

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Géologie des Bassins Sédimentaires

THEME

ETUDE GRANULOMETRIQUE ET MINERALOGIQUE DES
FORMATIONS MEUBLES (SABLE) DE LA PLAGE MILITAIRE,
ANNABA, NORD-EST ALGERIEN)

Présenté par
KHOULDET Raouf
ANTIR Mossaab

Soutenu publiquement le

Devant le jury :

Président :

Promoteur :

Examineur :

CHEMAM Asma

Univ. Ouargla
M. C. B Univ. Ouargla

Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2022/2023

الملخص

منطقة الدراسة (الشاطئ - العسكري) هي جزء من كتلة الإيدوغ الصخرية / عنابة / الجزائر. تتميز بوجود تكوينات جيولوجية المتحولة تحوي الأشباه الصخرية المنحصرة بالجارنت والميكا والستاورولايت والأندلوزيت، السيولين وطبقات السكارن، بالإضافة إلى التكوينات المتنوعة التي تمثلها الرمال.

أظهر الفحص بالمناظير للرمال الموجودة في شاطئ العسكري أنها غنية بالمعادن الداكنة مثل الجارنت والستاورولايت والتورمالين والإبيدوت والكيانيت.

ووفقاً للمؤشرات الحبيبية والفيزيائية، تظهر الرمال توزيعاً ثنائي الوسائط بمتوسط مع حجم حبيبي متوسط معتدل. وهي مُفصَّلة بشكل جيد، وتتميز بحزمة حبيبية متشددة ودرجة أعلى من الفرز للرمال الأكبر حجماً، مما يشير إلى أنها تشكلت في بيئة ترسيبية ذات طاقة عالية..

تتعرض الرمال في شاطئ العسكري بشكل رئيسي للتآكل بفعل الماء، مع تأثير أقل من التآكل الرياحي.

كلمات المفتاح: الرمل، الفلزات العاتمة، تحلل حجم الجسّمات، الإيدوغ

RESUMÉ

La zone d'étude (Plage militaire) fait partie du Cap de Garde/ massif de l'Edough. Elle est caractérisée par les formations géologiques métamorphiques suivantes : les micaschistes à grenat, staurotide et à andalousite, les cipolins et les bancs de skarns et les formations meubles représenté par le sable.

L'étude à a binoculaire du sable de la plage Militaire montre que le sable est très riche en minéraux sombres comme les grenats, les staurotides, les tourmalines, les épidotes et le disthène.

L'étude des indices granulométriques et physiques indique que le sable est bimodale de taille moyenne, très bien trie, et une granulométrie serré à avec un classement meilleur du côté des sables grossiers qui indiquant un environnement de dépôt à courant fort.

Le sable de la plage militaire est principalement soumis à l'érosion hydrique et dans une moindre mesure à celle éolienne.

Mots- clés : Sable, minéraux sombres, analyse granulométrique, Edough.

ABSTRACT

The study area (Military Beach) is part of the Cap de Garde/Edough Massif. The metamorphic geological formations that make up this region include staurolite and andalusite micaschists, garnet-bearing mica schists, marble, skarn beds, and loose formations that are represented by sand.

The sand from Military Beach was examined using binoculars, and the results show that it is extremely rich in dark minerals like garnets, staurolites, tourmalines, epidotes, and kyanite.

According to the granulometric indices, the sand exhibits a bimodal distribution with a medium average grain size. It is tightly packed, well-sorted, and more so in the case of the coarser sands, which points to a high-energy depositional environment.

Sand erosion at Military Beach is mostly caused by water action, with wind erosion contributing less.

Key- words: Sand, dark minerals, particle size analysis, Edough.

DEDICACE

À nos parents, qui nous ont toujours soutenus dans nos études et ont été une source inépuisable d'amour et d'encouragement.

À notre directeur de thèse, Dr. Chemam Asma, pour sa guidance précieuse, ses conseils avisés et sa confiance en nos capacités.

À nos amis et proches, qui ont été présents à chaque étape de ce parcours académique et nous ont apporté soutien et motivation.

À tous les enseignants qui nous ont transmis leur savoir et leur passion pour la recherche scientifique.

À toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, vous avez contribué à sa réussite.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons exprimer nos remerciements en premier lieu à Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force et la capacité nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre directeur de thèse, Dr. Chemam, pour son soutien indéfectible, ses conseils éclairés et sa patience tout au long de cette aventure de recherche.

Nos remerciements vont également à nos membres du jury, pour leur expertise, leurs commentaires constructifs et leur contribution à l'amélioration de ce travail.

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à nos collègues

Nos remerciements vont également aux enseignants et aux chercheurs qui ont partagé leurs connaissances et leur expertise avec nous tout au long de notre période scolaire.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, même si elles ne sont pas mentionnées ici.

Liste des Tableaux

Chapitre II : CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

Tableau 1: Résultats de l'analyse granulométrique du sable de la plage Militaire.	16
Tableau 2: Terminologie du Mean (M_z) définie par Folk et Ward (1957).....	18
Tableau 3: Taille moyenne (M_z) des grains de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage. A: Zone A, B:Zone B: Zone c.	19
Tableau 4: Terminologie du Sorting Index (σ) définie par Folk et Ward (1957).....	20
Tableau 5: indice de tri ($S\sigma$) des sables dans les 3 zones de prélèvement de la plage.	21
Tableau 6: Terminologie des valeurs de l'asymétrie granulométrique (S_{ki})	23
Tableau 7: l'asymétrie granulométrique (S_K) de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage militaire.....	23
Tableau 8: Classement de granulométrie des sables de la plage militaire.	24
Tableau 9: coefficient d'uniformité de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage militaire.	24

Liste Des Figures

Chapitre I : GEOLOGIE LOCAL

Fig. 1: Situation géographique a) du massif de l'Edough dans le cadre méditerranéen, b) la plage militaire (Google Earth).....	2
Fig. 2: carte géologique de massif de l'Edough	4
Fig. 3: Carte géologique simplifiée du Cap de Garde, modifiée, (Ahmed Said et al.	8
Fig. 4: Photos de terrain montrant: a) un micaschiste à disthène, b) un micaschiste à grenat. ..	9
Fig. 5: Photos de terrain : des gneiss clair.	9
Fig. 6: Cipolins du Cap de Garde en contact avec des micaschistes plissés	10
Fig. 7 : Un contact de micaschiste avec des skarns	10
Fig. 8: Photos de terrain des cipolins de la Plage-Militaire : a) Cipolin sub-vertical, b) Cipolin sub-vertical altère.	11
Fig. 9: photo montre un skarns très altère en contact avec les micaschistes et les cipolins.	12
Fig. 10: a) Micaschiste en position sub-verticale, à intercalations quartzo-feldspathiques, b) formations quartzo-feldspathiques en nodules.	12
Fig. 11 : Photos du sable de la plage Militaire.	13

Chapitre II : CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

Fig. 12: Caractéristiques granulométriques du sable de la Plage-Militaire dans le	17
Fig. 13: Courbe de distribution du sable de la plage Plage-Militaire.....	18
Fig. 14: Représentation de la moyenne granulométrique au niveau du sable de la plage Militaire.....	20
Fig. 15: Diagramme de la distribution de l'indice de trie au niveau du sable de la plage Militaire.....	22
Fig. 16: Evolution de l'Indice d'Asymétrie au niveau du sable de la plage Militaire.....	24
Fig. 17: Coefficient d'uniformité des échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage.....	25

Chapitre III : ETUDE MINERALOGIQUE

Fig. 18: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (la zone près de l'eau) Abréviations selon Whitney et Evans, 2010. Grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotide (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).....	28
Fig. 19: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (Dans la zone centrale) - Identification des minéraux le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotide (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).	30
Fig. 20: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (Dans la zone près de la route) - Identification des minéraux le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotide (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).....	31
Fig. 21: Classification morphoscopique des grains de sable selon Cailleux et Tricart (1959). N.U = Non Usés = grains non usés, anguleux, ils ont subi un faible transport hydrique (transport par l'eau), - E.L = Émoussés Luisants= grains brillants ou luisants, ont des arêtes estompées par un fort transport hydrique (transport par l'eau), - R.M. = ronds Mats = grains ronds mats et arrondis par un transport éolien (vent).....	32
Fig. 22: Zones de prélèvement des échantillons pour l'étude morphoscopique.	33
Fig. 23: Morphoscopie des grains de sable :A) prédominance de grains émoussés, arrondis et à surface luisante, B) morphoscopie mixte des grains, on remarque un mélange de grains émoussés luisants et de grains émoussés mats, C) prédominance de grains émoussés mats et parfois de grains non usés.	34

Table des matières

Introduction	1
OBJECTIFS.....	1
1.SITUATION GEOGRAPHIQUE DU MASSIF DE L'EDOUGH ET DE LA ZONE D'ETUDE.	2
1.1. Cadre géologique du massif de L'EDOUGH :	2
1.2. CADRE GEOLOGIQUE GENERALE DU MASSIF DE L'EDOUGH.	3
1.2.1. Description lithologique du massif de l'Edough :	4
A.Les unités métamorphiques superposées :.....	4
A.1.L'unité inférieure :	4
A.2. La série intermédiaire :	5
A.3. L'unité supérieure :	5
B- les amphibolites et roches ultrabasiqes-basiques associées :	5
B.1. Les amphibolites :	5
B.2. Les péridotites de l'Oued Bagrat :	5
B.3. Les péridotites de Sidi Mohamed :.....	6
C.Les unités magmatiques :	6
D- les unités sédimentaires :	6
1.2.2. Evolutions tectoniques et métamorphiques de massif de l'Edough.....	7
A.Les formations métamorphiques :.....	8
A.Les formations récentes :	10
Elles sont principalement représentées par des calcarénites et par le sable des plages... 10	
2.3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE LA PLAG MILITAIRE.....	11
2.3.1 -Les cipolins :	11
2.3.2 -Les Skarns :	11
2.3.3. Les micaschistes :	12
Les formations récentes :	12
1.CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DU SABLE DU PLAG MILITAIRE.....	14
1.1. Généralités	14
1.2. Détermination des paramètres granulométriques	15
1.2. 1. Diagramme de classification des sédiments meubles :	17
1.2.2. Les courbes :	17
1.2.3. Les paramètres granulométriques :	18
a.Mean (M_z) :	18

Traitement des données de chaque zone	19
Distribution de la taille moyenne des grains (Mean, Mz) dans la plage	19
b.Sorting ou indice de tri	20
<i>Distribution des valeurs de l'indice de tri ($S\sigma$) des échantillons de la plage</i>	21
c.Skewness (SK_i) :	22
<i>Distribution de l'indice d'asymétrie (skewness,SK_i) dans la plage</i>	23
d.Coefficient d'uniformité :	24
<i>Distribution des valeurs du coefficient d'uniformité dans la plage</i>	25
Etude minéralogique :	26
la zone près de l'eau (PmsA) :	26
<input type="checkbox"/> Les grenats :	26
<input type="checkbox"/> Le disthène :	26
<input type="checkbox"/> L'épidote :	27
<input type="checkbox"/> Les tourmalines	27
<input type="checkbox"/> Le quartz	27
Dans la zone centrale (PmsB)	29
<input type="checkbox"/> Le grenat	29
<input type="checkbox"/> Tourmalines	29
<input type="checkbox"/> Staurotide	29
<input type="checkbox"/> Epidote	29
<input type="checkbox"/> Le quartz	29
zone près de la route (PmsC)	30
<input type="checkbox"/> le quartz	30
<input type="checkbox"/> Les grenats	30
<input type="checkbox"/> Les tourmalines	31
<input type="checkbox"/> l'épidote	31
<input type="checkbox"/> la staurotide	31
ETUDE MORPHOSCOPIQUE	32
conclusion	35

Introduction

Le sable est une substance granulaire composée de particules de petite taille qui proviennent de la désagrégation de matériaux tels que les roches. Ces particules ont une dimension qui varie généralement entre 0,063mm (limon) et 2mm (gravier), selon la définition des matériaux granulaires en géologie.

Les sédiments détritiques se forment lorsque les roches préexistantes se dégradent, et le sable est ensuite transporté par le vent ou l'eau. Lors de ce transport, les minéraux clairs ont tendance à disparaître, ce qui donne naissance à du sable sombre.

Les minéraux les plus abondants dans le sable sont ceux qui étaient présents en grande quantité dans la roche d'origine, accompagnés de certains minéraux moins abondants qui se sont concentrés au fil du temps.

L'érosion de roches conduit à la formation de sables riches en quartz sur les plages marines. D'autres minéraux comme le grenat qui sont à la fois résistants et durables, peuvent se concentrer dans le sable en raison de la disparition des minéraux fragiles pendant le transport.

OBJECTIFS

Cette étude a pour objectif la détermination des caractéristiques granulométriques et d'étudier la composition minéralogique ainsi que leur signification au niveau de la plage militaire. Pour atteindre ce but il a été nécessaire :

1. D'effectuer des travaux de terrain :

- sortir sur terrain dans le but d'étudier l'environnement géologique
- de prélever des échantillons.

2. D'effectuer des travaux de laboratoire. Cette partie a été réalisée au niveau du laboratoire de département de Mines de la Faculté des Sciences de la Terre de l'Université Badji-Mokhtar Annaba :

- la détermination des différents indices granulométriques du sable.

CHAPITRE I: GEOLOGIE LOCAL

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU MASSIF DE L'EDOUGH ET DE LA ZONE D'ETUDE.

1.1. Cadre géologique du massif de L'EDOUGH :

Le massif de l'Edough est un massif cristallophyllien situé sur la côte Est Algérienne dans la région d'Annaba (fig.1a). C'est une antiforme asymétrique d'environ 50 Km de long et 20 Km de large qui s'allongent du Sud-Ouest (Boumaiza) au Nord-Est (Cap de Garde).

La zone d'étude correspond à la plage Militaire qui est une des plages de la zone du Cap de Garde (Fig.1b).

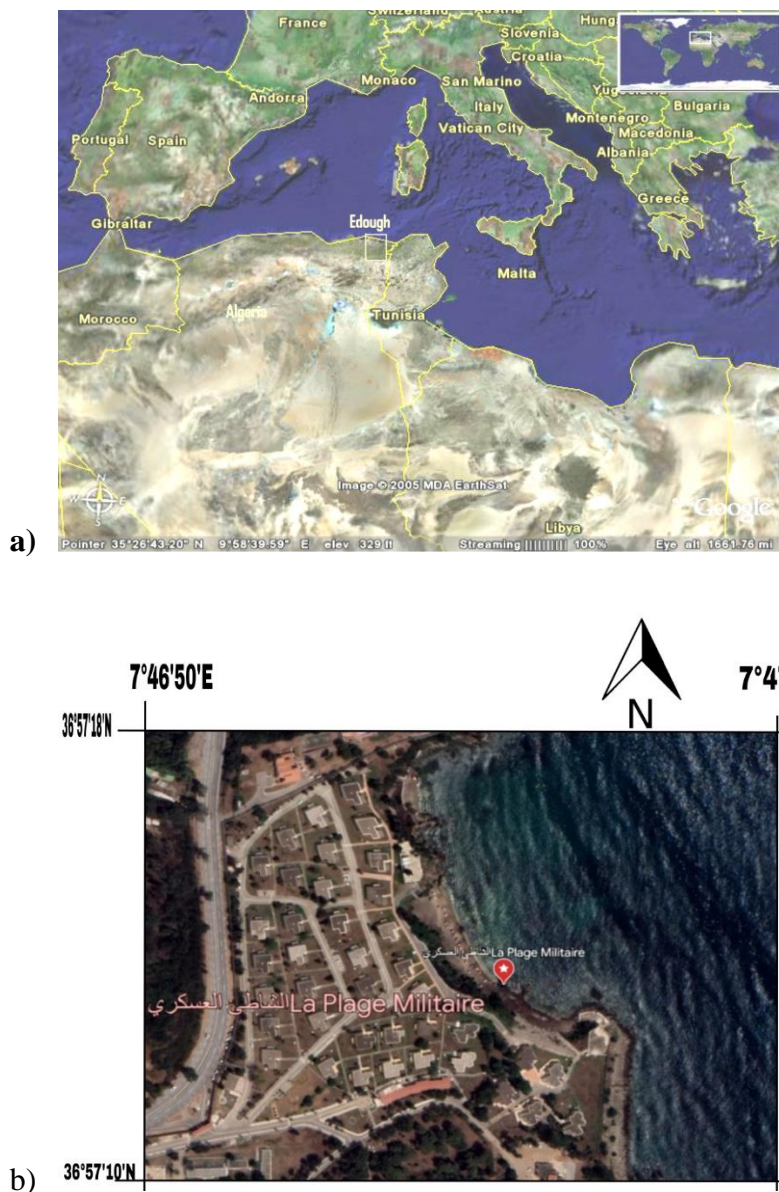


Fig. 1: Situation géographique a) du massif de l'Edough dans le cadre méditerranéen, b) la plage militaire (Google Earth).

1.2. CADRE GEOLOGIQUE GENERALE DU MASSIF DE L'EDOUGH.

Le massif de l'Edough est considéré par de nombreux auteurs soit comme le prolongement des massifs internes de Grande Kabylie (Hilly, 1962 ; Durand Delga, 1969 ; Bouillin, 1977), soit comme un massif externe à caractère africain (Vila, 1970, 1980 ; Latouche et al. 1976). De nombreuses études ont été consacrées à la géologie de ce massif sur le plan pétrologique, structural, géochimique et géochronologique (ex: Hilly, 1962; Vila, 1970; Bossière et al., 1976; Ilavsky et Snopkova, 1987; Gleizes et al, 1988; Monié et al, 1992; Ahmed-Said et Leake, 1993; Caby et al, 2001; Laouar et al, 2002).

Le massif est un "core complexe" (Caby et Hammor, 1992) asymétrique constitué essentiellement par (fig.2) :

- un socle métamorphique où le noyau, d'âge Néoprotérozoïque (Hammor et Lancelot, 1998), est composé de gneiss associés à des pointements d'amphibolites (Voile Noire) et de roches ultrabasiqes-basiques (péridotites, pyroxénites, granulites basiques et amphibolites) de Sidi Mohamed. On y distingue également une unité de micaschiste alternant avec des bancs de marbres.
- Des séries carbonatées épimétamorphiques essentiellement représentées par l'affleurement calcaire du Béléliéta, attribué au Lias par Vila, (1970) et les assises carbonatées de la région de Berrahal et d'Oued El Aneb.
- Des nappes de flysch représentant la couverture sédimentaire du massif métamorphique
- Le complexe métamorphique et la couverture sédimentaire ont été intrudés par des magmas de composition acide à intermédiaire, avec la mise en place de roches volcaniques rhyolitiques massives et filoniennes et de roches subvolcaniques microgranodioritiques. La mise en place de ces roches ignées est le résultat de la subduction-collision durant l'Oligo-Miocène dans le bassin méditerranéen Ouest, entre les plaques européenne et africaine (Auzende et al, 1975; Bouillin, 1979, 1986; Cohen, 1980; Carminati et al, 1998; Laouar et al, 2002).

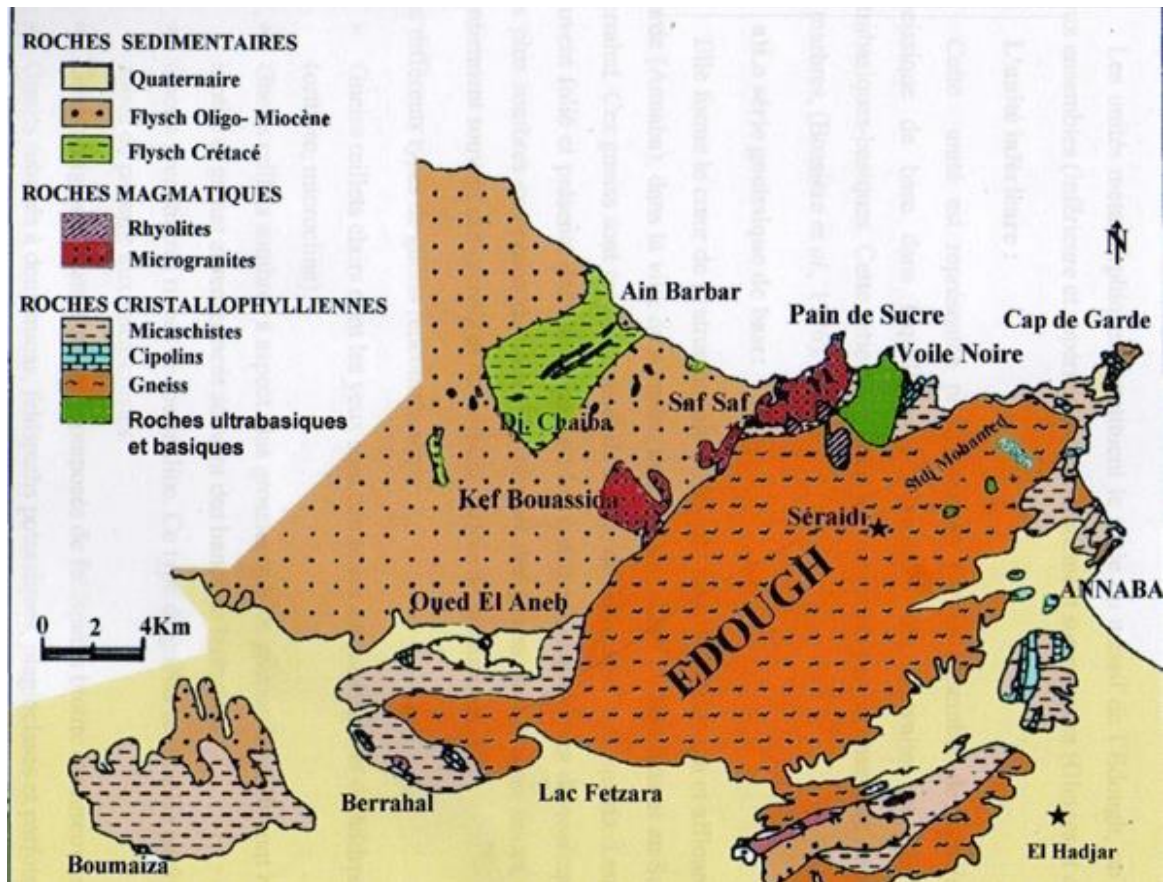


Fig. 2: carte géologique de massif de l'Edough

1.2.1. Description lithologique du massif de l'Edough :

Les formations lithologique du massif de l'Edough sont constituées d'un ensemble d'unités métamorphiques superposées (Gleizes et al, 1988 ; Hammor, 1992) ainsi que par des pointements d'amphibolites et de roches basiques-ultrabasiques (Bossière et al, 1976; Hadj Zobir et al, 2007, 2013, 2014).

A. Les unités métamorphiques superposées :

A.1. L'unité inférieure :

Cette unité est représentée principalement par un ensemble de gneiss dit série gneissique de base dans laquelle sont intercalées des leptynites et des formations ultrabasiques-basiques (Bossière et al. 1976, Hadj Zobir et al. 2007, 2013). Cette série gneissique est surmontée par un ensemble de micaschistes et de marbres. de Garde (Annaba), dans la ville d'Annaba, au Nord du massif du Belélieta et au Sud-ouest de Berrahal. Les different types de gneiss rencontrés sont:

CHAPITRE I: GEOLOGIE LOCAL

- Gneiss œillets clairs dont les yeux sont composés essentiellement de feldspaths.
- Gneiss œillets sombres à aspect plus grossier que les gneiss clairs. Ils sont riches en biotite et grenat et renferment souvent des bancs de leptynites.
- Gneiss grenatifères riches en tourmaline. Ce type de gneiss se localise parfois près des zones de passage aux micaschistes.
- Gneiss migmatitiques à grenat, composés de feldspaths, biotite et muscovite.

A.2. La série intermédiaire :

C'est une série qui surmonte les gneiss de l'unité de base, elle est formée par une alternance de micaschistes alumineux et de bancs des marbres à minéraux. Le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des skarns de réaction.

A.3. L'unité supérieure :

Elle n'affleure qu'au Nord de Annaba. Elle est constituée d'une alternance de bancs décimétriques à métriques de quartzites-feldspathiques et de micaschistes alumineux riches en grenat, tourmaline et graphite (ce qui confère à la roche une couleur sombre). La découverte d'Acritarches par [Ilavsky et Snopkova \(1987\)](#) précise que cette série est d'âge Paléozoïque (Ordovicien supérieur à Dévonien).

B- les amphibolites et roches ultrabasiqes-basiques associées :

B.1. Les amphibolites :

Elles affleurent principalement au niveau de la Voile Noire, au Nord-Ouest du massif de l'Edough ([Ahmed Saïd et al. 1992](#)). On rencontre également de rares amphibolites au niveau du pointement de roches ultrabasique de Sidi Mohamed (ex Km7) sur la route de Seraïdi ([Bossière et al. 1976](#), [Hadj Zobir et al. 2007, 2013](#)) ainsi que sous forme de veines centimétriques dans les marbres de la carrière du Cap de Garde ([Hadj Zobir et al, 2014](#)).

B.2. Les péridotites de l'Oued Bagrat :

Localisées dans la baie de l'Oued Begrat (sur la route reliant Seraïdi à la plage de l'Oued Begrat), ce sont des roches de couleur vert-bleue foncée, très denses et compactes, présentant une structure irrégulièrement laminée et « fluidale ». La paragenèse probablement

CHAPITRE I: GEOLOGIE LOCAL

primaire est constituée d'olivine, de pyroxène (diopside chromifère), de spinelle verte et d'opagues. La paragenèse secondaire est constituée d'amphibole aciculaire (actinotrémolite), de serpentine et de chlorite (Toubal A. 1986).

B.3. Les péridotites de Sidi Mohamed :

On distingue un affleurement de roche ultrabasique-basique. Il s'agit de harzburgites plus ou moins recristallisées et serpentinisées (Bossière et al. 1976, Hadj Zobir et al. 2007, 2013). Ces roches sont bordées de trémolitites-actinolitites en contact anormal avec les gneiss encaissants.

C. Les unités magmatiques :

Les roches magmatiques de la région de Annaba sont localisées en deux endroits : au Nord-est du massif de l'Edough et au massif de Chetaïbi. La mise en place de ces roches est le résultat de la subduction-collision durant l'Oligo-Miocène dans le bassin méditerranéen ouest, entre les plaques européenne et africaine (Auzende et al., 1975; Bouillin, 1979, 1986; Cohen, 1980., Carminati et al., 1998., Maury et al., 2000., Laouar et al., 2002, 2005). Au niveau du massif de l'Edough, ce magmatisme est représenté par des leucogranites, des pegmatites, des microgranites et des rhyolites.

D- les unités sédimentaires :

La couverture sédimentaire du massif métamorphique est allochtone. Les unités sédimentaires sont considérées par Vila (1970) comme étant de type pré-kabyle. Elles sont représentées par de nappes de flysch. On distingue de haut en bas :

- Le flysch Numidien qui se présente sous forme de grès grossier hétérométrique. Ce flysch repose le plus souvent en contact mécanique (rabotage basal) sur n'importe laquelle des unités sus-jacentes.
- Le flysch Sénonien affleure au Nord-Ouest du massif en fenêtre sous le flysch Numidien. Ce flysch de structure très chaotique est souvent renversé et fragmenté en petites écailles.

1.2.2. Evolutions tectoniques et métamorphiques de massif de l'Edough

Le massif de l'Edough a subi un métamorphisme polycyclique caractérisé par plusieurs événements majeurs :

- un métamorphisme de haut degré (HP-HT) correspondant aux conditions du faciès granulites,
- un métamorphisme prograde de moyen degré (MP-MT)
- un métamorphisme de basse pression et de haute température (BP-HT) (Brunel et al, 1988 ; Caby et Hammor, 1992 ; Ahmed Said et Leake, 1993).

Les études structurales, effectuées sur le massif de l'Edough montrent que celui-ci a subi d'importantes déformations tectoniques.

- Le contraste métamorphique entre socle et couverture peut être considéré comme une conséquence des déplacements tangentiels soustractifs qui ont rapprochés ces formations de degrés de métamorphisme différents (Monié et al, 1992).
- La faille de détachement, mettant en contact diverses unités lithologiques, a favorisé la mise en place des skarns de réaction.

2.1 LE CAP DE GARDE

Le Cap de Garde, localisé dans la partie NE du massif de l'Edough et plus précisément au N.E. de la ville de Annaba, se prolonge dans la mer méditerranée avec une longueur de 1785 m et une largeur de 785 m. La zone est limitée au Nord-Ouest et Sud-Est par la mer méditerranéenne et au Sud-ouest par le prolongement du massif de l'Edough proprement dit.

2.2. CADRE GEOLOGIQUE DU Cap de Garde

Les formations géologiques du Cap de Garde (Fig.3) sont représentatives du métamorphisme du massif de l'Edough. Les diverses roches cristallophylliennes sont représentées par: des gneiss migmatitiques et les gneiss de la série de base, les micaschistes à grenat, à disthène, à sillimanite et à andalousite avec alternance de bancs de marbres et de skarns de la série intermédiaire et les séricitoschistes, chloritoschistes et quartzites de la série supérieure . L'ensemble de ces roches métamorphiques est partiellement recouvert par des formations récentes de type calcarénites.

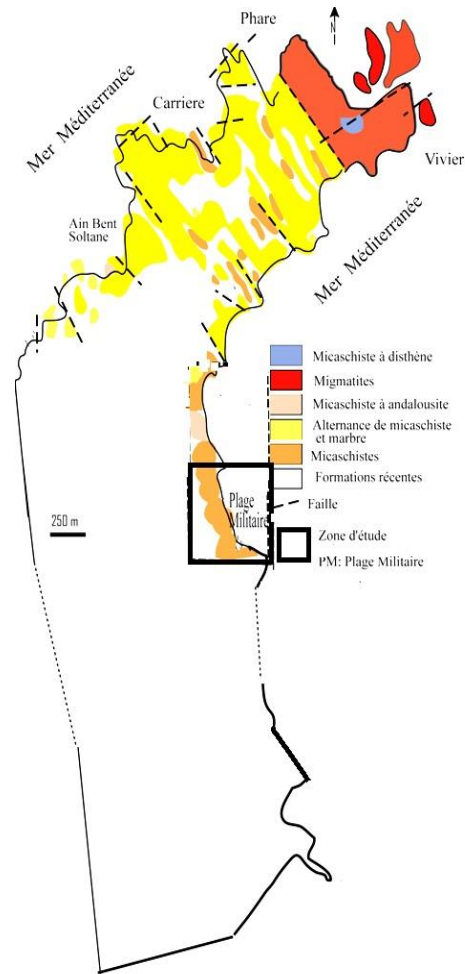


Fig. 3: Carte géologique simplifiée du Cap de Garde, modifiée, (Ahmed Said et al. 1993; Caby et al. 2001, Hadj Zobir et al. 2014).

A. Les formations métamorphiques :

A.1. Les micaschistes :

Ces roches sont des faciès très répandus au Cap de Garde, ils apparaissent souvent en contact anormal avec les faciès gneissiques ou les cipolins. Les micaschistes sont à grains généralement moyen, folié et riches en lamelle de micas (Fig.4). Les micaschistes peuvent être à disthène (Fig.4.a) ou à grenat (Fig.4.b).

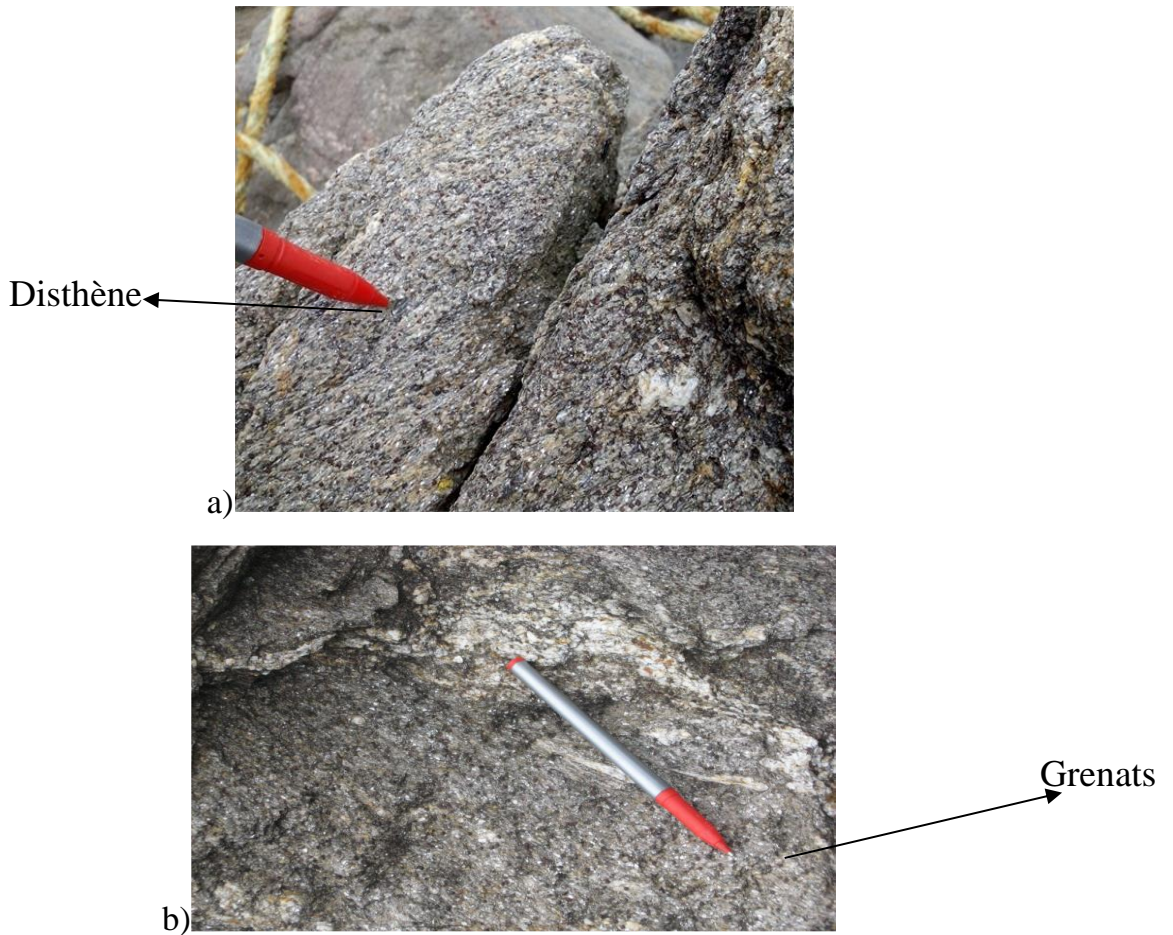


Fig. 4: Photos de terrain montrant: a) un micaschiste à disthène, b) un micaschiste à grenat.

A.2. Les gneiss :

Ils représentés par des gneiss clairs, sombres et migmatitiques. Les gneiss clairs sont rubanés avec parfois des yeux quartzo-feldspathiques, les lits blancs riches en quartz, feldspath et mica blanc alternent avec des lits sombres de biotite. Les gneiss sombres montrent de rares niveaux quartzo-feldspathiques. Les gneiss migmatitiques (Fig.5) ont subi une fusion partielle plus poussée et se caractérisent par une forte abondance de quartz.



Fig. 5: Photos de terrain : des gneiss clair.

CHAPITRE I: GEOLOGIE LOCAL

A.3. Les cipolins :

Ce sont des roches métamorphiques calcaires, formés de cristaux de calcites. Ce sont des roches souvent foulées à nuance blanche, grisâtre, bleuté, blanche. Ces formation sont plissées, et sont en contact avec des micaschistes. (Fig.6)



Fig. 6: Cipolins du Cap de Garde en contact avec des micaschistes plissée.

A.4. Les skarns:

Au Cap de Garde ces roches se développent dans les zones de contact entre les cipolins et les micaschistes, il s'agit de skarns de réaction. Ces skarns sont durs, de texture grenue et contenant de l'épidote (Fig.7).



Fig. 7 : Un contact de micaschiste avec des skarns

A. Les formations récentes :

Elles sont principalement représentées par des calcarénites et par le sable des plages.

2.3. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE LA PLAGES MILITAIRE

La Plage-Militaire représentée par les formations métamorphiques suivantes :

- Les cipolins
- Les skarns
- Les micaschistes
- Le sable de plage

2.3.1 -Les cipolins :

Les affleurements se localisent au Nord et au Sud de la plage. Ce sont des roches Massives bien cristallisées. Elles apparaissent sous forme de bancs métriques, subverticaux, durs, formées de cristaux de calcite à cassure saccharoïde, souvent à structure rubané et avec souvent des alternances des niveaux claires (blanches sans traces d'impuretés) et des niveaux grisâtre (Fig.8a) très riche en calcite à gros grains et sont souvent très fortement altérées (Fig.8b).



a) b)
Fig. 8: Photos de terrain des cipolins de la Plage-Militaire : a) Cipolin sub-vertical, b) Cipolin sub-vertical altère.

2.3.2 -Les Skarns :

b) ces roches se développent dans les zones de contact entre les cipolins et les micaschistes. Ces skarns sont durs, de texture clairement grenue et de couleur verdâtre. L'ensemble de l'affleurement est intensément altéré (Fig.9).



Fig. 9: photo montre un skarns très altère en contact avec les micaschistes et les cipolins.

2.3.3. Les micaschistes :

Ces affleurements sont très abondants dans la zone. La roche a une structure massive sub-verticale, déformée contiennent souvent des intercalations quartzo-feldspathiques centimétriques (Fig.10a). Les formations quartzo-feldspathiques forment parfois des nodules alignées selon la schistosité (Fig.10b).

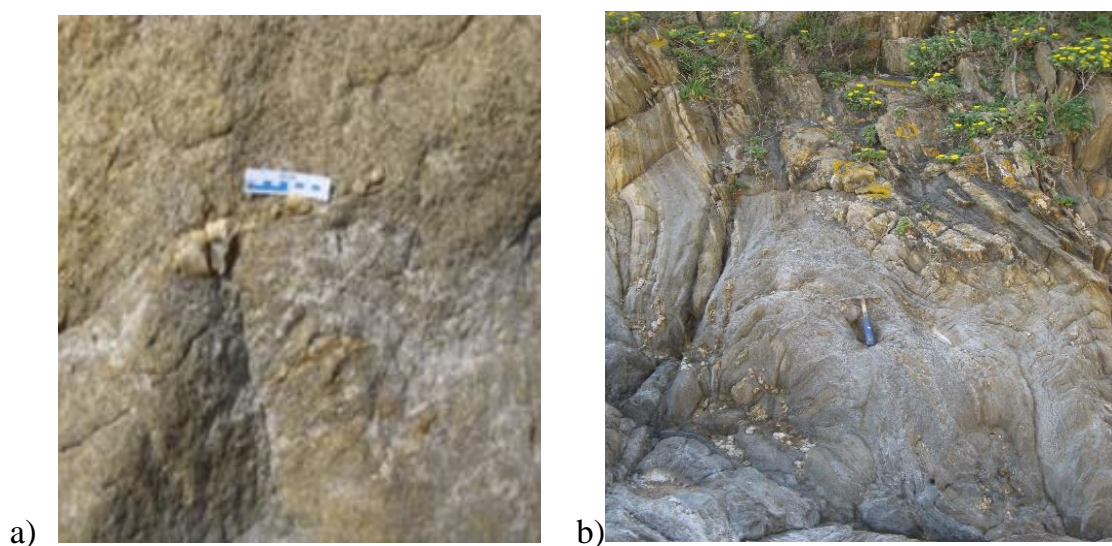


Fig. 10: a) Micaschiste en position sub-verticale, à intercalations quartzo-feldspathiques, b) formations quartzo-feldspathiques en nodules.

Les formations récentes :

Ils sont représentés par le sable des plages. Le sable de la Plage-Militaire est un sable foncé à caractère permanent. Le sable proche des affleurements rocheux est plus sombre que celui proche de la rive.



Fig. 11 : Photos du sable de la plage Militaire.

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

1. CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DU SABLE DU PLAGES MILITAIRE.

1.1. Généralités

Le sable est une roche détritique meuble dont les grains sont en majorité compris entre $62,5\mu\text{m}$ et 2 mm L'opération permettant de déterminer la taille des grains de sable est appelée analyse granulométrique.

L'analyse granulométrique est une méthode largement utilisée pour savoir comment les grains sont répartis dans un échantillon de sol, de sable ou d'autres matériaux granulaires. Elle nous renseigne sur la composition du matériau et nous aide à comprendre ses caractéristiques physiques et son comportement.

L'objectif principal de l'analyse granulométrique est de déterminer la quantité de grains de chaque taille présente dans l'échantillon. Cela nous permet de comprendre comment les différentes tailles de grains sont réparties et de calculer des paramètres granulométriques comme le diamètre moyen, l'indice de classement et l'indice d'uniformité.

Le traitement des données d'analyse granulométrique implique l'analyse des résultats obtenus à partir des mesures de répartition des tailles de grains dans un échantillon de sable. Ces étapes générales pour traiter ces données :

- Collecte des données : Rassembler les résultats de l'analyse granulométrique, qui peuvent être obtenus à l'aide de différentes techniques de mesure telles que le tamisage.
- Organisation des données : Organiser les données collectées dans un tableau, en indiquant les différentes fractions granulométriques et les pourcentages de poids ou de masse correspondants pour chaque fraction.
- Calcul des mesures granulométriques : Effectuez les calculs des mesures granulométriques pertinentes, telles le diamètre moyen (MEAN), l'indice de classement (Sorting), l'indice d'uniformité (Uniformity), l'indice de courbure (Skewness)

Représentation graphique : Tracer le graphique de la répartition granulométrique en utilisant les pourcentages cumulatifs en fonction des tailles de grains.

Interprétation des résultats : Analyser les résultats obtenus en examinant les mesures granulométriques calculées et la courbe de répartition granulométrique. Cela permet de

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

comprendre la répartition des tailles de grains, l'uniformité du matériau et d'autres propriétés granulométriques importantes.

Et pour cela on utilise une échelle logarithmique, dite échelle des phi (ϕ), définie par [Krumbein et Pettijohn \(1938\)](#) par la relation :

$$\phi = -\log_2(d), \text{ (d : étant le diamètre des grains en mm).}$$

Nombreux sont les auteurs qui ont proposé des indices qui permettent d'exprimer numériquement les caractères de distribution granulométrique et on cite parmi eux ([Trask, 1930](#) ; [Inman, 1952](#) ; [Folk et Ward, 1957](#)). Les indices les plus couramment utilisés sont Mean (M_z), le Sorting (S_σ), le Skewness (Sk_i) et le Kurtosis (K_G).

La préparation de cette étude (Le traitement des données d'analyse granulométrique) pour la zone plage militaire a été faite par le [Dr. Chemam Asma](#) dans sa thèse de doctorat 2018 à l'Université Badji-Mokhtar/Annaba, au sein du Département des Mines de la Faculté des Sciences de la Terre.

Dans ce présent travail les paramètres et indices choisis sont ceux définis par [Folk et Ward \(1957\)](#), ces deux auteurs ont proposé des formules qui contiennent un nombre élevé de quartiles, et ils ont utilisé des valeurs de phi comprises entre 5 % et 95%.

1.2. Détermination des paramètres granulométriques

L'analyse granulométrique permet de caractériser le sable, de point de vue type, distribution granulométriques et autres.

Les résultats de l'analyse granulométriques sont représentés dans le tableau 1 et sous forme de:

- Diagrammes de classification des roches meubles de [Folk et Ward, \(1957\)](#).
- Courbes : telle que la courbe de fréquence.
- Paramètres granulométriques.

Les résultats de l'analyse granulométriques ont été traités avec le logiciel GRADISTAT 4.0 ([Blott, 2000](#)) qui permet d'identifier les différents paramètres granulométriques de nos échantillons de sable. Les résultats sont représentés dans le tableau 1.

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

Tableau 1: Résultats de l'analyse granulométrique du sable de la plage Militaire.

	PMS1a	PMS1b	PMS1c	PMS2a	PMS2b	PMS2c	PMS3a	PMS3b	PMS3c	PMS4a	PMS4b	PMS5a	PMS5b	PMS5c	PMS6a	PMS6b	PMS6c	PMS7	PMS8
MEAN	1.430	1.150	1.440	1.410	1.400	1.430	1.390	1.430	1.470	1.440	2.140	1.370	1.520	1.450	1.060	1.440	1.45	1.510	1.110
SORTING	0.490	0.510	0.490	0.500	0.500	0.490	0.510	0.490	0.470	0.490	0.510	0.520	0.440	0.480	0.670	0.500	0.49	0.470	0.650
SKEWNESS	-0.550	0.400	-0.550	-0.520	-0.510	-0.540	-0.500	-0.540	-0.570	-0.550	0.410	-0.510	-0.570	-0.560	0.180	-0.560	-0.56	-0.570	0.160
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% SAND:	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1%	1.0%	1.0%
% MUD:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V COARS	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% COARSE	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% FINE GRA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V FINE GF	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V COARS	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0%	0.1%	0.0%
% COARSE	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0%	0%	0.1%
% MEDIUM S	0.7%	0.5%	0.7%	0.7%	0.6%	0.7%	0.6%	0.7%	0.8%	0.7%	0.5%	0.6%	0.8%	0.7%	0.4%	0.7%	1%	0.8%	0.4%
% FINE SAN	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V FINE SA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V COARS	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% COARSE	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM S	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% FINE SILT	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% V FINE SIL	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%
% CLAY:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

1.2. 1. Diagramme de classification des sédiments meubles :

Cette nomenclature est présentée à l'aide du triangle dont les trois cotées correspondent respectivement au pourcentage de sable, limon et d'argile (Folk et Ward, 1957).

Tous les échantillons de sable prélevés ont été projetés dans le diagramme de Folk et Ward (1957). On remarque que tous nos échantillons se projettent dans le domaine du sable fin (Fig.12).

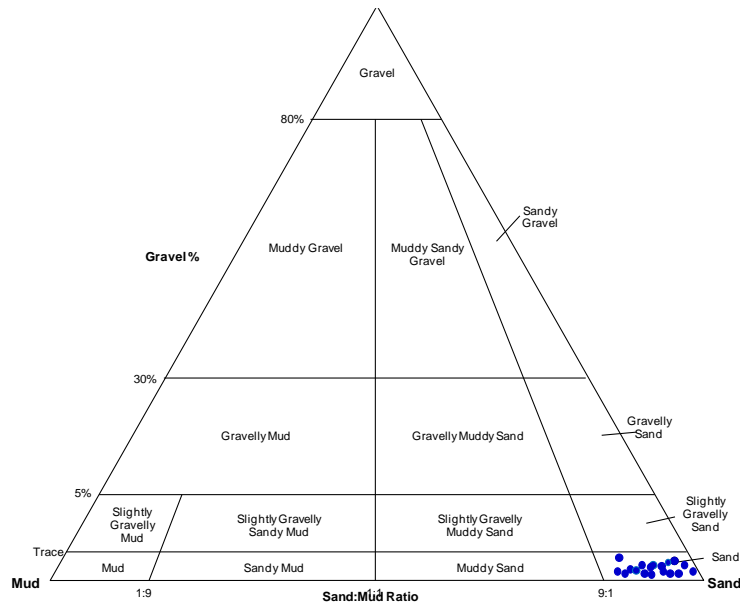


Fig. 12: Caractéristiques granulométriques du sable de la Plage-Militaire dans le Triangle de classification des formations meubles de Folk et Ward (1957).

1.2.2. Les courbes :

La Courbe de fréquence : la forme de la courbe indique le degré de classement du sédiment. Si la courbe est dissymétrique, on peut avoir une :

- Asymétrie négative : particules grossières bien classées
- Asymétrie positive : particules fines bien classées.

La courbe de fréquence peut être unimodale, donc formée par une seule population ou plurimodale témoignant d'un mélange au niveau des sédiments (Miskovsky et De Bard, 2002).

Au niveau du sable de la Plage-Militaire la courbe de distribution se caractérise par la présence de courbes de distribution granulométriques différentes. On y distingue clairement deux (02) tendances indiquant que ce sable est globalement bimodal. Cette bimodalité témoigne d'un mélange de dépôts sableux à caractéristiques granulométriques différentes.

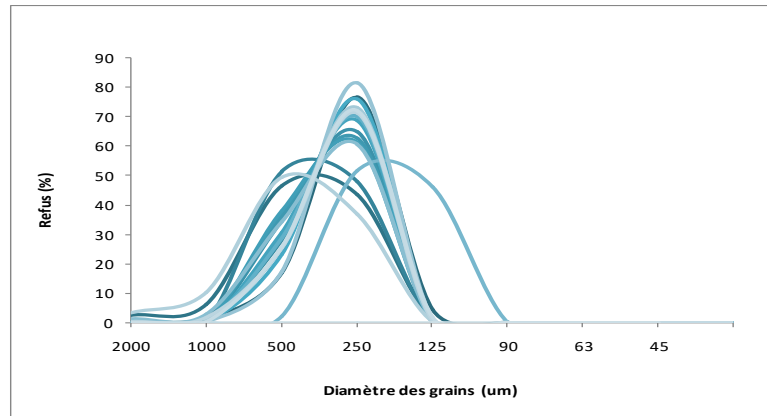


Fig. 13: Courbe de distribution du sable de la plage Plage-Militaire.

1.2.3. Les paramètres granulométriques :

a. Mean (M_z) :

Représente la taille moyenne des grains de l'échantillon (Folk et Ward, 1957), on distingue trois quartiles (ϕ_{16} , ϕ_{50} et ϕ_{84}).

$$M_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$$

Où :

ϕ_{16} : Point de la courbe pour lequel 6% du matériel est de une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 16%).

ϕ_{50} : Médiane M_d : point de la courbe pour lequel 50% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 50%).

ϕ_{84} : Point de la courbe pour lequel 84% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 84%).

La valeur du paramètre *Mean* (M_z) de Folk et Ward (1957) permet d'avoir une idée de la nature du sable en fonction de la taille des grains (tableau 2).

Tableau 2: Terminologie du Mean (M_z) définie par Folk et Ward (1957)

Valeur	Interprétation
$M_z < 1$	Sable grossier
$1 < M_z < 2$	Sable moyen
$2 < M_z < 3$	Sable fin
$M_z > 3$	Sable très fin

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

A.1. Traitement des données de chaque zone

Dans notre travail, la détermination des différents indices a été faite à partir des échantillons de sables provenant des trois zones de la plage Militaire. Le calcul des différents paramètres et des indices granulométriques a été fait selon les expressions définis par [Folk et Ward \(1957\)](#). Cette procédure nous permettra d'avoir une idée sur les caractéristiques granulométriques du sable de la plage Militaire. L'étude de la taille moyenne des grains de sable dans les 3 zones de la plage (tableau 3) montre que :

- Dans la zone près de l'eau (PmsA) la valeur maximale est de 2,14 et la valeur minimale est de l'ordre de 1,06.
- Dans la zone centrale (PmsB) la valeur maximale est de 2,14 et la valeur minimale est de l'ordre 1,15.
- Dans la zone près de la route (PmsC) la valeur maximale est de 1,47 et la valeur minimale est de l'ordre 1,43.

Tableau 3: Taille moyenne (Mz) des grains de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage. A: Zone A, B:Zone B, C: Zone c.

	zone a						zone b						zone c						
Ech	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms5	pms6	Pms7	Pms8
Mean	1,43	1,41	1,39	1,44	1,37	1,06	1,15	1,4	1,43	2,14	1,52	1,44	1,44	1,43	1,47	1,45	1,45	1,510	1,110

La comparaison de la taille moyenne des grains de sable de nos échantillons avec celles du tableau de terminologie de la moyenne granulométrique de [Folk et Ward \(1957\)](#) (tableau.2) montre que la taille moyenne de nos échantillons varie de 1,11 à 2.14 (tableau.3) ce qui nous permet de dire que le sable collecté au niveau de cette plage est à grain de taille moyenne.

a.2. Distribution de la taille moyenne des grains (Mean, Mz) dans la plage

Sur la figure (3) on remarque que les profils des échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage sont similaires, ce qui indique une taille moyenne des grains de sable semblable pour ces 3 zones.

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

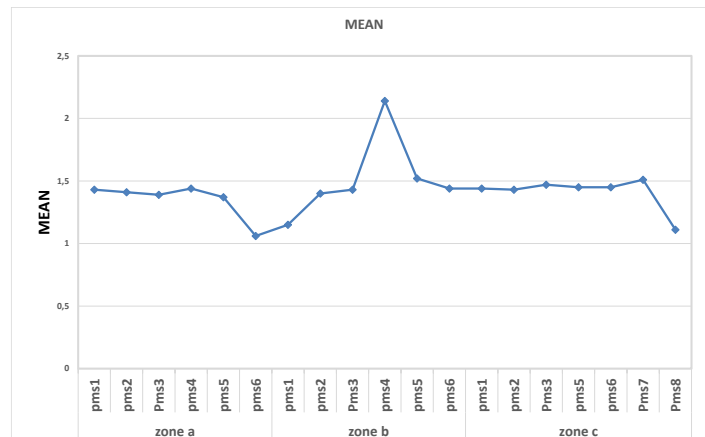


Fig. 14: Représentation de la moyenne granulométrique au niveau du sable de la plage Militaire.

b. Sorting ou indice de tri

Le Sorting index ou indice de tri est le terme utilisé par Folk et Ward (1957), cet indice est donné par la formule suivante :

$$\varphi_i = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6}$$

Où :

φ_{84} : Point de la courbe pour lequel 84% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 84%).

φ_{16} : Point de la courbe pour lequel 16% du matériel est de un taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 16%).

φ_{95} : Médiane Md : point de la courbe pour lequel 95% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 95%).

φ_5 : Point de la courbe pour lequel 5% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 5%).

La terminologie du Sorting Index (σ_i) a été définie par Folk et Ward (1957) (tableau 4).

Tableau 4: Terminologie du Sorting Index (σ_i) définie par Folk et Ward (1957)

$0 < \sigma_i < 0,35$	Très bien trie
$0,35 < \sigma_i < 0,50$	Bien trie
$0,50 < \sigma_i < 0,71$	Assez bien trie
$0,71 < \sigma_i < 1$	Moyennement trie
$1 < \sigma_i < 2$	Médiocrement trie
$2 < \sigma_i < 4$	Très mal trie

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

- Dans la zone a : la valeur maximale est de 0,67 et la valeur minimale est de l'ordre de 0,49.
- Dans la zone b de la plage : la valeur maximale est de 0,51 et la valeur minimale est de l'ordre de 0,44
- Dans la zone c: la valeur maximale est de 0,65 et la valeur minimale est de l'ordre de 0,47

Tableau 5: indice de tri ($S\sigma$) des sables dans les 3 zones de prélèvement de la plage.

zone a							zone b						zone c						
Ech	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms5	pms6	Pms7	Pms8
SORTING	0,49	0,5	0,51	0,49	0,52	0,67	0,51	0,5	0,49	0,51	0,44	0,5	0,49	0,49	0,47	0,48	0,49	0,470	0,650

On remarque que les valeurs de l'indice de tri de nos échantillons sont comprises entre 0.44 et 0.73 (tableau.5), ce qui suggère que le sable de la plage militaire. Selon la terminologie de [Folk et Ward \(1957\)](#) (tableau.4) est un sable très bien trié.

b.1. Distribution des valeurs de l'indice de tri ($S\sigma$) des échantillons de la plage

Sur la figure (4) on remarque que les profils des échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage sont similaires. Ce qui indique que l'indice de tri (Sorting) est presque homogène sur toute la plage militaire.

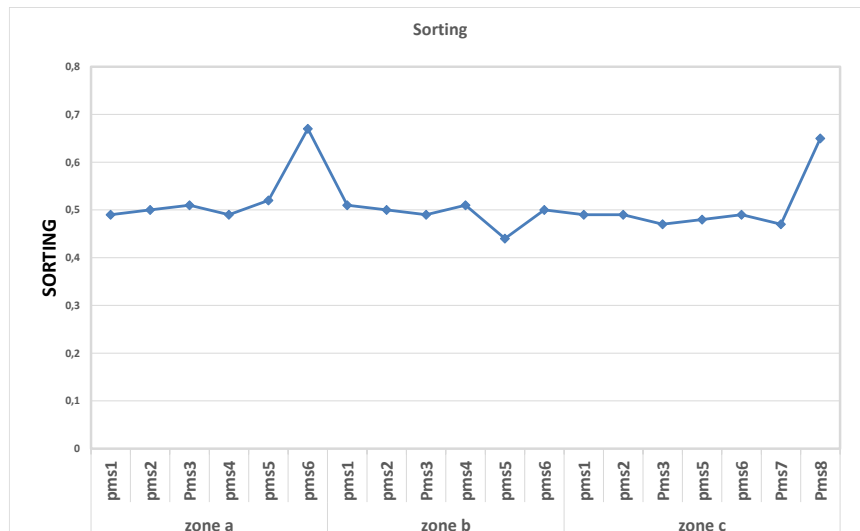


Fig. 15: Diagramme de la distribution de l'indice de trie au niveau du sable de la plage Militaire.

c. Skewness (Sk_i) :

Indice d'asymétrie est donnée par la formule proposé par Folk et Ward (1957) .

$$Sk_i = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} + \varphi_5)}$$

Où:

φ_{16} : Point de la courbe pour lequel 6% du matériel est de un taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 16%).

φ_{84} : Point de la courbe pour lequel 84% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 84%).

φ_{50} : Point de la courbe pour lequel 50% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 50%).

φ_{95} : Médiane M_d : point de la courbe pour lequel 95% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 95%).

φ_5 : Point de la courbe pour lequel 5% du matériel est d'une taille inférieure à celui de la taille considérée (abscisse correspondant à l'ordonnée 5%).

L'indice d'asymétrie permet de déterminer les caractéristiques hydrauliques du milieu de dépôt (tableaux 6).

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

Tableau 6: Terminologie des valeurs de l'asymétrie granulométrique (Ski)

Valeur	Asymétrie	Interprétation
SK<1	Négative	Courant fort : classement meilleur du côté des sables grossiers
SK=1	symétrie	Courant régulier : autant de grossiers que fins
SK>1	Positive	Courant faible : classement meilleur du côté des sables fins

L'étude de l'indice d'asymétrie (**Skewness**) de sable dans les 3 zones de la plage (tableau 6) montre que :

- Dans la zone A (PMsA) la valeur maximale est de 0,18 et la valeur minimale est de l'ordre de -0,48.
- Dans la zone centrale (PMsB) la valeur maximale est de 0,41 et la valeur minimale est de l'ordre -0,56
- Dans la zone C (PMsC) la valeur maximale est de 0,16 et la valeur minimale est de l'ordre -0,57.

Tableau 7: l'asymétrie granulométrique (SK) de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage militaire.

	zone a						zone b						zone c						
Ech	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	Pms3	pms5	pms6	Pms7	Pms8
SKEWNESS	-0,55	-0,52	-0,5	-0,55	-0,51	0,18	0,4	-0,51	-0,54	0,41	-0,57	-0,56	-0,55	-0,54	-0,57	-0,56	-0,56	-0,570	0,160

On remarque que l'indice d'asymétrie varie entre - 0,50 à +0,18 (tableau 7). Ce qui indique que le classement est meilleur du côté des éléments grossiers. Que du côté des fins et que le dépôt s'est fait dans un milieu marin dynamique (courant fort).

c.1. Distribution de l'indice d'asymétrie (skewness, SK_i) dans la plage.

Sur la figure (4) on remarque que : Les profils des échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage sont similaires. Ce qui indique que l'indice d'asymétrie est presque la même sur toute la plage Militaire.

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

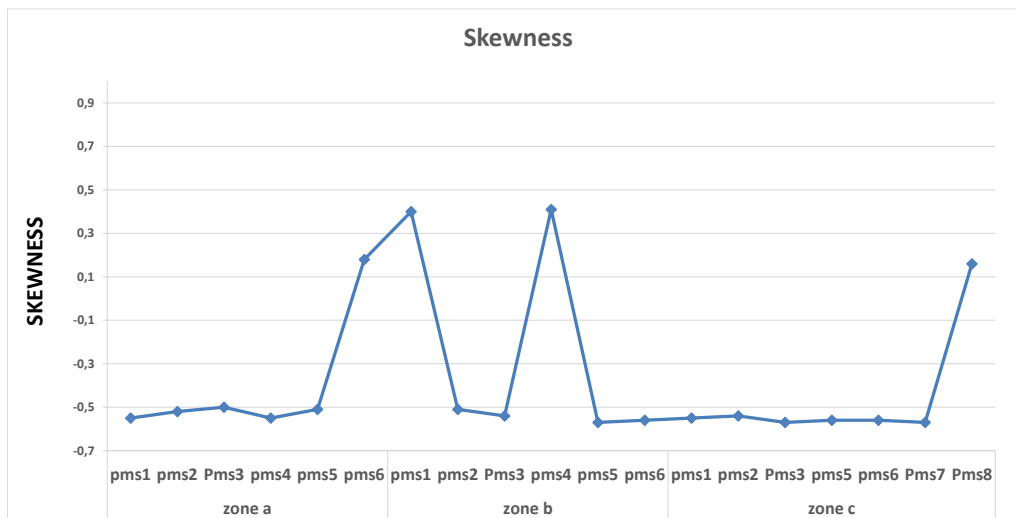


Fig. 16: Evolution de l'Indice d'Asymétrie au niveau du sable de la plage Militaire.

d. Coefficient d'uniformité :

Permet d'exprimer l'étalement de la courbe granulométrique et est calculé par la formule suivante:

$$Cu = D60/D10$$

Où :

D60= diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant.

D10=diamètre effectif des particules qui correspond à 10% du passant. Selon la valeur du coefficient d'uniformité, on reconnaît cinq classes de granulométrie (tableau 8).

Tableau 8: Classement de granulométrie des sables de la plage militaire.

Coefficient d'uniformité	Classes de granulométrie
$Cu \leq 2$	Granulométrie très serrée
$2 < Cu \leq 5$	Granulométrie serrée
$5 < Cu \leq 20$	Granulométrie semi- étalée
$20 < Cu \leq 200$	Granulométrie étalée
$200 < Cu$	Granulométrie très étalée

Tableau 9: coefficient d'uniformité de sable dans les 3 zones de prélèvement de la plage militaire.

	zone A						zone B						zone C						
ech	pms1	pms2	pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	pms3	pms4	pms5	pms6	pms1	pms2	pms3	pms5	pms7	pms8	Moyenne
D60	462.38	479.31	493.25	460.55	495.42	732.1	615.23	487	466.7	317.46	430.59	457.22	460.35	462.96	445.1	451.87	431.26	665.52	489.68
D10	284.78	286.89	289.49	281.86	289.14	316.69	300.6	287.6	284.84	152.13	277.08	282.04	282.43	281.93	280.67	281.22	268.17	301.51	279.39
Cu=D60/D10	1.62	1.67	1.7	1.63	1.71	2.31	2.05	1.69	1.64	2.09	1.55	1.62	1.63	1.64	1.59	1.61	1.61	2.21	1.75

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

On remarque que les valeurs du coefficient d'uniformité de nos échantillons varient sont inférieure à 2 (Tableau 9), ce qui indique d'importantes variations dans la granulométrie du sable étudié. Comparées aux coefficients d'uniformité de [Folk et Ward \(1957\)](#) (tableau 8), il ressort que le sable collecté au niveau de la plage est à granulométrie très serrée et uniforme.

d.1. Distribution des valeurs du coefficient d'uniformité dans la plage

Les échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage ont été représentés sur la figure (6). Les profils de ces échantillons révèlent un coefficient d'uniformité élevé, ce qui indique que le sable collecté à la plage présente une granulométrie très serrée et uniforme.

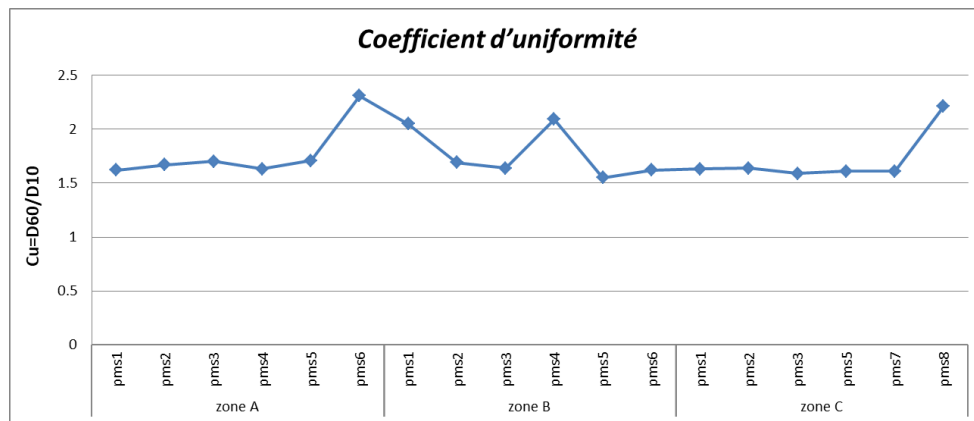


Fig. 17: Coefficient d'uniformité des échantillons prélevés dans les 3 zones de la plage.

Etude minéralogique :

Dans le cadre de la recherche menée par Dr. Chemam Asma dans sa thèse de doctorat, une analyse binoculaire a été réalisée sur le sable sombre de la Plage-Militaire. Cette analyse a permis de mettre en évidence la composition minérale du sable et de déterminer les minéraux dominants dans différentes zones de la plage.

On peut subdiviser la plage en 3 parties (Zone près de l'eau (PmsA), Zone Centrale (PmsB) et Zone près des affleurements (PmsC)). Les résultats ont révélé la prédominance de minéraux colorés tels que le grenat, la staurotite et la tourmaline, avec parfois la présence de disthène ou d'épidote. Il a été observé que le sable de la Plage-Militaire contient une proportion élevée de minéraux colorés, représentant jusqu'à 91% de sa composition. En revanche, la quantité de minéraux clairs tels que le quartz est très faible dans ce sable.

La zone près de l'eau (PmsA) :

Dans la zone A, l'étude des grains de minéraux a été réalisée au microscope binoculaire. Les minéraux identifiés sont le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotite (St), la tourmaline (Tur), le disthène (Ky) et le quartz (Qr).

- **Les grenats :**

Dans la zone étudiée, les grenats sont abondants et dominant par leur couleur rose à rougeâtre de forme sub-automorphe à xénomorphe (Fig.18.A, B, C, D). Certains grenats dans la zone d'étude peuvent également présenter des inclusions (Fig.18.c).

- **Le disthène :**

Se présente sous forme de grains prismatiques de couleur gris-bleuté. Certains grains peuvent être plus sombres en raison de la présence d'inclusions (Fig.18.B, C). Ces inclusions peuvent être des impuretés ou d'autres minéraux présents dans le disthène.

CHAPITRE III : ETUDE MINERALOGIQUE

- **L'épidote :**

Les cristaux d'épidote ont une structure prismatique et sont souvent allongés, variant en taille (Fig.18.A, B, C, D). De couleur vert, qui peut varier du clair au foncé peuvent également être présentes en raison d'impuretés. Les cristaux d'épidote présentent des signes d'usure et d'arrondissement.

- **Les tourmalines :**

Sont de couleur noire, se manifestent sous la forme de cristaux prismatiques allongés, avec des contours qui peuvent être émoussés ou sub-arrondis(Fig.18.A.B.C.D).

- **Le quartz :**

Les grains de quartz dans le sable sont sub-arrondis et peuvent avoir une teinte jaunâtre ou un aspect blanc laiteux (Fig.18.A.B).

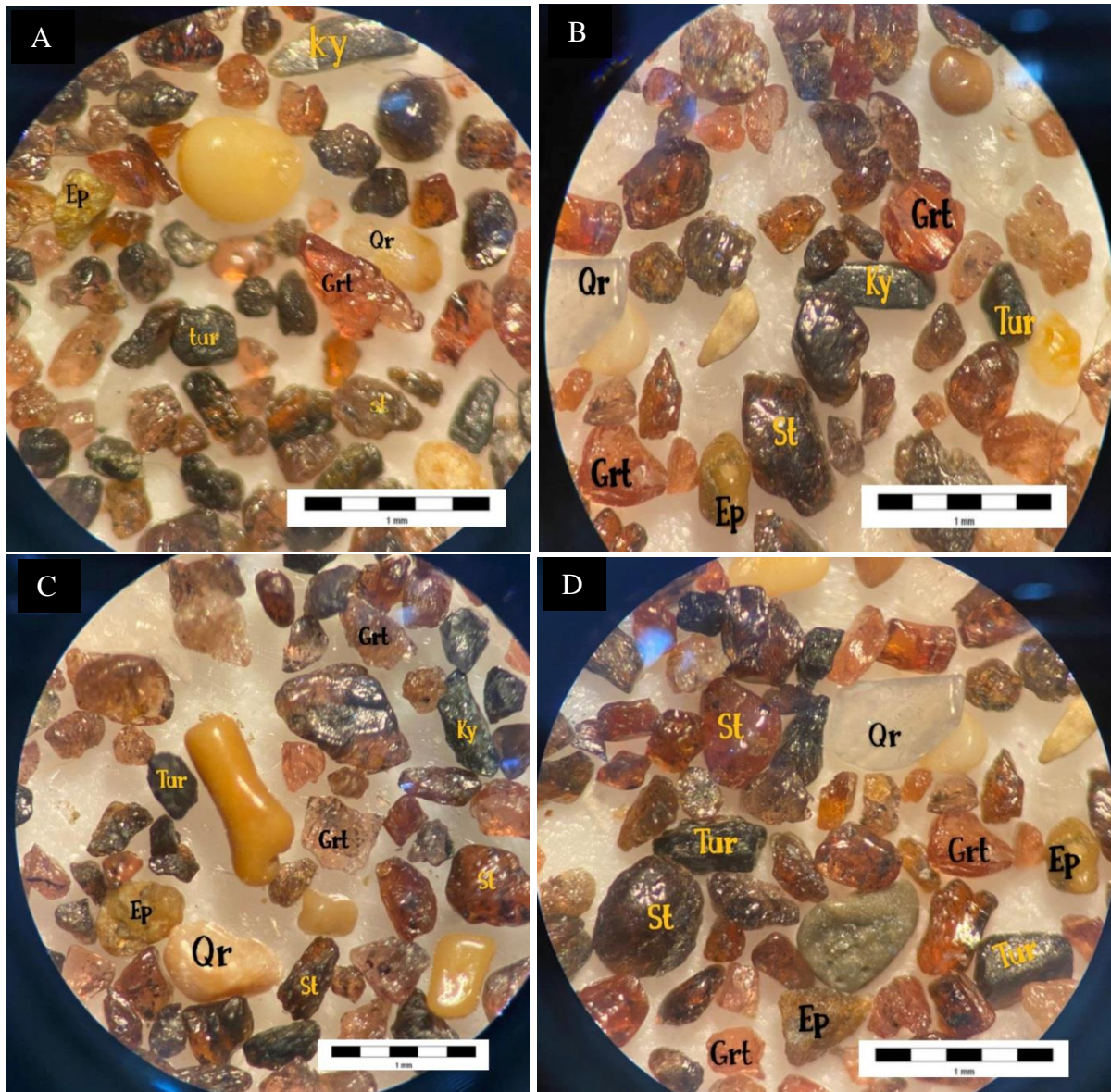


Fig. 18: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (la zone près de l'eau) Abréviations selon Whitney et Evans, 2010. Grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotide (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).

CHAPITRE III : ETUDE MINERALOGIQUE

Dans la zone centrale (PmsB) :

On y rencontre du sable sombre se caractérise par l'abondance du grenat, de la staurotide, du le disthène et de quelques tourmalines et épidotes e rarement le quartz.

- **Le grenat**

Ils se présentent en grains arrondis à contours émoussés ou en grains sub-arrondis de couleur rougeâtre, rose ou brunâtre (Fig.19.B, C, D).

- **Tourmalines:**

les cristaux se présentent en grains prismatique à contours émoussés ou en grains sub-arrondis de couleur noire (Fig.19.A, B, C).

- **Staurotide:**

On les trouve sous forme de baguettes automorphes à subautomorphes parfois aronde de couleur miel (Fig.19.A, B, C, D).

- **Epidote:**

Les grains sont parfois prismatiques et allongés, de couleur verte. Certains grains sont automorphes (Fig.19.a, b,c).

- **Le quartz:**

Il est souvent jaunâtres ou blanc cassé, rarement translucide. Les cristaux de quartz se présentent parfois sous la forme de cristaux allongés. (Fig.19.a, b).

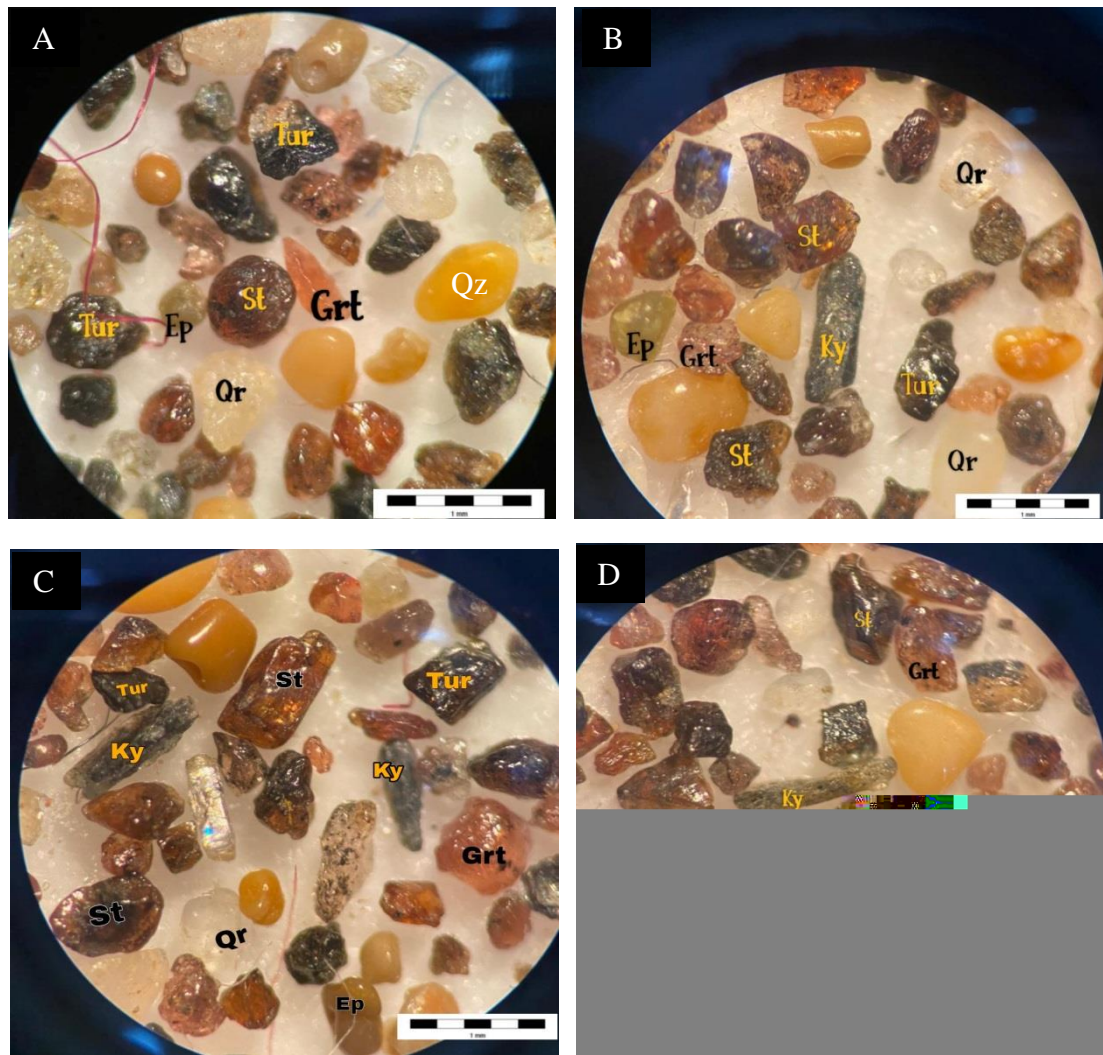


Fig. 19: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (Dans la zone centrale) - Identification des minéraux le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotite (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).

Zone près de la route (PmsC) :

Dans la zone C , l'étude des grains de minéraux a été réalisée au microscope binoculaire. Les minéraux identifiés sont le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotite (St), la tourmaline (Tur), le disthène (Ky) et le quartz (Qr).

- **le quartz :**

Les cristaux sont sub-automorphes, de couleur blanchâtre et de forme arrondie.

- **Les grenats :**

Les grains sont globuleux de couleur rouge-brun à rose, cependant les débris anguleux ne sont pas rares. (Fig.20).

CHAPITRE III : ETUDE MINÉRALOGIQUE

- **Les tourmalines :**

Elles se présentent en grains noirs prismatiques à contours émoussés ou en grains sub-arrondis (Fig.20).

- **l'épidote :**

Le minéral est de couleur verte. Les cristaux sont prismatiques (Fig.20) le plus souvent arrondis par l'usure.

- **La staurotide :**

Les grains sont de couleur miel. Quelques grains sont xénomorphes. Parfois la staurotide est aciculaire ou prismatique automorphe. Certains portent des traces d'usure (Fig.20).

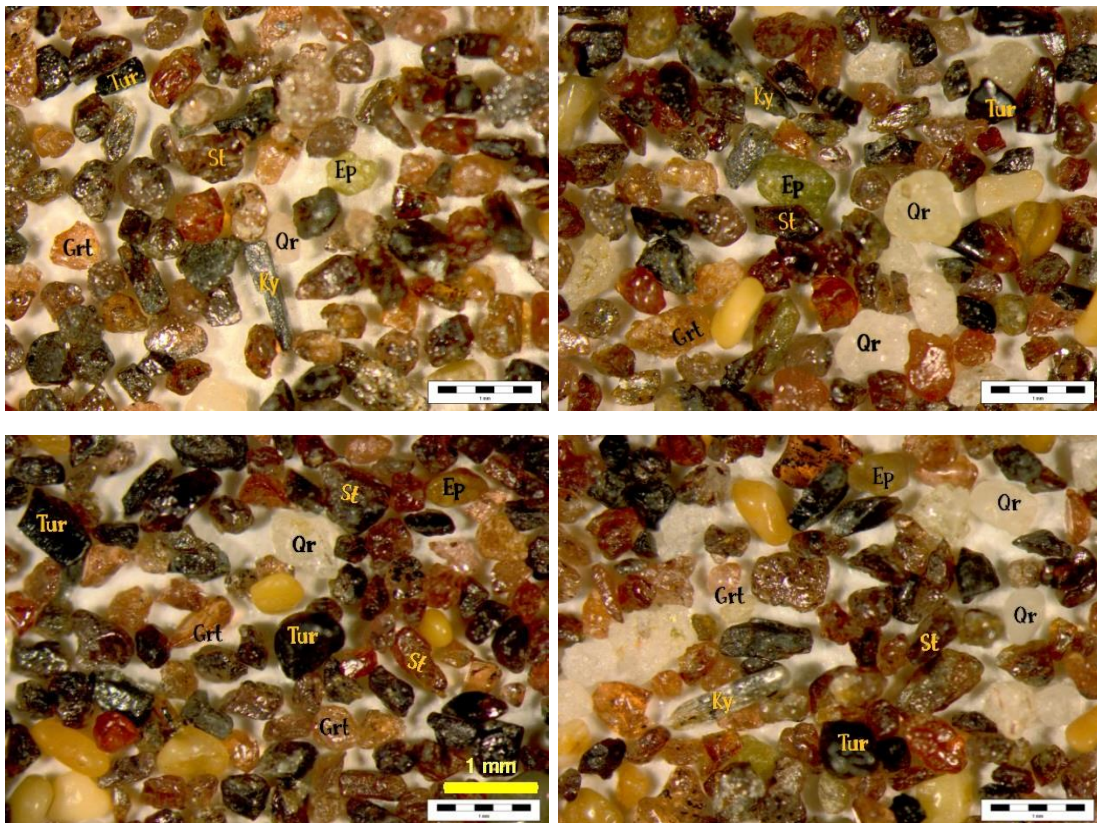


Fig. 20: Microscope binoculaire du sable sombre de la Plage Militaire (Dans la zone près de la route) - Identification des minéraux le grenat (Grt), l'épidote (Ep), la staurotide (St), la tourmaline (Tur) et le disthène (Ky), le quartz (Qr).

ETUDE MORPHOSCOPIQUE

La morphoscopie se base sur l'identification des facteurs physiques, chimiques, mécaniques et biologiques qui laissent à la surface des grains de quartz des empreintes. L'analyse de ces empreintes permet la recherche de la nature de l'agent de transport au travers de l'identification des critères d'usure des grains.

L'étude morphoscopique a été réalisée à la loupe binoculaire et les interprétations sont basées sur [les travaux de Cailleux et Tricart \(1959\)](#) (Fig.21).

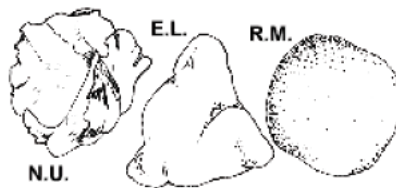


Fig. 21: Classification morphoscopique des grains de sable selon Cailleux et Tricart (1959). N.U = Non Usés = grains non usés, anguleux, ils ont subi un faible transport hydrique (transport par l'eau), - E.L = Émoussés Luisants = grains brillants ou luisants, ont des arêtes estompées par un fort transport hydrique (transport par l'eau), - R.M. = ronds Mats = grains ronds mats et arrondis par un transport éolien (vent).

Pour l'étude morphoscopique des grains du sable de la plage militaire, des échantillons ont été prélevés dans 3 zones : au bord de l'eau, au centre de la plage et en haut de la plage loin du bord de l'eau (Fig.22).



Fig. 22: Zones de prélèvement des échantillons pour l'étude morphoscopique.

L'examen des grains de sable de la plage militaire montre une différence morphoscopique selon la position de l'échantillon par rapport à l'eau. La morphoscopie des grains du sable sombre.

Le sable sombre prélevé près de l'eau montre qu'une grande partie des grains sont émoussés, arrondis et à surface luisante ce qui indique que le polissage a été causé principalement par l'eau (Fig.23.A).

La partie centrale de la plage montre, comme pour le sable clair, une morphoscopie mixte des grains, le mélange de grains émoussé luisants et de grains émoussés mats (Fig.23.B) indique que l'abrasion est d'origine éolienne et hydrique.

CHAPITRE III : ETUDE MINERALOGIQUE

La prédominance de grains émoussés mats et parfois de grains non usés dans la zone haute de la plage indique une action abrasive principalement par le vent et dans une moindre mesure par l'eau (Fig.23.C).

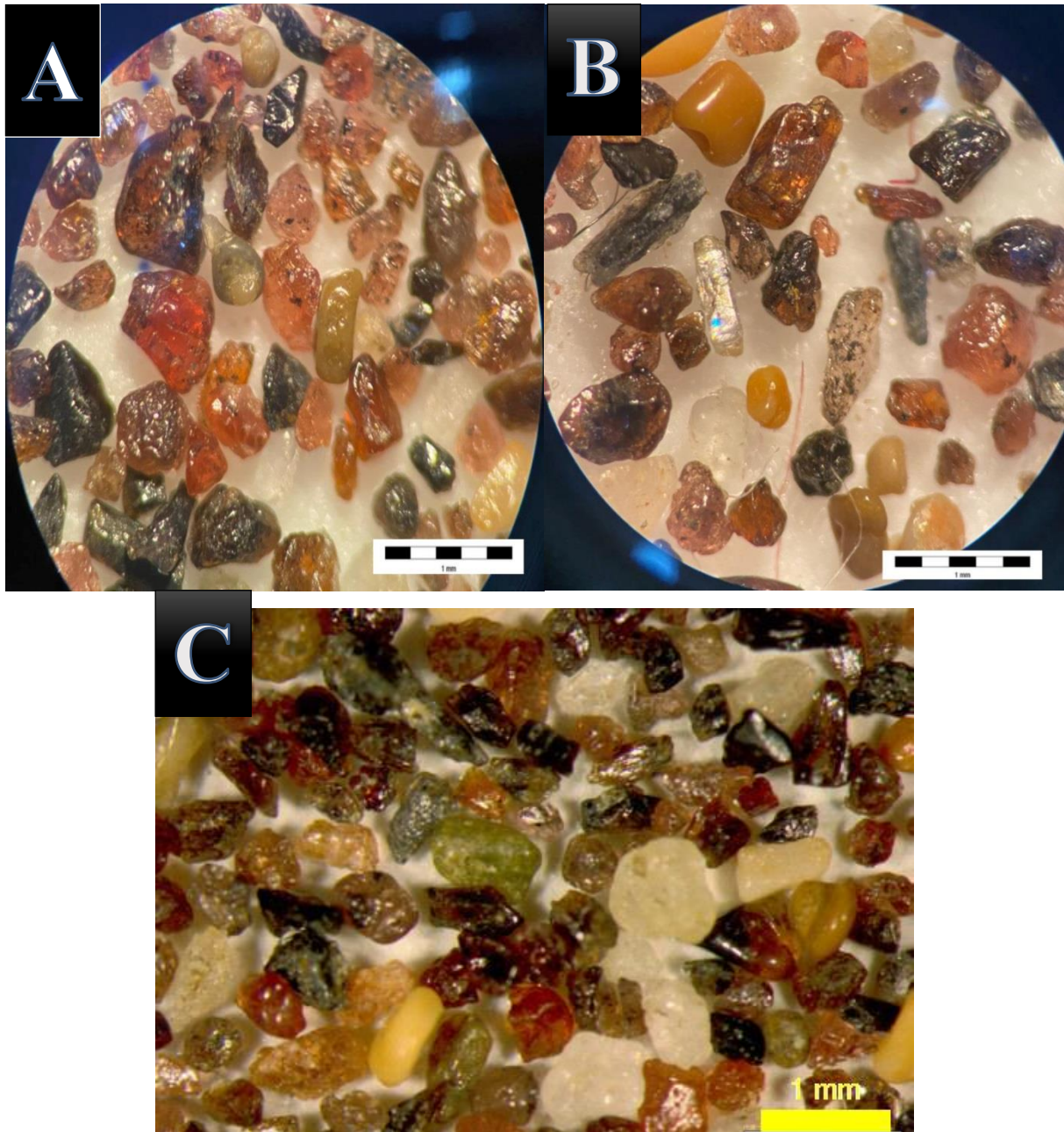


Fig. 23: Morphoscopie des grains de sable :A) prédominance de grains émoussés, arrondis et à surface luisante, B) morphoscopie mixte des grains, on remarque un mélange de grains émoussés luisants et de grains émoussés mats, C) prédominance de grains émoussés mats et parfois de grains non usés.

CONCLUSION

L'étude approfondie de la zone d'étude (Plage Militaire) située dans le massif du Cap de Garde/Edough a permis d'acquérir de précieuses connaissances sur les caractéristiques géologiques, lithologiques, minéralogiques et granulométriques de cette région côtière.

Les observations détaillées ont révélé la présence des formations géologiques métamorphiques, notamment les micaschistes à grenat, staurotide et, ainsi que les cipolins et les bancs de skarns, les formations récente représenté par des sables de plage

L'analyse binoculaire a révélé une concentration élevée de minéraux sombres tels que les grenats, les staurotide, les tourmalines, les épidotes et le disthène.

L'analyse granulométrique a permis d'établir que le sable de la Plage Militaire présente une distribution bimodale avec une taille moyenne modérée. Cette caractéristique, associée à un triage efficace et un empilage serré des grains, suggère un environnement de dépôt soumis à des courants forts. Ces résultats offrent un aperçu précieux des processus de transport et de sédimentation dans cette zone côtière.

Par ailleurs, il est important de souligner que l'érosion du sable de la Plage Militaire est principalement influencée par l'action de l'eau, tandis que l'érosion éolienne joue un rôle mineur.

En somme, cette étude approfondie a contribué de manière significative à notre compréhension des caractéristiques géologiques et des processus géomorphologiques de la Plage Militaire.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Ahmed Said ,Y., Leake, B.E et Rogers, G.,1993.** The petrology, geochemistry et petrogenesis of the Edough igneous rocks Annaba NE Algeria; J. Afr. Earth Sci. 17(1)111–123.
- **Ahmed Said, Y., Leake ,B. E.,1992.** The composition et origin of the Kef Lakhalamphibolites et associated amphibolites et olivine-rich enclaves, Edough, Annaba,NE Algeria; Min Mag. 56(4) 459–468.
- **Bossière,G., Collomb, P et Mahdjoub, Y., 1976.** Sur un gisement de Péridotites découvert dans le massif cristallophyllien de l'Edough (Annaba, Algérie).C.R.Acad.Sci., Paris, 283. Série II, 885–888.
- **Brunnel M., Hammor D, Misserie, M, Gleizes,G et Bouleto, J., 1988.** Cisaillements symmétamorphiques avec transport vers le Nord-Ouest dans le massif cristallinde l'Edough (Est Algérien). C. R. Acad.Paris, 306: 1039-1045.
- **Caby, R., Hammor ,D., Delor, C., 2001.** Metamorphic evolution, partial melting Et Miocene exhumation of lower crust in the l'Edough metamorphic core complexe, west mediterraneanorogen, eastern Algeria.Tectonophysics, 342, 239-273.
- **Caby, R., Hammor, D., 1992.** Le massif de l'Edough (Algérie) : Un "MétamorphicCoreComplex" d'âge miocène dans les Maghrébides. C. R. Acad. Sci. Paris, t .314, Série II, p. 829-835.
- **Cailleux (A.) et Tricart (J.).** — Cours de Géomorphologie. . In: Revue de géographie alpine, tome 47, n°2, 1959. pp. 278-279.
- **Folk, R Et Ward, W., 1957.** Brazors river bors, a study in significance of grain size parameters. J. Sedim. Petrol., Vol. 27, pp. 13-27.
- **Gleizes, G., Bouleton, J., Bossiere, G et Collomb, P., 1988.** Données lithologiques et lithologiques et pétrostructurales nouvelles sur le Massif cristallophyllien de l'Edough(Est Algérien). C. R. Acad. Sci. Paris Ser. II 306, 1001–1008.
- **Hadj Zobir, S., Laouar, R et Oberhanslir, R., 2007.** Les metabasites de Sidi Mohamed Edough NE Algérien Caractéristiques pétrographiques minéralogiques et géochimiques; Serv. Géol. Nat. 18 25–41.
- **HadjZobir, S., Altenberger, U, Gunter, C., 2014.** Geochemistry et petrology of metamorphosed submarine basic ashes in the Edough Massif (Cap de Garde, Annaba,northeastern Algeria). C. R. Geosci 346 244–254.

- **HadjZobir, S., Oberhansli, R., 2013.**The Sidi Mohamed peridotites (Edough Massif, NE Algeria): Evidence for an upper mantle origin. *J. Earth Syst. Sci.* 122 (6), 1455–1465.
 - **Hammor, D et Lancelot, J., 1998.** Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le Massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie). *C.R Acad. Sci., Paris*, 327, sérieII ,391-396.
 - **Hammor, D., 1992.** Du panafricain au miocène : 600 Ma.D'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie nord-orientale) retracée par pétrologie, tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$) Nouvelle thèse, Université de Montpellier II ,France.
 - **Hilly, J., 1962.** Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est Constantinois). *Publ. Ser. Carte Géol. Algérie* 19, 408 p.
 - **Ilavsky, J et Snopkova, P., 1987.** Découverte d'acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie).*C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 305, Série II, p. 881-884.
 - **Laouar, R., Boyce, A.J., Ahmed-Said, Y., Ouabadi, A., Fallick, A.E etToubal, A., 2002.** Stable isotope study of the igneous, metamorphic et mineralized rocks of theEdough complex, Annaba, Northeast Algeria.*J. Afr. Earth Sci*, 35,271-283.
 - **Miskovsky, J.C et DEBARD E., 2002.** Granulométrie des sédiments et étude de leur fraction grossière. In *MISKOVSKY J.C (sous la direction de) : Géologie de la Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications.* Edit. Géopré., 479-500.
 - **Monie, P., Montigny, R. ET Maluski, H., 1992.** Age burdigalien de la tectonique ductile extensive dans le massif de l'Edough (Kabylies, Algérie). Données radiométriques $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 163, 571-584.
 - **Toubal, A., 1986.** Découverte d'une lherzolithe Oued Begraa. M. Edough. 6ème Séminaire des sciences de la terre, Alger. p105.
 - **Vila, J. M., 1970.**Le Djebel Edough: un massif cristallin externe du N.E. de la Berbérie. *Bull. Soc. Géol. Fr*, 7, (XII), 805-812.
- Whitney DJ, Evans B.W., 2010.** Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am Mineral* 95(1), p.185-1.