Calcaire rouge Échantillon B13 37
III. La Porosité : 39
IV. Interprétation pétrographique : 39
1. Etude Macroscopique 39
2. Etude Microscopique (lames minces) 39
d. Interprétation Diagénétique et Géologique 40
V. Conclusion pétrographique 40
CHAPITRE IV ETUDE GÈOTECHNIQUE 39
Introduction : 40
II. Les Essais chimiques : 40
1. Essai de sulfates : 40
2. Essai de carbonates : 41
3. Essai du bleu de méthylène 43
III. Les Essais mécaniques : 44
1. Essai de Los Angeles 44
2. Essai Micro-Deval 46
3. Essai d'écrasement sur carotte de roche (compression uni-axiale simple) 48
4. L'essai de cisaillement 49
IV. Les Essais physique : 50
1. L'essai de propreté superficielle 50
2. Essai d'équivalent de sable à 10 % de fines 52
3. L'essai de granulométrie : 54
4. L'essai de la masse volumique apparente : 56
5. L'essai de la masse volumique absolue : 58
6. Essai de la Porosité 59
V. Résultats et interprétations de l'étude Géotechnique : 61
Interprétation des essais géotechniques : 62
CONCLUSION GENERALE 64
ANNEXE 1 66
ANNEXE 2 67
ANNEXE 3 68
ANNEXE 4 69

ANNEXE 5 70
BIBLIOGRAPHIE 71
CARTOGRAPHIE 71

LISTE DES ABREVIATIONS :

LTPO : Laboratoire des travaux public

EBM : essai au bleu de méthylène

VBM : valeur de bleu de méthylène

LA : Los Anglos

MDE : Micro-Deval

ECH : Echantillon

RC : Résistance à la compression simple

MPa : megapascal

(Δh) : La force de cisaillement

(p) : le taux de propreté superficielle

(Ps) : l'équivalent de sable

Ri : Masse du matériau retenu sur le tamis

P app : Valeur de Masse volumique apparente

P abs : Valeur de Masse volumique réelle/absolue

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

LPA : Lumière Polarisée Analysée

LPNA : Lumière Polarisée non Analysée

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 Carte de localisation des différentes unités du Nord d'Afrique (Domaine Tellien, Monts d'Arzew…)(Wildi, 1983 ; Domzig et al., 2006) 3
Figure 2 Carte de localisation des Monts d'Arzew (Roukh. Z.A, 2020) 4
Figure 3 Carte géologique des monts d'Arzew (Benest 1986) 5
Figure 4 Carte géologique des monts d'Arzew (Fenet, 1954) 6
Figure 5 Log géologique synthétique de la région d'Oran- Arzew (in H.Zaff, 2004) 9
Figure 6 Carte structurale du massif d'Arzew ; Fenet (1975) 11
Figure 7 Localisation Géographique de la zone d'étude 11
Figure 8 Contexte Géologique de la zone d'étude Carte Géologique Arzew Feuille 127.5_1/50000.. 13
Figure 9 Faille Bréchique dans la carrière de Tazdout 14
Figure 10 Carte piézométrique de la région d'Arzew (M. Foukrache, 1996). 15
Figure 11 Echantillon de calcaires marmorisés de la carrière C11 de Tazdout 15
Figure 12 Plan topographique actualisé (Avril 2025) de la carrière Tazdout Unité C11 de COSIDER 17
Figure 13 Carte topographique du site de la carrière unité C11 de COSIDER réalisée à l'aide du logiciel QSIG, montrant la localisation des points de prélèvement avec une projection de GPS réelle. 20
Figure 14 Foreuses carottées adaptées au calcaire utilisées pour le sondage 21
Figure 15 Essai de sulfates 22
Figure 16 Calcimètre 22
Figure 17 L'essai de Los Anglos. 23
Figure 18 L'essai Micro-Deval 23
Figure 19 L'essai de l'écrasement 24
Figure 20 L'essai de cisaillement 24
Figure 21 L'essai de granulométrie. 24
Figure 22 L'essai de masse volumique absolue 25
Figure 23 L'essai la masse volumique apparente 25
Figure 24 L'essai de propreté superficielle. 25
Figure 25 L'essai de l'équivalent de sable 26
Figure 26 L'essai de bleu de Méthylène 26
Figure 27 Les différents diamètres de granulats 27
Figure 28 Lames minces, des échantillons calcaires provenant de l'unité C11 27
Figure 29 L'échantillons B1, B2, B3, B4 calcaires bleus 28
Figure 30- l'échantillon B6 calcschiste 29
Figure 31- l'échantillon B10 calcaire brun 29
Figure 32- l'échantillon B13 calcaire rouge 30
Figure 33 l'échantillon B14 calcaire altéré 31
Figure 34 Planche 1 calcaire Bleu Lames Minces B1 (a, b, c, d) et B2 (e, f, g, h) 33
Figure 35 Planche 2 calcaire Bleu Lames Minces B3 (i, j, k) et B4 (l, m, n) 34
Figure 36 Planche 3 Calcschiste (Lame Mince B6) 36
Figure 37 : Planche 4 Calcaire brun et calcaire rouge, Lame Mince B10 (a^, b^, c^, d^) et B13 (a°, b°, c°, d°) 38
Figure 38 Porosité secondaire par dissolution et fracturation remplie de calcite 39
Figure 39 Illustration de L'essai de sulfates 41
Figure 40. Illustration de L'essai de carbonates 42
Figure 41. Illustration de L'essai ddu bleu de méthylène 44
Figure 42. Illustration de l'essai de Los-Angeles 45
Figure 43. Illustration de l'essai Micro-Deval 47
Figure 44. Illustration d'essai d'écrasement sur carotte de roche 48

Figure 45.Illustration de l'essai de cisaillement 50
Figure 46 Illustration de l'essai de propreté superficielle 51
Figure 47- Illustration d'essai d'équivalent de sable à 10 % de fines 53
Figure 48.Illustration de la granulométrie 55
Figure 49- La courbe granulométrique des calcaires de Tazdout 56
Figure 50- Appareillage de la masse volumique Apparente 57
Figure 51- Illustration de l'appareillage de la Masse volumique absolue 59
Figure 52 Aspect brut des échantillons prélevés au niveau 2 avec indication de point de localisation X3, X4, X5, X6 pour B7, B8, B9, B10. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain 66
Figure 53 Aspect brut des échantillons prélevés au niveau 1avec indication de point de localisation X1 et X2 pour B1 à B5/B6. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain. 66
Figure 54 Aspect brut d'échantillons prélevés au niveau 3 et 4 avec indication de point de localisation X7, X8, X9 pour B11, B12, B13. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain 66

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 Types de graviers fabriqués à Unité C11 COSIDER 16
Tableau 2 Coordonnées GPS, altitude et niveaux d'extraction de chaque échantillon prélevé dans l'unité C11 (extrait de QGIS) 20
Tableau 3 les types de graviers utilisé pour la réalisation des essais géotechniques 27
Tableau 4 résultats de l'essai de carbonate pour les calcaires de Les calcaires de Tazdout 42
Tableau 5 les résultats obtenus pour la classe granulaire 8/15 46
Tableau 6 les résultats de fragmentation micro-Deval obtenus pour la classe granulaire 8/15 47
Tableau 7 Résultat de l'essai de l'écrasement sur carotte de roche calcaire de Tazdout 49
Tableau 8-les résultats obtenus pour l'essai propreté superficielle 52
Tableau 9- les résultats Essai d'équivalent de sable à 10 % de fines 53
Tableau 10- Porosité des granulats et paramètres associés 60
Tableau 11-les Résultats de chaque Essai 61

INTRODUCTION GENERALE

Les Monts d'Arzew, et plus particulièrement la région de Gdyel située à l'est d'Oran, renferment plusieurs gisements de calcaires exploités à usage industriel. Parmi eux, la carrière COSIDER – unité C11, qui fait l'objet de la présente étude, constitue une source majeure de granulats utilisés dans les travaux de construction et de génie civil.

Afin d'assurer une valorisation optimale de ces matériaux, il est indispensable de réaliser une caractérisation géotechnique approfondie du gisement.

Dans cette optique, une étude pétrographique a également été menée pour compléter l'analyse géotechnique en apportant des éléments sur la nature minéralogique des matériaux.

Ce mémoire fait partie de cette démarche d'évaluation et a pour but principal de déterminer la qualité géotechnique des calcaires de l'unité C11, en analysant leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques, tout en prenant en compte les observations pétrographiques permettant d'identifier leur hétérogénéité lithologique influençant les paramètres précédents

Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude est de caractériser **qualitativement** les calcaires marmorisés de Tazdout, exploités dans la carrière COSIDER – Unité C11, en utilisant des essais géotechniques confortés par une étude pétrographique.

Les essais géotechniques sont réalisés dans le but de déterminer les propriétés chimiques, physiques et mécaniques de ces calcaires, et évaluer leurs aptitudes à être utilisés comme granulats dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, conformément aux exigences normatives en vigueur.

Pour appuyer les résultats des essais géotechniques, une étude pétrographique complémentaire est effectuée dans le but d'identifier leurs compositions minéralogiques et leurs hétérogénéités lithologiques influençant leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques.

CHAPITRE I GENERALITES

Introduction :

Le Domaine Tellien, situé dans le nord de l'Algérie, est une région géologique complexe qui présente un intérêt économique et scientifique considérable. L'Oranie, en particulier, est une région riche en ressources minérales et en potentialités économiques.

Le secteur d'étude est inclus dans le domaine géologique du littoral oranais qui intègre la zone externe de la chaine alpine. Notamment le massif nommé les Monts d'Arzew dans lequel il existe une carrière de granulats (unité C11) exploitée par COSIDER au niveau de la commune de Gdyel dans l'endroit nommé Tazdout. Cette zone présente un intérêt géologique et économique qui fait l'objet d'études et d'exploitations minières.

Cette étude vise à présenter une synthèse des connaissances géologiques sur le Domaine Tellien, l'Oranie et la carrière (l'unité C11) de COSIDER Gdyel à Tazdout du point de vue géologiques, lithostratigraphiques et tectoniques de la région, ainsi que les ressources minérales et les potentialités économiques.

I. Cadre géographique général :

Le domaine tellien oranais est situé dans le nord de l'Algérie, jalonné par une succession de petits massifs de faible altitude (inférieur à 700m), qui sont de l'Ouest vers l'Est (Ciszak, 1993) (Figure1) :

- Le massif de Madakh et son prolongement oriental, le djebel Lindlès (Massif des Andalouses).
- Le massif d'Oran séparé des précédents par la plaine des Andalouses et la Vallée de l'Oued Hammadi ; formé par Djebel Murdjadjo, Djebel Santon et le Djebel de Santa Cruz.
- Le Djebel Khar (ou Montagne des Lions qui domine le plateau d'Oran).
- **Le massif d'Arzew** formé par Djebel Orousse, Djebel Borosse et les Montagnes Grises, où se trouve le secteur étudié.

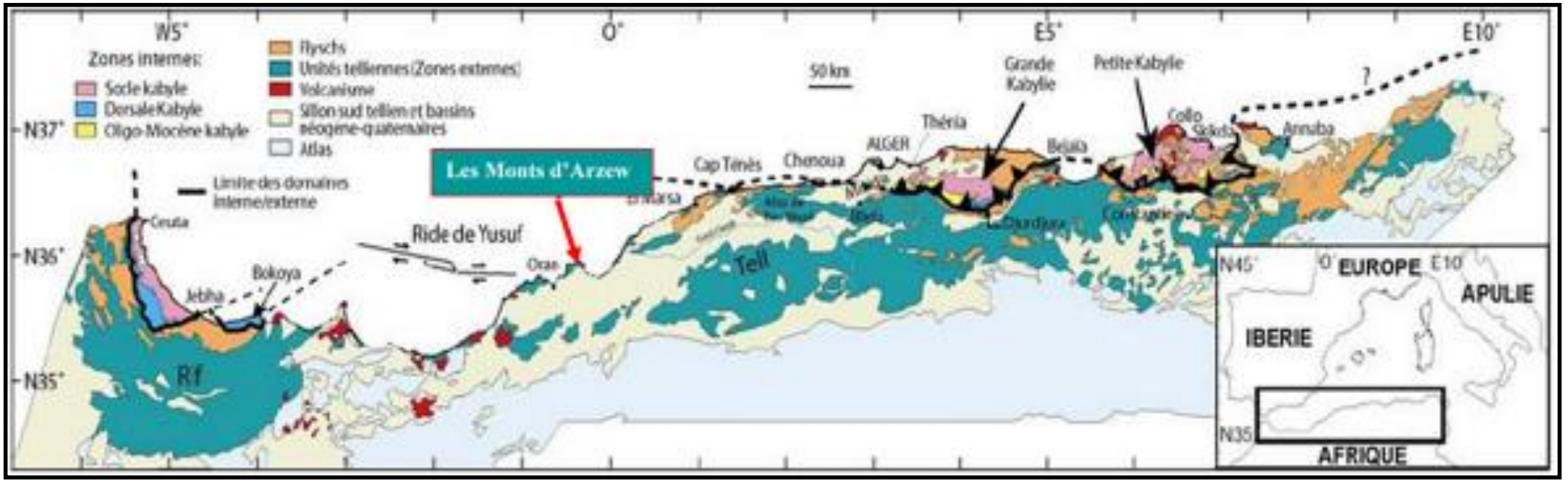


Figure 1 Carte de localisation des différentes unités du Nord d'Afrique (Domaine Tellien, Monts d'Arzew…)(Wildi, 1983 ; Domzig et al., 2006)

II. Situation géographique des Monts d'Arzew :

Les Monts d'Arzew sont situés sur le littoral oranais à 40 km à l'Est de la ville d'Oran et 40 km à l'ouest de la ville de Mostaganem, ils sont limités au Nord par la Mer Méditerranéenne au Sud par le plateau d'Oran et la plaine de La Mléta, et celle de Harba à l'Est et au Sud-ouest, ils sont bordés par la plaine de Gdyel (Figure 2).

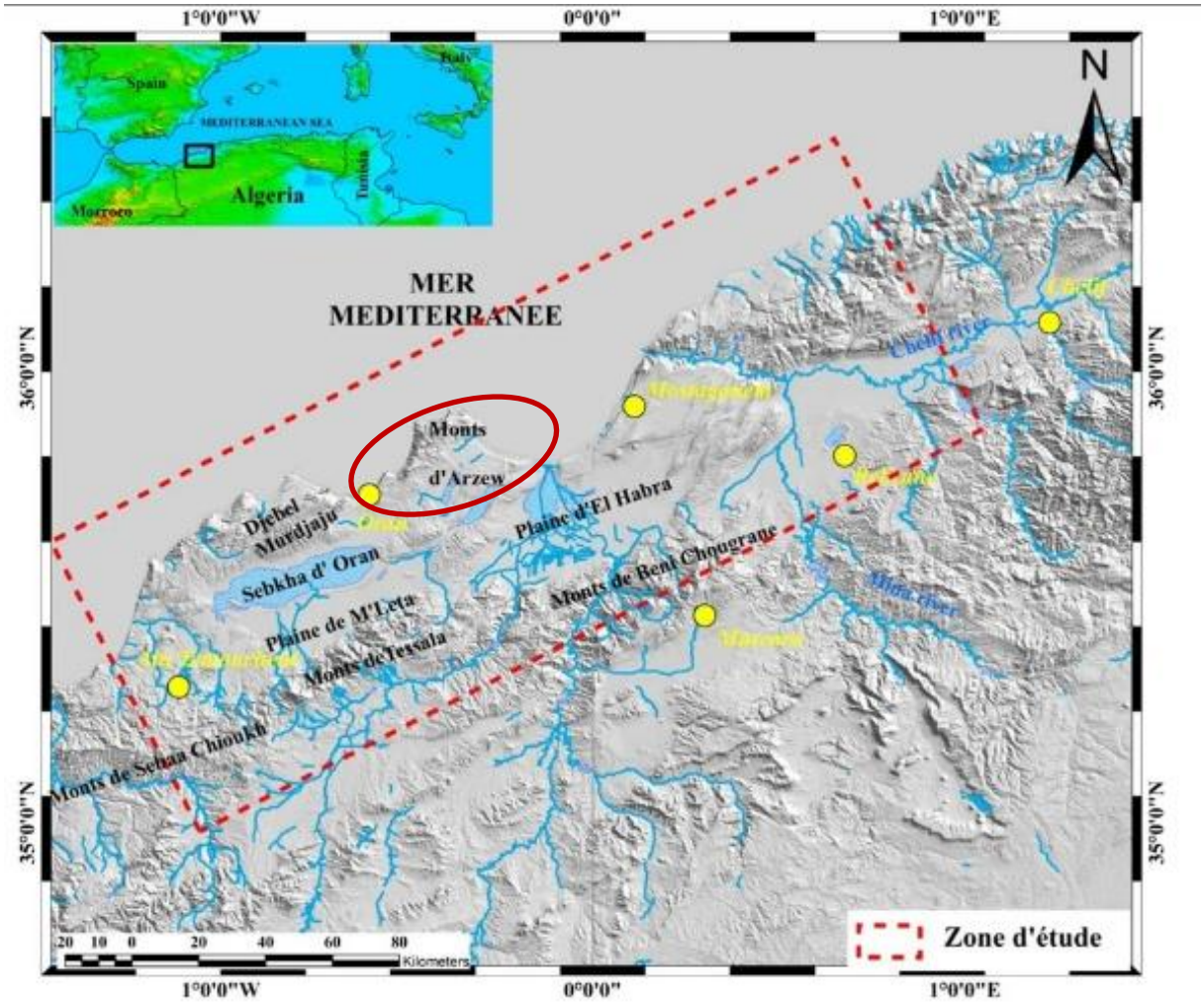


Figure 2 Carte de localisation des Monts d'Arzew (Roukh. Z.A, 2020)

III. Contexte géologique

Le Domaine Tellien est le résultat de l'orogenèse alpine, qui a eu lieu au cours de l'Éocène et de l'Oligocène, et qui a donné lieu à la formation des montagnes de l'Atlas tellien (Figure 1).La région a subi une tectonique complexe, avec des plis, des failles et des fractures qui ont façonné les formations géologiques.

Le secteur d'étude est inclus dans le domaine géologique du littoral Oranais, qui comprend la zone externe ou tellienne de la chaîne alpine. Cette région s'étend sur près de **100 km** depuis le Massif de Madagh à l'Ouest jusqu'aux Mont d'Arzew à l'Est. Sa largeur moyenne est d'environ **20 km**, englobant en longueur, un ensemble de Horsts (Djebel Murdjadjo, Djebel Khar, Monts d'Arzew, etc..) principalement composés de terrains d'âge secondaire (Figure 3).

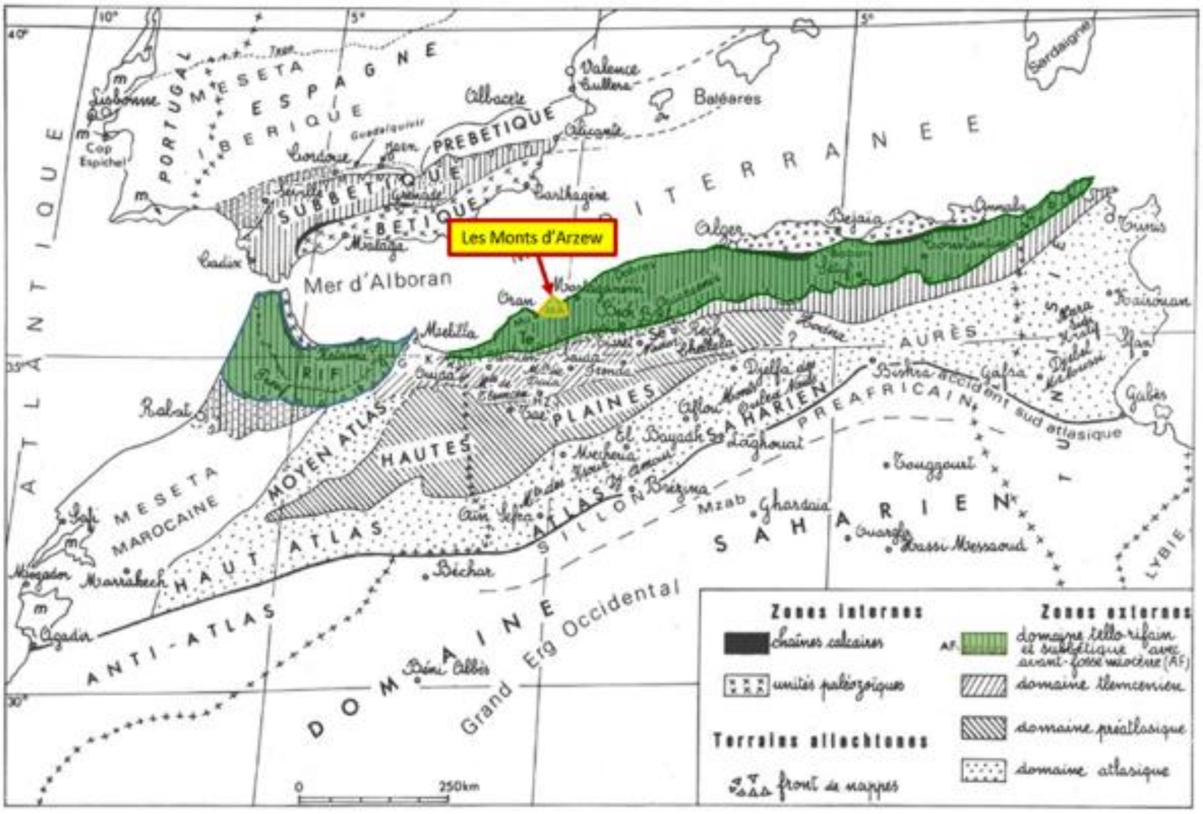


Figure 3 Carte géologique des monts d'Arzew (Benest 1986)

1. Contexte géologique des Monts d'Arzew :

Les terrains néogènes sublittoraux de l'ouest algérien s'étendent en parallèle à la côte méditerranéenne, depuis la limite occidentale de l'Algérie jusqu'à la longitude d'Alger à l'est. Ces terrains se composent de deux groupes distincts (Figure 4) :

Un vaste bassin de subsidence néogène et une deuxième formation constituée de chaînes montagneuses.

La carte géologique de la région d'Arzew montre trois unités géologiques apparentes et distinctes, se répartissant respectivement de l'Est vers l'Ouest : Djebel Kristel Djebel Borosse et Djebel Orousse.

Les Djebels Orousse, Borosse et Kristel sont constitués essentiellement de formations relativement épaisses de carbonates et de calcschistes. Il s'agit de lentilles calcaires marmorisées, parfois dolomitisées passant à des calcschistes à faunes barrémiennes, le tout reposant sur des schistes.

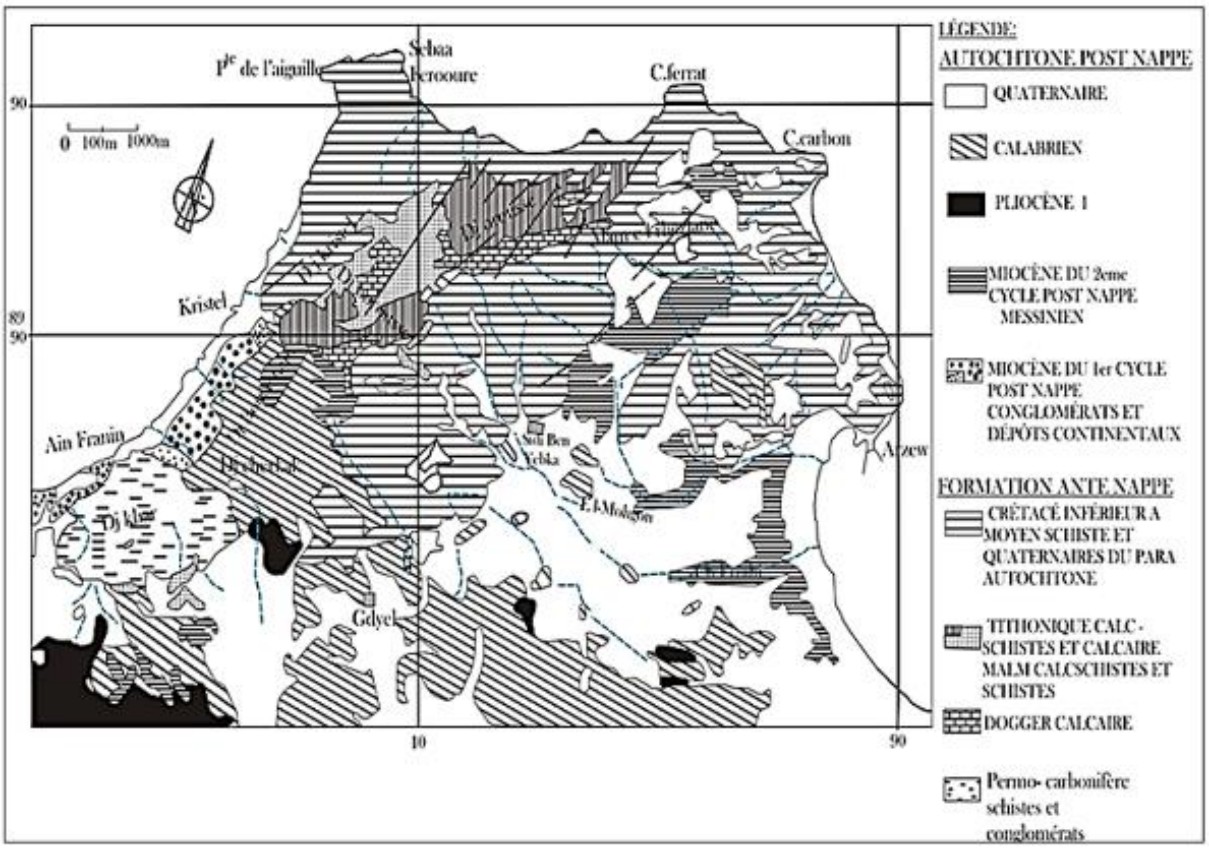


Figure 4 Carte géologique des monts d'Arzew (Fenet, 1954)

2. La Lithostratigraphie des Mont d'Arzew :

La lithostratigraphie des Monts d'Arzew est caractérisée par une série de formations géologiques variées, qui se sont déposées au cours de différentes périodes géologiques. Voici quelques-unes des principales formations lithostratigraphiques des Mont d'Arzew (Figure 05) :

- **Le Permo-Trias :** est représenté par des schistes violacés, des argilites et des gypses cristallins sous forme dyapirique, affleurant sur une surface importante à l'Ouest de Kristel dans la zone littorale du cap Falcon et dans lesmontagnes de lions (Djebel Khar).

❖ **Jurassique** : est représenté par des faciès essentiellement carbonatés constituant l'unité Allochtone. Selon la coupe réalisée par Fenet en 1975, la formation jurassique d'Arzew est composée des faciès suivants de bas en haut :

- Des calcaires marmorisés blancs, bleutés ou roses passant à de grands bancs jointifs du même type de calcaires qui deviennent moins épais avec des intercalations calco-schisteuses de couleur rouge.
- Des calcschistes jaunes et rouges passant aux calcaires marmorisés.
- Des calcschistes rouges passant à des calcaires dolomitisés.
- Des schistes jaunes avec intercalations de petits bancs calcaires passant à des calcaires recristallisés avec des passages de calcschistes jaune orangé.
- Des schistes et calcaires en plaquette, des conglomérats épais.
- Une épaisse formation de calcschiste de couleur rouge.

❖ **Le crétacé** : il s'agit d'une unité para-autochtone schisteux qui se décompose en :

- **Crétacé inférieur** : daté par un gisement d'ammonites ferrugineuses du Barrémien selon Doumergue (1924).

  Selon Fenet (1975), les schistes des Monts d'Arzew sont subdivisés en plusieurs ensembles lithologiques classés en termes, de bas en haut on trouve :

  - Terme A : Des formations schisteuses légèrement gréseuses d'âge Néocomien.
  - Terme B : Des formations carbonatées d'âge Barrémien inférieur.
  - Terme C : Des formations carbonatées et schisteuses d'âge Barrémien Supérieur à Aptien Inférieur, les travaux de Ciszak (1993) apportent une nouvelle description à caractère flyshoide.
  - Terme D : Des schistes quartzitiques d'âge Apto-albien, caractérisé par une alternance de schistes fins et des bancs de quartzite roux atteignant 500m d'épaisseur, au Nord-Ouest du massif vers la pointe de l'aiguille.
- Crétacé Supérieur (Cénomanien): il est constitué par un ensemble de calcschistes jaunâtres comportant des lentilles de micro-brèche à éléments de calcaires étirés dans une matrice schisteuses.
  - Sénonien-Paléocène : d'après Fenet (1975), entre le Cap Ferrat et le Cap Carbon, affleurent des marnes noires ou brunes très phylétiques sans calcaires ni marno-calcaires.

- **Le Miocène** : Thomas (1985) décrit des faciès formant la couverture sédimentaire d'un socle secondaire composé de terrains sédimentaires et métamorphiques, avec un découpage lithostratigraphique comme suit :
    - Le Miocène Post-nappes : forme un cycle sédimentaire complet pendant sa naissance où se développent des mouvements épirogéniques qui découpent la région littorale en zones subsidentes sous forme de Horsts et Grabens, au niveau du littoral (Gourinard , 1958). Suite à ces mouvements plusieurs cycles sédimentaires entrecoupés par des phases d'érosion ont été engendrés comme suit :
        i. Premier cycle post-nappes : composés d'une alternance de conglomérats et des marnes d'âge Serravallien-Tortonien Inférieur.
        ii. Deuxième cycle post-nappes comprenant de bas en haut : des grès roux reposant en discordance sur le socle secondaire schisteux, des marnes bleues grisâtres à bleuâtres, des calcaires à algues, des calcaires marneux-récifaux et des formations évaporitiques caractérisées par des faciès gypseux.
- **Le Pliocène** : il est caractérisé par des dépôts marins formés de marnes très épaisses ainsi que des dépôts lagunaires et de sables dunaires continentaux (Fenet, 1975). Ce sont des marnes bleues masquées par des dépôts gréseux et conglomératiques du Calabrien.
- **Le Quaternaire** : forme la majeure partie des terrains plats de la région et se subdivise en deux niveaux superposés :
    a. Un niveau formé par des alluvions et des sédiments de la marge continentale composés de sables, de grès de limon argileux et des calcaires crayeux.
    b. Un deuxième niveau supérieur formé par des alluvions.

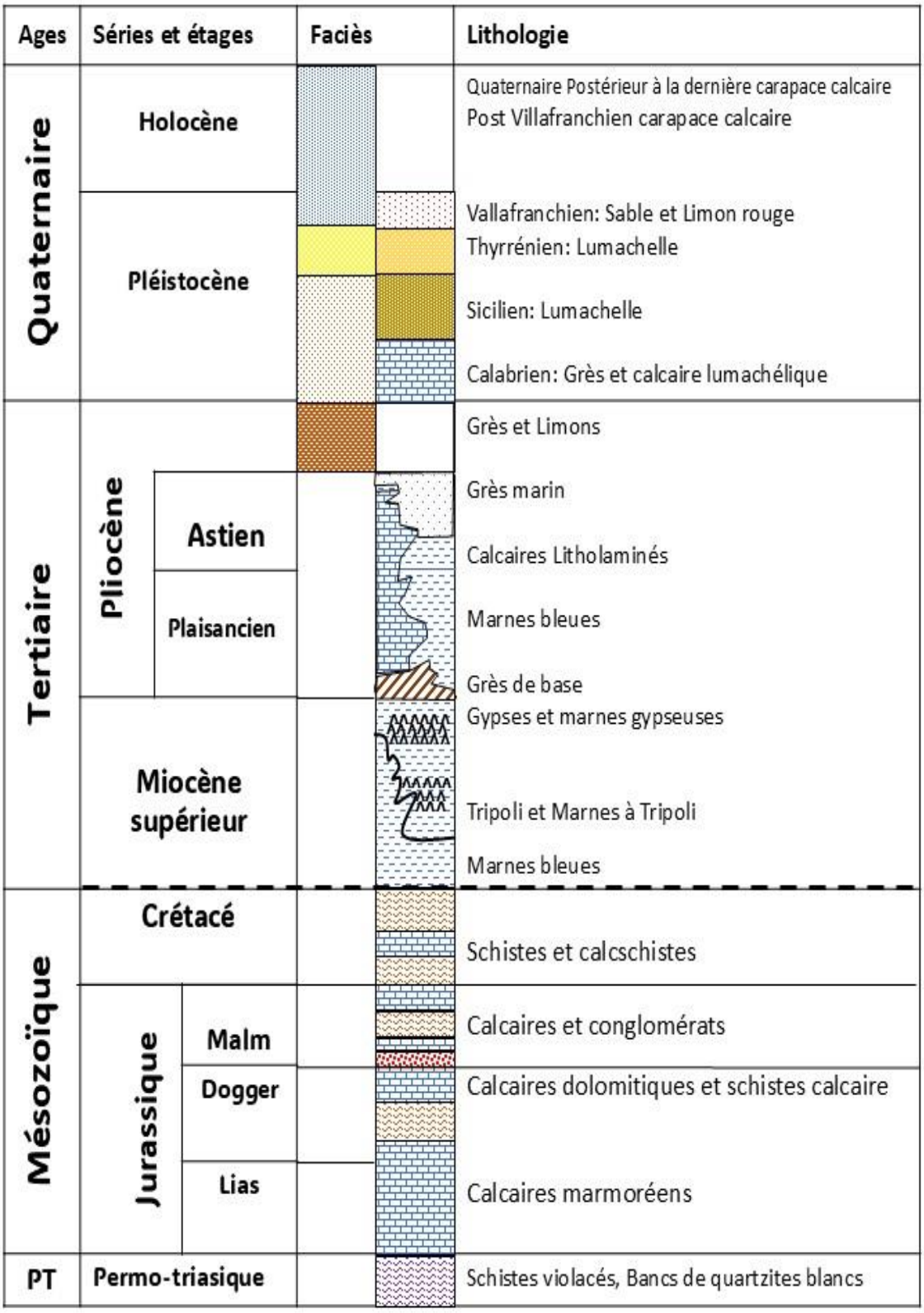


Figure 5 Log géologique synthétique de la région d'Oran-Arzew (in H.Zaff, 2004)

3. Cadre structural des Monts d'Arzew :

Les reliefs fracturés se composant des trois principaux segments, notamment Djebels Orousse, Borosse et Kristel constitue les unités structurales des monts d'Arzew.

Ces reliefs sont composés de deux séries géologiques distinctes composés par deux formations D'après Gourinard (1952) les lentilles calcaro-dolomitiques interstratifiées dans les schistes et délimitées partiellement par des accidents verticaux avec des matériaux carbonatés datant du Jurassique et des formations calcschisteuses représentant les éléments d'un substratum de schistes crétacés (Figure 6).

Du point de vue structural, géologique et tectonique les monts d'Arzew se composent de deux séries secondaires formant l'unité allochtone très disloqué, qu'est parcourue par de nombreux accidents marqués par des brèches abondantes, parfois très épaisses. Cette unité est représentée par Djebel Borosse et Orousse caractérisée par des fractures intenses affleurant au Nord du Massif.

Le massif du marbre de Djebel Orousse, repose en discordance sur les formations schisteuses d'âge plus anciennes, ce massif et les schistosités de la région de Kristel forment un anticlinal dont l'axe est de direction NE-SW avec la schistosité de direction NW-SE (Fenet, 1975). Les failles présentes sont soit parallèles ou transversales à l'axe de l'anticlinal avec la présence d'une faille principale parallèle à l'axe de l'anticlinal tout au long de laquelle apparait des brèches. La tectonique provoquant ces unités géologiques était active jusqu'au Miocène supérieur et Pliocène.

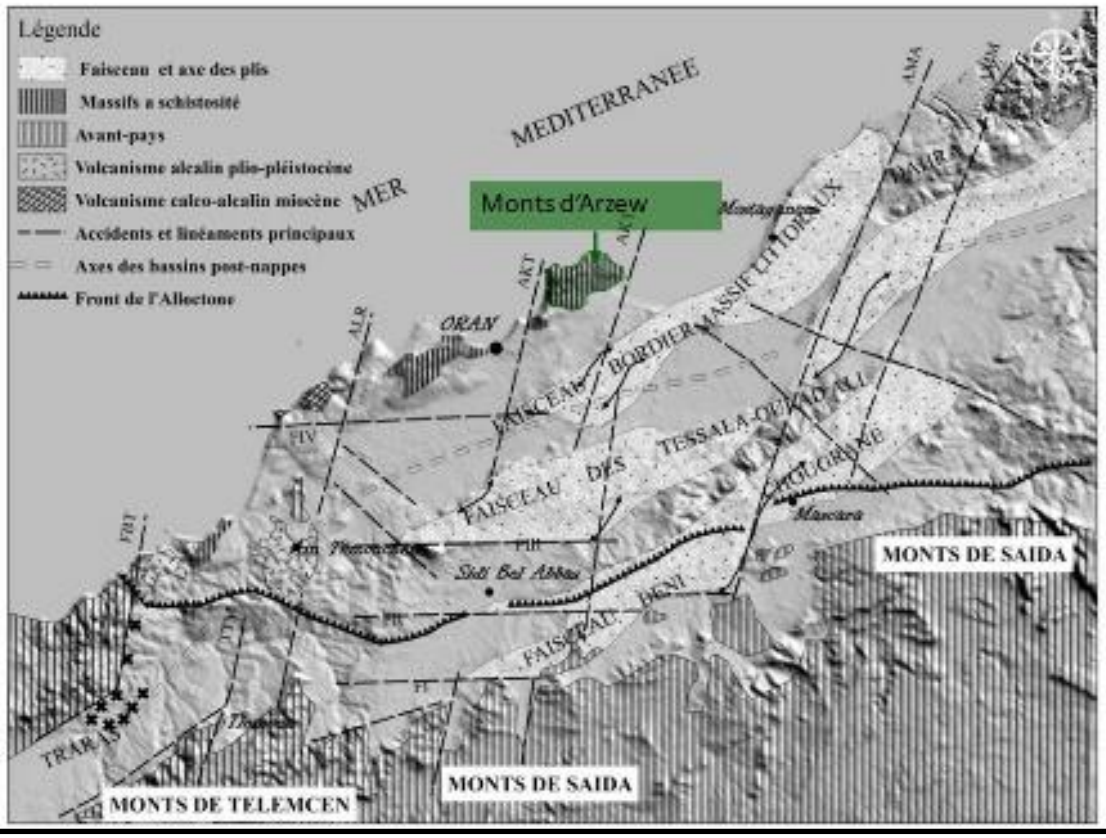


Figure 6 Carte structurale du massif d'Arzew ; Fenet (1975)

IV. La zone d'étude :

1. Situation Géographique de la zone d'étude :

Le secteur d'étude fait partie de la commune et Daïra de Gdyel, il est situé à **8,5** Km au Nord-Ouest de la ville de Gdyel et à **28 Km** au Nord-Est de la ville d'Oran (Figure 7).

Il s'agit de l'unité **C11**au niveau de la carrière de calcaires destinés à la fabrication de granulats, dans le lieudit Tazdout. Elle est située dans la région de Gdyel, dans la wilaya d'Oran, en Algérie.

Le gisement de calcaires de Tazdout s'étend sur une superficie de **19,83 ha** et a été attribué à **COSIDER** Carrière en date qui a pris effet à partir du **17/01/2017** pour une durée de **10 ans**.



Figure 7 Localisation Géographique de la zone d'étude

2. Cadre Géologique de la Zone d'Étude

La litho-stratigraphie du gisement est constituée essentiellement de calcaires marmorisés de couleur gris brunâtre à gris clair, renfermant des cavités de dissolution superficielles dues aux conditions climatiques. A la cassure ils sont de couleur bleu foncé fracturés renfermant par endroit des poches de calcaires limonites et les plans des fractures renferment des placages d'oxyde de fer. Ces calcaires font partie du massif de Djebel Kristel, ils sont attribués au Jurassique sup-Crétacé inférieur. La partie Est et sud Est du gisement est caractérisée par une forte oxydation de fer (minéralisation ferrifère). Ces formations géologiques sont d'âge jurassique supérieur, Crétacé inférieur (Figure 8).

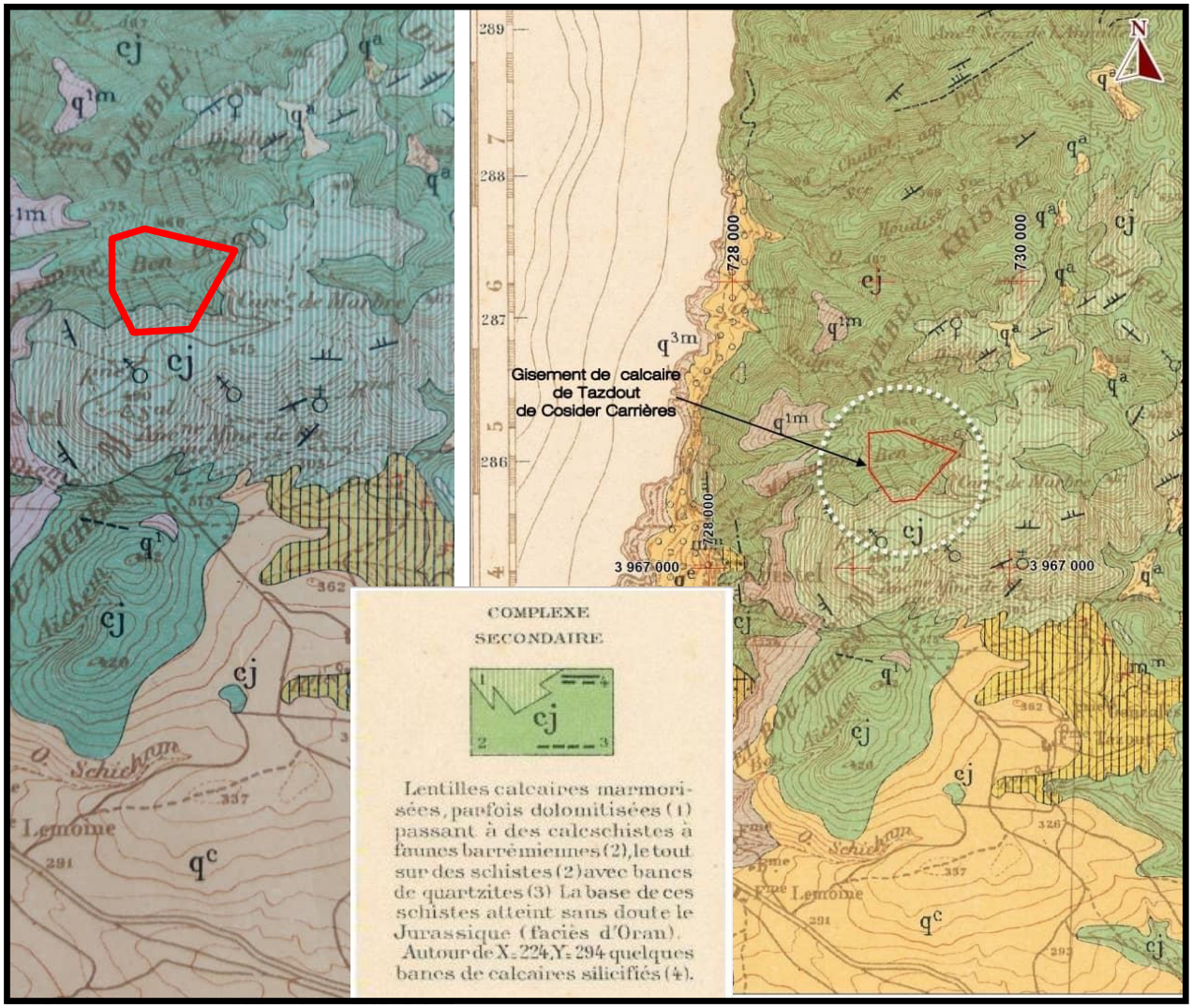


Figure 8 Contexte Géologique de la zone d'étude Carte Géologique Arzew Feuille 127.5_1/50000.

3. Tectonique :

Le site se trouve dans le complexe qui forme la montagne des lions et les monts d'Arzew, ces derniers ont subi d'importantes surrections.

La forme actuelle en horsts des monts d'Arzew, Gdyel, montagne des lions, est le résultat d'importants mouvements verticaux à la fin du Miocène supérieur. Les horsts sont souvent des structures assez simples, aussi la montagne des lions est un anticlinal unique, que les contraintes verticales ont ranimé au moment de la surrection comme horst, en levant le centre par rapport aux bordures au moyen de glissement différent le long d'innombrables plans de schistosité verticaux.

Ce mécanisme a encore rejoué après le Miocène supérieur, puisque, près du sommet, on trouve deux affleurements de calcaire à Lithomaniès à deux (02) niveaux différents, bien qu'ils soient très proches dont l'allongement est parallèle à la direction de la schistosité.

Les monts d'Arzew, sont une bosse accidentée, de multiples replis au Nord-Ouest, dans laquelle des lentilles calcaires du Crétacé Supérieur, ont généralement manifesté leur indépendance technique.

En s'extrudant aussi, elles donnent lieu aux parties les plus élevées du massif et dominent les schistes dont elles jaillissent par failles. En général, cette région forme une masse plissée, limitée par faille et se présente au milieu des terrains néogènes en Horst.

La mise en place de ce Horst, date de la fin du Miocène supérieur. On peut observer à ce niveau d'apparition des premiers conglomérats de démantèlement de ces falaises.

Les séries néogènes qui forment le substratum du reste du territoire, sont aussi horizontales dans la région des plateaux et affectées de plis simples dans les régions de collines ou de dépressions.

Les collines répondent aux anticlinaux et les dépressions aux synclinaux. Cette correspondance de formes topographiques et de structures tectoniques tels que les failles bréchiques orientées NE-SO indice de l'orogenèse alpine (Figure 9).

Le littoral Gdyel – Arzew, est une zone assez élevée et très abrupte, entourée de plaines basses, en subsidence jusqu'à ce jour.

Il est constitué de petits pitons et de plateaux à bord escarpé. Ces derniers sont d'ailleurs le plus souvent inclinés vers le Sud.



Figure 9 Faille Bréchique dans la carrière de Tazdout

-la cote est formée de falaises abruptes et élevées. Parmi ces falaises une bonne partie, est exclusivement constituée de marnes miocènes non indurées, très friables et sujettes à l'effondrement.

L'examen du réseau hydrographique, montre la coexistence d'un drainage normal vers la mer, avec un autre vers la Sebkha d'Oran (Figure 10)

La preuve la plus directe de la genèse de ces reliefs, est évidement l'existence de déformations affectant des surfaces d'aplanissement.

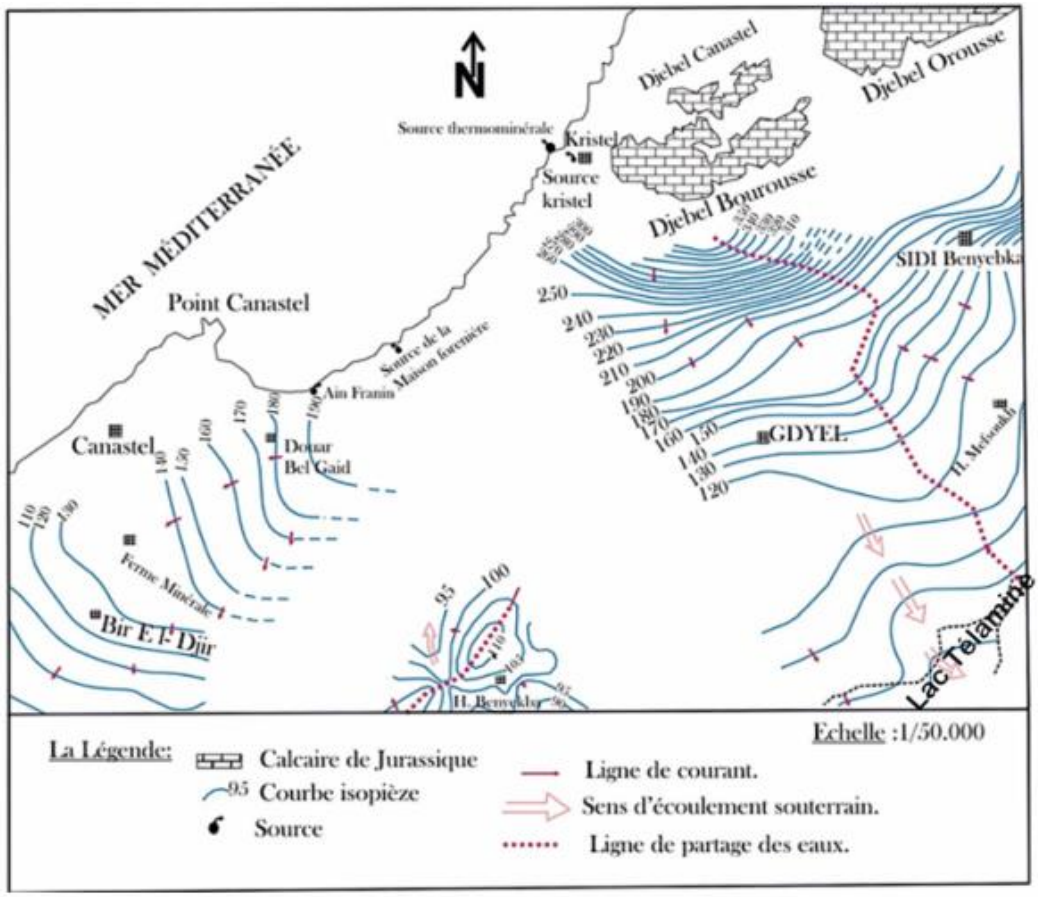


Figure 10 Carte piézométrique de la région d'Arzew (M. Foukrache, 1996).

4. Les Calcaires Marmorisés de Tazdout :

Les calcaires marmorisés de Gdyel sont des roches sédimentaires qui ont subi une transformation sous l'effet de la pression et de la température. Ils sont caractérisés par une texture massive et une couleur grise claire grise claire à rougeâtre (Figure 11).

-**Caractéristiques pétrographiques** : les calcaires marmorisés sont caractérisés par une texture granoblastique et une composition minéralogique variée.

- **Origine** : les calcaires marmorisés sont issus de la transformation de calcaires sédimentaires sous l'effet de la pression et de la température.



Figure 11 Echantillon de calcaires marmorisés de la carrière C11 de Tazdout

5. Mode d'exploitation :

La carrière de Tazdout unité **C11** exploitée par l'entreprise **COSIDER** est une carrière à ciel ouvert spécialisée dans l'extraction de calcaire massif destiné principalement à la production de granulats pour le BTP (Bâtiment et Travaux Publics). Elle s'étend sur une superficie d'environ **19,89 hectares** et comporte quatre niveaux d'exploitation aménagés en gradins : une plate-forme de base située à **420 m**, puis des niveaux successifs à **435 m** (niveau 1), **445 m** (niveau 2), **456** m (niveau 3), et **465 m** (niveau 4).

L'exploitation se fait en gradins, avec des opérations de forage et minage (création de trous dans la roche à l'aide d'un perforateur, puis chargement de ces trous avec des explosifs). Le plan de tir est soigneusement conçu selon la nature de la roche, la hauteur du gradin et les objectifs de fragmentation, afin d'assurer un éclatement contrôlé.

Le matériau est ensuite chargé, transporté vers une station de concassage-criblage, puis transformé en granulats de différentes tailles. Les stériles sont évacués vers des zones aménagées. L'ensemble des activités respecte les normes de sécurité et les exigences de protection environnementales, avec un plan de gestion des risques et de réhabilitation post-exploitation.

Le tableau suivant montre les différents types de graviers fabriqués au niveau de l'Unité C11 avec leurs utilisations typiques (Tableau 1) :

Types de gravier	Granulométrie	Utilisation typique
Sable	0/3	Mortiers, enduit, bétons fins
Gravier fin	3/8	Béton prêt à l'emploi, béton fin, dallages
Gravier moyen	8/15	Béton armé, préfabrication
Gravier grossier	15/25	Béton structurel, fondations
ballast	25/40; 40/60; 40/70 ; 60/100	Voies ferrées, drains, assises de routes, ouvrages lourds
GNT (gravier non traitée)	0/31.5; 0/100; 0/200; 0/400	Sous couche de route, remblais, aménagement paysager, drainage léger, béton hydraulique, chaussées

Tableau 1 Types de graviers fabriqués à Unité C11 COSIDER

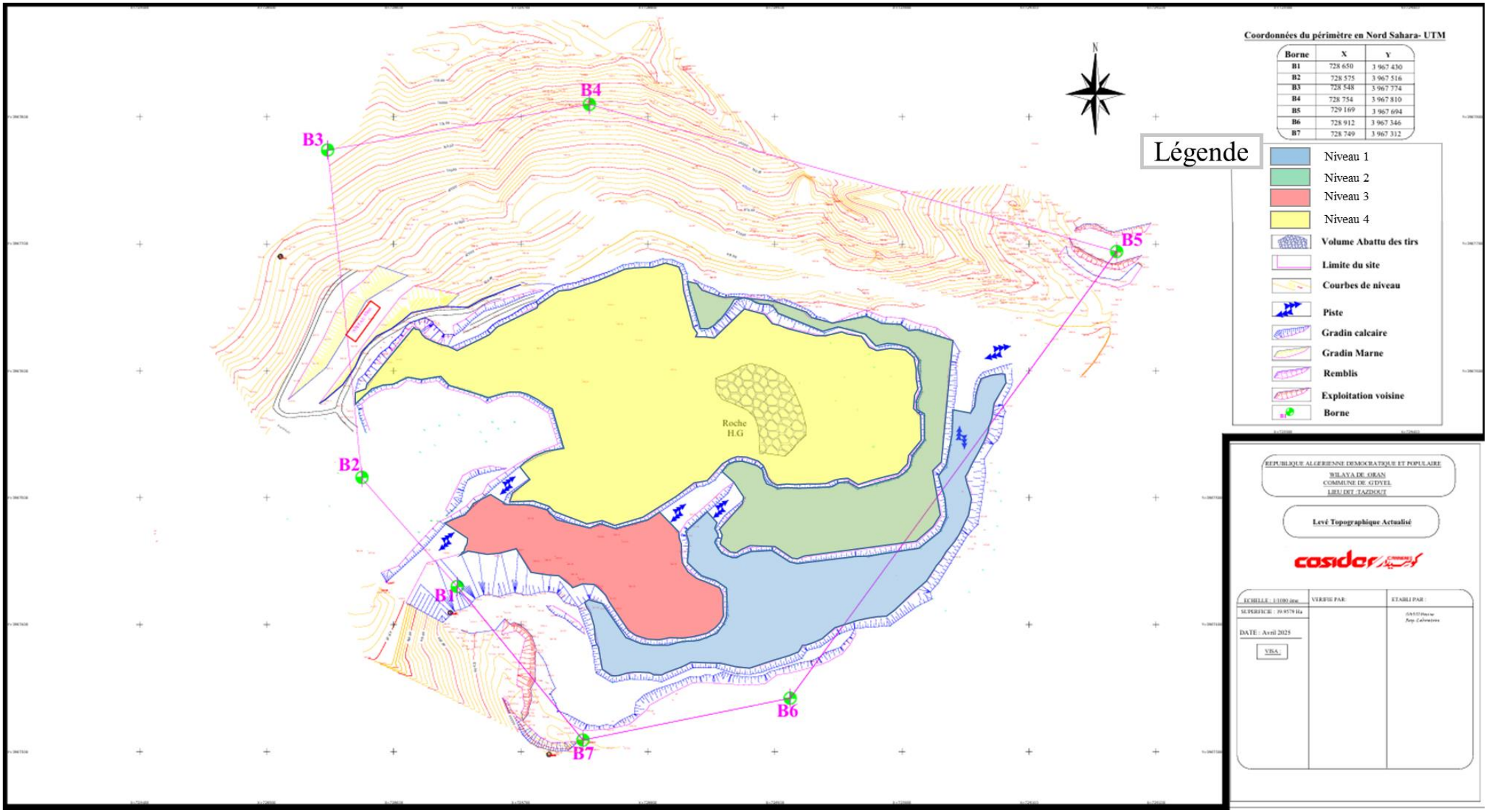


Figure 12 Plan topographique actualisé (Avril 2025) de la carrière Tazdout Unité C11 de COSIDER

CHAPITRE II METHODOLOGIE

Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie adoptée pour accomplir cette étude sur les roches calcaires de Gdyel, La méthodologie utilisée a consisté en une combinaison de travaux de terrain et de laboratoire visant à collecter et analyser les données nécessaires pour atteindre les objectifs de l'étude.

Dans ce chapitre, les différentes étapes de la méthodologie sont décrites, depuis l'échantillonnage et le sondage sur le terrain, jusqu'aux analyses en laboratoires. Cette description permettra de comprendre les méthodes utilisées pour collecter et analyser les données, et de garantir la fiabilité et la validité des résultats obtenus.

Partie 1 Travaux sur terrain :

Les travaux de terrain ont consisté en 2 étapes essentielles pour collecter les données nécessaires à cette étude. Les étapes de terrains sont :

1. Echantillonnage :

L'échantillonnage a été effectué dans la carrière d'unité C11 gisement de calcaire de Tazdout. Les échantillons ont été prélevés de manière ciblée, en veillant à représenter la diversité des faciès lithologiques observés sur le site. Cette représentativité est essentielle pour garantir la fiabilité des analyses ultérieures.

Un total de treize [13] échantillons a été collecté, chacun identifié par un code et consigné dans un carnet de terrain (voir ANNEXE 1).

Chaque prélèvement a été conditionné dans un sac étiqueté, en notant sa localisation approximative (coordonnées GPS).

Afin d'illustrer la méthodologie d'échantillonnage Les figures et tableau suivantes présente ce qui suit :

- Coordonnées GPS des points de prélèvement et localisées sur une carte topographique du site (Figure 13)
- L'aspect brut des échantillons collectés (voir ANNEXE 1).

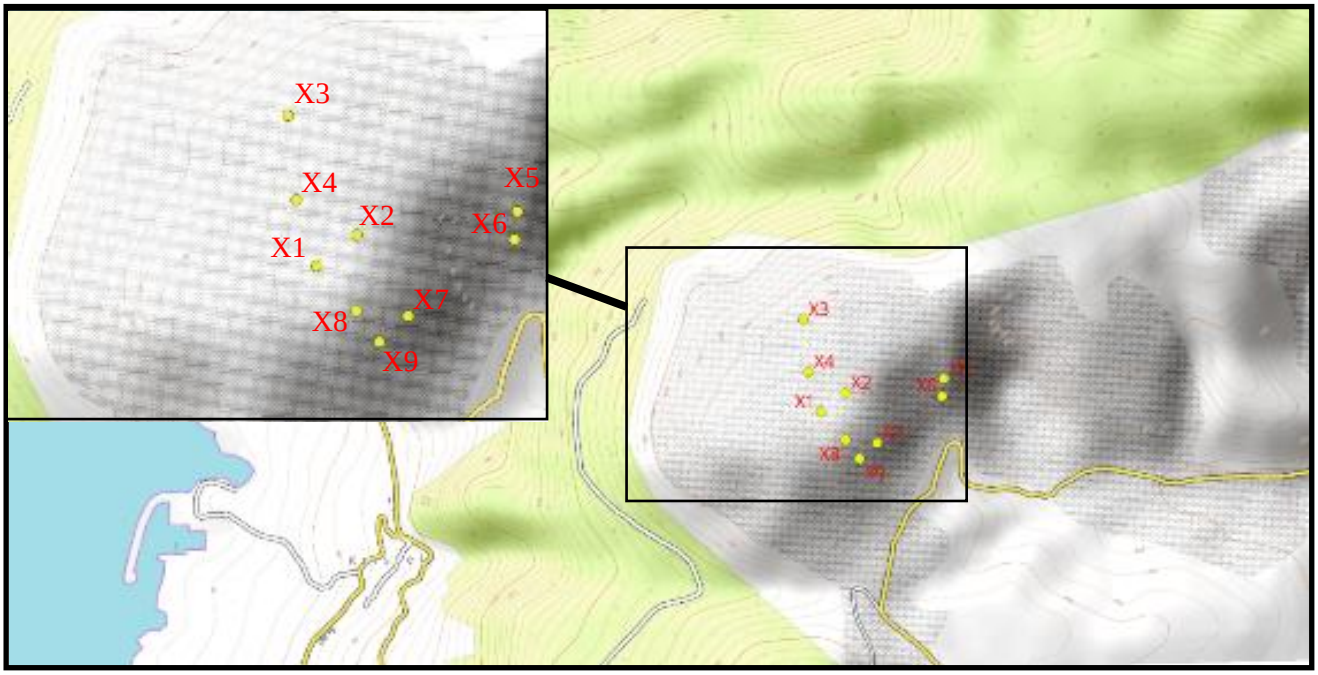


Figure 13 Carte topographique du site de la carrière unité C11 de COSIDER réalisée à l'aide du logiciel QSIG, montrant la localisation des points de prélèvement avec une projection de GPS réelle.

Le tableau suivant représente les différentes coordonnées GPS de chaque échantillon prélevé au niveau de l'Unité C11 (Tableau 2):

Echantillon	points de localisation dans QSIG	Latitude	Longitude	Altitude	Niveau
B1 B2 B3 B4	X1	3967482.1198	728637.7976	435	1
B5 B6	X2	3967539.4757	728711.8855		
B7	X3	3967759.4426	728584.2891	445	2
B8	X4	3967603.0416	728600.1889		
B9	X5	3967582.9992	729008.1077		
B10	X6	3967529.7433	729002.828		
B11	X7	3967388.7619	728806.667	456	3
B12	X8	3967399.2564	728711.2535	465	4
B13	X9	3967341.6868	728753.8188		

Tableau 2 Coordonnées GPS, altitude et niveaux d'extraction de chaque échantillon prélevé dans l'unité C11 (extrait de QGIS)

2. Sondage carotté

Un sondage carotté a été réalisé par l'équipe technique du site afin de Prélever des carottes intactes pour des analyses géotechniques complémentaires.

Le sondage a été réalisé à l'aide d'une foreuse adaptée aux terrains calcaires, équipée d'un système de carottage rotatif (Figure 14). Ce procédé permet l'extraction de carottes cylindriques en conservant l'intégrité du matériau. Les carottes obtenues ont ensuite été conditionnées et stockées pour observation.



Figure 14 Foreuses carottées adaptées au calcaire utilisées pour le sondage

Partie 2 travaux aux laboratoires :

Dans le cadre de cette étude, plusieurs essais géotechniques ont été réalisés afin de caractériser les propriétés des échantillons prélevés sur le site. Ces essais ont été effectués dans deux laboratoires distincts : le laboratoire du **LTPO** (laboratoire des travaux publics de l'ouest) et le laboratoire de l'entreprise **COSIDER** Carrières, chacun offrant des équipements adaptés aux différentes analyses.

Par ailleurs, la préparation et l'observation des lames minces ont été réalisées aux laboratoires de lames minces et de Microscopie du département de Géologie au niveau de l'Université Oran 2, dans le but d'étudier la pétrographie des échantillons à l'échelle microscopique. Ces travaux de laboratoire permettent d'évaluer les propriétés physiques, mécaniques, chimiques et pétrographiques des matériaux.

1. Essais au Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (LTPO)

1.1 Les essais chimiques :

a. Essai de sulfates : L'essai de sulfates sur les calcaires est un Essais chimique important pour déterminer la teneur en sulfates dans le sol, ce qui peut avoir des implications sur la durabilité et la stabilité des structures en contact avec le sol (Figure 15).



Figure 15 Essai de sulfates

b. Essai de carbonates : L'essai des carbonates est un essai chimique permettant de déterminer la quantité de carbonate de calcium ($CaCO_3$) présente dans un échantillon de matériau (Figure 16).

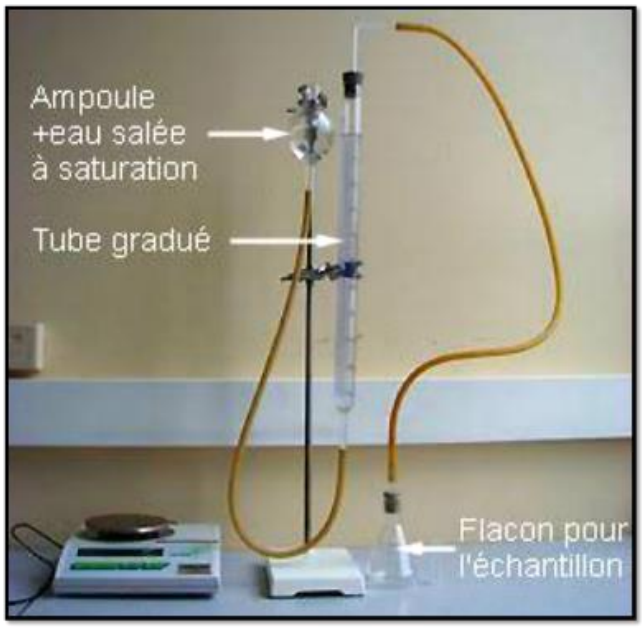


Figure 16 Calcimètre

1.2 Les essais mécaniques

a. **Essai Los Angeles:** L'essai de Los Angeles est un Essai mécanique qui consiste à soumettre un échantillon de granulats à des chocs et frottements répétés dans un tambour rotatif équipé de boulets en acier. Ce procédé simule l'usure mécanique que peuvent subir les granulats lors de leur utilisation dans les infrastructures (Figure 17).



Figure 17 L'essai de Los Anglos.

b. **L'essai Micro-Deval:** L'essai Micro-Deval permet de déterminer la résistance à l'usure par frottement humide des granulats. Il reproduit l'effet de l'abrasion des particules entre elles dans des conditions simulant le transport hydraulique ou la mise en œuvre des matériaux dans des environnements humides (Figure 18).



Figure 18 L'essai Micro-Deval.

c. **Essai de l'écrasement :** L'essai d'écrasement de calcaire est un test de laboratoire utilisé pour déterminer la résistance à la compression d'échantillons de calcaire (Figure 19).



Figure 19 L'essai de l'écrasement

d. **Essai de cisaillement** : L'essai de cisaillement est un test de laboratoire utilisé pour déterminer les propriétés de résistance au cisaillement des sols et des roches (Figure 20).



Figure 20 L'essai de cisaillement

1.3 Les essais physiques :

a. **Essai de granulométrie :** L'essai de granulométrie par tamisage est un essai physique qui permet de déterminer la répartition dimensionnelle (distribution granulométrique) des grains constituant un matériau granulaire (sable, gravier, concassé, etc.) (Figure 21).

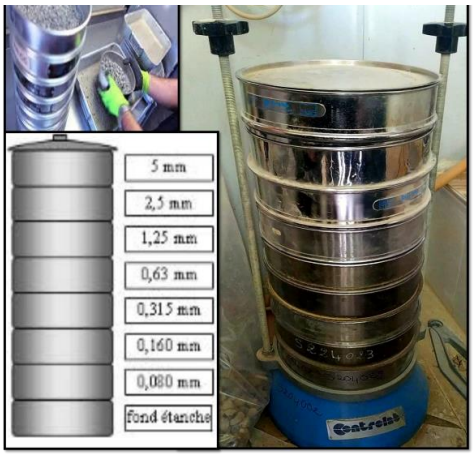


Figure 21 L'essai de granulométrie.

b. **Essai de la masse volumique absolue :** L'essai de la masse volumique absolue est un essai physique visant à déterminer la densité réelle des grains solides d'un granulat, sans prendre en compte les vides entre les particules. On utilise la méthode de Pycnométrie, qui repose sur la mesure du volume déplacé par les grains dans un liquide (Figure 22).



Figure 22 L'essai de masse volumique absolue

c. **Essai de la masse volumique apparente :** L'essai de la masse volumique apparente est un essai physique, qui permet de déterminer la masse d'un matériau granulaire occupée par unité de volume, y compris les vides entre les grains. Cet essai ne mesure pas la masse volumique réelle des grains, mais celle de l'ensemble du matériau tel qu'il se présente en vrac (Figure 23).



Figure 23 L'essai la masse volumique apparente



Figure 24 L'essai de propreté superficielle.

d. L'essai de propreté superficielle : L'essai de propreté superficielle est un essai physique normalisé permettant d'évaluer la quantité de particules fines (argiles, limons, poussières) adhérant à la surface des granulats. Connaître cette quantité est essentiel, car une teneur excessive en particules fines peut nuire à l'adhérence entre les granulats et le liant (bitume ou ciment), affectant ainsi la durabilité, la résistance mécanique et la qualité des matériaux

de construction tels que les bétons et les enrobés (Figure 24).

2. Essais au Laboratoire de COSIDER :

2.1 Essai chimiques

a. Essai de bleu de Méthylène : L'essai au bleu de méthylène (EBM) permet de mesurer la quantité d'argiles actives présentes dans un sol ou un granulat. Il repose sur la capacité de ces particules fines à adsorber le bleu de méthylène, Il est principalement utilisé pour caractériser la propreté des sables ou granulats fins et pour détecter la présence d'argiles gonflantes ou actives, souvent nuisibles aux propriétés mécaniques des matériaux de construction (Figure 25).

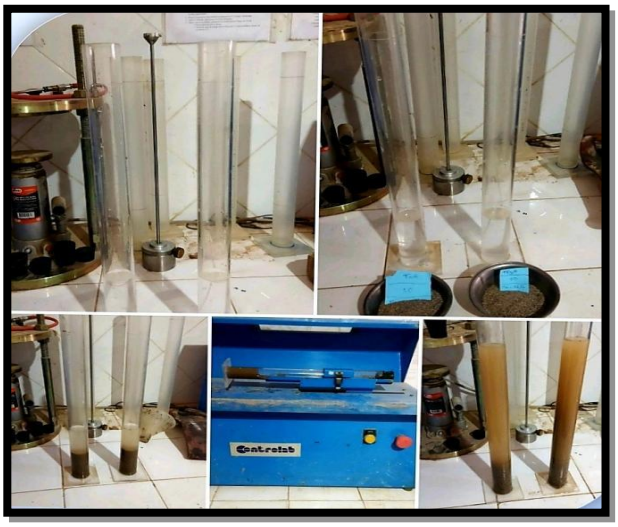


Figure 25 L'essai de l'équivalent de sable

2.2 Essais physiques

a. Essai Équivalent de sables à 10% : L'essai d'équivalent de sable est un essai physico-chimique visant à évaluer la propreté d'un sol ou d'un granulat fin, en particulier la proportion de particules fines (argiles et limons) dans la fraction 0/3 mm, Le principe repose sur la décantation différentielle dans une solution floculante (Figure 26).



Figure 26 L'essai de bleu de Méthylène

Pour la réalisation des essais géotechniques, les types de gravier utilisés sont présentés dans le tableau suivant (Tableau3)

Type de gravier	Granulométrie
Sable	**0-3 mm**
Gravier fin	**3-8 mm**
Gravier moyen	**8-15 mm**
Gravier grossier	**15-25 mm**
GNT (gravier non traité)	**0-31.5 mm**

Tableau 3 les types de graviers utilisé pour la réalisation des essais géotechniques



Figure 27 Les différents diamètres de granulats

3. Laboratoire des lames minces :

La réalisation d'une lame mince et section polie est un processus délicat qui nécessite une certaine expertise et des équipements spécialisés.

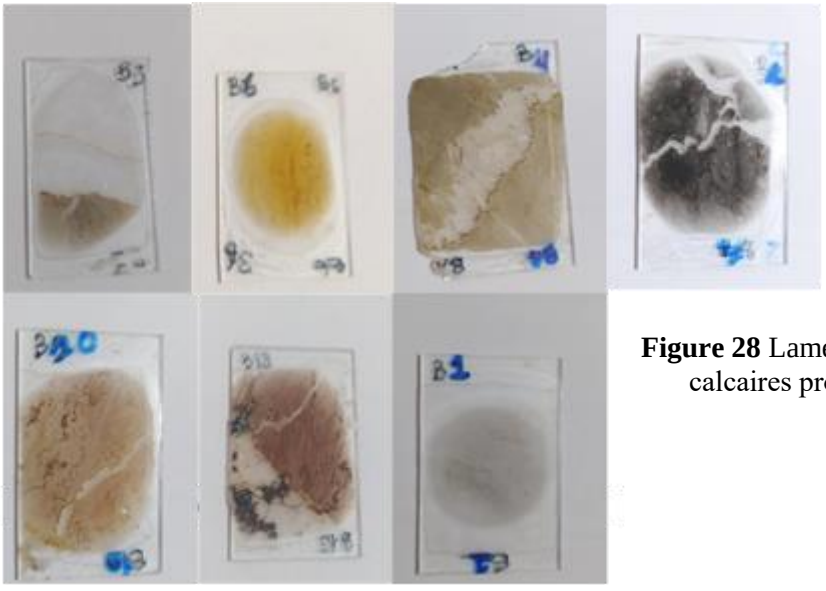


Figure 28 Lames minces, des échantillons calcaires provenant de l'unité C11

CHAPITRE III ETUDE PÈTROGRAPHIQUE

Introduction :

Les calcaires sont des roches sédimentaires qui jouent un rôle fondamental dans la géologie et l'environnement. Ils sont composés principalement de calcite, un minéral formé à partir de carbonate de calcium. Les calcaires peuvent se former dans différents environnements, tels que les mers peu profondes, les lacs et les rivières, et peuvent être influencés par divers facteurs tels que la température, la pression et la chimie de l'eau.

Dans cette étude, huit (8) échantillons de calcaires présentant des faciès distincts. L'étude de ces calcaires permet comprendre les processus géologiques et identifier les paramètres influençant leurs formations.

Dans ce chapitre, les caractéristiques macroscopiques et microscopiques de 7 lames minces de calcaires sont étudiées.

I. Description macroscopique :

1. Calcaires bleus (échantillons B1, B2, B3, B4)



Figure 29 L'échantillons B1, B2, B3, B4 calcaires bleus

Les quatre roches présentent une patine grise claire a grise foncée. La texture est microcristalline, Avec présence de veinules blanches de calcite à texture sparitique, indiquant une possible circulation de fluides post-dépositionnels.

Structure : massive, compacte, sans litage apparent.

Les minéraux visibles macroscopiquement montrent une couleur : blanchâtres à jaunâtre (calcite).

À la cassure la roche présente une couleur interne gris clair uniforme à blanc translucide (calcite). La cassure est subconchoïdale et nette, ce qui indique une texture cohérente et fine. Sa structure est massive et compacte, sans litage apparent, suggérant un dépôt homogène. La texture semble homogène et probablement microcristalline, ce qui correspond à une micrite dense.

2. Calcschiste Échantillon B6



Figure 30- l'échantillon B6 calcschiste

La roche présente une patine beige à jaunâtre, avec des zones grises foncé à brun, correspondant à des concentrations d'oxydes de Fer Elle apparaît massive, sans stratification visible, et son aspect est mat. En cassure fraîche, Elle montre une cassure irrégulière, granuleuse et massive de couleur jaunâtre à brun, sans foliation visible à l'oeil nu. On distingue une alternance nette de lits clairs et sombres, donnant à la roche un aspect rubané. La réaction à l'acide chlorhydrique est faible, suggérant une teneur modérée en calcite et une possible dolomitisation partielle.

3. Calcaire brun Échantillon B10



Figure 31- l'échantillon B10 calcaire brun

La roche présente une patine brunâtre à beige, avec des teintes rougeâtres localisées, probablement dues à la présence d'oxydes de fer, Elle apparaît massive, sans stratification visible, et son aspect est mat. En cassure fraîche, la couleur varie du brun au beige brunâtre, avec des zones plus claires qui correspondant probablement à la calcite secondaire témoignant d'une circulation de fluides post-diagénétique. La texture est fine à microcristalline, compacte, et la cassure est irrégulière avec des arêtes nettes, sans grains visibles à l'œil nu.

4. Calcaire rouge Échantillon B13



Figure 32- l'échantillon B13 calcaire rouge

La roche présente une patine brun rouge à jaune, très riche en oxydes de fer, avec un aspect ferrugineux bien développée. La texture superficielle est irrégulière à grossière, marquée par des altérations visibles et la présence ponctuelle de taches sombres (hématite). Aucun fossile n'est visible à l'œil nu. En cassure fraîche, la roche montre une couleur brun sombre à rouge foncé, avec des plages plus claires, probablement liées à une recristallisation partielle. La texture est hétérogène à grains grossiers, et la structure est massive à bioclastique remaniée. La cassure est anguleuse et irrégulière, et la présence de microfractures, de remplissages secondaires ou de zones de recristallisation témoigne d'une circulation de fluides post-diagénétiques, ayant probablement favorisé l'introduction de minéraux tels que la sidérite.

5. Calcaire altéré Echantillon B14 :

Il s'agit d'un calcaire altéré caractérisé par une couleur dominante brune rouillée due à l'oxydation de Fer, accompagné de teinte verdâtre typique de la présence de minéraux d'oxyde de Cuivre, probablement de la Malachite.
La roche est traversée par de nombreuses cavités géodiques de calcites rhomboédriques Texture drusique



Figure 33 l'échantillon B14 calcaire altéré

II. Description microscopique :

1. Calcaire (échantillons B1, B2, B3, B4)

Les lames minces observées correspondent à un calcaire micritique partiellement recristallisé, dans lequel apparaissent localement des zones à texture granoblastique formées de cristaux de calcite automorphes à sub-automorphes, disposés en mosaïque. (Figure 34, 35. d, f, i, m)

On observe également la présence de macles polysynthétiques dans certains cristaux de calcite (Figure 34, 35. b, j, h, i, l), caractéristiques d'une organisation cristalline répétée, bien que plus typiques des feldspaths. Dans le cas présent, l'extinction des cristaux de calcite est roulante, ce qui indique une déformation intracristalline. Ce type d'extinction traduit généralement une contrainte subie par le minéral après sa cristallisation, suggérant un contexte tectonique ou une compaction diagénétique postérieure.

- La matrice micritique (environ 75% pour B1, 60% pour B2, 20% pour B3, 55% pour B4), elle est composée de calcite microcristalline à grains très fins, homogène, faiblement biréfringente en LPA et de teinte gris foncé à brunâtre en LPNA.
- La présence de taches ferrugineuses brunâtres (15 à 10 % généralement), interprétées comme des oxydes de fer précipités de manière diagénétique, se présentant en amas diffus.
- Cristaux de calcite (10 à 12 % pour B1, 20% pour B2, 60% pour B3, 25% pour la B4), souvent sub-automorphes à automorphes, à couleurs vives marquées en LPA, suggérant une cristallisation secondaire dans des cavités.
- Des minéraux opaques (3 à 5 % généralement), noirs et complètement non biréfringents, probablement liés à des oxydes de fer (probablement de l'hématite)

Ordre de diagenèse :

L'ensemble suggère un dépôt initial calme en milieu marin peu énergétique, suivi d'une recristallisation partielle et d'une altération ferrique tardive, traduisant une évolution diagénétique multi-étapes. Le cortège minéralogique est dominé par la calcite (minéral principal), accompagnée d'oxydes de fer et de minéraux opaques en tant qu'accessoires.

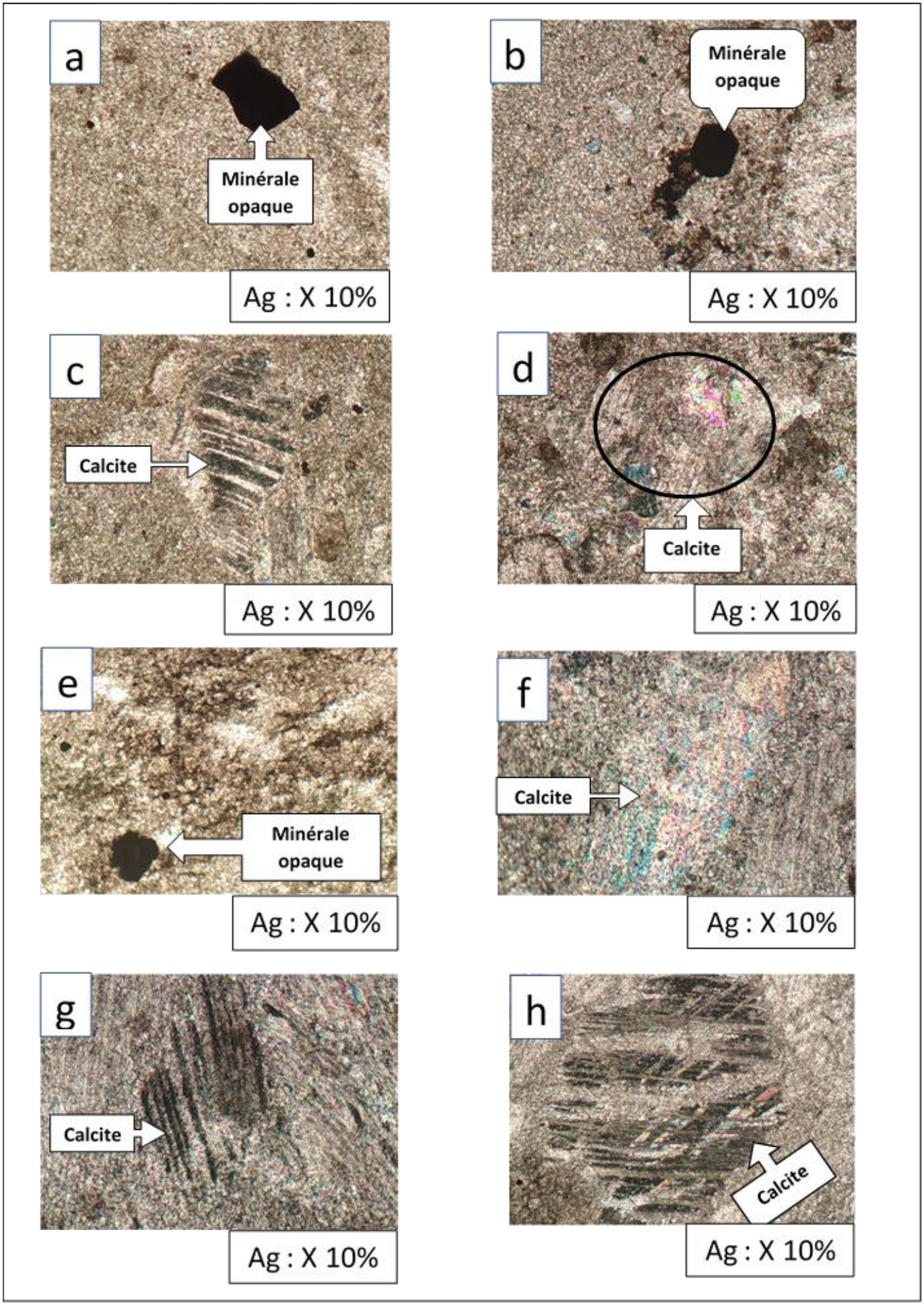


Figure 34 Planche 1 calcaire Bleu Lames Minces B1 (a, b, c, d) et B2 (e, f, g, h)

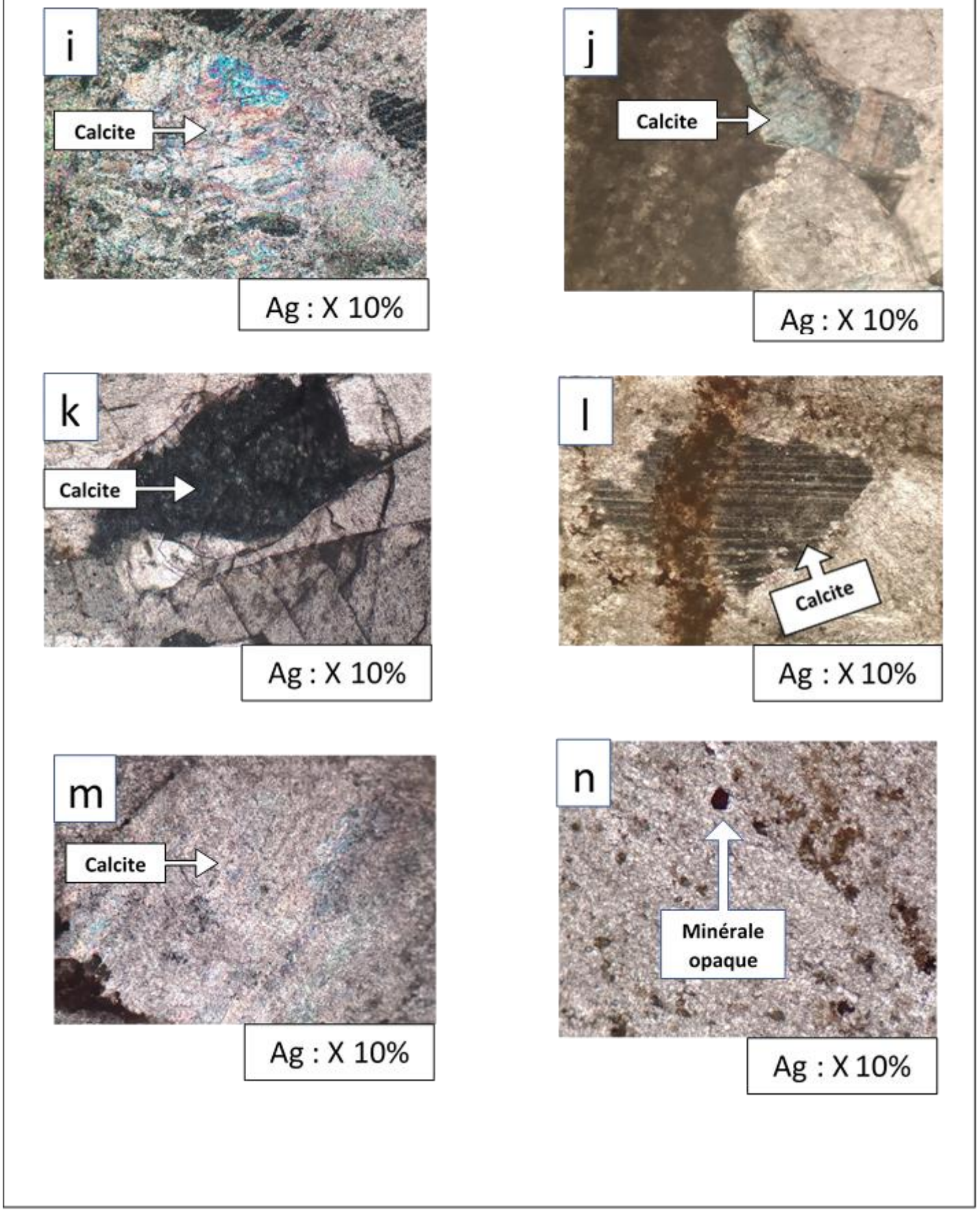


Figure 35 Planche 2 calcaire Bleu Lames Minces B3 (i, j, k) et B4 (l, m, n)

2. Calcschiste Échantillon B6 :

En lame mince, la roche montre une texture rubanée granoblastique, marquée par des lits clairs siliceux et des lits sombres riches en ferromagnésiens (Figure 36. a', b'). La structure est légèrement orientée, évoquant un réarrangement lié à la diagenèse avancée (un début de métamorphisme très faible).

- Les lits clairs (Figure 48. a', b')sont composés majoritairement de quartz et calcite (environ 35–40 %), avec des grains fins, interlobés, à biréfringence grise.
- Des petits cristaux de calcite (environ 20–25 %), disséminés. (Figure 36. a')
- Des petits cristaux de quartz (environ 10–15 %), disséminés. (Figure 36 .b')
- Les lits sombres sont riches en minéraux ferromagnésiens (environ 25 %) (Figure 36. a', b')
- On observe également une proportion notable de minéraux opaques (environ 5 %), très probablement de l'hématite, sous forme de petits grains en amas sombres sans transmission de lumière. (Figure 36. c')

Ordre de Diagenèse :

La roche résulte de la sédimentation alternée de matériaux carbonatés, siliceux et ferrugineux dans un environnement marin peu profond, avec des apports détritiques et chimiques. Les lits clairs correspondent à des phases de dépôt plus calmes, dominées par la silice et le carbonate, tandis que les lits sombres marquent des apports riches en fer et en minéraux mafiques. Lors de la diagenèse, il y a eu la recristallisation des carbonates (calcite), et formation d'oxydes de fer comme l'hématite. La texture granoblastique légèrement orientée suggère un métamorphisme très faible, sans déformation visible, correspondant à une diagenèse avancée.

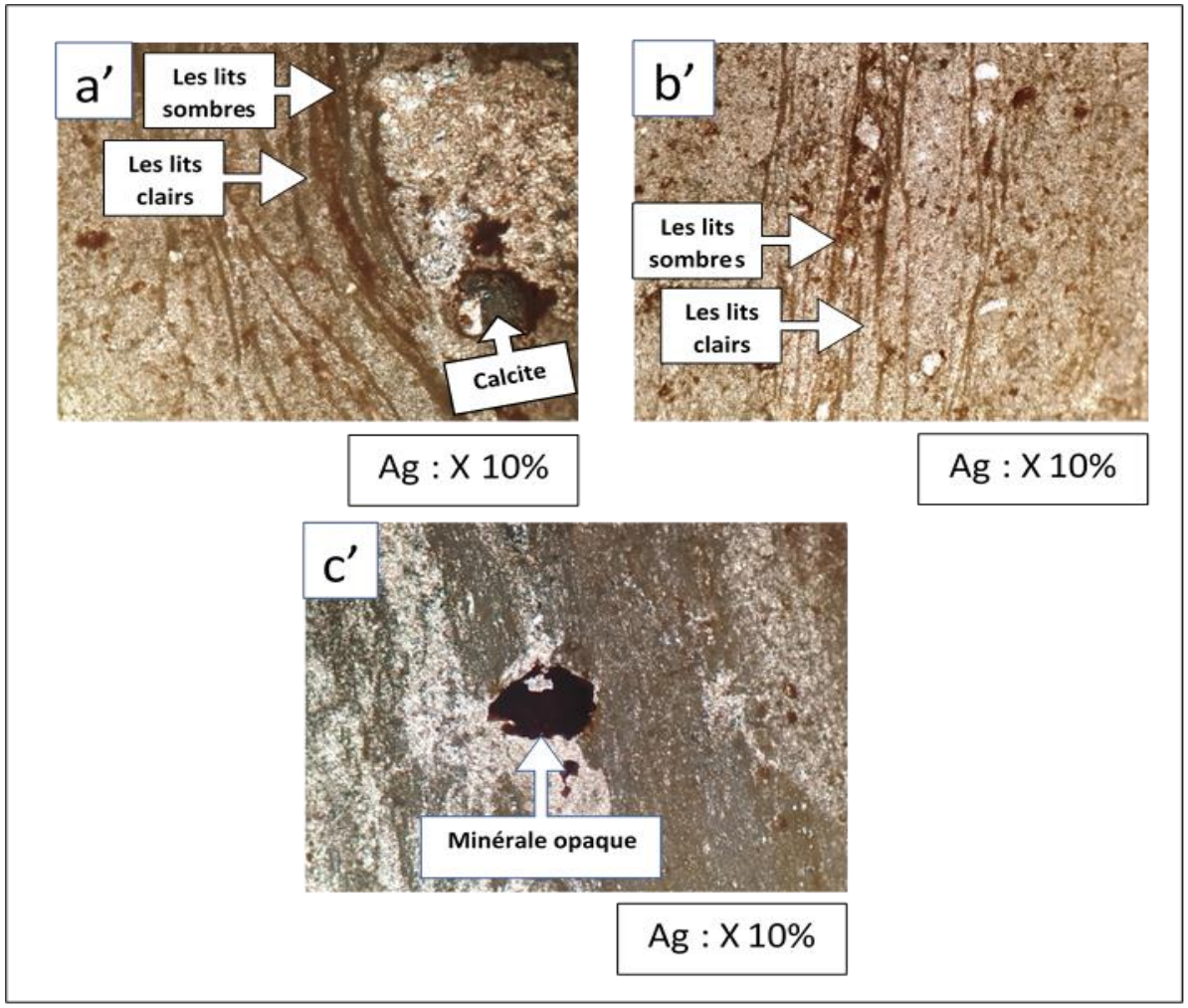


Figure 36 Planche 3 Calcschiste (Lame Mince B6)

3. Calcaire brun Échantillon B10 :

En lame mince (figure 37 a^, b^, c^, d^), la roche présente une texture granoblastique hétérogène, marquée par une matrice largement dominée par des taches bien définies d'oxydes de fer (Figure 37. d^), de forme irrégulière et de taille variable. La structure générale est massive, non orientée, avec des signes de recristallisation secondaire. On observe également une veine fine de calcite et des grains (ou petits cristaux) isolés dans certaines zones de la matrice ferrugineuse. (Figure 37. a^, c^)

- La matrice dominante est composée d'oxydes de fer (environ 60–65 %), se présentant non pas sous forme de poussière fine ou diffuse, mais en plages bien définies, étendues et irrégulières, de teinte brun-rouge foncé, opaques en lumière naturelle et faiblement transmissives sous lumière polarisée. Ces plages forment la structure principale de la roche. (Figure 37. d^)
- À l'intérieur de certaines zones oxydées, on observe de petits grains ou cristaux de calcite (environ 10–15 %), souvent bien visibles en lumière polarisée croisée. Ils sont de petite taille, à formes irrégulières, et à biréfringence typique (gris-blanc à irisées).

Leur présence intra-matricielle suggère une cristallisation postérieure ou contemporaine à la formation des oxydes.(Figure 37. c^)

- Une veine fine de calcite (environ 15 %) recoupe la matrice ferrugineuse, indiquant une circulation tardive de fluides carbonatés. (Figure 37. a^)
- De rares cristaux de silicates (~3_2 %) sont également observés, isolés dans la matrice, ou en bordure des zones oxydées. Ils sont de couleur vif, fortement colorés à formes irrégulière. (Figure 37. b^)

Ordre de Diagenèse :

La roche possède une structure massive granoblastique, sans orientation marquée. Les plages ferrugineuses étendues reflètent une précipitation significative d'oxydes de fer, probablement durant ou peu après la diagenèse initiale. Les grains de calcite intégrés dans ces zones oxydées traduisent soit une co-précipitation locale, soit une recristallisation secondaire au sein de micro-vides. Les veines de calcite témoignent d'une phase tardive de circulation de fluides, liée à une diagenèse avancée ou un début de transformation hydrothermale à très basse température.

4. Calcaire rouge Échantillon B13

La lame mince (figure 37 a°, b°, c°, d°) révèle une texture microcristalline, L'assemblage minéral principal inclut :

- La matrice est dominée par des produits d'oxydation du fer (environ 60 %), présents sous forme de masses brun-rouge à rouge foncé, à contours irréguliers, occupant les interstices ou remplaçant partiellement les carbonates. Ces oxydes se développent selon une morphologie sinueuse, évoquant un remplacement progressif plutôt qu'un simple remplissage. (Figure 37. b°)
- Hématite (15 %), L'hématite se présente sous forme aciculaires parfois en faisceaux rappelant des cils ou des aiguilles divergentes. Ils se présentent en amas dispersés. (Figure 37. c°)
- Calcite (~20 %), souvent sous forme de cristaux xénomorphes, parfois fracturés et traversés par des veines d'oxydes de fer. (Figure 37. a°)
- Sidérite (localement présente ~5%), probablement reconnaissable par des teintes brun clair à brun orangé, avec formes subautomorphes et légère biréfringence en LPA. Elle se retrouve dans certaines zones de transition entre la calcite et les oxydes de fer, ce qui corrobore son remplacement progressif au cours de la diagenèse. (Figure 37. d°)

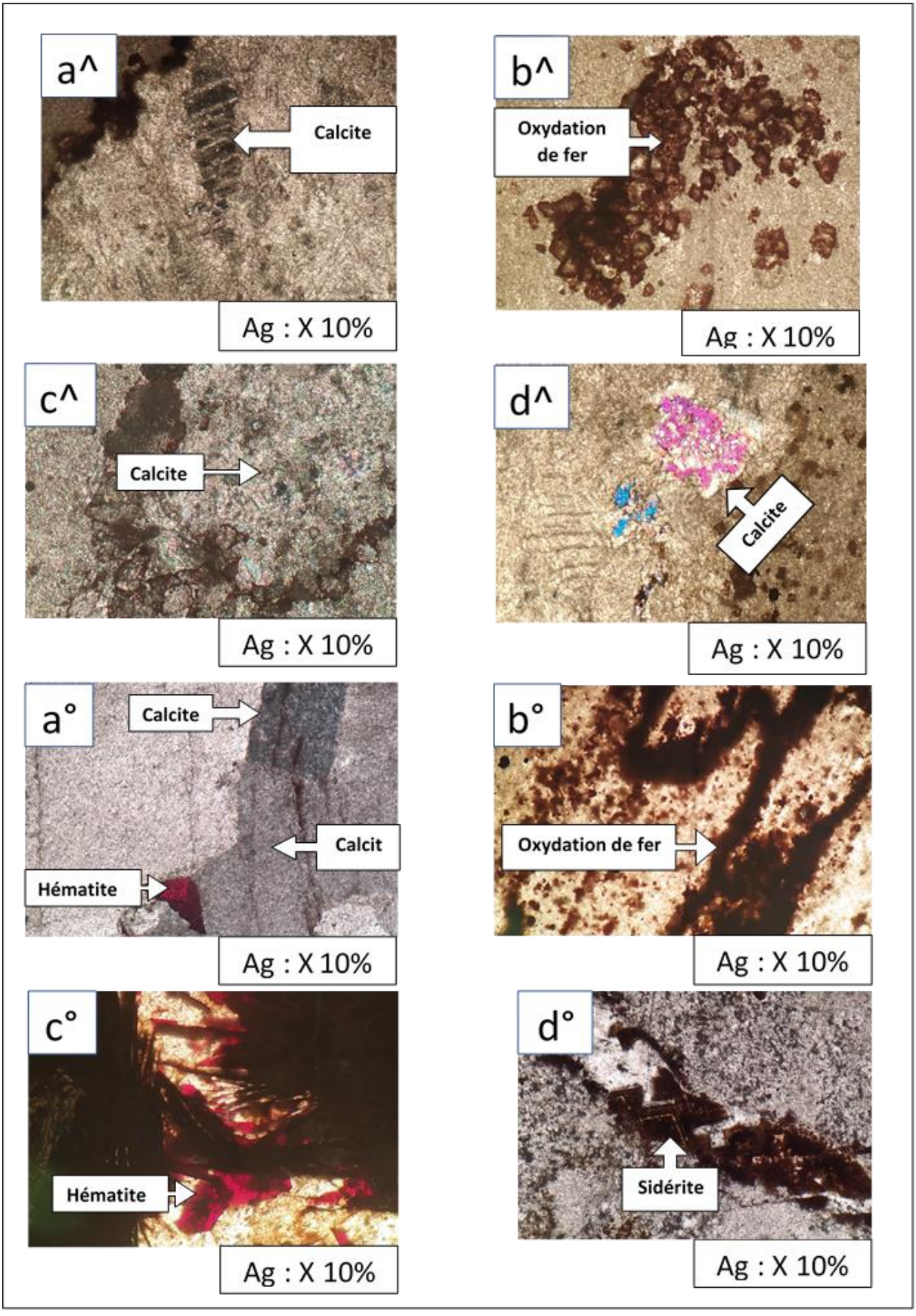


Figure 37 : Planche 4 Calcaire brun et calcaire rouge, Lame Mince B10 (a^, b^, c^, d^) et B13 (a°, b°, c°, d°)

III. La Porosité :

Il n y'a pas de porosité visible dans les lames minces étudiées, cependant, il existe une porosité secondaire résultante des phénomènes diagénétique de dissolution et de fracturation qui est majoritairement remplie de cristaux calcites. Cette porosité est généralement observée dans les zones affectées par des oxydes de fer.

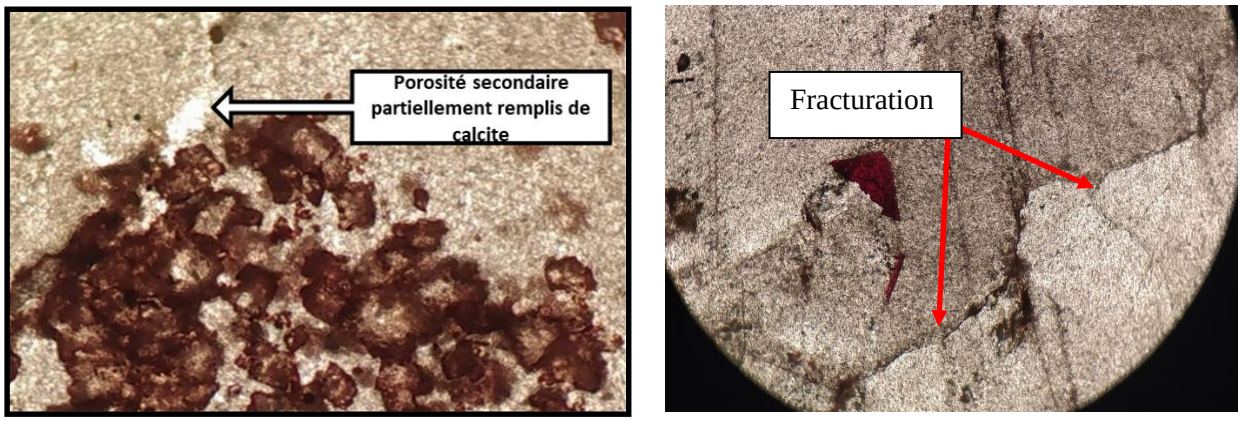


Figure 38 Porosité secondaire par dissolution et fracturation remplie de calcite

IV. Interprétation pétrographique :

1. Etude Macroscopique

Les calcaires (B1 à B4) présentent une texture microcristalline homogène, compacte, avec quelques veines blanches de calcite à texture sparitique, signes d'une circulation de fluides post-dépôt.

Leur structure est massive, sans litage visible, avec une cassure subconchoïdale nette, indiquant une bonne cohésion interne.

Les calcaires à hématite (B13) et dolomitisé (B6) montrent des zones brunâtres ou rubanées, dues probablement à la présence d'oxydes de fer (hématite) ou de phénomènes diagénétiques avancés.

2. Etude Microscopique (lames minces)

Minéral principal : Calcite, souvent bien cristallisée (sparite), dominante dans tous les échantillons.

a. Textures :

- Les échantillons B1 et B2 présentent une texture micritique à grains très fins témoignant probablement d'un dépôt calme ou milieu peu énergétique.
- Les échantillons B3 et B4 présentent une texture Sparitique signe de recristallisation secondaire.
- L'échantillon B6 montre une texture granoblastique rubanée témoignant d'un début de métamorphisme probablement en phase d'anchimétamorphisme.

b. Minéraux accessoires :

Les lames minces ont permis d'observer des minéraux accessoires tels que :

Les oxydes de fer (hématite) – grains opaques sombres (3–5 %) observés dans les zones brunâtres ou lenticulaires.

Dolomite, quartz, biotite et chlorite dans les échantillons plus évolués (B6, B13).

c. Porosité : la porosité secondaire visible localement, majoritairement remplie par des cristaux de calcite, signe de processus de dissolution et recristallisation post-diagénétique.

d. Interprétation Diagénétique et Géologique

Milieu de dépôt et probablement marin peu profond, calme, avec alternance de phases carbonatées, siliceuses et ferrugineuses.

V. Conclusion pétrographique

L'analyse pétrographique révèle que les calcaires marmorisés de Gdyel présentent une forte hétérogénéité, une faible porosité, et une structure bien cristallisée, favorables à leur utilisation comme matériaux de construction. Les observations microscopiques confortent les résultats géotechniques : faible altération.

L'hétérogénéité locale observée (zones à oxydes de fer ou dolomites) appelle toutefois à une caractérisation régulière lors de l'exploitation afin d'éviter les variations de qualité.

CHAPITRE IV ETUDE GÈOTECHNIQUE

Introduction :

La variabilité de la composition et de la structure des calcaires peut entraîner des défis significatifs lors de la conception et de la réalisation des projets de construction. Cette étude géotechnique vise à évaluer les propriétés physiques et mécaniques et chimiques des calcaires de la carrière de Gdyel COSIDER Unité C11 Oran.

Les essais géotechniques se sont effectués sur les granulats fabriqués à partir de ces calcaires, à travers une série d'essais normalisés, on va déterminer les caractéristiques clés de ces calcaires, notamment leur résistance mécanique, leur porosité et leur comportement face à l'eau qui sont des indicateurs fondamentaux de la qualité des granulats.

Les résultats de cette étude permettront de mieux comprendre les potentialités et les limites de ces calcaires et de fournir des recommandations pour leur utilisation optimale dans les projets de construction Comme présenté dans le tableau ci-dessous.

II. Les Essais chimiques :

1. Essai de sulfates :

L'essai de sulfates sur les calcaires est un Essais chimiques important pour déterminer la teneur en sulfates dans le sol, ce qui peut avoir des implications sur la durabilité et la stabilité des structures en contact avec le sol.

❖ Le but de l'essai :

Savoir l'agressivité du sol (Faiblement agressive\ moyenne agressive\ fortement agressive) en notant que la méthode est la même quel que soit le type de sol.

❖ Mode opératoire

Le mode opératoire consiste à peser 1 g d'échantillon, puis à le disperser dans 20 mL d'eau distillée. On ajoute ensuite 5 mL d'acide chlorhydrique (HCl) en agitant, puis on chauffe le mélange pendant 15 minutes. Après une première filtration pour éliminer les résidus solides, le filtrat est porté à ébullition. On y ajoute 15 mL de $BaCl_2$ à 12 %, ce qui provoque la formation d'un précipité blanc de $BaSO_4$, indiquant la présence de sulfates. Une deuxième filtration est effectuée, suivie de lavages à l'eau distillée. Le précipité est ensuite calciné à 700 °C pendant 30 minutes dans un creuset pesé (P_1), puis repesé après refroidissement (P_2) pour déterminer la masse de sulfates (Figure 39).



Figure 39 Illustration de L'essai de sulfates

Expression des résultats : (voir Annexe 2)

- **Résultats d'essai :**

Les calcaires de Gdyel COSIDER Unité C11 Oran, Après filtration et ajout du $BaCl_2$, aucune précipitation n'a été observée. Cela signifie que l'échantillon **ne contient probablement pas d'ions sulfates**, ou qu'ils sont présents en très faible concentration

2. **Essai de carbonates :**

L'essai carbonate est un essai chimique qui permet de déterminer la teneur en carbonate de calcium ($CaCO_3$) d'un matériau, en mesurant le gaz carbonique dégagé lors de sa réaction avec un acide.

- **Le but de l'essai :** Le but de l'essai carbonate est d'évaluer la pureté du matériau en quantifiant sa teneur en $CaCO_3$, afin de juger de son aptitude à des usages comme la production de chaux, de ciment ou sa stabilité chimique en construction.

❖ **Mode opératoire :**

Une masse inférieure à 50 g de l'échantillon est d'abord broyée puis tamisée à 0,2 mm. La fraction fine obtenue (tamisât) est utilisée pour prélever une masse m_1 (ici 0,5 g), introduite dans une fiole du calcimètre. Un volume de 10 mL d'acide chlorhydrique à 10 % est ensuite ajouté à l'aide d'un tube, sans contact immédiat avec l'échantillon. Le système est fermé et équilibré à pression nulle, puis l'acide est versé sur l'échantillon. La réaction libère du dioxyde de carbone (CO_2), dont le volume V_1 (ici 97,5 cm^3) est mesuré à l'aide du Calcimètre. La teneur en carbonate de calcium est ensuite calculée sur la base du volume de gaz dégagé, selon la réaction : **CaCO3 + 2HCl → CaCl2 + CO2 + H2O**. (Figure 40).

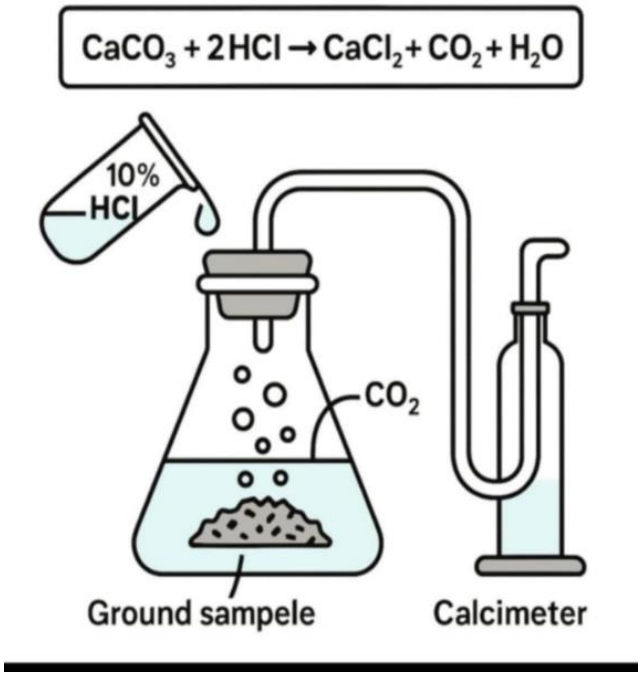


Figure 40. Illustration de L'essai de carbonates

Expression des résultats (voir Annexe 2)

❖ **Résultats d'essai :** Les résultats de l'essai de carbonate pour les calcaires de Les calcaires de Tazdout sont les suivants :

Masse de l'échantillon (m1)	Volume de gaz dégagé (V1)	Masse de CaCO3 calculée	Teneur en CaCO3
0,5 g	97,5 cm^3	0,44 g	88,69 %

Tableau 4 résultats de l'essai de carbonate pour les calcaires de Les calcaires de Tazdout

Ces résultats montrent que les calcaires étudiés ont **une teneur élevée en carbonate de calcium**, ce qui est cohérent avec leur nature calcaire. Cette teneur élevée en CaCO3 peut influencer les propriétés mécaniques et chimiques des calcaires, notamment leur résistance à l'altération chimique et leur comportement sous contrainte.

3. Essai du bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène (EBM) permet de mesurer la quantité d'argiles actives présentes dans un sol ou un granulat. Il repose sur la capacité de ces particules fines à adsorber le bleu de méthylène, Il est principalement utilisé pour caractériser la propreté des sables ou granulats fins et pour détecter la présence d'argiles gonflantes ou actives, souvent nuisibles aux propriétés mécaniques des matériaux de construction.

❖ But de l'essai

L'objectif de l'essai est de déterminer la valeur de bleu de méthylène (VBM) exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbé par 100 g de matière sèche. Cette valeur permet d'évaluer la teneur en fines argileuses actives du matériau testé.

❖ Mode opératoire

Consiste à prélever 200 g de matière sèche (0/3 mm) et à la disperser dans 250 mL d'eau distillée dans un bécher, en agitant pendant 15 minutes pour bien libérer les particules fines. Ensuite, on ajoute le bleu de méthylène par doses successives de 0,5 mL, avec agitation de 30 secondes après chaque ajout. Après chaque dose, une goutte de la suspension est déposée sur un papier filtre. Le test se termine à l'apparition d'une auréole bleu clair persistante, signe que les argiles sont saturées en colorant. Le volume total V de bleu de méthylène utilisé est alors noté, et la valeur au bleu de méthylène (VBM) est calculée selon la formule : VBM = (C × V / m) × 100, exprimée en g/100g, où :

C = Concentration de la solution de bleu de méthylène

V= Volume total de solution utilisée jusqu'au halo (point d'arrêt)

m= Masse sèche de l'échantillon de sol utilisé (Figure 41)

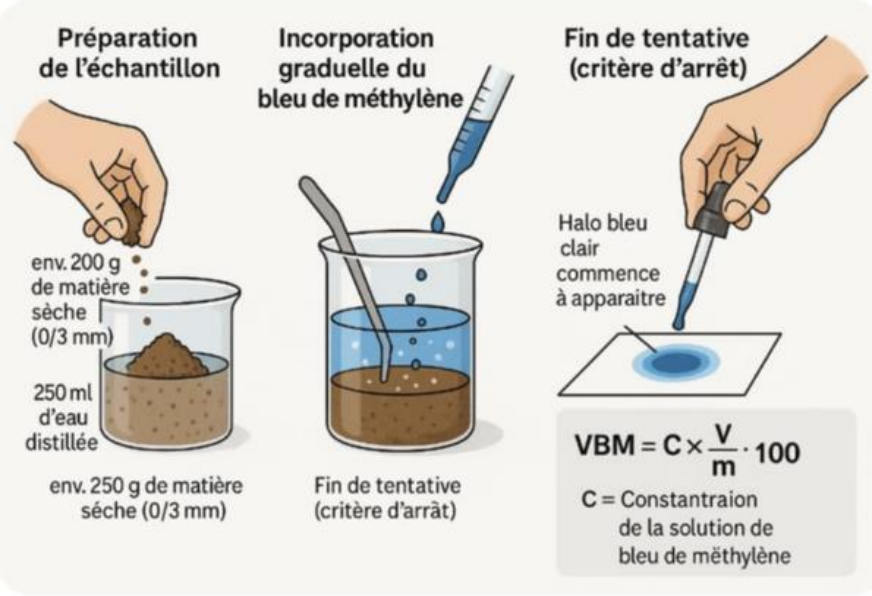


Figure 41. Illustration de L'essai ddu bleu de méthylène

Expressions des résultats (voir Annexe 2)

- **Résultat d'essai**

Les calcaires de Tazdout en une **valeur du bleu de méthylène est de 0.72 g/100g.**

Un VBM inférieur à 1 g/100g témoigne d'une faible présence d'argiles actives. On considère comme étant moyen une valeur se situant entre 1 et 2 g pour 100g. Un taux supérieur à 2 g/100g indique une présence notable d'argiles expansives ou actives.

III. Les Essais mécaniques :

1. Essai de Los Angeles

L'essai de Los Angeles est un Essais mécaniques qui consiste à soumettre un échantillon de granulats à des chocs et frottements répétés dans un tambour rotatif équipé de boulets en acier. Ce procédé simule l'usure mécanique que peuvent subir les granulats lors de leur utilisation dans les infrastructures.

- **Le but de l'essai :**

Déterminer la résistance à l'usure et à l'abrasion des granulats en calculant la perte en masse après l'essai pour obtenir l'indice Los Angeles, afin d'évaluer leur aptitude à être utilisés dans les travaux de construction selon leur durabilité.

❖ **Mode opératoire :**

L'essai est réalisé sur un échantillon granulaire de 10 à 14 mm, préparé à partir d'une fraction 8/15 mm tamisée pour respecter une courbe granulométrique spécifique. Chaque fraction est lavée, séchée à 110 ± 5 °C, puis mélangée pour obtenir 5 000 g de matériau conforme. Des boulets en acier (7 à 12, selon la granulométrie) (voir ANNEXE 3) sont ajoutés à l'échantillon dans le tambour de la machine Los Angeles. Le tambour est mis en rotation 500 fois à 33 tours/minute.

Après l'essai, le contenu est tamisé à 1,6 mm. Le refus est lavé, séché et pesé. Cette masse finale sert à calculer l'indice Los Angeles, qui mesure la résistance à l'usure des granulats (Figure 42).

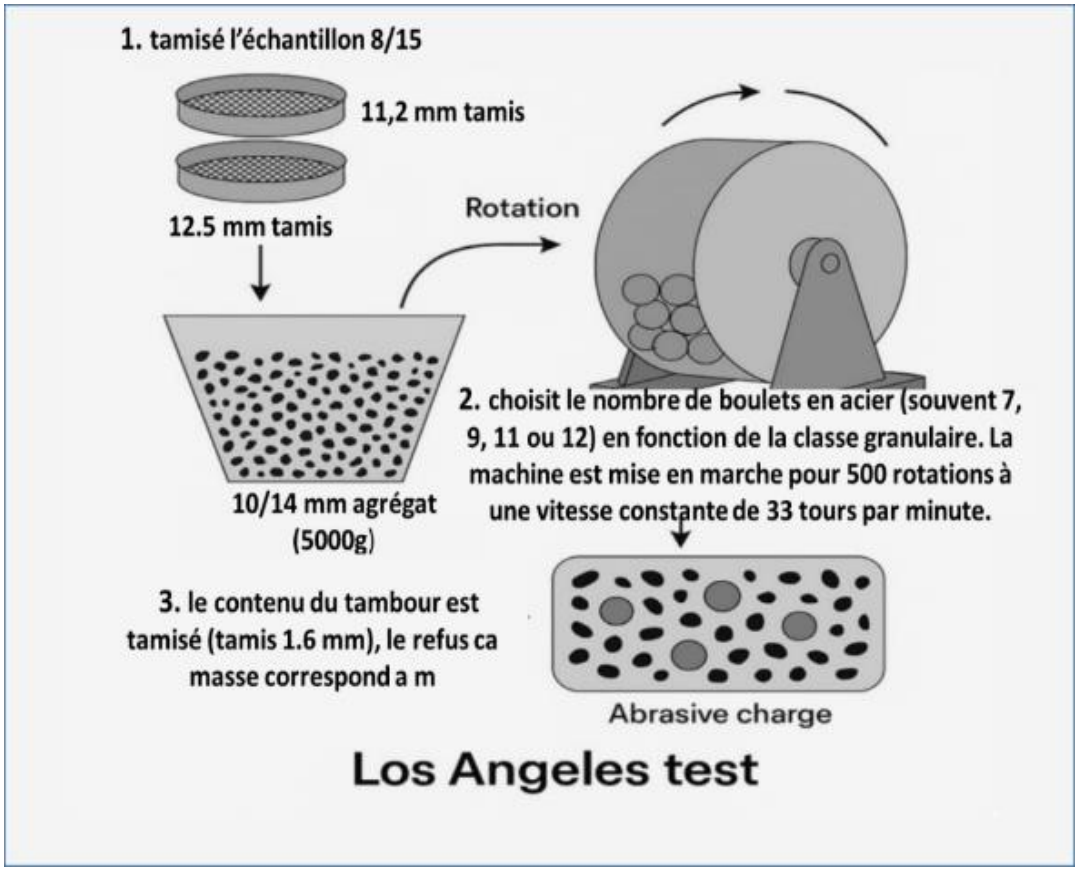


Figure 42. Illustration de l'essai de Los-Angeles

Expression des résultats (voir Annexe 2)

❖ **Résultats d'essai :**

Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour la classe granulaire 8/15, en indiquant la masse avant et après essai, ainsi que l'indice Los Angeles (tableau 5) :

Classe granulaire (mm)	Masse avant essai (g)	Masse après essai (g)	Indice LA (%)
8/15	5000	3597,9	28 %

Tableau 5 les résultats obtenus pour la classe granulaire 8/15

La valeur de Los Anglos est de 28 % donc le matériau analysé est formé de granulats résistants à l'usure et à la fragmentation il convient donc pour le béton de qualité enrobés et ouvrages soumis à contraintes modérées (voir Annexe 3).

2. Essai Micro-Deval

L'essai Micro-Deval est un Essais mécaniques qui permet de déterminer la résistance à l'usure par frottement humide des granulats. Il reproduit l'effet de l'abrasion des particules entre elles dans des conditions simulant le transport hydraulique ou la mise en œuvre des matériaux dans des environnements humides.

❖ But de l'essai

Évaluer la résistance à l'usure et à la fragmentation des granulats sous l'effet combiné du frottement, des chocs et de la présence d'eau. Le but est de déterminer l'indice de Micro-Deval (MDE), indicateur de la qualité mécanique des granulats.

❖ Mode opératoire

L'essai consiste à sélectionner la fraction granulométrique souhaitée (10/14 mm, 6,3/10 mm ou 4/6,3 mm) par tamisage, puis à sécher les granulats à (105 ± 5) °C jusqu'à stabilisation de la masse. On prélève ensuite 5000 g de granulats secs (m_0), auxquels on ajoute 5000 g de billes en acier et environ 2 litres d'eau dans le tambour d'essai. Ce dernier est fermé et mis en rotation à 100 tours par minute pendant 12 000 tours. À la fin, on récupère le contenu, on sépare les granulats des billes, puis on lave et sèche les granulats à (105 ± 5) °C. Enfin, on tamise l'échantillon à 1,6 mm pour isoler la fraction grossière, et on mesure la masse de refus (m_1) (Figure 43).

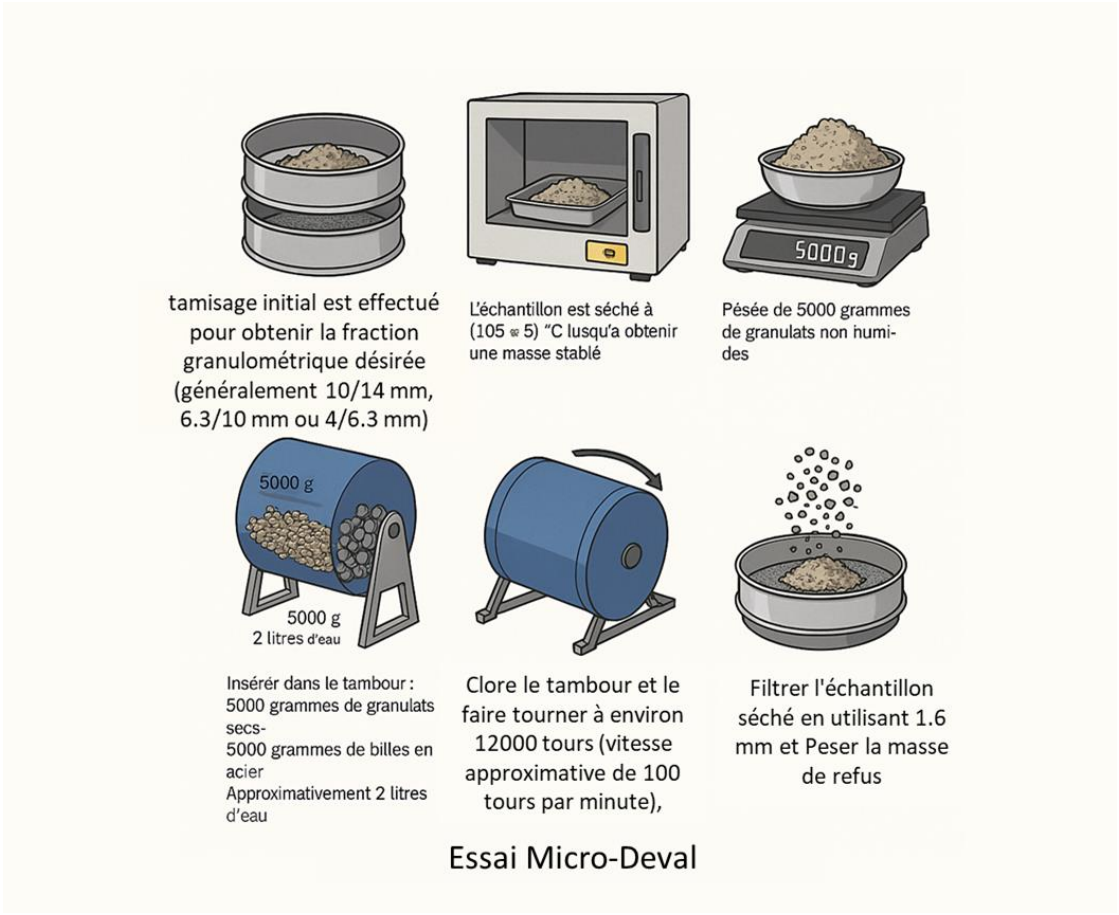


Figure 43. Illustration de l'essai Micro-Deval

Expression des résultats (voir ANNEXE 2)

- **Résultat de l'essai**

Dans le cadre de l'essai de fragmentation micro-Deval réalisé sur les échantillons de calcaire de Tazdout sont les suivants, Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour la classe granulaire 8/15, en indiquant la masse avant et après essai, et la valeur MDE est basse, plus la résistance à l'abrasion est élevée (tableau 6) :

Classe granulaire (mm)	M0	M1	la valeur MDE
8/15	5000	4050	19 %

Tableau 6 les résultats de fragmentation micro-Deval obtenus pour la classe granulaire 8/15

La valeur MDE est de 19% La nature et la qualité de granulats de la carrière de Tazdout et résistant adapté au Béton standard, couches de base ou fondations routières (voir Annexe 3).

3. Essai d’écrasement sur carotte de roche (compression uni-axiale simple)

L’essai d’écrasement sur carotte de roche, ou essai de compression uniaxiale, est un Essais mécaniques qui permet de déterminer la résistance à la compression simple d’un échantillon cylindrique de roche. La carotte est soumise à une charge verticale croissante jusqu’à rupture.

❖ **But de l’essai**

Évaluer la **résistance mécanique** de la roche calcaire pour déterminer sa capacité à supporter des contraintes dans le cadre d’usages géotechniques ou de construction (fondations, soutènements, revêtements).

❖ **Mode opératoire :** (Figure 44)

- Prélever une carotte cylindrique de roche dont la longueur est le double du diamètre (rapport hauteur/diamètre = 2).
- Vérifier que les deux faces de la carotte sont planes et parallèles, sans fissures.
- Sécher la carotte à l’air ou à l’étuve si nécessaire.
- Mesurer : La hauteur (H) de la carotte (en mm) : Le diamètre (D) de la carotte (en mm)

  La surface de la base (A) avec la formule : $A = \pi \times (D/2)^2$
- Placer la carotte verticalement entre les plateaux d’une presse hydraulique.
- Appliquer une charge verticale progressive jusqu’à la rupture.
- Noter la charge maximale F (en Newtons) atteinte.

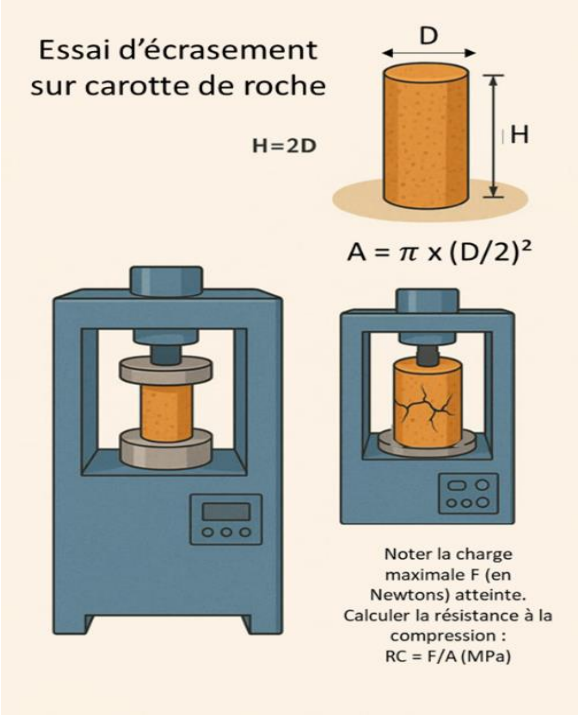


Figure 44. Illustration d’essai d’écrasement sur carotte de roche

Expression des résultats (voir ANNEXE 2)

- **Résultat d'essai :** Dans le cadre de l'essai de l'écrasement sur carotte de roche calcaire de Tazdout le résultat est le suivant (tableau 7) :

Désignation des essais	Fraction testé	Résultat obtenus par COSIDER	Résultats obtenus par LTPO :
Résistance à la compression simple (Kg/cm)	Ech de roches prélevées (5* 5 *5) cm^3	Ech N1= 72.6MPa Ech N2 = 60.6 MPa Ech N 3 = 52.5 MPa	Ech N1= 43.93 MPa Ech N2= 41.19 MPa Ech N3=43.15 MPa

Tableau 7 Résultat de l'essai de l'écrasement sur carotte de roche calcaire de Tazdout

Les valeurs obtenues, comprises entre 41,19 et 72,6 MPa selon les laboratoires COSIDER et LTPO, indiquent une résistance mécanique allant de modérée à très bonne, témoignant de la qualité générale du calcaire massif.

4. L'essai de cisaillement

L'essai de cisaillement direct est un essai mécanique réalisé en laboratoire pour déterminer la résistance au cisaillement d'un matériau (souvent sol, parfois roche altérée). Il consiste à soumettre un échantillon à une contrainte horizontale progressive sous une contrainte normale constante, jusqu'à glissement le long d'un plan de rupture prédéfini.

- **But de l'essai**

Déterminer les paramètres de résistance au cisaillement du matériau, à savoir :

- Cohésion (c)
- Angle de frottement interne (A)

Ces deux paramètres sont essentiels pour les études de stabilité des talus, fondations, ouvrages de soutènement, etc.

- **Mode opératoire** (Figure 45)

Placer l'échantillon dans une boîte de cisaillement, composée de deux demi-bottes pouvant coulisser l'une sur l'autre.

Appliquer une contrainte normale (N) constante ensuite appliquer une contrainte de cisaillement horizontale croissante à vitesse constante (T) (ex. 0,5 mm/min)

Enregistrer :

- La déformation horizontale (déplacement) (ΔI)
- La force de cisaillement (Δh) appliquée
- Arrêter l'essai à la rupture nette ou glissement stable de l'échantillon.
- Répéter l'essai pour plusieurs contraintes normales (ex. 50, 100, 200 kPa).
- Tracer la courbe (Δh) = f (ΔI) pour déterminer : Cohésion (c)Angle de frottement interne (A)

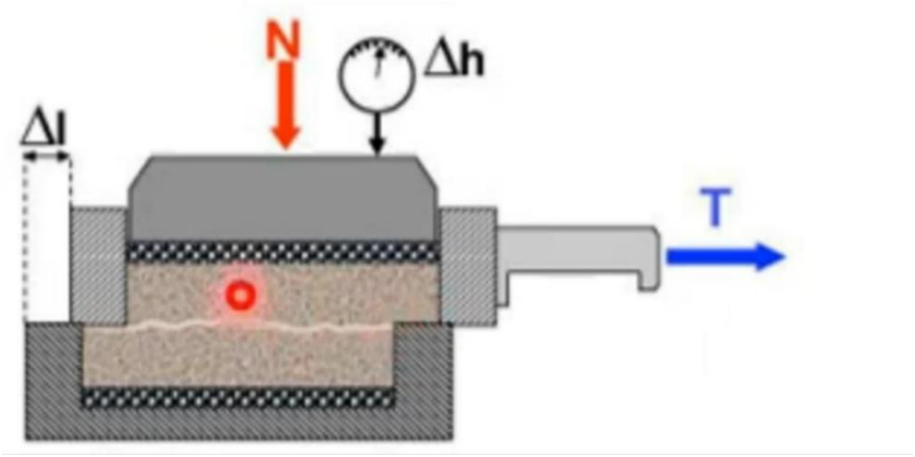


Figure 45.Illustration de l'essai de cisaillement

❖ **Résultats de l'essai :**

Les résultats de cet essai n'ont pas été communiqués par le laboratoire LTPO.

IV. Les Essais physique :

1. L'essai de propreté superficielle

L'essai de propreté superficielle est un essai physique normalisé permettant d'évaluer évalue la quantité de fines (argiles, limons, poussières) présentes à la surface des granulats, car elles peuvent nuire à l'adhérence avec le liant et à la qualité des matériaux (bétons, enrobés).

❖ **But de l'essai**

Le but de l'essai de propreté superficielle est de Mesurer la perte de masse après lavage pour déterminer la proportion de particules fines adhérentes et calculer le taux de propreté superficielle (p).

❖ **Mode opératoire**

L'échantillon est d'abord tamisé à 2 mm, et la fraction inférieure est utilisée pour constituer une masse M (entre 200D et 300D). Deux sous-échantillons sont prélevés : M1h pour déterminer la masse sèche et Mh pour le tamisage sous eau. M1h est séché à (105 ± 5) °C jusqu'à masse constante (M1s), ce qui permet de calculer la masse sèche équivalente de Mh :

Ms = (M1s / M1h) × Mh.

Ensuite, Mh est lavé à travers un tamis de 0,5 mm (ou 1,6 mm pour le basalte). Le refus est récupéré, séché, puis retamisé à sec pendant une minute. La masse du refus sec est notée m'. La masse des particules fines (< 0,5 mm) est obtenue par la différence :m = Ms - m'. (Figure 46)

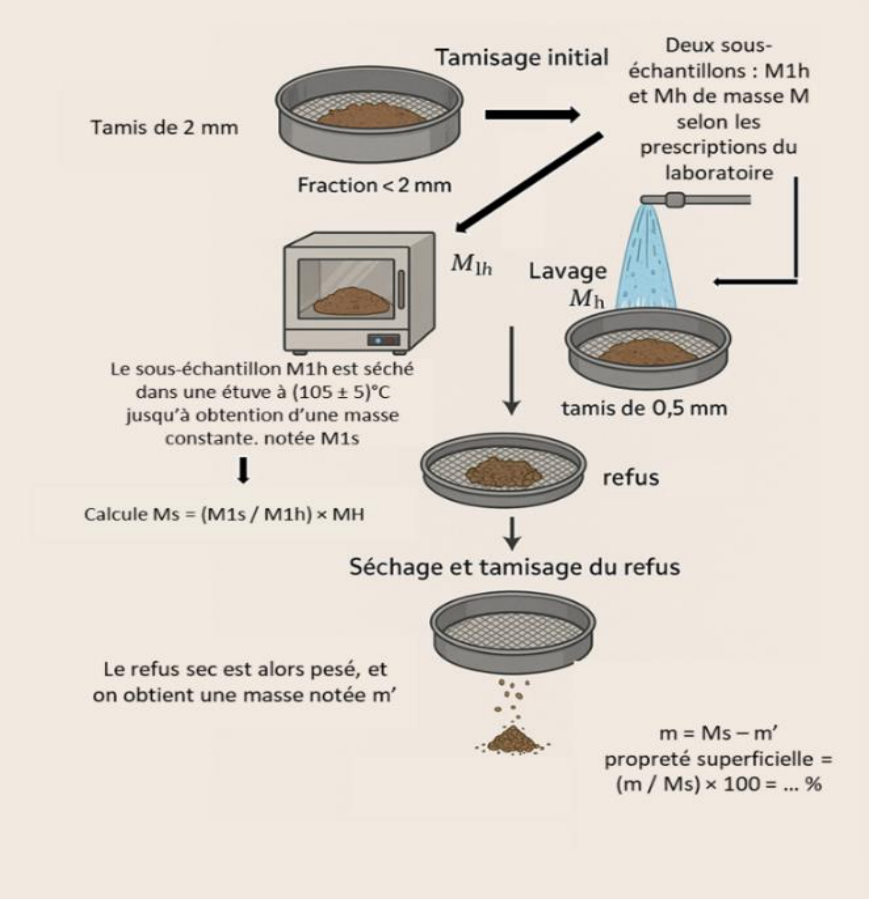


Figure 46 Illustration de l'essai de propreté superficielle

Expression des résultats (voir ANNEXE 2)

❖ **Résultats de l'essai :**

Dans le cadre de l'essai de propreté superficielle réalisé sur les échantillons de calcaire de Tazdout, Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus en indiquant la Classe granulaire les masses mesurées avant et après, ainsi que le pourcentage de propreté calculé. (Tableau 8)

Classe granulaire (mm)	M1h (g)	M1s (g)	Ms (g)	m′ (g)	m(g) = Ms - m′	p (%) = (m / Ms) 100
3/8	100	998	998	986.3	11.7	1.17
8/15	1500	1498	1498	1496,7	1,3	0,087
15/25	3500	1500	1499.1	1486.1	13	0.86

Tableau 8-les résultats obtenus pour l'essai propreté superficielle

Une valeur de (p) inférieure à 1 % est généralement considérée comme très satisfaisante, tandis qu'un taux compris entre 1 % et 2 % peut rester acceptable selon les spécifications techniques du projet.

Au-delà de 2 %, on considère qu'il y a trop de fines superficielles, ce qui peut altérer l'adhérence avec les liants.

2. Essai d'équivalent de sable à 10 % de fines

L'essai d'équivalent de sable est un essai physico-chimique visant à évaluer la propreté d'un sol ou d'un granulat fin, en particulier la proportion de particules fines (argiles et limons) dans la fraction 0/3 mm, Le principe repose sur la décantation différentielle dans une solution floculante : les particules fines, en suspension, remontent dans une colonne graduée tandis que les grains de sable plus lourds se déposent au fond. On mesure alors la hauteur occupée par les particules fines par rapport à celle des particules sableuses décantées, ce qui donne l'équivalent de sable exprimé en pourcentage

❖ **But de l'essai**

Le principal objectif de cet essai est de déterminer la proportion relative de particules fines (principalement argileuses ou limoneuses) présentes dans un sol ou un granulat, lesquelles peuvent nuire à ses propriétés mécaniques notamment en réduisant l'adhérence, la compacité et la résistance à l'eau.

❖ **Mode opératoire :** L'échantillon (1 g) est dissous dans de l'eau distillée avec de l'acide chlorhydrique, puis chauffé pour favoriser la dissolution. Après une première

filtration pour éliminer les résidus solides, le filtrat est porté à ébullition et traité avec du chlorure de baryum ($BaCl_2$) pour précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum ($BaSO_4$). Une seconde filtration permet de récupérer ce précipité, qui est ensuite lavé, puis transféré dans un creuset pour séchage et pesée (Figure 47).

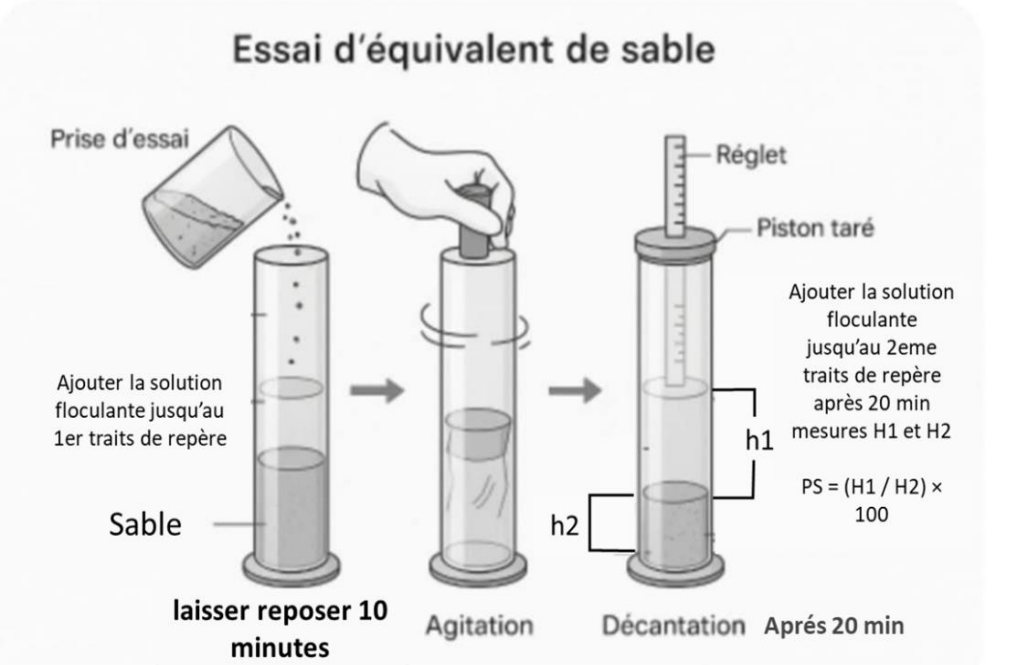


Figure 47- Illustration d'essai d'équivalent de sable à 10 % de fines

Expression des résultats (voir ANNEXE 2)

- **Résultats d'essai**

Dans le cadre de l'essai d'équivalent de sable à 10 % de fines réalisé sur les échantillons de fraction granulaire 0/3 mm prélevés au niveau du gisement de Tazdout, Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus On y indiquera notamment la hauteur des particules fines (H1), la hauteur totale (H2) ainsi que l'équivalent de sable (Ps) calculé pour chaque échantillon et La moyenne des deux valeurs obtenues a été retenue comme résultat final de l'essai. (Tableau 9)

Prise D´essai	H1 (cm)	H2 (cm)	Ps (%)
1	12.2	34.2	72.13
2	12.2	34.0	73.77

Tableau 9- les résultats Essai d'équivalent de sable à 10 % de fines

La moyenne des deux valeurs obtenues pour l'équivalent de sable (Ps) d'échantillon 1 et 2 et **73%.** Représente un sable propre à faible pourcentage des fins argileux convenant parfaitement pour le Béton de haute qualité (voir ANNEXE 4).

3. L'essai de granulométrie :

L'essai de granulométrie par tamisage est un essai physique qui permet de déterminer la répartition dimensionnelle (distribution granulométrique) des grains constituant un matériau granulaire (sable, gravier, concassé, etc.).

Il consiste à faire passer un échantillon sec à travers une série de tamis à mailles normalisées, classés par ordre décroissant de diamètre, afin d'identifier la quantité de matériau retenue sur chaque tamis.

Les résultats sont exprimés sous forme de pourcentages de matériau passant ou retenu, et représentés graphiquement sur une courbe granulométrique.

❖ But de l'essai

- Déterminer la taille des grains dans le granulat
- Vérifier sa conformité à une classe granulaire (ex. 4/10, 10/14 mm)
- Fournir des données pour la formulation des mélanges (béton, enrobé…)
- Classer le matériau (bien ou mal classé)
- Détecter d'éventuelles particules trop fines ou trop grosses

❖ Mode opératoire

L'échantillon est d'abord séché à (105 ± 5) °C jusqu'à masse constante, puis laissé refroidir à température ambiante avant d'être pesé (M). Il est ensuite lavé sur un tamis de 0,063 mm, et le refus est séché puis pesé (Ms). On sélectionne des tamis adaptés à la granulométrie attendue (ex. 20 à 0,5 mm), qu'on empile du plus grand au plus petit, avec une casserole en bas pour récupérer les éléments fins. L'échantillon est versé dans le tamis supérieur, couvercle en place, puis tamisé pendant au moins 10 minutes. Une fois le tamisage terminé, on pèse la quantité de matériau retenu sur chaque tamis (Ri). Enfin, on calcule le pourcentage de retenue sur chaque tamis par la formule : (Ri / M) × 100. (Figure 48).

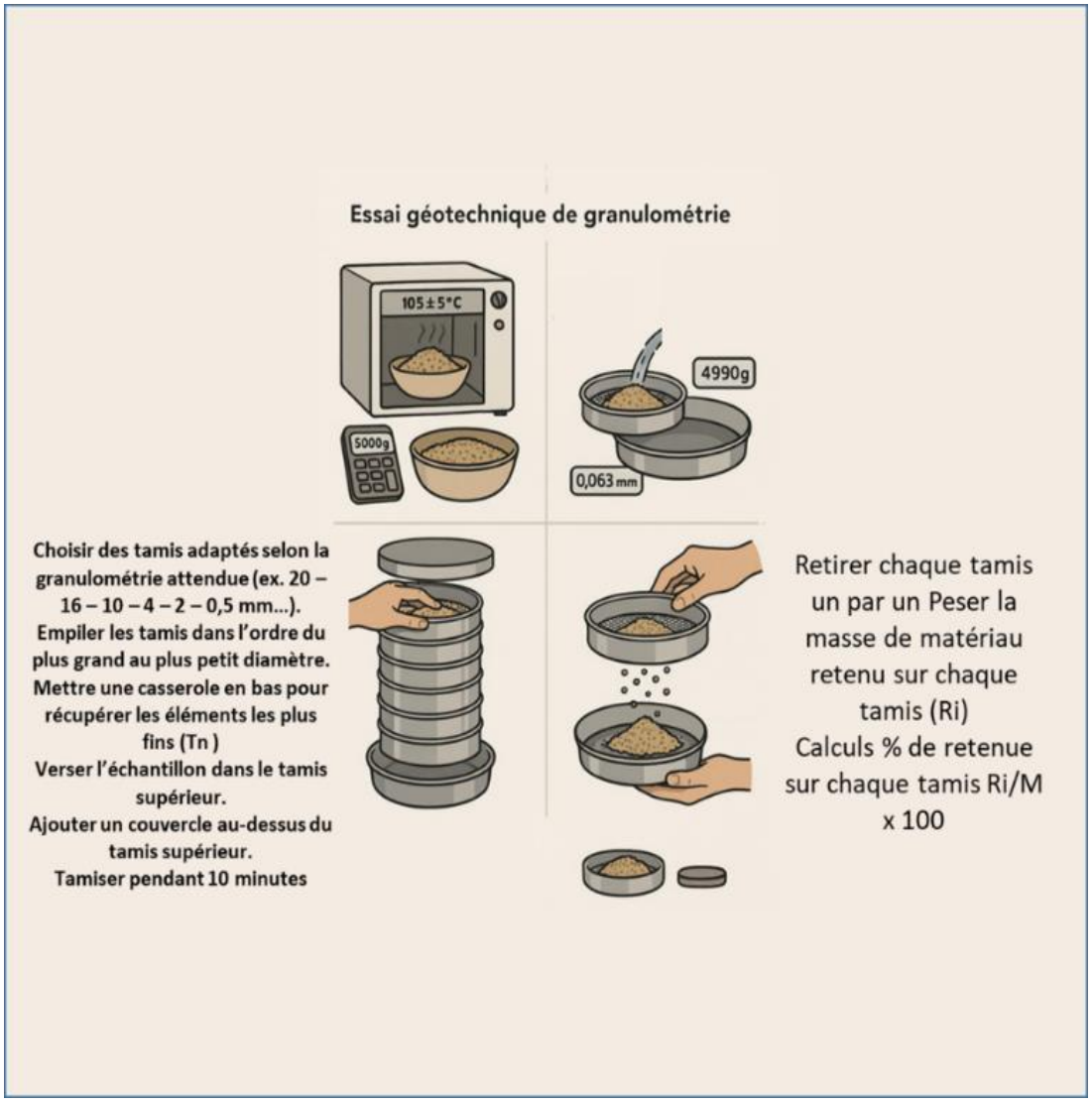


Figure 48.Illustration de la granulométrie

- **Résultats de l'essai**

Les résultats permettent de déterminer les masses de refus cumulés, les pourcentages de refus et de passants, et de tracer les courbes granulométriques correspondantes.

Les pertes de masse enregistrées lors des différents essais sont toutes inférieures à 2 %, ce qui témoigne du bon déroulement des manipulations en laboratoire (lavage, tamisage, séchage, pesée).

La courbe de granulométrie montre une distribution classique descendante (Figure 49).

100% de particules passent à travers le tamis de diamètre 5 mm. La majorité des particules ont une granulométrie fine, avec environ 75% passant en dessous de 2.5mm et moins de 10% des particules sont inférieurs à 0.063 mm (Voir Annexe 5).

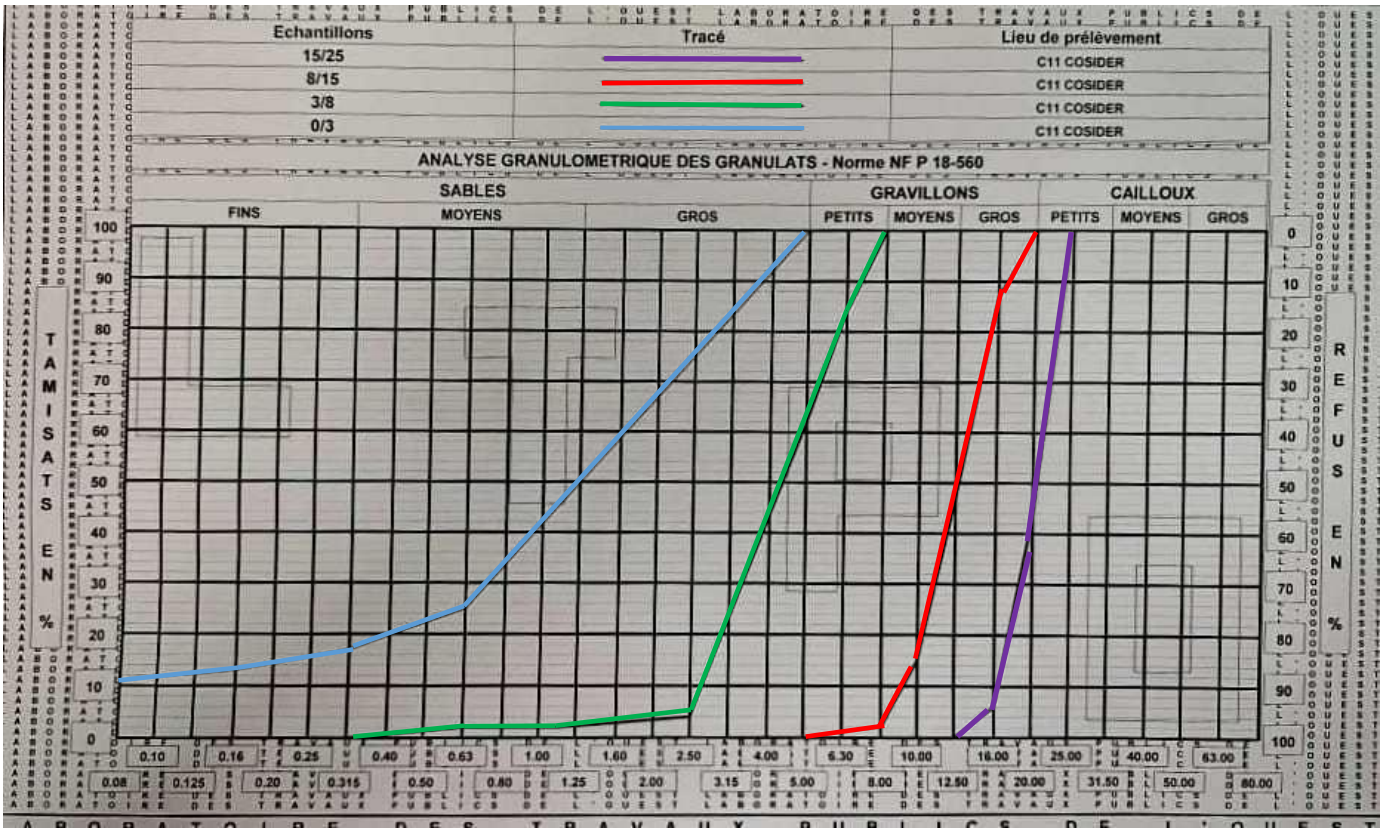


Figure 49- La courbe granulométrique des calcaires de Tazdout

4. L'essai de la masse volumique apparente :

L'essai de la masse volumique apparente est un essai physique, qui permet de déterminer la masse d'un matériau granulaire occupée par unité de volume, y compris les vides entre les grains. Cet essai ne mesure pas la masse volumique réelle des grains, mais celle de l'ensemble du matériau tel qu'il se présente en vrac.

❖ But de l'essai

L'objectif de cet essai est de déterminer la masse volumique apparente sèche des granulats afin de :

- Estimer la densité réelle du matériau en vrac,
- Calculer la quantité de granulat à transporter ou à utiliser dans un ouvrage,
- Ajuster les dosages dans les formulations de bétons, enrobés ou couches de chaussée,
- Contrôler la qualité ou l'uniformité d'un stock de matériaux.

❖ **Mode opératoire**

- Prélever un échantillon de la classe granulaire 0/3 de masse M tell que 200D < M <600D
- Séchage éventuel des granulats au four à (105 ± 5) °C jusqu'à masse constante
- Déterminer la capacité de récipient a utilisé en fonction de la granularité :

D max <4mm…..1L D max <31.5….10L

D max <16mm…..5L D max <31.5….20L

- Pesée du récipient a utilisé vide soit M1 sa masse
- Remplissage du récipient avec le granulat sans compactage (versement libre ou à l'aide d'une trémie).
- Nivellement à ras bord à l'aide de la règle métallique.
- Pesée du récipient plein et noter sa mase M2
- Calcul de la masse volumique apparente sèche :P app = M2 – M1/V en g/cm³ (Figure 50)

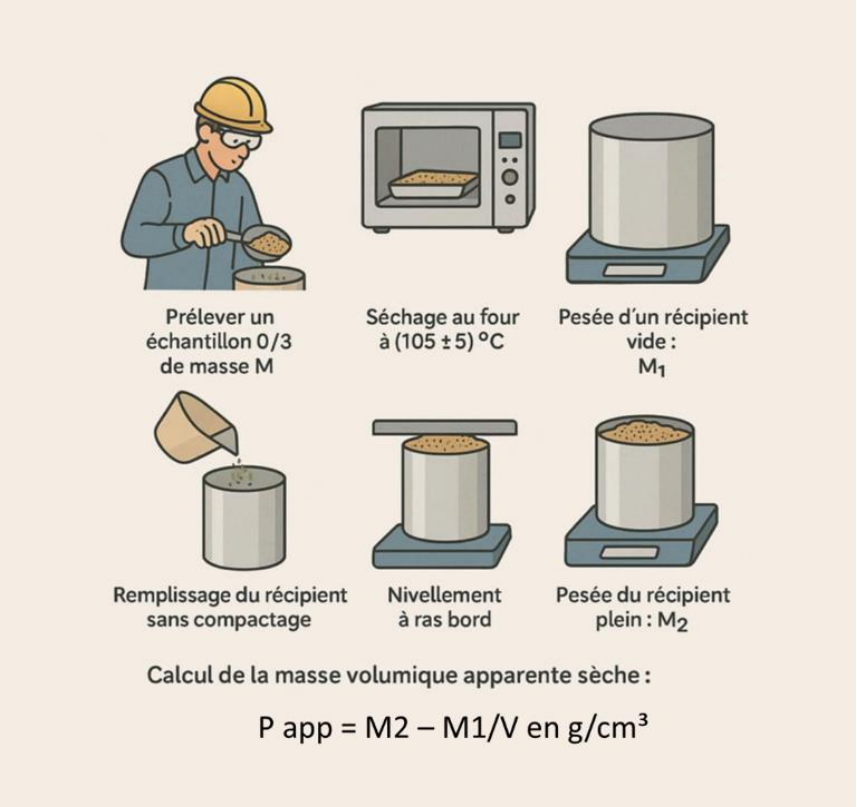


Figure 50- Appareillage de la masse volumique Apparente

❖ **Résultat d'essai**

Dans le cadre de l'essai de la masse volumique apparente réalisé sur les échantillons de fraction granulaire 0/3 mm prélevés au niveau du gisement de Gdyel (Cosider, unité C11, Oran), la masse volumique apparente obtenue est

$$P\ app = 1827\text{-}290.4/1 = \mathbf{1.54\ g/cm^3}$$

Cette valeur de granulats dense convient pour le béton de qualité enrobée. (Voir ANNEXE 4)

5. L'essai de la masse volumique absolue :

L'essai de la masse volumique absolue est un essai physique visant à déterminer la densité réelle des grains solides d'un granulat, sans prendre en compte les vides entre les particules. On utilise la méthode de Pycnométrie, qui repose sur la mesure du volume déplacé par les grains dans un liquide

❖ **But de l'essai**

L'objectif de cet essai est de :

- Déterminer la masse volumique réelle des grains
- Permettre des calculs de porosité ou d'absorption
- Affiner les formulations de bétons et enrobés
- Évaluer la compacité d'un matériau granulaire

❖ **Mode opératoire :**

- Prélever un échantillon de la classe granulaire 0/3 de masse M tell que 200D < M <600D
- Peser le pycnomètre au gramme et déterminer sa masse (P1)
- Remplir le pycnomètre d'eau jusqu' au repère et déterminer sa masse (P2)
- Mettre l'échantillon dans le pycnomètre vide et déterminer sa masse (P3)
- Remplir le pycnomètre contenant le granulat avec de l'eau jusqu'au repère et peser l'ensemble soit (P4) (Figure 51).

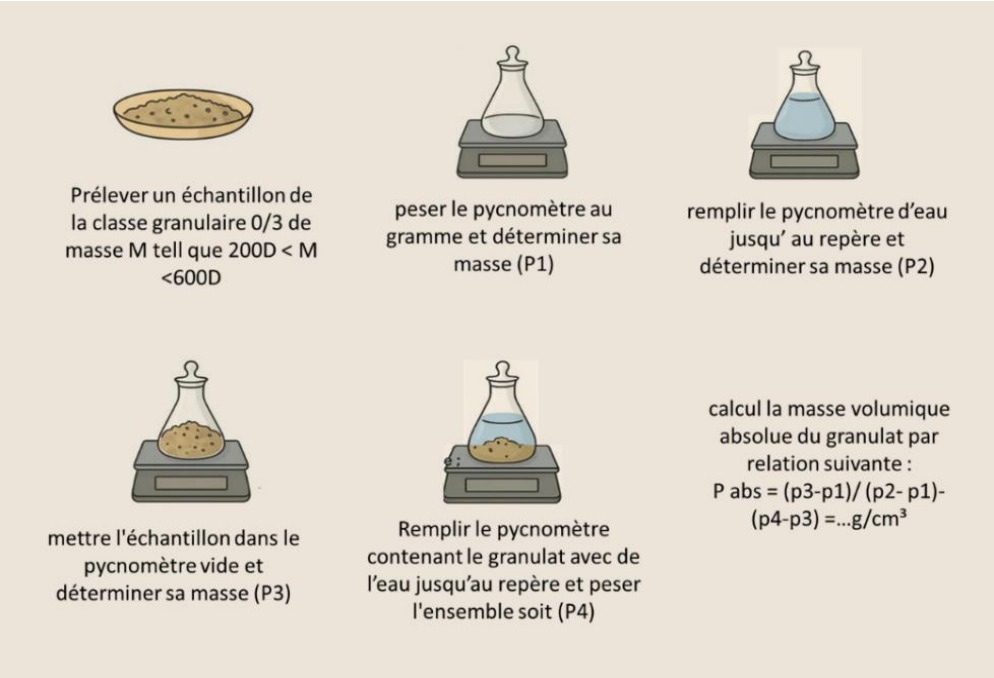


Figure 51- Illustration de l'appareillage de la Masse volumique absolue

Expression de résultats (voir ANNEXE 2)

- **Résultat d'essai**

Dans le cadre de l'essai de la masse volumique absolue réalisé sur la fraction granulaire 0/3 mm prélevée au niveau du gisement Tazdout, la méthode du pycnomètre a été appliquée. Les mesures obtenues ont permis de calculer la masse volumique absolue selon la relation suivante :

P abs = (p3-p1)/ (p2- p1)-(p4-p3) = 2.623g/cm³

P1=774.5 P3=1274.5

P2=1773.7 P4=2083.1

La masse volumique absolue est de **2.63 g/cm³** donc la nature de granulats courant utilisation de béton de haute performance (voir Annexe 4)

6. Essai de la Porosité

En utilisant la valeur de la masse volumique apparente et la masse volumique réelle, calculées dans les précédents essais la porosité des calcaires est calculée à partir de l'équation suivante :

$$n = (1 - \frac{\gamma d}{\rho s}) * 100$$

n=Porosité exprimé en %

γd = Masse volumique apparente

ρs = Masse volumique réelle

La valeur moyenne de la porosité des calcaires marmorisés de l'Unité C 11 est de **0.44%** (Tableau 10)

Essais	Masse volumique Apparente	Masse volumique Réelle	Masse volumique Absolus	Coefficient d'absorption	Porosité
Sable 0/3	1.65	2.66	2.68	0.29	0.38
Gravier 3/8	1.40	2.65	2.72	0.90	0.47
Gravier 8/15	1.43	2.66	2.71	0.72	0.46
Gravier 15/25	1.41	2.66	2.71	0.71	0.47

Tableau 10- Porosité des granulats et paramètres associés

V. Résultats et interprétations de l'étude Géotechnique :

Le tableau suivant récapitule les résultats obtenus de l'étude géotechniques des calcaires marmorisés de l'unité C11 :

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenus		Valeur spécifiées (cps)	Domaine d'utilisation
Analyse granulométrique	15/25 8/15 3/8 0/3	Classe granulaire 16/25 Classe granulaire 10/16 Classe granulaire 03/6.3 Classe granulaire 0/3		Agrégat d/D avec D>1.5 d 1<refus à D<10% 1<passant à d<10% Refus à 1.25=0% Passant à 0.63<3% 33%<Tamisât à(d+D)/2<66	-Les chaussées pour la Fraction (15/25) -Béton hydraulique pour la Fraction (0/3, 3/8) -Les chemins de fer pour la Fraction (8/15) -Domaine maritime pour la Fraction (15/25)
Essais de propreté	15/25 8/15 3/8	P=0.89% P=0.10% P=1.17%		P<2%	
Equivalent de sable	0/3	ES=73% % Fines=9%		ES>80%	
Poids spécifique absolu	15/25 8/15 3/8 0/3	γabs=2.604 g/cm^3 γabs=2.601 g/cm^3 γabs=2.611 g/cm^3 γabs=2.623 g/cm^3		γabs ≥2.600 t/m^3	
Poids spécifique apparentes	15/25 8/15 3/8 0/3	γapp=1.332 g/cm^3 γapp= 1.344 g/cm^3 γapp=1.358 g/cm^3 γapp=1.536 g/cm^3		/	
Essai los Angeles	8/15	LA= 28% A1		LA≤ 30%	
Essais micro-Deval	8/15	MDE=19%		/	
Résistance à la compression simple (KG/SM$^{2)}$	Echantillon de roche prélevé (5*5*5)cm^3	Résultats obtenus par COSIDER : Ech n^0 01= 72.6 MPa Ech n^0 02= 60.6 MPa Ech n^0 03= 52.5 MPa	Résultats obtenus par LTPO : Ech n0 01= 43.93 MPa Ech n0 02= 41.19 MPa Ech n0 03=43.15 MPa	RC > 50 MPa	
Densité apparente	Echantillon de roche prélevé (5*5*5) cm^3	Ech n^0 01= 2.556 t/m^3 Ech n^0 02= 2.467 t/m^3 Ech n^0 03= 2.520 t/m^3		/	
Porosité	16/25 10/16 03/6.3 0/3	0.47% 0.46% 0.47% 0.38%		/	

Tableau 11-les Résultats de chaque Essai

Interprétation des essais géotechniques :

L'ensemble des essais réalisés au laboratoire a permis d'évaluer la qualité géotechnique globale des calcaires de la carrière de Tazoult. Ces essais ont été classés selon trois grandes catégories : chimiques, physiques et mécaniques, afin de déterminer la propreté, la résistance et l'aptitude à l'emploi des granulats dans les travaux de BTP.

A. Interprétation des essais chimiques :

1. **Essai de sulfates :** la teneur en sulfates s'est avérée négligeable ce qui explique que les calcaires de Tazdout constituent un matériau non-agressif chimiquement, ce qui évite toute réaction expansive avec le ciment, ce qui garantit une durabilité élevée des bétons contenants ces granulats.
2. **Essai de carbonate de calcium ($CaCO_3$)** : la teneur de Ca Co3 mesurée dans les calcaires de Tazdout est de: **88,69 %**. Cette forteconcentration témoigne d'une pureté chimique élevée, favorable à une stabilité chimique et un bon comportement dans les formulations de béton ou de liant hydraulique.
3. **Essai au bleu de méthylène** : Le résultat de VBM obtenu est de **0,72 g/100 g** . Cette faible quantité d'Argiles actives prouve que les granulats sont propres, sans fines plastiques nuisibles. Cela améliore l'adhérence au ciment et réduit les risques de gonflement ou de fissuration.

Conclusion des essais chimiques : Les calcaires de la carrière C11 présentent une excellente qualité chimique. Ils sont propres, non agressifs et bien adaptés aux formulations de béton durable.

B. Interprétation des essais physiques :

1. **Granulométrie :** Les courbes granulométriques obtenues pour les fractions **0/3**, **3/8**, **8/15** et **15/25** mm montrent des granulats bien classés, sans excès de fines ni déséquilibres de distribution. Favorisant la compacité, l'homogénéité et la stabilité des bétons.
2. **Masse volumique absolue et apparente :** Densité normale et constante, montrant que les matériaux sont homogènes et sans porosité excessive ; Preuves d'un bon comportement à la mise en œuvre et aux contraintes mécaniques.
3. **Propreté superficielle :** (p = **0,087 à 1,17 %** selon fraction)

Toutes les valeurs sont inférieures à 2 %, seuil acceptable prouvant que ces granulats sont très propres, ce qui améliore l'adhérence au liant (bitume ou ciment).

4. **Équivalent de sable :** les résultats sont conformes aux normes, démontrant une Faible présence de fines argileuses preuve d'une bonne qualité pour usage routier ou béton.
5. **Porosité :** Les valeurs de porosité obtenues varient entre 0.38 et 0.47%, valeurs très faible montrant un bon comportement de ces granulats à la mise en œuvre et aux contraintes mécaniques.

Conclusion des essais physiques : Les caractéristiques physiques démontrent que les granulats sont bien calibrés, homogènes et propres, ce qui favorise la résistance mécanique, la durabilité et la qualité des matériaux formulés.

C. Interprétation des essais mécaniques

1. **Essai de Los Angeles** : La valeur de **LA** obtenue est de **28 %** ce qui est démontre que le granulat présente une bonne résistance aux chocs et à l'abrasion. Il est adapté aux chaussées, bétons standards et ouvrages sollicités.
2. **Essai Micro-Deval** : la valeur de MDE obtenue est de **19 %,** prouvant que ces matériaux ont une résistance correcte à l'abrasion humide. Utilisable pour bétons routiers, enrobés, et assises de voiries.
3. **Essai de compression uniaxiale** sur carotte a donné une valeur RC entre ≈ 41–43 MPa, preuve d'une très bonne résistance mécanique, témoignant de la qualité du calcaire massif. Adapté aux fondations, soutènements, dalles et murs porteurs.
4. **Essai de cisaillement : Les d**onnées qualitatives indiquant une cohésion élevée et un bon angle de frottement interne, favorable à la stabilité des remblais ou talus.

Conclusion essais mécaniques : Les calcaires présentent une résistance mécanique satisfaisante à excellente, convenant aux ouvrages de structure, routes, béton armé et préfabrication.

VI. Conclusion générale de l'interprétation géotechnique

Les calcaires de la carrière de Gdyel (Unité C11) présentent des propriétés chimiques, physiques et mécaniques très favorables, les rendant aptes à une large gamme d'applications dans le domaine du BTP :

- Bétons de structure et préfabrication,
- Fondations et dallages,
- Chaussées et enrobés,
- Travaux hydrauliques et remblais techniques.

CONCLUSION GENERALE

Les études géotechniques et pétrographiques réalisées sur le site de la carrière COSIDER, Unité C11 située à Gdyel (Oran), a permis d'évaluer avec précision les caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques et pétrographiques des calcaires marmorisés exploités dans cette région. L'approche méthodologique combinant travaux de terrain et analyses en laboratoires a permis d'obtenir des résultats fiables et représentatifs de l'ensemble du gisement.

Les essais chimiques ont mis en évidence une teneur élevée en carbonate de calcium (88,69 %), signe d'une forte pureté du matériau, ainsi qu'une absence notable de sulfates, ce qui confirme sa stabilité chimique. Les résultats des essais mécaniques montrent une bonne résistance à la compression (environ 42 MPa), une résistance correcte à l'usure (indice Los Angeles de 28 %) et une résistance à l'abrasion humide satisfaisante (Micro-Deval de 19 %), permettant de qualifier ces granulats comme adaptés aux usages dans les travaux de construction courants.

Les essais physiques, notamment la propreté superficielle, l'équivalent de sable, la masse volumique et la faible porosité, confirment une faible présence de fines, garantissant une bonne adhérence avec les liants et une durabilité accrue des matériaux produits.

Ainsi, les résultats de cette étude géotechnique permettent de conclure que les calcaires de Gdyel présentent des propriétés compatibles avec l'utilisation dans le domaine du BTP, notamment pour la production de granulats destinés aux bétons, aux chaussées et aux fondations.

L'étude pétrographique, menée sur plusieurs échantillons représentatifs du site, a permis d'observer des faciès de calcaires compacts à structure micritique ou sparitique, souvent bien cristallisés et faiblement poreux. La présence localisée d'oxydes de fer (notamment l'hématite) dans certaines lentilles explique les teintes rougeâtres observées en surface. Les lames minces analysées montrent une faible porosité secondaire résultante des phénomènes diagénétiques de dissolution et de fracturation, qui confirme les valeurs obtenues en essais physique. Ces observations confortent les résultats géotechniques et expliquent la bonne tenue des matériaux à l'usure et à la fragmentation.

Cependant, une attention particulière doit être portée sur l'hétérogénéité des faciès lithologiques représentés par un dépôt primaire de carbonates dans un bassin sédimentaire marin peu profond, suivi d'un léger métamorphisme thermique, probablement en phase **anchimétamorphique**, puis des phénomènes secondaires d'altération et de circulation de fluides, ayant générés à la fois de la minéralisation ferrifère (Hématite), recristallisation de calcite et la présence d'oxydes de Cuivre (Malachite).

Cette étude met en évidence l'intérêt économique et géotechnique de la carrière étudiée et offre une base fiable pour la poursuite de son exploitation dans le respect des exigences techniques et environnementales.

ANNEXE 1

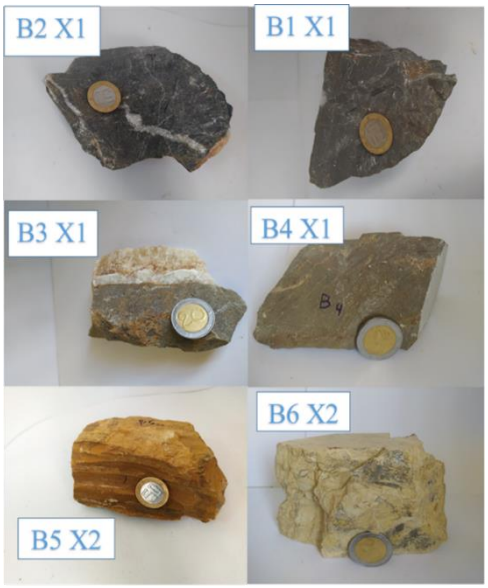


Figure 53 Aspect brut des échantillons prélevés au niveau 1avec indication de point de localisation X1 et X2 pour B1 à B5/B6. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain.

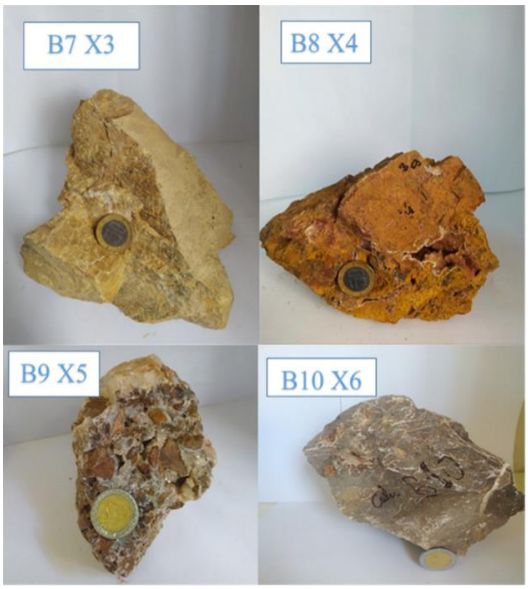


Figure 52 Aspect brut des échantillons prélevés au niveau 2 avec indication de point de localisation X3, X4, X5, X6 pour B7, B8, B9, B10. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain

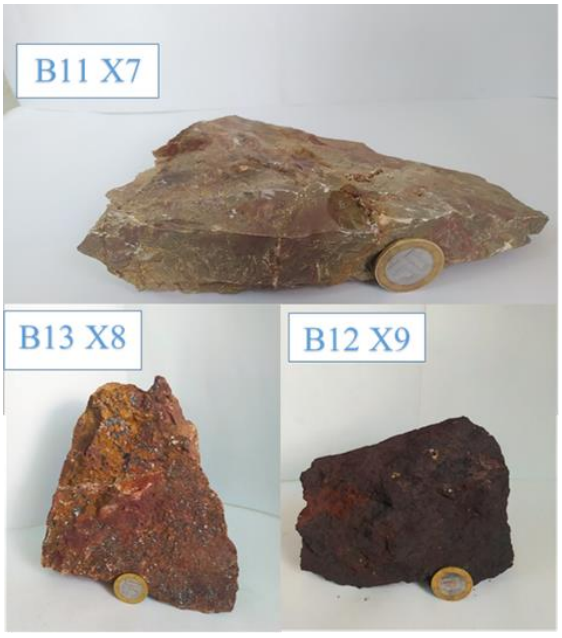


Figure 54 Aspect brut d'échantillons prélevés au niveau 3 et 4 avec indication de point de localisation X7, X8, X9 pour B11, B12, B13. Les échantillons sont étiquetés conformément aux relevés de terrain

ANNEXE 2

Expression des résultats de l'essai de sulfates :

Poids du $BaSO_4 = P_2 - P_1$

SO_3 (mg/kg) = $(P_2 - P_1) \times 0{,}343 \times 10^6$

Expression des résultats de l'essai carbonate : Les résultats de l'essai de carbonate sont généralement exprimés en pourcentage (%) de carbonate de calcium (CaCO3) par rapport à la masse totale de l'échantillon à partir de cette expression : % CaCO3 = (masse de CaCO3 / masse totale de l'échantillon) x 100

Expression des résultats de l'essai Los Anglos : Indice de fragmentation Los Angeles (LA %)

Pour un échantillon de 5000 g :

LA (%) = (5000 − m) / 50

Pour les ballasts (échantillon de 10000 g) :

LA (%) = (10000 − m) / 100

Expression de résultats de l'essai bleu de méthylène : (VBM) est calculée selon la formule: VBM = (C × V / m) × 100, exprimée en g/100g, où :

C = Concentration de la solution de bleu de méthylène

V= Volume total de solution utilisée jusqu'au halo (point d'arrêt)

m= Masse sèche de l'échantillon de sol utilisé

Expression des résultats Micro-Deval : La formule suivante est utilisée pour déterminer le coefficient Micro-Deval

MDE (%): MDE = (1 – m1/m0) x 100

m0 : masse initiale de l'échantillon en condition sèche (g),

m1: masse du refus après l'essai (g).

Expression des résultats De l'essai d'écrasement sur carotte de roche :

Calculer la résistance à la compression simple :

RC = F/A (exprimée en mégapascal, MPa)

Expression des résultats De l'essai porosité superficielles :

La propreté superficielle est calculée selon la formule suivante :

p = (m / Ms) × 100 = … %

Expression de résultats de l'esai masse volumique absolue :

Calcul la masse volumique absolue du granulat par relation suivante :

P abs = (p3-p1)/ (p2- p1)-(p4-p3).

ANNEXE 3

Tableau LA

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse de la charge de boulets (g)
4 à 8	8	3 410 à 3 540
6,3 à 10	9	3 840 à 3 980
8 à 11,2	10	4 260 à 4 420
11,2 à 16,0	12	5 120 à 5 300

Tableau LA

Indice Los Angeles (%)	Nature et qualité du granulat	Recommandations d'usage
LA > 50	Granulat très peu résistant, granulat friable	À rejeter pour les bétons et chaussées de qualité
40 < LA ≤ 50	Granulat peu résistant, risque de fragmentation élevée	Usage limité, non recommandé pour bétons haute performance
30 < LA ≤ 40	Granulat moyennement résistant	Acceptable pour bétons standards, enrobés routiers courants
20 < LA ≤ 30	Granulat résistant à l'usure et à la fragmentation	Convient pour bétons de qualité, enrobés et ouvrages soumis à contraintes modérées
LA ≤ 20	Granulat très résistant, bonne durabilité	Idéal pour bétons haute performance, chaussées très sollicitées et ouvrages durables

Tableau MDE

MicroDeval (%)	Nature et qualité du granulat	Recommandations d'usage
MDE ≤ 15	Très résistant à l'usure	Parfait pour bétons haute performance, couches de roulement, enrobés bitumineux durables
15 < MDE ≤ 20	Résistant	Adapté aux bétons standards, couches de base ou fondations routières
20 < MDE ≤ 25	Moyennement résistant	Utilisable dans certains remblais, graves non traitées, mais pas recommandé pour le béton
MDE > 25	Faible résistance à l'usure	À éviter pour les structures sollicitées. Usage limité à des applications secondaire

ANNEXE 4

Propreté Superficielle	Nature et qualité de sable
< 60	sable argileux risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
60 < Ps <7 0	sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pasparticulièrement de retrait
70 < Ps < 80	sable propre à faible pourcentage de fines argileux convenant parfaitement pour le béton de haute qualité
Ps > 80	sable très propre l'absence presque totale de fines argileux risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation de dosage en eau

Masse volumique apparente (g/cm^3)	Interprétation / Nature du granulat
< 1,40	Granulat léger Usage limité, risque de faible résistance
1,40 – 1,60	Granulat courant Convient pour béton de qualité et enrobés
1,60 – 1,80	Granulat dense Utilisation pour bétons haute performance
> 1,80	Granulat très dense Usage spécifique, contrôle nécessaire

Masse volumique absolue (g/cm^3)	Interprétation / Nature du granulat
< 2,20	Granulat léger Usage limité, risque de faible résistance
2,20 – 2,50	Granulat peu dense Convient pour béton de qualité et enrobés
2,50 – 2,75	Granulat courant Utilisation pour bétons haute performance
> 2,75	Granulat très dense Usage spécifique, contrôle nécessaire

ANNEXE 5

Ouverture des tamis en (mm)	Masse des refus cumulés Ri en (g)	Pourcentage des refus cumules Ri/M x 100	Pourcentage des tamis cumulés 100-Ri/Mx100
50			
40			
31.5			
25			
20			
16			
12.5			
10			
8			
6.3			
5			100%
2.5	253.9	25.39	75%
1.25	591.3	59.13	41%
0.63	751.2	75.12	25%
0.315	829.6	81.96	17%
0.16	873.3	87.33	13%
0.063	890.6	89.06	9%
	RN= 890.6		
Passant au dernier tamis Tn=0.8			
Rn+TN=891.4			
(Ms-(Rn+Tn)/MS) x100= 0.22< 2%			

Ouverture des tamis en (mm)	Masse des refus cumulés Ri en (g)	Pourcentage des refus cumules Ri/M x 100	Pourcentage des tamis cumulés 100-Ri/Mx100
50			
40			
31.5			
25			
20			
16			
12.5			
10			
8	17.3	0.86	99%
6.3	320	16	84%
5	766.8	38.34	62%
2.5	1922.6	96.13	4%
1.25	1966.6	98.33	2%
0.63	1970	98.5	2%
0.315			1%
0.16			
0.063			
	RN= 1970		
Passant au dernier tamis Tn=8.5			
Rn+TN=1978.5			
(Ms-(Rn+Tn)/MS) x100= 0.04< 2%			

Ouverture des tamis en (mm)	Masse des refus cumulés Ri en (g)	Pourcentage des refus cumules Ri/M x 100	Pourcentage des tamis cumulés 100-Ri/Mx100
50			
40			
31.5			
25			
20			100%
16	394.8	13.16	87%
12.5	1576	52.57	47%
10	2562.1	85.40	15%
8	2940.3	98.42	2%
6.3	2982.4	99.41	1%
5			
2.5			
1.25			
0.63			
0.315			
0.16			
0.063			
	RN= 2982.4		
Passant au dernier tamis Tn=2.5			
Rn+TN=2985			
(Ms-(Rn+Tn)/MS) x100= 0.09 < 2%			

Ouverture des tamis en (mm)	Masse des refus cumulés Ri en (g)	Pourcentage des refus cumules Ri/M x 100	Pourcentage des tamis cumulés 100-Ri/Mx100
50			
40			
31.5			
25			100%
20	2872.3	57.44	43%
16	4792	95.88	4%
12.5	4986.3	99.72	0%
10	4990.3	99.806	0%
8			
6.3			
5			
2.5			
1.25			
0.63			
0.315			
0.16			
0.063			
	RN= 4990.3		
Passant au dernier tamis Tn=2.8			
Rn+TN=4223.1			
(Ms-(Rn+Tn)/MS) x100= 0.087 < 2%			

BIBLIOGRAPHIE

BENEST, M. (1985). Évolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. *Thèse de doctorat, Documents des laboratoires de géologie de Lyon, n° 95, Université Claude Bernard Lyon I, 581 p.*

CISZAK, R. (1993). Evolution géodynamique de la chaine tellienne en Oranie pendant le paléozoïque et le Mésozoïque. Mémoire

DOMZIG, A., et al. (2006). "Searching for the Africa–Eurasia Miocene boundary offshore western Algeria (MARADJA'03 cruise)". *Comptes Rendus Géoscience*, vol. 338, n° 1–2, p. 80–91.

DOUMERGUE, François. (1924). Note sur la faune d'ammonites ferrugineuses du Barrémien des Monts d'Arzew.

FENET, B. (1975). Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain : les monts du Djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. *Thèse ès sciences, Université de Nice Sophia Antipolis, 301 p.*

FENET, J. (1954). Étude géologique des Monts d'Arzew (Algérie).

FOUKRACHE, M. (1996) Étude piézométrique et hydro-chimique de la nappe des calcaires du Murdjadjo (Mémoire de magistère).

GOURINARD, R. *(1958).* Étude des mouvements épirogéniques du Miocène dans la région littorale d'Oran.

GOURINARD, Y. & BOUILLON, M. (1952). *Carte géologique de l'Algérie, feuille 153 Oran (échelle 1 50 000).* Service de la Carte géologique de l'Algérie. Alger. Notice explicative par Y. Gourinard.

HZAFF, A. (2004). *Coupe géologique*.

NHAZILO.D.F. (2016) Le Moi-Plio-Quaternaire de la région de Sidi Moussa (Monts d'Arzew, Atlas Tellien, Algérie). Mémoire PFE.

ROUKH Z.A. (2020) Cartographie algébrique d'aléa multirisque du littoral oranais NO de l'(Algérie) Risques (sismiques, glissements de terrain, inondations). Thèse de doctorat.

THOMAS, G. (1985). Étude des mouvements structurels post-nappes du Miocène dans la région littorale d'Oran.

WILDI, W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, vol. 23–24.

CARTOGRAPHIE

Carte topographique Feuille 127 Arzew NI 30 XXIV 23 _1/25000.

Carte Géologique Arzew Feuille 127.5_1/50000.

Carte Topographique Arzew Feuille 127 (B8, C7)1_/50000