



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Scientifique

جامعة عين تموشنت

Université Ain Témouchent - Belhadj Bouchaib –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie civile

## Projet de Fin D'études

*Pour L'obtention du diplôme de Master en Génie Civil*

*Domaine: SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE*

*Filière: Génie Civile*

*Option : Structure*

**Thème :**

# Effet de sable de dune sur les caractéristiques mécanique

**Préparé par :**

- Blel omar
- Rachedi adel said

**Sous Encadrement:**

- Prof: Derbal ahlem

**Devant le jury compose de:**

Dr. Marouf Hafida	Président	Université Ain Temouchent
Dr. Amar Khled	Joury	Université Ain Temouchent
Dr. Derbal Ahlem	Encadrement	Université Ain Temouchent

**Année Universitaire : 2020-2021**

# Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais d'abord remercier Dieu

Le miséricordieux qui m'a donné la volonté et la patience de compléter ces notes.

J'exprime ma profonde et respectueuse gratitude à Mme.

**"Derbal Ahlem"**.

Cela nous a conduit à ce travail de recherche avec soin et développer efficacement ce travail.

Je la remercie chaleureusement pour son leadership dans ce travail, pour l'intérêt

Ce qu'il a apporté, des conseils, de la disponibilité et de la patience.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude

Tous les professeurs et ouvriers de l'Université Ain Temouchent

Enfin, j'espère que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation trouveront ici ma plus profonde gratitude.

# Dédicace

Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, car il a eu le premier mérite pour mes études supérieures (mon père bien-aimé), que Dieu prolonge sa vie.

A celui qui m'a mis sur le chemin de la vie, m'a calmé et m'a nourri jusqu'à ce que je devienne vieux (ma chère mère), que Dieu bénisse son âme.

A mes frères, qui ont eu un grand impact dans de nombreux obstacles et difficultés, à tous mes chers professeurs, qui n'ont pas hésité à me tendre la main. Surtout mon professeur encadré

A celui qui a été avec moi dès mes premiers jours et a été mon soutien

A chaque ingénieur et technicien du laboratoire de la cimenterie de Bani Saf.

A tous ceux qui ont illuminé mon coeur avec un mot gentil

Je vous dédie cette recherche de fin d'études au Collège des Sciences et Techniques, spécialisée en Structures de Génie Civil, intitulée "Effet de sable de dune sur les caractéristiques mécanique"

Nous demandons à Allah d'aider et de guider.

# Sommaire

---

## Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des Graphe.....	X
Introduction générale.....	1

## Chapitre 01: Valorisation de sable des dunes

1.Introduction4.....	
2.Définition de sable7.....	
3.Les classes de sables8.....	
4.Caractéristiques physicochimique8.....	
5.Écologie des milieux sableux10.....	
6.les familles de sables10.....	
7.Les sables de dunes12.....	
7.1. Définition.....	12
7.2. Qu'est ce qu'une dune.....	12
7.3. Intérêt de sable de dune.....	13
7.4. Type de dune.....	13
7.5. Les formes de sable de dune.....	14
7.6. Les différents milieux de la dune.....	15
7.7. La dune littorale :.....	19
7.8. Mécanismes de formation.....	20
7.9. Physique des dunes.....	21
7.10. Propriétés.....	23
7.11. Utilisation du sable de dunes.....	23
Conclusion.....	25

## Chapitre 02: Matériaux utilisés et méthodes d'essais

1.Introduction27.....	
-----------------------	--

# Sommaire

---

2.Caractéristique des matériaux utilisés	28
3.Sable	28
3.1. Les essais utilisés dans le sable de dune	29
3.2. Sable de carrière << SD2>>	41
3.3. Le sable corrigé	42
4.Ciment	45
5.L'eau de gâchage	46
6.Formulation des mortiers	46
7.Essai sur les mortiers	47
7.1. Essai de la perte de masse	48
7.2. Essai de résistance à la flexion	48
7.3. Résistance à la compression	49
Conclusion	50

## Chapitre 03: résultats et analyses

1.Introduction	52
2.Perte de masse	52
2.1. Perte de masse des éprouvettes de mortier avec sable normalisé	52
2.2. Perte de masse des éprouvettes de mortier avec sable de dune	53
3.Résultats des essais de traction par flexion et des essais de compression	53
3.1. Eprouvettes de mortier de sable normalisé	53
4.Résultats des essais de traction par flexion et des essais de compression	55
4.1. Eprouvettes de mortier de sable de normalisé	55
Conclusion	57
Conclusion Generale	59
Références Bibliographiques	61

## Liste des figures

N° Figure	Titre de la Figure	N° Page
1	<i>Situation géographique des ergs de l'Algérie</i>	01
<b>Chapitre 01</b>		
1.1	le sable	08
1.2	Sable de Largeur de champ = 5,5 mm et 0,50 et 1.0 mm	09
1.3	le sable roulé siliceux	11
1.4	les sables de concassages calcaire	11
1.5	le sable de dune	12
1.6	la dune de Sahara algérienne	13
1.7	Les formes de dunes	15
1.8	coupe transversale des différents milieux de la dune	16
1.9	Dune verte	16
1.10	la dune blanche ou jaune	17
1.11	la dune grise	18
1.12	la dune noire	18
1.13	la dune brune	19
1.14	Dune baltique	19
1.15	mouvement des dunes	20
1.16	La formation dunaire	21
1.17	La barkhane ( Sud-Marocain )	22
1.18	la morphologie de la barkhane	23
<b>Chapitre 02</b>		
2.1	Sable de dunes de NAAMA	28
2.2	Sable de carrière SACOA	28
2.3	carte d'Algérie (wilaya de NAAMA)	29
2.4	Analyse de bleu méthylène	30
2.5	résultat de bleu méthylène	30

## Liste des figures

2.6	vibreux de tamis	31
2.7	tamis en mm	31
2.8	Résultat d'équivalent de sable	34
2.9	Les matériaux de la masse volumique apparente	35
2.10	les échantillons avant l'étuve	37
2.11	Étuve du laboratoire de MDC du C.U.A.T	37
2.12	les échantillons après l'étuve	37
2.13	Les matériaux de Foisonnement de sable	38
2.14	four à 450°	40
2.15	Les matériaux de Matière organique	40
2.16	les échantillons après calcinations	40
2.17	le sable corrigé	43
2.18	Le ciment utilise	45
2.19	Le malaxeur Hobart électrique	47
2.20	Eprouvette prismatique 4x4x16 cm	47
2.21	Appareil de chocs	47
2.22	Machine de compression et de flexion	48
2.23	écrasement des éprouvettes du mortier	49
2.24	éprouvette du mortier après l'écrasement	49
<b>Chapire 03</b>		
3.1	Perte de masse des éprouvettes de mortier de sable normalisé	52
3.2	Perte de masse des éprouvettes de mortier de dune	53
3.3	Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable normalisé	54
3.4	Résistance de compression des éprouvettes de mortier normalisé.	55
3.5	Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de mortier de sable de dune	56
3.6	Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable de dune	56

## Liste des Tableaux

N° Figure	Titre de la Figure	N° Page
1	<i>Situation géographique des ergs de l'Algérie</i>	01
<b>Chapitre 01</b>		
1.1	le sable	08
1.2	Sable de Largeur de champ = 5,5 mm et 0,50 et 1.0 mm	09
1.3	le sable roulé siliceux	11
1.4	les sables de concassages calcaire	11
1.5	le sable de dune	12
1.6	la dune de Sahara algérienne	13
1.7	Les formes de dunes	15
1.8	coupe transversale des différents milieux de la dune	16
1.9	Dune verte	16
1.10	la dune blanche ou jaune	17
1.11	la dune grise	18
1.12	la dune noire	18
1.13	la dune brune	19
1.14	Dune baltique	19
1.15	mouvement des dunes	20
1.16	La formation dunaire	21
1.17	La barkhane ( Sud-Marocain )	22
1.18	la morphologie de la barkhane	23
<b>Chapitre 02</b>		
2.1	Sable de dunes de NAAMA	28
2.2	Sable de carrière SACOA	28
2.3	carte d'Algérie (wilaya de NAAMA)	29
2.4	Analyse de bleu méthylène	30
2.5	résultat de bleu méthylène	30

## Liste des Tableaux

2.6	vibreux de tamis	31
2.7	tamis en mm	31
2.8	Résultat d'équivalent de sable	34
2.9	Les matériaux de la masse volumique apparente	35
2.10	les échantillons avant l'étuve	37
2.11	Étuve du laboratoire de MDC du C.U.A.T	37
2.12	les échantillons après l'étuve	37
2.13	Les matériaux de Foisonnement de sable	38
2.14	four à 450°	40
2.15	Les matériaux de Matière organique	40
2.16	les échantillons après calcinations	40
2.17	le sable corrigé	43
2.18	Le ciment utilise	45
2.19	Le malaxeur Hobart électrique	47
2.20	Eprouvette prismatique 4x4x16 cm	47
2.21	Appareil de chocs	47
2.22	Machine de compression et de flexion	48
2.23	écrasement des éprouvettes du mortier	49
2.24	éprouvette du mortier après l'écrasement	49
<b>Chapire 03</b>		
3.1	Perte de masse des éprouvettes de mortier de sable normalisé	52
3.2	Perte de masse des éprouvettes de mortier de dune	53
3.3	Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable normalisé	54
3.4	Résistance de compression des éprouvettes de mortier normalisé.	55
3.5	Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de mortier de sable de dune	56
3.6	Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable de dune	56

## Liste des Graphe

---

<b>N° Graphe</b>	<b>Titre du Graphe</b>	<b>N° Page</b>
2. 1	Granulométrie par tamisage de sable de dune « SD1 »	33
2. 2	Granulométrie par tamisage de sable de carrières « SD2»	42
2. 3	Granulométrie par tamisage de sable corrigé	44

# Introduction générale

# Introduction générale

De nos jours le béton est devenu le matériau le plus utilisé au monde dans le domaine du génie civil. Les pratiques de l'industrie du béton sont conditionnées par les ressources locales et sont relativement traditionnelles. Cependant, l'industrie du béton est confrontée ces dernières années à des changements importants : utilisation d'adjuvants de plus en plus performants, développement de nouveaux bétons (bétons à hautes performances, béton auto-compactant).

En Algérie, Les organismes de contrôle de la qualité du béton de structure exigent à ce que les agrégats sont constitués à partir des sables alluvionnaires ou de carrière et du gravier concassé ; tous ces facteurs incitent les acteurs du secteur du génie civil à rechercher la valorisation d'autres matériaux locaux de substitution qui soient aptes à fournir, si possible, des bétons de qualité équivalente aux bétons ordinaires.

le sud Algérien dispose des réserves naturelles importantes renouvelables en sable de dune, caractérisé par une granulométrie fine mais de composition chimique et minéralogique riche en silicium malgré l'abondance ce matériau reste inconnu. Le sable de dune de l'erg occidental occupe 6% de la surface du Sahara Algérien.

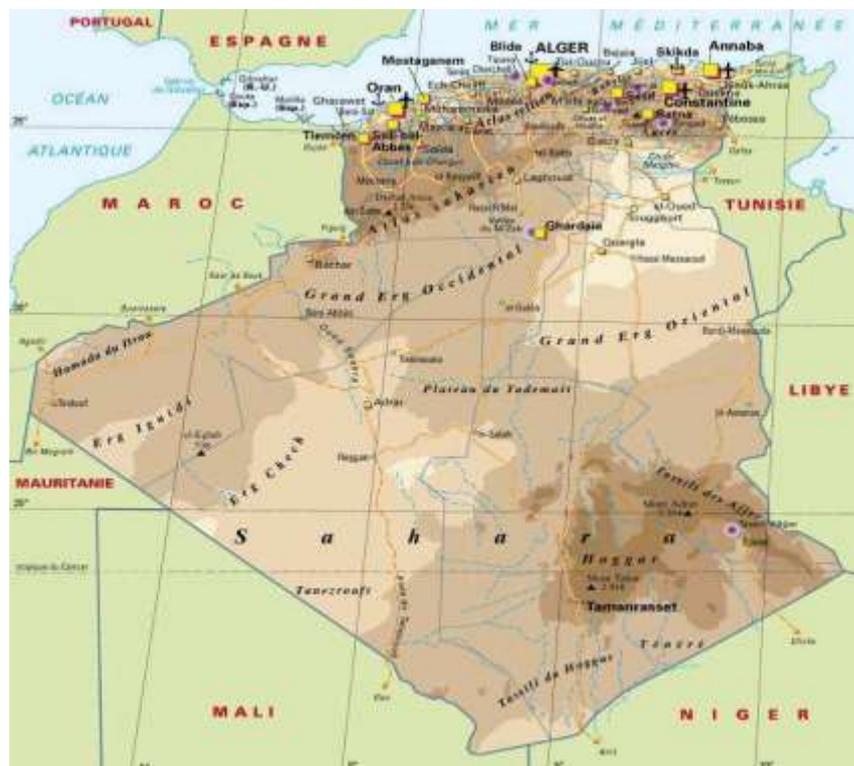


Figure 1. : Situation géographique des ergs de l'Algérie.[ 1]

# Introduction générale

---

Certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction : indice de propreté élevé et absence dans sa composition de matières organiques et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfures ou carbonates.

Les ressources en granulats sont rares dans la majorité des régions, ceci nous encourage à chercher des techniques permettant de valoriser des matériaux disponibles localement, et de les utiliser dans les différents domaines de construction, d'où l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter l'utilisation de sable de dunes pour la formulation des bétons dont il serait le constituant principal.

Notre présente étude s'inscrit dans cette politique de valorisation du sable de dune de Naama. Son exploitation en génie civil présente un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie. La hausse de la demande du sable de construction dans ce pays et l'incapacité des carrières locales à fournir du sable fin de granulométrie inférieure à 2 mm, nous ont poussé à étudier la faisabilité d'incorporer ce type de sable dans des nouveaux bétons.

➤ Ce mémoire sera organisé comme la suite :

**La première partie** : est consacré à une étude bibliographique qui décrit le sable de dune et sa valorisation dans le domaine de la construction.

**La deuxième partie** : c'est une étude expérimentale composée de deux chapitres, le premier définit les matériaux et les méthodes d'essais utilisés pour les confections des mortiers.

Dans le troisième chapitre on présente les résultats obtenus et leurs interprétations ; enfin on retrouve une conclusion générale.

# Chapitre 1

## Valorisation de sable des dunes

## 1. Introduction :

Les sables de dune sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigation menées dans le saharien algérien ont mis en évidence des provinces minéralogiques homogènes. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et granulaire quasi similaires. Depuis et ce à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche.

<b>Chercheur</b>	<b>Thème</b>	<b>Type d'essai</b>	<b>Remarque</b>
S. Guettala, B. Mezghiche 26 au 30 août 2013	Influence de l'addition du sable de dune en poudre au ciment sur les propriétés des bétons	des essais de compression, flexion et traction par fendage sur des éprouvettes cubiques	l'utilisation du ciment prémélangé au sable de dune en poudre est un excellent moyen pour diminuer les émissions de dioxyde de carbone, améliorer les propriétés physiques et mécaniques des bétons.
Laid BEDADI Mohamed Tahar BENTEBBA Juin 2011	Etude expérimentale d'un béton de sable de dune pour la fabrication des dalles et pré dalles armées et faiblement armées	Essai de consistance Essai de compression Essai de traction Essai ultrasonique	La substitution du sable alluvionnaire très utilisée généralement dans la région d'Ouargla peut être remplacé dans la majorité des bétons avec le sable de dune corrigé par le sable alluvionnaire.

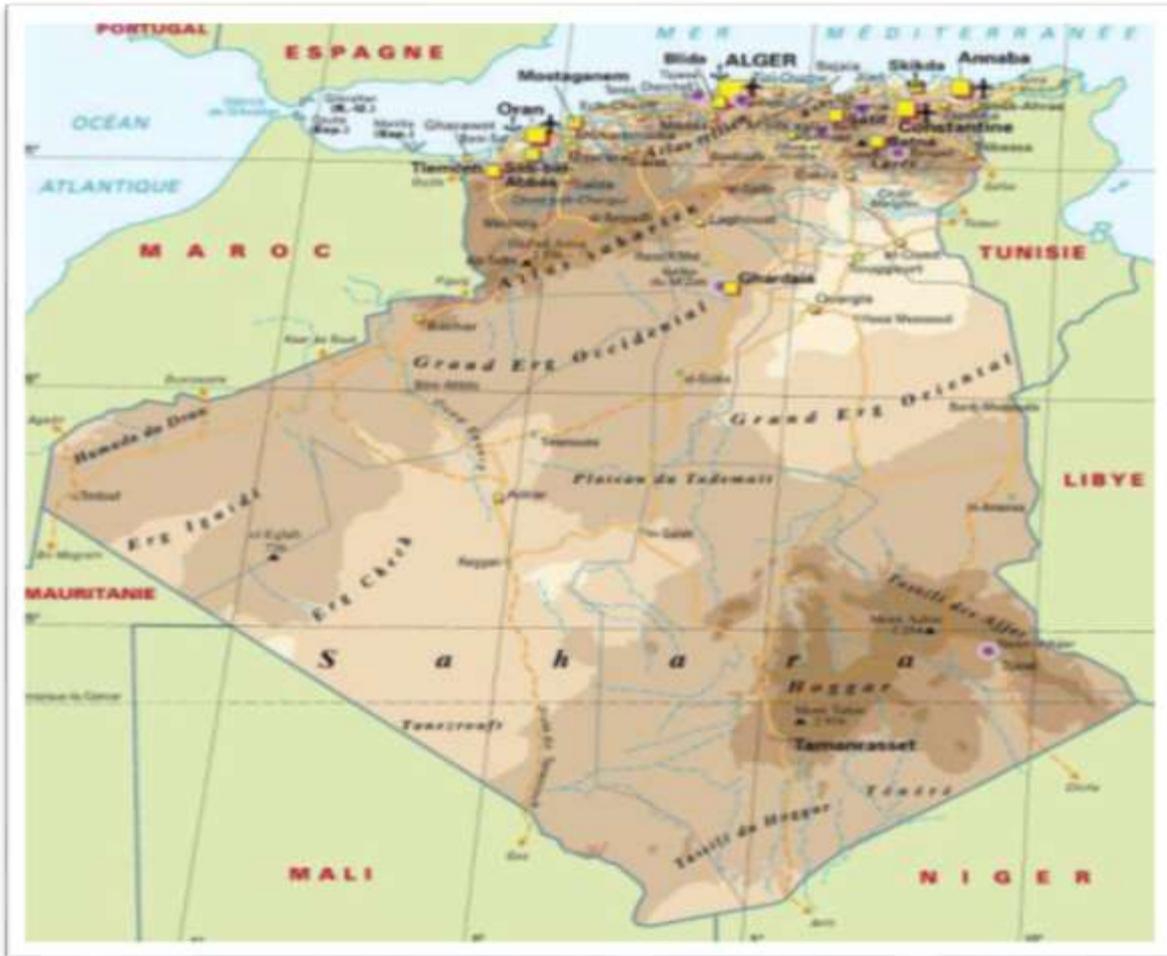
<p>A. Bouaziz, R. Hamzaoui, S. Rezigue, A. Bennabi 29 au 31 mai 2013</p>	<p>Valorisation du sable de dune dans les formulations des mortiers et des bétons</p>	<p>essais de compression, flexion</p>	<p>L'utilisation du sable alluvionnaire dans la formulation du béton, donne des résistances supérieures par rapport à ceux obtenus dans le cas de l'utilisation du sable de dune.</p>
<p>Benchaa Benabed, Lakhdar Azzouz, El-hadj Kadri, Akram Salah Eddine Belaidi, Hamza Soualhi 6 au 8 juin 2012</p>	<p>Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes</p>	<p>essais de compression, flexion</p>	<p>-Les résistances mécaniques des mortiers augmentent avec le temps. -Les mortiers MSAD du sable mélange présentent les meilleurs performances mécaniques.</p>
<p>AZZOUZ Hocine 03/05/2009</p>	<p>Etude des bétons à base des sables de dune</p>	<p>essais de compression, flexion la traction par fendage</p>	<p>Le béton à base de sable de dune donne des résistances à la compression satisfaisante. Le module de déformation diminue avec l'augmentation de la contrainte relative</p>

Gueddouda Mohamed Kamel, Goual Idriss, Taibi Saïd, Abou- Bekr Nabil, Lamara Mohamed 13-15, 2015	Conductivité hydraulique non saturée du mélange sable de dune-bentonite compacté.	Essai de perméabilité.	Les essais préliminaires basés sur le critère de perméabilité satisfait ce critère pour la conception des barrières ouvragées des fonds dès CET.
--	---	---------------------------	---

**Tableau 1.1** : Les avantages et les inconvénients du béton léger[2]

Récemment, une mission analogue dans certaines régions du sud algérien, entreprise dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, a également confirmé cette similarité des caractéristiques des sables de dune de NAAMA.

Le sable de dune peut être considéré comme une source quasi inépuisable de matériau. L'utilisation et l'exploitation future de ce type de sable constituent ainsi une des nouvelles préoccupations des chercheurs et intéressent différents domaines comme la microélectronique, l'énergie solaire (cellule photovoltaïque), la métallurgie, le génie civil, et le génie mécanique. Ses applications et son exploitation sont liées à sa teneur en silice et à la taille, la forme et la nature de ses grains.



**Figure 1.1** : Situation géographique des ergs de l'Algérie [1]

Nous nous sommes donc intéressés à la valorisation de ce type de sable de dune de Naama dans la fabrication de béton car il influence à la fois les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci (résistance mécanique et durabilité) Compte tenu de sa granulométrie (sable très fin, naturellement inférieur à 0.5 mm).

## 2. Définition de sable :

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaire de coquillage et de corail. [3] (voir figure 1. 2)



**Figure 1.2** : le sable [3]

### 3. Les classes de sables :

On peut classer les sables selon trois paramètres dont: [4]

a) *La granularité* : permet de séparer les sable en trois catégories sont:

- Sables fins.
- Sables moyens.
- Sables grossiers.

b) *La propreté et la teneur en fines* : elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

c) *La nature minéralogique* : En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

### 4. Caractéristiques physicochimique :

Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde. De plus, le sable éolien présente

une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit "émoussé-luisant". L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement.[5]



**Figure 1.3** : Sable de Largeur de champ = 5,5 mm et 0,50 et 1.0 mm

Le sable est souvent le produit de la décomposition du micaschiste du fait de l'érosion. Ainsi, le plus fréquent de ses composants est le quartz, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths. Un sable issu d'une roche volcanique est plutôt noir tandis qu'un sable marin s'enrichit de débris de coquillages. Il peut avoir plusieurs couleurs en fonction de sa nature : noir ou blanc

Le sable peut aussi prendre d'autres formes : arène, grès.

Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accumulent alors pour former des plages, des dunes. Un vent violent qui se charge en sable est une « tempête de sable ». Les grains les plus lourds se déposent en premier dans les milieux à forte énergie (rivière, haut d'une plage), les plus fins dans les milieux à énergie plus faible (delta, lac, bassin, crique).

La masse volumique du sable sec varie, selon sa granulométrie et sa composition, de 1,7 à 1,9 kg/l (en moyenne 1 850 kg/m<sup>3</sup>).[6]

## 5. Écologie des milieux sableux :

Des fonds marins aux déserts de sables en passant par les fonds de fleuves et rivières et les plages, un grand nombre d'espèces sont adaptées à un cycle de vie se déroulant pour toute ou en partie dans le sable.

La flore des sables est maintenant assez bien connue, mais l'écologie de la microfaune interstitielle du sable et l'écologie du sable sont encore des disciplines balbutiantes, bien que nées dans les années 1930 au moins (avec une thèse universitaire de Robert William Pennak) et quelques études sur la plage considérée comme écosystème. Difficiles à étudier dans le milieu naturel (sur la zone intertidale notamment), on les étudie parfois en laboratoire.

Sur terre et en zone sèche ou drainante les plantes sont souvent épineuses (cactées, panicauts...), crassulacées ou adaptées à la conservation de leur eau et fixatrices du milieu (Oyats)

Dans les sables anciens, humides, oligotrophes et acides, les animaux fouisseurs tels que les vers de terre ne survivent pas, mais des minuscules enchytraeidae (qui ressemblent à des vers de terre translucides ou blancs) peuvent être abondants.

Les dunes sont habitées et stabilisées par des organismes halophiles adaptés à des conditions de vie difficiles, notamment dans les pays froids ou chauds. Dans tous les cas, entre les grains de sables, à l'abri des ultraviolets solaires vivent des communautés d'organismes microscopiques. Même dans les zones où il gèle presque toute l'année, des microorganismes et des tardigrades peuvent être trouvés.[7]

## 6. les familles de sables :

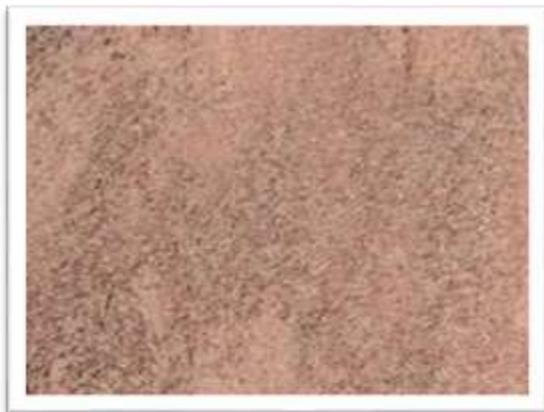
On distingue Trois familles: [8]

- **Les sables roulés siliceux (0 /2) :** dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement.



**Figure 1.4** : le sable roulé siliceux [6]

- **Les sables de concassage calcaires** sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.



**Figure 1.5:** les sables de concassages calcaire. [6]

- **Le sable de dune** qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités .



**Figure 1.6** : le sable de dune [6]

## 7. Les sables de dunes:

### 7.1. Définition :

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable. D'après Fookes et Higginbotham (1968), le Sahara est constitué d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux.[9]

### 7.2. Qu'est ce qu'une dune ?

Une dune est un relief ou un modelé composé de sable.

Une dune présente un profil transversal dissymétrique avec une pente douce du côté du vent et une pente plus raide du côté terre. La dune bordière délimite le haut de la plage par un bourrelet sableux de un à quelques mètres de haut. Sa base correspond à la haute mer et peut être endommagée lors des tempêtes. En arrière de ce premier cordon, on peut voir se

développer un champ de dunes montrant des formes différentes : dunes alignées, dunes paraboliques, dunes en râteau... plus ou moins fixées par la végétation. [9]



**Figure 1.7:** la dune de Sahara algérienne. [9]

### **7.3. Intérêt de sable de dune :**

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

#### **7.3.1. Les aspects économiques :**

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement. [10]

#### **7.3.2. Les aspects techniques :**

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base. [10]

### **7.4. Type de dune :**

1. **les avant-dunes** (foredune en anglais), qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemple), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est-à-dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. Elle est

différente d'une ancienne arrière dune en cours d'érosion, et d'une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur où une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles,

2. **les falaises dunaires** (dune cliff en anglais) est plutôt un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.
3. les **dunes perchées** (cliff-top dune en anglais) apparaissent au sommet d'une falaise vive. Elles sont alimentées en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.
4. **les cordons dunaires artificiels** sont construits par l'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont ainsi semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradées rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le Nord de la France.) [11]

#### ➤ **type complexe :**

Tous ces types de dunes peuvent exister sous trois formes : simple, composée et complexe. Les dunes simples sont des collines avec un nombre minimal de côtés escarpés qui en définissent la typologie géométrique. Les dunes composées sont des plus grandes dunes, surmontées de dunes similaires plus petites. Les dunes complexes sont, elles, formées de plusieurs types de dunes différents.

Une dune en demi-lune soutenant une dune en étoile est une des dunes complexes les plus communes. Les dunes sont simples quand le vent reste constant pendant leur formation. [11]

### **7.5. Les formes de sable de dune :**

Il existe trois formes :

- La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant. Les collines en demi-lune sont,

généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels

- la dune parabolique sont en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité. [11]



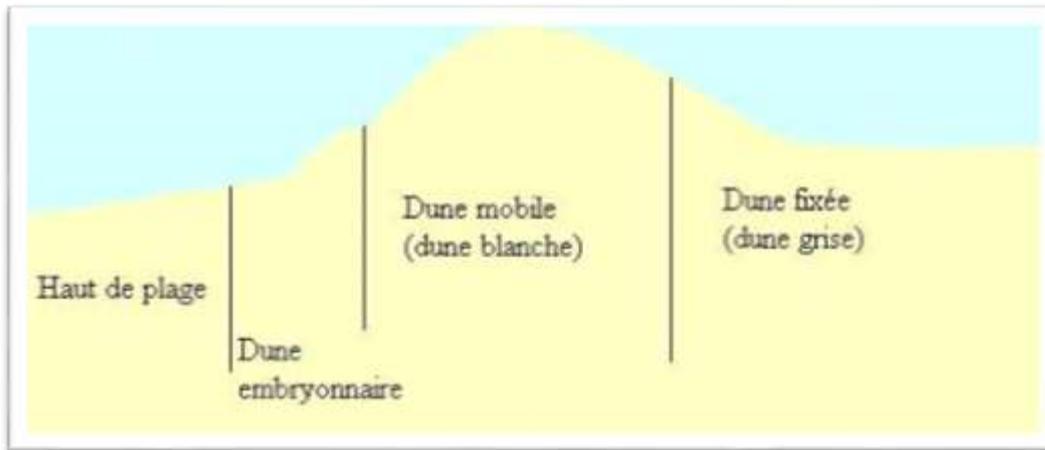
**Figure 1.7** : Les formes de dunes. [11]

A: barkhanes ; B: dunes paraboliques ; C: dunes longitudinales

La flèche bleue indique la direction du vent dominant

## 7.6. Les différents milieux de la dune :

Les dunes sont composées de milieux différents, On distingue différents types de dunes : les dunes mobiles peu ou pas fixées par la végétation (oyats, chiendents des sables etc.) ou dunes blanches, les dunes « reliques » définitivement fixées par la végétation comme les dunes grises (mousses, lichens, argousiers, etc.), les dunes noires (arbres) et les dunes fossiles recouvertes par des dépôts sédimentaires autres que le sable.



**Figure 1.8:** coupe transversale des différents milieux de la dune [11]

- **la dune verte** (appelée aussi avant-dune ou dune embryonnaire) : végétation pionnière des hauts de plage s'installant sur une dune en formation ou à la base d'une dune mobile, dominée par des peuplements clairsemés de psammophytes de type chiendent des sables, Renouée maritime, Pourpier de mer, Soude brulée, Cakilier maritime, Panicaut maritime, Euphorbe maritime et liseron des dunes. [11]



**Figure 1.9 :** Dune verte [11]

Ces plantes favorisent l'installation de macro mycètes saprotrophes et fixent le sable, formant des buttes sableuses néoformées appelées nebkas et peuvent aboutir à son accrétion sous forme d'une accumulation subhorizontale située en pied de dune (banquette surélevée de quelques décimètres par rapport au haut de plage).

Cette dune est normalement éphémère, qu'elle soit balayée par les vagues de tempête ou qu'elle se transforme en un autre type plus évolué, la dune bordière où l'emplacement des obstacles primitifs n'est plus individualisable.[12]

- **la dune blanche ou jaune:** partie de la dune littorale mobile colonisée par l'Oyat, plante fixatrice adaptée à une assez faible salinité du substrat (2 % maximum) à laquelle s'associent d'autres espèces spasmophiles (Panicaud des dunes, Achillée maritime, giroflée des dunes, chou marin, liseron des dunes, gaillet des sables, Lis maritime).

Elle comprend un glacis externe ou une falaise sableuse et un plateau dunaire caractérisés par des formes de déflation (siffle-vent qui peut évoluer en couloir ou plaque de déflation, caoudeyre, dune parabolique) et des zones d'accumulation marquées (tuc, pourrières). À la dune vive succède une dune semi-fixée caractérisée par une accumulation moindre des sables soufflés par les vents (ces derniers étant majoritairement arrêtés par la dune blanche) et le développement d'une végétation dense en tapis. [12]



**Figure 1.10** :la dune blanche ou jaune [12]

- **la dune grise** : partie de la dune sous le vent correspondant au talus interne de la dune blanche. où pénètrent des plantes herbacées fixatrices succédant aux espèces pionnières, le tout évoluant peu à peu vers une pelouse constituée d'un tapis dense de mousses et lichens. (accompagnés de l'Immortelle des dunes, la Linaire des sables, la rose pimprenelle, l'œillet des dunes, l'Ophrys passion (**it**), la Canche blanchâtre (**en**), la Luzerne marine, le raisin de mer, le Chardon champêtre, le thym serpolet ou les Orobanches) qui enrichit le sable de matière organique et d'humus. Il existe souvent, au sein de cette dune et à l'arrière de celle-ci, des cuvettes naturelles ou artificielles (mares

de chasse, prélèvements de sédiments) dont une partie est, au moins temporairement, en contact avec la nappe phréatique.[12]



**Figure 1.11:** la dune grise [12]

- **la dune noire** : la pelouse basse fait place à une pelouse haute envahie par des Bryophytes du genre *Tortula*, aux teintes brun foncé à noires lorsqu'elles sont sèches.[12]



**Figure 1.12:** la dune noire [12]

- **la dune brune (dune boisée ou frange forestière)** : la pelouse est progressivement remplacée par des prairies enrichies d'espèces pré-forestières (Saule des dunes, Rosiers), puis par des buissons et fourrés (Ajonc, Prunelliers), arbustes (espèces consolidatrices succédant aux fixatrices, du type argousier, églantier, sureau, troène...), voire un boisement littoral. [13]



Figure 1.13: la dune brune [13]

### 7.7. La dune littorale :

Les dunes littorales ou dunes bordières se forment sur le long des côtes basses où les vents et l'apport de sédiments par la dérive littorale permettent l'accumulation de sable sur les plages. À marée basse, le haut de plage est asséché par le vent ce qui permet le transfert des sables vers l'intérieur des terres, essentiellement par roulage et saltation. La largeur de l'estran est donc un facteur primordial du bon développement des dunes: plus il est large, plus la surface de déflation éolienne et donc la quantité de sédiments soufflés sont importantes. Dans le processus de formation des dunes, les plantes pionnières jouent un rôle fondamental, assurant le dépôt, la fixation et la stabilisation de l'accumulation dunaire. Ces plantes sont adaptées à l'instabilité du substrat et présentent de longues racines traçantes. (voir la figure 1.15)



Figure 1.14: Dune baltique [13]

La dune littorale est donc une forme d'accumulation sédimentaire fixée par une végétation spasmophile, il s'agit d'une construction bio géomorphologique.

### 7.7.1. Le mouvement de dune littorale :

Les dunes littorales, poussées par les vents, peuvent envahir graduellement les terres si la topographie de l'arrière-côte le permet; ce fut l'une des raisons de leur fixation le long de la côte landaise par la plantation d'une forêt de pin maritime. Lors des tempêtes, les dunes constituent une réserve de sable face à l'érosion des vagues : l'attaque directe des vagues entaille la dune et le sable prélevé est transféré dans les petits fonds. Il remonte normalement lors des périodes de calme sous l'action des houles.

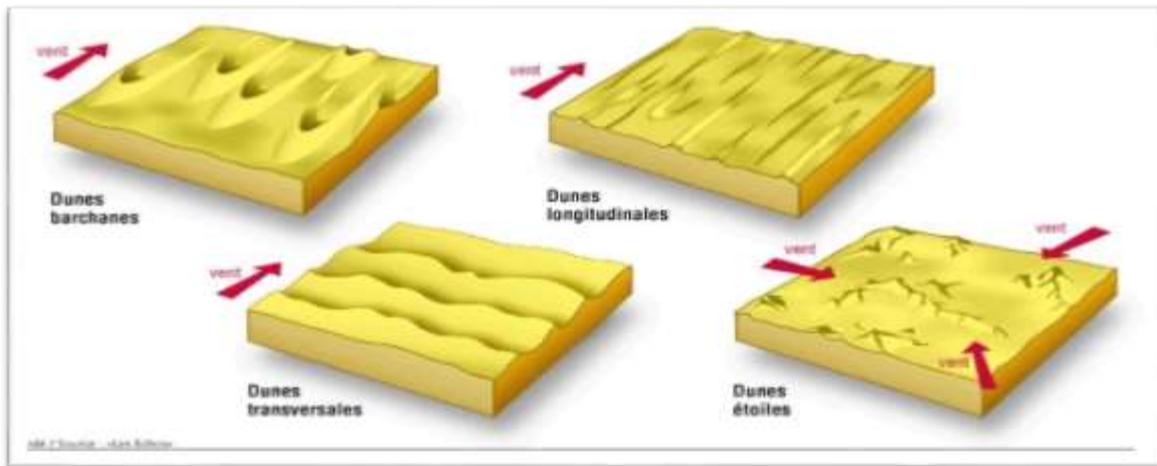


Figure 1.15: mouvement des dunes. [13]

### 7.7.2. La formation des dunes littorales:

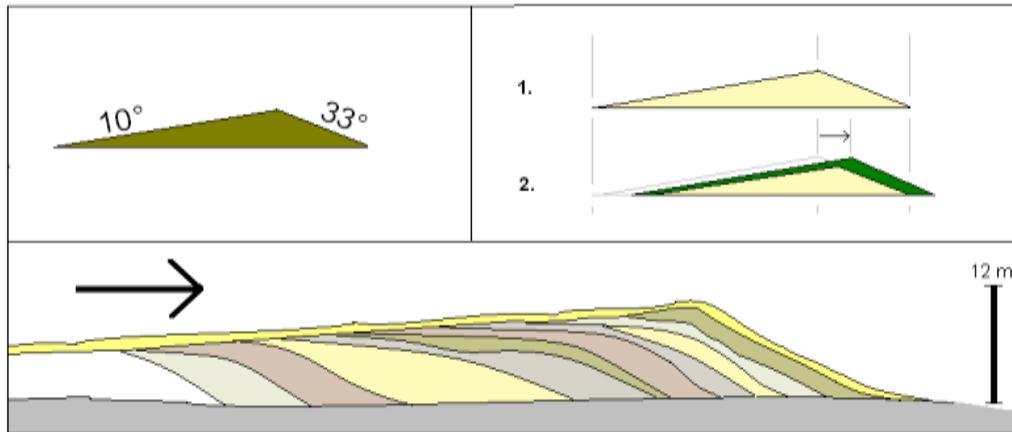
La formation des dunes littorales nécessite des conditions particulières:

- un stock de sable disponible apporté par les fleuves, la mer (bancs de sable au large) ou puisé dans les falaises.
- un vent de mer dominant et de vitesse suffisante pour déplacer les grains de sable.
- des obstacles aptes à piéger le sable : laisse de mer (débris divers et algues échoués sur la plage - photographie), végétation, topographie de la plage, etc.

### 7.8. Mécanismes de formation :

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.

Le même processus peut se produire sous l'eau à la faveur d'un courant marin (dune hydraulique), par exemple dans le pas de Calais où elles abritent peu d'espèces mais des espèces rares et inféodées à ce milieu.



**Figure 1.16:** La formation dunaire [13]

## 7.9. Physique des dunes :

Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert.

Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs déplacements menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris faute d'équations rendant compte des mouvements superficiels des grains de sable sous l'action hydrodynamique du vent. En effet, il est hors de question de suivre les trajectoires de chacun de  $10^{10}$  à  $10^{12}$  grains d'une dune. Pourtant, grâce à une meilleure compréhension de la physique des milieux granulaires et grâce à la puissance des moyens informatiques actuels.

Une barkhane est une dune la plus étudiée à cause de sa simplicité par rapport à l'entière forme dunaire et à cause de sa vitesse de déplacement (jusqu'à 50-60 mètres par an), de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

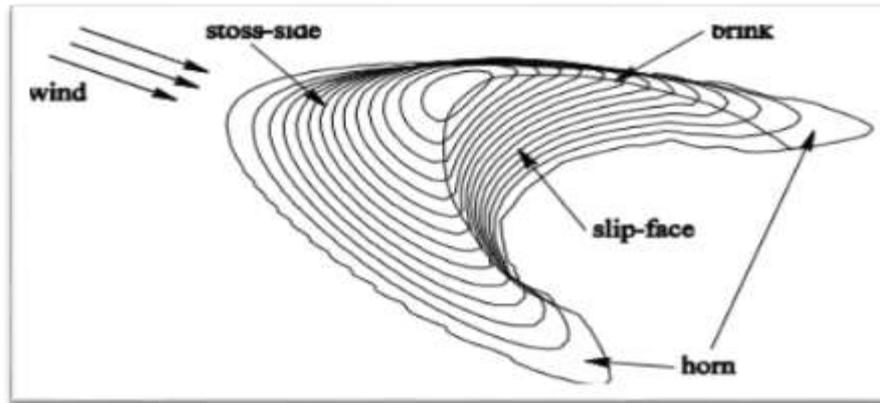


**Figure 1.17:** La barkhane ( Sud-Marocain ) [13]

Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune. Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane

Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent.

l'évolution et la forme d'une dune, de connaître celle du champ de vent correspondant. Celui-ci est en général dans un régime turbulent en trois dimensions développé à toutes les échelles autour de la topographie dunaire. Mais en moyenne, le profil de vitesse en fonction de la hauteur suit une loi logarithmique établie depuis Prandtl en 1925, avec, à sa base, une "couche-limite" dans laquelle l'écoulement est essentiellement laminaire où les grains sont arrachés et transportés. [14]



**Figure 1.18:** la morphologie de la barkhane. [14]

## 7.10. Propriétés:

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ  $30^\circ$ , au delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable. Cette propriété peut être exploitée pour étudier des formes parfaites générées par l'écoulement du sable sur des plaques de formes différentes. Par exemple, en faisant couler du sable sur un socle de forme carrée, le sable va former une pyramide parfaite avec des pentes de  $30^\circ$ .

Le sable est utilisé pour faire du béton et comme matière première du verre. Il peut être utilisé pour filtrer les liquides. Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles).

Il est aussi utilisé comme abrasif dans des usines pour nettoyer des pièces métalliques. Le sable est également un élément important de l'industrie touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte. [14]

## 7.11. Utilisation du sable de dunes:

### 7.11.1. Diverses utilisations :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois

sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc.

Les placers d'ilménite, ou «sables noirs», sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. [14]

### **7.11.2. Utilisation du sable de dunes dans le béton:**

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route ). Cette naissance a donnée le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil; pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées.

### **7.11.3. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :**

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement.

### **Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur le sable de dune telle que, définition d'un sable de dune, différents formes des dunes, Intérêt de sable de dune, et on a parlé aussi sur les devers utilisations des sable de dune comme il constitue l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, son utilisation dans la formulation de mortier, qui on va l'expliqué dans le chapitre suivant.

# Chapitre 2

## matériaux utilisé et méthode d'essais

## 1. Introduction :

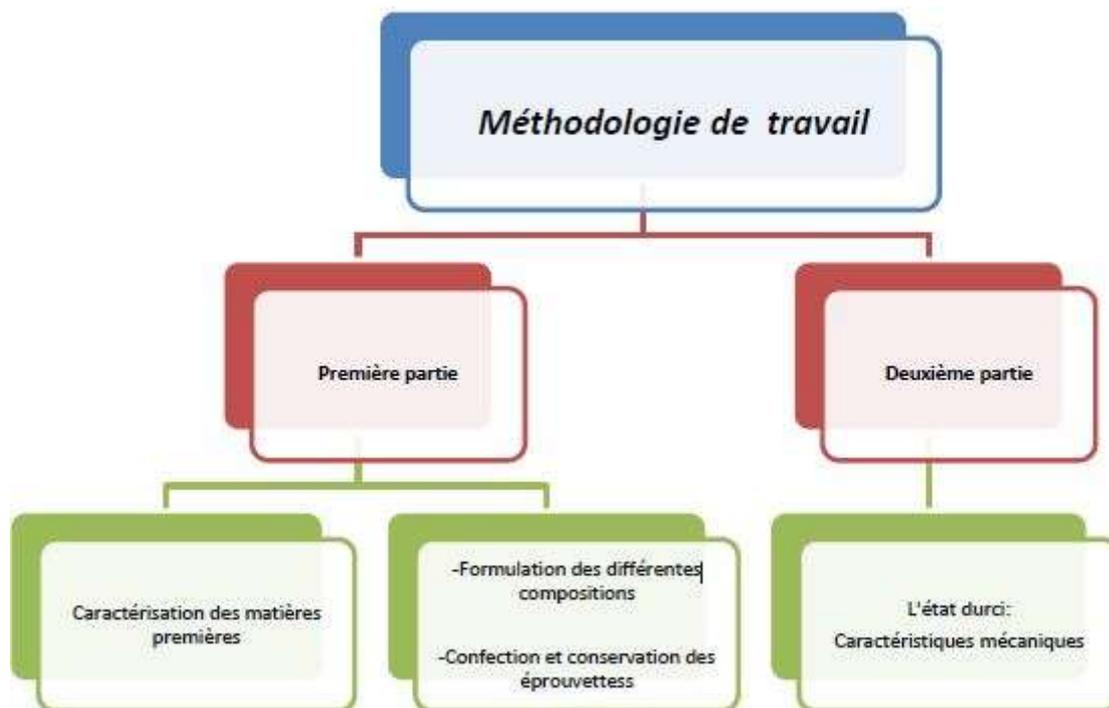
Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps caractériser les matériaux employés dans

Cette étude en présentant leurs propriétés chimiques et physiques. Les compositions des mortiers seront ensuite détaillées après avoir expliqué la méthode de formulation utilisée.

Les procédures de fabrication et de séquence de malaxage mises en place seront également définies.

Notre étude portera sur l'adaptation du sable de dune dans la composition de mortier, par la correction d'un autre sable. Dans notre cas, la correction est faite avec le sable de carrière,

Son intérêt réside de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité.



plan de travail

## 2. Caractéristique des matériaux utilisés :

Afin de définir les caractéristiques des composants du mortier, nous avons réalisé les essais suivants :

- Masse volumique absolue et apparente,
- Analyse chimique
- Bleu méthylène
- Equivalent de sable
- Analyse granulométrique
- Module de finesse
- Matière organique
- Teneur en eau
- Foisonnement de sable

## 3. Sable :

Dans notre étude, on a utilisé deux sables :

- Sable de dunes de Naama « SD1 »
- Sable de carrière SACOA de Bénie-Saf « SD2 »



**Figure 2.1** : Sable de dunes de NAAMA



**Figure 2.2** : Sable de carrière SACOA

Nous avons utilisé le sable de dune prélevé de la wilaya de Naâma, située à l'ouest de l'Algérie, à la frontière avec le Maroc. Elle est voisine au nord avec les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès, à l'est celle d'El-Bayadh et au sud celle de Béchar.



**Figure 2 .3:** carte d'Algérie (wilaya de NAAMA) [2]

### 3.1. Les essais utilisés dans le sable de dune :

#### a. Analyse chimique :

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau de laboratoire de Elles sont résumées dans le tableau suivant :

éléments	La silice brute (SO <sub>2</sub> )	Dosage de l'oxyde de calcium (CaO)	Dosage de l'oxyde de fer (FeO <sub>3</sub> )	Dosage de l'oxyde d'alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	L'anhydride sulfurique (HCL et NH <sub>4</sub> CL)	Evaluation des carbonates (caco <sub>3</sub> )
(%)	89.7	1.58	0.38	0.28	Nul	1.88

**Tableau 2 .1 :** Analyse chimique de sable de dune.

#### b. Détermination de bleu méthylène ou (la tache) norme P94 6068 :

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et interne des feuillets d'argile, la quantité de bleu adsorbée par 100 gramme de sol s'appelle « Valeur Au Bleu » du sol et est notée VBS, la VBS reflète globalement :

- La teneur en argile (associée à la surface externe des particules).

- L'activité de l'argile (associée à la surface interne)



**Figure 2 .4 :** Analyse de bleu méthylène



**Figure 2 .5 :** résultat de bleu méthylène

Résultat :

La valeur du bleu du sol est donnée par :

$$VBS = \frac{B}{M0} * 100 \dots\dots\dots \text{Equation 4.1}$$

La masse de bleu de introduite (en gramme) :

$$B = V * 0.01 = 0.45 \dots\dots\dots \text{Equation 4.2}$$

V= volume du bleu ajouté en cm<sup>3</sup> = 45ml

M0= 120 g

VBS=0.2

Valeur de bleu de sol	Nature de sol
< 0.2	Sols sableux
0.2 - 2 .5	Sols limoneux
2 .5- 6	Sols limoneux – argileux
6-8	Sol argileux
>8	Sol très argileux

**Tableau 2. 2 :** Valeur de bleu méthylène de sable de dune.

- Notre essai et de nature de valeur de bleu de notre sol est sols sableux.

### c. Analyse granulométrique sable de dune « SD1 »

#### Bute :

Cet essai "analyse granulométrique" nous permet d'identifier des sols, les classer et même également les nommer.

#### Principe

L'essai Analyses granulométriques consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

#### Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique :

- balance et différents poids
- tamis en mm (20-16-12,5-10-8-6,3-5,4-3,5-1-0,2-0,08)
- vibreur de tamis



**Figure 2 .6 :** vibreur de tamis



**Figure 2 .7 :** tamis en mm

#### Calcule :

- (Pc) : passe cumulé= (en %)
- Et le passant=  $100 - (pc)$ .....Equation 4.3

#### Module de finesse :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, Le module de finesse est égal au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm

- Norme Française [NFP 18-540] :

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5 \} \text{ Equation 4.4}$$

- Norme Européenne [EN 12620]

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{Refuscumulés en \% destamis } \{ 0.125 - 0.25 - 1.50 - 1 - 2 - 4 \} \text{ Equation 4.5}$$

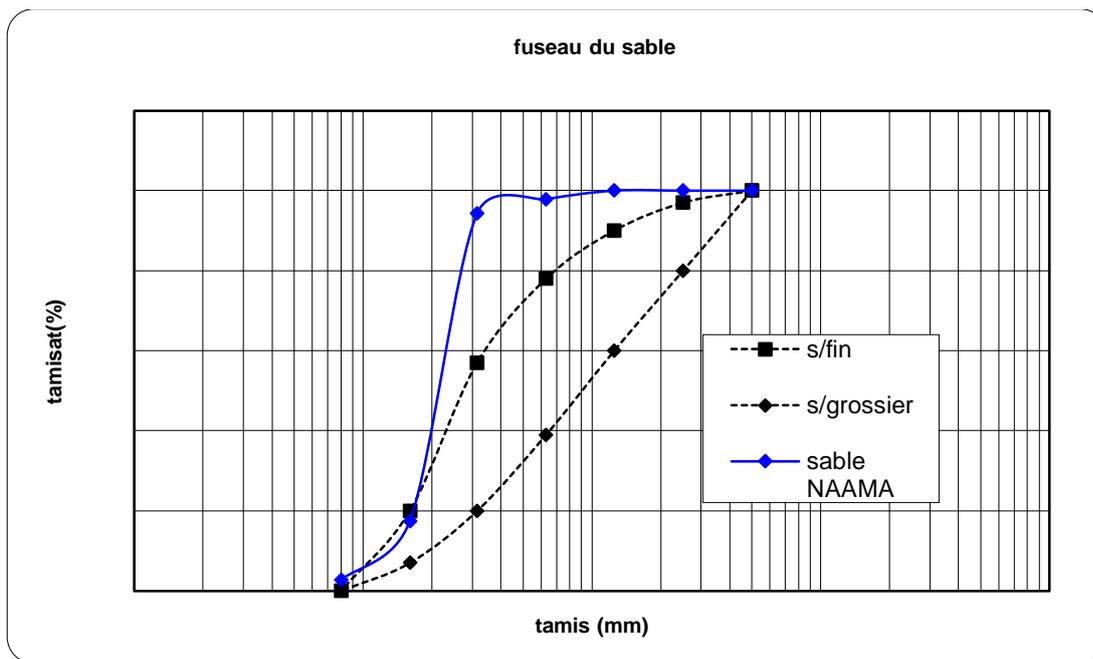
**Lorsque M F est compris entre :**

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier.

Notre résultats et résumé dans le tableau suivant :

Tamis	Refus cumulés		Tamisat	Module de finesse
Dia mm	Poids	%	%	%
6.3				0.90
5			100	
2.5			100	
1.25			100	
0.63	21.33	2.13	97.87	
0.315	57.3	5.73	94.27	
0.16	825.89	82.59	17.41	
0.08	973.13	97.31	2.96	

**Tableau 2.3** : tamisage de sable de dune << SD1 >>

**GRAPHE :**

**Graph 2. 1:** Granulométrie par tamisage de sable de dune « SD1 »

- L'analyse granulométrique du sable de dune utilisé montre que la granulométrie est très serrée et son module de finesse est de l'ordre 0.9. Ce sable ne s'inscrit pas dans le fuseau Granulaire.

**d. Equivalent de sable :**

Essai d'équivalence de sable est spécifique aux sols grenue, il nous permette de mettre en évidence la proposition relatif de poussière fin nuisible argileux dans les sols ou les agrégats fins : il est effectuée sur des éléments de diamètre 5 mm

Son importance est capital car la présence des éléments fins peut modifiée le comportement rhéologique du matériau.

**Principe:**

L'essai équivalent de sable s'effectue sur la fraction des sols passant au tamis de 5mm ; il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments les plus fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins.

**Matériaux utilisés :**

- La solution flocculant
- Cylindre gradué

- L'échantillon
- Le piston



**Figure 2 .8:** Résultat d'équivalent de sable

**Calcul :**

L'équivalent de sable est donné par la formule suivante :

$$ES = 100 \times \frac{h_2}{h_1} (\%) \dots \dots \dots \text{Equation 4.6}$$

H2 : sable propre seulement

H1 : sable propre + élément fins

Résultats résumé dans le tableau suivant:

	H1	H2	ES (%)	ES moyenne (%)
ESSAI 1	19	18.9	32.6	32.43
ESSAI 2	6.2	6.1	32.7	

**Tableau 2. 4 :** Résultats Equivalent de sable de sable de dune

ES	Nature et qualité de sable
ES < 60	Sable argileux- n'est pas utilisable au béton
60 ≤ ES < 70	Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour béton de qualité quant ou ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ ES < 80	Sable propre-à faible pourcentage de fines argileuses- convenant

	parfaitement pour le béton haut qualité
ES > 80	Sable très propre – l'absence presque totale de fines sol argileux risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

**Tableau 2. 5:** Nature et qualité ES du sable.

D'après notre résultat nous concluons le sable de dune de NAAMA c'est un sable argileux il provoque un Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.

**e. La masse volumique apparente et absolue :**

La masse volumique apparente :

**Définition :**

- La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.
- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.



**Figure 2 .9:** Les matériaux de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V} \text{ En g /cm}^3 \dots\dots\dots \text{Equation 4.7}$$

M1 : masse de récipient = 1503.46 g

M2: masse de récipient remplie =2903.46 g

V : volume de récipient =979.71 cm<sup>3</sup>

Résultats de notre essai :

$$\rho_{app} = 1.428 \text{ g/cm}^3$$

➤ La masse volumique absolue :

- La masse volumique absolue  $\rho_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.
- La masse volumique absolue est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{p_3 - p_1}{(p_2 - p_1) - (p_4 - p_3)} \dots \dots \dots \text{Equation 4.8}$$

P1 : pycnomètre vide = 107.23g

P2 : 1L+ masse de pycnomètre vide= 1107.23g

P3 : masse de pycnomètre + masse de sable =607.23g

P4 : masse de pycnomètre + masse de sable + eau = 1413.35

Résultats de notre essai :

$$\rho_{abs} = 2.6 \text{ g/cm}^3$$

**f. Teneur en eau :**

**Définition :**

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

**Bute :**

Détermination de la quantité d'eau contenue dans un sol.



**Figure 2.10 :** les échantillons avant l'étuve



**Figure 2.11:** Étuve du laboratoire de MDC du C.U.A.T



**Figure 2.12 :** les échantillons après l'étuve

Calculer la W par la formule suivante :

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{M_h - M_s}{P_s} \dots\dots\dots \text{Equation 4.9}$$

E : poids de l'eau dans le matériau.

P<sub>s</sub> : poids de matériaux sec.

P<sub>h</sub> : poids de matériaux humide

Si W en exprime en% :  $W\% = 100 \times \frac{M_h - M_s}{M_s} \dots\dots\dots \text{Equation 4.10}$

Résultats :

Elle est résumée dans le tableau suivant:

Essai	MH	MS	W%
1	21.6	20.6	4.62
2	21.6	20.7	4.34
3	25.1	24	4.58

**Tableau 2. 6:** Résultats Teneur en eau de sable de dune

**g. Foisonnement de sable :**

**Définition et But :**

La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et de l'humidité. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. Cette méthode toutefois présente des risques certains à cause du foisonnement.

**Principe :**

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau.

**Matériel utilisé :**

Le même matériel utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente d'un agrégat.



**Figure 2.13 :** Les matériaux de Foisonnement de sable

**Résultat :**

Pour déterminer le coefficient de foisonnement de sable par la formule suivante :

$$\mathcal{F} = \frac{Mv1}{Mv2 \times (1+W) - 1} \dots \dots \dots \text{Equation 4.11}$$

Mv1: Masse volumique apparente du granulat sec [kg / m<sup>3</sup>]

Mv2 : Masse volumique apparente minimale du sable remanié [kg / m<sup>3</sup>]

W : Teneur en eau correspondante [%]

%	MASSE (g)	$\mathcal{F}$
2	2582.7	0.75
3	2479.6	0.783
5	2417.1	0.78
10	2496.4	0.72
15	2571.3	0.67
20	2872.7	0.58

**Tableau 2. 7:** Résultats Foisonnement de sable de dune.

#### **h. Matière organique norme XP P 94-047 :**

##### **Définition :**

Teneur en matières organiques par calcination CMOC : Rapport de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon, détruites par calcination, sur la masse sèche des particules solides avant calcination de la fraction du matériau passant au tamis de 2 mm.

##### **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température de 450 °C.

##### **Appareillage :**

- ✓ Une balance dont les portées maximale et minimale sont compatibles avec les masses à peser et telle que les pesées soient effectuées avec une incertitude de 1/1 000 de la valeur de la masse mesurée.
- ✓ Des bacs pour passage des échantillons à l'étuve.
- ✓ Des capsules ou creusets avec leur pince de manutention.
- ✓ Un mortier avec son pilon ou un vibro-broyeur.
- ✓ Un four à calcination réglable à une température comprise entre 450 °C et 500 °C.
- ✓ Des tamis dont un tamis à ouverture carrée de 2 mm de côté.

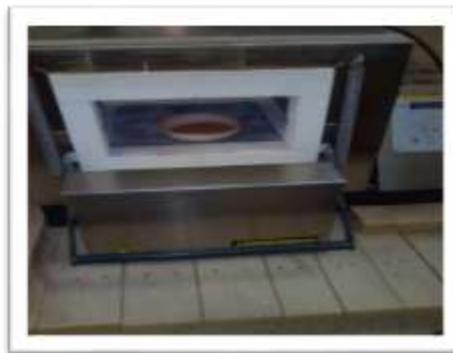
- ✓ Une enceinte avec un dessiccateur.
- ✓ Une enceinte thermique ou étuve de dessiccation à température réglable à 50 °C de classe d'exactitude C comme défini dans l'annexe A de la norme NF X 15-016 pour ce qui concerne la température uniquement.



**Figure 2.14:** four à 450°



**Figure 2.15 :** Les matériaux de Matière organique



**Figure 2.16 :** les échantillons après calcination

### **Expression des résultats :**

La teneur en matières organiques est calculée à partir des pesées effectuées.

La teneur en matières organiques de la fraction granulométrique inférieure à 2 mm est la moyenne arithmétique des n prises d'essai et est exprimée en pourcentage arrondi au nombre entier.

$$C_{MOC} = 1/n \sum (m1 - m2) / (m1 - m0) \dots \dots \dots \text{Equation 4.12}$$

### **Résultat :**

#### **Essai 1 :**

M1 : masse de sable = 50 g

M2 : creusé vide = 102.71g

M3 : creusé vide+ sable= 152.71g

### Essai 2 :

M1 : masse de sable =50 g

M2 : creusé vide = 99.44g

M3 : creusé vide+ sable= 149.44g

Après l'étuve de température de 450°C :

ESM1= 152.25g

ESM2=149.08g

### 3.2. **Sable de carrière << SD2>>:**

Nous avons utilisé le sable de dune prélevé de l'EURL SACOA béni Saf, wilaya de d'Ain Temouchent, à l'analyse de sable en provenance de la carrière SKHOUNA béni Saf.

Ce sable peut être utilisé dans les bétons hydrauliques, tout en veillant sur l'homogénéité du front de taille de la carrière.

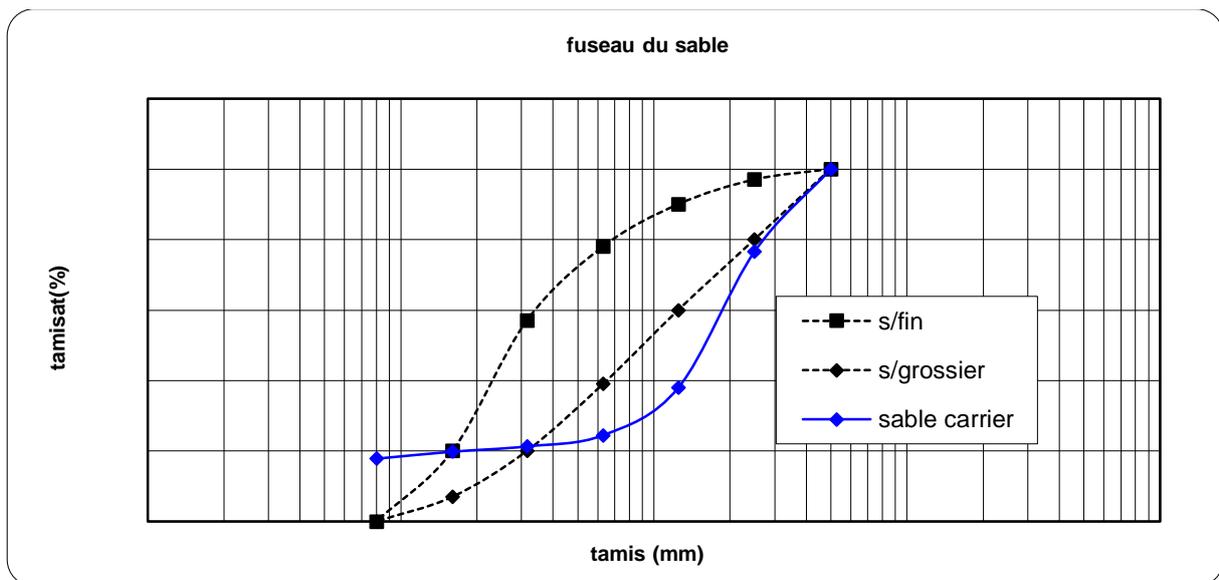
#### 3.2.1. Les essais utilisés dans le sable de carrières :

##### a. Analyse granulométrique :

Notre résultats et résumé dans le tableau suivant :

Tamis	Refus cumulés		Tamisat	Module de finesse
	Poids	%		
Dia mm				
6.3				3.20
5			100	
2.5	233.7	23.23	76.63	
1.25	619.9	61.99	38.01	
0.63	755.01	75.50	24.50	
0.315	786.7	78.67	21.33	
0.16	801.7	80.17	19.8	
0.08	821.6	82.16	17.84	

**Tableau 2.8 :** tamisage de sable de carrières << SD2>>.

**Graphe :**

**Graphe 2. 2:**Granulométrie par tamisage de sable de carrières << SD2>>.

- L'analyse granulométrique du sable de carrières, utilisé montre que la granulométrie est très serrée et son module de finesse est de l'ordre 3.2. Ce sable ne s'inscrit pas dans le fuseau Granulaire.

**b. Analyse physiques :**

ESSAIS	VALEURS		
Equivalent de sable	ES1 (%)	ES2 (%)	ES moyenne (%)
	83.50	83.67	84
La masse volumique apparente	1.518 g/cm <sup>3</sup>		
La masse volumique absolue	2.642 g/cm <sup>3</sup>		
Essai de bleu méthylène	VBS=0.041		

**Tableau 2.9 :**Caractéristiques physiques de sable de carrières << SD2>>

**3.3. Le sable corrigé:**

C'est un mélange de deux sables :

Sable de dune <<SD1>> et sable de carrière <<SD2>>



**Figure 2.17** : le sable corrigé

Les normes préconisent pour un bon sable à béton, un module de finesse de l'ordre de 1.8 à 3.2. En utilisant la méthode théorique, en prenant un sable de dune avec un module de finesse MF=0.90 qu'on va corriger avec le sable de carrière dont le module de finesse MF= 3.20 suivant les formules suivantes, on peut obtenir un mélange dont le module de finesse fixé au préalable à MF= 1.80

Le sable est corrigé d'après la formulation suivante:

$$SD1 = \frac{Mfm - mf2}{Mf1 - Mf2} = \frac{1.8 - 3.2}{0.9 - 3.2} = 60.87\% \dots\dots\dots \text{Equation 4.13}$$

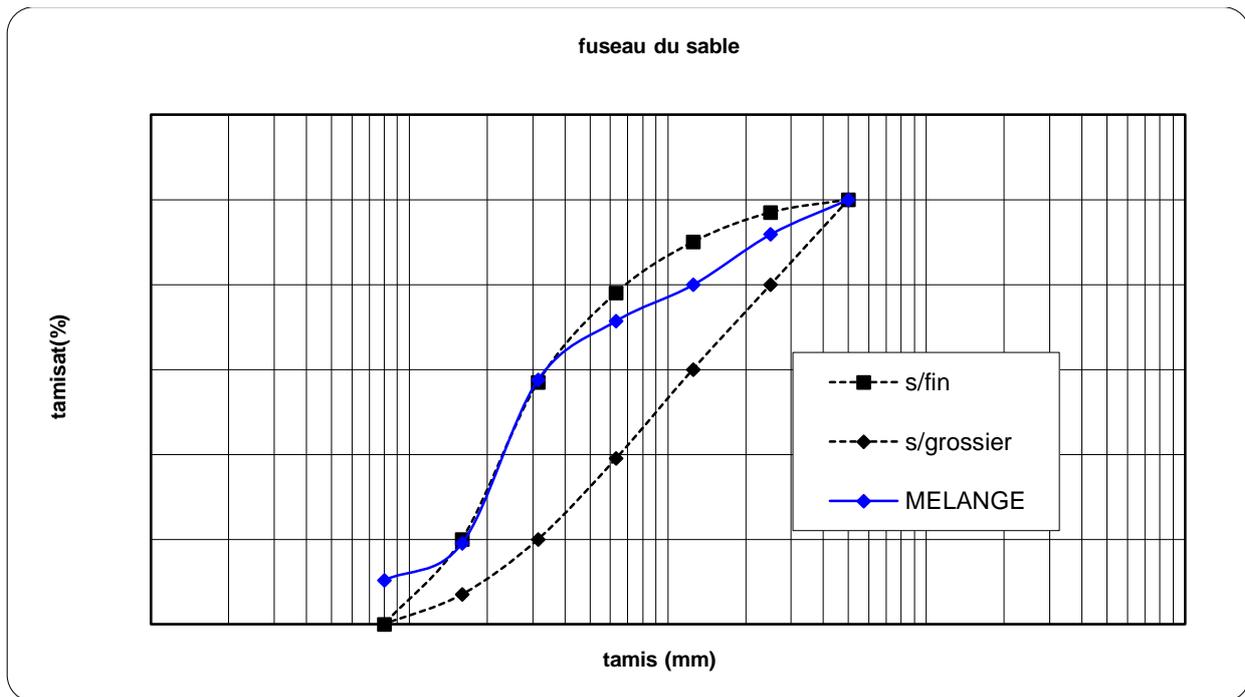
$$SD2 = \frac{Mfm - mf1}{Mf1 - Mf2} = \frac{1.8 - 3.2}{0.9 - 3.2} = 39.13\% \dots\dots\dots \text{Equation 4.14}$$

**a. Analyse granulométrie :**

Tamis	Refus cumulés		Tamisat	Module de finesse
Dia mm	Poids	%	%	%
6.3				1.80
5			100	
2.5	81.8	8.18	91.82	
1.25	201.1	20.91	79.89	
0.63	286.1	28.61	71.39	
0.315	424.1	42.41	57.59	
0.16	809.39	80.94	19.06	
0.08	896.61	89.66	10.34	

**Tableau 2.10** :tamisage de sable corrigé

**Graphe :**



**Graphe 2. 3:** Granulométrie par tamisage de sable corrigé

- L'analyse granulométrique du sable corrigé 60.87% sable de dune et 39.13 % sable de carrière montre que la granulométrie est bien étalée et continue, avec le module de finesse de 1.80. Ce sable s'inscrit dans le fuseau granulaire.

**b. Analyse physiques :**

ESSAIS	VALEURS		
	ES1 (%)	ES2 (%)	ES moyenne (%)
Equivalent de sable	76.9	79.41	78.15
La masse volumique apparente	$\rho_{app} = 1.632 \text{ g/cm}^3$		
La masse volumique absolue	$\rho_{abs} = 2.638 \text{ g/cm}^3$		

**Tableau 2.11 :** Analyse physiques du sable corrigé.

#### 4. Ciment :

Ciment portland avec ajout :

Le ciment qu'on a utilisé est un ciment portland avec ajout (CPJ-CEM II/42.5A) de la cimenterie de BENI SAF Ain Témouchent.



**Figure 2.18** :Le ciment utilisé.

Analyse chimique et minéralogique elle est contenue dans le tableau :

**Tableau 2.12** :Composition chimique du ciment de Béni-Saf

Composition chimique	SiO <sup>2</sup>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sup>3</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sup>3</sup>	Perte au feu	CaO libre	R.I	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Teneur %	27.97	56.37	5.43	3.05	0.71	2.53	3.11	0.75	9.11	0.43	0.30

**Tableau 2.13** :Composition minéralogique du ciment de Béni-Saf

composants	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CS
Teneur en %	59.98	2.15	9.87	9.31	2.94

## 5. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la totalité de nos essais de formulation de mortier, est une eau courante de robinet de laboratoire de génie civil de notre université.

Analyse chimique de l'eau de gâchage :

Essais	L'anhydride carbonique (CO <sub>2</sub> ) en (mg/l)	L'alcalinité totale (T.A.ET T.A.C) en (mg/l)	La dureté hydrotimétrique (TH) en (°F)	Dosage du calcium	Dosage des chlorures (NaCl) en (mg/l)	Dosage des ions sulfates (SO <sub>4</sub> ) en (mg/l)	La valeur de PH	Résidus secs en (mg/l)
Résultats	2.3157	85.428	20	Nul	583	28.80	8.8	740

**Tableau 2.14** : des caractéristiques chimiques de l'eau.

## 6. Formulation des mortiers :

La formulation du mortier normal Avec un mélange d'éléments :

- ✓ ciment : 350kg
- ✓ Le sable : 1305kg
- ✓ L'eau : 175 L
- ✓ Un rapport E/C = 0,5

**Mode opératoire :**

- Mettre le malaxeur HOBART dans une cuve de cinq litres répandant aux caractéristiques de la norme NF P 15-411 en marche à petite vitesse.
- Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.
- Après 30 secondes, introduire le sable régulièrement pendant 30 secondes qui suivent et continuer à malaxer pendant 30 secondes.
- Arrêter le malaxeur pendant une minute et 30 secondes et enlever à l'aide d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent à la paroi et au fond vers le milieu de celui-ci.
- Verser le mortier dans des moules prismatiques 4x4x16 cm en trois couches et la mise en place dans une appareil de chocs est réalisée par vibration de 60 coups à l'aide de la table vibrante, 20 coups pour chaque couche.



**Figure 2.19** : Le malaxeur Hobart électrique.



**Figure 2.20** : Eprouvette prismatique 4x4x16 cm



**Figure 2.21** : Appareil de chocs

Nous vont préparer deux séries des épreuves de mortier :

- 15 épreuves sous l'eau.
- 36 épreuves sous les milieux agressives.

Après 24h du coulage nous avons démoulé les 15 épreuves de mortier puis conservées

Immédiatement dans l'eau chaque 3 épreuves pour une durée de 3, 7, 14, 21 et 28 jours.

## 7. Essai sur les mortiers :

Les essais mécaniques selon les normes ont été réalisés sur des épreuves prismatiques de dimensions (4 x 4 x 16) cm<sup>3</sup> sont utilisés pour caractériser les mortiers à différentes échéances :

1-Essai de la perte de masse

2-La flexion trois points (3 pts) sur trois épreuves de 4x4x16 cm<sup>3</sup>.

3- La compression pure sur les demi-épreuves 4x4x4 cm<sup>3</sup>.

### 7.1. Essai de la perte de masse :

Les mesures de la perte de masse sont réalisées par les pesées des éprouvettes 4x4x16 cm dans le but de suivre l'évolution des échanges hydriques et chimiques entre les éprouvettes et le milieu de conservation sont testés à 28 ; 60 ; 90 jours.

Le degré de l'attaque est évalué par la formule :

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \dots\dots\dots \text{Equation 4.16}$$

Avec  $M_1$ ,  $M_2$  les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

### 7.2. Essai de résistance à la flexion :

La résistance de mortier a été déterminée à l'aide d'une machine de compression et de flexion sur des éprouvettes prismatique 4x4x16 cm conformément à la norme NF P18-407



**Figure 2.22 :** Machine de compression et de flexion.

Les éprouvettes 4x4x16 ont été disposées dans la machine d'essai la mise en charge a été effectuée on obtenues après une rupture de flexion ont été rompus en compression comme indiqué sur la figure (suivant).



**Figure 2.23** : écrasement des éprouvettes du mortier

### 7.3. Résistance à la compression :

L'essai de compression sur des cubes de 4x4x4 cm, a été réalisé sur la même machine de compression et de flexion.

Les demi- prismes des éprouvettes 4x4x16 obtenues après rupture en flexion ont été rompus en compression comme indiqué sur la figure suivante :



**Figure 4.24** : éprouvette du mortier après l'écrasement

### **Conclusion:**

- L'étude concernant le présent chapitre nous a permis de décrire les différents matériaux utilisés dans ce travail et de donner une idée générale sur les procédures expérimentales sur le mortier.

Tous les résultats et leurs interprétations des différents essais sont représentés dans le chapitre suivant.

# Chapitre 03

## *résultats et analyses*

## 1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats obtenues lors des essais de caractérisation des mortiers et de durabilité à savoir ; la perte de masse, et la résistance à la traction par flexion et de la résistance à la compression des mortiers dans l'eau et les différents milieux agressifs.

## 2. Perte de masse :

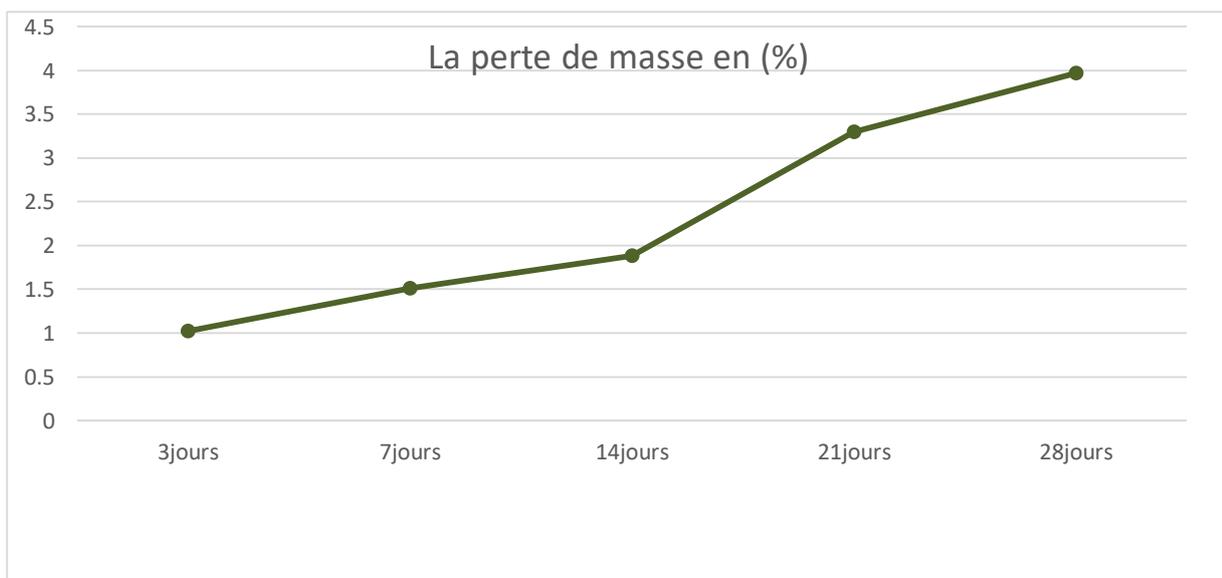
### 2.1. Perte de masse des éprouvettes de mortier avec sable normalisé :

M1= la masse Initial des éprouvettes en (g)

M2= la masse des éprouvettes conservée dans l'eau en (g)

jours/échantillons	M1 en (g)	M2 en (g)	La perte de masse en (%)
3 jours	558,10	552 ,40	1 ,02
7 jours	557,07	548,61	1,51
14jours	550,20	539,85	1,88
21jours	545,50	527,45	3,30
28 jours	540,91	519,41	3,97

**Tableau 3.1 :** Perte de masse des éprouvettes de mortier normalisé



**Figure 3.1:** Perte de masse des éprouvettes de mortier de sable normalisé

## 2.2. Perte de masse des éprouvettes de mortier avec sable de dune :

M1= la masse Initial des éprouvettes en (g)

M2= la masse des éprouvettes conservée dans l'eau en (g)

jours/échantillons	M1 en (g)	M2 en (g)	La perte de masse en (%)
3 jours	555.10	549.80	5.3
7 jours	554.07	548,61	5.46
14jours	549,20	540,85	8.35
21jours	544,50	535,45	9.05
28 jours	538,91	528.41	10.5

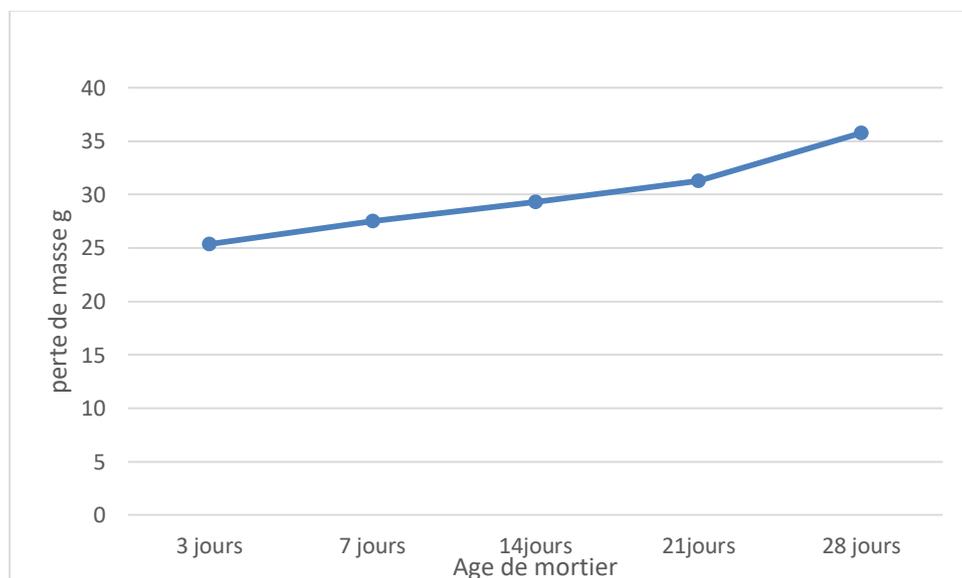


Figure 3.2: Perte de masse des éprouvettes de mortier de dune

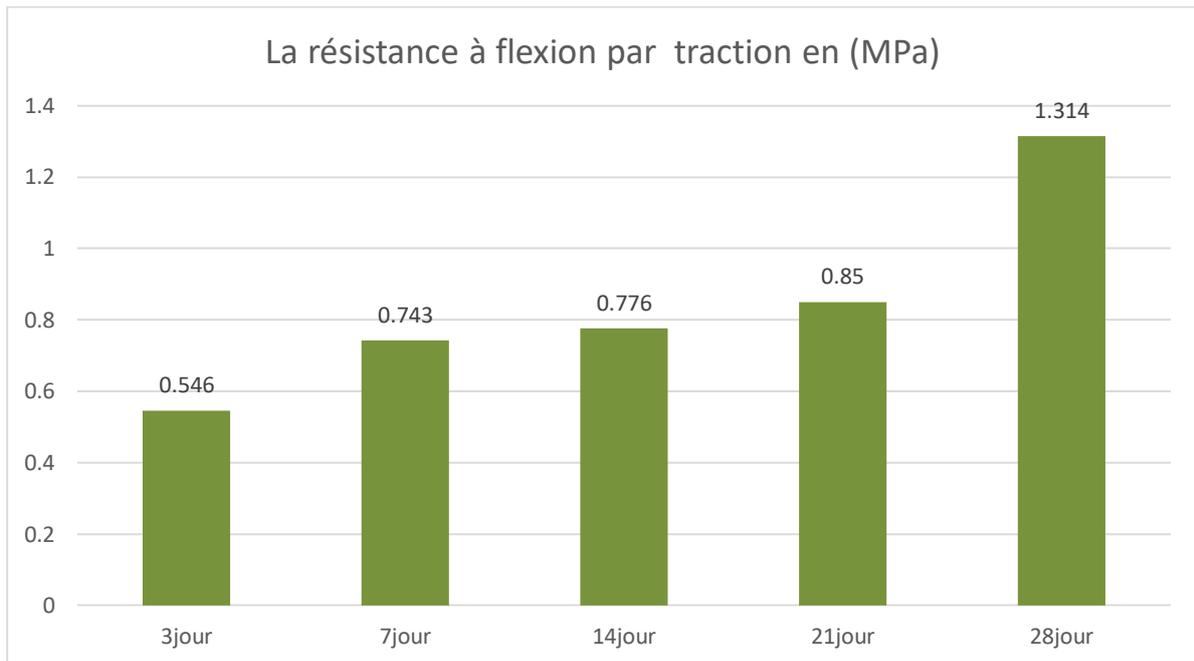
## 3. Résultats des essais de traction par flexion et des essais de compression :

### 3.1. Eprouvettes de mortier de sable normalisé :

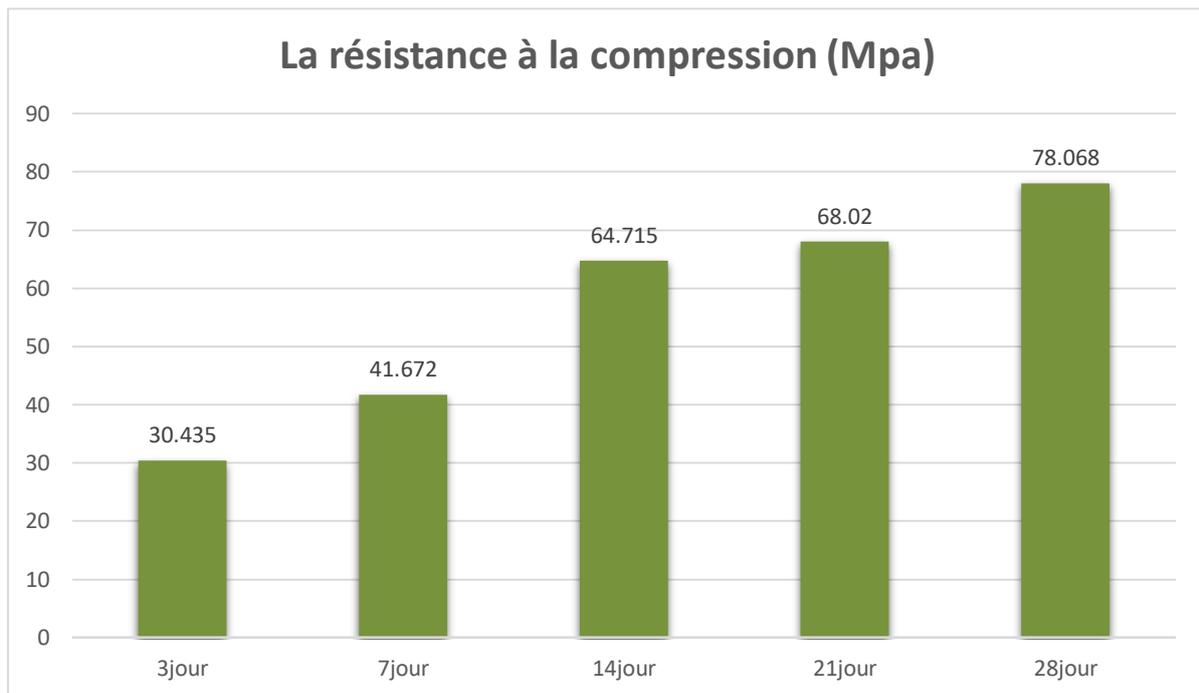
jours/échantillons	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
Résistance à la traction par	0.546	0,743	0,776	0,85	1.314

flexion en (MPa)					
La résistance à la compression (Mpa)	30.435	41.672	64.715	68.020	78.068

**Tableau 3.3 :** Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable normalisé



**Figure 3.3:** Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de mortier de sable normalisé



**Figure 3.4:** Résistance de compression des éprouvettes de mortier normalisé.

✚ A partir des résultats du tableau du graphe nous remarquons :

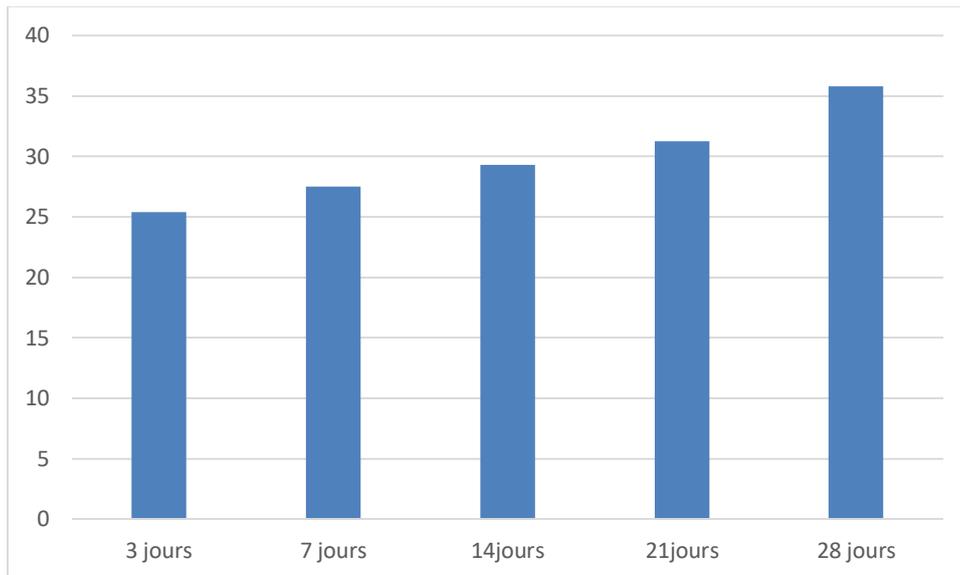
Une augmentation de la résistance de flexion et compression concernant le mortier de référence après 3 jours jusqu'à le 28 jours.

#### 4. Résultats des essais de traction par flexion et des essais de compression :

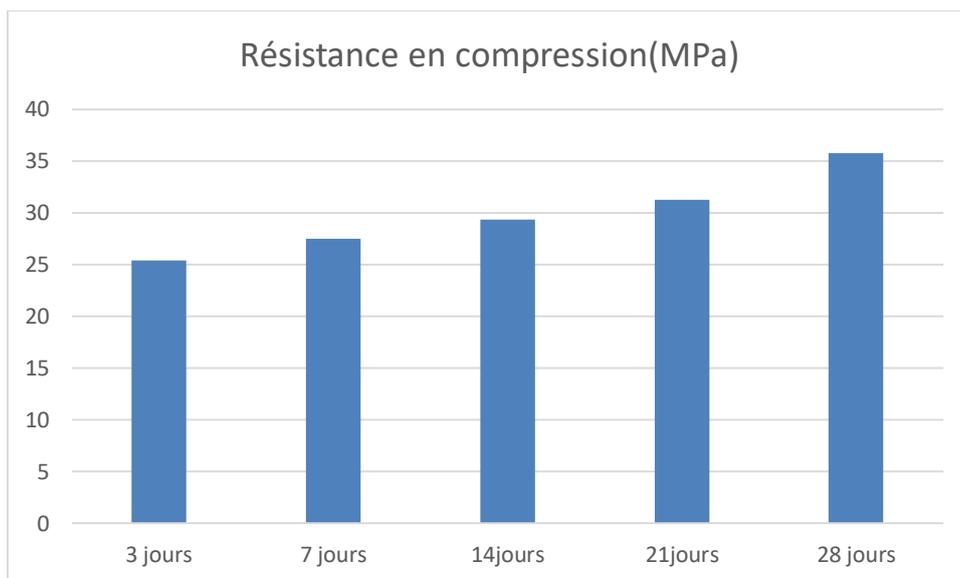
##### 4.1. Éprouvettes de mortier de sable de normalisé :

jours/échantillons	3 jours	7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
Résistance à la traction par flexion en (MPa)	0.466	0,586	0,590	0,667	0.984
La résistance à la compression (Mpa)	25.38	27.49	29.31	31.26	35.78

**Tableau 3.4 :** Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable normalisé



**Figure 3.5:** Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de mortier de sable de dune



**Figure 3.6:** Résistance à la traction par flexion et de compression des éprouvettes de mortier de sable de dune

Sur les figures ci dessus on remarque l'utilisation de sable de dune est bénéfique puis que sa nous donne des bonnes résistances mécaniques.

### **Conclusion :**

Ces résultats nous ont permis de constater qu'on peut utiliser le sable de dune dans la fabrication du mortier puisque il donne de bons résultats de résistance mécanique et qui sont acceptables pour la construction des bâtiments et des ouvrages d'arts.

# Conclusion Generale

## Conclusion Generale

---

Le désert occupe plus 60% du territoire national formé essentiellement de sable inexploité jusqu'à ce jour et dans l'unique but de valoriser cette richesse nationale en sable, on a entamé ce travail, qui nous a permis de mettre en valeur l'influence du sable de dune e NAAMA sur le comportement de mortier et de préciser un certain nombre de point :

- Plus de 85% de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) dans la composition chimique du sable de dune.  
Le sable de dune est matériau sableux avec un équivalent de sable inférieur de 60% sa granulométrie est très serrée ne s'inscrit pas dans le fuseau granulaire ce pour cela on a corrigé par le sable de carrier est un matériau propre avec un équivalent de sable supérieur de 80%.
- Les résistances mécaniques des mortiers, que ce soit en compression ou en flexion, Augmentent avec le temps de conservation (dans l'eau).
- L'utilisation du sable de dune NAAMA corrigé dans la formulation du mortier, donne des résistances supérieures par rapport à ceux obtenus dans le cas de l'utilisation d'autres sables de dune. Un gain de 30% en résistance à la compression a été observé même le dosage en ciment dans la formulation du béton du sable 0/5 est inférieur de 34%.
- L'abondance de sable de dune dans notre pays lui confère la caractéristique de matériau économique.

Ce travail nous permet de mieux comprendre le comportement des mortiers à base de sable de dune corrigé i il nous a donnes des bonnes performances mécaniques et des un bon comportement vis à vis les attaques chimiques.

# Références Bibliographiques

- [1] le béton (*Lucien Pliskin*) documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/32774/C°%26T\_1992\_26\_58.pdf
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton>
- [3] <http://www.infociments.fr/betons/types>
- [4] Kacimi L le 18, 19 et 20 février 2001. La qualité du ciment par l'optimisation des laboratoires des cimenteries. Séminaire concernant la fonction laboratoires, son amélioration, son organisation et son optimisation. Université des Sciences et de la technologie, Oran.
- [5] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>
- [6] Les constituants des bétons et des mortiers [https://www.google.dz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV4Nrz-7fTAhWDORQKHdzjAmMQFghGMAU&url=http%3A%2F%2Fwww.infociments.fr%2Ftelecharger%2FCT-G10.30-41.pdf&usg=AFQjCNE\\_b-r0rJ5vgt\\_QVOX1B4Rvqdlgiw](https://www.google.dz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV4Nrz-7fTAhWDORQKHdzjAmMQFghGMAU&url=http%3A%2F%2Fwww.infociments.fr%2Ftelecharger%2FCT-G10.30-41.pdf&usg=AFQjCNE_b-r0rJ5vgt_QVOX1B4Rvqdlgiw)
- [7] Mohammed Rissel Khalifa. Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants. Architecture, aménagement de l'espace. Université d'Orléans, 2009. Français.
- [8] these doctorat
- [9] [www.perfdub.fr/programme/theme-1-essais-de-durabilite/](http://www.perfdub.fr/programme/theme-1-essais-de-durabilite/)
- [10] [www.febelcem.be/fileadmin/user\\_upload/dossiers-ciment-94-08/fr/27\\_fr.pdf](http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/fr/27_fr.pdf)
- [11] [www.gramme.be/unite9/beton/Documents/2\\_Choisir\\_un\\_beton\\_durable.pdf](http://www.gramme.be/unite9/beton/Documents/2_Choisir_un_beton_durable.pdf)
- [12] [www.cotita.fr/IMG/pdf/1-Principales\\_agressions\\_et\\_attaques\\_des\\_betons.pdf](http://www.cotita.fr/IMG/pdf/1-Principales_agressions_et_attaques_des_betons.pdf)

[13] [www.memoireonline.com](http://www.memoireonline.com) › Sciences

[14] Mémoire de magister Spécialité : Génie civil Présenté par *AZZOUZ Hocine* : Etude des bétons à base des sables de dune 03/05/2009 université MOHAMED KHEIDER BISKRA

[15] KHangaoui, 2013).

[15] THÈSE En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental (Algérie).